

TRƯỜNG ĐẠI HỌC XÂY DỰNG - KHOA SAU ĐẠI HỌC
Biên soạn: GS.TS. Lương Phương Hậu - PGS.TS. Trần Đình Hợi

LÝ THUYẾT THÍ NGHIỆM MÔ HÌNH CÔNG TRÌNH THỦY



NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG

TRƯỜNG ĐẠI HỌC XÂY DỰNG - KHOA SAU ĐẠI HỌC
Biên soạn: GS.TS. Lương Phương Hậu - PGS.TS. Trần Đình Hợi

LÝ THUYẾT THÍ NGHIỆM MÔ HÌNH CÔNG TRÌNH THỦY

NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG
HÀ NỘI - 2003

LỜI NÓI ĐẦU

Tài liệu này được biên soạn theo đề cương của giáo trình cao học ngành Công trình thủy Trường Đại học Xây dựng. Đây cũng là tài liệu tham khảo cho sinh viên đại học của ngành thủy lợi, cảng - đường thủy, công trình ven bờ; cho các cán bộ nghiên cứu trong các phòng thí nghiệm công trình thủy hiện đang được quan tâm đầu tư của nhà nước, trong đó đáng kể là phòng thí nghiệm trọng điểm quốc gia về sông biển, phòng thí nghiệm của Trường Đại học Thủy lợi, của Trường Đại học Xây dựng, phòng thí nghiệm phòng chống lũ ở Láng - Hoà Lạc, phòng thí nghiệm của Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam, phòng thí nghiệm của Tổng công ty Tư vấn thiết kế giao thông vận tải v.v...

Tài liệu chú trọng đến cơ sở lý thuyết của các vấn đề nghiên cứu, cũng như quan tâm thích đáng đến những hướng dẫn ứng dụng, thao tác trong các hoạt động thí nghiệm. Tài liệu này được biên soạn trên cơ sở những giáo trình và các kết quả nghiên cứu tiêu biểu của nước ngoài đã được liệt kê trong phần tài liệu tham khảo.

Do đây là một vấn đề khoa học chuyên sâu, còn ít kinh nghiệm thực tế ở nước ta, nên chắc chắn chưa thể đáp ứng được hết những yêu cầu của người đọc và khó tránh khỏi những sai sót trong biên soạn, mong được chỉ giáo và hợp tác.

GS. TS. Lương Phương Hậu

PGS. TS. Trần Đình Hợi

MỞ ĐẦU

Quá trình diễn biến của lòng sông trong trạng thái tự nhiên và sau khi xây dựng các công trình chỉnh trị có ảnh hưởng rất lớn đến các hoạt động sản xuất của con người. Quá trình đó cần được dự báo để làm căn cứ lập quy hoạch công trình và tiến tới kiểm soát được quá trình đó. Mô hình hoá dòng sông là phương pháp nghiên cứu quan trọng để khảo sát quá trình diễn biến nói trên, bao gồm hai phương thức: mô hình hoá bằng số (còn gọi là mô hình toán) và mô hình hoá bằng vật chất thực (còn gọi là mô hình vật lý). Việc ứng dụng vào thực tế đối với mô hình toán đã có lịch sử gần 50 năm và hơn 100 năm đối với mô hình vật lý, nhưng lý thuyết của chúng chỉ được phát triển một cách tương đối hoàn thiện và ứng dụng rộng rãi vào sản xuất trong vòng 40 năm trở lại đây. Gần đây, có xu hướng kết hợp mô hình toán và mô hình vật lý để hình thành một môn kỹ thuật chuyên ngành nghiên cứu về diễn biến sông.

Nhận thức của con người về quá trình diễn biến lòng sông, thông thường được bắt đầu từ điều tra, khảo sát hiện trường. Sự tích lũy lâu dài tài liệu, số liệu điều tra, quan trắc thực tế và sự phân tích tổng hợp từ nhiều góc độ, nhiều tầng lớp, làm cho nhận thức của con người về tính quy luật của diễn biến lòng sông, tiến triển từ một đoạn đến toàn dòng sông, từ dòng sông này đến dòng sông khác. Sự nhận thức đó ngày càng sâu sắc hơn theo sự hiện đại hoá của phương tiện khảo sát, theo sự nâng cao của độ chính xác quan trắc và sự toàn diện dần của các hạng mục đo đạc. Những nhận thức đó, phần lớn chỉ có tính chất định tính, tuy vậy vẫn có ý nghĩa rất quan trọng để giải quyết các vấn đề thực tế. Những nhận thức ban đầu về tính quy luật định tính của diễn biến lòng sông, đã từng là căn cứ để các công trình sư trước đây chỉ đạo thực tiễn công trình, trong đó có rất nhiều thành công và cũng không ít thất bại. Đó là vì, chỉ đạo thực tiễn công trình không thể chỉ dựa vào những nhận thức quy luật định tính, mà cần phải có những nhận thức quy luật định lượng. Không có những nhận thức quy luật có tính định lượng, thì những nhận thức quy luật có tính chất định tính cũng có thể bị sai lạc.

Để có những dự báo định lượng về diễn biến lòng sông, không ít những nhà nghiên cứu đã cho ra đời những lý thuyết rất có hiệu quả, đã xác lập các phương trình khống chế chuyển động bùn cát và diễn biến lòng sông cùng với các điều kiện biên của các loại vấn đề cụ thể. Song do những hệ phương trình đó thường là tương đối phức tạp, rất khó có thể tìm được những lời giải giải tích cho chúng. Để tìm các lời giải bằng số lại cần có những công cụ tính toán có công suất cao. Tình hình đó làm cho trong một thời gian tương đối dài, không thể không giới hạn chỉ đi tìm các lời giải cho các vấn đề tương đối đơn giản, hơn nữa các vấn đề đó cũng phải trải qua rất nhiều sự giản lược không đáng có. Các quan hệ hàm số và các quá trình diễn toán giản đơn có được từ các kết quả trên, tuy có thể giải đáp một cách định lượng một số vấn đề, nhưng phạm vi ứng dụng và độ

chính xác tính toán của nó rất hạn chế. Tất nhiên, xuất hiện tình hình đó không đơn thuần là do hệ phương trình cơ bản quá đối phức tạp, mà còn do phương trình cơ bản còn chưa hoàn thiện. Đó là tình hình trong giai đoạn đầu của mô hình toán. Tình hình đó kéo dài cho đến những năm 40 và 50 của thế kỷ XX.

Trong giai đoạn đầu của mô hình toán, đồng thời với sự khó khăn trong việc tìm kiếm lời giải định lượng đối với các vấn đề thực tế phức tạp, mô hình vật lý được nhanh chóng và mạnh mẽ phát triển.

Do các chuẩn tắc tương tự của mô hình vật lý có thể dễ dàng tìm được từ các quan hệ so sánh giữa các biểu thức thông thường của các lực khác nhau, Buckingham đã phát biểu định luật π dùng trong việc xác định các chuẩn tắc tương tự thông thường vào năm 1914. Những vấn đề có tính chất 3 chiều (3D) của dòng chảy và chuyển động bùn cát cũng có thể được mô phỏng trong mô hình vật lý. Trong cả thời gian dài gần 130 năm qua, mô hình vật lý đã được phát triển không ngừng.

Nhưng, sự xuất hiện của máy tính điện tử có dung lượng lớn, có tốc độ tính toán cao đã làm cho mô hình toán đang đình trệ từ nhiều năm bỗng có được sức sống mới. Người ta đã không còn phải mò đi tìm lời giải giải tích cho những vấn đề đã được giản hoá, mà trực tiếp tiến hành tính toán số trị. Đối tượng nghiên cứu cũng đã từ những vấn đề 1 chiều (1D) tương đối đơn giản, phát triển dần đến những vấn đề 2D, rồi 3D. Cho đến nay, đối với bài toán dự báo biến hình lòng dẫn 1D có chiều dài lớn, với ưu thế cho lời giải nhanh, rẻ của mình, mô hình toán đã hoàn toàn làm cho người ta có thể quên đi mô hình vật lý. Với những vấn đề diễn biến lòng sông 2D ở khoảng cách ngắn, mô hình toán cũng đang tuyên chiến với mô hình vật lý. Chỉ còn vấn đề biến hình lòng sông 3D, do điều kiện biên quá phức tạp, hơn nữa các quy luật chuyển động bùn cát ở điều kiện biên phức tạp đó còn chưa được nghiên cứu đầy đủ, còn phải tốn nhiều công sức nữa mới làm cho mô hình toán ứng dụng được vào thực tế.

Trước mắt, mô hình toán và mô hình vật lý đang là hai phương pháp quan trọng trong nghiên cứu diễn biến lòng sông và các chuyển động dòng chảy, bùn cát tương ứng, mỗi phương pháp đều có phạm trù được ưu tiên sử dụng của mình. Ví dụ: mô hình toán được sử dụng nhiều trong nghiên cứu bài toán 1D, mô hình vật lý sử dụng nhiều trong nghiên cứu bài toán 3D, còn bài toán 2D đều có thể sử dụng mô hình toán hoặc mô hình vật lý. Ngoài ra, sử dụng loại mô hình nào còn phụ thuộc tầm quan trọng của công trình và giai đoạn nghiên cứu. Đối với những công trình rất quan trọng, có thể cả hai loại mô hình đều được sử dụng ở các trường hợp khác nhau, thậm chí giống nhau, để bổ sung và kiểm tra lẫn nhau. Đối với các công trình không thật sự quan trọng, để rút ngắn thời gian và tiết kiệm đầu tư, có thể chỉ sử dụng mô hình toán. Trong giai đoạn quy hoạch, sử dụng mô hình toán không những có thể giải đáp các vấn đề nêu trên, mà còn chỉ trong một thời gian ngắn nghiên cứu rất nhiều phương án, tìm ra phương án tối ưu. Trong giai đoạn thiết kế, để đi sâu nghiên cứu một số vấn đề nào đó, đặc biệt là những vấn đề có tính 3D nổi bật, có thể sử dụng mô hình vật lý.

Còn đối với việc quan trắc hiện trường đối với đoạn sông nghiên cứu thì bất kỳ mô hình nào cũng là cần thiết. Mặc dầu số liệu thực đo chỉ có thể cung cấp những nhận thức định tính, nhưng vì đối tượng nghiên cứu là nguyên hình, không tồn tại vấn đề tham số tính toán trong mô hình toán có được lựa chọn thoả đáng hay không, cũng không tồn tại vấn đề ảnh hưởng của thu nhỏ kích thước trong mô hình vật lý, nên những nhận thức đó là vô cùng quan trọng. Ngoài ra, việc quan trắc hiện trường ở đoạn sông nghiên cứu có thể cung cấp cho mô hình toán và mô hình vật lý các tham số tính toán và thiết kế, các loại số liệu cần thiết để kiểm định mô hình, là điều không thể thiếu.

Như trên đã nói, hiện nay mô hình toán đang trong quá trình phát triển. Điểm mấu chốt của các nghiên cứu chủ yếu đề cập đến 2 khía cạnh: một là công thức tải cát và công thức sức cản của các hệ phương trình cơ bản, chúng khác với các phương trình khác, không phải là các công thức lý thuyết chặt chẽ, mà mang nhiều tính chất kinh nghiệm. Đặc biệt là các công thức kinh nghiệm đó thường chỉ thích dụng cho các trường hợp đơn giản (1D, dòng chảy ổn định, bùn cát đồng đều và tải cát cân bằng). Đối với các vấn đề 2D, 3D, trường hợp dòng chảy không đều và không ổn định, bùn cát không đồng đều và tải cát không cân bằng... những công thức đó biến đổi ra sao, mặc dầu đã có những nghiên cứu, nhưng vẫn chưa thật sự sáng tỏ, vì vậy khó làm cho mô hình phù hợp với thực tế. Khía cạnh thứ 2 là, để mở rộng phạm vi sử dụng của mô hình, nâng cao độ chính xác tính toán, bảo đảm tính ổn định và hội tụ của các nghiệm, cũng để giảm thiểu dung lượng bộ nhớ và tăng tốc độ tính toán, về phương pháp tính còn tồn tại nhiều cách lựa chọn, trong việc vận dụng kỹ thuật tính toán còn có nhiều điều phải làm. Những năm gần đây, mô hình toán phát triển thần tốc, chủ yếu thể hiện trong việc đổi mới và cải tiến phương pháp tính toán. Hiển nhiên để cho mô hình toán về diễn biến lòng sông ngày càng hoàn thiện, 2 điểm mấu chốt nói trên còn cần phải tốn nhiều công sức nghiên cứu.

Khác với mô hình toán, mô hình vật lý được phát triển sớm hơn. Lý thuyết tương tự làm cơ sở cho mô hình vật lý đã gần như định hình. Thí nghiệm mô hình sông lòng cứng đã sớm đạt đến giai đoạn hoàn thiện, độ tin cậy của các kết quả thí nghiệm là không còn phải nghi ngờ nữa. Gần 30 năm lại đây, việc thiết kế và vận hành các mô hình lòng động cũng đã tích lũy được những kinh nghiệm phong phú, kết quả thí nghiệm cũng dần dần có độ tin cậy cao. Công tác nghiên cứu chủ yếu hiện nay là tiếp tục hoàn thiện phương pháp thí nghiệm mô hình lòng động. Vấn đề nghiên cứu trọng điểm là ảnh hưởng của các loại biến thái như biến thái hình học, biến thái độ dốc, biến thái thời gian đối với các kết quả thí nghiệm; lựa chọn và chế tạo các loại cát mô hình nhẹ có tính năng tốt cùng tính chất cơ học của nó.

Cần phải chỉ rõ rằng, trong lĩnh vực diễn biến lòng sông hiện vẫn còn tồn tại một số vấn đề mà cả mô hình toán và mô hình vật lý đều chưa giải quyết được. Ví như nghiên cứu biến hình trên mặt bằng của lòng sông, tức là vấn đề dự báo sạt lở bờ sông, cả hai loại mô hình đều chưa có kết quả nào đáng kể. Điều đó nói lên rằng, việc mô hình hoá

nghiên cứu dự báo diễn biến lòng sông vẫn còn là một môn khoa học kỹ thuật mới, có nhiều tiền đồ phát triển.

Mô hình toán và mô hình vật lý, với những điều đã nói trên, như là hai phương pháp độc lập nhau. Thực ra, hai phương pháp đó có thể kết hợp với nhau để bổ trợ cho nhau. Ví dụ, mô hình toán có thể cung cấp điều kiện biên để mô hình vật lý chỉ phải tiến hành trong một đoạn ngắn, giảm bớt đầu tư. Mô hình vật lý lòng cứng có biên phức tạp có thể cung cấp số liệu về trường lưu tốc tương đối chính xác cho mô hình toán tiến hành tính toán bồi xói, mà tránh phải làm mô hình lòng động tốn kém và khó khăn. Tóm lại, với ý nghĩa là phương pháp nghiên cứu, hai loại mô hình toán và mô hình vật lý có thể thẩm thấu vào nhau để cùng giải quyết những vấn đề thực tế.

Tài liệu này chỉ đề cập về mô hình vật lý chủ yếu trong lĩnh vực nghiên cứu động lực học sông, ven bờ và công trình thủy.

Chương I

KHÁI QUÁT VỀ THÍ NGHIỆM MÔ HÌNH CÔNG TRÌNH THỦY

1.1. NHIỆM VỤ CƠ BẢN CỦA THÍ NGHIỆM MÔ HÌNH CÔNG TRÌNH THỦY

Thí nghiệm mô hình công trình thủy là từ một thực thể công trình thủy đã được xây dựng hoặc đang trong thiết kế (nguyên hình) dựa theo các chuẩn tắc tương tự để chế tạo thành một vật thể thu nhỏ (mô hình), trong đó tạo ra các quá trình động lực cần nghiên cứu để quan trắc, lấy số liệu phân tích, làm cơ sở cho việc kiểm chứng những kết quả tính toán lý thuyết, dự báo những hiệu quả kỹ thuật sẽ thu được, phục vụ cho các mục tiêu điều chỉnh nguyên hình.

Do đó, vận dụng phương pháp thí nghiệm mô hình công trình thủy không những có thể luận chứng một cách khách quan, sát thực tế, tính hợp lý của các phương án bố trí công trình, kiểm tra tính ổn định của kết cấu công trình thiết kế mà còn có thể dự báo những hiện tượng có thể phát sinh do tác động của công trình. Đồng thời, thí nghiệm mô hình công trình thủy còn được sử dụng như một phương pháp nghiên cứu khoa học khi kiểm chứng những ý tưởng lý thuyết, tìm kiếm mối quan hệ giữa các đại lượng khi tương tác giữa các loại công trình với môi trường nước. Hầu hết các công thức kinh nghiệm nói trên trong động lực học dòng sông và chỉnh trị sông đều thu được qua thí nghiệm mô hình.

Chính vì vậy, mô hình thí nghiệm công trình thủy được coi là môi giới trung gian giữa cơ học chất lỏng lý thuyết và thực tế công trình thủy.

Nói như vậy, không phải mô hình vật lý có thể giải quyết được tất cả các vấn đề của công trình thủy. Có những hiện tượng trong thực tế rất khó, thậm chí không thể thực hiện được tính tương tự trong mô hình, hoặc không có thiết bị thích hợp để quan trắc được trong mô hình. Những vấn đề đó sẽ được đề cập đến trong phần sau.

1.2. PHÂN LOẠI MÔ HÌNH CÔNG TRÌNH THỦY

1.2.1. Mô hình tương tự động tính và dị tính

Nếu mô hình có chất liệu của biên rắn và nước giống với nguyên hình, ta có mô hình tương tự đồng tính, quen gọi là mô hình thủy lực.

Nếu tính chất vật lý của chất liệu nguyên hình và mô hình không như nhau, nhưng đều tuân theo một quy luật toán học giống nhau, có thể thông qua nghiên cứu hiện tượng

này để tìm hiểu một hiện tượng khác, thì gọi là hiện tượng tương tự dị tính. Ví dụ: trường thấm và điện trường, khuếch tán chất lỏng và truyền nhiệt, dòng khí và dòng nước v.v... đều thuộc loại "tương tự dị tính" theo nghĩa rộng.

Trong tài liệu này, chủ yếu thảo luận loại mô hình tương tự đồng tính, tức mô hình thủy lực.

1.2.2. Các loại mô hình thủy lực

a) Theo phạm vi mô hình

- Khi nghiên cứu bố trí tổng thể công trình trên sông, cần phải chế tạo mô hình của toàn đoạn sông nghiên cứu và các loại công trình thiết kế để tiến hành thí nghiệm, đó là *mô hình tổng thể*.

- Khi các vấn đề nghiên cứu là bài toán 2 chiều, ví dụ xác định phân bố áp lực trên mặt công trình, nối tiếp dòng chảy và tiêu năng hạ lưu... thì chỉ cần đặt một đoạn của mô hình công trình vào máng kính để tiến hành thí nghiệm, đó là *mô hình mặt cắt*.

- Nếu loại công trình có 2 phía đối xứng, tình hình dòng chảy cũng đối xứng, có thể nghiên cứu một nửa rồi suy ra tổng thể, lúc đó sử dụng loại *mô hình bán tổng thể*.

b) Theo tính chất tương tự hình học của mô hình

- Khi mô hình được chế tạo theo cùng một tỷ lệ đối với tất cả các loại kích thước trên 3 chiều của nguyên hình, mô hình được gọi là *mô hình chính thái*.

- Nếu do hạn chế của một số điều kiện nào đó như độ nhám, trạng thái chảy v.v... kích thước hình học trên mặt bằng và trên phương thẳng đứng của nguyên hình không thể thu nhỏ theo cùng một tỷ lệ, mô hình được gọi là *mô hình biến thái*.

c) Theo tính chất biến hình của lòng dẫn mô hình

- Nếu trong mô hình chỉ quan trắc các yếu tố dòng chảy, quan sát kết cấu dòng chảy, mô hình có thể được chế tạo có lòng dẫn không bị biến hình dưới tác dụng của dòng chảy, gọi là *mô hình lòng cứng*.

- Nếu đối tượng nghiên cứu là diễn biến lòng sông, thì mô hình được chế tạo có lòng dẫn có thể xói, bồi, sạt lở... dưới tác dụng của dòng chảy trong mô hình, lúc đó ta có *mô hình lòng động*.

d) Theo nhiệm vụ và tính chất nghiên cứu chuyên đề

Theo nhiệm vụ và tính chất nghiên cứu chuyên đề, mô hình thủy lực có thể chia thành các loại chính như sau:

- Mô hình thủy công (đập, cống, dốc nước...);
- Mô hình sông ngòi (diễn biến sông, chỉnh trị sông...);
- Mô hình vô đập (hồ chứa...);
- Mô hình triều (cửa sông...);
- Mô hình sóng (bến cảng, đê chắn sóng, bảo vệ bờ biển...).

1.3. SƠ LƯỢC LỊCH SỬ PHÁT TRIỂN CỦA THÍ NGHIỆM MÔ HÌNH CÔNG TRÌNH THỦY

Học thuyết về hiện tượng tương tự đã được I.Newton đề cập đến trong tác phẩm công bố năm 1686. Nhưng cho mãi đến năm 1848, J.Bertrand mới là người đầu tiên xác định tính chất cơ bản của hiện tượng tương tự và đề xuất phương pháp phân tích thứ nguyên. Vào khoảng năm 1870, W.Froude tiến hành thí nghiệm về mô hình tàu thuyền, đề xuất số Froude nổi tiếng, đặt nền móng cho định luật tương tự về trọng lực. Năm 1885, O.Reynolds là người đầu tiên ứng dụng số Froude tiến hành thí nghiệm mô hình sông Mersey, nghiên cứu dòng chảy ở cửa sông ảnh hưởng triều. Năm sau, Veron - Harcourt lại tiến hành thí nghiệm mô hình cửa sông Rin. Năm 1898, H.Engels đã xây dựng thí nghiệm mô hình sông đầu tiên ở Đức, nghiên cứu diễn biến cửa sông thiên nhiên. Không lâu sau, J.R.Freeman xây dựng phòng thí nghiệm thủy công đầu tiên của cục tiêu chuẩn Mỹ. Về sau, việc xây dựng các phòng thí nghiệm công trình thủy được tiến hành rải rác ở nhiều nước Âu - Mỹ.

Về nghiên cứu lý thuyết, L.Prandtl, G.I.Taylor và T.V.Karman đều có những thành tựu lớn, nổi tiếng với các nghiên cứu về dòng chảy rối và lớp biên. Ngoài ra, F.Eisner, N.N. Pavlovskii, M.V.Kirpiiev và Nicuradze... cũng có những đóng góp đáng kể vào lý thuyết tương tự và kỹ thuật thực nghiệm.

Hiện nay, trên thế giới có những phòng thí nghiệm công trình thủy nổi tiếng như:

- Trạm thí nghiệm đường thủy của binh đoàn công binh Mỹ (WES);
- Phòng thí nghiệm thủy công của Liên Xô cũ (VNIIG);
- Phòng thí nghiệm thủy lực Quốc gia Pháp ở Chatou;
- Phòng thí nghiệm thủy lực của viện DELFT (Hà Lan);
- Phòng thí nghiệm thủy lợi, thủy điện trung ương của Ấn Độ (CWPRS).
- Các phòng thí nghiệm sông ngòi của Trung Quốc ở Bắc Kinh, Nam Kinh, Thiên Tân, Vũ Hán, Quảng Châu v.v...

Ở Việt Nam, phòng thí nghiệm mô hình về công trình thủy đầu tiên và duy trì hoạt động gần 40 năm nay là của Viện khoa học Thủy lợi. Những cơ sở thí nghiệm thủy lực có quy mô nhỏ hơn đã có ở trường Đại học Bách khoa, Đại học Xây dựng, Đại học Thủy lợi, Viện Nghiên cứu Điện lực, Viện khoa học Thủy lợi Miền Nam, Công ty Tư vấn Xây dựng Đường thủy thuộc TEDI...

Tình trạng chung của các cơ sở thí nghiệm mô hình công trình thủy là quy mô nhỏ, thiết bị lạc hậu, đội ngũ chưa được đào tạo đầy đủ.

Hiện nay, nhà nước đang đầu tư vào phòng thí nghiệm trọng điểm quốc gia về sông biển và các dự án xây dựng các trung tâm thí nghiệm mô hình công trình thủy lớn và hiện đại ở Khu công nghệ cao Hoà Lạc, Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam v.v...

Chương II

PHÉP PHÂN TÍCH THỨ NGUYÊN

Như đã nói, trong thế kỷ XVIII, đối với vấn đề dòng chảy có hai hướng khác nhau: Một hướng xây dựng trên cơ sở lý thuyết cơ học cổ điển, đi sâu tìm kiếm lời giải cho hệ phương trình chuyển động cơ bản của chất lỏng, trở thành môn cơ học chất lỏng cổ điển, một hướng khác xây dựng trên cơ sở thực nghiệm, giải quyết các vấn đề cụ thể các hiện tượng dòng chảy, trở thành môn thủy lực học. Cả hai hướng đều có hạn chế của riêng mình, có nhu cầu dựa vào nhau, thẩm thấu vào nhau để bổ sung cho nhau. Cuối thế kỷ XIX, xuất hiện một số phát triển quan trọng, đặt cơ sở cho môn cơ học chất lỏng cận đại, coi trọng cả lý thuyết và thực nghiệm và kết hợp chặt chẽ với nhau. Những phát triển mới đó là :

- Lý thuyết về lớp biên;
- Lý thuyết và thực nghiệm về chảy tầng, chảy rối;
- Phép phân tích thứ nguyên;
- Thí nghiệm mô hình dòng chảy.

Trong đó, cơ sở lý thuyết về thí nghiệm mô hình - lý thuyết tương tự được xây dựng từ phép phân tích thứ nguyên, vì vậy phép phân tích thứ nguyên có vai trò quan trọng trong lịch sử phát triển trong nghiên cứu chuyển động chất lỏng. Năm 1899, Releigh đầu tiên vận dụng nguyên lý điều hoà thứ nguyên nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ đối với tính nhớt của khí Ar. Năm 1914, Buckingham phát triển định lý tổng quát về phép phân tích thứ nguyên, nổi tiếng với tên định luật π .

Phép phân tích thứ nguyên không những giúp ta nhận thức quy luật nội tại của hiện tượng vật lý, giúp ta xây dựng các chuẩn tắc tương tự của mô hình, mà còn để kiểm nghiệm công thức, hoán đổi đơn vị, chỉ đạo tổ chức thí nghiệm, giảm thiểu số lượng các biến số trong phân tích số liệu thực nghiệm. Đối với những người làm công tác khoa học - kỹ thuật rất cần thiết có những kiến thức rõ ràng, sâu sắc về phép phân tích thứ nguyên.

2.1. THỨ NGUYÊN VÀ ĐƠN VỊ

2.1.1. Thứ nguyên

Tính chất vật lý của các loại vật chất trong tự nhiên có thể biểu thị bằng các đại lượng vật lý. Ví như tính chất vật lý của một miếng kim loại có thể thể hiện bằng các đại lượng

nếu : Độ dài, mật độ, độ dày, nhiệt độ, độ dẫn điện.... Thứ nguyên (dimension) là một khái niệm dùng để phân biệt các chủng loại của đại lượng vật lý, được diễn đạt bằng một ký hiệu đơn giản (chữ cái) và đóng mở bằng một ngoặc vuông []. Ví dụ thứ nguyên của độ dài là [L], thứ nguyên của mật độ (khối lượng riêng) là $[\rho]$...

Thứ nguyên có thể chia thành hai loại :

- Thứ nguyên không thể thay thế bằng thứ nguyên khác gọi là "thứ nguyên cơ bản": [L] (độ dài), [M] (khối lượng) và [T] (thời gian), hoặc [L], [F] (lực), [T]. Các thứ nguyên cơ bản nói trên là các thứ nguyên độc lập có tính chất hoàn toàn khác nhau. Bất kỳ một trong ba thứ nguyên đó đều không thể dùng hai thứ nguyên còn lại để biểu thị. Đối với đối tượng nghiên cứu bao gồm sự lưu động của nhiệt lượng mà không xét đến sự hoán đổi giữa nhiệt năng và cơ năng, trong hệ thống thứ nguyên cơ bản còn có thêm $[\theta]$ (nhiệt độ) và [H] (nhiệt lượng). Nếu xét quan hệ đương lượng nhiệt công, nhiệt độ và nhiệt lượng chỉ có một là thứ nguyên cơ bản. Đại lượng vật lý tương ứng với thứ nguyên cơ bản là đại lượng vật lý cơ bản.

- Loại thứ nguyên thứ hai là "thứ nguyên dẫn xuất", là thứ nguyên của "đại lượng vật lý dẫn xuất".

Sau khi xác định được thứ nguyên cơ bản, thứ nguyên dẫn xuất có thể được biểu thị bằng thứ nguyên cơ bản.

Đại lượng vật lý dẫn xuất có thể tìm được thông qua định nghĩa do con người đặt ra hoặc từ định luật vật lý, cuối cùng có thể biến thành tích số mũ của đại lượng vật lý cơ bản. Như tốc độ được định nghĩa là độ dài dịch chuyển trong một đơn vị thời gian, tức $V = ds/dt$. Căn cứ vào định nghĩa đó, thứ nguyên dẫn xuất của tốc độ là $[V] = [L]/[T] = [LT^{-1}]$. Hoặc như hệ số nhớt động học ν , căn cứ vào định luật tính nhớt của chuyển động tầng

của Newton, được định nghĩa là $\nu = \frac{\tau}{\rho \frac{dV}{dz}}$. Xuất phát từ định nghĩa đó, thứ nguyên dẫn

xuất của ν là $[\nu] = [\tau] [L]/[\rho][V]$. Vì τ là ứng suất tiếp, tức là lực trên một đơn vị diện tích, mà theo Newton, $F = ma$. Định nghĩa của gia tốc a là sự thay đổi tốc độ trong một đơn vị thời gian, ρ là khối lượng của một đơn vị thể tích, vì vậy ta có:

$$\begin{aligned} [\tau] &= \frac{[F]}{[A]} = \frac{[M] \left[\frac{L}{T^2} \right]}{[L^2]} = [ML^{-1}T^{-2}] \\ [\rho] &= \frac{[M]}{[L^3]} = [ML^{-3}] \\ [\nu] &= [LT^{-1}] \\ [\nu] &= \frac{[ML^{-1}T^{-2}L]}{[ML^{-3}LT^{-1}]} = [L^2T^{-1}] \end{aligned}$$

Tỷ số giữa hai đại lượng vật lý giống nhau dẫn đến một đại lượng vật lý không thứ nguyên, gọi là đại lượng không thứ nguyên. Ví dụ như: độ dốc, tỷ trọng, hệ số Reynolds, thứ nguyên của chúng là $[M^0L^0T^0]$. Bảng 2.1 thống kê thứ nguyên của một số đại lượng vật lý thường gặp trong cơ học chất lỏng.

Từ đây có thể thấy, cùng một đại lượng vật lý, nếu chọn thứ nguyên cơ bản khác nhau, sẽ dẫn đến thứ nguyên dẫn xuất khác nhau, nhưng thuộc tính của đại lượng vật lý không đổi. Do đó, cái gọi là thứ nguyên chỉ có ý nghĩa ước định, nó có thể thay đổi theo ý muốn của con người. Điều này rất quan trọng.

Bảng 2.1

Đại lượng vật lý	Ký hiệu thường dùng	Thứ nguyên		Đơn vị	Ghi chú
		Thứ nguyên cơ bản MLT	Thứ nguyên cơ bản FLT	Hệ SI	
Chiều dài	l	[L]	[L]	m	mét
Thời gian	t	[T]	[T]	s	giây
Khối lượng	m	[M]	[FT ² /L]	kg	kilôgam
Lực	F	[ML/T ²]	[F]	N	Newton
Tốc độ	v	[L/T]	[L/T]	m/s	
Gia tốc	a (g)	[L/T ²]	[L/T ²]	m/s ²	
Diện tích	A	[L ²]	[L ²]	m ²	
Thể tích	V	[L ³]	[L ³]	m ³	
Lưu lượng	Q	[L ³ /T]	[L ³ /T]	m ³ /s	
Mật độ	ρ	[M/L ³]	[FT ² /L ⁴]	kg/m ³	
Dung trọng	γ	[M/L ² T ²]	[F/L ³]	N/m ³	
Áp suất (hực cắt)	p (τ)	[M/LT ²]	[F/L ²]	N/m ² , Pa	Pascal
Công (năng lượng)	W (E)	[ML ² /T ²]	[FL]	J	Joule
Công suất	P	[ML ² /T ³]	[FL/T]	W	Oat
Hệ số nhớt động lực	μ	[M/LT]	[FL/T ²]	Pa.s	
Hệ số nhớt động học	ν	[L ² /T]	[L ² /T]	m ² /s	

2.1.2. Đơn vị

Đại lượng vật lý và thứ nguyên chỉ phản ánh tính chất vật lý của vật chất, không thể diễn đạt về lượng của vật chất đó. Con người dùng nhiều biện pháp để phản ánh số lượng: Trong một đại lượng vật lý, quy định một số lượng của đại lượng vật lý đó làm trị số cơ bản hoặc lượng tiêu chuẩn. Dùng chỉ số cơ bản để đo đếm đại lượng vật lý đó. Bội số của trị số cơ bản gọi là "số". Trị số cơ bản được định nghĩa là "đơn vị" của đại lượng vật lý. Dùng bội số của trị số cơ bản, tức là số đơn vị, có thể biểu đạt đầy đủ khái niệm số lượng của đại lượng vật lý.

Như vậy, mỗi loại thứ nguyên đều có đơn vị tương ứng của nó. Thứ nguyên cơ bản tương ứng có đơn vị cơ bản, thứ nguyên dẫn xuất có đơn vị dẫn xuất, đó là điểm chung của các loại thứ nguyên. Nhưng điểm không giống nhau giữa chúng là cùng một loại thứ nguyên tồn tại các đơn vị khác nhau, hơn nữa cùng một loại đơn vị đo lường cũng có phân chia những thứ bậc khác nhau, trị số đo được không giống nhau, nhưng mức độ lớn bé mà lượng đó biểu đạt vẫn không đổi.

Ví dụ, đơn vị chiều dài của hệ thống đơn vị quốc tế (SI) là m. Dùng đơn vị đó để đo chiều dài một vật ví dụ được 1,25 m, tức là vật đó gấp 1,25 lần độ dài 1 m. Nếu ta dùng đơn vị độ dài của Anh là ft (feet) để đo, kết quả được là $1,25 \times 3,281 \text{ ft} = 4,10125 \text{ ft}$. Bây giờ lại dùng đơn vị cm trong hệ SI để đo vật đó, kết quả ta được sẽ là $1,25 \times 100 \text{ cm} = 125 \text{ cm}$. Trị số của ba loại đơn vị khác nhau, nhưng độ dài mà nó biểu đạt chỉ là một. Đó là vì $1 \text{ m} = 3,281 \text{ ft} = 100 \text{ cm}$, trong đó 3,281 và 100 là hệ số chuyển đổi của đơn vị dài.

2.1.3. Chuyển đổi đơn vị

Tổng quát, giả thiết có 3 loại đơn vị cơ bản trong một hệ thống đo lường là U_1, U_2, U_3 , còn ba loại đơn vị của hệ thống khác là U'_1, U'_2, U'_3 . Giữa hai loại có mối quan hệ chuyển đổi :

$$U_1 = AU'_1$$

$$U_2 = BU'_2$$

$$U_3 = CU'_3$$

Giả thiết thứ nguyên của đại lượng đang xét là $[M^a L^b T^c]$, tương ứng ta có dẫn xuất của hai hệ thống đo lường là U_1^a, U_2^b, U_3^c và $U_1'^a, U_2'^b, U_3'^c$. Dùng các hệ thống đơn vị đó để đo đại lượng vật lý ta có các trị số tương ứng là x và x' .

Ta có :

$$\begin{aligned} x(U_1^a U_2^b U_3^c) &= x[(AU'_1)^a (BU'_2)^b (CU'_3)^c] \\ &= xA^a B^b C^c (U_1'^a U_2'^b U_3'^c) \end{aligned}$$

$$\text{Vì vậy} \quad x' = xA^a B^b C^c \quad (2-1)$$

Trong ví dụ trước về đo chiều dài của một đại lượng vật lý cơ bản, $a = 0, b = 1, c = 0$, $U_2 = \text{m}, U'_2 = \text{ft}$ (hoặc cm) và $B = 3,281$ (hoặc 100). Kết quả đo là 1,25, do đó:

$$x' = 1,25 \times 3,281 \text{ ft} \text{ (hoặc } 1,25 \times 100 \text{ cm)} = 4,10125 \text{ ft} \text{ (hoặc } 125 \text{ cm)}.$$

Đối với những đại lượng vật lý phức tạp, ví dụ như hệ số nhớt động học, trị số đo bằng Stokes (cm^2/s) là $1,007 \times 10^{-2}$, nếu đo bằng đơn vị quốc tế m^2/s thì $a = 0, b = 2, c = -1, U_2 = \text{m}, U_3 = \text{s}, U_2' = \text{cm}, U_3' = \text{s}, B = 100$. Như vậy ta có: $x' = 1,007 \times 10^{-2} = x \cdot 100^2 \times 1^{-1}$. Suy ra $x = 1,007 \times 100^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

Từ công thức (2-1) có thể thấy rõ, khi đại lượng vật lý có một thứ nguyên nhất định, nếu sử dụng đơn vị khác nhau, kết quả thu được trị số sẽ không giống nhau, nhưng tất nhiên bản thân đại lượng vật lý không hề biến đổi. Ngoài ra, cũng có thể thấy, nếu đại lượng cần đo là một tập hợp không thứ nguyên do một số đại lượng vật lý tạo thành, vì $a = b = c = 0$, thì sử dụng hệ thống đơn vị cơ bản nào thì trị số x và x' đo được cũng bằng nhau, tức là trị số to nhỏ của đại lượng không thứ nguyên là không đổi.

Điều đó có nghĩa rằng: Đối với cùng một nhóm đại lượng vật lý, dùng đơn vị cơ bản nhỏ đo lường, trị số thu được cho đại lượng vật lý tương đối lớn, ngược lại dùng đơn vị cơ bản lớn để đo lường, trị số thu được tương đối nhỏ, nhưng sự lớn nhỏ đó không làm thay đổi trị số tổ hợp không thứ nguyên do các đại lượng vật lý tạo thành.

Thiết tưởng, dùng cùng một loại đơn vị để đo hai đại lượng vật lý có cùng thuộc tính nhưng lớn bé khác nhau, trị số thu được cho mỗi đại lượng tất nhiên cũng lớn bé khác nhau. Nhưng trong một điều kiện thích đáng, cũng có thể giống như vậy, không làm thay đổi của trị số tổ hợp không thứ nguyên. Vì vậy trị số tổ hợp không thứ nguyên không thay đổi, vừa có thể hiểu là của đại lượng vật lý lớn, vừa có thể hiểu là của đại lượng vật lý bé.

Như vậy, nếu chúng ta tiến thêm một bước chứng minh được rằng phương trình vật lý mô tả một hiện tượng vật lý nào đó, có thể cải tổ thành một phương trình tương đương do các tổ hợp không thứ nguyên tạo thành, thì có nghĩa là hai nhóm đại lượng vật lý lớn bé khác nhau, có thể mô tả bởi cùng một phương trình vật lý mà hệ số hoàn toàn bằng nhau. Đến đây, chúng ta đã sơ bộ nhận thấy quan hệ giữa phân tích thứ nguyên và lý thuyết tương tự.

2.2. TÍNH CHẤT ĐỒNG NHẤT THỨ NGUYÊN VÀ ĐỒNG BẬC CỦA PHƯƠNG TRÌNH VẬT LÝ

2.2.1. Phương trình vật lý

Chúng ta đã có các khái niệm "thứ nguyên", "đơn vị" và "trị số" phản ánh tính chất và số lượng của đại lượng vật lý.

Công thức $v = \sqrt{2gh}$ mô tả quy luật chuyển động rơi tự do của một vật. Một vật rơi tự do từ một độ cao $h(m)$, chịu tác dụng của sức hút trái đất, tốc độ sau khi rơi được $h(m)$ là $\sqrt{2.9,81.h}$ m/s.

Phương trình chung của quá trình vật lý có thể viết là :

$$f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) = 0$$

trong đó, trị số và chủng loại các biến lượng mà công thức bao gồm, trước khi bài toán được giải vẫn còn là giả định. $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ đại biểu cho các đại lượng vật lý, trong đó

có thể một số là biến lượng, một số là hằng số; f là hàm số chưa được xác định, nó không phải là quan hệ hàm số toán học của dạng bất kỳ mà là hàm số chịu sự ràng buộc của một loại điều kiện nào đó. Điều kiện ràng buộc đó làm cho phương trình hoàn chỉnh.

2.2.2. Phương trình vật lý hoàn chỉnh

Để có thể phản ánh quy luật chuyển động khách quan, phương trình vật lý tất phải có một điều kiện tiên quyết. Điều kiện tiên quyết đó được xác lập trên cơ sở khái niệm sau: Quy luật chuyển động đã tồn tại khách quan, mà đơn vị đại lượng dùng để mô tả quy luật chuyển động lại được quyết định một cách chủ quan, thì đơn vị do con người chọn ra đó tất nhiên không thể ảnh hưởng đến tính khách quan của quy luật chuyển động, cũng tức là hình thức của phương trình không thay đổi theo sự thay đổi của đơn vị của các đại lượng vật lý.

Điều kiện đó đã quy định quan hệ thứ nguyên giữa các đại lượng vật lý của phương trình vật lý. Tính chất thoả mãn yêu cầu về quan hệ thứ nguyên gọi là "thứ nguyên đồng nhất", phương trình tương ứng với tính chất đó gọi là phương trình vật lý hoàn chỉnh.

2.2.3. Thứ nguyên đồng nhất và tính đồng bậc

Giả thiết có phương trình vật lý hoàn chỉnh:

$$y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (2-2)$$

Thứ nguyên của các đại lượng trong phương trình là:

$$[y] = [M^a L^b T^c] \quad (2-3)$$

$$[x_i] = [M^{a_i} L^{b_i} T^{c_i}] \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (2-4)$$

hoặc rõ ràng hơn, ta có bảng thứ nguyên của các biến lượng như sau:

Bảng 2.2

Biến lượng Số mũ Thứ nguyên					
	y	x_1	x_2		x_n
M	a	a_1	a_2		a_n
T	b	b_1	b_2		b_n
L	c	c_1	c_2		c_n

Nếu bây giờ thay đổi một hệ thống đơn vị cơ bản khác, từ công thức (2-1) ta có các trị số tương ứng của các đại lượng vật lý trong phương trình (2-2) như sau:

(2-5)

Giả thiết hình thức của phương trình không đổi, ta phải có :

(2-6)

$$K_y = f(K_1x_1, K_2x_2, K_3x_3 \dots K_nx_n)$$

Phương trình đồng bậc này thường gặp nhất là các phương trình số hạng của các tích hàm số mũ của các biến lượng tạo thành, như:

$$y = \sum_{i=1}^m K_i x_1^{\alpha_{1i}} x_2^{\alpha_{2i}} \dots x_n^{\alpha_{ni}}$$

$$y = x_1 + x_2 + x_3 \dots + x_n \quad (2-7)$$

(2-7)

$$y = Kx_1^{\alpha_1} x_2^{\alpha_2} \dots x_n^{\alpha_n} \quad (2-8)$$

(2-8)

Giả thiết thứ nguyên của $y, x_1, x_2, \dots, x_n$ lần lượt là :

$$[M^a L^b T^c], [M^a L^b T^c], [M^a L^b T^c], \dots, [M^a L^b T^c]$$

Quan hệ giữa các thứ nguyên có thể viết thành:

$$[M^a L^b T^c] = [M^{a_1} L^{b_1} T^{c_1}]^{\alpha_1} [M^{a_2} L^{b_2} T^{c_2}]^{\alpha_2} \dots [M^{a_n} L^{b_n} T^{c_n}]^{\alpha_n}$$

Thoả mãn điều kiện thứ nguyên đồng nhất cần có:

$$\left. \begin{aligned} a &= a_1 \alpha_1 + a_2 \alpha_2 + \dots + a_n \alpha_n \\ b &= b_1 \alpha_1 + b_2 \alpha_2 + \dots + b_n \alpha_n \\ c &= c_1 \alpha_1 + c_2 \alpha_2 + \dots + c_n \alpha_n \end{aligned} \right\} \quad (2-9)$$

Đó chính là công thức cơ bản để tiến hành phân tích thứ nguyên. Từ (2-11) có thể dễ dàng nhận thấy, nếu số biến lượng không quá 3 thì 3 ẩn số $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ đều được giải (vì $a, b, c, a_1, a_2, a_3 \dots$ đều đã biết). Nếu số biến lượng nhiều hơn 3, thì các ẩn số α_i tìm được còn chưa hết. Vì vậy chỉ có thể xác định trị số tương đối của α_i mà không thể xác định trị số tuyệt đối của nó.

Sự ứng dụng phép phân tích thứ nguyên không giới hạn ở phương trình đại số thông thường, mà còn có thể ứng dụng cho phương trình hàm số mũ có chứa các số hạng tích phân hoặc vi phân. Nhưng đối với những hàm siêu việt như những phương trình có chứa hàm số lượng giác, hàm số logarit, hàm số lũy thừa thì không thể ứng dụng được. Trong trường hợp đó chỉ có các biến lượng đều có thể chuyển hoá thành các tổ hợp không thứ nguyên mới có thể vận dụng phép phân tích thứ nguyên.

2.3. PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH THỨ NGUYÊN THEO ĐỊNH LUẬT RELEIGH

Những kết luận ở các phần trên là dạng thức của phương trình hoàn chỉnh mô tả một quá trình vật lý không thay đổi khi thay đổi đơn vị đo lường của đại lượng vật lý, đó là tính đồng nhất thứ nguyên của phương trình. Phương trình có tính chất đó tất sẽ đồng bậc. Đồng bậc là biểu hiện cụ thể của tính thứ nguyên đồng nhất của phương trình vật lý.

Một phương trình vật lý khi đã hoàn chỉnh tất phải thoả mãn điều kiện thứ nguyên đồng nhất. Ngược lại, chúng ta lợi dụng phải thoả mãn điều kiện đó của phương trình vật lý hoàn chỉnh để đi tìm kết cấu của phương trình vật lý, đó chính là phép phân tích thứ nguyên. Phép phân tích thứ nguyên được xác lập trên cơ sở giả định hàm số là tích số mũ của các biến lượng gọi là phép phân tích thứ nguyên Releigh, do Releigh đề xuất năm 1899.

2.3.1. Nội dung cơ bản và các bước vận dụng định luật Releigh

Releigh giả thiết rằng hiện tượng vật lý có thể biểu thị bằng tích số mũ các biến lượng như đã nói ở trên:

$$y = \text{const.} x_1^{\alpha_1} x_2^{\alpha_2} \dots x_n^{\alpha_n} \quad (2-10)$$

trong đó $x_1, x_2 \dots x_n$ là các đại lượng vật lý có ảnh hưởng đến y , thứ nguyên của chúng có thể dùng m thứ nguyên cơ bản để thể hiện:

$$[y] = [D^a_1 D^b_2 D^c_3 \dots]$$

$$[x] = [D^{a_i}_1 D^{b_i}_2 D^{c_i}_3 \dots] \quad (i = 1, 2, 3 \dots n)$$

Từ điều kiện đồng nhất thứ nguyên ta có:

$$\left. \begin{aligned} \sum a_i \alpha_i &= a \\ \sum b_i \alpha_i &= b \\ \sum c_i \alpha_i &= c \end{aligned} \right\} m \text{ phương trình}$$

m là tổng số thứ nguyên cơ bản mà y và x_i đề cập đến (thông thường $m = 3$: M, L, T).

Khi $n = m$, α_i có lời giải cụ thể duy nhất, khi $n > m$, có thể biểu thị m trị số α bằng $(n-m)$ số mũ chưa biết.

Các bước ứng dụng sẽ là:

- 1) Xác định các yếu tố độc lập ảnh hưởng đến hiện tượng vật lý cần nghiên cứu, giả định quan hệ hàm số (tích số mũ các biến lượng);
- 2) Đưa thứ nguyên của các đại lượng vật lý chuyển thành thứ nguyên cơ bản, viết công thức thứ nguyên;
- 3) Viết phương trình đồng nhất thứ nguyên, giải ra trị số mũ của các đại lượng vật lý;
- 4) Đưa kết quả giải vào quan hệ hàm số giả định ban đầu, tiến hành chỉnh lý và đơn giản hoá cần thiết để sử dụng tiện lợi và ý nghĩa vật lý rõ ràng;
- 5) Sau khi kết thúc công việc phân tích thứ nguyên, tiến hành thí nghiệm để xác định các hệ số, nếu có.

2.3.2. Ví dụ ứng dụng

Tìm phương trình mô tả sức cản mà một hạt bùn cát phải chịu khi chìm xuống trong nước tĩnh và trong.

Căn cứ vào kinh nghiệm thực tế và phân tích lý thuyết, các yếu tố vật lý có liên quan đến sức cản F mà bùn cát gặp phải trong quá trình chìm xuống bao gồm: đường kính hạt d , tốc độ chìm ω , khối lượng riêng của nước ρ , hệ số nhớt động lực của nước μ .

Phương trình vật lý có thể được biểu đạt bởi tích của hàm số mũ như sau:

$$F = K.d^{\alpha_1} \omega^{\alpha_2} \rho^{\alpha_3} \mu^{\alpha_4} \quad (2-11)$$

Thứ nguyên của các đại lượng vật lý là:

$$[F] = \left[\frac{ML}{T^2} \right]; [\omega] = \left[\frac{L}{T} \right]; [\mu] = \left[\frac{M}{LT} \right]; [d] = [L]; [\rho] = \left[\frac{M}{L^3} \right]$$

Vì vậy, quan hệ thứ nguyên của phương trình vật lý (2-11) là:

$$\left[\frac{ML}{T^2} \right] = [L]^{\alpha_1} \left[\frac{L}{T} \right]^{\alpha_2} \left[\frac{M}{L^3} \right]^{\alpha_3} \left[\frac{M}{LT} \right]^{\alpha_4} \quad (2-12)$$

Vì thứ nguyên cơ bản chỉ có 3, để thỏa mãn điều kiện đồng nhất thứ nguyên, ta có thể viết 3 phương trình sau:

$$\left. \begin{array}{l} M : \quad 1 = \alpha_3 + \alpha_4 \\ L : \quad 1 = \alpha_1 + \alpha_2 - 3\alpha_3 - \alpha_4 \\ T : \quad -2 = -\alpha_2 - \alpha_4 \end{array} \right\} \quad (2-13)$$

Giải (2-13) ta có: $\alpha_1 = 2 - \alpha_4$, $\alpha_2 = 2 - \alpha_4$, $\alpha_3 = 1 - \alpha_4$

Thay vào (2-11) thu được:

$$F = K \left(\frac{1}{\frac{d\omega\rho}{\mu}} \right)^{\alpha_4} d^2 \rho \omega^2 \quad (2-14)$$

Đó là phương trình vật lý mô tả sức cản mà hạt bùn cát phải chịu trong quá trình chìm xuống nước, nó biểu thị quan hệ hàm số giữa các đại lượng vật lý. Hệ số K và số mũ α_4 sẽ được xác định từ số liệu thực đo hoặc thí nghiệm mô hình. Kết quả thu được qua phân tích thứ nguyên, phương trình (2-14) hoàn toàn tương đồng với kết cấu của biểu thức thu được từ phân tích cơ học.

Vì trong nhóm phương trình (2-13), số ẩn lớn hơn số phương trình, kết quả trên là dùng α_4 để biểu đạt α_1 , α_2 , α_3 . Nếu chọn α_3 để biểu đạt α_1 , α_2 và α_4 ta sẽ có:

$$F = K \left(\frac{d\omega\rho}{\mu} \right)^{\alpha_3} d\omega\mu \quad (2-15)$$

Hai phương trình (2-14), (2-15) về hình thức là khác nhau, nhưng nếu tính đổi $1 = \alpha_3 + \alpha_4$, đổi α_3 thành α_4 thì kết quả thu được sẽ hoàn toàn như nhau, do đó không có sai khác về bản chất.

Nhưng trên hình thức, phương trình (2-14) cho F khái niệm về ý nghĩa vật lý rõ ràng hơn.

Phương trình vật lý tìm được theo phương pháp trên có chính xác hay không, phụ thuộc rất nhiều vào sự chọn lựa các đại lượng vật lý tham dự vào hiện tượng vật lý, sao

cho không để sót đại lượng vật lý quan trọng, không chọn vào các đại lượng thứ yếu. Việc lựa chọn số mũ làm tham số có thỏa đáng hay không cũng ảnh hưởng đến kết quả thu được. Việc lựa chọn chính xác chỉ có thể dựa vào số liệu quan trắc, kinh nghiệm thực tiễn và nhận thức lý thuyết mà có được, bản thân phép phân tích thứ nguyên không giúp được gì cho vấn đề này.

Từ trên ta biết, khi phương trình vật lý bao gồm n đại lượng vật lý, căn cứ vào 3 thứ nguyên cơ bản viết ra 3 phương trình. Chỉ có thể dùng $(n-3)$ số mũ tham số để biểu đạt 3 số mũ còn lại mới có thể tìm được nghiệm của loại phương trình đó, không những rất phiền phức mà kết quả tìm được thường là không rõ ràng. Để có kết quả khúc chiết, mạch lạc, bản thân phép phân tích thứ nguyên thông thường không thể giải quyết được. Ngoài ra, kết quả có chính xác hay không còn có liên quan đến việc giả thiết phương trình có dạng tích hàm mũ có phù hợp với thực tế hay không. Hiển nhiên, giả định đó chỉ phù hợp với quá trình vật lý đơn giản. Nếu quá trình vật lý phức tạp, bao gồm rất nhiều đại lượng vật lý, thì giả định đó có thể không phù hợp với thực tế. Trong trường hợp đó, thì sẽ phải sử dụng đến phép phân tích thứ nguyên tổng hợp hơn, đó là định luật π .

2.4. PHÉP PHÂN TÍCH THỨ NGUYÊN THEO ĐỊNH LUẬT π

Định luật π là phép phân tích thứ nguyên có ý nghĩa phổ biến hơn, do Buckingham đề xuất đầu tiên (1914). Sử dụng phương pháp này, có thể chuyển đổi một quan hệ hàm số chưa biết có nhiều biến lượng dạng:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \quad (2-16)$$

thành dạng một quan hệ hàm số khác nhau bao gồm $n-k$ tổ hợp không thứ nguyên:

$$f(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n) = 0 \quad (2-17)$$

Tư tưởng cơ bản của phép phân tích thứ nguyên này là không dùng thứ nguyên cơ bản của đại lượng vật lý cơ bản để mô tả các đại lượng vật lý khác, hoặc nói một cách khác là không dùng các đơn vị cơ bản tương ứng với các thứ nguyên cơ bản để đo lường các đại lượng vật lý khác, mà sẽ dùng một số đại lượng vật lý cơ bản mới, độc lập với nhau mà bao gồm được toàn bộ thứ nguyên cơ bản hoặc chọn một cách tỉ mỉ để mô tả các đại lượng vật lý khác, hoặc cũng có thể nói dùng các đại lượng vật lý cơ bản mới làm đơn vị để đo lường các đại lượng vật lý khác. Trong mục trước đã chỉ rõ, các đại lượng vật lý và các thứ nguyên cơ bản hoặc đơn vị cơ bản tương ứng đều do con người chọn định. Về nguyên tắc, hoàn toàn có thể lựa chọn các đại lượng vật lý khác và các thứ nguyên cũng như đơn vị cơ bản tương ứng khác để đo lường các đại lượng vật lý. Cách làm như vậy trong cuộc sống đời thường cũng hay gặp, không có gì đặc biệt. Ví dụ có thể đo thời gian bằng "dập bã trầu", "cháy 3 que hương". Rõ ràng đơn vị thời gian không phải là giờ, phút, giây mà là độ dài que hương và tốc độ cháy của nó để đo thời gian. Nếu que hương dài 20 cm, tốc độ cháy của nó là 1 cm/phút, thì thời gian để cháy hết 3 que hương

là 60 phút. Như vậy dùng thứ nguyên hoặc đơn vị của một đại lượng vật lý khác để mô tả hoặc đo lường cùng một đại lượng vật lý về bản chất không có gì khác nhau.

Trong phạm trù chuyển động cơ học, thứ nguyên cơ bản và đơn vị cơ bản thường dùng có 3 cái, đại lượng vật lý cơ bản mới được chọn cũng nên là 3, tức $K = 3$. Ba đại lượng vật lý cơ bản mới nên bao gồm được 3 thứ nguyên cơ bản cũ, mà lại độc lập với nhau, tức là một trong 3 đại lượng vật lý cơ bản đó không thể được thay thế bằng một tổ hợp nào đó của một hoặc hai đại lượng còn lại. Đó là vì, chỉ có bao gồm được hết 3 thứ nguyên cơ bản mới có thể mô tả được tất cả các đại lượng vật lý, chỉ có độc lập với nhau thì khi phân tích thứ nguyên số ẩn số mới vừa bằng số phương trình có thể viết ra, ta mới có lời giải xác định. Nếu không, số ẩn số nhỏ hơn số phương trình sẽ xuất hiện mâu thuẫn.

Giả thiết chọn các đại lượng vật lý x_{n-2} ; x_{n-1} ; x_n trong phương trình (2-16) làm đại lượng vật lý cơ bản mới, dùng tích hàm số mũ của chúng $x_{n-2}^{\alpha_{1i}} x_{n-1}^{\alpha_{2i}} x_n^{\alpha_{3i}}$ để mô tả hoặc đo lường các đại lượng $x_1, x_2, \dots, x_n$. Ta có:

$$f\left(\frac{x_1}{x_{n-2}^{\alpha_{11}} x_{n-1}^{\alpha_{21}} x_n^{\alpha_{31}}}, \frac{x_2}{x_{n-2}^{\alpha_{12}} x_{n-1}^{\alpha_{22}} x_n^{\alpha_{32}}}, \dots, \frac{x_n}{x_{n-2}^{\alpha_{1n}} x_{n-1}^{\alpha_{2n}} x_n^{\alpha_{3n}}}\right) = 0 \quad (2-18)$$

Tích hàm số mũ giữa các đại lượng vật lý được mô tả và các đại lượng vật lý cơ bản mới phải đồng nhất về thứ nguyên, vì vậy ta có:

$$\left. \begin{aligned} [x_1] &= [x_{n-2}]^{\alpha_{11}} [x_{n-1}]^{\alpha_{21}} [x_n]^{\alpha_{31}} \\ [x_2] &= [x_{n-2}]^{\alpha_{12}} [x_{n-1}]^{\alpha_{22}} [x_n]^{\alpha_{32}} \\ &\dots \\ [x_n] &= [x_{n-2}]^{\alpha_{1n}} [x_{n-1}]^{\alpha_{2n}} [x_n]^{\alpha_{3n}} \end{aligned} \right\} \quad (2-19)$$

Thay thứ nguyên của $x_1, x_2, \dots, x_n$ vào phương trình trên sẽ giải được $\alpha_{1i}, \alpha_{2i}, \alpha_{3i}$ ($i = 1, 2, \dots, n$).

Có thể thấy rằng, 3 số hạng cuối của (2-18) đều bằng 1.

Lấy $\frac{x_n}{x_{n-2}^{\alpha_{1n}} x_{n-1}^{\alpha_{2n}} x_n^{\alpha_{3n}}}$ làm ví dụ, vì $\alpha_{1n} = 0, \alpha_{2n} = 0, \alpha_{3n} = 1$ nên $x_n/x_n = 1$. Như vậy phương trình (2-16) chuyển thành phương trình (2-17).

$$f(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_{n-k}) = 0$$

π trong phương trình là một tổ hợp không thứ nguyên, những loại tổ hợp này có 2 loại:

- Một loại là tổ hợp mà trong đó thứ nguyên của biến lượng ban đầu không giống với bất kỳ một thứ nguyên của đại lượng vật lý mới, vì vậy cần dùng 2 hoặc hơn 2 đại lượng vật lý cơ bản khác để mô tả, hoặc đó gọi là tổ hợp phức thể.

- Loại thứ 2 là tổ hợp mà thứ nguyên của biến lượng ban đầu giống thứ nguyên của 1 trong các đại lượng vật lý cơ bản mới, như vậy chỉ cần dùng một đại lượng vật lý mới là có thể miêu tả được, loại tổ hợp không thứ nguyên này gọi là tổ hợp đơn thể.

Ngoài ra, trong các biến lượng được mô tả, cũng có thể tồn tại đại lượng vật lý có thứ nguyên giống nhau nhưng tính chất lại không hoàn toàn giống nhau. Lúc đó dạng kết cấu của π hoàn toàn giống nhau, nhưng bản chất vật lý của tổ hợp không thứ nguyên lại không giống nhau.

Vẫn lấy ví dụ về phương trình sức cản của hạt bùn cát chìm lắng để thuyết minh quá trình vận dụng của định luật π .

Phương trình vật lý mô tả sức cản mà hạt bùn cát phải chịu trong quá trình chìm trong nước có dạng tổng quát như sau:

$$f(F, d, \omega, \rho, \mu) = 0 \quad (2-20)$$

Tìm phương trình vật lý cụ thể về sức cản F .

- Chọn d, ω, ρ làm đại lượng vật lý cơ bản, dùng chúng để biểu đạt năm đại lượng F, d, ω, ρ, μ như sau:

$$\left. \begin{aligned} F &= \pi_1 d^{\alpha_{11}} \omega^{\alpha_{21}} \rho^{\alpha_{31}} \\ \mu &= \pi_2 d^{\alpha_{12}} \omega^{\alpha_{22}} \rho^{\alpha_{32}} \\ d &= \pi_3 d^{\alpha_{13}} \omega^{\alpha_{23}} \rho^{\alpha_{33}} \\ \omega &= \pi_4 d^{\alpha_{14}} \omega^{\alpha_{24}} \rho^{\alpha_{34}} \\ \rho &= \pi_5 d^{\alpha_{15}} \omega^{\alpha_{25}} \rho^{\alpha_{35}} \end{aligned} \right\} \quad (2-21)$$

Các số mũ $\alpha_{1i}, \alpha_{2i}, \alpha_{3i}$ ($i = 1, 2, 3, 4, 5$) là các số mũ cần xác định.

Căn cứ vào nguyên tắc thứ nguyên đồng nhất, đối với phương trình thứ nhất ta có:

$$\left[\frac{ML}{T^2} \right] = [L]^{\alpha_{11}} \left[\frac{L}{T} \right]^{\alpha_{21}} \left[\frac{M}{L^3} \right]^{\alpha_{31}}$$

từ 3 thứ nguyên hàm chứa trong phương trình ta có thể viết 3 phương trình:

$$\begin{aligned} M: \quad & 1 = \alpha_{31} \\ L: \quad & 1 = \alpha_{11} + \alpha_{21} - 3\alpha_{31} \\ T: \quad & -2 = -\alpha_{21} \end{aligned}$$

Giải ra: $\alpha_{11} = 2, \alpha_{21} = 2, \alpha_{31} = 1$ và $\pi_1 = \frac{F}{d^2 \omega^2 \rho}$

Biểu thức này có nghĩa là F gấp π_1 lần đối với $d^2\omega^2\rho$.

π_1 là một số không thứ nguyên, không có quan hệ với hệ thống đơn vị cơ bản mà F , d , ω , ρ sử dụng.

Với phương pháp tương tự ta tìm được:

$$\begin{aligned}\pi_2 &= \frac{\mu}{d\omega\rho}; & \pi_4 &= \frac{\omega}{\omega} = 1; \\ \pi_3 &= \frac{d}{d} = 1; & \pi_5 &= \frac{\rho}{\rho} = 1.\end{aligned}$$

Sau những suy diễn trên, quan hệ hàm số (2-20) được biết dưới dạng thức mới:

$$f\left(\frac{F}{d^2\omega^2\rho}, \frac{\mu}{d\omega\rho}, 1, 1, 1\right) = f\left(\frac{F}{d^2\omega^2\rho}, \frac{\mu}{d\omega\rho}\right) = 0 \quad (2-22)$$

Có thể viết thành:
$$\frac{F}{d^2\omega^2\rho} = \varphi\left(\frac{\mu}{d\omega\rho}\right)$$

hoặc:
$$F = \varphi\left(\frac{\mu}{d\omega\rho}\right)d^2\omega^2\rho \quad (2-23)$$

về cơ bản giống như phương trình (2-14).

Phép phân tích thứ nguyên, bao gồm cả định luật π là một biện pháp hữu hiệu thường sử dụng để nghiên cứu các quá trình vật lý. Đối với những hiện tượng có các đại lượng vật lý ít, ví dụ ít hơn 5, thì định luật Releigh hay định luật π đều có thể xác định một cách đại thể dạng kết cấu của phương trình vật lý, và dựa vào số liệu đo đạc thực địa hoặc thí nghiệm để xác định các hệ số. Đối với các hiện tượng vật lý bao gồm nhiều biến lượng, chỉ cần số biến lượng không vượt quá 6, vận dụng định luật π có thể xác định 3 tổ hợp không thứ nguyên, dựa vào số liệu thực tế, lấy một trị số π làm tham số, hai trị số π còn lại làm tung độ và hoành độ, vẫn có thể xác định quan hệ định lượng của hiện tượng vật lý này. Nếu số biến lượng nhiều hơn nữa, thì số tổ hợp không thứ nguyên sẽ lớn hơn 3, chỉ có thể nghiên cứu một cách cô lập các biến lượng hoặc ảnh hưởng của các tổ hợp không thứ nguyên mới có thể xác định quan hệ định lượng của chúng.

Lợi dụng định luật π để xác định tổ hợp không thứ nguyên, ngoài việc từ đó có được những gợi ý trong khi tìm kiếm các dạng kết cấu nào đó của phương trình vật lý, bản thân nó còn có những ý nghĩa độc lập. Các tổ hợp không thứ nguyên này luôn luôn là những định thức quan trọng khống chế các hiện tượng vật lý. Ví dụ như các số Reynolds, Froude trong chuyển động chất lỏng, các số Rouse hay Shields trong chuyển

động bền vững. Chúng còn là những chuẩn tắc tương tự khống chế tính tương tự giữa nguyên hình và mô hình.

Phép phân tích thứ nguyên còn có thể dùng để kiểm định tính hợp lý của phương trình vật lý, tức là tính chất đồng nhất của thứ nguyên, kiểm tra xem hệ số kinh nghiệm có thứ nguyên không, có loại thứ nguyên nào. Ngoài ra còn là cơ sở để chuyển đổi đơn vị.

Phép phân tích thứ nguyên bao gồm cả định luật π là phép phân tích toán học trên cơ sở các khái niệm vật lý. Nếu muốn sử dụng phép phân tích thứ nguyên để nghiên cứu hiện tượng vật lý cụ thể mà thu được kết quả tốt, còn phải tiến hành nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm đối với các hiện tượng vật lý cụ thể đó.

Từ các thuyết minh ở phần trên ta thấy rằng, khi tiến hành phân tích thứ nguyên, nếu bỏ sót các biến lượng quan trọng hoặc chọn quá nhiều các biến lượng không mấy quan trọng, thậm chí nếu chọn đại lượng vật lý cơ bản không thoả đáng, đều có thể làm cho kết quả thu được không phản ánh được rõ nét tính quy luật của sự việc. Nếu tất cả các vấn đề này đều không thể tìm đáp án thì bản thân phép phân tích thứ nguyên cũng không thể nói đến việc tìm quy luật định lượng của chúng. Lý giải một cách chính xác tính hữu hiệu và những hạn chế của phép phân tích thứ nguyên mới có thể sử dụng chính xác phương pháp nghiên cứu này.

Cuối cùng cần phải nói thêm, trên đây chỉ đề cập đến các trường hợp chỉ có 3 thứ nguyên cơ bản, 3 đơn vị cơ bản. Nếu như đề cập thêm đại lượng vật lý cơ bản khác như nhiệt độ chẳng hạn, thứ nguyên cơ bản này còn có $[T^0]$ và đơn vị mới là K (Kelvin). Như vậy, thứ nguyên cơ bản và đơn vị cơ bản sẽ là 4, phương thức xử lý có khác chút ít, nhưng thực chất của phép phân tích thứ nguyên vẫn hoàn toàn như vậy.

2.5. MỐI QUAN HỆ GIỮA PHÉP PHÂN TÍCH THỨ NGUYÊN VÀ TÍNH TƯƠNG TỰ TRONG THÍ NGHIỆM MÔ HÌNH

Thí nghiệm mô hình vật lý là một phương pháp quan trọng khác để nghiên cứu hiện tượng vật lý. Thực chất của thí nghiệm mô hình vật lý là thu nhỏ hoặc phóng đại (thường là thu nhỏ) đối tượng nghiên cứu (nguyên hình) theo tỷ lệ quy định, phục chế thành một đối tượng thay thế (mô hình), thông qua thí nghiệm để suy đoán những hiện tượng sẽ xuất hiện trong mô hình. Thí nghiệm mô hình sở dĩ có thể thực hiện được là vì nó được xây dựng trên cơ sở cho rằng mô hình có thể ở một mức độ nhất định, tái diễn như thực những hiện tượng trong thiên nhiên. Vì vậy, tính tương tự của mô hình là cơ sở lý thuyết của toàn bộ thí nghiệm mô hình. Còn vấn đề tỷ lệ mô hình và sự biến thái của nó do sự phá hoại tính tương tự gây ra luôn luôn là việc cần phải giải quyết chính xác trong quá trình thực hiện quy hoạch, thiết kế mô hình. Điều này sẽ được thảo luận trong các chương sau.

Ở đây, từ quan điểm thứ nguyên để quan sát điều kiện tương tự và vấn đề biến thái mô hình do điều kiện tương tự đòi hỏi.

Trong 2 hệ thống tương tự hình học, nếu tỷ số giữa các đại lượng vật lý tham gia vào một hiện tượng vật lý nào đó ở các điểm không gian và thời điểm tương ứng có cùng một hằng số, thì đã thu được tính tương tự của hiện tượng vật lý trong 2 hệ thống đó.

Làm sao để có thể tìm được điều kiện tương tự trong thí nghiệm mô hình? Từ định luật π , ta đã biết phương trình:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0$$

có thể chuyển đổi thành:

$$\phi(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_{n-k}) = 0$$

hoặc:

$$\pi_1 = \phi_1(\pi_2, \dots, \pi_{n-k}) \quad (2-24)$$

Hàm ý công thức trên là: quy luật chuyển động vật lý có n biến lượng (trong đó bao gồm k biến lượng cơ bản) tham dự có thể được biểu thị bằng quan hệ hàm số gồm $(n-k)$ số hạng không thứ nguyên π tạo thành.

Từ phương trình (2-24) có thể thấy, trong 2 hệ thống cơ học tương tự (ϕ giống nhau), nếu các trị số từ π_2 đến π_{n-k} đều giống nhau từng cặp tương ứng, thì trị số π_1 phải như nhau.

Nói một cách khác, trong 2 hệ thống cơ học, nếu các trị số từ π_1 đến π_{n-k} giống nhau từng cặp đối ứng, thì hàm số ϕ phải giống nhau, cũng tức là hiện tượng chuyển động của 2 hệ thống nhất định phải tương tự.

Từ đó có thể thấy, nếu có thể làm cho các số hạng π ảnh hưởng đến chuyển động trong mô hình (bao gồm cả điều kiện đơn vị) giống nhau từng cặp đối ứng với các số hạng π trong nguyên hình, thì hiện tượng vật lý xuất hiện trong mô hình tất nhiên sẽ tương tự với các hiện tượng vật lý trong nguyên hình. Cần thiết phải yêu cầu khống chế các số hạng π ảnh hưởng đến chuyển động trong mô hình để chúng giống nhau từng cặp đối ứng với các trị số π trong nguyên hình, tức là:

$$(\pi_i)_N = (\pi)_M \quad (2-25)$$

$$(\lambda_{\pi i}) = 1, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2-26)$$

Số hạng π như vậy gọi là **chuẩn tắc tương tự** của mô hình, còn là **số chỉ thị tương tự** của mô hình.

Chương III

CƠ SỞ LÝ THUYẾT TƯƠNG TỰ

Lý thuyết mô hình được xác lập trên cơ sở lý thuyết tương tự. Chỉ khi nào các điều kiện tương tự mà lý thuyết tương tự quy định được thoả mãn, thì mô hình và nguyên hình mới tương tự, mới có thể căn cứ vào kết quả trong mô hình để suy đoán các vấn đề tương ứng của nguyên hình. Do đó, để có một nhận thức rõ ràng về thí nghiệm mô hình, trước hết phải có nhận thức đúng đắn về thực chất của lý thuyết tương tự. Trong chương trước chúng ta đã giới thiệu tỉ mỉ về một cơ sở của lý thuyết tương tự là phép phân tích thứ nguyên, trong chương này sẽ tập trung thảo luận những vấn đề cơ bản lý thuyết tương tự. Ở đây bao gồm hai mặt :

- Một mặt là, nếu đã khẳng định có hai hiện tượng tương tự, thì giữa chúng tồn tại quan hệ gì, hoặc nói một cách khác, hiện tượng tương tự có những thuộc tính như thế nào. Vấn đề này sẽ được thảo luận trong tiết 3-1 và 3-2.

- Mặt khác, căn cứ vào những điều kiện cần và đủ nào để phán đoán hai hiện tượng là tương tự ? Hoặc khống chế như thế nào để phán đoán một trong hai hiện tượng để nó tương tự với hiện tượng còn lại. Vấn đề này sẽ được giới thiệu trong tiết 3-3.

Nội dung của hai mặt này đều là những bộ phận cấu thành của lý thuyết tương tự, nhưng cần thiết phải phân chia rõ ràng.

3.1. THUỘC TÍNH CỦA HIỆN TƯỢNG TƯƠNG TỰ

Khái niệm về tương tự, trước tiên xuất phát về tương tự hình học. Như chúng ta đã biết, tam giác đồng dạng trong hình học phẳng, sa bàn trong kiến trúc, nói chung sự tương tự đó chỉ hạn chế trong tương tự hình học tĩnh tại, thuộc tính tương đối đơn giản, có thể dễ dàng thực hiện được. Sự tương tự đề cập đến ở đây, nói đến sự tương tự về chuyển động cơ học của hệ thống vật chất, ngoài yêu cầu về tương tự ở trạng thái tĩnh còn tương tự trong trạng thái động, ngoài yêu cầu về hình thức còn yêu cầu về nội dung. Vì vậy thuộc tính của nó phức tạp hơn, khó thực hiện hơn.

Khi suy xét thuộc tính của hiện tượng tương tự, sẽ tiến hành hai bước. Bước một là, từ các góc độ khác nhau xem xét đặc trưng tương tự của hiện tượng tương tự, bước hai là làm sáng tỏ mối liên hệ nội tại giữa những đặc trưng tương tự.

Những hiện tượng vật lý mà mô hình công trình thuỷ nghiên cứu đều thuộc phạm trù chuyển động cơ học.

Một mô hình tương tự với nguyên hình, phải có đủ đặc trưng tương tự ở ba phương diện: hình học, động thái và động lực.

3.1.1. Tương tự hình học

Tương tự hình học là tương tự về hình thái hình học giữa mô hình (M) và nguyên hình (N). Bất kỳ độ dài tuyến tính tương ứng nào của nguyên hình và mô hình phải có một tỷ lệ:

$$\frac{l_{N1}}{l_{M1}} = \frac{l_{N2}}{l_{M2}} = \dots = \frac{l_{Nn}}{l_{Mn}} = \lambda_l \quad (3.1)$$

trong đó: $l_{N1}, l_{N2}, \dots, l_{Nn}$ là các độ dài tuyến tính của nguyên hình, ví dụ chiều rộng của một mặt cắt ngang nào đó, độ sâu của một điểm nào đó, chiều dài, chiều cao của một công trình nào đó.

$l_{M1}, l_{M2}, \dots, l_{Mn}$ là các độ dài tuyến tính tương ứng của mô hình. Các ký hiệu chân N, M phân biệt biểu thị nguyên hình và mô hình; 1, 2, ..., n biểu thị các vị trí khác nhau của độ dài, λ_l biểu thị hằng số tỷ lệ độ dài, còn gọi là tỷ xích độ dài, tỷ xích hình học.

Muốn thực hiện một mô hình sông ngòi có tương tự hình học một cách tuyệt đối không phải dễ. Vì nó không chỉ yêu cầu những địa hình chi tiết của lòng sông phải tương tự mà còn yêu cầu độ nhám của lòng sông cũng tương tự, điều đó rất khó. Trên thực tế, nguyên hình cũng không có đầy đủ những số liệu chi tiết như vậy.

3.1.2. Tương tự động thái

Tương tự động thái hay còn gọi là tương tự động học tức là tương tự về trạng thái chuyển động giữa mô hình và nguyên hình.

Tốc độ, gia tốc của bất kỳ điểm tương ứng nào của mô hình và nguyên hình bắt buộc phải song song với nhau và có cùng một tỷ lệ.

$$\frac{U_{N1}}{U_{M1}} = \frac{U_{N2}}{U_{M2}} = \dots = \frac{U_{Nn}}{U_{Mn}} = \lambda_u \quad (3.2)$$

$$\frac{a_{N1}}{a_{M1}} = \frac{a_{N2}}{a_{M2}} = \dots = \frac{a_{Nn}}{a_{Mn}} = \lambda_a \quad (3.3)$$

trong đó:

U, a - tốc độ, gia tốc;

λ_u, λ_a - hằng số tỷ lệ của tốc độ, gia tốc.

Ở đây cần chú ý, tương tự động thái chặt chẽ là nói về tương tự trường lưu tốc không gian của chuyển động dòng chảy, cũng tức là tương tự véc tơ lưu tốc của các điểm trên

mặt cắt ướt. Hiển nhiên, véc tơ lưu tốc các điểm đã tương tự, véc tơ lưu tốc trung bình mặt cắt cũng tương tự, cái trước là điều kiện cần của cái sau, nhưng không phải là điều kiện đủ. Nói một cách khái quát, tương tự động thái chặt chẽ là tương tự dòng chảy ba chiều, chứ không phải tương tự của dòng chảy hai chiều, càng không phải là tương tự của dòng một chiều. Tương tự của dòng hai chiều, một chiều chỉ là điều kiện cần, mà chưa phải là điều kiện đủ của dòng chảy ba chiều. Mô hình công trình sông rất khó thực hiện tương tự động thái một cách nghiêm khắc, đặc biệt là lưu tốc theo phương thẳng đứng. Cho đến nay các phương thức đo đạc cũng còn chưa thật đã hoàn chỉnh chứ nói gì đến tương tự trị số đo.

3.1.3. Tương tự động lực

Tương tự động lực là sự tương tự của lực tác dụng giữa mô hình và nguyên hình. Lực tác dụng lên bất cứ điểm tương ứng nào của mô hình và nguyên hình phải song song với nhau và có cùng một tỷ lệ:

$$\frac{f_{N1}}{f_{M1}} = \frac{f_{N2}}{f_{M2}} = \dots = \frac{f_{Nn}}{f_{Mn}} = \lambda_f \quad (3.4)$$

trong đó:

f - biểu thị lực;

λ_f - hằng số tỷ lệ của lực.

Hiển nhiên, lực tác dụng cũng muôn hình muôn vẻ, đối với chuyển động dòng chảy, thông thường có lực khối lượng (như trọng lực, lực ly tâm v.v...), áp lực, lực nhớt, lực cản rối động, lực quán tính... Những lực đó không những phải đồng thời tồn tại trong cả nguyên hình và mô hình, mà chúng phải song song với nhau ở các điểm tương ứng và có cùng một tỷ lệ.

Cũng giống như tương tự về lưu tốc, tương tự về lực cũng có tương tự một chiều, hai chiều, ba chiều. Tương tự một chiều, hai chiều là điều kiện cần mà không phải là điều kiện đủ của tương tự ba chiều. Tương tự động lực nói một cách chặt chẽ, tất nhiên cũng phải là tương tự của trường động lực ba chiều, điều đó không dễ dàng thực hiện được trong mô hình công trình thủy.

3.1.4. Tính chất của các hằng số tỷ lệ

Từ tương tự của 3 mặt nói trên có thể thấy: Các đại lượng vật lý của mô hình có thể tìm được bằng cách lấy các đại lượng tương ứng của nguyên hình chia cho hằng số tỷ lệ tương ứng; các đại lượng vật lý của nguyên hình cũng được suy ra từ phép nhân của đại lượng tương ứng trong mô hình với hằng số tỷ lệ. Đó chính là phương pháp dựa vào kết quả thí nghiệm trong mô hình để suy đoán các vấn đề cần tìm hiểu trong nguyên hình.

Hằng số tỷ lệ (tỷ xích) của cùng một đại lượng vật lý hoàn toàn bằng nhau ở tất cả mọi điểm trong hệ thống, nhưng hằng số tỷ lệ (tỷ xích) của các đại lượng vật lý khác nhau thì không nhất thiết phải bằng nhau. Hằng số tỷ lệ là kết quả của phép chia của hai đại lượng vật lý cùng loại, cho nên không có thứ nguyên.

Sự chuyển hoá tương hỗ giữa các đại lượng vật lý trong mô hình và nguyên hình gọi là chuyển hoá tương tự, được biểu thị như sau :

$$x_N = \lambda_x \cdot x_M \quad (3.5)$$

hoặc

$$x_M = x_N / \lambda_x \quad (3.6)$$

trong đó:

x - biểu thị một đại lượng vật lý bất kỳ nào đó;

λ_x - là hằng số tỷ lệ của đại lượng đó.

Sự chuyển hoá tương tự đó không những đúng cho x mà còn đúng cho cả vi phân của x là dx . Vì vi phân mặc dù là rất nhỏ, nhưng vẫn là một đại lượng hữu hạn, có thể viết:

$$dx = x_{II} - x_I$$

Nên :

$$\frac{dx_N}{dx_M} = \frac{x_{NII} - x_{NI}}{x_{MII} - x_{MI}} = \frac{x_{NII}}{x_{MII}} = \frac{x_{NI}}{x_{MI}} = \lambda_x \quad (3.7)$$

Ký hiệu I, II là biểu thị hai điểm gần nhau về không gian hoặc thời gian của hệ thống.

Ở trên chúng ta đã nói đến đặc trưng tương tự của 3 mặt mà một mô hình tương tự với nguyên hình cần phải có.

Vấn đề là chọn dùng đặc trưng tương tự của 3 mặt đó để khái quát toàn cảnh của hiện tượng tương tự đã thoả đáng chưa, có hoàn chỉnh không?

Ví dụ, sau này sẽ thấy, tương tự hình học là điều kiện tiên quyết của tương tự động thái và tương tự động lực, nói tương tự động thái tất phải bao gồm tương tự hình học, nói tương tự động lực tất phải bao gồm tương tự động thái và hình học. Tương tự hình học và tương tự động thái có cần liệt ra đồng thời với tương tự động lực? Lại như, năng lượng và động lượng cũng là những thuộc tính quan trọng của chuyển động cơ học, vậy có cần xét thêm các đặc trưng trị mới?

Những vấn đề đó đáng được nghiên cứu thêm về lý thuyết, nhưng đó chỉ là vấn đề của phương pháp đề cập, bản chất của sự vật là không đổi. Hiện tượng tương tự không chỉ nhất định có đầy đủ các đặc trưng tương tự của 3 mặt trên mà tất nhiên cũng có đặc trưng tương tự của năng lượng hoặc động lượng.

Để nhận thức ý nghĩa về lý thuyết cũng như thực tiễn của việc đồng thời xem xét các đặc trưng tương tự của 3 mặt trên, cần thiết phải làm sáng tỏ quan hệ giữa 3 yếu tố trên.

Hiển nhiên, ba đặc trưng tương tự có mối liên hệ tương hỗ, là điều kiện của nhau. Lưu tốc U và gia tốc a biểu trưng cho động thái của dòng chảy là hàm số của quãng đường l và thời gian t , mà quãng đường l là một loại yếu tố hình học, vì vậy tương tự hình học và tương tự động thái là không thể tách rời nhau. Sự tương tự động lực không tồn tại khi không có sự tương tự về hình học và động thái. Tóm lại, ba đặc trưng tương tự là một khối thống nhất, một trong 3 yếu tố tương tự sẽ tạo tiền đề cho 2 yếu tố còn lại tương tự, một yếu tố không tương tự sẽ phá hoại 2 yếu tố kia, điều đó cần nhận thức rõ ràng.

Nhưng ba đặc trưng tương tự không phải đặt ngang nhau, mà có chủ có thứ. Nói chung, do động lực là yếu tố chủ đạo quyết định chuyển động của dòng chảy, đồng thời do tương tự động lực tất nhiên bao gồm cả tương tự động thái và tương tự hình học, do đó có thể nói rằng, tương tự động lực là chủ đạo, còn tương tự động thái và tương tự hình học là tùy thuộc.

Những mối quan hệ chủ đạo và tùy thuộc đó không thể lý giải là quan hệ có hoặc không có, vì chúng là một khối thống nhất không thể chia cắt. Còn việc đồng thời xem xét các đặc trưng tương tự của 3 mặt, trong giai đoạn hiện nay được coi là thích đáng và hoàn chỉnh. Từ quan điểm thực dụng, hằng số tỷ lệ độ dài trong tương tự hình học λ_l là tham số quan trọng để thiết kế mô hình, hằng số tỷ lệ tương tự vận tốc λ_U trong tương tự động thái là căn cứ quan trọng để kiểm nghiệm tính tương tự của mô hình và dựa vào kết quả thí nghiệm suy đoán cho nguyên hình, tương tự động lực là xuất phát điểm của thiết kế mô hình, ba yếu tố đều không thể lược bỏ cái nào. Về quan điểm lý thuyết, ba mặt đã đề cập và biểu đạt một cách hoàn chỉnh ba đại lượng vật lý cơ bản, bao gồm ba thứ nguyên cơ bản (khối lượng hoặc lực, độ dài, thời gian). Lợi dụng biểu thức không thứ nguyên từ tổ hợp không cùng bậc lũy thừa của chúng có thể mô tả hoặc đo lường bất kỳ đại lượng vật lý nào mà chúng ta thường gặp. Cũng như vậy, có thể lợi dụng các hằng số tỷ lệ biểu trưng sự tương tự của ba mặt nói trên để tổ hợp thành các biểu thức quan hệ bất kỳ mà chúng ta sẽ thảo luận ở phần sau, vì vậy cả ba đều không thể bỏ bất kỳ cái nào.

Ngoài ba đặc trưng tương tự nói trên, các đặc trưng tương tự khác như năng lượng hoặc động lượng đều có thể thông qua ba đặc trưng tương tự để suy ra đặc trưng tương tự của mình.

Sau cùng cần chỉ rõ rằng ba đặc trưng tương tự nói trên chỉ là thuộc tính của hiện tượng tương tự, không phải là điều kiện cần và đủ để phán đoán hoặc khống chế hiện tượng tương tự, không thể lẫn lộn hai khái niệm làm một.

3.2. ĐỊNH LÝ VỀ SỐ CHỈ THỊ TƯƠNG TỰ VÀ CHUẨN TẮC TƯƠNG TỰ

3.2.1. Số chỉ thị tương tự

Trong hiện tượng tương tự, các đại lượng vật lý đều có hằng số tỷ lệ tương ứng. Nhưng giữa các hằng số tỷ lệ của các đại lượng đó không phải không có quan hệ gì, mà được liên hệ với nhau theo một quy luật nhất định. Đó là vì thuộc tính vật lý của các hiện tượng tương tự ắt phải giống nhau, mặc dù kích thước của chúng nhỏ to khác nhau, nhưng chúng phục tùng cùng một quy luật chuyển động và mô tả bằng một phương trình vật lý. Chỉ có như vậy, mới có thể thực hiện tương tự về hình học, về động thái và về động lực một cách chặt chẽ, nếu không không thể tương tự được. Hoặc là, cho dù ở một thời khắc nào đó, trong một điều kiện nào đó có thể làm được tương tự, nhưng ở một thời khắc khác, điều kiện khác vì phương trình vật lý quyết định biến đổi của các đại lượng vật lý không giống nhau, tính tương tự tất nhiên bị phá hoại. Ví dụ, mô hình dòng chảy trên nguyên tắc phải giống nguyên hình, đều là chảy rối và khu bình phương sức cản. Chỉ có như vậy, thuộc tính vật lý của chuyển động dòng chảy của mô hình và nguyên hình mới giống nhau, quy luật chuyển động và phương trình toán mô tả quy luật đó mới giống nhau, chuyển động dòng chảy của mô hình và nguyên hình mới có thể tương tự. Nếu không, dòng chảy trong mô hình là chảy tầng thì không thể nào tương tự, hoặc dòng chảy dẫn trong mô hình dẫu là chảy rối nhưng không phải ở khu vực bình phương sức cản, thì chỉ có thể thực hiện tương tự ở một mức độ nào đó, mà không thể thực hiện được tương tự tuyệt đối.

Do thuộc tính vật lý của các hiện tượng tương tự là như nhau, và được mô tả cùng một phương trình vật lý, các hằng số tỷ lệ sẽ phải chịu sự ràng buộc theo quy luật tự nhiên mà phương trình vật lý thể hiện, không thể lựa chọn một cách tùy tiện.

Để làm sáng tỏ vấn đề này, lấy ví dụ về các hiện tượng tương tự chịu sự ràng buộc của định luật II Newton.

Hai hệ thống tương tự về chuyển động cơ học đều bị khống chế bởi định luật II Newton, cần có :

$$f = m \, dU/dt \quad (3.8)$$

trong đó:

f - lực tác dụng;

m - khối lượng;

U - tốc độ;

t - thời gian.

Công thức này đều hữu hiệu với bất kỳ điểm tương ứng nào của mô hình và nguyên hình, dạng văn tự của các công thức của chúng phải giống hệt nhau, chỉ có giá trị bằng số của các đại lượng trong công thức là có sai khác.

Đối với nguyên hình ta có :

$$f_N = m_N dU_N/dt_N \quad (3.9)$$

Đối với mô hình ta có:

$$f_M = m_M dU_M/dt_M \quad (3.10)$$

Trong điều kiện tương tự của mô hình và nguyên hình, quan hệ số lượng giữa các đại lượng vật lý được liên hệ với nhau bởi các hằng số tương tự :

$$f_N = \lambda_f f_M, m_N = \lambda_m m_M, U_N = \lambda_u U_M, t_N = \lambda_t t_M \quad (3.11)$$

Thay (3.11) vào (3.9), tiến hành chuyển đổi ta được:

$$\frac{\lambda_f \lambda_t}{\lambda_m \lambda_u} f_M = m_M \frac{dU_M}{dt_M} \quad (3.12)$$

Như vậy, có hai phương trình khác nhau biểu thị một quan hệ số lượng, đó là (3.10) và (3.12). Hai phương trình này chỉ có thể thống nhất với nhau trong điều kiện :

$$\lambda_f \lambda_t / \lambda_m \lambda_u = 1 \quad (3.13)$$

Công thức (3-13) khống chế quan hệ giữa 4 hằng số tỷ lệ của các hiện tượng tương tự nói trên. Trong đó có thể tùy ý chọn 3 hằng số tỷ lệ, một hằng số tỷ lệ còn lại phải được suy ra từ (3.13).

Biểu thức bên trái dấu bằng $\lambda_f \lambda_t / \lambda_m \lambda_u$ được gọi là số chỉ thị tương tự. Phương trình số chỉ thị tương tự bằng 1 gọi là phương trình hằng số tỷ lệ. Hằng số tỷ lệ của các đại lượng vật lý trong mô hình và nguyên hình phải thỏa mãn phương trình đó mới thực hiện được tương tự. So sánh hai vế tương ứng của phương trình (3-9) và (3-10) cũng có thể suy ra phương trình hằng số tương tự như trên. Hơn nữa, có thể thấy rõ số chỉ thị tương tự $\lambda_f \lambda_t / \lambda_m \lambda_u$ thực chất là *bằng tỷ số giữa tỷ số lực tác dụng của nguyên hình và mô hình f_N/f_M so với tỷ số giữa các lực quán tính $[(m_N dU_N/dt_N)/(m_M dU_M/dt_M)]$* . Số chỉ thị tương tự bằng 1 có nghĩa là tỷ số giữa lực tác dụng của nguyên hình và mô hình bằng tỷ số giữa lực quán tính của chúng, đó chính là thuộc tính quan trọng của tương tự động lực của hệ thống.

Từ ví dụ trên, có thể dẫn đến một định lý quan trọng của lý thuyết tương tự là:

Số chỉ thị tương tự gồm các hằng số tỷ lệ của các đại lượng vật lý hợp thành được suy ra từ cùng một phương trình toán mô tả các hiện tượng tương tự phải bằng 1. Đó là định luật về số chỉ thị tương tự.

3.2.2. Chuẩn tắc tương tự

Phương trình (3.13) lại có thể viết sang một dạng khác, thay các biểu thức (3.11) vào ta có:

$$\frac{f_N t_N}{m_N U_N} = \frac{f_M t_M}{m_M U_M} = \text{idem (hằng số)} \quad (3.14)$$

Tổ hợp không thứ nguyên do các đại lượng vật lý tạo thành $\frac{ft}{mU}$ gọi là chuẩn tắc tương tự.

Từ sự chuyển hoá trên lại có thể thu được một dạng khác của định luật tương tự nói trên.

Tổ hợp không thứ nguyên do các đại lượng vật lý của các hiện tượng tương tự tạo thành (tức là chuẩn tắc tương tự) phải bằng hằng số. Đó là định lý về chuẩn tắc tương tự.

Ở trên đã chỉ rõ, đối với chuyển động dòng chảy, lực tác dụng có nhiều loại: lực khối lượng, lực nhớt, lực cản rối động, lực quán tính. Luật tương tự Newton chỉ biểu thị rằng tỷ số giữa các lực khác của nguyên hình và mô hình bằng tỷ số của lực quán tính, mà thực chất tác dụng của các lực khác không được thể hiện ra. Do đó luật tương tự Newton chỉ có ý nghĩa chung. Để giải quyết vấn đề cụ thể về hằng số tỷ lệ của mô hình thí nghiệm, cần phải căn cứ vào hiện tượng chuyển động mà mô hình nghiên cứu, làm rõ bản chất của lực tác dụng trong (3.13) và biểu thức của nó. Nói một cách khác, phải căn cứ vào phương trình vật lý mô tả hiện tượng chuyển động (ví dụ phương trình chuyển động của dòng chảy) để tìm ra các định luật tương tự đặc định. Ở đây, định luật II của Newton là quy luật chuyển động tổng quát nhất, tìm ra định luật tương tự tổng quát nhất chỉ là để làm rõ quá trình và thực chất của cách tìm định luật tương tự (tức số chỉ thị tương tự bằng 1 và chuẩn tắc tương tự bằng hằng số) từ sự chuyển hoá tương tự đối với phương trình mô tả hiện tượng vật lý.

Hiển nhiên, nếu lực tác dụng f trong phương trình (3.8) đối với hiện tượng vật lý đang nghiên cứu chỉ hạn chế trong một loại lực (ví dụ trọng lực), định luật tương tự suy ra từ đó chỉ có một, sự ràng buộc đối với hằng số tương tự không lớn, vấn đề tương đối đơn giản. Nhưng nếu trong hiện tượng vật lý nghiên cứu bao gồm nhiều loại lực tác dụng (như trọng lực, áp lực, lực cản rối động, lực nhớt), thì định luật tương tự suy ra từ đó sẽ không chỉ có một mà có nhiều, những ràng buộc đối với hằng số tương tự sẽ rất lớn, vấn đề sẽ phức tạp hơn.

3.2.3. Ví dụ ứng dụng

Tiến thêm một bước, nếu phương trình mô tả hiện tượng chuyển động không chỉ hạn chế trong phương trình chuyển động mà còn có các phương trình khác (ví dụ phương trình liên tục), hoặc giả đối tượng nghiên cứu của chúng ta không phải là dòng chảy một pha mà có thể là dòng chảy 2 pha (dòng bùn cát), thì những định luật tương tự suy ra từ đó sẽ làm cho vấn đề phức tạp hơn nhiều.

Dưới đây, thử tiến hành phân tích phương trình vi phân trung bình thời gian của dòng chảy rối 3 chiều đối với chất lỏng không nén được (chưa đề cập đến dòng chảy mang bùn cát).

Từ thủy lực học chúng ta đã biết, hệ phương trình vi phân viết trong hệ tọa độ vuông góc của chuyển động dòng chảy như đã nói bao gồm:

- Phương trình liên tục:

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{\omega}}{\partial z} = 0 \quad (3.15)$$

- Phương trình chuyển động:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + (\bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \bar{\omega} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z}) = F_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial x} + \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \right) \right] \\ - \left(\frac{\partial}{\partial x} \overline{u'^2} + \frac{\partial}{\partial y} \overline{u'v'} + \frac{\partial}{\partial z} \overline{u'\omega'} \right) \end{aligned} \quad (3.16)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + (\bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \bar{\omega} \frac{\partial \bar{v}}{\partial z}) = F_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial y} + \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} \right) \right] \\ - \left(\frac{\partial}{\partial x} \overline{u'v'} + \frac{\partial}{\partial y} \overline{v'^2} + \frac{\partial}{\partial z} \overline{v'\omega'} \right) \end{aligned} \quad (3.17)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{\omega}}{\partial t} + (\bar{u} \frac{\partial \bar{\omega}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{\omega}}{\partial y} + \bar{\omega} \frac{\partial \bar{\omega}}{\partial z}) = F_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial z} + \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\bar{v} \frac{\partial \bar{\omega}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\bar{v} \frac{\partial \bar{\omega}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\bar{v} \frac{\partial \bar{\omega}}{\partial z} \right) \right] \\ - \left(\frac{\partial}{\partial x} \overline{u'\omega'} + \frac{\partial}{\partial y} \overline{v'\omega'} + \frac{\partial}{\partial z} \overline{\omega'^2} \right) \end{aligned} \quad (3.18)$$

trong đó:

$\bar{u}, \bar{v}, \bar{\omega}$ - lưu tốc trung bình thời gian theo phương x, y, z;

u', v', ω' - lưu tốc mạch động theo phương x, y, z;

F_x, F_y, F_z - lực khối lượng của một đơn vị khối lượng chất lỏng theo phương x, y, z; khi lực khối lượng chỉ hạn chế trong trọng lực, trị số của nó bằng các thành phần theo phương x, y, z của gia tốc trọng trường. Khi trục x trùng với phương của dòng chảy, $F_x = g \sin \alpha = g J_x$, $F_z = -g \cos \alpha \approx -g$, $F_y = g \sin \beta = g J_y$. Ở đây, α, β là góc nghiêng của dòng chảy theo phương x và phương y. J_x, J_y là độ dốc của đường dòng tương ứng;

$\bar{P}$ - cường độ áp lực trung bình thời gian;

v - hệ số nhớt động học;

t - thời gian.

Bốn số hạng ở vế trái của phương trình chuyển động là lực quán tính của đơn vị khối lượng, trong đó số hạng thứ nhất là lực quán tính do gia tốc biến đổi theo thời gian gây ra, 3 số hạng trong dấu ngoặc tròn là lực quán tính do gia tốc biến vị gây ra.

Số hạng thứ nhất ở vế phải là trọng lực của đơn vị khối lượng, số hạng thứ hai là áp lực của đơn vị khối lượng, các số hạng trong dấu ngoặc vuông là lực cắt do lực nhớt gây ra, các số hạng cuối cùng trong dấu ngoặc tròn là lực cắt do mạch động dòng chảy gây ra, cũng gọi là lực cản rối động, thực chất là một loại lực quán tính mạch động.

Thử tiến hành phân tích đối với phương trình liên tục (3.15). Giả thiết tương tự hình học được bảo đảm, nên ta có:

$$\lambda_x = \lambda_y = \lambda_z = \lambda_l \quad (3.19)$$

Ứng dụng phương trình này cho nguyên hình và chuyển hoá các đại lượng vật lý của nguyên hình thành các đại lượng của mô hình thông qua hằng số tương tự:

$$x_N = \lambda_l x_M; y_N = \lambda_l y_M; z_N = \lambda_l z_M$$

$$\bar{u}_N = \lambda_u \bar{u}_M, \bar{v}_N = \lambda_v \bar{v}_M, \bar{\omega}_N = \lambda_\omega \bar{\omega}_M$$

$$\text{Từ (3.15) ta có: } \lambda_u = \lambda_v = \lambda_\omega \quad (3.20)$$

Lại xét phương trình liên tục cho lưu tốc mạch động:

$$\frac{\partial u'}{\partial x} + \frac{\partial v'}{\partial y} + \frac{\partial \omega'}{\partial z} = 0 \quad (3.21)$$

$$\text{Cũng với lý lẽ trên, ta có: } \lambda_{u'} = \lambda_{v'} = \lambda_{\omega'} \quad (3.22)$$

Phân tích tiếp tục đối với phương trình (3.16) và lấy:

$$\bar{P}_N = \lambda_P \bar{P}_M, \bar{v}_N = \lambda_v \bar{v}_M, \bar{g}_N = \lambda_g \bar{g}_M, \rho_N = \lambda_\rho \rho_M$$

Vận dụng chuyển hoá tương tự, sẽ thu được:

$$\begin{aligned} \frac{\lambda_u}{\lambda_l} \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} \right)_M + \frac{\lambda_u^2}{\lambda_l} \left(\bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \bar{\omega} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \right)_M &= \lambda_g (g J_x)_M - \frac{\lambda_P}{\lambda_\rho \lambda_l} \left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} \right)_M \\ &+ \frac{\lambda_v \lambda_u}{\lambda_l^2} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \right) \right]_M \\ &- \frac{\lambda_u^2}{\lambda_l} \left(\frac{\partial}{\partial x} \bar{u}'^2 + \frac{\partial}{\partial y} \bar{u}' \bar{v}' + \frac{\partial}{\partial z} \bar{u}' \bar{\omega}'^2 \right)_M \end{aligned}$$

trong đó các ký hiệu M dưới dấu ngoặc tròn hoặc vuông biểu thị các giá trị của mô hình đối với các đại lượng vật lý hữu quan.

Chia tất cả các số hạng cho $\frac{\lambda_u^2}{\lambda_l}$ sẽ có:

$$\begin{aligned} \frac{\lambda_l}{\lambda_l \lambda_u} \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} \right)_M + \left(\bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \bar{\omega} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \right)_M &= \frac{\lambda_g \lambda_l}{\lambda_u^2} (g J_x)_M - \frac{\lambda_P}{\lambda_\rho \lambda_u^2} \left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} \right)_M \\ + \frac{\lambda_v}{\lambda_u \lambda_l} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \right) \right]_M \\ - \frac{\lambda_u^2}{\lambda_u^2} \left(\frac{\partial}{\partial x} \bar{u}'^2 + \frac{\partial}{\partial y} \bar{u}' \bar{v}' + \frac{\partial}{\partial z} \bar{u}' \bar{\omega}'^2 \right)_M \end{aligned} \quad (3.23)$$

Muốn cho phương trình (3.23) tương đồng với phương trình chuyển động (3.16) ứng dụng cho mô hình, yêu cầu:

$$\frac{\lambda_l \lambda_u}{\lambda_l} = 1 \text{ hoặc } \frac{tU}{1} = \text{idem} \quad (3.24)$$

$$\frac{\lambda_u^2}{\lambda_g \lambda_l} = 1 \text{ hoặc } Fr = \frac{u^2}{gl} = \text{idem} \quad (3.25)$$

$$\frac{\lambda_P}{\lambda_\rho \lambda_u^2} = 1 \text{ hoặc } Eu = \frac{P}{\rho u^2} = \text{idem} \quad (3.26)$$

$$\frac{\lambda_u \lambda_l}{\lambda_v} = 1 \text{ hoặc } Re = \frac{ul}{\nu} = \text{idem} \quad (3.27)$$

$$\frac{\lambda_u^2}{\lambda_{u'}^2} = 1 \text{ hoặc } \frac{u^2}{u'^2} = \text{idem} \quad (3.28)$$

Cũng theo phương pháp đó, tiếp tục phân tích cho các phương trình (3.17) và (3.18), nhưng không thu được thêm các phương trình hằng số tỷ lệ hoặc chuẩn tắc tương tự mới. Như vậy có thể thấy, 5 phương trình hằng số tỷ lệ hoặc 5 chuẩn tắc tương tự nói trên là căn cứ để quyết định quan hệ tỷ lệ mô hình cho dòng chảy rối 3 chiều. Chúng ta sẽ lần lượt phân tích từng phương trình hằng số tỷ lệ (hoặc chuẩn tắc tương tự).

a) Phương trình hằng số tỷ lệ (3.24)

Phương trình này biểu thị trong nguyên hình và mô hình tỷ lệ lực quán tính do gia tốc biến vị gây ra bằng tỷ lệ lực quán tính do gia tốc biến đổi theo thời gian gây ra. Cũng có

thể xem là tỷ lệ gia tốc biến vị bằng tỷ lệ gia tốc biến đổi theo thời gian. Trên thực chất, nó phản ánh yêu cầu tương tự về điều kiện liên tục của chuyển động dòng chảy. Nếu viết lại phương trình liên tục (3.15) như sau:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \rho \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \rho \bar{w}}{\partial z} = 0 \quad (3.29)$$

và từ đó viết ra phương trình hằng số tỷ lệ, kết quả sẽ hoàn toàn giống như phương trình (3.24). Phương trình hằng số tỷ lệ này đã quyết định quan hệ giữa hằng số tỷ lệ thời gian dòng không ổn định, và hằng số tỷ lệ lưu tốc với hằng số tỷ lệ độ dài. Khi dòng chảy là ổn định, số hạng quán tính biến đổi theo thời gian trong phương trình (3.16) bằng 0, phương trình hằng số tỷ lệ này sẽ bị loại trừ.

b) Phương trình hằng số tỷ lệ (3.25)

Phương trình này biểu thị trong nguyên hình và mô hình tỷ lệ lực quán tính bằng tỷ lệ trọng lực. Chuẩn tắc tương tự tương ứng chính là số Froude (Fr) vì vậy định luật tương tự này gọi là định luật tương tự Froude. Do lực quán tính và trọng lực đều là những lực rất quan trọng quyết định chuyển động của dòng chảy sông, định luật tương tự này rất quan trọng đối với mô hình công trình thủy.

c) Phương trình hằng số tỷ lệ (3.26)

Phương trình này biểu thị trong nguyên hình và mô hình, tỷ lệ áp lực bằng tỷ lệ của lực quán tính. Chuẩn tắc tương tự tương ứng chính là số Ole (Eu), nên định luật tương tự này gọi là định luật tương tự Ole. Định luật tương tự này được xét đến khi nghiên cứu tải trọng động lực của dòng chảy đối với tường bên hoặc đối với công trình, có thể bỏ qua khi nghiên cứu chuyển động của dòng chảy trong kênh hở nói chung. Cần chỉ rõ rằng, định luật tương tự Ole có mối liên hệ nội tại với định luật tương tự Froude, có thể chuyển đổi lẫn nhau. Sự thực, nếu từ trong phương trình chuyển động (3.16), dùng áp suất thủy tĩnh γh thay cho $\bar{P}$ (γ là trọng lượng riêng của nước, h là độ sâu dòng nước), thì phương trình hằng số tỷ lệ thu được chính là phương trình (3.25). Như vậy, số hạng áp lực có thể xét gộp lại với số hạng trọng lực, không tạo thành một phương trình hằng số tỷ lệ mới.

d) Phương trình hằng số tỷ lệ (3.27)

Phương trình này biểu thị trong nguyên hình và mô hình, tỷ lệ lực quán tính bằng tỷ lệ lực nhớt. Chuẩn tắc tương tự chính là số Reynolds (Re), vì vậy định luật tương tự này gọi là định luật tương tự Reynold. Do dòng chảy trong sông thông thường là chảy rối, mà tác dụng lực nhớt trong dòng chảy rối là tương đối nhỏ, vì vậy định luật tương tự này có thể không cần tuân thủ thật chặt chẽ trong mô hình sông ngòi (trong thực tế cũng khó thực hiện được). Điều này có thể thấy rõ khi giải liên kết 2 phương trình (3.25) và (3.27). Giải hai phương trình đó, ước lược λ_u sẽ có:

$$\lambda_1 = \frac{\lambda_v^{2/3}}{\lambda_g^{1/3}} \quad (3.30)$$

Từ đó dễ thấy rằng, muốn kích thước hình học của mô hình nhỏ hơn nguyên hình, tức $\lambda_1 > 1$, thì phải có $\lambda_v > 1$, nghĩa là hệ số nhớt động học ν của mô hình phải nhỏ hơn rất nhiều so với ν của nguyên hình, mà như vậy có nghĩa là không thể dùng nước để thí nghiệm. Hoặc nếu không thì $\lambda_g < 1$, gia tốc trọng lực của mô hình phải lớn hơn nhiều so với gia tốc trọng lực của nguyên hình, bắt buộc chúng ta phải tìm cách tăng gia tốc trọng lực cho mô hình, ví dụ đặt mô hình trên máy ly tâm. Hai điều kiện trên đều không làm được, đành phải dùng $\lambda_g = \lambda_v = 1$ hoặc gần bằng 1. Điều đó lại dẫn đến $\lambda_1 = 1$ nghĩa là kích thước mô hình bằng nguyên hình, ý nghĩa của mô hình sẽ không còn nữa.

e) Phương trình hằng số tỷ lệ (3.28)

Phương trình này biểu thị trong nguyên hình và mô hình, tỷ lệ lực quán tính do lưu tốc trung bình thời gian sinh ra bằng tỷ lệ lực quán tính do lưu tốc mạch động sinh ra. Cũng có thể hiểu là tỷ lệ của bình phương lưu tốc trung bình thời gian bằng tỷ lệ của mômen mạch động của lưu tốc mạch động. Vì vậy, định luật tương tự này còn gọi là định luật tương tự rối động. Đó là một mặt của vấn đề. Mặt khác của vấn đề đó là lực quán tính mạch động chính là lực cắt (lực tiếp) rối, nó cũng giống như lực nhớt, có tác dụng cản trở chuyển động của dòng nước. Vì vậy, phương trình hằng số tỷ lệ này cũng có thể biểu thị tỷ lệ lực quán tính bằng tỷ lệ sức cản rối. Khi lực nhớt có thể bỏ qua không tính, tỷ lệ lực quán tính bằng tỷ lệ sức cản. Từ những phân tích trên có thể thấy rõ mối liên quan giữa tương tự rối động và tương tự sức cản. Đối với tương tự sức cản, sau này sẽ còn lý giải kỹ hơn. Ở đây chỉ nói rằng, từ những phương trình chuyển động của dòng nước có tính chất chung như các phương trình (3.16) ... (3.18) sẽ không suy ra được phương trình hằng số tương tự của sức cản. Cũng giống như giải phương trình vi phân cần có điều kiện biên xác định, phương trình hằng số tương tự của tương tự sức cản có liên quan chặt chẽ với điều kiện biên, chỉ có thể tìm được trong các điều kiện cụ thể khi điều kiện biên của phương trình vi phân được xác định.

Từ đây có thể dẫn đến một khái niệm quan trọng là: nếu phương trình vật lý là phương trình vi phân, các hằng số tỷ lệ hữu quan của các hiện tượng tương tự không chỉ bị ràng buộc bởi các phương trình vi phân, trong đó các hằng số tỷ lệ có liên quan đến điều kiện biên phải chịu ràng buộc của các điều kiện biên của các phương trình vi phân.

Cần biết thêm rằng, các kết quả từ (3.24) đến (3.28) thu được bằng cách chia đều các số hạng của phương trình cho hệ số tỷ lệ của lực quán tính đơn vị khối lượng. Nếu thay bằng một lực khác, ví dụ chia tất cả các số hạng cho hệ số tỷ lệ của yếu tố có tác dụng lớn nhất đối với dòng chảy trong kênh hở là trọng lực, và lấy các số chỉ thị tương tự bằng 1, thì kết quả sẽ khác:

$$\frac{\lambda_u}{\lambda_g \lambda_l} = 1, \frac{\lambda_u^2}{\lambda_g \lambda_l} = 1, \frac{\lambda_p}{\lambda_p \lambda_g \lambda_l} = 1, \frac{\lambda_u \lambda_v}{\lambda_g \lambda_l^2} = 1, \frac{\lambda_u^2}{\lambda_g \lambda_l} = 1 \quad (3-31)$$

trong đó, ta thấy ngoài định luật tương tự Froude vẫn còn giữ lại, các định luật tương tự khác trong thí nghiệm mô hình đều biến mất. Phải thông qua biến đổi, ví dụ thay vào đó quan hệ tỷ lệ quyết định bởi định luật tương tự Froude, những định luật tương tự của mô hình kia mới có khả năng lộ diện ra. Vì vậy, khi suy diễn phương trình hằng số tỷ lệ, lựa chọn hệ số tỷ lệ thích đáng để làm số chia là phải suy xét cẩn thận.

3.2.4. Phân tích

Trên đây, ta đã căn cứ vào định luật II của Newton là định luật mô tả hiện tượng chuyển động cơ học tổng quát, và các phương trình liên tục, phương trình chuyển động mô tả hiện tượng chuyển động dòng chảy rối để làm sáng tỏ các định lý về số chỉ thị tương tự và chuẩn tắc tương tự của các hiện tượng tương tự, đồng thời đã phân biệt tìm ra các phương trình hằng số tương tự của chúng. Do phương trình hằng số tương tự là cơ sở để xác định tỷ lệ của mô hình, việc tìm kiếm số chỉ thị tương tự và chuẩn tắc tương tự của các hiện tượng tương tự để từ đó xác lập phương trình hằng số tương tự, trở thành vấn đề quan trọng hàng đầu mà thí nghiệm mô hình cần giải quyết.

Như trước đã nói, sau khi đã biết phương trình vật lý, số chỉ tương tự và chuẩn tắc tương tự sẽ tìm được không mấy khó khăn. Trên lý thuyết cũng đúng là như vậy. Từ phép phân tích thứ nguyên chúng ta đã biết, một phương trình vật lý có thể mô tả một cách chính xác hiện tượng vật lý, bất kể nó là dạng hàm số gì, thứ nguyên của nó tất nhiên phải điều hoà. Loại phương trình vật lý như vậy, luôn có thể viết thành phương trình gồm những tổ hợp không thứ nguyên tạo thành. Trong chương 2 đã chỉ rõ, trong các tổ hợp không thứ nguyên đó, nếu các đại lượng vật lý mà nó bao gồm không thay đổi, mà dùng các đơn vị khối lượng, độ dài và thời gian khác để đo lường, chỉ cần đơn vị dùng điều hoà thống nhất, trị số các đại lượng vật lý tuy có biến đổi, nhưng trị số của tổ hợp không thứ nguyên vẫn không thay đổi. Đó là vì, bản thân các tổ hợp không thứ nguyên không bao gồm thứ nguyên, không phụ thuộc vào thứ nguyên cũng không phụ thuộc vào đơn vị.

Đối một tình huống khác cũng thế thôi. Khi các đại lượng vật lý mà các tổ hợp không thứ nguyên hàm chứa có thể thay đổi (ví dụ, trong nguyên hình và mô hình, sự lớn bé của các đại lượng vật lý là khác nhau, nhưng dùng cùng đơn vị về khối lượng, độ dài và thời gian để đo lường), đối với các hiện tượng tương tự với nhau, chỉ cần đơn vị dùng điều hoà thống nhất, cho dù trị số các đại lượng vật lý có thay đổi, nhưng trị số của tổ hợp không thứ nguyên vẫn không đổi. Đó là vì, các hiện tượng tương tự với nhau các đại lượng vật lý trong tổ hợp không thứ nguyên biến đổi theo tỷ lệ thuận. Tình huống sau chính là tình huống hiện tượng tương tự mà chúng ta đã đề cập. Hiển nhiên, những tổ

hợp không thứ nguyên đó chính là các chuẩn tắc tương tự, các phương trình do các tổ hợp không thứ nguyên tạo thành chính là phương trình chuẩn tắc. Có được những phương trình chuẩn tắc đó, phương trình hằng số tương tự sẽ được tìm ra không có gì khó khăn. Vì vậy, bất kể phương trình vật lý có dạng thức nào, chỉ cần phương trình đó là hợp lý, phương trình hằng số tỷ lệ có thể thiết lập được.

Lợi dụng phương trình vật lý để tìm số chỉ thị tương tự và chuẩn tắc tương tự và từ đó xây dựng phương trình hằng số tương tự là con đường hữu hiệu nhất để giải quyết vấn đề này. Đó là vì, không những có thể rất dễ dàng tìm được số chỉ thị tương tự và chuẩn tắc tương tự, mà ý nghĩa vật lý của chúng rất rõ ràng, vai trò của mỗi yếu tố trong hiện tượng vật lý này cũng thấy rõ được ngay. Do vậy, khi sử dụng các phương trình hằng số tỷ lệ đó, những cái nào cần tuân thủ một cách nghiêm chỉnh, cái nào cho phép sai số, đều dễ có quyết sách chính xác.

3.2.5. Suy diễn số chỉ thị tương tự và chuẩn tắc tương tự khi chưa biết phương trình vật lý

Những vấn đề đã đề cập ở trên đều là những trường hợp đã biết phương trình vật lý cần phải tìm các số chỉ thị tương tự và chuẩn tắc tương tự. Nhưng, luôn luôn có phương trình vật lý chưa hề biết. Lúc đó, việc đi tìm số chỉ thị tương tự và chuẩn tắc tương tự thông thường theo hai phương pháp sau :

a) Phương pháp 1

Sử dụng phép phân tích thứ nguyên cho dù còn chưa biết phương trình vật lý mô tả mối liên hệ giữa các phương trình vật lý, nhưng hiện tượng vật lý và những yếu tố ảnh hưởng thì đã biết. Như vậy thì có thể lợi dụng phép phân tích thứ nguyên (ví dụ định luật π), từ các đại lượng vật lý hữu quan tổ chức thành các tổ hợp không thứ nguyên.

Mặc cho quan hệ hàm số để liên hệ các tổ hợp không thứ nguyên đó còn chưa biết, nhưng chỉ cần biết bản thân các tổ hợp không thứ nguyên đó, số chỉ thị tương tự và chuẩn tắc tương tự sẽ có thể tìm ra, từ đó phương trình hằng số tương tự cũng có thể lập được. Phương pháp này xem ra rất có khả năng giải quyết vấn đề, nhưng như đã nói trong khi giới thiệu phép phân tích thứ nguyên, các tổ hợp không thứ nguyên thu được với phương pháp đó phụ thuộc rất nhiều vào các đại lượng vật lý đưa vào đã đủ hay chưa, có bỏ sót các đại lượng quan trọng không và số đại lượng vật lý cơ bản được chọn để đo lường các đại lượng vật lý khác có hợp lý không. Nếu bỏ sót đại lượng quan trọng, đưa thêm vào các đại lượng thứ yếu hoặc chọn đại lượng vật lý cơ bản không thoả đáng, tổ hợp không thứ nguyên thu được không nhất thiết là chuẩn tắc tương tự có tác dụng chủ đạo đối với các hiện tượng tương tự. Vì vậy, tính chủ quan của phương pháp đó tương đối lớn, trừ phi đó là những hiện tượng vật lý còn chưa hiểu biết nhiều, còn thì rất ít sử dụng. Khi không thể không sử dụng phương pháp này, để tìm kiếm tổ hợp không thứ nguyên có tác dụng chủ đạo, cần rất chú ý đến nhận thức đối với thực chất cơ học của hiện tượng vật lý.

b) Phương pháp 2

Xuất phát từ biểu thức tổng quát về lực tác dụng khống chế hiện tượng vật lý, lập ra phương trình hằng số tỷ lệ của các loại lực, sau đó căn cứ vào nguyên tắc tương tự động lực là tỷ lệ của các loại lực tác dụng phải bằng nhau để tìm ra phương trình hằng số tỷ lệ hữu quan.

Lấy ví dụ, lực chủ yếu khống chế chuyển động của dòng chảy thông thường là: trọng lực, lực quán tính, lực nhớt, sức cản rối động. Biểu thức chung của các lực và phương trình hằng số tỷ lệ có thể viết như sau:

$$\text{- Trọng lực:} \quad f_g = \rho g l^3 \quad (3.32)$$

$$\lambda_{fg} = \lambda_\rho \lambda_g \lambda_l^3 \quad (3.33)$$

$$\text{- Lực quán tính:} \quad f_i = ma = \rho l^2 u dt \frac{du}{dt} = (\rho l^2 du^2 / 2) \quad (3.34)$$

$$\lambda_{fi} = \lambda_\rho \lambda_l^2 \lambda_u^2 \quad (3.35)$$

$$\text{- Lực nhớt:} \quad f_v = \tau_v l^2 = \rho \nu \frac{du}{dl} l^2 \quad (3.36)$$

$$\lambda_{fv} = \lambda_\rho \lambda_\nu \lambda_l \lambda_u \quad (3.37)$$

- Lực rối động (lấy ví dụ là lực tiếp trên mặt phẳng song song với phương dòng chảy):

$$f_r = \tau_l l^2 = -\overline{\rho u' v'} l^2 \quad (3.38)$$

$$\lambda_{fr} = \lambda_\rho \lambda_l^2 \lambda_u^2 \quad (3.39)$$

trong đó:

l - kích thước hình học của dòng chảy;

τ_v, τ_l - lực nhớt và lực tiếp rối động trên một đơn vị diện tích.

Phương trình hằng số tỷ lệ của tương tự tỷ lệ lực quán tính và trọng lực:

$$\frac{\lambda_{fi}}{\lambda_{fg}} = \frac{\lambda_\rho \lambda_l^2 \lambda_u^2}{\lambda_\rho \lambda_g \lambda_l^3} = \frac{\lambda_u^2}{\lambda_g \lambda_l} = 1 \text{ (tương tự Froude)}$$

Phương trình hằng số tỷ lệ của tương tự tỷ lệ lực quán tính và lực nhớt:

$$\frac{\lambda_{fi}}{\lambda_{fv}} = \frac{\lambda_\rho \lambda_l^2 \lambda_u^2}{\lambda_\rho \lambda_\nu \lambda_l \lambda_u} = \frac{\lambda_l \lambda_u}{\lambda_\nu} = 1 \text{ (tương tự Reynolds)}$$

Phương trình hằng số tỷ lệ của tương tự tỷ lệ lực quán tính và lực cản rối động:

$$\frac{\lambda_{fi}}{\lambda_{it}} = \frac{\lambda_u^2}{\lambda_u^2} = 1$$

Ta thấy, chúng ta thu được các phương trình hằng số tỷ lệ hoàn toàn giống với các phương trình (3.25), (3.27) và (3.28). Phương trình (3.26) như đã nói trước, không hề làm tăng thêm phương trình hằng số tỷ lệ mới, mà có thể không xét đến khi nghiên cứu chuyển động dòng chảy trong kênh hở. Công thức (3.24) phản ánh điều kiện liên tục của dòng chảy, có thể trực tiếp tìm ra từ quan hệ giữa lưu tốc, độ dài và thời gian:

$$\lambda_u = \frac{\lambda_l}{\lambda_t}$$

Sửa đổi chút ít sẽ có được phương trình (3.24)

Phương pháp này sử dụng rộng rãi trong thời kỳ đầu của thí nghiệm mô hình, hiện nay vẫn tiếp tục sử dụng. Ưu điểm lớn nhất của nó là, cho dù không biết phương trình vật lý cũng có thể suy ra phương trình hằng số tỷ lệ, hơn nữa khá đơn giản. Nhưng cần chỉ rõ, chỉ cần phương trình vật lý đã biết, thì cần sử dụng nó để tìm ra phương trình hằng số tỷ lệ. Trước hết đó là vì ý nghĩa vật lý của các số hạng trong phương trình vật lý tương đối rõ ràng, các phương trình đó chia ra 1D, 2D, 3D, ý nghĩa của cùng 1 loại lực trong các phương trình khác nhau đều khác nhau, ý nghĩa của các phương trình hằng số tỷ lệ tìm được cũng không giống nhau. Còn phương trình hằng số tỷ lệ có được theo phương pháp vừa trình bày thì đều như nhau, không có sai khác.

Sau đó, các số hạng trong phương trình vật lý để phân biệt chủ thứ, đặc biệt khi không phải xuất phát từ phương trình tổng quát, mà xuất phát từ phương trình của một hiện tượng cụ thể, các yếu tố ảnh hưởng không quan trọng đã được loại ra ngoài vòng suy xét, đặc điểm nói trên lại càng nổi bật. Còn phương trình hằng số tương tự suy ra từ phương pháp trên đây, từ bản thân phương pháp thì không thể phân biệt được vị trí chủ thứ của chúng.

3.3. ĐIỀU KIỆN TƯƠNG TỰ

Hai phần trên đã đề cập đến thuộc tính hữu quan của hiện tượng tương tự và từ đó dẫn đến các định lý về số chỉ thị tương tự và chuẩn tắc tương tự hữu quan để xác định quan hệ tỷ lệ giữa các đại lượng vật lý khác nhau. Hiển nhiên, không thể hoàn toàn căn cứ vào những yêu cầu ấy để phán đoán xem hai hiện tượng có tương tự hay không. Ví dụ, không thể chỉ dựa vào toàn bộ trường lưu tốc và trường động lực của mô hình có tương tự hay không và số chỉ thị tương tự hợp thành bởi các đại lượng vật lý hữu quan ở các vị trí khác nhau có bằng 1 hay không để phán đoán mô hình và nguyên hình có tương tự hay không. Vì như thế thì yêu cầu phải có một sự tìm hiểu triệt để các quá trình của mô hình và nguyên hình, điều đó là không thể, cho dù có thể cũng mất đi ý nghĩa của việc tiến hành mô hình thí nghiệm, vì khi đã hiểu biết đầy đủ các quá trình chuyển

động của nguyên hình thì không cần phải tiến hành thí nghiệm nữa. Do vậy, vấn đề là ở mức độ thấp nhất phải căn cứ những điều kiện cần và đủ nào, cũng chính là điều kiện tương tự để kết luận mô hình là nguyên hình có tương tự với nhau không, tức là để thiết kế một mô hình tương tự với nguyên hình.

Hiển nhiên, được gọi là tương tự với nguyên hình không chỉ có một mô hình duy nhất, mà là có hàng loạt các mô hình lớn bé khác nhau. Bất kỳ một trong những mô hình đó đều tương tự hình học với nguyên hình, và cũng như nguyên hình, đều được mô tả bởi cùng một phương trình vật lý, đó là điều kiện cần đầu tiên để thực hiện tương tự.

Nhưng mô hình mà chúng ta xét đến chỉ là một mô hình xác định trong hàng loạt những mô hình khác. Hơn nữa, trong các mô hình xác định đó, trong một thời gian đặc định, hiện tượng tương tự mà chúng ta quan tâm cũng chỉ là một hiện tượng tương tự xác định trong hàng loạt các hiện tượng tương tự khác. Do đó, điều kiện đơn trị để tách biệt các mô hình xác định ra khỏi hàng loạt mô hình tương tự khác, tách biệt hiện tượng tương tự xác định ra khỏi hàng loạt hiện tượng tương tự khác, tất yếu phải được biết. Nó giống như một nghiệm riêng của phương trình vi phân mô tả hiện tượng vật lý, là thông qua điều kiện đơn trị để tách nghiệm riêng ra khỏi nghiệm tổng quát của phương trình vi phân. Các điều kiện vật lý mà điều kiện đơn trị bao gồm cần phải đối ứng với nhau trong mô hình và nguyên hình, nhưng về trị số thì không bằng nhau. Tỷ số của chúng nên bằng hằng số tỷ lệ tương ứng. Điều kiện đơn trị, ở tình huống bình thường chính là điều kiện biên. Hiển nhiên, nếu các đại lượng vật lý hữu quan trên biên không tương tự, sẽ không có sự tương tự về hiện tượng. Do đó, sự tương tự của các hiện tượng vật lý mà điều kiện đơn trị của mô hình và nguyên hình bao gồm, là điều kiện cần thứ hai để thực hiện mô hình tương tự.

Tiến hành thêm một bước, chỉ đơn thuần có sự tương tự của các đại lượng vật lý mà điều kiện đơn trị bao gồm, cũng chưa thể cho rằng mô hình và nguyên hình đã tương tự. Như đã nói, trong các hiện tượng tương tự các hằng số tương tự của các đại lượng vật lý không phải được chọn tùy ý, giữa chúng có sự ràng buộc của phương trình hằng số tỷ lệ, tức là số chỉ thị tương tự phải bằng 1. Hằng số tương tự của các đại lượng vật lý hữu quan biểu đạt điều kiện đơn trị, tất nhiên cũng chịu sự ràng buộc như vậy. Vì vậy, quan hệ hằng số tỷ lệ của các đại lượng vật lý mà điều kiện đơn trị của mô hình và nguyên hình bao gồm cần phải thoả mãn yêu cầu số chỉ thị tương tự bằng 1, và đó chính là điều kiện cần thứ ba để thực hiện tương tự. Điều kiện cuối cùng này cũng có nghĩa là chuẩn tắc tương tự được tạo thành bởi các đại lượng vật lý mà điều kiện đơn trị bao gồm của mô hình và nguyên hình phải bằng nhau.

Do điều kiện đơn trị là điều kiện có tính chất quyết định cho việc tách biệt các hiện tượng tương tự mà chúng ta quan tâm nghiên cứu ra khỏi hàng loạt hiện tượng tương tự khác, nên yêu cầu về sự tương tự của các đại lượng vật lý mà điều kiện đơn trị bao gồm và quan hệ hằng số tương tự giữa chúng cần thoả mãn số chỉ thị tương tự bằng 1 hoặc chuẩn tắc tương tự bằng hằng số được coi là điều kiện tương tự có tính quyết định nhất.

Trên đây chúng ta đã thảo luận 3 điều kiện cần để thực hiện tương tự. Đã có thể nói 3 điều kiện cần đó chính là điều kiện đủ để thực hiện tương tự chưa? Để trả lời, cần chứng minh một mệnh đề sau: chỉ cần bảo đảm tương tự của các đại lượng vật lý mà điều kiện đơn trị bao gồm, hơn nữa quan hệ hằng số tỷ lệ giữa chúng thoả mãn yêu cầu số chỉ thị tương tự bằng 1, thì các đại lượng vật lý như thế mà không thuộc điều kiện đơn trị, cũng tức là các đại lượng vật lý như vậy ở các vị trí khác, không ở trên biên, cũng sẽ tương tự, và quan hệ hằng số tỷ lệ của chúng cũng thoả mãn yêu cầu về số chỉ thị tương tự bằng 1?

Để chứng minh điều đó, có thể giả thiết là có một hiện tượng tương tự xác định như thế; hoàn toàn tương tự với nguyên hình. Như vậy, hiện tượng tương tự này, căn cứ vào thuộc tính chung và định lý tương tự của hiện tượng tương tự đã nói trước đây, nhất định sẽ thoả mãn 3 điều kiện trên, tức là: về hình học thì tương tự với nguyên hình và được mô tả bằng 1 phương trình vật lý, các đại lượng vật lý mà điều kiện đơn trị bao gồm là tương tự, quan hệ hằng số tương tự của chúng thoả mãn yêu cầu số chỉ thị tương tự bằng 1. Bây giờ ngược lại, có hiện tượng thoả mãn 3 điều kiện trên, tức là hiện tượng đó hoàn toàn tương đồng với hiện tượng tương tự xác định và điều kiện đơn trị mà chúng ta giả định. Nếu đã là tương tự với nguyên hình, cũng tức là nói, trong cùng một điều kiện đơn trị, sẽ xuất hiện hơn 2 hiện tượng tương đồng, như vậy điều kiện đơn trị đã không còn điều kiện đơn trị nữa. Chỉ cần điều kiện đơn trị không bị chọn sai, điều đó tuyệt nhiên không thể xuất hiện. Từ đó đi đến kết luận, 3 điều kiện chính là điều kiện cần và đủ để thực hiện tương tự. Thoả mãn 3 điều kiện đó, mô hình và nguyên hình sẽ tương tự.

Những luận đoán ở trên cũng có thể dễ dàng lý giải bằng ý nghĩa toán học. Một phương trình vi phân mô tả hiện tượng vật lý đều thích dụng hàng loạt các hiện tượng tương tự, nó tồn tại vô số nghiệm. Chỉ định một điều kiện đơn trị xác định, thì sẽ thu được 1 nghiệm xác định, từ đó mô tả hiện tượng tương tự xác định.

Một điều kiện đơn trị không thể cho ta 2 nghiệm, mô tả 2 hiện tượng tương tự khác nhau.

Ba điều kiện tương tự nói trên, còn có thể quy nạp thành một điều kiện tương tự. Trước đây đã coi tương tự hình học là một loại tương tự của điều kiện biên, cũng tức là tương tự của điều kiện đơn trị. Tiến thêm một bước, có thể lý giải điều kiện tương tự đơn trị là tương tự của các đại lượng vật lý mà nó bao gồm, vừa có thể lý giải quan hệ tỷ lệ của các đại lượng vật lý đó thoả mãn điều kiện số chỉ thị tương tự bằng 1. Như vậy, *có thể khái quát điều kiện tương tự của mô hình và nguyên hình như sau: các hiện tượng vật lý của mô hình và nguyên hình được mô tả bởi cùng một phương trình vật lý, điều kiện đơn trị của nó phải tương tự.*

Ngoài tương tự hình học đã nói ở trên, tương tự điều kiện đơn trị còn bao gồm những nội dung gì? Làm thế nào để bảo đảm tính tương tự của nó? Đó là một vấn đề phức tạp, nói chung, xác định điều kiện đơn trị và biện pháp khống chế tính tương tự của chúng sẽ khác nhau tùy theo các hiện tượng vật lý mà chúng ta phải đối mặt và phương trình mô

tả hiện tượng vật lý đó. Về vấn đề này, chúng ta sẽ thảo luận kết hợp với mô hình công trình sông cụ thể, nhưng để tăng thêm nhận thức về lý thuyết tương tự, ở đây sẽ trình bày một số khái niệm đơn giản.

Lấy ví dụ về dòng chảy một chiều là trường hợp đơn giản nhất của mô hình công trình sông ngòi. Phương trình vi phân mô tả chuyển động dòng chảy là phương trình dòng chảy ổn định không đều trong kênh hở:

$$-\frac{dz}{dx} = \frac{Q^2}{K^2} + \frac{d}{dx} \left(\frac{Q^2}{2gA^2} \right) \quad (3.40)$$

trong đó:

z - cao trình mực nước;

x - khoảng cách;

Q - lưu lượng;

K - môđun lưu lượng, đối với một dạng mặt cắt ướt nhất định, K là hàm số của z ;

A - diện tích mặt cắt ướt;

g - gia tốc trọng lực.

Phương trình trên mô tả, trên thực tế là một loạt các đường mặt nước. Đối với một lưu lượng nhất định, chỉ cần mực nước cuối đoạn không đổi, thì dạng đường mặt nước là hoàn toàn xác định. Vì vậy, sự tương tự ở điều kiện đơn trị ở đây, hiển nhiên bao gồm 3 phương diện tương tự hình học của biên lòng sông, tương tự hình học cao trình mặt nước hoặc độ sâu mặt cắt cuối của đoạn sông và tương tự lưu lượng của mặt cắt đầu đoạn sông. Tự nhiên hằng số tỷ lệ lưu lượng và hằng số tỷ lệ độ dài là không thể chọn tùy ý, nó bị ràng buộc bởi phương trình hằng số tương tự suy ra từ phương trình (3.40). Do ở đây khảo sát vấn đề lựa chọn điều kiện đơn trị, sẽ không phân tích kỹ vấn đề này ở đây. Nếu nói rằng, chỉ cần thỏa mãn tính tương tự ở 3 mặt trên, dòng chảy một chiều ở tất cả các bộ phận trong đoạn sông đều tương tự một cách tự động.

Nhưng nếu dòng chảy là ổn định, rồi 3 chiều, thì vấn đề sẽ tương đối phức tạp hơn. Ở đây phương trình vi phân mô tả chuyển động của dòng chảy có thể lấy từ các phương trình (3.16) đến (3.18), nhưng lược bỏ số hạng quán tính biến đổi theo thời gian. Ngoài ra, số hạng chứa lực nhớt trong phương trình cũng có thể bỏ qua vì tương đối nhỏ. Hệ phương trình vi phân này, do điều kiện đơn trị có chút khó khăn khi cần biểu đạt bằng quan hệ hàm số, một số số hạng trong phương trình, như số hạng quán tính rối động cũng không thể xác định, thông thường rất khó tìm nghiệm. Sự tương tự đơn trị trong trường hợp này, ngoài tương tự hình học của biên rắn (địa hình và cả độ nhám của mô hình), tương tự hình học của mực nước (hoặc độ sâu) ở mặt cắt ra của đoạn sông, khác với dòng chảy một chiều, sự tương tự lưu lượng của mặt cắt vào của đoạn sông được thay bằng sự tương tự của trường lưu tốc ở mặt cắt vào. Ngoài ra, lực tiếp của các điểm trên mặt nước cũng cần tương tự, tức đều bằng 0, khi bỏ qua sức cản của không khí, điều

này có thể tự động được thỏa mãn. Lực tiếp của các điểm trên mặt lòng dẫn cũng phải tương tự, và từ đây sẽ dẫn đến phương trình hằng số tương tự có liên quan đến tương tự sức cản.

Khi dòng chảy ở khu bình phương sức cản và tuân thủ tương tự hình học một cách chặt chẽ, điều này trên lý thuyết cũng có thể tự động thỏa mãn. Vấn đề chỉ là sự tương tự trường lưu tốc mặt cắt vào đoạn sông không dễ gì khống chế được, nhưng thực tiễn chứng minh rằng nếu trước mặt cắt cửa vào có một khoảng cách quá độ đủ lớn, kết cấu dòng chảy thông qua sẽ tự động điều chỉnh để có dạng thức ổn định, không phụ thuộc vào phân bố vận tốc và cường độ rối ở đầu đoạn quá độ. Như thế có nghĩa là, chỉ cần lưu lượng vào là tương tự và có chiều dài quá độ đầy đủ và làm được tương tự hình học một cách chặt chẽ, thì tương tự điều kiện đơn trị nói trên sẽ tự động thỏa mãn. Cần chỉ rõ, ở mặt cắt cửa ra (cuối đoạn) cũng tồn tại vấn đề như vậy, mặc dầu trường lưu tốc ở mặt cắt cửa ra chủ yếu phụ thuộc vào điều kiện dòng chảy thượng lưu, nhưng nếu ở hạ lưu có sự nhiễu động nghiêm trọng, cũng sẽ bị ảnh hưởng. Vì vậy, để bảo đảm trường lưu tốc ở cửa ra không chịu ảnh hưởng nhiễu động của hạ lưu, cần phải bố trí một đoạn quá độ có chiều dài thích hợp ở sau mặt cắt cửa ra. Còn phương trình hằng số tỷ lệ của các đại lượng vật lý mà điều kiện đơn trị bao gồm, cũng giống như trường hợp dòng chảy một chiều, tức được suy ra từ phương trình vi phân của dòng chảy ba chiều. Ví dụ trên, đã thuyết minh đầy đủ rằng, thí nghiệm mô hình ở một số phương diện nào đó có nhiều tính ưu việt hơn hẳn tính toán lý thuyết. Các phương trình vi phân phức tạp mà tính toán lý thuyết rất khó tìm nghiệm, lợi dụng mô hình thí nghiệm có thể giải quyết được.

Nhưng cần hiểu rằng, sự tương tự chặt chẽ của mô hình và nguyên hình là rất khó thực hiện. Trước hết, sự tương tự chặt chẽ về hình học đã rất khó đạt được; sau đó tương tự động thái và tương tự sức cản (tức tương tự rối động), vì có liên quan chặt chẽ đến tương tự hình học, cũng rất khó thực hiện.

Tiếp theo, các phương trình hằng số tương tự suy ra từ phương trình mô tả hiện tượng vật lý cũng rất khó thỏa mãn cùng một lúc, vì tương tự động lực vốn đã khó thực hiện đầy đủ. Đó là nói về mô hình có lòng dẫn không đổi, nếu là trường hợp mô hình có lòng dẫn thay đổi (gọi là mô hình lòng động hay mô hình bùn cát) thì vấn đề càng phức tạp hơn. Vì vậy, thí nghiệm mô hình ở giai đoạn hiện nay tiến hành rộng rãi, thông thường không thể làm được tương tự chặt chẽ giữa mô hình và nguyên hình, mà chỉ có thể làm mô hình tương tự một cách gần đúng. Thực tiễn chỉ rõ rằng, chỉ cần nắm vững mâu thuẫn chủ yếu, cố gắng thực hiện tương tự gần đúng cho các hiện tượng nghiên cứu chủ yếu, thí nghiệm mô hình sẽ đạt được độ chính xác cần thiết do giải quyết vấn đề thực tế đặt ra.

Vì những lẽ trên, khi tiến hành mô hình thí nghiệm, cần phân tích đối tượng nghiên cứu, nắm vững mâu thuẫn chủ yếu, chiếu cố những vấn đề thứ yếu, bỏ qua các yếu tố không quan trọng, hướng đến vấn đề chủ yếu cần giải quyết và bản chất của hiện tượng vật lý, tiến hành phân tích sâu sắc, tỉ mỉ để có quyết sách thích hợp.

Chương IV

THÍ NGHIỆM MÔ HÌNH SÔNG LÒNG CỨNG

Thí nghiệm mô hình công trình sông là công việc nghiên cứu thông qua đo đạc, quan sát trong một mô hình nhỏ hơn rất nhiều so với nguyên hình, để tìm hiểu kết cấu dòng chảy và biến hình lòng dẫn, trong trạng thái tự nhiên hoặc dưới tác dụng của các công trình. Một mô hình như vậy được chế tạo trên cơ sở quy luật cơ học của dòng chảy và chuyển động bùn cát, thông qua sự phục chế điều kiện biên và tái diễn điều kiện động lực tương tự với nguyên hình. Những vấn đề công trình trên sông thường gặp trong thực tế đều thuộc về những bài toán 3D, điều kiện biên vô cùng phức tạp, nếu chỉ dựa vào những kiến thức hiện có về dòng chảy và chuyển động bùn cát rất khó tiến hành phân tích tính toán một cách chính xác, lúc đó sự kết hợp giữa thí nghiệm mô hình và phân tích lý thuyết luôn luôn là con đường hữu hiệu để giải quyết vấn đề.

Do hình dạng lòng dẫn phức tạp, lại luôn luôn thay đổi, mô hình công trình trên sông, trong lý thuyết và trên thực tế, đều phức tạp hơn nhiều so với mô hình công trình thủy công. Mặc dầu thí nghiệm mô hình công trình trên sông đã có lịch sử hơn trăm năm, nhưng cho đến nay vẫn còn nhiều tồn tại, cần tiếp tục cải tiến, hoàn thiện.

Thí nghiệm công trình sông có thể tiến hành trên mô hình lòng cứng, hoặc trên mô hình lòng động. Nếu dòng chảy trong mô hình là dòng nước trong, lòng dẫn không biến đổi dưới tác dụng của dòng chảy thì đó là mô hình lòng cứng. Nếu trong mô hình, dòng chảy mang theo các hạt rắn, lòng dẫn biến đổi dưới tác dụng của dòng chảy, thì đó là mô hình lòng động. Mô hình lòng cứng cũng gọi là mô hình dòng chảy, còn mô hình lòng động thường được gọi là mô hình bùn cát. Chương này chỉ thảo luận mô hình lòng cứng. Loại thí nghiệm mô hình này, về lý thuyết và thực tiễn, đều đã tương đối thành thực. Trong trường hợp lòng dẫn không có biến hình lớn hoặc có biến hình, song sự biến hình đó không ảnh hưởng đến vấn đề chủ yếu của đề tài nghiên cứu, thì đều có thể sử dụng thí nghiệm mô hình sông lòng cứng.

4.1. THÍ NGHIỆM MÔ HÌNH SÔNG LÒNG CỨNG, CHÍNH THÁI

Mô hình sông lòng cứng thông thường được chia ra mô hình chính thái và mô hình biến thái. Mô hình chính thái là loại mô hình về cơ bản thỏa mãn điều kiện tương tự về hình học, mô hình biến thái là loại mô hình có sự sai lệch tương đối lớn về tương tự hình học. Trước hết nói về mô hình chính thái.

4.1.1. Tương tự của dòng chảy 3D

Vấn đề cốt yếu trong thiết kế mô hình công trình sông lòng cứng là xác định các phương trình hằng số tỷ lệ (chuẩn tắc tương tự) của các đại lượng vật lý trong điều kiện đơn trị. Dòng chảy mô hình công trình sông phải nghiên cứu thông thường thuộc loại dòng chảy rối 3D. Với tình hình chung nhất, phương trình hằng số tỷ lệ các đại lượng vật lý hữu quan được suy ra từ hệ phương trình vi phân tổng quát về dòng chảy rối 3D, tức các phương trình từ (3-15) đến (3-18). Trước đây đã chỉ rõ, đối với mô hình chính thái thỏa mãn cơ bản điều kiện tương tự hình học thì hằng số tỷ lệ có 5 phương trình, tức các phương trình từ (3-24) đến (3-28), trong đó, đối với các mô hình công trình sông thông thường, tương tự Euler không cần phải xét đến, có thể loại ra. Đối với điều kiện tương tự Re, mô hình công trình sông không thể và cũng không buộc phải thỏa mãn, cũng có thể bỏ qua. Nhưng để bảo đảm dòng chảy mô hình thuộc dòng chảy rối như ở nguyên hình, số Re mô hình không thể quá nhỏ. Như vậy, còn lại 3 phương trình hằng số tỷ lệ (3-24), (3-25) và (3-28).

Trong 3 phương trình hằng số tỷ lệ nói trên, phương trình (3-24) xác định quan hệ giữa các hằng số tỷ lệ thời gian λ_t , hằng số tỷ lệ lưu tốc λ_u và hằng số tỷ lệ chiều dài λ_l , tức:

$$\lambda_t = \frac{\lambda_l}{\lambda_u} \quad (4-1)$$

Nếu nghiên cứu về dòng chảy không ổn định, để xác định tỷ lệ thời gian, phương trình (4-1) cần được tuân thủ. Nếu nghiên cứu về dòng chảy ổn định hoặc gần ổn định, sẽ không tồn tại vấn đề về tỷ lệ thời gian, thì phương trình (3-24) không cần xét đến nữa.

Từ phương trình (3-25) biểu thị tương tự về tỷ số giữa lực quán tính và trọng lực, xác định quan hệ giữa hằng số tỷ lệ lưu tốc λ_u và hằng số tỷ lệ chiều dài λ_l . Trong tình hình thông thường, cần phải xét đến và cũng dễ dàng có được, do $\lambda_g = 1$, nên:

$$\lambda_u = \lambda_l^{1/2} \quad (4-2)$$

Vấn đề khó là ở phương trình (3-28). Phương trình này về bản chất là biểu thị tính tương tự của tỷ số giữa lực quán tính và sức cản, trong tình hình chung phải được tuân thủ vô điều kiện. Nhưng do lưu tốc mạch động, hằng số tỷ lệ này rất khó khống chế một cách trực tiếp trong thiết kế và trong vận hành mô hình, mà quan hệ giữa lưu tốc mạch động và các yếu tố thủy lực khác chưa thể nắm vững đầy đủ, vì vậy ảnh hưởng của việc thỏa mãn điều kiện (3-28) đối với các hằng số tỷ lệ hữu quan có thể khống chế, cũng không rõ ràng. Như vậy, vấn đề là làm sao để tuân thủ phương trình (3-28). Chương trước chúng ta đã chỉ rõ, *phương trình hằng số tỷ lệ có liên quan đến tương tự sức cản, trong mỗi tình huống cụ thể, cần suy ra từ điều kiện biên của phương trình vi phân*. Sau

đây, chúng ta thử xuất phát từ nhận thức đó để suy diễn phương trình hằng số tỷ lệ có liên quan đến tương tự sức cản. Điều kiện biên lòng sông của phương trình vi phân nói trên là khi $z = 0$ hoặc $y = B/2$, ta có:

$$\tau = \tau_0 = \frac{f}{4} \rho \frac{U^2}{2} \quad (4-3)$$

trong đó:

τ - ứng suất tiếp rối ;

τ_0 - ứng suất tiếp nối trên đáy sông ;

f - hệ số sức cản trên đáy sông ;

U - lưu tốc trung bình thủy trực.

Do đó, có thể suy ra:

$$\lambda_\tau = \lambda_{\tau_0} = \lambda_f \lambda_p \lambda_U^2 \quad (4-4)$$

Trong dòng chảy 3D, khi trục x cùng phương với phương dòng chảy, trên mặt phẳng xy , ứng suất tiếp rối trên đơn vị diện tích theo phương dòng chảy là:

$$\tau = \tau_{xz} = - \overline{\rho u' w'} \quad (4-5)$$

Viết thành phương trình hằng số tỷ lệ, ta có

$$\lambda_\tau = \lambda_{\tau_{xz}} = \lambda_p \lambda_w^2 \quad (4-6)$$

Kỳ thực không chỉ phương trình hằng số tỷ lệ ứng suất tiếp rối đã nói ở trên là như thế, đối với mô hình chính thái do $\lambda_{u'} = \lambda_{v'} = \lambda_{w'}$, nên trên bất kỳ mặt phẳng nào, phương trình hằng số tỷ lệ của ứng suất tiếp rối của đơn vị diện tích theo bất kỳ phương nào, cũng đều như vậy. Xét quan hệ tỷ lệ tồn tại trong (4-3) và (4-4), và lấy tỷ lệ lưu tốc trung bình thủy trực λ_U và tỷ lệ lưu tốc điểm λ_u bằng nhau, ta có:

$$\lambda_{u'}^2 = \lambda_f \lambda_u^2 \quad (4-7)$$

Thay vào (3-28), thu được phương trình sau:

$$\frac{\lambda_u^2}{\lambda_f \lambda_u^2} = \frac{1}{\lambda_f} = 1 \text{ hoặc } \lambda_f = 1 \quad (4-8)$$

Như vậy, muốn thỏa mãn tương tự rối hoặc tương tự tỷ số giữa lực quán tính và sức cản rối, hằng số tỷ lệ về hệ số sức cản của mô hình chính thái λ_f bắt buộc phải bằng 1. Cần chỉ rõ, hệ số sức cản ở đây là nói đến hệ số sức cản của các bộ phận của bề mặt lòng dẫn, có thể chúng không bằng nhau, nhưng tỷ lệ hệ số sức cản tương ứng luôn bằng 1. Tỷ lệ hệ số sức cản các bộ phận λ_f đã bằng 1, tỷ lệ hệ số sức cản tổng thể, cũng tức là tỷ lệ hệ số sức cản của dòng chảy 1D, tất nhiên cũng bằng 1.

Kết quả thí nghiệm của Nikuradse và Sakreta cho thấy, trong khu vực bình phương sức cản có số Re rất lớn, hệ số sức cản f chỉ phụ thuộc vào độ nhám tương đối Δ/h , chỉ cần độ nhám tương đối bằng nhau, hệ số sức cản cũng sẽ bằng nhau. Hiển nhiên, mô hình có điều kiện tương tự hình học được tuân thủ chặt chẽ, thì độ nhám tương đối của mô hình và nguyên hình là hoàn toàn bằng nhau. Vì vậy hệ số sức cản của mô hình và hệ số sức cản của nguyên hình cũng hoàn toàn bằng nhau, yêu cầu (4-8) sẽ được tự động đáp ứng, chính vì vậy *khu bình phương sức cản cũng được gọi là khu tự động mô hình*.

Dòng chảy nguyên hình, do nước sâu, vận tốc lớn, thông thường đều ở khu vực bình phương sức cản. Nếu dòng chảy mô hình cũng ở khu bình phương sức cản và có thể thực hiện được tương tự hình học một cách chặt chẽ, thì theo luận giải ở trên, đối với dòng chảy ổn định, ràng buộc duy nhất mà các tỷ lệ mô hình phải tuân theo là tương tự Froude.

Nhưng rất khó để làm được mô hình có tương tự hình học tuyệt đối với nguyên hình. Ở đây tạm chưa nói đến việc để giải quyết một số vấn đề khó khăn nào đó mà phải sử dụng mô hình biến thái có tỷ lệ thẳng đứng khác với tỷ lệ mặt bằng. Cho dù trong mô hình chính thái, 2 tỷ lệ kích thước thẳng đứng và nằm ngang lấy như nhau, do tài liệu địa hình của nguyên hình không thể đo được rất chi tiết, độ chính xác khi chế tạo mô hình cũng không thể tuyệt đối bảo đảm, vì vậy nói chung chỉ có thể thực hiện tương tự hình học một cách đại thể, sự tương tự hoàn toàn về địa hình cục bộ đã không thể thực hiện được thì nói chỉ đến sự tương tự về vĩ địa hình. Ngoài ra, mô hình cũng không có thể bảo đảm chắc chắn rằng dòng chảy luôn ở khu bình phương sức cản. Chính vì như vậy, tỷ lệ giữa lực quán tính và sức cản của mô hình và nguyên hình có làm được tự động tương tự hay không, cũng không thể khẳng định được. Cũng tức là, trong quá trình thiết kế, chế tạo và kiểm nghiệm mô hình, yêu cầu đó cần được trọng thị đúng mức, để nó được đáp ứng.

Do số liệu về hệ số nhám n của lòng sông tự nhiên tương đối phong phú, để đánh giá sự tương tự sức cản, thông thường không sử dụng tỷ lệ hệ số sức cản λ_f , mà sử dụng tỷ lệ hệ số nhám λ_n , quan hệ giữa chúng có thể suy ra từ công thức sức cản.

$$\text{Do:} \quad U = \sqrt{\frac{8g}{f}} \sqrt{RJ}, \quad (4-9)$$

$$\text{và:} \quad U = \frac{R^{1/6}}{n} \sqrt{RJ}, \quad (4-10)$$

$$\text{vì vậy:} \quad \frac{R^{1/6}}{n} = \sqrt{\frac{8g}{f}}. \quad (4-11)$$

$$\text{Từ đó có thể viết:} \quad \lambda_f = \frac{\lambda_n^2}{\lambda_l^{1/3}}. \quad (4-12)$$

Do $\lambda_f = 1$, cho nên:

$$\lambda_n = \lambda_l^{1/6} \quad (4-13)$$

Cần chỉ rõ, tỷ lệ λ_n ở trên được suy ra từ công thức dòng chảy 1D, đối với dòng chảy 3D, cho dù độ nhám ở các bộ phận lòng dẫn không nhất thiết bằng nhau, nhưng tỷ lệ về hệ số nhám của các bộ phận tương ứng giữa mô hình và nguyên hình đều phải tuân thủ sự ràng buộc của quan hệ trên.

4.1.2. Tương tự của dòng chảy 1D, 2D

Ở trên, chúng ta đã xuất phát từ phương trình vi phân tổng quát của dòng chảy rối 3D và điều kiện biên lòng dẫn để suy ra các chuẩn tắc tương tự quan trọng mà tính tương tự của dòng chảy trong mô hình chính thái phải tuân thủ, tức các phương trình (3-24), (3-25) và (4-8) hoặc (4-13). Từ các phương trình vi phân của dòng chảy 1D hoặc 2D chúng ta cũng suy ra được các chuẩn tắc tương tự như thế, nhưng hàm ý của chúng có khác nhau.

Hệ phương trình vi phân của dòng chảy không ổn định 1D bao gồm:

- Phương trình liên tục:
$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (4-14)$$

- Phương trình chuyển động:

$$J = \frac{U^2 f}{8gR} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{U^2}{2g} \right) + \frac{1}{g} \frac{\partial U}{\partial t} \quad (4-15)$$

Xét rằng, $Q = AU$ và $R^{1/6}/n = \sqrt{8g/f}$, dùng phương pháp chuyển hóa tương tự, có thể suy diễn được các phương trình hằng số tỷ lệ giống như phân trước:

$$\frac{\lambda_l \lambda_u}{\lambda_l} = 1 \quad (4-16)$$

hoặc
$$\frac{\lambda_Q}{\lambda_l^2 \lambda_U} = 1 \quad (4-16a)$$

$$\frac{\lambda_U^2}{\lambda_g \lambda_l} = 1 \quad (4-17)$$

$$\lambda_f = 1 \text{ hoặc } \lambda_n = \lambda_l^{1/6} \quad (4-18)$$

Điều khác nhau là, λ_U ở đây biểu thị hằng số tỷ lệ lưu tốc trung bình mặt cắt, λ_f là hằng số tỷ lệ hệ số sức cản tổng quát. Từ đây có thể thấy rằng, sự tương tự của dòng chảy 1D có yêu cầu tương đối thấp, chỉ yêu cầu lưu tốc trung bình mặt cắt tương tự mà không yêu cầu tương tự của trường lưu tốc. Để bảo đảm tương tự, một biện pháp rất quan trọng phải làm và cũng dễ làm là chỉ yêu cầu sự tương tự của hệ số sức cản tổng thể, mà không yêu cầu sự tương tự đối với hệ số sức cản của từng bộ phận.

Đối với hệ phương trình vi phân của dòng chảy 2D, trong điều kiện dòng chảy không ổn định, nếu sử dụng tọa độ đường cong, có thể viết:

- Phương trình liên tục:
$$\frac{\partial q}{\partial s} + \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (4-19)$$

- Phương trình cân bằng động lực phương dọc:

$$J_s = \frac{U^2 f_b}{8qh} + \frac{1}{\rho gh} \frac{\partial \tau_n h}{\partial n} + \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{U^2}{2g} \right) + \frac{1}{g} \frac{\partial U}{\partial t} \quad (4-20)$$

- Phương trình cân bằng động lực phương ngang:

$$J_n = \frac{U^2}{gR} \quad (4-21)$$

trong đó:

s - tọa độ cong dọc theo phương dòng chảy,

n - tọa độ phương vuông góc với dòng chảy,

U - lưu tốc trung bình thủy trực,

h - độ sâu dòng chảy,

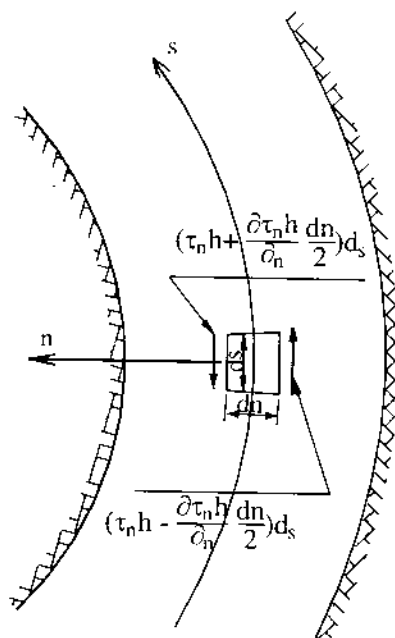
q - lưu lượng trên đơn vị rộng,

R - bán kính cong,

f_b - hệ số sức cản đáy,

τ_n - sức cản ma sát trung bình trên đơn vị diện tích trong mặt phẳng vuông góc,

J_s, J_n - độ dốc mặt nước theo phương dọc và theo phương ngang.



Hình 4-1: Sơ đồ tính toán sức cản ma sát bên của dòng chảy.

Từ hệ phương trình vi phân trên, dùng phương pháp chuyển hóa tương tự, có thể suy ra các phương trình bằng hằng số tương tự như ở các trường hợp trước:

$$\frac{\lambda_l \lambda_U}{\lambda_l} = 1 \quad (4-22)$$

hoặc:
$$\frac{\lambda_q}{\lambda_l \lambda_U} = 1 \quad (4-22a)$$

$$\frac{\lambda_U^2}{\lambda_g \lambda_l} = 1 \quad (4-23)$$

$$\lambda_{fb} = 1 \text{ hoặc } \lambda_{nb} = \lambda_l^{1/6} \quad (4-24)$$

trong đó: λ_{fb} , λ_{nb} là hằng số tỷ lệ hệ số sức cản đáy sông f_b và hằng số tỷ lệ hệ số nhám đáy n_b .

Cần nói rõ rằng, phương trình hằng số tỷ lệ (4-23) được suy ra từ phương trình cân bằng động lực phương ngang, không tăng thêm phương trình bằng số tỷ lệ mới. Ngoài ra, trong phương trình (4-20), số hạng τ_n trong vế phải, phỏng theo phương pháp xử lý như ở dòng chảy 3D, có thể lấy:

$$\lambda_{\tau_n} = \lambda_{\tau_w} = \lambda_p \lambda_{fw} \lambda_U^2 \quad (4-25)$$

trong đó:

τ_w - sức cản ma sát trung bình trên đơn vị diện tích thành bên;

λ_{fw} - hằng số tỷ lệ của hệ số sức cản thành bên f_w .

λ_U - hằng số tỷ lệ lưu tốc trung bình.

Từ đó suy ra:

$$\lambda_{fw} = 1 \text{ hoặc } \lambda_{nw} = \lambda_l^{1/6} \quad (4-26)$$

với λ_{nw} là bằng số tỷ lệ của hệ số nhám thành bên.

Phương trình hằng số tỷ lệ suy ra từ điều kiện dòng chảy 2D có điểm khác là λ_U là hằng số tỷ lệ lưu tốc trung bình thủy trực; λ_{fb} , λ_{fw} là hằng số tỷ lệ sức cản của các bộ phận lòng dẫn. Từ đó thấy rằng, dòng chảy 2 chiều nằm ngang yêu cầu tương tự về lưu tốc trung bình thủy trực, tiến bộ hơn so với dòng chảy 1D, nhưng vẫn không yêu cầu tương tự trường lưu tốc. Biện pháp cần thiết để bảo đảm tính tương tự, cũng giống như trường hợp dòng chảy 3D, yêu cầu hệ số sức cản của các bộ phận lòng dẫn phải tương tự.

4.1.3. Tiểu kết

Tổng hợp các phân thảo luận trên đây, có thể tóm tắt những phương trình hằng số tỷ lệ mà mô hình chính thái phải tuân thủ bao gồm:

- Tương tự về tính liên tục của dòng chảy:

$$\frac{\lambda_t \lambda_u}{\lambda_l} = 1 \quad (A_1)$$

hoặc:
$$\frac{\lambda_Q}{\lambda_l^2 \lambda_u} = 1 \quad (A_2)$$

- Tương tự về tỷ số giữa lực quán tính và trọng lực:

$$\frac{\lambda_u^2}{\lambda_l} = 1 \quad (A_3)$$

- Tương tự về tỷ số giữa lực quán tính và sức cản:

$$\lambda_r = 1 \quad (A_4)$$

hoặc:
$$\lambda_n = \lambda_l^{1/6} \quad (A_5)$$

Ngoài ra, khi thiết kế mô hình, để bảo đảm dòng chảy trong mô hình và nguyên hình về cơ bản được miêu tả bởi cùng một phương trình vật lý, còn có 2 điều kiện hạn chế cần đồng thời thỏa mãn như sau:

- Dòng chảy mô hình buộc phải là dòng chảy rối:

$$Re_M > 1000 \sim 2000 \quad (A_6)$$

- Chuyển động dòng chảy trong mô hình không chịu ảnh hưởng của sức căng bề mặt, yêu cầu độ sâu dòng chảy $h_m > 1,5\text{cm}$. (A₇)

Một số tài liệu còn yêu cầu dòng chảy trong mô hình có trạng thái chảy cùng là êm hoặc xiết, giống như trong nguyên hình. Điều kiện này chỉ cần xét đến khi phương trình hằng số về tỷ số giữa lực quán tính và trọng lực không thỏa mãn, nếu phương trình này được thỏa mãn, số Fr của mô hình sẽ bằng số Fr của nguyên hình, điều kiện đó sẽ là thừa.

Như vậy, chúng ta đã có toàn bộ biểu thức về tỷ lệ và các điều kiện hạn chế chủ yếu đối với mô hình công trình sông chính thái. Trong khi thiết kế mô hình, thường căn cứ vào tính chất nhiệm vụ, diện tích đất xây dựng mô hình, xét đến lưu lượng mà trạm bơm có thể cung cấp, trước hết xác định tỷ lệ theo chiều dài λ_l của mô hình, sau đó căn cứ vào các phương trình hằng số tỷ lệ tương ứng, đã có để xác định λ_u , λ_Q , λ_t , λ_n (hoặc λ_r).

4.1.4. Tương tự độ nhám và thí nghiệm kiểm chứng

Ở đây cần phân tích thêm về tỷ lệ hệ số nhám λ_n :

$\lambda_n = \lambda_1^{1/6}$ được quyết định bởi điều kiện tương tự về tỷ số giữa lực quán tính và sức cản, do tỷ lệ về độ dài λ_1 lớn cách xa với 1, từ đó λ_n cũng là một trị số lớn hơn 1. Ví dụ, khi $\lambda_1 = 500$, hệ số nhám có tỷ lệ $\lambda_n = 2,81$, cũng tức là độ nhám của mô hình nhỏ hơn nhiều so với nguyên hình, chỉ bằng $1/2,81$ của nguyên hình. Nếu hệ số nhám ở nguyên hình là 0,025, thì hệ số nhám của mô hình phải bằng 0,0089. Hệ số nhám phụ thuộc vào độ thô ráp của bề mặt lòng dẫn. Bề mặt lòng dẫn càng thô, trị số n càng lớn; bề mặt lòng sông càng nhẵn, trị số n càng nhỏ. Căn cứ vào kinh nghiệm thực tế, bề mặt vữa xây quét nước xi măng, hệ số $n \approx 0,012$. Cho dù nhẵn như gương kính, hệ số nhám cũng chỉ nhỏ đến 0,01, vì vậy trường hợp trên yêu cầu lòng dẫn mô hình $n = 0,0089$ là không thể làm được. Nói chung, nếu hệ số nhám nguyên hình tương đối nhỏ, mà tỷ lệ độ dài lại chọn quá lớn, hệ số nhám mô hình n_M không có cách nào để có thể đạt được yêu cầu. Ngoài ra, hệ số nhám mô hình đã rất nhỏ, các biện pháp mài nhẵn để giảm thô đều rất khó khăn, đó là điều cần chú ý khi chọn tỷ lệ mô hình.

Hệ số nhám mô hình phụ thuộc chủ yếu vào vật liệu làm mô hình và phương thức xử lý, ngoài ra còn phụ thuộc vào địa hình. Khi thiết kế mô hình chỉ có thể căn cứ vào kinh nghiệm để chọn ước định, nó có thoả mãn yêu cầu (4-13) hay không còn phải tiến hành thí nghiệm kiểm chứng mới đánh giá được.

Mô hình sông lòng cứng, mặc dầu là chính thái, do không thể đáp ứng được yêu cầu tương tự hình học một cách chặt chẽ, không chỉ khó xác định được có thoả mãn hay không đối với điều kiện tỷ lệ độ nhám suy ra từ tính tương tự về tỷ số giữa lực quán tính và sức cản, tỷ lệ lưu tốc mặc dầu có thể tính ra một cách chính xác từ điều kiện tương tự về tỷ số giữa lực quán tính và trọng lực, và có thể xét đến đầy đủ khi mở lưu lượng, nhưng liệu có đạt một cách thực sự đối với tương tự động học hay không cũng cần phải đợi kiểm chứng. Vì vậy, đối với mô hình công trình sông chỉ làm được gần đúng, thí nghiệm kiểm chứng luôn luôn là công việc bắt buộc phải tiến hành.

Thí nghiệm kiểm chứng đối với mô hình sông lòng cứng thông thường bao gồm 2 phần, một là kiểm chứng tương tự về đường mặt nước, hai là kiểm chứng về trường lưu tốc. Để tiến hành thí nghiệm kiểm chứng, đầu tiên phải thu thập đầy đủ tài liệu của nguyên hình, bao gồm:

- Tài liệu quan trắc mực nước đồng bộ ở đầu, cuối và một số mặt cắt ở giữa đoạn sông nghiên cứu, tương ứng với một số cấp lưu lượng (lũ, trung, kiệt).
- Tài liệu về phân bố lưu tốc điểm trên thủy trục ở một số mặt cắt điển hình của đoạn sông nghiên cứu ứng với các cấp lưu lượng đã nêu.
- Tài liệu về trạng thái chảy mặt nước (nếu có thể, bao gồm cả ở đáy sông) ở các cấp lưu lượng của đoạn sông nghiên cứu.

Khi tiến hành thí nghiệm kiểm chứng, đối với mỗi cấp lưu lượng, mặt nước cuối đoạn mô hình được khống chế bằng số liệu của nguyên hình, đợi sau khi dòng chảy ổn định mới tiến hành quan trắc mực nước, lưu tốc, trạng thái chảy tương ứng.

So sánh tài liệu nguyên hình và kết quả thí nghiệm trong mô hình, nếu đường mặt nước phù hợp, biểu thị sự tương tự về độ nhám tổng thể đã được thực hiện, tức điều kiện (4-13) đã được thỏa mãn. Nếu mặt nước mô hình cao hơn so với nguyên hình, chứng tỏ độ nhám của mô hình thiên lớn, cần làm giảm độ nhám. Nếu mặt nước mô hình thấp hơn so với nguyên hình, chứng tỏ độ nhám mô hình thiên nhỏ, cần phải tăng thêm độ nhám. Trong điều kiện trên đoạn sông có nhiều trạm mực nước, không những có thể phán đoán tình hình tương tự về độ nhám tổng thể toàn đoạn sông, mà còn có thể phán đoán tình hình tương tự về độ nhám của từng phần nhỏ. Đường mặt nước không phù hợp, không chỉ thể hiện không tương tự về độ nhám, đồng thời cũng ảnh hưởng đến tính tương tự về lưu tốc. Nhưng thông thường, đặc biệt là đối với các sông lớn, do độ sâu tương đối lớn, sự không tương tự về mực nước không ảnh hưởng lớn đến lưu tốc.

So sánh số liệu nguyên hình với kết quả thí nghiệm trên mô hình, nếu lưu tốc, trạng thái chảy phù hợp, chứng tỏ tính tương tự hình học của địa hình lòng sông và tương tự về phân bố hệ số nhám tương đối tốt, nếu không phù hợp chứng tỏ tính tương tự của hai yếu tố trên còn tồn tại vấn đề. Trong tình hình đó, trước hết cần kiểm tra kỹ độ chính xác trong chế tạo mô hình, đồng thời thu thập thêm số liệu địa hình của nguyên hình, đặc biệt là số liệu địa hình cục bộ và phân bố độ nhám, tìm ra nguyên nhân sai lệch giữa mô hình và nguyên hình để tiến hành sửa đổi tương ứng. Ở đầu vào và đầu ra của đoạn sông thí nghiệm, nếu lưu tốc và trạng thái chảy không tương tự, thường do chịu ảnh hưởng của kết cấu đoạn vào và của đuôi mô hình, cần tiến hành kiểm tra, tìm biện pháp khắc phục (ví dụ lắp thiết bị hướng dòng ở đầu vào, điều chỉnh phân bố lưu lượng đơn vị ở cửa đuôi mô hình).

4.2. THÍ NGHIỆM MÔ HÌNH SÔNG LÒNG CỨNG, BIẾN THÁI

Xuất phát từ yêu cầu cơ bản của lý thuyết tương tự, mô hình tốt nhất là thỏa mãn điều kiện tương tự hình học, tức mô hình chính thái, vì có như vậy mới tạo ra điều kiện tiên đề quan trọng cho việc thực hiện những tương tự về động thái và động lực của mô hình. Nhưng, trong một số trường hợp, do sự hạn chế của đủ loại điều kiện, không thể không giảm nhẹ ở một mức độ nào đó, yêu cầu về tương tự hình học, sử dụng mô hình biến thái. Nói chung, sự hạn chế đó chủ yếu xuất phát từ hai phương diện:

- *Hằng số tỷ lệ mặt bằng của mô hình không thể quá nhỏ (tức mô hình không thể làm quá lớn).*

Ở không ít trường hợp, do sự hạn chế về diện tích của hiện trường thí nghiệm, mô hình không thể làm lớn, cũng tức là hằng số tỷ lệ mặt bằng của mô hình không thể quá

nhỏ. Ngoài yếu tố về diện tích hiện trường thí nghiệm, còn có vấn đề về khối lượng công việc chế tạo mô hình và công việc vận hành mô hình sau khi đã chế tạo xong. Hạn chế về lưu lượng của hệ thống cấp nước cũng là một yếu tố quan trọng. Do $\lambda_Q = \lambda_l^{5/2}$, hằng số tỷ lệ độ dài giảm nhỏ một nửa, diện tích mặt bằng của mô hình tăng lên 4 lần, lưu lượng hệ thống cấp nước tăng lên 5,7 lần, các thiết bị hữu quan đều tăng lên tương ứng.

- *Hằng số tỷ lệ chiều thẳng đứng của mô hình không thể quá lớn (tức độ sâu theo chiều thẳng đứng của mô hình không thể quá nhỏ).*

Chủ yếu là vì độ sâu dòng chảy trong mô hình không thể quá nhỏ, nếu quá nhỏ thì sẽ dẫn đến một loạt vấn đề như vận tốc trong mô hình quá bé, độ chính xác đo đạc khó bảo đảm; số Re của dòng chảy mô hình quá bé, dòng chảy rối không phát triển đầy đủ; ảnh hưởng của sức căng mặt ngoài lớn, vượt qua giới hạn cho phép; hệ số nhám mà mô hình yêu cầu quá bé, cho dù có mài nhẵn đến đâu cũng khó đạt được yêu cầu.v.v...

Như trên đã nói, có một số tình huống, một mặt hằng số tỷ lệ mặt bằng không thể quá bé, mặt khác hằng số tỷ lệ chiều thẳng đứng lại không thể quá lớn, đành phải chấp nhận hằng số tỷ lệ mặt bằng của mô hình lớn hơn một ít, hằng số tỷ lệ chiều thẳng đứng nhỏ hơn một ít, tức lấy $\lambda_l > \lambda_h$, $\frac{\lambda_l}{\lambda_h} = \eta$ gọi là *hệ số biến thái*. Không khó để thấy rằng, con

sông mô hình thiết kế theo kiểu đó, so với con sông nguyên hình, chiều rộng và chiều dài nhỏ hơn một cách tương đối, trong lúc chiều sâu lại lớn hơn một cách tương đối, về hình thái học mà nói mô hình đã mất đi tính tương tự với nguyên hình, vì vậy gọi là *mô hình biến thái*.

Trong chương trước đã chỉ rõ, rất khó để có thể thực hiện được mô hình tương tự về hình học một cách tuyệt đối. Do sự hạn chế của rất nhiều yếu tố, thông thường không thể tránh được phải chấp nhận một sự thiên lệch nào đó về điều kiện tương tự. Vấn đề là làm sao cho sự thiên lệch đó không ảnh hưởng đến bản chất của hiện tượng tương tự chủ yếu đối với đối tượng nghiên cứu chính. Vì vậy, đối với vấn đề về tính thích ứng và tính cục bộ của mô hình biến thái, cần có một nhận thức rõ ràng. Sau đây sẽ phân tích về những phương trình hằng số tỷ lệ mà mô hình biến thái cần tuân thủ và thảo luận các vấn đề có liên quan.

4.2.1. Tương tự của dòng chảy 3D

a) *Trước hết chúng ta khảo sát vấn đề tương tự của dòng chảy 3D*

Vấn xuất phát từ hệ phương trình vi phân tổng quát về chuyển động rối 3D, tức các phương trình từ (3-15) đến (3-18), đối với mô hình biến thái sẽ có:

$$\begin{cases} \lambda_x = \lambda_y = \lambda_l \\ \lambda_z = \lambda_h \end{cases} \quad (4-27)$$

Từ phương trình liên tục (3-15), dùng phương pháp chuyển hóa tương tự, suy ra:

$$\begin{cases} \frac{\lambda_v}{\lambda_u} = 1 ; \text{ tức } \lambda_v = \lambda_u \\ \frac{\lambda_\omega \lambda_l}{\lambda_u \lambda_h} = 1 ; \text{ tức } \lambda_\omega = \frac{\lambda_h}{\lambda_l} \lambda_u \end{cases} \quad (4-28)$$

Cũng như vậy, đối với phương trình liên tục của lưu tốc mạch động:

$$\frac{\partial u'}{\partial x} + \frac{\partial v'}{\partial y} + \frac{\partial \omega'}{\partial z} = 0 \quad (4-29)$$

Có thể suy ra:

$$\begin{cases} \lambda_{v'} = \lambda_{u'} \\ \lambda_{\omega'} = \frac{\lambda_h}{\lambda_l} \lambda_{u'} \end{cases} \quad (4-30)$$

Các phương trình hằng số tỷ lệ trên thể hiện quan hệ giữa hằng số tỷ lệ lưu tốc trung bình thời gian và hằng số tỷ lệ lưu tốc mạch động trên các phương tọa độ, trong điều kiện mô hình biến thái.

Từ các phương trình chuyển động của dòng chảy rối 3D, tức các phương trình từ (3-16) đến (3-18), cũng có thể chuyển hóa thành các phương trình hằng số tỷ lệ tương ứng. Do tồn tại các quan hệ (4-28) và (4-30), nên kết quả suy ra từ các phương trình (3-16) và (3-17) phải như nhau, còn kết quả suy ra từ phương trình (3-18) sẽ khác. Đó là điều khác với mô hình chính thái (cả 3 phương đều có kết quả như nhau).

Phân tích phương trình cân bằng lực trên phương dọc và phương ngang (tức phương x và phương y). Phân khai 3 số hạng quán tính biến vị trong các phương trình (3-16) và (3-17), tiến hành chuyển hóa tương tự và chia các số hạng cho $\frac{\lambda_u^2}{\lambda_l}$, sẽ thu được các phương trình hằng số tỷ lệ như sau:

$$\frac{\lambda_l \lambda_u}{\lambda_l} = 1 \quad (4-31)$$

$$\frac{\lambda_u^2}{\lambda_g \lambda_h} = 1 \quad (4-32)$$

$$\frac{\lambda_p}{\lambda_p \lambda_u^2} = 1 \quad (4-33)$$

$$\frac{\lambda_u \lambda_l}{\lambda_v} = 1; \quad \frac{\lambda_w \lambda_h}{\lambda_v} = \frac{\lambda_u \lambda_h^2}{\lambda_v \lambda_l} = 1 \quad (4-34)$$

$$\frac{\lambda_u^2}{\lambda_u^2} = 1 \quad (4-35)$$

Trong quá trình suy diễn các phương trình hằng số tỷ lệ nói trên đã sử dụng các quan hệ từ (4-28) đến (4-30), lược bỏ các số hạng tương đồng, đồng thời, cũng như trước, để so sánh với các phương trình hằng số tỷ lệ quen thuộc đã có những thay đổi nhỏ về hình thức.

So sánh các phương trình trên với các phương trình tương ứng của trường hợp mô hình chính thái, tức các phương trình từ (3-24) đến (3-28), có thể thấy rằng, nếu chỉ phân tích phương trình cân bằng theo phương dọc và phương ngang, đối với mô hình biến thái, ngoài tính tương tự về tỷ lệ giữa lực quán tính và lực nhớt, do hai yêu cầu trong phương trình (4-34) mâu thuẫn nhau, không thể thỏa mãn ra, tính tương tự của các tỷ lệ giữa các lực khác về hình thức đều được đáp ứng. Sự khác biệt chỉ ở sự khác nhau giữa hằng số tỷ lệ lưu tốc trên mặt bằng và lưu tốc trên phương thẳng đứng. Ngoài ra, hằng số tỷ lệ độ dài trong tương tự tỷ số giữa lực quán tính và trọng lực cần hạn định bởi hằng số tỷ lệ độ dài theo phương thẳng đứng.

Tiếp theo, tiến hành phân tích phương trình cân bằng lực theo phương thẳng đứng. Dùng phương pháp xử lý giống như phần trước, thu được các phương trình hằng số tỷ lệ như sau:

$$\frac{\lambda_l \lambda_u}{\lambda_l} = 1 \quad (4-36)$$

$$\frac{\lambda_u^2 \lambda_h}{\lambda_g \lambda_l^2} = 1 \quad (4-37)$$

$$\frac{\lambda_\beta \lambda_l^2}{\lambda_p \lambda_u^2 \lambda_h} = 1 \quad (4-38)$$

$$\frac{\lambda_u \lambda_l}{\lambda_v} = 1; \quad \frac{\lambda_w \lambda_h}{\lambda_v} = \frac{\lambda_u \lambda_h^2}{\lambda_v \lambda_l} = 1 \quad (4-39)$$

$$\frac{\lambda_u^2}{\lambda_u^2} = 1 \quad (4-40)$$

So sánh các phương trình vừa thu được và các phương trình từ (4-31) đến (4-35) có thể thấy, ngoài tính tương tự của tỷ số giữa lực quán tính và lực nhớt, do hai yêu cầu

trong phương trình (4-39) mâu thuẫn nhau, không thể thỏa mãn ra, các phương trình (4-37) và (4-32) biểu đạt sự tương tự của tỷ số giữa lực quán tính và trọng lực cũng mâu thuẫn; hơn nữa các phương trình (4-38) và (4-33) biểu đạt tính tương tự của tỷ số giữa áp lực và lực quán tính cũng mâu thuẫn.

Như vậy tức là, đối với mô hình biến thái, tỷ số giữa lực quán tính và lực nhớt, tỷ số giữa lực quán tính và trọng lực, tỷ số giữa áp lực và lực quán tính đều không tương tự. Vấn đề không ở chỗ về hình thức điều đó có mâu thuẫn hay không, như phương trình (4-40) tuy về hình thức không mâu thuẫn với phương trình (4-35), nhưng mô hình biến thái cũng tồn tại không ít vấn đề mà sau này chúng ta sẽ đi sâu nghiên cứu thêm.

b) Trước hết tập trung khảo sát vấn đề sự không tương tự của tỷ số giữa lực quán tính và trọng lực, bỏ qua việc trong mô hình công trình sông thông thường không bảo đảm một cách chặt chẽ tương tự của tỷ số giữa lực quán tính và lực nhớt, và không xét đến tính tương tự tỷ số giữa áp lực và lực quán tính. Do mô hình công trình sông luôn dựa vào phương trình (4-32) để thiết kế và khống chế điều kiện biên của mô hình, nhằm thực hiện tính tương tự của tỷ số giữa lực quán tính và trọng lực, còn phương trình (4-37) không được tuân thủ, do đó sự không tương tự của tỷ số giữa lực quán tính và trọng lực chủ yếu thể hiện ở sự không tương tự trên phương thẳng đứng, do vậy ảnh hưởng đến tính tương tự của các yếu tố thủy lực trên phương thẳng đứng. Do mô hình dòng chảy thông thường dựa vào phương trình (4-32) để xác định tỷ lệ lưu tốc, còn phương trình (4-37) không được thỏa mãn, dẫn đến sai số như sau:

$$\frac{\lambda_u^2 \lambda_h}{\lambda_g \lambda_l^2} = \frac{\lambda_u^2}{\lambda_g \lambda_h} \frac{\lambda_h^2}{\lambda_l^2} = \frac{1}{\eta^2} \neq 1$$

Như vậy, tỷ số giữa lực quán tính và trọng lực trong mô hình bằng η^2 lần so với tỷ số giữa lực quán tính và trọng lực ở nguyên hình, dẫn đến việc khuếch đại ảnh hưởng của lực quán tính theo phương thẳng đứng trong mô hình, kết quả là lưu tốc trung bình thời gian $\bar{\omega}$, lưu tốc mạch động ω' theo phương thẳng đứng và các yếu tố vật lý khác có liên quan đến chúng đều không đạt được tương tự giữa mô hình và nguyên hình.

Đáng chú ý là, sự không tương tự trong mô hình biến thái không chỉ thể hiện ở các đại lượng vật lý mà còn thể hiện ở sự phân bố theo phương thẳng đứng của chúng. Ví dụ, sự phân bố trên thủy trực của lưu tốc phương dọc và phương ngang không thể thực hiện tương tự trong mô hình biến thái. Đó là vì sự phân bố trên thủy trực của lưu tốc phương dọc và phương ngang, cũng tức là gradient lưu tốc, có liên quan mật thiết đến sức cản rối theo phương này, mà đại lượng này lại phụ thuộc vào lưu tốc mạch động theo phương thẳng đứng. Lưu tốc mạch động theo phương thẳng đứng đã không tương tự thì sự phân bố trên phương thẳng đứng của lưu tốc dọc và ngang tất nhiên cũng không thể tương tự. Từ đây có thể thấy, đối với mô hình biến thái, sự phân bố của tỷ số giữa lực

quán tính và trọng lực trong nội bộ dòng chảy cũng không tương tự, cũng tức là phương trình (4-40) không được thỏa mãn.

Về vấn đề không tương tự của phân bố theo phương thẳng đứng của lưu tốc phương ngang và phương dọc còn có thể nhận thấy rất rõ một cách trực tiếp từ công thức phân bố theo thủy trực của lưu tốc phương dọc trong dòng chảy đều 2D và công thức phân bố trên thủy trực của lưu tốc phương ngang trong dòng chảy hoàn lưu 2D ở đoạn sông cong.

Lấy công thức phân bố theo thủy trực của lưu tốc phương dọc:

$$\frac{u}{U_*} = \frac{1}{k} \ln \left(\frac{y}{\Delta} \right) + 8,5 \quad (4-41)$$

và công thức phân bố theo thủy trực của lưu tốc phương ngang:

$$\frac{v}{U} = \frac{h}{k^2 R} \left[F_1(\xi) - \frac{\sqrt{g}}{Ck} F_2(\xi) \right] \quad (4-42)$$

trong đó:

$$F_1(\xi) = -2 \left(\int_0^\xi \frac{\ln \xi}{1-\xi} d\xi + 1 \right);$$

$$F_2(\xi) = -2 \left(\int_0^\xi \frac{\ln^2 \xi}{1-\xi} d\xi - 2 \right);$$

$$\xi = \frac{z}{h};$$

R - bán kính cong.

Phân tích các phương trình (4-41) và (4-42) thấy rằng từ công thức phân bố theo phương thẳng đứng của lưu tốc phương dọc có thể suy ra được hai phương trình hằng số tỷ lệ:

$$\frac{\lambda_k \lambda_\xi}{\lambda_{U_*}} = 1$$

$$\frac{\lambda_h}{\lambda_\Delta} = 1.$$

Với phương trình thứ nhất, nếu lấy $\lambda_k = 1$ thì sẽ có:

$$\lambda_u = \lambda_{U_*} = \lambda_f^{1/2} \lambda_u \quad (4-43)$$

Với phương trình thứ hai, ta có:

$$\lambda_\Delta = \Delta_h \quad (4-44)$$

Đối với mô hình chính thái thì 2 điều kiện này đều có thể thỏa mãn, nhưng đối với mô hình biến thái, do yêu cầu biến thái hệ số sức cản nên 2 điều kiện đó không thể thỏa mãn.

Đối với công thức phân bố trên thủy trực của lưu tốc phương ngang, các phương trình hằng số tỷ lệ suy ra từ công thức này cũng rõ ràng không thể thỏa mãn trong mô hình biến thái. Ở đây, trong điều kiện $\lambda_k = 1$, ngoài việc yêu cầu $\lambda_c = (\lambda_g/\lambda_f)^{1/2} = 1$, tức:

$$\lambda_f = 1 \quad (4-45)$$

còn yêu cầu $\lambda_v \lambda_l/\lambda_u \lambda_h = 1$, tức:

$$\lambda_v = \frac{\lambda_h}{\lambda_l} \lambda_u \quad (4-46)$$

Rõ ràng là yêu cầu đó mâu thuẫn với yêu cầu trong mô hình biến thái tỷ lệ lưu tốc phương dọc và phương ngang phải bằng nhau.

Tất nhiên, suy luận trên là xuất phát từ công thức dòng chảy đều 2D tương đối đơn giản. Nếu không phải là dòng chảy đều 2D, dòng chảy thay đổi nhiều theo phương dọc và phương ngang, tác dụng của lực quán tính rất rõ, phân bố lưu tốc cũng có những thay đổi lớn tương ứng, sự không tương tự về vấn đề này hay mô hình biến thái càng đột xuất hơn.

Từ các phân tích trên có thể thấy rằng, trong mô hình biến thái, động lực và động thái trên phương thẳng đứng là không tương tự, sự phân bố theo phương thẳng đứng của động lực và động thái trên phương nằm ngang cũng không tương tự, cũng tức là trường lưu tốc và trường động lực trong mô hình biến thái là không hoàn toàn tương tự. Chính vì vậy, *mô hình biến thái không thể dùng để nghiên cứu các hiện tượng dòng chảy thay đổi lớn trên mặt cắt dọc hoặc nói chung là trong điều kiện biến thay đổi lớn*. Trong tình hình đó, lưu tốc trung bình thời gian và trị số tuyệt đối của lưu tốc mạch động theo phương thẳng đứng đều tương đối lớn, dẫn đến những sai số tương đối lớn về tính tương tự. Vì vậy, mô hình biến thái dùng cho lòng sông đồng bằng có địa hình bằng phẳng, đơn giản, sẽ không có những vấn đề tồn tại lớn, nhưng nếu dùng cho sông vùng núi có địa hình phức tạp, biến đổi gấp, thì sẽ xuất hiện nhiều vấn đề. Đối với những đoạn sông ít chịu sự can nhiễu của công trình thì sử dụng mô hình biến thái sẽ ít vấn đề hơn so với đoạn sông có sự can nhiễu lớn của công trình.

c) Tiếp đến, khảo sát vấn đề tương tự rối động hoặc tương tự tỷ số giữa lực quán tính và sức cản rối:

Sử dụng phương pháp đã từng dùng trong trường hợp mô hình chính thái, nhưng tách đáy sông và bờ sông ra để xem xét.

- Đối với đáy sông, khi $z = 0$

$$\tau = \tau_b = \frac{f_b}{4} \rho \frac{U^2}{2}$$

$$\lambda_{\tau} = \tau_{tb} = \lambda_{fb} \lambda_{\rho} \lambda_u^2 \quad (4-47)$$

Trên mặt phẳng xy, lực tiếp rối trên một đơn vị diện tích dọc theo phương dòng chảy là:

$$\begin{aligned} \tau &= \tau_{xz} = -\rho \overline{u'w'} \\ \lambda_{\tau} &= \lambda_{\tau_{xz}} = \lambda_{\rho} \lambda_u \lambda_w = \lambda_{\rho} \frac{\lambda_h}{\lambda_l} \lambda_u^2 \end{aligned} \quad (4-48)$$

Đồng đẳng (4-47) và (4-48), lấy $\lambda_U = \lambda_u$, ta có:

$$\lambda_u^2 = \lambda_{fb} \frac{\lambda_l}{\lambda_h} \lambda_u^2 \quad (4-49)$$

Thay (4-49) vào (4-35) tìm được:

$$\frac{\lambda_u^2}{\lambda_{fb} \frac{\lambda_l}{\lambda_h} \lambda_u^2} = \frac{1}{\lambda_{fb} \frac{\lambda_l}{\lambda_h}} = 1$$

hoặc: $\lambda_{fb} = \frac{\lambda_h}{\lambda_l} = \frac{1}{\eta} \quad (4-50)$

- Đối với bờ sông, khi $y = \frac{1}{2} B$:

$$\begin{aligned} \tau &= \tau_w = \frac{f}{4} \rho \frac{U^2}{2} \\ \lambda_{\tau} &= \lambda_{\tau_w} = \lambda_{fw} \lambda_{\rho} \lambda_U^2 \end{aligned} \quad (4-51)$$

Trên mặt phẳng xz, lực tiếp rối trên một đơn vị diện tích dọc theo phương dòng chảy là:

$$\begin{aligned} \tau &= \tau_{xy} = -\rho \overline{u'v'} \\ \lambda_{\tau} &= \lambda_{\tau_{xy}} = \lambda_{\rho} \lambda_u \lambda_v = \lambda_{\rho} \lambda_u^2 \end{aligned} \quad (4-52)$$

Đồng đẳng (4-51) và (4-52), lấy $\lambda_U = \lambda_u$, sẽ có:

$$\lambda_u^2 = \lambda_{fw} \lambda_u^2 \quad (4-53)$$

Thay (4-53) vào (4-35) thu được:

$$\frac{\lambda_u^2}{\lambda_{fw} \lambda_u^2} = \frac{1}{\lambda_{fw}} = 1 \text{ hoặc } \lambda_{fw} = 1 \quad (4-54)$$

Từ phân tích trên có thể thấy, hằng số tỷ lệ của hệ số sức cản đáy và bờ trong mô hình biến thái là không bằng nhau, hệ số sức cản đáy của mô hình lớn hơn của nguyên hình; hệ số sức cản bờ, giống như mô hình chính thái, của mô hình và của nguyên hình bằng nhau.

Để tiến thêm một bước suy diễn tỷ lệ của hệ số nhám đáy và bờ, trước hết cần xác định quan hệ giữa n và f . Đối với dòng chảy 1D, quan hệ đó được thể hiện bằng phương pháp (4-11) hoặc viết thành $f = 8gn^2/R^{1/3}$. Vấn đề là khi xem xét riêng biệt đáy sông, bờ sông (hoặc tường bên), nên xác định R như thế nào. Theo nguyên lý cộng sức cản có thể viết:

$$J = \frac{U^2 f_b}{8g \frac{A}{\chi_b}} + \frac{U^2 f_w}{8g \frac{A}{\chi_w}} \quad (4-55)$$

Chúng tỏ khác với bán kính thủy lực tổng hợp, bán kính thủy lực đáy sông là $R_b = A/\chi_b$, bán kính thủy lực bờ sông là $R_w = A/\chi_w$.

Ngoài ra, tỷ số R/d trong công thức $U = A (R/d)^{1/2} \sqrt{RJ}$ thực tế là biểu thị độ nhám tương đối, cũng có thể thấy là bán kính thủy lực đáy sông và bờ sông phân biệt biểu thị độ dài đặc trưng của chiều đứng và chiều nằm ngang, tức là cũng có $R_b = A/\chi_b$, $R_w = A/\chi_w$. Như vậy ta có thể lấy:

$$f_b = 8g \frac{n_b^2}{\left(\frac{A}{\chi_b}\right)^{1/3}}, \quad (4-56a)$$

$$f_w = 8g \frac{n_w^2}{\left(\frac{A}{\chi_w}\right)^{1/3}} \quad (4-56b)$$

Viết thành phương trình hằng số tỷ lệ:

$$\lambda_{fb} = \frac{\lambda_{nb}^2}{\lambda_h^{1/3}} \quad (4-57)$$

$$\lambda_{fw} = \frac{\lambda_{nw}^2}{\lambda_l^{1/3}} \quad (4-58)$$

Xét đến phương trình (4-50) và (4-54) ta có:

$$\lambda_{nb} = \frac{\lambda_h^{2/3}}{\lambda_l^{1/2}} = \frac{\lambda_l^{1/6}}{\eta^{2/3}} \quad (4-59)$$

$$\lambda_{nw} = \lambda_l^{1/6} \quad (4-60)$$

Như vậy, trong mô hình biến thái tỷ lệ của hệ số nhám đáy và bờ khác nhau, hệ số nhám bờ giống như ở mô hình chính thái còn hệ số nhám ở đáy nhỏ hơn so với mô hình chính thái.

Đặc điểm về sự khác nhau giữa hệ số nhám đáy và bờ trong mô hình biến thái có ảnh hưởng nhất định đến tính tương tự của mô hình. Nếu đoạn sông nghiên cứu rộng và nông, như sông vùng đồng bằng, ảnh hưởng của độ nhám bờ sông tương đối nhỏ, thậm chí có thể bỏ qua không xét. Nếu đoạn sông nghiên cứu hẹp mà sâu, như sông vùng núi, sau khi biến thái, dòng sông lại càng hẹp và sâu hơn, theo đặc điểm về hằng số tỷ lệ nói trên, yêu cầu độ nhám đáy sông rất lớn, còn độ nhám bờ sông tương đối nhỏ. Do đặc điểm về tỷ lệ như vậy chưa được nghiên cứu đầy đủ, trước đây khi thiết kế mô hình đều làm ngược, chủ yếu tăng cường nhám bờ còn đáy sông thì ít, thậm chí không tăng cường nhám. Ví dụ, để không làm trở ngại chuyển động của bùn cát đáy, hoàn toàn không cấy nhám lên đáy sông, kết quả là không những không thỏa mãn tương tự về sức cản, mà do phân bố độ nhám không tương tự, ảnh hưởng nghiêm trọng đến tính tương tự của trường lưu tốc. Trước đây khi thiết kế mô hình biến thái đối với đoạn sông hẹp mà sâu, trong khi xét bán kính thủy lực $R = A/\chi$, đồng thời bao gồm độ dài theo 2 phương thẳng đứng và nằm ngang, hằng số tỷ lệ của chúng vừa không bằng λ_h , cũng không bằng λ_l , thường lập riêng một hằng số tỷ lệ bán kính thủy lực λ_R , và suy ra từ phương trình (4-15).

$$\lambda_f = \frac{\lambda_R}{\lambda_l} \quad (4-61)$$

Trong đó λ_R thì trực tiếp lấy từ tỷ lệ của bán kính thủy lực của nguyên hình và mô hình R_N/R_M . Như vậy λ_R không phải là một hằng số. Cũng một lưu lượng, λ_R của các mặt cắt khác nhau sẽ khác nhau; cùng một mặt cắt, trị số λ_R ở các lưu lượng khác nhau cũng khác nhau.

Cách làm đó không những không thuận tiện trong việc khống chế hệ số nhám của mô hình mà còn do không xét đến đặc điểm về sai khác tỷ lệ độ nhám đáy sông và bờ sông nên không thể cho rằng là hợp lý.

Đương nhiên, hệ số nhám sông hẹp và sâu ở miền núi thường tương đối lớn, tuy về hình thức phản ánh sức cản dọc đường lớn nhưng thực chất là do sức cản hình thái, sản sinh từ sự biến đổi đột ngột của địa hình cục bộ, tương đối lớn tạo ra. Vì vậy, biện pháp chủ yếu để bảo đảm tương tự sức cản là thể hiện chi tiết (tinh hóa) địa hình cục bộ, điều đó bất kể mô hình có biến thái hay không đều thống nhất. Nhưng cho dù như vậy, đồng thời với việc tinh hóa địa hình cục bộ, đối với mô hình biến thái vẫn cần xét đến sự khác nhau giữa độ nhám đáy sông và bề mặt bờ sông. Do rất nhiều lý do khác nhau, sự tương

tự về địa hình một cách chặt chẽ là khó thực hiện, không thể không mượn đến sự tương tự về độ nhám để đạt đến tương tự sức cản. Như vậy, việc xem xét sự khác nhau giữa độ nhám đáy và bờ sông lại càng cần thiết.

4.2.2. Tương tự dòng chảy 1D và 2D

Chúng ta đã xuất phát từ phương trình vi phân tổng quát của dòng chảy rối 3 chiều và điều kiện biên của dòng sông, suy ra các phương trình hằng số tỷ lệ (các phương trình 4-31; 4-32; 4-50 và 4-54 hoặc 4-59 và 4-60) mà sự tương tự dòng chảy trong mô hình biến thái buộc phải tuân thủ, đồng thời chỉ rõ các hạn chế đối với tính tương tự trong mô hình biến thái. Nhưng cần thấy rằng, những hạn chế đó là đối với trường lưu tốc không gian, cũng tức là đối với dòng chảy 3D, nếu vấn đề mà chúng ta nghiên cứu chỉ đóng khung trong dòng chảy 1D và dòng chảy 2D nằm ngang, tính thích dụng của mô hình biến thái sẽ được mở rộng thêm nhiều.

Cũng như mô hình chính thái, sử dụng các phương trình vi phân của dòng chảy 1D (các phương trình 4-14; 4-15) hoặc dòng chảy 2D (các phương trình từ 4-19 đến 4-21), đồng thời xét đến các phương trình 4-55 và 4-56, chúng ta cũng sẽ nhận được các phương trình hằng số tỷ lệ như sau:

$$\frac{\lambda_t \lambda_U}{\lambda_t} = 1 \quad (6-62)$$

hoặc:
$$\frac{\lambda_Q}{\lambda_l \lambda_h \lambda_U} = 1 ; \quad \frac{\lambda_Q}{\lambda_h \lambda_U} = 1 ; \quad (6-63)$$

$$\frac{\lambda_U^2}{\lambda_g \lambda_h} = 1 ; \quad (6-64)$$

$$\lambda_{fb} = \frac{\lambda_h}{\lambda_l} = \frac{1}{\eta} ; \quad \lambda_{fw} = 1 \quad (4-65)$$

hoặc:
$$\lambda_{nb} = \frac{\lambda_h^{2/3}}{\lambda_l^{1/2}} = \frac{\lambda_l^{1/6}}{\eta^{2/3}} ; \quad \lambda_{nw} = \lambda_l^{1/6} \quad (4-66)$$

Điểm khác nhau là ở chỗ, đối với dòng chảy 1D, λ_U là hằng số tỷ lệ của lưu tốc trung bình mặt cắt; λ_{fb} , λ_{fw} là hằng số tỷ lệ của hệ số sức cản bình quân của đáy sông và bờ sông; đối với dòng chảy 2D, λ_U là hằng số tỷ lệ lưu tốc trung bình thủy trực, λ_{fb} , λ_{fw} là hằng số tỷ lệ hệ số sức cản của các bộ phận đáy sông và bờ sông.

Nhìn chung điều kiện tương tự của dòng chảy 1D trong mô hình biến thái, bất kể là lòng dẫn rộng nông hay là hẹp sâu, những điều kiện tương tự nói trên đều có thể thỏa

mãn, bản thân không tồn tại mâu thuẫn. Vì vậy, sử dụng mô hình biến thái để nghiên cứu vấn đề của dòng chảy 1D, tức chỉ nghiên cứu vấn đề tương tự về mặt nước và lưu tốc trung bình mặt cắt, là hoàn toàn có thể. Đối với sông đồng bằng không có vấn đề gì, đối với sông vùng núi vấn đề cũng không lớn. Mô hình thuộc loại này, hệ số biến thái có thể lấy tương đối lớn. Điều kiện để khống chế hệ số biến thái chủ yếu không phải là yêu cầu về tính tương tự của dòng chảy mà là hạn chế về độ nhám của mô hình. Trong thí nghiệm về công trình phân lũ trên sông Trường Giang trước đây, hệ số biến thái mô hình đã lấy đến

$$\eta = \frac{\lambda_1}{\lambda_h} = \frac{3000}{600} = 50, \text{ nhưng thí nghiệm cho kết quả hợp lý.}$$

Đối với điều kiện tương tự của dòng chảy 2D nằm ngang trong mô hình biến thái, bản thân cũng không tồn tại mâu thuẫn. Chỉ cần thỏa mãn điều kiện tương tự tỷ số giữa lực quán tính và trọng lực, đồng thời bảo đảm tính tương tự về hệ số nhám ở các bộ phận đáy sông và bờ sông, tính tương tự về phân bố trên phương ngang của lưu tốc trung bình thủy trực có thể được bảo đảm. Điều này, về nguyên tắc, đúng cho cả sông đồng bằng và sông miền núi.

Vấn đề chỉ là, ở sông vùng núi, do chuyển động dòng chảy theo phương thẳng đứng tương đối mạnh có thể ảnh hưởng tương đối lớn đến chuyển động của dòng chảy trên mặt bằng. Sự ảnh hưởng này không thể phản ánh chính xác bằng hệ số sức cản đáy và bờ (f_b và f_w) trong phương trình dòng chảy 2D nằm ngang. Vì vậy, đối với sông vùng núi, tính tương tự của dòng chảy 2D nằm ngang sẽ chịu ảnh hưởng nhất định, nhưng có thể đạt được tương tự cơ bản.

Sự tương tự của dòng chảy 2D nằm ngang, khác với dòng chảy 1D, còn bao gồm vấn đề tương tự trường lưu tốc ở một mức độ nào đó. Vì vậy, hệ số biến thái không thể không chịu sự hạn chế. Đặc biệt là, nguyên hình vốn là lòng sông vùng núi tương đối hẹp và sâu, hệ số biến thái không thể quá lớn. Nhưng rốt cuộc hệ số biến thái lớn đến mức nào mới không gây ảnh hưởng lớn đến tính tương tự của dòng chảy 2D nằm ngang, hiện vẫn chưa có những kết quả nghiên cứu có tính thuyết phục cao.

Trên thực tế, những vấn đề nghiên cứu của công trình trên sông, ngoài những vấn đề về dòng chảy 1D đã nói, thường không thể né tránh hoàn toàn các vấn đề tương tự của dòng chảy phương thẳng đứng và tương tự phân bố trên thủy trực của dòng chảy dọc và ngang, như nghiên cứu về tương tự dòng chảy ở đoạn sông cong, sông phân lạch, ở vùng phụ cận công trình chỉnh trị... Vì vậy, đơn thuần chỉ yêu cầu tương tự của dòng chảy 2D nằm ngang, thường ít gặp trong mô hình công trình sông. Có nghĩa là, cho dù mô hình được thiết kế dựa theo yêu cầu của dòng chảy 2D nằm ngang, trên thực chất vẫn yêu cầu

đạt được ở một mức độ nào đó, về tính tương tự của dòng chảy 3D. Như vậy hệ số biến thái sẽ chịu sự hạn chế khá lớn. Sự hạn chế đó đến đâu, ở trình độ hiện nay vẫn chưa có câu trả lời chính xác.

4.2.3. Vấn đề hệ số biến thái

a) Các tài liệu trước đây thường căn cứ vào quan hệ rộng - sâu của lòng dẫn đối với dòng chảy 3D thu được từ thí nghiệm trong máng nước để xác định sự hạn chế về hệ số biến thái. Theo đó, trong điều kiện phân bố độ nhám đều đặn, dòng chảy ở khu bình phương sức cản, chiều rộng ảnh hưởng đến trường lưu tốc của thành bên khoảng 2,5 lần độ sâu. Giả thiết chiều rộng mặt nước là B, thì trong phạm vi $B = 2 \times 2,5h = B - 5h$, dòng chảy sẽ mang tính chất dòng chảy 2D, không chịu ảnh hưởng của thành bên. Vì vậy, điều kiện để tồn tại khu vực dòng chảy 2D trong mặt cắt ướt là $B/h > 5$. Nếu phân bố độ nhám không đồng đều, dòng chảy không ở khu bình phương sức cản, trị số đó sẽ thay đổi. Trong điều kiện độ nhám đáy lớn, độ nhám bờ nhỏ hơn, trị số đó sẽ còn giảm nhỏ.

Căn cứ vào kết quả nghiên cứu của Gôntrarôp V.N, để trường lưu tốc gần với trường lưu tốc của dòng chảy 2D, yêu cầu $B/h > 10$.

Ngoài ra, căn cứ vào thí nghiệm trong máng nước của Loxiepski A.N, nếu quan hệ rộng - sâu trong máng nước nhỏ hơn một trị số nào đó (ví dụ 8) số lượng và phương hoàn lưu trong mặt cắt có thể sẽ thay đổi. Theo đó, tác giả cho rằng, điều kiện hạn chế để bảo đảm số lượng và phương hoàn lưu trong mặt cắt không thay đổi là $B/h > 8$.

Dựa vào các kết quả thí nghiệm nói trên, người ta đã đề xuất các giá trị hạn chế hệ số biến thái. Trên đại thể, quan hệ rộng - sâu trong dòng chảy mô hình cần thỏa mãn điều kiện sau:

$$\frac{B_M}{h_M} > 5 \div 10 \quad (4-67)$$

Cần chỉ rõ rằng, điều kiện hạn chế đó chỉ có ý nghĩa tham khảo tương đối, vì dòng chảy trong mô hình có một bộ phận ở trung tâm mặt cắt là dòng chảy 2D giống với nguyên hình, song điều đó không có ý nghĩa là mô hình và nguyên hình đã đạt được tương tự về dòng chảy. Ngoài ra, vấn đề hoàn lưu trong dòng chảy mô hình lại là một vấn đề phức tạp, số lượng và phương hướng hoàn lưu dù không biến đổi, cũng không có nghĩa là hoàn lưu trong mô hình tương tự với hoàn lưu của nguyên hình.

b) Sự hạn chế về hệ số biến thái của mô hình cũng có thể phân tích từ mức độ mà bán kính thủy lực của mô hình biến thái $R_M \eta$ sai lệch với bán kính thủy lực của mô hình chính thái R_M . Giả thiết mặt cắt ướt có hình dạng hình chữ nhật, các hằng số tỷ lệ hình

học của mô hình biến thái là λ_1 , λ_h , hằng số tỷ lệ độ dài trong mô hình chính thái là λ_h , có thể suy ra:

$$\frac{R_M \eta}{R_M} = \frac{B_N + 2h_N}{B_N + 2h_N \eta} = \frac{\frac{B_N}{h_N} + 2}{\frac{B_N}{h_N} + 2\eta} \quad (4-68)$$

Từ công thức trên có thể dễ nhìn thấy, khi nguyên hình có tỷ lệ rộng - sâu B_N/h_N tương đối lớn, hệ số biến thái η sẽ hơi lớn, sự sai lệch của bán kính thủy lực sẽ không đáng kể; ngược lại, nếu nguyên hình có tỷ lệ B_N/h_N tương đối nhỏ, thì hệ số biến thái η hơi lớn một chút sẽ dẫn đến sự sai lệch của bán kính thủy lực tương đối lớn. Vì vậy, trong điều kiện giảm thiểu bán kính thủy lực không được sai lệch quá lớn (ví dụ lấy $R_{M\eta}/R_M < 95/100$), sông đồng bằng có tỷ lệ rộng - sâu tương đối lớn và sông miền núi có tỷ lệ rộng - sâu tương đối nhỏ, có hệ số biến thái cho phép khác nhau, sông đồng bằng có thể lấy hệ số biến thái lớn hơn so với sông vùng núi.

Phương trình(4-67) cũng có thể được chuyển hóa thành phương trình tương tự như phương trình (4-68), tức:

$$\frac{B_M}{h_M \eta} > 5 \div 10$$

Từ công thức trên ta thấy, nếu nguyên hình có tỷ lệ rộng - sâu lớn thì hệ số biến thái lớn, ngược lại sẽ có hệ số biến thái nhỏ.

c) Sự hạn chế của hệ số biến thái, còn có thể phân tích từ mức độ hạn chế ảnh hưởng của thành bên của mô hình biến thái. Căn cứ vào kết quả thí nghiệm, phạm vi không chịu ảnh hưởng của thành bên trong mô hình biến thái so với toàn bộ chiều rộng sông có tỷ lệ phần trăm là:

$$\frac{\frac{B_N}{\lambda_1} - 2 \times 2,5 \frac{h_N}{\lambda_h}}{\frac{B_N}{\lambda_1}} = \frac{B_N - 2 \times 2,5 \frac{\lambda_1}{\lambda_h} h_N}{B_N}$$

Giả thiết hạn chế tỷ lệ phần trăm này bằng φ lần ($\varphi < 1$) của tỷ lệ phần trăm trong nguyên hình $(B_N - 2 \times 2,5h_N)/B_N$, có thể giải được biểu thức của hệ số biến thái $\eta = \frac{\lambda_1}{\lambda_h}$ như sau:

$$\eta = \frac{1 - 4 \frac{B_N}{h_N}}{5} + \varphi \quad (4-69)$$

Công thức trên chỉ rõ η là hàm số của tỷ số rộng - sâu và φ của nguyên hình. Nguyên hình có tỷ số rộng - sâu càng lớn, hệ số biến thái có thể lấy càng lớn. Ngoài ra, trong thực tế tính toán thấy rằng, trị số φ xác định càng lớn, thì trị số η yêu cầu càng nhỏ ($\eta \geq 1$); đó là vì số hạng thứ nhất của vế phải có tác dụng chủ đạo đối với trị số η .

Đối với mô hình nghiên cứu dòng chảy 2D nằm ngang là chính, chỉ chiếu cố đến tính tương tự của dòng chảy 3D, theo nhận thức hiện nay thì sông vùng núi không nên làm mô hình biến thái, còn sông đồng bằng thì có thể làm, nhưng nên cố gắng để giảm nhỏ hệ số biến thái. Từ trước đến nay, trong thực tế thí nghiệm mô hình, xu thế ngày càng giảm nhỏ hệ số biến thái, hiện nay thông thường sử dụng $\eta \leq 2$. Về điều này một mặt là do nghiên cứu ngày càng đi sâu từ dòng chảy 1D sang dòng chảy 2D và xét thêm điều kiện dòng chảy 3D, mặt khác là thông qua thực tiễn ngày càng nhận thức được ảnh hưởng bất lợi của biến thái đối với trường lưu tốc.

4.2.4. Tiểu kết

Tổng hợp các phân tích trên đây, các phương trình hằng số tỷ lệ mà mô hình biến thái cần phải tuân thủ là:

- Tương tự liên tục dòng chảy:

$$\frac{\lambda_l \lambda_u}{\lambda_l} = 1 \quad (B_1)$$

hoặc:
$$\frac{\lambda_Q}{\lambda_l \lambda_h \lambda_u} = 1 \quad (B_2)$$

- Tương tự tỷ số giữa lực quán tính và trọng lực:

$$\frac{\lambda_u^2}{\lambda_h} = 1 \quad (B_3)$$

- Tương tự tỷ số giữa lực quán tính và sức cản:

$$\lambda_{fb} = \frac{\lambda_h}{\lambda_l} = \frac{1}{\eta} ; \lambda_{fw} = 1 \quad (B_4)$$

hoặc:
$$\lambda_{nb} = \frac{\lambda_h^{3/2}}{\lambda_l^{1/2}} = \frac{\lambda_l^{1/6}}{\eta^{2/3}} ; \lambda_{nw} = \lambda_l^{1/6} \quad (B_5)$$

Ngoài ra, đồng thời phải thỏa mãn 2 điều kiện sau:

- Điều kiện hạn chế dòng chảy rối: $Re_M > 1000 \div 2000 \quad (B_6)$

- Điều kiện hạn chế sức căng bề mặt: $h_M > 1,5 \text{ cm} \quad (B_7)$

Trong mô hình biến thái cũng cần tiến hành thí nghiệm kiểm chứng như đối với mô hình chính thái.

4.3. PHÂN TÍCH MỘT SỐ VẤN ĐỀ TRONG THÍ NGHIỆM

4.3.1. Vấn đề khu bình phương sức cản

Khi thảo luận tính tương tự của mô hình và nguyên hình, dòng chảy mô hình phải được mô tả cùng một phương trình vật lý với dòng chảy nguyên hình. Do dòng chảy nguyên hình thường ở khu bình phương sức cản, vì vậy dòng chảy mô hình cũng phải ở khu bình phương sức cản. Chỉ có như thế, 2 dòng chảy mới được mô tả cùng một phương trình vật lý. Nhưng trong hai tiết trước, khi nghiên cứu thiết kế mô hình, chỉ yêu cầu dòng chảy mô hình là chảy rối mà không yêu cầu nhất định phải ở khu bình phương sức cản. Điều đó có mâu thuẫn không, vì sao lại cho phép làm như vậy?

Câu trả lời đơn giản nhất cho vấn đề đó là, mô hình chỉ là một loại mô hình gần đúng, không yêu cầu tương tự một cách chặt chẽ, chỉ yêu cầu loại mô hình gần đúng đó giải quyết được vấn đề của thực tế. Chương trước đã nói rõ, muốn thỏa mãn một cách chặt chẽ tính tương tự về sức cản, ngoài yêu cầu về tương tự sức cản rồi ra, còn yêu cầu tương tự sức cản nhớt, cũng tức là yêu cầu tuân theo định luật tương tự Reynods, mà tương tự sức cản nhớt không thể thực hiện được trong điều kiện thỏa mãn tương tự về tỷ số giữa lực quán tính và trọng lực. Vì vậy, xét trên lý thuyết thì tương tự sức cản là không có khả năng đáp ứng hoàn toàn. Vấn đề là dòng chảy mô hình chỉ là dòng chảy rối nhưng không ở trong khu bình phương sức cản thì có trở ngại gì cho việc giải quyết vấn đề thực tế không? Câu trả lời thuyết phục phải tìm từ thực tế. Các tiến hành thí nghiệm mô hình vật lý từ trước đến nay, phần lớn đều không thiết kế mô hình theo yêu cầu khu bình phương sức cản, nhưng các mô hình đó đều đáp ứng được những yêu cầu cơ bản về tương tự đường mặt nước, sự phân bố theo phương ngang của lưu tốc trung bình thủy trực, từ đó đã giải quyết được các vấn đề thực tế một cách tốt đẹp. Điều đó nói rằng, việc yêu cầu dòng chảy mô hình phải ở trong khu bình phương sức cản chỉ là yêu cầu thứ yếu, có thể chấp nhận sai lệch.

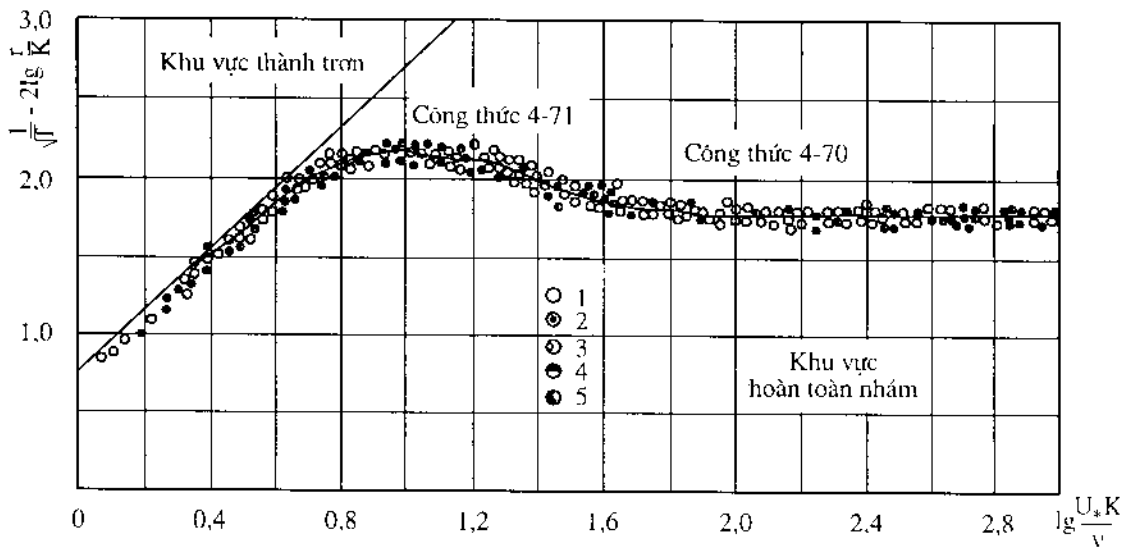
Về lý thuyết, có thể giải thích như sau:

a) Trước hết, cái gọi là giới hạn của khu bình phương sức cản cũng không phải là thật chính xác. Ai cũng biết, kết quả nghiên cứu của Nikuradse và Sakreta về xác định giới hạn khu bình phương sức cản được rút ra từ các đo đạc trong đường ống thẳng và kênh hở thẳng, độ nhám tuyệt đối là dùng cát đồng đều nhân tạo gắn vào. Điều kiện biên như vậy hoàn toàn khác với lòng dẫn sông thiên nhiên cả ở vùng núi và vùng đồng bằng. Phần trên đã nói là dòng chảy mô hình không ở khu bình phương sức cản có thể coi là tương tự với dòng chảy nguyên hình, chứng tỏ công thức lưu tốc trong khu bình phương sức cản của dòng chảy nguyên hình cũng thích dụng với dòng chảy mô hình có số Re không quá nhỏ. Tức là không chỉ trạng thái dòng chảy ở sông thiên nhiên thông thường ở khu bình phương sức cản mà dòng chảy mô hình có số Re không lớn cũng thuộc về khu bình phương sức cản hoặc gần với khu bình phương sức cản. Chúng tôi cho rằng,

dòng chảy sông ngòi (nguyên hình và mô hình) sẽ dĩ có sai khác với kết quả thí nghiệm của Nikuradse, nguyên nhân là dòng chảy thiên nhiên có nguồn rối vô cùng phức tạp và kết cấu rối tương ứng, còn dòng chảy trong ống hoặc trong kênh thẳng có nguồn rối và kết cấu đơn giản hơn nhiều. Vì vậy, trị số Re phân giới để phân chia khu bình phương sức cản và khu quá độ trong điều kiện tự nhiên nhỏ hơn nhiều so với điều kiện thí nghiệm.

b) Phân tích kết quả thí nghiệm của Nikuradse và Sakreta có thể thấy rằng, độ trơn tương đối càng lớn hoặc độ nhám tương đối càng nhỏ, sự chênh lệch trị số giới hạn về hệ số sức cản do số Re thiên nhỏ mà làm cho dòng chảy không ở khu bình phương sức cản tạo ra (tức trị số chênh lệch giữa hệ số sức cản khu bình phương sức cản và hệ số sức cản tối thiểu của khu quá độ) cũng càng nhỏ. Lấy kết quả thí nghiệm của Nikuradse có phạm vi số liệu rộng, độ chính xác tương đối cao làm ví dụ (hình 4-2) công thức khu bình phương sức cản là:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} - 2 \lg \frac{r}{K} = 1,74 \quad (4-70)$$



Hình 4-2: Quan hệ $\frac{1}{\sqrt{f}} - 2 \lg \frac{r}{K}$ và $\lg \frac{U_* K}{v}$ (thí nghiệm Nikuradse)

$$1) \frac{r}{K} = 15; \quad 2) \frac{r}{K} = 30,6; \quad 3) \frac{r}{K} = 60; \quad 4) \frac{r}{K} = 126; \quad 5) \frac{r}{K} = 252;$$

Công thức đoạn giữa khu quá độ ($0,85 \leq \lg \frac{U_* K}{v} \leq 1,15$) là:

$$\frac{1}{\sqrt{f_{\min}}} - 2 \lg \frac{r}{K} = 2,14 \quad (4-71)$$

trong đó:

r - bán kính đường ống ;

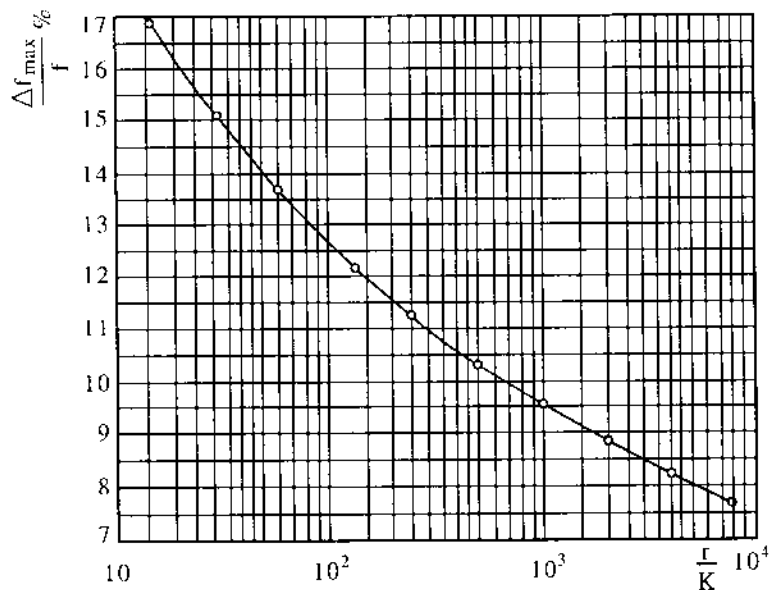
K - độ nhám tuyệt đối của vách ống, tức độ cao nhô lên của hạt cát;

Chỉ số min : biểu thị trị số cực tiểu trong khu quá độ của hệ số sức cản tính được từ công thức (4-71) đối với r/K như nhau.

Giải hệ phương trình (4-70) và (4-71) thu được:

$$\Delta f_{\max} = f - f_{\min} = \frac{1}{\left(1,74 + 2 \lg \frac{r}{K}\right)^2} - \frac{1}{\left(2,14 + 2 \lg \frac{r}{K}\right)^2} \quad (4-72)$$

Công thức trên chỉ rõ, do số Re thiên nhỏ, chênh lệch cực hạn $\Delta f_{\max}$ của hệ số sức cản sản sinh do dòng chảy không ở khu bình phương sức cản sẽ giảm nhỏ khi độ trơn tương đối tăng lên. Hình 4-3 thể hiện quan hệ giữa tỷ lệ phần trăm của trị số chênh lệch cực hạn về hệ số sức cản $\Delta f_{\max}/f$ và độ trơn tương đối $\frac{r}{K}$.



Hình 4-3: Quan hệ $\frac{\Delta f_{\max}}{f}$ và $\frac{r}{K}$.

Có thể thấy, đối với độ trơn tương đối cực đại là 507 trong thí nghiệm của Nikuradse, trị số $\Delta f_{\max}/f$ đã giảm xuống gần 10%, mà độ trơn tương đối trong sông thiên nhiên, đặc biệt là ở sông đồng bằng, lớn hơn 507 rất nhiều, vì vậy $\Delta f_{\max}/f$ thường thấp hơn 10%. Chênh lệch của hệ số sức cản, do dòng chảy không ở khu bình phương sức cản gây ra, tất nhiên không nhất thiết đạt đến hệ số cực hạn $\Delta f_{\max}$, xét bình quân, giả thiết chỉ đạt

đến 1/2 trị số cực hạn nói trên, thì $\Delta f/f$ sẽ chỉ ở dưới mức 5%. Như vậy, sai số nằm trong phạm vi của độ chính xác đo đạc. Hiển nhiên, kết luận đó chỉ thích dụng cho trường hợp số Re không phải là rất bé, dòng chảy cơ bản vẫn ở khu vực quá độ giữa khu thành trơn và khu bình phương sức cản. Nếu số Re quá nhỏ, dòng chảy ở khu thành trơn, chênh lệch về hệ số sức cản có thể vượt quá phạm vi trên. Vì vậy, số Re làm giới trong mô hình, nói một cách chặt chẽ, nên là một biến số, tăng lên theo sự tăng lên của độ trơn tương đối.

Hai điểm thảo luận ở trên chính là nguyên nhân cơ bản để dòng chảy mô hình mặc dù không ở khu bình phương sức cản mà vẫn đạt được tính tương tự.

Mô hình biến thái do hệ số sức cản tăng lên theo bội số của hệ số biến thái, trong điều kiện cùng một trị số Re, thì mô hình biến thái dễ đạt đến khu bình phương sức cản so với mô hình chính thái. Ở nơi có thể sử dụng mô hình biến thái, tận dụng ưu điểm đó là chính xác. Nhưng cũng như trước đây đã nói, dòng chảy mô hình ở khu vực bình phương sức cản, đối với yêu cầu tương tự, không phải là yêu cầu hàng đầu. Nếu chỉ chú ý đến yêu cầu đó, bỏ quên tương tự về hình học, làm mô hình biến thái, đặc biệt là ở nơi không dễ làm biến thái, thì sẽ dẫn đến những vấn đề bất hợp lý khác.

4.3.2. Vấn đề sửa nhám

Trong mô hình chính thái, hệ số sức cản mô hình và nguyên hình bằng nhau ($f_M = f_N$), hệ số nhám mô hình nhỏ hơn của nguyên hình ($n_M < n_N$), vấn đề cơ bản để bảo đảm tương tự sức cản là lựa chọn chính xác tỷ lệ hình học của mô hình, vật liệu xây dựng mô hình, phương pháp xây dựng mô hình. Khi đó, nói chung không phải sửa nhám. *Ở mô hình biến thái, hệ số sức cản đáy f_{bM} tăng lên theo bội số của tỷ lệ $\eta^{2/3}/\lambda_1^{1/6}$ so với nguyên hình. Vì vậy, ngoài việc lựa chọn chính xác λ_1 , λ_h và vật liệu, phương pháp chế tạo mô hình ra, cần phải có biện pháp làm tăng độ nhám của mô hình.*

Có nhiều phương pháp tăng độ nhám của mô hình. Cách thông thường là lấy các hạt cát, sỏi, dăm, cuội... sau khi đi qua lỗ sàng quy định, đem gắn lên lòng dẫn mô hình. Nếu mức độ cần tăng nhám rất nhỏ, có thể làm nhám bề mặt trong quá trình quét xi măng mặt là được. Nếu yêu cầu mức độ tăng nhám rất lớn, có thể tạo ra các rãnh lõm trên mặt mô hình, hoặc gắn các dây thép, mảnh kim loại, cao su... cố định lên mặt mô hình. Ở đây giới thiệu cách tăng nhám tương đối phổ cập, được sử dụng nhiều nơi.

Có 2 phương pháp tăng nhám mô hình thường dùng: một là tăng nhám phủ kín, hai là tăng nhám dạng hoa mai.

a) Tăng nhám phủ kín:

Sắp xếp dày kín lên mặt mô hình các vật liệu được chọn (cát, cuội, sỏi...), không trừ khe hở. Đường kính hạt được chọn theo công thức sau:

$$n = 0,0166d^{1/6} \quad (4-73)$$

trong đó:

d - đường kính hạt (mm) ;

n - hệ số nhám mô hình, xác định từ hệ số nhám nguyên hình và hằng số tỷ lệ.

Công thức trên có phạm vi ứng dụng là $d = (0,23 \div 8)$ mm.

Đối với phạm vi $d = (4,3 \div 26,4)$ mm, có thể sử dụng công thức:

$$n = 0,0138d^{1/6} \quad (4-74)$$

Kinh nghiệm cho thấy, ngoài đường kính hạt ra, hình dạng hạt và cách sắp xếp cũng ảnh hưởng đến độ nhám. Sự sai khác của hai công thức trên, có thể chịu ảnh hưởng của hình dạng hạt và cách sắp xếp các hạt. Công thức (4-73) có thể ở tình trạng sắp xếp không phải tuyệt đối dày đặc.

Hai công thức trên dùng để tham khảo khi chọn đường kính hạt để tăng nhám theo phương pháp phủ kín. Trong trường hợp lưu tốc khởi động của hạt tăng nhám lớn hơn lưu tốc dòng chảy trong mô hình, có thể khi chế tạo mô hình từ cao trình bề mặt xuống một khoảng bằng hai lần đường kính hạt, để sau đó rải loại hạt tăng nhám lên là được. Nếu lưu tốc khởi động của hạt nhỏ hơn, hoặc gần bằng lưu tốc dòng chảy trong mô hình thì khi chế tạo mô hình chỉ hạ thấp một khoảng bằng một lần đường kính hạt cho bề mặt mô hình để sau đó gắn chặt các hạt lên đó.

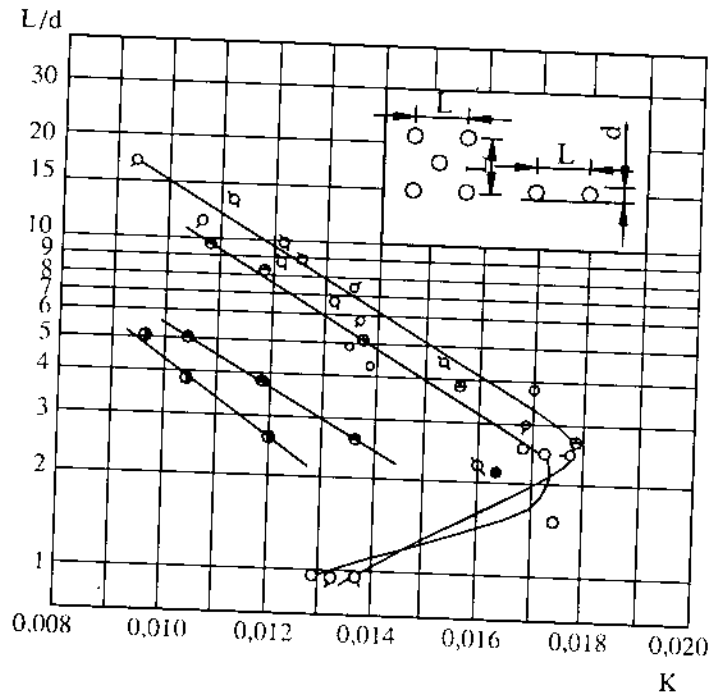
Độ sâu hữu hiệu h và độ sâu thực tế h' (từ mực nước đến chân hạt tăng nhám) trong trường hợp tăng nhám phủ kín, có quan hệ như sau:

$$h = h' - (0,2 \div 0,3) d \quad (4-75)$$

b) Tăng nhám dạng hoa mai:

Tăng nhám dạng hoa mai là gắn các hạt cuội, sỏi lên mặt mô hình theo dạng hoa mai, như hình 4-4 thể hiện.

Trong hình, tung độ là L/d với L là khoảng cách các hạt ở 4 góc hoa mai, d là đường kính hạt; hoành độ là K với $K = n/d^{1/6}$. Từ hình đó ta thấy, khác với trị số K ở tăng nhám theo kiểu phủ kín (K là hằng số 0,0166 hoặc 0,0138), ở đây K là một biến số. Đối với loại đá cuội, xu thế biến đổi của K là theo sự tăng lên của L/d , trị số K sẽ tăng nhanh; đến khi $L/d \approx 2,5$, K đạt giá trị cực đại; sau đó lại giảm xuống nhanh chóng. Tăng nhám dạng hoa mai một cách thích đáng có thể thu được trị số K lớn hơn tăng nhám phủ kín ($L/d = 1$), cũng tức là hệ số nhám lớn hơn, đó là ưu điểm của loại tăng nhám này. Ngoài ra, từ hình 4-4 còn có thể thấy, trị số K chủ yếu phụ thuộc vào L/d , không phụ thuộc nhiều vào trị số tuyệt đối của d , nhưng lại chịu ảnh hưởng lớn của hình dạng hạt. Trong cùng một trị số L/d , hạt hình Δ và hạt hình bán cầu có trị số K giảm nhỏ rõ rệt.



Số liệu Thiên Tân	Số liệu S.chting	Số liệu Trương Định Bang
- d = 2,03cm	- sắt góc	d = 1,64cm
- d = 1,73cm	- hạt hình Δ	
- d = 1,32cm	- hạt hình bán cầu	
	- hạt hình tròn	

Hình 4-4: Quan hệ $\frac{L}{d}$ và K.

Sau khi đã chọn hình dạng hạt, có thể căn cứ vào hệ số nhám mô hình cần đạt tới, sử dụng đường cong trong hình 4-4, để chọn đường kính hạt và khoảng cách L.

Khi tăng nhám theo kiểu hoa mai, quan hệ giữa độ sâu hữu hiệu h và độ sâu thực tế h' (độ sâu trước lúc tăng nhám) là:

$$h = h' - \Delta \quad (4-76)$$

Theo Viện nghiên cứu Đường thủy Thiên Tân thì:

$$\Delta = \frac{V}{L^2} \quad (4-77)$$

$$V = \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\pi}{6} d^3 \right) + \frac{\pi}{12} d^2 (12d) \right] \times 2$$

Từ hình 4-4 có thể thấy, trong diện tích L^2 có chứa 2 hạt sỏi, thể tích mỗi hạt và vùng ảnh hưởng chảy bao quanh nó bằng thể tích khối bán cầu $1/2(\pi d^2/4)$, cộng thêm diện tích đáy $\pi d^2/4$. Thể tích hình chóp cao $12d$ (chiều dài ảnh hưởng chảy bao) là $\left[\frac{1}{2}(\pi d^3/6) + (\pi/12)d^2(12d) \right]$. Ý nghĩa vật lý của Δ là độ cao tạo ra khi thể tích V của 2 hạt tăng nhám đem phủ đều lên diện tích L^2 . Trong hình 4-4, trị số n mà hoành độ K bao gồm là căn cứ vào số liệu thí nghiệm trong máng nước, lấy theo trị số h tính theo công thức (4-76). Khi khoảng cách L nhỏ hơn chiều dài ảnh hưởng của dòng chảy bao $12d$, cần loại trừ phần trùng nhau ở thượng hạ lưu khối chóp.

Tăng nhám dạng hoa mai tuy có hiệu quả tăng nhám lớn hơn (khoảng 1,3 lần) so với tăng nhám dạng phủ kín, nhưng nó lại làm thay đổi trạng thái phân bố độ nhám của lòng dẫn. Đặc biệt là khi hạt tăng nhám tương đối thô, sự thay đổi đó có thể là rất nghiêm trọng, gây ra những ảnh hưởng đến tính tương tự trong phân bố lưu tốc và kết cấu rối. Vì vậy, cách tăng nhám dạng hoa mai chỉ thích hợp cho trường hợp nghiên cứu các vấn đề của dòng chảy 1D và dòng chảy 2D nằm ngang. Tăng nhám dạng hoa mai dùng trong nghiên cứu dòng chảy 3D sẽ tồn tại một số vấn đề, nhất là khi mô hình sử dụng các chất chỉ thị bùn cát, vấn đề tồn tại lại càng lớn. Trong khu vực ảnh hưởng chảy bao phía sau mỗi mố nhám đều sản sinh bồi lắng, làm trở ngại sự vận động của chất chỉ thị bùn cát. Khi sử dụng tăng nhám dạng hoa mai, hạt không nên quá lớn, tỷ số giữa đường kính hạt và độ sâu nên khống chế trong khoảng 5%, lớn nhất không nên vượt quá 10%.

Tăng nhám dạng hoa mai do chịu một số hạn chế, không thể đạt đến những độ nhám rất cao. Khi yêu cầu mô hình có độ nhám cao, chỉ có thể sử dụng phương pháp rạch các rãnh lõm trên mô hình. Ví dụ, thí nghiệm yêu cầu mô hình có độ nhám $n_M = 0,045$, có thể khi vừa xi măng chế tạo mô hình chưa kịp khô, vạch các rãnh rộng sâu đều bằng 10mm, cách nhau $(20 \div 30)$ mm, vuông góc với phương dòng chảy. Kết quả thí nghiệm kiểm chứng, độ nhám mô hình đạt 0,0447, thỏa mãn yêu cầu tương tự sức cản.

4.3.3. Vấn đề sai lệch tương tự sức cản và tương tự lực quán tính

Đối với mô hình công trình sông, trọng lực là động lực nguồn của chuyển động dòng chảy, trong bất kỳ tình huống nào cũng cần xem xét đến. Cái gọi là tương tự sức cản và tương tự lực quán tính, tức là giữa nguyên hình và mô hình, tỷ lệ sức cản bằng tỷ lệ lực quán tính, bằng tỷ lệ trọng lực. Trong điều kiện tương tự đã nói ở các phần trước, có thể khái quát bằng hai loại tương tự; tương tự tỷ số giữa lực quán tính và trọng lực và tương tự tỷ số giữa lực quán tính và sức cản. Nếu khi thiết kế mô hình, hai điều kiện tương tự này đồng thời được thỏa mãn, đương nhiên là rất tốt. Nhưng nếu có những điều kiện hạn chế khó mà đồng thời thỏa mãn được, thì không thể không xem xét quan hệ chủ thứ của hai cặp mâu thuẫn đó. Điều kiện tương tự thuộc về mâu thuẫn chủ yếu cần được tuân thủ nghiêm, còn điều kiện tương tự thuộc loại mâu thuẫn thứ yếu thì cho phép sai lệch chút ít.

Thông thường, quan hệ chủ thứ được xác định như thế nào phụ thuộc vào điều kiện cụ thể của đoạn sông, vào mục đích chủ yếu của nghiên cứu, không thể cào bằng mọi thứ.

a) Đối với đoạn sông có dòng chảy biến hóa dọc đường rất lớn (ví dụ như sông vùng núi đoạn có công trình đầu mối, đoạn có sự can thiệp nhiều của các công trình chỉnh trị...), trong phương trình cân bằng động lực dòng chảy, lực quán tính chiếm tỷ trọng lớn, không thể lược bỏ. Đồng thời, nếu căn cứ vào mục đích và nhiệm vụ nghiên cứu, đoạn sông có thể tương đối ngắn, sự sai lệch của tương tự sức cản, đặc biệt là sai lệch về tương tự sức cản dọc đường dẫn đến những sai lệch về mực nước tương đối nhỏ, không ảnh hưởng nghiêm trọng đến tính tương tự của các yếu tố thủy lực của dòng chảy (như độ sâu, lưu tốc trung bình thủy trực, lưu lượng đơn vị rộng...). Trong tình hình đó, hiển nhiên tương tự lực quán tính cần được đảm bảo, vì thế, cần tuân thủ chặt chẽ điều kiện tương tự tỷ số giữa lực quán tính và trọng lực (phương trình A_3 hoặc B_3). Còn tương tự sức cản thì có thể cho phép sai lệch một phần, vì thế điều kiện tương tự tỷ số giữa lực quán tính và sức cản (phương trình A_4 , A_5 hoặc B_4 , B_5), không cần phải tuân thủ chặt chẽ.

b) Đối với đoạn sông tương đối dài, tương tự sức cản dọc đường ảnh hưởng lớn đến tương tự của các yếu tố thủy lực của dòng chảy, biến đổi dọc đường của dòng chảy lại tương đối êm thoải (ví dụ đoạn sông đồng bằng ít có tác động công trình), tỷ trọng của lực quán tính rất bé, sự không tương tự của nó không ảnh hưởng nghiêm trọng đến tính tương tự của các yếu tố thủy lực. Trong tình hình đó, hiển nhiên tương tự lực quán tính có thể cho phép sai lệch, cũng tức là điều kiện tương tự tỷ số giữa lực quán tính và trọng lực (phương trình A_3 hoặc B_3) không cần thiết phải tuân thủ hoàn toàn. Còn tương tự sức cản thì cần phải bảo đảm, vì vậy cần tuân thủ nghiêm khắc điều kiện tương tự tỷ số sức cản và trọng lực. Trong những thuyết minh trước đây chỉ đưa vào tính tương tự tỷ số giữa lực quán tính và sức cản, mà chưa đưa vào điều kiện tương tự tỷ số giữa sức cản và trọng lực, vì vậy cần cải thiện tình hình. Biện pháp là lấy điều kiện tương tự tỷ số giữa quán tính và trọng lực đem chia cho điều kiện tương tự tỷ số lực quán tính và sức cản, sẽ thu được điều kiện tương tự tỷ số giữa sức cản và trọng lực.

– Đối với mô hình chính thái:

$$\frac{\frac{\lambda_u^2}{\lambda_1}}{\frac{1}{\lambda_f}} = \frac{\lambda_u^2 \lambda_f}{\lambda_1} = 1 \quad (A_4')$$

$$\frac{\frac{\lambda_u^2}{\lambda_1}}{\frac{\lambda_1^{1/3}}{\lambda_n^2}} = \frac{\lambda_u^2 \lambda_n^2}{\lambda_1^{4/3}} = 1 \quad (A_5')$$

– Đối với mô hình biến thái:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\frac{\lambda_u^2}{\lambda_h}}{\frac{1}{\lambda_{fb} \frac{\lambda_l}{\lambda_h}}} &= \frac{\lambda_u^2 \lambda_{fb}}{\lambda_h \frac{\lambda_l}{\lambda_h}} = 1 \\ \frac{\frac{\lambda_u^2}{\lambda_h}}{\frac{1}{\lambda_{fw}}} &= \frac{\lambda_u^2 \lambda_{fw}}{\lambda_h} = 1 \end{aligned} \right\} \quad (B_4')$$

hoặc:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\frac{\lambda_u^2}{\lambda_h}}{\frac{\lambda_h^{1/3}}{\lambda_{nb}^2 \frac{\lambda_l}{\lambda_h}}} &= \frac{\lambda_u^2 \lambda_{nb}^2}{\lambda_h \frac{\lambda_h^{1/3}}{\lambda_l}} = 1 \\ \frac{\frac{\lambda_n^2}{\lambda_h}}{\frac{\lambda_l^{1/3}}{\lambda_{nw}^2}} &= \frac{\lambda_u^2}{\lambda_h} \frac{\lambda_{nw}^2}{\lambda_l^{1/3}} = 1 \end{aligned} \right\} \quad (B_5')$$

c) Ở những trường hợp khác, là đoạn sông miền núi hoặc đoạn sông chịu tác động của công trình, nhưng đoạn sông nghiên cứu tương đối dài, đồng thời với việc bảo đảm tính tương tự lực quán tính, tương tự sức cản cũng không thể bỏ qua. Kể cả trường hợp sông đồng bằng, nhưng tác dụng của công trình ảnh hưởng rất lớn đến dòng chảy, chiều dài đoạn sông nghiên cứu cũng lớn, thì đương nhiên với việc bảo đảm tính tương tự về sức cản lại cũng không thể bỏ qua tính tương tự của lực quán tính.

Căn cứ vào những phân tích trên, lúc cần thiết phải chấp nhận sai lệch 1 trong 2 điều kiện tương tự sức cản và tương tự lực quán tính, cần tiến hành phân tích cụ thể tình hình sau đó ra quyết định một cách thận trọng.

Về mức độ cho phép sai lệch, cho đến nay không có quy định rõ ràng. Một số kinh nghiệm thực tiễn cho thấy, ở sông đồng bằng, nếu cho phép sai lệch tương tự tỷ số giữa lực quán tính và trọng lực thì độ sai lệch không quá 50%, tức là:

$$1 - \frac{\lambda_u}{\lambda_h^{1/2}} \leq 50\% \quad (4-78)$$

Một hạn chế khác là, khi số Fr có sai lệch, số Fr của mô hình và nguyên hình phải ở trong cùng một khu vực, tức cùng nhỏ hơn 1 (chảy êm) hoặc cùng lớn hơn 1 (chảy xiết).

Đối với sự sai lệch về tương tự sức cản, nên hạn chế trong phạm vi mà độ sai lệch của các yếu tố thủy lực do sự sai lệch tương tự sức cản gây ra, nằm trong độ chính xác đo đạc, thường không thể vượt quá 5%.

4.4. VÍ DỤ THIẾT KẾ MÔ HÌNH CÔNG TRÌNH SÔNG LÒNG CỨNG

Ví dụ 1: Thiết kế mô hình dòng chảy chính thái để nghiên cứu chế độ thủy lực công trình đầu mối cột nước thấp.

Một trạm thủy điện cột nước thấp đặt tại cửa ra của một con sông hẹp. Đoạn sông hẹp, nơi cách đường trục đập 2 km về thượng lưu, có chiều rộng chỉ khoảng 300m. Tại vị trí đập, chiều rộng sông 2600m, giữa sông có 2 bãi giữa chia sông thành 3 lạch. Về hạ lưu đập, lòng sông thu hẹp dần cho đến khoảng 800m. Như vậy đặc điểm lòng sông chuyển từ sông vùng núi sang sông đồng bằng. Để bảo đảm đưa thuyền qua đập, ở sát hai bờ tả, hữu bố trí kênh chạy tàu và âu tàu độc lập. Mục đích thí nghiệm mô hình lòng cứng bao gồm:

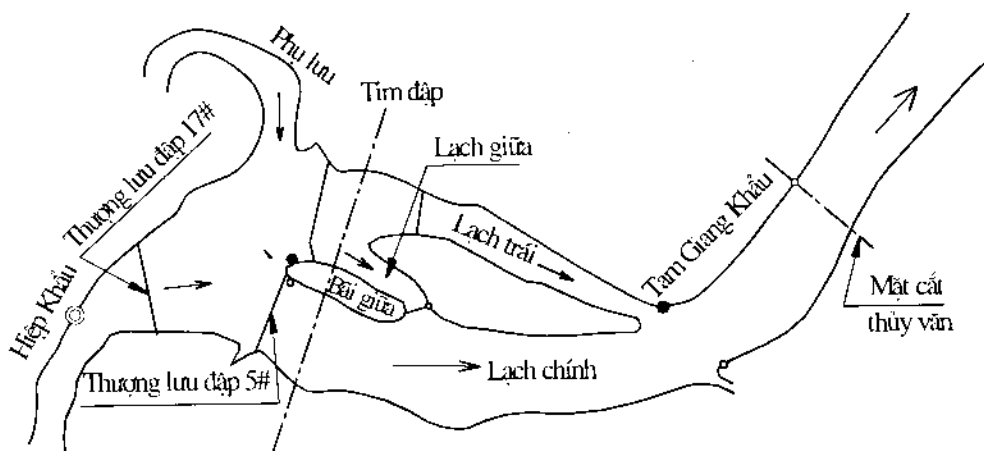
1. Ở nơi cửa ra của sông hẹp, dòng chảy cuộn xoáy, trở ngại chạy tàu, đặc biệt để tàu xuôi dòng đi vào kênh một cách an toàn, cần nghiên cứu bạt mom và các biện pháp chỉnh trị, cải tạo điều kiện dòng chảy.

2. Để bảo đảm trạng thái chảy thuận lợi ở đầu và cuối kênh chạy tàu, kết hợp với mô hình bùn cát, nghiên cứu biện pháp chống sa bồi, cần nghiên cứu hình thức và phương án bố trí tối ưu cho cửa vào kênh.

3. Nghiên cứu lưu tốc, trạng thái chảy ở hạ lưu nhà máy thủy điện, phối hợp với mô hình bùn cát, tìm biện pháp công trình ngăn chặn bùn cát thô đi vào các tổ máy.

4. Kết hợp nghiên cứu các vấn đề thủy lực cho các công trình thủy công

Để bảo đảm tương tự dòng chảy ở cửa ra lạch hẹp, đầu vào mô hình chọn ở vị trí cách cửa ra của sông hẹp 2 km về thượng lưu. Đầu ra của mô hình chọn ở cánh hạ lưu đập 6km. Vì vậy phạm vi mô hình khoảng 9km, hình 4-5 thể hiện mặt bằng mô hình đoạn sông. Trong hình này, thượng hạ lưu của 2 lạch sông bên trái đều có đê vây, là trạng thái của giai đoạn 1 của công trình, phạm vi mô hình nhỏ hơn phạm vi thể hiện trong hình.



Hình 4-5: Mặt bằng mô hình đoạn sông thí nghiệm.

Do phía trên đoạn sông này là đoạn sông mang đặc tính sông vùng núi, trong lòng sông tồn tại các đoạn cong gấp, đáy ngược, đột ngột mở rộng, các mồm đá 2 bờ, lại có công trình can thiệp, vấn đề cần nghiên cứu lại đề cập đến kết cấu dòng chảy, để bảo đảm tương tự dòng chảy, thấy rằng phải sử dụng mô hình chính thái.

Xét điều kiện của hiện trường thí nghiệm và yêu cầu về độ chính xác thí nghiệm, tỷ lệ chiều dài lấy $\lambda_l = 100$.

Từ đặc điểm của đoạn sông thấy rằng cần tuân thủ điều kiện tương tự tỷ số giữa lực quán tính và trọng lực, do đó $\lambda_u = \lambda_l^{1/2} = 10$.

Căn cứ vào phân tích số liệu thiên nhiên, hệ số nhám lòng sông ở thượng lưu đập thay đổi từ $0,050 \div 0,080$, còn ở hạ lưu $n = 0,023 \div 0,040$. Điều đó chứng tỏ sức cản cục bộ ở đoạn sông thượng lưu tương đối lớn, mang đặc tính sông vùng núi nhiều hơn so với đoạn sông hạ lưu. Trong điều kiện đáp ứng tính tương tự về tỷ số giữa sức cản và trọng lực, ta có $\lambda_n = \lambda_l^{1/6} = 2,15$. Độ nhám mô hình sẽ là $n_M = 0,0232 \div 0,0371$ ở thượng lưu và $n_M = 0,0107 \div 0,0186$ ở hạ lưu.

Độ nhám mô hình như vậy, đối với hạ lưu đập sử dụng vữa xi măng cát và tô mặt là có thể đạt được, còn ở thượng lưu đập do địa hình cục bộ nhấp nhô nhiều, nên cần dùng vữa xi măng và đánh xờm một cách thích đáng.

Theo điều tra, sự phân bố độ nhám trên các bộ phận lòng sông không đều đặn, ở 2 bờ vùng thượng lưu đập đều có các mồm đá nhô ra, lòng sông có nhiều đá cuội, sỏi. Ở hạ lưu đập, lòng sông chủ yếu là cát và cuội sỏi, tại một vài nơi cục bộ cũng có đá tảng nhô ra. Thí nghiệm kiểm chứng thấy rằng, ở những nơi đá nền lộ ra cục bộ, tiến hành tăng nhám dạng hoa mai trong phạm vi hẹp, không chỉ làm thỏa mãn được tương tự độ nhám một cách tổng quát mà còn ở một mức độ nào đó, điều chỉnh vị trí chủ lưu, làm cho mô hình phù hợp hơn với nguyên hình.

Tỷ lệ lưu lượng $\lambda_Q = \lambda_1^{5/2} = 100.000$, Đoạn sông này lượng nước dồi dào, lưu lượng bình quân nhiều năm đạt $14.000 \text{ m}^3/\text{s}$, mà vấn đề nghiên cứu chủ yếu là lưu tốc, trạng thái chảy trong mùa lũ, cho nên không có sự hạn chế về $Re_{\min}$ và độ sâu tối thiểu của mô hình. Ví như, lúc lưu lượng thực đo mùa khô, ở nguyên hình là $9.150 \text{ m}^3/\text{s}$, độ sâu trung bình $9,7\text{m}$, lưu tốc đạt $1,15\text{m/s}$, có thể tính ra:

$$Re_M = \frac{11,5 \times 9,7}{0,01} = 11.200 > 1000 \div 2000 ,$$

$$h_M = 9,7\text{cm} > 1,5\text{cm} .$$

Mô hình này có 9 trạm mực nước, biểu thị bằng các điểm 0 trên hình 4-5. Ngoài ra còn có 3 mặt cắt đo phân bố lưu tốc, như các mặt cắt 17#, 5# ở thượng lưu và ở trạm thủy văn hạ lưu. Số liệu thực đo từ các trạm đo trên nguyên hình đó dùng để kiểm định dòng chảy mô hình. Ngoài ra cũng còn có số liệu về dòng chảy mặt của nguyên hình, thông qua việc quan trắc chuyển động của phao nổi.

Sau khi mô hình được xây dựng, tiến hành thí nghiệm kiểm chứng thấy rằng, các yếu tố thủy lực của mô hình như đường mặt nước, phân bố vận tốc trung bình thủy trực trên phương ngang, phân bố lưu tốc điểm trên thủy trực, trạng thái chảy bề mặt đều về cơ bản tương tự với nguyên hình: sai số lưu tốc trong vòng 5%, sai số mặt nước không quá 10cm ở nguyên hình.

Ví dụ 2: Thiết kế mô hình biến thái, chỉnh trị đoạn cạn ở vùng sông đồng bằng.

Trên đoạn sông này, luồng lạch qua ngưỡng cạn không ổn định, độ sâu không đủ để chạy tàu. Ở bờ hữu thượng lưu, đầu bãi bên bị xói dịch dần về hạ lưu. Tương ứng, phần đuôi bãi bên và đoạn quá độ cũng dao động về hạ lưu, sản sinh lạch sâu so le. Vào mùa nước cạn, dòng chảy qua ngưỡng cạn phân tán dạng rẽ quạt, cản trở chạy tàu. Theo yêu cầu, cần tăng độ sâu tối thiểu trên ngưỡng cạn thêm 0,6m nữa, phải tiến hành chỉnh trị. Tư tưởng chủ đạo trong chỉnh trị là cố định bãi bên bờ hữu ở thượng lưu, tại 2 phía của đoạn quá độ tiến hành thu hẹp và hướng dòng chảy vào một tuyến cố định để tăng độ sâu.

Do làm thí nghiệm trên mô hình lòng động quá tốn kém, mà biện pháp cơ bản để chỉnh trị đoạn sông này là cố định thể sông, nên sử dụng mô hình lòng cứng cũng có thể đạt tới mục đích nghiên cứu. Còn vấn đề diễn biến lòng dẫn, sau khi bố trí công trình, có thể suy luận thông qua phân tích đánh giá kết quả thí nghiệm về phân bố lưu tốc, lưu hướng, trạng thái chảy và sự thay đổi độ dốc mặt nước.

Để bảo đảm tương tự về dòng chảy, mô hình cần bao gồm cả một đoạn sông hoàn chỉnh, có toàn bộ bãi bên thượng lưu, đoạn quá độ và có cả bãi bên hạ lưu bên bờ tả, toàn bộ dài 29km, cộng thêm đoạn đầu vào đầu ra của mô hình, đạt hơn 30km. Đoạn sông này có chiều rộng cực đại là 3,3km, thông thường khoảng trên dưới 2km.

Từ quy mô hiện trường thí nghiệm chọn $\lambda_l = 500$.

Độ sâu tối thiểu trên ngưỡng cạn là 2,6m, lưu tốc mùa kiệt là 1,24m/s. Để bảo đảm chảy rối và loại trừ ảnh hưởng của lực căng bề ngoài, mô hình cần làm biến thái. Xét đoạn sông này ở vùng đồng bằng, có xây dựng các công trình thì sự nhiễu loạn đối với dòng chảy cũng không lớn, cho phép làm biến thái. Căn cứ vào tính chất của vấn đề nghiên cứu, cần bảo đảm tương tự dòng chảy 2D, có xem xét thêm tương tự của dòng chảy 3D, hệ số biến thái chọn là 5, tức $\lambda_h = 100$.

- Theo yêu cầu tương tự tỷ số giữa lực quán tính và trọng lực ta có:

$$\lambda_u = \lambda_h^{1/2} = 10$$

- Theo yêu cầu tương tự tỷ số giữa sức cản và trọng lực ta có:

$$\lambda_n = \frac{\lambda_h^{2/3}}{\lambda_l^{1/2}} = 0,96$$

Hệ số nhám của nguyên hình vào mùa kiệt là $0,0204 \div 0,0329$, vào mùa trung và mùa lũ là $0,0206 \div 0,0255$, do đó hệ số nhám của mô hình là:

+ Vào mùa kiệt $n_M = 0,0212 \div 0,0342$

+ Vào mùa trung và mùa lũ $n_M = 0,0214 \div 0,0266$

trong đó, trị số lớn xuất hiện ở phần lạch sâu.

Sử dụng phương pháp phân đoạn tăng nhám, phần lạch sâu sử dụng các viên đá cuội 25mm gắn hình hoa mai; phần còn lại đều rải sỏi (10 ÷ 15)mm. Vì đoạn sông có tỷ lệ rộng - sâu lớn, chỉ xét tương tự độ nhám lòng sông, không xét riêng độ nhám bờ sông.

Vì: $\lambda_Q = \lambda_l \lambda_h^{3/2} = 500.000$,

số Re tối thiểu là: $Re_M = \frac{26 \times 1,24}{0,01} = 3224 > 1000 \div 2000$

Độ sâu tối thiểu trên mô hình:

$$h_M = 2,6 \text{ cm} > 1,5 \text{ cm}$$

Sau khi chế tạo xong mô hình, thông qua thí nghiệm kiểm định, thấy rằng các yếu tố thủy lực của mô hình về cơ bản phù hợp với nguyên hình.

Chương V

THÍ NGHIỆM MÔ HÌNH SÔNG LÒNG ĐỘNG

So với thí nghiệm mô hình sông lòng cứng, thí nghiệm mô hình sông lòng động có 2 đặc điểm: *Một là, dòng chảy mô hình có mang bùn cát.* Thông thường, dòng chảy nguyên hình vừa mang bùn cát lơ lửng vừa mang bùn cát đáy; trong bùn cát lơ lửng vừa có chất xâm thực (tức là loại bùn cát cơ bản không tham gia vào quá trình tạo lòng ở trạng thái tự nhiên), vừa có chất lòng dẫn (loại bùn cát tham gia vào quá trình lòng). Trong bùn cát đáy, vừa có loại hạt gắn với chất lòng dẫn trong bùn cát lơ lửng, vừa có loại hạt lớn như cuội, sỏi. Bùn cát mà dòng chảy mô hình mang theo cũng phải tương ứng với bùn cát trong dòng chảy nguyên hình và bảo đảm tương tự. *Đặc điểm thứ 2 là lòng dẫn của mô hình có tính biến động.* Dưới tác dụng của dòng chảy mang bùn cát, lòng dẫn sẽ biến động, xuất hiện xói bồi, làm cho hình dạng lòng dẫn không cố định. Với đặc điểm này, mô hình cũng phải tương thích với nguyên hình và đảm bảo tương tự. Hai đặc điểm trên chính là điểm khác nhau giữa mô hình lòng cứng và mô hình lòng động, cũng là điểm chứng tỏ mô hình lòng động, trong nhiều trường hợp, tiếp cận tốt hơn với thực tế. Khi diễn biến lòng dẫn ở nguyên hình xảy ra với quy mô lớn mà hiện tượng xói bồi đó và chuyển động của dòng chảy mang bùn cát có ảnh hưởng lớn đến công trình trên sông, thí nghiệm mô hình lòng động luôn là phương pháp hữu hiệu, có khi là phương pháp chủ yếu nhất, mà phân tích tính toán hoặc thí nghiệm mô hình lòng cứng không thể thay thế được.

Nhưng 2 đặc điểm nói trên gây ra rất nhiều khó khăn cho thí nghiệm mô hình. Do quy luật chuyển động của dòng chảy mang bùn cát là vô cùng phức tạp, những mâu thuẫn tồn tại giữa các loại yêu cầu tương tự nhiều hơn so với dòng chảy trong, không dễ dàng thực hiện được mức độ tương tự như ở dòng chảy trong. Ngoài ra, do cần mở nước mang bùn cát vào mô hình và phải đạt được yêu cầu tương tự, hệ thống cấp nước, cấp cát của mô hình và các trang thiết bị theo dõi tương đối phức tạp, mỗi lần tiến hành thí nghiệm, phải đắp lại địa hình, lại thêm các thiết bị chế tạo cát mô hình, khối lượng công tác rất lớn. Những khó khăn đó làm cho việc tiến hành thí nghiệm mô hình lòng động phức tạp và gian khổ hơn nhiều so với thí nghiệm mô hình lòng cứng.

Những năm gần đây, do tiến hành thí nghiệm rất nhiều mô hình lòng động, nên đã tích lũy được khá nhiều kinh nghiệm. Trong thiết kế mô hình và trong thiết bị thí nghiệm đối với mô hình dòng chảy bùn cát đều có những tiến bộ, cải tiến đáng kể.

Giải quyết những khó khăn trong thí nghiệm mô hình lòng động, đặc biệt là những khó khăn trong thoả mãn các yêu cầu tương tự trong thiết kế mô hình, biện pháp cơ bản nhất vẫn là dựa vào tính đặc thù của đoạn sông và yêu cầu thí nghiệm, phân tích mâu thuẫn, nắm vững yếu tố chủ yếu, chiếu cố yếu tố thứ yếu, lược bỏ yếu tố không quan trọng. Với phương châm đảm bảo tính tương tự cho yếu tố chủ yếu, cố gắng làm cho vấn đề đơn giản hoá, một số biện pháp đơn giản hoá thường dùng như về chuyển động chỉ xét bùn cát lơ lửng hoặc chỉ xét bùn cát đáy; trong bùn cát lơ lửng chỉ xét bùn cát tạo lòng bỏ qua bùn cát xâm thực; trong bùn cát đáy chỉ xem xét chất di đáy cuội sỏi, không xét chất di đáy cát. Còn về lòng dẫn mô hình, chỉ làm động phần lòng sông, còn bờ sông thì cố định; thậm chí trong lòng sông cũng chỉ làm động cục bộ, phần còn lại là cứng; hoặc hoàn toàn làm lòng cứng, tiến hành thí nghiệm lòng động trên lòng cứng (hình thành lòng động thông qua bồi lắng của bùn cát) v.v....

Trong những năm 50, một số nhà nghiên cứu đã nghiên cứu phát triển một loại mô hình công trình sông dạng tự nhiên. Đặc điểm chủ yếu của nó là khi thiết kế mô hình, tuy cũng tiến hành tính toán các tỷ lệ nhất định nhưng không quá cường điệu sự tuân thủ chặt chẽ các tỷ lệ, hình thái lòng sông của mô hình chính do dòng chảy mô hình tạo ra. Tiêu chí chủ yếu của sự tương tự giữa mô hình và nguyên hình là hình thái lòng sông và quá trình diễn biến của nó có tương tự với nguyên hình không. Nhưng nói chung, mô hình công trình sông loại đó không thoả mãn yêu cầu cơ bản của lý thuyết tương tự, về cơ sở lý thuyết có nhiều hạn chế, cũng không thể giải quyết tốt những vấn đề do thực tiễn đề ra, nên nó không được phát triển tiếp tục.

5.1. THÍ NGHIỆM MÔ HÌNH SÔNG LÒNG ĐỘNG VỚI DÒNG CHẢY MANG BÙN CÁT LƠ LỬNG

Trong sông thiên nhiên, chất lơ lửng chiếm trên 90% tổng lượng bùn cát mà dòng chảy mang theo, nhất là trong sông vùng đồng bằng. Do đó, trong nhiều trường hợp, sự biến hoá xói bồi do bùn cát lơ lửng tạo ra luôn là phần chủ thể của biến hình lòng dẫn. Bùn cát đáy lại luôn có sự trao đổi chất tạo lòng với bùn cát lơ lửng, phần trao đổi đó cũng có thể coi như bao gồm cả trong chất lơ lửng. Như vậy, chỉ trừ trường hợp sông miền núi có dòng bùn đá lớn, trong thí nghiệm mô hình lòng động thường chỉ mô phỏng chuyển động của bùn cát lơ lửng. Thí nghiệm mô hình như vậy gọi là thí nghiệm mô hình lòng động với bùn cát lơ lửng. Nếu vấn đề nghiên cứu chỉ là biến hình lòng sông trong trạng thái tự nhiên của sông đồng bằng, ví dụ nghiên cứu sự vận động của các khối bồi tích ngầm trong lòng sông (bãi bên, bãi giữa) và ảnh hưởng của các công trình đối với sự vận động đó, chất xâm thực cơ bản không tham dự vào sự thay đổi lòng sông, có thể chỉ mô phỏng chất tạo lòng trong bùn cát lơ lửng. Nếu vấn đề nghiên cứu liên quan đến chất xâm thực, ví dụ nghiên cứu bồi lắng trong nhánh sông cụt của sông đồng bằng, dòng dị trọng, phát triển của bãi giữa, bồi lắng ở cuối vùng nước dâng hồ chứa... thì cần xét toàn bộ bùn cát lơ lửng. Sự phân chia chất xâm thực và chất tạo lòng có thể căn cứ vào số liệu thực đo của nguyên hình vẽ đường cong phân bố hạt của mẫu bùn cát lơ lửng

và lấy đường kính hạt ở vị trí 5% hoặc ở nơi điểm uốn trên đường cong. Cách làm đó chỉ đúng trong trường hợp tác động của công trình không lớn, điều kiện thủy lực của dòng chảy không sai khác nhiều với trạng thái tự nhiên. Nếu công trình làm thay đổi đáng kể đến điều kiện thủy lực, có thể sử dụng công thức sau:

$$W_{\min} = \frac{1}{65} U \left(\frac{d_{pi}}{h} \right)^{\frac{1}{6}} \quad (5-1)$$

để tính toán tốc độ chìm lắng phân giới của bùn cát, sau đó suy ra đường kính hạt tương ứng. Khác với mô hình lòng cứng, ngoài việc phải thỏa mãn yêu cầu tương tự đối với chuyển động của dòng nước ra, mô hình lòng động còn phải thỏa mãn yêu cầu tương tự đối với chuyển động bùn cát.

Điều kiện tương tự mà dòng nước trong mô hình lòng động cân tuân thủ cũng hoàn toàn giống với mô hình lòng cứng, ở đây không nhắc lại nữa, vấn đề tương tự hệ số nhám lòng động có liên quan với nó sẽ được đề cập chuyên đề ở mục 5.3.

Để đảm bảo tương tự chuyển động bùn cát, các phương trình hằng số mô hình cân tuân thủ sẽ được suy ra từ các phương trình vật lý mô tả chuyển động của bùn cát. Nhưng cơ chế chuyển động bùn cát hiện nay vẫn chưa thực sáng tỏ, phương trình vật lý hoàn chỉnh mô tả hiện tượng chuyển động của bùn cát cũng chưa phải đã được công nhận tuyệt đối. Điều đó buộc chúng ta không sử dụng một số phương trình vật lý mô tả chuyển động của một bộ phận bùn cát nào đó hoặc từ các phương diện khác nhau của nó để suy ra các chuẩn tắc tương tự của mô hình. Làm như vậy thực chất là đi từ sự tương tự về hiện tượng chuyển động của một bộ phận bùn cát và các phương diện khác nhau của nó quy nạp về tính tương tự tổng thể của chuyển động bùn cát hoặc tính tương tự của hiện tượng chủ yếu có tác dụng quyết định đến bản chất của vấn đề.

5.1.1. Tương tự chuyển động lơ lửng

Đối với chuyển động của bùn cát lơ lửng, phương trình vật lý mô tả hiện tượng là phương trình khuếch tán của chuyển động lơ lửng. Phương trình này vốn chỉ là phương trình liên tục của bùn cát, nhưng sau khi đưa vào lý thuyết khuếch tán và phương thức xử lý của nó, trên thực chất đã có ý nghĩa nội hàm của phương trình chuyển động bùn cát. Dưới đây, xuất phát từ phương trình khuếch tán 3D để khảo sát định luật tương tự mô hình với sự tương tự về chuyển động của bùn cát lơ lửng.

Phương trình khuếch tán 3D của chuyển động bùn cát lơ lửng là:

$$\begin{aligned} \frac{\partial S}{\partial t} = & -\frac{\partial}{\partial x}(uS) - \frac{\partial}{\partial y}(vS) - \frac{\partial}{\partial z}(\omega S) + \frac{\partial}{\partial z}(wS) \\ & + \frac{\partial}{\partial x}\left(\epsilon_{sx} \frac{\partial S}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\epsilon_{sy} \frac{\partial S}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\epsilon_{sz} \frac{\partial S}{\partial z}\right) \end{aligned} \quad (5-2)$$

trong đó: $\varepsilon_{sx}, \varepsilon_{sy}, \varepsilon_{sz}$ lần lượt biểu thị hệ số khuếch tán bùn cát theo phương dọc, theo phương ngang và theo phương thẳng đứng, các ký hiệu khác có ý nghĩa giống như trước.

Vế trái của phương trình là số hạng biểu thị sự biến đổi theo thời gian của lượng bùn cát trong một đơn vị thể tích nước. Ba số hạng đầu của vế phải biểu thị sự biến đổi của lượng bùn cát ra vào một đơn vị thể tích nước do lưu tốc trung bình thời gian gây ra trong một đơn vị thời gian, số hạng thứ tư của vế phải biểu thị sự thay đổi của lượng bùn cát vào ra trong một đơn vị thể tích nước do vận tốc chìm lắng gây ra trong một đơn vị thời gian, ba số hạng sau cùng của vế phải biểu thị sự thay đổi của lượng bùn cát vào ra trong một đơn vị thời gian do tác dụng khuếch tán.

a) Trước hết, xem xét trường hợp mô hình chính thái.

Vì $\lambda_x = \lambda_y = \lambda_z = \lambda_l$, $\lambda_u = \lambda_v = \lambda_w$, chuyển hoá tương tự cho phương trình (5-2), xét tác dụng trọng lực là một mâu thuẫn chủ yếu quyết định sự chìm lắng của chất lơ lửng, chia $\frac{\lambda_w \lambda_s}{\lambda_l}$ rút ra từ quan hệ hằng số tỷ lệ của số hạng thứ 4 vế phải cho các biểu thức hằng số tỷ lệ của các số hạng còn lại sẽ thu được:

$$\frac{\lambda_l \cdot \lambda_w}{\lambda_l} = 1 \quad (5-3)$$

$$\frac{\lambda_u}{\lambda_w} = 1 \quad (5-4)$$

$$\frac{\lambda \varepsilon_{sx}}{\lambda_l \lambda_w} = \frac{\lambda \varepsilon_{sy}}{\lambda_l \lambda_w} = \frac{\lambda \varepsilon_{sz}}{\lambda_l \lambda_w} = \frac{\lambda \varepsilon_s}{\lambda_l \lambda_w} = 1 \quad (5-5)$$

- Phương trình hằng số tỷ lệ (5-3) biểu thị sự thay đổi theo thời gian của hàm lượng bùn cát bằng tỷ số biến đổi lượng bùn cát vào và ra do chìm lắng trọng lực gây ra. Trong điều kiện thoả mãn phương trình hằng số tỷ lệ thứ 2 (phương trình 5-4), nó đồng nhất với phương trình hằng số tỷ lệ mà tương tự về tính liên tục của dòng chảy yếu cấu, vì vậy không đặt thêm phương trình hằng số tỷ lệ mới.

- Phương trình hằng số tỷ lệ (5-4) biểu thị tỷ số thay đổi lượng bùn cát vào ra do đối lưu và do bồi lắng trọng lực gây ra là bằng nhau, có thể đặt tên là *tương tự về tỷ số đối lưu và chìm lắng trọng lực*.

- Phương trình hằng số tỷ lệ (5-5) biểu thị tỷ số thay đổi lượng bùn cát vào và ra do khuếch tán rối và do chìm lắng trọng lực gây ra là bằng nhau, có thể đặt tên là *tương tự về tỷ số khuếch tán rối với chìm lắng trọng lực*.

Hệ số khuếch tán rối bùn cát ε_s , theo cách làm thông thường, có thể lấy bằng hệ số nhớt xoáy của dòng chảy ν_t . Nhưng do biểu thức của hệ số nhớt xoáy của dòng chảy 3D

không thật rõ ràng, gây khó khăn cho sự triển khai tiếp tục phương trình hằng số tỷ lệ (5-5), để từ đó tìm ra được phương trình hằng số tỷ lệ dễ khống chế. Đối với dòng chảy đều 2D, biểu thức về hệ số khuếch tán bùn cát theo phương thẳng đứng có thể suy ra từ hệ số nhớt xoáy như sau:

$$\varepsilon_{sz} \approx v_{tz} = k \cdot U_* \left(1 - \frac{Z}{h} \right) Z \quad (5-6)$$

vì vậy:
$$\lambda_{\varepsilon sz} = \lambda_{v sz} = \lambda_k \lambda_{U*} \lambda_l \quad (5-7)$$

trong đó, λ_k có thể lấy bằng 1. Một số kết quả thí nghiệm chứng tỏ, hệ số khuếch tán theo chiều ngang cũng có thể biểu thị theo dạng (5-6). Hệ số khuếch tán theo chiều dọc còn được nghiên cứu ít, nhưng số hạng chứa hệ số này luôn tương đối nhỏ, nhiều khi có thể bỏ qua không tính. Do đó, lấy: $\lambda_{\varepsilon sx} = \lambda_{\varepsilon sy} = \lambda_{\varepsilon sz}$ sẽ không gây ra sai số lớn.

Đưa kết quả (5-7) thay vào (5-5), ta có:

$$\frac{\lambda_{U*}}{\lambda_w} = 1 \quad (5-8)$$

Hiển nhiên, đó là một dạng biểu đạt khác của phương trình hằng số tỷ lệ (5-5), chỉ ứng dụng cho dòng chảy trung bình thời gian gần như đường thẳng.

Trên đây đã làm sáng tỏ ý nghĩa vật lý của phương trình hằng số tỷ lệ (5-4) và (5-5). Rõ ràng, muốn bảo đảm tính tương tự của bùn cát, các hằng số tỷ lệ thay đổi lượng bùn cát vào ra đơn vị thể tích nước do lưu tốc trung bình thời gian, do khuếch tán rối và do chìm lắng trọng lực phải bằng nhau, tức phương trình hằng số tỷ lệ (5-4) và (5-5) phải đồng thời thoả mãn. Nhưng đối với mô hình chính thái, trong điều kiện thoả mãn tương tự tỷ số giữa lực quán tính và trọng lực thì:

$$\lambda_u = \lambda_{U*} = \lambda_l^2$$

Hai phương trình hằng số tỷ lệ này trên thực tế đã hợp nhất thành một phương trình hằng số tỷ lệ (5-4) hoặc (5-8).

b) Trường hợp mô hình biến thái.

Do: $\lambda_x = \lambda_y = \lambda_l$, $\lambda_z = \lambda_h$; $\lambda_u = \lambda_v = \lambda_w$, $\lambda_w = \frac{\lambda_h}{\lambda_l} \lambda_u$, tiến hành chuyển hoá tương tự cho phương trình (5-2) ta có:

$$\frac{\lambda_h}{\lambda_l \cdot \lambda_w} = 1 \quad (5-9)$$

$$\frac{\lambda_u \lambda_h}{\lambda_l \lambda_w} = \frac{\lambda_w}{\lambda_w} = 1 \quad (5-10)$$

$$\frac{\lambda_{e_{sx}} \lambda_h}{\lambda_w \lambda_l^2} = \frac{\lambda_{e_{sy}} \lambda_h}{\lambda_w \lambda_l^2} = \frac{\lambda_{e_{sz}}}{\lambda_w \lambda_h} = 1 \quad (5-11)$$

Phân tích 3 phương trình hằng số tỷ lệ trên ta thấy, do $\lambda_w = \lambda_w = \frac{\lambda_h}{\lambda_l} \lambda_u$, phương trình (5-9) so với phương trình hằng số tỷ lệ tương ứng với chuyển động dòng chảy thông thường, về hình thức là giống nhau. Hai đẳng thức của phương trình (5-10), về hình thức cũng được xác lập đồng thời. Phương trình (5-11) có thể viết thành:

$$\frac{\lambda_{e_{sx}}}{\lambda_u \lambda_l} = \frac{\lambda_{e_{sy}}}{\lambda_v \lambda_l} = \frac{\lambda_{e_{sz}}}{\lambda_w \lambda_h} = 1$$

trong đó, 3 đẳng thức về hình thức cũng đồng thời được xác lập, chỉ do biến thái mà hằng số tỷ lệ của hệ số khuếch tán rối ở 3 hướng đã không hoàn toàn bằng nhau, mà là:

$$\lambda_{e_{sx}} = \lambda_{e_{sy}} \quad (5-12)$$

$$\lambda_{e_{sz}} = \left(\frac{\lambda_h}{\lambda_l} \right)^2 \lambda_{e_{sx}} \quad (5-13)$$

Hằng số tỷ lệ của hệ số khuếch tán rối theo phương thẳng đứng suy ra từ phương trình (5-7) là:

$$\lambda_{e_{sz}} = \lambda_k \lambda_{U*} \lambda_h = \lambda_{U*} \lambda_h \quad (5-14)$$

Xét quan hệ giữa phương trình (5-13) và (5-14), phương trình (5-11) sẽ cùng chuyển hoá thành $\frac{\lambda_{U*}}{\lambda_w} = 1$. Cũng tức là, đối với mô hình biến thái, chỉ cần thoả mãn 2 phương trình sau:

$$\frac{\lambda_u \lambda_h}{\lambda_w \lambda_l} = 1 \quad (5-10)$$

$$\text{và:} \quad \frac{\lambda_{U*}}{\lambda_w} = 1 \quad (5-8)$$

thì tính tương tự chuyển động lơ lửng về hình thức là được đảm bảo.

Nhưng, đối với mô hình biến thái, thoả mãn đồng thời 2 yêu cầu đó sẽ gặp phải mâu thuẫn, vì từ (5-10) ta sẽ có:

$$\lambda_w = \frac{\lambda_h}{\lambda_l} \lambda_u \quad (5-15)$$

mà theo công thức sức cản dòng chảy lại có:

$$\lambda_u = \frac{\lambda_{U*}}{\lambda_f^{1/2}}$$

thay $\frac{\lambda_{uL}}{\lambda_w} = 1$ và $\lambda_f = \frac{\lambda_h}{\lambda_l}$ vào sẽ thu được:

$$\lambda_w = \left(\frac{\lambda_h}{\lambda_l} \right)^2 \lambda_u \quad (5-16)$$

Hiển nhiên, đối với mô hình biến thái, (5-15) và (5-16) là không thể đồng thời xác lập. Như vậy, 2 điều kiện tương tự về chuyển động lơ lửng của mô hình biến thái là không thể thoả mãn đồng thời.

Từ công thức phân bố hàm lượng bùn cát lơ lửng theo phương thẳng đứng suy ra từ lý thuyết khuếch tán:

$$\frac{S}{S_u} = \left(\frac{\frac{h}{z} - 1}{\frac{h}{a} - 1} \right)^{\frac{W}{K \cdot U_*}} \quad (5-17)$$

Có thể thấy rằng, muốn thoả mãn yêu cầu tương tự về phân bố hàm lượng bùn cát trên phương thẳng đứng, số chỉ thị lơ lửng $\frac{W}{K \cdot U_*}$ của mô hình và nguyên hình phải bằng

nhau. Nếu lấy $\lambda_k = 1$ sẽ thu được phương trình (5-8). Vậy phương trình hằng số tỷ lệ nói trên có được thoả mãn hay không sẽ quyết định một cách trực tiếp phân bố hàm lượng bùn cát trên thủy trục có tương tự hay không. Ngoài ra, hãy khảo sát phương trình biến hoá dọc đường của hàm lượng bùn cát trung bình thủy trục suy ra từ lý thuyết khuếch tán:

$$\frac{S_{pi}(\bar{x}) - S^*}{S_{bo} - S^*} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2\bar{\beta}_n^2 K_l^2}{\left(\bar{\beta}_n^2 + \frac{K_l^2}{4} \right)^2 \left(\bar{\beta}_n^2 + \frac{K_l^2}{4} + K_l \right)} \cdot e^{-\left(\bar{\beta}_n^2 + \frac{K_l^2}{4} \right) K_2 \bar{x}} = f(K_1, K_2, \bar{x}) \quad (5-18)$$

trong đó:

$$K_1^2 = \frac{Wh}{\varepsilon_s}, \quad K_2 \bar{x} = \frac{\varepsilon_s}{U_h} \frac{\chi}{h};$$

ε_s - hệ số khuếch tán rối theo phương thẳng đứng;

U - trị số trung bình thủy trực của lưu tốc phương dọc.

Hiển nhiên, để thoả mãn yêu cầu về tương tự sự thay đổi dọc đường của hàm lượng bùn cát trung bình thủy trực, các tổ hợp không thứ nguyên K_1 , $K_2 \bar{x}$ của mô hình và nguyên hình phải bằng nhau. Nếu lấy phương trình (5-14), có thể suy ra phương trình (5-8). Từ $\lambda_{K_2} \bar{x} = 1$ có thể suy ra:

$$\frac{\lambda_u \lambda_h}{\lambda_{U*} \lambda_l} = 1 \quad (5-19)$$

cho $\lambda_{U*} = \lambda_w$ sẽ nhận được phương trình (5-10).

Có thể thấy rằng, nếu chỉ thoả mãn $\frac{\lambda_{U*}}{\lambda_w} = 1$, mà không thoả mãn $\frac{\lambda_u \lambda_h}{\lambda_w \lambda_l} = 1$ thì yếu

tố $K_2 \bar{x}$ trong phương trình (5-18) của nguyên hình và mô hình không bằng nhau, vì vậy sự biến hoá dọc đường của hàm lượng bùn cát trung bình thủy trực trong nguyên hình và mô hình không thể tương tự. Ngược lại, nếu chỉ thoả mãn $\frac{\lambda_u \lambda_h}{\lambda_w \lambda_l} = 1$ mà không

thoả mãn $\frac{\lambda_{U*}}{\lambda_w} = 1$ thì $\frac{\lambda_u \lambda_h}{\lambda_{U*} \lambda_l} = 1$ cũng không thể thoả mãn. Nếu như vậy có nghĩa là,

K_1 và $K_2 \bar{x}$ trong phương trình (5-18) của nguyên hình và mô hình đều không bằng nhau, phân bố trên thủy trực của hàm lượng bùn cát và sự biến đổi dọc đường của hàm lượng bùn cát trung bình thủy trực đều không thể thực hiện tương tự.

Điều đó đã chứng tỏ rằng do không thể bảo đảm đồng thời thoả mãn cả hai phương trình hằng số tỷ lệ của tương tự chuyển động lơ lửng, mô hình biến thái không thể làm được tương tự chuyển động lơ lửng thực sự. Khi làm thí nghiệm cụ thể về mô hình lòng động với bùn cát lơ lửng, cuối cùng chọn cái nào trong 2 phương trình hằng số tỷ lệ mâu thuẫn với nhau đó, chủ yếu căn cứ vào tính chất của vấn đề nghiên cứu để vận dụng linh hoạt. Nếu vấn đề nghiên cứu thuộc loại chia nước, chia cát thì sự mô phỏng chính xác về phân bố hàm lượng bùn cát trên thủy trực có ý nghĩa rất quan trọng, phương trình hằng số tỷ lệ (5-8) cần được tuân thủ. Nếu vấn đề nghiên cứu thuộc loại gần như bồi lắng nước tĩnh, sự mô phỏng chính xác quan hệ giữa lưu tốc phương dọc và độ thô thủy lực bùn cát lại có ý nghĩa rất quan trọng, lúc đó việc tuân thủ phương trình hằng số tỷ lệ

(5-10) là bất buộc. Trong trường hợp chung, do tác dụng khuếch tán rối và tác dụng trọng lực là một cặp mâu thuẫn chủ yếu trong chuyển động của bùn cát lơ lửng, mô hình biến thái tuân thủ phương trình (5-8) là có thể chấp nhận được.

Cần chỉ rõ, sử dụng phương trình $\frac{\lambda_{u*}}{\lambda_w} = 1$ như trên chỉ chính xác trong trường hợp đường dòng trung bình thời gian gần như đường thẳng; ở các trường hợp khác, xác định λ_{ϵ_s} như thế nào cần phải tiếp tục nghiên cứu thêm.

Trong thí nghiệm mô hình dòng động với dòng chảy mang bùn cát lơ lửng, điều kiện tương tự chuyển động lơ lửng chủ yếu được dùng để khống chế sự lựa chọn cát mô hình. Hai phương trình hằng số tỷ lệ quyết định điều kiện tương tự đều bao gồm hằng số tỷ lệ độ thô thủy lực λ_w . Độ thô thủy lực của bùn cát có liên quan trực tiếp đến đường kính và mật độ (khối lượng riêng) của bùn cát. Thông qua công thức tính độ thô thủy lực tức vận tốc chìm lắng của bùn cát trong nước tĩnh để xây dựng quan hệ giữa hằng số tỷ lệ lưu tốc và hằng số tỷ lệ hình học, làm căn cứ cho việc chọn cát mô hình.

Bùn cát lơ lửng thường là những hạt mịn, do đó bùn cát nguyên hình có thể coi như chìm lắng trong khu vực chuyển động tầng. Bùn cát mô hình thông thường đều nhỏ hơn bùn cát nguyên hình cho nên cũng chìm lắng trong khu vực chuyển động tầng. Khi suy diễn phương trình hằng số tỷ lệ có thể dùng công thức chìm lắng trong nước tĩnh ở chuyển động tầng, như công thức Stoke hoặc công thức sau:

$$W = 0,039 \frac{\rho_s - \rho}{\rho} g \frac{d^2}{\nu} \quad (5-20)$$

Viết thành phương trình hằng số tỷ lệ là:

$$\frac{\lambda_w \lambda_v}{\lambda_{\frac{\rho_s - \rho}{\rho}} \lambda_d^2} = 1 \quad (5-21)$$

Kết hợp với điều kiện tương tự chuyển động lơ lửng đã trình bày ở trên, đối với mô hình chính thái, xem xét đến các phương trình (5-4) hoặc (5-8), sẽ có:

$$\frac{\lambda_u \lambda_v}{\lambda_{\frac{\rho_s - \rho}{\rho}} \lambda_d^2} = 1 \quad (5-22)$$

Nếu đồng thời thỏa mãn điều kiện tương tự về tỷ số giữa lực quán tính và trọng lực, tức lấy $\lambda_u = \lambda_h^{1/2}$, thì:

$$\lambda_d = \frac{\frac{1}{\lambda_l^4} \cdot \frac{1}{\lambda_v^2}}{\frac{\lambda^2}{\rho_s - \rho}} \quad (5-23)$$

Công thức trên có thể dùng để lựa chọn cát mô hình với điều kiện bảo đảm tương tự chuyển động lơ lửng. Trong trường hợp nhiệt độ nước mô hình gần với hoặc có thể điều chỉnh gần với nhiệt độ nước nguyên hình, tức $\lambda_v = 1$. Công thức trên sẽ được rút gọn hơn:

$$\lambda_d = \frac{\frac{1}{\lambda_l^4}}{\frac{\lambda^2}{\rho_s - \rho}} \quad (5-24)$$

Đối với những thí nghiệm nghiên cứu bồi lắng là chính, để tránh phải điều chỉnh nhiệt độ nước mô hình, có thể căn cứ vào nhiệt độ nước thí nghiệm mô hình, điều chỉnh đường kính cát mô hình (mùa hè thì dùng cát mịn, mùa đông có thể chọn cát thô hơn) để phương trình (5-23) được thoả mãn.

Với mô hình biến thái, phương trình (5-15), cho ta:

$$\frac{\lambda_u}{\lambda_{\rho_s - \rho}} \cdot \frac{\lambda_v}{\lambda_d^2} \cdot \frac{\lambda_h}{\lambda_l} = 1 \quad (5-25)$$

và từ đó suy ra:

$$\lambda_d = \frac{\frac{\frac{3}{\lambda_h^4} \cdot \frac{1}{\lambda_v^2}}{\lambda_{\rho_s - \rho}}}{\frac{\lambda_l^2}{\rho}} \quad (5-26)$$

Còn với phương trình (5-16), ta có:

$$\frac{\lambda_u}{\lambda_{\rho_s - \rho}} \cdot \frac{\lambda_v}{\lambda_d^2} \cdot \frac{\lambda_h^2}{\lambda_l^2} = 1 \quad (5-27)$$

và từ đó suy ra được:

$$\lambda_d = \frac{\frac{\frac{1}{\lambda_h^2} \cdot \frac{1}{\lambda_v^2}}{\lambda_{\rho_s - \rho}}}{\frac{\lambda_l^4}{\rho}} \quad (5-28)$$

Các biểu thức trên đây tính toán hằng số tỷ lệ đường kính hạt đã suy ra từ điều kiện tương tự chuyển động lơ lửng đều với điều kiện công thức vận tốc chìm lắng của bùn cát ở khu vực chuyển động tầng. Nhưng những hạt thô trong bùn cát lơ lửng lại không nhất thiết ở trong khu vực chuyển động tầng. Cách làm chặt chẽ về hình thức là sử dụng công thức tổng quát tính vận tốc chìm lắng ở các khu vực khác nhau, như công thức của Trương Thụy Cẩn:

$$W = \sqrt{\left(13,95 \frac{v}{d}\right)^2 + 1,09 \frac{\rho_s - \rho}{\rho} gd} - 13,95 \frac{v}{d} \quad (5-29)$$

Công thức này có thể viết thành:

$$W = \xi \sqrt{\frac{\rho_s - \rho}{\rho} gd}$$

Từ đó viết thành phương trình hằng số tỷ lệ như sau:

$$\frac{\lambda_w}{\frac{1}{\lambda_{\frac{\rho_s - \rho}{\rho}}^2} \frac{1}{\lambda_d^2} \lambda_{\xi}} = 1 \quad (5-30)$$

$$\text{trong đó } \lambda_{\xi} = \frac{\xi_N}{\xi_M} \text{ với } \xi = \sqrt{\left(\frac{13,95 \frac{v}{d}}{\sqrt{\frac{\rho_s - \rho}{\rho} gd}}\right)^2 + 1,09 - \frac{13,95 \frac{v}{d}}{\sqrt{\frac{\rho_s - \rho}{\rho} gd}}}$$

Liên kết các phương trình hằng số tỷ lệ trên với các điều kiện tương tự về chuyển động lơ lửng, biểu thức thu được về hằng số tỷ lệ đường kính hạt sẽ khác với các kết quả thu được ở phần trên, đặc biệt là trong đó có chứa hằng số tỷ lệ λ_{ξ} , bản thân nó lại là hàm số của đường kính và mật độ của cát nguyên hình và cát mô hình, cũng tức là hàm số của hằng số tỷ lệ của mật độ và hằng số tỷ lệ của đường kính hạt. Do đó, lợi dụng biểu thức như vậy để tìm hằng số tỷ lệ mật độ và hằng số tỷ lệ của đường kính hạt chỉ có thể thông qua tính thử. Do quá trình tính thử tương đối phiền phức, mà trị số λ_{ξ} thu được không nhất thiết là một hằng số, dựa vào đó để xác định hằng số tỷ lệ đường kính hạt là khó khăn, trong thực tế ít dùng cách làm đó. Cách làm thường dùng là, trước hết chọn một giá trị hằng số tỷ lệ mật độ và hằng số tỷ lệ đường kính hạt, căn cứ vào đường kính đặc trưng của cát nguyên hình (ví dụ d_{50}) hoặc một loại đường kính khác, tính toán đường kính hạt tương ứng của cát mô hình, sau đó sử dụng các công thức thích hợp để tính toán các vận tốc chìm lắng tương ứng, tốt nhất là thông qua thí nghiệm để xác định.

Làm như thế sẽ tìm được 1 loạt giá trị vận tốc chìm lắng của nguyên hình $W_{N1}, W_{N2}, W_{N3}...$ và các vận tốc chìm lắng tương ứng của mô hình $W_{M1}, W_{M2}, W_{M3}...$, từ đó tính toán trực tiếp ra hằng số tỷ lệ của tốc độ chìm lắng:

$$\lambda_w = \frac{W_{N1}}{W_{M1}}, \quad \frac{W_{N2}}{W_{M2}}, \quad \frac{W_{N3}}{W_{M3}} \quad (5-31)$$

Sau đó kiểm tra chúng có thoả mãn điều kiện tương tự chuyển động lơ lửng hay không.

5.1.2. Tương tự khởi động

Trong phương trình khuếch tán của chuyển động chất lơ lửng đã giới thiệu ở trên, chưa đề cập đến vấn đề bổ sung bùn cát từ lòng dẫn. Đối với quá trình đơn thuần là bồi tích, vấn đề đó không tồn tại. Đối với quá trình xói thì vấn đề tương tự về bổ sung bùn cát lòng dẫn phải được đặt ra. Tất nhiên, muốn thoả mãn điều kiện tương tự bổ sung bùn cát lòng dẫn, nếu là quá trình đơn thuần xói thì cần thực hiện tương tự khởi động, nếu là quá trình vừa có bồi vừa có xói, thì ngoài việc đáp ứng tương tự về khởi động của bùn cát nguyên là của lòng dẫn, còn phải đáp ứng tương tự về khởi động của các hạt vốn từ bùn cát lơ lửng đã bồi lắng. Chỉ có như vậy, khi lưu tốc của nguyên hình vượt qua lưu tốc khởi động của bùn cát lòng dẫn, mới có khả năng lấy bùn cát từ lòng dẫn cung cấp cho dòng chảy, khi lưu tốc dòng chảy mô hình lớn hơn lưu tốc khởi động của cát mô hình cũng sẽ nhận được sự bổ sung tương tự. Điều kiện tương tự về khởi động yêu cầu hằng số tỷ lệ lưu tốc khởi động và hằng số tỷ lệ lưu tốc dòng chảy xác lập quan hệ sau:

$$\frac{\lambda_u}{\lambda_{uc}} = 1 \quad (5-32)$$

Phương trình hằng số tỷ lệ này có thể suy ra từ bất kỳ công thức tính lưu lượng bùn cát đáy nào lấy lưu tốc làm tham số. Loại công thức này thường chứa số hạng $(U-U_c)$, thông qua chuyển hoá tương tự sẽ thu được phương trình trên. Chú ý rằng, trong một số tài liệu đồng thời với yêu cầu tương tự về khởi động, còn yêu cầu tương tự về bút phá tức là yêu cầu tương tự về quá trình bùn cát từ đáy chuyển sang trạng thái lơ lửng. Xét rằng, dạng kết cấu của các công thức lưu tốc bút phá thường giống công thức lưu tốc khởi động, hệ số hơi lớn hơn, chỉ cần bảo đảm tương tự khởi động, tương tự về bút phá cũng gần như thoả mãn. Ngoài ra, nếu đặt ra yêu cầu chỉ tiêu lơ lửng phải bằng một giá trị đặc định nào đó để bảo đảm chuẩn tắc tương tự bút phá, chỉ cần tương tự chuyển động lơ lửng được đảm bảo thì tương tự tung hất cũng sẽ tự động được thoả mãn. Vì vậy, ở đây không đưa thêm vào điều kiện tương tự về lưu tốc bút phá, chỉ yêu cầu về tương tự khởi động được thoả mãn.

Bùn cát lơ lửng do đường kính hạt rất mịn, sau khi bồi lắng sẽ sản sinh lực dính kết. Lúc đó, công thức lưu tốc khởi động lại phải dùng công thức đối với hạt có tính dính.

Đương nhiên, nếu bùn cát bồi tích chỉ hạn chế trong loại hạt tạo lòng trong chất lơ lửng tự nhiên, cũng có thể áp dụng công thức tính toán lưu tốc khởi động hạt rời.

Nếu dùng cát nguyên hình hoặc vật liệu có khối lượng riêng gần với cát nguyên hình làm bùn cát mô hình để mô phỏng chất lơ lửng, theo yêu cầu tương tự chuyển động lơ lửng, cát mô hình trong mô hình chính thái sẽ vô cùng mịn, thậm chí ở mô hình biến thái cũng rất mịn, lực dính kết sẽ rất đáng kể, lưu tốc khởi động của cát mô hình sẽ tương đối lớn, không thể thoả mãn yêu cầu tương tự khởi động.

Muốn đồng thời thoả mãn yêu cầu chuyển động lơ lửng và yêu cầu khởi động, ở trường hợp tổng quát, phải dùng cát nhẹ, khối lượng riêng của cát mô hình nhỏ hơn, còn đường kính hạt có thể thô hơn, vì vậy lực dính kết cũng nhỏ hơn, thậm chí không tồn tại.

Vì cát mô hình và cát nguyên hình khác nhau về độ thô, mịn, ảnh hưởng của lực dính kết không như nhau, trong tình hình đó, căn cứ vào một công thức lưu tốc khởi động thống nhất dùng cho các trường hợp khác nhau để suy ra phương trình hằng số tỷ lệ của lưu tốc khởi động, công thức đó về hình thức phải chặt chẽ hơn. Ví dụ, công thức của Trương Thụy Cẩn:

$$U_c = 1,34 \left(\frac{h}{d} \right)^{0,14} \left[\frac{\rho_s - \rho}{\rho} g d + 0,00000496 \left(\frac{d_l}{d} \right)^{0,72} g (h_a + h) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5-33)$$

Cũng có thể viết lại như sau:

$$U_c = 1,34 \left(\frac{h}{d} \right)^{0,14} \sqrt{\frac{\rho_s - \rho}{\rho} g d \zeta}$$

Viết thành phương trình hằng số tỷ lệ, ta có:

$$\lambda_{U_c} = \left(\frac{\lambda_h}{\lambda_d} \right)^{0,14} \cdot \lambda_{\frac{\rho_s - \rho}{\rho}}^{\frac{1}{2}} \cdot \lambda_d^2 \cdot \lambda_{\zeta} \quad (5-34)$$

$$\text{trong đó: } \lambda_{\zeta} = \frac{\lambda_N}{\lambda_M} \text{ với } \zeta = \left[1 + 0,00000496 \left(\frac{d_l}{d} \right)^{0,72} \frac{h_a + h}{\frac{\rho_s - \rho}{\rho} d} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Trong điều kiện thoả mãn tương tự khởi động và tương tự tỷ số giữa lực quán tính và trọng lực, công thức trên có thể viết thành:

$$\lambda_d = \frac{\lambda_h}{\frac{\lambda_{\frac{\rho_s - \rho}{\rho}}^{\frac{1}{2}} \cdot \lambda_{\zeta}^5}{\lambda_d^{\frac{7}{14}}}} \quad (5-35)$$

Đối với mô hình chính thái, λ_h trong công thức trên chính là λ_1 . Trong phương trình hằng số tỷ lệ trên, bản thân λ_c lại là hàm số của điều kiện dòng chảy, bùn cát và các hằng số tỷ lệ λ_h, λ_d , cần phải xác định thông qua tính thử. Ở đây, cũng do sự phiền toái trong tính thử, mà trị số λ_c thu được lại không chắc là một trị số không đổi, khó mà dựa vào đó để xác định tỷ lệ kích thước hạt, trong thực tiễn ít khi dùng. Thông thường, khi dùng cát hạt nhẹ do đường kính hạt tương đối thô, lực dính có thể bỏ qua, có thể dùng công thức khởi động của hạt rời để suy ra phương trình hằng số tỷ lệ.

Xét rằng công thức lưu tốc khởi động không phải hoàn toàn đủ tin cậy, đặc biệt không nhất thiết vừa có thể dùng cho cát nguyên hình vừa dùng được cho cát mô hình, trong thực tế, thường không sử dụng công thức lưu tốc khởi động đã có sẵn để tìm phương trình hằng số tỷ lệ, mà dùng công thức lưu tốc khởi động tính toán lưu tốc khởi động cho cát nguyên hình ở các cấp lưu lượng khác nhau, còn lưu tốc khởi động của cát mô hình tương ứng thì xác định thông qua thí nghiệm trong máng nước. Đem các kết quả đó để xác định hằng số tỷ lệ của lưu tốc khởi động:

$$\lambda_{uc} = \frac{U_{C_{N1}}}{U_{C_{M1}}}, \frac{U_{C_{N2}}}{U_{C_{M2}}}, \frac{U_{C_{N3}}}{U_{C_{M3}}}, \dots \quad (5-36)$$

và kiểm tra xem chúng có thoả mãn yêu cầu $\lambda_{uc} = \lambda_u$ không. Ở đây, có một điểm cần lưu ý, lưu tốc khởi động của cát mô hình được xác định bằng thí nghiệm trong máng nước là không có vấn đề gì, có thể tin tưởng, còn lưu tốc khởi động của cát nguyên hình trong điều kiện nguyên hình, không chỉ công thức tính toán không đủ tin cậy, mà dùng kết quả thí nghiệm của cát mô hình để suy ra lưu tốc khởi động của cát nguyên hình cũng không đủ tin cậy, đó là vì 2 bên có độ chênh khá lớn về độ sâu dòng chảy. Trong tình hình đó, phương pháp hiệu chỉnh là thông qua phân tích số liệu thực đo của nguyên hình tiến hành luận chứng. Ví dụ, vẽ đường cong quan hệ giữa lưu lượng bùn cát đáy và lưu tốc, lấy lưu tốc tương ứng với lưu lượng bùn cát đáy bằng 0 làm lưu tốc khởi động.

Hai điều kiện tương tự về chuyển động lơ lửng và khởi động nói trên chủ yếu là dùng để khống chế việc chọn cát mô hình. Cách làm khi tiến hành thiết kế mô hình là rất đa dạng. Nếu do những nguyên nhân khác, hằng số tỷ lệ hình học λ_1, λ_h của mô hình đã xác định, thì điều kiện tương tự về chuyển động lơ lửng và tương tự khởi động đều có thể đơn giản hoá thành đường cong quan hệ λ_d và $\lambda_{\rho_s - \rho}$. Trên cùng một trang giấy,

vẽ ra 2 đường cong quan hệ đó, thì giá trị λ_d và $\lambda_{\rho_s - \rho}$ ở nơi giao điểm của hai đường

cong sẽ vừa thoả mãn điều kiện chuyển động lơ lửng vừa thoả mãn điều kiện khởi động.

Nhưng do không phải là hạt cát mô hình rời với bất kỳ khối lượng riêng ρ_{SM} nào cũng có thể được lựa chọn, hoặc giả tuy có thể được lựa chọn, nhưng giá thành lại quá đắt, không kinh tế. Hơn nữa, đối với mô hình cát có khối lượng riêng nhất định, cũng không nhất thiết chế tạo ra được bất kỳ loại đường kính nào. Để có được loại mô hình cát vừa đồng thời thoả mãn điều kiện tương tự lơ lửng vừa thoả mãn điều kiện tương tự khởi động là rất khó. Cách làm thông thường là trước hết chọn khối lượng riêng của cát mô hình, sau đó căn cứ vào điều kiện gia công đường kính hạt có thể thực hiện được (đập, nghiền, sàng...), chọn hằng số tỷ lệ đường kính hạt; sau nữa căn cứ vào điều kiện tương tự chuyển động lơ lửng để xác định hằng số tỷ lệ hình học, kiểm tra lại có thoả mãn điều kiện khởi động không; cứ như thế điều chỉnh qua lại nhiều lần, kết hợp yêu cầu tương tự của dòng chảy, cuối cùng xác định giá trị thích hợp đối với hằng số tỷ lệ hình học của mô hình, hằng số tỷ lệ khối lượng và hằng số tỷ lệ đường kính hạt của cát mô hình.

5.1.3. Tương tự tải cát

Trong tính tương tự của chuyển động bùn cát lơ lửng, còn một vấn đề khác nữa, đó là tương tự giữa nguyên hình và mô hình về sức tải cát của dòng chảy đi vào đoạn sông, tức là vấn đề hằng số tỷ lệ của hàm lượng bùn cát. Hằng số tỷ lệ này có thể xác định thông qua điều kiện biên giới lòng dẫn của phương trình khuếch tán chất lơ lửng, đó là:

$$\varepsilon_s \frac{\partial S}{\partial Z_{z=0}} = -WS_{b*} \quad (5-37)$$

trong đó, S_{b*} là hàm lượng bùn cát bão hoà trên bề mặt lòng dẫn.

Như vậy, trên bề mặt lòng dẫn, lượng khuếch tán bùn cát hướng lên do gradien hàm lượng bùn cát gây ra đúng bằng lượng bùn cát chìm lắng do tác dụng trọng lực trong điều kiện tải cát bão hoà gây ra. Vì hàm lượng bùn cát bão hoà có một độ thô thủy lực W nhất định, ở đáy sông là một trị số xác định, nên lượng khuếch tán hướng lên tại bề mặt lòng dẫn $\varepsilon_s \frac{\partial S}{\partial Z_{z=0}}$ cũng là một trị số xác định, cũng tức là lượng khuếch tán hướng

lên ở bề mặt lòng dẫn chỉ có liên quan đến điều kiện dòng chảy. Từ điều kiện biên đó có thể suy ra phương trình hằng số tỷ lệ sau:

$$\frac{\lambda_{\varepsilon_s} \lambda_{S_b}}{\lambda_W \lambda_h \lambda_{S_{b*}}} = 1 \quad (5-38)$$

Nhớ rằng phương trình (5-11) ta có $\frac{\lambda_{\varepsilon_s}}{\lambda_W \lambda_h} = 1$, phương trình (5-38) sẽ biến thành:

$$\frac{\lambda_{S_b}}{\lambda_{S_{b*}}} = 1 \quad (5-39)$$

Trong điều kiện tương tự về hàm lượng bùn cát và phân bố lưu tốc trên thủy trực được đảm bảo, ta có:

$$\frac{\lambda_S}{\lambda_{S*}} = 1 \quad (5-40)$$

Có nghĩa là, hằng số tỷ lệ hàm lượng bùn cát và hằng số tỷ lệ sức tải cát của dòng chảy bằng nhau. Trên thực tế, sự đồng đẳng của hai tỷ lệ đó cũng có thể nhận biết trực quan từ điều kiện cân bằng bồi xói của dòng chảy, mang bùn cát. Hiển nhiên, chỉ có khi hai hằng số tỷ lệ này bằng nhau, nguyên hình mới ở trạng thái cân bằng tải cát, mô hình cũng tương ứng ở trạng thái cân bằng tải cát. Khi nguyên hình ở trạng thái xói hoặc bồi, mô hình cũng tương ứng ở trạng thái xói, bồi.

Để tìm biểu thức về hằng số tỷ lệ hàm lượng bùn cát, phải đưa vào công thức yếu tố sức tải cát của dòng chảy, biểu thị năng lực tải chất lơ lửng:

$$S_V^\alpha = \frac{\rho}{8C_l(\rho_s - \rho)}(f - f_s) \frac{U^3}{gRW} \quad (5-41)$$

Cho $\alpha=1$ và thay hàm lượng bùn cát tính bằng thể tích S_V bằng hàm lượng bùn cát tính bằng khối lượng đơn vị thể tích S , thì công thức trên được viết thành:

$$S_* = \frac{\rho_s}{8C_l \frac{\rho_s - \rho}{\rho}}(f - f_s) \frac{U^3}{gRW} \quad (5-42)$$

Ở đây, không sử dụng biểu thức quen dùng trước đây $S_* = K \left(\frac{U^3}{gRW} \right)^m$ (công thức

Trương Thụy Cẩn) là để giữ nguyên các yếu tố hữu quan phản ánh sức cản của dòng chảy và mật độ bùn cát. Yếu tố trước ảnh hưởng lớn đến việc xác định hằng số tỷ lệ sức tải cát dòng chảy trong mô hình biến thái, yếu tố sau có ảnh hưởng lớn đến việc xác định hằng số tỷ lệ sức tải cát dòng chảy trong mô hình sử dụng cát nhẹ.

Lợi dụng các phương trình (5-40) và (5-42), có thể tìm được hằng số tỷ lệ của hàm lượng bùn cát là:

$$\lambda_S = \lambda_{S*} = \frac{\lambda_{\rho_s}}{\lambda_{\frac{\rho_s - \rho}{\rho}}} \lambda_f \frac{\lambda_u^3}{\lambda_g \lambda_h \lambda_W} \quad (5-43)$$

trong đó đã lấy $\lambda_{C_l} = 1$, $\lambda_{f_s} = \lambda_f$, $\lambda_R = \lambda_h$.

Đối với mô hình chính thái thì $\lambda_f = 1$, trong điều kiện bảo đảm tương tự tỷ số giữa lực quán tính và trọng lực cũng như tương tự chuyển động lơ lửng ta có $\lambda_U^2 = \lambda_h$, $\lambda_U = \lambda_W$, phương trình trên có thể đơn giản hoá thành:

$$\lambda_S = \lambda_{S*} = \frac{\lambda_{p_s}}{\frac{\lambda_{p_s} - \rho}{\rho}} \quad (5-44)$$

Đối với mô hình biến thái thì $\lambda_f = \frac{\lambda_h}{\lambda_l}$, trong điều kiện bảo đảm tính tương tự tỷ số giữa lực quán tính và trọng lực, còn điều kiện tương tự chuyển động lơ lửng sử dụng phương trình $\frac{\lambda_h \lambda_u}{\lambda_l \lambda_w} = 1$, với $\lambda_u^2 = \lambda_h$, $\lambda_w = \left(\frac{\lambda_h}{\lambda_l}\right) \lambda_u$, phương trình (5-43) cũng được đơn giản hoá thành (5-44), như vậy thì bất luận là mô hình chính thái hay biến thái, hằng số tương tự hàm lượng bùn cát đều được tính như nhau.

Nếu tương tự chuyển động lơ lửng trong mô hình biến thái được bảo đảm qua điều kiện $\frac{\lambda_{U*}}{\lambda_w} = 1$, thì $\lambda_w = \left(\frac{\lambda_h}{\lambda_l}\right)^{\frac{1}{2}} \lambda_u$, phương trình (5-43) sẽ đơn giản hoá thành:

$$\lambda_S = \lambda_{S*} = \frac{\lambda_{p_s}}{\frac{\lambda_{p_s} - \rho}{\rho}} \left(\frac{\lambda_h}{\lambda_l}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (5-45)$$

khác với hằng số tỷ lệ hàm lượng bùn cát khi sử dụng $\frac{\lambda_h \lambda_u}{\lambda_l \lambda_w} = 1$.

Trong những năm gần đây, trong thí nghiệm mô hình lòng động với dòng chảy mang bùn cát lơ lửng, bất kể là chính thái hay biến thái, đều phổ biến sử dụng hằng số tỷ lệ hàm lượng bùn cát theo phương trình (5-44), sau khi điều chỉnh qua thí nghiệm kiểm định, thu được kết quả gần sát với kết quả tính toán lý thuyết, chứng tỏ công thức sức tải cát của dòng chảy (5-42) là đúng đắn và các phương trình hằng số tỷ lệ suy ra từ đó là đáng tin cậy. Ngoài ra, còn đồng thời chứng tỏ, tương tự chuyển động lơ lửng của mô hình biến thái nên tuân thủ điều kiện $\left(\frac{\lambda_U}{\lambda_w}\right) \left(\frac{\lambda_h}{\lambda_l}\right) = 1$ mà không nên tuân thủ điều kiện

$\left(\frac{\lambda_U}{\lambda_w}\right) \left(\frac{\lambda_h}{\lambda_l}\right)^{\frac{1}{2}} = 1$, tức là $\frac{\lambda_{U*}}{\lambda_w} = 1$. Điều đó mâu thuẫn với các luận đoán của phương

trình tỷ lệ về mô hình bùn cát lơ lửng $\frac{\lambda_{U*}}{\lambda_w} = 1$. Vì vậy, vấn đề này cần phải tiếp tục nghiên cứu thêm, cho nên sử dụng phương trình (5-44) chỉ có ý nghĩa tương đối.

5.1.4. Tương tự chuyển động dòng dị trọng

Vấn đề tương tự chuyển động lơ lửng đã trình bày ở trên là đối với trạng thái tải cát trong kênh hở nói chung, nếu trạng thái tải cát có sự thay đổi về tính chất, ví dụ hình thành dòng dị trọng, thì muốn bảo đảm tương tự chuyển động lơ lửng còn phải yêu cầu tương tự về chuyển động của dòng dị trọng. Phương trình hằng số tỷ lệ của tương tự dòng dị trọng có thể suy ra từ phương trình chuyển động của dòng dị trọng ổn định 2D như sau:

$$J_0 - \frac{\partial h'}{\partial x} = \frac{f' u'^2}{\frac{\rho' - \rho}{\rho'} g h'} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{U'^2}{2 \frac{\rho' - \rho}{\rho'} g} \right) \quad (5-46)$$

trong đó J_0 là độ dốc dọc của đáy sông; dấu "'" biểu thị thuộc về dòng dị trọng, các ký hiệu khác có ý nghĩa giống trước. Từ (5-46) suy ra 2 phương trình hằng số tỷ lệ:

$$\frac{\lambda_u^2}{\lambda_{\frac{\rho' - \rho}{\rho'}} \lambda_h} = 1 \quad (5-47)$$

$$\frac{\lambda_f \lambda_u^2 \lambda_l}{\lambda_{\frac{\rho' - \rho}{\rho'}} \lambda_h^2} = 1 \quad (5-48)$$

Khi suy diễn các phương trình trên, đã lấy $\lambda_{u'} = \lambda_u$, $\lambda_{h'} = \lambda_h$.

Các phương trình (5-47), (5-48) phân biệt biểu thị tương tự về tỷ số giữa lực quán tính và trọng lực và tương tự về tỷ số giữa lực quán tính và sức cản của dòng dị trọng. Trong điều kiện thoả mãn tương tự Froude của dòng chảy bình thường, 2 phương trình trên có thể chuyển hoá thành:

$$\lambda_{\frac{\rho' - \rho}{\rho'}} = 1 \quad (5-49)$$

$$\lambda_f = \lambda_{\frac{\rho' - \rho}{\rho'}} \cdot \frac{\lambda_h}{\lambda_l} \quad (5-50)$$

Vì:
$$\rho' = \rho + \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s} \right) S \quad (5-51)$$

nên
$$\lambda_{\frac{\rho' - \rho}{\rho'}} \approx \lambda_{\frac{\rho' - \rho}{\rho}} = \frac{\lambda_{\rho_s - \rho}}{\lambda_{\rho_s}} \lambda_s \quad (5-52)$$

Từ (5-49) ta có:

$$\lambda_s = \frac{\lambda_{p_s}}{\lambda_{\frac{\rho_s - \rho}{\rho}}}$$

giống như phương trình (5-44). Vì vậy, trong điều kiện thoả mãn tương tự tải cát của dòng chảy, điều kiện tương tự về tỷ số giữa lực quán tính và trọng lực của dòng dị trọng cũng được thoả mãn, cũng tức là điều kiện luồn nhập của dòng dị trọng cũng có thể được đáp ứng.

Trong điều kiện thoả mãn phương trình (5-49), phương trình (5-48) về hình thức cũng không mâu thuẫn với phương trình hằng số tỷ lệ có liên quan đến sức cản của dòng chảy bình thường. Chỉ là độ nhám mô hình của dòng dị trọng ngoài độ nhám đáy ra còn bao gồm độ nhám ở mặt giao giới, là điều không dễ bảo đảm tương tự hoàn toàn.

5.1.5. Tương tự biến hình lòng dẫn

Vấn đề cuối cùng cần giải quyết trong tương tự chuyển động bùn cát lơ lửng là tương tự biến hình lòng dẫn giữa nguyên hình và mô hình. Điều này, phần lớn trường hợp chính là mục tiêu mà thí nghiệm mô hình cần đạt tới. Ở đây, chủ yếu liên quan đến vấn đề tỷ lệ thời gian.

Từ phương trình biến hình lòng dẫn của chuyển động bùn cát lơ lửng:

$$\frac{\partial QS}{\partial x} + \rho' B \frac{\partial Z_0}{\partial t} = 0$$

có thể suy ra phương trình hằng số tỷ lệ của biến hình lòng dẫn là:

$$\frac{\lambda_Q \lambda_S \lambda_{t'}}{\lambda_{\rho'} \lambda_l^2 \lambda_h} = 1 \quad (5-53)$$

ký hiệu ρ' ở đây biểu thị dung trọng khô của khối bồi tích. Nếu là mô hình chính thái thì λ_h cũng là λ_l , sau này sẽ không nhắc lại nữa. Khi thoả mãn tương tự về tỷ số giữa lực quán tính và trọng lực thì từ phương trình trên có thể tìm ra hằng số tỷ lệ thời gian $\lambda_{t'}$:

$$\lambda_{t'} = \frac{\lambda_l \lambda_{\rho'}}{\lambda_u \lambda_S} \quad (5-54)$$

Ở đây, ký hiệu hằng số tỷ lệ thời gian là $\lambda_{t'}$ để phân biệt với hằng số tỷ lệ thời gian theo điều kiện dòng chảy $\lambda_t = \frac{\lambda_l}{\lambda_u}$.

$$\lambda_{t'} = \frac{\lambda_{\rho'}}{\lambda_S} \lambda_t \quad (5-55)$$

Hiển nhiên, chỉ với điều kiện $\frac{\lambda_{p'}}{\lambda_s} = 1$ hai loại hằng số tỷ lệ thời gian này mới bằng nhau. Muốn thoả mãn điều kiện đó thì từ (5-44) có thể suy ra:

$$\lambda_{p'} = \frac{\lambda_{p_s}}{\lambda_{\frac{p_s-p}{p}}} \quad (5-56)$$

là điều khó mà thực hiện được. Không chỉ trong trường hợp mô hình sử dụng loại cát nhẹ, vế trái của (5-56) luôn luôn bằng 1, không thể thoả mãn được, mà cả lúc mô hình dòng cát nguyên hình hoặc vật liệu có khối lượng riêng gần với cát nguyên hình thì vế trái của (5-56) do dung trọng khô của khối bùn cát mới bồi tích thường rất nhỏ, $\lambda_{p'}$ luôn lớn hơn 1, còn vế phải thì gần bằng 1, cũng là điều không thể thoả mãn đầy đủ. Do hai hằng số tỷ lệ thời gian không thể thoả mãn đồng thời, để thực hiện tương tự biến hình lòng dẫn, sự lựa chọn duy nhất còn lại chỉ có thể là loại bỏ λ_t , còn hằng số tỷ lệ thời gian suy ra từ tương tự biến hình lòng dẫn λ_t thì phải được tuân thủ. Như vậy, không thể tránh được sự biến thái về thời gian, đó là vấn đề mới sản sinh, cần phải nghiên cứu kỹ hơn.

Tổng hợp lại, có thể cho rằng, mô hình lòng động với bùn cát lơ lửng muốn có chuyển động bùn cát tương tự với nguyên hình thì cần tuân thủ toàn bộ phương trình hằng số tỷ lệ được viết tổng quát cho cả trường hợp mô hình biến thái và mô hình chính thái ($\lambda_h = \lambda_l$) như sau:

a) Tương tự chuyển động lơ lửng:

$$\frac{\lambda_u \lambda_h}{\lambda_w \lambda_l} = 1 \quad (C_1)$$

$$\frac{\lambda_{U*}}{\lambda_w} = 1, \text{ tức } \frac{\lambda_u \lambda_h^{\frac{1}{2}}}{\lambda_w \lambda_l^{\frac{1}{2}}} = 1 \quad (C_2)$$

$$\frac{\lambda_w \lambda_v}{\lambda_{\frac{p_s-p}{p}} \lambda_d^2} = 1 \quad (C_3)$$

hoặc:

$$\frac{\lambda_w}{\lambda_{\frac{p_s-p}{p}}^{\frac{1}{2}} \lambda_d^2 \lambda_\zeta} = 1 \quad (C_3')$$

b) Tương tự khởi động:

$$\frac{\lambda_{Uc}}{\lambda_u} = 1 \quad (C_4)$$

$$\frac{\lambda_{Uc}}{\left(\frac{\lambda_h}{\lambda_d}\right)^{0,14} \lambda_{\rho_s - \rho}^2 \lambda_d^2 \lambda_\zeta} = 1 \quad (C_5)$$

c) Tương tự tải cát.

$$\frac{\lambda_S}{\lambda_{S*}} = 1 \quad (C_6)$$

$$\lambda_{S*} = \frac{\lambda_{\rho_s}}{\lambda_{\frac{\rho_s - \rho}{\rho}}} \quad (C_7)$$

hoặc:

$$\lambda_{S*} = \frac{\lambda_{\rho_s}}{\lambda_{\frac{\rho_s - \rho}{\rho}}} \left(\frac{\lambda_h}{\lambda_l} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (C_7)$$

d) Tương tự biến hình lòng dẫn:

$$\lambda_{t'} = \frac{\lambda_l \lambda_{\rho'}}{\lambda_u \lambda_S} \quad (C_8)$$

Những phương trình hằng số tỷ lệ trên là cơ sở để thiết kế mô hình lòng động với dòng chảy mang bùn cát lơ lửng.

Cần chỉ rõ, có một số hằng số tỷ lệ liên quan tới chuyển động bùn cát khi đã được chọn thì không thể thay đổi được nữa, như về khối lượng riêng và về đường kính hạt, nhưng cũng có một số hằng số tỷ lệ sau khi cát mô hình đã chọn vẫn có thể điều chỉnh được, như hằng số tỷ lệ về hàm lượng bùn cát và hằng số tỷ lệ về thời gian. Đó là vì công thức để xác định những hằng số tỷ lệ đó không phải hoàn toàn chính xác (ví dụ công thức về sức tải cát của dòng chảy), mà các số liệu hữu quan cũng không xác định được chính xác (ví dụ khối lượng riêng của cát nguyên hình và cát mô hình). Ngoài ra, còn do tương tự lơ lửng và yêu cầu về tương tự khởi động của bùn cát cũng không chắc chắn được bảo đảm đầy đủ. Còn một số vấn đề khác, như độ nhám lòng động không dễ làm được tương tự, biến thái về thời gian không thể tránh được.... Những vấn đề tồn tại đó đều ở mức độ khác nhau ảnh hưởng đến hằng số tỷ lệ của chuyển động bùn cát, làm cho sự điều chỉnh về hằng số tỷ lệ hàm lượng bùn cát và hằng số tỷ lệ thời gian, là luôn luôn

cần thiết. Cơ sở của sự điều chỉnh là thí nghiệm kiểm chứng. Đương nhiên, thí nghiệm kiểm chứng được tiến hành trên sự chỉ đạo của lý thuyết, điều này sẽ được đề cập đến ở phần sau.

5.2. THÍ NGHIỆM MÔ HÌNH LÒNG ĐỘNG Bùn CÁT Đáy

Chất di đáy trên lòng sông có thể chia làm 2 loại: bùn cát và cuội sỏi. Chất di đáy bùn cát gọi là dòng bùn cát đáy, chất di đáy cuội sỏi gọi là dòng cuội sỏi đáy. Do có sự trao đổi với chất tạo lòng trong bùn cát lơ lửng và suất chuyển cát đáy chỉ chiếm một phần rất nhỏ trong tổng lượng bùn cát, dòng bùn cát đáy không thể có tác dụng chủ đạo riêng biệt đối với biến hình lòng dẫn. Vì vậy, sẽ không nhất thiết phải tiến hành một thí nghiệm mô hình lòng động riêng cho bùn cát đáy. Khi cần thiết phải xem xét ảnh hưởng của chuyển động bùn cát đối với biến hình lòng dẫn, thì tiến hành thí nghiệm mô hình lòng động có cả bùn cát lơ lửng và bùn cát đáy. Việc kết hợp như vậy sẽ được thoả thuận riêng ở phần sau. Trong tiết này, chỉ thảo luận thí nghiệm mô hình lòng động với chất di đáy là cuội sỏi, trường hợp thường gặp ở sông miền núi. Trong sông miền núi, mặc dù dòng chảy vẫn mang rất nhiều chất lơ lửng, nhưng thường không tham gia vào biến hình lòng sông (trừ ở vùng nước vật cục bộ), và ảnh hưởng bất lợi của nó đối với công trình không lớn. Vấn đề thuộc loại này thường bao gồm việc ngăn chặn cuội sỏi đi vào công trình lấy nước trong công trình đầu mối cột nước thấp và việc khơi luồng chạy tàu qua các ngưỡng cạn do cuội sỏi tích tụ trong lòng dẫn. Đối với các loại vấn đề đó thường không xét đến bùn cát lơ lửng và bùn cát đáy mà chỉ làm thí nghiệm đối với dòng cuội sỏi. Sau đây chúng ta thảo luận vấn đề tương tự chuyển động của dòng cuội sỏi.

Do cuội sỏi chuyển động tiến lên bằng các phương thức lăn, trượt và nhảy, trong trường hợp chung không thể tồn tại ở dạng lơ lửng, nên không tồn tại vấn đề tương tự lơ lửng. Ngoài điều đó ra, thì những vấn đề còn lại trong tương tự dòng chảy lơ lửng như tương tự khởi động, tương tự tải cát, tương tự biến hình lòng dẫn đều phải xét đến, tất nhiên với quy luật chuyển động khác nhau thì nó có đặc điểm riêng cần đề cập đến như sau.

5.2.1. Tương tự khởi động

Tương tự khởi động của chất di đáy cuội sỏi cũng cần thoả mãn điều kiện $\lambda_{uc} = \lambda_u$. Vì đường kính hạt cuội sỏi tương đối lớn, đường kính hạt cát mô hình cũng không quá mịn, công thức để có thể căn cứ vào đó suy ra hằng số tỷ lệ lưu tốc khởi động là công thức lưu tốc khởi động cho hạt rời:

$$U_C = \eta \sqrt{\frac{\rho_s - \rho}{\rho} g d} \left(\frac{h}{d} \right)^m \quad (5-57)$$

trị số của η và m có khác biệt giữa các công thức. Theo công thức Trương Thụy Cẩn, $\eta = 1,34$ và $m = 1/7$.

Từ công thức đó có thể suy ra phương trình hằng số tỷ lệ như sau:

$$\frac{\lambda_{uc}}{\lambda_{\eta} \lambda_{\rho_s}^2 \lambda_d^{14} \lambda_h^7} \quad (5-58)$$

Ở đây, sở dĩ bảo lưu hằng số tỷ lệ hệ số λ_{η} là vì trong trường hợp đường kính hạt và độ sâu như nhau, lưu tốc khởi động của cuội sỏi trong sông thiên nhiên có quan hệ mật thiết với vị trí và hình dạng của viên cuội sỏi. Nếu viên cuội sỏi nằm trong khối sắp xếp dạng vẩy cá hoặc trên nền đá gốc, trị số η sẽ tương đối nhỏ. Vị trí của viên cuội sỏi lại có quan hệ với điều kiện cung cấp. Nếu cuội sỏi do bản thân lòng dẫn cung cấp, từ tác dụng điều chỉnh lâu dài của dòng chảy thì nó có thể sẽ được đưa vào trong khối sắp xếp dạng vẩy cá hoặc trong một dạng sắp xếp chặt chẽ nào đó. Nếu viên cuội sỏi do dòng chảy thượng lưu cung cấp thì chúng có thể nằm trên khối sắp xếp vẩy cá hoặc trên đá gốc. Ngoài ra, cuội sỏi và cát mô hình có hình dạng khác nhau, cũng làm cho hệ số η khác nhau. Đặc điểm nổi bật của khởi động cuội sỏi hoàn toàn khác với trường hợp lòng dẫn bùn cát. Sự khác nhau về nguồn gốc cung cấp trong lòng dẫn bùn cát không ảnh hưởng lớn đến điều kiện khởi động, qua một thời gian mài mòn lâu dài, hình dạng hạt bùn cát cũng không khác nhau quá xa.

Để bảo đảm tương tự về khởi động của cuội sỏi, phải dựa vào đặc điểm khởi động nói trên để xử lý cho từng trường hợp. Để giải quyết vấn đề tương tự về nguồn cung cấp cuội sỏi, thì ở nơi lòng dẫn nguyên hình là đá gốc thì mô hình làm lòng cứng, ở nơi lòng dẫn nguyên hình là cuội sỏi thì mô hình làm lòng động. Còn vấn đề tương tự hình dạng thì giải quyết thông qua điều chỉnh hằng số tỷ lệ hệ số λ_{η} . Trị số η của cát mô hình được xác định thông qua thí nghiệm trong máng nước. Trị số η của cuội sỏi nguyên hình tất nhiên thông qua phân tích tài liệu thực đo trong nguyên hình để xác định. Phương pháp hiện có để xác định lưu tốc khởi động thường qua số liệu thực đo của nguyên hình, ngoài phương pháp đã nói ở trên là vẽ đường cong quan hệ giữa lưu tốc và lưu lượng bùn cát đáy rồi lấy lưu tốc ứng với lưu lượng bùn cát đáy bằng không làm lưu tốc khởi động. Trước mắt thường sử dụng lưu tốc khi có chuyển động của bùn cát đáy làm lưu tốc khởi động của hạt lớn nhất trong chất di đáy. Đó hiển nhiên là các phương pháp gần đúng, nhưng trước khi có những phương pháp chính xác hơn, thì hãy dùng những phương pháp đó để giải quyết các vấn đề thực tế. Đáng chú ý là, để loại trừ ảnh hưởng của điều kiện nguồn cung cấp cuội sỏi, mặt cắt hoặc một số thủy trực thực đo suất chuyển động của chất di đáy trong nguyên hình phải có cùng điều kiện cung cấp như của thí nghiệm trong máng nước. Trước hết là bề mặt lòng dẫn ở những nơi đó không nên là đá gốc, kể đến sự tích tụ cuội sỏi trên lòng dẫn nên tích tụ rời rạc. Nói thêm rằng, do hòn cuội trong nguyên hình thường dẹt, trong các điều kiện như nhau thường khó khởi động hơn so với cát mô hình, cũng tức là trị số η trong

công thức lưu tốc khởi động của cuội sỏi trong nguyên hình là tương đối lớn; mà trị số η dựa vào số liệu thực đo chỉnh lý được thường lại nhỏ, rất có thể là do điều kiện cung cấp khác nhau gây ra, nên phải rất lưu ý trong khi phân tích số liệu thực đo. Trong trường hợp không có số liệu thực đo, có thể ước tính sơ lược $\lambda_\eta = 1$.

Lợi dụng phương trình hằng số tỷ lệ về lưu tốc khởi động, kết hợp điều kiện tương tự khởi động để xem xét tương tự về tỷ số giữa lực quán tính và trọng lực, có thể suy ra phương trình hằng số tỷ lệ đường kính hạt:

$$\lambda_d = \frac{\lambda_h}{\frac{14}{\lambda_\eta^5} \frac{\lambda_s^5}{\rho_s - \rho}} \quad (5-59)$$

Phương trình này có thể làm căn cứ để chọn cát mô hình cho mô hình lòng động có dòng cuội sỏi. Từ phương trình này có thể thấy rằng, nếu dùng cát thiên nhiên làm cát mô hình, thì có $\lambda_{\frac{\rho_s - \rho}{\rho}} = 1$, nếu đồng thời lấy $\lambda_\eta = 1$, sẽ có:

$$\lambda_d = \lambda_h \quad (5-60)$$

Công thức trên chứng tỏ trong điều kiện dùng cát thiên nhiên làm cát mô hình, hằng số tỷ lệ đường kính hạt nên bằng hằng số tỷ lệ độ dài theo phương thẳng đứng λ_h , đối với mô hình chính thái, cũng bằng hằng số tỷ lệ độ dài theo phương nằm ngang λ_l . Do đường kính hòn cuội sỏi tương đối lớn, mô hình lòng động với chất di đầy cuội sỏi thì dùng cát thiên nhiên làm cát mô hình trong rất nhiều trường hợp là hoàn toàn có thể.

5.2.2. Tương tự tải cát

Tương tự tải cát trong mô hình lòng động có dòng cuội sỏi yêu cầu tương tự về suất tải cát di đầy trên đơn vị rộng. Ở đây, cần phải giải quyết 2 vấn đề, một là hằng số tỷ lệ suất tải cát trên đơn vị rộng, hai là suất tải cát đáy của nguyên hình. Từng vấn đề này sẽ được phân tích như sau.

a) *Hằng số tỷ lệ suất tải cát di đầy trên đơn vị rộng trên nguyên tắc có thể suy ra từ công thức tính suất tải cát trên đơn vị rộng g_b . Vấn đề là từ các công thức tính toán hiện nay, với cùng một điều kiện dòng chảy và bùn cát, các kết quả tính toán sai khác nhau khá xa. Nguyên nhân tạo ra hiện tượng đó chủ yếu là thiếu số liệu thực đo đáng tin cậy trong sông thiên nhiên về suất chuyển cát đáy. Sau đây sẽ xuất phát từ sự phân tích đối với các hằng số tỷ lệ λ_{g_b} suy ra từ các công thức tính suất tải cát đáy khác nhau để tìm biểu thức cho hằng số tỷ lệ này. Bảng 5-1 liệt kê các kết quả thu được.*

Bảng 5-1. Kết quả tính toán hằng số tỷ lệ suất tại cát đáy λ_{gb}

Các dạng λ_{gb}	Dạng tổng quát của λ_{gb}	Công thức λ_{gb} sau 1 lần giản hoá	Công thức λ_{gb} sau 2 lần giản hoá	Công thức λ_{gb} sau 3 lần giản hoá		Ghi chú
				Biến thái	Chính thái	
Điều kiện suy diễn	$\lambda_u = \lambda_{uc}$ $\lambda_\tau (\text{hoặc } \lambda_\tau) = \lambda_{\tau C}$	$\lambda_u = \lambda_h^2$ $\lambda_w = \lambda_{\rho_s - \rho}^2 \lambda_d^2$	$\lambda_d = \frac{\lambda_h}{14 \frac{7}{7}} \lambda_\eta^5 \lambda_{\rho_s - \rho}^5$	$\lambda_{\rho_s} = 1$ $\lambda_{\rho_s - \rho} = 1$ $\lambda_{\rho'} = 1$		
Công thức Gôntrarốp	$\frac{\lambda_{\rho_s}^{11} \lambda_d^{10} \lambda_u}{1 \lambda_h^{10}}$	$\lambda_{\rho_s}^{11} \lambda_d^{10} \lambda_h^5$	$\frac{\lambda_{\rho_s}^3 \lambda_h^2}{77 \frac{77}{50} \lambda_\eta^{25} \lambda_{\rho_s - \rho}}$	λ_h^2	λ_η^2	Xét đến điều hoà thứ nguyên ở về phải phương trình xuất phát cộng thêm ρ_s .
Công thức Lévi	$\frac{\lambda_{\rho_s}^4 \lambda_u^4}{1 \lambda_d^4} \frac{1}{1 \lambda_h^4}$	$\lambda_{\rho_s}^7 \lambda_h^4 \frac{1}{\lambda_d^4}$	$\lambda_{\rho_s}^3 \lambda_h^7 \lambda_\eta^{10} \lambda_{\rho_s - \rho}^{20}$	λ_h^2	λ_η^2	Xét đến điều hoà thứ nguyên ở về phải phương trình xuất phát cộng thêm ρ_s .

Bảng 5-1. Kết quả tính toán hằng số tỷ lệ suất tải cát đáy λ_{gb} (tiếp theo)

Các dạng λ_{gb}	Dạng tổng quát của λ_{gb}	Công thức λ_{gb} sau 1 lần giản hoá	Công thức λ_{gb} sau 2 lần giản hoá	Công thức λ_{gb} sau 3 lần giản hoá		Ghi chú
				Biến thái	Chính thái	
Công thức Samôp	$\frac{\lambda_{ps}^3 \lambda_d^4 \lambda_u}{\lambda_h^4}$	$\lambda_{ps}^{\frac{3}{2}} \lambda_d^4 \lambda_h^4$	$\frac{\lambda_{ps} \lambda_h}{\lambda_{\eta}^{\frac{21}{2}} \lambda_{\rho_s}^{\frac{20}{2}} \frac{\rho}{\rho_s - \rho}}$	λ_h	λ_l	Theo cách làm của 2 phương trình trên, thêm ρ_s
Công thức Samôp	$\frac{\lambda_{ps}^{11} \lambda_d^{12} \lambda_u}{\lambda_h^4}$	$\lambda_{ps}^{\frac{11}{2}} \lambda_d^{12} \lambda_h^4$	$\frac{\lambda_{ps} \lambda_h^{\frac{7}{2}}}{\lambda_{\eta}^{\frac{77}{30}} \lambda_{\rho_s}^{\frac{60}{2}} \frac{\rho}{\rho_s - \rho}}$	$\lambda_h^{\frac{7}{6}}$	$\lambda_l^{\frac{7}{6}}$	Theo cách làm của 2 phương trình trên, thêm ρ_s
Công thức Gôntrarôp	$\lambda_{ps} \lambda_d \lambda_u$	$\lambda_{ps} \lambda_d \lambda_h^{\frac{1}{2}}$	$\frac{\lambda_{ps} \lambda_h^{\frac{3}{2}}}{\lambda_{\eta}^{\frac{14}{5}} \lambda_{\rho_s}^{\frac{7}{5}} \frac{\rho}{\rho_s - \rho}}$	$\lambda_h^{\frac{3}{2}}$	$\lambda_l^{\frac{3}{2}}$	Xét điều hoà thứ nguyên, thêm ρ_s

Bảng 5-1. Kết quả tính toán hằng số tỷ lệ suất tải cát đáy λ_{gb} (tiếp theo)

Các dạng λ_{gb}	Dạng tổng quát của λ_{gb}	Công thức λ_{gb} sau 1 lần giản hoá	Công thức λ_{gb} sau 2 lần giản hoá	Công thức λ_{gb} sau 3 lần giản hoá		Ghi chú
				Biến thái	Chính thái	
Công thức Đâu Quốc Nhân	$\frac{\lambda_p \lambda_z \lambda_u^4}{\lambda_{p_s-p} \lambda_w \rho}$	$\frac{\lambda_p \lambda_s^3 \lambda_h^2}{\lambda_{p_s-p}^2 \lambda_l \lambda_d^2 \rho}$	$\frac{\lambda_{p_s}^{\frac{5}{3}} \lambda_h^{\frac{7}{2}} \lambda_{\mu}^{\frac{5}{2}}}{\lambda_{p_s-p}^{\frac{5}{4}} \lambda_l^{\frac{5}{2}} \rho}$	$\lambda_h^{\frac{5}{2}} \frac{\lambda_l^2}{\lambda_l}$	$\lambda_l^{\frac{3}{2}}$	Lấy $\lambda_r = \frac{1}{\lambda_{C0}^2}$
Công thức Eghiazarop	$\frac{\lambda_p \lambda_u \lambda_h^2}{\lambda_{p_s-p} \lambda_l^2 \rho}$	$\frac{\lambda_p \lambda_s^2 \lambda_h^2}{\lambda_{p_s-p} \lambda_l^2 \rho}$	$\frac{\lambda_{p_s}^2 \lambda_h^2}{\lambda_{p_s-p} \lambda_l^2 \rho}$	$\lambda_h^2 \frac{1}{\lambda_l^2}$	$\lambda_l^{\frac{3}{2}}$	
Công thức Mayer-Peter	$\frac{\lambda_p \lambda_s^3 \lambda_u^2 \lambda_d^2}{\lambda_{p_s-p} \lambda_h^2 \rho}$	$\frac{\lambda_{p_s}^2 \lambda_d \lambda_h}{\lambda_{p_s-p} \rho}$	$\frac{\lambda_{p_s}^3 \lambda_h^2}{\lambda_{\eta}^{\frac{7}{5}} \lambda_{p_s-p}^{\frac{10}{5}} \rho}$	$\lambda_h^{\frac{3}{2}}$	$\lambda_l^{\frac{3}{2}}$	Phương trình đã qua cải đối, xem thuyết minh trong chính văn

Bảng 5-1. Kết quả tính toán hằng số tỷ lệ suất tải cát đáy λ_{gb} (tiếp theo)

Các dạng λ_{gb}	Dạng tổng quát của λ_{gb}	Công thức λ_{gb} sau 1 lần giản hoá	Công thức λ_{gb} sau 2 lần giản hoá	Công thức λ_{gb} sau 3 lần giản hoá		Ghi chú
				Biến thái	Chính thái	
Công thức Anhstamh	$\lambda_{ps} \frac{\lambda_p^2}{\rho_s - \rho} \frac{\lambda_d^2}{\rho}$	$\lambda_{ps} \frac{\lambda_p^2}{\rho_s - \rho} \frac{\lambda_d^2}{\rho}$	$\frac{\lambda_p \lambda_h^2}{\frac{7}{8} \frac{\lambda_\eta^5}{\rho_s - \rho} \frac{1}{\rho}}$	$\frac{3}{\lambda_h^2}$	λ_l^2	Lấy $\lambda_{p'} = 1$
Công thức Trương Thụy Cẩn	$\frac{\lambda_p \lambda_u^4}{\frac{1}{\rho} \frac{1}{\rho_s - \rho}} \frac{\lambda_d^4}{\rho}$	$\frac{\lambda_p \lambda_h^4}{\frac{1}{\rho} \frac{1}{\lambda_d^4}}$	$\lambda_p \lambda_h^2 \lambda_\eta^2 \frac{10}{\rho_s - \rho} \frac{20}{\rho}$	$\frac{3}{\lambda_h^2}$	λ_l^2	Lấy $\lambda_{p'} = 1$

Trong quá trình suy diễn phương trình hằng số tỷ lệ đã có những thay đổi, chuyển hoá các công thức, ngoài những điều đã nói trong cột ghi chú của bảng 5-1 đối với công thức Meyer-Peter đã có sự cải biến tương đối lớn, coi $0,047(\gamma_s - \gamma)d$ thành ứng suất tiếp

khởi động τ_c , coi $\left(\frac{n}{n'}\right)^{\frac{3}{2}} \rho h J$ thành ứng suất tiếp τ' , phụ thuộc vào sức cản hạt cát và

lấy $\tau = \frac{f'}{4} \gamma \frac{U^2}{2g}$. Xét rằng $\sqrt{\frac{8g}{f'}} = \frac{h^{\frac{1}{6}}}{n'} = A \left(\frac{h}{d}\right)^{\frac{1}{6}}$, có thể suy ra được $\tau' = \frac{2g}{A^2} \left(\frac{d}{h}\right)^{\frac{1}{3}} \gamma \frac{U^2}{2g}$

thì $\lambda_{\tau}^{\frac{3}{2}} = \frac{\lambda_d^2 \lambda_U^3}{\lambda_h^2}$.

Phương trình hằng số tỷ lệ suy diễn trực tiếp từ phương trình Meyer-Peter gốc, do có mặt yếu tố độ dốc, sẽ bao gồm yếu tố suất biến đổi, nhưng đối với mô hình chính thái, kết quả cuối cùng cũng như nhau.

Ngoài ra, trong bảng 5-1 còn đưa ra các dạng λ_{gb} khác nhau, trong đó dạng tổng quát là trường hợp đồng thời thoả mãn tương tự khởi động; dạng sau khi giản hoá một lần có xét thêm thoả mãn điều kiện tương tự về tỷ số giữa lực quán tính và trọng lực; dạng sau khi giản hoá 2 lần là đã thông qua tương tự khởi động để loại bỏ tương tự về đường kính hạt, ở đây thống nhất sử dụng cùng một phương trình hằng số tỷ lệ lưu tốc khởi động (5-57); dạng sau khi giản hoá lần 3 là dạng lấy cát nguyên hình làm cát mô hình.

Từ bảng này ta thấy, các biểu thức λ_{gb} suy ra từ phương trình khác nhau thật là khác nhau. Sự khác nhau đó thể hiện ở các mặt sau:

- Trước hết, hằng số tỷ lệ λ_{ρ_s} có liên quan đến khối lượng riêng, rất nhiều công thức chỉ sau khi tăng thêm yếu tố ρ_s , mới đưa vào. Nhưng một số công thức cá biệt bao gồm ρ' là yếu tố có thể thay thế khối lượng riêng, như các công thức suất tải cát đáy được xây dựng từ chuyển động của sóng cát thì không để đưa vào 1 lần nữa hằng số tỷ lệ λ_{ρ_s} . Ngoài ra, hằng số tỷ lệ có liên quan đến khối lượng riêng trong đại đa số công thức đều đặt ở mẫu số, cũng có một số ít công thức thấy nó ở tử số, số mũ cũng không như nhau, đó là do tính kinh nghiệm của công thức hoặc do sự khác nhau về khái niệm cơ học và sơ đồ chuyển động xuất phát khi suy diễn công thức.

- Thứ đến, một số công thức chỉ bao gồm hằng số tỷ lệ độ dài theo phương thẳng đứng, còn một số công thức lại chứa cả hằng số tỷ lệ độ dài theo phương nằm ngang,

điều đó sẽ đề cập đến vấn đề ảnh hưởng của tương tự hình học có biến thái hay không. Sự sai khác đó là do công thức có bao gồm hệ số sức cản hay không gây ra, mà điều này lại có liên quan đến việc khi suy diễn công thức lấy yếu tố chính là lưu tốc hay ứng suất tiếp.

- Sau cùng, số mũ của λ_h và λ_d khác nhau rất nhiều, đó là vì công thức có xét hay không và xét như thế nào về ảnh hưởng của độ nhám tương đối $\frac{d}{h}$. Do tồn tại những bất đồng đó, mà hiện chưa thể đánh giá về tính đúng đắn của các công thức, làm cho việc lựa chọn hằng số tỷ lệ hợp lý gặp rất nhiều khó khăn.

Đó là một mặt của vấn đề. Nhưng phân tích bảng này còn có thể thấy, đối với mô hình chính thái lấy cát thiên nhiên làm cát mô hình, hằng số tỷ lệ λ_{gb} mà tuyệt đại đa số

công thức đều là $\lambda_l^{\frac{3}{2}}$ (công thức Samôp). Đó là vì các nguyên nhân mà các phân tích trước đây cho rằng đã gây ra sai khác, thì ở đây đã hoàn toàn bị loại ra. Do chọn cát thiên nhiên làm cát mô hình, các hằng số tỷ lệ liên quan đến khối lượng riêng đều bằng 1 hoặc gần bằng 1, ảnh hưởng của sự sai khác về khối lượng riêng không tồn tại; do sử dụng mô hình chính thái, ảnh hưởng của biến thái không tồn tại; do $\lambda_d = \lambda_h$, ảnh hưởng của độ thô tương đối cũng không tồn tại nữa.

Mỗi khi các yếu tố khó xác định đều đã bị loại trừ, mà các phương trình hằng số tỷ lệ suy ra từ tuyệt đại đa số công thức lại hoàn toàn bằng nhau, thì có thể tin tưởng rằng, phương trình hằng số tỷ lệ như vậy là tương đối phù hợp với thực tế. Đương nhiên, đó chỉ mới là luận cứ của một mặt. Một mặt khác, đối với dòng cuội sỏi mà chuyển động tiến lên theo phương thức lăn, trượt, nhảy và không trao đổi với chất lòng trong bùn cát lơ lửng, công thức suất chuyển chất di đẩy theo dạng dưới đây:

$$g_s = \varphi \rho_s d (U - U_c) \left(\frac{U}{U_c} \right)^n \left(\frac{d}{h} \right)^m \quad (5-61)$$

có sơ đồ lý thuyết cơ bản tương đối hợp lý, còn công thức Meyer-Peter có số lượng lớn số liệu thực đo làm căn cứ cũng tương đối đáng tin cậy. Do phương trình hằng số tỷ lệ suy ra từ 2 phương pháp khác nhau đã hoàn toàn thống nhất với nhau, có lý do để tin tưởng phương trình hằng số tỷ lệ như vậy là tương đối phù hợp với thực tế.

Như vậy, chúng ta có được nhận thức sau: đối với mô hình chính thái sử dụng cát thiên nhiên làm cát mô hình có thể lấy:

$$\lambda_{gb} = \lambda_l^{1.5} \quad (5-62)$$

Đồng thời, đối với sông vùng núi có dòng cuội sỏi có tác dụng quyết định đến biến hình lòng dẫn, để bảo đảm tương tự về chuyển động của dòng chảy, trong phần mô hình

lòng cũng đã chỉ rõ, nên dùng mô hình chính thái thì tốt hơn và do đường kính hạt cuội sỏi tương đối lớn, có khả năng sử dụng cát thiên nhiên làm cát mô hình. Có nghĩa là, đối với mô hình lòng động có dòng di đầy là cuội sỏi, dùng phương trình (5-62) để biểu đạt hằng số tỷ lệ của suất tải cát không những là có thể mà còn là hợp lý. Nếu sử dụng cát thiên nhiên làm cát mô hình, mà mô hình lại không thể không làm biến thái, dựa vào những lý do trên có thể lấy công thức sau làm căn cứ để thiết kế sơ bộ:

$$\lambda_{\varepsilon_b} = \lambda_h^{1.5} \quad (5-63)$$

Nếu cát mô hình không thể không dùng cát nhẹ, thì do sự sai khác hằng số tỷ lệ khối lượng riêng tương đối lớn, khó có thể chọn một hằng số tỷ lệ hợp lý. Để ước tính sơ bộ, có thể chọn dùng hằng số tỷ lệ suy ra từ công thức Gôntrarôp là công thức có kết cấu hợp lý hoặc công thức Meyer-Peter là công thức có nhiều số liệu thực đo làm cơ sở.

b) Số liệu về suất tải cát của nguyên hình bắt buộc phải xác định trong trường hợp tương tự về tải cát cũng là một vấn đề.

Do số liệu thực đo về bùn cát đáy rất ít, hơn nữa khó có thể định lượng một cách chính xác, giải quyết vấn đề này luôn gặp nhiều khó khăn, ở đây giới thiệu 2 phương pháp.

- Một là tăng cường quan trắc nguyên hình, thu được số liệu đáng tin cậy về suất chuyển bùn cát đáy. Cần nhấn mạnh rằng, do suất chuyển bùn cát đáy rất nhạy cảm với lưu tốc dòng chảy, khi chỉnh lý số liệu của một lần quan trắc nên chỉnh lý riêng biệt theo từng thủy trực, khi chỉnh lý số liệu dài kỳ, nên chỉnh lý riêng biệt theo từng cấp lưu lượng, tránh tình trạng lấy trung bình mặt cắt hay trung bình trong một thời gian dài.

- Hai là, sử dụng số liệu biến hình lòng dẫn thực đo ở nguyên hình, thông qua thí nghiệm kiểm chứng trên mô hình để tìm ngược lại. Cụ thể là lợi dụng công thức suất tải cát đáy đã chọn, tính toán lượng tải cát ứng với các cấp lưu lượng của nguyên hình trong từng thời đoạn và trong cả toàn bộ thời gian:

$$G_{bN1} \Delta t_{N1}, G_{bN2} \Delta t_{N2}, \dots, G_{bNi} \Delta t_{Ni}, \dots, G_{bNn} \Delta t_{Nn}, \sum_{i=1}^n G_{bNi} \Delta t_{Ni}$$

Căn cứ vào hằng số tỷ lệ suất tải cát $\lambda_{Gb} = \lambda_l \lambda_{\varepsilon_b}$ có thể tìm ra lượng tải cát trong mô hình tương ứng:

$$G_{bM1} \Delta t_{M1}, G_{bM2} \Delta t_{M2}, \dots, G_{bMi} \Delta t_{Mi}, \dots, G_{bMn} \Delta t_{Mn}, \sum_{i=1}^n G_{bMi} \Delta t_{Mi}$$

Dựa vào kết quả nói trên để thả cát ở cửa vào mô hình, nếu trong thí nghiệm kiểm chứng, mô hình có thể tái diễn biến hình lòng dẫn của nguyên hình thì lượng tải cát nguyên hình tính toán là chính xác, chứng tỏ công thức chọn có thể dùng để tính toán suất tải cát của nguyên hình. Nếu mô hình không tái diễn đúng tình hình biến hình lòng

dẫn của nguyên hình, chứng tỏ kết quả tính toán theo công thức còn có vấn đề, cần căn cứ vào tình hình biến hình lòng dẫn trong mô hình, tăng lên hoặc giảm xuống theo tỷ lệ đối với lượng tải cát các cấp lưu lượng của nguyên hình, cho đến khi có thể tái diễn được biến hình lòng dẫn của nguyên hình mới thôi. Dựa vào các trị số suất tải cát ở các cấp lưu lượng và tổng lượng tải cát trong toàn thời đoạn của nguyên hình thu được theo cách trên trong thí nghiệm kiểm chứng có thể suy ra được suất chuyển cát đi đẩy tương ứng của nguyên hình:

$$G_{bN1}, G_{bN2}, \dots, G_{bN1}, \dots, G_{bNn}$$

Từ đó có thể xây dựng quan hệ giữa suất tải cát và lưu lượng $G_{bN} = f(Q_N)$ dạng làm căn cứ để xác định lượng chuyển cát vào đáy mô hình khi tiến hành thí nghiệm chính thức.

5.2.3. Tương tự biến hình lòng dẫn.

Phương trình biến hình lòng dẫn do chuyển động bùn cát đáy gây ra có thể viết như sau:

$$\frac{\partial B_{gb}}{\partial x} + \rho' B \frac{\partial Z_0}{\partial t} = 0 \quad (5-64)$$

Từ đó, ta có phương trình hằng số tỷ lệ của biến hình lòng dẫn là:

$$\frac{\lambda_{gb} \lambda_{t'}}{\lambda_{p'} \lambda_l \lambda_h} = 1 \quad (5-65)$$

hoặc:

$$\lambda_{t'} = \frac{\lambda_{p'} \lambda_l \lambda_h}{\lambda_{gb}} \quad (5-66)$$

So sánh với hằng số tỷ lệ thời gian $\lambda_t = \frac{\lambda_l}{\lambda_u}$ thì:

$$\lambda_{t'} = \frac{\lambda_{p'}}{\lambda_{gb}} \lambda_t \quad (5-67)$$

$$\lambda_q$$

Để hai hằng số tỷ lệ thời gian đồng nhất với nhau, cần có:

$$\lambda_{p'} = \frac{\lambda_{gb}}{\lambda_q} \quad (5-68)$$

Điều kiện này trong tình hình chung là khó đáp ứng. Nhưng từ bảng 5-1 có thể thấy, nếu dùng cát thiên nhiên, trong điều kiện thoả mãn điều kiện tương tự tỷ số giữa lực

quán tính và trọng lực và tương tự khởi động, $\lambda_{gb} = \lambda_q = \lambda_h^{\frac{3}{2}}$, đồng thời lấy sơ lược $\lambda_p = 1$, điều kiện trên có thể được thoả mãn. Vì vậy, hằng số tỷ lệ thời gian biến hình lòng dẫn trong mô hình lòng động với chất di đầy cuội sỏi có khả năng đồng nhất với hằng số tỷ lệ thời gian dòng chảy. Đương nhiên, cũng có khuyết điểm là hằng số tỷ lệ thời gian tương đối nhỏ, thời gian chạy mô hình dài, khối lượng công việc thí nghiệm sẽ rất lớn.

Tổng hợp những điều thảo luận ở trên có thể cho rằng, toàn bộ phương trình hằng số tỷ lệ mà mô hình lòng động trong trường hợp chất di đầy là cuội sỏi phải tuân thủ để có tương tự về chuyển động bùn cát là:

- Tương tự khởi động:

$$\frac{\lambda_{uC}}{\lambda_u} = 1 \quad (D_1)$$

$$\frac{\lambda_{uC}}{\left(\frac{\lambda_h}{\lambda_d}\right)^{\frac{1}{7}} \lambda_{\frac{p_S - p}{p}}^{\frac{1}{2}} \lambda_d^{\frac{1}{2}}} = 1 \quad (D_2)$$

- Tương tự tải cát (lấy theo bảng 5-1):

$$\frac{\lambda_{gb} \lambda_h^{\frac{1}{10}}}{\lambda_{p_S} \lambda_d^{\frac{1}{10}} \lambda_u} = 1 \quad (D_3)$$

- Tương tự biến hình lòng dẫn:

$$\lambda_1 = \frac{\lambda_l \lambda_h \lambda_p}{\lambda_{gb}} \quad (D_4)$$

Trong điều kiện mô hình chính thái thì λ_h ở trong các phương trình trên lấy $\lambda_h = \lambda_1$. Bốn phương trình trên làm căn cứ để thiết kế mô hình lòng động với chất di đầy là cuội sỏi.

Tổng kết những phân tích ở trên có thể thấy rằng, so với mô hình lòng động có bùn cát lơ lửng thì lý thuyết tương tự chuyển động bùn cát đáy chưa thật hoàn hảo, nguyên nhân là thiếu số liệu thực đo đáng tin cậy và chưa có các công thức về suất chuyển bùn cát đáy có kết cấu hợp lý và tin cậy. Ở giai đoạn hiện nay, chỉ có loại mô hình lòng động với chất di đầy cuội sỏi sử dụng cát thiên nhiên làm cát mô hình là tương đối chấp nhận

được. Nếu dùng cát nhẹ, các hằng số tỷ lệ hữu quan chủ yếu phải dựa vào thí nghiệm kiểm chứng để xác định.

Trong phần thí nghiệm mô hình lòng động đối với chất lơ lửng đã chỉ rõ tính tất yếu của thí nghiệm kiểm chứng. Đối với thí nghiệm mô hình lòng động về bùn cát đáy, thí nghiệm kiểm chứng càng quan trọng và bức thiết hơn. Thí nghiệm kiểm chứng đối với mô hình lòng động, không những bao gồm toàn bộ các hạng mục trong mô hình lòng cứng, còn phải tiến hành thí nghiệm kiểm chứng về tương tự chuyển động bùn cát. Đặc biệt là thí nghiệm kiểm chứng về biến hình lòng dẫn. Các số liệu mà thí nghiệm kiểm chứng lấy làm căn cứ chủ yếu là số liệu địa hình lòng dẫn của nguyên hình ở đầu và cuối thời đoạn. Có được những số liệu đó thì có thể xác định các vị trí và khối lượng xói bồi trong thời gian kiểm chứng. Nếu dựa vào điều kiện dòng chảy và bùn cát của nguyên hình trong thời đoạn kiểm chứng để tiến hành thí nghiệm mô hình mà có thể tái diễn được sự thay đổi đó của lòng dẫn thì có thể cho rằng sự lựa chọn về hằng số tỷ lệ của hàm lượng bùn cát (đối với mô hình lòng động bùn cát lơ lửng) hoặc hằng số tỷ lệ của suất chuyển cát đáy (đối với mô hình lòng động bùn cát đáy) và hằng số tỷ lệ thời gian là đúng. Nếu không, cần điều chỉnh hằng số tỷ lệ cho đến lúc tái diễn được sự biến đổi đó mới thôi. Ngoài những số liệu nói trên, còn cần bổ sung các số liệu về thành phần hạt và dung trọng khô khối bồi lắng, sự phân bố và thành phần hạt của hàm lượng bùn cát lơ lửng cũng như của suất chuyển cát đáy trong nguyên hình để đối sánh với kết quả thí nghiệm mô hình.

Muốn làm tốt thí nghiệm kiểm chứng cần chú ý 2 vấn đề:

- Một là vấn đề lựa chọn thời đoạn kiểm chứng. Trên nguyên tắc, thời đoạn kiểm chứng nên bao gồm thời kỳ biến hình lòng dẫn rõ rệt nhất và ảnh hưởng đối với bố trí công trình lớn nhất. Thông thường, trong sông vào mùa lũ có lượng tải cát lớn, biến hình lòng dẫn rõ rệt, cho nên thời đoạn kiểm chứng nên chọn vào mùa lũ. Nhưng cũng có những trường hợp biến hình lòng dẫn lớn và ảnh hưởng đến công trình cũng lớn lại xảy ra vào mùa kiệt, như ở đoạn cửa thất hẹp trong sông vùng núi, thường bị xói sạt mạnh vào mùa kiệt, biến hình rõ rệt, hoặc trong sông đồng bằng thì chỉ vào mùa kiệt mới chở ngại chạy tàu, ảnh hưởng đến công trình lớn hơn. Trong tình hình đó, thời đoạn kiểm chứng nên bao gồm cả thời kỳ mùa nước kiệt. Ngoài ra, do sự hạn chế về độ chính xác trong khống chế mô hình và đo đạc mô hình, biến hình lòng dẫn trong đoạn kiểm chứng nên lấy mức độ lớn để dễ so sánh và quan trắc được rõ ràng ảnh hưởng của việc điều chỉnh hằng số tỷ lệ.

- Vấn đề thứ 2 là điều chỉnh hằng số tỷ lệ. Hằng số tỷ lệ cần thông qua thí nghiệm kiểm chứng để điều chỉnh thường có 2 cái. Một là, hằng số tỷ lệ của hàm lượng bùn cát lơ lửng hoặc suất chuyển cát đáy (suy ra từ công thức sức tải cát của dòng chảy hoặc công thức tính suất chuyển cát đáy), hai là hằng số tỷ lệ về thời gian (suy ra từ phương trình biến hình lòng dẫn). Nên thấy rằng, mức độ tin cậy của 2 loại phương trình đó là

không đồng nhất. Công thức tính toán sức tải cát lơ lửng và suất chuyển bùn cát đáy bao gồm một loạt các hệ số và số mũ, cho nên độ tin cậy kém, còn phương trình biến hình lòng dẫn lại có tính chất đơn thuần lý thuyết, đáng lý ra là có độ tin cậy cao, đó là một mặt của vấn đề. Mặt khác của vấn đề là 2 loại hằng số tỷ lệ đó lại có mối quan hệ tương hỗ. Nếu tăng lên đối với một hằng số tỷ lệ này, thì lại phải giảm bớt với hằng số tỷ lệ còn lại, hoặc ngược lại. Mối liên hệ giữa các hằng số tỷ lệ được xác định bởi phương trình hằng số tỷ lệ suy ra từ phương trình biến hình lòng dẫn (phương trình 5-54 và 5-56). Từ các phân tích ở trên có thể thấy, nếu hằng số tỷ lệ có vấn đề, thì trước hết là do hằng số tỷ lệ về hàm lượng bùn cát và về suất chuyển cát đáy gây ra, còn hằng số tỷ lệ về thời gian chỉ là thứ sinh. Vì vậy nói chung, đồng thời với việc điều chỉnh hằng số tỷ lệ hàm lượng bùn cát và suất chuyển cát đáy thì căn cứ vào yêu cầu của phương trình hằng số tỷ lệ biến hình lòng dẫn để điều chỉnh hằng số tỷ lệ thời gian một cách tương ứng. Chỉ điều chỉnh 1 trong 2 hằng số tỷ lệ hoặc điều chỉnh đồng thời cả 2 hằng số tỷ lệ nhưng không tuân thủ phương trình hằng số tỷ lệ về biến hình lòng dẫn là cách làm nên tránh. Đương nhiên, trong phương trình hằng số tỷ lệ biến hình lòng dẫn cũng bao gồm hằng số tỷ lệ về dung trọng khô λ_p rất khó xác định. Khi khối bồi tích trong nguyên hình và mô hình xảy ra hiện tượng phân tuyến lại càng khó xác định hơn. Do loại hằng số tỷ lệ này khó xác định, trong điều kiện hằng số tỷ lệ về hàm lượng bùn cát hoặc suất tải cát đáy đã xác định, hằng số tỷ lệ thời gian có sai khác một ít so với trị số tính toán cũng chấp nhận được.

5.3. MỘT SỐ VẤN ĐỀ TRONG THÍ NGHIỆM

5.3.1. Vấn đề mô phỏng đồng thời chất lơ lửng và chất di đáy

a) Trước hết thảo luận vấn đề mô phỏng đồng thời bùn cát lơ lửng (toàn bộ hoặc phần chất tạo lòng) và chất di đáy là bùn cát (bùn cát đáy). Một hiện tượng đáng quan tâm là, chuyển động của chất tạo lòng trong bùn cát lơ lửng đồng thời tồn tại với chuyển động của bùn cát đáy và chúng thường xuyên trao đổi với nhau. Vì vậy, khi tiến hành thí nghiệm mô hình lòng động với bùn cát lơ lửng thì không thể không đồng thời xem xét chuyển động của bùn cát đáy. Cũng như vậy, khi tiến hành thí nghiệm mô hình lòng động với chuyển động của bùn cát đáy thì cũng không thể không đồng thời xem xét chuyển động của chất tạo lòng trong bùn cát lơ lửng. Hai loại này, thực chất là không thể chia tách được, kết hợp hai loại này trong thí nghiệm là điều tất nhiên. Trong mục 5.1 thảo luận thí nghiệm mô hình lòng động với chuyển động của chất lơ lửng thực chất cũng bao gồm cả bùn cát đáy.

Vấn đề bây giờ là, nếu chuyển động của bùn cát lơ lửng và chuyển động của bùn cát đáy đồng thời tồn tại thì không thể không tiến hành thí nghiệm 2 chuyển động đó trong cùng một mô hình. Khi đó, trong phương trình biến hình lòng dẫn, đại lượng G vốn chỉ

biểu trưng cho lưu lượng bùn cát lơ lửng cần được thay bằng tổng của lượng bùn cát lơ lửng và bùn cát đáy, tức $QS + B_{gb}$ hoặc $QS + QS_s$ với $S_s = \frac{g_b}{q}$ có thể coi là hàm lượng

bùn cát đáy hư cấu. Như vậy, sẽ có hai hằng số tỷ lệ thời gian suy ra từ phương trình biến hình lòng dẫn, tức hằng số tỷ lệ thời gian từ điều kiện tương tự của bùn cát lơ lửng (5-54) và hằng số tỷ lệ thời gian suy ra từ điều kiện tương tự chuyển động của bùn cát đáy:

$$\lambda_{t's} = \frac{\lambda_l \lambda_{p'}}{\lambda_u \lambda_{S_s}} \quad (5-69)$$

Hiển nhiên, để 2 hằng số tỷ lệ đó đồng nhất với nhau thì:

$$\lambda_{S_s} = \frac{\lambda_{gb}}{\lambda_q} = \lambda_s \quad (5-70)$$

Tức là, yêu cầu:

$$\lambda_{gb} = \lambda_q \lambda_s \quad (5-71)$$

Có nghĩa là, hằng số tỷ lệ của suất chuyển bùn cát đáy trên một đơn vị chiều rộng về hình thức là hoàn toàn thống nhất với hằng số tỷ lệ của hàm lượng trên một đơn vị rộng của bùn cát lơ lửng, hoặc công thức tính suất chuyển bùn cát đáy trên một đơn vị rộng và công thức tính lưu lượng trên một đơn vị rộng của bùn cát lơ lửng có cùng một dạng kết cấu, chỉ khác nhau về hệ số. Khi sử dụng công thức sức tải cát lơ lửng của dòng chảy theo dạng (5-42) thì yêu cầu công thức tính suất chuyển bùn cát đáy trên 1 đơn vị rộng có kết cấu như sau:

$$g_b = \varphi \frac{\rho_s}{\rho_s - \rho} (f - f_s) \frac{u^4}{gW} \quad (5-72)$$

Nếu xét đến ảnh hưởng của lưu tốc khởi động, có thể viết thành:

$$g_b = \varphi \frac{\rho_s}{\rho_s - \rho} (f - f_s) \frac{u^3 (u - u_0)}{gW} \quad (5-73)$$

Do chuyển động của bùn cát lơ lửng và chuyển động của bùn cát đáy tuân theo các cơ chế cơ học khác nhau, bùn cát lơ lửng phụ thuộc vào tương quan giữa tác dụng khuếch tán rối và tác dụng của trọng lực còn bùn cát đáy lại phụ thuộc giữa tác dụng của lực đẩy ngang và lực đẩy nổi do dòng chảy bao tạo ra và tác dụng của trọng lực. Như vậy, khó cho rằng công thức tính suất chuyển bùn cát đáy lại có hình thức kết cấu giống như

(5-72) hoặc (5-73). Nếu đem phần chất lòng dẫn trong lượng tải cát lơ lửng và suất chuyển bùn cát đáy thực đo trong sông thiên nhiên trộn nhập vào nhau để kiểm nghiệm công thức có kết cấu như thế, cho dù đạt được một sự phù hợp ở mức độ nào đó cũng không thể chứng minh đầy đủ được rằng công thức suất chuyển bùn cát đáy nhất định phải có kết cấu như vậy. Đó là vì suất chuyển bùn cát đáy thường chỉ chiếm khoảng 1/10 lượng tải chất lòng dẫn bùn cát lơ lửng, có tác dụng quyết định đến hình thức kết cấu công thức chủ yếu là lượng tải chất lòng dẫn trong bùn cát lơ lửng. Mặt khác, suất chuyển bùn cát đáy tỷ lệ với lưu tốc luỹ thừa 4 là điều đã được nhiều số liệu thực đo xác nhận, mà công thức (5-72) và (5-73) lại phản ánh đúng quy luật đó. Vì vậy, kết hợp 2 loại để tiến hành thí nghiệm có thể nói là có thể phản ánh gần đúng với thực tế. Làm như vậy, không những là cho phép, thậm chí là tất yếu. Đương nhiên, lúc làm như vậy, nếu không sử dụng loại công thức suất chuyển bùn cát đáy đó thì nên để cho hằng số tỷ lệ thời gian của bùn cát đáy phục tùng hằng số tỷ lệ thời gian của bùn cát lơ lửng và lượng tải chất lòng dẫn trong bùn cát lơ lửng lớn hơn nhiều lần so với suất chuyển bùn cát đáy, nó có tác dụng quyết định đến biến hình lòng dẫn hơn.

Khi tiến hành thí nghiệm đồng thời với bùn cát lơ lửng và bùn cát đáy, lượng bùn cát đi vào mô hình phải bao gồm cả hai loại đó.

Thí nghiệm mô hình lòng động đồng thời cả bùn cát lơ lửng và bùn cát đáy có ý nghĩa thực tiễn rất lớn, như những vấn đề diễn biến đoạn sông cong, đoạn sông phân lạch trong sông đồng bằng, vấn đề chỉnh trị ngưỡng cạn, vấn đề bùn cát vũng đập trong công trình đầu mối cột nước thấp, vấn đề bồi lắng của chất lơ lửng tạo thành ngưỡng cạn ảnh hưởng chạy tàu ở cửa hẹp sông miền núi...

Thứ đến, thảo luận vấn đề mô phỏng đồng thời chuyển động của bùn cát lơ lửng với toàn bộ các loại chất di đáy, bao gồm cả cuội sỏi.

Chất di đáy cuội sỏi về cơ bản không có trao đổi với chất tạo lòng trong bùn cát lơ lửng, quy luật chuyển động càng khác xa nhau, hằng số tỷ lệ thời gian rất khó thống nhất lại với nhau. Trong tình hình đó, chỉ có thể căn cứ vào tính chất của vấn đề, chọn một trong hai cái làm chủ thể của thí nghiệm, để làm cơ sở cho việc xác định hằng số tỷ lệ thời gian, cái còn lại thì trong quá trình thiết kế mô hình thí nghiệm, tìm cách điều chỉnh hằng số tỷ lệ hữu quan để hằng số tỷ lệ thời gian mà chúng tạo ra tiếp cận với hằng số tỷ lệ thời gian đã chọn. Khi tiến hành thí nghiệm thì hoàn toàn phục tùng hằng số tỷ lệ thời gian đã chọn đó. Ví dụ, đối với một công trình đầu mối cột nước thấp ở trên một đoạn sông vùng đồng bằng, tuy có khả năng xuất hiện dòng cuội sỏi nhưng sự bồi tích của bùn cát lơ lửng là chủ yếu, thì nên lấy bùn cát lơ lửng làm chủ thể của thí nghiệm. Nếu công trình đầu mối cột nước thấp ở đoạn sông vùng núi, dòng cuội sỏi có khả năng ảnh hưởng nghiêm trọng đến các hạng mục công trình còn bùn cát lơ lửng tuy có ảnh hưởng nhưng vẫn là thứ yếu, lúc đó cần lấy dòng cuội sỏi làm chủ thể của thí

nghiệm. Phần bùn cát không thuộc vào chủ thể của thí nghiệm, điều kiện tương tự không thể thoả mãn được hoàn toàn, trên nguyên tắc vẫn có tính chất là: "bùn cát đi kèm". Trong một số trường hợp, có hay không có loại "bùn cát đi kèm" này là hoàn toàn khác nhau. Có loại "bùn cát đi kèm" thì có thể ở mức độ nào đó thể hiện ảnh hưởng tương hỗ giữa hai loại bùn cát, làm bộc lộ thêm các vấn đề của công trình.

5.3.2. Vấn đề lựa chọn cát mô hình

Trong thí nghiệm mô hình lòng động, việc chọn cát mô hình luôn là một vấn đề khó khăn. Đó là vì, *cát mô hình một mặt cần thoả mãn tương tự độ nhám bề mặt lòng dẫn trong yêu cầu tương tự chuyển động của dòng chảy, mặt khác lại phải thoả mãn điều kiện tương tự chuyển động lơ lửng (trừ mô hình có dòng cuội sỏi) và tương tự khởi động*, trong đó xuất hiện rất nhiều mâu thuẫn. Mô hình lòng động không dễ gì thực hiện được tương tự về độ nhám lòng dẫn, độ nhám lòng dẫn của nguyên hình và mô hình chịu ảnh hưởng rất lớn của chuyển động sóng cát. Số liệu thực tế chứng minh rằng, sự phát sinh, phát triển và mất đi của sóng cát trong nguyên hình và trong mô hình không tương ứng với nhau. Đối với dòng sông nguyên hình có độ nhám bề mặt lòng dẫn là chính thì độ nhám lớn vào mùa khô, biên độ cũng lớn, lưu lượng tăng lên độ nhám sẽ giảm dần; còn đối với dòng sông nhỏ trong mô hình có độ nhám bề mặt là chính, trong một số trường hợp, do sóng cát phát triển dần từ bé đến lớn, độ nhám thường tỷ lệ thuận với lưu lượng. Như vậy, *việc thực hiện tương tự về tỷ số giữa sức cản và trọng lực ở các cấp lưu lượng là vô cùng khó khăn. Để giải quyết khó khăn đó một biện pháp là tìm loại cát mô hình không gây ra sóng cát. Một số số liệu thực tế cho biết rằng đối với cát mô hình có đường kính lớn, khối lượng lại không lớn, dưới điều kiện của dòng chảy mô hình có khả năng không xuất hiện sóng cát. Nhưng loại cát mô hình như thế hiển nhiên chỉ có thể mô phỏng chất di đầy, và không chắc chắn thoả mãn được yêu cầu về tương tự khởi động. Biện pháp thứ hai, sử dụng cát mô hình tương đối nhỏ, đặt các chương ngại (như sợi dây kẽm, mảnh trúc...) ở những độ sâu khác nhau trong dòng chảy để điều chỉnh độ nhám. Làm như thế có thể đạt được sự tương tự sức cản ở các cấp lưu lượng khác nhau, nhưng sẽ phá hoại kết cấu rối của dòng chảy, ảnh hưởng chuyển động bùn cát. Một biện pháp tương đối hiện thực là đối với cấp lưu lượng quan trọng nhất của vấn đề nghiên cứu cố gắng thực hiện tương tự độ nhám, còn ở các cấp lưu lượng khác có thể cho phép sai khác nhất định. Độ nhám ở các cấp lưu lượng khác nhau của cát mô hình được xác định thông qua thí nghiệm trong máng nước. Độ nhám tổng hợp của thí nghiệm trong máng nước rất dễ tìm ra, độ nhám vách kính đã biết, độ nhám mặt lòng dẫn có thể suy ra từ quan hệ giữa độ nhám tổng hợp và độ nhám bộ phận. Độ nhám của cát mô hình có quan hệ rất lớn đến tương tự về tỷ số giữa sức cản và trọng lực, nên kết hợp các yếu tố như tỷ lệ mô hình, mô hình biến thái hay chính thái và các yêu cầu tương tự khác của cát mô hình để xem xét tổng thể.*

Về hai yêu cầu tương tự của chuyển động bùn cát, nếu có thể chỉ thoả mãn một trong hai yêu cầu (tương tự lơ lửng hoặc tương tự khởi động), thì cát mô hình không khó chọn. Ví dụ, vấn đề bồi tích do hồi lưu và do dòng dị trọng trong đoạn sông cụt, vì bồi lắng có tính chất lũy tích, cơ bản không xảy ra xói, chỉ cần thoả mãn tương tự chuyển động lơ lửng là được. Mô hình bùn cát loại đó, trong bùn cát nguyên hình cần mô phỏng là chất lơ lửng tương đối mịn (bao gồm cả chất xâm thực rất mịn), để thoả mãn tương tự lơ lửng, cát mô hình phải cực mịn, những loại cát như vậy không khó tìm, bất kể là các loại có khối lượng riêng gần với cát thiên nhiên như bột đá, bột đất trắng, hoặc như các loại bột than, xỉ than, bột gỗ... đều có thể chọn. Trong số đó có một số vốn rất mịn (như bột đá, bột đất trắng, tro than), có một số nguyên là thô (như xỉ than, bột than...) nhưng thông qua gia công xay nghiền có thể biến thành rất mịn. Tóm lại, chúng đều có thể gia công cho đến mức thoả mãn yêu cầu tương tự về chuyển động lơ lửng và thông qua thủy tuyển để có được một cấp phối hạt tương tự với nguyên hình.

4. Cát mô hình sử dụng các loại hạt rất mịn, đối với tương tự lơ lửng mà nói, vấn đề tồn tại chủ yếu có thể xuất hiện hiện tượng ngưng keo kết bông. Ngưng keo kết bông làm cho hạt to lên, độ thô thủy lực lớn, nhưng nếu chỉ có điểm đó thì không ảnh hưởng đến việc tiến hành thí nghiệm, chỉ cần khi thiết kế mô hình xem xét cẩn thận đến điều đó là được. Đường kính hạt thiết kế của cát mô hình không phải là đường kính vốn có của nó mà là đường kính sau khi đã ngưng keo kết bông. Vì vậy, khi phân tích cấp phối hạt cát mô hình, nước dùng để thủy tuyển không nên là nước cất hoặc nước khử ion mà nên dùng nước trong mô hình thí nghiệm, đường kính hạt tìm được theo cách này không phải là đường kính hạt thực sự mà là đường kính sau khi đã ngưng kết keo bông. Ngoài ra, do hàm lượng bùn cát lớn hay bé cũng sẽ ảnh hưởng đến tốc độ chìm lắng của bùn cát và đường kính tính toán từ số liệu đó. Hàm lượng bùn cát dùng để phân tích đường cong phân bố hạt cũng nên tiếp cận với hàm lượng bùn cát thí nghiệm mô hình. Vấn đề chủ yếu mà hiện tượng ngưng keo kết bông mang đến là đường kính hạt không ổn định, thí nghiệm mô hình trong các điều kiện khác tương đồng, nếu mức độ ngưng keo kết bông không như nhau thì đường kính hữu hiệu của cát mô hình không như nhau, biến hoá xói bồi của mô hình cũng không như nhau, kết quả thí nghiệm mô hình sẽ không ổn định. Để đảm bảo ổn định của kết quả thí nghiệm, không phải là yêu cầu không xuất hiện hiện tượng ngưng keo kết bông mà là yêu cầu hiện tượng đó tương đối ổn định. Theo kinh nghiệm, khi sử dụng cát mịn làm bùn cát mô hình, muốn cho mức độ ngưng kết keo kết bông không thay đổi, vấn đề mấu chốt là chất lượng nước dùng trong thí nghiệm không thay đổi, đặc biệt là trong nước sông nói chung, hàm lượng ion bậc cao có ảnh hưởng lớn đến ngưng kết keo bông (như Ca, Mg) phải duy trì không đổi. Vì vậy, cần kiểm soát chất lượng nước một cách chặt chẽ. Thông qua phân tích thủy hoá chọn ra một hàm lượng ion Ca, Mg thường xuyên xuất hiện nhưng thiên lớn làm trị số khống chế, nếu hàm lượng ion Ca, Mg giảm nhỏ thì cho thêm CaCl_2 , tăng thêm một cách nhân tạo hàm lượng ion Ca, Mg để ổn định xung quanh trị số khống chế. Thực tiễn chứng minh, chỉ

cần khống chế chặt chẽ chất lượng nước thí nghiệm, dùng cát rất mịn làm cát mô hình là có thể thực hiện được sự ổn định của kết quả thí nghiệm. Lưu ý rằng, ảnh hưởng của chất lượng nước đối với keo tụ của bùn cát có thể sử dụng như một biện pháp để điều chỉnh đường kính hạt mịn. Nếu đường kính hạt thiên về thô, có thể cho thêm chất chống keo tụ hoặc axit P, Na để nó hoá mịn, nếu hạt thiên về mịn, có thể tăng thêm CaCl_2 để xúc tiến sự phát triển keo tụ. Tuy nhiên, cũng không nên dùng phương pháp đó vì nó sẽ làm cho sự khống chế thêm phiền phức. Sau cùng cần nói thêm rằng, hiện tượng keo tụ còn có liên quan đến tính chất hoá học của cát mô hình, như hiện tượng keo tụ của bột đất trắng mạnh hơn bột gỗ điện, ngay cả bột đất trắng nhưng nơi sản xuất khác nhau thì tính chất hoá học cũng không hoàn toàn như nhau, hiện tượng keo tụ cũng khác. Vì vậy, đối với mỗi loại cát mô hình cụ thể, trước hết phải nghiên cứu phân tích cụ thể tính chất của nó.

Đối với loại mô hình bùn cát chỉ cần thoả mãn điều kiện tương tự khởi động, ví dụ mô hình lòng động có dòng cuội sỏi, việc chọn cát mô hình lại càng dễ. Trên nguyên tắc nên cố gắng chọn cát thiên nhiên, vụn bất đắc dĩ cũng có thể dùng cát nhẹ. Vấn đề tồn tại của cát nhẹ chủ yếu là vấn đề lựa chọn phương trình hằng số tỷ lệ lượng chuyển cát đáy, đã được thể hiện ở phần trước.

Đối với mô hình bùn cát yêu cầu đồng thời tương tự chuyển động lơ lửng và tương tự khởi động thì việc chọn cát mô hình tương đối khó. Ví dụ, mô hình lòng động bùn cát lơ lửng thông thường, để thoả mãn yêu cầu tương tự lơ lửng cần phải sử dụng cát mô hình rất mịn. Để giải quyết vấn đề này, ngoài việc dùng vật liệu nhẹ làm cát mô hình không còn cách nào tốt hơn. Vật liệu nhẹ có khối lượng riêng nhỏ, đường kính thường thoả mãn yêu cầu lơ lửng tương đối thô, có khả năng không xuất hiện lực dính kết hoặc lực dính kết rất nhỏ không gây ra ảnh hưởng nghiêm trọng đến lưu tốc khởi động, vì vậy có thể thực hiện được tương tự khởi động. Nói chung, đối với chất tạo lòng trong bùn cát lơ lửng, do đường kính hạt tương đối lớn, thoả mãn điều kiện đó không khó, còn chất xâm thực là những hạt rất mịn, thoả mãn điều kiện đó khó hơn rất nhiều.

Muốn làm cho cát vật liệu nhẹ chọn dùng dễ thoả mãn điều kiện trên. Xem xét đơn thuần từ góc độ cát mô hình, thì nên dùng loại vật liệu có khối lượng riêng nhỏ. Đặc biệt là loại cát bằng nhựa, do lưu tốc khởi động rất nhỏ, dễ thoả mãn điều kiện trên, vấn đề là phạm vi đường kính hạt không rộng, trong điều kiện hiện nay không thể tự do lựa chọn, dùng để mô phỏng cát loại cát lòng sông đều còn khả dĩ, nhưng muốn mô phỏng cả chất xâm thực thì khó. Loại cát nhẹ có thể tự do lựa chọn mà phạm vi đường kính hạt lại rộng chỉ có thể là loại bột gỗ điện. Bột gỗ điện có thể có đường kính hạt từ $(0,005 \div 10)\text{mm}$. Loại bột này cũng có lưu tốc khởi động nhỏ, tính chất hoá học ổn định, không dễ biến chất là một loại cát mô hình rất tốt. Nhưng bột gỗ điện quá mịn cũng có tính dính kết. Ngoài ra còn có thể dùng mặt cưa, hạt vỏ hạch đào, bột than... làm cát mô hình. Cát mô hình nếu có khối lượng riêng quá bé khi sử dụng cũng có vấn đề, như trong quá trình mở

nước, đóng nước hoặc khi các thiết bị đo tiếp xúc lòng dẫn mô hình, cát mô hình dễ bị khuấy lên làm địa hình mô hình biến động, nhưng những điều đó có thể bằng cách này hay cách khác khắc phục được.

Giải quyết mâu thuẫn giữa tương tự chuyển động lơ lửng và tương tự khởi động cũng có thể tìm cách khắc phục ở những góc độ khác. Nếu mô hình có thể làm tương đối lớn hoặc làm mô hình biến thái, hằng số tỷ lệ vận tốc chìm lắng và hằng số tỷ lệ lưu tốc sẽ nhỏ, đường kính hạt cát mô hình thoả mãn tương tự chuyển động lơ lửng sẽ tương đối thô, vì vậy ảnh hưởng của lực dính kết đến lưu tốc khởi động cũng sẽ nhỏ. Đương nhiên, mô hình lớn hoặc làm biến thái cũng sẽ mang đến những vấn đề khác, chỉ nên so sánh qua lại để tìm ra phương án giải quyết hợp lý nhất.

Trong điều kiện không thể dùng một loại vật liệu để mô phỏng toàn bộ cát nguyên hình từ chất xâm thực đến cuối sỏi cũng có thể dùng các loại cát mô hình khác nhau ví dụ dùng cát vật liệu nhựa để mô phỏng bùn cát lơ lửng, dùng bột than để mô phỏng bùn cát đáy....

Hiện nay, Viện Khoa học Thủy lợi đang sử dụng vật liệu Kezamzit (vật liệu làm bê tông nhẹ) để chế tạo cát mô hình, loại vật liệu này có $\gamma = 1,1 \text{ T/m}^3$ có thể chế tạo thành nhiều loại đường kính khác nhau, với $d_{90} = 0,38 \text{ mm}$, $d_{50} = 0,25 \text{ mm}$.

Nói chung, việc lựa chọn cát mô hình đến nay vẫn còn là một vấn đề nan giải. Theo sự phát triển của thí nghiệm mô hình lòng động, cần tăng cường nghiên cứu về cát mô hình, tìm ra một loại vật liệu nhẹ, có tính chất hoá học ổn định, khối lượng riêng và đường kính hạt có thể điều chỉnh được, không có tính dính, giá cả rẻ và gia công được với khối lượng lớn, trở thành một nhiệm vụ bức xúc, không thể trì hoãn.

5.3.3. Vấn đề biến thái của mô hình

Thí nghiệm mô hình do sự hạn chế của đủ loại lý do, luôn không thể không nhượng bộ các yêu cầu khắt khe về tương tự, chấp nhận một số sai lệch về các hằng số tỷ lệ như hằng số tỷ lệ tương tự hình học, hằng số tỷ lệ về mật độ và thời gian chuyển động của chất lỏng và cát mô hình. Mô hình như vậy gọi là mô hình biến thái theo nghĩa rộng. Mô hình biến thái về hình học do hằng số tỷ lệ mặt bằng khác với hằng số tỷ lệ thẳng đứng, trong mô hình lòng cứng đã thảo luận kỹ, ảnh hưởng của biến thái hình học đối với chuyển động bùn cát cũng đã nói kỹ ở đầu chương này, không nhắc lại nữa. Ở đây sẽ tập trung thảo luận một số vấn đề biến thái ở các phương diện khác.

a) Vấn đề biến thái độ dốc:

Trong mô hình biến thái hình học, độ dốc không bằng độ dốc nguyên hình, mà bằng η lần độ dốc nguyên hình, trong đó η là hệ số biến thái, tức:

$$\frac{J_N}{J_M} = \lambda_J = \frac{\lambda_h}{\lambda_l} = \frac{1}{\eta} \quad (5-74)$$

Đó cũng là một loại biến thái độ dốc. Loại biến thái độ dốc này là do biến thái hình học gây ra. Nhưng ở đây đề cập đến một loại biến thái độ dốc khác, bất kể là chính thái hoặc biến thái, độ dốc mô hình đều yêu cầu tăng lên m lần, đối với mô hình chính thái hình học thì:

$$\frac{J_N}{J_M} = \lambda_J = \frac{1}{m} \quad (5-75)$$

Đối với mô hình biến thái hình học thì:

$$\frac{J_N}{J_M} = \lambda_J = \frac{1}{m\eta} \quad (5-76)$$

Trên thực tế là tăng thêm cho mô hình một độ dốc phụ gia. Làm như vậy là để tăng lưu tốc trong mô hình, làm cho trong điều kiện mô hình không lớn, cát mô hình có khối lượng riêng không nhỏ, cũng có thể thoả mãn về tương tự khởi động.

Áp dụng cách làm đó, thông thường là sơ bộ lựa chọn cát mô hình và tỷ lệ hình học của mô hình, để chọn hằng số tỷ lệ cho lưu tốc khởi động của cát mô hình và hằng số tỷ lệ về độ nhám:

$$\lambda_{uc} = \left(\frac{\lambda_h}{\lambda_d} \right)^{0,14} \lambda_{\frac{\rho_s - \rho}{\rho}}^{\frac{1}{2}} \lambda_d^{\frac{1}{2}} \lambda_\zeta$$

$$\lambda_u = \frac{1}{\lambda_n} \lambda_h^{\frac{2}{3}} \left(\frac{\lambda_h}{\lambda_l} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Nhưng tương tự khởi động không thể thoả mãn được $\lambda_u > \lambda_{uc}$, có nghĩa là hằng số tỷ lệ lưu tốc thiên lớn, lưu tốc mô hình thiên nhỏ, khi lưu tốc nguyên hình đạt đến lưu tốc khởi động, lưu tốc mô hình nhỏ hơn lưu tốc khởi động, không thực hiện được tương tự khởi động.

Trong tình hình đó, nếu không thể thông qua gia tăng $\lambda_{\frac{\rho_s - \rho}{\rho}}^{\frac{1}{2}}$ và λ_d , cũng tức là giảm nhỏ khối lượng riêng và đường kính hạt của cát mô hình, để nâng cao λ_{uc} , hoặc không thể thông qua giảm nhỏ λ_l , cũng tức là làm mô hình lớn hơn, giảm nhỏ hằng số tỷ lệ hình học của mô hình, để giảm λ_u , thì cần tăng độ dốc mô hình, tức lấy:

$$\lambda_u = \frac{1}{\lambda_n} \lambda_h^{\frac{2}{3}} \left(\frac{\lambda_h}{m\lambda_l} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5-77)$$

sẽ làm cho λ_u giảm, coi như là một biện pháp thay thế làm thoả mãn điều kiện tương tự khởi động. Lúc đó m được tính toán như sau:

$$m = \frac{\lambda_h^7}{\lambda_n^2 \lambda_l \lambda_u^2} = \frac{\lambda_h^{43}}{\lambda_n^2 \lambda_l \lambda_{ps-p} \lambda_d^7 \lambda_c^2} \quad (5-78)$$

Biến thái độ dốc có thể coi là bán biến thái hình học thêm một bước trên cơ sở của mô hình chính thái hoặc biến thái. Đó là vì biến thái hình học sẽ đồng thời làm cho biến thái độ dài phương thẳng đứng và biến thái độ dốc, còn ở đây chỉ làm biến thái độ dốc còn độ dài phương thẳng đứng vẫn duy trì không thay đổi. Biến thái độ dốc và biến thái hình học đã tồn tại quan hệ như trên thì những vấn đề do biến thái hình học gây nên đối với biến thái độ dốc cũng tồn tại như thế.

b) Vấn đề biến thái thời gian

Mô hình bùn cát tồn tại 2 hằng số tỷ lệ thời gian, hằng số tỷ lệ thời gian suy ra từ phương trình liên tục của dòng chảy $\lambda_l = \frac{\lambda_l}{\lambda_u}$ và hằng số tỷ lệ thời gian suy ra từ tương

tự biến hình lòng dẫn $\lambda_{l'} = \frac{\lambda_l}{\lambda_u} \frac{\lambda_{p'}}{\lambda_s}$, $\lambda_{l'}$ được dùng cho chất lơ lửng, còn khi dùng cho

chất di đáy, λ_s nên đổi thành $\lambda_{ss} = \frac{\lambda_{gb}}{\lambda_q}$.

Thông thường thì λ_l và $\lambda_{l'}$ không bằng nhau, $\lambda_l < \lambda_{l'}$, có nghĩa là theo yêu cầu tương tự tính liên tục của dòng chảy, thời gian mở nước trong mô hình sẽ dài hơn, còn theo yêu cầu tương tự biến hình lòng dẫn thì thời gian mở nước trong mô hình sẽ ngắn hơn. Do mô hình bùn cát chủ yếu là nghiên cứu biến hình lòng dẫn cho nên vẫn dựa theo $\lambda_{l'}$ để khống chế thời gian mở nước, như vậy là xuất hiện vấn đề biến thái thời gian.

Dễ nhận thấy, sở dĩ sản sinh ra biến thái thời gian và thường tương đối lớn, chủ yếu là do sử dụng cát vật liệu nhẹ. Nếu sử dụng hằng số tỷ lệ hàm lượng bùn cát lơ lửng theo dạng sau:

$$\lambda_s = \frac{\lambda_{ps}}{\lambda_{\frac{ps-p}{p}}}$$

còn hằng số tỷ lệ suất chuyển cát đáy:

$$\lambda_{gb} = \frac{\lambda_{ps} \frac{\lambda_h^2}{77}}{\lambda_{\eta}^{25} \frac{\lambda_{ps-p}}{\rho}}$$

và chuyển hoá chúng thành:

$$\lambda_{ss} = \frac{\lambda_{gb}}{\lambda_{\eta}} = \frac{\lambda_{ps}}{\frac{77}{\lambda_{\eta}^{25} \frac{\lambda_{ps-p}}{\rho}}}$$

Khi suy diễn công thức trên, lấy $\lambda_{\eta} = 1$. Có thể thấy rõ ràng, λ_s hoặc λ_{ss} đối với cát vật liệu nhẹ, đều nhỏ hơn 1. Khối lượng riêng của cát vật liệu nhẹ càng nhỏ thì khoảng chênh lệch càng lớn, lại thêm $\lambda_{p'}$ thường lớn hơn 1, làm cho $\frac{\lambda_{p'}}{\lambda_s}$ lớn cách xa 1. Kết quả là $\lambda_{p'}$ luôn lớn hơn nhiều so với λ_l .

Sử dụng hằng số tỷ lệ thời gian lớn, thời gian mở nước chạy mô hình có thể rút ngắn từ đó có thể nâng cao công suất, đặc biệt là thí nghiệm mô hình xâu chuỗi kéo dài nhiều năm, chỉ có hằng số tỷ lệ thời gian tương đối lớn mới có thể thực hiện được. Hằng số tỷ lệ thời gian suy ra từ điều kiện liên tục dòng chảy thường rất nhỏ, mở nước theo tỷ lệ đó sẽ tốn công mất sức nhiều hơn, không những không thể làm thí nghiệm xâu chuỗi dài, mà các thí nghiệm so sánh phương án cũng không làm được. Hằng số tỷ lệ thời gian tương đối lớn làm cho rất nhiều thí nghiệm mang tính khả thi, đó là ưu điểm của $\lambda_l < \lambda_{p'}$. Nhưng sử dụng hằng số tỷ lệ thời gian $\lambda_{p'}$ sẽ làm biến thái thời gian, cũng gây ra một số vấn đề, thậm chí có khi là vấn đề nghiêm trọng. Xuất hiện vấn đề chủ yếu là việc khống chế lưu lượng ở đầu vào và điều chỉnh mực nước ở đầu ra của mô hình là dựa vào $\lambda_{p'}$, nhưng dòng chảy trong mô hình là quá trình chảy từ thượng lưu về hạ lưu, còn quá trình phát triển từ hạ lưu về thượng lưu của nước phản hồi lại chịu sự khống chế của λ_l . Khi dòng chảy là ổn định, các yếu tố thủy lực trong mô hình cơ bản không biến đổi theo thời gian, mâu thuẫn bị che khuất. Khi dòng chảy không ổn định, do thời gian mở nước ngắn, đỉnh lũ sẽ trở nên nhọn hơn, mà dòng chảy trong quá trình phát triển vận hành của mô hình và phát huy tác dụng trữ lũ của lòng dẫn vẫn đòi hỏi thời gian tương đối dài. Như vậy sẽ làm cho đường quá trình lưu lượng mực nước ở một số mặt cắt trong mô hình bị méo mó, thể hiện ở sự chậm trễ của dòng nước theo 2 phương diện sau:

- Một là sự chậm trễ của sóng lúc truyền về hạ lưu. Thời gian lan truyền sóng lũ về hạ lưu và trữ lũ trong lòng sông ΔT có quan hệ mật thiết với thời gian duy trì đỉnh lũ T .

Thời gian trữ lũ của lòng dẫn mô hình ΔT_m phụ thuộc vào chuyển động của dòng nước, nên tuân theo hằng số tỷ lệ thời gian λ_t . Còn thời gian duy trì lưu lượng đỉnh lũ lại được mở theo hằng số tỷ lệ thời gian của biến hình lòng dẫn $\lambda_{t'}$. Như vậy, tỷ số giữa thời gian chứa lũ của nguyên hình và mô hình là $\frac{\Delta T_N}{\Delta T_M} = \lambda_t$, còn tỷ số giữa thời gian duy trì lưu lượng đỉnh lũ của nguyên hình và mô hình là $\frac{T_N}{T_M} = \lambda_{t'}$. Như vậy sẽ có:

$$\frac{\left(\frac{\Delta T}{T}\right)_N}{\left(\frac{\Delta T}{T}\right)_M} = \frac{\lambda_t}{\lambda_{t'}} = \frac{1}{\eta_t} \quad (5-79)$$

trong đó $\eta_t = \frac{\lambda_{t'}}{\lambda_t}$ gọi là biến suất thời gian.

Vì $\lambda_{t'} > \lambda_t$, nên $\left(\frac{\Delta T}{T}\right)_M > \left(\frac{\Delta T}{T}\right)_N$, có nghĩa là thời gian tương đối chứa lũ của lòng dẫn mô hình, cũng tức là chuyển động dòng chảy của mô hình trễ hơn.

- Hai là, sự chậm trễ lan truyền về thượng lưu của dòng chảy hồi lưu. Giả thiết là ở hạ du, sau khi dâng cao mực nước, thời gian để dòng hồi lưu lan truyền về thượng lưu đạt ổn định là ΔT^0 , hiển nhiên ΔT^0 cũng chịu sự khống chế của chuyển động dòng chảy, nên tuân theo hằng số tỷ lệ thời gian dòng chảy. Cùng một lý do như thế, ta có:

$$\frac{\left(\frac{\Delta T^0}{T}\right)_N}{\left(\frac{\Delta T^0}{T}\right)_M} = \frac{\lambda_t}{\lambda_{t'}} \quad (5-80)$$

vì vậy:

$$\left(\frac{\Delta T^0}{T}\right)_M > \left(\frac{\Delta T^0}{T}\right)_N$$

có nghĩa là, thời gian tương đối của sự lan truyền dòng hồi lưu về thượng lưu trong mô hình dài hơn ở ngoài nguyên hình, cũng tức là chuyển động dòng chảy mô hình chậm hơn.

Hiện tượng chậm trễ của chuyển động dòng chảy trong mô hình nói trên không chỉ ảnh hưởng đến tương tự của các yếu tố thủy lực mà còn thông qua chúng ảnh hưởng đến tương tự của biến hình lòng dẫn. Mức độ mà yếu tố thủy lực và biến hình lòng dẫn chịu

ảnh hưởng của biến thái thời gian, nên không tương tự có liên quan đến các yếu tố sau. Cát mô hình có khối lượng riêng càng nhỏ, biến suất thời gian càng lớn thì càng không tương tự; biên độ lưu lượng đỉnh lũ càng lớn, biến đổi càng nhiều thì càng không tương tự; thung lũng sông càng rộng, chiều dài sông càng lớn, tác dụng chứa lũ của lòng dẫn càng lớn thì càng không tương tự. Sự phán xét định lượng đối với vấn đề đó hiện nay chưa có nhiều kết quả nghiên cứu. Cần lưu ý rằng, nếu các yếu tố bất lợi ảnh hưởng đến tương tự xuất hiện đồng thời, hậu quả mà biến thái thời gian gây ra cần phải đi sâu nghiên cứu. Ví dụ, đối với một hồ chứa nước lớn, dâng nước tương đối cao, đặt trên sông vùng núi có thung lũng sông không phải là quá hẹp, vấn đề đó cần phải xét đến. Nhưng ở các trường hợp chung, vấn đề đó không nhất thiết là quá nghiêm trọng. Đối với đoạn sông dâng nước tương đối thấp và chiều dài ngắn sẽ không xuất hiện mức độ rất nghiêm trọng, có thể không xét đến. Cho dù đoạn sông tương đối dài, nếu thung lũng sông hẹp, dâng nước rất thấp, tác dụng chứa lũ không lớn, cũng không cần xét đến. Biện pháp bố

cứu khi xét đến vấn đề đó là căn cứ vào 2 kinh nghiệm sau: một là ở đầu vào mô hình

mở sớm một cấp lưu lượng, trên giai đoạn dâng nước của quá trình lưu lượng này, tăng lên một cách thích đáng lưu lượng vào mô hình, còn ở giai đoạn hạ nước thì giảm nhỏ một cách thích đáng lưu lượng vào mô hình, mục đích là trong một thời gian ngắn dùng

biến suất lưu lượng nhân tạo $\frac{dQ}{dt'} \left(\left| \frac{dQ}{dt'} \right| > \left| \frac{dQ}{dt} \right| \right)$ để hoàn thành quá trình chứa lũ của lòng dẫn. Một kinh nghiệm nữa là căn cứ vào yêu cầu thiết kế, điều chỉnh mực nước cửa ra mô hình theo thời gian, tức trong một thời gian ngắn dùng biến suất mực nước nhân tạo $\frac{dY}{dt'} \left(\left| \frac{dY}{dt'} \right| > \left| \frac{dY}{dt} \right| \right)$ để hoàn thành quá trình truyền ngược của dòng hồi lưu.

Biến hình lòng dẫn gây ra do chuyển động thủy triều ở vùng cửa sông thuộc vấn đề dòng không ổn định. Biện pháp thường dùng hiện nay là, đồng thời dùng cả hai hằng số tỷ lệ thời gian. Sóng triều vẫn khống chế theo λ_t , còn biến hình lòng dẫn thì khống chế theo $\lambda_{t'}$. $\lambda_{t'}$ không phải xác định thông qua tính toán mà thông qua thí nghiệm kiểm chứng sóng triều theo hằng số tỷ lệ thời gian λ_t . Ở đây, biến thái thời gian không phải thể hiện trên hình thái sóng triều mà thể hiện trên số sóng triều. Như vậy, có thể ở một số mức độ nào đó kiềm cố cả hai tỷ lệ, vừa không làm sai lệch hình thái sóng triều vừa có khả năng thực hiện tương tự biến hình lòng dẫn. Nhưng đồng thời, nếu sóng lũ cũng có tác dụng lớn đến diễn biến cửa sông thì hiệu quả của biện pháp trên sẽ gặp phải hạn chế đáng kể.

5.3.4. Vấn đề mô phỏng biến hình bờ

Hiện nay, mô hình lòng động hầu như đều có bờ cứng, có ít mô hình làm bờ động, để mô phỏng sạt lở, do đó rất thiếu kinh nghiệm. Thật ra, đối với đoạn sông thí nghiệm có

biến động đường bờ yếu thì làm bờ cố định, không xét đến những thay đổi do biến hình bờ gây ra là hoàn toàn có thể chấp nhận được. Nhưng đối với những đoạn sông có biến động đường bờ rất mạnh, nhất là những biến động mạnh có ảnh hưởng đến vấn đề nghiên cứu, thì làm như vậy sẽ không đáp ứng được yêu cầu về tương tự và dĩ nhiên không đạt được mục đích thí nghiệm. Trong tình hình đó, trên nguyên tắc là phải mô phỏng biến động đường bờ. Nhưng sự biến hình bờ không chỉ có liên quan đến điều kiện dòng chảy và cấp phối hạt của các lớp đất bờ mà còn liên quan đến điều kiện hình thành các lớp đất đó, mà điều đó lại khác nhau giữa các vị trí, muốn mô phỏng chính xác năng lực chống xói của các lớp đất bờ để bờ sông đạt tới tương tự biến hình là rất khó khăn. Biện pháp có thể dùng là xử lý theo từng trường hợp cụ thể, cố gắng để đạt được tương tự định tính còn định lượng thì chỉ ở mức độ tương đối. Đối với những đoạn sông mà bờ được tạo thành bởi đất rời thời kỳ hiện đại, trừ những nút cục bộ, còn lại thì đáy và bờ mô hình có kết cấu 2 lớp, lớp cát dưới thường cùng loại cát với đáy lòng dẫn, còn lớp bề mặt thường phải trộn thêm bột thạch cao chín hoặc một loại bùn có tính dính để đắp bờ, tăng cường khả năng chống xói. Hàm lượng chất bột dính tùy theo tính chống xói của từng nơi để xác định, đối với đất pha cát thì cho ít hơn, đối với đất pha sét thì cho nhiều hơn, thường chỉ khoảng 10%. đương nhiên, trong quá trình lựa chọn vật liệu đắp bờ mô hình có thể mô phỏng đại khái tình hình biến động đường bờ của nguyên hình. Nói chung, do địa chất đường bờ phức tạp, khó xác định hàm lượng chất dính kết, tương tự biến hình đường bờ rất khó thực hiện, để giải quyết tốt vấn đề này cần phải tiếp tục nghiên cứu thêm. Một biện pháp giải quyết khác là, bờ sông vẫn cứ làm cố định, nhưng căn cứ vào tình hình cấu tạo địa chất và lưu tốc thực đo trong mô hình, đối với đoạn bờ dễ bị sạt lở thì tiến hành cắt gọt sau đó tiến hành thí nghiệm tiếp tục. Quan sát tình hình dòng chảy, bùn cát sau khi làm sạt lở nhân tạo, phân tích xu thế phát triển của đoạn sông. Thực chất đó là một kiểu kết hợp giữa thí nghiệm mô hình và phân tích lý thuyết, ở một mức độ nào đó cũng có thể lý giải được một số vấn đề, nhưng cần chấp nhận rằng, tính chủ quan là tương đối cao.

5.3.5. Vấn đề mô phỏng hố xói cục bộ

Trong thực tiễn sản xuất có hàng loạt những vấn đề cần dự báo hố xói cục bộ, như hố xói của lỗ xả cát đáy, ở hạ lưu đập tràn, hố xói cục bộ đầu mỏ hàn, ở trụ cầu... Đối với mô hình lòng động nghiên cứu những vấn đề đó, yêu cầu tương tự những đặc điểm gì cần xem xét. Tất cả những vấn đề tương tự chung cho tất cả các mô hình lòng động, tất nhiên cũng đều phải đáp ứng, nhưng ở đây cần phải nhấn mạnh một số điều sau:

a) *Mô hình nên làm chính thái.* Vì phạm ở những nơi có hố xói cục bộ đều tồn tại hoàn lưu trực ngang và dòng chảy hướng lên tương ứng. Loại dòng chảy hướng lên là một trong những yếu tố quan trọng nhất quyết định hình thái hố xói cục bộ, mà trong mô hình biến thái, chuyển động dòng chảy theo phương thẳng đứng không thể bảo đảm tương tự.

b) Dòng chảy mô hình cần thoả mãn điều kiện tương tự về tỷ số lực quán tính và trọng lực. Trị số và hướng của lưu tốc dòng chảy trong hố xói cục bộ có biến đổi dọc đường rất lớn, lực quán tính chiếm vị trí rất quan trọng, không thể bỏ qua.

c) Cát mô hình phải tuân thủ chặt chẽ tương tự khởi động, mà trong tương tự khởi động còn phải xét đến tương tự về hệ số ma sát và góc nghỉ dưới nước của cát mô hình và cát nguyên hình. Vì trong điều kiện có hố xói cục bộ, xem xét vấn đề ổn định trên lòng dẫn của bùn cát, không nên chỉ xét sự ổn định của bùn cát trên đáy bằng, mà còn phải xem xét chúng trên mái nghiêng. Bởi vì trên mái nghiêng, cân bằng ổn định của bùn cát còn chịu tác dụng của thành phần theo mái nghiêng của trọng lực. Vì vậy, cần căn cứ vào lưu tốc (hoặc ứng suất tiếp) khởi động trên mái nghiêng của bùn cát để suy diễn phương trình hằng số tỷ lệ. Lưu tốc khởi động trên mái nghiêng theo công thức của Puskin B.A được tính như sau:

$$U'_c = \sqrt{-\frac{m_0 \sin \theta}{\sqrt{1+m^2}} + \sqrt{\frac{m^2 - m_0^2 \cos^2 \theta}{1+m^2}}} U_c \quad (5-81)$$

trong đó:

U'_c, U_c - lưu tốc khởi động trên mái nghiêng và trên đáy bằng;

m_0 - hệ số mái dốc tự nhiên dưới nước của bùn cát;

$m_0 = \frac{1}{\operatorname{tg} \psi}$ với ψ là góc nghỉ, $\operatorname{tg} \psi$ là hệ số ma sát;

m - hệ số mái dốc thực tế;

θ - góc giữa dòng chảy với trục sông.

Khi chuyển động dòng chảy nguyên hình và mô hình tương tự nhau, $\theta_M = \theta_N$ nên $\lambda_0 = 1$. Với tương tự hình học của hố xói cục bộ, nên có $m_M = m_N$, do đó $\lambda_M = 1$. Ngoài 2 yếu tố đó ra, từ công thức (5-81) ta có thể viết phương trình hằng số tỷ lệ như sau:

$$\frac{\lambda_{u'_c}}{\lambda_{u_c}} = 1 \quad (5-82)$$

$$\lambda_{m_0} = 1 \quad (5-83)$$

Vì vậy, tương tự khởi động trên mái nghiêng, ngoài việc cũng giống như tương tự khởi động trên đáy ngang là yêu cầu:

$$\lambda_{u'_c} = \lambda_{u_c} = \lambda_u \quad (5-84)$$

còn phải thoả mãn:

$$m_{oM} = m_{oN} \quad (5-85)$$

tức hệ số mái dốc tự nhiên dưới nước của cát nguyên hình và cát mô hình phải bằng nhau.

Hệ số mái dốc tự nhiên dưới nước của cát nguyên hình phụ thuộc vào đường kính hạt, còn hệ số mái dốc dưới nước của cát mô hình ngoài phụ thuộc vào đường kính hạt cát mô hình còn chịu ảnh hưởng của thuộc tính vật lý và hình thái hình học của cát mô hình, biên độ biến động khá lớn. Điều đó, khi thiết kế mô hình lòng động có hố xói cục bộ cần xem xét cẩn thận.

5.4. VÍ DỤ THỰC TẾ VỀ THIẾT KẾ MÔ HÌNH SÔNG LÒNG ĐỘNG

Ví dụ 1: Thiết kế mô hình chính thái lòng động với bùn cát lơ lửng cho khu vực đập cửa công trình thủy lợi đầu mối cột nước thấp.

Lấy nội dung trong ví dụ 1, mục 4.4 của chương trước về trường hợp khu vực đập thủy điện cột nước thấp (hình 4-5). Để đi sâu nghiên cứu về sự bồi lắng do khu nước vật ở cửa luồng tàu và ảnh hưởng của dòng dị trọng ở cửa luồng tàu đối với chạy tàu, kết hợp xem xét biện pháp xói rửa bùn cát bồi tích, yêu cầu làm mô hình lòng động. Hàm lượng bùn cát lơ lửng trung bình nhiều năm của đoạn sông vòng S_p là $1,8\text{kg/m}^3$, $d_{50N} = 0,0353\text{mm}$, dung trọng khô của bùn cát bồi tích là $\rho'_N = 1\text{T/m}^3$.

Như đã biết, đoạn sông này có địa hình lòng sông biến đổi lớn, kết cấu dòng chảy rất phức tạp mà đề tài chủ yếu của nghiên cứu thí nghiệm lại là vấn đề bồi và xói cục bộ, có liên quan chặt chẽ đến kết cấu dòng chảy, vì vậy quyết định dùng mô hình chính thái để tạo điều kiện tốt cho việc bảo đảm tương tự kết cấu dòng chảy.

Sự bồi lắng ở kênh dẫn luồng chủ yếu là do bùn cát lơ lửng gây nên, không chỉ chất lòng sông trong bùn cát lơ lửng bồi lắng mà cả chất xâm thực cũng có thể bồi lắng. Cho nên phải thí nghiệm cho toàn bộ chất lơ lửng. Xét thấy lòng dẫn đoạn sông nghiên cứu chủ yếu là cuội sỏi tạo thành, không có khả năng bị bào xói nghiêm trọng, để tiết kiệm thường tiến hành thí nghiệm lòng động trên cơ sở của mô hình lòng cứng.

Mặc dù bồi lắng trong kênh dẫn luồng tàu có tính chất sa bồi lũy tích của đoạn sông cạn, nhưng để thanh thải bùn cát bồi tích, bố trí một cống xói cát ở trong kênh dẫn luồng tàu, tiến hành xả rửa định kỳ, cho nên vẫn tồn tại vấn đề xói. Cát mô hình được chọn sao cho đồng thời thỏa mãn tương tự chuyển động lơ lửng và tương tự khởi động, do đó tìm cách làm mô hình lớn, tạo lưu tốc dòng chảy mô hình lớn, dễ chọn cát. Nhưng ở giai đoạn 1 của thí nghiệm vì gặp đủ mọi loại hạn chế nên chỉ chọn hằng số tỷ lệ hình học là $\lambda_l = 200$. Vì vậy, căn cứ yêu cầu của tương tự chuyển động dòng chảy ta có:

$$\lambda_u = \lambda_l^2 = 200^2 = 14,14$$

$$\lambda_Q = \lambda_l^2 \lambda_u = \lambda_l^2 = 200^2 = 566.000$$

$$\lambda_n = \frac{1}{\lambda_u} \lambda_l^2 \left(\frac{\lambda_l}{\lambda_l} \right)^{\frac{1}{2}} = \lambda_l^{\frac{1}{6}} = 2,42$$

Căn cứ vào yêu cầu tương tự chuyển động lơ lửng (công thức C₁), cần có:

$$\lambda_w = \lambda_u = 14,14$$

Từ công thức C₃:

$$\lambda_w = \lambda_{\frac{\rho_s - \rho}{\rho}} \lambda_d^2$$

Trong điều kiện lấy sơ bộ $\lambda_v = 1$, có thể tìm được điều kiện mà cát mô hình cần thoả mãn là:

$$\lambda_{\frac{\rho_s - \rho}{\rho}} \frac{\lambda_d^2}{\lambda_v} = 14,14$$

Thông qua việc chọn cát, tìm được một loại bột đất trắng có $\rho_{SM} = 2,62 \text{ T/m}^3$, $d_{50M} \approx 0,01 \text{ mm}$, tương ứng có $\lambda_{\frac{\rho_s - \rho}{\rho}} = 1,05$, $\lambda_d = 3,53$, thay vào công thức trên ta tìm được:

$$\lambda_w = 1,05 \times 3,53^2 = 13,1$$

Về cơ bản có thể thoả mãn yêu cầu. Xét rằng bột đất trắng trong từng bao khác nhau, d_{50M} có một biên độ biến đổi nhất định, ngoài ra nhiệt độ chênh lệch giữa mùa đông và mùa hè cũng rất lớn, mà nhiệt độ nước nguyên hình lấy chuẩn ở mùa lũ có lượng chuyển bùn cát lớn, thường trên dưới 25°C , nên $\lambda_v \neq 1$. Như vậy, trong mỗi lần thí nghiệm, căn cứ vào nhiệt độ thực tế trong mô hình thí nghiệm, điều chỉnh thích đáng đường kính hạt thì sẽ thoả mãn được phương trình hằng số tỷ lệ suy ra từ công thức độ thô thủy lực:

$$\lambda_{\frac{\rho_s - \rho}{\rho}} \lambda_d^2 = \lambda_w \lambda_v = 14,14 \lambda_v$$

Nhưng cát mô hình như thế lại không thoả mãn điều kiện tương tự khởi động. Thí nghiệm trong máng nước với bột đất trắng cho thấy, trong điều kiện độ sâu $(3,0 \div 14,8) \text{ cm}$, lưu tốc khởi động là $(12,4 \div 13,3) \text{ cm/s}$, tương ứng với nguyên hình có độ sâu $(6,0 \div 29,6) \text{ m}$, lưu tốc khởi động $(1,75 \div 1,88) \text{ m/s}$. Khi mở cống rửa cát kênh dẫn luồng, lưu tốc trong kênh nguyên hình thường gần 3 m/s , chứng tỏ mô hình sẽ có hiện tượng xói. Nhưng trong nguyên hình lưu tốc khởi động ở độ sâu nói trên được tính theo

công thức (5-33), tức chỉ khoảng $(0,69 \div 1,32)\text{m/s}$, hằng số tỷ lệ lưu tốc khởi động là $(5,6 \div 9,8)$, nhỏ hơn trị số yêu cầu là 14,14, chứng tỏ lưu tốc khởi động trong mô hình thiên lớn, không thoả mãn yêu cầu tương tự khởi động. Hiển nhiên, mô hình này chỉ có thể làm được tương tự một cách định lượng về bồi tích còn về hiện tượng xói chỉ có thể tương tự một cách định tính.

Sử dụng loại vật liệu cực mịn như vậy làm cát mô hình sẽ sản sinh hiện tượng keo tụ. Nhưng phân tích phân bố hạt và thí nghiệm kiểm chứng thấy rằng chỉ cần hàm lượng ion Ca, Mg trong nước không đổi (khoảng 60mg/l) thì kết quả thí nghiệm có thể duy trì ổn định.

Hệ số nhám n của cát mô hình, qua thí nghiệm trong máng nước, trong điều kiện không xuất hiện sóng cát, khoảng 0,011, gần với hệ số nhám của nền vữa xi măng đánh bóng mặt tốt. Căn cứ vào tính toán theo hằng số tỷ lệ, hệ số nhám ở đoạn thượng lưu khoảng $0,021 \div 0,029$, ở đoạn hạ lưu khoảng $0,010 \div 0,011$. Vì vậy, khi chế tạo mô hình, cần đánh bóng mặt vữa xi măng ở đoạn hạ lưu tốt hơn so với đoạn thượng lưu. Tăng thêm ảnh hưởng của sức cản hình thái, hệ số nhám của đoạn hạ lưu xấp xỉ và hơi lớn hơn trị số yêu cầu, còn ở đoạn thượng lưu thì nhỏ hơn, nhưng vì ở đoạn thượng lưu sức cản hình thái rất lớn nên sẽ chênh lệch nhau không nhiều. Sau khi mở nước đục, đo hệ số nhám của cát mô hình và hệ số nhám của nền xi măng đánh bóng tương đối gần nhau, có thể sẽ không có những biến hoá lớn.

Hằng số tỷ lệ hàm lượng bùn cát tính theo công thức C_1 :

$$\lambda_s = \frac{\lambda_{ps}}{\lambda_{ps-p} \cdot \frac{1,03}{1,05}} = 0,98$$

Dung trọng khô của bột đất trắng, xác định qua thí nghiệm trong máng nước được $\rho'_M = 0,31\text{T/m}^3$, nên:

$$\lambda_p' = \frac{1}{0,31} = 3,23$$

Hằng số tỷ lệ thời gian tính theo C_3 được:

$$\lambda_t' = \frac{\lambda_l \lambda_{p'}}{\lambda_u \lambda_s} = \frac{\lambda_l^2 \lambda_{p'}}{\lambda_s} = 46,6$$

Mô hình chế tạo xong, thông qua thí nghiệm nước trong, nhận thấy lưu tốc, trạng thái chảy đều phù hợp, mực nước mô hình hơi thiên cao, nhưng thường không vượt quá 1mm. Sau đó mở nước đục, tiến hành thí nghiệm kiểm định tình hình bồi lắng sau 1 năm

từ khi đắp đê vây giai đoạn 1. Quan trắc nguyên hình cho biết, trong hình 4-5 có 3 khu bồi lắng: bồi lắng do nước vật ở cửa lạch giữa, bồi lắng do nước vật và dòng dị trọng ở cửa và trong đoạn lạch trái, bồi lắng do dâng nước đê vây thượng lưu. So sánh mô hình với nguyên hình, bồi lắng không chỉ đạt tương tự định tính, mà về định lượng cũng cơ bản tương tự. Thông qua thí nghiệm kiểm định, hằng số tương tự hàm lượng bùn cát và hằng số tương tự thời gian đã điều chỉnh lại $\lambda_s = 1,1$, $\lambda_t = 36$. Hằng số tỷ lệ thời gian có sai lệch tương đối lớn so với kết quả tính toán, chủ yếu là vì khi bồi lắng thì cát mô hình sẽ sản sinh hiện tượng phân tuyền, dung trọng khô biến hoá lớn, không giống như kết quả thí nghiệm trong máng nước.

Sau khi kết thúc thí nghiệm kiểm chứng, tiến hành thí nghiệm chính thức. Đã nghiên cứu tình hình bồi tích và hiệu quả xói rửa đối với kênh dẫn luồng tàu với các phương án bố trí và lưu lượng xói rửa khác nhau, các năm thủy văn khác nhau.

Trong quá trình thí nghiệm, để hiệu chỉnh những sai lệch của kết quả thí nghiệm do sự không tương tự về xói gây ra, còn thay đổi cát mô hình để tiến hành thí nghiệm xói rửa. Biện pháp là căn cứ vào địa hình bồi tích của kênh dẫn luồng tàu thu được từ thí nghiệm bồi lắng, thay vào loại cát vật liệu nhựa có thể thoả mãn tương tự khởi động, tiến hành thí nghiệm xói rửa. Trọng lượng riêng của cát nhựa $\rho_{sM} = 1,054 \text{ T/m}^3$, $d_{50M} = 0,198 \text{ mm}$, dung trọng khô $\rho'_M = 0,665$ độ thô thủy lực $W_M = 0,14 \text{ cm/s}$, công thức lưu tốc khởi động xây dựng từ thí nghiệm trong máng nước là:

$$U_{CM} = 4,15 h_M^{\frac{1}{6}}, \text{ cm/s} \quad (5-86)$$

Đường kính tương tự d_{50} của khối bồi tích chắn cửa kênh dẫn luồng tàu được xác định bằng số liệu thực đo ở nguyên hình là $0,044 \text{ mm}$, sử dụng công thức (5-33) và (5-86), căn cứ vào độ sâu nguyên hình mà kênh dẫn luồng có thể gặp, phân tích tính toán lưu tốc khởi động của cát nguyên hình và cát mô hình như bảng 5-2 thể hiện.

Bảng 5-2.

Độ sâu dòng chảy nguyên hình (m)	Lưu tốc khởi động bùn cát nguyên hình U_{CN} (cm/s)	Lưu tốc khởi động bùn cát mô hình U_{CM} (cm/s)	λ_{uc}
4,5	57,9	4,8	12,1
8,0	69,5	5,2	13,4
12,3	81,0	5,6	14,5

Kết quả đó cho thấy yêu cầu về tương tự khởi động đã cơ bản được đáp ứng. Nhưng tốc độ chìm lắng (độ thô thủy lực) của cát mô hình thiên lớn, λ_n nhỏ hơn nhiều so với

λ_u , không thể thoả mãn yêu cầu tương tự về chuyển động lơ lửng. Để giải quyết vấn đề này, dùng phương pháp thí nghiệm phân vùng.

Trong kênh dẫn luồng, lưu tốc thực tế trong nguyên hình khi xả cát gần 3 m/s, bất kể là cát nguyên hình hay cát mô hình khi đã bị xói lên thì không chìm lắng xuống nữa, yêu cầu tương tự lơ lửng có thể không cần đáp ứng nữa. Trong tình hình đó, hằng số tỷ lệ hàm lượng bùn cát thoả mãn tương tự tải cát không còn là $\lambda_s = \lambda_{s*}$ mà nên suy ra trực tiếp từ phương trình (5-38), lấy $\lambda_{cs} = \lambda_{u*} \lambda_h$, công thức này chuyển hoá thành:

$$\frac{\lambda_{sh}}{\lambda_{sh*}} = \frac{\lambda_w}{\lambda_{u*}} = \frac{\lambda_w}{\lambda_u}$$

Trong điều kiện phân bố hàm lượng bùn cát và lưu tốc theo phương thẳng đứng được đảm bảo thì nên có:

$$\frac{\lambda_s}{\lambda_{s*}} = \frac{\lambda_w}{\lambda_u} \quad (5-87)$$

Từ đó thu được:

$$\lambda_s = \frac{\lambda_w}{\lambda_u} \lambda_{s*} = \frac{\lambda_w}{\lambda_u} \frac{\lambda_{ps}}{\lambda_{ps-p}} \frac{\lambda_u^2}{\lambda_h \lambda_w} = \frac{\lambda_{ps}}{\lambda_{ps-p}} = 0,081$$

Kết quả đó vẫn thống nhất với hằng số tỷ lệ hàm lượng bùn cát trong điều kiện thoả mãn điều kiện lơ lửng, nhưng hàm nghĩa đã không hoàn toàn như nhau.

Hằng số tỷ lệ $\lambda_{t'}$ vẫn tìm được theo công thức C_8 :

$$\lambda_{t'} = \frac{\lambda_{t'}^2 \lambda_{p'}}{\lambda_s} = 264$$

Còn đối với hai bên cửa kênh dẫn luồng tàu (chủ yếu là cửa trên) lưu tốc nguyên hình chỉ khoảng 1,5m/s, bất kể cát nguyên hình hay cát mô hình sau khi xói lên đều bị chìm xuống, yêu cầu về tương tự lơ lửng không thể không xem xét, sử dụng phương pháp hợp nhất giữa 2 phương trình hằng số tỷ lệ tương tự lơ lửng và tương tự tải cát, khắc phục ảnh hưởng của sự không tương tự về lơ lửng. Cách làm cụ thể là lợi dụng công thức tích phân tải cát không cân bằng của dòng chảy đều 1D:

$$S - S_* = (S_o - S_*) e^{\frac{-\alpha W x}{q}}$$

Sau khi có một số xử lý gần đúng để suy ra phương trình hằng số tỷ lệ hàm lượng bùn cát, xét đến khi xả cát, hàm lượng bùn cát ở cửa trên của kênh dẫn luồng tàu thường rất

nhỏ so với hàm lượng bùn cát bị xói lên khi rửa, một cách gần đúng có thể lấy $S_0 = 0$, sẽ có:

$$S = S_* \left[1 - e^{\left[\frac{-\alpha W_x}{q} \right]} \right]$$

Viết phương trình hằng số tỷ lệ là:

$$\lambda_S = \lambda_{S*} \lambda \left[\frac{-\alpha W_x}{1 - e^{\left[\frac{-\alpha W_x}{q} \right]}} \right]$$

hoặc

$$\lambda_S = \frac{\lambda_{\rho_s}}{\lambda_{\rho_s - \rho}} \lambda \left[\frac{-\alpha W_x}{1 - e^{\left[\frac{-\alpha W_x}{q} \right]}} \right] = \frac{\lambda_{\rho_s}}{\lambda_{\rho_s - \rho}} F \quad (5-88)$$

trong đó F là hệ số sửa chữa của hằng số tỷ lệ hàm lượng bùn cát, căn cứ vào độ dài đặc trưng x và lưu lượng đơn vị rộng q ở bãi bên kênh nguyên hình và mô hình sau khi tính được $\lambda \left[\frac{-\alpha W_x}{1 - e^{\left[\frac{-\alpha W_x}{q} \right]}} \right]$ là có thể nhận được. Đã tìm ra $F = 2,68$, do đó:

$$\lambda_s = 0,081 \times 2,68 = 0,217$$

$$\lambda_{t'} = \frac{264}{2,68} = 99$$

So sánh 2 hằng số tỷ lệ thời gian, có thể thấy thời gian xói rửa bãi bên của kênh bằng 2,68 lần thời gian duy trì xói rửa trong nội bộ kênh dẫn. Vì vậy, cách làm này thực chất là thông qua kéo dài thời gian trong mô hình để khấu trừ ảnh hưởng giảm chậm tốc độ xói do tốc độ chìm lắng của bùn cát mô hình thiên lớn gây ra, ý nghĩa vật lý là rất rõ ràng.

Sử dụng phương pháp nói trên, dùng cát vật liệu nhựa để thí nghiệm xói rửa, đã tiến thêm một bước hiệu chỉnh kết quả thí nghiệm xói bằng bột đất trắng, hoàn thành nhiệm vụ đặt ra cho thí nghiệm.

Trên đây đã giới thiệu một cách tỉ mỉ toàn bộ quá trình làm 1 thí nghiệm mô hình lòng dòng có chuyển động bùn cát lơ lửng, mục đích là để thuyết minh rằng đối với loại mô hình như thế, việc bảo đảm đồng thời tương tự lơ lửng và tương tự khởi động là rất quan trọng, cũng là để thuyết minh rằng muốn đạt tới sự tương tự đồng thời 2 hiện tượng trên sẽ gặp những khó khăn đến đâu. Để đảm bảo tốt tương tự về chuyển động của dòng nước, mô hình này đã thiết kế chính thái, lại do hạn chế điều kiện thực tế, mô hình làm tương đối nhỏ, dẫn đến sự chọn cát mô hình rất khó khăn. Thông qua cố gắng khắc phục những khó khăn đó, thu được những kết quả thí nghiệm dự định. Nhưng cũng thừa nhận

rằng, tính cục bộ của mô hình này là rất lớn, không những tách riêng ra thí nghiệm bồi và thí nghiệm xói, thao tác rất phiền phức, còn về nguyên tắc cũng chỉ nghiên cứu vấn đề bồi lắng và xói kênh dẫn luồng tàu, ở đây bồi lắng là lũy tích, xói là được không chế nhân tạo, có thể chia giai đoạn thực hiện. Còn ở các nơi khác của vùng đập, theo sự biến hoá của điều kiện dòng chảy và bùn cát, thường xuyên xuất hiện bồi xói xen kẽ nhau, mô hình này không thể mô phỏng chính xác được.

Dưới tiên đề làm mô hình chính thái để bảo đảm tương tự tốt chuyển động của dòng nước, cần khắc phục tính cục bộ của mô hình này, chỉ có cách là làm mô hình lớn hơn, chọn cát với vật liệu nhẹ. Những nghiên cứu sau này chứng minh rằng, nếu lấy $\lambda_l = 150$, và chọn cát mô hình có khối lượng riêng $1,33T/m^3$ thì có thể đồng thời thoả

mãn 2 điều kiện tương tự lơ lửng và khởi động. Như vậy, $\frac{\lambda_{ps}}{\lambda_{ps-p}} = 5$, $\lambda_u = \lambda_l^2 = 12,25$,

và từ phương trình $\frac{\lambda_{ps}}{\lambda_{ps-p}} \lambda_d^2 = 12,25$ giải được $\lambda_d = 1,56$, và d_{50M} của cát mô hình thoả

mãn điều kiện tương tự lơ lửng là $0,0226mm$. Thí nghiệm trong máng nước đối với cát mô hình này, trong phạm vi độ sâu $(4 \div 30)cm$, lưu tốc khởi động $U_{cM} = (5 \div 9)cm/s$. Tính toán theo (5-33), trong phạm vi độ sâu nguyên hình tương ứng $(6 \div 45)m$, lưu tốc khởi động $U_{cN} = (69,6 \div 165)cm/s$, tương ứng với hằng số tỷ lệ lưu tốc khởi động là $13,9 \div 18,3$. Điều này chứng tỏ trong điều kiện độ sâu nguyên hình không lớn lắm, hằng số tỷ lệ lưu tốc khởi động λ_{uc} cũng tương đối gần bằng với lưu tốc λ_u , tính tương tự khởi động về cơ bản được đáp ứng.

Hằng số tỷ lệ hàm lượng bùn cát:

$$\lambda_s = \frac{\lambda_{ps}}{\lambda_{ps-p}} = 0,399$$

Hằng số tỷ lệ thời gian:

$$\lambda_t = \frac{\lambda_l^2 \lambda_p}{\lambda_s} = \frac{12,25 \times \frac{1}{0,47}}{0,399} = 67$$

Những hằng số tỷ lệ đã tính toán được như trên là tương đối phù hợp, đường kính trung trị của cát mô hình thiên nhỏ hơn một ít, có thể xuất hiện hiện tượng keo tụ, nhưng vấn đề đó cũng không khó giải quyết.

Ví dụ 2: Thiết kế mô hình biến thái với chuyển động của bùn cát đáy chỉnh trị ngưỡng cạn ở sông vùng núi.

Đoạn sông X có ngưỡng cản trở ngại chạy tàu cần tiến hành thí nghiệm mô hình để nghiên cứu chỉnh trị. Đoạn sông dài 6km, lòng sông cuội sỏi, đường kính trung trị của hạt bùn cát là 5cm, lưu lượng thiết kế mùa kiệt là 5860 m³/s, độ sâu trung bình 5,25m, lưu tốc trung bình 1,78m/s, độ dốc 5,06‰, hệ số nhám $n = 0,04$. Biên độ lưu lượng của năm điển hình thiết kế là (2880÷42300)m³/s, biên độ độ sâu trung bình từ 3,2m đến 19,25m, biên độ lưu tốc trung bình từ 1,65m/s đến 2,44m/s, hệ số nhám về cơ bản không đổi.

Diễn biến ngưỡng cản trở ngại chạy tàu của đoạn sông chủ yếu do chuyển động của cuội sỏi, mô hình thiết kế chọn là mô hình lòng động với dòng đi đẩy cuội sỏi. Xét thấy đoạn sông này tuy thuộc sông vùng núi, nhưng thung lũng sông rộng, công trình luồng tàu không ảnh hưởng lớn đến trạng thái tự nhiên của lòng sông, có thể cho phép làm biến thái.

Do hạn chế của diện tích thí nghiệm, hằng số tỷ lệ mặt bằng chỉ có thể lấy bằng $\lambda_l = 240$.

Cát mô hình dùng bột than, khối lượng riêng $\rho_{SM} \approx 1,35 \text{ T/m}^3$, nên $\lambda_{\frac{\rho_s - \rho}{\rho}} = \frac{1,65}{0,35} = 4,71$

và $\lambda_{\rho_s} = \frac{2,65}{1,35} = 1,96$.

Thông qua phân tích số liệu dòng chảy nguyên hình, cho rằng công thức sức cản dòng chảy nên dùng dạng sau:

$$U = \frac{1}{n} h^5 \sqrt{hJ} \quad (5-89)$$

Hằng số tỷ lệ lưu tốc thoả mãn điều kiện tương tự về tỷ số giữa sức cản và trọng lực là:

$$\lambda_u = \frac{\lambda_h^{\frac{7}{10}}}{\lambda_n} \left(\frac{\lambda_h}{\lambda_l} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5-90)$$

Đồng thời xét tương tự về tỷ số lực quán tính và trọng lực, tìm được hằng số tỷ lệ kích thước theo phương thẳng đứng:

$$\lambda_h = \lambda_n^{\frac{10}{7}} \lambda_l^{\frac{5}{7}} \quad (5-91)$$

Sau khi xác định λ_l , muốn tìm λ_h trước hết phải tìm độ nhám mô hình, nhưng độ nhám có quan hệ mật thiết với việc lựa chọn cát mô hình.

Do vấn đề nghiên cứu thuộc về chuyển động di đẩy của cuội sỏi, tương tự về chuyển động lơ lửng có thể không xét đến, nhưng cần xét tương tự về khởi động. Do cát nguyên hình lớn, cát mô hình sẽ không quá nhỏ, khi quyết định hằng số tỷ lệ lưu tốc khởi động, sử dụng công thức (5-57), tham khảo công thức sức cản (5-89), lấy số mũ m của h/d là $1/5$, có thể suy ra:

$$\lambda_{uc} = \left(\frac{\lambda_h}{\lambda_d} \right)^5 \lambda_{\frac{\rho_s - \rho}{\rho}}^2 \lambda_d^2 \quad (5-92)$$

Trong điều kiện thoả mãn tương tự khởi động, tức $\lambda_{uc} = \lambda_u$, đồng thời xem xét tương tự tỷ số giữa lực quán tính và trọng lực, giải ra được:

$$\lambda_h = \lambda_d \lambda_{\frac{\rho_s - \rho}{\rho}}^3 \quad (5-93)$$

Trong các công thức (5-91) và (5-93), λ_l và $\lambda_{\frac{\rho_s - \rho}{\rho}}$ đã được xác định, còn bao gồm 3 ẩn số λ_h , λ_d và λ_n mà λ_d và λ_n lại có mối liên quan nội tại, cho nên thực tế chỉ cần 2 ẩn số, có thể giải được. Nhưng lại do ảnh hưởng của độ nhám tường bên, quan hệ hằng số tỷ lệ giữa λ_d và λ_n khó viết ra một cách trực tiếp, chỉ có thể giải theo cách tính thử.

Trước hết từ bột than có khối lượng riêng $1,35T/m^3$, chế tạo ra một số loại cát mô hình có đường kính hạt khác nhau, thông qua thí nghiệm trên máng nước xác định các số liệu về độ nhám, lưu tốc khởi động tương ứng để tham khảo.

Đầu tiên giả định loại cát mô hình có $d_{50} = 10mm$, thí nghiệm chuẩn bị chứng tỏ không có sóng cát phát triển, hệ số nhám $n_{bM} \approx 0,026$, lấy đó làm độ nhám của bộ phận lòng dòng. Phần lòng cứng từ mực nước thấp trở xuống giả thiết dùng đá cuội có đường kính 2cm để sửa nhám, khoảng cách giữa các hạt là 10 lần đường kính căn cứ vào thí nghiệm chuẩn bị, hệ số nhám nhân tạo đó có thể đạt $n_{\omega M} \approx 0,04$. Sử dụng công thức tính toán hệ số nhám tổng hợp sau đây:

$$n^2x = n_b^2\chi_b + n_{\omega}^2\chi_{\omega} \quad (5-94)$$

trong đó χ là tổng chu vi ướt, χ_b và χ_{ω} là chu vi ướt đáy và chu vi ướt bờ.

Căn cứ vào tình hình thực tế đoạn sông thí nghiệm, ở mực nước thấp, 2/3 chu vi ướt là phần lòng động, 1/3 chu vi ướt là phần lòng cứng. Vì vậy, hệ số nhám tổng hợp của mô hình ở mực nước thấp là:

$$n_M^2 \chi = (0,026)^2 \frac{2}{3} \chi + (0,040)^2 \frac{1}{3} \chi$$

giải được $n_M = 0,032$. Từ đó, xác định:

$$\lambda_n = \frac{n_N}{n_M} = \frac{0,040}{0,032} = 1,25$$

Đem giá trị λ_n thay vào công thức (5-91) và từ (5-83) ta có:

$$\lambda_h = 1,25^{\frac{10}{7}} \times 240^{\frac{5}{7}} = 68$$

$$\lambda_d = \frac{68}{4,17^{\frac{5}{3}}} = 5,15$$

Do đó, yêu cầu d_{50} của cát mô hình là:

$$d_{50M} = \frac{50}{5,15} = 9,17 \text{ mm}$$

trị số này rất gần giá trị giả định 10mm, quyết định dùng $\lambda_d = 5$ làm căn cứ để xác định cấp phối của cát mô hình, λ_h cũng lấy số nguyên $\lambda_h = 60$.

Các hằng số tỷ lệ khác còn lại dễ dàng được xác định:

- Hằng số tỷ lệ lưu tốc: $\lambda_u = \lambda_h^2 = 60^2 = 7,75$

- Hằng số tỷ lệ lưu lượng: $\lambda_Q = \lambda_l \lambda_h \lambda_u = 111.600$

- Hằng số tỷ lệ suất chuyển cát đáy tính theo công thức Gôntrarôp:

$$g_b = 5,3(1 + \varphi)d(U - U'_c) \left(\frac{U^3}{U_c'^3} - 1 \right)$$

trong đó:

φ - hệ số;

U'_c - lưu tốc không chuyển động.

Khi tính g_b bằng kg/(ms), vế phải còn cần đưa vào ρ_s , do đó:

$$\lambda_{gb} = \lambda_{ps} \lambda_d \lambda_u = 5 \times 7,75 \times 1,96 = 75,90$$

Hằng số tỷ lệ thời gian biến hình lòng sông được tìm ra từ công thức (5-66), lấy $\lambda_{p'} = \lambda_{ps} = 1,96$, thu được:

$$\lambda_{1's} = \frac{\lambda_l \lambda_c \lambda_{p'}}{\lambda_{ps}} = \frac{240 \times 60 \times 1,96}{75,9} = 372$$

Đến đây, toàn bộ hằng số tỷ lệ đã được xác định, có thể dựa vào đó để chế tạo và khống chế mô hình, sau khi tiến hành thí nghiệm kiểm chứng có thể đi vào thí nghiệm chính thức. Tình hình thí nghiệm kiểm chứng của mô hình này là, đường mặt nước mô hình và nguyên hình cơ bản trùng hợp với nhau, phân bố lưu lượng đơn vị rộng cũng tương tự. Thí nghiệm kiểm chứng địa hình, lấy sự biến đổi địa hình qua một mùa lũ 1956÷1957 để làm căn cứ, kết quả cho thấy vị trí xói bồi của mô hình rất tương tự với nguyên hình. Thí nghiệm chính thức đã tiến hành các phương án công trình chỉnh trị, tìm ra được phương án bố trí công trình hợp lý. Bốn năm sau từ khi công trình chỉnh trị được thực thi, các biến hình lòng dẫn được sản sinh ra trong nguyên hình phù hợp với các kết quả dự báo trong thí nghiệm mô hình và đã cải thiện được cơ bản những khó khăn trở ngại về luồng tàu qua ngưỡng cạn.

Một vấn đề đáng chú ý trong thiết kế mô hình này là vấn đề tương tự độ nhám. Trên thực tế, mô hình này chỉ làm được tương tự hệ số nhám tổng hợp, không làm được tương tự riêng biệt cho đáy và cho bờ, theo công thức (4-66), trong điều kiện $\lambda_l = 240$, $\lambda_h = 60$, hằng số tỷ lệ hệ số nhám đáy nên là:

$$\lambda_{nb} = \frac{\lambda_h^{\frac{2}{3}}}{\lambda_l^{\frac{2}{3}}} = \frac{60^{\frac{2}{3}}}{240^{\frac{2}{3}}} = 1$$

còn hệ số nhám bờ là:

$$\lambda_{nb} = \lambda_l^{\frac{1}{6}} = 240^{\frac{1}{6}} = 2,49$$

Có nghĩa là hệ số nhám đáy sông mô hình bằng hệ số nhám đáy sông nguyên hình, còn hệ số nhám bờ mô hình nhỏ hơn nhiều so với hệ số nhám bờ của nguyên hình. Nhưng trong mô hình này, hệ số nhám đã dùng lại hoàn toàn ngược lại. Hậu quả trực tiếp của nó ngoài việc ảnh hưởng đến tương tự sức cản ra, còn ảnh hưởng đến phân bố theo phương ngang của lưu tốc. Nhưng thí nghiệm mô hình này vẫn thu được kết quả tương đối tốt, nguyên nhân là nguyên hình có lòng sông tương đối rộng (tỷ lệ rộng sâu đến trên 30), sau khi biến thái, tỷ lệ rộng sâu vẫn còn trên 8, ảnh hưởng của bờ là không đáng kể.

5.5. THÍ NGHIỆM MÔ HÌNH CHUỖI

5.5.1. Cơ sở lý thuyết

Trong các tiết 5.1 và 5.2 khi trình bày lý thuyết về mô hình lòng động đã nêu rõ những khó khăn trong việc lựa chọn cát mô hình. Muốn thoả mãn đồng thời hoặc 1 trong 2 điều kiện tương tự lơ lửng và khởi động đều yêu cầu cát mô hình có khối lượng riêng bé, đường kính hạt nhỏ, nhưng đường kính hạt quá nhỏ sẽ gây ra vấn đề keo tụ và lực dính kết, còn ngược lại đường kính hạt quá to sẽ khó thoả mãn tương tự lơ lửng và tương tự khởi động. Nếu tìm không được loại cát mô hình thích hợp, có thể tìm được loại có khối lượng riêng tương đối lớn, đường kính hạt thô, muốn đạt được tương tự lơ lửng và tương tự khởi động phải làm mô hình lớn để có thể có lưu tốc lớn, nhưng yêu cầu đó trong nhiều trường hợp là không đáp ứng được.

Thí nghiệm mô hình chuỗi là một biện pháp để giải quyết loại vấn đề đó. Sử dụng phương pháp này, khối lượng riêng của cát mô hình có thể tương đối lớn, đường kính hạt có thể hơi thô, thậm chí là cát nguyên hình, mà mô hình lại không nhất thiết phải làm quá to. Những sai lệch trong kết quả thí nghiệm do chuyển động bùn cát không tương tự gây ra, thông qua một loạt các mô hình từ bé đến lớn, kéo dài kết quả thí nghiệm để loại trừ. Phương pháp thí nghiệm mô hình như vậy, thực chất là sử dụng mô hình không hoàn toàn tương tự để thu được kết quả thí nghiệm tương tự.

Thực tiễn chứng minh rằng, loại mô hình chuỗi không nhất thiết phải làm rất nhiều, chỉ cần làm 2 mô hình có tỷ lệ sai khác nhau lớn là có thể thông qua ngoại suy để thu được kết quả thí nghiệm cần thiết, mà vẫn bảo đảm độ chính xác nhất định. Nhưng hiện nay thí nghiệm mô hình chuỗi còn làm rất ít, chỉ mới tiến hành cho loại thí nghiệm mô hình có điều kiện biên đơn giản và chỉ đơn thuần là bồi hoặc xói. Có thể dùng loại thí nghiệm này cho các trường hợp có điều kiện biên phức tạp, xói bồi xen kẽ hay không thì chưa có kinh nghiệm thực tế.

Cơ sở lý thuyết của thí nghiệm mô hình chuỗi đã có một số nghiên cứu. Tác giả Sa Ngọc Thanh giả định giữa đại lượng vật lý mà thí nghiệm mô hình nghiên cứu và các biến lượng khác ảnh hưởng đến đại lượng đó có quan hệ số mũ như sau:

$$X = Kh^{\alpha_1}y^{\alpha_2}Z^{\alpha_3}$$

trong đó:

X - đại lượng vật lý nghiên cứu, có thể là độ sâu hố xói, bồi, thời gian xói bồi;

h - độ sâu;

y, Z - các yếu tố thủy lực, bùn cát khác ngoài độ sâu;

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ - các số mũ;

K - hệ số.

Ở đây, số đại lượng tự biến có 3, khi có nhiều hơn 3 thì đưa thêm tiếp tục vào phía sau.

Viết phương trình hằng số tỷ lệ cho phương trình trên:

$$\lambda_x = \lambda_K \lambda_h^{\alpha_1} \lambda_y^{\alpha_2} \lambda_z^{\alpha_3} \quad (5-95)$$

Sa Ngọc Thanh cho rằng hằng số tỷ lệ hệ số λ_K do sự thu nhỏ mô hình gây ra, giả thiết rằng có quan hệ số mũ với hằng số tỷ lệ độ sâu:

$$\lambda_K = C \lambda_h^{\alpha_0} \quad (5-96)$$

Ngoài ra, cũng chuyển hoá các hằng số tỷ lệ của các biến lượng thủy lực hữu quan thành hàm số của hằng số tỷ lệ độ sâu, ví dụ: $\lambda_u = \lambda_h^{\frac{1}{2}}$; $\lambda_q = \lambda_h^{\frac{3}{2}}$... còn các biến lượng thuộc bùn cát thì thông qua việc sử dụng cát nguyên hình đều có hằng số tỷ lệ bằng 1, tức $\lambda_d = \lambda_{p_s} = \lambda_{\frac{p_s - p}{p}} = \lambda_w = \lambda_h^0 = 1$. Như vậy, phương trình hằng số tỷ lệ (5-95)

chuyển thành:

$$\lambda_X = C \lambda_h^\alpha \quad (5-97)$$

trong đó α là tổng số mũ sau khi toàn bộ hằng số tỷ lệ của các yếu tố biến lượng thủy lực, bùn cát đều chuyển hoá thành hàm số tỷ lệ độ sâu. Đối với nguyên hình, $\lambda_h = 1$, $\lambda_X = 1$, vì vậy $C = 1$. Cuối cùng thu được:

$$\lambda_X = \lambda_h^\alpha \quad (5-98)$$

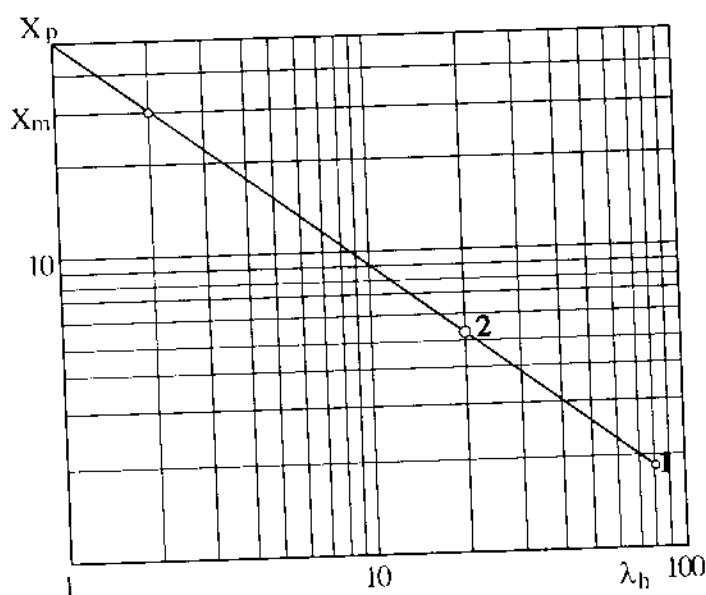
hoặc:
$$\frac{X_N}{X_M} = \lambda_h^\alpha$$

nên:
$$X_M = \frac{X_N}{\lambda_h^\alpha} \quad (5-99)$$

Từ phương trình (5-99) có thể thấy, khi sử dụng mô hình có 1 hằng số tỷ lệ hình học nhất định để tiến hành thí nghiệm, thì λ_h là trị số đã biết, X_M có thể tìm được thông qua quan trắc, ẩn số trong phương trình chỉ còn lại 2 là α và X_N . Nếu có thể làm 2 mô hình thì có thể xây dựng 2 phương trình, giải hệ phương trình sẽ tìm được X_N , hoặc đem các số liệu thu được của X_M và λ_h vẽ trên giấy logarit hai chiều (hình 5-1), nối hai điểm 1 và 2, cắt với trục tung của $\lambda_h = 1$ hoặc $\lambda_h = 0$, tung độ của giao điểm chính là trị số X_N của nguyên hình cần tìm.

Sự phân tích lý thuyết trên đây của Sa Ngọc Thanh tồn tại 2 vấn đề, một là cát mô hình phải dùng cát nguyên hình, bắt buộc dĩ mới phải sử dụng cát vật liệu nhẹ, Sa Ngọc Thanh chỉ cung cấp phương pháp tính đổi trong điều kiện xói nước trong, nguyên lý cơ bản của phép tính đổi là do cát nhẹ và cát mô hình trong điều kiện lưu lượng đơn vị rộng như nhau, lưu tốc khởi động khác nhau, vì vậy độ sâu khác nhau.

Trong trường hợp khác hơi phức tạp hơn, ví dụ xói nước đục, thì phương pháp tìm nghiệm ra sao không thấy Sa Ngọc Thanh đề cập. Như vậy, việc trực tiếp sử dụng quan hệ trên để tìm đại lượng vật lý nguyên hình sẽ bị hạn chế. Hai là chưa liên hệ chặt chẽ với lý thuyết tương tự về chuyển động bùn cát, dẫn đến những nhận thức về bản chất vật lý của một số vấn đề không thật rõ ràng.



Hình 5-1: Quan hệ $X_M - \lambda_h$

Sau đây, xuất phát từ lý thuyết tương tự về chuyển động bùn cát để cập sâu hơn về vấn đề này.

Giả thiết là chúng ta đã chọn được loại cát mô hình có khối lượng riêng xác định và đã xác định đường kính hạt của chúng (không nhất thiết là cát nguyên hình). Căn cứ vào yêu cầu đồng thời tương tự lơ lửng và tương tự khởi động, hoặc chỉ yêu cầu tương tự khởi động, có thể thiết kế một mô hình chính thái có hằng số tỷ lệ hình học là $\lambda_{h\Delta}$ phù hợp với yêu cầu tương tự, ở đây có thêm ký hiệu Δ biểu thị hằng số tỷ lệ mô hình phù hợp yêu cầu tương tự, đối với các hằng số tỷ lệ khác cũng như vậy. Ở đây không dùng $\lambda_{h\Delta}$ mà dùng $\lambda_{h\Delta}$ là để thống nhất với ký hiệu của tác giả Sa Ngọc Thanh và để tiện phân biệt giữa mô hình chính thái và mô hình biến thái. Cần chỉ rõ rằng, nếu là mô hình

chính thái thì có một hằng số tỷ lệ hình học $\lambda_{h\Delta}$ phù hợp với yêu cầu tương tự, nếu là mô hình biến thái thì có 2: $\lambda_{l\Delta}$ và $\lambda_{h\Delta}$.

Do $\lambda_{h\Delta}$ quá nhỏ, trong điều kiện thực tế hạn chế không thể thực hiện được mà chỉ có thể làm mô hình có hằng số tỷ lệ hình học tương đối lớn $\lambda_{h\Delta}$. Như vậy, mô hình và nguyên hình không thể tương tự, ở đây tồn tại 2 trường hợp khác nhau.

a) Trường hợp thứ nhất: vấn đề nghiên cứu được hạn chế trong xói, bồi cực hạn. Ví dụ, xói cực bộ ở hạ du hồ chứa, vấn đề xói cực bộ và xói phổ biến ở đoạn sông có đê vây....

Đối với loại vấn đề này, có khi không yêu cầu tìm hiểu chi tiết quá trình xói bồi, khi thí nghiệm có thể không xét đến vấn đề hằng số tỷ lệ thời gian, thí nghiệm đến khi nào đạt trạng thái cân bằng xói bồi thì thôi. Trong tình hình đó, hằng số tỷ lệ hình học λ_h sử dụng lớn hơn so với hằng số tỷ lệ thỏa mãn điều kiện tương tự $\lambda_{h\Delta}$, độ dày xói bồi trong mô hình thu được từ thí nghiệm không tương tự với nguyên hình, cũng tức là hằng số tỷ lệ về độ sâu λ_h . Nói chung, khi mô hình phát sinh bồi tích đơn thuần, do lưu tốc trong mô hình thiên nhỏ, độ dày bồi lắng Z_M có thể thiên lớn, làm cho $\lambda_{h_b} < \lambda_h$. Ngược lại, khi trong mô hình phát sinh xói sâu đơn thuần, do lưu tốc trong mô hình thiên nhỏ, độ dày xói sâu Z_M có thể thiên nhỏ, làm cho $\lambda_{h_b} > \lambda_h$. Khi mô hình phát sinh khi xói khi bồi, 2 khả năng đều có thể xuất hiện, nhưng vẫn là $\lambda_{h_b} \neq \lambda_h$.

Sở dĩ λ_{h_b} sai lệch với λ_h , hoàn toàn là do λ_h sai lệch với $\lambda_{h\Delta}$, mức độ sai lệch của λ_{h_b} và λ_h hoàn toàn quyết định bởi mức độ sai lệch giữa λ_h và $\lambda_{h\Delta}$, có thể thấy:

$$\frac{\lambda_{h_b}}{\lambda_h} = \left(\frac{\lambda_h}{\lambda_{h\Delta}} \right)^{x_1} \quad (5-100)$$

Do $\frac{\lambda_h}{\lambda_{h\Delta}} > 1$ và λ_{h_b} vừa có thể lớn hơn lại vừa có thể nhỏ hơn λ_h , nên x_1 vừa có thể dương vừa có thể âm. Phương trình trên thỏa mãn điều kiện biên $\lambda_h = \lambda_{h\Delta}$, ta có:

$$\lambda_{h_b} = \lambda_h \quad (5-101)$$

lúc đó, 2 hằng số tỷ lệ được hợp nhất.

Ở đây cần phải nói rõ vấn đề xác định các hằng số tỷ lệ khác trong mô hình. Khi hằng số tỷ lệ hình học của mô hình là λ_h , tất cả các hằng số tỷ lệ khác về dòng chảy có liên quan đến λ_h (như λ_Q , λ_v ...) đều được suy ra từ λ_h không có quan hệ với $\lambda_{h\Delta}$. Nhưng nếu vấn đề nghiên cứu không phải là xói nước trong mà là có bùn cát đi vào mô

hình, thì tồn tại vấn đề xác định hằng số tỷ lệ hàm lượng bùn cát lơ lửng hoặc hằng số tỷ lệ lượng chuyển bùn cát đáy. Ví dụ, đối với mô hình chính thái có chuyển động bùn cát lơ lửng, hàm lượng bùn cát đi vào mô hình nên không chế hằng số tỷ lệ theo phương trình không thoả mãn điều kiện tương tự ($\lambda_u \neq \lambda_w$):

$$\lambda_{sb} = \frac{\lambda_{ps}}{\lambda_{ps-p}} \frac{\lambda_u}{\lambda_w} \quad (5-102)$$

hay không chế hằng số tỷ lệ theo phương trình trên hình thức thoả mãn điều kiện tương tự lơ lửng:

$$\lambda_s = \frac{\lambda_{ps}}{\lambda_{ps-p}} \quad (C_7)$$

Để trả lời câu hỏi trên, phải khảo sát quan hệ giữa 2 hằng số tỷ lệ về hàm lượng bùn cát. Từ phương trình hằng số tỷ lệ hàm lượng bùn cát nói trên ta có:

$$\frac{\lambda_{sb}}{\lambda_s} = \frac{\lambda_u}{\lambda_w} = \frac{\lambda_u}{\lambda_{u\Delta}} \frac{\lambda_{u\Delta}}{\lambda_w} = \frac{\lambda_u}{\lambda_{u\Delta}} = \left(\frac{\lambda_h}{\lambda_{h\Delta}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5-103)$$

trong đó $\lambda_{u\Delta}$ là hằng số tỷ lệ lưu tốc thoả mãn điều kiện tương tự lơ lửng, nên $\frac{\lambda_{u\Delta}}{\lambda_w} = 1$. Hoặc nói chung ta có:

$$\frac{\lambda_{sb}}{\lambda_s} = \left(\frac{\lambda_h}{\lambda_{h\Delta}} \right)^{x_2} \quad (5-104)$$

Từ đó có thể thấy, chính là hằng số tỷ lệ hình học thực tế của mô hình λ_h sai lệch với hằng số tỷ lệ hình học thoả mãn điều kiện tương tự chuyển động bùn cát $\lambda_{h\Delta}$ đã làm cho chuyển động lơ lửng không tương tự ($\lambda_u \neq \lambda_w$), từ đó dẫn đến sự sai lệch của hai hằng số tỷ lệ hàm lượng bùn cát. Loại sai lệch này vừa có thể lý giải là sự sai lệch của hằng số tỷ lệ hàm lượng bùn cát không thoả mãn tương tự lơ lửng và hằng số tỷ lệ hàm lượng bùn cát thoả mãn điều kiện tương tự lơ lửng, cũng có thể lý giải là sự sai lệch giữa hằng số tỷ lệ về năng lực tải cát thực tế của mô hình và hằng số tỷ lệ của hàm lượng bùn cát đầu vào, mà đó chính là nguyên nhân cơ bản để hằng số tỷ lệ độ sâu xói bồi λ_{hb} sai lệch với hằng số tỷ lệ độ sâu λ_h . Trên cơ sở nhận thức đó, hàm lượng bùn cát đi vào mô hình nên không chế bằng hằng số tỷ lệ hàm lượng bùn cát λ_s thoả mãn trên hình thức về tương tự lơ lửng.

Mô hình bùn cát đáy cũng như vậy, khi đặt hàm lượng bùn cát đáy hư cấu $S_g = \frac{g_b}{q}$, công thức (5-103) cũng sẽ thích hợp. Với cùng một lý do suất chuyển cát đáy đi vào mô hình nên không chế theo hằng số tỷ lệ suất chuyển cát đáy về hình thức thoả mãn điều kiện khởi động $\lambda_{g_{b\Delta}}$ (tức λ_{g_b} trong bảng 5-1).

b) Trường hợp thứ hai: Mở rộng vấn đề nghiên cứu ra cả quá trình xói bồi. Ví dụ, vấn đề xói bồi phổ biến và sự bồi lắng trở lại ở hạ du hồ chứa, vấn đề bồi lắng lòng hồ... là những vấn đề đề cập đến hằng số tỷ lệ thời gian.

Hằng số tỷ lệ thời gian biến hình lòng dẫn trong điều kiện chuyển động bùn cát không tương tự λ_{tb} được suy ra từ phương trình biến hình lòng dẫn:

$$\lambda_{tb} = \frac{\lambda_p \lambda_l^2 \lambda_{hb}}{\lambda_Q \lambda_{sb}} \quad (5-105)$$

Thay các trị số λ_{hb} và λ_{sb} , (5-101) và (5-104) vào (5-105) nhận được:

$$\lambda_{tb} = \frac{\lambda_p \lambda_l^2 \lambda_h}{\lambda_Q \lambda_s} \left(\frac{\lambda_h}{\lambda_{h\Delta}} \right)^{x_1 - x_2},$$

hoặc
$$\frac{\lambda_{tb}}{\lambda_t} = \left(\frac{\lambda_h}{\lambda_{h\Delta}} \right)^{x_3} \quad (5-106)$$

Phương trình trên cũng thoả mãn điều kiện biên $\lambda_{h\Delta} = \lambda_h$, lúc đó:

$$\lambda_{tb} = \lambda_t \quad (5-107)$$

hai loại hằng số tỷ lệ được hợp nhất.

Ở đây, cũng như đã nói ở trên, hàm lượng chất lơ lửng hoặc suất chuyển cát đáy đi vào mô hình được khống chế bởi hằng số tỷ lệ tương ứng với sự đáp ứng trên hình thức tương tự lơ lửng và tương tự khởi động.

Các phương trình (5-100) và (5-106) là những phương trình cơ bản để căn cứ vào đó tiến hành thí nghiệm mô hình chuỗi, nó có thể viết dưới dạng giống với phương trình (5-99), và theo phương pháp kéo dài tìm ra đại lượng vật lý nguyên hình cần tìm. Từ phương trình (5-100) ta có:

$$\lambda_{hb} = \frac{h_{bN}}{h_{bM}} = \frac{\lambda_h^\varphi}{\lambda_{h\Delta}^{x_1}}$$

hoặc:
$$h_{bM} = h_{bN} \frac{\lambda_{h\Delta}^{x_1}}{\lambda_h^\varphi} \quad (5-108)$$

Sau khi đã chọn cát mô hình, $\lambda_{h\Delta}$ là trị số xác định, x_1 là hàm số của φ ($\varphi = 1 + x_1$). Phương trình đó cũng giống như phương trình (5-99) cũng chỉ bao gồm 2 ẩn số, chỉ cần làm 2 mô hình, đem các giá trị của h_{bM} và λ_h vẽ trên giấy logarit (như hình 5-1 trong đó x_M tương đương với h_{bM}). Vẽ đường thẳng qua hai điểm 1, 2 cắt đường thẳng đứng của $\lambda_{h\Delta} = \lambda_h$ ở 1 điểm. Lúc đó phương trình trên sẽ chuyển hoá thành:

$$h_{bM} = \frac{h_{bN}}{\lambda_{h\Delta}} \quad (5-109)$$

và như vậy nhân tung độ của giao điểm h_{bM} với $\lambda_{h\Delta}$ sẽ được h_{bN} .

Nếu dùng cát nguyên hình làm cát mô hình, thì thoả mãn tương tự chuyển động bùn cát cần có $\lambda_{h\Delta} = 1$, lúc đó có thể vẽ đường thẳng qua hai điểm 1 và 2, cắt nhau với đường $\lambda_{h\Delta} = \lambda_h = 1$, tìm được h_{bM} tức là h_{bN} . Trong trường hợp này, còn có $\lambda_{sb} = \lambda_s = 1$, tức hàm lượng bùn cát đi vào mô hình bằng trị số tương ứng của nguyên hình.

λ_t trong công thức (5-106), đối với mô hình chính thái, sau khi cát mô hình đã được chọn cũng có thể triển khai chuyển hoá là hàm số của λ_h :

$$\lambda_t = \frac{\lambda_p \cdot \lambda_1^2 \lambda_h}{\lambda_Q \lambda_s} = \frac{\lambda_p \cdot \lambda_h^3}{\frac{\lambda_h^2 \lambda_{ps-p}}{\rho}} = \frac{\lambda_p \cdot \lambda_{ps-p}}{\lambda_{ps}} \lambda_h^{\frac{1}{2}} \quad (5-110)$$

Như vậy, công thức (5-106) cũng sẽ chuyển hoá thành dạng tương tự như công thức (5-99):

$$\lambda_{tb} = \frac{t_{bN}}{t_{bM}} = \frac{\lambda_p \cdot \lambda_{ps-p} \lambda_h^\psi}{\lambda_{ps} \lambda_{h\Delta}^{x_3}} \quad (5-111)$$

hoặc:

$$t_{bM} = \frac{t_{bN} \lambda_{ps} \lambda_{h\Delta}^{x_3}}{\lambda_p \cdot \lambda_{ps-p} \lambda_h^\psi}$$

Cũng như vậy, ở đây $\lambda_p, \lambda_{ps}, \lambda_{ps-p}, \lambda_{h\Delta}$ đều là những giá trị xác định, x_3 là hàm số của ψ ($\psi = \frac{1}{2} + x_3$), chỉ chứa 2 ẩn số. Cũng chỉ cần làm 2 mô hình, đem các trị số

t_{bM} và λ_h thu được ở cùng một độ dày tương đối của xói bồi vẽ như hình 5-1 thể hiện (trong hình x_M tương ứng với t_{bM}), vẽ lên giấy logarit, vẽ đường thẳng qua hai điểm 1 và 2, cắt đường thẳng đứng $\lambda_h = \lambda_{h\Delta}$ tại 1 điểm.

Lúc đó phương trình trên chuyển thành:

$$t_{bM} = \frac{t_{bN}}{\frac{\lambda_{p'} \lambda_{\rho_s - \rho}}{\lambda_{\rho_s}} \cdot \frac{1}{\lambda_{h\Delta}^2}} = \frac{t_{bN}}{\lambda_{t\Delta}} \quad (5-112)$$

nhân tung độ giao điểm t_{bM} với $\lambda_{t\Delta}$ sẽ được t_{bN} .

Nếu dùng cát nguyên hình làm cát mô hình thì ngoài việc các hằng số tỷ lệ có dạng $\lambda_{p'} = \lambda_{\rho_s - \rho} = \lambda_s = 1$ ra, để thoả mãn tương tự chuyển động bùn cát, nên có $\lambda_{h\Delta} = 1$,

cũng như trên, thông qua hai điểm 1 và 2 vạch đường thẳng và cắt trục tung $\lambda_h = \lambda_{h\Delta} = 1$, thu được t_{bM} tức t_b . Hàm lượng bùn cát đi vào mô hình trong trường hợp này cũng bằng với nguyên hình.

Trên đây đã từ 2 trường hợp khác nhau để trình bày cơ sở lý thuyết thí nghiệm tương tự và cách làm cụ thể của mô hình chuỗi. So với lý thuyết mô hình chuỗi của Sa Ngọc Thanh, không chỉ tiến thêm một bước hoàn thiện cơ sở lý thuyết mà mở rộng phạm vi ứng dụng của nó, làm rõ điều kiện ứng dụng của loại mô hình này. Cần nói thêm là, mỗi khi mô hình chuỗi đã là một loại phương pháp sử dụng mô hình không hoàn toàn tương tự, thông qua kéo dài ngoại suy để thu được kết quả thí nghiệm tương tự, thì mức độ không tương tự đó không thể không chịu các hạn chế nhất định. Chủ yếu có 2 hạn chế: một là tuy lơ lửng và khởi động bùn cát có thể không tương tự, nhưng tốc độ chìm lắng và lưu tốc khởi động của cát mô hình và nguyên hình phải tuân theo cùng một quy luật tương tự, tức chúng được phân biệt mô tả cùng một phương trình vật lý; hai là khi nghiên cứu vấn đề xói, cần làm cho lưu tốc thực tế của mô hình lớn hơn lưu tốc khởi động của cát mô hình, chỉ có như vậy bùn cát mới chuyển động và phát sinh xói. Khi nghiên cứu vấn đề bồi lắng, cần làm cho lưu tốc thực tế của mô hình nhỏ hơn lưu tốc không bồi của cát mô hình, chỉ có như thế, mô hình mới phát sinh bồi tích. Bất kể lưu tốc thực tế lớn hơn hoặc bé hơn lưu tốc khởi động hoặc lưu tốc không bồi của cát mô hình, khoảng chênh lệch không thể quá nhỏ, nếu không biên độ xói bồi quá nhỏ, ảnh hưởng đến độ chính xác của thí nghiệm. Sự không tương tự nói trên chỉ đề cập đến chuyển động bùn cát không tương tự, còn tương tự chuyển động của dòng nước hoàn toàn giống như mô hình lòng cứng và mô hình lòng động bình thường, phải được bảo đảm.

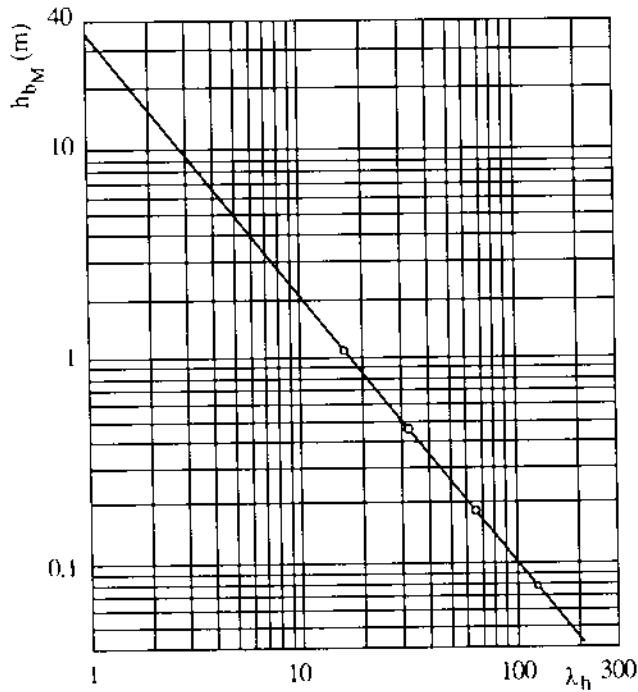
Sau đây lấy 2 ví dụ để trình bày cách làm của mô hình chuỗi.

5.5.2. Ví dụ 1: Thí nghiệm mô hình chuỗi nghiên cứu độ sâu xói cực đại ở hạ du công trình đập tràn.

Để nghiên cứu độ sâu hố xói cực đại ở hạ lưu một đập tràn, thiết kế tổng cộng 4 mô hình mặt cắt chính thái, dùng cát nguyên hình làm cát mô hình, dòng chảy đi vào mô hình là dòng nước trong. Số Re của mô hình nhỏ nhất lớn hơn giá trị làm giới bảo đảm chảy rối, lưu tốc trung bình cuối sân sau là $U = 0,24\text{m/s}$ lớn hơn lưu tốc khởi động của cát nguyên hình ($0,19\text{m/s}$). Hằng số tỷ lệ hình học của 4 mô hình và độ sâu xói cực đại tương ứng sau khi hố xói đạt đến trạng thái ổn định tổng hợp trong bảng 5-3. Quan hệ của các trị số h_{bM} và λ_h trong bảng được thể hiện trên hình 5-2. Kéo dài đường thẳng nối các điểm đến nơi $\lambda_h = \lambda_{h\Delta} = 1$, có thể tìm được $h_{bN} = h_{bM} = 36,8\text{cm}$.

Bảng 5-3

λ_h	16	32	64	128
h_{bM} (cm)	1,091	0,453	0,188	0,078
λ_{hb}	33,80	81,60	197,0	474,0
h_{bN} (cm)	36,90	37,00	37,00	37,00



Hình 5-2: Quan hệ $h_{bM} \sim \lambda_h$

Từ đường thẳng trong hình hoặc sử dụng trực tiếp số liệu về h_{bM} và λ_h có thể tìm được:

$$h_{bM} = \frac{h_{bN}}{\lambda_h^{1,27}} \quad (5-113)$$

hoặc:

$$\frac{\lambda_{hb}}{\lambda_h} = \left(\frac{\lambda_h}{\lambda_{h0}} \right)^{0,27} = \lambda_h^{0,27} \quad (5-114)$$

Hằng số tỷ lệ độ sâu xói tính theo (5-114) và độ sâu xói của nguyên hình tính đổi ra thể hiện trong bảng 5-3. Độ sâu xói tính toán và độ sâu xói thu được từ hình 5-2 là khá gần nhau.

5.5.3. Ví dụ 2: Thí nghiệm mô hình chuỗi nghiên cứu quá trình bồi lắng do dâng nước ở thượng du đập nước.

Để nghiên cứu quá trình bồi lắng do dâng nước ở thượng lưu đập nước, lấy máng nước dài 100m, rộng 2m, cao 1m làm nguyên hình giả thiết. Tổng cộng làm 4 mô hình chính thái. Trực tiếp dùng nước đục trong kênh đồng thời đưa vào một nguyên hình giả thiết và 4 mô hình. Quan trắc chi tiết quá trình bồi lắng ở các điểm trong máng nước, lấy điểm P trong máng nước (hình 5-3) làm tiêu chuẩn, xác định thời gian mở nước khi độ dày bồi lắng của nguyên hình và mô hình tăng dần đến $0,2H$ (H là chiều cao đập), như bảng 5-4. Sử dụng các số liệu thu được vẽ quan hệ t_{bM} và λ_h , như hình 5-4. Kéo dài đường thẳng đi qua các điểm mô hình đến nơi $\lambda_h = \lambda_{h\Delta} = 1$, tìm được $t_{bN} = t_{bM} = 115h$, đúng bằng trị số thực đo về thời gian bồi lắng trong máng nước nguyên hình $t_{bN} = 115h$. Từ đường thẳng trong hình hoặc lấy số liệu trực tiếp về t_{bM} và λ_h có thể tìm được:

$$t_{bM} = \frac{t_{bN}}{\lambda_h^{0,56}} \quad (5-115)$$

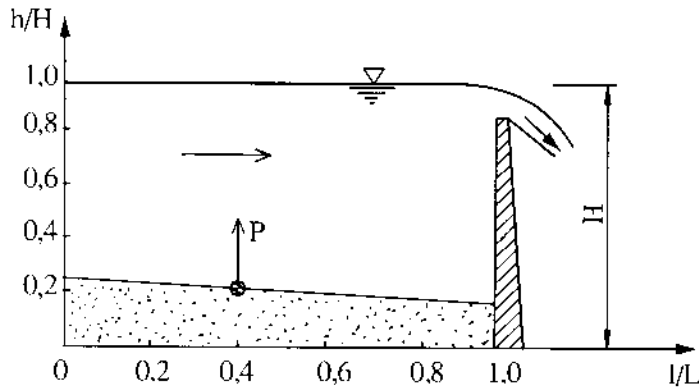
hoặc từ công thức (5-111), lấy $x_3 = \psi - \frac{1}{2} = 0,06$, ta có:

$$\frac{\lambda_{tP}}{\lambda_t} = \left(\frac{\lambda_h}{\lambda_{h\Delta}} \right)^{0,06} \quad (5-116)$$

Hằng số tỷ lệ thời gian biến hình lòng sông không thoả mãn tương tự chuyển động bùn cát tính theo công thức (5-116) và hằng số tỷ lệ thời gian biến hình lòng sông về hình thức thì thoả mãn tương tự chuyển động bùn cát được thống kê trong bảng 5-4.

Bảng 5-4

λ_h	1	5	10	15	20
$t_{bM}(h)$	115	46,6	31,8	21,5	12,8
λ_{tb}		2,47	3,62	5,35	8,98
λ_l		2,24	3,15	4,47	7,10

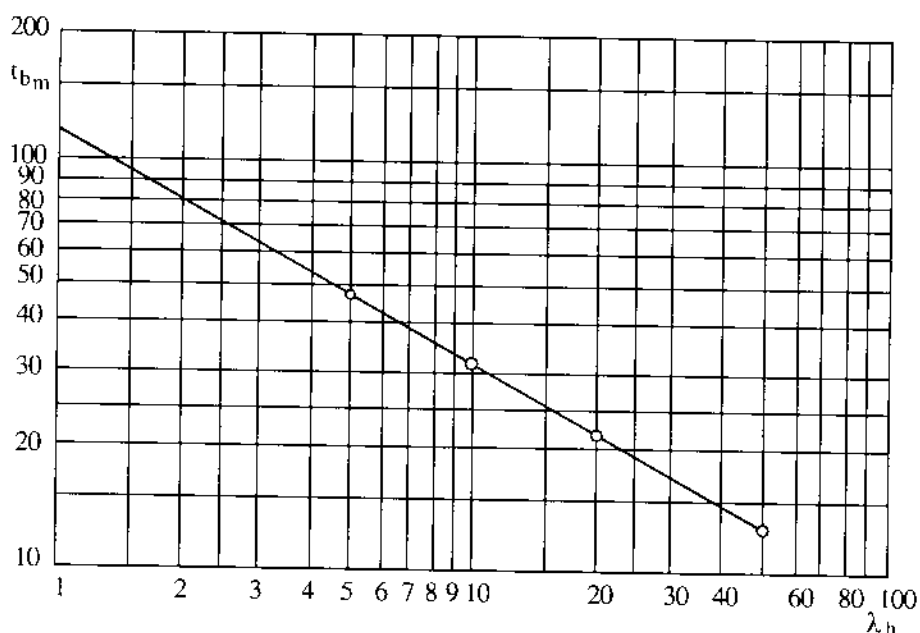


Hình 5-3: Sơ đồ bồi lắng thượng lưu đập.

5.5.4. Mô hình chuỗi kiểu Sơn Đông

Những năm gần đây, Viện Khoa học Thủy lợi Sơn Đông (Trung Quốc) phát triển một loại thí nghiệm mô hình có chứa đựng một tư tưởng mô hình chuỗi nào đó. Tư duy cơ bản của loại mô hình này là vẫn thiết kế mô hình theo luật tương tự, nhưng cho phép 1~2 yếu tố không thoả mãn yêu cầu tương tự. Giả thiết chỉ có một yếu tố không thoả mãn yêu cầu tương tự, thì lấy một loạt giá trị của yếu tố đó (ít nhất 2 giá trị) để tiến hành thí nghiệm, lấy tỷ số của các giá trị đó, và các giá trị tính toán được theo yêu cầu tương tự làm tung độ, lấy các giá trị của các đại lượng vật lý đo được làm hoành độ vẽ được một đường thẳng trên giấy logarit, kéo dài đường thẳng đó đến nơi có tỷ số bằng 1 sẽ có được giá trị cần tìm.

Nếu có 2 yếu tố không thoả mãn điều kiện tương tự, lấy 2 nhóm giá trị của mỗi yếu tố, tổ hợp thành 4 nhóm thí nghiệm. Trước hết lấy một yếu tố thứ nhất làm tham số, căn cứ vào quan hệ nói trên của yếu tố thứ 2 và kết quả thí nghiệm, kéo dài đến nơi yếu tố thứ 2 thoả mãn yêu cầu tương tự, tìm được 2 kết quả thí nghiệm diễn toán, sau đó xây dựng quan hệ nói trên với 2 kết quả thí nghiệm với yếu tố thứ nhất, kéo dài đến nơi yếu tố thứ nhất cùng thoả mãn yêu cầu tương tự, thì có thể tìm được kết quả thí nghiệm diễn toán mà cả 2 yếu tố đều thoả mãn yêu cầu tương tự. Ưu điểm của phương pháp này là chỉ cần làm 1 mô hình, khuyết điểm là các đại lượng vật lý được xác định, cũng như mô hình chuỗi, phải tương đối đơn nhất. Lấy một ví dụ cụ thể để làm rõ hơn cho phương pháp này.



Hình 5-4: Quan hệ $t_{bm} \sim \lambda_h$

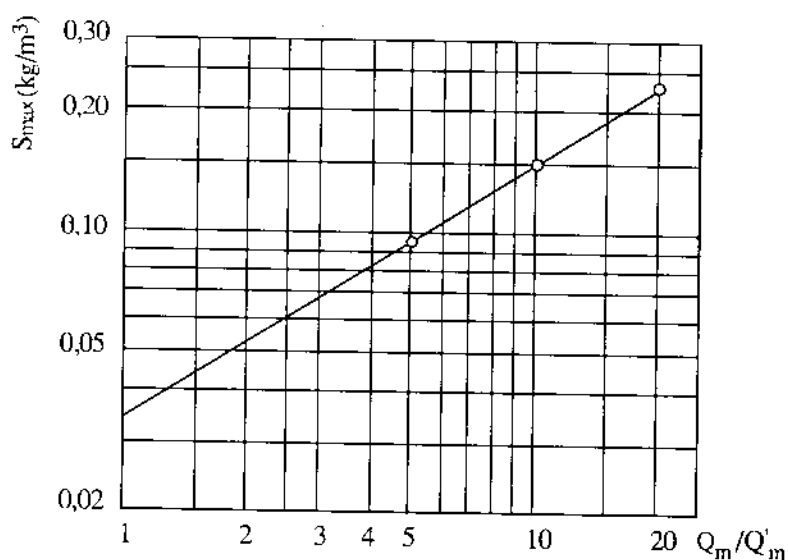
Có một hồ chứa được đắp bờ vây nhân tạo để cung cấp nước cho trạm nhiệt điện, hướng Đông Tây dài 3,4km, hướng Bắc Nam dài 1,9km, dung tích lớn nhất của hồ là $30 \times 10^6 \text{ m}^3$. Hồ chứa phải cung cấp nước liên tục cho nhà máy nhiệt điện với lưu lượng $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Mỗi năm chỉ lấy nước cho hồ 2 lần, mỗi lần 16,4 ngày, lưu lượng $12 \text{ m}^3/\text{s}$, hàm lượng bùn cát vào hồ là $0,5 \text{ kg}/\text{m}^3$, yêu cầu trong thời gian lấy nước, hàm lượng bùn cát vào nhà máy được khống chế dưới $0,05 \text{ kg}/\text{m}^3$. Tiến hành thí nghiệm mô hình để xác định hàm lượng bùn cát lớn nhất ra khỏi hồ $S_{\max}$.

Thiết kế mô hình theo luật tương tự Froude, hằng số tỷ lệ mặt bằng $\lambda_l = 200$, hằng số tỷ lệ kích thước chiều thẳng đứng $\lambda_h = 34,2$. Theo đúng hằng số tỷ lệ lưu lượng $\lambda_Q = 40.000$. Trong điều kiện thoả mãn tương tự lơ lửng $\frac{\lambda_u \lambda_h}{\lambda_w \lambda_l} = 1$, $\lambda_w = 1$, có thể

dùng cát nguyên hình làm cát mô hình. Điều không tương tự chủ yếu ở mô hình này là lưu lượng vào mô hình $Q_M = 0,3 \text{ l/s}$, lưu tốc rất nhỏ, chủ lưu trong hồ không đạt đến trạng thái chảy rối. Thông qua nghiên cứu, chỉ có khi $Q_M \geq 1,5 \text{ l/s}$ dòng chảy mới đạt trạng thái chảy rối, vì vậy lấy các cấp lưu lượng 1,5; 3,0; 6,0 l/s để làm thí nghiệm mô hình chuỗi (lưu lượng ra khỏi hồ cũng tăng lên tương ứng). Hàm lượng bùn cát vào hồ trong 3 nhóm thí nghiệm đều khống chế ở $0,5 \text{ kg}/\text{m}^3$. Hàm lượng bùn cát ra khỏi hồ trong thí nghiệm bắt đầu tăng lên, kể đến giảm nhỏ, mỗi lần đều lấy trị số cực đại. Vẽ đường cong quan hệ giữa các trị số cực đại của hàm lượng bùn cát và tỷ số giữa

lưu lượng thí nghiệm chuỗi Q_M và lưu lượng tính toán trừ hằng số tỷ lệ lưu lượng $Q'_M = 0,31/s$, như hình 5.5 thể hiện.

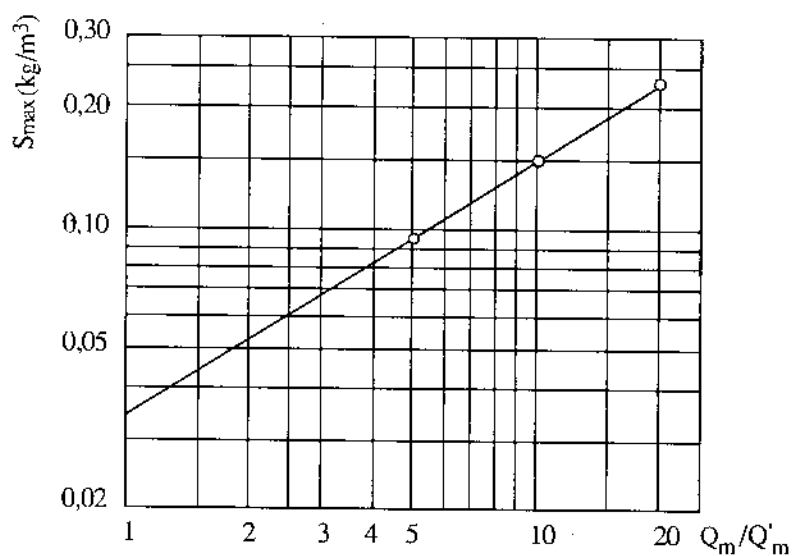
Kéo dài đường thẳng nối liền các điểm đến chỗ có tỷ số lưu lượng bằng 1, sẽ nhận được hàm lượng bùn cát cực đại ứng với lưu lượng thoả mãn yêu cầu tương tự là $0,035 \text{ kg/m}^3$.



Hình 5-5: Quan hệ $S_{max} \sim \frac{Q_M}{Q'_M}$.

lưu lượng thí nghiệm chuỗi Q_M và lưu lượng tính toán trừ hằng số tỷ lệ lưu lượng $Q'_M = 0,31/s$, như hình 5.5 thể hiện.

Kéo dài đường thẳng nối liền các điểm đến chỗ có tỷ số lưu lượng bằng 1, sẽ nhận được hàm lượng bùn cát cực đại ứng với lưu lượng thoả mãn yêu cầu tương tự là $0,035 \text{ kg/m}^3$.



Hình 5-5: Quan hệ $S_{max} \sim \frac{Q_M}{Q'_M}$.

Chương VI

CÁC LOẠI THÍ NGHIỆM MÔ HÌNH CHUYÊN ĐỀ

Các chương IV và V đã giới thiệu kỹ 2 loại mô hình cơ bản trong nghiên cứu công trình trên sông, là mô hình lòng cứng và mô hình lòng mềm. Hai loại mô hình đó chỉ hạn chế trong việc mô phỏng tình hình can thiệp của công trình nhân tạo vào lòng sông tự nhiên hoặc gần với tự nhiên. Trong thực tế, ngoài 2 loại thí nghiệm mô hình đó ra, những đề tài hoặc dự án khoa học - công nghệ công trình thủy còn yêu cầu những nghiên cứu được thực hiện trên các loại mô hình khác như mô hình truyền nhiệt lượng và tạp chất, mô hình ở vùng sông ảnh hưởng triều, mô hình ở vùng có tác động của sóng, v.v... Ngoài các loại mô hình thủy lực, hiện nay trên thế giới cũng sử dụng mô hình khí. Trong chương này sẽ giới thiệu tóm tắt một số loại mô hình chuyên đề thường gặp trong công trình thủy.

6.1. THÍ NGHIỆM MÔ HÌNH CÔNG TRÌNH SÔNG VÙNG TRIỀU

6.1.1. Các loại mô hình triều và phạm vi của chúng

a) Đặc điểm điều kiện biên:

Chuyển động dòng nước và bùn cát cũng như biến hình lòng dẫn vùng cửa sông, ngoài việc chịu ảnh hưởng của điều kiện dòng nước và bùn cát từ thượng lưu về còn chịu ảnh hưởng của dòng nước và bùn cát từ biển vào. Mô hình mô phỏng các hiện tượng sông nước vùng này gọi là mô hình cửa sông vùng triều. Nếu vùng mô phỏng chỉ có ảnh hưởng của các yếu tố dòng nước và bùn cát biển, ví dụ vùng bờ xa cửa sông, thì mô hình nghiên cứu gọi là mô hình triều bờ biển. Một đặc điểm chủ yếu của loại mô hình này là ở một đầu hoặc hai đầu của mô hình, dòng chảy có chuyển động lên xuống không cố định và có tính chu kỳ. Đối với vùng cửa sông, ở một số trường hợp, khi phạm vi mô hình tương đối lớn, từ biên giới triều thượng lưu đến vùng biển ngoài cửa, nơi không còn ảnh hưởng của nước sông, thì tính chất dòng nước đến 2 đầu mô hình có sai khác rất lớn. Nước sông từ thượng lưu về là nước ngọt, nước biển từ ngoài khơi vào là nước mặn. Điểm mấu chốt để làm tốt mô hình triều là xem xét đầy đủ sự sai khác về điều kiện biên nói trên đồng thời xử lý thích đáng các vấn đề hữu quan do những sai khác đó gây ra.

b) Phân loại mô hình triều:

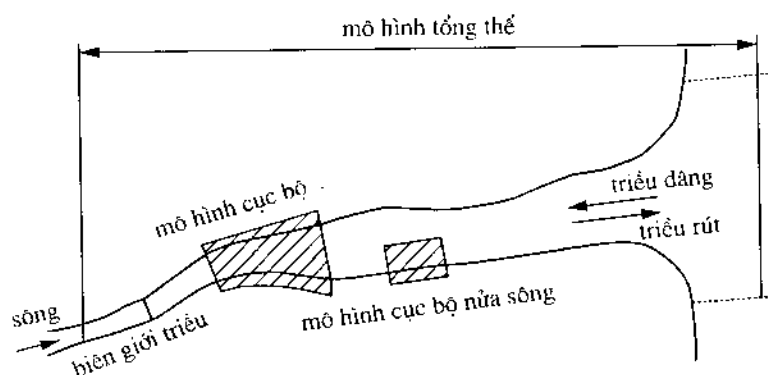
Theo nhiệm vụ thí nghiệm, mô hình cửa sông ảnh hưởng triều có thể chia thành mô hình tổng thể và mô hình cục bộ:

- Mô hình tổng thể bắt buộc phải bao gồm toàn bộ vùng cửa sông từ biển đến biên giới trên của triều, để đảm bảo tính tương tự dòng chảy khi triều lên xuống. Thông thường lấy đầu ở phía trên biên giới triều, cuối là bãi biển ngoài cửa. Như mô hình vịnh Seapik của Mỹ chiếm diện tích hơn 5 ha; mô hình Laihu (Nhật Bản) dài 200m, rộng 100m; mô hình cửa sông Vishym bao gồm phạm vi từ 80 km ngoài cửa đến biên giới triều ở thượng lưu; mô hình cửa sông Trường Giang (Trung Quốc) chiếm diện tích trên 4000m²; mô hình cửa sông Châu Giang (Quảng Đông - Trung Quốc) có diện tích hơn 3 ha. Các loại mô hình đó, cửa vào được khống chế bằng quá trình lưu lượng nước sông thượng lưu, cửa ra được khống chế bằng quá trình mực nước triều thiết kế và lưu lượng dòng triều tương ứng. Khi cần tái diễn chuyển động của nước mặn, điều kiện biên dưới còn phải bảo đảm độ mặn có giá trị không đổi.

Theo yêu cầu đó để thiết kế mô hình tổng thể thì kích thước mô hình sẽ lớn. Để tiết kiệm diện tích đất và thuận tiện khi vận hành, có người đề nghị dùng phương pháp lòng dẫn gấp khúc đồng dung tích để thay thế cho đoạn sông phân trên của cửa sông. Khởi điểm của lòng dẫn gấp khúc chọn ở vị trí không chịu ảnh hưởng của đối tượng thí nghiệm. Gần đây, còn sử dụng điều kiện biên do mô hình toán cung cấp, tiến hành khống chế thượng hạ lưu, cũng thu nhỏ được rất nhiều phạm vi của mô hình.

- Loại thứ hai là mô hình cục bộ. Đối tượng nghiên cứu trong mô hình này (ví dụ, biện pháp công trình) chỉ làm thay đổi cục bộ đặc tính của dòng triều. Mô hình cục bộ chỉ mô hình hóa 1 đoạn ngắn trong cửa sông. Mô hình này yêu cầu đặt biên thượng lưu, hạ lưu tại nơi không còn ảnh hưởng của đối tượng nghiên cứu, để trong thời gian triều dâng, công trình không ảnh hưởng tới phân bố dòng chảy ở biên thượng lưu; trong thời kỳ triều rút, không ảnh hưởng đến phân bố dòng chảy ở biên hạ lưu. Do toàn bộ đoạn thí nghiệm của mô hình cục bộ đều nằm trong đoạn sông ảnh hưởng triều nên cửa vào, cửa ra đều được khống chế bằng quá trình mực nước triều thiết kế. Nếu ảnh hưởng của công trình đến thủy triều chỉ hạn chế ở một phần nào đó ở gần bờ, thì có thể dùng một đường dòng song song với phương dòng chính trong nguyên hình làm biên cạnh của mô hình.

Vị trí mặt bằng tương đối của các loại mô hình nói trên được thể hiện trên hình 6-1:



Hình 6-1: Sơ đồ các loại mô hình triều.

Đương nhiên, quá trình triều làm điều kiện biên cho mô hình cục bộ phải chọn sao để không thay đổi khi trong đoạn sông đó có bố trí công trình.

Còn đối với mô hình triều bờ biển, không có cửa sông, phải căn cứ vào tình hình thực tế của điều kiện biên mở, khống chế quá trình ở các đoạn khác nhau.

Bất kể mô hình triều cửa sông hay triều bờ biển, khi vấn đề nghiên cứu, ngoài chuyển động của dòng nước ra, còn có chuyển động bùn cát và biến hình lòng dẫn thì còn cần mô phỏng điều kiện bùn cát ở cửa vào, cửa ra mô hình.

6.1.2. Các điều kiện tương tự trong mô hình triều

Phương pháp khống chế điều kiện dòng chảy đến và bùn cát đến của đoạn sông phụ thuộc vào vị trí mặt cắt cửa vào. Nếu mặt cắt cửa vào mô hình bố trí ở phần trên giới hạn triều, không còn có ảnh hưởng của dòng triều, thì phương pháp khống chế hoàn toàn giống như mô hình dòng chảy và bùn cát thông thường. Nếu mặt cắt cửa vào mô hình nằm ở vùng có ảnh hưởng của dòng triều, thì phải xét đến ảnh hưởng đó, phương pháp khống chế sẽ được giới thiệu sau khi thảo luận về điều kiện dòng chảy và bùn cát từ phía biển đến.

a) Tương tự hình học:

Nguyên tắc thiết kế mô hình dòng chảy triều về cơ bản giống mô hình lòng cứng nói chung. Về tương tự hình học, do mặt nước vùng cửa sông ven biển thường rất rộng, tỷ lệ rộng sâu tương đối lớn, để bảo đảm độ chính xác nhất định cho việc đo đạc mực nước, lưu tốc và độ sâu, những mô hình phạm vi lớn đều thiết kế biến thái. Trước đây, những mô hình triều đều thiết kế tương đối nhỏ, hệ số biến thái lớn, chu kỳ triều ngắn, gần đây có xu hướng thiết kế mô hình triều tương đối lớn, hệ số biến thái nhỏ. Nhưng so sánh với mô hình thông thường, hệ số biến thái mô hình triều vẫn rất lớn, thường trong khoảng $5 \div 15$. Một mặt đó là do tỉ lệ rộng quá lớn, mặt khác cũng do địa hình đáy cửa sông, ven biển ít nhấp nhô, có thể xử lý theo bài toán phẳng, hệ số biến thái lớn một chút cũng không dẫn đến những sai số quá lớn. Đó là nói đến mô hình có phạm vi lớn, còn đối với mô hình cục bộ, phạm vi nhỏ, cũng có thể làm mô hình chính thái.

b) Về tương tự động học và động lực học :

- Dòng chảy:

Mô hình dòng chảy triều thường được thiết kế theo chuẩn tắc tương tự Froude, tương tự tỷ số giữa sức cản và trọng lực cũng cần phải đáp ứng. Điều kiện sau khó đáp ứng hơn, một mặt vì yếu tố thủy lực luôn biến đổi theo chu kỳ, trong thời gian ngừng triều lưu tốc lại quá bé, thí nghiệm kiểm chứng khó thực hiện, để có tương tự về quá trình mực nước triều và tương tự phân bố dọc đường của mực nước cực đại và cực tiểu, cần điều chỉnh qua lại nhiều lần; mặt khác còn do biến thái của mô hình tương đối lớn, yêu cầu độ nhám của mô hình cũng tương đối lớn, khó thực hiện hoặc nếu có làm được để

đảm bảo tương tự quá trình mực nước, thì tương tự kết cấu dòng chảy có thể bị phá hoại ở một mức độ nhất định.

Số Re của dòng chảy mô hình và độ sâu mô hình phải cao hơn một giá trị nhất định để bảo đảm dòng chảy mô hình là dòng chảy rối và loại trừ ảnh hưởng của sức căng bề mặt.

Một đặc điểm rất quan trọng của mô hình triều là hằng số tỷ lệ thời gian ($\lambda_t = \lambda_l/\lambda_u$) phải được tuân thủ chặt chẽ, không chỉ trong mô hình dòng chảy mà cả trong mô hình bùn cát, nếu không chuyển động sóng triều sẽ không tương tự nữa (tất nhiên trong mô hình bùn cát thì mức độ chặt chẽ có thể chặm chước hơn).

Khi trong mô hình triều có khả năng xuất hiện hiện tượng xáo trộn giữa nước mặn và nước ngọt, đặc biệt là khi xuất hiện dòng phân tầng, nồng độ muối của nước mô hình phải giống với nguyên hình, để đảm bảo định luật tương tự Froude mật độ. Đáng chú ý là, trong tình hình đó, do nước muối không ngừng bị nước ngọt làm nhạt đi, để bảo đảm nồng độ muối không đổi, phải thường xuyên thêm muối vào bể tạo triều hoặc bể chứa. Đồng thời, để bảo đảm cung ứng nước ngọt, lại phải tiếp nước ngọt cho đầu vào mô hình hoặc làm ngọt hóa nước thu hồi từ phần cuối mô hình để đưa vòng trở lại đầu vào mô hình. Rõ ràng, nếu cần phải có khối lượng lớn nước ngọt, làm như thế là rất khó khăn. Đó là lý do để mô hình lớn, đặc biệt là mô hình bùn cát bỏ qua yếu tố đó. Đương nhiên, nếu vấn đề nghiên cứu của mô hình có quan hệ mật thiết với nồng độ muối, ví dụ cần xác định điểm dừng của nê-môn, thì không thể bỏ qua yếu tố này.

- Chuyển động bùn cát và biến hình lòng dẫn:

Chuyển động bùn cát và biến hình lòng dẫn của mô hình triều cũng không khác nhiều so với mô hình lòng động của dòng chảy thông thường. Kết hợp đặc điểm của mô hình triều, có một số điều phải xem xét kỹ như sau:

+ Tốc độ chìm lắng của cát nguyên hình trong vùng triều chịu ảnh hưởng của hàm lượng muối trong nước biển, không thể tính toán theo công thức mà nên làm như đối với cát mô hình, tiến hành thí nghiệm trong nước đồng chất ở từng vị trí, từ đó xác định hằng số tỷ lệ vận tốc chìm lắng thực tế của cát mô hình.

+ Mô hình triều thông thường là biến thái, trong tương tự lơ lửng của bùn cát, giữa tương tự chìm lắng do đối lưu và trọng lực với tương tự chìm lắng do khuếch tán và trọng lực, không thể tránh khỏi sản sinh mâu thuẫn, từ đó sẽ dẫn đến những mâu thuẫn của một loạt các hằng số tỷ lệ. Một số thí nghiệm chứng tỏ, đối với hiện tượng xói bồi trên diện tích lớn, khi thiết kế mô hình theo nguyên tắc tương tự chìm lắng đối lưu và trọng lực, kết quả thí nghiệm về cơ bản là phù hợp với thực tế. Do đó, đối với mô hình triều biến thái có thể thiết kế mô hình theo phương trình hằng số tỷ lệ tương tự lơ lửng:

$$\frac{\lambda_u \lambda_h}{\lambda_w \lambda_l} = 1 \quad (6-1)$$

+ Mâu thuẫn giữa hằng số tỷ lệ thời gian từ tương tự dòng chảy và hằng số tỷ lệ thời gian từ tương tự biến hình lòng dẫn. Trước đây đã chỉ rõ, phải tuân thủ hằng số tỷ lệ theo tương tự dòng chảy, nhưng khi nghiên cứu biến hình lòng dẫn, hằng số tỷ lệ thời gian biến hình lòng dẫn không thể bỏ qua. Biện pháp cụ thể để giải quyết mâu thuẫn đó là dựa vào hằng số tỷ lệ thời gian dòng chảy λ_t để mở lưu lượng sóng triều, còn dựa vào hằng số tỷ lệ thời gian biến hình lòng dẫn $\lambda_{t'}$ để mở lưu lượng sông và tính toán thời gian xói bồi lòng dẫn. Do $\lambda_t < \lambda_{t'}$ nên biến suất thời gian là:

$$\theta = \frac{\lambda_{t'}}{\lambda_t} \quad (6-2)$$

θ luôn lớn hơn 1. Biến hình lòng dẫn do 1 sóng triều trong mô hình gây ra tương đương với tác dụng của θ sóng triều.

Do yếu tố ảnh hưởng phức tạp hơn mô hình dòng chảy thông thường, muốn thí nghiệm mô hình triều thu được kết quả tốt cần phải làm tốt thí nghiệm kiểm chứng. Trước hết, điều chỉnh tốt hệ số nhám mô hình, sau đó từng bước điều chỉnh hằng số tỷ lệ hàm lượng bùn cát và hằng số tỷ lệ thời gian biến hình lòng dẫn.

Thí nghiệm mô hình triều còn tồn tại vấn đề chọn dạng triều. Thường có thể chọn dạng triều liên tục có tính đại biểu trong thiên nhiên, thời gian có thể là nửa tháng hoặc 1/4 tháng. Một cách làm khác là căn cứ vào tính chất của vấn đề chọn một số dạng triều điển hình để thay thế dạng triều liên tục. Ví dụ khi nghiên cứu vấn đề bồi tích hạ lưu cống ngăn triều thì chọn con triều cao và con triều đặc biệt cao; khi nghiên cứu vấn đề xói hạ lưu thì chọn con triều cao và con triều đặc biệt thấp. Khi làm như vậy, có thể đưa thêm một hệ số hiệu chỉnh dạng triều vào trong phương trình hằng số tỷ lệ thời gian biến hình lòng dẫn, tức là:

$$\lambda_{t'} = k_{t'} \cdot \frac{\lambda_p \cdot \lambda_l}{\lambda_s \lambda_u} \quad (6-3)$$

Đối với triều trung bình, lấy $k_{t'} = 1$, đối với triều hỗn hợp bao gồm một số dạng triều điển hình thì lấy trị số gia quyền theo lượng chuyển cát khi triều dâng hoặc triều rút:

$$k_{t'} = \frac{\sum_{i=1}^n G_i}{nG} \quad (6-4)$$

Trong đó G_i là lượng chuyển cát triều dâng hoặc triều rút của dạng triều thứ i , $\bar{G}$ là lượng chuyển cát triều dâng hoặc triều rút của triều trung bình. Có thể dựa vào các số liệu thực tế vẽ đường cong quan hệ giữa chênh lệch triều và lượng chuyển cát triều dâng hoặc triều rút. Trong trường hợp giá trị n tương đối nhỏ, ví dụ $n = 3$, dùng phương trình có thể tiết kiệm nhiều khối lượng công việc.

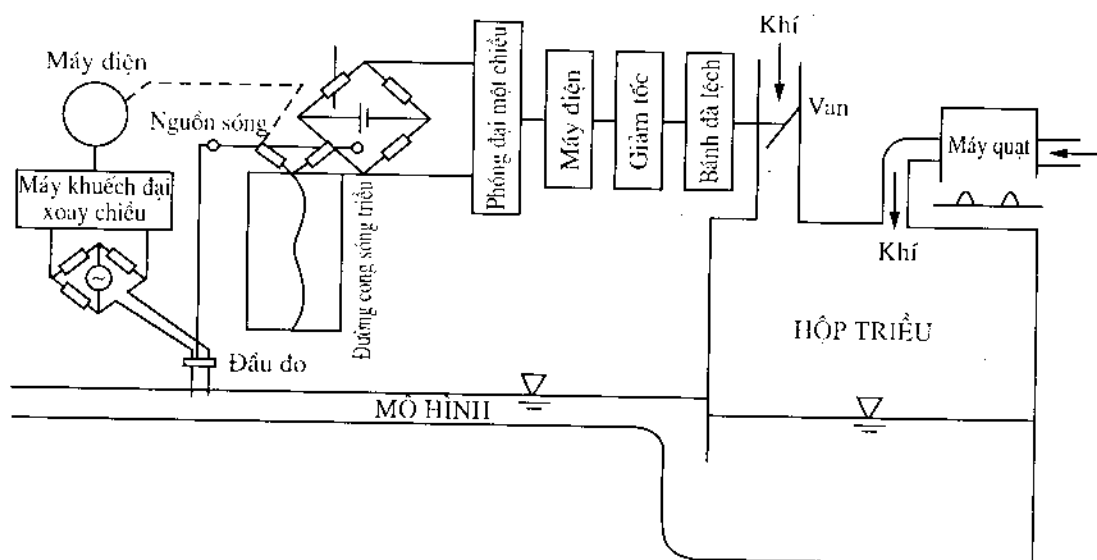
6.1.3. Thiết bị tạo triều

Thiết bị tạo triều là thiết bị chủ yếu trong mô hình cửa sông. Theo điều kiện động lực tạo triều ở biên hạ lưu mô hình, thiết bị tạo điều kiện có thể có 3 kiểu: khí áp, cửa đuôi và dịch áp.

a) Kiểu khí áp:

Thiết bị tạo triều khí áp thường gọi là "hộp triều". Nguyên tắc làm việc của hộp này là điều chỉnh áp lực của chất khí để tạo ra sự thay đổi của mực nước triều. Trong kiểu khí áp lại chia ra 2 loại: loại hút khí và loại nén khí. Do loại hút khí có nhiều khuyết điểm nên đã bị loại trừ sớm. Loại nén khí có các thiết bị chính là máy quạt, hộp triều, đường ống, van khống chế và các máy đo.

Nguyên lý làm việc là dựa theo áp lực gió, lượng gió quy định, máy quạt đưa dòng khí qua đường ống vào hộp triều, khiến cho áp lực trong hộp lớn hơn áp lực không khí. Bộ phận khống chế của máy căn cứ vào đường quá trình triều thiết kế đưa ra tín hiệu khống chế để điều tiết độ mở van tháo khí, từ đó điều tiết áp lực trong hộp, nhằm khống chế sự biến đổi lượng nước, đạt đến mục đích tái diễn quá trình triều. Hình 6-2 thể hiện sơ đồ nguyên lý thiết bị tạo triều kiểu quang điện trong mô hình cửa sông.

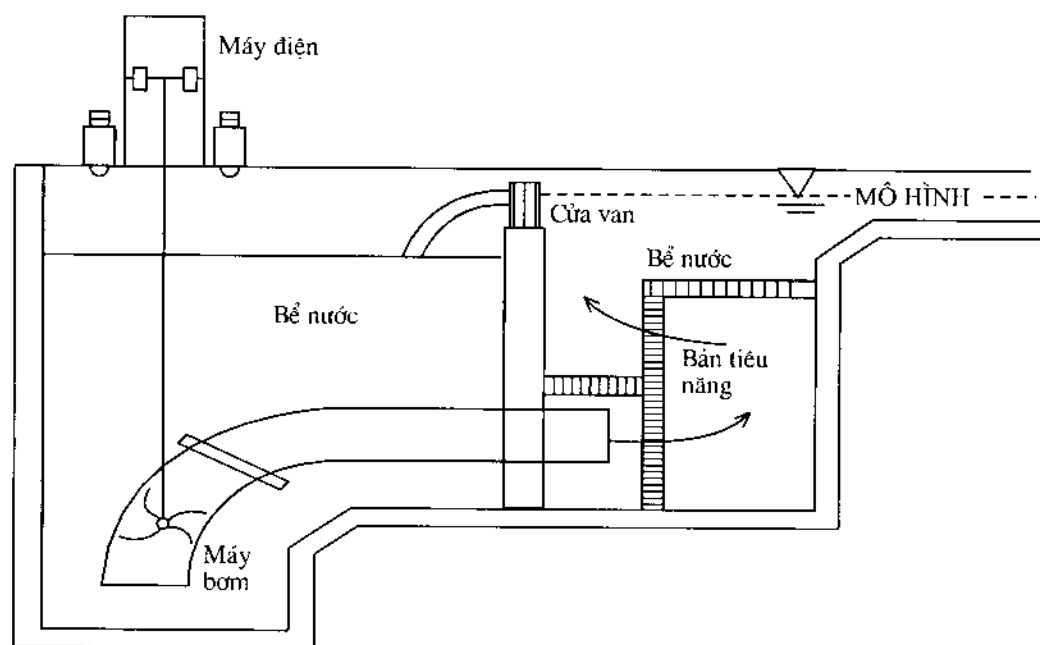


Hình 6-2: Sơ đồ nguyên lý thiết bị tạo triều kiểu quang điện

b) Kiểu cửa van đuôi:

Cấu kiện chủ yếu của thiết bị tạo triều kiểu van cửa đuôi là cửa van có thiết bị truyền động cơ giới. Theo kết cấu của cửa van có thể chia thành loại dịch chuyển ngang, loại đập tràn và loại bản lật. Thiết bị chủ yếu có máy bơm, bể nước, bể trước cửa đuôi và hệ thống khống chế máy móc. Trình tự làm việc của nó là: Máy bơm trong bể nước hút nước đưa vào bể trước, đi qua tấm tiêu năng đi vào mô hình. Cuối bể trước bố trí cửa van

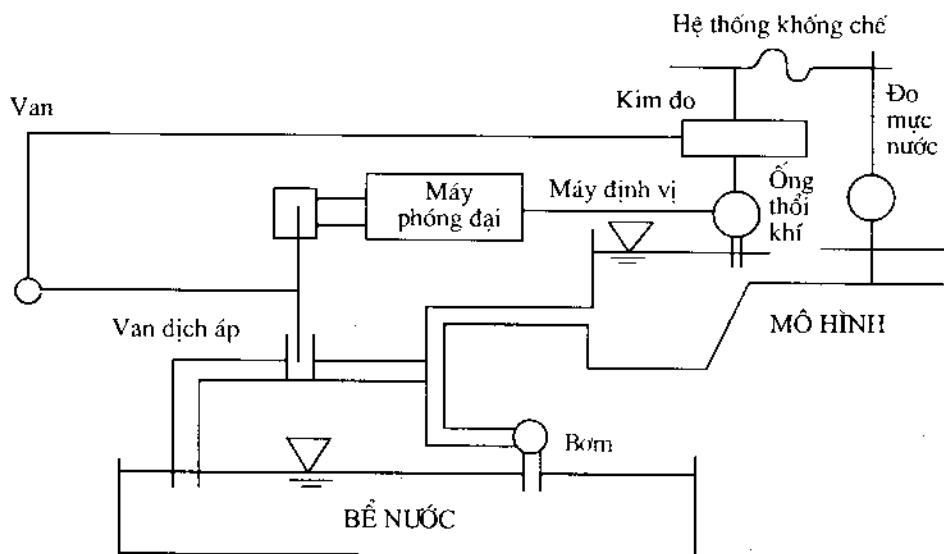
(cửa van đuôi). Từ hệ thống khống chế máy móc, căn cứ yêu cầu thiết kế khống chế độ mở của nó, quyết định lượng nước tháo ra là bao nhiêu, từ đó làm cho mực nước trong mô hình lên xuống, tái diễn hiện tượng triều. Xem hình 6-3.



Hình 6-3: Sơ đồ thiết bị tạo triều kiểu cửa van đuôi

c) Kiểu dịch áp:

Thiết bị tạo triều kiểu dịch áp chủ yếu được tạo thành bởi máy định vị, ống thổi gió, máy phóng đại dịch áp, máy bơm có van dịch áp, bể trữ nước và hệ thống khống chế (hình 6-4).



Hình 6-4: Sơ đồ nguyên lý thiết bị tạo triều kiểu dịch áp

Loại thiết bị này lần đầu tiên sử dụng ở Mỹ. Nguyên tắc làm việc của nó là: Căn cứ vào chênh lệch giữa đường cong quá trình triều đã cho và đường cong triều thực tế trong mô hình, thông qua máy sinh triều khống chế máy điện, điều chỉnh hướng chuyển động và tốc độ chuyển động của nó để thay đổi khí áp của ống thổi khí. Dùng ống thổi khí khống chế máy phóng đại dịch áp để thay đổi vị trí piston trong ống. Piston lại kéo một van mở nước, điều chỉnh độ mở của van này để sản sinh hiện tượng thủy triều trong mô hình.

Phương thức bố trí thiết bị tạo triều chủ yếu quyết định bởi đặc tính chuyển động của dòng chảy cần tái diễn. Nếu tại các điểm trên biên giới ngoài, lưu hướng dòng chảy các nơi cơ bản giống nhau, thì thiết bị tạo triều có thể bố trí dạng đường thẳng đơn giản. Nếu trên biên giới ngoài, dòng chảy có 2 hoặc hơn 2 lưu hướng khác nhau, thì thiết bị tạo triều phải chia thành các đoạn gãy khúc hoặc bố trí thành đường cong. Mỗi đoạn khống chế đều có thiết bị tạo triều riêng.

Khi làm thí nghiệm dòng chảy mang bùn cát, cần bố trí hệ thống cung cấp bùn cát ở cuối để mô phỏng bùn cát biển. Để thu được hỗn hợp bùn cát cần thiết trong mô hình, cần làm dòng chảy trong hộp triều rối động đầy đủ.

6.2. MÔ HÌNH SÓNG

Trong khu vực cửa sông và bờ biển, do mặt nước rộng, gió to bão lớn, sóng luôn là yếu tố quan trọng tác động đến diễn biến địa hình lòng dẫn và các loại công trình, cần tiến hành nghiên cứu trên mô hình sóng. Vấn đề nghiên cứu trong mô hình sóng bao gồm 2 phương diện:

- Một là, nghiên cứu tương tác giữa sóng và công trình làm căn cứ cho thiết kế: Ví dụ nghiên cứu áp lực sóng lên tường đứng, tường mái nghiêng, công trình có lỗ xuyên thông, công trình nổi v.v..., nghiên cứu lực neo của tàu thuyền đối với bến và sự ổn định của bản thân tàu thuyền.

- Hai là, nghiên cứu bồi lắng trong luồng tàu, bến cảng dưới tác dụng của sóng, điều kiện neo cập và chạy tàu. Những vấn đề ổn định của bờ, chuyển động bùn cát dọc bờ do sóng tạo ra đều thuộc loại vấn đề này.

Nghiên cứu loại vấn đề thứ nhất thường thực hiện trong mô hình mặt cắt, chỉ cần tiến hành thí nghiệm trong máng sóng, yêu cầu về hằng số tỷ lệ mô hình tương đối nhỏ, tức là mô hình có thể làm tương đối lớn mới bảo đảm độ chính xác trong quan trắc. Loại vấn đề thứ hai đều phải nghiên cứu trong mô hình tổng thể, hằng số tỷ lệ mô hình có thể lấy lớn hơn, mô hình có thể làm nhỏ hơn. Ở đây, chỉ giới hạn về loại mô hình thứ 2 này, thường được gọi là bể sóng.

6.2.1. Vấn đề chính thái và biến thái

Ngoài hình dạng và độ sâu vùng nước, hiện tượng sóng còn đề cập đến các yếu tố sóng và quá trình lan truyền của nó. Để có được sự tương tự về động thái và động lực, cần bảo đảm tốt tương tự về hình học, vì vậy mô hình sóng thường được thiết kế theo mô hình chính thái, chỉ trong trường hợp do sự hạn chế khó khắc phục của khu vực thí nghiệm hoặc yêu cầu của các điều kiện tương tự khác, mới xét đến mô hình biến thái. Những mâu thuẫn do điều đó gây ra sẽ được thảo luận ở phần sau. Trong thực tiễn đối với mô hình mặt cắt, chỉ có mô hình chính thái và hằng số tỷ lệ mô hình tương đối nhỏ, $\lambda_1 \leq 60$. Đối với mô hình tổng thể cũng phần lớn làm mô hình chính thái, khi buộc phải biến thái thì hệ số biến thái $\eta = \frac{\lambda_1}{\lambda_h} \approx 2$. Hằng số tỷ lệ tương tự hình học thường được chọn trong khoảng $60 \div 150$.

6.2.2. Phương trình hằng số tương tự

Để bảo đảm tương tự động thái và động lực, mô hình sóng cần thiết kế theo định luật tương tự Froude. Vấn đề tương tự sức cản của sóng nước sâu có thể không xét đến, nhưng đối với sóng nước nông, nhất là sóng gần bờ, tương tự sức cản về nguyên tắc phải được tuân thủ. Nhưng do vấn đề sức cản của sóng cho đến nay cũng chưa thật rõ ràng, thông thường vẫn là xác định độ nhám đáy mô hình theo kinh nghiệm.

Ví dụ: Thông thường cho rằng, khi nghiên cứu khúc xạ và nhiễu xạ của sóng, chỉ cần bảo đảm tương tự hình học về địa hình, đáy được quét nước xi măng để tạo trơn bóng bề mặt thì có thể thỏa mãn về cơ bản yêu cầu tương tự về sức cản, đó là vì độ nhám đáy nguyên hình thường nhỏ và không có biến đổi lớn. Khi đáy mô hình cần phủ cát, phải thí nghiệm điều chỉnh nhiều lần mới thực hiện được tương tự sức cản.

Phương trình hằng số tỷ lệ tương tự sức cản được suy ra từ phương trình lưu tốc dòng dọc bờ do sóng:

$$U^2 = \frac{3}{8} \frac{g H_{sb}^2 n_b m \sin \alpha_b \sin 2\alpha_b}{D_b f} = 1 \quad (6-5)$$

trong đó:

H_{sb} - chiều cao sóng vỡ ;

D_b - độ sâu nước ở vị trí sóng vỡ ;

α_b - góc truyền sóng vỡ ;

m - độ dốc đáy bờ ;

f - hệ số sức cản

$$n_b = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{4\pi \frac{D_b}{L_S}}{\sinh \frac{4\pi \cdot h_b}{L_S}} \right);$$

L_S - chiều dài sóng.

Công thức này có chứa hàm số siêu việt, phương trình hằng số tương tự của nó có thể viết như sau:

$$\lambda_{\alpha b} = 1 \quad (6-6)$$

$$\frac{\lambda_h}{\lambda_{L_S}} = 1 \quad (6-7)$$

$$\frac{\lambda_u^2 \lambda_f}{\lambda_m \lambda_{H_S}} = \frac{\lambda_u^2}{\lambda_h^2} \frac{\lambda_f}{\lambda_l} = 1 \quad (6-8)$$

Phương trình (6-6) sẽ được tự động thoả mãn khi hướng sóng trong mô hình giống với trong nguyên hình.

Phương trình (6-7) yêu cầu $\lambda_{L_S} = \lambda_h$, tức hằng số tỷ lệ tương tự chiều dài sóng bằng hằng số tỷ lệ tương tự độ sâu.

Phương trình (6-8), trong điều kiện mô hình được thiết kế theo định luật tương tự Froude ($\lambda_u = \lambda_h^{1/2}$), yêu cầu:

$$\lambda_f = \frac{\lambda_h}{\lambda_l} \quad (6-9)$$

Điều này giống với hằng số tỷ lệ tương tự sức cản dòng chảy, khó khăn của vấn đề là ở chỗ hệ số sức cản đáy của chuyển động sóng trong mô hình và nguyên hình không dễ gì xác định được.

Về vấn đề tương tự tỷ lệ lực quán tính và lực nhớt, cách làm ở đây cũng giống như ở mô hình dòng chảy thông thường, yêu cầu số Re của sóng lớn hơn một trị số nào đó, theo A.C. Ôphiserôp thì:

$$Re = \frac{U_{\max} H_S}{\nu} > 2000 \quad (6-10)$$

Trong đó $U_{\max}$ là tốc độ quỹ tích ngang cực đại của chất điểm mặt nước.

$$U_{\max} = \frac{2H_S}{T_S} \coth \frac{2\pi h}{L_S}; \quad (6-11)$$

$$n_b = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{4\pi \frac{D_b}{L_S}}{\sinh \frac{4\pi \cdot h_b}{L_S}} \right);$$

L_S - chiều dài sóng.

Công thức này có chứa hàm số siêu việt, phương trình hằng số tương tự của nó có thể viết như sau:

$$\lambda_{\alpha b} = 1 \quad (6-6)$$

$$\frac{\lambda_h}{\lambda_{L_S}} = 1 \quad (6-7)$$

$$\frac{\lambda_u^2 \lambda_f}{\lambda_m \lambda_{H_S}} = \frac{\lambda_u^2}{\lambda_h^2} \frac{\lambda_f}{\lambda_l} = 1 \quad (6-8)$$

Phương trình (6-6) sẽ được tự động thoả mãn khi hướng sóng trong mô hình giống với trong nguyên hình.

Phương trình (6-7) yêu cầu $\lambda_{L_S} = \lambda_h$, tức hằng số tỷ lệ tương tự chiều dài sóng bằng hằng số tỷ lệ tương tự độ sâu.

Phương trình (6-8), trong điều kiện mô hình được thiết kế theo định luật tương tự Froude ($\lambda_u = \lambda_h^{1/2}$), yêu cầu:

$$\lambda_f = \frac{\lambda_h}{\lambda_l} \quad (6-9)$$

Điều này giống với hằng số tỷ lệ tương tự sức cản dòng chảy, khó khăn của vấn đề là ở chỗ hệ số sức cản đáy của chuyển động sóng trong mô hình và nguyên hình không dễ gì xác định được.

Về vấn đề tương tự tỷ lệ lực quán tính và lực nhớt, cách làm ở đây cũng giống như ở mô hình dòng chảy thông thường, yêu cầu số Re của sóng lớn hơn một trị số nào đó, theo A.C. Ôphiserôp thì:

$$Re = \frac{U_{\max} H_S}{\nu} > 2000 \quad (6-10)$$

Trong đó $U_{\max}$ là tốc độ quỹ tích ngang cực đại của chất điểm mặt nước.

$$U_{\max} = \frac{2H_S}{T_S} \coth \frac{2\pi h}{L_S}; \quad (6-11)$$

$$T_S = \sqrt{\frac{2\pi L_S}{g} \coth \frac{2\pi h}{L_S}} ; \quad (6-12)$$

$$v - \text{hệ số nhớt động học.} \quad (6-13)$$

Về tương tự lực căng bề mặt, trong điều kiện sóng vỡ có tầm quan trọng nhất định, nhưng khó mà thỏa mãn yêu cầu tuân thủ chặt chẽ định luật tương tự Weber về tương tự tỷ lệ giữa lực quán tính và lực căng bề mặt:

$$\frac{\rho u^2 l^2}{\sigma l} = \frac{u^2 l}{\sigma / \rho} = \text{idem} \quad (6-14)$$

hoặc:
$$\frac{\lambda_u^2 \lambda_l}{\lambda_\sigma / \lambda_\rho} = 1 \quad (6-15)$$

trong đó: σ - suất mao quản động lực, thứ nguyên là $\left[\frac{ML}{T^2} / L \right]$.

O.Kirchmer kiến nghị độ sâu mô hình 3D ở bất kỳ điểm nào cũng không được nhỏ hơn 5 cm, chiều cao sóng không nhỏ hơn 2 cm, để tránh sự suy giảm sóng do lực căng bề mặt gây ra.

Trước đây đã chỉ rõ, mô hình tổng thể khó tránh phải làm biến thái, nếu thế thì sẽ xảy ra vấn đề gì? Dùng biến thái ở mức độ nào là có thể chấp nhận được. Chúng ta sẽ xem xét những câu hỏi đặt ra đó.

Tương tự chuyển động sóng yêu cầu tương tự về tốc độ chuyển động sóng, khúc xạ, nhiễu xạ, phản xạ và tương tự về sóng vỡ, nay phân tích những hạn chế của các yêu cầu tương tự đó đối với quan hệ hằng số tỷ lệ.

a) Tương tự khúc xạ:

Công thức tốc độ truyền sóng ở vùng nước nông có dạng chung là:

$$C = \frac{g T_S}{2\pi} \tanh \frac{2\pi D}{L_S} \quad (6-16)$$

Công thức này có dạng hàm số siêu việt, viết thành phương trình hằng số tỷ lệ như sau:

$$\frac{\lambda_c}{\lambda_{T_S}} = 1 \quad (6-17)$$

$$\frac{\lambda_D}{\lambda_{L_S}} = \frac{\lambda_h}{\lambda_{L_S}} \quad (6-18)$$

Vì $L_S = CT_S$, ta có:

$$\frac{\lambda_{L_S}}{\lambda_c \lambda_{T_S}} = 1 \quad (6-19)$$

Từ đó nhận được:

$$\lambda_c = \lambda_{T_S} = \lambda_{L_S}^{1/2} = \lambda_h^{1/2} = \lambda_u \quad (6-20)$$

Có nghĩa là, hằng số tỷ lệ chiều dài sóng λ_{L_S} và hằng số tỷ lệ kích thước thẳng đứng λ_h bằng nhau. Trong trường hợp đó, hằng số tỷ lệ tốc độ truyền sóng λ_c bằng hằng số tỷ lệ chu kỳ sóng λ_{L_S} , cũng bằng số lưu tốc λ_u .

Khi sóng tiến vào bờ, do độ sâu thay đổi, hướng sóng và tốc độ sóng đều thay đổi (hình 6-5). Trong điều kiện chu kỳ sóng T_S không đổi, quan hệ giữa góc khúc xạ α và tốc độ truyền sóng C như sau:

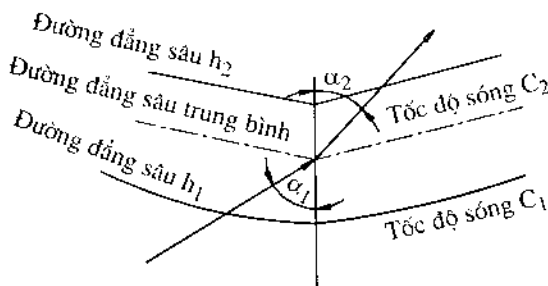
$$\frac{\sin \alpha_2}{\sin \alpha_1} = \frac{C_2}{C_1} \quad (6-21)$$

Trong đó α là góc giữa hướng sóng và pháp tuyến của đường đồng mức, ký hiệu 1 biểu thị sóng tới, 2 biểu thị sóng khúc xạ. Viết phương trình hằng số tỷ lệ ta có:

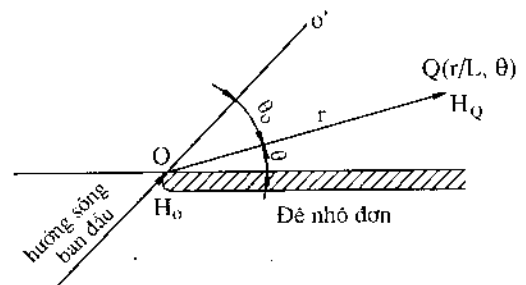
$$\lambda_{\alpha_2} = 1, \quad \lambda_{\alpha_1} = 1 \quad (6-22)$$

$$\lambda_{c_2} = \lambda_{c_1} \quad (6-23)$$

Vì vậy, tương tự khúc xạ yêu cầu góc tia tới và góc khúc xạ trong mô hình bằng với yếu tố tương ứng trong nguyên hình, và yêu cầu hằng số tỷ lệ của tốc độ sóng tới bằng hằng số tỷ lệ của tốc độ sóng khúc xạ, nghĩa là có cùng một hằng số tỷ lệ về tốc độ truyền sóng. Từ (6-20) có thể thấy, điều đó yêu cầu $\lambda_{L_S} = \lambda_h$.



Hình 6-5: Khúc xạ sóng



Hình 6-6: Hiện tượng nhiễu xạ sóng tại đê nhỏ đơn

b) Tương tự nhiễu xạ:

Trong quá trình lan truyền, khi gặp phải công trình hoặc cồn, đảo, sóng sẽ phát sinh nhiễu xạ. Chiều cao sóng sau chướng ngại vật sẽ bị suy giảm, càng truyền đi xa càng giảm nhiều hơn. Hình 6-6 là sơ đồ nhiễu xạ sau một đê nhỏ đơn. Giả thiết độ sâu trong và ngoài đê không đổi. Sóng tại đầu đê có độ cao H_{S_0} , hướng sóng $00'$, tạo với trục OX một góc θ_0 . Tại 1 điểm bất kỳ Q trong vùng che chắn của đê (toạ độ cực là r, θ), hệ số nhiễu xạ k_0 biểu thị tỷ số giữa chiều cao sóng tại điểm $Q(H_{SQ})$ và chiều cao sóng ban đầu H_{S_0} .

$$k_0 = \frac{H_{SQ}}{H_{S_0}} \quad (6-24)$$

Lấy ví dụ đê nhỏ đơn trong hình 6-6 là đê mái nghiêng, trong vùng che chắn của nó (vùng giữa hướng sóng $00'$ và trục đê OX), công thức tính hệ số nhiễu xạ là:

$$k_Q = \frac{1}{2} \left[e^{-\frac{3}{4} \sqrt{\frac{r}{L_S}} (\theta_0 - \theta)} + e^{-\frac{3}{4} \sqrt{\frac{r}{L_S}} (\theta_0 + \theta)} \right] \quad (6-25)$$

Đó cũng là một hàm siêu việt, viết thành phương trình bằng số tỷ lệ như sau:

$$\lambda_{k_Q} = 1$$

$$\lambda_r = \lambda_l = \lambda_{L_S} \quad (6-26)$$

$$\lambda_{\theta_0} = 1 \quad (6-27)$$

$$\lambda_{\theta_0} = \lambda_0 \quad (6-28)$$

Có nghĩa là muốn cho hằng số tỷ lệ chiều cao sóng trong vùng che chắn $\lambda_{H_{SQ}}$ bằng hằng số tỷ lệ chiều cao sóng tới ngoài đê $\lambda_{H_{S_0}}$, yêu cầu $\lambda_{k_Q} = 1$. Để làm được điều đó, hằng số tỷ lệ chiều dài sóng cần bằng hằng số tỷ lệ kích thước theo chiều nằm ngang. Ngoài ra, còn yêu cầu sóng tới có hướng không đổi, vị trí có chiều cao sóng H_{S_0} trong vùng che chắn có toạ độ cực tương ứng giữa mô hình và nguyên hình.

c) Tương tự phản xạ:

Sóng gặp đê tường đứng sẽ phát sinh phản xạ (hình 6-7). Phương trình mặt sóng của sóng tới và sóng phản xạ là:

$$\rho = a \sin (kx + \sigma t) = a \sin k (x + ct) \quad (6-29)$$

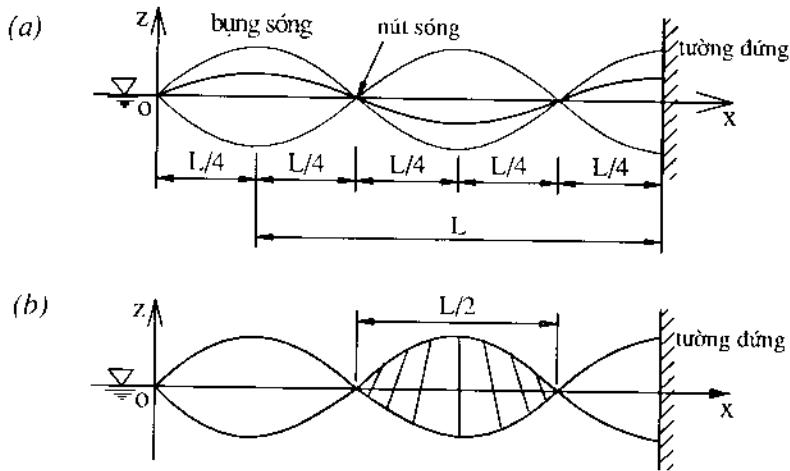
trong đó:

ρ - độ cao của chất điểm bề mặt nước ;

a - biên độ ;

k - số sóng, $k = \frac{2\pi}{L_S}$;

σ - tần số sóng ; $\sigma = \frac{2\pi}{T_S}$.



Hình 6-7: Sóng phản xạ trước tường đứng

a) Thay đổi bề mặt tự do; b) Quỹ tích chất điểm bề mặt

Sóng tới và sóng phản xạ chồng lên nhau thành sóng đứng. Các phương trình hằng số tỷ lệ như sau:

$$\frac{\lambda_p}{\lambda_\alpha} = 1 \quad (6-30)$$

$$\frac{\lambda_l}{\lambda_{LS}} = 1 \quad (6-31)$$

$$\frac{\lambda_c \lambda_l}{\lambda_{LS}} = 1 \text{ hoặc } \frac{\lambda_l}{\lambda_{TS}} = 1 \quad (6-32)$$

trong đó:

$\frac{\lambda_p}{\lambda_\alpha} = 1$ biểu thị hằng số tỷ lệ về độ cao của 1 điểm bất kỳ phải bằng số tỷ lệ về biên

độ dao động ;

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_{TS}} = 1 \text{ biểu thị hằng số tỷ lệ thời gian bằng số tỷ lệ chu kỳ sóng ;}$$

Hai điều đó là hiển nhiên.

$$\frac{\lambda_c \lambda_1}{\lambda_{LS}} = \frac{\lambda_c \lambda_{TS}}{\lambda_{LS}} = 1 \text{ biểu thị quan hệ giữa hằng số tỷ lệ tốc độ truyền sóng, hằng số tỷ}$$

lệ chiều dài sóng và hằng số tỷ lệ chu kỳ sóng hoặc hằng số tỷ lệ thời gian. Trước đây khi xét đến tương tự vận tốc truyền sóng đã nói rõ, trên thực tế nó là căn cứ để xác định hằng số tỷ lệ thời gian chuyển động của sóng, có hàm nghĩa thống nhất với tỷ lệ thời gian theo điều kiện dòng chảy. Vì vậy, yêu cầu duy nhất có tính thực chất đối với tương tự phản xạ sóng là $\lambda_{LS} = \lambda_1$.

d) Tương tự sóng vỡ.

Sóng vỡ có quan hệ nhiều với sự biến hóa của độ dốc sóng H_S/L_S . Để có tương tự sóng vỡ thì độ dốc sóng phải tương tự, tức là:

$$\lambda_{HS} = \lambda_{LS} = \lambda_h \quad (6-33)$$

Hiển nhiên, do trong mô hình khó đạt được chuẩn xác về sức căng bề mặt và độ nhám đáy, nên tương tự sóng vỡ cũng chỉ là gần đúng.

Tóm lại: Để có được tương tự về các yếu tố sóng, mô hình cần làm chính thái, hướng sóng ban đầu của mô hình phải giống với nguyên hình, hằng số tỷ lệ chiều dài sóng và chiều cao sóng nên giống nhau, tuân thủ định luật tương tự Froude.

Khi bắt đầu dĩ phải làm mô hình biến thái, tương tự của các yếu tố sóng không thể được thỏa mãn đồng thời. Khi lấy hằng số tương tự chiều dài sóng bằng hằng số tương tự trên mặt phẳng nằm ngang, tương tự nhiễu xạ và phản xạ mới có thể bảo đảm. Nhưng do hằng số tỷ lệ chiều dài sóng không bằng hằng số tỷ lệ phương thẳng đứng sẽ ảnh hưởng đến tương tự của tốc độ sóng, khúc xạ và tương tự sóng vỡ. Ngoài ra, chiều dài sóng mô hình tương đối ngắn, độ khó để chế tạo máy tạo sóng sẽ lớn, nhưng thông thường máy tạo sóng kiểu bản đẩy, chu kỳ sóng nhỏ hơn $(0,5 \div 0,6)S$, sóng tạo ra không ổn định. Ngược lại, nếu lấy hằng số tỷ lệ chiều dài sóng không bằng hằng số tỷ lệ mặt phẳng nằm ngang, mà lại bằng hằng số tỷ lệ theo phương thẳng đứng, thì hiệu quả sẽ ngược lại.

Khi sử dụng mô hình biến thái, độ dốc sóng trong mô hình không thể vượt qua $1/7$. Nếu không, sóng sẽ vỡ, thường chỉ có thể đạt khoảng $1/10$. Xét đến độ dốc sóng ở biển ngoài khoảng $1/20 \div 1/30$, sóng trong hồ chứa có độ dốc $1/15 \div 1/20$, nên hạn chế hệ số biến thái trong khoảng 2.

6.2.3. Tương tự chuyển động bùn cát

Về tương tự chuyển động bùn cát, giống như dòng chảy mang cát bình thường, yêu cầu tương tự về chuyển động lơ lửng, cần thỏa mãn điều kiện:

$$\frac{\lambda_w \lambda_l}{\lambda_u \lambda_h} = 1 \quad (6-34)$$

Cũng yêu cầu tương tự về khởi động:

$$\frac{\lambda_{uc}}{\lambda_u} = 1 \quad (6-35)$$

Do trong dải sóng vỡ dọc bờ, rối động dòng chảy rất mạnh, khởi động của bùn cát không có vấn đề gì, có khi bỏ qua yêu cầu đó. Trên thực tế, do trị số sai khác giữa lưu tốc thực tế và lưu tốc khởi động ảnh hưởng lớn đến sức tải bùn cát, đặc biệt đối với bùn cát đáy, bỏ qua yêu cầu đó sẽ ảnh hưởng nhất định đến tương tự về tải cát. Công thức (6-34) và (6-35) chủ yếu dùng để chọn cát mô hình, cách làm của nó tương tự như trong mô hình sông ngòi bình thường.

Nếu đáy biển tồn tại dòng dị trọng, cần phải xét đến tương tự Froude mật độ, tức:

$$\frac{\lambda_u}{\sqrt{\frac{\lambda_{p'-p} \lambda_h \lambda_g}{\rho}}} = 1 \quad (6-36)$$

trong đó ρ' là mật độ dòng dị trọng.

Còn hằng số tỷ lệ thời gian biến hình lòng dẫn cũng giống như trong mô hình lòng động bình thường, được suy ra từ phương trình biến hình lòng sóng.

Tương tự tải cát của dòng chảy được suy ra từ phương trình tải cát trong dải sóng vỡ:

$$S = k \frac{\rho_s}{\rho_s - \rho} \frac{H_{sb}^2}{8Bh} \frac{C_{gb}}{W} \cos \alpha_b \quad (6-37)$$

trong đó:

C_{gb} - tốc độ sóng của quần thể sóng vỡ;

α_b - góc sóng vỡ;

K - hệ số, tùy thuộc là bùn cát lơ lửng hay bùn cát đáy.

Ta có:

$$\lambda_S = \frac{\lambda_{\rho_s}}{\frac{\lambda_{\rho_s - \rho}}{\rho}} \frac{\lambda_h}{\lambda_l} \frac{\lambda_{c_{gb}}}{\lambda_w} = \frac{\lambda_{\rho_s}}{\frac{\lambda_{\rho_s - \rho}}{\rho}} \quad (6-38)$$

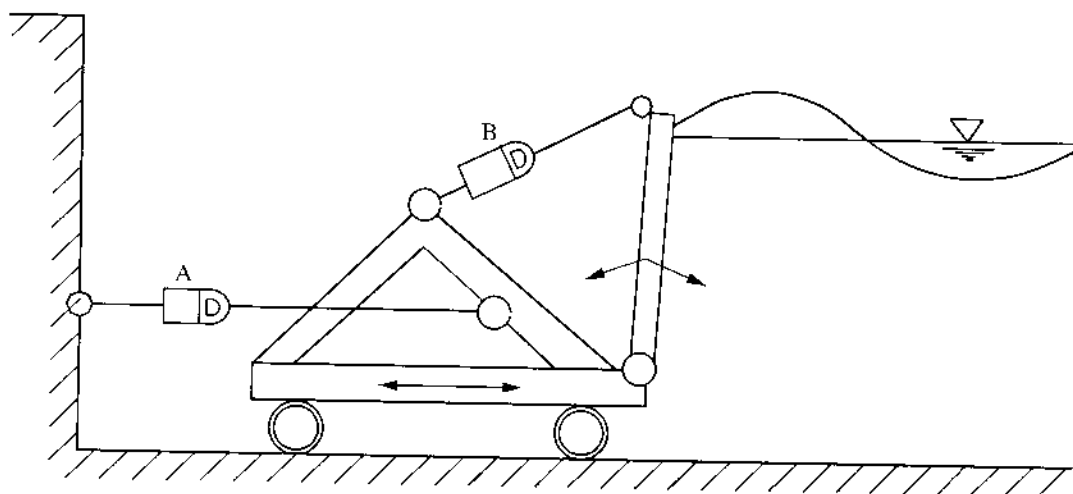
Quan hệ trên có được trong điều kiện $\lambda_{LS} = \lambda_l$, $\lambda_c = \lambda_u$

Do công thức tính toán lượng tải cát dọc bờ biển còn nghiên cứu chưa được đầy đủ, cho nên khi giải quyết các vấn đề thực tế cần thông qua đo đạc hiện trường và thí nghiệm kiểm định, luận chứng các kết quả thu được để xác định hằng số tỷ lệ chuyển cát hoặc hàm lượng bùn cát.

6.2.4. Máy tạo sóng

Máy tạo sóng trong mô hình cũng gọi là máy sinh sóng, có cấu kiện chủ yếu là bản đẩy. Phương thức chuyển động của bản đẩy có 3 loại: Kéo đẩy đơn thuần, lắc lư đơn thuần và hỗn hợp kéo đẩy và lắc lư. Ba phương thức chuyển động của bản đẩy phân biệt tạo ra sóng nước nông, sóng nước sâu và sóng giữa 2 loại trên.

Hình 6-8 thể hiện bản đẩy tạo sóng trong hệ thống dịch áp kép và bộ phận chuyển động của nó.

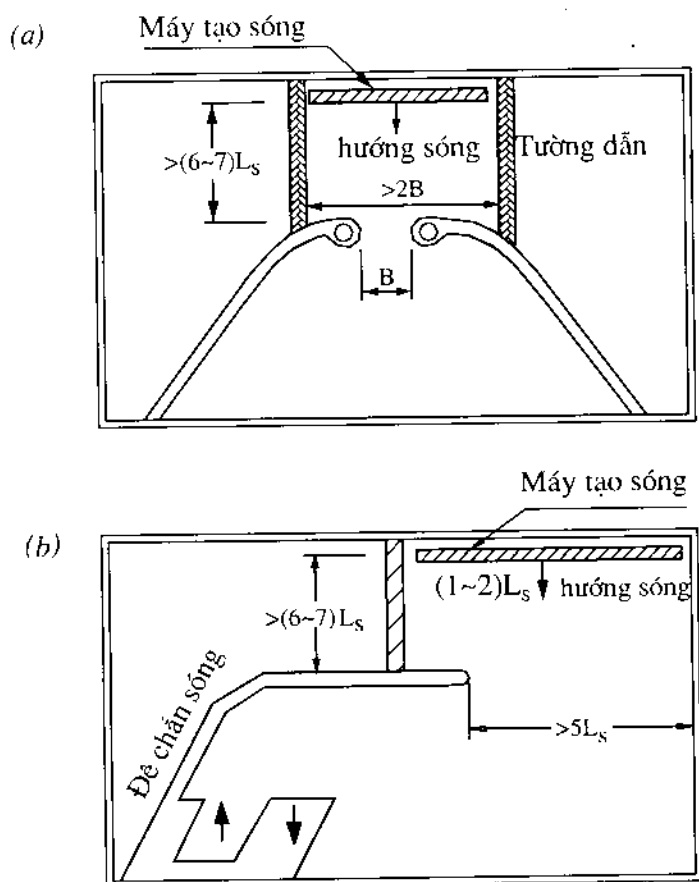


Hình 6-8: Sơ đồ bản đẩy máy sinh sóng kiểu dịch áp kép và bộ phận chuyển động của nó.

Đáy của bản đẩy liên kết khớp với một xe có thể dịch chuyển tiến lùi. Khi piston A làm việc đơn độc, bản đẩy cùng chuyển động với xe, sinh ra sóng nước nông. Khi piston B làm việc đơn độc, xe đứng yên, bản đẩy chuyển động lắc lư, sản sinh sóng nước sâu. Khi cả 2 piston A và B chuyển động theo một quy trình khống chế tỷ lệ khác nhau, sẽ tạo được các loại sóng quá độ khác nhau. Quan hệ giữa chuyển động của bản và sóng do nó sản sinh là khá phức tạp, trị số lý thuyết và trị số thực đo có thể không phù hợp với nhau, cần điều chỉnh nhiều lần để tìm ra cách thức chuyển động của bản đẩy để tạo ra sóng thiết kế.

Ngoài máy tạo sóng kiểu trên, còn có máy tạo sóng cơ học và máy tạo sóng khí áp.

Để khiến cho năng lượng sóng đến cửa bể cảng một cách ổn định, khoảng cách giữa máy tạo sóng và cửa cảng không nên nhỏ hơn $6 \div 7$ lần chiều dài sóng. Để sóng phản xạ từ đê chắn sóng không ảnh hưởng đến máy sinh sóng, dẫn đến sóng không ổn định, cần bố trí tường định hướng như trong hình 6-9 a và b thể hiện:



Hình 6 - 9 : Sơ đồ bố trí tường định hướng
a) Đê chắn sóng kép; b) Đê chắn sóng đơn

Trong điều kiện 4 bề bể cảng và mái ngoài đê chắn sóng đều là mái nghiêng, sóng không bị phản xạ, có thể sử dụng tường định hướng đứng, nếu không, phải làm tường định hướng mái nghiêng. Khoảng cách giữa cửa cảng và tường định hướng nên mở rộng thích hợp, trong một số tình huống cần phải bố trí tường xấp để tiêu năng.

6.3. MÔ HÌNH KHÍ

6.3.1. Đặc điểm mô hình khí

Thí nghiệm mô hình thủy lực, do hạn chế của các điều kiện tương tự, luôn yêu cầu làm mô hình với quy mô lớn, các thiết bị thí nghiệm tương đối phức tạp, do đó đầu tư

thường lớn, khối lượng công việc nhiều, thời gian kéo dài. Những điều đó làm cho việc sử dụng mô hình thủy lực để nghiên cứu các vấn đề thực tế bị hạn chế, đặc biệt trong giai đoạn nghiên cứu khả thi, thiết kế sơ bộ, khó phát huy hiệu quả.

Mô hình khí có thể làm được với kích thước rất nhỏ, thiết bị thí nghiệm cũng tương đối đơn giản, do đó đầu tư ít, thời gian ngắn, có thể ở một mức độ nào đó bổ sung những khiếm khuyết của mô hình thủy lực. Loại mô hình này mặc dầu phạm vi giải quyết vấn đề không rộng như mô hình thủy lực, độ chính xác cũng kém hơn, nhưng lại có những ưu điểm kể trên, nên vẫn có những giá trị thực dụng nhất định, có tác dụng bổ trợ cho mô hình thủy lực.

Mô hình khí phải làm thành mô hình có áp, mặt nước tự do của dòng sông tự nhiên được thay thế bằng tấm vật liệu trơn nhẵn như kính, có tác dụng như một tấm trần cố định của mô hình. Đặc điểm đó làm cho các vấn đề nghiên cứu trong mô hình khí phải có mặt nước tự do đã biết trước và mặt nước đó là một mặt phẳng. Ngoài ra, đặc điểm đó làm cho mô hình khí không thể tùy ý nghiên cứu các trường hợp sông thiên nhiên với lưu lượng khác nhau. Trên sông thiên nhiên, khi thay đổi lưu lượng, vị trí đường mặt nước cũng thay đổi tương ứng, còn "mặt nước" của mô hình khí là một tấm trần cố định, không thể thay đổi theo lưu lượng. Như vậy, khi nghiên cứu các lưu lượng khác nhau của một dòng sông thì phải thay đổi vị trí của tấm trần cố định đó. Đương nhiên việc thay đổi đó không phải là không có khả năng, nhưng cũng tương đối phiền phức.

Dùng một tấm cứng trong suốt thay thế cho mặt phân giới giữa nước và khí tất nhiên làm cho phân bố lưu tốc trên thủy trục ở gần biên không thể thực hiện được tương tự hoàn toàn. Vì vậy phải có biện pháp để khắc phục. Ví dụ, tăng mặt cắt lưu thông lên một độ dày nhất định hoặc coi mặt nước là một mặt phẳng đối xứng, phía trên mặt nước chỉ tạo thành mặt cắt ảnh kính đối xứng. Những biện pháp đó tuy có thể tăng thêm độ chính xác nhưng mang lại khó khăn tương đối lớn, trong thực tế ít sử dụng.

Căn cứ vào những đặc điểm nói trên của mô hình khí, các vấn đề thường hạn chế trong các trường hợp: nghiên cứu lưu tốc trung bình hay sự phân bố theo phương ngang của lưu lượng trên đơn vị rộng, hay các vấn đề kết cấu dòng chảy, chủ yếu là kích thước và hình dạng của các dòng thứ cấp trong trạng thái tự nhiên hay khi chịu tác dụng của các công trình như mỏ hàn, đê hướng dòng, đê vây, luồng đào v.v... Các vấn đề của khu vực đập có mực nước không đổi cũng có thể nghiên cứu trong mô hình khí.

6.3.2. Các phương trình hằng số tương tự

Sở dĩ có thể dùng chuyển động của dòng khí có áp để mô phỏng chuyển động của dòng nước không áp là xuất phát từ tính tương tự của hai chuyển động đó trong các điều kiện nhất định. Do trong mô hình khí thông thường, vận tốc gió không vượt quá 80m/s, áp suất tương đối không quá $(1,5 \div 0,6)$ m cột nước, nhiệt độ không vượt quá 40°C, khối lượng riêng của chất khí có thể coi như không đổi, quy luật chuyển động

của nó về cơ bản coi như giống với dòng nước. Chỉ khác là ở chỗ chuyển động của dòng nước tác động chủ yếu là trọng lực, còn chuyển động của dòng khí thì áp lực có tác động chính.

Để dễ suy diễn phương trình hằng số tỷ lệ, chuyển động của dòng khí có thể viết phương trình dạng sau:

$$-\frac{d}{dx}\left(\frac{P}{\gamma_a}\right) = \frac{U^2 f}{8gh} + \frac{d}{dx}\left(\frac{U^2}{2g}\right) \quad (6-39)$$

trong đó: $\frac{P}{\gamma_a}$ là cột khí áp lực, về hình thức có thể lấy $\frac{P}{\gamma_a} = Z$, nên phương trình

(6-39) sẽ biến thành phương trình chuyển động không đều thông thường:

$$-\frac{dZ}{dx} = \frac{U^2 f}{8gh} + \frac{d}{dx}\left(\frac{U^2}{2g}\right) \quad (6-40)$$

Trong đó Z trong mô hình là cao trình mặt cột khí, trong nguyên hình là cao trình mặt nước. Khi lấy mặt chuẩn là nơi áp lực bằng áp lực không khí và sử dụng phương thức hút khí đưa dòng khí đi vào mô hình, Z' có giá trị âm, trị số tuyệt đối của nó từ cửa vào trở đi tăng dần theo dọc đường, cao trình mặt cột khí thấp dần dọc đường. Đáng chú ý là trị số Z trong nguyên hình có liên quan trực tiếp đến hằng số tỷ lệ theo phương trình thăng đúng của mặt cắt ướt, còn trị số Z trong mô hình thì không có quan hệ gì.

Chuyển hóa tương tự đối với phương trình (6-40) có thể suy ra 2 phương trình hằng số tương tự sau:

$$\frac{\lambda_u^2 \lambda_f \lambda_l}{\lambda_z \lambda_h} = 1 \quad (6-41)$$

$$\frac{\lambda_u^2}{\lambda_z} = 1 \quad (6-42)$$

Phân tích phương trình (6-42) có thể thấy, do hằng số tỷ lệ độ cao cột nước và cột khí λ_z không nhất thiết phải bằng hằng số tỷ lệ độ sâu λ_h , trên thực tế phương trình này chưa tạo tác dụng ràng buộc nào đối với hằng số tỷ lệ lưu tốc λ_u .

Dưới tiền đề thoả mãn điều kiện (6-42), từ phương trình (6-41) có thể suy ra:

$$\lambda_f = \frac{\lambda_h}{\lambda_l} \quad (6-43)$$

Đó là điều thống nhất với hằng số tỷ lệ hệ số sức cản dòng chảy của mô hình biến thái thông thường. Nếu là mô hình chính thái thì:

$$\lambda_r = 1 \quad (6-44)$$

Trong trường hợp phương trình (6-42) không được thỏa mãn, hằng số tỷ lệ hệ số sức cản nên trực tiếp suy ra từ (6-41).

Ràng buộc chủ yếu của việc chọn hằng số tỷ lệ lưu tốc mô hình khí là tốc độ gió trong mô hình phải lớn đến mức làm cho dòng khí ở khu bình phương sức cản. Do tốc độ gió trong mô hình có thể đạt đến trị số rất lớn, mặc dầu kích thước mô hình tương đối nhỏ, việc đó không khó thực hiện, Ví dụ, nếu lưu tốc đạt 20m/s, độ sâu 0,10m, nhiệt độ 20°C, hệ số nhớt động học ở 1 atmosfer là $15,7 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, số Re đạt $12,7 \times 10^4$ là có thể bảo đảm dòng rối ở khu bình phương sức cản. Trong điều kiện số Re đạt yêu cầu, thông qua việc chọn lựa vật liệu làm vách mô hình và độ sâu mô hình, để độ nhám tuyệt đối của mô hình thỏa mãn yêu cầu hằng số tỷ lệ chiều thẳng đứng là điều có thể làm được.

Do độ nhám tuyệt đối của nguyên hình khó biết được chính xác, thông thường có thể căn cứ vào số liệu thực tế suy ra hệ số Chézy C của nguyên hình, từ đó tính toán hệ số sức cản của nguyên hình f_N .

$$f_N = \frac{8g}{C_N^2} \quad (6-45)$$

Hệ số sức cản mô hình f_M tính toán như sau:

$$f_M = \frac{8g}{C_M^2} = \frac{8g}{A^2} \left(\frac{\Delta}{h} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (6-46)$$

trong đó Δ là độ nhám tuyệt đối của mô hình. Khi vật liệu mô hình là hỗn hợp của đất sét và thạch lap, $\Delta \approx 0,2\text{mm}$, hằng số tỷ lệ hệ số sức cản tính toán ra theo phương pháp đó sẽ thỏa mãn yêu cầu phương trình (6-43) và (6-44).

Phải chỉ ra rằng, do độ nhám vách tường ảnh hưởng đến kết cấu dòng chảy không phải là lớn, kết quả trên chỉ có ý nghĩa tham khảo. Khi lựa chọn hằng số tỷ lệ kích thước thẳng đứng, cần kết hợp độ chính xác khi chế tạo mô hình để xem xét. Thông thường độ chính xác chế tạo mô hình trên phương thẳng đứng có thể đạt khoảng 0,5 mm, muốn sai số không quá 5% thì độ sâu phải đạt trên 10 mm.

Còn kích thước trên mặt bằng của mô hình, nói chung không nên vượt quá (1 ÷ 2) m, quá lớn sẽ gặp khó khăn trong chế tạo mô hình. Hằng số tỷ lệ mặt bằng của mô hình khí tốt nhất nên lấy bằng hằng số tỷ lệ phương thẳng đứng, tức là mô hình chính thái. Nếu điều kiện khách quan không thể không biến thái thì phải phân tích cụ thể để lựa chọn hợp lý.

Lượng cấp khí của mô hình có giới hạn dưới và giới hạn trên. Giới hạn dưới của lượng cấp khí nên lấy việc bảo đảm trong mô hình dòng gió có đủ lưu tốc, đạt khu bình phương sức cản làm căn cứ; còn để xác định giới hạn trên của lượng cấp khí, thì căn cứ là điều kiện bảo đảm tốc độ gió không vượt quá 80 m/s, để tránh khối lượng riêng của chất khí không có thay đổi lớn.

Sự tính đối giữa lưu tốc thực đo của mô hình (lưu tốc trung bình thủy trực) và lưu tốc nguyên hình được căn cứ vào phương trình hằng số tỷ lệ suy ra từ phương trình liên tục:

$$\lambda_U = \frac{\lambda_Q}{\lambda_l \lambda_h} \quad (6-47)$$

hoặc:
$$U_N = \frac{\lambda_Q}{\lambda_l \lambda_h} U_M \quad (6-48)$$

Vì vậy, chỉ cần đo được lưu lượng khí trong mô hình, sau khi tìm được λ_Q sẽ có thể tính đối.

Để thí nghiệm mô hình khí thu được kết quả tốt, việc chế tạo và vận hành mô hình cần phải rất chu đáo.

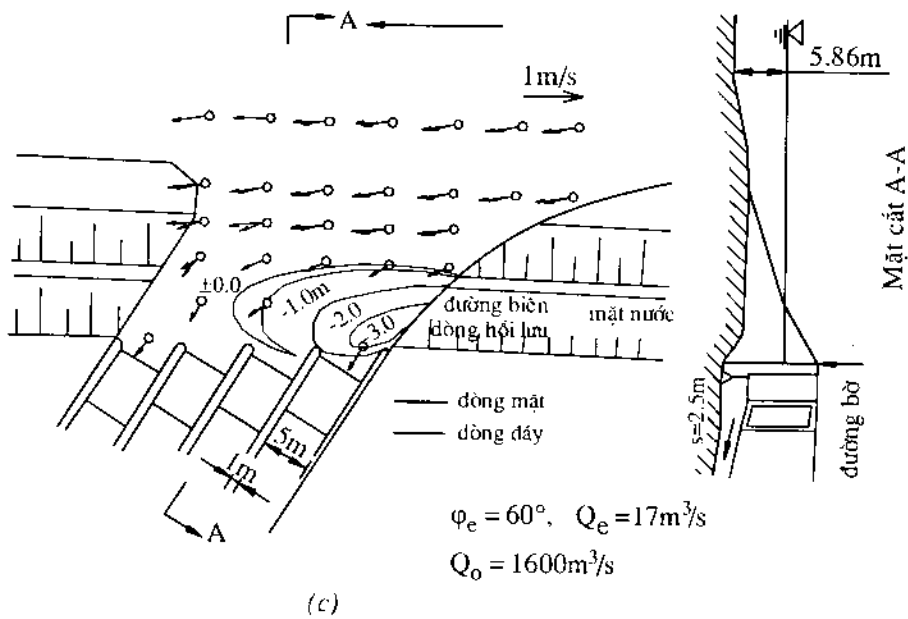
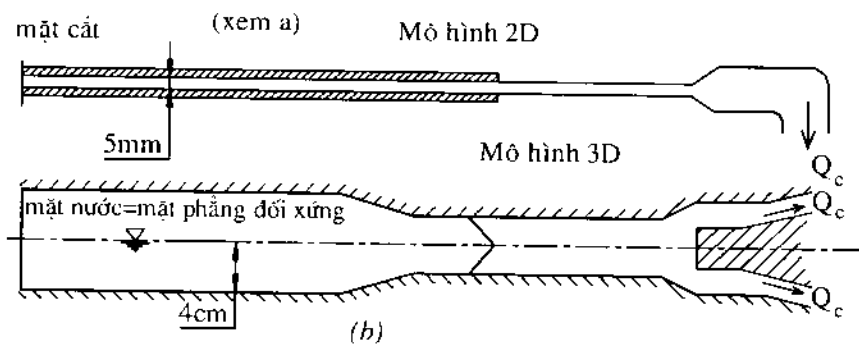
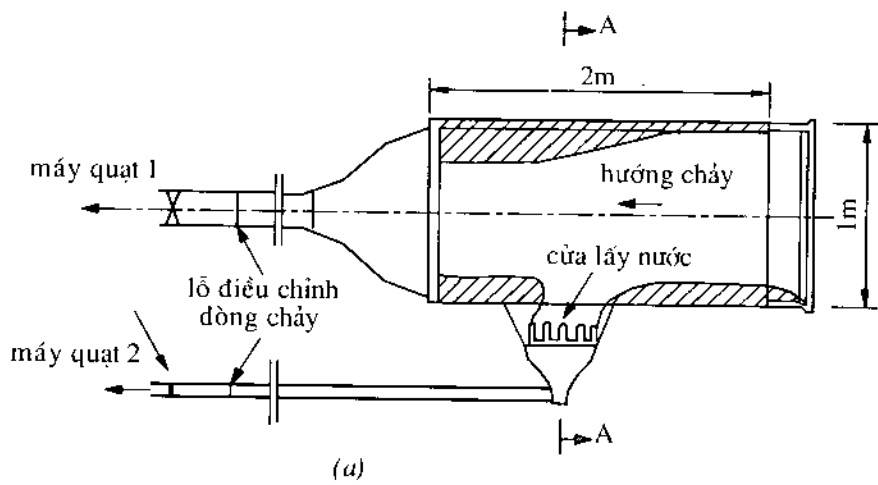
Mô hình khí thường được đặt trên bệ, bệ được làm bằng gỗ tốt, liên kết chắc chắn, bề mặt trơn nhẵn để không phát sinh biến dạng, chuyển vị lớn. Lòng dẫn mô hình thường được chế tạo bằng các hỗn hợp đất sét, thạch lap, nhựa thông, nhựa đường đun nóng. Sau khi lấp đặt xong cốt pha, đổ vật liệu kín đầy khuôn, khi nguội thì cạo phẳng. Bề mặt mô hình nên sơn màu đỏ hoặc đen và quang dầu để dễ chụp ảnh. Mô hình còn phải xác định trước vị trí đặt lỗ đo lưu tốc, lỗ đo áp, lỗ tạo khối đo trạng thái chảy và các thiết bị chỉ thị đường dòng khác. Trạng thái chảy hiển thị trên tấm kính trong có thể tô theo bằng các loại thuốc vẽ mau khô để quan sát và chụp ảnh.

6.3.3. Ví dụ

Hình 6-10 giới thiệu mô hình khí nghiên cứu cửa lấy nước trên sông Rhin. Đó là một cửa lấy nước để làm lạnh cho một nhà máy, nghiên cứu mô hình để xác định dạng cửa lấy nước, giảm nhẹ bồi lắng trước cửa. Đã tiến hành 2 nhóm thí nghiệm mô hình khí:

- Nhóm 1 là mô hình được gọi là 2D, chỉ bao gồm 2 tấm bằng phẳng trên và dưới tạo thành, để mô phỏng hình dạng trên mặt bằng. Hằng số tỷ lệ hình học là $\lambda_l = 50$.

- Nhóm 2 là mô hình 3D, gần phần đáy được đắp theo địa hình tự nhiên, bề mặt là tấm kính. Lấy kích thước dòng hồi lưu hình thành ở vùng gần bờ bên trái cửa lấy nước làm căn cứ để phán đoán kích thước của khu bồi tích và chọn hình dạng cửa lấy nước.



Hình 6-10 : Mô hình khí nghiên cứu cửa lấy nước trên sông Rhin
 a) Mặt bằng mô hình 2D ; b) Mặt cắt dọc mô hình 2D và 3D;
 c) Phân bố lưu tốc trước cửa lấy nước khi có lưu lượng trung bình

Chương VII

THIẾT BỊ VÀ VẬN HÀNH THÍ NGHIỆM MÔ HÌNH SÔNG

Trong 6 chương trước chúng ta đã thảo luận một cách có hệ thống cơ sở lý thuyết và phương pháp thiết kế của thí nghiệm mô hình công trình sông, nhưng khi tiến hành cụ thể công tác thí nghiệm còn cần phải có điều kiện thí nghiệm và kỹ thuật thí nghiệm.

Chương này sẽ giới thiệu vắn tắt các vấn đề đó, nhưng chỉ hạn chế trong mô hình dòng chảy và bùn cát, không đi sâu thêm các vấn đề riêng của thí nghiệm chuyên đề. Những năm gần đây, do những tiến bộ vượt bậc trong khoa học kỹ thuật đã được ứng dụng trong tự động hóa khống chế, thu thập số liệu, chỉnh lý số liệu của thí nghiệm mô hình, công tác thí nghiệm đã được đổi mới nhanh chóng, ở đây không thể giới thiệu hết, chỉ trình bày một số nét cơ bản.

7.1. TRANG THIẾT BỊ CỦA KHU THÍ NGHIỆM MÔ HÌNH

Nơi tiến hành thí nghiệm mô hình công trình sông gọi là khu thí nghiệm mô hình. Thiết bị của khu thí nghiệm mô hình bao gồm:

- Thiết bị hệ thống dòng chảy ;
- Bệ mô hình công trình sông ;
- Máng kính ;
- Thiết bị phụ trợ.

7.1.1. Bố trí khu vực thí nghiệm mô hình

Thí nghiệm mô hình công trình sông có thể tiến hành trong nhà hay ngoài trời. Do chiếm dụng diện tích lớn, những mô hình quy mô lớn nếu đòi hỏi đặt trong nhà thì phải xây dựng mái che có khung với khẩu độ rộng, đầu tư nhiều kinh phí, nên thường phải tiến hành thí nghiệm ở ngoài trời, chỉ có những mô hình quy mô vừa và nhỏ mới đặt ở trong nhà.

Nói chung, các cơ sở thí nghiệm đều đồng thời có cả mô hình trong nhà và mô hình ngoài trời. Những năm gần đây, để nâng cao độ chính xác của thí nghiệm và loại trừ những ảnh hưởng xấu của điều kiện tự nhiên, kể cả mô hình lớn cũng được lắp đặt mái che và phòng làm việc tạm thời, điều kiện thí nghiệm cũng không khác ở trong nhà bao nhiêu.

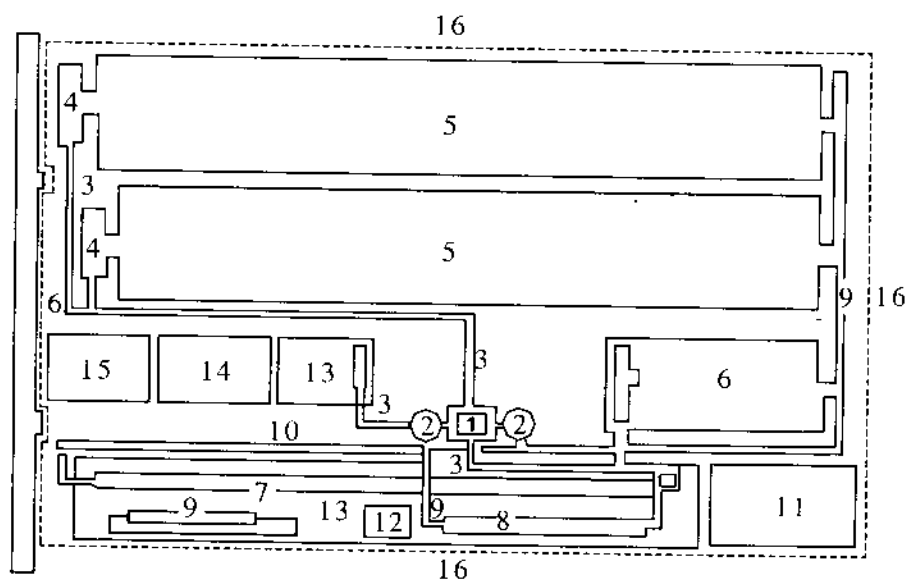
Diện tích thí nghiệm ngoài trời không có quy định, phụ thuộc vào nhu cầu công tác và khả năng cung cấp. Thông thường, tiến hành thí nghiệm mô hình sông quy mô trung

bình đòi hỏi khu đất có chiều dài trên 100m, chiều rộng trên 40m, và có lưu không dự trữ. Nhà thí nghiệm mô hình sông thường có chiều dài khoảng 60m, chiều rộng khoảng 20m. Hiện nay, đã có những nhà thí nghiệm dài $(80 \div 100)$ m, rộng $(25 \div 40)$ m.

Vị trí khu thí nghiệm mô hình ngoài trời chọn ở nơi địa thế bằng phẳng, mực nước ngầm thấp, tốt nhất là có nguồn nước tự nhiên, đủ cung cấp lượng nước tương đối sạch dùng trong thí nghiệm. Trường hợp có cả trong nhà và ngoài trời, thì nên đặt 2 khu liền kề nhau để có thể dùng chung hệ thống nước, công tác cũng thuận tiện.

Bố trí tổng thể khu vực thí nghiệm mô hình tùy thuộc vào điều kiện từng nơi. Các thiết bị thí nghiệm chủ yếu cần bố trí gọn, sát sao để chiếm ít diện tích, rút ngắn chiều dài đường ống cấp nước và thu hồi nước. Việc sắp xếp các hạng mục công trình cần hợp lý, vừa tiện lợi trong công việc vừa không ảnh hưởng lẫn nhau. Trong khu vực thí nghiệm cần bố trí đường đi, lối lại, để phương tiện vận chuyển có thể đến tận nơi. Ngoài ra, cần bố trí hệ thống thoát nước để bảo đảm vận hành an toàn của trạm động lực và hoạt động bình thường của hiện trường mô hình thí nghiệm.

Hình 7-1 thể hiện sơ đồ bố trí mặt bằng một khu thí nghiệm mô hình sông.



Hình 7-1: Sơ đồ bố trí mặt bằng khu thí nghiệm mô hình sông.

- | | | |
|-------------------------|--------------------------|--|
| 1 - Trạm bơm, tháp nước | 2 - Bể nước | 3 - Ống cấp nước |
| 4 - Đập đo nước | 5 - Sân thí nghiệm | 6 - Nhà thí nghiệm mô hình |
| 7 - Máng kinh | 8 - Máng thay đổi độ dốc | 9 - Máng nhỏ trong hệ thống cấp nước tuần hoàn |
| 10 - Máng hồi nước | 11 - Phòng phân tích hạt | 12 - Phòng thiết bị đo |
| 13 - Phòng thí nghiệm | 14 - Phòng làm việc | 15 - Kho |
| 16 - Rãnh thoát nước | 17 - Đường giao thông | |

Thiết kế khu thí nghiệm mô hình sông nên căn cứ vào đối tượng, quy mô nhiệm vụ thí nghiệm và sự phát triển trong tương lai, trước hết lập quy hoạch tổng hợp, theo yêu cầu của phát triển kinh tế, xác định phân kỳ, phân đoạn đầu tư, bảo đảm sự hoàn thiện dần của thiết bị, nâng cao hiệu suất sử dụng của thiết bị, phát huy tác dụng của khu thí nghiệm một cách hợp lý và hiệu quả nhất.

7.1.2. Hệ thống dòng chảy thí nghiệm mô hình công trình sông

a) Các loại hệ thống dòng chảy:

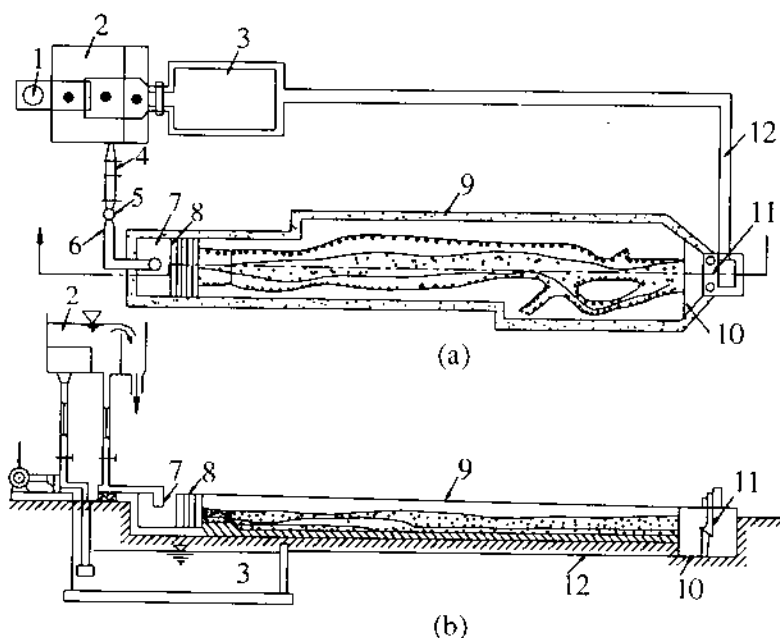
Hệ thống dòng chảy là bộ phận chủ yếu trong trang thiết bị mô hình công trình sông. Theo tính chất nguồn nước, hệ thống dòng chảy bao gồm 2 loại chính: Loại trọng lực và loại tuần hoàn; theo chất nước cũng chia làm 2 loại: hệ thống nước trong và hệ thống nước đục; theo phương thức phân phối nước thì có loại đơn nhất và loại tổng hợp.

- *Hệ thống dòng chảy dạng trọng lực*: Là hệ thống lợi dụng sông kênh tự nhiên, cột nước của đập dâng, đưa nước tự chảy theo địa hình vào hiện trường thí nghiệm, sau khi đi qua mô hình, dòng chảy thoát ra bằng kênh dẫn đi về hạ lưu nguồn nước. Loại hệ thống dòng chảy này, khi cột nước thay đổi rất nhỏ, có thể dẫn trực tiếp từ ống dẫn hoặc kênh dẫn vào thiết bị đo nước đầu mô hình, sau khi được khống chế sẽ chảy vào mô hình. Khi cột nước nguồn biến hóa lớn, cần xây dựng cống lấy nước để khống chế lưu lượng đưa vào thiết bị đo nước đầu mô hình. Khi nguồn nước tự nhiên có hàm lượng bùn cát tương đối lớn, cần phải xây dựng bể lắng cát và đường xả cát trước ống phân phối nước.

Hệ thống dòng chảy dạng trọng lực yêu cầu kinh phí để duy trì tính thường xuyên của nguồn nước tương đối nhỏ, lưu lượng cung cấp có thể lớn, thích hợp cho loại sân mô hình ngoài trời quy mô lớn, nhưng hiện trường thí nghiệm lại phụ thuộc vào vị trí nguồn nước, khi dòng chảy có mang bùn cát thì khó khống chế hàm lượng bùn cát, gây cản trở cho thí nghiệm.

- *Hệ thống dòng chảy dạng tuần hoàn* : Là hệ thống dùng máy bơm hút nước từ bể chứa, hồ hoặc sông đưa vào mô hình để sử dụng, sau đó lại đưa về máng hồi để dẫn nước quay trở lại bể chứa, hồ hoặc sông. Loại hệ thống dòng chảy này bảo đảm cung cấp nước thường xuyên không gián đoạn, nếu dùng bể chứa nước nhân tạo còn có thể bảo đảm chất lượng nước, nhưng yêu cầu thiết bị phức tạp, tiêu hao động năng lớn, đầu tư nhiều, tương đối thích hợp cho loại sân mô hình quy mô vừa và nhỏ hoặc thí nghiệm trong nhà với lưu lượng dưới 500 l/s.

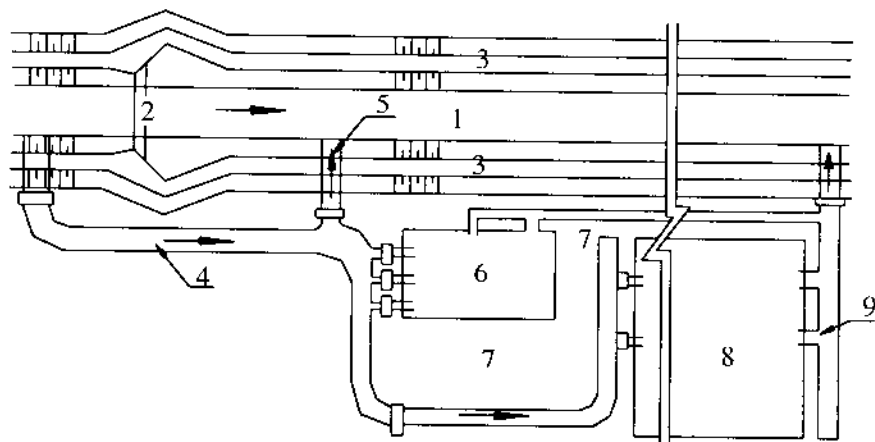
- *Hệ thống dòng chảy đơn nhất* : Chỉ có một thiết bị cấp nước, phục vụ riêng cho một nhóm thí nghiệm. Hình 7-2 là sơ đồ hệ thống dòng chảy tuần hoàn đơn nhất. Nước từ trong bể chứa được bơm lên tháp nước, sau đó đi vào đường ống phân phối nước đổ vào bể khống chế đầu mô hình, tràn qua thiết bị đo lưu lượng để chảy vào mô hình. Sau khi thí nghiệm, nước được dẫn qua bể lắng cát và cửa van cuối để theo máng hồi trở về bể chứa.



Hình 7-2: Sơ đồ hệ thống dòng chảy tuần hoàn đơn nhất.

- | | | |
|------------------------------|---------------------------|----------------------|
| 1 - Máy bơm | 2 - Tháp nước | 3 - Bể chứa nước |
| 4 - Ống phân phối nước | 5 - Thiết bị đo lưu lượng | 6 - Van điều tiết |
| 7 - Bể không chế dầu mô hình | 8 - Tấm tiêu năng | 9 - Lòng dẫn mô hình |
| 10 - Bể lắng cát | 11 - Cửa van cuối | 12 - Máng (ống) hồi |

- Hệ thống dòng chảy tổng hợp : Gồm một thiết bị cấp nước thống nhất, có thể đồng thời cung cấp nước cho nhiều nhóm thí nghiệm khác nhau. Hình 7-3 là sơ đồ hệ thống dòng chảy trong lực dạng tổng hợp. Dòng chảy từ kênh tự chảy vào đường ống dẫn nước, thông qua đường ống phân phối nước riêng biệt cho từng nhóm thí nghiệm, sau khi xong nhiệm vụ thí nghiệm lại đi qua ống thoát nước đi về hạ lưu kênh dẫn.



Hình 7-3: Sơ đồ hệ thống dòng chảy trong lực dạng tổng hợp

- 1 - Kênh; 2 - Tháp nước; 3 - Đế 2 bên kênh; 4 - Ống dẫn nước; 5 - Đường xả cát;
6 - Phòng thí nghiệm; 7 - Diện tích dự phòng; 8 - Sàn mô hình; 9 - Ống thoát nước

b) Lựa chọn và bố trí thiết bị trong hệ thống dòng chảy:

Điều kiện khống chế chủ yếu của việc bố trí thiết bị trong hệ thống dòng chảy là lưu lượng, kế sau là cột nước, cả 2 yếu tố đó đều xác định theo nhiệm vụ thí nghiệm. Khi lựa chọn thiết bị cho hệ thống dòng chảy cần phải xem xét toàn diện. Sau đây thảo luận đối với các thiết bị chủ yếu trong hệ thống dòng chảy tuần hoàn.

- Thiết bị hút nước động lực:

Thiết bị hút nước động lực thường dùng là máy bơm điện, hút nước từ bể chứa đưa lên tháp nước hoặc đưa vào bể khống chế đầu mô hình. Lựa chọn máy điện và máy bơm cần căn cứ vào:

- + Tổng lưu lượng dùng nước của thí nghiệm ;
- + Độ chênh giữa mực nước thấp nhất khi bể chứa nước vận hành và tháp nước, tức chiều cao hút H.

Công suất động lực cần thiết được tính như sau:

$$P = \frac{9,81QH}{e} \quad (7-1)$$

trong đó :

P - công suất động lực, KW ;

Q - tổng lưu lượng, m³/s ;

H - chiều cao hút, m ;

e - hiệu suất tổng hợp của máy điện và máy bơm, thường là 70%.

Sau khi tính được công suất động lực thì có thể xác định kích cỡ của máy phát điện, loại và số lượng máy bơm. Trong thực tế thường chọn các tổ hợp khác nhau của máy điện và máy bơm, nhưng sẽ kinh tế và tiện dụng hơn so với chỉ dùng một tổ máy đơn nhất có công suất lớn.

Có thể căn cứ vào sự thay đổi của lưu lượng để tăng giảm số tổ máy vận hành để tiết kiệm động lực, hơn nữa khi thời gian vận hành dài lại có thể thay nhau làm việc. Ví dụ: Tổng lưu lượng là 200 l/s, tổng cột nước là 15m, dùng công thức 7-1 tính được công suất động lực là 42KW. Khi sử dụng 45KW có thể cung cấp 210 l/s lưu lượng. Nếu quyết định chọn 2 nhóm máy điện, máy bơm thì nên chọn loại 15KW và 30KW, mỗi loại một nhóm, lượng hút nước phân biệt sẽ là 70 l/s và 140 l/s, có thể sử dụng nước với ba tổ hợp 70 l/s, 140 l/s và 210 l/s. Đương nhiên, cũng có thể chọn các máy điện và máy bơm có công suất khác để tạo thành các tổ hợp dùng nước khác. Trong thực tế lựa chọn, nên xem xét các loại mã hiệu cụ thể của máy điện và máy bơm.

- Tháp nước:

Tháp nước là một buồng nước dùng để cân bằng cột nước, nhờ đó duy trì được ổn định của cột nước, bảo đảm cung cấp cho mô hình một lưu lượng nhất định. Khi cột nước cao thì sử dụng tháp nước, trường hợp cột nước thấp thì dùng bể nước đầu mô hình.

Buồng nước thường có kết cấu thép hoặc bê tông cốt thép. Tháp nước thông thường có 3 ngăn: chứa nước vào, bình nước và hồi nước, như hình 7-4 thể hiện.

Ngăn nước vào được dùng tiêu trừ động năng của dòng nước từ ống hút đi vào tháp; ngăn bình nước có máng tràn ở đỉnh, thoát nước thừa để làm cho mực nước trong ngăn tương đối ổn định; ngăn hồi nước tập trung nước tràn từ ngăn bình nước và đưa trở về bể nước chứa qua ống dẫn nước tràn.

Trong hệ thống tuần hoàn dòng chảy đơn nhất, có khi không dùng tháp nước, mà trong đường dây điện có lắp máy ổn áp tự động để điều chỉnh điện áp, từ đó ổn định lưu lượng.

Tháp nước thí nghiệm mô hình công trình thông thường chỉ cần cao hơn mặt sân mô hình (3 ÷ 5) m là có thể đáp ứng được yêu cầu lưu lượng cần thiết. Đối với những thí nghiệm có đường ống dẫn nước tương đối dài, nên thông qua tính toán tổn thất cột nước để kiểm tra độ cao của tháp nước đã đủ hay chưa.

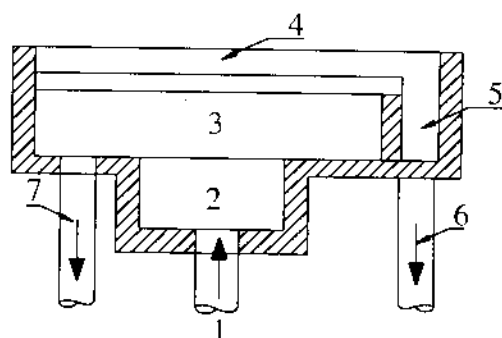
Máng tràn tháp nước có nhiệm vụ duy trì mực nước trong tháp ở một cao trình nhất định. Khi lưu lượng trong tháp tăng lên, máng tràn làm cho biên độ biến đổi mực nước trong tháp hạn chế trong phạm vi cho phép. Thông thường máng tràn có chiều rộng (10 ÷ 15) cm, độ sâu được tính toán theo lưu lượng tràn cực đại của mỗi máng tràn, khoảng cách máng tràn lấy lớn hơn 15 cm. Chiều dài tràn của máng tràn được xác định theo lưu lượng cấp nước thí nghiệm. Kinh nghiệm thực tế cho biết, cứ mỗi 100 l/s thì cần 20 m chiều dài tràn. Có thể ước tính chiều dài máng tràn theo độ chính xác của thiết bị đo lưu lượng trong thí nghiệm, tức là đầu tiên phải tìm trị số chênh cho phép của mực nước trong tháp nước, sau đó sẽ xác định chiều dài của máng tràn.

Giả thiết H là độ cao tính từ đường tìm ống phân phối nước đến mực nước trong tháp, Q là lưu lượng trong ống phân phối nước, h là cột nước của thiết bị đo lưu lượng Q. Thông thường quan hệ giữa cột nước và lưu lượng của thiết bị đo lưu lượng là:

$$Q = C h^n \quad (7-2)$$

Cho nên:

$$\frac{dQ}{Q} = \frac{C n h^{n-1} dh}{C h^n} = n \frac{dh}{h} \quad (7-3)$$



Hình 7-4: Sơ đồ tháp nước

- 1 - Ống đưa nước vào; 2 - Ngăn chứa nước;
3 - Ngăn bình nước; 4 - Máng tràn;
5 - Ngăn hồi nước; 6 - Ống xả nước tràn;
7 - Ống phân phối nước.

Phương trình (7-3) là quan hệ giữa sai số cột nước và sai số lưu lượng thiết bị đo lưu lượng. Quan hệ giữa lưu lượng trong ống phân phối nước và cột nước tháp nước là:

$$Q = A\varphi\sqrt{2gH} \quad (7-4)$$

trong đó :

A - diện tích mặt cắt ống phân phối nước ;

φ - hệ số lưu tốc.

Từ công thức (7-4), ta có:

$$\frac{dQ}{Q} = \frac{A\varphi\sqrt{2g} \frac{1}{2} H^{-\frac{1}{2}} dH}{A\varphi\sqrt{2gH}^{\frac{1}{2}}} = \frac{1}{2} \frac{dH}{H} \quad (7-5)$$

Từ (7-3) và (7-5) rút ra:

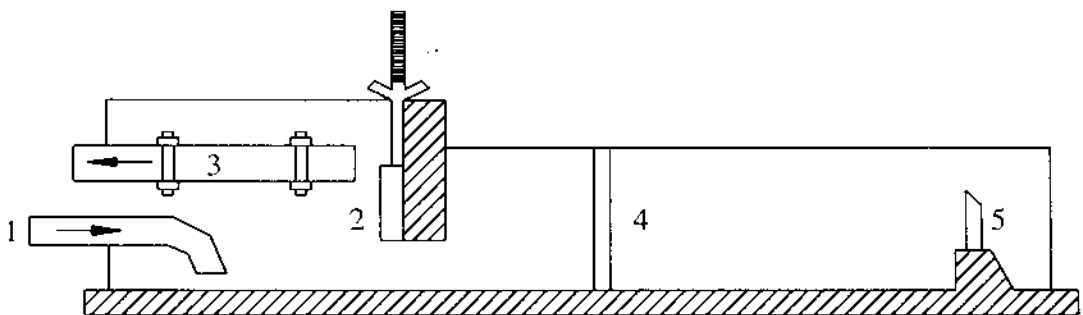
$$\frac{dH}{H} = 2n \frac{dh}{h} \quad (7-6)$$

Vì vậy, căn cứ vào sai số cột nước cho phép của thiết bị đo lưu lượng, có thể tìm được biến sai cho phép của mực nước trong tháp nước, từ đó theo công thức đập tràn tính ra chiều dài máng tràn.

Độ sâu tháp nước phải bảo đảm tiêu trừ hết động năng của dòng chảy từ ống hút, diện tích tháp nước bảo đảm bố trí được máng tràn. Dung tích tháp nước thường lấy bằng (75 ÷ 100) lần lượng cung cấp nước trong 1 giây của mô hình. Ví dụ tổng lưu lượng là 200 l/s, thì dung tích tháp nước là (15 ÷ 20) m³.

Kích thước ngăn nước hồi và ống xả của tháp nước được xác định theo tổng lượng nước cần thải về bể chứa.

Bể nước đầu mô hình có thể xây bằng gạch trát vữa xi măng, như hình (7-5) thể hiện. Chiều dài bể phải bảo đảm yêu cầu về tiêu năng đối với dòng nước cấp vào và bố trí máng tràn để duy trì sự ổn định của lưu lượng.



Hình 7-5 : Sơ đồ bể nước không chế đầu mô hình

1 - Ống nước dẫn vào; 2 - Cửa van; 3 - Máng tràn; 4 - Tấm tiêu năng; 5 - Đập đo lưu lượng.

Tháp nước thể hiện trong hình 7-4 là trường hợp dùng cho hệ thống nước trong. Nếu thí nghiệm dùng nước đục thì ngăn chứa nước vào và ngăn bình nước cần thiết kể theo dạng hình phễu, ngăn hồi nước có độ dốc hướng về ống nước tràn, máng tràn cũng phải có độ dốc nhất định để tránh bồi lắng bùn cát trong tháp. Còn bể nước đầu mô hình như trong hình 7-5 thì hiện cũng không dùng được cho trường hợp nước đục.

- Đường ống phân phối nước:

Đường ống phân phối nước dùng để dẫn nước với lưu lượng cần dùng cho thí nghiệm mô hình. Số lượng đường ống và bố trí của nó phụ thuộc vào yêu cầu thí nghiệm, đáp ứng được mục tiêu dẫn nước thuận tiện và nhu cầu về lưu lượng. Một thí nghiệm tốt nhất có riêng một hệ thống đường ống phân phối nước để tránh ảnh hưởng lẫn nhau khi dùng chung đường ống với các thí nghiệm khác. Nhưng do hạn chế về thí nghiệm thì nhiều, những khó khăn về bố trí cụ thể và cả những nguyên nhân về kinh tế, thường phải dùng chung một đường ống cấp nước cho mấy mô hình thí nghiệm. Do đó, khi thiết kế cụ thể phải căn cứ vào phạm vi cung ứng, số lượng thí nghiệm đồng thời tiến hành, tính toán đường kính đường ống phân phối nước, để tiến hành bố trí hợp lý và trước mỗi một mô hình phải lắp đặt van để khống chế lưu lượng.

Đường ống phân phối nước thông thường sử dụng ống gang hoặc sắt đúc, đường kính (10 ÷ 50) cm. Đường kính được xác định căn cứ vào các thiết bị của hệ thống dòng chảy và lượng cấp nước cực đại cho nơi xa nhất của khu thí nghiệm. Giả thiết lưu lượng cực đại mà nơi xa nhất của khu thí nghiệm cần đến là Q , độ chênh tính từ mặt nước tháp nước đến hạ lưu đập đo lưu lượng của mô hình là Z , hệ số lưu lượng của hệ thống đường ống là μ_0 (hệ số có liên quan đến tổn thất dọc đường và tổn thất cục bộ của đường ống), thì đường kính ống sẽ là:

$$d = \left(\frac{4Q}{\mu_0 \pi \sqrt{2gZ}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (7-7)$$

$$\mu_0 = \frac{1}{\sqrt{1 + f \frac{l}{d} + \sum \xi}}$$

trong đó: l là chiều dài đường ống, f là hệ số sức cản của dọc đường, ξ hệ số sức cản cục bộ. Khi các trị số Q và Z đã cho, có thể tính d theo công thức (7-7).

Đối với hệ thống nước đục, để tránh bị bồi tích, thường không dùng đập tràn đo lưu lượng. Trị số Z trong công thức (7-7) nên là độ chênh giữa mực nước trong tháp và mặt nước trong bể đầu mô hình, lưu thông trực tiếp với cửa vào mô hình. Ngoài ra, sau khi tính được d theo (7-7), nên kiểm tra lưu tốc thu được có lớn hơn lưu tốc không gây bồi của dòng chảy mang bùn cát tính toán từ công thức sức tải cát của dòng chảy hay không. Nếu thiên nhỏ, nên tìm cách nâng cao cột nước, thu nhỏ đường kính để tăng lưu tốc.

Khi lắp đặt đường ống, trước đoạn rẽ vào mô hình hoặc máng nước, đều cần bố trí van khống chế. Vòng qua cửa van khống chế cần lắp một nhánh đường ống nhỏ đường kính khoảng $(5 \div 10)$ cm, cửa vào đặt trước cửa van tổng, cửa ra đặt sau cửa van tổng, đoạn giữa lắp van nhỏ để vi chỉnh lưu lượng. Đồng thời, nên có ống thoát nước đường kính khoảng $(5 \div 10)$ cm thông với bể chứa nước dùng vào việc xả nước tích trữ trong đường ống. Đường ống phân phối nước có thể chôn trong đất hoặc lắp đặt trên cao để thuận tiện cho việc lưu thông trong khu thí nghiệm.

- Máng hồi nước:

Sau khi đi qua cửa van cuối, dòng chảy được đưa vào máng hồi, quay lại với bể chứa, hoàn thành vòng tuần hoàn của nó. Bố trí của máng hồi tùy theo vào vị trí của các mô hình và quy hoạch khu vực thí nghiệm, để liên thông các mô hình và thu về một máng hồi.

Phía đầu máng hồi nối tiếp với cửa van cuối của mô hình, phía cuối máng hồi liên kết với bể chứa. Xác định độ dốc J của đáy máng hồi, cần xem xét các yếu tố sau:

+ Lưu lượng cực đại thông qua mô hình;

+ Đối với hệ thống nước đục, cần bảo đảm lưu tốc lớn hơn lưu tốc không bồi của dòng chảy mang bùn cát;

+ Nếu máng hồi có độ dốc lớn hơn thì cao trình tiếp nối với bể chứa quá thấp, khi mực nước trong bể dâng cao máng hồi sẽ có tác dụng chứa nước, đối với hệ thống nước đục sẽ gây ra bồi lắng bùn cát trong đoạn cuối của máng hồi, đó là điều cần tránh. Vì vậy, khi xác định độ dốc đáy máng hồi, trong điều kiện đáp ứng được 2 điểm đầu, nên kéo thoải một cách thích đáng đáy máng.

Sau khi xác định độ dốc đáy, kích thước mặt cắt máng hồi có thể tính toán theo các công thức thủy lực, sau đó kiểm tra lưu tốc dòng chảy trong máng hồi có thỏa mãn điều kiện không gây bồi lắng hay không và xét đến sự thuận tiện của việc thanh thải bằng nhân công về sau.

Máng hồi thường được xây bằng gạch, trát vữa xi măng, có nắp dầy bằng tấm bê tông cốt thép, 2 bên có rãnh thoát nước, bảo đảm trong máng sạch sẽ.

- Bể lắng cát:

Tiến hành thí nghiệm lòng động với dòng chảy mang bùn cát đáy hoặc lơ lửng, khi không sử dụng hệ thống tuần hoàn nước đục thì cần bố trí bể lắng cát ở đoạn nối tiếp giữa cửa van cuối và máng hồi để giữ lại bùn cát chảy ra từ mô hình. Kích thước của bể lắng có thể tính toán theo đường kính hạt, vận tốc chìm lắng, lưu tốc không xói và lưu lượng cực đại trong thí nghiệm.

- Bể chứa nước:

Trường hợp không có nguồn nước tự nhiên (hồ, kênh, sông...) có thể sử dụng cho thí nghiệm, thì phải xây dựng bể chứa nước trong khu vực thí nghiệm. Tổng dung tích của bể chứa nên là tổng lượng chứa nước của các bộ phận trong khu vực thí nghiệm. Trong đó bao gồm dung tích của bản thân mô hình, tháp nước, đường ống trạm bơm, đường ống phân phối nước, đường ống của các máng thí nghiệm cố định, máng nước thí nghiệm tạm thời, máng hồi và dung tích tương ứng của bể chứa dưới mực nước thấp nhất.

Bể chứa nước được xây dựng bằng bê tông cốt thép, 4 bể và đáy đều có biện pháp kín nước tuyệt đối để tránh nước ngấm thấm vào, phía trên có mái che, chung quanh có vây tường thấp để bảo đảm chất nước trong sạch.

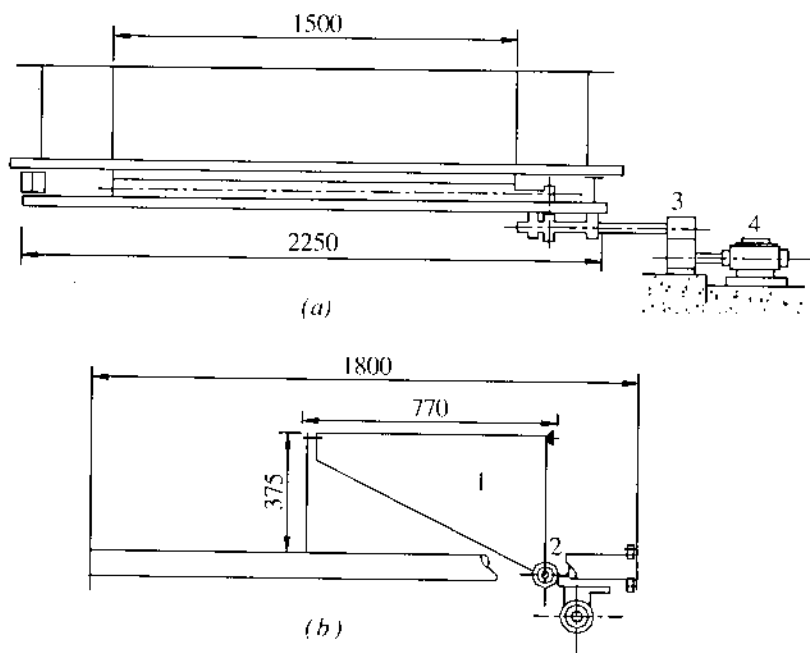
- Hệ thống nước đục:

Tiến hành thí nghiệm mô hình và dòng chảy có bùn cát lơ lửng, nếu sử dụng tuần hoàn bùn cát trong mô hình, thì do dòng chảy trong quá trình chuyển động mang nhiều bùn cát, nên có hệ thống tuần hoàn nước đục dạng đơn nhất, tách riêng với hệ thống nước trong. Thiết bị cơ bản của nó cũng đại khái giống với hệ thống tuần hoàn nước trong, chỉ khác là phải tránh sự bồi tích bùn cát trong hệ thống.

Trước hết, bể chứa nước nên có dạng hình tròn, đường kính không cần quá lớn, đáy có dạng hình phễu, miệng ống nước dẫn vào đặt ở đáy phễu. Để tránh bùn cát bồi tích ở trong bể chứa, biện pháp đơn giản nhất là trực tiếp dùng nước trong máng nước hồi và nước thừa từ tháp nước, đưa vào từ 2 phía đối ứng của bể chứa hình tròn, tạo ra dòng chảy ngược chiều nhau theo phương gần như tiếp tuyến, chia nghiêng xuống đáy bể, làm cho nước trong bể luôn luôn quay tròn. Biện pháp phức tạp hơn là lắp đặt thiết bị khuấy đảo trong bể chứa, hoặc ở 2 phía đối ứng của bể chứa lắp đặt súng phun nước cao áp theo 2 phương tiếp tuyến ngược chiều nhau tiến hành khuấy đảo. Ngoài ra, ở bất kỳ nơi nào của đường cấp nước và hồi nước của hệ thống nước đục cũng phải duy trì lưu tốc đủ mạnh, ở nơi mặt cắt biến đổi đột ngột cần xử lý loại trừ góc chết.

Để chế tạo và điều tiết hàm lượng bùn cát và cấp phối hạt của dòng chảy bùn cát theo yêu cầu, bên cạnh bể chứa hoặc bên cạnh bể khống chế đầu mô hình lắp đặt các thiết bị gia nước, gia cát. Để tiết kiệm nước cũng như duy trì chất lượng nước, nên đặt bể lắng và bể nước trong ở nơi tương đối cao. Khi có nhu cầu giảm nhỏ hàm lượng bùn cát, thì dùng một chiếc máy bơm nhỏ lắp đặt riêng, bơm nước đục có hàm lượng cao trong bể chứa vào bể lắng và pha một lượng nước trong thích hợp lấy từ bể nước trong đổ vào bể chứa. Nước ở bể mặt bể lắng sau một thời gian sẽ trở thành trong, có thể chuyển sang bể nước trong để sử dụng. Để cấp cát, cần căn cứ vào tính chất của các mô hình bố trí thiết bị cấp cát. Nếu có thể cấp cát khô, khi có nhu cầu tăng hàm lượng bùn cát lên, có thể trực tiếp cho vào máng hồi hoặc trong bể chứa; nếu cần cấp cát ướt, cần bố trí bể ngâm

cát để làm ướt cát. Khi có nhu cầu cấp cát thô để điều chỉnh cấp phối hạt, để tránh gây ra bồi tích trong quá trình vận hành, tốt nhất cho cát vào ngay đầu mô hình. Vì vậy, có thể sử dụng máy cấp cát để bảo đảm tốc độ gia cát đều đặn và khống chế tùy ý lượng cấp cát. Hình 7-6 là một dạng máy cấp cát, dùng cho loại cát khô.



Hình 7-6: Sơ đồ kết cấu máy cấp cát (đơn vị cm)

a) Hình chính diện; b) Mặt bên

1 - Phễu cát bằng gỗ; 2 - Trục truyền động thanh răng;

3 - Hộp biến tốc; 4 - Máy phát điện

Khi làm thí nghiệm mô hình với dòng bùn cát đáy, thường không sử dụng hệ thống nước đục, chỉ cần lắp đặt máy cấp cát phía đầu mô hình, bố trí bể lắng cát sau cửa van dưới mô hình.

Gần đây, trong thí nghiệm mô hình dòng chảy bùn cát lơ lửng, thường tách riêng hệ thống nước trong và hệ thống nước đục. Cách làm là bố trí ở đầu mô hình một bể khuấy nước đục nồng độ cao, làm cho nước đục và nước trong cùng đi vào bể nước đầu mô hình, căn cứ vào hàm lượng bùn cát yêu cầu để xác định tỷ lệ lượng nước trong và nước đục. Ở cuối mô hình xây dựng bể lắng cát tương đối lớn để toàn bộ bùn cát lơ lửng có thể lắng đọng xuống. Bể lắng có thể chia thành các ngăn để sử dụng luân phiên nhau. Khi một ngăn bị bồi đầy thì sử dụng sang ngăn khác, còn ngăn cũ thì tiến hành thanh thải để tiếp tục sử dụng ở giai đoạn sau. Sử dụng biện pháp này không cần lắp đặt riêng một hệ thống nước đục và có thể bảo đảm bùn cát đi vào mô hình phù hợp yêu cầu thiết kế, khuyết điểm là diện tích bể lắng cát tương đối lớn, cần đến số lượng bùn cát mô hình rất lớn.

7.1.3. Bệ thí nghiệm mô hình công trình sông

Bệ thí nghiệm mô hình (gọi tắt là bệ mô hình) là nơi dùng để xây, đắp mô hình. Yêu cầu chủ yếu đối với bệ mô hình là:

a) *Không rò rỉ làm mất nước mô hình :*

Đối với mô hình lòng động, bắt buộc phải có lớp chống thấm lót dưới đáy mô hình. Đối với mô hình lòng cứng, tuy về nguyên tắc là bề mặt mô hình đã được trát kín đủ dày để chống thấm, miễn không có vết nứt là được, nhưng thực ra rất khó bảo đảm rằng hoàn toàn không có vết rạn, cho nên cũng nên làm lớp chống thấm dưới đáy mô hình nhưng ở mức độ thấp hơn so với mô hình lòng động. Biện pháp vĩnh cửu để làm lớp chống thấm là đổ bê tông đá dăm và trát vữa xi măng chống thấm. Biện pháp tạm thời là trải 2 lớp giấy dầu dưới đáy mô hình, đổ nhựa đường phủ lên.

b) *Không cho dòng chảy mặt và bùn cát từ ngoài tràn vào mô hình:*

Mô hình ngoài trời nên có rãnh thoát nước xung quanh, và đắp mô hình cao hơn mặt đất phía ngoài. Nếu là mô hình có mái che trong nhà, thì đỉnh bờ nên cao hơn mặt đất khoảng 50cm, như vậy vừa bảo vệ mô hình sạch sẽ vừa dễ thoát nước tồn đọng và thuận tiện trong việc đặt thước nước, thao tác thí nghiệm.

Đối với bệ mô hình trong nhà, tường vây có thể làm lắp ghép. Như vậy có thể tăng nhanh tốc độ thi công và có thể sử dụng nhiều lần.

Để thoát nước tích đọng trong mô hình, ở nơi lạch trũng của lòng dẫn mô hình, khi đắp mô hình nên chôn sẵn ống thoát nước. Để thuận tiện rửa mô hình, đường kính ống không nên quá bé, xung quanh đường ống nên có biện pháp chống thấm thật kỹ.

c) *Mô hình thường chia làm 3 đoạn :*

Đoạn đầu vào, đoạn thí nghiệm và đoạn đầu ra. Hai đoạn đầu vào, đầu ra có tính chất quá độ để điều tiết dòng chảy, không dùng vào thí nghiệm. Chiều dài đoạn đầu vào được xác định theo từng thí nghiệm cụ thể, trong tình hình dòng chảy đi vào mô hình không thuận, có thể lấy bằng $(25 \div 50)$ lần chiều sâu. Nên kết hợp hình thái lòng sông và trạng thái chảy để xem xét. Trong điều kiện cho phép, tốt nhất nên bao gồm một đơn nguyên hình thái (ví dụ một khúc cong hoặc một bãi ngầm hoàn chỉnh của đoạn thẳng) để bảo đảm trường lưu tốc ở mặt cắt vào đoạn thí nghiệm phù hợp với tình hình thực tế. Nếu điều kiện bị hạn chế, đoạn đầu vào không đủ dài, thì chỉ chú ý trong quá trình thí nghiệm có biện pháp nhân tạo để điều chỉnh dòng chảy. Đoạn đầu ra có thể ngắn hơn đoạn đầu vào, nhưng chú ý bố trí cửa van cuối sao cho không ảnh hưởng đến tương tự dòng chảy ở cuối đoạn thí nghiệm.

Trước đoạn đầu vào nên đặt tấm tiêu năng, bố trí bể nước lặng, ở cuối đoạn đầu ra, hoặc sau bể lắng cát, bố trí cửa van cuối để điều chỉnh mực nước.

7.1.4. Máng kính

Trong thí nghiệm mô hình công trình, máng kính chủ yếu được dùng để thí nghiệm tính năng của cái mô hình và các thí nghiệm phụ trợ khác:

Vì hai bên thành máng lắp bằng kính để quan sát kết cấu dòng chảy nên gọi là máng kính.

Tùy theo hình thức kết cấu của thân máng, máng kính chia ra loại cố định và loại thay đổi độ dốc. Loại máng cố định có thân máng gắn chặt vào giá đỡ, độ dốc đáy không đổi. Loại thay đổi độ dốc, nhờ vào bộ kích lắp đặt 2 đầu giá đỡ, có thể điều chỉnh độ dốc đáy của máng. Hiện nay, việc thay đổi độ dốc máng có thể điều khiển từ xa.

Máng kính cũng chia làm 3 đoạn: đầu vào, đoạn thí nghiệm và đầu ra. Kích thước máng kính dùng làm thí nghiệm phụ trợ cho thí nghiệm mô hình công trình sông thường có đoạn đầu vào dài ($3 \div 6$)m, đoạn thí nghiệm dài ($10 \div 20$)m, đoạn đầu ra dài ($2 \div 4$)m, tổng cộng dài ($15 \div 30$)m. Máng kính ở Đại học Vũ Hán (Trung Quốc) dài 86m.

Chiều rộng máng có nhiều loại: 30cm, 40cm, 50cm, 100cm và 125cm, độ sâu khoảng ($40 \div 60$)cm. Việc xác định chiều rộng và độ sâu máng dựa vào yêu cầu hình thành dòng chảy 2D trong lòng máng, thường cho rằng lấy tỷ lệ rộng sâu của mặt cắt ướt lớn hơn 5 sẽ đáp ứng được yêu cầu đó.

Trong nhà thí nghiệm, ngoài bố trí máng nước dài, còn có thể bố trí một số máng ngắn, dài khoảng ($5 \div 10$)m để phối hợp sử dụng với máng dài một cách linh hoạt.

Đầu máng kính có lắp đặt bộ phận tiêu năng làm lạnh nước, cuối máng bố trí cửa van và thiết bị thu hồi chất di dấy.

7.1.5. Thiết bị phụ trợ

a) Thiết bị chiếu sáng

Thiết bị chiếu sáng trong phòng thí nghiệm chia ra chiếu sáng thông thường, chiếu sáng đo đạc và chiếu sáng chụp ảnh, ghi hình. Trong hiện trường thí nghiệm cần bố trí đủ ổ cắm điện để bảo đảm sử dụng thuận tiện cho thiết bị chiếu sáng và thiết bị đo điện tử.

b) Thiết bị chụp ảnh, ghi hình

Chụp ảnh, ghi hình là công việc quan trọng trong công tác đo đạc thí nghiệm. Việc chọn loại máy ảnh, camera tùy theo yêu cầu, nhưng nói chung cần thu được ảnh đặc trưng, chất lượng cao. Để có thể chụp được toàn cảnh mô hình cần bố trí chỗ đặt máy ở các vị trí và độ cao thích hợp; có thể lắp cả cầu cao dọc theo mô hình dạng cần trục chạy. Ngoài ra, phải bố trí phòng in tráng, làm ảnh.

c) Các phòng làm việc

Bao gồm phòng phân tích hạt bùn cát, phòng thiết bị điện tử, xưởng mộc, xưởng rèn, tổ nề, phòng chế tạo cái mô hình, phòng dụng cụ và kho vật liệu v.v...

Ở đây không đề cập đến thiết bị kiểm định các thiết bị đo.

7.2. CHẾ TẠO MÔ HÌNH

Chế tạo và lắp đặt mô hình là phần việc quan trọng trong thí nghiệm mô hình. Mô hình có vật liệu được lựa chọn thỏa đáng, chế tạo và lắp đặt tốt, có một ý nghĩa quan trọng trong tiết kiệm kinh phí, rút ngắn thời gian, nâng cao chất lượng kết quả thí nghiệm.

7.2.1. Công tác chuẩn bị chế tạo mô hình

Công tác chuẩn bị chế tạo mô hình bao gồm thu thập bản đồ địa hình khu vực đoạn sông nghiên cứu, xác định số lượng và mua sắm các loại vật liệu, sắp xếp lao động trong từng giai đoạn, chuẩn bị thiết bị và dụng cụ thi công... lập kế hoạch và tiến độ một cách chi tiết.

a) Địa hình

Để đắp mô hình phải có tài liệu địa hình mới đo và căn cứ vào tính chất của vấn đề nghiên cứu, quyết định chọn thời gian đo của tài liệu để phù hợp với thể sông thực tế. Bản đồ địa hình để làm căn cứ đắp mô hình nên có tỷ lệ $1/1000 \div 1/5000$, tùy theo kích thước đoạn sông.

b) Tài liệu thủy văn, bùn cát

Cần thu thập đầy đủ, nên bố trí các trạm đo chuyên môn, định kỳ để bảo đảm những tài liệu cần thiết cho thí nghiệm kiểm chứng.

c) Vật liệu để chế tạo mô hình sông

Thường có khối lượng lớn, kinh phí nhiều, nên cố gắng sử dụng vật liệu địa phương và các loại vật liệu thay thế. Các vật liệu thường dùng chế tạo mô hình bao gồm: gạch, cát vàng, cát đen, xi măng, đá dăm, gỗ, thạch lap, thép tấm, gỗ dán, thép hình v.v... Cát mô hình dùng trong mô hình lòng động cần chọn loại tỷ trọng nhẹ, giá cả thấp, khối lượng lớn.

d) Sắp xếp lao động

Tổ chức lao động có ảnh hưởng lớn đến thi công mô hình, cần căn cứ vào các giai đoạn thi công khác nhau để điều phối hợp lý, tổ chức toàn diện, phải làm cho nhân viên thi công hiểu được ý nghĩa của công việc nghiên cứu, các bước thi công và yêu cầu cụ thể để phát huy hết đóng góp tích cực của mỗi người.

Khi lập tiến độ thi công, nên chú ý các công việc có thể làm song song thì phải tiến hành song song, những công việc không thể tiến hành song song thì phải nối tiếp chặt chẽ để tránh ảnh hưởng lẫn nhau, làm chậm tiến độ.

Trong quá trình thi công, gặp vấn đề gì trực tiếp, phải xem xét cẩn thận, điều chỉnh kế hoạch kịp thời để công tác thi công không bị gián đoạn, bảo đảm chất lượng.

7.2.2. Công tác nội nghiệp

a) Chính lý và ghép nối bản đồ địa hình:

Bản đồ địa hình là căn cứ để đắp mô hình. Địa hình bao gồm phần lòng sông và bãi giữa 2 bờ, phạm vi cụ thể được xác định theo yêu cầu của nhiệm vụ thiết kế. Thời gian đo địa hình cần thống nhất trong các mảnh, nếu phạm vi đoạn sông quá dài thì khoảng cách giữa các thời gian đo phải có cùng điều kiện thủy văn, bùn cát, lòng sông không có những diễn biến lớn. Tỷ lệ các bản đồ địa hình ghép nối phải giống nhau, hệ cao độ như nhau. Nếu không, cần phải điều chỉnh thống nhất và vẽ lại trên một hệ tọa độ thống nhất, tạo ra 1 bản đồ địa hình hoàn chỉnh cho toàn đoạn nghiên cứu.

b) Khống chế mặt bằng địa hình:

Trên bản đồ địa hình, tiến hành bố trí một khung lưới khống chế để làm căn cứ định vị và đo đạc trên bề mô hình. Lưới khống chế phải bao quát được toàn bộ phạm vi mô hình, nhưng cần có hình dạng đơn giản, dễ định vị và cắm tiêu. Đối với đoạn sông có ngoại hình tương đối thẳng, có thể xác định một trục chính đi qua phần giữa lòng sông, hai bên bố trí các đường dẫn phụ song song. Nếu đoạn sông nghiên cứu uốn khúc quanh co, phạm vi lớn, có thể bố trí lưới khống chế khép kín, và ở vùng trọng điểm bố trí thêm các đường dẫn phụ. Xác định vị trí lưới khống chế trên bản đồ xong, lập biểu thống kê các giá trị định vị, định hướng cho các điểm khống chế, làm căn cứ định tuyến lên bề mô hình.

c) Chọn mặt cắt:

Số liệu mặt cắt là căn cứ quan trọng nhất để chế tạo mô hình. Chọn vị trí mặt cắt có thỏa đáng hay không, ảnh hưởng trực tiếp đến khối lượng công việc và độ chính xác của mô hình.

Lựa chọn mặt cắt căn cứ vào vị trí mặt bằng lòng sông và sự thay đổi cao trình của nó. Nơi lòng dẫn có biến đổi lớn thì bố trí mặt cắt dày hơn so với nơi ít có biến đổi, lấy sự khống chế được địa hình làm chuẩn. Khoảng cách giữa các mặt cắt thay đổi từ $(15 \div 60)$ cm. Mô hình có quy mô lớn có thể tăng khoảng cách giữa các mặt cắt đến $(50 \div 100)$ cm. Nơi có địa hình cục bộ thay đổi phức tạp có thể lấy thêm mặt cắt nửa sông hoặc mặt cắt nhỏ.

Vị trí mặt cắt thường vuông góc với phương dòng chảy hoặc 2 bờ, nơi có đường trùng chéo góc với bờ, có thể giữa 2 mặt cắt lớn bổ sung thêm mặt cắt song song hoặc chéo góc với bờ để thuận tiện trong khi đắp mô hình. Sau khi đã chọn mặt cắt, lập biểu thống kê các đặc trưng của các mặt cắt như vị trí gặp đường dẫn lưới khống chế, khoảng cách khởi điểm và cao trình tương ứng để làm căn cứ chế tạo và lắp đặt mặt cắt.

d) Vẽ và cắt bản mặt cắt

Sau khi chọn mặt cắt, đánh số thứ tự và lập biểu thống kê, căn cứ vào tỷ lệ mô hình đã xác định vẽ mặt cắt mô hình lên tấm bản phẳng để cắt, hoặc vẽ lên giấy rồi dán vào bản để cắt. Khi một mặt cắt do nhiều tấm bản ghép lại mà thành, trên mỗi tấm chọn hai điểm chú thích cao trình vào dưới điểm đó để làm căn cứ kiểm tra, hiệu chỉnh khi lắp đặt vào mô hình. Nơi cắt nhau của mặt cắt và đường dẫn lưới khống chế cũng đánh dấu lên bản mặt cắt để dùng khi lắp đặt. Mô hình lòng cứng thường dùng bản mặt cắt lõm, nếu dùng trụ đỡ bằng gạch thì cũng đánh dấu cao trình đáy của điểm gối đỡ để khi xây vào mô hình có căn cứ xác định cao trình đỉnh.

Bản mặt cắt thông thường dùng vật liệu gỗ dán, tôn hoặc kính. Hai loại vật liệu sau không cần cắt gọt đường viền mặt cắt mà vẽ trực tiếp lên bản để làm căn cứ để đắp mô hình, sau đó lấy ra khỏi mô hình.

7.2.3. Công tác ngoại nghiệp

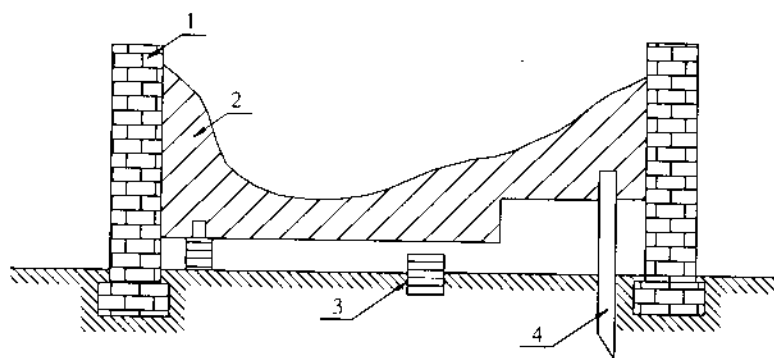
a) Dựng tuyến khống chế

Sau khi đã vạch lưới khống chế trên bản đồ địa hình, căn cứ vào tỷ lệ mô hình, dùng máy kinh vĩ và thước sắt để đưa nó vào bề mặt mô hình. Các mốc khống chế được cố định bằng cọc gỗ lớn, trên đó cắm chặt một đoạn cọc thép, trên mặt cắt đỉnh cọc thép vẽ vạch chữ thập để xác định chính xác vị trí điểm. Cọc gỗ được bảo vệ bằng cách đổ vữa bê tông xung quanh, tránh chuyển vị. Dọc theo tuyến khống chế xây tường gạch. Đỉnh tường trát vữa xi măng hoặc ốp gỗ để thuận tiện trong việc định vị khởi điểm mặt cắt. Ở trung đoạn của lòng sông, tìm một vị trí bên cạnh mô hình bố trí mốc cao trình chuẩn. Nếu phạm vi mô hình lớn phải bố trí mạng lưới thủy chuẩn. Cao trình mốc chuẩn phải căn cứ vào bản đồ địa hình để xác định điểm "0" giả định. Sau khi lập xong tuyến khống chế, căn cứ vào số liệu hữu quan về tuyến khống chế và mặt cắt, xác định vị trí cụ thể của các mặt cắt, tuyến đường bờ và cao trình của nó. Dùng gạch và vữa xi măng xây tuyến đường bờ lòng dẫn.

b) Xây đắp mô hình sông lòng cứng

Sau khi đã xác định lưới khống chế và vị trí mặt cắt trên bộ mô hình, dựa vào các vị trí và cao trình đã xác định dùng vữa xây các trụ gạch, đỉnh trụ gạch ghép bằng gỗ. Điểm tựa của bản mặt cắt cũng có thể thay bằng cọc gỗ.

Định vị giao điểm của mặt cắt và tuyến khống chế 2 bờ, dùng máy thủy chuẩn khống chế cao trình, dựng bản mặt cắt vào vị trí thiết kế và cố định lại. Trước khi cố định bản mặt cắt phải kiểm tra kỹ cao trình của các điểm trên mặt cắt, để sai số không vượt quá $\pm (1 \div 2)$ mm. Hình 7-7 là sơ đồ dựng bản mặt cắt. Trên mô hình, cần bố trí các trạm đo mực nước. Trước lúc đắp mô hình phải đặt sẵn ống dẫn liên thông ra hố đặt kim đo ngoài tường vách mô hình.



Hình 7-7 : Lắp đặt bản mặt cát mô hình

1- Tường vách mô hình; 2- Bản mặt cát; 3- Trụ gạch; 4- Cọc gỗ

Lắp xong mặt cát, thì đổ cát vào không gian giữa các mặt cát, đổ phân lớp và đầm chặt bằng đầm gỗ nhỏ. Đổ đến cách đỉnh mặt cát khoảng 5 cm, dùng bản gỗ mỏng gạt mặt cát theo xu thế địa hình giữa 2 mặt cát; và lại dùng máy thủy chuẩn kiểm tra cao trình mặt cát. Nếu đạt yêu cầu, thì phủ lên mặt 1 lớp cát vàng dày $2 \div 3$ cm, sau đó dùng vữa xi măng cát mác $1 : 2 \sim 1 : 4$ trát lên đến cao trình đỉnh bản mặt cát. Nếu dùng bản mặt cát không cắt theo địa hình, thì sau khi phủ cát vàng dùng vữa xi măng đắp gờ nhỏ chạy theo nét vẽ ở 2 bên bản. Đợi vữa cứng xong, rút bản và đắp địa hình giữa 2 mặt cát.

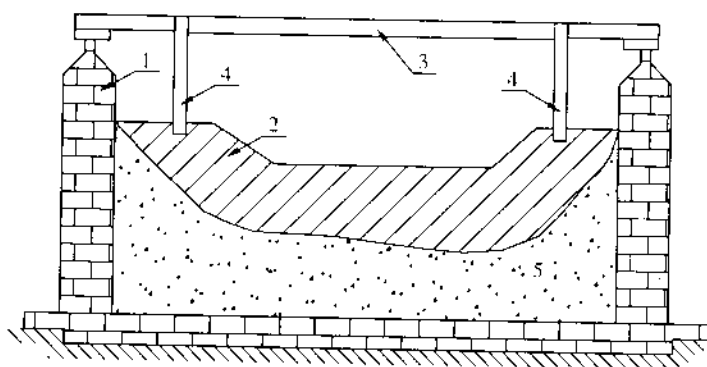
Đắp xong địa hình, trước khi trát mặt bằng vữa xi măng phải đối chiếu với bản đồ địa hình để kiểm tra xem vị trí mặt cát và địa hình mô hình đã chính xác chưa. Những chỗ có biến đổi đột ngột và những chỗ xem ra không hợp lý phải kiểm tra thật kỹ lưỡng. Những biến đổi cục bộ giữa 2 mặt cát dễ bị bỏ qua khi đắp mô hình cần đối chiếu với bản đồ địa hình chứ không chỉ dựa đơn thuần vào bản mặt cát. Cao trình bản mặt cát có thể bị sai lệch do chấn động khi đầm nén, trước khi trát vữa cũng phải tiến hành hiệu chỉnh.

Vật liệu trát mặt mô hình cũng có thể dùng loại bê tông thạch lap, trộn theo dung tích 3 phần nhựa thông, 15 phần thạch lap và 82 phần cát. Đun nhựa thông và thạch lap nóng lên $(100 \div 150)^{\circ}\text{C}$, biến chúng thành dung dịch, đổ vào cát đã gia nhiệt trộn thật đều để trát lên mặt mô hình, sau khi ninh kết sẽ khô cứng. Loại vật liệu này dễ sửa chữa mô hình, chỉ cần hơi nóng bên ngoài sẽ hóa mềm, nhưng giá thành tương đối cao. Bê tông thạch lap đã qua sử dụng, có thể tái chế bằng cách đập vỡ và đun nóng lại. Trong điều kiện địa hình đơn giản có thể dùng các cọc tre nhỏ để lên mặt cát, dùng máy thủy chuẩn có độ chính xác cao để khống chế cao độ cọc.

c) Đắp mô hình lòng động:

Chế tạo mô hình lòng động cũng thường dùng bản mặt cát lồi. Sau khi cố định bản mặt cát vào vị trí quy định, đổ cát mô hình vào quãng giữa 2 bản mặt cát, đắp xong địa hình theo yêu cầu thì rút bản mặt cát lên là thành. Nhưng cũng có thể sử dụng bản mặt

cất lõi để đắp mô hình. Đáy bản mặt cật là đường viền mặt cật, bản được treo trên giá và đặt nó vào vị trí và cao trình quy định, đắp cát mô hình phía dưới cho đến khi mặt cát chạm đáy bản mặt cật, như hình 7-8 thể hiện.



Hình 7-8: Lắp đặt bản mặt cật lõi để đắp mô hình lòng động

1 - Tường mô hình; 2 - Bản mặt cật; 3 - Khung treo; 4 - Kẹp giữ bản; 5 - Cát mô hình

Để thuận tiện trong việc phục chế lòng dẫn ban đầu của mô hình trong quá trình thí nghiệm, ở vị trí đầu mặt cật có thể đóng cọc đánh dấu vị trí đặt bản.

Sau khi đắp xong mô hình cần chú ý đường hộ bê tông, bảo vệ địa hình đã đắp, tránh bị làm hư hỏng, sai lệch.

7.3. TRÌNH TỰ THÍ NGHIỆM VÀ CHÍNH LÝ PHÂN TÍCH SỐ LIỆU THÍ NGHIỆM

7.3.1. Trình tự thí nghiệm

Thí nghiệm là một biện pháp quan trọng để thu nhận được các số liệu nghiên cứu. Việc tiến hành thuận lợi công tác thí nghiệm ảnh hưởng trực tiếp đến độ chính xác của tư liệu và hiệu quả công tác. Việc sắp đặt công việc cần chi tiết, hợp lý, thao tác cần chính xác đáng tin cậy, tư liệu cần thu thập chu toàn, cố gắng để vừa làm thí nghiệm vừa chính lý để phát hiện kịp thời vấn đề, kịp thời bổ cứu.

Trình tự thí nghiệm mô hình thường phân ra 3 giai đoạn chính:

- Chuẩn bị (bao gồm cả thí nghiệm thử) và kiểm tra trước thí nghiệm ;
- Thí nghiệm kiểm chứng ;
- Thí nghiệm chính thức.

Thảo luận từng vấn đề một như sau:

a) Chuẩn bị và kiểm tra trước thí nghiệm :

- Chuẩn bị và kiểm tra các thiết bị đo.

Thiết bị đo cần thiết trong thí nghiệm bao gồm lưu tốc kế, thiết bị đo lưu hướng, máy đo nồng độ bùn cát, máy đo chiều sâu bồi lắng, máy đo mực nước và thiết bị đo lưu

lượng (đập tràn thành mòng), thiết bị phân tích hạt, máy tính, máy chụp ảnh, ghi hình v.v... phải lập danh mục thống kê và vận hành thử. Cần phải nắm vững tính năng, độ chính xác của từng thiết bị, thành thực cách thao tác và điều kiện sử dụng. Cần vẽ trước các loại đường cong kiểm định, xác định điểm cao trình "0" cho tất cả các hố kim đo, đánh dấu vị trí trên mặt bằng của các mặt cắt, các dụng cụ phụ trợ cho quan trắc (cầu đo, giá kim đo di động, nguồn điện, hệ thống chiếu sáng, giá chụp ảnh, thiết bị thông tin...) đều phải hoàn tất và kiểm tra đầy đủ.

- Chuẩn bị và kiểm tra hệ thống cấp nước.

Hệ thống cấp nước của mô hình bao gồm: thiết bị toàn bộ của trạm bơm, đường ống dẫn nước đến mô hình, máng hồi nước v.v... cần được lắp đặt, điều chỉnh, sửa chữa, sẵn sàng cho hoạt động, tiến hành kiểm tra một cách toàn diện. Các loại trục trặc cần được khắc phục, loại trừ ngay. Những chỗ rò khí của đường ống cần được bịt lại chắc chắn. Cần phải kiểm tra từ đầu hiện tượng rò rỉ nước của mô hình và có biện pháp khắc phục triệt để.

- Chuẩn bị và kiểm tra cát mô hình và hệ thống cung cấp cát.

Chế tạo cát mô hình là khâu quan trọng trong thí nghiệm mô hình lòng động. Những dụng cụ để đập vỡ, nghiền, sàng, phân loại cát, chỗ chứa cát đã gia công xong, các thiết bị cung cấp cát, thu hồi cát... tất cả đều phải đầy đủ số lượng và chất lượng, sẵn sàng vào công việc. Cát mô hình đã tuyển lựa phải được xác định các chỉ tiêu cơ lý, các đặc trưng thủy lực như vận tốc khởi động, vận tốc chìm lắng. Những tài liệu về xác định sức tải cát lơ lửng, suất chuyển bùn cát đáy cũng cần thu thập đầy đủ phục vụ cho thiết kế, tính toán.

- Lập kế hoạch thí nghiệm:

Trước khi mở nước thí nghiệm, cần hoạch định các serie thí nghiệm; nội dung thí nghiệm của từng serie (bao gồm thời gian thí nghiệm, lưu lượng, hàm lượng bùn cát, mực nước khống chế v.v...); hạng mục đo đạc; phân công người phụ trách và phổ biến đầy đủ đến từng người, từng bộ phận liên quan. Những bảng biểu, thước tỷ lệ, bản đồ địa hình... đều phải lập mẫu trước trong máy tính. Tóm lại, cần chuẩn bị đầy đủ mọi thứ thí nghiệm tiến hành thuận lợi.

b) Thí nghiệm kiểm chứng :

Mô hình chế tạo xong, trước hết phải kiểm chứng tương tự về hình học (cao trình và mặt bằng mô hình). Sai số cao trình cực đại không được vượt quá ± 2 mm, nếu không đạt phải sửa chữa lại.

Thí nghiệm kiểm chứng mô hình lòng cứng thông thường bao gồm đường mặt nước dưới các cấp lưu lượng, trạng thái chảy và phân bố vận tốc. Đối với mô hình lòng động, ngoài những hạng mục như của mô hình lòng cứng còn phải kiểm chứng về tương tự biến hình lòng dẫn (xói, bồi).

c) Thí nghiệm chính thức :

Sau khi hoàn thành thí nghiệm kiểm chứng thì có thể bước vào thí nghiệm chính thức. Trong thí nghiệm chính thức, các loại mô hình khác nhau, nội dung thí nghiệm cũng không giống nhau, điều đó phụ thuộc vào tính chất của vấn đề nghiên cứu, không thể nói chung được. Dưới đây chỉ nói đến vấn đề khống chế thí nghiệm mô hình.

- Đối với mô hình lòng cứng, nếu nghiên cứu dòng ổn định thì mở một lưu lượng cố định vào mô hình và điều tiết cửa van đuôi để giữ một giá trị mực nước nhất định, đợi đến khi lưu lượng và mực nước ổn định là có thể đi vào quan trắc cụ thể. Toàn bộ hạng mục quan trắc tiến hành xong xuôi mới thay đổi lưu lượng để tiến hành sang série khác, cho đến khi hoàn thành toàn bộ nội dung thí nghiệm. Nếu dòng chảy mô hình là không ổn định thì phải điều tiết lưu lượng theo một quá trình thiết kế và khống chế mực nước ở cửa van đuôi tương ứng. Công việc này phải được tự động hóa điều khiển bằng chương trình trên máy vi tính.

- Thí nghiệm mô hình lòng động khác với mô hình lòng cứng. Nội dung thí nghiệm cũng tùy thuộc tính chất của vấn đề nghiên cứu. Thông thường, mở nước theo một quá trình lưu lượng đã khái quát hóa. Do luôn phải nghiên cứu biến đổi lòng dẫn trên mô hình trong một thời gian dài, mà nếu ngừng nước giữa chừng thì địa hình bị phá hoại cho nên thí nghiệm mô hình lòng động luôn phải kéo rất dài thời gian, và trong quá trình mở nước luôn phải quan trắc sự thay đổi của dòng chảy và lòng dẫn. Đương nhiên, nếu thời gian quá dài hoặc chịu những hạn chế của các điều kiện khác, cũng có thể chọn một thời đoạn tạm ngưng vào lúc có biến đổi lòng dẫn không lớn, lúc đó cần có biện pháp bảo vệ để địa hình lòng dẫn khỏi bị phá hoại. Đối với những thí nghiệm nghiên cứu vấn đề cục bộ, có thể chỉ cần mở một lưu lượng nhất định và thời gian không nhất thiết phải rất dài, vấn đề sẽ đơn giản hơn nhiều.

Thí nghiệm mô hình lòng động do thời gian dài, khối lượng công việc lớn, đặc biệt là công tác phục hồi lại địa hình ban đầu, công tác chuẩn bị các mô hình cũng rất vất vả, do đó số série thí nghiệm nên chọn ít mà tinh. Kết hợp với thí nghiệm mô hình lòng cứng, sau khi nghiên cứu biện pháp công trình trên mô hình lòng cứng sẽ kiểm nghiệm chúng trên mô hình lòng động là một cách giải quyết vấn đề theo kiểu đó. Để tránh địa hình lòng sông bị phá hoại, khi bắt đầu mở nước cần nâng cao cửa van đuôi, làm ngập mô hình dần dần từ cuối mô hình, đợi mô hình ngập đầy mới mở nước từ thượng lưu. Lúc ngưng nước, cũng trước hết kéo cao cửa van cuối, dâng cao mực nước, sau đó mới ngưng nước. Mở nước, ngưng nước hoặc điều chỉnh lưu lượng đều phải tiến hành từ từ. Ở 2 trường hợp sau, điều chỉnh cửa van cuối cũng phải từ từ. Thực tiễn cho thấy, sử dụng các phương pháp trên có thể tránh được sự phá hoại địa hình của mô hình.

7.3.2. Chính lý và phân tích số liệu

Chính lý và phân tích số liệu là công việc vô cùng quan trọng của thí nghiệm mô hình. Trong quá trình quan trắc thí nghiệm, số liệu thu được rất nhiều, cần thông qua

tính toán, chỉnh lý, xây dựng các đồ thị, biểu đồ quan hệ, sau đó kết hợp với phân tích lý thuyết tìm ra những kết quả có tính quy luật, đáp ứng những vấn đề do thực tiễn đề ra.

Chỉnh lý và phân tích số liệu cần chú ý những điểm sau:

- Vừa thí nghiệm, vừa chỉnh lý: Trong quá trình thí nghiệm những số liệu có thể chỉnh lý, tính toán, vẽ hình thì thực hiện ngay để kịp thời phát hiện vấn đề, chỉ đạo công tác thí nghiệm, cũng giảm bớt khối lượng ừn lại về sau.

- Đối với số liệu quan trắc cần giữ thật, gạt giả; lấy tinh, bỏ thô. Bỏ hay lấy số liệu nào cần có căn cứ đầy đủ, không thể chủ quan tùy thích, càng không thể chọn các số liệu phụ họa cho những định kiến chủ quan của mình, làm như vậy dễ dẫn đến những kết luận sai lầm.

- Đối với những số liệu đã chỉnh lý cần tiến hành thống kê, quy nạp, vẽ thành các đường cong, đồ thị, để tìm ra các quan hệ tương hỗ giữa các yếu tố và xu thế biến hóa hoặc xây dựng các công thức, phương trình, hàm số...

Những đồ biểu cần chỉnh lý thông thường bao gồm :

- Về dòng chảy : Đường mặt nước; phân bố theo phương ngang của lưu tốc trung bình thủy lực và lưu lượng đơn vị; phân bố theo phương thẳng đứng của lưu tốc điểm; trạng thái chảy mặt nước...

- Về bùn cát: Phân bố theo phương ngang lòng sông của hàm lượng bùn cát trung bình thủy trực và suất chuyển bùn cát đáy; phân bố trên thủy trực của hàm lượng bùn cát; phân bố bùn cát tạo lòng; bản đồ địa hình lòng sông; diễn biến trên mặt cắt ngang, mặt cắt dọc...

Ngoài ra còn có các bảng số thống kê các số liệu minh chứng cho các đồ biểu trên.

Trong quá trình phân tích chỉnh lý số liệu, và căn cứ vào yêu cầu của thực tiễn sản xuất và nhu cầu thuyết minh vấn đề để quyết định tính chất và nội dung của các đồ biểu.

Sau khi chỉnh lý phân tích xong số liệu, phải viết ngay báo cáo kết quả thí nghiệm mô hình, nội dung báo cáo bao gồm:

1. Tình hình chung lòng sông và đề xuất nhiệm vụ thí nghiệm ;
2. Mục đích thí nghiệm, nội dung thí nghiệm và phương án công trình ;
3. Thiết kế mô hình ;
4. Chế tạo mô hình ;
5. Thí nghiệm kiểm chứng ;
6. Phân tích kết quả thí nghiệm chính thức (bao gồm phương án thiết kế ban đầu và phương án điều chỉnh) ;
7. Kết luận và kiến nghị.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Lương Phương Hậu. *Động lực học dòng sông*. Giáo trình Đại học Xây dựng - 1992.
2. Tạ Giám Hoàn. *Hà lưu mô nghĩ*. Thủy lợi Điện lực xuất bản xã - Bắc Kinh - 1988.
3. Viện Nghiên cứu khoa học Thủy lợi Nam Kinh. *Thủy công mô hình thí nghiệm*. Thủy lợi Điện lực xuất bản xã, Bắc Kinh - 1985.
4. Kobus. H. *Hydraulic Modelling*. German Association for water Resources and Land Improvement, Bulletin 7 - 1980.
5. Yalin. M.S. *Theory of Hydraulic Models*. Macmillan - 1971.
6. Adams, E.E, RF, Harleman, H. Jirka, K.D. Stolzenbach, *Hear Disposal in the water Environment*, Dept. of Civil Engineering. MIT - 1981.
7. J. Van. Overeem. *Lecture Scale Models for Coastal Engineering*. I.H.E DELFT - 2002.

MỤC LỤC

	<i>Trang</i>
<i>Lời nói đầu</i>	3
Mở đầu	5
Chương I. Khái quát về thí nghiệm mô hình công trình thuỷ	
1.1. Nhiệm vụ cơ bản của thí nghiệm mô hình công trình thuỷ	9
1.2. Phân loại mô hình công trình thuỷ	9
1.3. Sơ lược lịch sử phát triển của thí nghiệm mô hình công trình thuỷ	11
Chương II. Phép phân tích thứ nguyên	
2.1. Thứ nguyên và đơn vị	12
2.2. Tính chất điều hoà thứ nguyên và đồng bậc của phương trình vật lý	16
2.3. Phương pháp phân tích thứ nguyên theo định luật Releigh	19
2.4. Phép phân tích thứ nguyên theo định luật π	22
2.5. Mối quan hệ giữa phép phân tích thứ nguyên và tính tương tự trong thí nghiệm mô hình	26
Chương III. Cơ sở lý thuyết tương tự	
3.1. Thuộc tính của hiện tượng tương tự	28
3.2. Định lý về số chỉ thị tương tự và chuẩn tắc tương tự	33
3.3. Điều kiện tương tự	44
Chương IV. Thí nghiệm mô hình sông lòng cứng	
4.1. Thí nghiệm mô hình sông lòng cứng, chính thái	49
4.2. Thí nghiệm mô hình sông lòng cứng, biến thái	58
4.3. Phân tích một số vấn đề trong thí nghiệm	73
4.4. Ví dụ thiết kế mô hình công trình sông lòng cứng	82
	203

Chương V. Thí nghiệm mô hình sông lòng động

5.1. Thí nghiệm mô hình sông lòng động với dòng chảy mang bùn cát lơ lửng	87
5.2. Thí nghiệm mô hình lòng động bùn cát đáy	107
5.3. Một số vấn đề trong thí nghiệm	120
5.4. Ví dụ thực tế về thiết kế mô hình sông lòng động	134
5.5. Thí nghiệm mô hình chuỗi	145

Chương VI. Các loại thí nghiệm mô hình chuyên đề

6.1. Thí nghiệm mô hình công trình sông vùng triều	158
6.2. Mô hình sóng	165
6.3. Mô hình khí	175

Chương VII. Thiết bị và vận hành thí nghiệm mô hình sóng

7.1. Trang thiết bị của khu thí nghiệm mô hình	181
7.2. Chế tạo mô hình	194
7.3. Trình tự thí nghiệm và chỉnh lý phân tích số liệu thí nghiệm	198

Tài liệu tham khảo	202
---------------------------	-----

LÝ THUYẾT THÍ NGHIỆM MÔ HÌNH CÔNG TRÌNH THỦY

Chịu trách nhiệm xuất bản:

BÙI HỮU HẠNH

Biên tập: **TRỊNH KIM NGÂN**

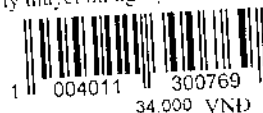
Chế bản điện tử: **VŨ HỒNG THANH**

Sửa bản in: **TRỊNH KIM NGÂN**

Trình bày bìa: **NGUYỄN HỮU TÙNG**

In 500 cuốn khổ 19×27 cm, tại Xưởng in Nhà xuất bản Xây dựng. Giấy chấp nhận đăng ký kế hoạch xuất bản số 66/XB-QLXB-8 ngày 17/01/2003. In xong nộp lưu chiểu tháng 12/2003.

lý thuyết thí nghiệm cơ thủy 21



6C2.3	66 - 2003
XD- 2003	

Giá : 34.000^d