

TÍNH TOÁN BỘ PHẬN TIẾP KHÍ ĐỂ PHÒNG KHÍ THỰC TRÊN MẶT TRÀN VÀ ĐỐC NƯỚC CỦA CÔNG TRÌNH THÁO NƯỚC

PGS. TS. NGUYỄN CHIẾN

Trường Đại học Thủy Lợi

TÓM TẮT: Đối với các công trình tháo nước mà dòng chảy có lưu tốc lớn, việc tính toán và bố trí các bộ phận để phòng khí thực là rất cần thiết. Trong bài trình bày cơ sở lý thuyết và thực nghiệm của việc bố trí bộ phận tiếp khí (BPTK) để phòng khí thực trên mặt tràn, đốc nước; đưa ra quy trình tính toán thiết kế các BPTK này. Việc tính toán áp dụng cho tràn Cửa Đạt cho thấy các kết quả khá phù hợp với số liệu thí nghiệm mô hình. Kiến nghị cho áp dụng rộng rãi phương pháp này trong thiết kế các công trình tháo nước.

1. Đặt vấn đề.

Trong sự nghiệp phát triển thủy lợi, thủy điện hiện nay, chúng ta đang và sẽ xây dựng các hồ chứa lớn với dung tích hàng tỷ mét khối, đập cao hàng trăm mét và đường tràn tháo lũ làm việc với lưu lượng xả tới hàng nghìn m^3/s . Với các công trình tháo lũ có cột nước cao, lưu tốc dòng chảy trong lòng dẫn có thể đạt tới 25-30 m/s, hoặc cao hơn (như ở mặt đốc nước hồ thủy điện Sơn La, $V_{max} = 35,16$ m/s; mặt đốc nước hồ Cửa Đạt, $V_{max}=35,82$ m/s...). Khi đó, khả năng xâm thực do khí thực trên bề mặt lòng dẫn là rất lớn, đòi hỏi trong thiết kế cần phải tính toán và áp dụng các biện pháp công trình để phòng khí thực, đảm bảo an toàn cho công trình. Có thể áp dụng nhiều loại biện pháp khác nhau để phòng khí thực, trong đó giải pháp tiếp không khí vào dòng chảy đã được áp dụng thành công vào nhiều công trình lớn trên thế giới, và bước đầu được áp dụng ở Việt Nam (đường tràn hồ Cửa Đạt [4]). Sau đây sẽ xem xét các vấn đề về nguyên lý làm việc và quy trình tính toán bộ phận tiếp khí để phòng khí thực trên mặt tràn và đốc nước.

2. Cơ chế phá hoại do khí thực trên bề mặt lòng dẫn đập tràn, đốc nước.

Trên bề mặt lòng dẫn, do nhiều nguyên nhân khác nhau có thể tồn tại các gồ ghề cục bộ dưới dạng các bậc lồi, bậc thụt, mấu lồi đơn độc... Khi dòng chảy với lưu tốc lớn đi qua các vị trí có gồ ghề cục bộ này, sẽ có hiện tượng tách dòng, tức chủ lưu không bám sát vào thành rắn, trong vùng tách dòng áp suất sẽ giảm và hình thành khu vực có chân không. Nếu áp suất trong nước giảm xuống dưới một trị số giới hạn gọi là áp suất phân giới (p_{pg}) thì sẽ có hiện tượng khí hoá, tức hình thành hàng loạt các bong bóng nhỏ chứa hơi nước, xuất phát từ khu vực có $p \leq p_{pg}$. Các bong bóng bị dòng chảy cuốn đi, sang vùng có áp suất cao hơn, chúng sẽ bị phá huỷ và gây ra một xung lực lớn. Nếu các bong bóng khí bị phá huỷ dồn dập ở gần bề mặt lòng dẫn thì sẽ làm cho ứng suất trong vật liệu thành lòng dẫn đổi dấu liên tục, làm cho vật liệu bị phá hoại do mỏi, bị bong rời ra khỏi bề mặt lòng dẫn tạo thành các hố xâm thực. Hiện tượng này gọi là khí thực.

Ở nước ta, trong thời gian gần đây đã ghi nhận được ngày càng nhiều các trường hợp phá hoại mặt tràn, đốc nước do khí thực, như ở hồ Thác Bà, Yên Lập, Kẻ Gỗ, Phú Ninh, Nam Thạch Hãn ([1], [2], [3]).

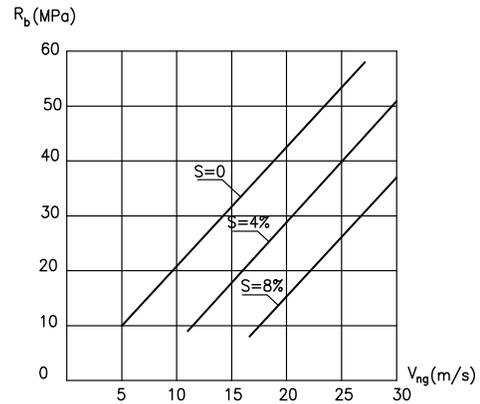
3. Tác dụng của việc tiếp không khí vào dòng chảy

Nhiều thí nghiệm đã chỉ ra rằng khi tăng hàm lượng không khí ở lớp dòng chảy sát bề mặt lòng dẫn thì hiện tượng khí thực sẽ giảm hẳn, hoặc bị triệt tiêu hoàn toàn. Ở Trung Quốc, kiểm tra trên đập tràn Wujiangdu với gồ ghề mặt tràn $Z_m < 60$ mm, lưu tốc $V=44$ m/s, khi hàm lượng khí ở lớp nước sát thành $S=4\%$ thì không xảy ra xâm thực. Ở đập Fengman [6], với bề tông mặt tràn $R_b=15$ MPa, $V=34$ m/s, khi $S=4\%$ cũng không có hiện tượng khí thực. Ở Nga, bằng thí nghiệm trong phòng với nhiều loại bề tông khác nhau, Galperin(1971), Semencov và Lentiaev (1973) đã

đưa ra quan hệ giữa lưu tốc ngưỡng xâm thực V_{ng} với cường độ bê tông R_b và độ hàm khí ở lớp nước sát thành S như trên hình 1 [5].

Hiện tượng giảm khả năng xâm thực bề mặt lòng dẫn khi tăng hàm lượng không khí ở lớp dòng chảy sát thành được giải thích như sau. Không khí tồn tại trong nước dưới dạng các bọt khí nhỏ li ti. Hàm lượng không khí trong nước càng cao, số lượng các bọt khí càng nhiều, làm cho nước có khả năng đàn hồi cao hơn so với nước không chứa bọt khí. Lớp dòng chảy sát bề mặt lòng dẫn có hàm khí cao sẽ có tác dụng như một lớp đệm trên bề mặt lòng dẫn, tiếp nhận và hoá giải các xung lực do sự phá huỷ các bong bóng hơi truyền tới. Kết quả là lớp vật liệu bề mặt lòng dẫn được bảo vệ khỏi sự phá hoại.

Tuy nhiên, cần lưu ý rằng tác dụng bảo vệ chống khí thực chỉ được phát huy khi tăng hàm lượng không khí ở lớp dòng chảy sát thành. Nếu tiếp không khí vào từ mặt thoáng của dòng chảy thì sẽ không đạt hiệu quả cần thiết.



Hình 1. Quan hệ $V_{ng} = f(R_b, S)$ của vật liệu bê tông [5]

4. Bố trí bộ phận tiếp khí để phòng khí thực trên mặt tràn, dốc nước.

4.1. Hình thức bộ phận tiếp khí (BPTK)

BPTK có thể bố trí ở đáy hoặc thành bên lòng dẫn, hoặc phối hợp cả hai. Đối với các mặt tràn và dốc nước rộng thì đặt BPTK ở đáy là thích hợp.

Về cấu tạo, mỗi BPTK gồm có 2 phần: phần tạo buồng khí và đường dẫn khí để cung cấp khí vào buồng khí.

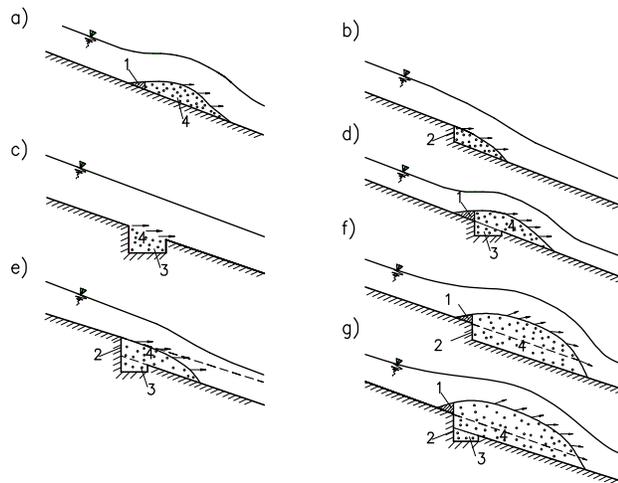
Bộ phận tạo buồng khí: có thể thiết kế dạng mũi hắt, bậc thụt, máng hay dạng hỗn hợp (hình 2).

Đường dẫn khí có thể bố trí dạng máng hở hay ống dẫn khí như trên hình 3.

Nói chung, có nhiều phương án bố trí bộ phận tạo buồng khí và đường tiếp khí khác nhau. Trong thiết kế cần dựa vào quy mô công trình và đặc điểm của đường tháo nước để lựa chọn cho phù hợp.

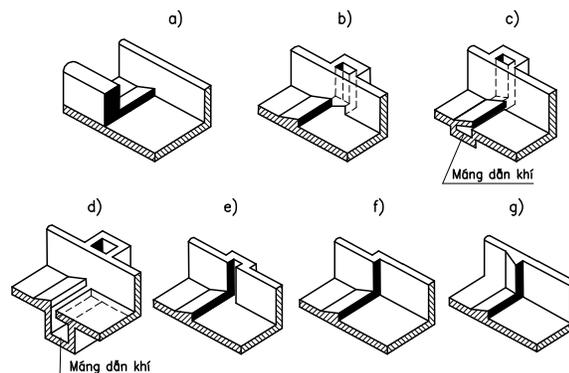
4.2. Vị trí đặt BPTK

Vị trí đặt BPTK trên mặt tràn, dốc nước phụ thuộc vào yêu cầu bảo vệ phòng khí thực. Khi tính toán thủy lực mặt tràn, dốc nước, sau khi vẽ đường mặt nước cần tiến hành tính toán xác định khả năng phát sinh khí hoá và khí thực tại các mặt cắt dọc theo đường tháo (xem [1]).



Hình 2- Các loại BPTK

1- Mũi hắt; 2- Bậc thụt; 3- Máng; 4- Buồng khí



Hình 2- Các phương án bố trí đường dẫn khí

BPTK đầu tiên (theo chiều dòng chảy) cần đặt ở trước mặt cắt mà theo tính toán dự báo sẽ xuất hiện khí thực.

Mỗi BPTK sẽ tạo ra sau nó một vùng tách dòng gọi là buồng khí. Từ đây, không khí sẽ được hoà trộn vào dòng chảy. Tại mặt cắt đầu tiên phía sau buồng khí, lớp dòng chảy sát thành có độ hàm khí cao nhất. Sau đó, theo chiều dòng chảy, các bọt khí sẽ dần thoát lên phía trên, làm cho hàm lượng khí ở lớp sát thành giảm dần. Khi độ hàm khí ở lớp sát thành giảm xuống dưới một giá trị giới hạn S_k thì cần bố trí BPTK tiếp theo.

Trị số S_k phụ thuộc vào độ bền của vật liệu lòng dẫn và lưu tốc dòng chảy sát thành, có thể nội suy theo hình 1.

Như vậy, khoảng cách giữa các BPTK trên lòng dẫn phụ thuộc vào nhiều yếu tố khác nhau. Theo nghiên cứu tổng kết của Trung Quốc và các nước khác ([4], [6]...), khoảng cách hợp lý giữa các BPTK khoảng 60-120m. Độ dốc lòng dẫn càng lớn thì chọn khoảng cách này càng xa. BPTK cuối cùng chọn cách mặt cắt cuối dốc không dưới 50m để tránh ảnh hưởng đến chế độ tiêu năng phía sau.

Trong thiết kế cần tính toán với một số phương án bố trí BPTK khác nhau để so sánh chọn phương án hợp lý.

5. Tính toán các thông số của một BPTK.

5.1. Tính toán chiều cao mũi hắt Z_m

Chiều cao mũi hắt phụ thuộc vào chiều dài đoạn lòng dẫn được bảo vệ phía sau nó (L_p), vào độ dốc dọc lòng dẫn, lưu tốc dòng chảy và nhiều yếu tố khác. Theo tổng kết của Trung Quốc [4], có thể tính theo công thức kinh nghiệm sau:

$$Z_m = \frac{L_p \cdot \cos 2\psi}{25(\sqrt{Fr} - 1)}, \text{ m}; \quad (1)$$

trong đó:

L_p - chiều dài cần bảo vệ phía sau BPTK, m;

ψ - góc nghiêng của đáy dốc đối với phương ngang;

Fr - số Frut của dòng chảy phía trên BPTK.

5.2. Chọn độ nghiêng của mũi hắt: thường chọn độ nghiêng tương đối của mũi hắt so với đáy lòng dẫn $\frac{Z_m}{L_m} = \frac{1}{6} \div \frac{1}{5}$, trong đó Z_m là chiều cao mũi, tính theo phương thẳng đứng; L_m là chiều dài mũi, tính theo phương nằm ngang.

5.3. Xác định chiều dài buồng khí tạo ra sau mũi hắt (L_b). Trị số L_b được xác định trên cơ sở giải phương trình của tia nước phóng từ mũi hắt với lưu tốc bình quân trên đó là V , độ sâu nước trên mũi là h , không xét đến chân không ở trong buồng khí. Công thức xác định như sau [4]:

$$L_b = \frac{h}{\cos \psi} \left[\frac{Z_m}{h} + \sqrt{Fr} \frac{\cos(\psi - \theta)}{\cos \psi} (\sqrt{Fr} \sin \theta + \sqrt{Fr \cdot \sin^2 \theta + \frac{2Z_m}{h} \cos \psi}) \right]; \quad (2)$$

Ở đây, θ là góc nghiêng của mũi so với phương ngang; Fr - số Frut của dòng chảy phía trên mũi hắt $Fr = V^2/gh$;

Các thông số khác như đã giải thích ở trên.

5.4. Xác định lưu lượng khí đơn vị cần cấp

Lưu lượng khí cần cấp phụ thuộc vào diện tích tiếp xúc giữa buồng khí với dòng chảy và vận tốc dòng chảy ở trên đó. Từ những nghiên cứu, đo đạc trên công trình thực tế tràn xả lũ Baphutualia, Dospinto và các cộng sự đã đề nghị công thức kinh nghiệm [4]

$$Q_a = 0,033 \cdot B \cdot L_b \cdot V; \quad (3)$$

trong đó:

B- bề rộng lòng dẫn, m; L_b - chiều dài buồng khí, m; V - lưu tốc bình quân của dòng chảy phía trên buồng khí, có thể lấy bằng lưu tốc bình quân của dòng chảy phía trên mũi hắt, m/s.

5.5. Tính diện tích tổng cộng của mặt cắt ngang các ống dẫn khí:

$$\omega_a = \frac{Q_a}{V_a}, m^2; \quad (4)$$

trong đó: V_a - lưu tốc khí khống chế trong ống, chọn $V_a \leq 60$ m/s để tránh gây ra tiếng rít và rung động khi BPTK làm việc

Thường bố trí 2 ống cấp khí ở 2 tường bên của đường tràn. Trường hợp đường tràn có bề rộng B lớn, yêu cầu lưu lượng thông khí Q_a lớn thì phải bố trí thêm các trụ trung gian ở trong lòng dẫn và đặt thêm các ống dẫn khí trong các trụ này. Khi đó, hình dạng, kích thước các ống dẫn khí nên làm giống nhau.

$$\omega_{a1} = \frac{\omega_a}{n}, m^2; \quad (5)$$

trong đó, n là tổng số ống dẫn khí.

Mỗi ống dẫn khí thường có mặt cắt chữ nhật, kích thước $B_a \times t_a$

trong đó, B_a - độ dài theo chiều dòng chảy; t_a - độ dài theo chiều dày tường hay trụ

5.6. Xác định độ chân không ở trong buồng khí

Độ chân không ở trong buồng khí chính là chênh lệch cột nước áp lực ở đầu và cuối của ống dẫn khí, sẽ tạo nên dòng khí ở trong đó. Nó được xác định theo công thức quen thuộc của thủy lực, khi thay dòng nước bằng dòng khí:

$$h_{ck} = \frac{V_a^2}{2g \cdot \mu_a} \cdot \frac{\gamma_a}{\gamma}, m; \quad (6)$$

trong đó: V_a - lưu tốc khí trong ống, m/s; g - gia tốc trọng trường, m/s²; μ_a - hệ số lưu lượng của ống dẫn khí; xác định theo các công thức thủy lực; γ_a - trọng lượng riêng của không khí, KN/m³; γ - trọng lượng riêng của nước, KN/m³.

Trong điều kiện bình thường, lấy $\frac{\gamma_a}{\gamma} = \frac{1}{780}$.

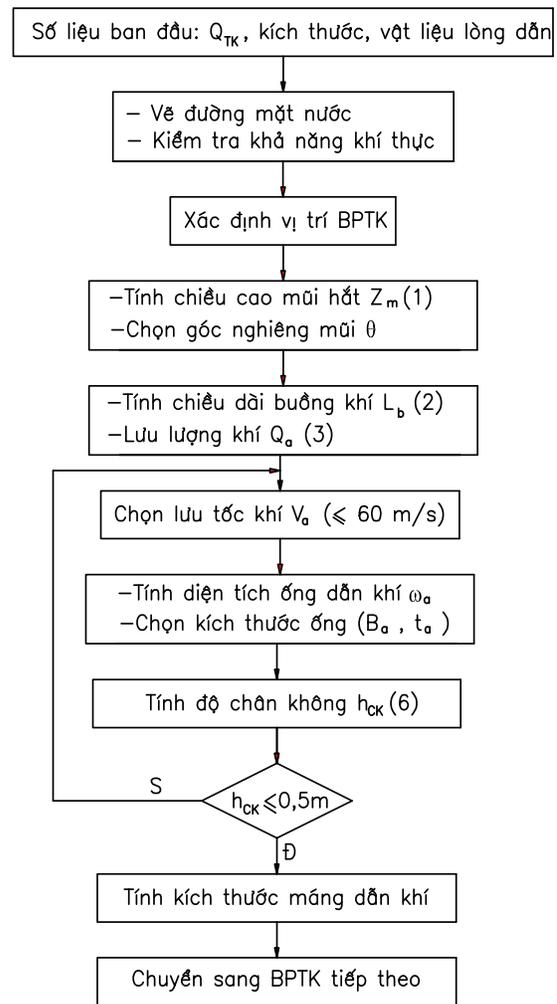
Để đảm bảo ổn định dòng chảy trên dốc và khống chế lưu tốc V_a trong ống dẫn khí, thường giới hạn $h_{ck} \leq 0,5m$.

5.7. Tính toán kích thước máng dẫn khí

Máng bố trí liên tục phía sau mũi hắt và nối thông với các ống dẫn khí từ tường bên hay trụ.

Kích thước máng lấy như sau: Bề rộng (theo chiều dòng chảy) $B_{mk} = B_a$; chiều cao: $t_{mk} = t_a - Z_m$; trong đó B_a và t_a là các kích thước mặt cắt ống dẫn khí (xem mục 5.5); Z_m - chiều cao mũi hắt.

Tóm tắt quy trình tính toán BPTK như trên hình 4.



Hình 4. Lưu đồ tính toán BPTK trên mặt tràn, dốc nước

6. Ví dụ tính toán cho dốc nước đường tràn hồ chứa Cửa Đạt

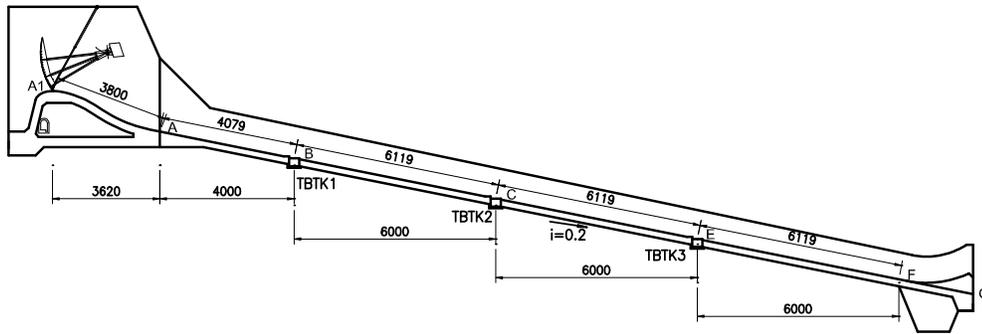
6.1. Số liệu ban đầu

Sơ đồ đập tràn và dốc nước như trên Hình 5. Chiều dài dốc nước $L_d = 220\text{m}$ (trên mặt bằng); độ dốc $i = 0,2$ (góc dốc $\psi = 11,3^\circ$); vật liệu thân dốc: BTCT M30. Độ nhám bề mặt: $n = 0,017$ ($\Delta = 0,5\text{mm}$); độ gồ ghề cục bộ tại các khớp nối: $Z_m = 6\text{mm}$. Mặt cắt ngang dốc chữ nhật, $B = 67,0\text{m}$. Lưu lượng thiết kế: $Q_{TK} = 8200 \text{ m}^3/\text{s}$; độ sâu đầu dốc: $h_d = 5,44\text{m}$. Kết quả tính toán thủy lực cho thấy có khả năng khí thực tại các gồ ghề trên mặt dốc từ mặt cắt cách đầu dốc 70m. Yêu cầu thiết kế BPTK để phòng khí thực.

6.2. Bố trí các BPTK.

Để bảo vệ các đoạn dốc có khả năng bị khí thực, chọn phương án bố trí các BPTK như sau:

- BPTK 1 đặt tại mặt cắt M_1 , cách đầu dốc 40m;
- BPTK 2 đặt tại mặt cắt M_2 , cách đầu dốc 100m;
- BPTK 3 đặt tại mặt cắt M_3 , cách đầu dốc 160m.



Hình 5. Sơ đồ dốc nước sau đập tràn

Bằng nội suy từ đường mặt nước, xác định được các thông số thủy lực tại các mặt cắt có bố trí BPTK như sau (bảng 1)

Bảng 1. Thông số tính toán các BPTK

Vị trí	L (m)	L_p (m)	h (m)	V (m/s)
BPTK 1	40	60	4,78	25,60
BPTK 2	100	60	4,19	29,21
BPTK 3	160	60	3,81	32,12

6.3. Tính toán các thông số của BPTK

Sử dụng các công thức từ (1) đến (6) và theo quy trình như Hình 4, xác định được các thông số của các BPTK như sau (bảng 2):

Bảng 2. Kết quả tính toán các BPTK

Thông số	Ký hiệu	Đơn vị	BPTK 1	BPTK 2	BPTK 3
Vị trí đặt	L	m	40,0	100,0	160,0
Chiều cao mũi hắt	Z_m	m	0,81	0,62	0,52
Chiều dài mũi hắt	L_m	m	3,0	2,6	2,3
Góc nghiêng mũi	θ	độ	$4,0^0$	$2,2^0$	$1,5^0$
Chiều dài buồng khí	L_b	m	18,6	16,3	14,3

Lưu lượng khí	Q_a	m^3/s	1052,8	1052,7	1015,1
Số ống dẫn khí	n		4	4	4
Kích thước ống	$B_a \times t_a$	m	3,5 x 1,6	3,5 x 1,6	3,5 x 1,6
Độ chân không	h_{CK}	m	0,41	0,41	0,41
Bề rộng máng khí	B_{mK}	m	3,5	3,5	3,5
Chiều sâu máng	t_{mK}	m	0,8	1,0	1,1

Các kết quả tính toán về kích thước buồng khí và lưu tốc khí trong ống khá phù hợp với kết quả thí nghiệm mô hình thủy lực do Viện Khoa học thủy lợi thực hiện.

7. Kết luận

- 1) Khi thiết kế các mặt tràn và dốc nước với dòng chảy có lưu tốc cao, cần thiết phải kiểm tra khí thực bề mặt lòng dẫn và lựa chọn biện pháp phòng thích hợp.
- 2) Việc tiếp không khí vào lớp dòng chảy sát bề mặt lòng dẫn là một biện pháp có hiệu quả để phòng khí thực.
- 3) Phương pháp bố trí và tính toán các BPTK nêu trong bài này là kết quả của việc tổng hợp nhiều tài liệu nghiên cứu lý thuyết, thí nghiệm trong phòng và đo đạc tại hiện trường ở nhiều nước trên thế giới. Việc áp dụng tính toán với đường tràn hồ Cửa Đạt cho các kết quả khá phù hợp với số liệu thí nghiệm mô hình.
- 4) Khi thiết kế các công trình từ cấp II trở lên, cần tiến hành nghiên cứu trên mô hình thủy lực để kiểm chứng các kết quả tính toán.

Tài liệu tham khảo.

1. Nguyễn Chiến (2003). Tính toán khí thực các công trình thủy lợi, NXB Xây dựng, Hà Nội.
2. Nguyễn Chiến (1993). Hiện tượng xâm thực khí thực trên một số công trình thủy lợi ở Việt Nam. Tuyển tập báo cáo Hội nghị cơ học toàn quốc lần thứ 5, Hà Nội.
3. Nguyễn Chiến, Trần Mạnh Cường (2005). Nghiên cứu tình hình xâm thực bề mặt dốc nước và mũi phun ở đường tràn xả lũ hồ chứa nước Kẻ Gỗ và biện pháp khắc phục/ Tạp chí Khoa học Kỹ thuật thủy lợi và môi trường số 09.
4. Công ty tư vấn xây dựng thủy lợi 1 (2004). Hồ sơ thiết kế kỹ thuật Hồ chứa nước Cửa Đạt. Báo cáo chính.
5. Cavitation in Chutes and Spillway (1990), United States Department of the Interior Bureau of Reclamation.
6. ZhouLintai and Wang Junjte (1988). Erosion Damage at Fengman Spillway Dam and Investigation on Measures of Preventing Cavitation. Intl Symp. On Hydraulics for High Dam, IAHR, Beijing, China.

The calculation of aerator to prevent cavitation on spillways and chutes

Abstract:

The calculation and arrangement of aerators of spillways to prevent cavitation are very necessary in the spillway with high velocity. Follow theory and practice of arrangement of aerators to avoid cavitation on the spillway and the chute, calculation and designing processes of cavitation were showed in this paper. We see that, the results obtained from calculation in CuaDat spillway is in accordance with the results of experiment modelling. The method is proposed to be applied widely to spillways