

# KIỂM TRA KHÍ THỰC Ở CÁC ĐẬP TRÀN CAO, ÁP DỤNG CHO ĐẬP TRÀN CỦA THỦY ĐIỆN LAI CHÂU

Nguyễn Chiến<sup>1</sup>, Nguyễn Thái Bình<sup>2</sup>.

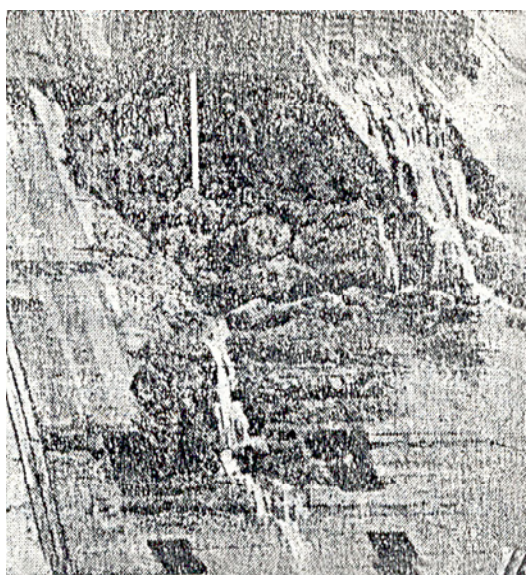
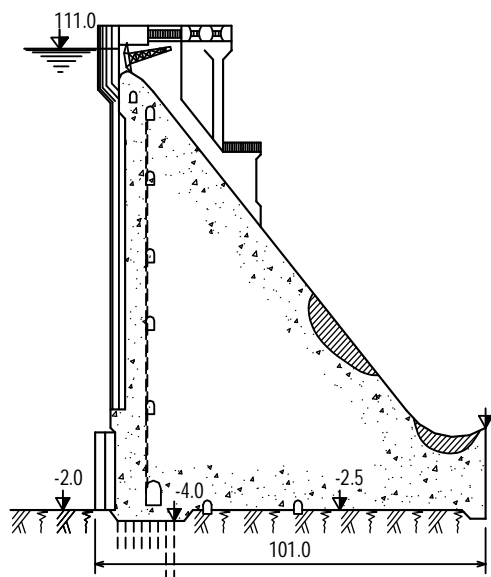
**Tóm tắt:** Dòng chảy trên mặt các đập tràn cao có lưu tốc rất lớn, thường gây ra khí hóa và khí thực trên mặt tràn, làm hư hỏng đập. Trong bài giới thiệu phương pháp kiểm tra khí hóa và khí thực trên đập tràn do các gò gề cục bộ gây ra. Áp dụng tính toán cho đập tràn Lai Châu đã chỉ ra được phạm vi có phát sinh khí hóa và khí thực ứng với các trị số độ gò gề cục bộ khác nhau. Với các đập tràn cao như đập Lai Châu thì dù đã sử dụng vật liệu là bê tông mác cao và hoàn thiện bề mặt ở cấp độ cao nhất nhưng khả năng khí thực trên một phần mặt tràn là không tránh khỏi. Do đó phải áp dụng các biện pháp để phòng khí thực.

**Từ khóa:** đập tràn, gò gề cục bộ, khí hóa, khí thực, lưu tốc.

## 1. Đặt vấn đề

Hiện nay chúng ta đang xây dựng nhiều hồ chứa thủy lợi, thủy điện có cột nước cao. Với các đập tràn cao, khi xả lũ sẽ có lưu tốc trên mặt tràn rất lớn. Chẳng hạn ở các đập tràn của thủy điện Sơn La, Lai Châu, khi xả lũ thiết kế, lưu tốc bình quân ở các mặt

cắt cuối tràn đạt trên 30m/s. Trong khi đó, trên mặt tràn luôn tồn tại các gò gề cục bộ có nguồn gốc khác nhau (do thi công, hay phát sinh trong thời kỳ khai thác). Dòng chảy có lưu tốc lớn trên bề mặt có gò gề cục bộ sẽ làm phát sinh khí hóa, dẫn đến khí thực phá hoại mặt tràn (hình 1).



Hình 1. Khí thực trên mặt đập tràn Bratxcaia (LB Nga) [1]  
a – Các phần bị xâm thực của mặt tràn; b – Hình ảnh hố xâm thực.

Vì vậy trong tính toán thiết kế các đập tràn nhất thiết phải tiến hành kiểm tra khí hóa, khí thực và thiết kế giải pháp phòng khí thực khi cần thiết. Vấn đề này trước đây chưa được quan tâm đúng mực nên ở một số đập tràn khi vận hành đã có xảy ra khí thực (như ở đập Plei Krong, Bản Chát...). Gần đây, ở nước ta đã ban hành tiêu chuẩn hướng dẫn tính toán

khí thực [3], và việc nghiên cứu để áp dụng cho công trình thực tế là rất cần thiết, đặc biệt là cho các đập tràn cao.

## 2. Phương pháp kiểm tra khí hóa và khí thực mặt tràn.

### 2.1. Kiểm tra khí hóa.

Khí hóa xuất hiện trên bề mặt lòng dẫn khi đường biên của nó không thuận, tồn tại các vị trí mà dòng chảy không bám sát thành, tạo ra khu vực giảm áp. Đối với bề mặt đập tràn, khí hóa có thể xuất hiện ở

<sup>1</sup> Trường Đại học Thủy lợi;

<sup>2</sup> Viện Kỹ thuật công trình, Đại học Thủy lợi.

dạng tổng thể hoặc cục bộ. Dạng tổng thể của khí hóa xuất hiện khi bản thân bề mặt đập tràn là mặt chảy bao không thuận. dòng chảy không bám sát mặt tràn. Đây là các dạng mặt tràn có chân không. Đối với các đập tràn cao, theo điều kiện an toàn, thường áp dụng loại mặt tràn không chân không (dạng WES hoặc Criger-Ofixerov, xem [1]). Do đó dạng khí hóa tổng thể trên mặt tràn không xảy ra. Trong bài này giới hạn nghiên cứu khí hóa trên mặt tràn có các gồ ghề cục bộ.

Hình dạng và kích thước của các gồ ghề cục bộ phụ thuộc vào công nghệ thi công và xử lý mặt tràn. Trong xây dựng thường quy định các cấp độ hoàn thiện bề mặt khác nhau; cấp F1- hoàn thiện thông thường, mức độ gồ ghề không chế không vượt quá 7mm; cấp F2- hoàn thiện cấp cao, độ gồ ghề không chế không vượt quá 5mm; cấp F3- hoàn thiện đặc biệt, độ gồ ghề không chế không vượt quá 4mm. Bề mặt đập tràn cần được hoàn thiện theo cấp này. Tuy nhiên, khi lưu tốc trên mặt tràn quá lớn thì thậm chí các gồ ghề cục bộ có chiều cao nhỏ hơn 4mm vẫn có thể tạo nên khí hóa.

Theo [3], khí hóa xuất hiện khi thỏa mãn điều kiện:

$$K \leq K_{pg}, \quad (1)$$

trong đó:  $K_{pg}$ - hệ số khí hóa phân giới, phụ thuộc vào hình dáng của các gồ ghề cục bộ, xác định theo [3];  $K$ - hệ số khí hóa thực tế, xác định theo công thức:

$$K = \frac{H_{DT} - H_{pg}}{V_{DT}^2 / 2g} \quad (2)$$

Ở đây, cột nước đặc trưng  $H_{DT} = H_a + h \cos \psi$ ;

$H_a$ - cột nước áp lực khí trời;  $h$ - độ sâu nước (theo phương vuông góc với đáy) tại điểm tính toán;  $\psi$ - góc giữa tiếp tuyến với mặt tràn và phương ngang;  $H_{pg}$ - cột nước áp lực phân giới, tức áp lực hóa hơi của nước ứng với nhiệt độ  $T$ , xác định theo [3];  $V_{DT}$ - lưu tốc đặc trưng xác định như sau:

$$V_{DT} = V_y = \frac{V_{TB}}{\varphi_v} \sqrt{\xi_1 \cdot \xi_2}; \quad (3)$$

$V_{TB}$  - Lưu tốc trung bình mặt cắt; các trị số  $\varphi_v$ ,  $\xi_1$ ,  $\xi_2$  xác định theo chỉ dẫn của [3].

## 2.2. Kiểm tra khí thực.

Tại những điểm có phát sinh khí hóa thì cần kiểm tra điều kiện khí thực. Khí thực không xảy ra khi:

$$V_y < V_{ng}, \quad (4)$$

trong đó:  $V_y$  - lưu tốc tại đỉnh mấu gồ ghề có chiều cao  $y = Z_m + \Delta$ ;  $Z_m$  - chiều cao mấu gồ ghề;  $\Delta$  - nhám đều trên mặt tràn;  $V_{ng}$  - lưu tốc ngưỡng xâm thực, phụ thuộc vào mác vật liệu. Với vật liệu bê

tông, khi độ hàm khí của lớp nước sát thành  $S = 0$ , trị số  $V_{ng}$  xác định theo [3], cụ thể với bê tông M20,  $V_{ng} = 9,2m/s$ ; với bê tông M25, 30, 35, 40, trị số  $V_{ng}$  lần lượt là 12m/s; 14,1m/s; 16,4m/s và 18,5m/s.

Trường hợp dự báo có khí thực (không thỏa mãn điều kiện 4) thì cần thiết kế giải pháp phòng khí thực cho công trình.

## 3. Tính toán áp dụng cho đập tràn thủy điện Lai Châu.

### 3.1. Giới thiệu công trình.

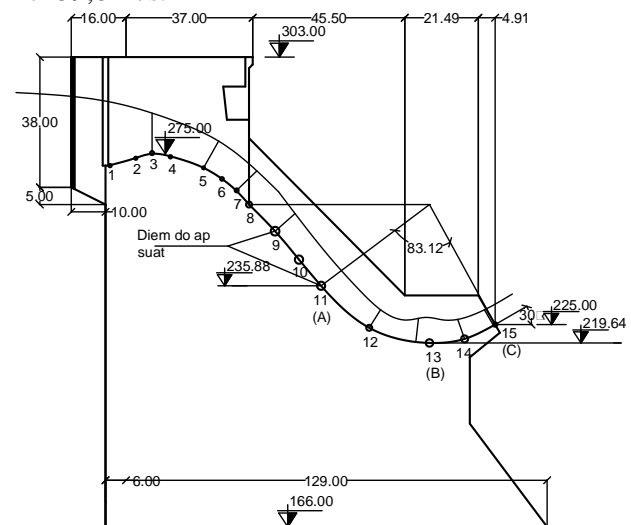
Thủy điện Lai Châu là bậc thang trên cùng của sông Đà, phần trên lãnh thổ Việt Nam. Công trình có nhiệm vụ chính là phát điện với công suất lắp máy 1200MW. Đập tạo hồ chứa là đập bê tông trọng lực có chiều cao lớn nhất 137m. Đập tràn bố trí ở lòng sông gồm 6 khoang tràn mặt x 14,5m và 2 cửa xả sâu, kích thước của mỗi cửa BxH = 4x6m.

Trong bài này nghiên cứu về khả năng khí thực ở đập tràn (tràn mặt, xem hình 2). Một số thông số của đập tràn như sau:

- Mặt cắt đập tràn: tràn không chân không kiểu WES. Cao trình ngưỡng tràn: 275,0m; cao trình mũi phun: 225,0m; góc hất mũi phun  $\alpha_H = 30^\circ$ ; bán kính cong nối tiếp:  $R_H = 40,0m$ .

- Mặt bằng tràn: ngăn cách giữa các khoang là các trụ có  $d = 5,0m$ ; đuôi trụ được kéo dài thành các tường ngăn dày 3,0m giữa các khoang, kéo dài đến hết mũi phun.

- Xả lũ thiết kế: qua tràn mặt, xả đáy (mở hết cửa van) và các tổ máy thủy điện. Mức nước lũ thiết kế: 297,68m; cột nước tương ứng:  $H_t = 22,68m$ . Lưu lượng xả tương ứng qua 1 khoang tràn mặt là  $Q_1 = 2876,6m^3/s$ ; qua 6 khoang tràn mặt là  $Q_t = 17259,8m^3/s$ .



Hình 2. Mặt cắt đập tràn thủy điện Lai Châu [4].

### 3.2. Kiểm tra khí hóa trên mặt tràn.

Việc kiểm tra thực hiện theo điều kiện (1). Tác nhân gây khí hóa ở đây là các gò ghề cục bộ. Trong các dạng gò ghề cục bộ được tổng kết trong [3], loại trừ dạng quá thô là đầu cốt thép sắc mép nhô ra trên mặt tràn thì dạng bậc lồi theo chiều dòng chảy với góc nghiêng  $\alpha = 90^\circ$  là bất lợi nhất về tạo khí hóa, tương ứng với hệ số khí hóa phân gờ  $K_{pg} = 2,3$ . Sau đây sẽ tính toán kiểm tra cho dạng này.

Hệ số khí hóa thực tế được xác định theo công thức (2), trong đó  $H_{pg} = 0,32m$  (ứng với nhiệt độ nước  $T = 25^\circ C$ ).

Để xác định  $H_{DT}$ ,  $V_{DT}$  cho các vị trí khác nhau trên mặt tràn (xem hình 2), cần vẽ đường mặt nước trên mặt tràn. Trường hợp tính toán ở đây là khi tràn xả lũ thiết kế. Do mặt tràn có độ dốc lớn và thay đổi nên đường mặt nước được vẽ bằng phương pháp sai phân theo hệ phương trình sau [2]:

$$h_{i+1} \cos \psi_{i+1} + \frac{V_{i+1}^2}{2g} - (h_i \cos \psi_i + \frac{V_i^2}{2g}) = (\sin \psi_{TB} - J_{TB}) \Delta L; \quad (5)$$

$$q = h_i V_i = h_{i+1} V_{i+1}, \quad (6)$$

trong đó  $h_i, h_{i+1}$  là độ sâu (theo phương vuông góc với mặt tràn) ở đầu và cuối đoạn tính toán có chiều dài là  $\Delta L$ ;  $\psi$ - góc giữa tiếp tuyến với mặt tràn và

phương ngang;  $V$ - lưu tốc trung bình mặt cắt, chỉ số  $i, i+1$  tương ứng với vị trí đầu và cuối đoạn tính toán;  $J$ - độ dốc ma sát;  $q$ - lưu lượng đơn vị.

Đường mặt nước được vẽ bắt đầu từ điểm 3 (điểm cao nhất trên ngưỡng tràn), độ sâu tương ứng tại đây là  $h_3 = 0,668H_t$ . Hệ số nhám của mặt tràn lấy  $n = 0,014$ . Độ sâu nước tại điểm B (điểm thấp nhất của mặt tràn) và điểm C (tại mũi phun) được xác định có xét đến lực ly tâm trên đoạn nối tiếp cung tròn, theo các phương trình sau [2]:

$$y_A + h_A \cos \psi_A + \frac{V_A^2}{2g} = h_B + \frac{V_B^2}{2g} + \frac{p_u}{\gamma} + J_{AB} L_{AB}; \quad (7)$$

$$h_B + \frac{V_B^2}{2g} + \frac{p_u}{\gamma} = y_C + h_C \cos \alpha_H + \frac{V_C^2}{2g} + J_{BC} L_{BC}; \quad (8)$$

Trong đó  $y_A$  và  $y_C$  là độ chênh cao của A và C so với B (xem hình 2);  $\frac{p_u}{\gamma}$  là thành phần áp lực ly tâm,

xác định theo công thức:

$$\frac{p_u}{\gamma} = \frac{2h_A}{R_H} \cdot \frac{V_A^2}{2g} \quad (9)$$

Ở đây  $R_H = 40m$ ; điểm A trùng với điểm 11 trên mặt tràn (hình 2).

Kết quả tính và vẽ đường mặt nước khi tràn xả lũ thiết kế được ghi trên bảng 1.

Bảng 1- Kết quả vẽ đường mặt nước trên tràn.

Mặt cắt	B (m)	q (m <sup>3</sup> /s.m)	h (m)	V (m/s)	sin $\psi$	$J_{TB}$	DL	L
3	14,5	198,4	15,15	13,096	0	-	-	0
4	14,5	198,4	13,82	14,357	0,128	0,005	5,4	5,4
5	14,5	198,4	10,29	19,273	0,512	0,007	11,4	16,8
6	14,5	198,4	9,33	21,272	0,563	0,011	5,7	22,5
7	14,5	198,4	8,51	23,306	0,639	0,015	5,9	28,4
8	16,5	174,3	6,84	25,494	0,683	0,020	6,0	34,4
9	16,5	174,3	6,08	28,649	0,772	0,026	10,8	45,2
10	16,5	174,3	5,56	31,377	0,776	0,035	10,8	56,0
11	16,5	174,3	5,15	33,851	0,781	0,044	10,8	66,8
B	16,5	174,3	5,27	33,061	0	0,047	37,1	103,9
C	16,5	174,3	4,87	35,820	0,500	0,050	20,9	124,8

Việc tính toán kiểm tra khí hóa được thực hiện theo chỉ dẫn của [3], với các công thức (1), (2), (3) nêu trên. Tiến hành tính toán với các trị số độ gò ghề

trên mặt tràn  $Z_m = 2, 3, 4, 5, 6, 7mm$ . Kết quả tính toán được tổng hợp trên bảng 2, 3.

Bảng 2- Kết quả tính toán kiểm tra khí hóa khi  $Z_m = 4mm$ .

Mặt cắt	h (m)	V (m/s)	$H_{DT}$ (m)	$\sigma$ (m)	$\xi_2 (10^{-3})$	$V_{DT}$ (m/s)	K	Khả năng khí hóa
3	15,15	13,096	25,301	0,040	4,0	9,518	5,384	không
4	13,82	14,357	23,968	0,045	3,8	10,18	4,451	không
5	10,29	19,273	20,453	0,060	3,7	13,55	2,139	có
6	9,33	21,272	19,491	0,070	3,5	14,58	1,758	có
7	8,51	23,306	18,683	0,080	3,3	15,56	1,478	có
8	6,84	25,494	17,015	0,090	3,1	16,62	1,178	có
9	6,08	28,649	16,274	0,120	2,7	17,51	1,013	có

Mặt cắt	h (m)	V (m/s)	H <sub>ĐT</sub> (m)	σ (m)	ξ <sub>2</sub> (10 <sup>-3</sup> )	V <sub>ĐT</sub> (m/s)	K	Khả năng khí hóa
10	5,56	31,377	15,757	0,130	2,6	18,71	0,858	có
11	5,15	33,851	15,364	0,150	2,5	20,12	0,723	có
B	5,27	33,061	15,507	0,200	2,4	19,26	0,797	có
C	4,87	35,820	15,096	0,250	2,2	20,40	0,687	có

Bảng 3- Tổng hợp kết quả tính toán kiểm tra khí hóa với các trị số  $Z_m$  khác nhau.

Mặt cắt	L (m)	h (m)	V (m/s)	Khả năng khí hóa ứng với trị số $Z_m$ (mm)					
				$Z_m = 2$	3	4	5	6	7
3	0	15,15	13,096	không	không	không	không	không	không
4	5,4	13,82	14,357	không	không	không	không	không	không
5	16,8	10,29	14,273	không	không	có	có	có	có
6	22,5	9,33	20,272	không	có	có	có	có	có
7	28,4	8,51	23,306	có	có	có	có	có	có
8	34,4	6,84	25,494	có	có	có	có	có	có
9	45,2	6,08	28,649	có	có	có	có	có	có
10	56,0	5,56	31,377	có	có	có	có	có	có
11	66,8	5,15	33,851	có	có	có	có	có	có
B	103,9	5,27	33,061	có	có	có	có	có	có
C	124,8	4,87	35,820	có	có	có	có	có	có

Từ bảng 3 cho thấy khả năng phát sinh khí hóa phụ thuộc vào độ gồ ghề thực tế trên mặt tràn. Với đập tràn Lai Châu khi xả lũ thiết kế, với  $Z_m = 2$ mm thì khí hóa phát sinh ở phạm vi 102 m ở cuối mặt tràn; phạm vi phát sinh khí hóa với  $Z_m = 3$ mm là 108 m cuối mặt tràn; còn khi  $Z_m = (4-7)$ mm thì khí hóa có thể phát sinh trên phạm vi rộng (119m cuối mặt tràn, tức 86% diện tích mặt tràn). Như vậy dù mặt tràn hoàn thiện ở cấp đặc biệt thì khả năng xuất hiện

khí hóa trên phần lớn diện tích mặt tràn là không thể tránh khỏi.

### 3.3. Kiểm tra khí thực trên mặt tràn.

Khả năng khí thực trên mặt tràn được kiểm tra theo điều kiện (4). Trị số  $V_{ĐT}$  được lấy theo bảng tính toán kiểm tra khí hóa. Tổng hợp các kết quả tính toán khí thực trên mặt tràn Lai Châu, ứng với các trị số gồ ghề cục bộ khác nhau được trình bày trên bảng 4.

Bảng 4- Tổng hợp kết quả kiểm tra khí thực mặt tràn Lai Châu (BT M40,  $V_{ng} = 18,5$ m/s).

Mặt cắt	z = 3mm		z = 4mm		z = 5mm		z = 6mm		z = 7mm	
	V <sub>ĐT</sub>	Khí thực	V <sub>ĐT</sub>	Khí thực	V <sub>ĐT</sub>	Khí thực	V <sub>ĐT</sub>	Khí thực	V <sub>ĐT</sub>	Khí thực
3	8,76	0	9,52	0	9,88	0	10,22	0	10,56	0
4	9,37	0	10,18	0	10,57	0	10,94	0	11,30	0
5	12,46	0	13,55	0	14,06	0	14,55	0	15,03	0
6	13,41	0	14,58	0	15,13	0	15,67	0	16,18	0
7	14,31	0	15,56	0	16,15	0	16,71	0	17,26	0
8	15,29	0	16,62	0	17,25	0	17,85	0	18,44	0
9	16,11	0	17,51	0	18,17	0	18,81	có	19,43	có
10	17,22	0	18,71	có	19,42	có	20,10	có	20,76	có
11	18,51	có	20,12	có	20,88	có	21,62	có	22,33	có
B	17,22	0	19,26	có	19,99	có	20,69	có	21,37	có
C	18,82	có	20,46	có	21,23	có	21,97	có	22,69	có

#### Nhận xét:

- Với mặt tràn thủy điện Lai Châu có mác bê tông bề mặt là M40, khả năng xuất hiện khí thực phụ thuộc vào mức độ gồ ghề thực tế trên mặt. Với  $Z_m = 3$ mm, khí thực có khả năng xuất hiện từ mặt cắt 11 trở về cuối, tức toàn bộ phần cong tròn cuối mặt tràn; với  $Z_m = (4-5)$ mm, khí thực có thể xuất hiện từ mặt cắt 10; còn khi  $Z_m = (6-7)$ mm thì khí thực tiềm

tàng tính từ mặt cắt 9.

- Với mặt tràn có lưu tốc lớn như ở đập Lai Châu, mặc dù đã chọn vật liệu là bê tông mác cao (M40), nhưng khí thực ở phần cuối của mặt tràn là không thể tránh khỏi, do đó buộc phải áp dụng các biện pháp để phòng khí thực. Vấn đề này sẽ được trình bày trong 1 bài báo khác.

#### 4- Kết luận.

1) Các đập tràn cao thường có lưu tốc trên mặt tràn lớn, và khi trên mặt tràn có các gồ ghề cục bộ thì không tránh khỏi tạo ra khí hóa, dẫn đến khí thực làm hư hỏng đập tràn. Do đó việc tính toán kiểm tra khí thực và thiết kế giải pháp phòng khí thực là cần thiết.

2) Kết quả thí nghiệm mô hình được trình bày trong [4] mới chỉ kết luận được về khả năng khí hóa tổng thể trên mặt đập tràn. Để kết luận được khả năng khí hóa, khí thực do các gồ ghề cục bộ gây ra thì cần áp dụng phương pháp tính toán theo [3],

trong đó đường mặt nước trên tràn được vẽ theo các chỉ dẫn ở [2].

3) Áp dụng tính toán cho đập tràn Lai Châu đã xác định được phạm vi khí hóa trên mặt tràn ứng với các cấp độ gồ ghề cục bộ khác nhau. Đã xác định được rằng với độ gồ ghề khống chế hiện tại là 4mm thì khí hóa có thể xảy ra trên 86% diện tích mặt tràn. Và với vật liệu là bê tông M40 thì khí thực có thể xuất hiện trên 81% diện tích mặt tràn (từ sau mặt cắt 10), do đó phải áp dụng các giải pháp để phòng khí thực cho đập tràn Lai Châu.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Chiến (2012). Tính toán thủy lực các công trình tháo nước. NXB Xây dựng, Hà Nội.
2. Công trình thủy lợi- Tính toán thủy lực công trình xả kiểu hở và xói lòng dẫn bằng đá do dòng phun- TCVN 8420:2010.
3. Công trình thủy lợi- Phương pháp tính toán khí thực- TCVN 9185:2012.
4. Viện năng lượng (2011). Báo cáo kết quả nghiên cứu thí nghiệm mô hình thủy lực đợt 1 (bổ sung) - Công trình thủy điện Lai Châu.

#### Summary:

#### THE CONTROL OF CAVITATIONARY EROSION ON HIGH SPILLWAYS, APPLIED FOR LAI CHAU HYDROPOWER

*The flow on high spillways has quick velocity, thus it often creates cavitation and cavitationary erosion on the surface. This paper presents the method to check the cavitation and cavitationary erosion caused by local roughnesses on the surface of the spillways. The calculation of the flow regime on the Lai Chau spillway shows the range of cavitation and cavitationary erosion resulting from different levels of surface roughnesses. Although the spillway is made of high intensity concrete and the surface is constructed at the highest level possible, cavitation and cavitationary erosion is unavoidable. In order to minimize this, some special measures are needed.*

**Key words:** *spillway, local roughness, cavitation, cavitationary erosion, velocity of flow.*

---

Người phân biên: **PGS. TS. Nguyễn Thu Hiền**

BBT nhận bài: 20/8/2013

Phản biên xong: 15/9/2013