

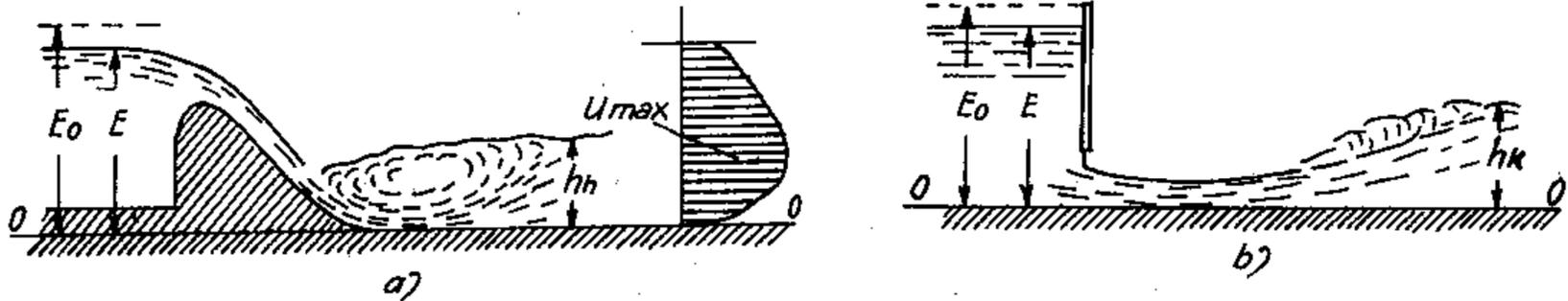
NỐI TIẾP VÀ TIÊU NĂNG Ở HẠ LƯU CÔNG TRÌNH

A. NỐI TIẾP DÒNG CHẢY Ở HẠ LƯU CÔNG TRÌNH

Dòng chảy qua đập tràn hay qua cửa van nối tiếp với dòng chảy sau công trình bằng hai hình thức chủ yếu sau :

- + Nối tiếp chảy đáy : vận tốc lớn nhất ở gần đáy kênh ;
- + Nối tiếp chảy mặt : vận tốc lớn nhất ở gần mặt tự do ;

Trạng thái chảy mặt xảy ra khi công trình có chân là bậc thẳng đứng.



Xét kênh lăng trụ, chảy đều với chiều sâu là h_h

§XII-1. NỐI TIẾP CHẢY ĐÁY

Tùy theo độ dốc đáy kênh, dòng hạ lưu có thể là êm hoặc xiết

$$(i < i_k \text{ và } i > i_k).$$

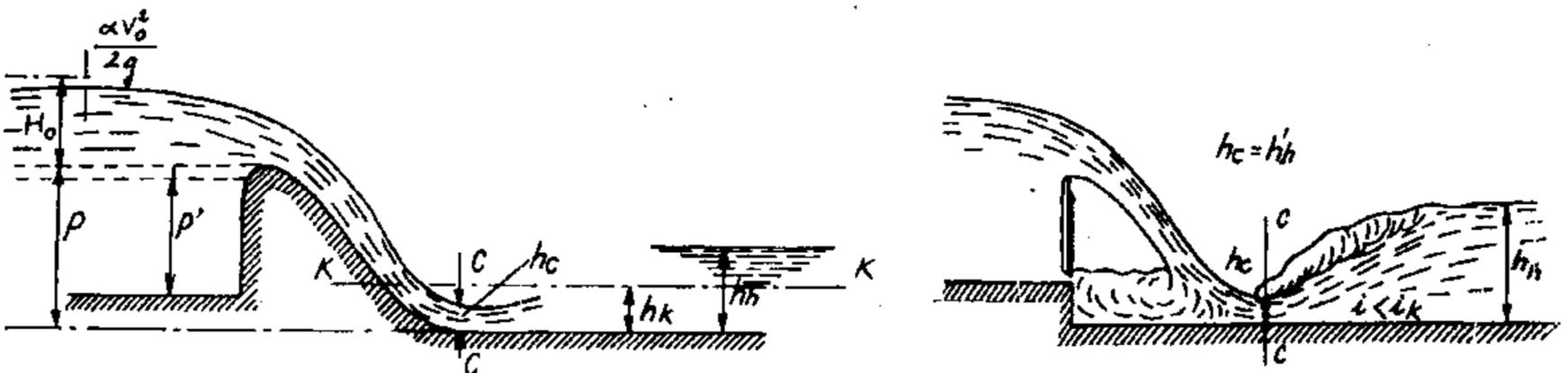
Có thể xảy ra 2 trường hợp :

1. Dòng hạ lưu là êm

Hạ lưu hình thành mặt cắt co hẹp, mặt c-c.

Tại c-c vận tốc là lớn nhất, chiều sâu là h_c .

Có $h_c < h_k$, dòng chảy qua công trình là chảy xiết nên để nối tiếp với hạ lưu buộc phải qua nước nhảy.



Vị trí của nước nhảy : dạng vị trí nước nhảy phụ thuộc vào năng lượng đơn vị của mặt cắt co hẹp và mặt cắt có độ sâu bình thường trong lòng dẫn hạ lưu.

So sánh h_c'' với h_h . Có thể xảy ra các trường hợp sau :

+ $h_c'' = h_h$: năng lượng thừa của dòng chảy thượng lưu gần vừa bằng năng lượng của dòng chảy trong lòng dẫn, tức là năng lượng thừa đã được tiêu hao gần hết bằng nước nhảy, do đó nước nhảy sẽ kết thúc ở mặt cắt có độ sâu liên hiệp $h_c'' = h_h$.

Dạng nước nhảy đó gọi là nước nhảy tại chỗ hoặc nước nhảy phân giới. Dạng nước nhảy này không ổn định vì chỉ cần có một sự thay đổi nhỏ là độ sâu co hẹp và độ sâu bình thường đã thay đổi.

+ $h_c'' > h_h$: dòng chảy thượng lưu không thể tiêu hao hết năng lượng thừa bằng nước nhảy, nên phải tiêu hao một phần bằng tổn thất dọc đường qua đoạn nước dâng kiểu c. Sau nước nhảy, năng lượng của dòng chảy gần bằng năng lượng của dòng hạ lưu h_h , tức là :

$$h'' = h_h \quad (1)$$

trong đó h'' là độ sâu liên hiệp sau nước nhảy, hình thành sau đoạn nước dâng.

Căn cứ vào tính chất liên hiệp của các chiều sâu ta có :

$$h_c'' > h_h$$

Dạng nước nhảy này gọi là nước nhảy xa.

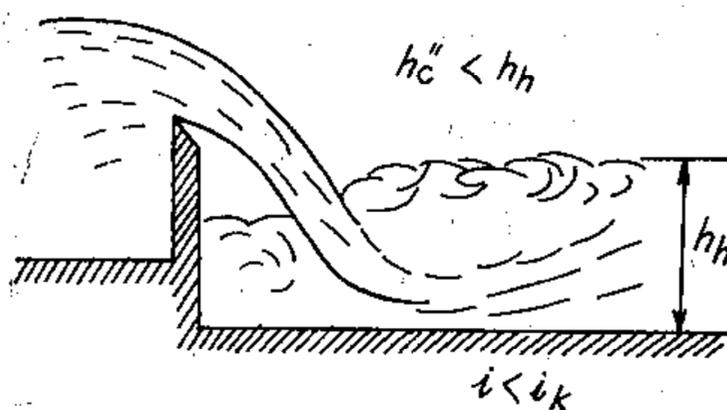
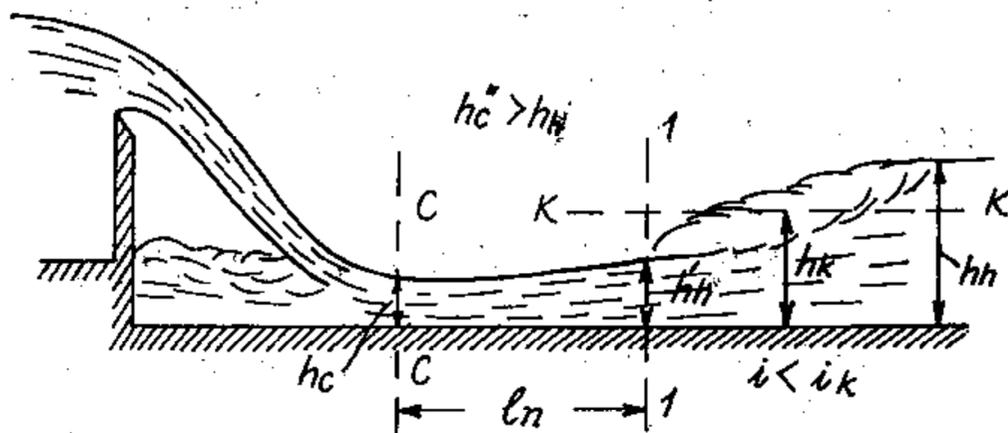
+ $h_c'' < h_h$: trong trường hợp này năng lượng thừa của dòng thượng lưu nhỏ thua giá trị năng lượng có thể tiêu được bằng nước nhảy tại chỗ, hay nói cách khác, năng lượng dự trữ của dòng hạ lưu đủ khả năng đưa nước nhảy tiến lại gần công trình.

Nước nhảy sẽ làm ngập mặt cắt co hẹp bằng khu nước vật mặt. Mức độ ngập của nước nhảy đặc trưng bằng hệ số :

$$\sigma = \frac{h_h}{h_c''} \quad (2)$$

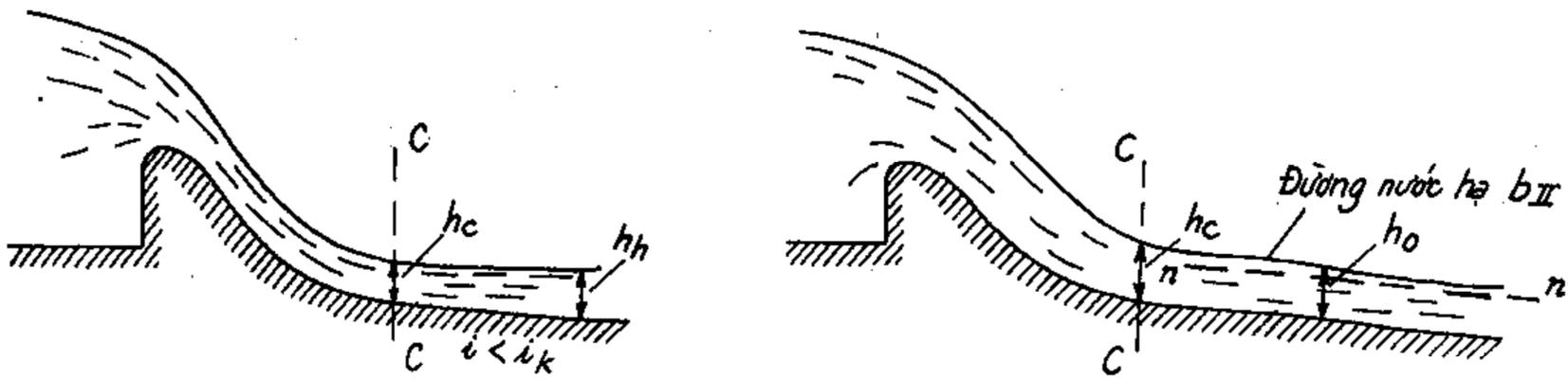
Dạng nước nhảy này gọi là nước nhảy gần hoặc nước nhảy ngập.

Xét về mặt công trình thì dạng nối tiếp bằng nước nhảy xa là bất lợi nhất vì tiêu hao năng lượng bằng đường nước dâng là rất chậm nên chiều dài của nó thường khá lớn, đòi hỏi phải gia cố hạ lưu lớn. Do vậy để tránh việc gia cố lớn thì dạng nối tiếp bằng nước nhảy ngập là tốt nhất.



2. Dòng hạ lưu là xiết

Dòng chảy qua công trình và dòng hạ lưu đều là dòng xiết, nên nối tiếp xảy ra không qua nước nhảy.



So sánh h_c với h_h ta có :

+ $h_c = h_h$ ngay tại mặt cắt co hẹp ở hạ lưu công trình sẽ hình thành dòng chảy đều.

+ $h_c > h_h$ sau mặt cắt co hẹp là đường nước hạ có chiều sâu từ h_c đến h_h .

+ $h_c < h_h$ sau mặt cắt co hẹp là đường nước dâng.

Dạng nối tiếp thứ 3 là dạng bất lợi nhất, vận tốc rất lớn có thể gây xói lở ở đáy hạ lưu công trình.

§XII-2. HỆ THỨC TÍNH TOÁN CƠ BẢN CỦA NỐI TIẾP CHẢY ĐÁY

Nội dung tính toán thủy lực của nối tiếp hạ lưu gồm :

+ Xác định độ sâu co hẹp h_c và độ sâu liên hiệp h''_c ;

+ So sánh h''_c với h_h để xác định dạng nối tiếp.

Nếu là nối tiếp với nước nhảy xa thì phải xác định vị trí nước nhảy.

1. Xác định h_c và h''_c

Viết phương trình Bécnuì cho 2 mặt cắt o-o và c-c, mặt chuẩn là đáy hạ lưu, ta có :

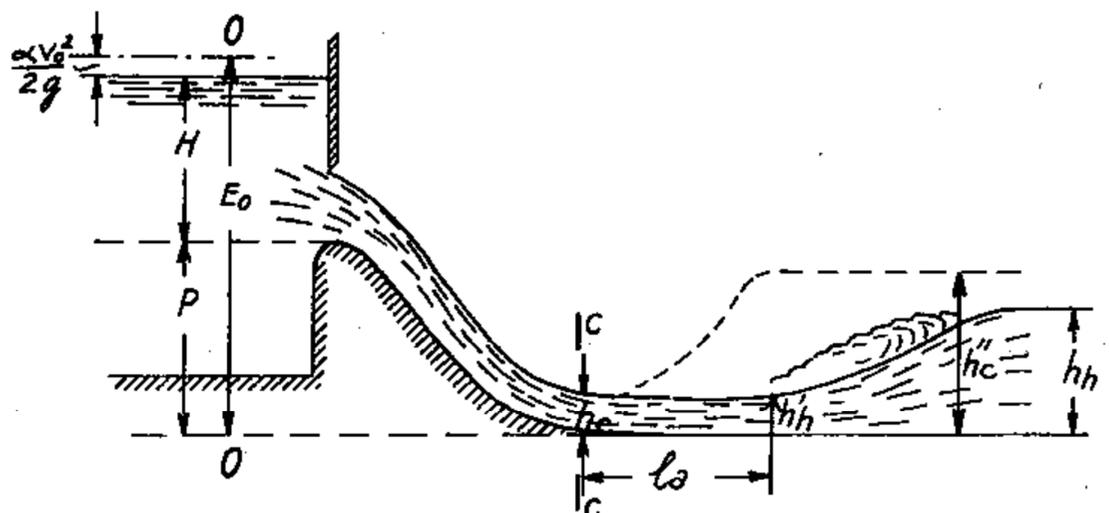
$$\Theta_o = h_c + \frac{v_c^2}{2g \cdot \varphi^2} \quad (3)$$

trong đó :

$$\frac{1}{\varphi^2} = (\alpha_c + \Sigma \xi)$$

hoặc

$$\Theta_o = h_c + \frac{Q^2}{2g \cdot \varphi^2 \cdot \omega_c^2} \quad (4)$$



từ đó :
$$Q = \varphi \cdot \omega_c \sqrt{2g(E_o - h_c)} \quad (5)$$

(5) là phương trình cơ bản thứ nhất để tính nối tiếp hạ lưu. Từ đó ta có thể xác định độ sâu h_c .

- Với kênh chữ nhật hoặc rất rộng ta có :

$$q = \frac{Q}{b}$$

Trong đó : q - lưu lượng đơn vị ;

b - chiều rộng của kênh.

Phương trình (4) có dạng :

$$E_o = h_c + \frac{q^2}{2g \cdot \varphi^2 \cdot h_c^2} \quad (6)$$

còn (5) sẽ là :

$$q = \varphi \cdot h_c \sqrt{2g(E_o - h_c)} \quad (7)$$

Phương trình cơ bản thứ hai để tính nối tiếp là phương trình nước nhảy :

$$\frac{\alpha_o \cdot Q^2}{g \cdot \omega_1} + y_1 \cdot \omega_1 = \frac{\alpha_o \cdot Q^2}{g \cdot \omega_2} + y_2 \cdot \omega_2 \quad (8)$$

Đối với trường hợp mặt cắt chữ nhật là các phương trình quen thuộc về các chiều sâu liên hiệp.

Biết được h_c'' , đem so sánh nó với h_h ta có thể xác định được hình thức nối tiếp.

Hệ số vận tốc φ đánh giá tổn thất năng lượng của dòng chảy qua công trình có thể lấy trong bảng có sẵn của Pavlovski.

Tính h_c theo (5) hoặc (7) phải tiến hành bằng cách thử dần hoặc tính lặp trên máy.

2. Xác định vị trí nước nhảy xa.

Khi $h_c'' > h_h$ ta có hình thức nối tiếp với nước nhảy xa. Việc xác định vị trí nước nhảy, tính chiều dài đoạn dòng chảy xiết trước nước nhảy có một ý nghĩa thực tiễn rất quan trọng.

Trong dạng nối tiếp với nước nhảy xa, độ sâu sau nước nhảy chính là độ sâu dòng chảy bình thường ở hạ lưu h_h . Từ các phương trình tính độ sâu liên hiệp ta có thể tính được độ sâu trước nước nhảy h_h' . Độ sâu này phải lớn hơn độ sâu co hẹp, tức là :

$$h_h' > h_c$$

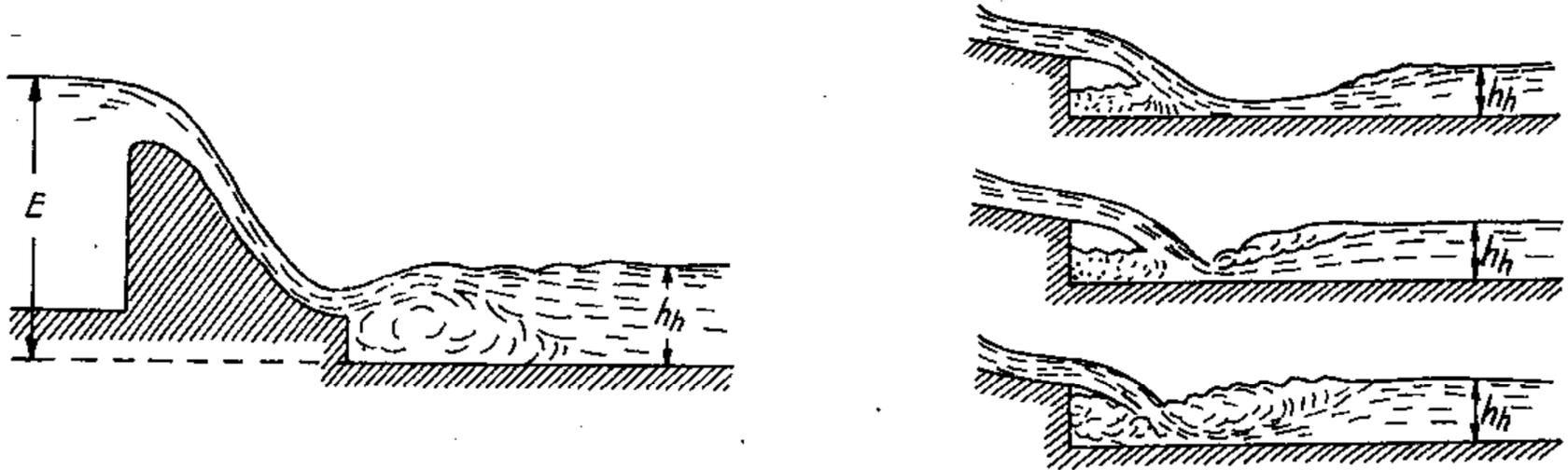
Đoạn dòng chảy xiết trước nước nhảy, có độ sâu ở mặt cắt trên là h_c và độ sâu ở mặt cắt dưới là h_h' . Biết 2 độ sâu đó, ta dùng phương pháp tính dòng không đều để xác định chiều dài đoạn nước dâng chảy xiết l_a .

§XII-3. NỐI TIẾP CHẢY MẶT

Nối tiếp chảy mặt là hình thức nối tiếp ở trạng thái chảy mặt.

Nối tiếp chảy mặt thường gặp trong điều kiện công trình có bậc thang đứng ở hạ lưu.

Trong trường hợp này hiện tượng thủy lực ở hạ lưu công trình rất phức tạp. Tùy thuộc vào độ sâu bình thường của dòng chảy trong kênh dẫn, ở hạ lưu có thể xuất hiện nhiều dạng nối tiếp khác nhau.



+ Khi h_h không lớn lắm, trạng thái dòng chảy vẫn ở trạng thái chảy đáy. Ở hạ lưu có thể xảy ra 3 dạng nối tiếp : nước nhảy xa, nhảy tại chỗ và nhảy ngập. Trong trường hợp nhảy ngập, ở ngay chân bậc xuất hiện khu nước cuộn có kích thước đáng kể.

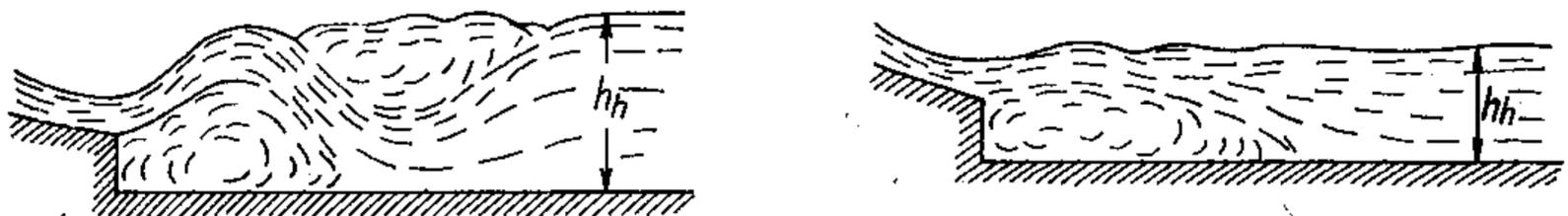
+ Khi đã có nước nhảy ngập mà độ sâu vẫn tăng lên thì dòng chảy ra khỏi bậc có độ cong lớn hơn, khu nước cuộn ở đáy to lên, dòng chảy không đi xuống đáy nữa mà phóng ra xa, hình thành *dòng chảy mặt dạng sóng*, khu nước cuộn mặt biến mất. Trên mặt thoáng của đoạn nối tiếp vận tốc là lớn nhất.

Đây là dạng *nối tiếp chảy mặt không ngập*.

Sự chuyển tiếp từ *chảy đáy ngập* sang *chảy mặt không ngập* được gọi là trạng thái *phân giới thứ nhất*. Độ sâu hạ lưu tương ứng gọi là *độ sâu phân giới thứ nhất*, kí hiệu là h_{h_1} .

Dạng nối tiếp chảy mặt không ngập nói trên tồn tại trong phạm vi thay đổi độ sâu hạ lưu tương đối lớn.

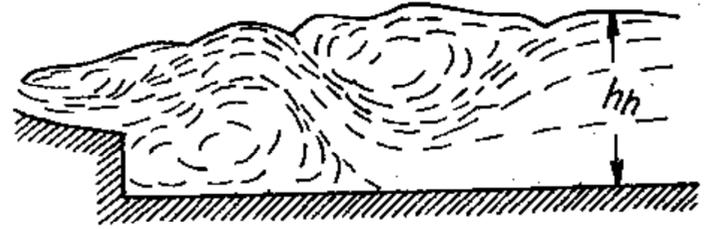
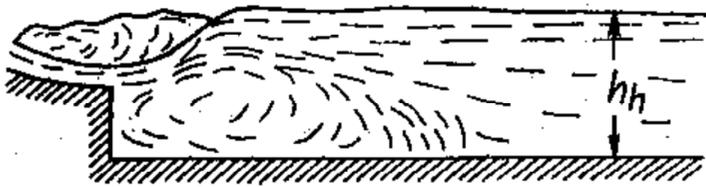
+ Khi độ sâu ở hạ lưu tăng lên đến một trị số nhất định thì ngay sau nước nhảy sóng dòng chảy không đi lên mặt mà đi xuống đáy hạ lưu, ở trên mặt thoáng cách công trình một đoạn xuất hiện khu nước cuộn. Ở đây tại khu vực đầu là trạng thái chảy mặt, tại khu vực sau là chảy đáy. Vì thế được gọi là *nối tiếp mặt đáy không ngập*.



Dạng nối tiếp mặt đáy không ngập là dạng trung gian, không ổn định chỉ tồn tại trong phạm vi thay đổi nhỏ của độ sâu hạ lưu, rồi có thể diễn biến theo 2 cách.

1. Khu nước chảy cuộn trên mặt bị đẩy về phía bậc và dòng chảy trở lại trạng thái chảy mặt hoàn toàn. Dạng nối tiếp này được gọi là *chảy mặt ngập*.

+ Sự chuyển tiếp từ nối tiếp *chảy mặt không ngập* sang nối tiếp *chảy mặt ngập* gọi là trạng thái *phân giới thứ hai*. Độ sâu tương ứng gọi là độ sâu *phân giới thứ hai*, kí hiệu là h_{h_2} .

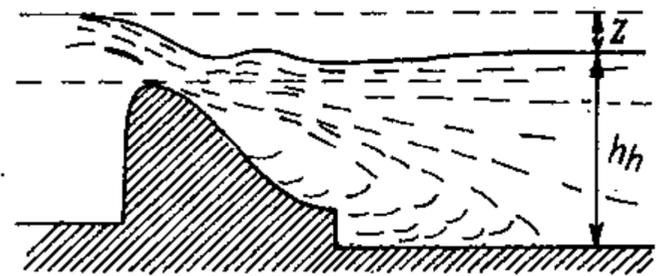
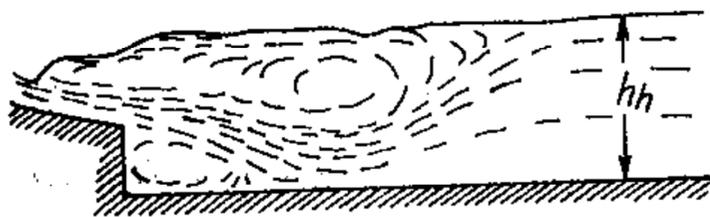


Dạng nối tiếp chảy mặt ngập nói trên có vận tốc lớn ở trên mặt trên cả đoạn nối tiếp. Dạng nối tiếp này là dạng ổn định và tồn tại trong phạm vi thay đổi độ sâu hạ lưu khá lớn.

2. Khu nước cuộn mặt vẫn tồn tại và đồng thời xuất hiện khu nước cuộn mặt thứ hai ngay trên bậc công trình.

Dạng nối tiếp này gọi là dạng *nối tiếp mặt - đáy ngập*. Đây là dạng nối tiếp cuối cùng ở trạng thái chảy mặt.

+ Khi độ sâu hạ lưu lại tiếp tục tăng lên nữa thì dòng chảy có thể chuyển thành trạng thái chảy đáy. Đây là dạng *nối tiếp chảy đáy hồi phục*. Khu nước cuộn mặt rất lớn và khu nước cuộn đáy lại rất bé.



Với độ sâu hạ lưu rất lớn thì công trình không còn đặc điểm riêng của nó nữa, vì trong trường hợp này bậc không có ảnh hưởng gì đến sự nối tiếp dòng chảy ở hạ lưu. Lúc đó dòng chảy qua công trình là dòng chảy ngập hoàn toàn và do tác động của đỉnh đập mà hình thành dòng chảy mặt ở hạ lưu.

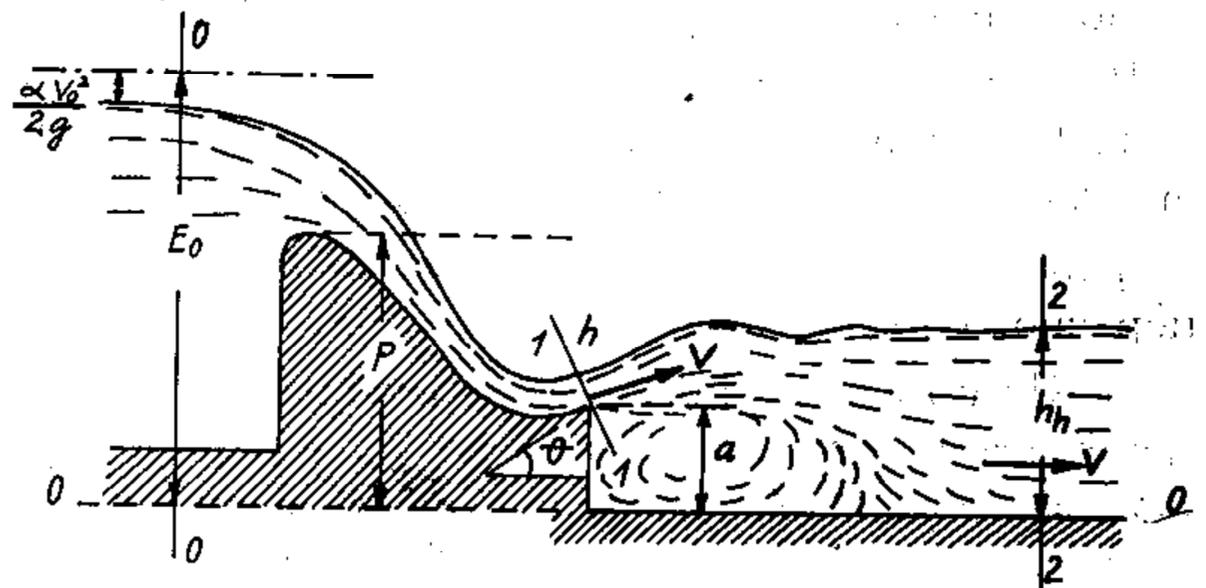
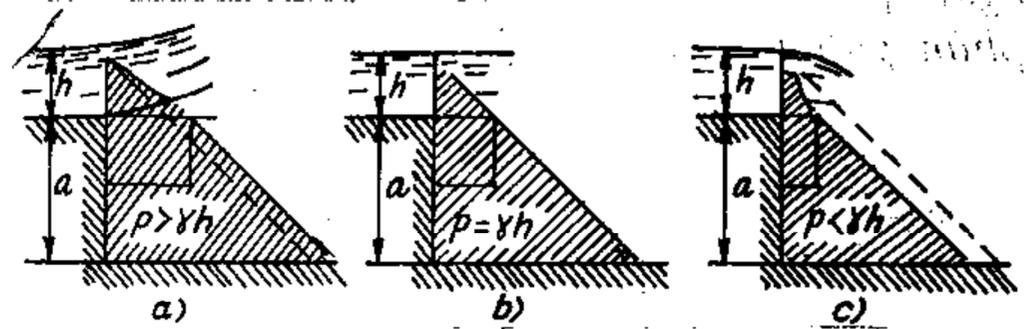
Nói chung nối tiếp chảy mặt có khả năng tiêu hao năng lượng lớn qua khu nước chảy cuộn ở đáy cũng như khu chảy cuộn ở mặt. Vận tốc ở đáy bé không gây ra xói lở nghiêm trọng nên gia cố ở hạ lưu được giảm nhẹ. Vì vậy ở các công trình lớn, có cột nước cao, có nhiều vật trôi trong nước (cây, củi, băng ...) người ta thường cố gắng tạo nên nối tiếp chảy mặt.

Tuy nhiên nối tiếp chảy mặt không ngập vẫn tốt hơn vì các vật trôi nổi trên thoát xuống hạ lưu một cách dễ dàng, không bị quấn trên mũi đập. Khi mực nước hạ lưu thay đổi thì nối tiếp hạ lưu xảy ra rất phức tạp, có thể đang từ dạng có lợi chuyển sang dạng bất lợi một cách dễ dàng nên nối tiếp chảy mặt chỉ thích hợp với các công trình có mực nước hạ lưu thay đổi ít.

Trong tính toán nối tiếp chảy mặt ta cần xác định các khu vực trong đó tồn tại các dạng nối tiếp ở hạ lưu, tức là cần tính các độ sâu phân giới của các khu vực.

Dòng chảy đi ra khỏi bậc công trình có thể hướng lên, nằm ngang hay cong thấp xuống, do đó áp suất dưới dòng chảy mũi bậc sẽ khác với áp suất thủy tĩnh.

Trong trường hợp dòng chảy ra khỏi bậc công trình mà đi thẳng thì áp suất ở mũi bậc phân bố theo quy luật thủy tĩnh. Còn khi chiều cong của mũi bậc hướng lên hoặc xuống dưới thì áp suất sẽ lớn hơn hoặc bé hơn áp suất thủy tĩnh. Còn áp suất dưới dòng chảy dọc theo chiều cao bậc công trình thì các tài liệu thí nghiệm cho ta thấy rằng nó được phân bố theo quy luật đường thẳng.



Để đơn giản ta xét bài toán phẳng.

Giả thiết mũi công trình cong lên, có góc mũi là θ .

Ta dùng 2 công cụ cơ bản là phương trình Bécnuì và động lượng để tìm các trị số phân giới của chiều sâu h_{h1} và h_{h2} .

+ Viết phương trình Bécnuì cho 2 mặt cắt 0-0 và 1-1 và lấy đáy hạ lưu làm mặt chuẩn, ta có :

$$E_0 - a = h \cdot \cos \theta + \frac{1}{2} h_a + \frac{q^2}{2g \cdot \varphi^2 h_2^3} \quad (9)$$

Trong đó :

h - độ sâu của dòng trên mũi bậc ;

a - chiều cao của bậc ;

h_a - cột nước áp suất dưới dòng chảy, do áp suất dòng chảy cong gây ra.

+ Viết phương trình động lượng cho đoạn dòng chảy giữa 1-1 và 2-2, trong đó 2-2 ứng với dòng bình thường của hạ lưu.

Với các giả thiết : áp suất ở 1-1 và 2-2 và dọc theo chiều cao của bậc phân bố theo quy luật đường thẳng ; bỏ qua lực ma sát ; độ dốc đáy bằng không, phương trình động lượng viết theo phương nằm ngang sẽ là :

$$\Delta (mv) = (P_1 + P_b - P_2) \Delta t, \quad (10)$$

Trong đó : $\Delta (mv)$ - gia số động lượng được tính bằng :

$$\alpha_0 \cdot m \cdot v_2 - \alpha_0 \cdot m \cdot v_1 \cdot \cos\theta = \alpha_0 \frac{\gamma}{g} \cdot q \cdot \Delta t \left(\frac{q}{h_n} - \frac{q}{h} \cdot \cos\theta \right)$$

P_1 - hình chiếu áp lực tại 1-1 ;

$$P_1 = \frac{1}{2} \cdot \gamma (h \cdot \cos\theta + h_a) h \cdot \cos\theta ;$$

P_2 - hình chiếu của áp lực tại 2-2

$$P_2 = \frac{1}{2} \cdot \gamma h_n^2 ;$$

P_b - hình chiếu của phản lực tại bậc công trình :

$$P_b = \gamma \cdot a \left(h \cdot \cos\theta + h_a + \frac{a}{2} \right).$$

Thay vào (10) ta có :

$$\frac{2 \cdot \alpha_0 q^2}{gh \cdot h_n} (h - h_n \cdot \cos\theta) = h_a (h \cdot \cos\theta + 2a) + (h \cdot \cos\theta + a)^2 - h_n^2 \quad (11)$$

(10) và (11) chỉ áp dụng cho các trường hợp nối tiếp mà dòng chảy ở trên bậc công trình là tự do, tức là nó không bị ngập bởi khu nước vật ở mặt.

Hai phương trình nói trên cho phép ta xác định được cả chiều sâu bình thường ứng với trạng thái phân giới thứ nhất hoặc thứ hai. Vì trong các phương trình do có 3 đại lượng chưa biết là h, h_a và h_n nên cần cho trước 1 trong 3 đại lượng hoặc phải cho thêm 1 phương trình thứ 3, đó là sự phân bố áp suất trên mũi bậc, nhưng đó cũng chính là đại lượng h_a .

Về đại lượng này có thể dùng một số giả thiết sau :

+ Theo Xabanhêp : $h_a = 0$ trên cơ sở cho rằng sự phân bố áp suất của dòng chảy tại mũi bậc là theo quy luật phân bố áp suất thủy tĩnh.

+ Kết quả thí nghiệm của Xtaphitreva thì sự phân bố nói trên khác với áp suất thủy tĩnh :

- Đối với trạng thái phân giới thứ nhất thì :

$$(h_a)_1 = 0,31 h_{n_1} - 0,5a \quad (12)$$

- Đối với trạng thái phân giới thứ hai, áp suất dưới dòng chảy ở mũi bậc luôn luôn lớn hơn áp suất thủy tĩnh và tính theo biểu thức :

$$(h_a)_2 = 0,59 (h_{n_2} - a) \quad (13)$$

Như vậy để xác định trạng thái phân giới thứ nhất và thứ hai ta cần giải hệ thống phương trình (9), (11) và (12) hoặc (13), tức là việc tính toán phải dựa trên các công thức lí thuyết và thực nghiệm.

Cần lưu ý rằng điều kiện để có nối tiếp chảy mặt là độ cao bậc phải lớn hơn một độ cao tối thiểu mà theo Sclatnhêp độ cao đó có thể xác định bằng công thức thực nghiệm sau :

$$a_{\min} = 0,4 h_k \sqrt{\frac{\alpha_0}{h_k} - 1,5} \quad (14)$$

(14) chỉ đúng với điều kiện : $\frac{\alpha_0}{h_k} = 2,5$ và chiều dài của bậc $\delta = (2 \div 2,5)h$.

B. TIÊU NĂNG Ở HẠ LƯU CÔNG TRÌNH

§XII-4. NHỮNG KHÁI NIỆM CHUNG

Việc giải quyết vấn đề tiêu năng, tức là tiêu hao năng lượng thừa từ thượng lưu qua công trình là một trong những mục tiêu quan trọng nhất trong tính toán thủy lực công trình.

Khi xây dựng công trình (đập, cầu, cống) mực nước trước công trình dâng lên nên thế năng của dòng thượng lưu tăng. Thế năng đó biến thành động năng khi nước tràn qua công trình. Vận tốc dòng chảy sau công trình có vận tốc tăng lên đột ngột, thường lớn hơn nhiều lần so với vận tốc của dòng hạ lưu khi ở trạng thái tự nhiên.

Vì thế lòng dẫn hạ lưu ngay sau công trình có thể bị xói lở nghiêm trọng, ảnh hưởng đến sự an toàn của công trình.

Việc tạo nên nối tiếp chảy mặt hay chảy đáy có thể làm giảm nhẹ việc gia cố hạ lưu công trình, nhưng nếu đáy lòng dẫn là loại đất nhẹ thì ngay trong trường hợp này cũng vẫn gây ra xói nghiêm trọng.

Điều đó cũng có thể xảy ra ngay cả với một số loại đá như đá vôi, đolômit... và những loại đá yếu khác.

Sơ đồ phểu xói ngay sau công trình khi lòng dẫn hạ lưu không phải là đá. Chiều sâu phểu xói $h_x = 2,5H$.

Chiều dài có thể biến đổi từ $(4 \div 6) H$ cho đến $(30 \div 40) H$.

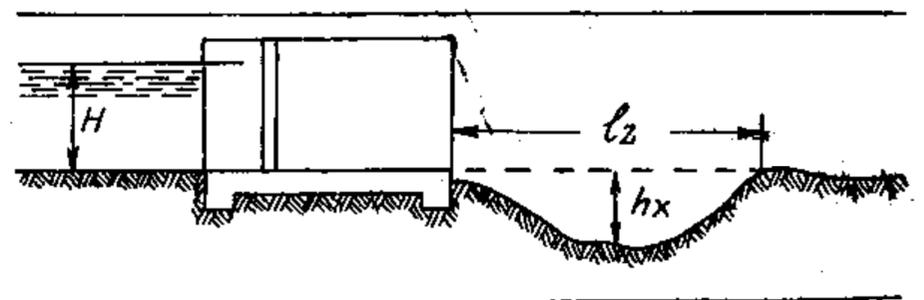
Ở Việt Nam có rất nhiều công trình có hiện tượng như vậy. Ví dụ có cống qua đường chỉ với cột nước tương đối nhỏ $H = 1,5 - 2m$, nhưng sau 3 năm khai thác, ở hạ lưu đã hình thành một phểu xói có chiều sâu $h_x = 3m$, chiều dài $l_x = 30m$ v.v...

Động năng thừa còn thể hiện dưới dạng mạch động vận tốc và áp suất. Tuy ở hạ lưu công trình ở một đoạn cách xa nó, vận tốc trung bình không còn lớn, nhưng mạch động còn rất mạnh nên cũng gây ra sự xói lở kéo dài.

Trong điều kiện bài toán không gian, khi chỉ có một vại cửa làm việc trong tổng số các cửa thì lại xuất hiện dòng chảy xiên, cũng gây ra hiện tượng xói lở.

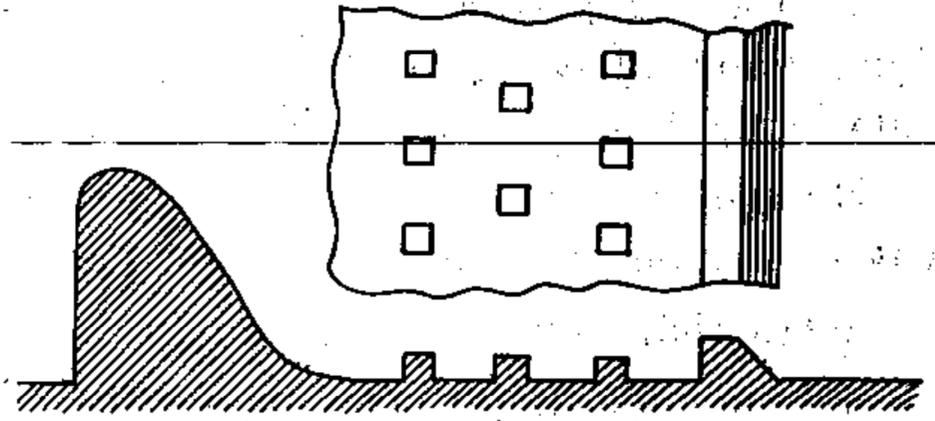
Nhiệm vụ của việc tính toán tiêu năng là phải tìm được biện pháp tiêu huỷ hoàn toàn năng lượng thừa, điều chỉnh lại sự phân bố vận tốc và giảm mạch động, khử dòng xiên để cho dòng chảy trở về trạng thái tự nhiên trên một đoạn ngắn nhất nhằm rút ngắn đoạn gia cố ở hạ lưu công trình.

Ta đã biết nối tiếp dưới dạng chảy đáy có nước nhảy xa là nguy hiểm nhất, vì vậy phải tìm biện pháp khử dạng nối tiếp này, chuyển nó thành nối tiếp bằng nước nhảy ngập.



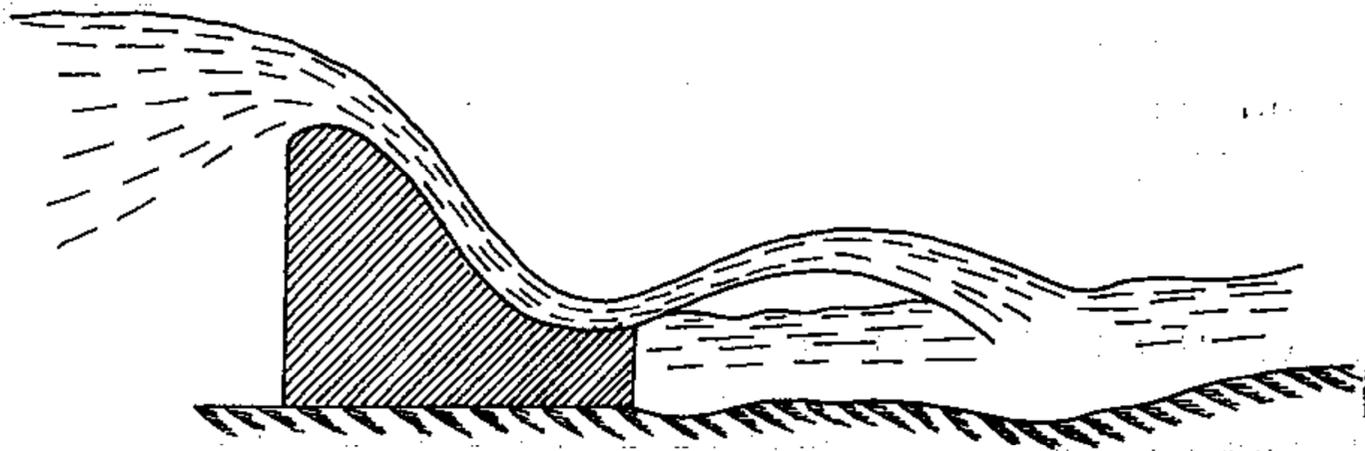
Tuy nhiên dòng chảy sau nước nhảy ngập vẫn có vận tốc lớn ở đáy và mạch động lớn kéo dài, vì vậy cho phép tạo thành nối tiếp chảy mặt.

Ngoài ra còn có thể bố trí các mố, ngưỡng, răng trên sân công trình.



Cũng có thể cho dòng chảy phun lên không khí hoặc cho dòng tia đập vào nhau để tiêu hao năng lượng.

Việc quyết định dùng biện pháp này hay biện pháp khác đều phải dựa trên kết quả thí nghiệm mô hình.

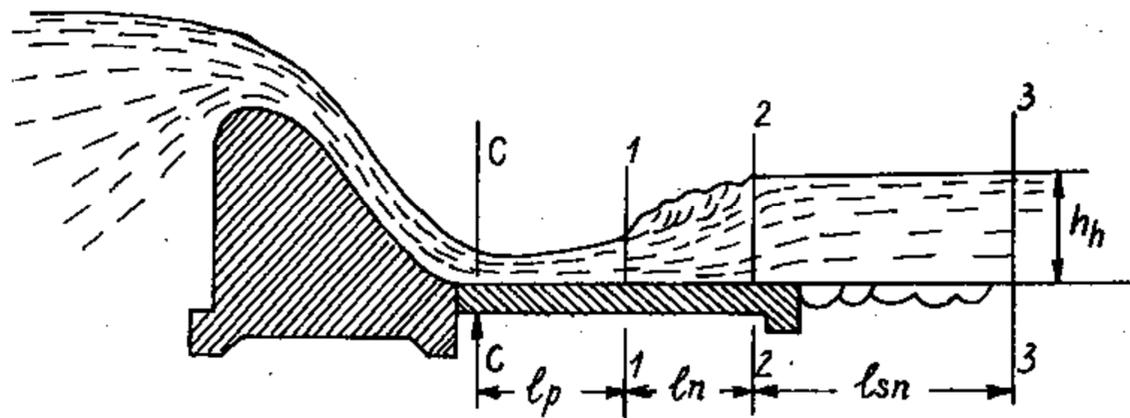


Nếu ở hạ lưu công trình có nối tiếp dưới hình thức chảy đáy với nước nhảy xa thì chiều dài gia cố L_{gc} sẽ bằng :

$$L_{gc} = l_p + l_n + l_{sn} \quad (15)$$

Trong hình thức nối tiếp này năng lượng của dòng chảy bị tiêu hao đi để :

- + Khắc phục ma sát trong nội bộ dòng phóng xa ;
- + Khắc phục ma sát trong khu nước vật ;
- + Làm xói lòng dẫn ở hạ lưu.



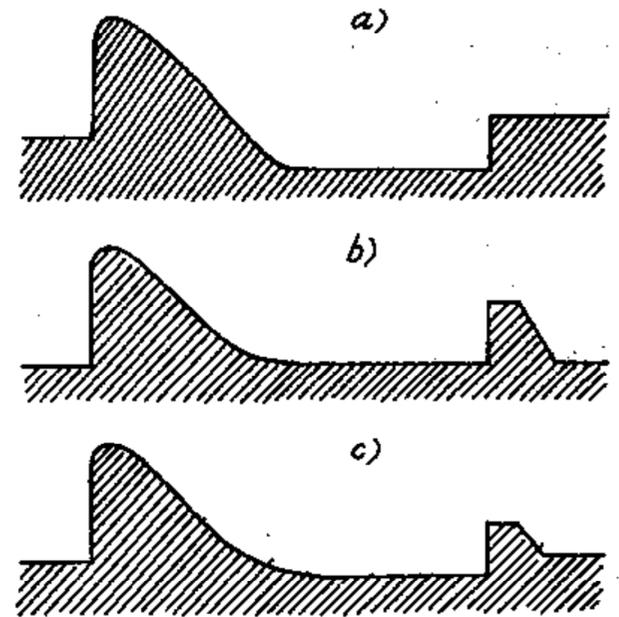
Từ phân tích trên ta thấy rằng cần rút ngắn đoạn chảy xiết vì năng lượng tiêu hao chậm và vận tốc đáy lại lớn, còn trong nước nhảy năng lượng được tiêu hao tập trung. Vì thế có thể nói nước nhảy là một biện pháp tiêu hao năng lượng quan trọng.

Tuy nước nhảy hoàn chỉnh là dạng tiêu hao năng lượng tốt nhất nhưng nó lại không ổn định nên cần dùng dạng nước nhảy ngập vì vị trí ổn định hơn.

Vì thế trong thực tế thường đưa dạng nối tiếp bằng nước nhảy xa về dạng nước nhảy ngập. Hệ số ngập của nước nhảy không nên lấy quá $1,05 \div 1,10$ để tận dụng khả năng tiêu năng của nước nhảy.

Để tạo nên nước nhảy ngập cần tăng chiều sâu mực nước ở hạ lưu, muốn vậy cần dùng các biện pháp sau đây :

- + Hạ thấp đáy kênh hạ lưu (a) ;
- + Làm một tường chắn ngang (b) ;
- + Vừa hạ thấp đáy kênh, vừa làm tường (c).



Tên gọi :

- + bể tiêu năng ;
- + tường tiêu năng ;
- + bể tiêu năng kết hợp.

Trên đây là các biện pháp tiêu năng đơn giản và có hiệu quả cao.

§XII-5. TÍNH CHIỀU SÂU BỂ TIÊU NĂNG

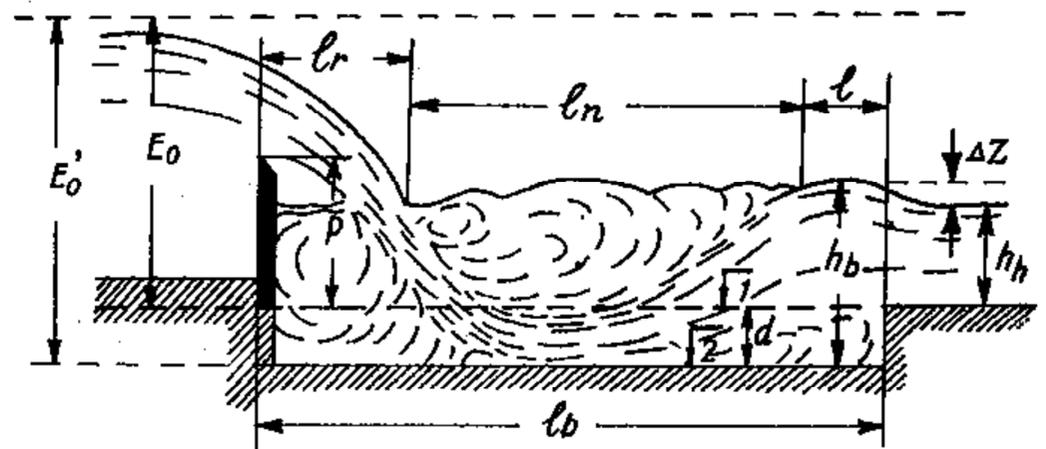
Giả thiết đã biết : P, \sqrt{MNTL}, q và $Q = f(\sqrt{MNHL})$.

Khi chưa đào bể, cao trình đáy là $\sqrt{1}$ và cột nước thượng lưu so với đáy

$$E_0 = E + \frac{v_0^2}{2g}$$

Với E_0 tính h_c và h''_c . Nếu $h''_c > h_h$ cần đào sâu đáy công trình xuống một độ sâu d ($\sqrt{2}$)

trên một chiều dài l_b để tạo thành một bể tiêu năng.



Khi có $d = \sqrt{1} - \sqrt{2}$ thì :

$$E'_0 = E + d + \frac{v_0^2}{2g} \quad (16)$$

Độ sâu co hẹp do đó giảm đi, tương ứng độ sâu liên hiệp với nó tăng lên. (h''_c)

Lúc đó độ sâu trong bể tăng lên :

$$h_b = h_h + d + \Delta z \quad (17)$$

trong đó Δz - độ chênh mực nước ở ngưỡng bể tiêu năng.

Do h_b tăng nhiều hơn (h''_c) nên với một độ sâu đủ lớn, ta có :

$$h_b = h_h + d + \Delta z > (h''_c) \quad (18)$$

Cần xác định trị số d_0 ứng với trạng thái phân giới (nước nhảy tại chỗ) :

$$(h_b)_o = h_h + d_o + \Delta z = (h''_c)_o \quad (19)$$

hoặc
$$d_o = (h''_c)_o - h_h - \Delta z \quad (20)$$

Cần tính Δz . Tính theo đập tràn đỉnh rộng chảy ngập.

$$q = \varphi' h_h \sqrt{2g \cdot \Delta z_o} \quad (21)$$

φ' - hệ số vận tốc ở cửa ra của bể, lấy bằng 0,95 ÷ 1,00 ;

Δz_o - độ chênh mực nước có xét đến vận tốc đến gần v_o trong bể.

$$\Delta z_o = \Delta z + \frac{v_b^2}{2g} \quad (22)$$

Vậy
$$\Delta z = \frac{q^2}{2g\varphi'^2 h_h^2} - \frac{v_b^2}{2g}$$

trong đó v_b - vận tốc trong bể có thể tính gần đúng bằng :

$$v_b = \frac{q}{(h_b)_o} = \frac{q}{(h''_c)_o}$$

Vậy
$$\Delta z = \frac{q^2}{2g\varphi'^2 h_h^2} - \frac{q^2}{2g(h''_c)_o^2} \quad (23)$$

Với d_o tính theo (10) trong bể sẽ có nước nhảy tại chỗ, tức là :

$$\sigma = \frac{h_b}{(h''_c)_o} = 1.$$

Với d_o nước nhảy có tác dụng tiêu năng tối đa, nhưng vị trí nước nhảy sẽ không ổn định, tiến lùi liên tục làm cho các bản đáy chịu tải trọng lớn hơn, bất lợi.

Vì vậy nên chọn $\sigma > 1$. Tuy nhiên nếu tăng σ quá lớn sẽ kéo theo các hậu quả : bể sâu hơn, tiêu năng kém, công trình nặng nề thêm, không kinh tế... Vì thế nên chọn chiều sâu d sao cho có được :

$$\sigma = \frac{h_b}{(h''_c)_o} = 1,05 - 1,10$$

Do vậy độ sâu trong bể sẽ bằng :

$$h_b = h_h + d + \Delta z = \sigma (h''_c)_o, \quad (24)$$

Từ đó
$$d = h_b - (h_h + \Delta z),$$

hoặc
$$d = \sigma (h''_c)_o - (h_h + \Delta z) \quad (25)$$

Các công thức (23) và (25) là 2 công thức chủ yếu để tính chiều sâu bể tiêu năng. Cần tính thử dần vì Δz và h''_c lại phụ thuộc vào d .

Có thể lập trình theo các bước tính toán sau :

1. Tính d gần đúng lần thứ nhất theo :

$$d_1 = h''_c - h_h \text{ hoặc giả thiết một trị số xấp xỉ.}$$

2. Tính độ sâu co hẹp (h_c) theo d_1 .
3. Định chiều sâu mực nước trong bể tiêu năng :

$$h_b = \sigma (h''_c).$$

4. Tính Δz theo (23).
5. Tính chiều sâu d của bể theo (25).
6. Nếu giá trị d tính ra bằng hay xấp xỉ thì việc chọn d_1 là đúng.

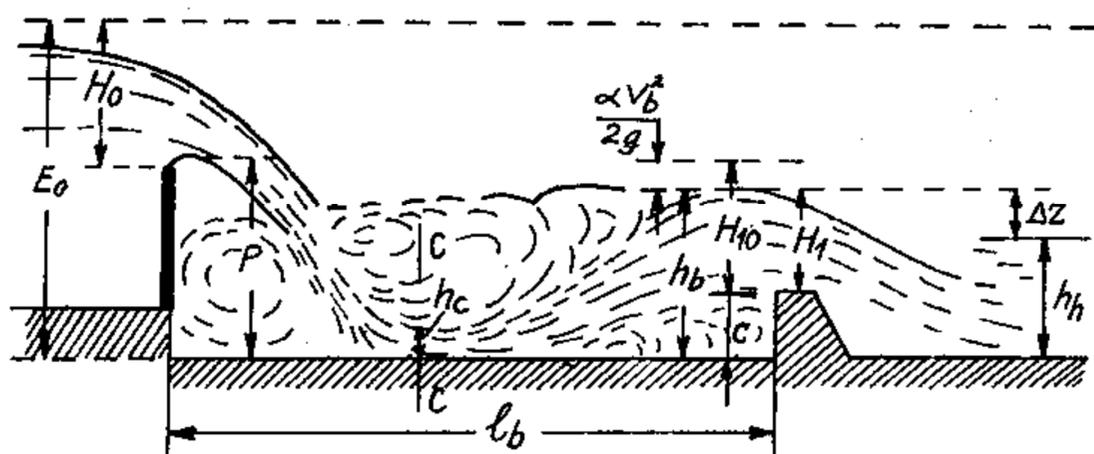
Ngược lại phải tính tiếp một vài lần để được xấp xỉ theo trình tự trên.

§XII-6. TÍNH CHIỀU CAO TƯỜNG TIÊU NĂNG

Giữ nguyên đáy kênh hạ lưu, nước trước tường sẽ dâng lên và có độ sâu $h_b > h_h$.

Lúc này có $h_b > h''_c$; nghĩa là có nước nhảy ngập trong bể.

Chiều cao được xác định xuất phát từ điều kiện :



$$h_b = \sigma h''_c \quad (26)$$

Trong đó $\sigma = 1,05 - 1,10$.

Từ hình vẽ :

$$h_b = c + H_1$$

Vậy :

$$c = \sigma h''_c - H_1 \quad (27)$$

Tường tiêu năng làm việc như một đập tràn có mặt cắt thực dụng chảy ngập. Cột nước H_1 trên đỉnh đập tràn được xác định :

$$H_{10} = H_1 + \frac{\alpha v_b^2}{2g} = \left(\frac{q}{\sigma_n m' \sqrt{2g}} \right)^{2/3} \quad (28)$$

trong đó m' - hệ số lưu lượng của tường tiêu năng, có thể lấy :

$$m' = 0,40 - 0,42 ;$$

σ_n - hệ số ngập của đập tràn thực dụng,

$$\sigma_n = f \left(\frac{h_n}{H_1} \right) ;$$

v_b - vận tốc trong bể :

$$v_b = \frac{q}{h_b} = \frac{q}{\sigma h''_c}$$

Từ đó có thể tính ra cột nước H_1 :

$$H_1 = \left(\frac{q}{\sigma_n m' \sqrt{2g}} \right)^{2/3} - \frac{\alpha}{2g} \cdot \frac{q^2}{(\sigma h''_c)^2} \quad (29)$$

Bằng các công thức (27) và (29) ta có thể xác định được chiều cao tường c .

Vì hệ số ngập σ_n lại phụ thuộc vào $h_n = h_h - c$ nên nói chung bài toán phải giải bằng thử dần.

Trình tự có thể như sau :

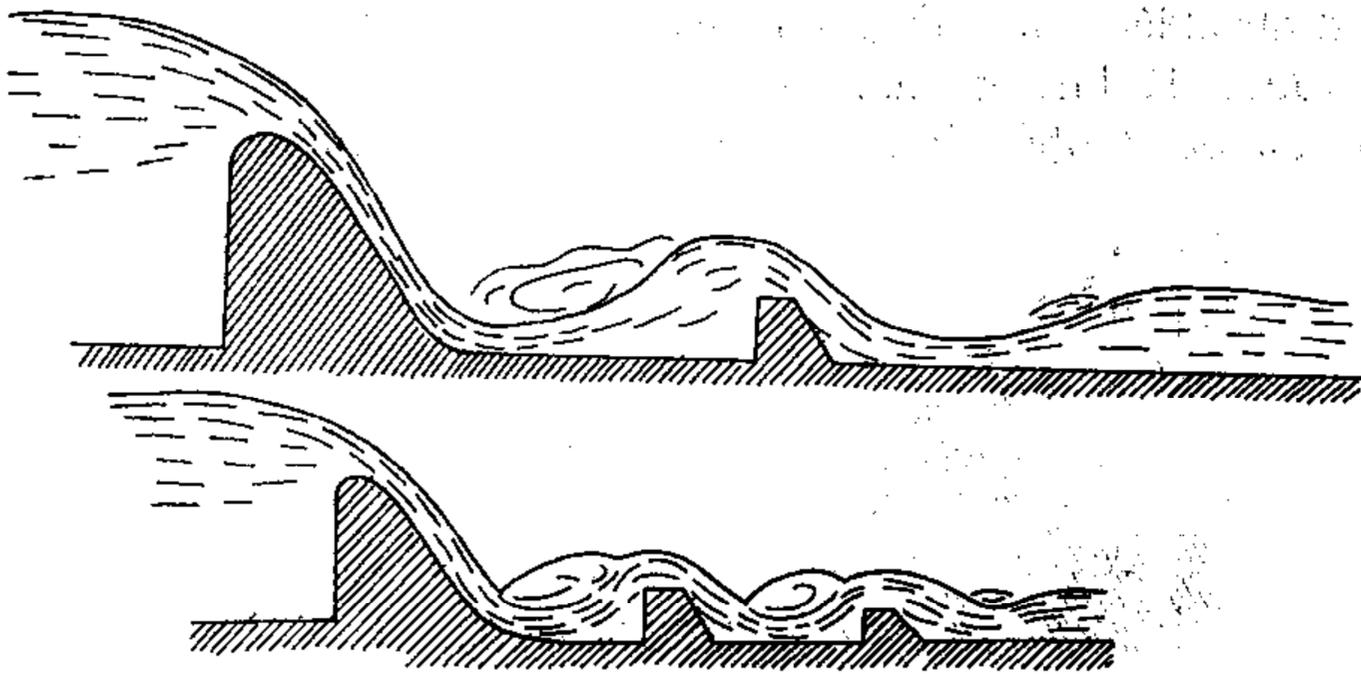
+ Tính h_c và h''_c , tính H_1 , trong đó cho $\sigma_n = 1$, tính c .

+ Nếu $c > h_h$ kết quả trên là đúng. Nhưng ở đây tường lại làm việc như đập chảy ngập, $\sigma_n < 1$.

+ Lấy trị số c nhỏ hơn, tính $h_n = h_h - c$, tìm hệ số ngập $\sigma_n = f\left(\frac{h_n}{H_1}\right)$ để tính lại chiều cao tường.

+ Sau khi đã tính c xong cần luôn luôn phải chú ý kiểm tra lại dạng nước nhảy sau tường. Nếu vẫn còn nước nhảy xa phải đặt tiếp các tường thứ 2, thứ 3 v.v... để sau tường cuối cùng có được nước nhảy ngập. Cách tính toán các tường tiếp theo tương tự như với tường đầu tiên.

+ Trong trường hợp này cũng nên sử dụng biện pháp bể tiêu năng kết hợp sẽ kinh tế hơn vì có thể rút ngắn chiều dài gia cố hạ lưu.



§XII-7. TÍNH TOÁN BỂ TIÊU NĂNG KẾT HỢP

Trong thực tế có trường hợp nếu chỉ sử dụng đơn thuần một biện pháp bể hoặc tường thì sẽ phải đào bể rất sâu hoặc làm tường rất cao.

Cả 2 trường hợp này đều bất lợi, trước hết là không kinh tế, sau là điều kiện tiêu năng không tốt (sau tường có nước nhảy xa ...).

Để tránh các điều nói trên cần kết hợp vừa hạ thấp đáy kênh vừa xây tường, biện pháp đó được gọi là bể tiêu năng kết hợp. Đây là biện pháp có hiệu quả cao về kinh tế kĩ thuật.

Chiều sâu trong bể tiêu năng kết hợp bằng :

$$h_b = d + c + H_1$$

Ta cần có nước nhảy ngập trong bể, tức là :

$$h_b = \sigma (h''_c)$$

$$c_o = h_{c1} + \frac{q^2}{\varphi'^2 \cdot 2g \cdot h_{c1}^2} - \left(\frac{q}{m' \sqrt{2g}} \right)^{2/3} \quad (35)$$

+ Xác định d_o .

Trị số d_o xác định từ điều kiện sao cho có nước nhảy tại chỗ trong bể :

$$d_o + c_o + H_1 = (h''_c)_o$$

$$d_o = (h''_c)_o - c_o - H_1 = (h''_c)_o - E_1 ;$$

$$d_o = (h''_c)_o - \left(E_{10} - \frac{\alpha v_b^2}{2g} \right)$$

hoặc
$$d_o = (h''_c)_o - \left(E_{10} - \frac{\alpha q^2}{2g (h''_c)_o^2} \right) \quad (36)$$

Vì $(h''_c)_o$ lại phụ thuộc vào d_o nên bài toán này cũng phải giải bằng thử dần.

+ Tính h_b lần cuối và kiểm tra điều kiện ngập :

Sau khi có d_o và c_o , giảm c_o đi một ít và tăng d_o lên chút ít để có nối tiếp bằng nước nhảy ngập trong bể và sau tường.

Chú ý cần tăng d_o nhiều hơn là giảm c_o . Cuối cùng kiểm tra lại xem có thỏa mãn điều kiện :

$$h_b = d + c + H_1 \geq \sigma (h''_c) \text{ hay không.}$$

Trong đó H_1 tính theo (29), còn $c < c_o$; $d > d_o$

c_o và d_o tính theo (35) và (36).

§XII-8. TÍNH CHIỀU DÀI BỂ TIÊU NĂNG

Cùng với d và c chiều dài bể tiêu năng l_b là một vấn đề hết sức quan trọng và khó khăn, cho đến nay vẫn chưa có lời giải lí thuyết. Do đó trong thiết kế phải dùng các công thức kinh nghiệm, mà kết quả thường sai lệch nhau nhiều.

Các công thức thực nghiệm thường xuất phát từ các sơ đồ thí nghiệm các loại đập cụ thể :

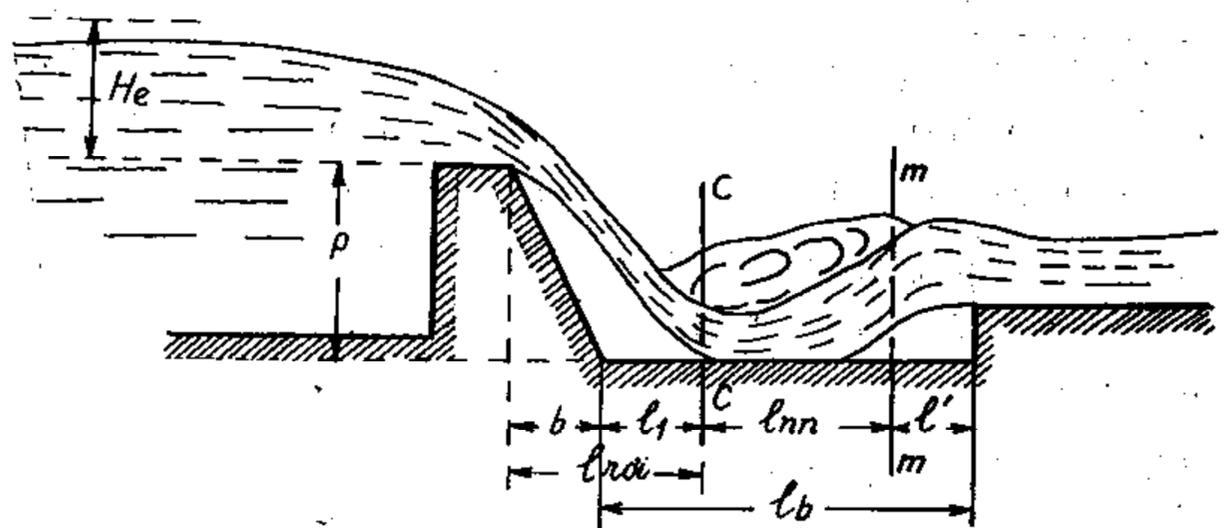
+ Khi bể nằm sau một tường thẳng đứng hoặc nghiêng.

$$l_b = l_n + l' + l_1 \quad (37)$$

Trong đó

l_n - chiều dài nước nhảy hoàn chỉnh không ngập ;

l' - chiều dài khu nước vọt dưới.



Từ hình vẽ :

$$l_1 = l_{roi} - s \quad (38)$$

l_{roi} phụ thuộc vào điều kiện tháo nước cụ thể :

1. Như trên hình vẽ :

$$l_{roi} = 1,33 \sqrt{H_0 (P + 0,3 H_0)} \quad (39)$$

2. Đập tràn thực dụng có cửa van trên đỉnh :

$$l_{roi} = 2 \sqrt{H_0 (P + 0,32 a)} \quad (40)$$

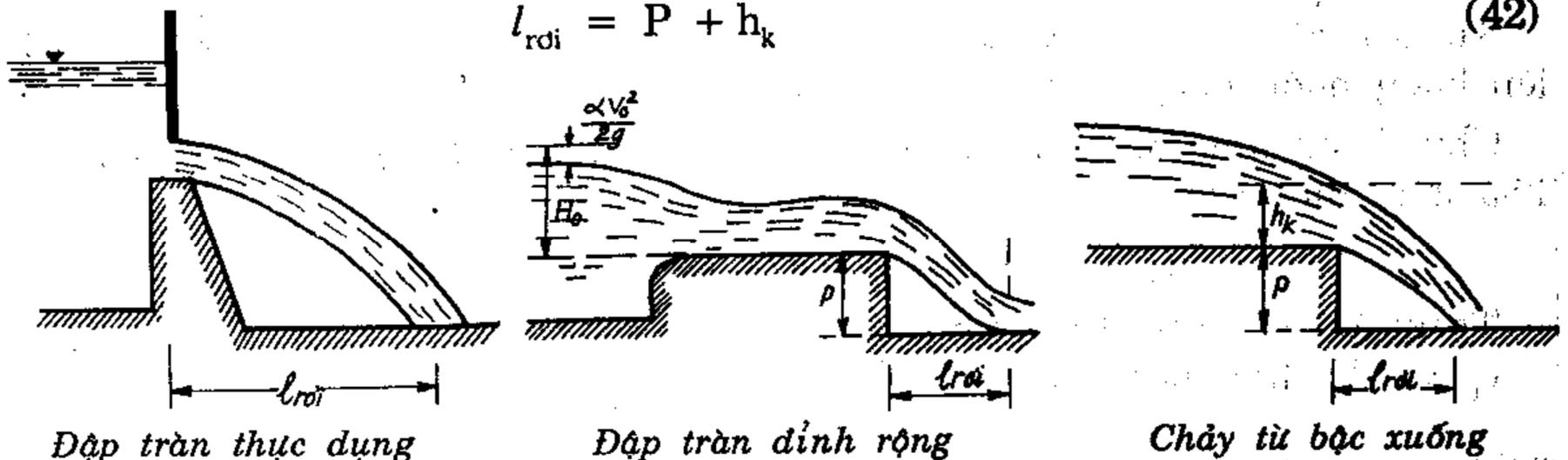
trong đó a - độ mở cửa van

3. Đập tràn đỉnh rộng :

$$l_{roi} = 1,64 \sqrt{H_0 (P + 0,24 H_0)} \quad (41)$$

4. Chảy từ bậc xuống :

$$l_{roi} = P + h_k \quad (42)$$



§XII-9. LƯU LƯỢNG TÍNH TOÁN TIÊU NĂNG

Các cách tính trên ứng với một lưu lượng nhất định. Thông thường các công trình lại làm việc với lưu lượng biến đổi từ một trị số nhỏ nhất Q_{min} đến trị số lớn nhất Q_{max} nào đó.

Nhiệm vụ của các thiết bị tiêu năng là phải làm việc với mỗi cấp lưu lượng có thể trong phạm vi đó. Vì vậy trong thiết kế phải tính toán với lưu lượng nào gây ra sự bất lợi nhất, lưu lượng ấy gọi là lưu lượng tính toán tiêu năng, kí hiệu là Q_{tt} . Tính theo lưu lượng này bề tiêu năng sẽ có kích thước lớn nhất.

Vậy trường hợp nào là bất lợi nhất ? Đó là trường hợp nối tiếp với nước nhảy xa có hiệu số $(h''_c - h_h)$ lớn nhất, lúc đó chiều dài đoạn nước đang chảy xiết là dài nhất, do đó cần một chiều sâu và chiều dài bề lớn nhất.

Lưu lượng tính toán tiêu năng không nhất thiết là lưu lượng lớn nhất, vì khi Q tăng lên thì h''_c nói chung cũng tăng lên, nhưng độ sâu hạ lưu cũng tăng theo.

Cách tính Q_{tt} như sau :

+ Lấy các trị số Q trong phạm vi thay đổi từ Q_{min} đến Q_{max} .

+ Ứng với mỗi Q , tính h''_c và h_h tương ứng, từ đó tính hiệu số $(h''_c - h_h)$.

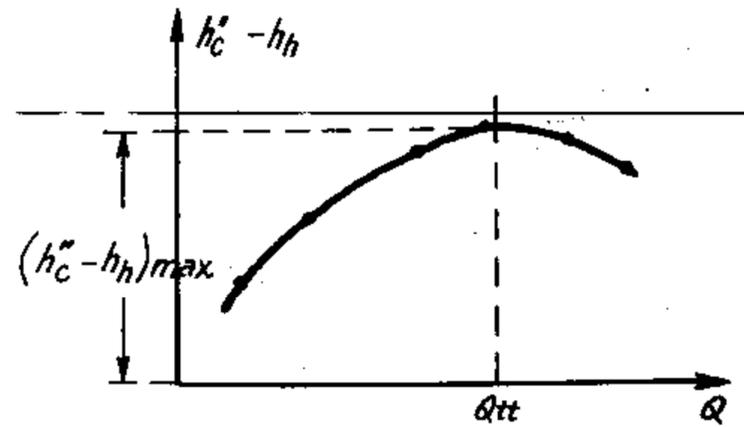
+ Vẽ đồ thị $Q \sim (h''_c - h_h)$, ta tìm được trị số Q ứng với hiệu số $(h''_c - h_h)$ lớn nhất.

Cần chú ý Q_h có thể bao gồm Q_d và các Q_i khác cùng chảy vào lòng dẫn hạ lưu :

$$Q_h = Q_d + \sum Q_i$$

Trong tính toán tiêu năng h''_c chỉ phụ thuộc vào Q_t nhưng h_h thì phụ thuộc vào Q_h theo tài liệu thực đo thủy văn.

Trong thực tế không riêng gì lưu lượng thay đổi mà mực nước thượng và hạ lưu cũng thay đổi nên việc định ra trường hợp bất lợi nhất để thiết kế tiêu năng là rất khó.



§XII-10. VỀ ĐOẠN SAU NƯỚC NHẢY

Nước nhảy làm thay đổi đột ngột kết cấu dòng chảy, làm tăng mạch động của vận tốc và áp suất.

Do đó tính chất chuyển động của nó hoàn toàn khác với tính chất chuyển động của dòng chảy rơi đều có cùng một trị số vận tốc trung bình nên nó không thích ứng với lòng dẫn thiên nhiên và gây ra xói lở.

Vì vậy việc định chiều dài sau nước nhảy là rất quan trọng và có liên quan đến chiều dài gia cố ở hạ lưu công trình.

Trong dòng chảy rơi đều có cường độ mạch động rất bé nên có thể bỏ qua và động năng đơn vị trung bình có thể lấy bằng :

$$h_v = \alpha \frac{v^2}{2g} \quad (43)$$

trong đó α - hệ số sửa chữa động năng chỉ tính đến sự phân bố không đều của vận tốc trung bình thời gian trên mặt cắt ;

v- vận tốc trung bình trên mặt cắt ướt.

Còn đối với dòng chảy có cường độ rơi mạnh (mạch động) h_v phải là :

$$h_v = \alpha_c \frac{v^2}{2g} \quad (44)$$

trong đó $\alpha_c = \alpha + \alpha_p$ - hệ số sửa chữa động năng suy rộng.

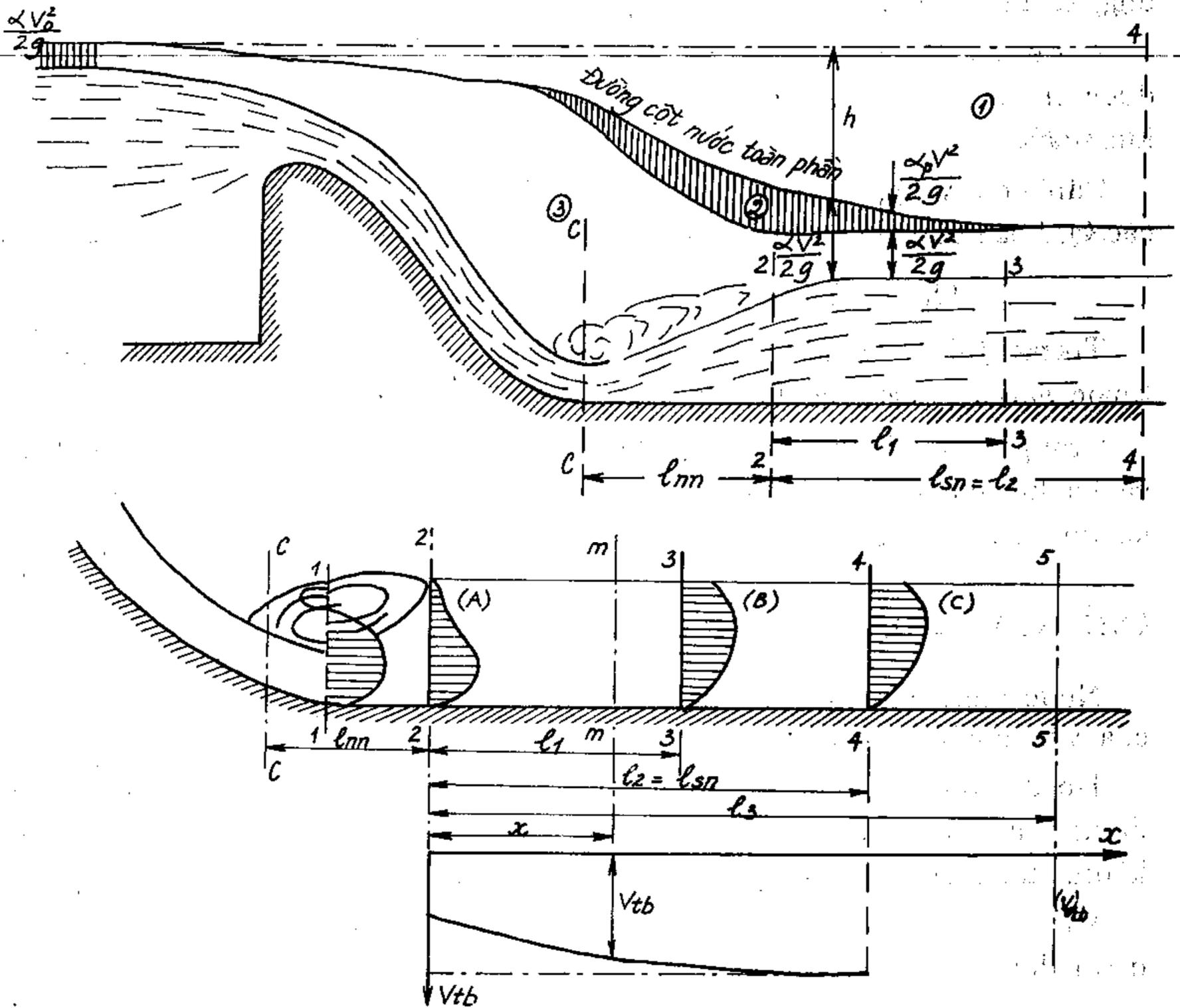
Trị số α_c tăng lên đột ngột từ đầu cho đến cuối nước nhảy.

Theo M.X.Vuzgô :

$$\alpha_c = 3 \sqrt[3]{\eta} - 2 \quad (45)$$

trong đó $\eta = \frac{h_h}{h_c}$

Ta có các hình vẽ về chiều dài sau nước nhảy :



Theo kết quả thí nghiệm tại mặt cắt cuối nước nhảy α_c biến đổi trong phạm vi từ 2,5 đến 5,5 khi $4 \leq \eta \leq 14$.

Trên hình vẽ :

+ Vùng 1- biểu đồ biểu thị tổn thất cột nước ;

+ Vùng 2 - biểu đồ động năng do sự mạch động (rối) cao của vận tốc

gây nên, tức là $\frac{\alpha_p v^2}{2g}$;

+ Vùng 3- biểu đồ động năng khi chỉ xét vận tốc trung bình thời gian $\frac{\alpha v^2}{2g}$.

Các kí hiệu :

+ l_1 - chiều dài trên đó biểu đồ phân bố vận tốc A chuyển sang B.

+ l_2 - chiều dài trên đó mạch động vận tốc tắt dần cho đến trị số bình thường của dòng chảy đều ;

+ l_3 - chiều dài trên đó mạch động áp suất tắt dần cho đến trị số bình thường của dòng chảy đều.

Kết quả thí nghiệm :

$$l_1 < l_2 < l_3 \quad (46)$$

Có thể lấy : $l_{sn} = l_2$

Bây giờ ta xét khả năng gây nên xói lở của dòng chảy trong đoạn sau nước nhảy.

Trên hình vẽ, lấy mặt cắt m-m sau nước nhảy, ta lấy :

$$x < l_{sn}$$

Tại mặt cắt 5-5 nằm ngoài phạm vi đoạn sau nước nhảy, thực nghiệm cho thấy :

$$[v_{tb}] < [(v_o)_{tb}]$$

Điều đó có nghĩa là với cùng một loại hạt và cùng một vận tốc trung bình, nếu ở dòng chảy bình thường thì không bị xói, nhưng ở trong đoạn sau nước nhảy thì lại có thể bị xói.

Nguyên nhân là do vận tốc đáy lớn, bất lợi.

Ta gọi :

$$k = \frac{(v_o)_{tb}}{v_{tb}} > 1 \quad (47)$$

là hệ số khả năng xói của dòng chảy.

Hệ số k đạt trị số lớn nhất tại mặt cắt 2-2 và giảm dần cho đến 4-4 thì bằng 1.

Hệ số k phụ thuộc vào hệ số mở rộng của nước nhảy và khoảng cách x :

$$k = f\left(\frac{x}{h_n}, \eta\right) \quad (48)$$

Ở trạng thái cân bằng giới hạn ta có :

$$v = [v_{tb}]$$

Để viết được phương trình cân bằng :

$$[(v_o)_{tb}] = k \cdot [v_{tb}] = k \cdot v ;$$

Với $[(v_o)_{tb}]$ đó ta sẽ xác định được đường kính hạt cát, đá phủ trên đoạn sau nước nhảy bằng cách dựa trên các công thức tính vận tốc xói cho phép (vận tốc khởi động). Đó chính là đường kính hạt nhỏ nhất không bị xói tại mặt cắt m-m.

Cần nói thêm rằng các kết quả nghiên cứu đã công bố về đoạn sau nước nhảy còn rất sơ bộ, chưa thỏa mãn được yêu cầu chống xói cho hạ lưu.

- Thực tế ở nước ta nhiều công trình có cột nước thấp, có nối tiếp bằng nước nhảy ngập nhưng vẫn bị xói nghiêm trọng.

Vì thế vấn đề còn cần được nghiên cứu tiếp.

Ví dụ XII-1 :

Đập tràn mặt cắt hình cong không chân không Corigior - Ôphixêrôp
 $m = 0,49$, $P = P_1 = 20m$, $q = 15m^3/sm$, $h_n = 5m^2$. Xác định dạng nối tiếp sau đập.

Giải :

$$q = m \cdot \sqrt{2g} H_o^{3/2}$$
$$H_o = \left(\frac{q}{m \cdot \sqrt{2g}} \right)^{2/3} = \left(\frac{15}{0,49 \times 4,43} \right)^{2/3} = 3,6m$$

$$E_o = H_o + P = 3,6 + 20 = 23,6m.$$

Theo I-I.Agrôtskin, đặt $\tau_c = \frac{h_c}{E_o}$; $\tau''_c = \frac{h''_c}{E_o}$
Sau khi biến đổi ta được :

$$q = \varphi \cdot \tau_c E_o \sqrt{2g(E_o - \tau_c \cdot E_o)} \quad \text{hoặc} \quad \frac{q}{\varphi \cdot E_o^{3/2}} = \sqrt{2g} \tau_c \sqrt{1 - \tau_c}$$

Vậy : $F(\tau_c) = \sqrt{2g} \cdot \tau_c \sqrt{1 - \tau_c}$

nên : $F(\tau_c) = \frac{q}{\varphi E_o^{3/2}}$ với $\varphi = 0,95$

$$F(\tau_c) = \frac{15}{0,95 \times 23,6^{3/2}} = 0,138$$

Tra bảng phụ lục 9 \leftrightarrow về quan hệ $F(\tau_c) - \tau_c$, τ'_c ta được $\tau'_c = 0,032$, $\tau''_c = 0,319$

$$h_c = E_o \cdot \tau_c = 23,6 \times 0,0320 = 0,76m$$

$$h''_c = E_o \cdot \tau''_c = 23,6 \times 0,316 = 7,3m$$

Xác định độ sâu phân giới ở dòng chảy hạ lưu.

$$h_k = \sqrt[3]{\frac{\alpha q^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{15^2}{9,81}} = 2,84m$$

$h_h > h_k$, ta có dòng chảy êm ở hạ lưu ;

$h_c < h_k$ - chảy xiết.

Nối tiếp dòng chảy qua đập với dòng chảy hạ lưu dạng xiết - êm, vì $h''_c > h_h$ nên ta có nước nhảy xa sau mặt cắt co hẹp c-c.

Ví dụ XII-2 :

Đập tràn cao $P = 20,4m$, cột nước trước đập $H_o = 3m$ dưới chân đập có bậc thụt cao $a = 6,5m$, mũi bậc ngược một góc $\theta = 14^\circ$ ($\cos\theta = 0,97$)

Xác định hình thức nối tiếp khi lưu lượng đơn vị $q = 11,2m^2/s$ và độ sâu hạ lưu $h_h = 9,2m$

Giải :

Cuối đập có bậc thụt, dòng chảy nối tiếp với hạ lưu có thể là chảy đáy hoặc chảy mặt tùy thuộc chiều sâu mức nước hạ lưu.

Trước hết xác định chiều sâu phân giới h_{h_1} (chiều sâu phân giới giữa chảy đáy ngập sang chảy mặt không ngập).

Giải hệ 3 phương trình :

$$E_o - a = h \cos\theta + \frac{1}{2} h_a + \frac{q^2}{2g\varphi^2 \cdot h^2} \quad (1)$$

$$\frac{2\alpha_o \cdot q^2}{gh h_n} (h - h_{n1} \cos\theta) = h_a (h \cdot \cos\theta + 2a) + (h \cos\theta + a)^2 - h_{n1}^2 \quad (2)$$

$$(h_a)_1 = 0,31 h_{n1} - 0,5a. \quad (3)$$

$$E_o = P + H_o = 20,4 + 3 = 23,4m.$$

$$a = 6,5m, \cos\theta = 0,97, \alpha_o = 1, q = 11,2m^2/s$$

$$\varphi = 0,95$$

Giả thiết 1 : $h_a = 1$.

Thay vào phương trình 1

$$23,4 - 6,5 = 0,97h + \frac{q^2}{2g\varphi^2 h^2}$$

$$16,9 = 0,97h + \frac{7,08}{h^2}$$

Giải ra được $h = 0,66m$

hay
$$\frac{25,6}{h_{n1}} - 37,6 = 51 - h_{n1}^2$$

$$h_{n1} - \frac{25,6}{h_{n1}} = 88,6m^2$$

Giải ra được $(h_{n1})_1 = 9,27m$

Thay $(h_{n1})_1 = 9,27$ vào phương trình 3 ta tính h_{a1}

$$h_{a1} = 0,31 \times 9,27 - 0,5 \times 6,5 = - 0,38m$$

thay $(h_a)_1 = - 0,38m$ vào phương trình 1 tính h

$$23,4 - 6,5 = 0,97h - \frac{0,38}{2} + \frac{11,2^2}{19,62 \times 0,95^2 \cdot h^2}$$

Giải được $h = 0,656m$ thay vào phương trình 2 ta có :

$$\frac{25,6}{h_{n1}} - 37,6 = - 0,38 (0,97 \times 0,656 + 2 \times 6,5) + 51 - h_{n1}^2$$

$$h_{n1}^2 + \frac{25,6}{h_{n1}} = 88,6 - 5,17 = 83,43m^2$$

Giải ra ta được $(h_{n1})_2 = 8,98m$.

Tính lại lần thứ 3 các bước như trên ta được $(h_{n1})_3 = 8,94m$ so sánh $(h_{n1})_2$ và $(h_{n1})_3$ độ thay đổi vật ít ta lấy $(h_{n1})_1 = 8,94m$.

Như vậy $h_n > (h_n)_1$ ta cần tính $(h_n)_2$. Xác định $(h_n)_2$ bằng phương trình

$$(h_a)_2 = 0,59[(h_n)_2 - a]$$

Giả thiết 2 : $(h_n)_2 = 10m$.

$$(h_a)_2 = 0,59 (10 - 6,5) = 2,065m$$

Thay vào phương trình 2 với $h_{n2} = 10m, h = 0,656m$

$$(h_n)_2^2 + \frac{25,6}{(h_n)_2} = 2,06(0,97 \times 0,656 + 2 \times 6,5) + 88,6$$

$$(h_n)_2^2 + \frac{25,6}{(h_n)_2} = 116,7 \text{ m}^2$$

Giải ra được $(h_n)_2 = 10,7 \text{ m}$

Tính lại lần thứ 2 :

$$(h_a)_2 = 0,59(10,7 - 6,5) = 2,48 \text{ m}$$

Tính h từ phương trình 1.

$$E_o - a = h \cos\theta + \frac{1}{2} h_a + \frac{q^2}{2g\varphi^2 \cdot h^2}$$

$$16,9 = 0,97h + 1,24 + \frac{7,08}{h^2}$$

Giải được $h = 0,685 \text{ m}$. Thay $h = 0,685 \text{ m}$ vào phương trình 2

$$(h_n)_2^2 + \frac{25,6}{(h_n)_2} = 121,53 \text{ m}^2$$

Giải ra được $(h_n)_2 = 10,9 \text{ m}$.

So sánh $(h_n)_2$ tính lần 2 và lần 3 ta có sự sai lệch không đáng kể, chọn $(h_n)_2 = 10,9 \text{ m}$. Như vậy $(h_n)_1 < h_n < (h_n)_2$ nối tiếp ở hạ lưu ở trạng thái chảy mặt không ngập.

Ví dụ XII-3 :

Cho đập tràn thực dụng mặt cong cao $P = 15 \text{ m}$; $q = 8 \text{ m}^3/\text{s.m}$; $m = 0,49$, $h_n = 3,5$; $h_c = 0,48$; $h''_c = 5,16 \text{ m}$. Tính chiều cao tường tiêu năng.

Giải :

$h_n = 3,5 \text{ m}$, $h''_c = 5,16 \text{ m}$, $h_n < h''_c$ xảy ra nước nhảy xa sau mặt cắt co hẹp c-c. Để tạo được nước nhảy tại c-c ta xây tường để tăng trị số h_n lên. Tính chiều cao tường c.

Sơ bộ tính c

$$H_1 = \left(\frac{q}{\sigma_n \cdot m' \sqrt{2g}} \right)^{2/3} - \frac{\alpha}{2g} \frac{q^2}{(\sigma h''_c)^2}$$

Trong đó : σ_n - hệ số ngập khi chảy qua tường.

$$H_1 = \left(\frac{8}{1 \times 0,42 \cdot 4,43} \right)^{2/3} - \frac{8^2}{19,62(1,05 \cdot 5,16)^2}$$

$$= 2,64 - 0,11 = 2,53 \text{ m}$$

$$abc = 1,05 \cdot 5,16 - 2,53 = 2,9 \text{ m}$$

$h_n > c$ dòng chảy qua tường là chảy ngập $\sigma_1 < 1$.

Giả thiết lấy $c_1 < c$. Lấy $c_1 = 2,6 \text{ m}$

$$h_n = h_n - c = 3,5 - 2,6 = 0,9 \text{ m}$$

Giả thiết $(H_1)_2 = (H_1)_1 = 2,53\text{m}$.

$$\frac{h_n}{H_1} = \frac{0,9}{2,53} = 0,356$$

Tra bảng $\sigma_n = f\left(\frac{h_n}{H_1}\right)$ (chương XI) có $\sigma_n = 0,985$.

$$\begin{aligned} \text{Tính } (H_1)_2 &= \left(\frac{q}{\sigma_n \cdot m' \cdot \sqrt{2g}}\right)^{2/3} - \frac{1}{2g} \frac{q^2}{(\sigma h''_c)^2} \\ &= \frac{8}{0,985 \cdot 0,42 \cdot 4,43} - \frac{1}{19,62} \frac{8^2}{(1,05 \cdot 5,16)^2} \\ &= 2,56\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_2 &= \sigma h''_c - (H_1)_2 \\ &= 1,05 \times 5,16 \\ &= 5,418 - 2,56 = 2,86\text{m} \end{aligned}$$

Tính lại lần 3 :

$$\text{Lấy } c_2 = 2,9\text{m} ; h_n = h_n - c_2 = 3,5 - 2,9 = 0,6\text{m}$$

$$\frac{h_n}{H_1} = \frac{0,6}{2,56} = 0,23 \rightarrow \sigma_n = 0,99$$

$$(H_1)_3 = \left(\frac{8}{0,99 \cdot 0,42 \cdot 4,43}\right)^{2/3} - 0,11 = 2,55$$

$$c_3 = 5,418 - 2,55 = 2,87\text{m}$$

Như vậy chiều cao của tường $c = 2,9\text{m}$.

Ví dụ XII-4 :

Số liệu các thông số như bài XII-3 nhưng sử dụng bể tiêu năng

Giải :

$$m' = 0,42 ; h_c = 0,48\text{m} ; h''_c = 5,16\text{m} ; h_n = 3,5\text{m} ; q = 8 \text{ m}^3/\text{s.m}$$

Tính chiều sâu bể d :

$$\begin{aligned} \text{Giả thiết } d &= \sigma \cdot h''_c - h_n \\ &= 1,05 \times 5,16 - 3,5 = 1,92\text{m} \end{aligned}$$

$$\text{Lần đầu lấy } d_1 = 1,9\text{m}$$

$$E_{0_1} = E_0 + d_1 = 17,38 + 1,9 = 19,28\text{m}$$

$$F(\tau_c) = \frac{q}{\varphi (E_{0_1})^{3/2}} = \frac{8}{0,95 (19,28)^{3/2}} = 0,1$$

Tra bảng quan hệ $F(\tau_c) = f(\tau_c, \tau'_c)$ phụ lục 9

$$\tau_c = 0,0228 ; \quad h_c = \tau_c \cdot E_{01} = 0,0228 \cdot 19,28 \\ = 0,44m$$

$$\tau'_c = 0,272 ; \quad h''_c = 0,272 \cdot 19,28 = 5,244m.$$

Chiều sâu trong bể tiêu năng khi đã đào bể

$$h_b = \sigma(h''_c) = 1,05 \times 5,244 = 5,48m$$

Độ chênh mức nước giữa bể và hạ lưu ΔZ

$$\Delta Z = \Delta Z_o - \frac{\alpha v_b^2}{2g} = \frac{q^2}{2g\varphi^2 h_h^2} - \frac{q^2}{2g(h''_c)_1^2} \\ = \frac{8^2}{19,62(0,95)^2 (3,5)^2} - \frac{8^2}{19,62(5,244)^2}$$

$$0,295 - 0,12 = 0,175m$$

Như vậy chiều sâu bể

$$d_2 = \sigma(h''_c)_1 - (h_h + \Delta Z) = 1,05 \times 5,244 - (3,5 + 0,175) \\ = 1,83m$$

$d_1 \neq d_2$ tính lại lần 2

$$(E_o)_2 = E_o + d_2 = 17,38 + 1,83 = 19,21m$$

$$F(\tau_c)_2 = \frac{q}{\varphi (E_o)_2^{3/2}} = \frac{8}{0,95 \cdot (19,21)^{3/2}} = 0,1$$

$$\tau_c = 0,0228 \quad h_c = 0,44m$$

$$\tau'_c = 0,272 \quad (h''_c)^2 = 5,225m$$

$$(\Delta Z)_2 = \frac{q^2}{2g\varphi'^2 h_s^2} - \frac{q^2}{2g(h''_c)_2^2} \\ = \frac{8^2}{19,62(0,95)^2 \cdot 3,5^2} - \frac{8^2}{19,62(5,225)^2} \\ = 0,295 - 0,12 = 0,175m$$

$$d_2 = \sigma(h''_c)_2 - (\Delta Z + h_h) = 5,486 - 3,675 = 1,81m$$

Như vậy chọn $d = d_1 = 1,83m$.

Vi dụ XII-5 :

Cho đập tràn mặt cắt thực dụng dạng cong $P = 15\text{m}$, $q = 8 \text{ m}^3/\text{m.s}$, $m = 0,49$, $h_h = 3\text{m}$, $h_c = 0,48\text{m}$, $h''_c = 5,10\text{m}$. Tính chiều cao tường và chiều sâu bể khi công trình tiêu năng là bể kết hợp.

Giải :

Trước hết xác định c_o , d_o chiều cao tường và chiều sâu bể tiêu năng tạo được nước nhảy tại chỗ trong bể và sau tường.

Tính c_o : chiều cao tường đủ để tạo nước nhảy tại chỗ sau tường với $h'' = h_h$. Chiều sâu co hẹp sau tường được xác định bằng hàm số nước nhảy.

$$\begin{aligned} h_{c_1} &= \frac{h_h}{2} \left[\sqrt{1 + \gamma \frac{\alpha_o q^2}{g h_c^3}} - 1 \right] \\ &= \frac{3,0}{2} \left[\sqrt{1 + 8 \frac{8^2}{9,81 \cdot 3^3}} - 1 \right] = 1,07 \text{ m} \end{aligned}$$

Năng lượng của dòng chảy trước tường

$$\begin{aligned} E_{o_1} &= h_{c_1} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = h_{c_1} + \frac{\alpha q^2}{\varphi' 2g h_{c_1}^2} \\ &= 1,07 + \frac{8^2}{(0,95)^2 \cdot 19,62 \cdot (1,07)^2} \\ &= 4,23 \text{ m} \end{aligned}$$

$$H_{o_1} = \left(\frac{q}{\varphi' \sqrt{2g}} \right)^{2/3} = \left(\frac{8}{0,95 \times 4,43} \right)^{2/3} = 1,53 \text{ m}$$

$$c_o = E_{o_1} - H_{o_1} = 4,23 - 1,53 = 2,7 \text{ m.}$$

Tính đo :

$$h_c = 0,48\text{m}; \quad h''_c = 5,10 \text{ m}$$

$$H_{o_1} + d_o + c_o = h''_c$$

$$d_{o_1} = \sigma h''_c - (H_{o_1} + c_o) = 5,42 - (1,53 + 2,7) = 1,2 \text{ m.}$$

$$(E_o)_1 = E_o + d_{o_1} = 17,38 + 1,2 = 18,58 \text{ m.}$$

$$F(\tau_c) = \frac{q}{\varphi (E_o)_1^{3/2}} = \frac{8}{0,95 \cdot (18,58)^{3/2}} = 0,105 \text{ m}$$

$$\tau_c = 0,228 ; \tau'_c = 0,792 ; (h''_c) = 18,58 \times 0,279 = 5,17\text{m}$$

$$d_o = \sigma(h''_c) - (c_o + H_o) = 5,43 - 4,23 = 1,2\text{m}$$

Vậy $c_o = 2,7\text{m}$, $d_o = 1,2\text{m}$

Ta tăng d_o và giảm c_o ta có d và c

$$d = 1,5\text{m}; \quad c = 2,5\text{m}.$$

$c < c_o$ nước nhảy sau tường là dạng nước nhảy ngập.

Ví dụ XII-6 :

Cho đập tràn thực dụng thành cong có $P = 15\text{m}$, $q = 8\text{m}^3/\text{s.m}$, $m = 0,49$, $h_h = 3\text{m}$, $h''_c = 5,05\text{m}$. Xác định chiều dài bể tiêu năng.

Giải : $l_o = l_{nn} + l' \quad l_1 = 0$

l_{nn} - chiều dài khu nước cuộn

l' - chiều dài khu nước cuộn dưới

Theo MĐ Trectouxốp

$$l_b = \beta l_{nn} + l_1 ; \quad \beta = 0,7 \div 0,8$$

$$l_{nn} = 4,5 (h''_c) ; \quad (h''_c) = 5,17\text{m}$$

Vậy $l_b = 0,8 \times 4,5 \times 5,17 ;$
 $= 18,6\text{m}.$

Ví dụ XII-7 :

Cho đập tràn thực dụng thành cong có $P = 6\text{m}$, $b = 15\text{m}$, $M = m\sqrt{2g} = 2$, $\varphi = 0,95$. Xác định lưu lượng tính toán tiêu năng khi biết $h_h = f(Q)$ ở hạ lưu cho theo bảng. Cho biết bên cạnh đập có nhà máy thủy điện $Q = 10\text{m}^3/\text{s}$.

Giải :

Với mỗi giá trị Q chảy qua đập ta tính được

$$H_o = \left(\frac{Q}{b m \sqrt{2g}} \right)^{2/3} = \left(\frac{Q}{Mb} \right)^{2/3}$$

$$E_o = P + H_o$$

Tính $F(\tau_c) : F(\tau_c) = \frac{Q}{b \varphi E_o^{3/2}}$

Có τ_c , τ'_c để tìm h_c và h''_c

lập quan hệ $(h''_c - h_h) = f(Q)$ với $Q = Q_{xá} + Q_{nm}$,

Trong đó: Q - lưu lượng ở hạ lưu

$Q_{xá}$ - lưu lượng xả qua đập

Q_{nm} - lưu lượng qua nhà máy

Kết quả tính toán được ghi ở bảng sau.

Q_{xa}	H_0	E_c	$F(\tau_c)$	τ''_c	(h''_c)	Q_{hl}	h_h	$h''_c - h_h$
12	0,62	6,62	0,062	0,205	1,43	25	1,28	0,15
22,5	0,83	6,83	0,089	0,258	1,76	32,5	1,5	0,26
30	1,0	7,0	0,114	0,29	2,03	40	1,87	0,16
60	1,59	7,59	0,202	0,378	2,87	70	2,74	0,13
90	2,07	8,07	0,276	0,436	3,52	100	3,42	0,1

Từ bảng ta có $Q_{II} = 22,5 \text{ m}^3/\text{s}$

Ví dụ XII-8 :

Xác định dạng nối tiếp qua đập tràn mặt cắt dụng dạng cong không chân không có $P = 12\text{m}$, $b = 10\text{m}$, $m = 0,49$, $Q = 60 \text{ m}^3/\text{s}$, cuối đập không có bậc, dòng chảy đều ở hạ lưu có $h_h = 4,5\text{m}$.

Đáp số : dạng nối tiếp xiết êm ; nước nhảy ngập sau đập

Ví dụ XII-9 :

Cho đập tràn thực dụng dạng cong có $P = 15\text{m}$, $m = 0,49$, $h_h = 1,5\text{m}$, $q = 8 \text{ m}^3/\text{s.m}$. Xác định dạng nối tiếp dòng chảy sau đập

Đáp số : dạng nối tiếp xiết xiết ; nước dâng C_{II}

Ví dụ XII-10 :

Đập tràn mặt cắt thực dụng dạng cong có $P = 12\text{m}$, $b = 10\text{m}$, $m = 0,49$, $Q = 60 \text{ m}^3/\text{s}$, $h_h = 3\text{m}$. Tính chiều cao tường tiêu năng khi chiều rộng kênh hạ lưu bằng chiều dài tuyến đập.

Đáp số : chiều cao tường $c = 2,3\text{m}$

Ví dụ XII-11 :

Cho đập tràn mặt cắt thực dụng dạng cong có $m = 0,49$, $q = 6 \text{ m}^2/\text{s}$, $P = 12\text{m}$, $h_h = 3\text{m}$

Xác định chiều sâu bể tiêu năng

Đáp số : $d = 1,5\text{m}$

Ví dụ XII-12 :

Xác định lưu lượng tính toán tiêu năng cho một đập tràn mặt cắt thực dụng không có chân không cao $P = 11\text{m}$ với cột nước thiết kế $H_{tk} = 3,8\text{m}$ với $Q_{tk} = 805 \text{ m}^3/\text{s}$, $b = 50\text{m}$. Hệ số vận tốc $\varphi = 0,95$. Lưu lượng chảy qua đập thay đổi từ $Q_{min} = 158 \text{ m}^3/\text{s}$ đến $Q_{max} = 805 \text{ m}^3/\text{s}$. Quan hệ $h_h - Q$ cho ở bảng.

Đáp số : $Q_{II} = 420 \text{ m}^3/\text{s}$.