

Chương II: DÒNG CHẢY LƯU TỐC CAO

Chương này giới thiệu về dòng lưu tốc cao qua đập tràn tháo lũ, đồng thời nêu ví dụ về xác định các thông số thiết bị thông khí bằng thực nghiệm.

§II.1. KHÁI QUÁT

I. Ý nghĩa của dòng lưu tốc cao

Những năm vừa qua, do yêu cầu phát triển về dân sinh kinh tế, nhiều công trình thủy lợi, thủy điện lớn của nước ta đã được thiết kế và xây dựng. Với các công trình vận hành trong điều kiện cột nước chênh lệch lớn thì không chỉ trên mặt đập tràn, trên dốc nước mà cả trong các tuyền hay cống xả lũ dẫn dòng thì công lưu tốc dòng chảy đạt từ 18,0m/s÷37.0m/s.

Có thể kể đến các công trình:

- Về đập tràn xả lũ, lưu tốc tại vùng mũi phun đạt từ 25m/s÷35m/s gồm có:
 - + Đập tràn thủy điện Bản Vẽ,
 - + Đập tràn thủy điện Sê San 3, Sê San 4,
 - + Đập tràn thủy điện sông Tranh 2,
 - + Đập tràn Bản Chát,
 - + Đập tràn thủy điện Huội Quảng,
 - + Đập tràn thủy điện Sơn La,
 - + Đập tràn thủy điện Bình Điền .v.v.
- Về dốc nước: dòng chảy trên dốc nước của một số đập tràn có lưu tốc lớn từ 18m/s ÷ 35m/s, như:
 - + Dốc nước đập tràn thủy điện KaNak,
 - + Dốc nước đập tràn hồ chứa nước Cửa Đạt,
 - + Dốc nước đập tràn thủy điện Tuyên Quang,
 - + Dốc nước đập tràn thủy điện Sơn La,
 - + Dốc nước đập tràn thủy điện Hoà Bình.
- Về tuyền và cống xả lũ dẫn dòng thi công, có lưu tốc dòng chảy trong tuyền hay cống lớn từ 18m/s÷ 25m/s, như:
 - + Tuyền xả lũ thi công thủy điện Bản Chát,
 - + Tuyền xả lũ thi công thủy điện Tuyên Quang,
 - + Tuyền xả lũ thi công hồ chứa nước Cửa Đạt,
 - + Tuyền xả lũ thi công thủy điện Huội Quảng,
 - + Cống xả lũ thi công thủy điện sông Tranh 2,
 - + Cống xả lũ thi công thủy điện Sơn La .v.v.

Theo các tài liệu nghiên cứu ở nước ngoài khi giá trị lưu tốc dòng chảy vượt quá 18m/s có khả năng xuất hiện khí thực; khi lưu tốc dòng chảy tăng đến 30m/s thì mức độ khí thực ước tính tăng lên 17 lần, khi lưu tốc tăng đến 40m/s thì mức độ khí thực

tăng lên đến gần 100 lần. Hiệu suất khí thực và lưu tốc thành tỷ lệ thuận với số mũ 5÷7 lần.

Khi phát sinh dòng chảy có lưu tốc cao không chỉ gây ra hiện tượng khí thực mà còn gây ra mạch động lưu tốc, mạch động lưu tốc lớn, gây rung động đối với công trình. Do đó từ thập kỷ 50÷60 của thế kỷ 20 nhiều nhà thủy lực đã chú ý đến việc nghiên cứu dòng chảy có lưu tốc cao; có thể kể đến, như:

- Rouse, H.Siao, T.T and Nagaratnam: “Turbulence Characteristic of the Hydraulic Jumps”. Trans.A.S.C.E.1959.

- “Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators” U.S.Department of the interior Bureau of Reclamation 1963.

- Lý Tông Bích “Nghiên cứu dòng phun xa trên ngưỡng phun đối với dòng chảy lưu tốc cao ” tạp chí thủy lợi Trung Quốc số 2 năm 1963 (tiếng Trung).

- “Dòng chảy lưu tốc cao”Phòng nghiên cứu thủy công Viện Khoa học Thủy lợi Trung Quốc (tài liệu dịch) nhà xuất bản thủy lợi 1958.

Để tránh hiện tượng khí thực phá hoại, biện pháp truyền thống là: Khi thiết kế chọn hình dạng mặt thoát nước hợp lý; khống chế độ bằng phẳng lòng mặt thoát nước khi thi công và sử dụng vật liệu có tính năng chống xâm thực. Trên thực tế đã chứng minh khi dòng chảy có lưu tốc đạt tới gần 40m/s thì biện pháp truyền thống khó tránh được khí thực phá hoại. Gần 30 năm nay ở Trung Quốc cũng như một số nước đã tiến hành các đề tài nghiên cứu trộn khí giảm khí thực; xây dựng một loạt công trình trộn khí giảm khí thực là một giải pháp có hiệu quả kinh tế – kỹ thuật.

Khắc phục được hiện tượng khí thực cũng làm giảm bớt được mạch động lưu tốc và rung động của công trình.

Năm 1960 lần đầu tiên ứng dụng biện pháp trộn khí giảm khí thực được thực hiện khi sửa chữa mặt cắt thoát nước của lỗ tháo lũ trên đập Đại Cát Ly (Mỹ). Sau khi sửa chữa công trình đã vận hành hơn 10.000giờ chứng tỏ mặt thoát nước sau khi sửa chữa không phát sinh khí thực; sau đó tiếp tục ứng dụng cho công trình tháo lũ của đập Hoàng Vỹ (Yellow dam) và đập Cách Lâm Hiệp ở Mỹ, rồi tuy nèn tháo lũ của đập Mai Ca (Canada). ở Trung Quốc năm 1976 lần đầu ứng dụng thiết bị thông khí giảm khí thực vào đường hầm tháo lũ công trình Phùng Gia Sơn, rồi sau đó ứng dụng vào tuy nèn xả lũ các công trình hồ chứa nước: Thạch Đầu Hà, U Giang Độ, Đồng Giang .v.v. gần 20 công trình, chiếm khoảng 1/4 số công trình ứng dụng trên thế giới, chứng minh hiệu quả tốt.

Vừa qua cụm đầu mối thủy lợi Tiểu Lang Đế nằm trên dòng chính sông Hoàng Hà là công trình đập đá đổ cao 167m, để giải quyết vấn đề khí thực phá hoại của đoạn chảy hở công trình tuy nèn xả lũ có dòng chảy lưu tốc cao lại mang bùn cát, trong thiết kế đã dùng biện pháp trộn khí kết hợp với việc chọn vật liệu chống mài mòn.

Theo tài liệu đo đạc một số công trình thực tế ở trong và ngoài nước cho thấy: các công trình xả lũ có cột nước $H > 30\text{m}$, hiện tượng khí thực của dòng lưu tốc cao phá hoại công trình là phổ biến. Theo quy định chung thì giải pháp chống khí thực chỉ thích ứng với trường hợp $v < 30\div 35\text{m/s}$ nhưng xét tới chất lượng thi công thì khi $v > 22\div 26\text{m/s}$ nên bố trí biện pháp trộn khí.

II. Một số công trình bị hư hỏng do xâm thực

Trong các công trình thủy lợi, thủy điện lớn dòng chảy có lưu tốc cao thường gặp ở các công trình:

- + Cổng hoặc tuyen nén xả lũ dẫn dòng thi công, tuyen nén xả lũ thường xuyên ...
- + Dòng chảy ở vùng mũi hắt của đập tràn và trên thân các đập tràn lớn.
- + Dòng chảy trên các dốc nước sau đập tràn tháo lũ.

Khi lưu tốc dòng chảy đạt đến giá trị từ 18m/s trở lên thì trên mặt công trình có thể gây ra các hiện tượng bất lợi đối với kết cấu và vật liệu của công trình, đó là:

- + Hiện tượng rung động phát sinh tiếng ồn.
- + Hiện tượng xâm thực ăn mòn các loại vật liệu bảo vệ mặt các công trình.
- + Hiện tượng xâm thực phá hoại kết cấu bê tông; có không ít trường hợp công trình thực tế bê tông bị phá hoại trong phạm vi lớn.

Dưới đây xin nêu một số ví dụ ở trong và ngoài nước.

1. Ở trong nước

- + Tràn xả lũ hồ chứa nước Núi Cốc, Thái Nguyên

Công trình bắt đầu được đưa vào sử dụng năm 1982 với $Q_{TK} (P=0.5\%) = 830m^3/s$, $B_{tr} = 24m$, chiều dài dốc nước 20m, độ dốc $i=0.125$. Sau 22 năm khai thác sử dụng ở dốc nước và mũi phun đã xuất hiện hiện tượng xâm thực do khí thực.

- + Đường tràn Nam Thạch Hãn, Quảng Trị

Tràn thi công từ năm 1978, có ngưỡng đỉnh rộng, nối tiếp sau là dốc nước. Tháng 10/1983 tràn xả lưu lượng $7.000m^3/s$, kết quả ngưỡng và dốc nước tràn bị hư hỏng nặng. Trên mặt tràn quan sát thấy nhiều chỗ lớp vữa xi măng bị bong chỉ còn tro lại hòn sỏi, nhiều chỗ trụ cốt thép han gỉ, có chỗ bê tông bị xói sâu xuống $0.2\div 0.3m$. Đó là do khí thực.

- + Tràn xả lũ hồ chứa nước Kẻ Gỗ

Công trình được đưa vào khai thác sử dụng từ năm 1987, với $Q_{0.5\%} = 1080m^3/s$, $B_{tr} = 20m$, hình thức xả sâu, ngưỡng kiểu đập tràn thực dụng, điều tiết bằng cửa van cung, chiều dài dốc nước $L=39.5m$, độ dốc $i=0.1$.

Sau hơn 20 năm khai thác sử dụng, công trình đã phát huy tốt các nhiệm vụ điều tiết và xả lũ về các mùa lũ. Qua khảo sát thực tế thì ở phần mũi phun tạo thành các lỗ với chiều sâu $2\div 5cm$ và bị lộ cốt thép ra ngoài xem hình 2.1.



Hình 2.1. Bê tông mũi phun tràn Kẽ Gõ bị phá hoại

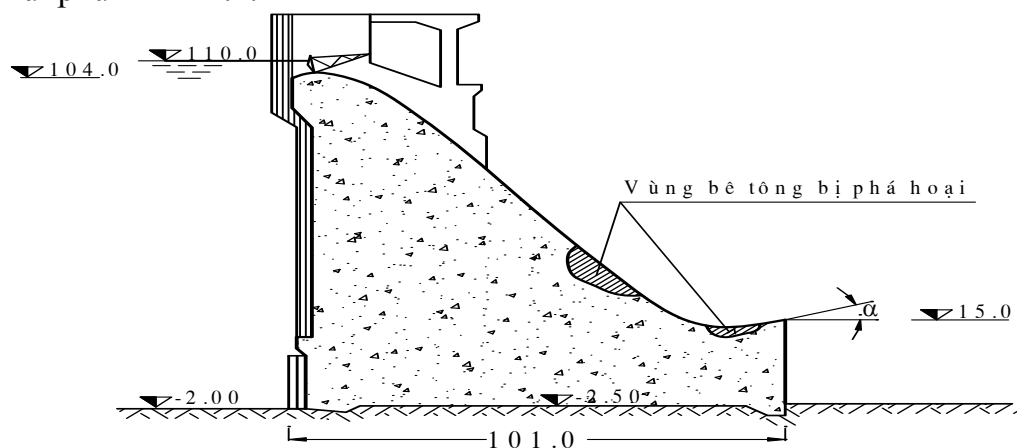
2. Ở nước ngoài

+ Đập tràn thủy điện Brask, Liên Xô

Công trình được xây dựng năm 1960 so với lưu lượng đơn vị thiết kế $q=30.5$ ($m^3/s.m$). Đập tràn có 10 khoang mỗi khoang, có chiều rộng $B=18m$, $Q=5490m^3/s$, lưu tốc trên mũi phóng $v_{mp} = 35m/s$.

Bán kính cong chân đập: $R=15m$; góc mũi hắt $\alpha = 35^\circ$

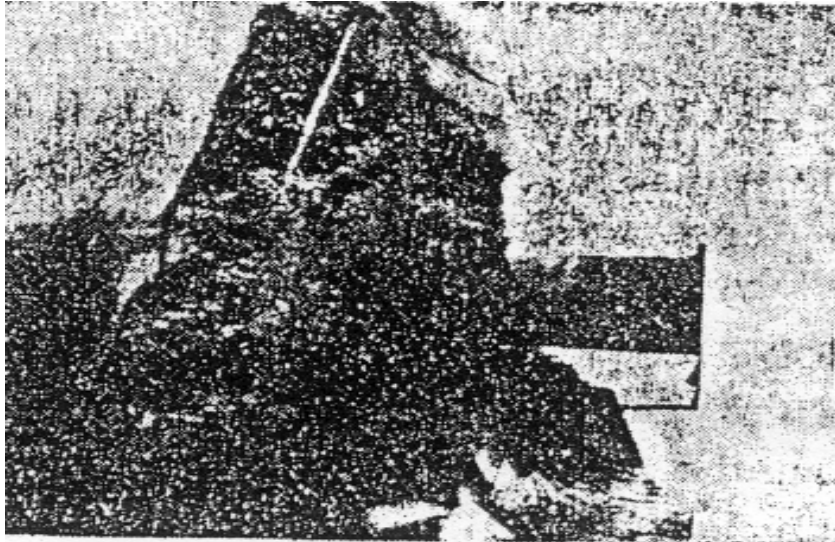
Sau một số năm vận hành, tràn bị xâm thực và bê tông bị phá hoại ở gần cuối thân tràn và mũi phun hình 2.2.



Hình 2.2. Mặt cắt ngang đập tràn Brask

+ Đập tràn thủy điện Yên Đờng Hiệp, Trung Quốc

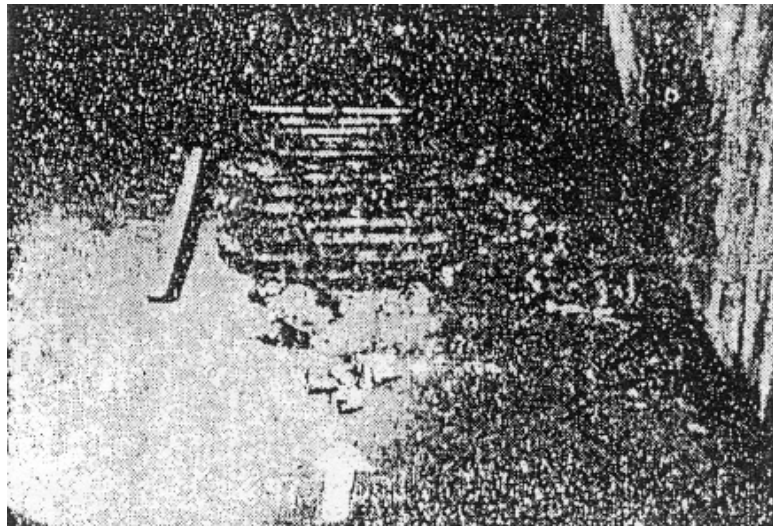
Mổ tiêu năng của bể tiêu năng, do xâm thực đã phá hoại kết cấu bê tông mô hình 2.3.



Hình 2.3. Bê tông mố tiêu năng tràn Yên Đồng Hiệp bị phá hoại

+ Tuy nen xả lũ thủy điện Lưu Gia Hiệp, Trung Quốc

Bê tông đoạn cuối tuy nen xả lũ thủy điện Lưu Gia Hiệp - Trung Quốc bị phá hoại hình 2.4.



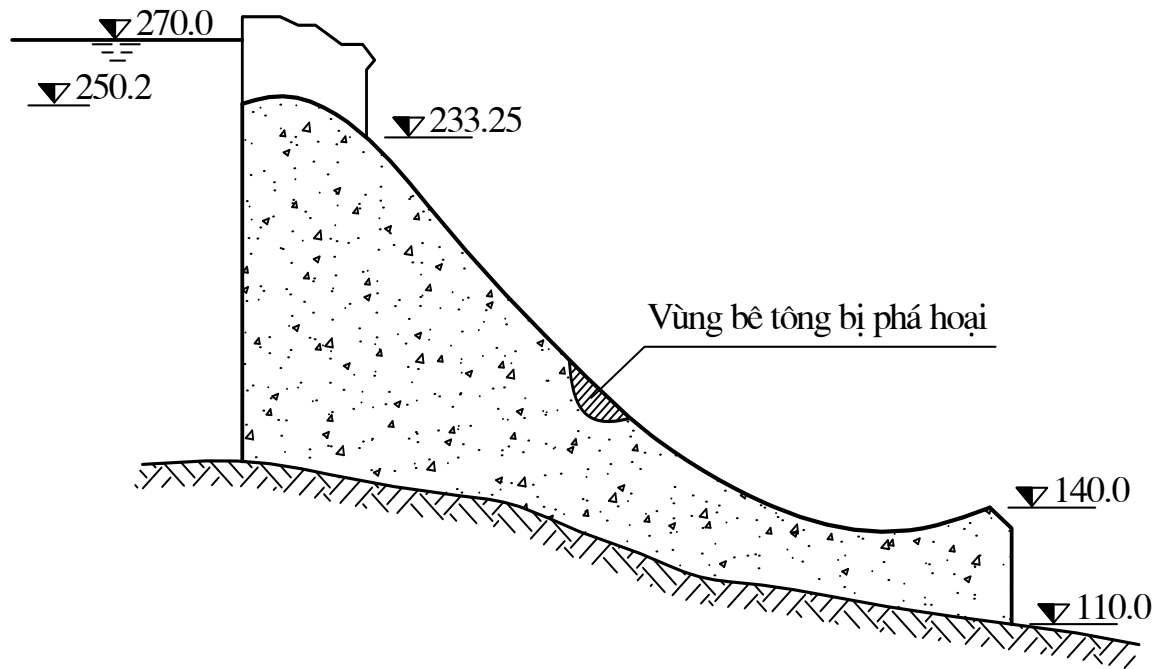
Hình 2.4. Bê tông cuối tuy nen xả lũ thi công Lưu Gia Hiệp bị phá hoại

+ Đập tràn thủy điện Guri, Vê-nê-zuê-la

Công trình được xây dựng năm 1982 với lưu lượng đơn vị thiết kế $q=150\text{m}^3/\text{s.m}$.
Chiều rộng tràn $B=40\text{m}$; $Q=6000\text{m}^3/\text{s}$.

Lưu tốc trên mũi phóng $v_{\text{mũi}} = 41\text{m/s}$; bán kính cong chân đập $R=18\text{m}$.

Sau một số năm vận hành tràn bị xói ở thân tràn hình 2.5.



Hình 2.5. Mặt cắt ngang đập tràn Guri

Qua một số ví dụ về các công trình bị hư hỏng trên, chúng ta thấy vấn đề dòng chảy lưu tốc cao cần được quan tâm nghiên cứu. Những vấn đề tiếp theo chúng tôi nêu về lưu tốc, áp suất ... có liên quan tới dòng lưu tốc cao.

§II.2. MẠCH ĐỘNG LƯU TỐC

Trong công trình thủy lợi, thủy điện lớn, công trình làm việc với cột nước cao thì dòng chảy qua thân tràn, dốc nước, mũi phun, bể tiêu năng và đoạn sông ngay sau công trình thường là dòng chảy rối, lưu tốc dòng chảy lớn, áp suất cao .v.v.

Chính kết cấu độ rối này không chế chuyển động theo thời gian của dòng chảy, quy luật sức cản và đặc tính động lực có ý nghĩa thực tế đối với công trình như tiêu năng, trộn khí (hàm khí), khí thực, rung động .v.v.

Để người thiết kế có số liệu tin cậy đưa vào tính toán kết cấu công trình, như: Chiều dày bản đáy dốc nước, chiều dày bản đáy mũi phun ... cần phải biết mạch động lưu tốc và áp suất mạch động để tính toán và xác định lực neo cố.

I. Phương pháp Reynol

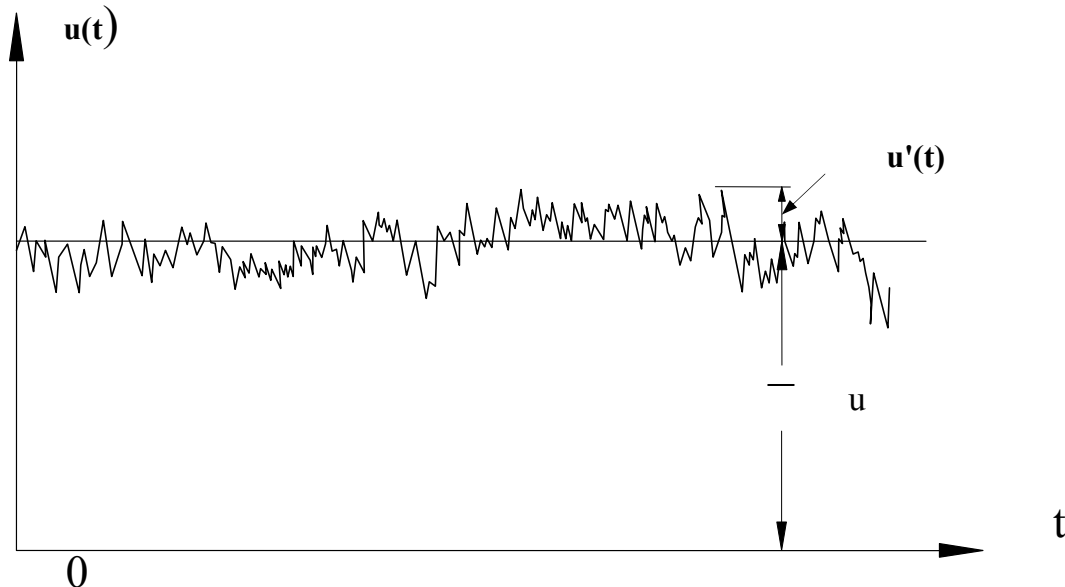
Trong nghiên cứu kết cấu dòng rối theo phương pháp Reynol, đem lưu tốc một điểm bất kỳ của dòng chảy phân thành ba thành phần u, v, w ; áp lực p dùng các tham số vật lý khác có liên quan biểu thị là “Trị số bình quân theo thời gian” và “trị số mạch động” có nghĩa:

$$u = \bar{u} + u'; \quad v = \bar{v} + v'; \quad \omega = \bar{\omega} + \omega'; \quad p = \bar{p} + p'; \quad (2.1)$$

Thông số “Trị số mạch động” là chỉ lượng sóng dao động trên dưới trị số bình quân theo thời gian. Nó đặc trưng cho quá trình động thái của dòng chảy chuyển động; trong đó trị số $\bar{u}, \bar{v}, \bar{\omega}, \bar{p}$ chỉ trị số bình quân thống kê theo thời gian (tức là kỳ vọng số học), dùng ký hiệu $E[u, v, \omega, p]$ để diễn tả các trạng thái của quá trình diễn ra, đối với

thống kê bình quân theo thời gian thay cho bình quân của tập hợp.

$$E[u, v, \omega, p] = \bar{u}, \bar{v}, \bar{\omega}, \bar{p} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T [u, v, \omega, p] dt \quad (2.2)$$



Hình 2.6. Sơ đồ trị số mạch động và trị số bình quân theo thời gian

Để thu được bình quân thời gian ở phòng thí nghiệm dùng thiết bị đo đặc thông thường như pitô ống đo áp tĩnh, còn lượng mạch động của dòng rối là đo các điểm khác nhau trong không gian và thời gian; kết quả thu được là không giống nhau, nó là hàm tùy thuộc vào thời gian và không gian. Do đó đối với các lượng này cần có thiết bị chuyên dùng để đo và dùng phương pháp luận xác suất để nghiên cứu.

Trong nghiên cứu thí nghiệm đặc trưng của dòng rối, việc nghiên cứu lưu tốc mạch động là rất quan trọng. Vì nó là một trong những chỉ tiêu quan trọng nhất biểu thị đặc trưng động lực của dòng rối, giá trị của nó tuy nhỏ nhưng nó đối với lực cản của dòng chảy động và các đặc tính khác đều ảnh hưởng rất lớn.

Mạch động lưu tốc ảnh hưởng đến đặc tính của dòng rối thông qua “ứng suất Reynol”. Dưới đây xin dùng tính vật lý trực quan để nêu về vấn đề này.

Như hình 2.7 trong một khối lượng chất lỏng v , cắt một vi nguyên tố thì động lượng của chất lỏng theo phương x là suất khối lượng dòng chảy $\rho u dy dz$ nhân với lưu tốc u , tức là:

$$dk_{x-x} = \rho u^2 dy dz = \rho (\bar{u} + u')^2 dy dz = \rho (\bar{u}^2 + 2\bar{u}u' + u'^2) dy dz$$

Lấy trị số thống kê bình quân thời gian được:

$$\overline{dk_{x-x}} = E[dk_{x-x}] = \rho (\bar{u}^2 + 2\bar{u}\bar{u}' + \bar{u}'^2) dy dz$$

Từ định nghĩa:

$$\bar{u}' = E[u'] = 0 \text{ ta có:}$$

$$\overline{dk_{x-x}} = \rho (\bar{u}^2 + \bar{u}'^2) dy dz \quad (2.3)$$

$$\overline{u'^2} = E[u'^2] = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T u'^2 dt \quad (2.4)$$

Phương trình (2.4) là phương sai phân của mạch động lưu tốc.

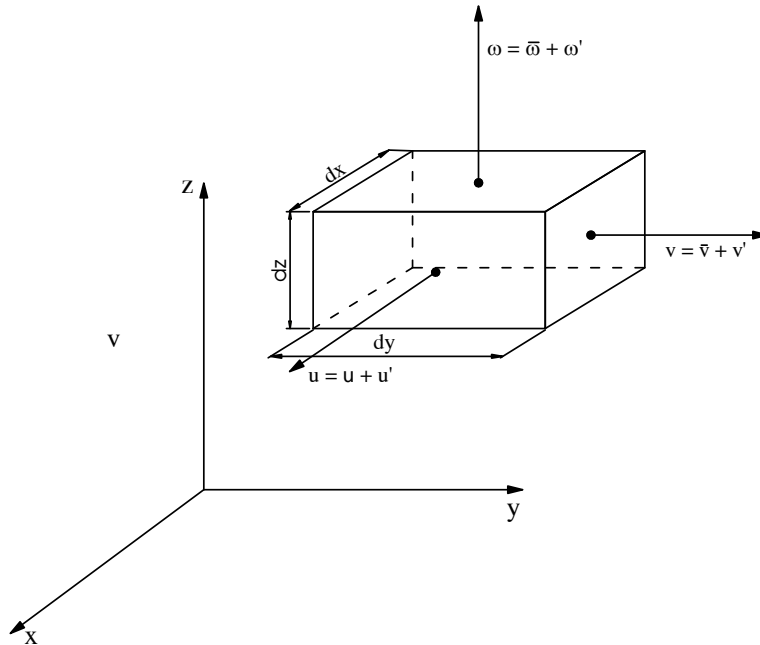
Từ phương trình (2.3) cho thấy: Nếu trong dòng chảy rối đo lưu tốc và áp suất bình quân thời gian, tính nhớt lại không đơn độc phát sinh ảnh hưởng đến trị bình quân thời gian, nhưng mạch động lưu tốc sẽ gây ảnh hưởng phụ đến thông lượng động lượng là $\rho u_{tb}^2 dydz$. Cũng như vậy suất khối lượng dòng chảy là $\rho(v_{tb} + v')$ đối với lưu tốc $u = u_{tb} + u'$ theo phương x sản sinh thông lượng của động lượng là:

$$dk_{xy} = \rho(\overline{u'v'} + \overline{u'v'}) dx dz$$

Lấy trị số thống kê bình quân thời gian ta có:

$$dk_{xy} = \rho(\overline{u'v'} + \overline{u'v'}) dx dy \quad (2.5)$$

$$\overline{u'v'} = E[u'v'] = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T u'v' dt \quad (2.6)$$



Hình 2.7. Sơ đồ tính thông lượng động lượng tác dụng vào vi nguyên tố chất lỏng trong thể tích không chế

Đem lực phụ gia tăng do mạch động lưu tốc gây ra tác dụng vào các vi nguyên tố này gọi là “ứng suất Reynol”. Hạng mục trên là “ứng suất nén” $\sigma_{xx} = -\rho \overline{u'^2}$, hạng mục dưới là “ứng suất cắt” $\tau_{xy} = -\rho \overline{u'v'}$. Cũng suy luận như vậy, do mạch động lưu tốc sinh ra hiệp phương sai, có ứng suất Reynol phân biệt là:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{xx} &= -\rho \overline{u'^2}; & \sigma_{yy} &= -\rho \overline{v'^2}; & \sigma_{zz} &= -\rho \overline{\omega'^2} \\ \tau_{xx} = \tau_{yx} &= -\rho \overline{u'v'}; & \tau_{yz} = \tau_{zy} &= -\rho \overline{v'\omega'}; & \tau_{xz} = \tau_{zx} &= -\rho \overline{\omega'u'}; \end{aligned} \right\} \quad (2.7)$$

Dựa theo công thức (2.7) có thể ước tính định tính về ứng suất Reynol và ứng suất nhớt. Nếu mạch động lưu tốc u', v' ; là trị số lưu tốc bình quân \bar{u} trên dưới 3% thì sẽ sinh ra ứng suất Reynol gần $0.001 \times \rho \bar{u}^2$.

Đối với đường ống mà nói gradient lưu tốc của nó là $\frac{\bar{u}}{d}$ (d là đường kính ống), ứng suất nhớt là $\frac{\mu \bar{u}}{d}$ thì:

$$\text{ứng suất Re/ứng suất nhớt} \approx \frac{0,001 \bar{u} d}{\nu} = 0.001 \text{Re} \quad (2.8)$$

Trong công thức (2.8): ν là hệ số nhớt động học, $\text{Re} = \frac{\bar{u} d}{\nu}$ là số Reynol. Khi $\text{Re} = 105$ thì từ công thức (2.8) rút ra tỷ số này là 100. Từ đó cho thấy ứng suất Re so với ứng suất nhớt lớn hơn nhiều. Khi số Re thật lớn thì ảnh hưởng của ứng suất nhớt hầu như không đáng kể; tức là trong chuyển động của dòng rối ảnh hưởng ứng suất Re chiếm địa vị chủ yếu. Cho nên trong nghiên cứu đặc tính của dòng rối việc đo mạch động lưu tốc có ý nghĩa ở chỗ:

- + Nghiên cứu ứng suất Reynol hoặc phân bố động năng rối trong không gian.
- + ứng suất Re của một điểm bất kỳ trong trường dòng chảy hay là động năng rối được sản sinh như thế nào, tiêu tán từ một điểm này đến một điểm khác có quy luật di chuyển biến đổi.
- + Nghiên cứu kích thước xoáy khác nhau đối với ứng suất Re sinh ra, tiêu tán và di chuyển biến đổi theo quy luật nào.
- + Nghiên cứu ứng suất Re hay là động năng rối từ xoáy với một kích thước nào đó sang xoáy có kích thước khác quy luật di chuyển biến đổi ra sao.

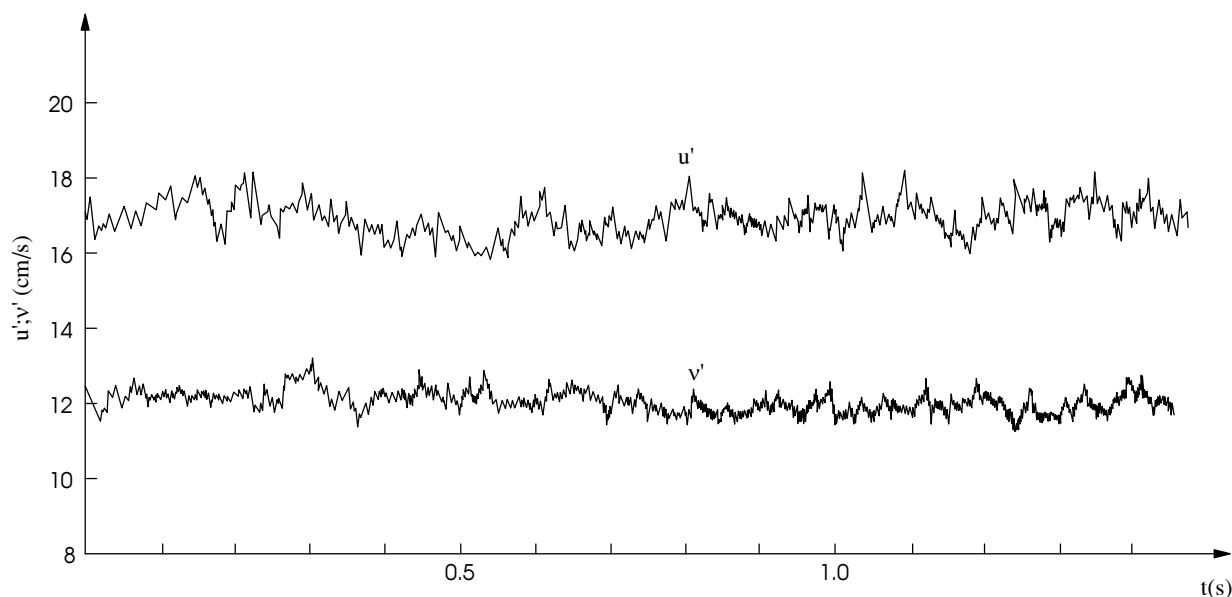
Tóm lại thông qua nghiên cứu ở trên nhằm biết đầy đủ kết cấu của dòng rối, hiểu sâu nhận thức đối với quy luật chuyển động của dòng chảy để giải quyết các vấn đề thực tế.

Trong công thức (2.7) có ẩn số Re, cộng với $\bar{u}, \bar{v}, \bar{\omega}, \bar{p}$, sẵn có như vậy ẩn số cần tìm là 10 mà phương trình vi phân cơ bản chuyển động của dòng rối chỉ có 4 phương trình (3 phương trình động lượng, 1 phương trình liên tục). Nếu muốn bằng con đường toán học tìm lời giải của phương trình vi phân của dòng rối là rất khó khăn. Do đó trước mắt để nghiên cứu dòng rối chủ yếu là dựa vào thực nghiệm.

Trong phòng thí nghiệm đo mạch động lưu tốc và thống kê đặc trưng của nó là một việc khó khăn phức tạp. Để đo được nó hiện nay có lưu tốc kế bằng sợi nhiệt, lưu tốc kế quang điện và phát triển hơn là đầu đo lưu tốc điện tử: E30, E40 và PES.

II. Thống kê đặc trưng của mạch động lưu tốc

Mạch động lưu tốc của dòng rối là một quá trình ngẫu nhiên, sóng phổ của nó như hình 2.8. Vì vậy, đặc trưng của nó là thống kê một chuỗi tham số để xác định.



Hình 2.8. Sóng phổ của mạch động lưu tốc

1. Thống kê đặc trưng trị số biên độ của mạch động lưu tốc

Đặc trưng biên độ của mạch động lưu tốc dùng xác suất P của tất cả các biên độ xuất hiện để diễn tả, tức là dùng phân bố xác suất để thể hiện. Trong một kênh hở nhám thô, mạch động lưu tốc hướng ngang và hướng đứng của dòng lưu tốc cao u' , v' về cơ bản phù hợp luật phân bố chính thái Pearson III hình 2.9.

Vì vậy, tham số thống kê số học kỳ vọng và phương sai được dùng để đặc trưng cho mạch động lưu tốc.

Theo định nghĩa đối với bất kỳ lượng mạch động nào của một đại lượng vật lý đều chỉ lượng dao động sóng trên và dưới giá trị trung bình theo thời gian, nên trị số học kỳ vọng của nó bằng không (0).

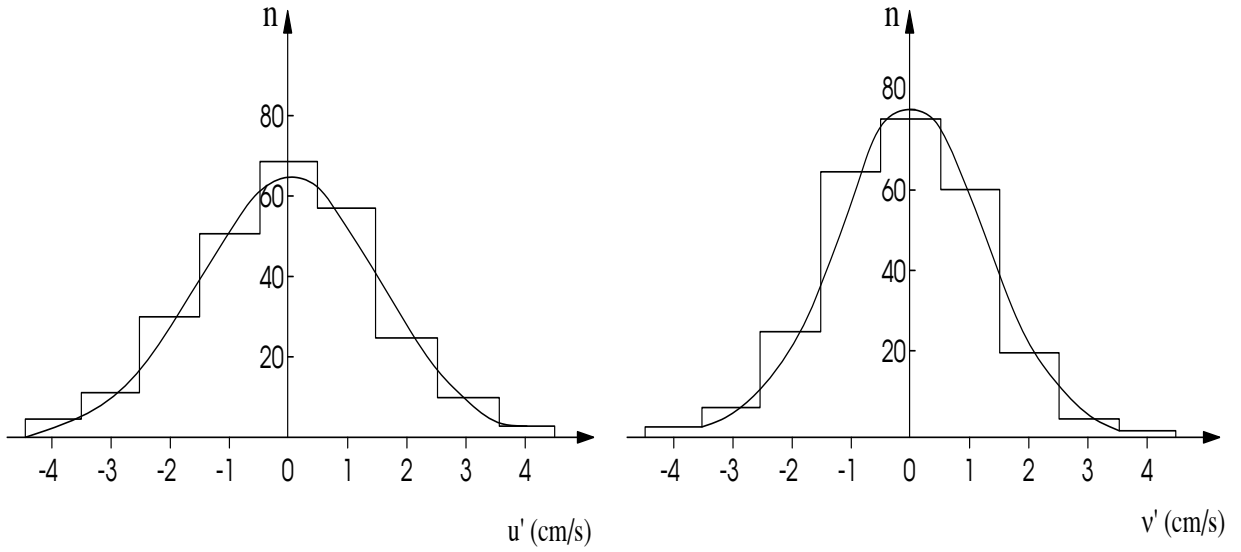
Còn phương sai (đặc biệt là sai số quân phương) thì biểu thị cường độ lưu tốc mạch động, là một đại lượng rất quan trọng. Nếu dùng lưu tốc động lực $u_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}$ (τ_0 là lực

ma sát ở đáy, ρ là khối lượng riêng của nước) làm chuẩn, thì cường độ rối $\frac{\sqrt{u'^2}}{u_*}$ và

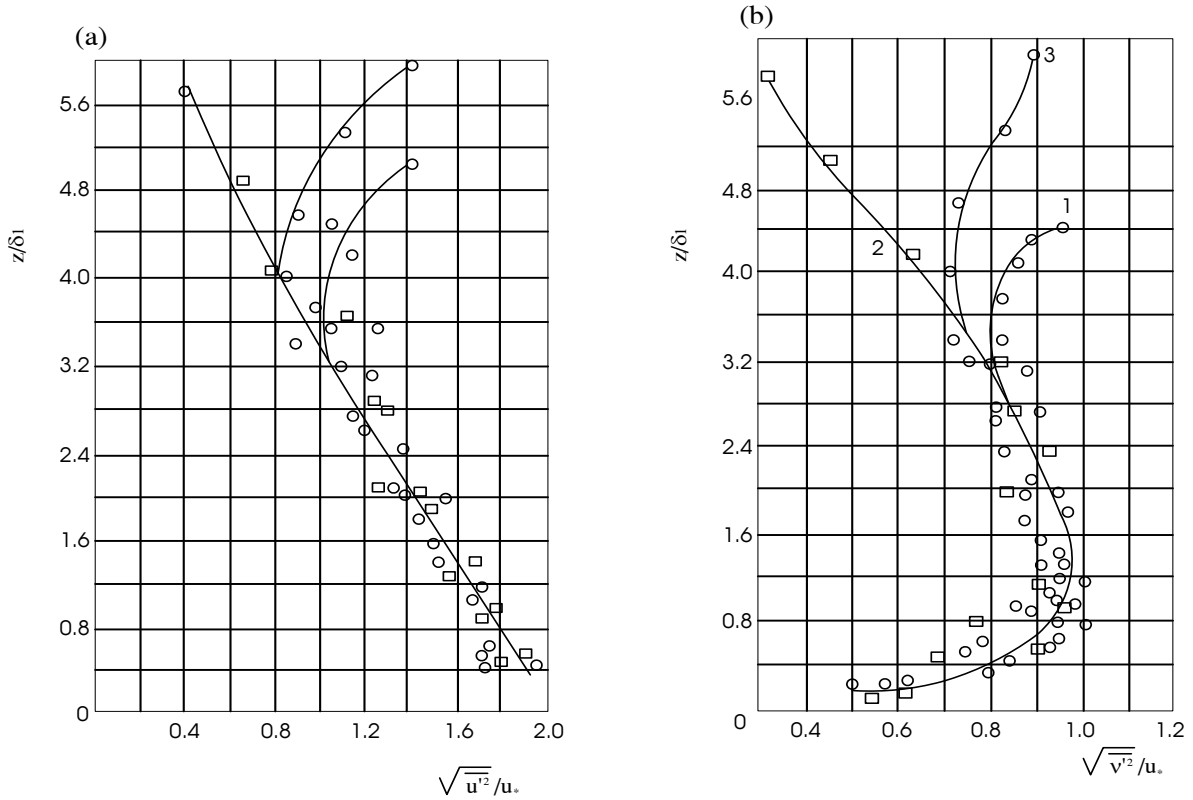
$\frac{\sqrt{v'^2}}{u_*}$ sẽ phụ thuộc vào độ sâu tương đối Z/δ_1 (δ_1 là độ dày chuyển dịch của tầng biên,

$\delta_1 = 1 - \frac{\bar{u}_{cp}}{\bar{u}_{max}}$, \bar{u}_{cp} là lưu tốc bình quân mặt cắt) mà thay đổi theo kết quả của một số

thực nghiệm như hình 2.10.



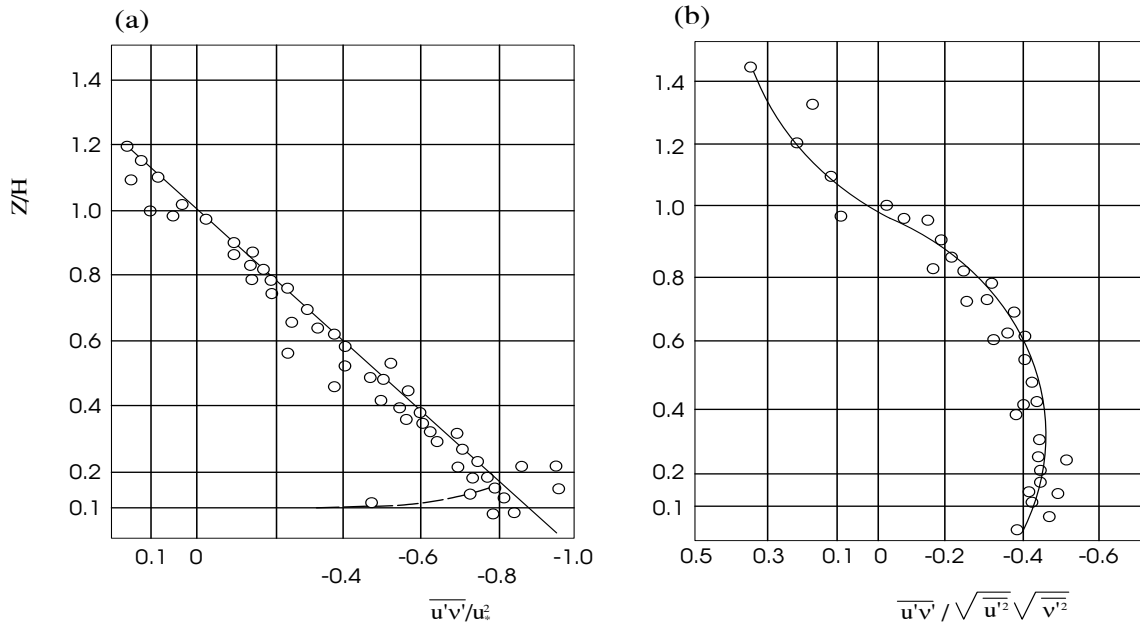
Hình 2.9. Quy luật phân bố trị số biên độ mạch động lưu tốc



theo hướng dọc và hướng đứng

Hình 2.10. Cường độ dòng rối nhân bố theo chiều sâu với dòng chảy khác nhau
Ghi chú: 1. Kênh nhám thô, 2. [biên], 3. Trong ống

ứng suất cắt rối $\frac{\overline{u'v'}}{u_*^2}$ có quy luật biến đổi theo độ sâu như hình 2.11.



Hình 2.11. ứng suất cắt của dòng rối phân bố theo chiều sâu

2. Độ rối

Dòng rối có thể hiểu là kết quả chuyển động tùy cơ của các xoáy nước có kích thước khác nhau. Để hiểu được quá trình chuyển dịch và tiêu tán của năng lượng rối cần phải nghiên cứu độ rối. Độ rối ở một nơi nào đó cũng tức là mức độ duy trì bản thân trong không gian của dòng rối (bao gồm mức độ theo hướng dọc, hướng ngang, hướng đứng trong không gian ba chiều).

Quan hệ của chúng quyết định đặc trưng kết cấu dòng xoáy trong dòng rối, chúng là một tham số quan trọng.

Trong lý luận thống kê dòng rối thường sử dụng hệ số tương quan giữa hai điểm của mạch động lưu tức là:

$$\bar{R}_{ij(x,r)} = \frac{v'_i(x)v'_j(x+r)}{\sqrt{v'^2_i(x)}\sqrt{v'^2_j(x+r)}} \quad (2.9)$$

Trong đó $v'_j(x)$ là phân lượng mạch động lưu tức theo phương i ở tại điểm $(x+r)$ hay $(x+rx, y+ry, z+rz)$. Hệ số tương quan mạch động lưu tức trong cùng một điểm tại thời khắc khác nhau t và $t + \tau$ là:

$$\bar{R}_{ij(t,\tau)} = \frac{v'_i(t)v'_j(t+\tau)}{\sqrt{v'^2_i(t)}\sqrt{v'^2_j(t+\tau)}} \quad (2.10)$$

Khi $i=j$, $R_{ij}(t, \tau) = R(\tau)$ (đối với quá trình tùy thời điểm ổn định) gọi là hệ số tương quan.

Độ rối nói chung có hai loại: một loại gọi là mức độ nhỏ, một loại gọi là mức độ lớn hay còn gọi là mức độ tích phân. Mức độ nhỏ lại có thể chia làm mức độ nhỏ thời gian và mức độ nhỏ không gian. Từ hệ số tương quan thời gian có thể tìm ra mức độ nhỏ không gian.

$$R_{(\tau)} \approx 1 - \frac{\tau^2}{\tau_0^2} \quad (2.11)$$

Trong đó: $\tau_0 = \frac{2(\overline{u'})^2}{\left(\frac{\sigma_{u'}}{\sigma_t}\right)^2}$, τ_0 gọi là mức độ nhỏ thời gian, nó diễn tả mạch động lưu

tốc phát sinh thay đổi một mức độ nào đó.

Mức độ nhỏ không gian có thể từ hệ số tương quan của hai điểm tìm được:

$$\left. \begin{aligned} F_{(r)} = R_{xx}(r_x, 0, 0) &= \frac{\overline{u'(x)u'(x+rx)}}{\overline{u'^2}} = 1 - \frac{r_x^2}{\lambda_x^2} \\ g_{(r)} = R_{yy}(r_x, 0, 0) &= \frac{\overline{v'(x)v'(x+rx)}}{\overline{v'^2}} = 1 - \frac{r_x^2}{\lambda_y^2} \end{aligned} \right\} \quad (2.12)$$

Trong đó: λ_x mức độ không gian theo hướng dọc, λ_y mức độ không gian theo hướng đứng, biểu thức diễn tả là:

$$\left. \begin{aligned} \lambda_x^2 &= \frac{2\overline{u'^2}}{\left(\frac{\partial u'}{\partial x^2}\right)} \\ \lambda_y^2 &= \frac{2\overline{v'^2}}{\left(\frac{\partial v'}{\partial y^2}\right)} \end{aligned} \right\} \quad (2.13)$$

Trong dòng rối ổn định đều theo giả thiết của Taylor cho $r_x = \overline{u\tau}$ do đó ta có:

$$f(r) = R(\tau) \quad (2.14)$$

Như vậy là tương quan không gian và tương quan thời gian bằng nhau, hình 2.12 và hình 2.13 đưa ra kết quả thí nghiệm của hàm $f(r)$ và hàm $R(\tau)$ trong kênh hở có dòng lưu tốc cao.

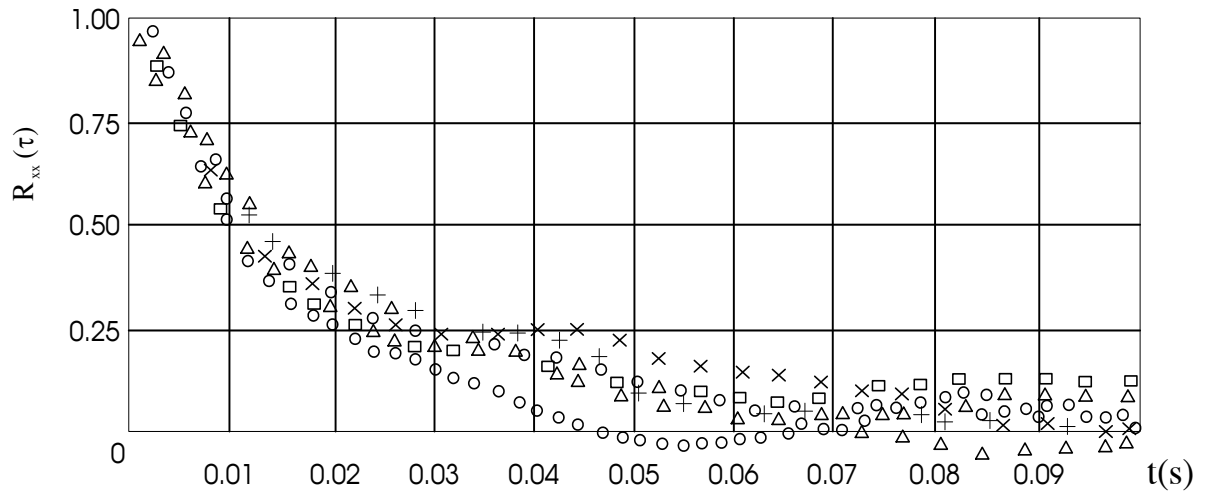
Mức độ lớn của thời gian và không gian cũng gọi là mức độ tích phân, định nghĩa của chúng là:

T_x, L_x, L_y thể hiện như sau:

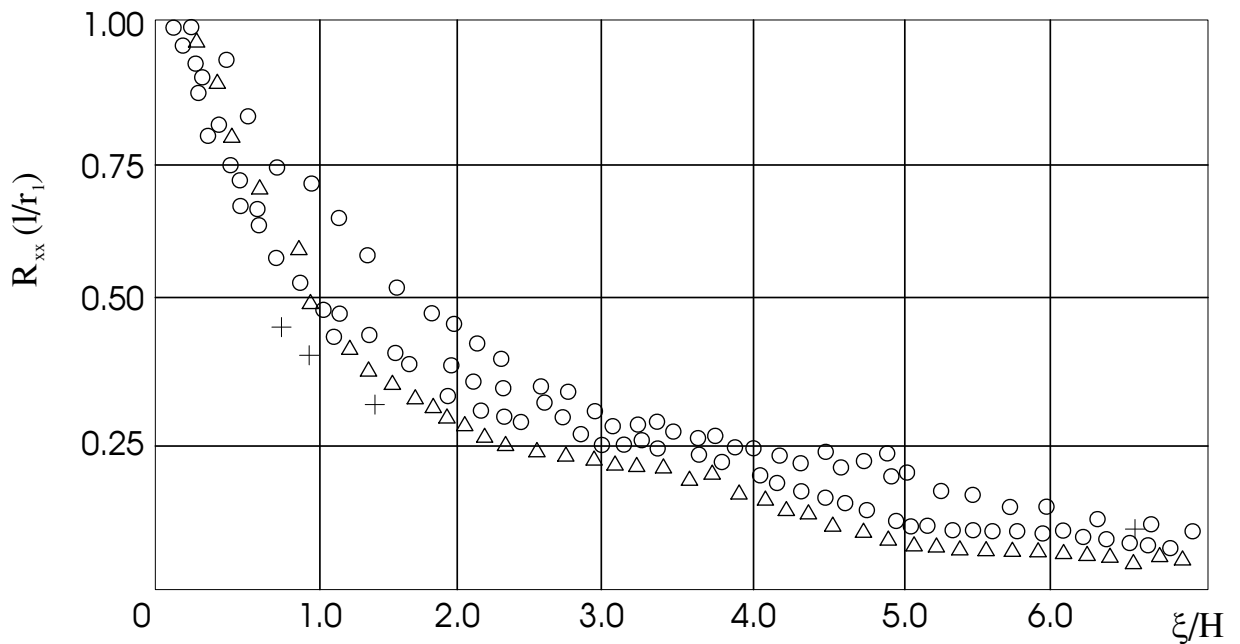
$$\left. \begin{aligned} T_x &= \int_0^{\infty} R(\tau) d\tau \\ L_x &= \int_0^{\infty} f(r) dr \\ L_y &= \int_0^{\infty} g(r) dr \end{aligned} \right\} \quad (2.15)$$

Đồng thời cũng có quan hệ dưới đây:

$$L_x = \overline{u} T_x \quad (2.16)$$



Hình 2.12. Hệ số tương quan thời gian của mạch động lưu tốc



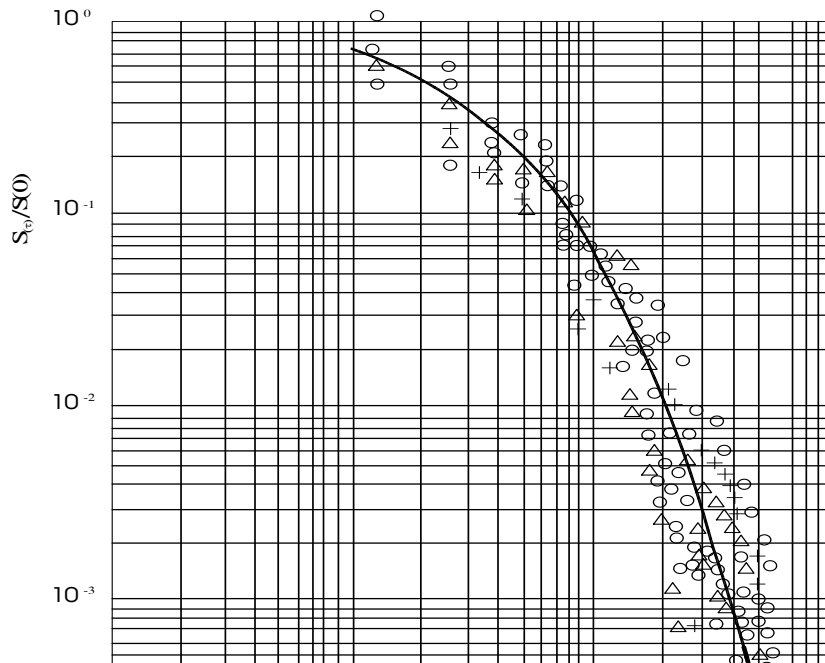
Hình 2.13. Hệ số tương quan không gian của mạch động lưu tốc

3. Mật độ phổ

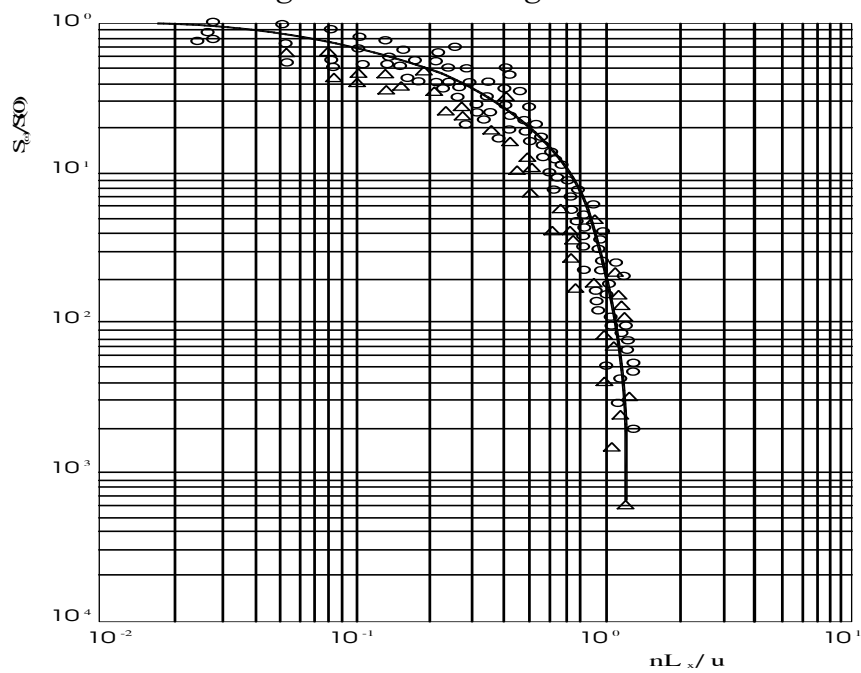
Mật độ phổ mạch động lưu tốc của dòng chảy (hay là phổ công suất) tương trưng cho tính chất phân bố mạch động theo tần suất. Mật độ phổ và hàm số tương quan ($R\tau$) từ định lý nổi tiếng của Navier Stock liên hệ lại:

$$S_{(f)} = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} R(\tau) \cos 2\pi f(\tau) d\tau \quad (2.17)$$

Mật độ phổ với việc tính lực động phản lại của công trình và việc nghiên cứu hàm khí của dòng chảy có lưu tốc cao rất có tác dụng. Hình 2.14 và hình 2.15 là sơ đồ mật độ phổ mạch động lưu tốc hướng dọc và hướng đứng của dòng lưu tốc cao trong kênh hở. Trong hình hoành độ $\frac{\omega L_x}{u}$ gọi là số Strichler.

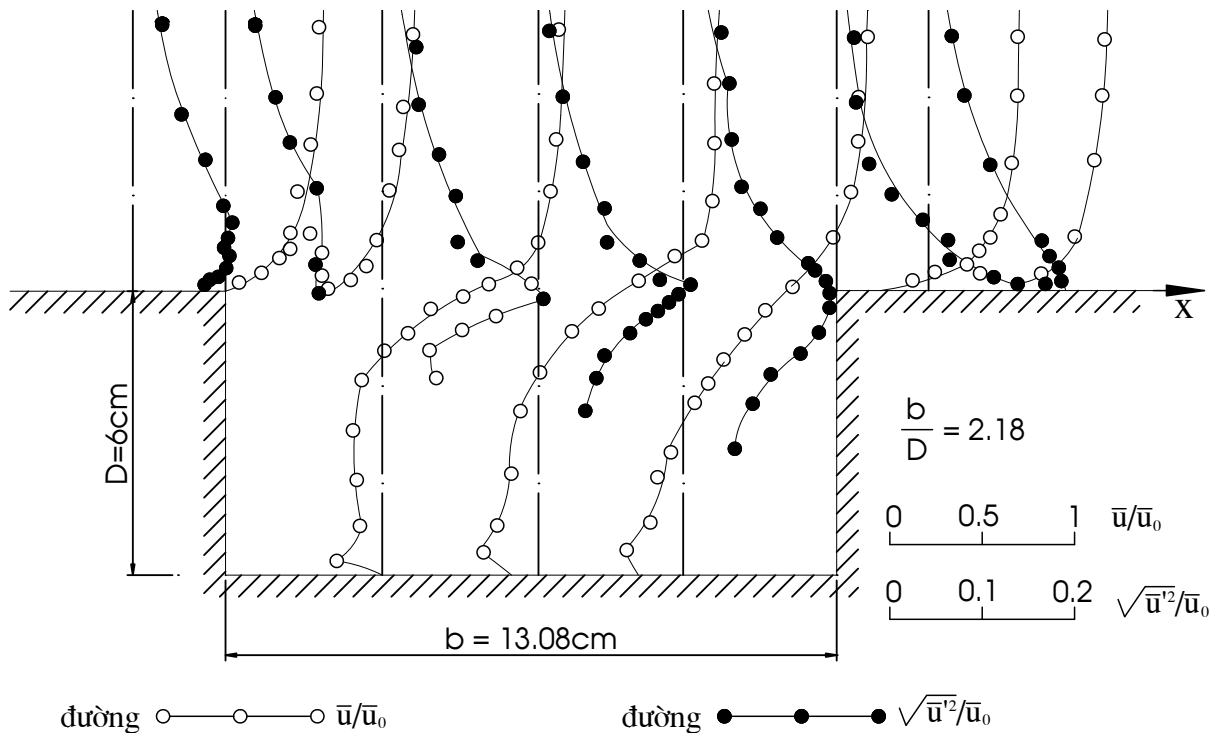


Hình 2.14. Phổ công suất mạch động lưu tốc hướng dọc của dòng lưu tốc cao trong kênh hở



Hình 2.15. Phổ công suất mạch động lưu tốc hướng đứng của dòng lưu tốc cao trong kênh hở

Viện Khoa học Thủy lợi thủy điện Bắc Kinh đã có mô hình thí nghiệm về cường độ rối và lưu tốc bình quân theo thời gian của rãnh khe van trên mô hình khí, hình 2.16.



Hình 2.16. Cường độ rối và lưu tốc bình quân theo thời gian của rãnh khe van trên mô hình khí

§II.3. NGHIÊN CỨU MẠCH ĐỘNG ÁP SUẤT

I. Ý nghĩa nghiên cứu mạch động áp suất của dòng rối

Nghiên cứu mạch động áp suất của dòng chảy rối trong phòng thí nghiệm là một vấn đề quan trọng của thủy lực công trình.

Bởi lẽ tác dụng trên biên của công trình thủy công; mạch động áp suất của dòng chảy rối có quan hệ với sự rung động, xâm thực, tiêu năng, xói lở của công trình thủy công. Các vấn đề này bao gồm các mặt:

+ Liên quan đến tải trọng của dòng chảy ở biên công trình; trong công trình thực tế thường gặp các vấn đề dưới đây:

Dưới tác dụng của dòng chảy có lưu tốc cao, tải trọng động của nước trên đỉnh nhà máy thủy điện ngầm sau đập, tải trọng động đối với cửa van có cột nước cao, tải trọng động của nước tác dụng trên bản đáy của bể tiêu năng, tải trọng động của dòng chảy đối với tường hướng dòng, tải trọng động đối với tường bên của dốc nước .v.v; Các vấn đề nêu trên đều liên quan đến tính ổn định và rung động của kết cấu công trình thủy công.

+ Tiếng ồn của dòng chảy rối và khí hoá ở thời điểm tức thời trong dòng chảy:

Khi biên cứng tồn tại áp suất âm bình quân theo thời gian, do mạch động áp suất mà xuất hiện khí hoá tức thời của dòng chảy và trong nội bộ dòng chảy của khu phân ly do mạch động áp suất tạo ra. Khi xác định số khí hoá sơ sinh thường tính đến trị số mạch động áp suất. Vấn đề ngược lại là do khí hoá của dòng chảy gây ra tiếng ồn.

+ Cơ chế xói của nền đá:

Khi đi sâu phân tích cơ chế ổn định của đá trong hồ xói thường đề cập đến áp suất mạch động thủy động tác dụng đối với nham thạch và truyền sóng theo khe nứt của nham thạch.

II. Cơ chế mạch động áp suất của dòng rối

Từ lý thuyết nghiên cứu dòng chảy rối cho thấy, trong chất lỏng không nén được, phương trình cơ bản của mạch động áp suất của dòng rối là:

$$\Delta^2 p' = -\rho \left[2 \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \frac{\partial u'_i}{\partial x_i} + \left(\frac{\partial u'_j}{\partial x_i} \frac{\partial u'_i}{\partial x_j} - \overline{\frac{\partial u_j}{\partial x_i} \frac{\partial u_i}{\partial x_j}} \right) \right] \quad (2.18)$$

Vì: $\frac{\partial u_j}{\partial x_i} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = \frac{\partial^2 u_i u_j}{\partial x_i \partial x_j}$, nên biểu thức trên viết là

$$\Delta^2 p' = -\rho \left[2 \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \frac{\partial u'_j}{\partial x_i} + \left(\frac{\partial^2 u'_i u'_j}{\partial x_i \partial x_j} - \frac{\partial^2 u'_i u'_j}{\partial x_i \partial x_j} \right) \right] \quad (2.19)$$

Trong đó:

Δ^2 - Toán tử Laplace

ρ - Khối lượng riêng của nước

\bar{u}_i - Phân lượng lưu tốc bình quân thời gian ($\bar{u}_1 = \bar{u}$; $\bar{u}_2 = \bar{v}$; $\bar{u}_3 = \bar{\omega}$)

u'_i - Phân lượng lưu tốc mạch động ($u'_1 = u'$; $u'_2 = v'$; $u'_3 = \omega'$)

Từ phương trình (2.18) cho thấy: Nguyên áp suất mạch động, trong đó số hạng thứ nhất bên phải của đẳng thức gồm có Gradien lưu tốc $\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j}$, đây là số hạng có liên quan

đến lực cắt bình quân theo thời gian, do lưu tốc mạch động và liên hợp lực cắt bình quân theo thời gian tác dụng gây ra.

Số hạng thứ hai hoàn toàn phản ánh tác dụng của lưu tốc mạch động. Nguồn của hai loại mạch động này tức là “rối-cắt” và “rối-rối) không chế bản chất của áp suất mạch động.

III. áp suất mạch động của tầng biên dòng rối

áp suất mạch động ở vách tầng biên của dòng chảy rối có liên quan tới tải trọng thủy động của dòng chảy qua tràn trên đỉnh của nhà máy thủy điện, đồng thời cũng có liên quan đến dòng có khí hoá của một số kết cấu thủy công.

1. Cường độ áp suất mạch động

Trong tầng biên của dòng chảy rối, nguồn của áp suất mạch động do “rối - cắt” gây ra tác dụng chính, trong tầng biên của dòng rối hai pha (bài toán phẳng) thì phương trình cơ bản (2.19) có thể giản hoá thành:

$$\Delta^2 p' = -2\rho \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \frac{\partial v'}{\partial x} \sim \rho u_*^2 \quad (2.20)$$

Vì vậy, cường độ áp suất mạch động (do sai số quân phương của áp suất mạch động biểu trưng) có liên quan tới sức cản cục bộ của thành vách, tức là:

$$\sqrt{p'} = \beta \tau_0 \quad (2.21)$$

Trong đó β là một hằng số có liên quan đến đặc trưng của dòng chảy rối; được xác định bằng thực nghiệm, giới hạn $\beta_{\max}=5.0$, thường $\bar{\beta} = 3.50$, hình 2.17.

$$\text{Vì } \tau_0 = C_f \frac{1}{2} \rho \bar{u}^2 \quad (2.22)$$

Trong đó C_f là hệ số ma sát cục bộ. Đối với biên thủy lực trơn nhẵn thì:

$$\frac{1}{\sqrt{C_f}} = 4.1 \log(\sqrt{C_f} R_\delta) + 4.33 \quad (2.23)$$

$$\text{Hay: } C_f = \frac{0.0186}{R_\delta^{1/6}} \quad (2.24)$$

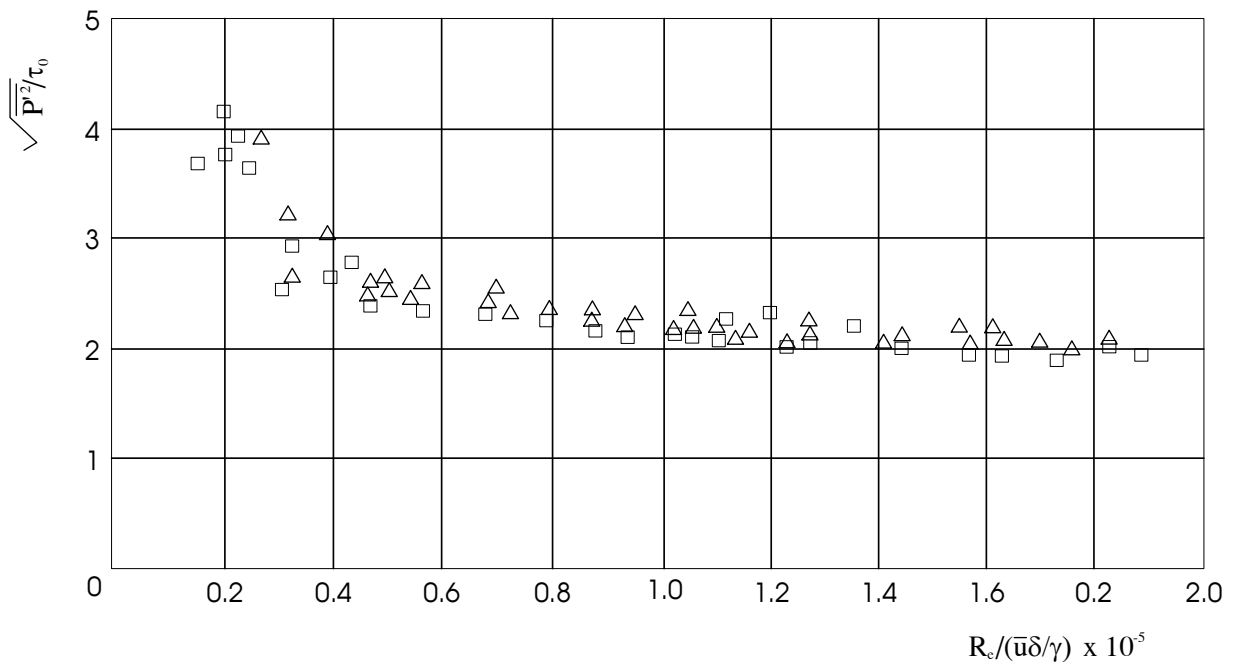
Trong công thức trên:

$$R_\delta = \frac{\bar{u}_0 \delta}{\nu}$$

\bar{u}_0 - Là lưu tốc tự do ngoài lớp biên,

δ - Chiều dày lớp biên,

ν - Hệ số nhớt động học.



Hình 2.17. Quan hệ giữa số Re với cường độ mạch động áp suất của lớp biên trên vách ống của dòng rối

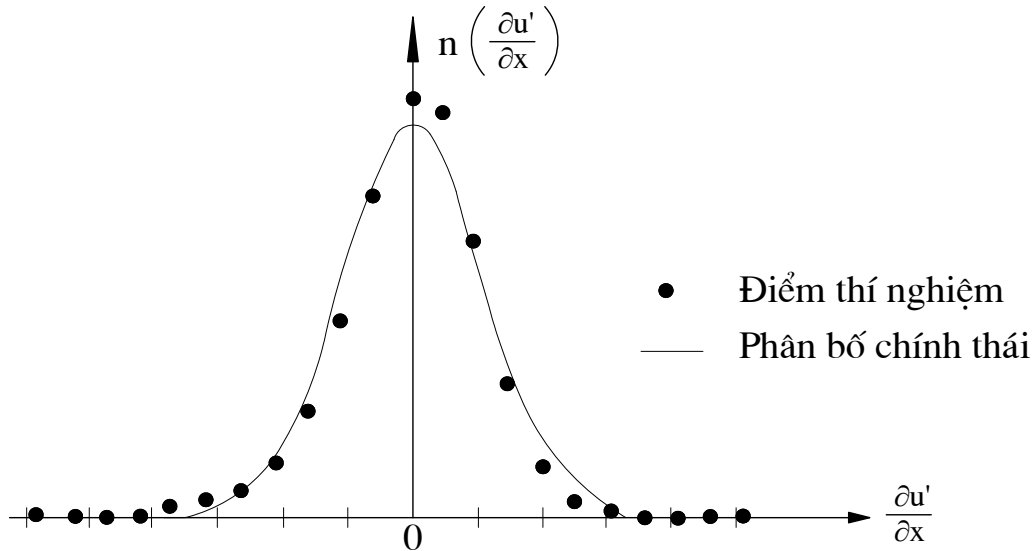
Với biên thủy lực nhám thô có thể xem biểu thức:

$$\frac{1}{\sqrt{C_f}} = 8.56 + 4.06 \log \frac{\delta}{k}$$

Đem biểu thức (2.22) thay vào biểu thức (2.21) ta có:

$$k_p = \frac{\sqrt{p^2}}{1/2 \rho \bar{u}^2} = \beta C_f \quad (2.25)$$

Trong đó: k_p - Hệ số cường độ mạch động áp suất thường là $0.01 \div 0.02$. Về đặc trưng thống kê trị số biên độ mạch động áp suất của tầng biên dòng rối hay quy luật phân bố của nó, do $\frac{\partial v'}{\partial x}$ thường không phù hợp với phân bố chính thái, hình 2.18.



Hình 2.18. Quy luật phân bố xác suất của đạo hàm mạch động lưu tốc

Cho nên mạch động lưu tốc cũng không hoàn toàn tuân theo luật phân bố chính thái; nhưng khi ứng dụng vẫn coi nó như phân bố chính thái, nên xuất hiện trị số biên độ của một xác suất nào đó có thể ước tính ra, nếu trị số biên độ của mạch động áp suất xuất hiện xác suất lớn hơn 99.7% thì:

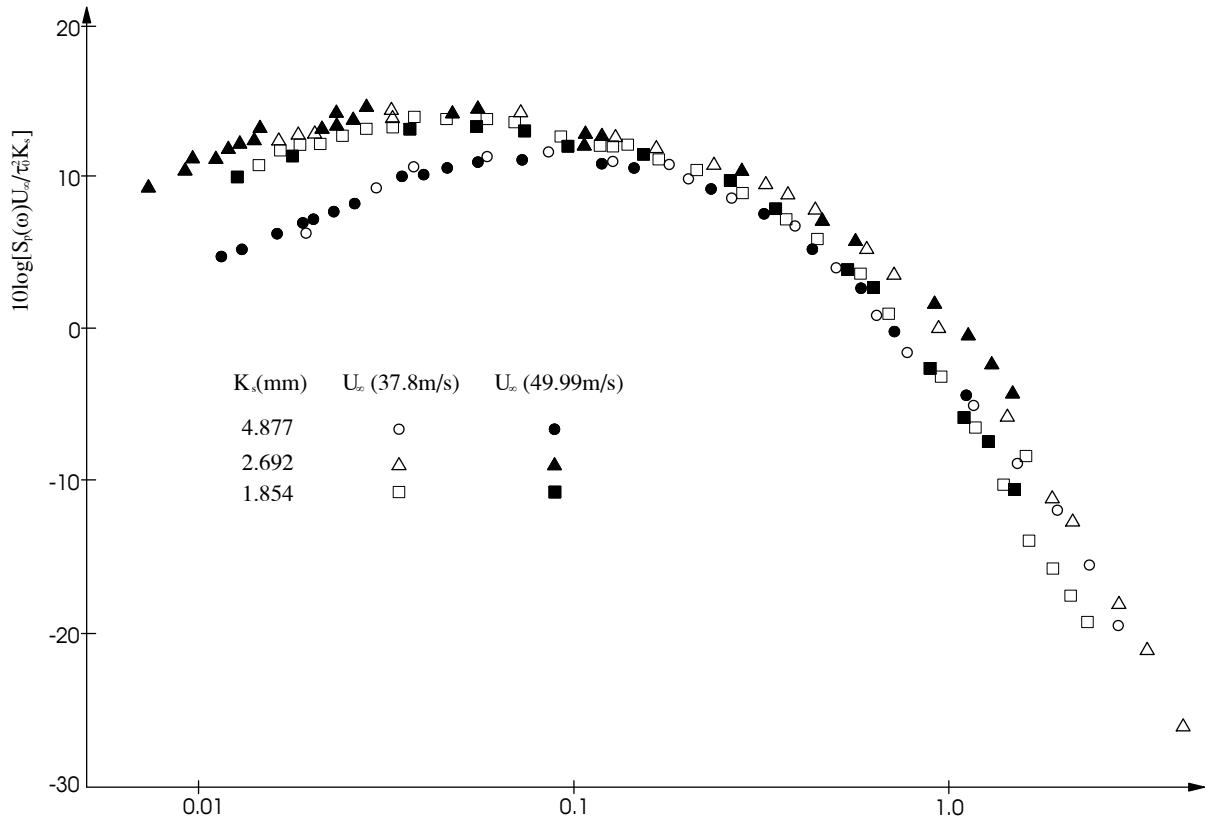
$$P_{99.7\%} = 3\sqrt{p'^2} \quad (2.26)$$

Biểu thức quan hệ này thường được dùng trong nhiều tài liệu, do đó cho thấy dùng luật phân bố chính thái thuận tiện cho tính toán.

2. Mật độ phổ

Mật độ phổ của áp suất mạch động trong tầng biên dòng chảy rối dùng số không thứ nguyên $Sp(\omega) \frac{u_0}{\tau_0^2 k_s}$ và số Strichler $\frac{\omega k_s}{u_0}$ để biểu thị như hình 2.19.

Từ hình vẽ cho thấy, mật độ phổ của áp suất mạch động trong tầng biên là một dải tiếng ồn chiều rộng có hạn; năng lượng của nó tập trung ở khu tần số đáy. Năng lượng có tần số cao nhanh chóng bị suy giảm.



Hình 2.19. Phổ công suất của áp suất mạch động ở thành tầng biên dòng chảy rối (mặt thành nhám)

3. Kích thước không gian

Kích thước không gian của áp suất mạch động dòng lưu tốc cao xác định ra phạm vi, vị trí đồng bộ áp suất mạch động là một tham số quan trọng.

Do áp suất mạch động của dòng rối phát nguồn từ mạch động lưu tốc, nó giống như mức độ thời gian và kích thước không gian của mạch động lưu tốc; cũng là do hàm số tương quan của hai điểm hay hàm số tương quan không gian - thời gian để đo lường, tức là với mức độ tích phân thời gian là:

$$T_{ij} = \int_0^{\infty} R_{ij}(\tau) d\tau \quad (2.27)$$

Đối với mức độ tích phân không gian là:

$$L_{ij} = \int_0^{\infty} F_{ij}(r) dr \quad (2.28)$$

Hai biểu thức trên $R_{ij}(\tau)$ là áp suất mạch động của điểm i ở thời khắc t và hàm số tương quan của mạch động áp suất của điểm j tại thời điểm $t+\tau$ hay gọi hàm số tương quan không gian - thời gian. Theo định nghĩa trên thì:

$$R_{ij}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^{\infty} p_i(t) p_j(t + \tau) dt$$

$$R_{ij}(\tau) = \overline{p_i(t) p_j(t + \tau)} \quad (2.29)$$

Viết thành dạng khái quát là:

$$R_{ij}(\tau) = \frac{p_i(t)p_i(t+\tau)}{\sqrt{p_i'(t)^2} \sqrt{p_i'(t+\tau)^2}} \quad (2.30)$$

Khi $r = \overline{u_c \tau}$ mà $\overline{u_c} \geq \overline{u_i}$; $\overline{u_c}$ là tốc độ thiên chuyển thì:

$$R_{ij}(\tau) = F_{ij}(r) \quad (2.31)$$

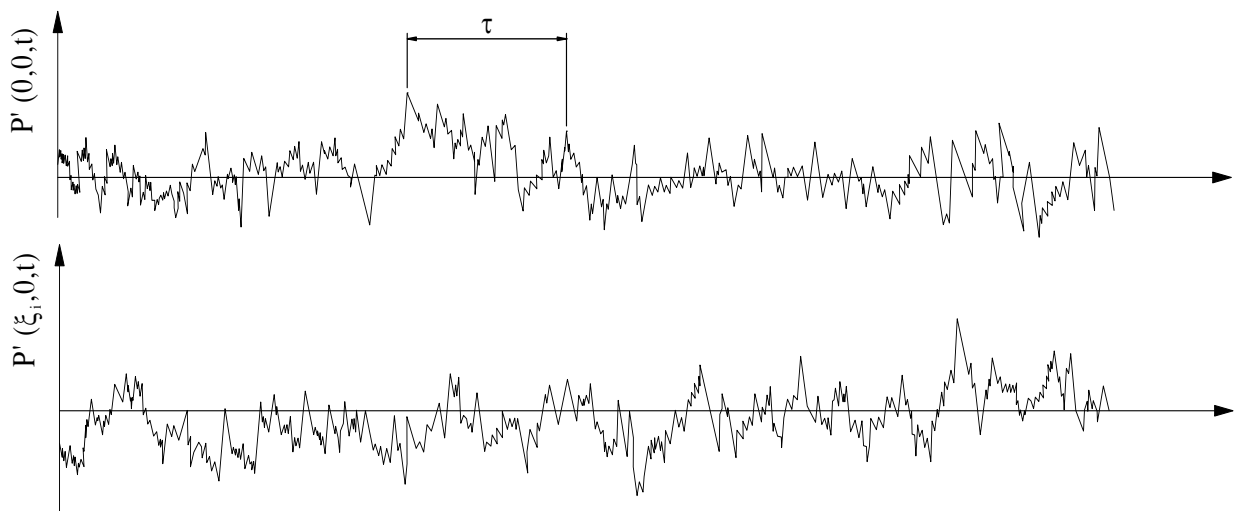
$$\text{Và} \quad L_{ij}(\tau) = \overline{u_c} T_{ij} \quad (2.32)$$

Giả thiết tọa độ điểm i ở mặt vách là (x, y) ; tọa độ điểm j là $(x + \zeta; y + \eta)$ thì dạng công thức khái quát của hệ số tương quan về thời gian và không gian của hai điểm theo biểu thức (2.30) có thể viết thành:

$$R_{ij}(\tau) = R(\zeta, \eta, \tau) = \frac{p(x, y, t)p(x + \zeta, y + \eta, t + \tau)}{\sqrt{p'^2(x, y, t)} \sqrt{p'^2(x + \zeta, y + \eta, t + \tau)}} \quad (2.33)$$

Do đó khi $\zeta = \eta = 0$ có hệ số tương quan ở điểm i ứng với $[R(0, 0, \tau)]$, nghĩa là ở vị trí $\tau = 0$ thì trị số là 1.

Cũng như vậy khi $\zeta = 0$ ta có hàm tương quan thời gian không gian theo trục y ($0, \eta, \tau$). Do đó nếu theo phương x mỗi điểm $\zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_i$ đặt bộ truyền cảm áp suất mạch động từ đó cùng một lúc đo được một loạt đường quá trình áp suất mạch động $p(0, 0, t); p(\zeta_1, 0, t) \dots \dots p(\zeta_i, 0, t)$ từ hình 2.20 cho thấy có sự sai cách nhau một hằng số về thời gian kéo dài τ , phân biệt đối với $p(0, 0, t); p(\zeta_i, 0, t)$ đưa ra trị số bình quân thời gian (tức là tìm sự tương quan với nhau), từ đó được một loạt $R(\zeta_i, 0, \tau)$ ($i=1, 2, \dots$).



Hình 2.20. Đồ thị tương quan thời gian - không gian của áp suất mạch động

Cũng như vậy theo phương y mỗi điểm $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_i$ đặt các bộ truyền cảm đo áp suất và tìm sự tương quan với nhau về áp suất mạch động của các bộ truyền cảm đo số liệu, thì ta được một loạt $R(0, \eta_1, \tau)$.

Qua thí nghiệm chứng tỏ rằng mức độ tích phân không gian của áp suất mạch động ở tầng biên của chảy rối là:

$$L_x = 8 \delta^*; \quad L_y = \delta^*;$$

Trong đó δ^* là độ dày di chuyển của tầng biên.

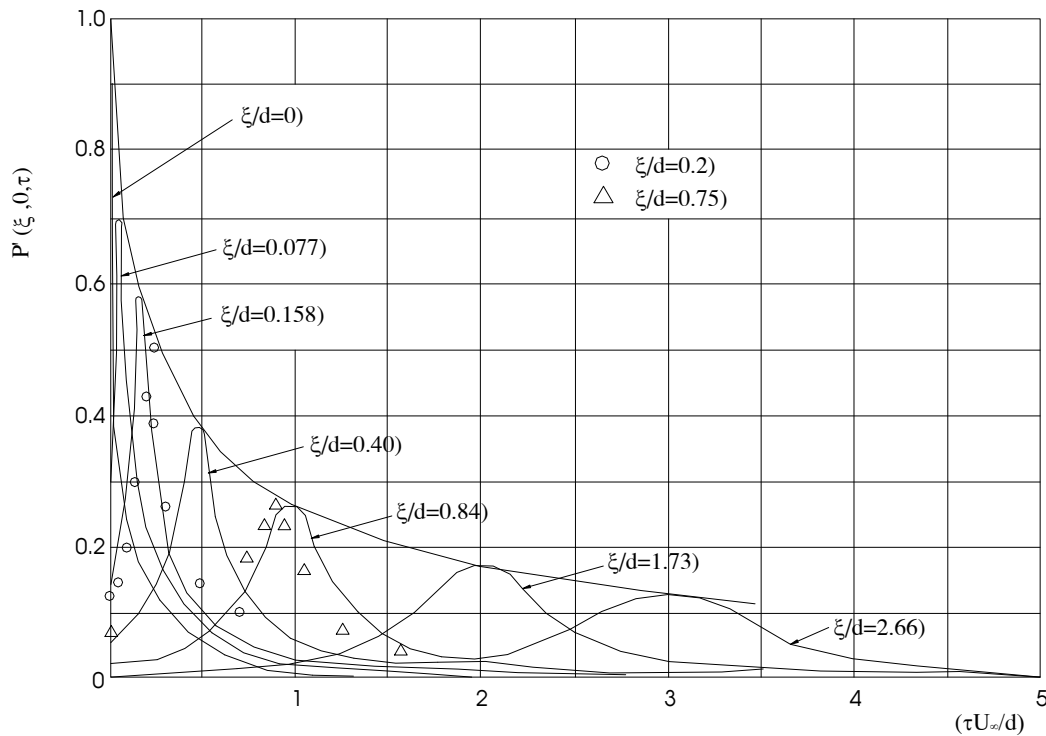
Từ hình 2.21 cho thấy: Trị số đỉnh của đường cong $R(0, \eta_i, \tau)$ của ζ_i khác nhau tùy thuộc vào vị trí ζ_i khác nhau mà có giá trị khác nhau. Chỗ giá trị đỉnh τ_{mi} biểu thị áp suất mạch động từ một điểm truyền đến một điểm khác cần có thời gian, tức là thời gian mà xoáy nước di chuyển. Do đó tốc độ dịch chuyển $\overline{u_c}$ là:

$$\overline{u_c} = \frac{\zeta_i}{\tau_{mi}}$$

Trong trường hợp biên của dòng chảy rối $\overline{u_c} = 0.80 \overline{u_0}$.

4. Luật tương tự

Từ đặc tính áp suất mạch động của dòng rối có quan hệ đến tính toán áp lực động của một số công trình thủy công, làm thế nào để đưa kết quả đo đặc áp suất mạch động trong thí nghiệm mô hình vào nguyên hình là một việc quan trọng.



Hình 2.21. Hệ số tương quan thời gian - không gian của áp suất mạch động tại vách đường ống có dòng chảy rối: ζ - là khoảng cách dọc bộ truyền cảm; d - là đường kính ống

Từ công thức (2.21) cho thấy: Cường độ mạch động trong tầng biên của dòng rối tỷ lệ thuận với lực cắt của tầng biên.

Khi số Re ở vào khu tự động mô hình thì τ_0 chỉ thay đổi tùy theo nhám khác nhau. Do đó, nếu áp suất mạch động ở thành vách tương tự thì cường độ áp suất mạch động có thể theo luật tương tự trọng lực để suy ra. Lại do mật độ phổ ở hình 2.15 cho thấy, nếu bảo đảm nhám tương tự cũng có thể thoả mãn tương tự về số Struhall (tức là luật tương tự trọng lực). Như vậy luật tương tự về áp suất mạch động

thành vách trong tầng biên dòng rối không thể vô điều kiện phục tùng định luật tương tự trọng lực; nếu không thể bảo đảm tương tự nhám ở thành biên thì nguyên tắc tương tự trọng lực sẽ khác đi. Vấn đề này trong thập kỷ 50 của thế kỷ trước, khi nghiên cứu thí nghiệm mạch động áp suất của vùng chảy xiết đã phát hiện ra.

5. Áp suất mạch động của khu chảy rối mạnh

Trong nước nhảy hay dòng chảy phân ly hình thành khu chảy áp suất mạch động trong khu chảy rối mạnh, cùng với sự ổn định của tường hướng dòng, sân sau của bề tiêu năng có liên quan, ngoài ra cũng có lực của áp suất mạch động trong hồ xói và trạng thái khí hoá tức thời trong dòng phân ly có liên quan.

Trong vùng chảy rối mạnh, do dòng chảy rối phát triển đầy đủ, nguồn gây áp suất mạch động chính là “rối -rối” có tác dụng chủ đạo. Do đó:

$$\nabla^2 p' \sim \frac{\partial^2 u_i' u_j'}{\partial x_i \partial x_j} \quad (2.34)$$

Tức là cường độ áp suất mạch động có liên quan đến cường độ rối, W. Heisenberg và một số nhà khoa học khác với giả thiết các hướng đều đồng tính chất rút ra:

$$\sqrt{p'}^2 = \lambda \rho u'^2 \quad (2.35)$$

Trong đó giá trị λ được xác định bằng thực nghiệm, thường lấy: 0.60÷0.70. Trong thực tế vùng chảy rối mạnh cũng có thể ước tính áp suất mạch động và cường độ rối có liên quan.

+ áp suất mạch động rối của phần đáy khu nước nhảy:

áp suất mạch động rối ở phần đáy khu nước nhảy là do xoáy mãnh liệt của nước chuyển động tuý cơ tạo thành, trị số căn phương của mạch động áp suất $\sqrt{p'}$ là hàm của số Fr, độ ngập η và khoảng cách x theo hướng dọc thì:

$$k_p' = \frac{\sqrt{p'}^2}{\frac{1}{2} \rho u'^2} = f\left(\text{Fr}, \eta, \frac{x}{h_1}\right) \quad (2.36)$$

Trong đó:

k_p' - Là hệ số cường độ áp suất mạch động,

Fr - Số Frút trước nước nhảy; $\text{Fr} = \frac{u_1}{\sqrt{gh_1}}$,

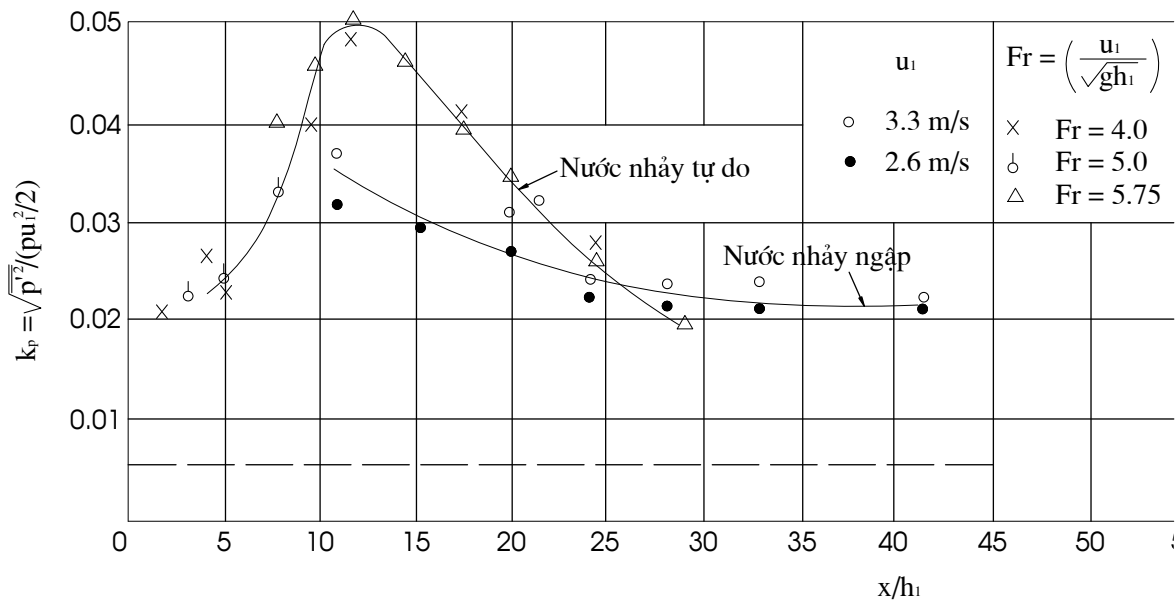
u_1 - Lưu tốc bình quân thời gian trước nước nhảy,

h_1 - Độ sâu liên hợp thứ nhất,

g - Gia tốc trọng trường,

η - Độ ngập, $\eta = h_2/h_1$,

h_2 - Chiều sâu nước ở hạ lưu sau nước nhảy (khi có nước nhảy tự do, thì h_2 là độ sâu liên hiệp thứ 2).



Hình 2.22. Phân bố cường độ áp suất mạch động dọc đường đáy của nước nhảy

Hình 2.22 là kết quả thí nghiệm k'_p của nước nhảy tự do và nước nhảy ngập do Vaxiliev đưa ra.

Bảng 2.1. Kết quả thí nghiệm của Aportuhader. Từ những kết quả này, trị k'_p của phần đáy nước nhảy tự do so với nước nhảy ngập lớn hơn, có xu thế tăng lên khi Fr tăng lên.

Bảng 2-1. Tham số thống kê áp suất mạch động khu nước nhảy

Số Fr_1	Hệ số cường độ áp suất mạch động	Moment trung tâm bậc 3	Moment trung tâm bậc 4
Fr_1	$k'_p = \frac{\delta}{\frac{1}{2}\rho u_1^2}$	$\frac{\mu_3}{\delta^2}$	$\frac{\mu_4}{\delta^2}$
4.7	0.080	0.41	4.71
5.9	0.082	0.38	4.41
6.6	0.085	0.38	4.58

Ghi chú:

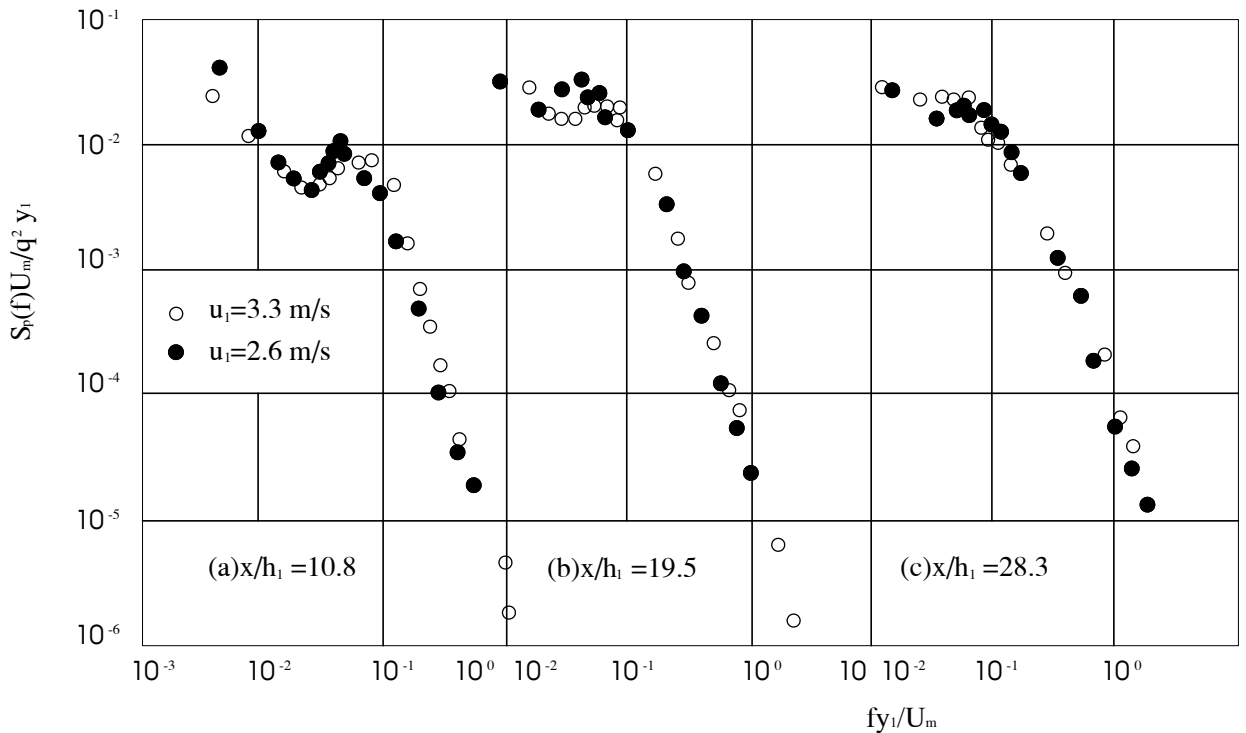
Mômen trung tâm bậc 2: $\mu_2 = \delta^2 = \sqrt{\overline{p^2}} = \int_0^\infty p(u)u^2 du$

Mômen trung tâm bậc 3: $\mu_3 = \int_0^\infty p(u)u^3 du$

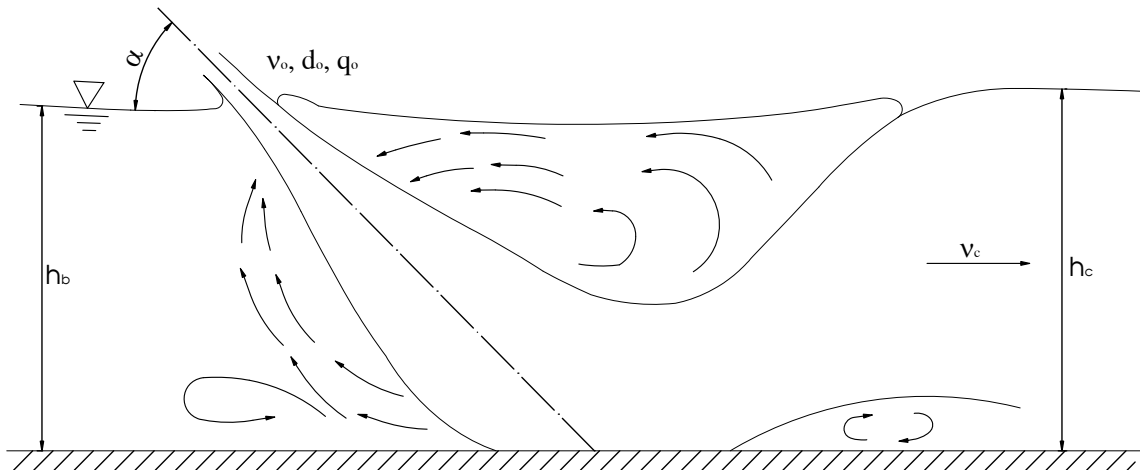
Mômen trung tâm bậc 4: $\mu_4 = \int_0^\infty p(u)u^4 du$

Với $p(u)$ là hàm mật độ xác suất.

Mật độ phổ của áp suất mạch động phần đáy khu nước nhảy như hình 2.23. Mức độ không gian của nó còn chưa có số liệu thí nghiệm tương đối hoàn chỉnh.



Hình 2.23. Phổ công suất của mạch động áp suất ở đáy nước nhảy ngập



Hình 2.24. Sơ đồ dòng khuếch tán trong hố xói

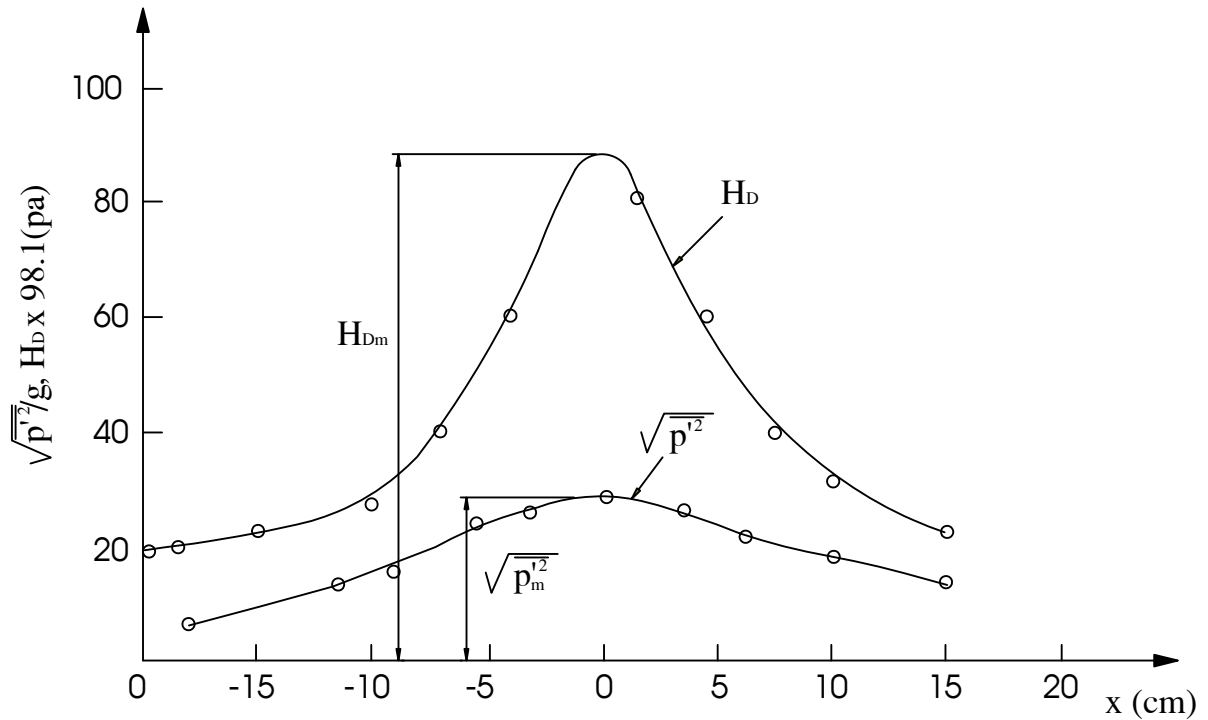
+ Áp suất mạch động ở đáy hố xói trong dòng phun khuếch tán:

Lưỡi nước của dòng phun sau khi đổ vào lớp nước đậm do khuếch tán rồi ở đáy gây ra áp suất mạch động, đề cập tới kết cấu bên trong của dòng chảy với sự ổn định và phát triển hố xói.

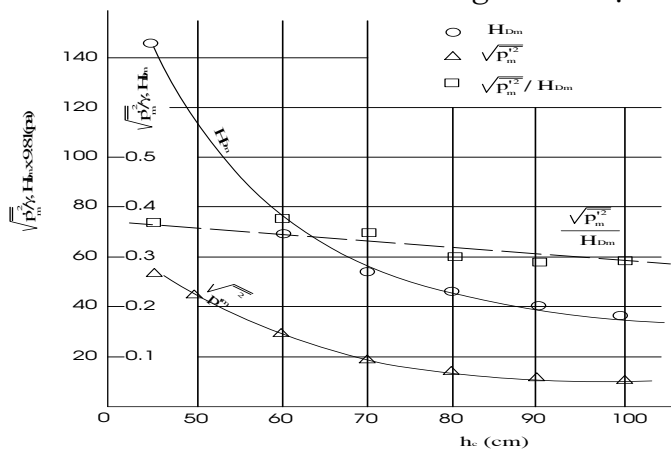
Hiện nay công trình nghiên cứu về mặt này còn ít. ở Nhật: An Vân Châu tiến hành thí nghiệm tràn đỉnh vòm, khi nước nhảy tự do rơi vào lớp nước đậm hạ lưu thí nghiệm đo áp suất thủy động của đáy lòng sông (bao gồm trị số bình quân và trị số mạch động) kết cấu dòng chảy của thí nghiệm ở hình 2.25.

Kết quả điển hình của thí nghiệm này như sau:

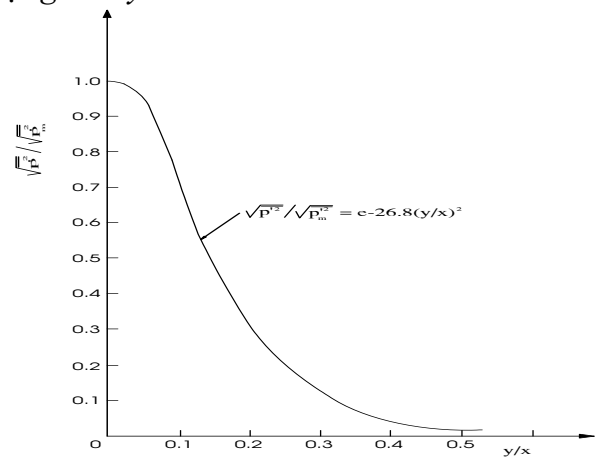
- Đặc tính cường độ mạch động của vùng dòng phun ở đáy sông ở hình 2.26 và 2.27.
- Mật độ phổ ở hình 2.28.
- Mức độ tương quan không gian của mạch động áp suất ở hình 2.29.



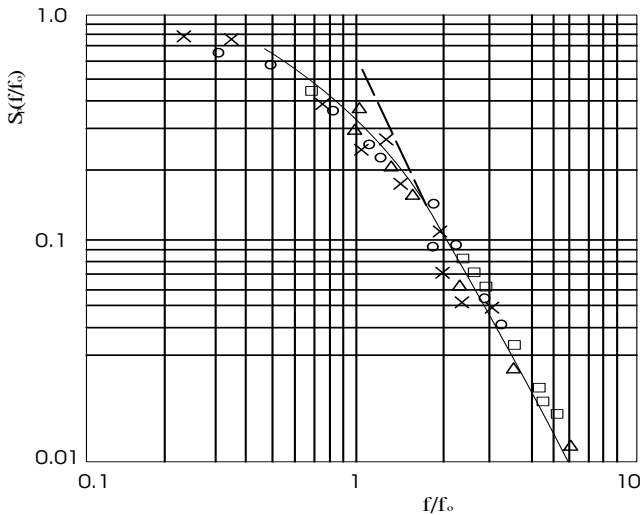
Hình 2.25. Phân bố cường độ mạch động và trị số áp suất bình quân theo thời gian của lực thủy động ở đáy hố xói



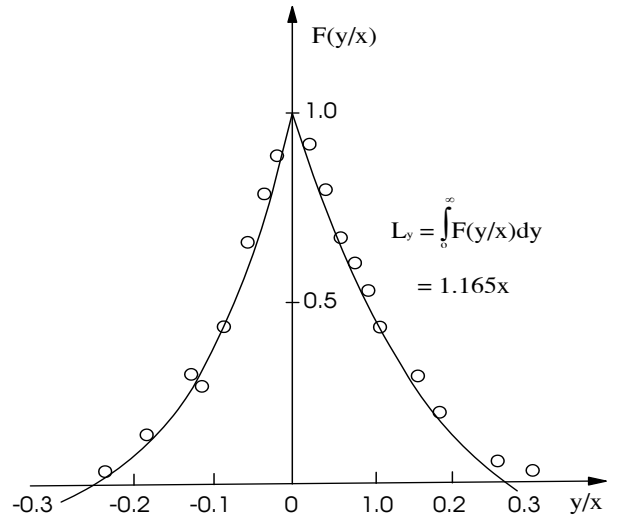
Hình 2.26. Quan hệ mực nước hạ lưu và tỷ số cường độ mạch động và áp suất thủy động bình quân ở đáy hố xói



Hình 2.27. Phân bố áp suất mạch động dọc đáy hố xói



Hình 2.28. Mật độ tần số phổ của áp suất mạch động đáy hố xói



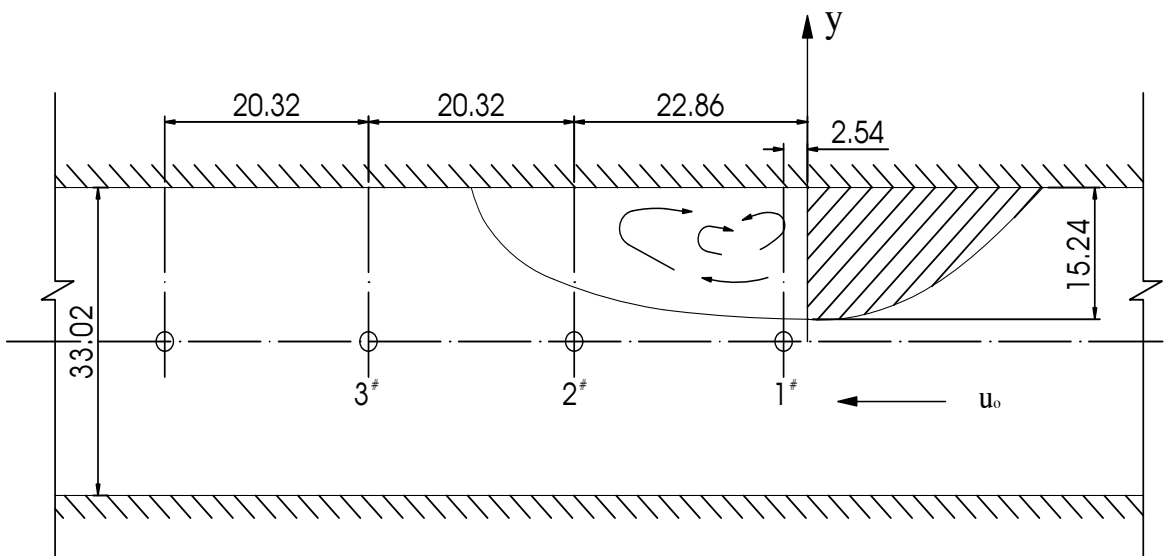
Hình 2.29. Mức độ tương quan không gian của áp suất mạch động đáy hố xói

IV. Áp suất mạch động trong dòng chảy hoá khí

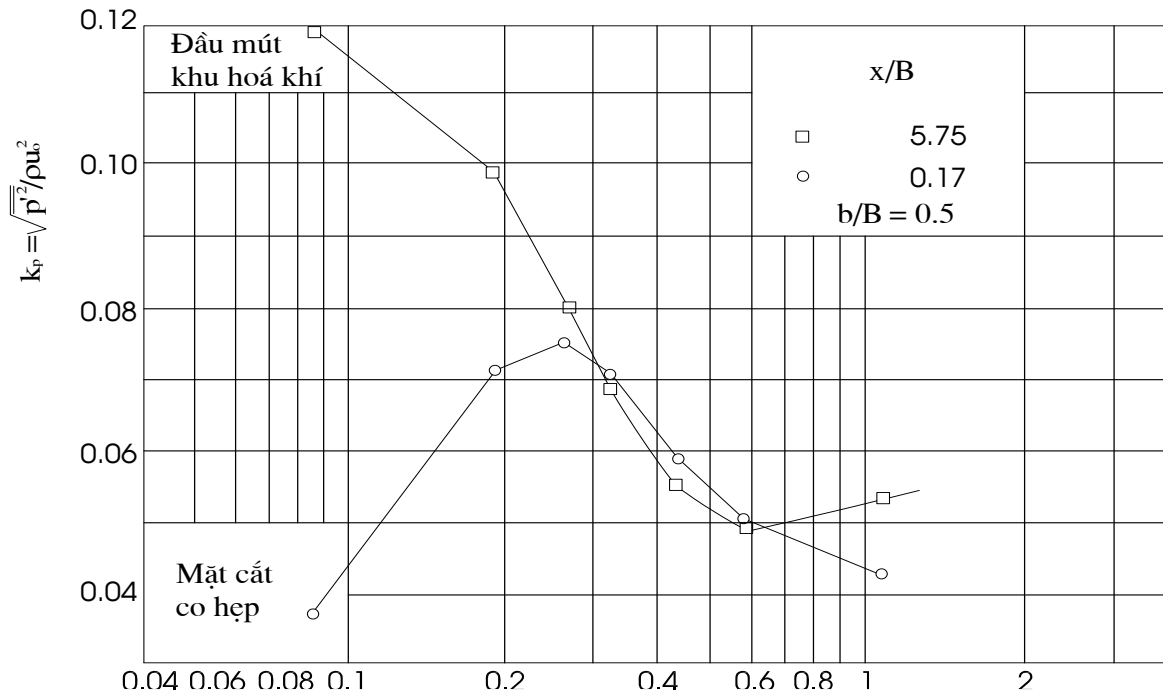
Dòng chảy hoá khí cũng có dòng hoá khí ở tầng biên, tính chất áp suất mạch động của nó cũng khác nhau.

Mục đích nghiên cứu chủ yếu là đo cường độ áp suất mạch động của nó, đặc tính tần suất phổ và mức độ tiếng ồn.

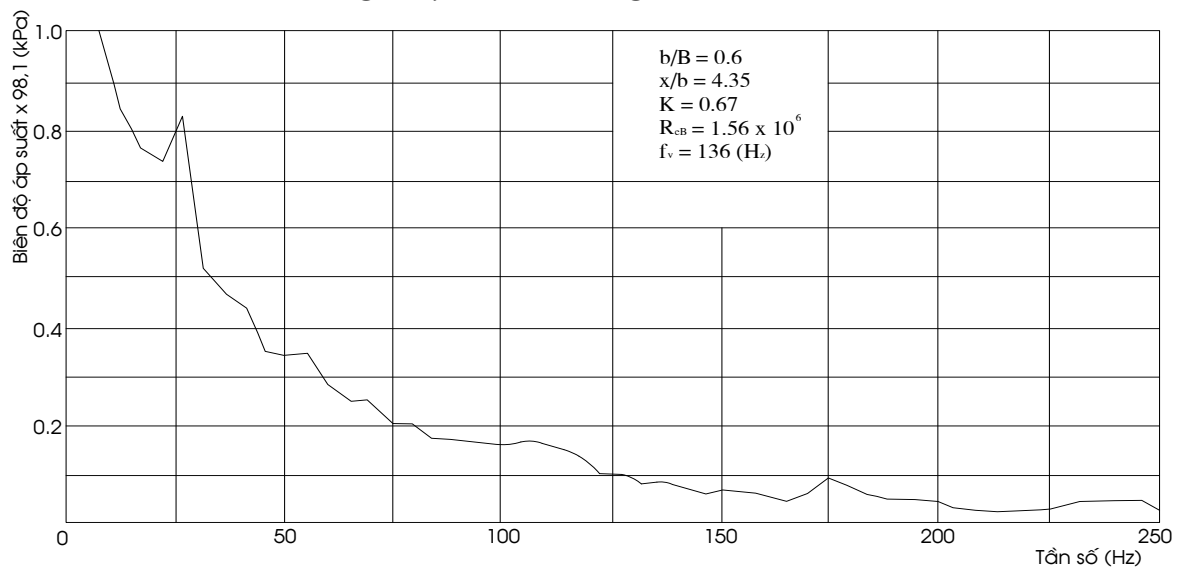
Hình 2.30 là sơ đồ lắp ráp nghiên cứu áp suất mạch động của dòng chảy hoá khí mở rộng đột ngột, cường độ mạch động điển hình và đặc tính tần số phổ như hình 2.31 và hình 2.32.



Hình 2.30. Sơ đồ thí nghiệm đo áp suất mạch động ở đoạn mở rộng trong tuyền của dòng chảy hoá khí



Hình 2.31. Quan hệ số khí hoá và cường độ áp suất mạch động của dòng chảy hoá khí trong đoạn khuếch tán

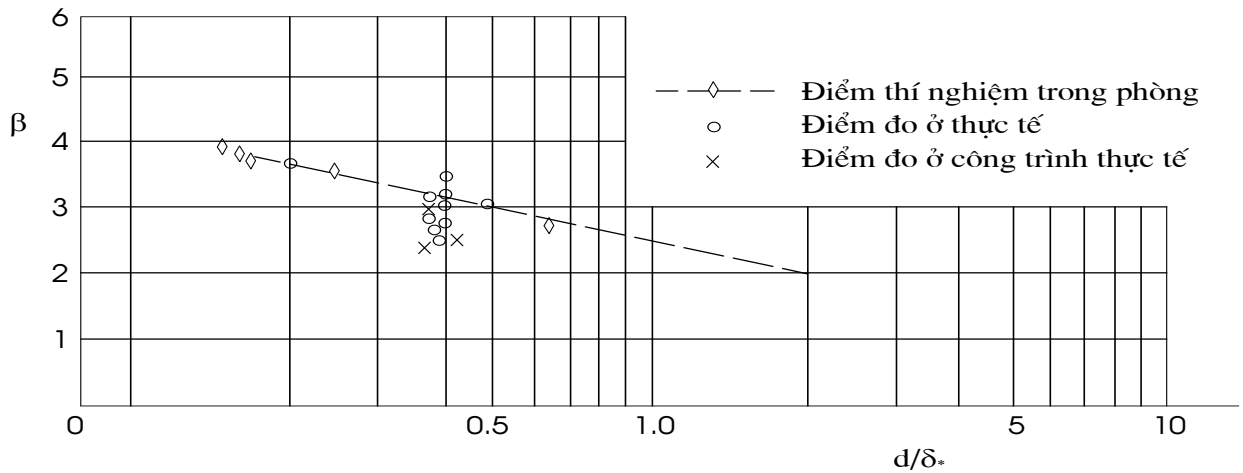


Hình 2.32. Trị số biên độ phổ của áp suất mạch động dòng chảy hoá khí trong đoạn mở rộng

V. Kỹ thuật đo đặc

Khó khăn chính trong kỹ thuật đo đặc áp suất mạch động là mặt chịu lực và độ nhạy của bộ cảm ứng. Vì phải có độ nhạy nhất định thì mới đo được tín hiệu; mặt chịu lực của bộ cảm ứng lớn quá thì số liệu đo được lại là trị số bình quân của áp lực mạch động trên một diện tích nhất định mà không phải là đặc tính của áp suất mạch động của điểm thực đo. Do đó, trước đây đã có nhiều người muốn thông qua lý thuyết hoặc

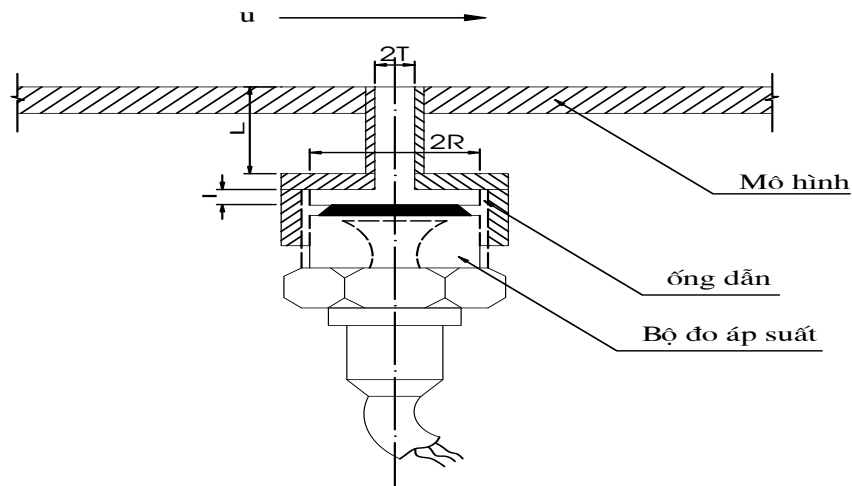
thực nghiệm để nghiên cứu diện tích khác nhau của bộ cảm ứng ảnh hưởng tới cường độ áp suất mạch động, nhằm tiến hành sửa đổi.



Hình 2.33. ảnh hưởng của kích thước bộ cảm ứng đối với cường độ áp suất mạch động tại tầng biên của dòng rối

Hình 2.33 là kết quả thực nghiệm của Saphanni; còn Arocker thì từ lý thuyết nêu ra đem kết quả thí nghiệm áp suất mạch động trên diện tích có hạn tiến dần đến diện tích bằng 0 để hiệu chỉnh công thức.

Một trong các giải pháp giải quyết mâu thuẫn trên là dùng đo áp kiểu ống dẫn, lúc đó đường kính ống dẫn tiếp xúc với dòng chảy có thể rất nhỏ, áp suất nhờ đường ống để truyền dẫn, do đó cần phải tìm hiểu nắm vững hệ thống truyền cảm qua ống dẫn hình 2.34 về đặc tính cộng hưởng.



Hình 2.34. Sơ đồ thí nghiệm áp suất mạch động dùng ống dẫn

Trong thí nghiệm dòng khí phương pháp này áp dụng tương đối phổ biến, còn trong thí nghiệm dòng nước do mật độ của nước so với không khí lớn hơn nhiều, nên quán tính của nước ảnh hưởng tương đối lớn đến đặc tính tần số của hệ thống thí nghiệm. Gần đây đối với đặc tính cộng hưởng tần số của hệ thống cảm ứng tiến hành phân tích sơ bộ rút ra công thức gần đúng về tần số tự rung f của hệ thống cảm ứng ống dẫn:

$$\alpha f t g \left(\frac{f}{f_c} \right) + f^2 = f_0^2 \quad (2.37)$$

$$f_0 = \frac{10.9\delta^2}{2\pi R^2} \sqrt{\frac{E_c}{12(1-\mu^2)\rho_c}}$$

$$\alpha = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{R}{r}\right)^2 \frac{p \cdot a}{\rho_c B}$$

$$f_c = 2\pi \frac{L}{a}$$

$$a = \left\{ \frac{\frac{E_c}{\rho}}{\left(1 + \frac{R^2 \ell}{r^2 L}\right) e E_s + \frac{(1-\mu^2)R^6 E_\omega}{16\delta^3(r^2 L + R^2 L)E_c}} \right\}$$

Trong các công thức trên:

$(E_\omega/\rho)^{1/2}$ - Là tốc độ truyền tiếng động trong nước $(E_\omega/\rho)^{1/2} = 1425\text{m/s}$,

E_ω - Mô đun đàn tính nén của nước,

ρ - Khối lượng riêng của nước,

E_c - Mô đun đàn hồi của chất liệu màng cảm ứng,

E_s - Mô đun đàn tính của thành ống dẫn,

L - Chiều dài khoảng trống giữa bộ truyền cảm và ống dẫn,

R - Bán kính của đầu đo (bộ truyền cảm),

ℓ - Chiều dài ống dẫn,

r - Bán kính ống dẫn,

μ - hệ số poisson của màng bộ truyền cảm,

δ - Chiều dày màng cảm ứng,

ρ_c - Khối lượng riêng của màng cảm ứng,

B - Xét tới chiều dày đương lượng của khối nước tăng thêm, có thể viết thành:

$$B = 80 \exp\left(\frac{R_f}{rf_0}\right)^{1/2} \quad (2.38)$$

Khi sử dụng phương pháp đo của hệ thống truyền cảm ứng của ống dẫn cần chú ý ống dẫn và khoảng trống không được có bọt khí tồn tại, nếu không sẽ cộng hưởng với tần số của hệ thống và ảnh hưởng tới độ chính xác đo đặc động thái áp lực rất lớn.

Ví dụ: trong công thức tính chiều dày bản đáy của A. V. Kulitriksi:

$$d_b = (0.95 - 0.06B) \frac{p'}{(r_b - r) \cos \alpha} \quad (2.39)$$

Trong đó:

p' - là áp lực đẩy ngược có tính đến mạch động áp suất; trước đây tính khoảng $8 \div 12\%$ áp lực sóng lớn nhất.

Sau khi có thiết bị đo mạch động áp suất nên dùng công thức:

$$\bar{p}' = \bar{p} \pm 3\sigma_p \quad (2.40)$$

ở đây σ_p - là mạch động áp suất, mét cột nước (mH_2O)

Khi tính phải chuyển sang Niuton hay Pascan.

§II.4. NGHIÊN CỨU BIỆN PHÁP GIẢM XÂM THỰC

I. Khái quát

Dòng lưu tốc cao chảy qua mặt bê tông của các công trình tháo lũ có cột nước lớn, số khí hoá nhỏ. Nếu hình dáng thiết kế không tốt hoặc cục bộ không bằng phẳng dẫn đến xâm thực, bê tông bị phá hoại. Do đó cần phải tìm biện pháp công trình hợp lý để tránh hoặc giảm nhẹ sự xâm thực của dòng chảy có lưu tốc cao, trong đó trộn khí giảm khí thực là một giải pháp hữu hiệu.

Biện pháp trộn khí giảm khí thực ứng dụng sớm nhất vào máy thủy lực. Trên công trình thủy công sử dụng biện pháp trộn khí giảm khí thực đầu tiên là sau cửa van của tuyền xả lũ có áp và đoạn cong phía trước của đoạn thẳng đứng của tuyền tháo lũ kiểu giếng, tuyền tháo lũ, lỗ xả sâu... bằng cách lắp đặt ống thông khí.

Đã áp dụng từ thập kỷ 60 đến thập kỷ 70 của thế kỷ 20 biện pháp trộn khí giảm khí thực trên bề mặt xả lũ qua công trình thủy công, đây là một hạng mục kỹ thuật mới được quan tâm.

Hình thức chung của công trình trộn khí giảm khí thực là bố trí trên mặt thoát nước máng trộn khí, ngưỡng trộn khí hoặc mố nhỏ. Dòng chảy qua chỗ đột biến này sẽ thoát khỏi thành biên hình thành dòng phun, mặt dưới của luồng nước tạo ra buồng trống đưa không khí vào, không khí từ hai vách bên mở rộng đột ngột, rãnh van hoặc ống thông khí chôn sẵn đưa vào.

Viền dưới của luồng phun trong quá trình đó sẽ khuếch tán, trộn khí, khi nó rơi trở lại bản đáy lại cuốn thêm một phần không khí khiến cho lớp nước gần vách hạ lưu hình thành dòng hỗn hợp hai pha khí và nước. Dòng chảy trộn khí này đi qua một đoạn theo dọc đường có thể duy trì từ nồng độ trộn khí C (nồng độ trộn khí C: tổng lượng khí trên tổng lượng nước đến trong một đơn vị thể tích nhân với số %) không nhỏ hơn giá trị nồng độ nhỏ nhất chống xâm thực có hiệu quả, như vậy trong đoạn khoảng cách này, mặt nước tràn qua sẽ không bị xâm thực phá hoại.

II. Nguyên lý trộn khí giảm xâm thực và hiệu quả của nó

Sau khi dòng chảy trộn khí sẽ khiến cho biên vách hơi có cục bộ không bằng phẳng xuất hiện áp suất âm, nhưng vì trong nước có trộn khí nên sẽ giảm thấp áp lực cục bộ đến quá trình áp lực nước bị hoá khí. Nếu cục bộ áp suất âm đủ để hình thành dòng chảy có khí hoá, trong nước kẹp khí sẽ có lợi cho việc sản sinh khí hoá, vì thế áp lực trong khí hoá lại nâng cao, từ đó cũng nâng cao số khí hoá tại chỗ. Giả thiết khí hoá bị tan vỡ phóng thích các phân tử không khí ở trong khí hoá sẽ dẫn tới tác dụng “xói chậm”.

Khối nước tầng ngoài khí hoá vì có mang theo không khí nên có tính nén. Đối với khí hoá bị tan vỡ kích sóng lan truyền có tác dụng suy giảm, do đó trong dòng nước có trộn khí khi khí hoá tan vỡ hình thành áp lực tức thời sẽ hạ thấp một cách có hiệu quả, ảnh hưởng của xâm thực dần được giảm nhẹ một cách tương ứng.

Dòng chảy trộn khí và trong dòng nước có hàm khí là hai hiện tượng khác nhau, hiện tượng thứ nhất là: trong dòng nước khí vượt quá lượng bão hoà của nước ra thì còn có thêm một lượng khí nào đó nữa; hiện tượng này bằng mắt thường có thể quan sát thấy được hình thái tồn tại các bọt khí ở trong nước, dòng chảy một khi dừng lại thì các bọt khí sẽ thoát ra khỏi nước.

Còn hiện tượng thứ hai là chỉ trong nước lượng khí nhỏ hơn lượng khí bão hoà, hoà tan trong nước, mắt thường không thể nhìn thấy được bộ phận khí đó.

Hiện tượng giảm xâm thực của dòng nước trộn khí có thể nhận thấy được thông qua các kết quả nghiên cứu sau đây:

1. Mousson

Dùng ống Ventury thí nghiệm khí thực cho kết quả nghiên cứu chứng tỏ khi lượng trộn khí trong nước:

$$\text{Lượng trộn khí: (tính theo tỷ lệ \%)} \\ \beta = \frac{\text{Lưu lượng khí thông qua đơn vị diện tích } Q_a}{\text{Lưu lượng nước thông qua đơn vị diện tích } Q_n} \quad (\%)$$

Khi lượng trộn khí β lớn hơn lượng khí bão hoà của nó, mẫu vật thí nghiệm bị xâm thực mất đi một phần trọng lượng tùy theo lượng trộn khí tăng lên mà giảm đi, hình 2.35

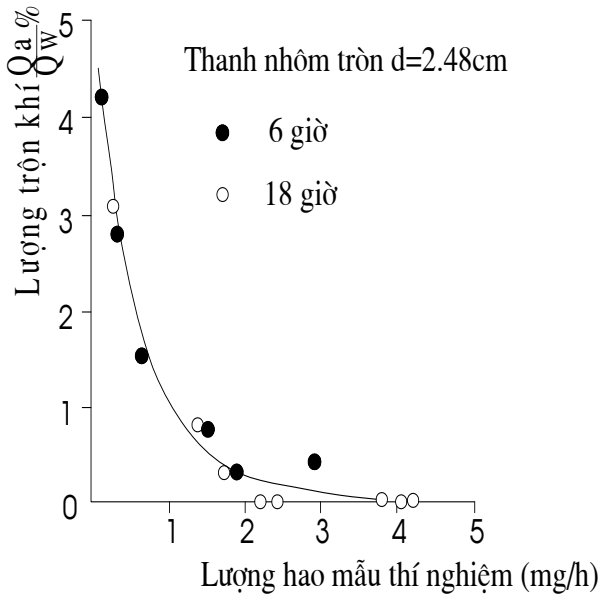
Vuskovic thí nghiệm cũng cho kết quả tương tự.

2. Peterka

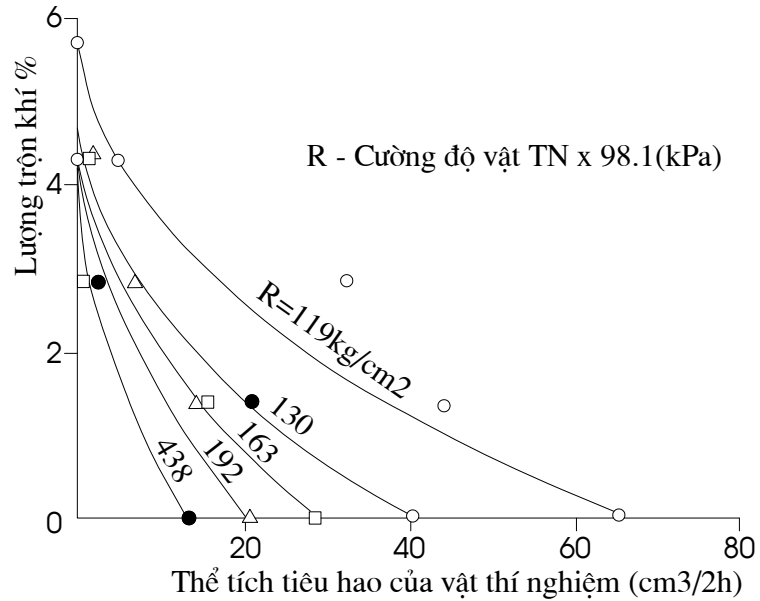
Trước tiên dùng máy rung co dẫn từ tính tiến hành thí nghiệm mang tính định tính cho hiệu quả trộn khí giảm khí thực, về sau lại dùng thiết bị dạng ống Ventury thí nghiệm nghiên cứu khí thực của mẫu bê tông. Ông đã nghiên cứu ngoài mẫu thí nghiệm bị xâm thực mất đi trọng lượng tùy theo lượng khí trộn tăng lên mà giảm đi trọng lượng ra có chú ý tới tùy theo lượng trộn khí trong nước tăng lên mà quá trình xâm thực phát sinh tiếng nổ và âm hưởng va đập giảm nhỏ, khi lượng trộn khí đạt tới 7,4% thì âm hưởng và khí thực đều đã dừng lại hình 2.36. Khi tiến hành thí nghiệm này trong nước hệ số khí hoá $k = 0,109$ với lượng trộn khí là 7,1%.

3. Rasmussen

Sử dụng thiết bị xâm thực dạng ống Ventury và dạng đĩa quang đưa ra kết quả tương tự như Peterka, khi lượng trộn khí là 1% (tương đương 5 lần trộn khí bão hoà ở trạng thái tiêu chuẩn) xâm thực phá hoại đã được giảm nhẹ đi nhiều, hình 2.37.



Hình 2.37. Quan hệ giữa lượng trộn khí và mẫu nhôm bị xâm thực



Hình 2.38. Quan hệ giữa lượng trộn khí và mẫu bê tông bị xâm thực

4. Galypharin

Ông sử dụng thiết bị thí nghiệm xâm thực của bộ phận kích phát khí hoá dạng trực để nghiên cứu thí nghiệm mẫu bê tông có cường độ khác nhau rút ra được lượng trộn khí nhỏ cần để tránh xâm thực như bảng 2.2.

Bảng 2.2: Quan hệ lượng trộn khí min tránh xâm thực và mác bê tông

Mác bê tông R	100	150	200	250	300	350	400
Lượng trộn khí nhỏ nhất để tránh xâm thực bê tông %	9.70	8.0	6.8	5.7	4.7	4.0	3.0

5. Russel

Trong một ống hình chữ nhật dùng một bulông làm vật nhô ra để dẫn tới khí hoá. Thượng lưu vật nhô ra bố trí máng trộn khí cung cấp khí, phía hạ lưu lắp đặt mẫu bê tông thí nghiệm. Kết quả thí nghiệm của ông đã đưa ra quan hệ giữa ba yếu tố là cường độ mẫu bê tông, lượng trộn khí, thể tích mẫu thí nghiệm bị xâm thực mất đi hình 2.38.

Qua thí nghiệm ông còn chỉ ra khi lượng trộn khí bằng hoặc lớn hơn 5,7% sẽ khiến cho bê tông có cường độ rất thấp (R = 119) sẽ không bị xâm thực phá hoại.

Qua các kết quả nghiên cứu trên đây có thể rút ra mấy nhận xét:

+ Yếu tố chủ yếu ảnh hưởng tới mặt của công trình có nước chảy qua với dòng lưu tốc cao gồm:

- Hình dạng đường viền của vách có dòng chảy qua,

- Số khí hoá của dòng chảy tại nơi đó,
- Lượng trộn khí của dòng chảy tại nơi đó,
- Tính năng chống xâm thực của vật liệu.

+ Sau khi lượng khí trong nước lớn hơn lượng ngậm khí bão hoà, dù là hình thức trộn khí hay ngậm khí tồn tại, tác dụng xâm thực sẽ bắt đầu giảm, lượng trộn khí là (1,0 ÷ 2,5%) hầu như tồn tại trong khu quá độ, điều chỉnh lượng khí tăng thêm một chút thì có thể tạo thành khí hóa có tiếng ồn và cường độ xâm thực thay đổi rõ rệt.

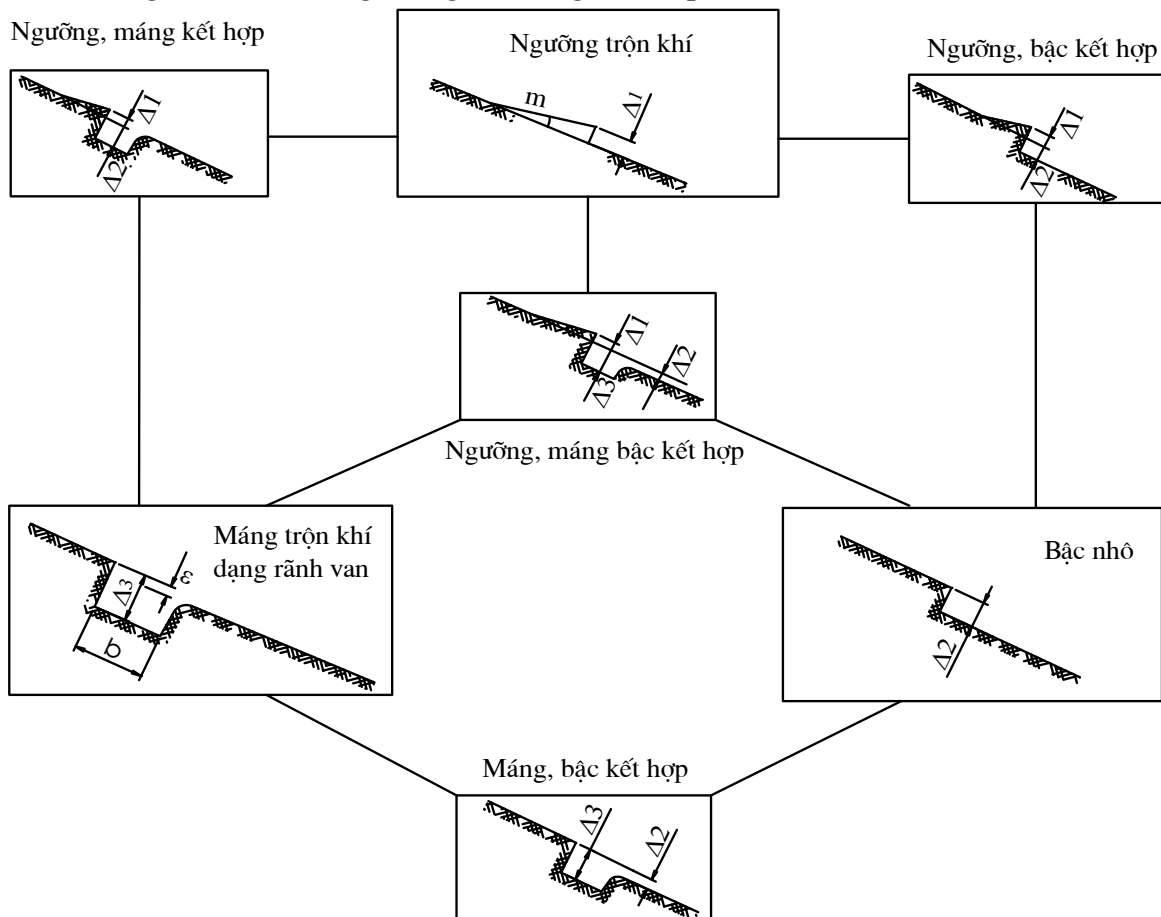
+ Sau khi lượng trộn khí của dòng chảy đạt 5,7% ÷ 7,5% thì sự xâm thực phá hoại bê tông không còn nữa, đối với vật liệu chống xâm thực tốt lượng trộn khí nhỏ nhất tránh xâm thực so với giá trị nêu trên còn nhỏ hơn.

III. Hình thức bố trí trộn khí giảm khí thực trong công trình tràn nước

1. Trộn khí trên mặt thoát nước

Trên mặt thoát nước, công trình cơ bản dùng để trộn khí có 3 loại hình 2.39.

- + Ngưỡng trộn khí: Là dạng ngưỡng hơi nhô dốc thoải.
- + Bậc thực: bản đáy phía sau hạ thấp hình thành bậc ngang.
- + Máng trộn khí: Tạo thành đường cung cấp khí ở đáy dòng chảy, có nhiều hình thức như dạng rãnh van, dạng tam giác, dạng khe hẹp...



Hình 2.39. Hình thức cơ bản của thiết bị trộn khí chống xâm thực trên bản đáy
Trong thực tế thường sử dụng hình thức kết hợp:

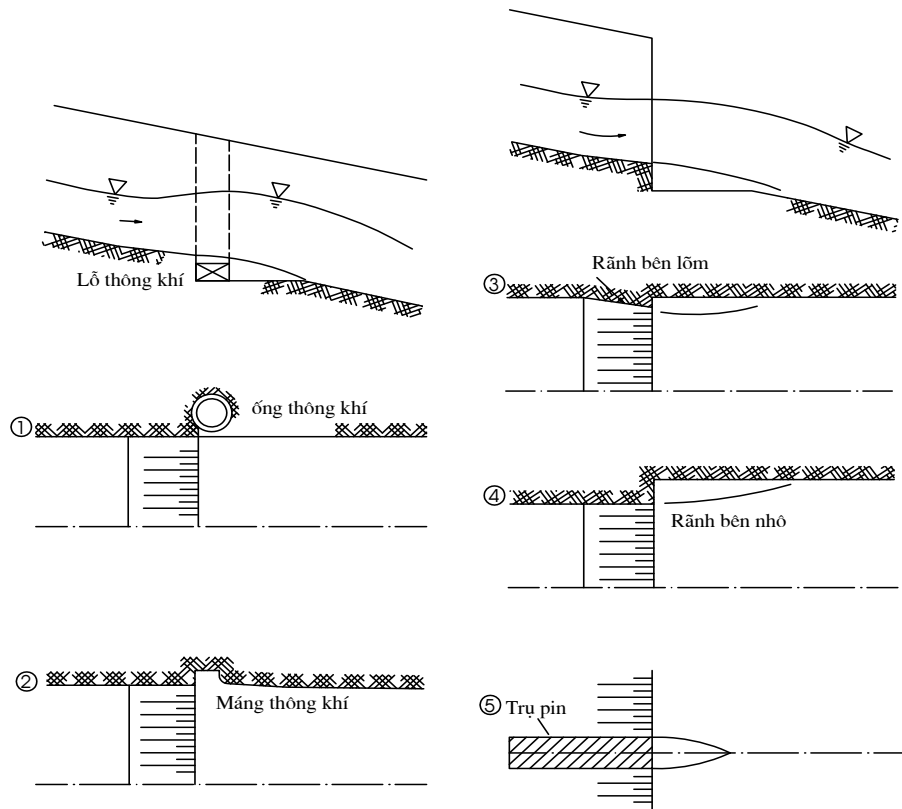
- Hình thức kết hợp ngưỡng và rãnh,
- Hình thức kết hợp ngưỡng và bậc,

- Hình thức kết hợp rãnh và bậc,
- Hình thức kết hợp ngưỡng, rãnh và bậc.

Đối với các công trình bố trí đường xả lũ bên bờ, phía sau đập tràn thường là dốc nước có chiều dài nhất định tùy theo địa hình và địa chất, khi đó thường dùng rãnh trộn khí liên tục nhiều cấp (ngưỡng hay bậc).

2. Trộn khí mặt bên

Phương thức cấp khí mặt bên có nhiều dạng có thể tổng hợp thành hai loại năm dạng hình 2.40.



Hình 2.40. Hình thức cấp khí mặt bên
Ghi chú: (1): Dạng kín; (2) - (5) : Dạng hở

+ Ống thông khí (1): Trong tường bên chôn ống thông khí trực tiếp cấp khí vào phần đáy dòng chảy, mặt thoát nước ở tường bên là liên tục, có thể duy trì trạng thái chảy gần ngưỡng hoặc rãnh trộn khí ổn định.

+ Bốn dạng cấp khí sau (2) - (5) thuộc dạng hở:

- Rãnh khe van hình chữ nhật,
- Thiết bị nắn dòng chảy ở tường bên,
- Tường bên mép nhô rộng ra, hình thức này có lúc liên hợp với cửa cung có cửa lệch tâm,
- Lợi dụng đuôi trụ pin nhô rộng ra để cấp khí.

Năm dạng cấp khí mặt bên với 7 loại hình thức công trình trộn khí cho dòng chảy giao thoa kết hợp hình thành nhiều loại, nhiều dạng thiết bị trộn khí chống xâm thực.

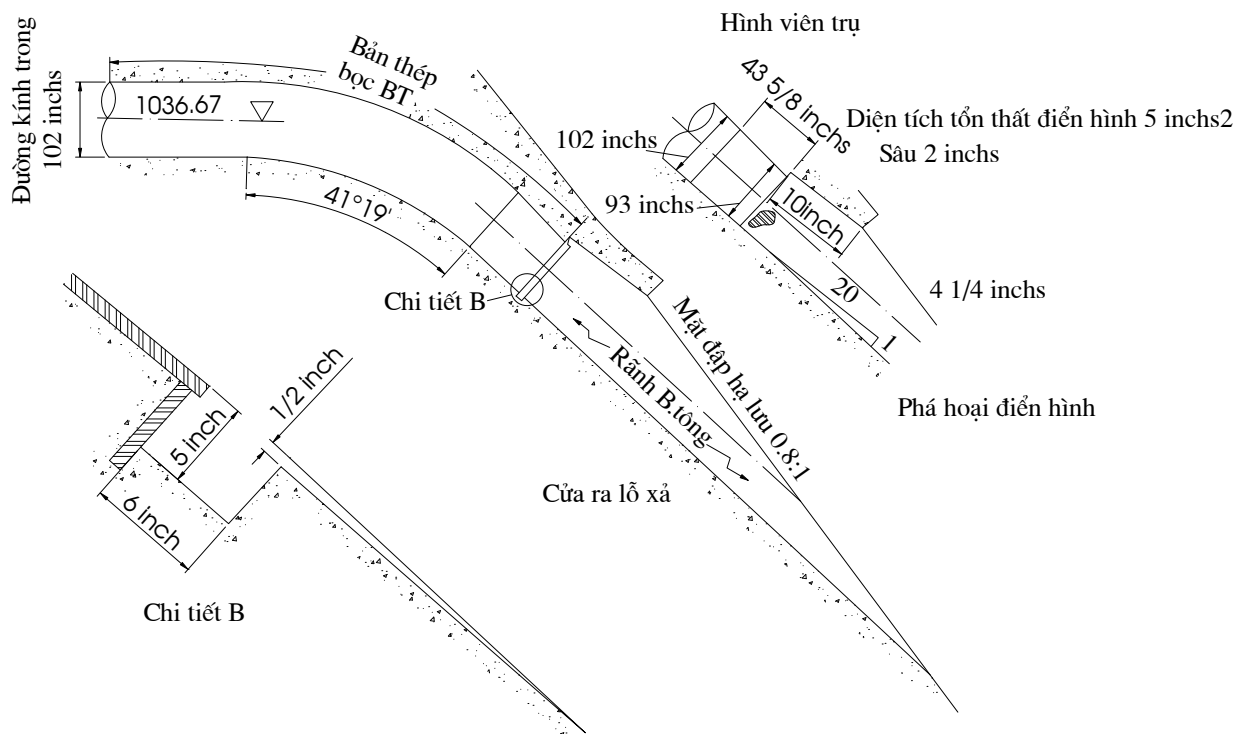
IV. Thiết bị trộn khí giảm xâm thực ở công trình thực tế

Từ năm 1937 người ta đã tìm hiểu dòng chảy trộn khí có thể giảm nhẹ sự xâm thực phá hoại bề mặt các công trình tháo nước nhưng đem ý tưởng này ứng dụng vào công trình thực tế là cả một quá trình khá dài.

1. Khái quát về áp dụng thiết bị trộn khí ở thế giới

a) Ở Châu Âu và Mỹ

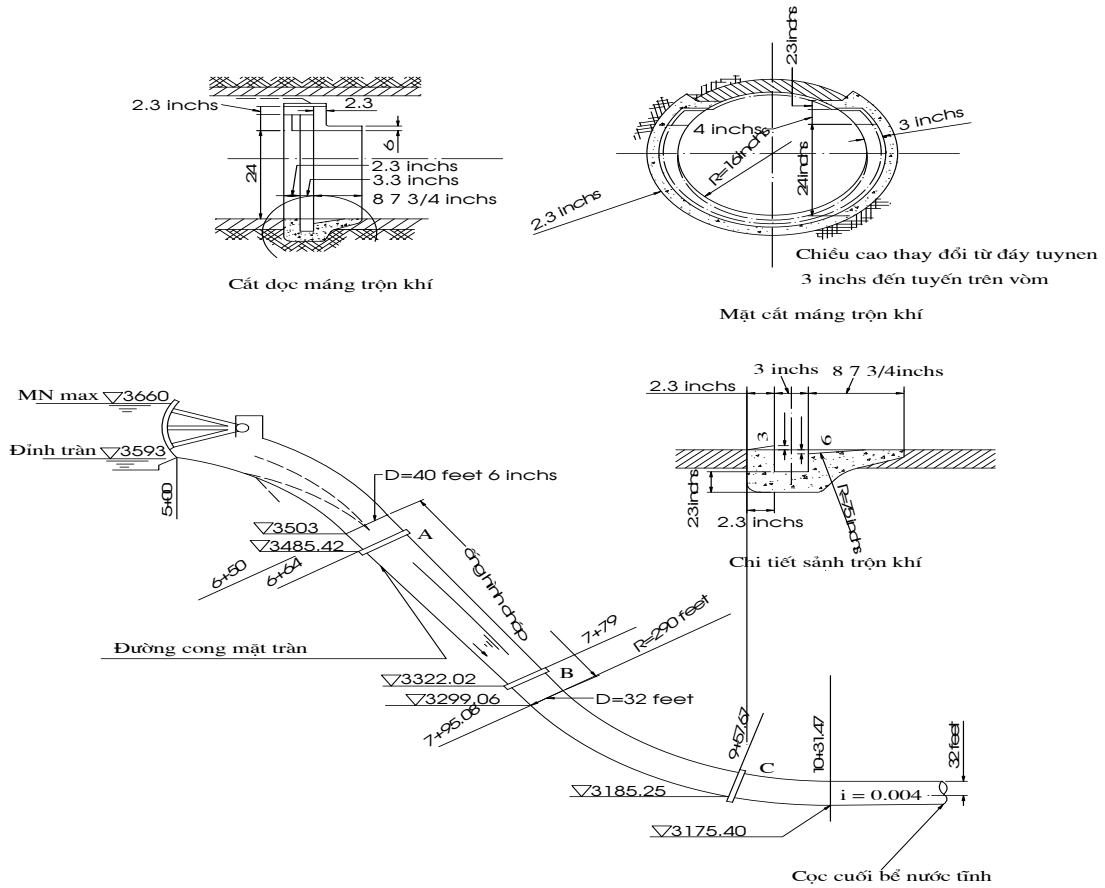
Năm 1945 Cục khai hoang của Mỹ (USBR) đã nghiên cứu thí nghiệm biện pháp trộn khí giảm xâm thực đối với tuynen xả lũ của đập Hồ Phi, nhưng lúc đó chưa thực hiện được. Về sau cửa ra của tuynen xả nước của công trình Đại-Cổ-Lực phát sinh xâm thực phá hoại, mỗi năm đều phải tiến hành sửa chữa, vì vậy năm 1960 ở hạ lưu cửa ra đường ống hình côn của tuynen xả nước đã bố trí máng trộn khí hình 2.41.



Hình 2.41. Máng trộn khí cửa xả nước ra của đập Đại Cổ Lực

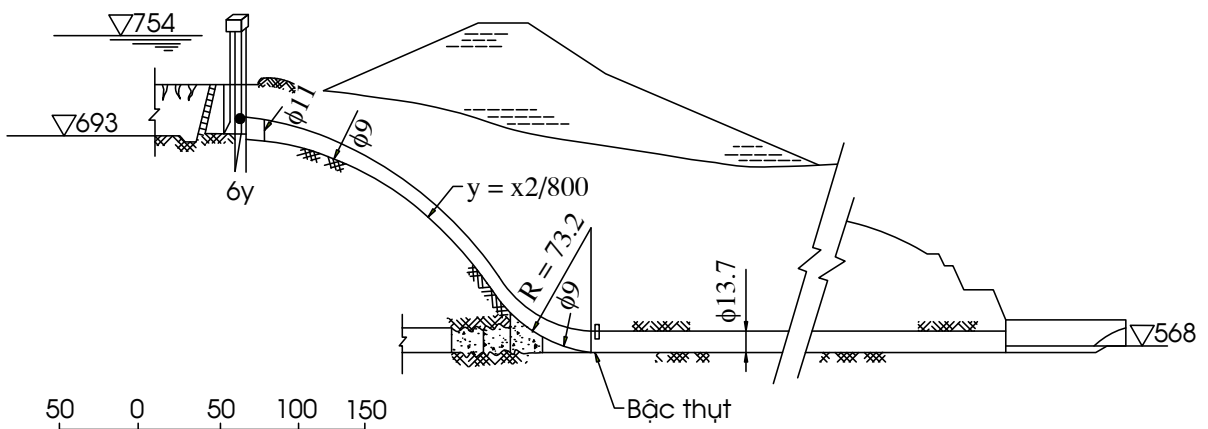
Năm 1965 trong đoạn bít tuynen dẫn dòng của đập GlenCanyon người ta bố trí 3 tuynen tháo nước tạm thời, vì luồng nước đã trộn khí đầy đủ, dòng chảy qua bề mặt bê tông của lớp bảo hộ không nứt mà vẫn không phát sinh xâm thực phá hoại. Từ ví dụ thực tế ngẫu nhiên này đã nảy ra ý tạo thành bậc để trộn khí giảm xâm thực trong thí nghiệm ở nguyên hình. Năm 1967 trong vận hành tuynen tháo lũ dạng hở của đập Hoàng Vỹ, trên đoạn bán kính cong và ở hạ lưu phát sinh xâm thực phá hoại nghiêm trọng, có ý kiến cho rằng là do một mảng vữa xi măng khi sửa chữa có bọt khí bị bong ra. Kinh nghiệm chứng tỏ đối với các công trình tháo lũ cột nước cao, số khí hòa nhỏ (hệ số C_p min) dựa vào phương pháp sửa chữa không thể bền vững lâu được, như vậy thông qua thí nghiệm mô hình chọn thiết bị trộn khí ngưỡng và máng kết hợp. Tuynen này có mặt cắt dạng hình tròn nên cần dùng thiết bị nắn dòng có chiều cao thay đổi như hình 2.42. Sau khi tăng thêm máng trộn khí năm 1969 và 1970 tiến hành thí

nghiệm kiểm định trên nguyên hình khẳng định hiệu quả thực tế của giải pháp trộn khí.

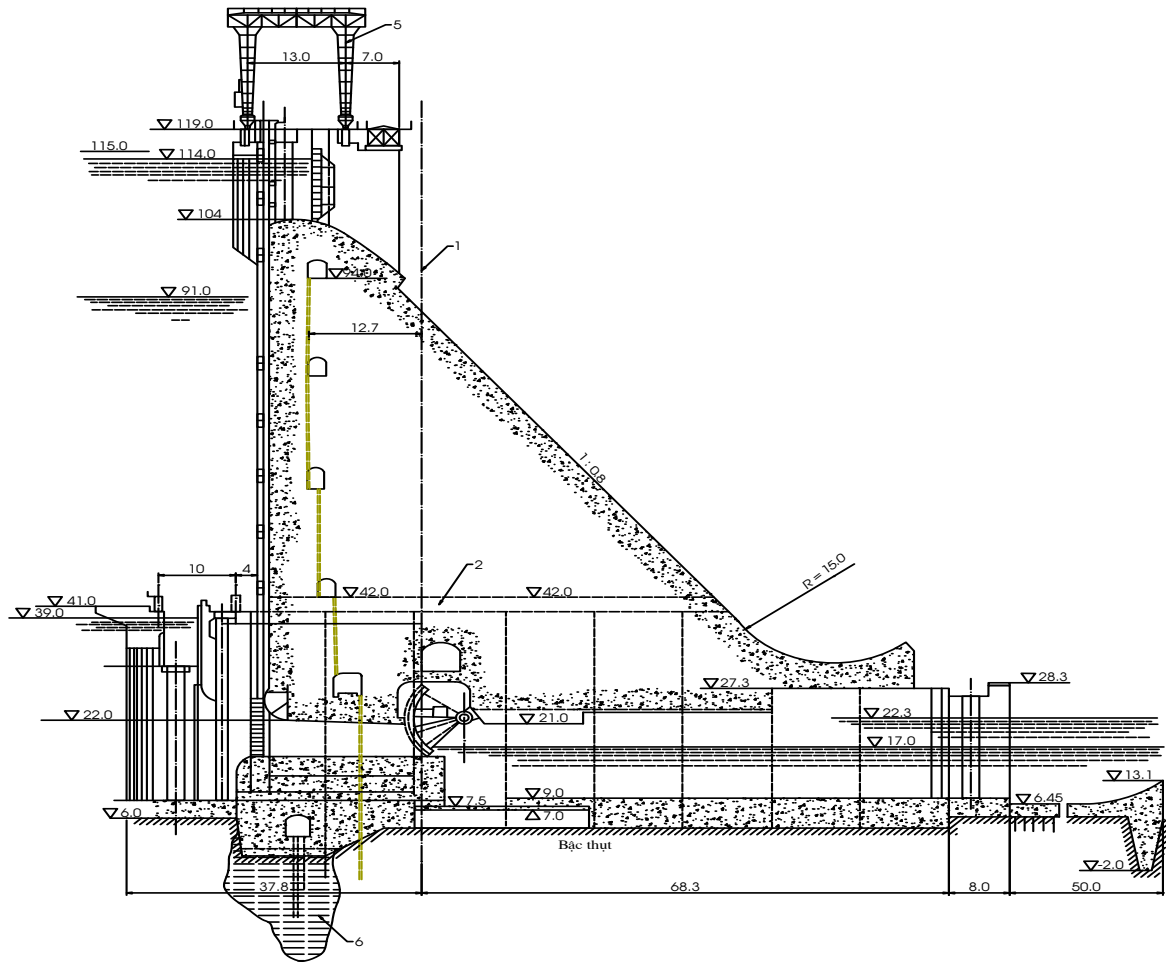


Hình 2.42. Máng trộn khí tuynen đập Hoàng Vỹ

Năm 1973 ở Canada cải tạo tuynen dẫn dòng của đập Maica thành tuy nen xả lũ vĩnh cửu, bố trí hai bậc nhô (vị trí ở cuối cửa ra của buồng van 1 bậc, cuối bán kính cong ngược 1 bậc) làm thiết bị trộn khí giảm xâm thực như hình 2.43. Qua vận hành từ năm 1974 ÷ 1976 chưa thấy bị xâm thực.

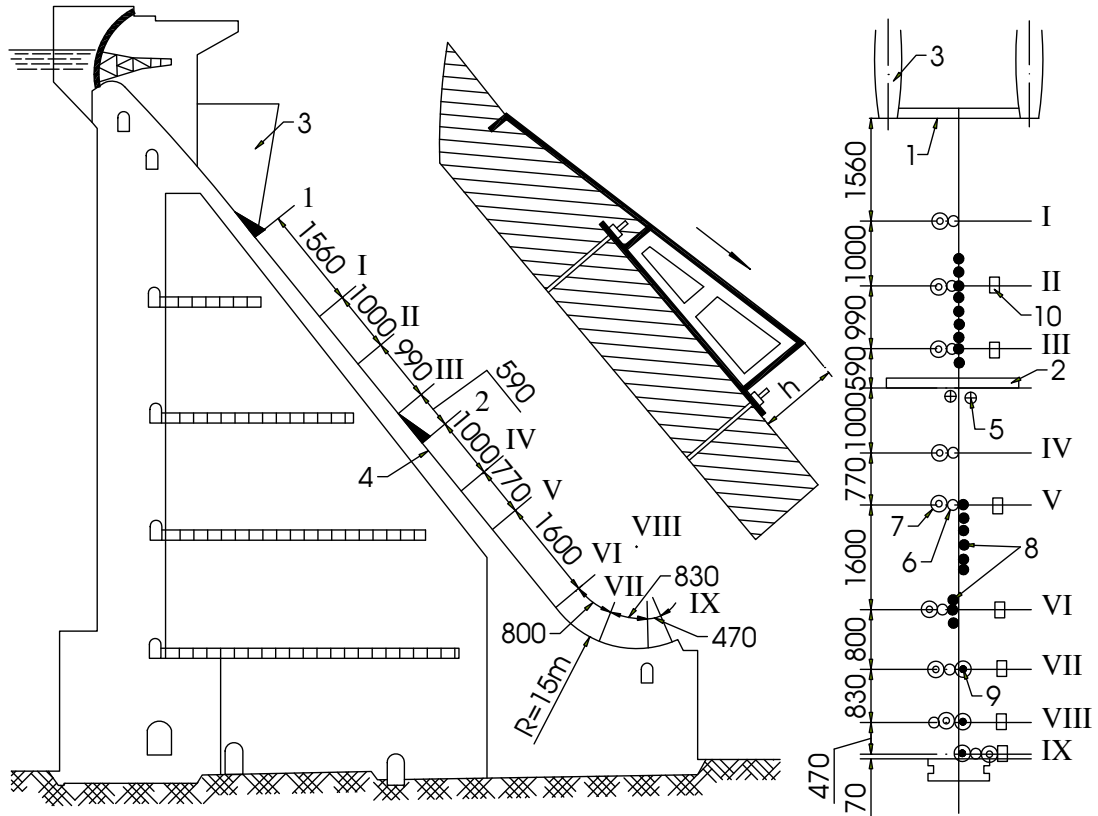


Hình 2.43. Sơ họa bậc thụt trộn khí của tuynen xả lũ đập Maica



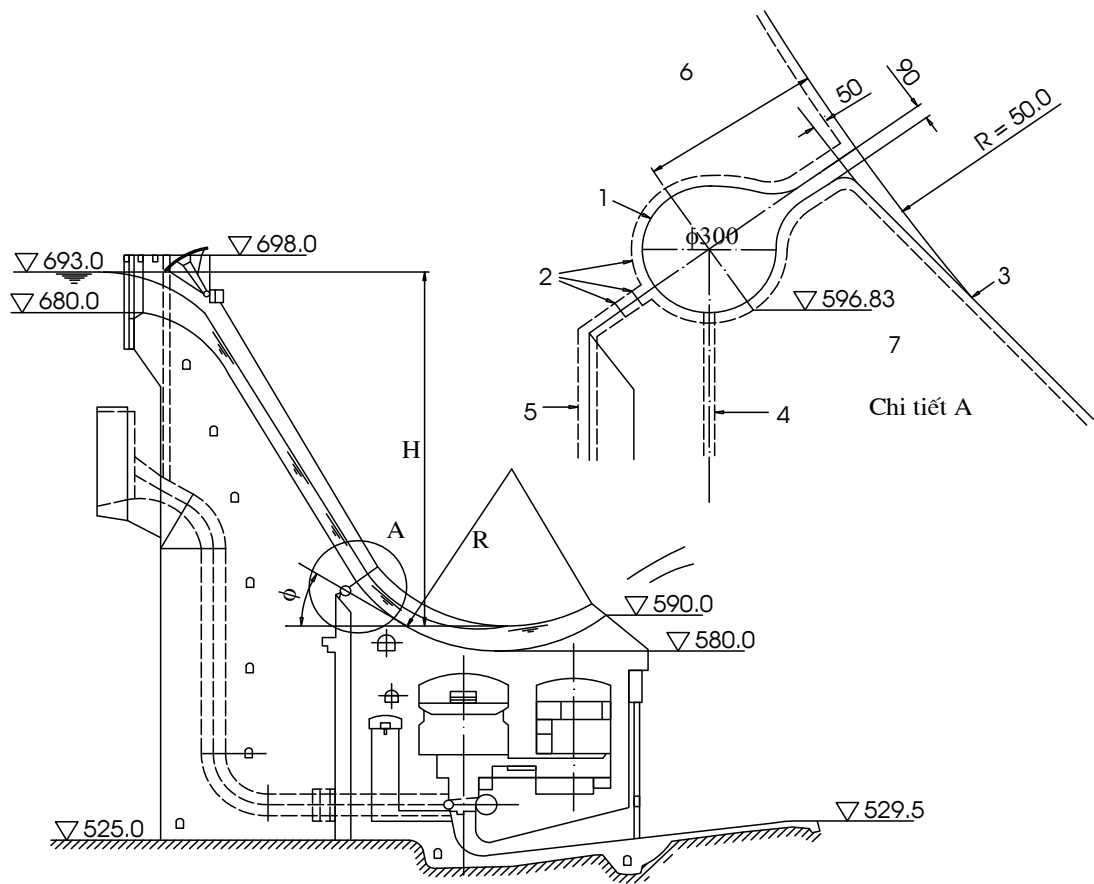
Hình 2.44. Sơ họa bậc thụt trộn khí của đập Kơ - rát - snai - ski

Vào thập niên 1960 Liên Xô đã xây dựng đập tràn Brask xả lũ, sử dụng biện pháp trộn khí bậc nhô như hình 2.45. Trong vận hành đập tràn Brak dòng phun trên mũi hắt xuất hiện hàng loạt hố xâm thực, độ sâu lớn nhất đến 30mm; năm 1973 trên mặt đập này bố trí thêm ngưỡng trộn khí có kết cấu bằng thép rỗng ở trong như hình 2.45 và tiến hành đo đạc dòng trộn khí phía hạ lưu mũi hắt và mạch động áp lực trên mặt đập ở công trình thực tế; kết quả nhận thấy ngưỡng trộn khí dốc thoải hơi nhô không sinh tải trọng động quá lớn, do đó không dẫn tới rung động đập chính.

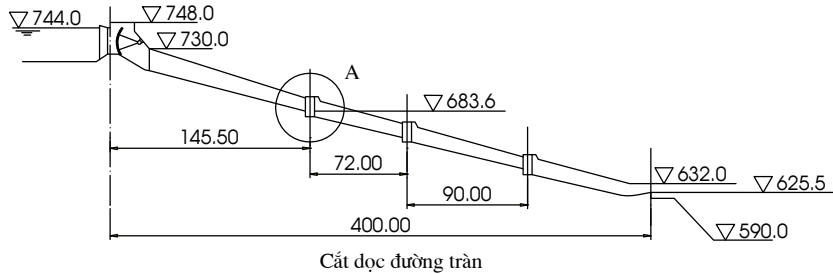


Hình 2.45. Bạc trộn khí của đập tràn Brask

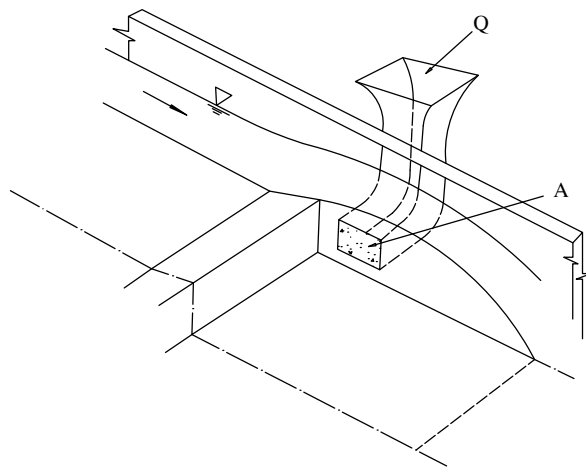
Công trình thủy điện Toktogul tại chỗ khe nối của mặt đập tràn bố trí rãnh trộn khí khe hẹp. Dạng thiết bị trộn khí này vừa có thể đạt được mục đích trộn khí giảm khí thực vừa có thể thích ứng lún không đều xuất hiện giữa hai bộ phận của đập. Đập Khalatka ở Thổ Nhĩ Kỳ cũng dùng kiểu bố trí tương tự như hình 2.46. Đối với đường tràn bên bờ nói chung đáy dốc xoài, máng dài thường dùng ngưỡng trộn khí nhiều cấp làm biện pháp bảo vệ chống xâm thực như công trình Siegen thaler và công trình Pinto ở Singapore đều bố trí đường tràn ở bên bờ, công trình thủy điện Nurêch ở Liên Xô và công trình lỗ xả sâu LeitUAGE (Pháp) đều áp dụng máng trộn khí hình thang nhiều cấp như hình 2.47.



Hình 2.46. Máng trộn khí đập tràn Khalatka (dạng khe hẹp)



Cắt dọc đường tràn

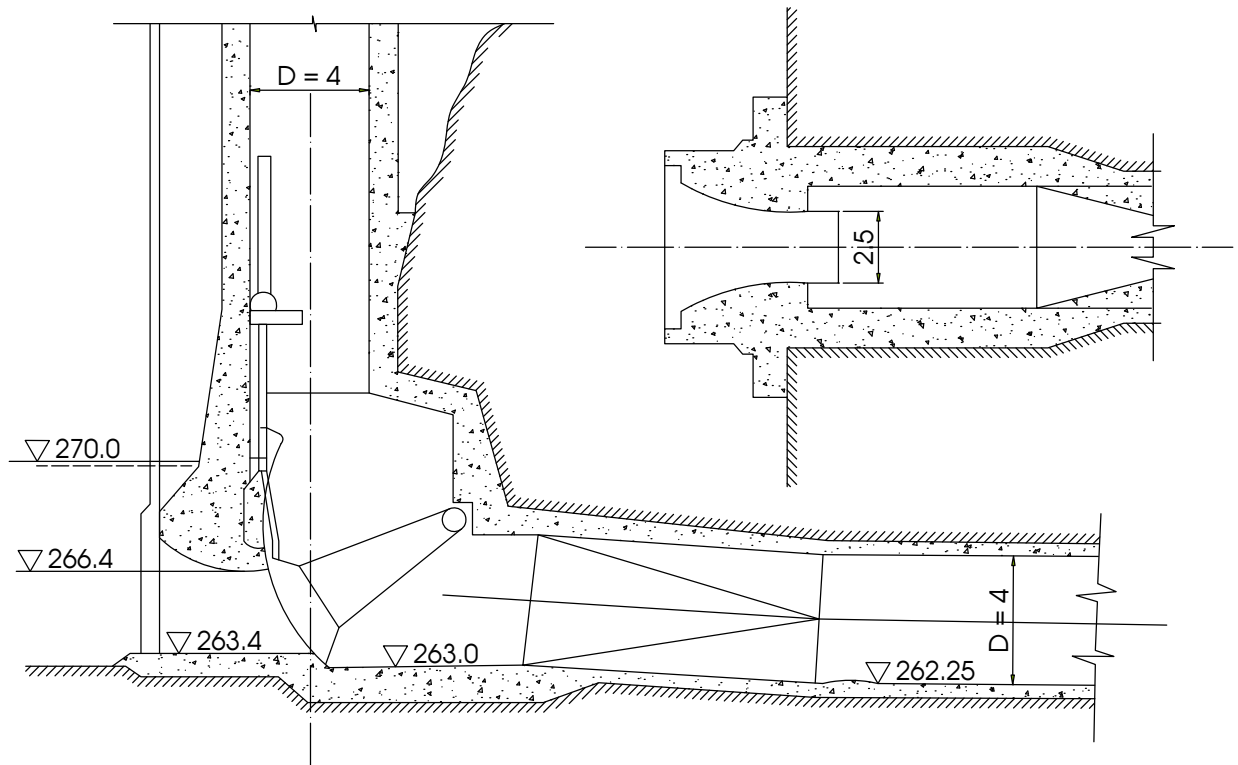


b. ống tiếp khí

Hình 2.47. Máng trộn khí công trình LeitUAGE

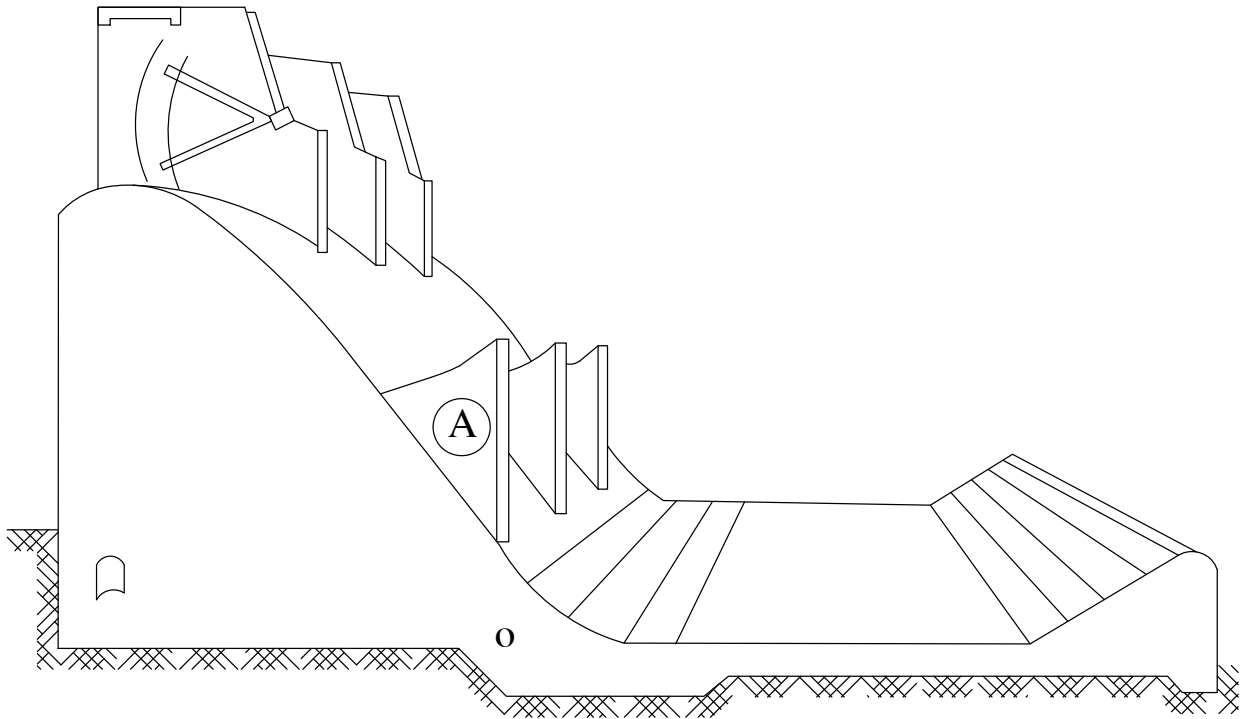
Cửa xả sâu của công trình có cột nước cao sử dụng cửa van cung trục lệch tâm, kết cấu cửa van loại này yêu cầu bản đáy nhô ra, tường bên nhô rộng hình thành thiết bị

trộn khí có hình thức đặc biệt như đập Dworshak (Mỹ) đập Hulker ở Thụy Điển và đập Tarbela (Pakistan), hình 2.48.



Hình 2.48. Bậc thụt sau cửa cung lệch tâm của tuynen tháo lũ công trình Hulker (Thụy Điển)

Ngoài các hình thức nêu ở trên, công trình Cedillo của Tây Ban Nha, trên đập tràn đã bố trí một trục phân dòng cao và mỏng nó sẽ xé luồng nước ra khiến cho dòng chảy ở hạ lưu trộn vào lượng không khí nhiều, có thể kiêm cả chống xâm thực và có hiệu quả tiêu năng như hình 2.49 - đây là một dạng mới.



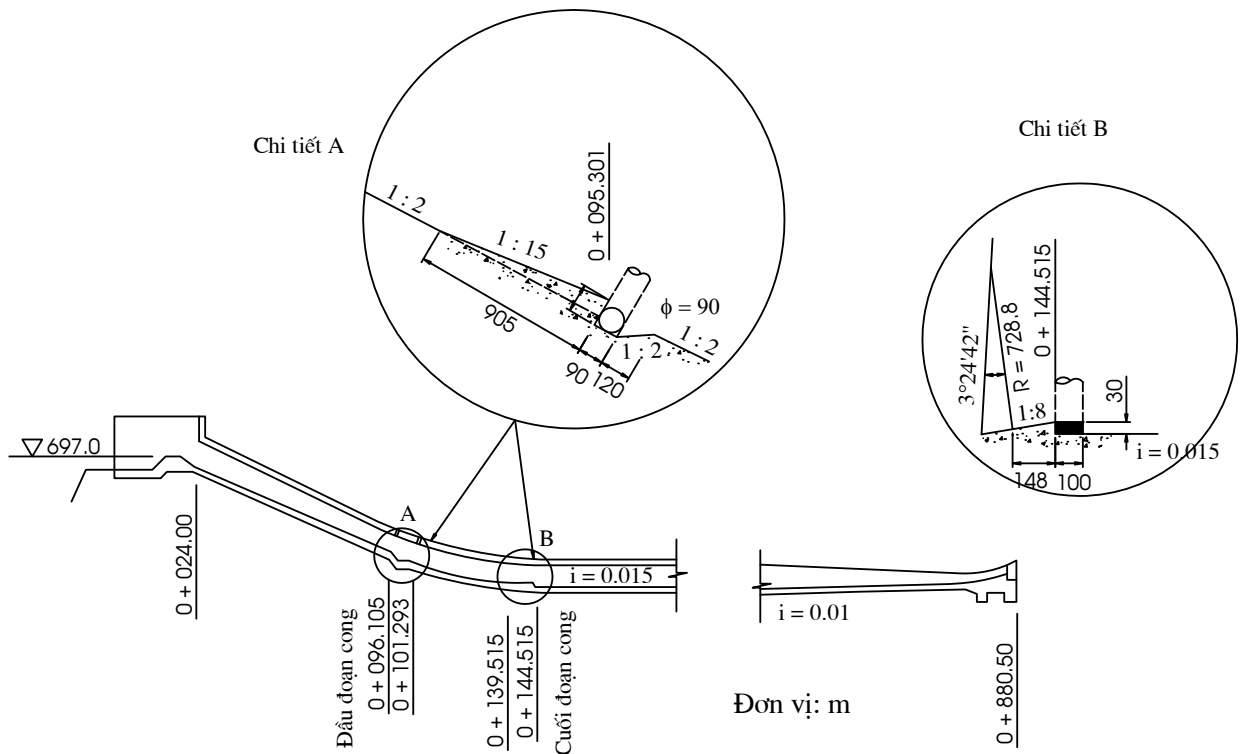
Hình 2.49. Trụ phân lưu trộn khí và tiêu năng của đập Cedillo

b) Ở Trung Quốc

Năm 1972, tuy nen xả lũ bên bờ phải của công trình Lưu Gia Hiệp đã phát sinh xâm thực khiến công trình bị phá hoại nghiêm trọng; do đó đơn vị quản lý bắt đầu cho nghiên cứu để đưa biện pháp trộn khí nhằm giảm xâm thực cho công trình, nhưng khi sửa chữa tuynen tháo lũ này lại không thể sử dụng biện pháp trộn khí.

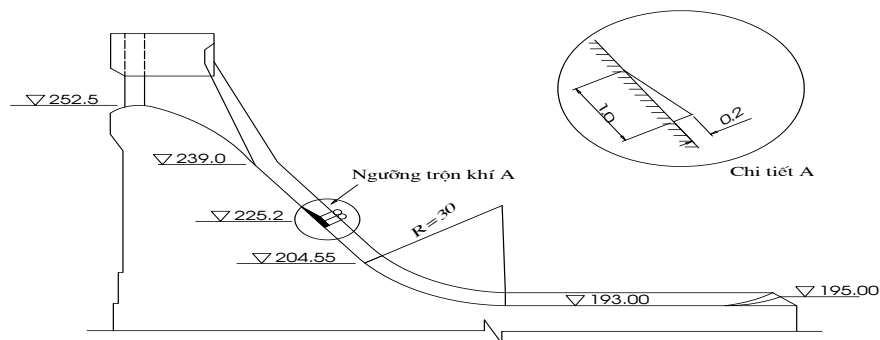
Năm 1975 tuy nen tháo lũ của hồ chứa nước Phùng Gia Sơn trở thành công trình tháo lũ đầu tiên ở Trung Quốc áp dụng biện pháp trộn khí chống xâm thực.

Năm 1976 thông qua thí nghiệm mô hình chọn hình thức ngưỡng trộn khí bố trí 2 cấp như hình 2.50. Sau khi công trình xây dựng xong tiến hành thí nghiệm hiện trường về hiệu quả ngưỡng trộn khí giảm khí thực vào năm 1980, đã chứng minh công trình trộn khí dạng ngưỡng là tốt, hiệu quả rõ rệt.



Hình 2.50. Ngưỡng tràn khí tuynen tháo lũ Phùng Gia Sơn

Năm 1975, 1980 trên đập tràn công trình thủy điện Phong Mãn đã tiến hành thí nghiệm trên nguyên hình 2 lần về ngưỡng tràn khí, đoạn tràn thí nghiệm có cửa van rộng 11,5m; bố trí ngưỡng tràn khí ở một nửa chiều rộng thoát nước, còn một nửa không có ngưỡng tràn khí, mặt đập phía sau phần bố trí ngưỡng tạm thời bố trí thêm mố nhô thủ công. Sau khi dòng chảy qua phía thượng lưu phần không có mố nhô có vết xâm thực rõ, còn thượng lưu phần có mố nhô thì hoàn toàn không bị tổn hại. Như vậy về định tính đã chứng minh hiệu quả giảm xâm thực của ngưỡng tràn khí. Hình thức bố trí ngưỡng tràn khí của đập Phong Mãn như hình 2.51.



Hình 2.51. Ngưỡng tràn khí trên mặt đập tràn thủy điện Phong Mãn

Vào thập niên 70 khi xây dựng công trình U Giang Độ, lúc đó trên mặt 8 khoang tràn tháo lũ đều bố trí ngưỡng tràn khí, đến năm 1982 qua kiểm nghiệm vận hành xả lũ

cột nước cao, kết quả chứng tỏ ngưỡng trộn khí làm việc bình thường. Bố trí ngưỡng trộn khí mặt tràn dạng đường trượt tuyết như hình 2.52.

Ngoài ra ở tuy nen tháo lũ hồ chứa nước trên sông Thạch Đầu tỉnh Thiểm Tây bố trí ngưỡng trộn khí, gần đây đã đưa vào vận hành sử dụng; tiếp theo khi xây dựng công trình Long - Dương - Hiệp, Đông Giang .v.v. các cửa xả nước hầu như đều sử dụng cửa van cung trục lệch tâm, dạng cửa van này kết hợp với mô nhô làm biện pháp trộn khí giảm xâm thực. Đường hầm tháo lũ hồ chứa Thạch Lâm tỉnh Giang Tây sử dụng “mô tiêu năng trộn khí” làm biện pháp tiêu năng giảm xâm thực kết hợp.

V. Nghiên cứu ngưỡng và máng trộn khí

Các công trình thực tế đã sử dụng máng hoặc ngưỡng trộn khí không phải là ít, mà còn mỗi ngày một tăng lên, nhưng về tài liệu nghiên cứu có tính chất hệ thống thì chưa nhiều, dưới đây có mấy vấn đề thủy lực đáng được chú ý:

1. Kích thước, hình dáng, vị trí và điều kiện thủy lực hình thành buồng trống ổn định

Sau khi bố trí máng trộn khí yêu cầu là trong điều kiện vận hành, dòng chảy qua ngưỡng bên dưới đều có thể duy trì buồng trống ổn định, nếu không như vậy thì ngưỡng trộn khí sẽ biến thành mô nhô và có thể sinh ra dạng khí hoá phân ly, dẫn đến sự phá hoại công trình. Theo các tài liệu đã nghiên cứu các biện pháp trộn khí giảm khí thực trên dốc nước bằng ngưỡng trộn khí với điều kiện thủy lực tới hạn phải tạo thành buồng trống tức là:

$$\left(\frac{\Delta}{R}\right) \geq 23.5 \left[\frac{u}{\sqrt{gR}} \times \frac{1}{\cos \alpha \cos \theta} \right]^{-2} \quad (2.41)$$

Trong đó:

Δ - Chiều cao ngưỡng,

R, u - Bán kính thủy lực và lưu tốc của mặt cắt ngưỡng trộn khí,

g - gia tốc trọng trường,

α, θ - góc của mái dốc nước và góc hất của ngưỡng trộn khí.

Vị trí, hình dạng của máng (ngưỡng) trộn khí thường phải thông qua thí nghiệm mô hình để xác định.

2. Lượng khí đưa vào của máng trộn khí

Khi dòng chảy vượt qua ngưỡng trộn khí thoát ra khỏi vách đáy, bên dưới dòng nước hình thành buồng trống thông khí, nhưng lượng không khí được đưa vào bao nhiêu còn cần xem độ rối bản thân của dòng chảy và áp lực trong buồng trống. Yếu tố chủ yếu quyết định lượng trộn khí của máng là bản thân dòng chảy phía sau ngưỡng có năng lực thu khí nhiều hay ít. Kết quả nghiên cứu đã chỉ ra là: Khi số Reynol của dòng chảy đủ lớn, áp lực trong buồng trống không quá thấp với trường hợp bình thường thì lượng khí vào trên đơn vị chiều rộng của dòng chảy q_a và tốc độ dòng chảy tại đó v với chiều dài buồng trống L thành tỷ lệ thuận, tức là:

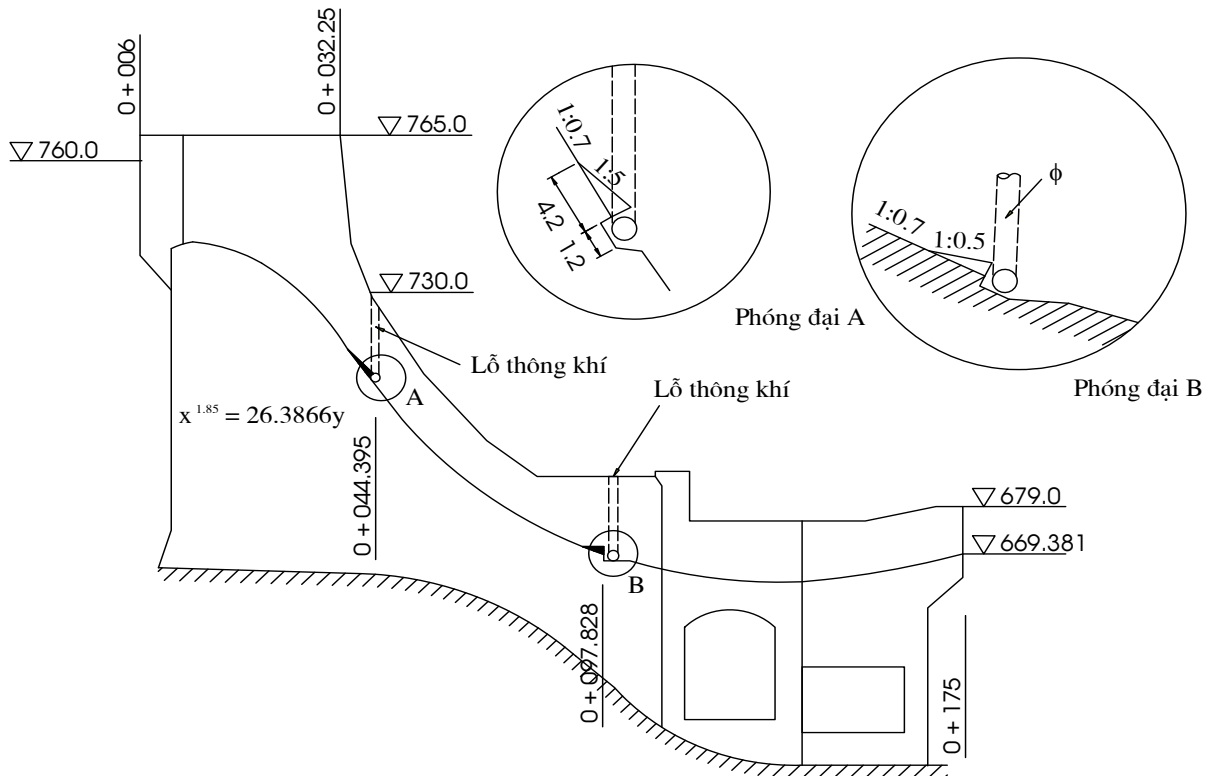
$$q_a \sim vL \quad (2.42)$$

Trong đó: L - chiều dài buồng trống do dòng chảy và điều kiện biên quyết định (m).

Biểu thức trên có thể viết thành quan hệ hàm số không thứ nguyên

$$\frac{q_a}{Vh} = F\left(\frac{v}{\sqrt{gh}}, \frac{\Delta}{h}, \alpha, \theta\right) \quad (2.43)$$

Trong đó: h- chiều sâu nước trên ngưỡng (m).



Hình 2.52. Ngưỡng trộn khí trên mặt tràn U Giang Độ

Khi tiến hành thí nghiệm mô hình chọn hình thức máng (ngưỡng) trộn khí thường phát hiện lượng khí vào chịu ảnh hưởng rõ rệt của việc thu nhỏ tỷ lệ. Đề cập tới tỷ lệ hiệu ứng của dòng chảy trộn khí thấy rằng vấn đề này còn đang được tiếp tục nghiên cứu.

Nếu như tốc độ dòng chảy trong phòng thí nghiệm lớn hơn 6,5÷7,0 m/s thì lượng khí vào máng trộn khí trong thí nghiệm tính đối ra nguyên hình hầu như không xét đến hiệu ứng tỷ lệ thu nhỏ.

3. Nồng độ trộn khí hữu hiệu chống xâm thực

ở trên đã giới thiệu kết quả nghiên cứu trộn khí giảm khí thực có hiệu quả đều là lượng trộn khí bình quân mặt cắt, trên thực tế trong thí nghiệm phân bố lượng trộn khí trên mặt cắt lại không đều, phân bố nồng độ trộn khí ở mặt cắt phía sau máng trộn khí càng không thể đều, chẳng qua có tác dụng chủ yếu đối với chống xâm thực là lượng trộn khí của lớp gần thành vách, phân bố nồng độ trộn khí của dòng chảy gần thành vách như thế nào? Trong phạm vi cách thành bên bao nhiêu thì có nồng độ trộn khí là bao nhiêu mới có thể giảm khí thực hay tránh xâm thực.

Hiện nay còn chưa thể làm rõ được một cách triệt để, thường vẫn theo các kết quả đã nêu trên, tức là dòng chảy tại chỗ đó có thể có lượng trộn khí 1% thì sự xâm thực phá hoại giảm rõ ràng, nếu lượng trộn khí đạt tới 5,7-9,7% thì mặt bê tông có dòng chảy qua có thể tránh khỏi xâm thực phá hoại.

Thí nghiệm nguyên hình của máng trộn khí ở tuynen tháo lũ công trình Phùng Gia Sơn đã đo được nồng độ trộn khí nhỏ nhất gần đáy tuynen nằm ngang phía sau ngưỡng trộn khí hai cấp là 5,7% mà trong tuynen bố trí mố nhô làm theo thủ công đều chưa phát sinh xâm thực.

4. Phạm vi bảo vệ có hiệu quả của một máng (ngưỡng) trộn khí đơn

Nghiên cứu phạm vi bảo vệ có hiệu quả của thiết bị trộn khí là vấn đề quan trọng của kỹ thuật trộn khí giảm xâm thực. Phạm vi bảo vệ có hiệu quả là chỉ trong phạm vi đó nồng độ trộn khí gần thành vách lớn hơn nồng độ trộn khí có hiệu quả chống xâm thực C_k , trị số C_k này tùy thuộc vào vật liệu trên bề mặt công trình mà dòng nước chảy qua để xác định (như mác bê tông). Xác định phạm vi bảo vệ đề cập tới dòng chảy trộn khí gần thành bên và quá trình xâm thực, dòng chảy rối 2 pha khí và nước ở trong trường trọng lực trước mắt còn ở trong giai đoạn nghiên cứu.

Trên đập tràn Brask của Liên Xô đã đo được các mặt cắt dọc theo chiều dài cách bản đáy với chiều cao 2,7 và 15cm về số liệu lượng trộn khí của dòng chảy. Từ đó đưa ra được suất suy giảm về lượng trộn khí của khoảng cách đơn vị dọc theo chiều dài của đoạn dốc là (0,4 - 0,8)%/m; ở đoạn bán kính cong ngược vì có tác dụng của lực ly tâm khiến cho lượng khí thoát ra càng mạnh; suất suy giảm gần (1,2-1,5)%/m. Theo tài liệu của công trình này tính ra trên đoạn dốc bố trí một ngưỡng trộn khí có thể bảo vệ được phạm vi phía sau gần 100m không bị xâm thực, nếu phía sau ngưỡng nối với bán kính cong ngược thì phạm vi bảo vệ sẽ ngắn hơn.

Viện khoa học Thủy lợi Bắc Kinh dựa vào số liệu thí nghiệm trong phòng đã phân tích tính tương tự điển biến dọc đường về nồng độ trộn khí phần đáy dòng chảy sau ngưỡng trộn khí trên dốc nước nhận thấy nồng độ C_b gần đáy ở chỗ có khoảng cách x phía sau ngưỡng trộn khí (lấy nồng độ ở chỗ cách đáy 1cm làm đại diện) thì quan hệ thay đổi dọc đường theo công thức kinh nghiệm:

$$\frac{C_1 - C_b}{C_1 - C_3} = \left[\ell_n \left(\frac{x}{L} \right) \right]^m \quad (2.44)$$

Trong đó:

L - chiều dài buồng trông do dòng chảy tạo ra sau ngưỡng trộn khí,

C_1 - Định nghĩa của mặt ranh giới khí và nước, $C_1 = 0,60$,

C_3 , m - nồng độ đặc trưng và chỉ số, đều là hàm số của tham số thủy lực

$$z = \frac{vL}{2} \sqrt{\cos\alpha}.$$

Từ quan hệ nêu trên đưa ra C_b thay đổi dọc đường có thể tìm được vùng $C_b \geq C_k$, từ đó xác định được phạm vi bảo vệ có hiệu quả của ngưỡng trộn khí. Trong nghiên cứu khả năng thu khí của tầng bên của dòng chảy rối, tác giả Lương Tại Triều và Vượng Đạo Tăng bước đầu đã nêu ra phạm vi bảo vệ của thiết bị trộn khí thay đổi dọc đường, nồng độ trộn khí phần đáy dòng chảy và phân bố nồng độ trộn khí.

5. Tải trọng động tác dụng lên bản đáy phía sau ngưỡng trộn khí

Thiết bị trộn khí giảm xâm thực thường dùng ngưỡng hơi nhỏ mà dốc thoải, luồng chảy phóng qua ngưỡng có góc xung kích đối với tấm bản đáy hạ lưu tương đối nhỏ, trị số gia tăng của tải trọng bình quân không lớn, điều mà ta quan tâm là mạch động của vùng xung kích và cần chỉ ra mạch động áp lực không sinh tải trọng động lớn, nên không xuất hiện rung động trên công trình xả lũ, nhưng vấn đề đó của những người thiết kế vẫn chưa được đáp ứng đầy đủ.

a. Chọn vị trí bố trí thiết bị trộn khí

+ Vị trí của ngưỡng trộn khí thứ nhất

Trong trường hợp chung ta dựa vào giá trị lưu tốc v của mặt cắt ngang và số Frut hoặc hệ số giảm áp C_{pmin} (còn gọi là hệ số hoá khí sơ sinh σ) để sơ bộ xác định tuyến đặt thiết bị trộn khí thứ nhất là số $Fr = 4,0$.

Thiết bị trộn khí nên bố trí tại vị trí dòng chảy có hệ số giảm áp tương đối nhỏ, là chỗ dễ phát sinh khí thực, theo một số công trình ở Trung Quốc và các nước khác thì cách bố trí tuyến trộn khí có thể như sau:

+ Đặt ở chỗ cửa ra của đoạn cửa van, như công trình tuynen tháo lũ ở đập Maica, tuynen tháo lũ của đập Balister, đường tràn tháo lũ của đập Natawort, đường tràn tháo lũ của đập Thiết Tôn v.v..

+ Bố trí ở điểm bắt đầu của đoạn thẳng nối với bán kính cong ngược như đập Hoàng Vỹ, đập Sêrikhotơ, đập Phùng Gia Sơn, đập U Giang Độ....

+ Bố trí ở cuối đoạn bán kính cong ngược như đập Hoàng Vỹ, đập Sêvikhotơ, đập Phùng Gia Sơn, đập U Giang Độ.

Trường hợp chung là đem bố trí rãnh trộn khí ở phía thượng lưu của đường tràn tháo lũ để bị xâm thực, bảo đảm cho dòng chảy phát huy trộn khí đầy đủ, để tăng thêm tính nén của phần gần đáy chất lỏng, giảm thiểu bọt khí bốc hơi khi phá vỡ sinh ra áp lực nổ, từ đó để ngăn ngừa mặt bê tông bị xâm thực phá hoại.

Khi lưu tốc dòng chảy đạt gần đến 30m/s có thể căn cứ điều kiện cụ thể để xét nên hay không nên bố trí thiết bị trộn khí, khi lưu tốc vượt quá 35m/s thì việc bố trí thiết bị trộn khí là cần thiết.

+ Nguyên tắc chọn vị trí của nó là:

- Bố trí theo vùng trọng điểm cần bảo vệ: Nếu như đoạn bằng phía sau bán kính cong ngược là vùng bảo vệ trọng điểm thì thiết bị trộn khí đặt ở cuối đoạn bán kính cong ngược, nếu như đoạn bán kính cong ngược là vùng bảo vệ trọng điểm thì bố trí ở phía thượng lưu vị trí khởi điểm của bán kính cong ngược, nếu như trên dốc nước thì bố trí thiết bị trộn khí ở đoạn mà lưu tốc dòng chảy đạt giá trị từ 25-35m/s.

- Dựa vào hệ số giảm áp C_p (hay hệ số hoá khí σ) của mặt cắt ngang dòng chảy lớn hay nhỏ để xác định. Đối với tràn xả lũ dốc có dốc nước hay tuynen tháo lũ, vị trí tuyến trộn khí thứ nhất nên bố trí ở vị trí lưu tốc dòng chảy xấp xỉ 30m/s, không nên bố trí ở đoạn đột biến và đoạn bán kính cong ngược.

- Đối với tuynen có áp phía sau nối với tuynen chảy hở hoặc kênh dẫn hở: Nếu như ở đoạn cửa ra bố trí tấm bản nén thu hẹp thì ở đoạn phía sau đã có tác dụng bảo vệ, do

đó trong trường hợp đầu nước là 40-70 m ở chỗ sát với tấm bản có thể bố trí thiết bị trộn khí.

- Thông thường cần tránh bố trí thiết bị trộn khí ở vị trí khởi điểm của bán kính cong ngược và trên đoạn bán kính cong, chỉ sau khi nghiên cứu đầy đủ cũng có thể bố trí thiết bị trộn khí nhưng cần phải tăng thêm độ cao và độ dốc của ngưỡng cũng có thể đạt được hiệu quả tốt trộn khí giảm xâm thực.

Ví dụ: công trình U Giang Độ lưu lượng đơn vị là $236,11\text{m}^2/\text{s}$ đầu nước là 101,8 m, ở chỗ khởi điểm của đoạn bán kính cong ngược bố trí rãnh trộn khí. Đây là một ví dụ công trình thực tế ở Trung Quốc với lưu lượng đơn vị lớn, cột nước cao bố trí máng trộn khí thành công.

b. Vị trí nhiều ngưỡng trộn khí

Có công trình bố trí một ngưỡng trộn khí là thoả mãn nhưng cũng có công trình cần bố trí nhiều ngưỡng (hoặc máng) trộn khí, trường hợp chung là:

- Đối với trường hợp xả lũ cao 100-180m chỉ cần ở phía đuôi trụ pin phân dòng bố trí một hàng ngưỡng trộn khí là thoả mãn. Khi đập tràn cao hơn 180 m thì ở thượng lưu đoạn bán kính cong ngược hoặc ở chỗ mặt cắt nối tiếp thay đổi lại tăng thêm một ngưỡng trộn khí như đường tràn xả lũ cấp I thủy điện Thiên Sinh Kiều ở Trung Quốc và đường tràn xả lũ công trình thủy điện Nurêch ở Liên Xô là những công trình đã thành công. Công trình đường tràn tháo lũ Fusurtualya bố trí đến 3 tuyến trộn khí cự ly cách nhau 72-90m

- Số lượng rãnh trộn khí được bố trí có liên quan đến độ dài cần bảo vệ của từng rãnh, trước mắt chưa có phương pháp tính chung. Theo kinh nghiệm thực tiễn của các công trình đã xây dựng ghi trong bảng 2.3 và bảng 2.4 chứng tỏ:

+ Nếu phía sau thiết bị trộn khí là đoạn cong ngược, thì phạm vi bảo vệ của nó là khoảng 70-100m, nếu trên đoạn bằng hoặc đoạn dốc xiên chiều dài bảo vệ có thể đạt là 170-200m, theo số liệu kinh nghiệm nêu trên có thể sơ bộ xác định số lượng máng hoặc ngưỡng trộn khí. Nhưng còn phải xét đến chiều dài bảo vệ và nồng độ trộn khí quan hệ với trộn khí tổn thất theo dọc đường. Khi nồng độ trộn khí ở đáy nhỏ hơn 6-8% thì cần xét bố trí ngưỡng trộn khí thứ hai. Nhưng đối với lưu lượng đơn vị lớn, số Fr thấp và mái dốc thì phương pháp thiết kế nhiều ngưỡng trộn khí còn ít gặp nên cần tham khảo công trình thực tế đã xây dựng để tiến hành thiết kế.

Bảng 2.3. Quan hệ TBTK và chiều dài bảo vệ

Tên công trình	Loại bán kính cong	Chiều dài bảo vệ (m)
Đập Bypacker	Cung ngược	Qua vận hành chứng minh máng trộn khí thứ 2 là không cần thiết. Mỗi rãnh trộn khí bảo vệ 100m
Ngưỡng trên tuynen xả lũ đập Mai Ca	Bao gồm đoạn cong lồi phía trên và cung ngược	270m

Đập tràn Toker Turuckii	Cung ngược	Lớn hơn 105m
Ngưỡng trượt tuyết trái và phải U Giang Độ	Cung ngược lớn	Lớn hơn 76m
Cửa van số 2 U Giang Độ	Cung ngược	Lớn hơn 63m
Tuynen phải U Giang Độ	Cung ngược	Lớn hơn 100m
Tuynen tháo lũ công trình Thạch Đầu Hà	Cong lồi	Lớn hơn 100m

Bảng 2.4. Quan hệ TBTK và chiều dài bảo vệ

Công trình	Hình thức rãnh	Chiều dài bảo vệ (m)
Ngưỡng dưới tuynen tháo đập Mai Ca	Đoạn thẳng	Lớn hơn 200m
Tapeila	Đường gẫy	Lớn hơn 164m
Ngưỡng dưới tuynen tháo lũ Phùng Gia Sơn	Đoạn thẳng	Lớn hơn 200m (về sau trộn khí bề mặt đã phát triển đến đáy có thể bảo vệ hạ du 736m)
Tuynen đập Hoàng Vỹ	Cung ngược và đoạn thẳng	Bảo vệ 376m (ước tính đã có ảnh hưởng trộn khí bề mặt)
Ngưỡng tuynen xả lũ Thạch Đầu Hà	Đoạn thẳng	Lớn hơn 560m

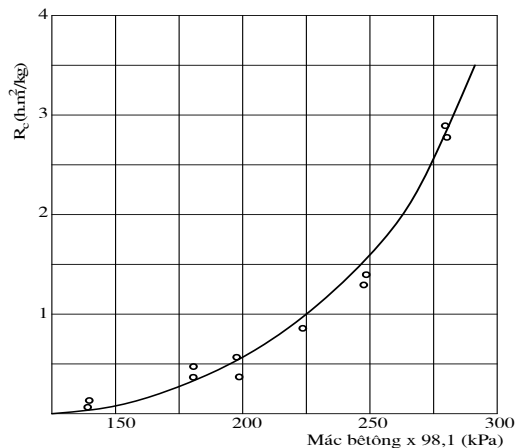
VI. Biện pháp chống xâm thực bằng sức bền vật liệu

Trong các công trình làm việc dưới tác dụng của dòng chảy có lưu tốc cao trên 30m/s cần phải áp dụng biện pháp công trình trộn khí giảm khí thực. Nhưng nếu lưu tốc dòng chảy thường xuyên chảy qua bề mặt công trình đạt từ 18-27m/s thì vẫn cần xét tới vấn đề chống xâm thực bằng độ bền của vật liệu. Đối với vật liệu có tính chất khác nhau thì năng lực chống xâm thực cũng khác nhau. Nguyên nhân gây xâm thực có nhiều yếu tố là: tác dụng vật lý, hoá học, điện, nhiệt học, nhưng sau khi nghiên cứu thí nghiệm thấy rằng nguyên nhân chủ yếu tạo thành xâm thực thuần túy là yếu tố lực học. Do đó công tác nghiên cứu đặc biệt chú ý tới nghiên cứu chống xâm thực của vật liệu, đồng thời vật liệu bị xâm thực còn liên quan tới điều kiện của dòng chảy và điều kiện biên. Suất xâm thực của vật liệu tỷ lệ thuận với $(v-v_c)$; mà v_c là lưu tốc tới hạn; thấp hơn lưu tốc tới hạn thì không sinh xâm thực, khi bắt đầu xâm thực thì chỉ số n là 5~7, tùy theo sự xâm thực phát triển chỉ số n biến nhỏ; lớp nước đệm trong hố xâm

thực đối với xâm thực sản sinh tác dụng lực xói chậm, tức là sau khi hồ xâm thực đạt độ sâu nhất định thì không tiếp tục xói sâu nữa.

1. Quan hệ về cường độ chịu nén và cường độ chống xâm thực của bê tông

Quan hệ về mác bê tông với cường độ chống xâm thực thể hiện như hình 2.53. Khi mác bê tông thấp hơn 200# tùy theo cường độ kháng nén tăng lên thì cường độ chống xâm thực cũng tăng lên nhưng tương đối chậm; Khi mác bê tông lớn hơn 200# thì mức độ tăng tương đối nhanh, tiếp cận mác 250# thì cường độ chống xâm thực tăng càng nhanh, do đó với dòng chảy lưu tốc cao mác bê tông của mặt có dòng chảy qua cần phải lớn hơn mác 250#.



Hình 2.53. Quan hệ giữa mác bê tông và cường độ chống xâm thực

2. Tính chất chống xâm thực của kim loại

Đặc tính của kim loại là độ cứng lớn, cường độ cao, lại có tính năng dẫn dài. Do đó thực hiện thí nghiệm xâm thực cần phải sử dụng thiết bị có hiệu suất cao, nhưng vẫn có lượng bị xâm thực ăn mòn nhỏ, trọng lượng không dễ đo được nên thay bằng cách thống kê trên đơn vị diện tích trong đơn vị thời gian số điểm bị xâm thực ăn mòn, để biểu thị tính năng chống xâm thực của kim loại.

+ Quá trình chống xâm thực đối với kim loại có thể chia thành 4 giai đoạn:

- Giai đoạn bắt đầu: Vì kim loại có cường độ và độ dẫn nhất định không thể trong một thời gian ngắn sẽ sinh ra lượng ăn mòn lớn, mà phải qua thời kỳ mới nên vật thí nghiệm trong thời đoạn ấy chưa có sự phá hoại rõ rệt.

- Giai đoạn tăng nhanh: Mẫu thí nghiệm bị xâm thực từ bắt đầu vật liệu mới đến khi suất xâm thực dần dần tăng.

- Giai đoạn suy giảm: Sự phá hoại bề mặt thí nghiệm phát triển chậm, suất xâm thực dần dần hạ thấp tiến gần đến một giá trị không đổi.

- Giai đoạn ổn định: Trong vùng bị xâm thực nước có tác dụng, lực xung kích giảm chậm đến không đủ sức phá hoại mẫu thí nghiệm thì sự xâm thực không tiếp tục tăng. Qua thí nghiệm chỉ ra rằng: Không có một thứ kim loại nào có thể hoàn toàn chống sự xâm thực phá hoại; chỉ có phân chia tính năng chống xâm thực mạnh hay yếu; tùy theo độ cứng của kim loại tăng lên. Hợp kim của 3 chất W+Co+Cr; W+C; gang; Cr+Ni; thép không rỉ.v.v. đều có tính năng chống xâm thực tương đối cao; còn đồng xanh, đồng thau, thép.v.v. tính năng chống xâm thực tương đối thấp như bảng 2.5.

Bảng 2.5. Tính năng chống xâm thực của kim loại

Tên	Thành phần (%)	Lượng xâm thực 16 giờ (mm ²)
Hợp kim W+Cr+Co	Cr=30; W=4; Co=65; C=1	0.9
Thép không rỉ Cr	Mn= 0.34; Si=0.46; Cr=18; C=0.1	16.6
Thép không rỉ Cr, Ni	Mn= 0.17; Si=0.34; Ni= 8; Co=14; C=0.14	3.7
Thép		636
Đồng đỏ	Mn=1; Cu= 94; Si=4.5	258
Đồng xanh	Cu=87.5; Sn=8; Zn=4; Ni=0.5	391

3. Tính năng chống xâm thực của các loại vật liệu mới

Một số loại vật liệu mềm nhưng có tính đàn hồi như cao su và các dòng vật liệu có tính đàn hồi cao khác, dưới tác dụng xung kích xâm thực cường độ thấp thì tính năng chống xâm thực của chúng so với các loại kim loại có tính chất lực học cao thì lại tốt hơn, do đó trong điều kiện nhất định thì vật liệu có độ cứng cao và vật liệu có tính đàn hồi đều có tính năng chống xâm thực tốt.

Trong môi trường sinh khí thực thấp năng lượng tiêu tan của khí hoá chưa vượt quá giới hạn đàn hồi của vật liệu, thì năng lượng của nó bị vật có tính đàn hồi thu hút biến thành nhiệt năng thì không phát sinh khí thực; còn vật liệu có tính đàn hồi trong môi trường hoá khí cường độ tương đối cao, khi khí hoá tan vỡ năng lượng vượt quá giới hạn đàn hồi thì có thể sản sinh phá hoại đột biến. Phát sinh ra hiện tượng này có thể giải thích là vật liệu có tính năng truyền nhiệt thấp, năng lượng nhiệt được thu hút không kịp phát tán khiến cho nhiệt độ tiếp tục tăng cao làm cho thành phần vật liệu thay đổi, hình thành thể khí và các tác dụng có hại khác mà gây ra phá hoại.

Vật liệu có đàn hồi được các nhà máy gia công thành tấm, đem đến hiện trường quét lên một lớp bảo vệ, ở Trung Quốc và các nước đã sử dụng như là các tấm nhựa cao phân tử. Đem các vật liệu đó làm mẫu thí nghiệm qua mấy giờ thử nghiệm vật mẫu vẫn hoàn hảo tốt hơn thép tấm; thép A3 và thép không rỉ và tương đương với tính năng chống xâm thực của thép không rỉ loại que hàn 102 của úc; đã được sử dụng ở công trình Yên Ua Hiệp; qua sử dụng sau 6000 giờ tiến hành kiểm tra cơ bản đáp ứng được yêu cầu.

Ngoài ra theo tài liệu của Trung Quốc và nước ngoài còn phát hiện có công trình sử dụng bê tông sợi thép và vật liệu đá đúc bảo vệ chống xâm thực. Bê tông sợi thép là sử dụng sợi thép ngắn không liên tục, phân bố đều trong bê tông, tác dụng chủ yếu của sợi thép là ngăn ngừa và hạn chế phát triển khe nứt, do đó đem vật liệu có tính chất ròn năng lực chống xung kích và cường độ kháng kéo thấp chuyển biến thành vật liệu hợp thành có tính dẫn nở và tính năng chống nứt cao, có lực chống xung kích, khả năng chống co dãn nhiệt, chống mài mòn, chống xâm thực hơn nữa là loại vật liệu đặc biệt tiếp thu năng lượng.

Sợi thép về hình dạng có: thẳng, uốn khúc, dẹt tròn giao nhau; mặt cắt có: dạng tròn, dạng vuông, dạng giẻ quạt, dạng chữ nhật với chiều dài $25 \div 75\text{mm}$; đường kính $0.15 \div 0.75\text{mm}$, tỷ số về đường kính (tỷ số chiều dài so với đường kính) là $30 \div 150$.

Vì sợi dùng carbon thấp và thép không rỉ chế tạo thành, lượng dùng vì cellulose ước tính là $1 \div 2\%$ tổng thể tích.

Đá đúc là một loại vật liệu công nghiệp mới đem đá granit xanh hoặc đá huyền vũ.v.v. qua phối hợp nung chảy thành dạng kết tinh, để nguội theo quy trình công nghệ chế tạo thành các loại sản phẩm đá nung. Loại vật liệu này có độ cứng cao (theo phân loại độ cứng 10 cấp thì nó là cấp $7 \div 8$). Cường độ chống xung kích là 98.1 vạn Pa , có tính năng mài mòn, chịu được sự xâm thực tốt. ở Trung Quốc đang sử dụng ở các công trình thủy lợi thủy điện, luyện kim, khai thác mỏ, công nghiệp hoá chất, xây dựng công nghiệp. Thực tiễn đã chứng minh đá nung là loại vật liệu lý tưởng để thay thế cho gang, thép nhôm, cao su.

Hiệu quả sử dụng một tấn đá nung tương đương mấy tấn thậm chí mấy chục tấn vật liệu kim loại, hơn nữa nó có tuổi thọ lớn, sửa chữa giản đơn, hiệu quả cao, giá thành hạ. Công trình thủy lợi Tam Môn Hiệp, Lưu Gia Hiệp đã sử dụng, hiệu quả tốt.

VII. Kết luận

1. Công trình tháo nước có lưu tốc lớn hơn 18m/s nên có biện pháp phòng ngừa xâm thực. Phương pháp phòng ngừa là:

+ Qua thí nghiệm hay tính toán nghiên cứu hình dạng đoạn chảy qua không để cho khu có dòng chảy sinh ra áp suất âm.

+ Dùng biện pháp trộn khí giảm xâm thực.

+ Sử dụng vật liệu giảm xâm thực.

2. Đối với bộ phận đã xuất hiện xâm thực nên kịp thời dùng vật liệu chống xâm thực để tu sửa, tránh để phạm vi bị xâm thực mở rộng, ảnh hưởng đến an toàn của công trình.

3. Mác bê tông cao, cường độ chống xâm thực cũng cao; do đó bộ phận thoát nước của công trình xả lũ, mác bê tông bề mặt yêu cầu lớn hơn mác $250\#$, vùng có lưu tốc cao nên dùng đến mác $500\#$.

§II.5. VÍ DỤ

Dưới đây chúng tôi xin nêu ví dụ thí nghiệm mô hình thủy lực xác định kết cấu thiết bị thông khí giảm xâm thực cho tràn xả lũ Cửa Đạt, Thanh Hoá.

I. Giới thiệu sơ lược về tràn xả lũ

Theo thiết kế, tràn xả lũ nằm ở vai phải đập. Đây là loại tràn mặt cắt dạng WES. Tràn gồm 5 khoang, mỗi khoang rộng 11m . Ngưỡng tràn đặt ở cao trình $+97\text{m}$. Nối với đập tràn là dốc nước dài 240m , độ dốc $i=20\%$.

Tiêu năng bằng mũi phun.

Lưu lượng xả lũ như sau: ứng với $p=0.6\%$, $Q_{x\ddot{a}} = 3400\text{m}^3/\text{s}$; ứng với $p=0.1\%$, $Q_{x\ddot{a}} = 8200\text{m}^3/\text{s}$; ứng với $p=0.01\%$, $Q_{x\ddot{a}} = 11.48\text{m}^3/\text{s}$.

II. Yêu cầu thí nghiệm chọn thiết bị trộn khí

Theo tính toán của thiết kế vận tốc dòng chảy ở trên dốc nước khoảng 25.30 đến 30m/s. Do đó, cần xem xét phương án bố trí thiết bị trộn khí trên dốc nước.

Yêu cầu thí nghiệm chọn số lượng và kích thước máng trộn khí hợp lý.

III. Kết quả thí nghiệm

Thí nghiệm được tiến hành trên mô hình mặt cắt, tỷ lệ 1/40 ảnh 2.1 và mô hình tổng thể, tỷ lệ 1/80 ảnh 2.2.

Trên dốc nước bố trí 2 máng trộn khí, 3 máng trộn khí hình 2.54. Các góc hất của máng $\alpha=0^\circ, 2^\circ, 3^\circ, 5^\circ, 7^\circ$, tùy theo vị trí máng trộn khí.

1. Kết quả thí nghiệm trên mô hình mặt cắt

Đã tiến hành thí nghiệm với 3 góc hất của 3 máng trộn khí (TBTK) khác nhau, kết quả cho thấy:

+ Không nên áp dụng các máng trộn khí mà mũi hất có góc $\alpha=2^\circ$ cho hiệu quả buồng chứa khí ngắn và nhỏ.

+ Từ kết quả thử nghiệm trên mô hình mặt cắt thấy rằng nên chọn: $\alpha_1=7^\circ, \alpha_2=5^\circ, \alpha_3=3^\circ$; vận dụng kết quả so chọn này đưa vào thí nghiệm trên mô hình tổng thể và bước đầu nhận thấy với kích thước thiết kế đã nêu ra cho 3 máng cơ bản phù hợp; sau khi kiểm nghiệm trên mô hình tổng thể sẽ đưa ra kết luận cụ thể.

Nếu theo phương án thiết kế mũi hất của 3 máng trộn khí đều dùng $\alpha=5^\circ$ có hiện tượng như sau:

Diện tích buồng trống chứa khí của máng trộn khí số 1 là:

$$S_1 = L_1 * h_1 = 13.6m * 1.6m = 21.76m^2$$

Diện tích buồng trống chứa khí của máng trộn khí số 2 là:

$$S_2 = L_2 * h_2 = 24m * 2.4m = 57.6m^2$$

Diện tích buồng trống chứa khí của máng trộn khí số 3 là:

$$S_3 = L_3 * h_3 = 30.6m * 4.0m = 148.4m^2$$

Với kết quả khảo nghiệm như trên thì góc $\alpha=5^\circ$ đối với mũi hất của máng trộn khí số 1 sẽ tạo ra chiều dài buồng chứa khí quá ngắn; còn đối với mũi hất của máng trộn khí số 3 lại thiên lớn bởi lẽ nó kéo dài đến phía trước gần mũi phun cuối dốc. Từ đó đã đề nghị phương án tăng góc mũi hất cho máng 1 và giảm góc mũi hất cho máng số 3.

Mặt khác trên dốc nên bố trí mấy máng trộn khí, bố trí 2 máng hay 3 máng. Để làm rõ điều này chúng tôi sẽ trình bày kết quả thí nghiệm cộng với việc áp dụng lý luận tính giá trị hệ số so sánh δ_{min} .

Hệ số hoá khí (còn gọi là hệ số giảm áp) được diễn tả qua biểu thức sau:

$$\delta = \frac{h_q + h_d - h_v}{\frac{v^2}{2g}} \quad (2.45)$$

Trong đó:

h_q - áp suất thủy tĩnh của dòng chảy ở điểm khảo sát đối với dòng chảy hở là chiều sâu dòng chảy.

h_d - Trị số nhỏ nhất của áp suất khí trời (đối với mỗi vị trí cao trình khác nhau trị số $h_d = 10.33m - \Delta/900$, nghĩa là cứ tăng lên 900m thì áp suất khí trời giảm đi 1.0m cột nước; với dốc nước công trình Cửa Đạt về mùa lũ nhiệt độ nước trung bình là từ $20^\circ \div 25^\circ$, lấy trung bình là 22° thì giá trị $h_v = 0.28$. Dùng các giá trị này với giá trị lưu tốc ở các mặt cắt trên dốc nước để tính ra tham số hoá khí δ_{min} .

Trong biểu thức (2.45) số trị của tử số là cột nước áp lực ngăn ngừa sản sinh khí hoá, mẫu số là cột nước lưu tốc xúc tiến việc sản sinh khí hoá; tỷ số của chúng gọi là chỉ số khí hoá tương ứng. Nếu gọi δ_i là chỉ số khí hoá sơ sinh của điểm trên công trình cần khảo sát và dùng δ biểu thị chỉ số khí hoá của dòng chảy tại điểm khảo sát thì:

Khi $\delta > \delta_i$ không phát sinh hoá khí và khí thực.

$\delta = \delta_i$ ở vào trạng thái tới hạn.

$\delta < \delta_i$ sẽ phát sinh hoá khí và khí thực.

Nói chung khi $\delta < 0.25$ thì dẫn đến khí thực.

2. Kết quả thí nghiệm trên mô hình tổng thể

Từ kết quả thí nghiệm trên mô hình mặt cắt, cho thấy: Bố trí 3 thiết bị trộn khí có hiệu quả lớn hơn bố trí 2 thiết bị trộn khí, vì: lượng khí được trộn qua 3 máng nên vận tốc dòng chảy cuối dốc giảm so với trường hợp bố trí 2 máng trộn khí.

Các góc hắt của máng trộn khí không nên bằng nhau, góc hắt ở 2 hàng trên lớn hơn. Các thông số chọn để thí nghiệm ở mô hình tổng thể nêu ở bảng 2.6 và hình 2.54.

Bảng 2.6. Thông số cơ bản các TBTK

Tên TBTK	Khoảng cách tính từ đầu dốc nước (m)	Góc hắt máng α	Kích thước giếng TBTK (m ²)
TBTK số 1	37.50	7	2.5*3.0
TBTK số 2	97.50	5	3.0*3.25
TBTK số 3	172.50	3	3.0*4.0

Từ số liệu đo đạc trên mô hình cho thấy phân bố dòng chảy ở đầu dốc nước chưa chịu ảnh hưởng của thiết bị trộn khí nên giá trị lưu tốc ứng với $Q=3400m^3/s$ từ $23 \div 24m/s$, lưu tốc dòng chảy phía trước máng trộn khí số 1 khoảng $27m/s$. Lưu tốc dòng chảy phía trước máng trộn khí số 2 khoảng $28m/s$ (giảm so với không có thiết bị trộn khí) khoảng $\approx 3m/s$. Lưu tốc dòng chảy tại mũi phun trường hợp có thiết bị trộn khí giảm $3.5m/s$ so với trường hợp không có thiết bị trộn khí. Như vậy, với tác dụng trộn khí sẽ làm giảm khả năng xói lở ở hạ lưu tràn xả lũ Cửa Đạt.

3. Đánh giá hiệu quả của thiết bị trộn khí trên dốc nước

+ Muốn đánh giá hiệu quả của máng trộn khí trên dốc nước người ta thường dùng hệ số trộn khí:

$$\beta = \frac{q_a}{q_w} \quad (2.46)$$

Với chế độ xả lưu lượng $Q= 3400m^3/s$ tính được q_w :

$$q_w = \frac{3400}{67} = 50.746 \text{ (m}^3\text{/s.m)} = 50.746 \text{ m}^2\text{/s}$$

Bây giờ tính giá trị q_a :

+ Trường hợp thí nghiệm $Q=3400\text{m}^3\text{/s}$ tiến hành đo tốc độ dòng khí hút vào miệng giếng hút khí bằng máy đo vận tốc D3611 theo quan hệ vận tốc v và điện thế vôn. Tính ra được các thông số v_a , q_a , β xem bảng 27.

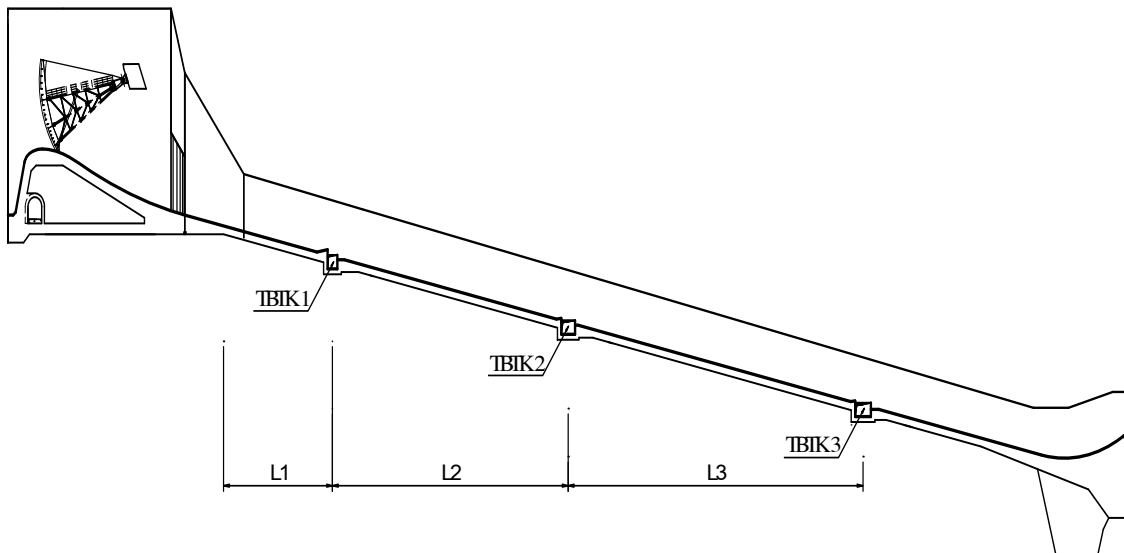
Bảng 2.7. Các thông số cơ bản về lượng khí

Vị trí đo	v_a (m/s)	q_a (m ² /s)	β (%)
Máng trộn khí số 1	65.0	8.290	16.35
Máng trộn khí số 2	40.0	4.920	9.70
Máng trộn khí số 3	27	2.790	5.52

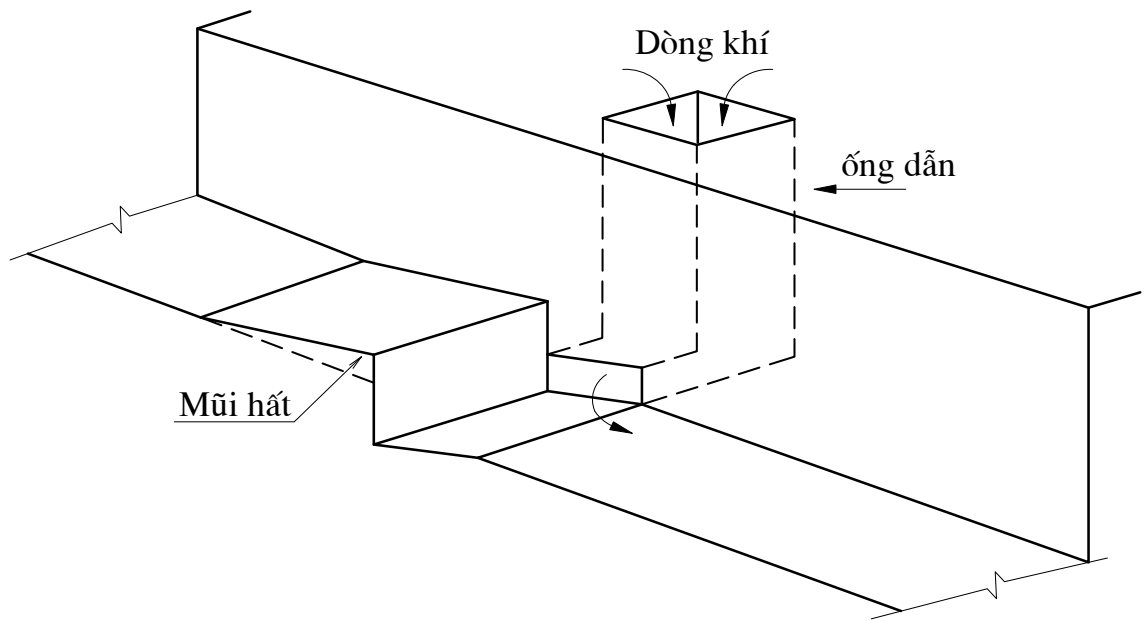
Theo tài liệu của nước ngoài nếu hệ số trộn khí (β) đạt được: $[\beta] = 5.7\% \div 9.7\%$ thì mặt bê tông có dòng lưu tốc cao chảy qua tránh được xâm cho bê tông của cửa bề mặt dốc nước sau tràn xả lũ khi có lưu lượng $Q = 3400\text{m}^3\text{/s}$ (trường hợp tính toán thiết kế máng trộn khí).

+ Hiện nay, nghiên cứu tương tự về trộn khí trong mô hình còn nhiều vấn đề đang được các nhà khoa học tiếp tục nghiên cứu thảo luận, nên các tham số trên chỉ là định lượng ở mức độ nào, song với giá trị β trong mô hình tổng thể Cửa Đạt đo được có thể nói là đạt hiệu quả để chống xâm thực cho bê tông mặt dốc nước.

Qua thí nghiệm cũng chứng minh các thiết bị trộn khí trên dốc nước Cửa Đạt qua nhiều lần kiểm chứng trên mô hình để so chọn, đã chọn được các thiết bị thông khí có các thông số cơ bản thể hiện ở bảng 2.6, các hình vẽ 2.54÷2.58; là phù hợp.

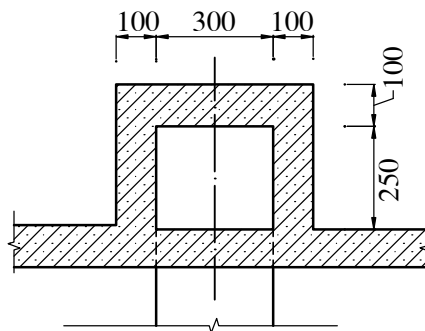


Hình 2.54. Sơ họa bố trí TBTK trên tràn Cửa Đạt

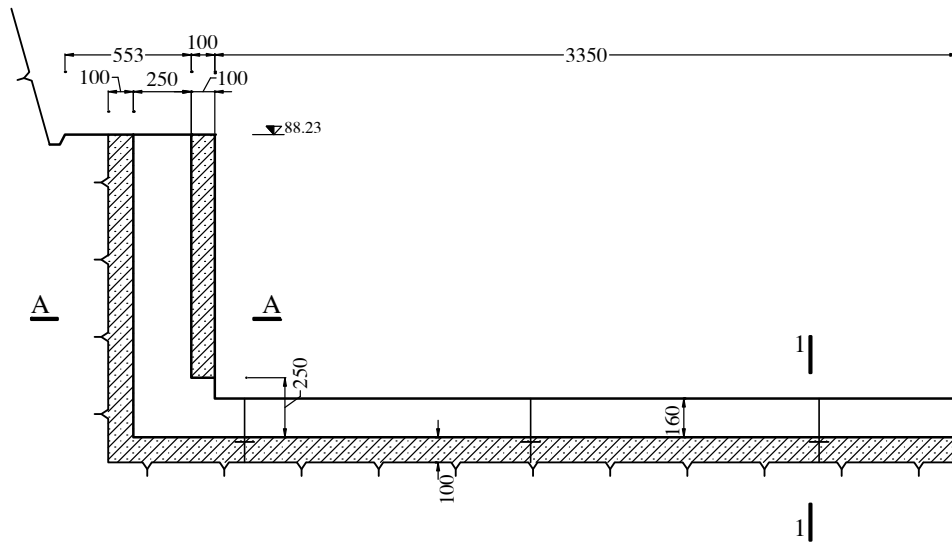


Hình 2.55. Sơ họa thiết bị tiếp khí

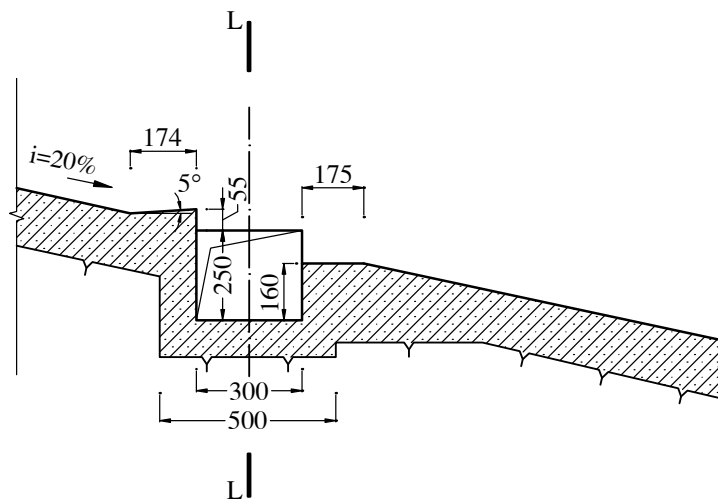
Mặt cắt A-A



1/2 Mặt cắt L - L

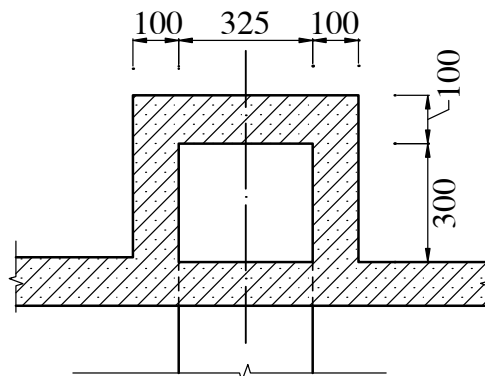


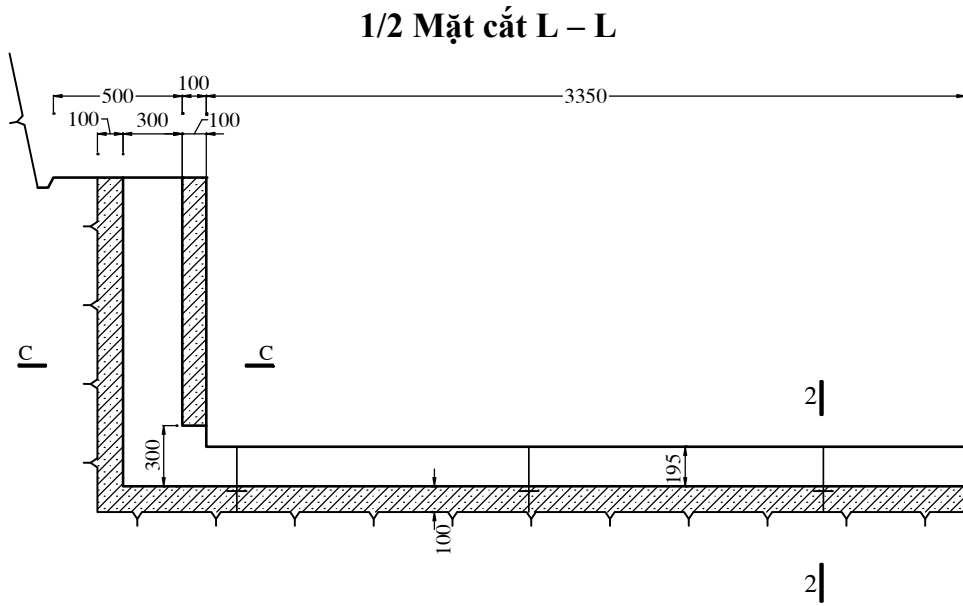
Mặt cắt 1 - 1



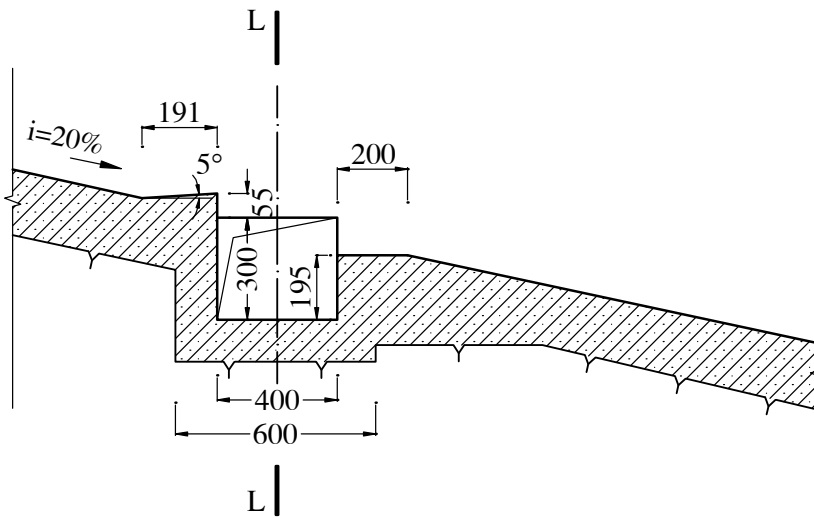
Hình 2.56. Sơ họa TBTK số 1

Mặt cắt B - B

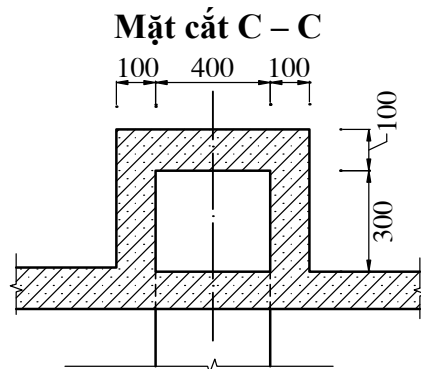




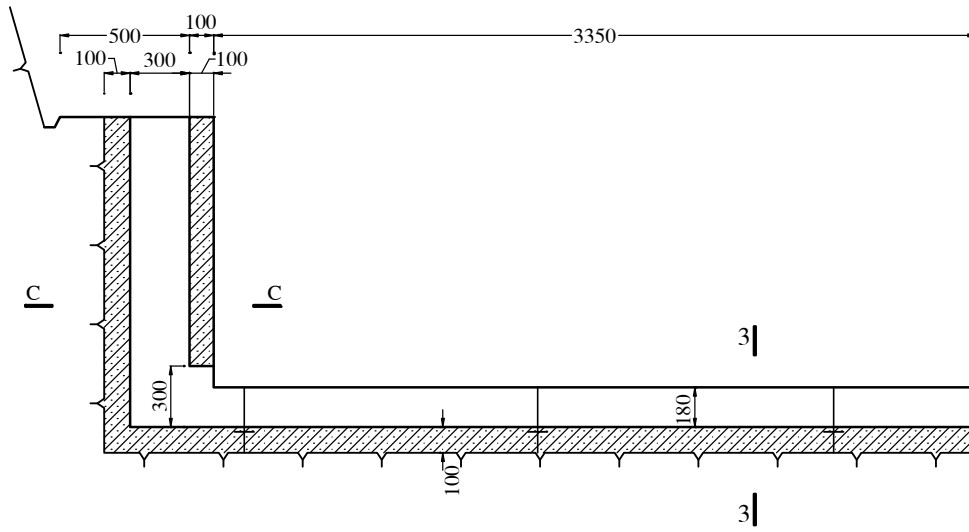
Mặt cắt 2 – 2



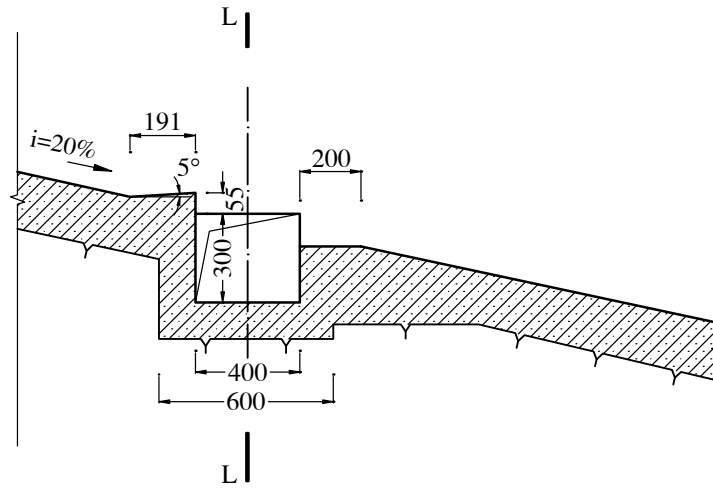
Hình 2.57. Sơ họa TBTK số 2



1/2 Mặt cắt L – L



Mặt cắt 3 – 3



Hình 2.58. Sơ hoạ TBTK số 3



Ảnh 2.1. Mô hình mặt cắt - có TBTK trên dốc nước



Ảnh 2.2. Mô hình tổng thể - dòng chảy trên dốc nước (có TBTK)

Câu hỏi cuối chương:

Câu hỏi 1: Hãy nêu ảnh hưởng của khí thực tới kết cấu công trình thủy công?

Câu hỏi 2: Hãy trình bày tóm tắt về nguyên lý trộn khí giảm xâm thực và hiệu quả của nó?

Chương III: TIÊU NĂNG DÒNG PHUN VÀ XÓI HẠ LƯU TRÀN XẢ LŨ

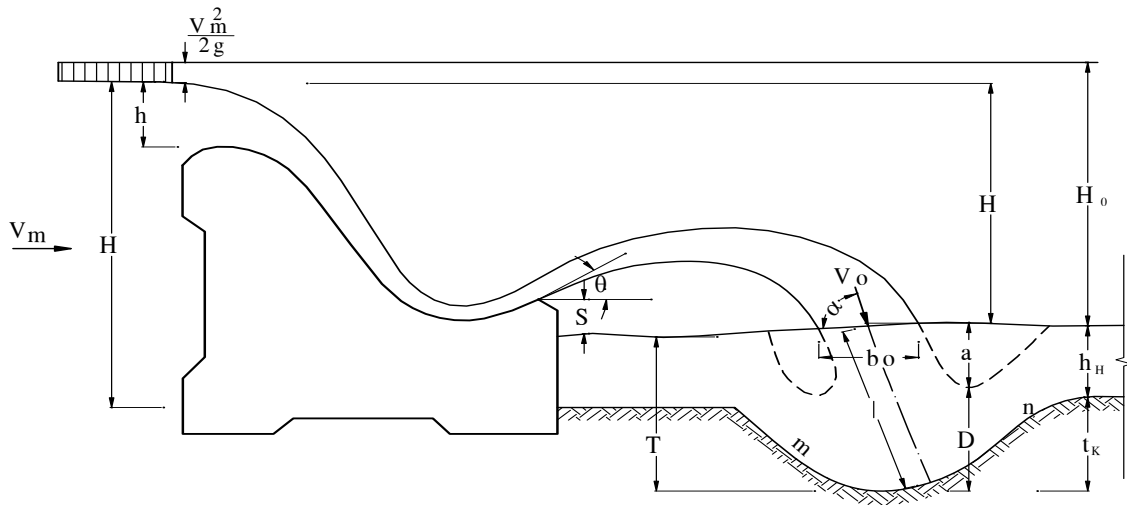
§III.1. KHÁI QUÁT TIÊU NĂNG DÒNG PHUN VÀ XÓI HẠ LƯU

Ở nước ta, cũng như nhiều nước trên thế giới công trình thủy lợi, thủy điện lớn và vừa dùng hình thức tiêu năng dòng phun là chủ yếu, như các tràn xả lũ: Mỹ Bình, Núi Cốc, Tân Giang, Lòng Sông, Cam Ranh, Thuận Ninh, thủy điện sông Hinh, thủy điện YALY, thủy điện Sê San 3, thủy điện Tuyên Quang (Na Hang), thủy điện Hoà Bình, thủy điện Bản Vẽ, Cửa Đạt ...

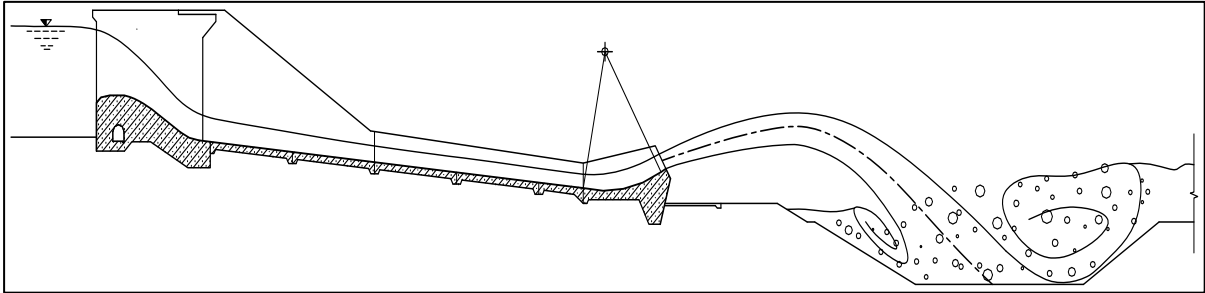
Tùy theo vị trí bố trí công trình đầu mối và điều kiện địa hình địa chất mà tràn xả lũ theo dạng dòng phun có thể là dạng mũi hắt cuối tràn hay phải nối tiếp một đoạn dốc nước có mũi hắt như hình 3.1 và hình 3.2.

Trường hợp cuối tràn có mũi hắt không cần có dốc nước thì khối lượng bê tông của công trình đầu mối giảm nhưng điều kiện địa chất vùng hố xói hạ lưu phải là nền đá rắn chắc như đá granite và dòng phun phải xa chân đập chính, qua các con lũ vận hành tạo thành hố xói không ảnh hưởng đến an toàn của chân đập chính. Dòng phun cũng như hố xói không ảnh hưởng đến các công trình khác, như ảnh hưởng đến mực nước sau nhà máy thủy điện hoặc không gây sạt lở đường giao thông ở hạ lưu, không gây sạt lở mái 2 bên bờ ...

Ví dụ: công trình thủy điện Hoà Bình sau hơn 10 năm vận hành mới chỉ xả lưu lượng thực tế gần 33% lưu lượng thiết kế mà đã tạo ra hố xói sâu gần 17m (từ cao trình đá gốc +2.0 nay xói tới -15.0), hay hạ lưu tràn xả lũ đập Đan Giang Khẩu (Trung Quốc), nền địa chất hạ lưu có lớp nứt gãy nên hố xói sâu tới 32,6m. Do đó chọn hình thức tiêu năng dòng phun chiều sâu xói thường là lớn. Việc xác định vị trí hố xói, hình dạng hố xói, chiều sâu xói lớn nhất là những vấn đề hiện nay nhiều người đang quan tâm bằng cách đo đạc số liệu các công trình thực tế đã xây dựng kết hợp với kết quả nghiên cứu thí nghiệm mô hình để xây dựng ra quan hệ tính toán phù hợp nhất.



Hình 3.1. Dòng phun sau mũi hắt tràn mặt



Hình 3.2. Sơ họa tràn và dốc nước

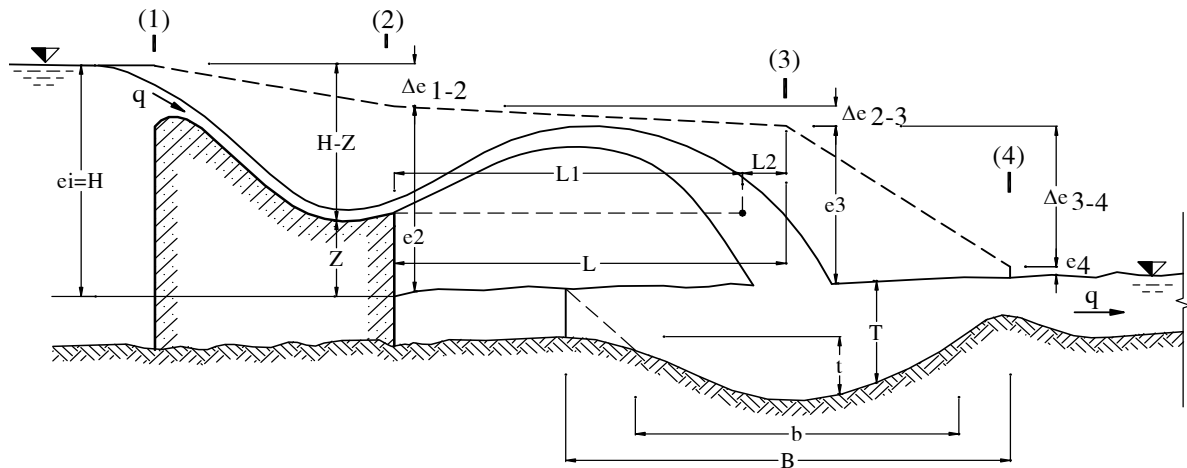
§III.2. TIÊU HAO NĂNG LƯỢNG DO DÒNG PHUN

Năng lượng tiêu hao do dòng phun có thể phân thành 3 đoạn là:

- + Tiêu hao năng lượng trên mặt đập
- + Tiêu hao trộn khí trong không gian
- + Tiêu hao do ma sát với lớp nước đệm hạ lưu

(xem hình 3.3)

Tổng thất năng lượng của 3 đoạn đó có thể dùng Δe_{1-2} , Δe_{2-3} , Δe_{3-4} để diễn tả.



Hình 3.3. Sơ đồ tiêu năng dòng phun

Trong đó:

$$\Delta e_{1-2} = (h - Z - d)(1 - \alpha_1 \varphi_1^2) \quad (3.1)$$

$$\Delta e_{2-3} = h(\alpha_1 \varphi_1^2 - \alpha_2 \varphi_2^2) + (Z + d)(1 - \alpha_1 \varphi_1^2) \quad (3.2)$$

$$\Delta e_{3-4} = \alpha_2 \varphi_2^2 h - \alpha_3 \frac{q^2}{2gh_2^2} \quad (3.3)$$

Ký hiệu φ_1, φ_2 là hệ số lưu tốc tại mặt cắt (2) và (3),

Z là chiều cao chênh lệch từ mặt cắt mũi hắt đến mực nước hạ lưu tính bằng m,

d là độ sâu dòng phun không trộn khí tại mặt cắt (2),
 h_2 là chiều sâu mực nước hạ lưu sau dòng phun (m),
 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ là hệ số điều chỉnh cột nước lưu tốc ở các mặt cắt (2),(3),(4), có thể lấy $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 1,10$.

Đối với φ_1 có rất nhiều người nghiên cứu đưa ra các biểu thức tính toán, khi ước tính có thể tham khảo trong bảng 3.1. Còn đối với φ_2 Trần Xuân Đình (Trung Quốc) đã đề nghị:

$$\varphi_2 = k \sqrt{\varphi_1^2 \left(1 - \frac{Z+d}{h}\right) + \left(\frac{Z+d}{h}\right)} \quad (3.4)$$

Trong đó ký hiệu k - trị số hiệu chỉnh hệ số lưu tốc nhỏ hơn 1. Đối với dạng mũi hất liên tục theo Myphily và Opolunker đã tiến hành quan trắc trên nguyên hình cho kết quả là dòng phun trong không gian, năng lượng tiêu hao tới 19%÷20% tổng năng lượng, do đó năng lượng dòng chảy chủ yếu được tiêu hao trong lớp nước đệm hạ lưu.

Bảng 3.1. Hệ số lưu tốc φ_1 (trích dẫn từ tài liệu tham khảo 11)

T	Tác giả	Biểu thức tính φ_1	Ký hiệu và phạm vi ứng dụng
(1)	Trần Xuân Đình	$\varphi_1 = \left(\frac{h}{q^{2/3}}\right)^{-0,2} \quad (1)$	q - đơn vị lưu lượng trên mặt đập (m ² /s) h - Độ cao chênh lệch từ mặt nước thượng lưu đến điểm thấp nhất của đoạn cong ngược (m) Phạm vi φ_1 : 0,41~0,87 $h/q^{2/3}$ trong phạm vi: 2,5÷2,70
(2)	Từ Canh Hằng và các tác giả	$\varphi_1 = 1 - \frac{0,0077}{\left(\frac{q^{2/3}}{s_1}\right)^{1,15}} \quad (2)$	$s_1 = \sqrt{Z'^2 + B'^2}$ chiều dài mặt tràn s_1 : 23,4~132,8 (m) Z' - khoảng cách thẳng đứng từ đỉnh tràn đến đỉnh mũi hất (m) B' - khoảng cách ngang từ đỉnh tràn đến đỉnh mũi hất (m) Phạm vi $q^{2/3}/s_1$: 0,025~0,20 q : từ 1,09~6,04 (m ³ /s.m)
(3)	Vương Thụy Bành	$\varphi_1 = 1,16 \left(\frac{q^{2/3}}{h_0 + Z'}\right)^{0,2} \quad (3)$	$h_0 + Z'$ - khoảng cách thẳng đứng từ mặt nước thượng lưu đến đỉnh mũi hất (m) q - lưu lượng đơn vị (m ³ /s.m)
(4)	Bàng Xương Tuấn	$\varphi_1 = 1,3 + \frac{1}{2} \lg\left(\frac{h_0}{s_1}\right) \quad (4)$	h_0 - cột nước trên đỉnh đập (m) s_1 - như ý nghĩa trong biểu thức (2) Phạm vi: $0,6 \cdot 10^{-2} < \frac{h_0}{s_1} < 18 \cdot 10^{-2}$

5)	Vương Chính Tuyến	$\varphi_1 = 0,83 \frac{h_0}{Z'} + 0,65$ (5)	h_0 - cột nước trên đỉnh đập (m) Z' - chiều cao từ đỉnh đập đến đỉnh mũi hắt (m)
6)	Viện nghiên cứu KHTLT Đ Trường Giang	$\varphi_1 = \sqrt{1 - \frac{0,055}{k^{0,6}}}$ (6)	$k = \frac{q}{\sqrt{gh}^{0,5}}$ phạm vi: 0,004~0,15 h - Độ cao chênh lệch từ mặt nước thượng lưu đến lòng sông hạ lưu (m)
7)	Sở nghiên cứu Viện Đông Bắc	$\varphi_1 = 1 - \frac{0,0173}{(h_0/Z_c)^{0,95}}$ (7)	h_0 - đầu nước trên đập (m) Z_c - cột nước trên điểm uốn của R ngược (m)
8)	Viện khảo sát thiết kế thủy lợi thủy điện Hồ Nam	$\varphi_1 = 1 - \frac{0,00725}{\left(\frac{q}{\sqrt{g}} Z_c^{1,5}\right)^{0,746}}$ (8)	Z_c - đầu nước trên đỉnh mũi hắt q - 0,864~84,8 (m ³ /s.m) Đập cao: 35,65~104 (m) Chênh lệch cột nước thượng hạ lưu 21,49~69,09 (m) Phạm vi ứng dụng: $\frac{q}{\sqrt{g} Z_c^{1,5}} = 0,00223 \sim 0,0923$

§III.3. CHỌN HÌNH THỨC MŨI HẮT

I. Các dạng mũi hắt

Hiện nay các công trình ở nước ta cũng như nhiều nước trên thế giới đang sử dụng dạng mũi hắt tạo dòng phun, có thể phân thành 7 loại sau:

- (1) Dạng tiêu năng dòng phun có mũi hắt liên tục và so le.
- (2) Mũi phun 2 bên có dạng đường trượt tuyết, đường xả lũ va đập.
- (3) Tiêu năng dòng phun va đập trên dưới bởi ngưỡng cao và thấp.
- (4) Cuối đường xả lũ hoặc trên đập vòm có trụ phân dòng tiêu năng theo luồng phóng.
- (5) Đuôi trụ rộng tạo dạng khe hẹp hướng dọc khuếch tán tiêu năng dòng phun.
- (6) Mũi hắt khuếch tán, mũi hắt uốn cong hoặc mũi hắt xiên tiêu năng dòng phun.
- (7) Dòng đổ tự do xuống lớp nước đệm bề tiêu năng.

II. Khả năng tiêu hao năng lượng của mũi hắt

Đối với dạng dòng phun có mũi hắt liên tục thì năng lượng tiêu hao trên mặt đập và trong không gian đều tương đối ít, do đó năng lượng tiêu hao trong lớp nước đệm chiếm tỷ lệ lớn, thêm vào luồng dòng chảy đặc tập trung nên trong trường hợp đầu

nước cao, tỷ lưu lớn chiều sâu xói tất nhiên sẽ sâu, vì vậy cần nghiên cứu giải pháp tăng thêm năng lượng tiêu hao trong không gian.

ở trên đã nêu trong mục (2) và (3) dùng hình thức dòng phun va đập trong không gian để có thể tăng hiệu quả tiêu hao năng lượng, nghĩa là làm cho dòng đặc tập trung được phân tán thành nhiều dòng rơi xuống mặt nước hạ lưu, nhằm giảm nhẹ độ sâu xói lòng sông. Hình thức tiêu năng của đập vòm Lưu Khê như hình 3.4, làm cho lưu tốc dòng rơi từ 30m/s giảm xuống 20m/s; giảm nhẹ xói lòng sông, chiều sâu hố xói nông hơn. Hay như đập vòm Phong Mãn ở Trung Quốc dùng 6 khoang có mũi hắt cao và 7 khe có mũi hắt thấp (so với mũi hắt cao thấp hơn 27,96m) đều tạo dòng phun vào trong không gian để luồng trên và luồng dưới va đập với nhau. Từ kết quả thí nghiệm cho thấy rằng dòng phun trong không gian sau khi va đập khuếch tán được trộn khí nên dòng rơi xói lòng sông tương đối nông, như đập T.Hbr.Sky ở Tiệp Khắc có mũi hắt cao và thấp sau khi thí nghiệm dòng phun va đập với nhau kết quả là dòng rơi cho hệ số lưu tốc giảm đi gần 40%. Đập Lakhwar Ấn Độ lại bố trí ở mũi hắt thêm các mô phân dòng cao lên 8 m tạo thành 2 dòng phun cao thấp va đập lẫn nhau đã đạt được hiệu quả tiêu năng tốt.

Hình thức tiêu năng như dạng (5) có khe hẹp là một loại thích hợp với lòng sông hẹp, đây là loại hình thức mới. Đặc điểm của nó là thu hẹp cửa ra của mũi hắt khiến cho dòng chảy theo hướng dọc được khuếch tán đầy đủ, kéo dài khoảng cách biên trên và biên dưới của dòng phun và tăng thêm mặt tiếp xúc của dòng phun với không khí, khiến cho lượng trộn khí lớn, tăng thêm tỷ lệ % năng lượng tiêu hao, so với mũi hắt dạng hình thang có mặt tiếp xúc dòng rơi với lớp nước đệm hạ lưu rộng hơn nhiều, có tác dụng rõ rệt giảm chiều sâu xói lòng sông hạ lưu. Ví dụ, ở Tây ban nha năm 1970 xây dựng đập vòm Almendra, bên trái bố trí 2 khoang xả mặt, phía sau nối tiếp hai máng thác, chiều rộng khoang là 15m, cao là 12,5m, trên chiều dài 190m có chiều rộng thu hẹp lại 5m, sau đó trên 10m chiều dài lại thu hẹp thêm chiều rộng vào 2,5m, tỷ lưu lượng ở mũi phóng đạt tới $620\text{m}^3/\text{s.m}$, lưu tốc đạt tới 40m/s. ở Tây Ban Nha đập vòm kiểu trọng lực Aldeadavila tỷ lưu của mũi phóng $833\text{m}^3/\text{s.m}$, hiệu quả tiêu năng tốt, đây là một dạng tiêu năng rất có xu hướng phát triển. Với dạng tiêu năng này, ở Trung Quốc đang tiến hành nghiên cứu, hiện nay tràn xả lũ công trình Long Dương Hiệp và Đông Phong trên sông Đông Giang là công trình đầu tiên áp dụng hình thức tiêu năng này.

Dùng trụ pin có đuôi rộng ra là để thu hẹp lỗ cửa van, khiến cho dòng chảy qua cửa van bị thu hẹp nhưng đến phần dưới mặt đập lại nhanh chóng mở rộng là một dạng tiêu năng có hiệu quả tương đối tốt. Loại tiêu năng này lần đầu áp dụng ở đập tràn Đan Giang Khẩu, Trung Quốc.

Bốn dạng hình thức tiêu năng trên đều có mục đích khuếch tán trong không gian một cách đầy đủ để trộn khí. Loại tiêu năng này ngoài việc tăng thêm tỷ lệ tiêu năng trong không gian ra còn tăng thêm tác dụng tiêu năng của lớp nước đệm hạ lưu, do đó giảm xói hạ lưu một cách rõ rệt.

Hình thức tiêu năng (6) có tác dụng là làm cho dòng phun phóng xuống hạ lưu phun vào lòng sông một cách tốt hơn và khiến cho dòng phun sinh ra khuếch tán nhất định;

ví dụ công trình thủy điện Lưu Gia Hiệp tràn xả lũ bên bờ trái sử dụng đường cong mũi hắt xiên đem dòng phun đổ vào trong sông, khiến cho mái bờ không bị xói lở.

Có một số đập vòm dùng biện pháp tiêu năng theo dạng mục (7), dòng chảy từ đỉnh đập đổ xuống bề tiêu năng có lớp nước đệm. Năm 1968 Moxiloker ở Mỹ xây đập vòm cao 185m hình 3.5, lưu lượng tháo lũ $7800\text{m}^3/\text{s}$, tỷ lưu lượng $170\text{m}^3/\text{s.m}$. Đặc điểm bố trí là mũi hắt đỉnh đập ngắn, chiều dài dòng phun tương đối nhỏ, góc đổ vào mặt nước lớn, vị trí hố xói gần chân đập cho nên dạng bố trí này thì vùng chân đập cần có lớp nước đệm đủ sâu và điều kiện địa chất tương đối tốt, hình 3.6. Cách hình thành lớp nước đệm không giống như đập vòm Moxiloker ở vùng chân đập cần đào hố xói, đập vòm Khadeuder thì bố trí 2 đường đập và ở chỗ điểm nước rơi bố trí phễu như hình 3.7.

Còn đập vòm Basu bố trí 2 tuyến đập hình 3.8, đập vòm Ucrang thì lại lợi dụng để quai thi công hình thành bề nước đệm.

Tóm lại chọn hình dạng mũi hắt phải kết hợp với dạng đập tràn, bố trí công trình đầu mối, địa hình lòng sông, nền đá và điều kiện dòng chảy để chọn cho hợp lý.

§III.4. XÓI NỀN ĐÁ DO DÒNG PHUN

I. Bản chất xói nền đá do dòng phun

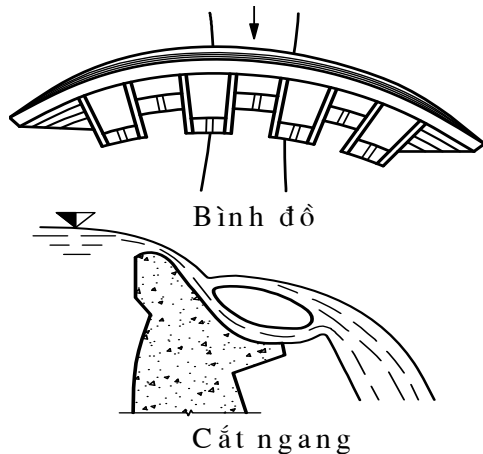
Dòng phun qua mũi phóng sau khi bay vào không gian khuếch tán trộn khí hình thành hỗn hợp khí, sau đó rơi vào lớp nước đệm. Dòng phun khuếch tán ngập trong nước đệm, nước và khí lại phân ly ra. Tùy theo độ sâu của tia phóng tăng thêm, lưu tốc dần dần giảm nhỏ, khi dòng phun chạm lớp đá lòng sông tạo ra một lực phá hoại kết cấu của nền đá và bào mòn mặt đá; sau khi đã bị phá hoại lại bị dòng chảy đẩy trôi gây nên xói làm thay đổi lòng sông hình thành hố xói và đóng đá bồi phía sau. Đồng thời do va đập vào đá nên hướng của dòng phun cũng tương ứng chuyển đổi, dòng chủ vượt qua đóng đá chảy xuống hạ lưu, cho đến khi lực tác dụng của dòng phun cân bằng với lực đề kháng của đá thì lúc bấy giờ hố xói ổn định và cũng hình thành điều kiện biên tương ứng của hố xói khuếch tán dòng phun chảy ra.

Việc nghiên cứu xói lở nền đá là tương đối khó nên thường phải giản hoá bớt đi. Nói chung đối với việc nghiên cứu tính chất cơ lý của dòng phun đối với nền đá phân thành hai vấn đề vật lý là quy luật chuyển động của dòng chảy trong lớp nước đệm và nền đá chịu tác dụng của dòng phun bị phá hoại, sau đó đem hai mặt kết quả ấy kết hợp lại để nghiên cứu khả năng phát sinh chiều sâu xói của nền đá.

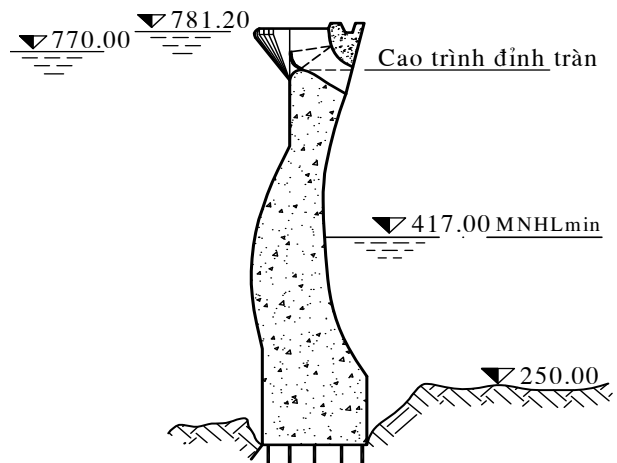
Về quy luật chuyển động của dòng phun trong lớp nước đệm, phần lớn đều nghiên cứu chuyển động của dòng phun trong lớp nước đệm sâu trước, nhiều nhà nghiên cứu Trung Quốc và nước ngoài đều cho rằng lý luận khuếch tán dòng phun ngập trong động lực học không khí và dòng phun chuyển động trong lớp nước đệm có quy luật tương tự nhau. Sterhaton về mặt này đã nêu ra kết quả một cách hệ thống, nhận thấy dòng phun trong lớp nước đệm góc khuếch tán là $12^\circ \div 16^\circ$, độ dài tâm của dòng phun bằng 5 lần chiều rộng nước rơi vào lớp nước đệm.

II. Một số kết quả nghiên cứu

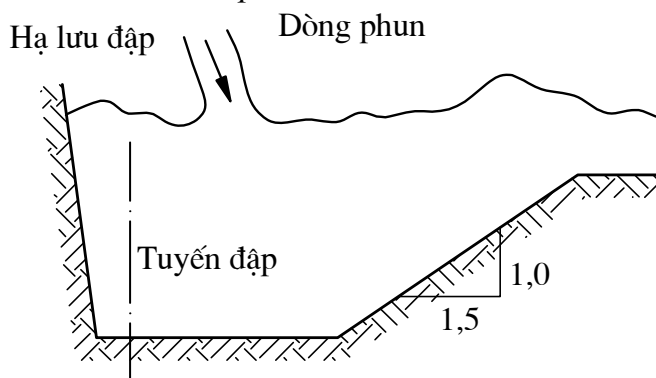
ở Trung Quốc, giáo sư Từ Thường Thiện trường Đại học Thanh Hoa (Bắc Kinh) đã từng thực hiện lấy hồ xói làm không gian có hạn đo đặc trưng lưu tốc bình quân của dòng phun. Về cơ chế xói nền đá ở Liên Xô cũ, Trung Quốc, Ấn Độ và ở nước ta nhiều người nghiên cứu, phổ biến cho rằng xói phát sinh trên nền đá là do nền đá tồn tại khe nứt. Khi áp lực động của nước tác động vào khe nứt làm cho khe nứt phát triển khiến cho phiến đá tách khỏi nền đá dẫn tới hình thành hồ xói.



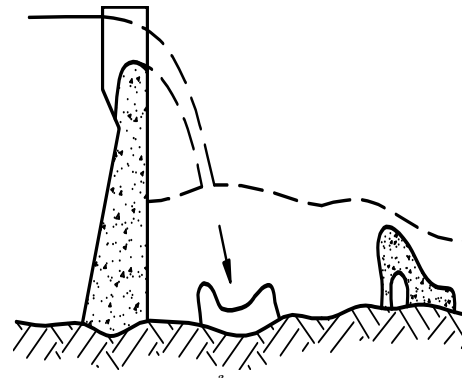
Hình 3.4. Đập vòm Lưu Khê công trình tiêu năng ngưỡng cao thấp



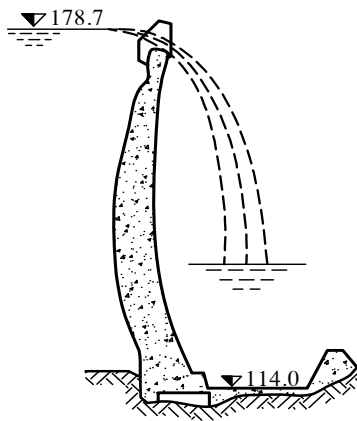
Hình 3.5. Mặt cắt đập vòm Moxiloker



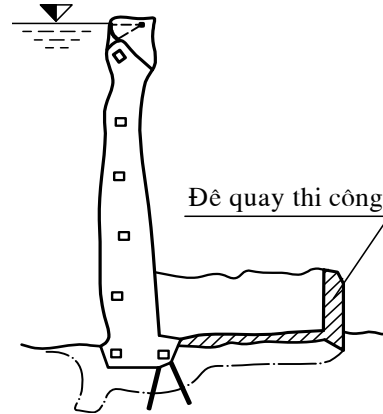
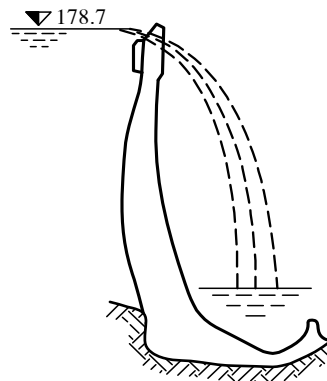
Hình 3.6. Bể tiêu năng đập vòm Moxiloker



Hình 3.7. Bể tiêu năng đập vòm Khadeuder



Hình 3.8. *Cắt ngang hai phương án đập vòm Basu*



Hình 3.9. *Bể tiêu năng đập vòm Ucrang*

Trong công trình thực tế, hồ xói phát triển thường là không đều, như hồ xói sau tràn xả lũ thủy điện Hoà Bình qua hơn mười năm vận hành đến nay do lực tác động của luồng phóng phía bên trái hồ xói sâu đến 5-13.20m, bên phía phải hồ xói đã sâu từ 15.0 ÷ 17.0m, như vậy với hồ xói dài gần 250m, rộng gần 50m thì lượng đá đã xói đạt tới gần 200.000m³.

Nền đá bị xói thường xảy ra trước ở chỗ đá có nhiều khe nứt, cường độ liên kết thấp, sau đó dần dần phát triển theo chiều sâu và mở rộng dần chiều ngang. Dưới tác dụng xung đập của dòng phun viên đá tách khỏi nền và sau đó bị dòng nước đẩy trôi ra khỏi hồ, chất đông ở hạ lưu hồ dần hình thành đông đá. Chiều cao của đông đá ngoài thực tế thường thấp hơn chiều cao đo được trong thí nghiệm mô hình, nhưng phạm vi bồi lại rộng hơn.

Cường độ của nền đá, phân bố của khe nứt, chiều sâu vết nứt, trạng thái dính kết thể hiện các nhân tố đặc trưng của đá cực kỳ phức tạp. Trước mắt việc nghiên cứu phần lớn đều đem nền đá phức tạp giản hoá bớt bằng cách giả thiết nền đá là do các viên đá rời hợp thành, sau đó đo lực tác dụng động đối với viên đá phải chịu trong lớp nước đệm và điều kiện mất ổn định của viên đá. ở Liên Xô cũ đã nghiên cứu một cách có hệ thống vấn đề này, ở Trung Quốc từ những năm 1950 đến nay cũng có nhiều người đã tiến hành nghiên cứu tương tự và đưa ra các kết luận cơ bản gần như nhau. Còn ở Việt Nam, Viện Khoa học Thủy Lợi cũng đã ứng dụng và mở rộng nghiên cứu từ những năm 1960 cho đến nay đối với nhiều công trình tràn xả lũ loại vừa và lớn mà hồ xói sau tràn là nền đá Sa Thạch, đá vôi hay granit như đập Bái Thượng, tràn Thượng Tuy, đập La Ngà, đập sông Hinh, tràn Cửa Đạt...

Quá trình cơ học tác động để phân giải khối đá thành từng tảng hay từng viên, việc nghiên cứu này cho đến nay vẫn còn tiếp tục; cho nên cơ chế xói nền đá cần đi sâu nghiên cứu tìm tòi thêm.

Ngoài ra hai nhà nghiên cứu người Đức là Haton và Suenislyn cho rằng áp suất thủy động tác dụng vào khe nứt của nền đá gây ra cơ chế phá hoại giống như nguyên lý máy nén thủy lực và đã dùng thí nghiệm chứng minh. Còn Mikhailốp thì lại cho rằng nền đá bị xói lở là do bề mặt bị bào mòn. Một số người lại cho rằng nền đá bị xói mòn

do hai tác dụng đó, song tác động phá hoại khe nứt là quan trọng, sự phá hoại khe nứt kèm theo sự lay động tảng đá do mạch động áp suất và mạch động vận tốc gây ra, đến thời điểm nào đó tổng hợp các dạng ngoại lực của nước thắng được lực chống đỡ của tảng đá thì tảng đá bị tách ra khỏi quần thể của kết cấu nền đá và bị lực nước đẩy trôi ra khỏi hố xói (lực chống đỡ của đá bao gồm lực ma sát ở xung quanh viên đá, lực dính kết của các khe nứt và trọng lượng bản thân tảng đá).

III. Một số phương pháp xác định hố xói trên nền đá do dòng phun

1. Độ sâu xói

Khi thiết kế công trình tràn tiêu năng theo dạng dòng phun thường phải ước tính độ sâu xói ở hạ lưu. Về vấn đề này nhiều người đã dùng các giả thiết khác nhau sử dụng kết quả thí nghiệm mô hình và tài liệu quan trắc thực tế để thiết lập hàng chục công thức tính độ sâu xói. Dưới đây sẽ tập hợp một số công thức nêu ở bảng 3.3.

ở Trung Quốc ứng dụng rộng rãi nhất là công thức của tác giả Trần Xuân Đình:

$$T = ht + t = kq^{0,5} h^{0,25} \quad (3.5)$$

Trong đó:

q- lưu lượng đơn vị ($m^3/s.m$) ở chỗ lưỡi nước của dòng phun đi vào mặt nước đệm, h- chênh lệch cột nước thượng hạ lưu.

Còn k là hệ số tổng quát tất cả các yếu tố ảnh hưởng đến độ sâu xói. Để xác định hệ số k Viện nghiên cứu Đông Bắc và một số đơn vị nghiên cứu khác của Trung Quốc đã sử dụng đặc tính phân loại của đá nêu ra trong phạm vi của giá trị k.

Khi áp dụng công thức này, vấn đề mấu chốt là chọn hệ số k một cách chính xác, tham khảo bảng 3.2.

Làm thế nào để xét nhân tố đặc tính cấu tạo của đá trong công thức tính xói của dòng phun, đây là một vấn đề khó, nghiên cứu về mặt này còn chưa đầy đủ, cần có sự kết hợp giữa các nhà thủy lực với các nhà địa chất cùng tìm tòi.

Trong các nghiên cứu trước đây khởi đầu bằng cách đơn giản hoá, trong công thức tính toán chỉ đưa yếu tố đường kính viên đá hoặc dùng kích thước khe nứt của tảng đá, hay dùng vận tốc xói cho phép của nền đá... Gần vài chục năm gần đây, việc nghiên cứu đã có tiến triển nên trong công thức tính toán trực tiếp đưa vào cường độ kháng nén bão hoà của đá.

Bảng 3.2. Hệ số xói k của dòng phun

Phân loại nền đá	Đặc trưng cấu tạo nền đá của hố xói	k		Ghi chú
		Phạm vi	Bình quân	
I (khó xói)	Dạng khối lớn, khe nứt không phát triển, chặt chắc	0.8~0.9	0.85	Phạm vi thích hợp với hệ số k $30^\circ < \beta < 70^\circ$ β là góc vào
II (tương phát triển nhiều chỗ rần chắc)	Dạng tảng to, khe nứt	0.9~1.2	1.10	

đôi dễ xói)	có ít chỗ có chất nhét			của dòng phun đổ vào mặt nước lòng sông (góc tới).
III (dễ xói)	Dạng tảng vỡ, khe nứt phát triển đại bộ phận khe nứt rõ, một phần có chất nhét	1.20~1.50	1.35	
IV (rất dễ xói)	Dạng tảng vỡ, khe nứt phát triển mạnh, vết nứt lớn, một phần có đất sét nhét vào khe	1.50~2.0	1.80	

Bảng 3.3. Các công thức tính chiều sâu xói

T	Tác giả	Công thức	Ghi chú
1	Từ Thường Thiện	$t_s = k_\omega \frac{q^{3/4} h_c^{1/8}}{k_r}$ $k_\omega = \frac{k_p \varphi_c^{1/6}}{\sigma^{1/9}}$ <p>Ngưỡng liên tục $k_\omega=1,20$</p>	t_s - cột nước hố xói (m), k_r - hệ số chống xói của đá lòng sông, k_p - hệ số góc vào của dòng phun, σ - độ tản rộng của dòng phun ở mực nước vào, h_c - tổng cột nước của dòng chảy trên ngưỡng mũi phóng (m),
2	Trương Phúc Nghĩa	$T = 100 \left[\frac{q}{CR} \sqrt{\frac{Z}{\varphi^2 Z \sin^2 \theta + p}} \right]^{1/3}$	q - lưu lượng đơn vị ($m^3/s.m$), R - trị số bình quân cường độ khí nén của đá (trạng thái bão hoà), đơn vị (T/m^3) hay $9,81Kpu$, Z - chênh lệch mực nước thượng lưu đến mũi hắt (m), φ - hệ số lưu tốc tổn thất trên mặt đập tràn, θ - góc mũi hắt, p - chênh lệch đã cao từ đỉnh mũi hắt đến mặt nước hạ lưu (m), C - hệ số dính kết của đá vùng nứt gãy, dính kết tốt $C=1$, dính kết không tốt $C=0,50$.

3	U.U.Tarai - môvicki	$t_p = h_{kp} Z^{0,25} \left(\frac{\alpha_h}{\alpha_{\beta B}} \right) \varphi \left(\frac{n}{k_{ck} \omega} \right)$	<p>h_{kp} - chiều sâu nước tới hạn (m), Z - chênh mực nước thượng hạ lưu (m), α_h - góc mũi hắt, $\alpha_{\beta B}$ - góc mũi không lưu hổ xói, φ - hệ số lưu tốc, n - hệ số chuyển đổi lưu tốc bình quân và lưu tốc đáy lớn nhất ở mũi hắt, k_{ck} - hệ số cường độ của đá, ω - độ thô thủy lực của đá,</p>
4	B.F Maston	$T = 1,5q^{0,6} Z^{0,1}$	<p>q - lưu lượng đơn vị ($m^3/s.m$), Z - chênh lệch cột nước thượng hạ lưu tràn (m),</p>
5	Vaidya,M. P	$d_s = \frac{(qh_r)^{1/2}}{(gd_m^2 Z^3)^{1/4}}$	<p>d_s - độ sâu xói cuối cùng (m), Z - chênh cao từ mũi hắt đến lòng sông (m), d_m - kích thước bình quân của vật liệu xói ở lòng sông (m), h_r - chênh lệch cột nước thượng hạ lưu (m), g - gia tốc trọng trường (m/s^2).</p>
6	A.SchoKlitc h	$T = 4,75 \frac{h^{0,2} q^{0,57}}{d_m^{0,32}}$	Các ký hiệu như đã ghi ở các phần trên.
7	A.Verones e	$T = \frac{3,68h^{0,225} q^{0,54}}{d_m^{0,42}}$	Các ký hiệu như đã ghi ở các phần trên.
8	Ch.Jaxger	$T = 6h^{0,25} q^{0,5} \left(\frac{h_h}{d_m} \right)^{1/3}$	Các ký hiệu như đã ghi ở các phần trên.
9	W.Eggenbe rger	$T = t_k + h_h = 22,88 \frac{h^{0,5} q^{0,6}}{d_{90}^{0,4}}$	<p>t_k - chiều sâu hổ xói (m), h_h - chiều sâu nước hạ lưu, h - cột nước trên đỉnh tràn.</p>
1 0	W.Hartung	<p>Khi $h_h > 1,8q^{2/3}$ $T = 12,4 \frac{h^{0,36} q^{0,64}}{d_{85}^{0,32}}$</p>	<p>Các ký hiệu như đã ghi ở các phần trên. $h_{hk} = 1,8q^{2/3}$</p>

		<p>Khi $h_h < 1,8q^{2/3}$</p> $T = (0,20h_h + 0,8h_{hk}) + t_k$ $= 12,4 \frac{h^{0,36} q^{0,64}}{d_{85}^{0,32}}$	
1 1	H.B.Lanytle v	$T = \frac{0,93}{d_m^{0,19}} q^{0,627} h^{0,25}$	Các ký hiệu như đã ghi ở các phần trên.
1 2	Tiêu Văn Sinh	$T = 0,62 \frac{Q^{0,5} v_0^{0,166}}{gd_m (\gamma_s - 1)^{0,33}}$	<p>Q - tổng lưu lượng, γ_s - tỷ trọng của hạt lòng sông, v_0 - lưu tốc dòng phun đổ vào lòng sông.</p>
1 3	M.C.Buzro	$T = akq^{0,5} h^{0,25}$	<p>a - hệ số hàm khí, k - hệ số có quan hệ đến tính chất của đất.</p>
1 4	H.T.CMorb hob	<p>đối với cát thô: $T = kq^{0,5} h^{0,25} - 0,265h^{0,25} d_m^{0,5}$</p> <p>đối với cát mịn: $T = kq^{0,5} h^{0,25}$</p>	<p>Khi chảy đáy: $k_1 = 1,75 + \frac{0,2}{q}$</p> <p>Khi chảy mặt: $k_2 = 1,2 + \frac{0,2}{q}$</p>
1 5	A.T.Ratpau seb	$T = \frac{6,2}{\sqrt[4]{2g}} q^{0,5} h_0^{0,25} \left(\frac{3}{d_m} \right)^{0,25}$	Các ký hiệu như đã ghi ở các phần trên.
1 6	M.A.Mikhai lốp	$T = k \left[\frac{5,65q}{\sqrt{gd_k} \left(\frac{h_h}{d_k} \right)^{1/6}} - qb_0 \right]$	$k = \frac{\sin \alpha}{1 - 0,215 \cot \alpha},$ <p>($\alpha > 30^\circ$) $d_k = d_{90}$.</p>
1 7	Đại học công nghiệp Thành Đô	$T = \frac{q}{v_\delta (m^2 + 0,1)} \times$ $\left[0,08 \frac{v_0}{\sqrt{gh_0}} \left(\frac{1 + \cos \alpha}{2} \right) + 2,85m^{2,35} - 0,2 \right]$	<p>v_δ - lưu tốc bình quân của đoạn chủ lưu trong hồ khi xói cân bằng $h_0 = \frac{q}{v_0}$.</p>
1 8	E.B.Rlemh eba	$T = \frac{1,2q^2}{b_0 v_{\delta 0n}^2} - 2b_0$	Các ký hiệu như đã ghi ở các phần trên.

1 9	A.K.Kađup ob	$T = \sqrt{h_h^2 + k_a q \operatorname{tg} \varphi_{cp}}$ k_a -hệ số có quan hệ với hàm khí và mạch động φ_{cp} -ý nghĩa như hình bên	$\operatorname{tg}^2 \varphi_{cp} = \frac{2}{\operatorname{tg} \varphi_1 + \operatorname{tg} \varphi_2}$.
2 0	Riediger	$T = T_1 \frac{\gamma'_T}{3 - 2\gamma'_T}$ γ'_0 -đơn vị trọng lượng của nước trộn khí $T_1 = 0,1v_m^2 + 2h$	$\gamma'_T = \frac{T_1 + 10\gamma'_0}{T_1 + 10}$ là đơn vị trọng lượng nước ở chỗ xói sâu đến T.
2 1	Suderpu	$T = 0,6h - 3h - 1,0$	Các ký hiệu như đã ghi ở các phần trên.
2 2	A.T.patrase v	$T = \frac{6,2}{\sqrt[4]{2g}} h^{0,25} q^{0,5}$	Các ký hiệu như đã ghi ở các phần trên.
2 3	Viện nghiên cứu Thủy lợi Nam Kinh (Trung Quốc)	$T = \frac{0,332q}{d_m^{0,5} \left(\frac{h_h}{d_m} \right)^{1/6}}$	Các ký hiệu như đã ghi ở các phần trên.
2 4	R.A.Thom as	$\frac{t_k}{h_h} = \left[0,29 + 0,07 \log \frac{qT_e}{h'^2} \right] \times$ $\left[\frac{q}{h'v_f} \right]^{0,5} \left[\frac{h'}{h_h} \right]^3 \left(\frac{q}{h'v_f} \right)^{1/2}$	Các ký hiệu như đã ghi ở các phần trên. $h' = p + h$ (chiều cao đập cộng cột nước trên tràn).

Qua các công thức của các tác giả đã giới thiệu trên đây có thể phân ra:

a. Loại 1: công thức kinh nghiệm như công thức của A.Schoklit, A.Veronese, Ch.Jaxger,... Các công thức này đều là phân tích số liệu thí nghiệm và số liệu thực đo xói của công trình thực tế rút ra, thể hiện dưới dạng:

$$T = k \cdot \frac{q^x h^y}{d^z} \quad (3.6)$$

(k là hằng số thực nghiệm)

Trong đó cá biệt có xét tới độ sâu nước hạ lưu, yếu tố thời gian.

b. Loại 2: Dựa vào lý thuyết nước nhảy suy ra công thức bán kinh nghiệm như công thức của B.H.MausMaH, M.C.Vuzro,... được trình bày dưới dạng:

$$T = kq^{0,5} h^{0,25} \quad (3.7)$$

Trong đó k là hệ số xét đến tính chất của địa chất nền.

c. Loại 3: Dựa vào khái niệm tiêu hao năng lượng của đơn vị thể tích lớp nước đệm hạ lưu đưa ra công thức bán kinh nghiệm, như: công thức của Trần Xuân Đình,

A.K.Kagorob. Các dạng công thức ước tính chiều sâu xói sau dòng phun có nhiều, nhân tố xét tới của các công thức trên có điều kiện thực nghiệm khác nhau thì khi thiết kế tính toán nên dùng công thức nào cần phải so sánh lựa chọn. Vì vậy hai nhà nghiên cứu của Trung Quốc là Chu Vĩnh Lâm và Cáp Phong Xuân đã phân tích, thu thập số liệu của 8 công trình thí nghiệm với 18 nhóm tài liệu thí nghiệm và tài liệu 7 lần quan trắc của 4 công trình thực tế đem các yếu tố vào các công thức để tính ra chiều sâu xói lớn nhất rồi so sánh với số liệu thực đo. Vì phần lớn các công thức đều có yếu tố đường kính d , còn tài liệu thực đo trên công trình thực tế nói chung lại không đo được yếu tố d để tra cứu. Do đó họ dựa vào đặc tính của đá để từ các số tay tra cứu ra vận tốc xói cho phép hoặc dùng tài liệu tính v cho phép của cơ quan thiết kế, rồi dùng công thức tính v cho phép của Izbaws: $v = k\sqrt{d}$ (lấy $k = 5,5$) để tính đổi ra đường kính d . Đây là phương pháp giải quyết trong trường hợp thiếu số liệu.

Kết quả tính toán theo các công thức như bảng 3.4.

Bảng 3.4. Kết quả so sánh chiều sâu xói theo các công thức

Tác giả	Sai số tính toán bình quân của MH	Sai số tính bình quân theo nguyên hình	Tổng sai số bình quân
A.Schklitch	0.54	0.54	0.54
A.Veronese	0.372	0.846	0.609
Ch.Jaxger	0.277	0.239	0.268
W.Eggenbergerr	4.2	3.36	3.86
W.Hartung	2.06	2.03	2.04
Fucou	0.324	0.83	0.495
H.B.Ranymreb	0.30	0.54	0.379
Đại học Thiên Tân	0.441	0.596	0.48
R.I.Pyguhtenh	0.212	0.342	0.244
B.H.Masuah	0.206	1.1	0.565
M.CB61300	0.437	1.13	0.677
H.T.Cuouxhob	0.75	0.427	0.768
M.A.Muxareb	0.835	0.713	0.81
H.G.Cauhukob	0.983	1.73	1.56
Từ Thường Thiện	0.306	0.232	0.29
Học viện Thành đô	3.00	0.398	2.68
E.B.Fremheba	3.24	0.507	2.82
Trần Xuân Đình	0.184	0.67	0.37
Riediger	1.27	5.56	2.99
PuFu	0.47	0.404	0.455
A.T.Fampauseb	0.707	0.70	0.7

Dưới đây là tài liệu thí nghiệm trên mô hình, bảng 3.5.

Bảng 3.5. Số liệu thí nghiệm mô hình

	$N_0=$	q (l/s)	h (cm)	H_h (cm)	d (cm)	T (cm)	Ghi chú
Số liệu mô hình	1	53,8	242,5	10,0	0,5	36,3	TN trên mô hình mặt cắt, mũi phun, tron nhãn, góc phun 20°, vật liệu xói rời cát d = 5mm, $\lambda_L=80$
	2	73,5	242,0	15,0	0,5	42,5	
	3	84,6	234,0	18,75	0,5	60,4	
	4	53,8	242,5	7,5	0,5	36,5	
	5	20,7	23,75	8,75	0,6	12,5	
	6	77,6	31,25	13,25	0,6	22,0	Thực hiện trên mô hình mặt cắt, mũi phun, tron nhãn, góc phun 30°, vật liệu xói là sỏi d=6mm, $\lambda_L=50$
	7	33,4	79,4	7,0	0,6	23,0	Mô hình tổng thể $\lambda_L=100$, mũi phóng tron nhãn, góc hắt 22°, vật liệu xói là sỏi sùn d=4~10mm
	8	66,6	80,5	9,35	0,6	33,4	
	9	121,0	76,4	19,10	2,79	36,5	Mô hình mặt cắt $\lambda_L=38,33$, răng so le, góc hắt 30°, d=2,8cm
	10	100,0	66,06	16,76	2,5	44,0	Mô hình tổng thể $\lambda_L=50$, tràn đập vòm mó phun hình thang, góc hắt 30°, vật liệu xói d=2,5cm
	11	79,1	67,0	14,20	2,5	36,5	
	12	49,2	217,5	20,3	8,13	39,5	Mô hình mặt cắt, $\lambda_L=40$, tràn trào đỉnh nhà máy, mũi phun tron nhãn, góc hắt 22°, viên xói đá: 3x5x9cm
	13	121,0	223,0	29,5	8,13	35,5	
	14	211,0	232,0	45,3	8,13	63,8	
	15	142,0	81,6	46,7	6,0	59,7	Mô hình mặt cắt, $\lambda_L=75$, tràn qua đỉnh nhà máy, mũi phun tron nhãn, vật liệu xói sỏi d=6cm
	16	182,0	81,7	50,1	6,0	66,7	
	17	39,4	57,5	21,2	2,8	26,2	Mô hình mặt cắt, $\lambda_L=200$, răng so le, góc phun 30°, d=2,8cm
	18	47,3	66,4	21,6	2,8	26,4	

Trong khi tính toán thiết kế ngoài việc ước tính chiều sâu xói còn cần phải tính vị trí hồ xói của dòng phun, bằng cách xác định chiều dài phun xa.

2. Chiều dài dòng phun

Dưới đây giới thiệu công thức tính chiều dài phun xa. Chiều dài phun xa thông thường dựa vào lý thuyết vật bắn ra (lý thuyết đường đạn đi). Nếu như lưới nước đi vào lớp nước đệm vẫn chuyển động theo quỹ đạo đường đạn đi thì khoảng cách nằm ngang từ cuối mũi phun đến điểm xói sâu nhất L được diễn tả là:

$$L = \varphi_1^2 Z_c \sin 2\theta \left(1 + \sqrt{1 + \frac{y + T}{\varphi_1^2 \sin^2 \theta Z_c}} \right) \quad (3.8)$$

Trong đó:

θ - góc hắt của mũi phun (°)

Z_c - độ chênh cao từ mặt nước thượng lưu đến đỉnh mũi phun (m)

T - chiều sâu xói lớn nhất (m)

Thực tế chứng minh giá trị tính chiều dài dòng phun theo lý thuyết so với giá trị

thực đo có một số sai khác nhất định. Để cho việc tính toán càng phù hợp thực tế ở các nước nhiều tác giả bắt tay từ phương pháp thực nghiệm dựa trên cơ sở lý thuyết và kinh nghiệm, đưa ra một số công thức tính toán theo kinh nghiệm.

Trong quy phạm của ta dùng công thức của Liên Xô cũ

$$L_p = \frac{\varphi v^2 \sin \beta \cos \beta + v \cos \beta \sqrt{v^2 \sin^2 \beta + 2g(p+h)}}{g} \quad (3.9)$$

Trong đó:

β - góc hất của mũi phun

v - lưu tốc tại mũi phun

h - độ sâu trên mũi phun

p - chênh lệch từ mũi phun đến mặt nước hạ lưu.

ở Trung Quốc cũng có nhiều đơn vị và cá nhân nghiên cứu đề xuất công thức thực nghiệm tính chiều dài phun xa, như: Viện nghiên cứu Thủy lợi Tây Bắc, Viện nghiên cứu Khoa học Thủy lợi tỉnh An Huy...

Một số công thức thực nghiệm được thống kê trong bảng 3.6.

Bảng 3.6. Tính chiều dài dòng phun

T	Tác giả	Biểu thức tính toán L	Ghi chú
1	Viện thiết kế Trường Sa	$L = \left(\frac{0,935 + 0,024\theta - \frac{Z_c}{Z}}{0,007 + 0,25} \right) Z_c$ <p>phạm vi ứng dụng: $0,5 \leq \frac{Z_c}{Z} \leq 0,90$ $15^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$</p>	θ - góc mũi hất ($^\circ$) Z_c - đầu nước tính từ mặt nước thượng lưu đến cuối mũi hất (m) Z - cột nước từ thượng lưu đến điểm tính chiều dài dòng phun (bao gồm cột nước v tiến gần)
2	Viện Khoa học Thủy lợi Tây Bắc	<p>1. Khi $5 \geq R\theta \geq 1$</p> $L_{\min} = q^{2/3} \frac{0,04R\theta + 0,1}{0,026R\theta + 0,065 \frac{Z'}{P_f}} F_r^{4/5}$ <p>2. Khi $10 \geq R\theta \geq 5$</p> $L_{\min} = q^{2/3} \frac{0,07R\theta - 0,2}{0,05R\theta - 0,1 + \frac{Z'}{P_f}} F_r^{3/4}$ <p>3. Khi $15 \geq R\theta \geq 10$</p> $L_{\min} = q^{2/3} \frac{0,093R\theta - 0,6}{0,06R\theta - 0,4 + \frac{Z'}{P_f}} F_r^{2/3}$ <p>Ghi chú: P_f - cao độ của đập tràn (m)</p>	θ - góc mũi hất (rad) $F_r^2 = \frac{v_c^2}{gh_c}$ - giá trị F_r^2 ở cuối mũi hất. $h'_c = \eta \frac{0,886q}{\sqrt{2gZ'}}$ $h_c = h' \cos \theta$ - độ sâu dòng chảy vuông góc với mũi hất (m) $\eta = \frac{1}{1 - 0,015R\theta}$ L_{\min} - khoảng cách mép trong của lưỡi nước (m)

		<p>q- lưu lượng đơn vị (m³/s.m) h- cột nước trên đỉnh tràn (m)</p>	<p>R - bán kính cong của mũi hắt (m) Z'- chênh cao từ đỉnh đập đến đỉnh mũi hắt (m)</p>
3	<p>Chương Phúc Nghĩa</p>	$L = 6 \sin \theta \sqrt{Z(P+T)}$	<p>T- chiều sâu xói lớn nhất tức là từ mặt nước hạ lưu đến đáy của hố xói (m) Z- chênh lệch mực nước thượng và hạ lưu (m) P- chênh lệch độ cao từ mũi hắt đến mặt nước hạ lưu (m) θ - góc mũi hắt (°)</p>
4	<p>E.A.El eva Toroki</p>	$L = 1,9Z_c \sin 2\theta$	<p>θ - góc mũi hắt (°) Z_c - chênh lệch độ cao từ đỉnh mũi hắt đến mặt nước thượng lưu (m)</p>
5	<p>Viện Khoa học Thủy lợi An Huy</p>	$L = k \frac{v_c^2 \sin \theta \cos \theta + v_c \cos \theta \sqrt{v_c^2 \sin \theta + 2gp}}{g}$ <p>k = L thực đo/L lý thuyết</p> <p>1. Khi dòng 2 pha thì k = 0,92</p> <p>2. Khi dòng phun khuếch tán ở cửa ra máng tháo nước</p> $k = 1,05 \left(\frac{\sqrt{gZp}}{q} \right)^{0,105}$ <p>khi $\frac{\sqrt{gZp}}{q} \geq 1$ thì k > 1</p> <p>3. Khi dòng phun là máng treo:</p> $k = 0,78 \left(\frac{\sqrt{gZp}}{q} \right)^{0,075}$ <p>khi $\frac{\sqrt{gZp}}{q} \geq 1,3$ thì k > 1</p> <p>$\frac{\sqrt{gZp}}{q} \leq 1,3$ thì k ≤ 1</p>	<p>k - hệ số hiệu chỉnh p - chênh lệch độ cao từ mũi phun đến mặt nước hạ lưu (m) g - gia tốc trọng trường (m/s²) Z- chênh lệch mực nước thượng hạ lưu (m) v_c - vận tốc trung bình cuối mũi hắt (m/s) H_c - cột nước trên mũi hắt (m) θ - góc hắt (°)</p> <p>Phạm vi ứng dụng cho 3 trường hợp bên:</p> <ol style="list-style-type: none"> $\frac{v_c^2}{gh_c} = 9,15 - 27,2$ $\frac{v_c^2}{gh_c} = 12 \sim 58$ $\frac{v_c^2}{gh_c} = 13 \sim 47$

Dưới đây là số liệu so sánh tính theo các công thức và chiều dài thực đo ngoài hiện trường.

Bảng 3.7. Chiều dài dòng phun theo tính toán và thực đo

Tên công trình	Tình hình xả lũ thực tế			L phun thực đo (m)	Chiều dài phun tính toán (m)					
	Năm qua n trác	Chênh cột nước thượng hạ lưu (m)	Đơn vị lưu lượng trên mũi phun (m ³ /s.m)		Công thức (1)	CT (2)	CT (3)	CT (4)	Theo CT đạn đạo	
					Viện Trườn g Sa	Việ n Tây Bắc	Chươ ng Phúc Nghĩ a	Eleva Torok i	Xem ghi chú ở dưới	Xem ghi chú ở dưới
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
Thạch Khê	1970	67,05	84,8	133	138,8	81,4	133,2	98,8	133,6	135,5
Phong Mãn	1953	64,96	38,2	110	122	-	98	96,7	102,2	106,0
Song Hàn	1961	45,9	34,59	80	78,2	39,8	82,8	46,0	77,7	80,3
Miếu Thủy Phủ	1964	21,95	17,75	43	41,2	32,6	52	20,5	44,4	46,0
Hằng Nhân	1973	57,25	48,3	94	93,5	-	118	55,8	96,5	96,5
Sông Thượng du	1961	45,68	46,1	80	86,6	-	84,5	55,5	83,7	83,1

Ghi chú: Cột 10 và 11 tính chiều dài phun xa theo công thức đạn đạo; Hệ số lưu tốc φ_1 tại mặt cắt mũi phun: ở cột 10 tính theo công thức của Từ Canh Hằng; ở cột 11 tính theo công thức của Viện thủy điện Hồ Nam (xem bảng 3.1).

§III.5. ÁP LỰC MẠCH ĐỘNG Ở VÙNG DÒNG CHẢY RỐI MẠNH

áp lực mạch động trong vùng chảy rối mạnh được hình thành từ nước nhảy hoặc dòng phân ly, có liên quan tới rung động và ổn định của tường hướng dòng và tấm đáy trong bể tiêu năng và cũng có quan hệ tới lực động của đá trong hồ xói và trạng thái khí hoá tức thời trong tách dòng. Trong vùng chảy rối mạnh bởi vì dòng rối phát triển đầy đủ, nguồn áp lực mạch động do tác dụng chính sự “rối động - rối động” gây ra.

$$\text{Do đó} \quad \nabla^2 p' \sim \frac{\partial^2 u_i u_j'}{\partial x_i \partial x_j} \quad (3.10)$$

Tức là cường độ của áp lực mạch động có liên quan tới cường độ rối, W.Heisenberg và một số tác giả từ giả thiết các hướng đều đồng tính rút ra:

$$\sqrt{p'} = \lambda \rho u^2 \quad (3.11)$$

Trong đó giá trị λ theo thực nghiệm của các tác giả có khác nhau, khoảng từ 0.6÷0.7. Thực tế trong vùng dòng rối mạnh, cũng có thể ước tính cường độ rối và áp lực mạch động.

I. Áp lực mạch động ở đáy vùng nước nhảy

áp lực mạch động ở đáy khu nước nhảy là do sự chuyển động tùy cơ của các xoáy nước mạnh trong khu nước nhảy tạo nên, trị số căn quân phương của áp lực mạch động trong khu nước nhảy chính là hàm số của số Fr, độ ngập η và khoảng cách x theo trục tung (vấn đề dòng chảy hai chiều), nên:

$$k_p' = \frac{\sqrt{p'}}{\frac{1}{2} \rho u_1^2} = f\left(\text{Fr}; \eta; \frac{x}{h_1}\right) \quad (3.12)$$

Trong đó:

k_p' - Hệ số cường độ áp lực mạch động,

Fr - số Frút trước nước nhảy, $\text{Fr} = \frac{u_1}{\sqrt{gh_1}}$,

u_1 - Lưu tốc trung bình thời gian trước nước nhảy,

g - Gia tốc trọng lực,

η - Độ ngập, $\eta = h_2/h_1$,

h_2 - Chiều sâu nước đuôi hạ lưu (khi nước nhảy tự do thì h_2 là chiều sâu thứ 2 của nước nhảy).

Hình 3.10 là kết quả thí nghiệm số k_p' của nước nhảy tự do (nước nhảy hoàn chỉnh) và nước nhảy ngập của Va-li-ép và LátKe; bảng 3.8 là kết quả thí nghiệm trong khu nước nhảy của áp Đu Han. Từ các kết quả ấy cho thấy, trị số k_p' ở đáy nước nhảy tự do so với nước nhảy ngập là lớn hơn, có xu thế tăng lên khi Fr tăng lên.

Bảng 3.8. Tham số thống kê áp lực mạch động vùng nước nhảy

Số Fr mặt cắt trước nước nhảy	Hệ số cường độ mạch động áp lực	Mô men trung tâm bậc ba	Mô men trung tâm bậc bốn
Fr ₁	$k_p' = \frac{\sigma}{1/2} \rho u_1^2$	μ_s/σ^2	μ_s/σ^2
4.7	0.080	0.41	4.71
5.9	0.082	0.38	4.41
6.6	0.085	0.38	4.58

Ghi chú:

Mô men trung tâm bậc 2:
$$\mu_2 = \sigma^2 = \sqrt{p'^2} = \int_0^{\infty} p(u)u^2 du \quad (3.14)$$

Mô men trung tâm bậc 3:
$$\mu_3 = \int_0^{\infty} p(u)u^3 du \quad (3.15)$$

Mô men trung tâm bậc 4:
$$\mu_4 = \int_0^{\infty} p(u)u^4 du \quad (3.16)$$

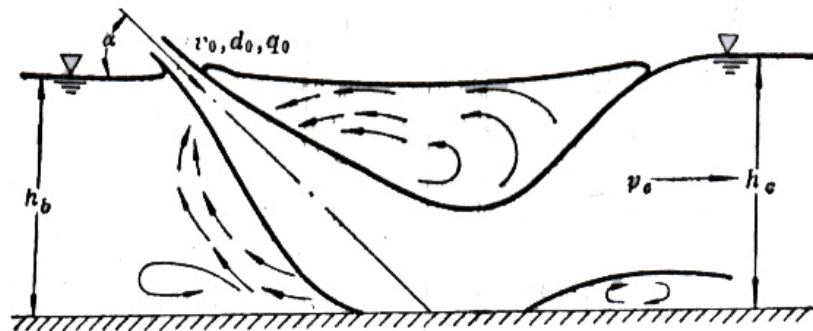
[$P(u)$ là hàm số mật độ xác suất].

Mật độ phổ của áp lực mạch động ở đáy khu nước nhảy như hình 2.14. Kích thước không gian của nó còn chưa có tài liệu thực nghiệm tương đối hoàn chỉnh.

II. Áp lực mạch động ở đáy hố xói sau dòng phun khuếch tán

Lưỡi nước của dòng phun sau khi đổ vào lớp nước đệm, do nhiễu động khuếch tán ở đáy gây ra áp lực mạch động, đề cập tới kết cấu nội bộ dòng chảy trong hố xói với sự phát triển và ổn định.

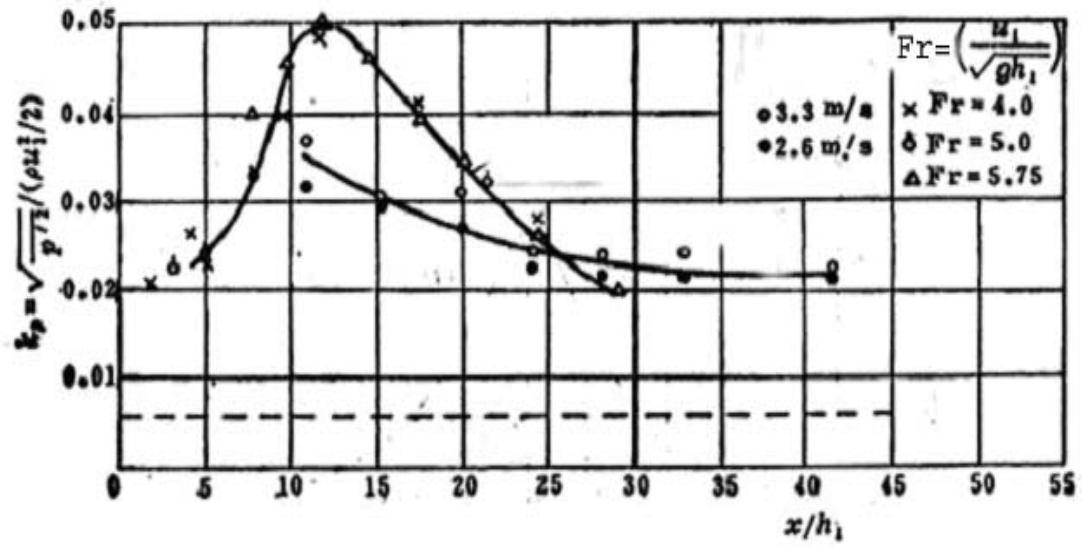
Trước mắt tài liệu nghiên cứu về mặt này còn ít. tác giả An Vân Châu -Nhật Bản kết hợp đỉnh tràn đập vòm (thí nghiệm máng kính) đã tiến hành nghiên cứu lưỡi nước tự do rơi xuống lớp nước đệm hạ lưu của lòng sông gây ra áp lực thủy động (bao gồm trị số bình quân theo thời gian và trị số mạch động) kết cấu dòng chảy của thí nghiệm này như hình 3.10.



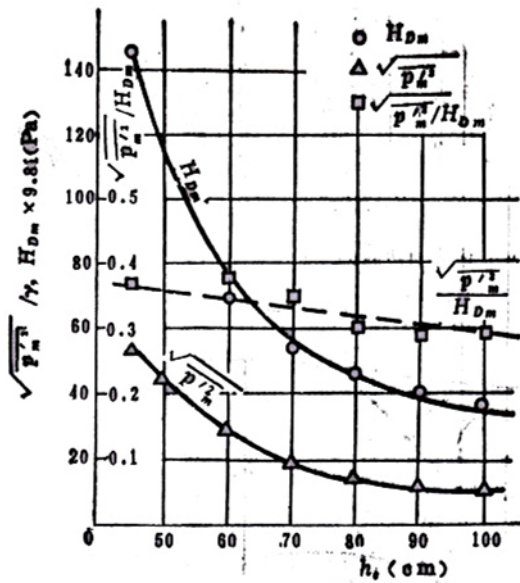
Hình 3.10. Sơ đồ khuếch tán dòng phun trong hố xói

Kết quả điển hình của thí nghiệm rút ra như sau:

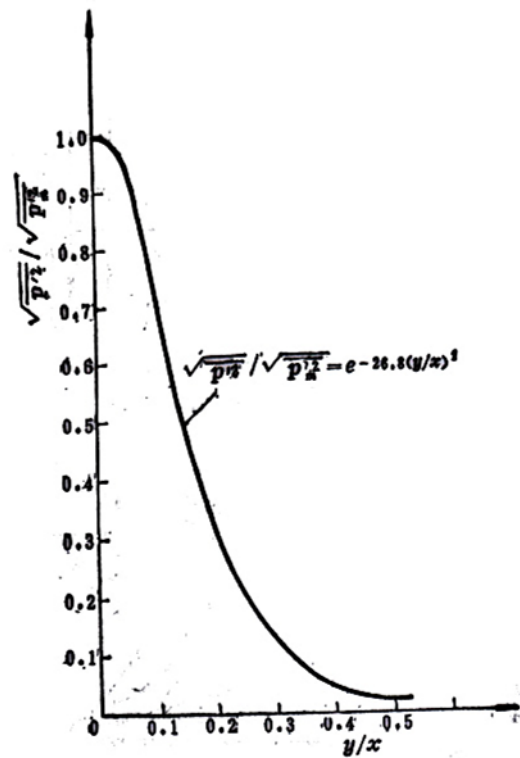
- (1). Đặc tính cường độ mạch động trong khu dòng phun ở đáy lòng sông như hình 3.11; hình 3.12 và hình 3.13.
- (2). Mật độ phổ như hình 3.14.
- (3). Kích thước không gian của mạch động áp lực như hình 3.15.



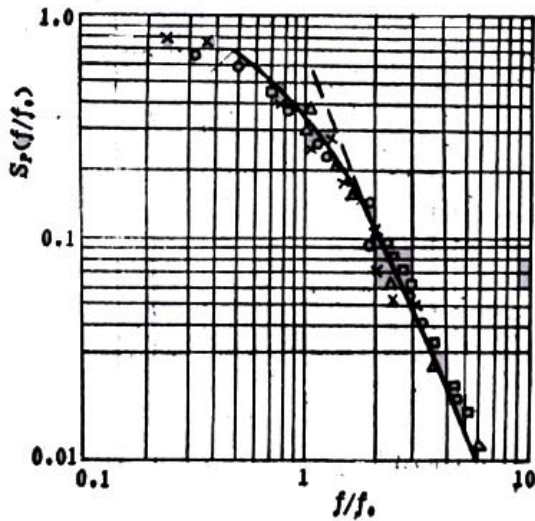
Hình 3.11. Giá trị áp lực thủy động bình quân thời gian và mạch động cường độ phân bố dọc theo đáy hố xói



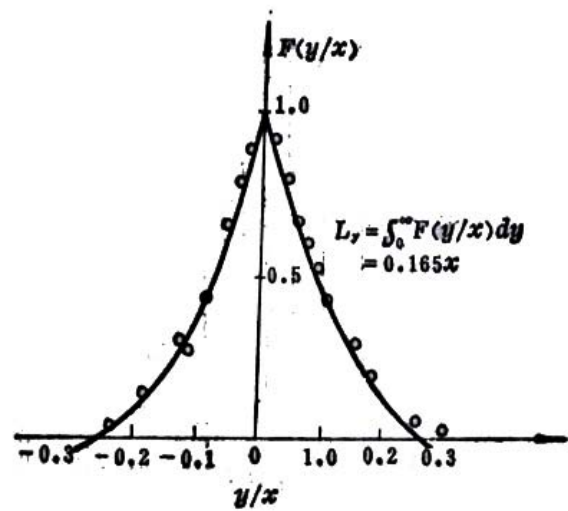
Hình 3.12. Tỷ số cường độ mạch động và áp lực thủy động bình quân ở đáy hố xói có quan hệ với mực nước ở phía sau



Hình 3.13. Phân bố áp lực mạch động dọc theo chiều dài hố xói



Hình 3.14. Mật độ tần số phổ của áp lực mạch động ở đáy hố xói



Hình 3.15. Tương quan và kích thước không gian của áp lực mạch động ở đáy hố xói

§III.6. PHƯƠNG PHÁP MÔ HÌNH HÓA VẬT LIỆU XÓI NỀN ĐÁ

Tuy đã có nhiều công thức tính chiều sâu xói đối với dạng tiêu năng dòng phun, nhưng đối với hình thức mũi hất phức tạp thì hình dạng, vị trí hố xói, khó xác định chính xác bằng lý thuyết. Vì vậy, công trình tháo lũ lớn đều phải tiến hành thí nghiệm. Trong mô hình tuân thủ tương tự hình học để chế tạo mô phỏng các công trình tháo nước, còn dòng chảy tuân theo luật tương tự về trọng lực, ngoại trừ vấn đề hàm khí không có cách mô hình hoá được vì chịu ảnh hưởng của tỷ lệ thu nhỏ. Đối với nền đá phương pháp mô hình hoá đến nay vẫn là một đề tài khó.

Như ta đã biết nền đá trong tự nhiên được hình thành do nhiều nguyên nhân khác nhau, bao gồm các thành phần khoáng chất khác nhau, lại kinh qua nhiều niên đại địa chất, kinh qua vận động kiến tạo địa chất rồi hình thành địa chất cực kỳ phức tạp, có chỗ vết nứt nhỏ thưa, cơ bản giữ được kết cấu chỉnh thể, có chỗ thì khe nứt không hoàn toàn xuyên qua hết hình thành kết cấu bán chỉnh thể, có chỗ lại nằm vào nếp gãy giao nhau hoặc khu vực chuyển động cấu tạo mãnh liệt, hình thành kết cấu viên rời rạc. Khoảng cách giữa các vết nứt chỉ có ý nghĩa thống kê, trên thực tế là phân bố ngẫu nhiên, chỉ dựa vào kết quả quan trắc bề mặt và tài liệu một số lỗ khoan thì không thể có cách nào chế tạo thu nhỏ ở trong phòng thí nghiệm được, vì thế lực tác động của nước truyền trong các khe nứt và quá trình phân giải của đá cũng không thể có cách nào diễn lại trong mô hình.

Để phản ánh đặc tính chống xói một cách gần đúng trong mô hình, nhiều nhà nghiên cứu thủy lực về nền đá đã nêu ra hai cách giản hoá:

Một là giả thiết nền đá là do các tảng đá rời cấu thành, dùng phương pháp thống kê kích thước để chọn mẫu cho vật liệu xói. Rồi trong mô hình dựa theo kích thước hình học có thể thu nhỏ theo tỷ lệ của mô hình (λ_L).

Thứ hai là giả thiết nền đá có năng lực chống xói để dùng vận tốc chống

xói làm đặc trung, từ đó tính ra vận tốc chống xói cho mô hình để chọn vật liệu thích hợp.

Hai phương pháp này đều dựa vào khe nứt dòng thừa, cường độ của đá, mức độ dính kết, tham khảo kinh nghiệm đã thành công của công trình để đưa ra phán đoán. Xác định kích thước của đá hoặc lưu tốc chống xói cho phép, trước mắt đều chưa có một phương pháp nghiêm khắc để tuân thủ. Nếu kích thước của phiến đá hoặc lưu tốc chống xói cho phép chọn được thoả đáng thì chiều sâu xói trong mô hình có thể gần tương tự với nguyên hình.

Vật liệu xói của mô hình có 3 loại: vật liệu xói rời, vật liệu dạng phiến và vật liệu dính kết.

I. Tương tự vật liệu rời

Sử dụng vật liệu xói rời thay cho nền đá đã được áp dụng rất sớm, là một phương pháp được áp dụng rộng rãi. Nói chung dựa vào nguyên tắc có thể tính bằng nhau để thu nhỏ cho mô hình hoặc theo vận tốc xói cho phép của đá để tính ra vận tốc chống xói cho phép trong mô hình và nên dùng công thức dưới đây để chọn đường kính hạt cho vật liệu rời:

$$v = (5 \div 7)\sqrt{d} \quad (3.17)$$

Trong đó:

v- Lưu tốc (m/s)

d- Đường kính hạt (m)

Biểu thức (3.17) đối với xói nền đá lòng sông rộng hoặc định tính chọn hiệu quả tiêu năng của các biện pháp tiêu năng phụ hoặc mố phun được áp dụng tương đối phổ biến.

Vào thập kỷ 50 của thế kỷ trước, Rigunski ở Liên Xô đã đưa ra phương pháp mô hình hoá nền đá tự nhiên theo hình dạng hình học của phiến đá, và trong mô hình dựa theo nguyên dạng của đá xếp theo trong phạm vi xói của mô hình. Gần đây ở Nga cũng như ở Trung Quốc có nhiều nơi đã áp dụng. ở Việt Nam chúng ta đã áp dụng vào một số mô hình, như: tràn thủy điện Sông Hinh, hồ tiêu năng sau dốc nước tràn thủy điện Yaly được thực hiện tại Viện Khoa học Thủy lợi và Viện Năng lượng. Nhưng chế tạo kết cấu đá theo dạng phiến và xếp vào mô hình là một việc lao động vất vả, cần tính kiên trì. Khi kích thước phiến nhỏ, theo nguyên dạng để xếp hoặc xếp tùy ý thì kết quả thí nghiệm không có sự khác biệt rõ rệt. Dùng kết cấu phiến làm vật liệu xói thì mái hố xói dốc hơn so với vật liệu bằng đá rời. Khi kích thước phiến tương đối lớn thì mái biên của nó so với mái bờ đá sai số về góc mái tương đối nhỏ.

II. Tương tự vật liệu xói dính

Trường hợp cần mô hình hoá xói lòng sông và mái bờ thì có thể dùng vật liệu dính làm vật liệu xói cho mô hình. Cấp phối của vật liệu có thể dùng thí nghiệm xác định lưu tốc khởi động ở trong máng để lựa chọn. Nhược điểm của phương pháp này là công nghệ chế tạo phức tạp, nhân công lao động lớn.

Xói nền đá tiêu năng theo dạng dòng phun là một vấn đề quan trọng trong nghiên cứu công trình thủy công, nên có thể nói phương pháp tính toán hay phương pháp mô hình hoá còn chưa được thành thực, đặc biệt là vấn đề ảnh hưởng hàm khí đến xói và

quy luật chuyển động của lực nước nên đá và lớp đá bị quá trình phân giải như thế nào đều cần được nghiên cứu thêm, điều này sẽ cùng các môn khoa học có liên quan thông qua tài liệu thực tế quan trắc để phân tích. Gần đây một số nhà nghiên cứu ở nhiều nước đã vận dụng lý thuyết mô hình địa chất, sử dụng một số chỉ tiêu cơ lý của đá để chế tạo vật liệu xói, thành phần vật liệu xói chính chủ yếu dùng tổ hợp cấp phối các loại sau đây:

1. Đá xay + Cát + Thạch cao + Xi măng + Nước.
2. Đá xay + Cát + Bột sét + Bột sắt + Xi măng + Nước.
3. Đá + Cát + Thạch cao + Dầu nhờn + Xi măng + Nước.

Sử dụng loại tổ hợp vật liệu nào người nghiên cứu hiểu rõ tính chất cơ lý của loại nền đá mà ta mô hình hoá, một số chỉ tiêu cơ lý chủ yếu như ứng suất nén σ_n , dung trọng γ , mô đun đàn tính E, góc xếp, kích thước hình học ... là các yếu tố cần đề cập trong việc mô hình hoá.

Dưới đây sẽ trình bày một ví dụ thiết kế vật liệu xói.

§III.7. VÍ DỤ THIẾT KẾ VẬT LIỆU NỀN ĐÁ Ở MÔ HÌNH

I. Tài liệu cơ bản công trình

Đập tràn xả lũ có đầu nước là 65,0m; lưu lượng đơn vị $q = 210 \text{ m}^2/\text{s.m}$, đập tràn được thiết kế theo dạng WES có mũi hắt $\beta=25^\circ$. Nền đá sau tràn là đá bazan pócfirit và riolit đới diabaz gồm 4 loại:

+ Trên mặt lòng sông là lớp bồi tích Aluvi, kí hiệu aQ, thành phần chủ yếu là cát cuội sỏi dày 3~5m.

+ Dưới lớp Aluvi là lớp i_B bị phong hoá mạnh, kích thước của đá là: 0,12mx0,15mx0,20m có chiều dày 3~4m; dưới móng công trình lớp này được bóc đi, nhưng ở hạ lưu thì để dòng chảy tự xói trôi.

+ Tiếp theo là lớp II_A phong hoá nhẹ, đá có dung trọng $\rho=2,85\div 2,93\text{g/cm}^3$ đá có kích thước là: 0,35mx0,35mx0,4m÷0,4mx0,45mx0,6m

Ngoài ra còn lớp đá phân phiến dung trọng $\rho=2,70\div 2,72\text{g/cm}^3$ và kích thước phân phiến nhỏ hơn: 0,35mx0,20mx0,40m.

II. Chế tạo vật liệu xói rời ở mô hình

Với các loại kích thước của đá nêu trên tính chuyển sang kích cỡ đá cho mô hình xói vật liệu rời có đường kính quy đổi: $d_m=0,91\sim 1,18\text{cm}$ và $0,7\sim 0,8\text{cm}$.

Với tỷ lệ mô hình đã chọn $\lambda_L=50$ nên kích thước đá dùng cho mô hình là loại đá xay nghiền bằng máy có kích thước: $d=5\text{mm}\sim 10\text{mm}$.

Để gia công vật liệu xói rời cần sử dụng hai loại sàng tiêu chuẩn:

+ Sàng có mắt sàng $d=10\text{mm}$

+ Sàng có mắt sàng $d=7\text{mm}$.

Sau khi sàng sẽ dùng loại đá lọt qua sàng d_{10} và nằm trên sàng d_7 dùng vào làm vật liệu xói. Về loại đá dùng loại đá xanh có tỷ trọng xấp xỉ tỷ trọng của đá nguyên dạng $\gamma=2,65 \text{ T/m}^3$.

1. Thí nghiệm phụ trợ để xác định vật liệu xói rời

Về vật liệu xói rời cần các thí nghiệm phụ trợ là:

+ Xác định dung trọng của đá làm vật liệu xói trong mô hình:

Dùng một thùng tôn có thể tích 50 lít để làm thí nghiệm. Trước tiên cân trọng lượng của đá đổ đầy thùng 50 lít là G (gam), rồi dùng biểu thức sau để tính:

$$\rho = \frac{G(\text{gam})}{v} \quad (\text{g/cm}^3) \quad (3.18)$$

Trong đó:

v- là thể tích 50 dm³ hay 50.000cm³.

ρ - dung trọng của đá.

G - tổng trọng lượng của 50dm³ đá.

Thùng này còn có tác dụng xác định độ rỗng của đá bằng cách:

+ Đổ đá vào thùng rồi dùng thước phẳng gạt ngang miệng thùng.

+ Đem nước đổ vào trong thùng đầy ngang miệng thùng.

+ Dùng vòi vặn cho nước tháo ra đồng lấy dung tích nước tức là biết thể tích nước đã choán chỗ các khe rỗng của đá ở trong thùng là M dm³.

+ Dùng biểu thức sau tính ra độ rỗng của đá:

$$\varepsilon = \frac{m}{v} < 1,0 \quad (3.19)$$

nếu tính chuyển ra hệ số rỗng n ta có:

$$n = \frac{m}{v} \cdot 100\% \quad (3.20)$$

Chúng ta đã biết độ rỗng khe nứt của đá trong tầng nham thạch thường chỉ từ 5÷8%, nhưng độ rỗng của đá rời đạt tới 32÷40%. Sự sai khác này ảnh hưởng tới chiều sâu hố xói. Một số thí nghiệm mô hình thí nghiệm vật liệu xói rời theo cách đổ đá và phương pháp cắt viên rời cho kết quả là chiều sâu xói bằng vật liệu đá rời so với phương pháp cắt viên là 12÷15%. Ngoài ra vật liệu xói bằng đá mác hố xói không gần với thực tế bởi vì phụ thuộc vào góc nghiêng của đá. Mác soãi của đá rời cũng lớn hơn mác soãi của loại đá cắt viên. Khối lượng gia công đá phụ thuộc vào kích thước ước tính của phạm vi hố xói theo tỷ lệ của mô hình mà xác định:

$$\lambda_\gamma = \frac{\gamma_n}{\gamma_m} = 1 \quad (3.21)$$

Tương tự về ứng suất σ và τ :

$$\sigma_n = \lambda_\sigma \cdot \sigma_m \quad \text{và} \quad \tau_n = \lambda_\sigma \cdot \tau_m \quad (3.22)$$

Trong đó: $\lambda_\sigma = \lambda_\gamma \cdot \lambda_L$

Nếu chọn được loại vật liệu làm vật liệu xói cho mô hình có dung trọng tương đương dung trọng của đá nguyên thể thì:

$$\lambda_\sigma = 1 \cdot \lambda_L (\lambda_\gamma = 1) \quad (3.23)$$

III. Chế tạo vật liệu xói dính ở mô hình

(Trích từ tài liệu tham khảo 4).

Đối với lớp II_A có chỉ tiêu cơ lý để thiết kế vật liệu xói dính cho mô hình.

+ Về kích thước hình học:

$$L \times b \times h = 0,35\text{m} \times 0,35\text{m} \times 0,40\text{m} \text{ và } \rho = 2,85\text{g/cm}^3.$$

Tính quy đổi ra thể tích tương đương với $d_N = 0,45\text{m}$

+ Về ứng suất nén: $\sigma_N = 30 \sim 50\text{MPa}$.

+ Về mô đun đàn tính: $E_N = 3000 \sim 5000\text{MPa}$.

+ $\mu = 0,22$, $\text{tg}\varphi = 0,70$, $C = 0,20\text{MPa}$.

Từ chỉ tiêu cơ lý của đá nguyên thể theo tỷ lệ mô hình λ_L tính ra chỉ tiêu cơ lý cho loại vật liệu xói dính trong mô hình.

Ví dụ: tỷ lệ mô hình chọn là $\lambda_L = 50$ thì:

+ Kích thước của đá trong mô hình chọn loại có dung trọng $\rho = 2,85\text{g/cm}^3$ và đường kính hạt:

$$d_m = \frac{d_N}{\lambda_L} = 9,1\text{mm}$$

+ ứng suất nén tạm thời của mẫu vật liệu xói dính:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_N}{\lambda_\sigma} = \frac{50\text{MPa}}{50} = 1,0\text{MPa}$$

+ Môđuy đàn hồi của mẫu vật liệu:

$$E_m = \frac{E_N}{\lambda_E} = \frac{E_N}{\lambda_L} = \frac{4000\text{MPa}}{50} = 80\text{MPa}$$

Dựa vào các chỉ tiêu cơ lý đã tính cho vật liệu của mô hình để chọn đá, cát, nước, xi măng và chất dính kết phụ cho thích hợp, từ vật liệu đã chọn đưa ra một số tỷ lệ cấp phối để đúc mẫu thí nghiệm thử mẫu.

Sau khi đúc mẫu thí nghiệm chọn tổ hợp cấp phối gần với các chỉ tiêu cơ lý đã tính cho mô hình ở trên rồi đưa vào để gia công vữa làm vật liệu xói dính của mô hình vật liệu xói trong mô hình sau khi đắp vào mô hình phải chờ sau 12 giờ đến 18 giờ là thời gian mẫu có ứng suất ổn định để tiến hành thí nghiệm.

Nhóm nghiên cứu đã chọn cấp phối như bảng 3.9 và 3.11 dưới đây:

Bảng 3.9. Cấp phối vật liệu dính

TT	Cát	Thạch cao	Xi măng	Cuội sỏi	Nước	Ghi chú
1	50	3	1	8	Vừa phải	Lượng nước vừa phải là đủ dính thành máng trộn
2	50	3	1	12	Vừa phải	
3	35	3	1	15	Vừa phải	
4	50	3	1	15	Vừa phải	
5	65	3	1	15	Vừa phải	

Các loại mẫu trên đây kết quả thử nghiệm về chỉ tiêu cơ lý như trong

bảng 3.10.

Bảng 3.10. Chỉ tiêu cơ lý của vật liệu xói

Thời gian Nhóm	6 giờ	12 giờ	15 giờ	18 giờ	24 giờ	30 giờ	36 giờ	48 giờ
1	0,82	1,12	1,45	1,39	1,15	1,02	0,83	0,85
2	0,86	1,11	1,26	1,21	1,04	0,97	0,86	0,95
3	0,90	1,09	1,12	1,06	1,03	0,98	0,93	1,09
4	1,02	1,38	1,59	1,40	1,31	1,30	1,17	1,34
5	0,47	0,73	0,97	0,84	0,69	0,66	0,78	0,70

Bảng 3.11. Cấp phối vật liệu dính

T T	Đá xay	Cát Vàng	Thạch cao	Xi Măng	Bột Sắt	Nước	ρ kg/cm ³	σ
1	0,40	0,30	0,060	0,010	0,07	0,14	2,93	0,995
2	0,39	0,25	0,060	0,015	0,06	0,16	2,89	1,08
3	0,35	0,25	0,060	0,010	0,05	0,15	2,86	0,89

Từ kết quả thử nghiệm mẫu vật liệu, dựa vào đó để xác định mẫu vật liệu nào có thể thích hợp hơn cả.

Trên đây chỉ là ví dụ để giúp cho người nghiên cứu tham khảo, có trường hợp không sử dụng thạch cao mà lại cần thay thế bằng bột sét mới đạt được yêu cầu.

IV. Nhận xét

1. Qua nghiên cứu thí nghiệm nhiều mô hình thí nghiệm xói nền chúng tôi đã rút ra một số nguyên tắc chung sau:

+ Khái quát hoá chứ không cần phức chế một cách phức tạp hiện tượng tự nhiên, giản hoá các hiện tượng của nguyên hình nhưng phải thể hiện được đặc tính, bản chất của các lớp địa tầng, đây là một nhân tố quan trọng để tạo sự phá hoại hay xói lở gần với thực tế.

+ Mô hình được mô phỏng tương đối đầy đủ các tham số để thể hiện mặt phức tạp không liên tục của nguyên hình, về tính biến dạng lực học của khối nham thạch, dựa vào nguyên tắc này sẽ có được hệ số vượt tải ổn định của nền đá.

+ Mô phỏng điều kiện địa chất của mô hình là phải rõ ràng, do đó qua bước giản hoá không thể cho rằng mô phỏng càng phức tạp thì càng có thể giải quyết vấn đề mà phải qua thí nghiệm và phân tích nghiên cứu để giải quyết được mục đích chính của vấn đề, mà không nên phân biệt chính thứ đối với hiện tượng tự nhiên để tái tạo thì có khi cho kết quả thí nghiệm ngược lại.

2. Cấu tạo địa chất các lớp nham thạch của các công trình ở các vùng cũng khác nhau nhưng có thể quy thành 4 loại:

+ Loại nền đá khó xói: có cấu tạo dạng khối lớn, khe nứt không phát triển, đá rắn chắc: như đá hoa cương, đá granít (đá loại I).

+ Loại nền đá hơi khó xói: Cấu tạo dạng tảng to, khe nứt phát triển, nhiều chỗ còn rắn chắc, ít chỗ khe nứt có chất nhét như đá vôi, pócfiarit diabaze (loại II)

+ Loại nền đá dễ xói: cấu tạo dạng tảng vỡ, khe nứt phát triển và rõ ràng, một phần có chất nhét như sa thạch, đá vôi bị phong hoá (loại III).

+ Loại nền đá rất dễ xói: cấu tạo dạng phiến hoặc tảng vỡ, khe nứt phát triển mạnh, khe nứt lớn to đến 1~2 cm có đất cát nhét vào khe: như đá gan gà, sa thạch, phấn hồng (loại IV).

3. Trong thực tế khi giải quyết mô phỏng tương tự đối với các loại nền đá thứ tư (loại IV) có thể dùng vật liệu rời có kích thước tương đương với nguyên dạng của đá cộng thêm 30~35% cát để giảm bớt hệ số khe rỗng là sẽ cho kết quả thí nghiệm gần sát với thực tế. Để tăng thêm độ tin cậy nên dùng hai loại kích thước hạt có giới hạn trên và giới hạn dưới để thí nghiệm so sánh kết quả.

4. Đối với loại nền đá thứ II nên dùng tổ hợp vật liệu có chất dính kết để tái tạo song nên mô phỏng theo phân lớp, phân tầng của nền địa chất nguyên dạng bằng phương pháp cắt phân lớp và dùng bột sét thay thạch cao.

5. Đối với loại nền đá thứ I nên đúc viên đảm bảo dung trọng và theo kích thước mô phỏng các tầng nguyên dạng và đúng dung dịch của chất dính kết và xếp theo phương của cấu tạo nham thạch.

Với kinh nghiệm và các phương pháp đã nêu trên đây chúng tôi đã nghiên cứu thành công và sát với tình hình xói thực tế của các công trình đã xảy ra theo tần suất lũ thực tế xuất hiện và đã được kiểm nghiệm đối chiếu với kết quả trên mô hình.

Câu hỏi 1: Hãy nêu tóm tắt về tiêu năng dòng phun và xói hạ lưu?

Câu hỏi 2: Hãy nêu khái quát về các dạng mũi phun thường hay áp dụng trong thiết kế và xây dựng các công trình thủy lợi, thủy điện?

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Quy phạm tính toán thủy lực đập tràn (QP.TL.C-8-76) - Hà Nội, 1977.
 2. Nguyễn Văn Cung, Nguyễn Xuân Đăng, Ngô Trí Viêng - Công trình tháo lũ trong đầu mối hệ thống thủy lợi, NXB KH &KT - Hà Nội, 1977.
 3. P.G.KIXELEP và NNK - Sổ tay tính toán thủy lực, Lưu Công Đào, Nguyễn Tài dịch từ tiếng Nga, NXB Nông Nghiệp, 1984.
 4. Viện Năng lượng, Viện Khoa học Thủy lợi - Nghiên cứu thí nghiệm mô hình thủy lực hồ tiêu năng sau tràn vận hành thủy điện Hòa Bình - Hà Nội, 1999.
 5. Trần Quốc Thương, Báo cáo kết quả nghiên cứu mô hình thủy lực, thủy điện Bản Vẽ - Hà Nội, 2004.
 6. Trần Quốc Thương, Báo cáo kết quả nghiên cứu mô hình thủy lực, thủy điện Sê San 4 - Hà Nội, 2005.
 7. Trần Quốc Thương, Báo cáo kết quả nghiên cứu mô hình thủy lực tràn xả lũ Cửa Đạt - Hà Nội, 2005.
 8. Trần Quốc Thương, Thí nghiệm mô hình thủy lực công trình, NXB Xây Dựng - Hà Nội, 2005.
 9. Trần Quốc Thương, Báo cáo kết quả nghiên cứu mô hình thủy lực tràn xả lũ Kanak - Hà Nội, 2006.
 10. Nguyễn Đăng Giáp, Thí nghiệm mô hình thủy lực, thủy điện Tranh 2 - Hà Nội, 2006.
 11. Thí nghiệm mô hình thủy công (tiếng Trung), NXB thủy lợi điện lực Bắc Kinh, 1985.
 12. Thủy lực học công trình tập 2 (tiếng Trung), Trường Đại học Thủy lợi điện lực Vũ Hán, 1988.
 13. Sổ tay thiết kế thủy công (tiếng Trung), NXB thủy lợi điện lực Bắc Kinh, 1988.
 14. Hydraulic Design of Spillways, USArmy Corps of Engineers, 1990.
 15. Quy phạm thiết kế đập tràn SL 253-2000 (tiếng Trung), NXB thủy lợi điện lực Bắc Kinh, 2000.

ĐẬP TRÀN THỰC DỤNG

GIỚI THIỆU CHUNG:

I.

Tác giả 1:

1. Họ và tên: TRẦN QUỐC THƯỜNG
2. Ngày tháng năm sinh: 28 tháng 09 năm 1951
3. Học hàm, học vị: Phó giáo sư, tiến sĩ
4. Cơ quan công tác: Viện khoa học thủy lợi Việt Nam
5. Địa chỉ: số 5, ngõ 95, Chùa Bộc, Đống Đa, Hà Nội
6. Điện thoại: 0913237066, email: thuongtql@yahoo.com.vn



Tác giả 2:

1. Họ và tên: VŨ THANH TE
2. Ngày tháng năm sinh: 18/05/1952
3. Học hàm, học vị: Giáo sư, tiến sĩ
4. Cơ quan công tác: Trường Đại học Thủy lợi
5. Địa chỉ: P905, Tòa nhà JSC34, 164 Khuất Duy Tiến – Thanh Xuân – Hà Nội
6. Điện thoại: 0913.345.337, email: vuthanhte@wru.edu.vn



II. ĐỐI TƯỢNG SỬ DỤNG SÁCH:

Nghiên cứu sinh, học viên cao học, sinh viên đại học và các cán bộ làm công tác nghiên cứu khoa học, tư vấn thiết kế ngành xây dựng công trình thủy.

Từ khóa: Đập tràn thực dụng, đập tràn mặt cắt dạng WES.

Số lần xuất bản: 1

Nhà xuất bản: Xây dựng