

# VÀI VẤN ĐỀ CẦN QUAN TÂM KHI THIẾT KẾ ĐẬP VÒM CAO

**ThS. VŨ HOÀNG HÙNG,**

*Trường Đại học Thủy lợi*

**TS. NGUYỄN QUANG HÙNG**

*Đại học Hà Hải, Nam Kinh, Trung Quốc*

**Tóm tắt:** Bài báo đã tổng kết một vài thành quả và phương hướng nghiên cứu thiết kế đập vòm cao trên thế giới đặc biệt là Trung quốc một quốc gia có nhiều kinh nghiệm khi thiết kế đập vòm cao và đã ứng dụng thành công. Đây cũng có thể là những gợi ý nhỏ cho những người nghiên cứu và thiết kế đập vòm ở Việt Nam.

Đập vòm là một trong những loại hình đập vừa có tính an toàn và tính kinh tế cao, điều này đã được trải nghiệm thực tiễn trong thời gian khá dài. Đập vòm cổ nhất được phát hiện là đập vòm Vallon de Baume (cao 12m) được xây dựng trong thời kỳ La mã cổ đại. Đến thế kỷ thứ XVII cùng với việc ra đời cách mạng công nghiệp và cơ học công trình ở Châu Âu, đập vòm Zola được xây dựng ở Pháp, đây là đập vòm đầu tiên xây dựng vận dụng công thức trụ tròn, nó đã mở đầu khơi dòng áp dụng phân tích ứng suất đập vòm. Năm 1889, H.Vischer và L.Wagener khi kiểm tra đập vòm Bear Valley được xây dựng ở Mỹ năm 1884, đã đề xuất phương pháp dầm vòm. Sau mười mấy năm, phương pháp dầm vòm được vận dụng trong thiết kế đập vòm Path Finder và đập vòm Buffalo Bill. Năm 1917 kỹ sư người Thụy Sĩ lấy phương pháp dầm vòm phát triển thành phương pháp nhiều dầm vòm, đã thiết kế đập vòm Montsalvens đầu tiên tại Thụy Sĩ. Năm 1930, F.D.Kirm đã đề xuất phương pháp tháp trụ tải. Năm 1936, Mỹ đã xây dựng đập vòm Hoover cao 220m, là đập vòm đầu tiên cao trên 200m. Năm 1939, Italia đã xây dựng đập vòm Osigletta có bố trí khe biên để loại bỏ ứng suất kéo. Năm 1958, đập vòm Vajont được khởi công tại Italia, đập cao 265m, là đập vòm mỏng hai chiều điển hình.

Xây dựng đập vòm ở Trung quốc khởi đầu khá muộn, trước năm 1949 chỉ có 2 đập vòm cao trên 15m. Sau năm 1949, bắt đầu xây dựng đập vòm quy mô lớn. Căn cứ vào tài liệu thống

kê của Hội đập lớn Trung quốc năm 1999, đập vòm cao trên 30m được xây dựng trên toàn thế giới có 1102 đập, trong đó Trung quốc có 517 đập, chiếm 46.9%. Những năm gần đây, xây dựng đập vòm cao ở Trung quốc đã tiến đến một đỉnh cao mới, đập vòm cong hai chiều Ertan cao 240m đã tích nước thành công, đập vòm Xiaowan cao nhất thế giới (đập cao 292m), Xiluodu (đập cao 278m), Jinbing (đập cao 305m), Goupitan (đập cao 233m), Laxiwa (đập cao 250m) cũng đã lần lượt được khởi công.

Việt nam đang trong giai đoạn khởi đầu xây dựng đập vòm. Đập vòm đầu tiên đang được xây dựng ở Việt nam là đập vòm bê tông cong hai chiều Nậm Chiến, đập cao 138m, chiều dài đập tại đỉnh 273m, tỉ lệ độ dày/cao là 0.22. Đây là công trình được coi là thiết kế khó bậc nhất ở Việt nam hiện nay.

Đặc điểm kết cấu của đập vòm khác với các loại hình thức đập khác: thứ nhất là tải trọng ngoài của nó chủ yếu là thông qua tác dụng của vòm chuyển đến hai vai đập, trạng thái ứng suất trong đập chịu nén là chính, đặc tính này có khả năng thích ứng với đặc điểm kháng nén cường độ cao của vật liệu đập (bê tông hoặc đá xây), phát huy khá tốt khả năng cường độ của vật liệu; thứ hai là tải trọng đập vòm chủ yếu thông qua tác dụng vòm chuyển đến hai vai, vì vậy tính ổn định của đập vòm chủ yếu là dựa vào nền đá hai vai đập. Trên cùng một vị trí dưới trạng thái tương đồng điều kiện đập cao, thể tích đập vòm thông thường chỉ bằng 1/1.5~1/5 đập trọng lực, từ đó mà tiết kiệm được vật liệu xây

dựng đập. Đồng thời, đập vòm thuộc về kết cấu vỏ mỏng không gian siêu tĩnh định bậc cao, có khả năng chịu tải với vượt tải khá cao. Khi tải trọng ngoài tăng thêm hoặc nứt đập vòm, ứng suất đập có thể tự điều chỉnh, chỉ cần vai đập ổn định là có thể tin cậy, độ dư an toàn đập vòm thông thường khá lớn. Thí nghiệm phá hoại mô hình kết cấu đập vòm trên thế giới đã chỉ rõ: năng lực vượt tải của đập vòm bê tông đạt đến 5~11 lần tải trọng cho phép. Nhưng xu hướng trên thế giới hiện nay khi thiết kế đập ngăn lựa chọn hình thức đập vòm làm sao cho đập càng ngày càng cao hơn, mỏng hơn, đẹp hơn nhưng vẫn đảm bảo điều kiện an toàn cao nhất, các vấn đề này đều có mối liên hệ ràng buộc, mâu thuẫn với nhau. Vì vậy trong quá trình thiết kế đập vòm vẫn cần phải xem xét một vài vấn đề như: thiết kế tối ưu hóa thể hình đập vòm để đạt được mục tiêu kinh tế và an toàn nhất; lựa chọn phương pháp phân tích ứng suất đập vòm để thu được kết quả ứng suất sát với thực tế nhất; lựa chọn chỉ tiêu khống chế ứng suất để có cơ sở đánh giá tính an toàn của đập vòm; các loại hình thức và cơ chế phá hoại đập vòm để có biện pháp ngăn ngừa phòng chống; đánh giá độ an toàn của đập vòm đã xây dựng để có cơ sở khi thiết kế đập vòm mới; cuối cùng xem xét đến tính năng kháng chấn của đập vòm, đặc biệt đối với đập vòm cao.

### **1. Vấn đề thiết kế tối ưu hóa thể hình đập vòm**

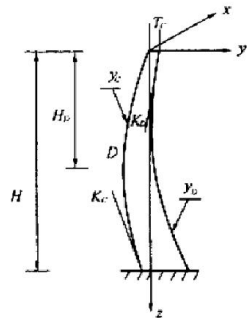
Đập vòm thuộc về kết cấu vỏ mỏng không gian siêu tĩnh định bậc cao, chỉ cần điều kiện địa hình, địa chất... có lợi, sẽ phát huy đầy đủ cường độ vật liệu bê tông, giảm nhỏ độ dày đập, tiết kiệm khối lượng công trình. Từ ý nghĩa kinh tế đã nói ở trên, đập vòm là một loại hình đập rất ưu việt. Nhưng thể hình đập vòm là một trong những nhân tố chủ yếu quyết định tính ổn định và an toàn của đập vòm; với cùng một thể tích đập bằng nhau, thể hình đập vòm không giống nhau, khả năng sai khác độ an toàn của đập vòm có thể rất lớn. Do thể hình kết cấu không gian của đập vòm (đặc biệt là đập vòm cong hai chiều) rất phức tạp, xác định tham số thể hình

của nó rất nhiều, thêm nữa nhân tố ảnh hưởng đến thể hình đập vòm cũng rất nhiều, vì vậy phương pháp thiết kế mang tính kinh nghiệm truyền thống rất khó đồng thời thỏa mãn yêu cầu tính an toàn và tính kinh tế. Dựa vào những nguyên nhân chính ở trên, thiết kế tối ưu thể hình đập vòm (đặc biệt là đập vòm cao) có ý nghĩa quan trọng<sup>[1,2]</sup>.

Để thiết kế tối ưu thể hình đập vòm, vấn đề đầu tiên là phải thiết lập mô hình hình học. Hiện nay phương thức thiết lập mô hình phần lớn là: thể hình đập vòm có thể dùng đại lượng đặc trưng hình học để miêu tả, hình 1-1 và 1-2 biểu thị các đặc trưng hình học của đập vòm và vòm ngang. Từ hình vẽ có thể thấy rằng nếu xác định được đường cong mặt thượng lưu đập vòm, phương trình đường trung tâm vòm ngang các cao trình, biên giới đào nền vai trái phải, đường cong biến đổi độ dày đập vòm tùy cao trình, đường cong biến đổi độ dày đầu vòm trái phải tùy cao trình, đường cong biến đổi độ dày trong các vòm ngang, thể hình của tổng thể đập vòm sẽ hoàn toàn xác định được<sup>[3,4]</sup>.

Trong thiết kế tối ưu thể hình đập vòm, hàm số mục tiêu thường sử dụng hai loại: kinh tế và an toàn. Mục tiêu tính kinh tế trong thiết kế tối ưu đập vòm tức là kinh tế nhất, khối lượng đập hoặc giá thành công trình là nhỏ nhất. Mục tiêu tính an toàn đập vòm tức là an toàn nhất, dưới hạn chế thể tích đập vòm nhất định độ an toàn là lớn nhất. Hàm số mục tiêu thường dùng nhất là tính kinh tế. Điều kiện ràng buộc thông thường bao gồm 3 bộ phận: ràng buộc hình học, ràng buộc ứng suất và ràng buộc ổn định. Trong đó ràng buộc hình học bao gồm: hạn chế vị trí đường trục đập, hạn chế độ rộng nhỏ nhất đỉnh đập với độ rộng lớn nhất đáy đập, yêu cầu bảo đảm lồi mặt đập, yêu cầu khoảng cách chân đập hạ lưu với hố tiêu năng khi tràn nước trong đập hoặc đỉnh đập...; điều kiện ràng buộc ứng suất là chỉ hạn chế ứng suất kéo với ứng suất nén trong thân đập hoặc nền đập; điều kiện ràng buộc ổn định bao gồm yêu cầu ổn định kháng trượt khối đá vai đập, hạn chế góc lực đẩy chân đập và góc trung tâm vòm ngang... Trước khi

yêu cầu tối ưu hóa cần tiến hành sàng lọc và điều kiện ràng buộc với tiêu chuẩn hóa xử lý. Đối với mô hình toán học tối ưu hóa thể hình đập vòm, phương pháp giải tối ưu hóa có thể sử dụng 3 loại: phương pháp SLP (Sequential Linear Programming), phương pháp PFM (Penalty Function Method), phương pháp SQP (Sequential Quadratic Programming). Phương pháp SQP hiện nay là phương pháp giải tối ưu

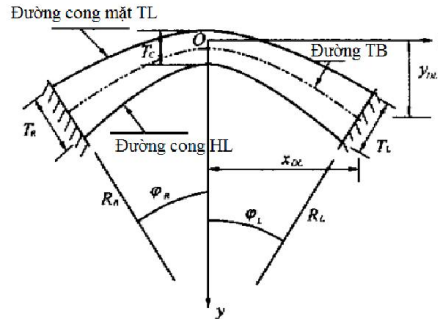


Hình 1-1: Đặc trưng hình học dầm vòm

## 2. Vấn đề phân tích đập vòm bằng phương pháp phần tử hữu hạn.

Phương pháp phần tử hữu hạn (PTHH) đã được ứng dụng rộng rãi trong phân tích ứng suất đập vòm do phương pháp này có nhiều ưu điểm. Đặc biệt là các trạng thái sau đây: Đập vòm có hình dạng phức tạp; đập vòm có mở lỗ đáy, lỗ giữa, lỗ mặt hoặc hành lang; phân tích động lực đập vòm, nhất là khi cần xét đến tác dụng tương tác giữa kho nước và đập; khi cần suy xét phân tích phi tuyến tính tầng nền kẹp mềm yếu, tầng đứt gãy, kẽ nứt, rạn nứt hoặc phân tách khối đập... Dưới giả định lý luận đàn hồi, loại hình phần tử sử dụng và kích thước mạng lưới phần tử có liên quan đến kết quả ứng suất PTHH, đặc biệt là đối với mặt phụ cận nền đập tồn tại hiện tượng tập trung ứng suất làm cho tính ổn định giá trị kết quả ứng suất PTHH khá kém, khó thiết lập tiêu chuẩn không chế ứng suất tương ứng. Trên thực tế đập vòm là một loại kết cấu siêu tĩnh định bậc cao, có tiềm lực chịu tải rất lớn, nếu lấy ứng suất lớn nhất làm tiêu chuẩn thiết kế, tiến hành thiết kế dựa vào chuẩn tắc truyền thống mất hiệu lực tính đàn hồi, hiện

hóa thể hình đập vòm hiệu suất cao nhất. Hiện nay trong phần mềm ANSYS đã cung cấp phương pháp thiết kế tối ưu hóa, dựa vào ngôn ngữ thiết kế tham số hóa trong phần mềm (APDL) tiến hành thiết kế tối ưu hóa<sup>[2,3,4,5]</sup>. Tác giả vẫn cho rằng khi thiết kế tối ưu hóa thể hình đập vòm cũng nên xem xét các vấn đề như dưới tác dụng của tải trọng tĩnh động lực, dưới điều kiện ràng buộc về nứt...

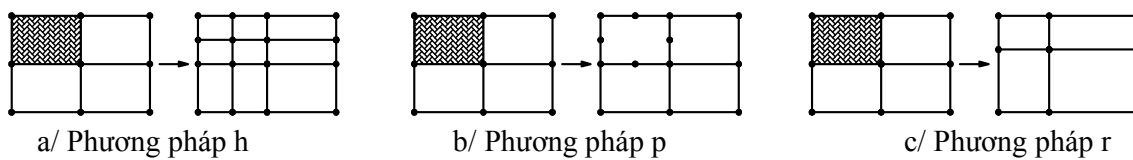


Hình 1-2: Đặc trưng hình học vòm ngang

hiện quá bảo thủ; nhưng nếu không xét đến tập trung ứng suất, chỉ dựa vào ứng suất thu được của phương pháp dầm vòm tiến hành thiết kế, khả năng lại không đủ an toàn, đặc biệt là đối với đập vòm cao<sup>[6,7]</sup>. Năm 1991, giáo sư FU Zuo-xin<sup>[8]</sup> đã đề xuất phương pháp ứng suất đẳng hiệu phần tử hữu hạn: Trong phương pháp thử tải, thông thường giả thiết ứng suất chính vòm, dầm xuôi theo độ dày đều là biến đổi tuyến tính (khi không tính ảnh hưởng của tỉ suất độ cong). Kết quả tính toán phương pháp thử tải với kết quả phương pháp phần tử hữu hạn, thực nghiệm mô hình kết cấu khá rõ ràng, ở nơi cách khá xa mặt nền đập, ứng suất đập vòm thu được đều khá giống nhau, còn ở mặt phụ cận nền đập, phương pháp thử tải với hai loại phương pháp sau chênh lệch khá lớn. Thông thường cho rằng, chênh lệch chủ yếu này có quan hệ với đột biến hình dáng hình học nơi tiếp giáp đập với nền, thuộc về một loại hiện tượng tập trung ứng suất cục bộ, mà tổng hợp ứng suất độ dày xuôi đập (nội lực) là gần như nhau. Nếu lấy tổng hợp ứng suất thu được ở phương pháp phần tử hữu hạn là nội lực mặt cắt, sau đó hoá tuyến tính ứng suất

tương ứng, ứng suất thu được gọi là ứng suất đẳng hiệu, ứng suất đẳng hiệu này sẽ loại bỏ ảnh hưởng của tập trung ứng suất. Nhưng phương pháp ứng suất đẳng hiệu PTHH vẫn tồn tại một vài vấn đề: Chưa quy định rõ ràng mô hình tính toán PTHH, phương pháp và mô hình tính toán không giống nhau khả năng dẫn đến khác biệt rất lớn; nguyên tắc chế định tiêu chuẩn không chế ứng suất không đủ khoa học, quy định ứng suất cho phép không thích hợp với đập cao trên 200m; trong tính toán PTHH, yêu cầu căn cứ thể hình đập lựa chọn hình thức phần tử thích hợp, đồng thời yêu cầu phân chia phần tử đạt đến độ chính xác yêu cầu thiết kế, nhưng đối với hình thức phần tử và độ chính xác phần tử chưa yêu cầu rõ ràng, vì vậy là một phương pháp lấy giá trị rất sơ lược. Các tác giả [9,10,11,12] cũng đã nghiên cứu sâu và cải tiến phương pháp này nhưng vẫn chưa đạt được hiệu quả như mong muốn. Phương pháp PTHH tự thích ứng là một

loại có khả năng thông qua phân tích tự thích ứng điều chỉnh phương pháp tính toán giống như việc cải tiến phương pháp số của quá trình giải. Nó lấy phương pháp PTHH thông thường làm nền tảng, lấy đánh giá sai số và cải tiến kỹ thuật mạng lưới tự thích ứng làm nòng cốt, là một phương pháp tính toán có hiệu suất cao, độ tin cậy tốt. Hiện nay phương pháp PTHH tự thích ứng trong ứng dụng có mấy loại dưới đây: Phương pháp h (hình 2-1a). Phương pháp này thông qua giảm nhỏ kích thước phần tử để nâng cao độ chính xác giải; Phương pháp p (hình 2-1b). Phương pháp này thông qua gia tăng cấp bậc hàm số cơ bản để nâng cao độ chính xác giải; Phương pháp r (hình 2-1c). Phương pháp này thông qua cải biến hình dáng phần tử giảm nhỏ sai số phân tán để nâng cao độ chính xác giải; Phương pháp tổ hợp. Phương pháp này là phương pháp tổ hợp hai trong ba phương pháp trên [6,13].



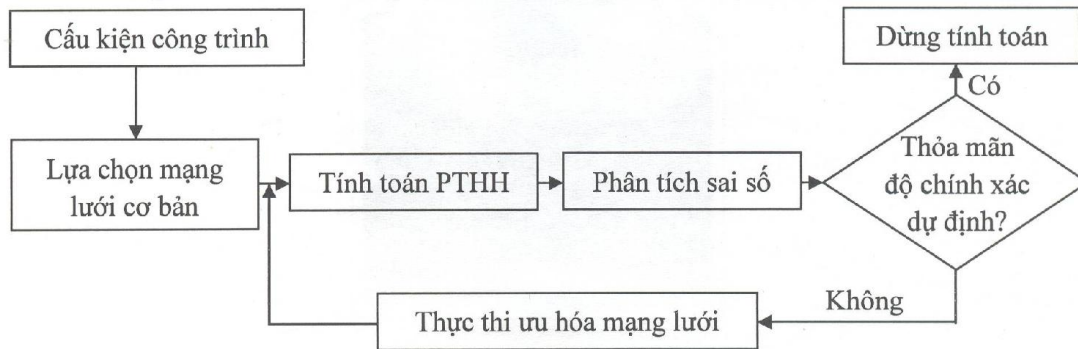
Hình 2-1: Ba phương pháp thay đổi mạng lưới phần tử liên tục

Trong các phương pháp trên, lý luận phương pháp tự thích ứng mô hình h là khá phổ biến, ưu điểm của nó là phần mềm phân tích PTHH cơ bản không thay đổi nhằm duy trì tính độc lập, tính tự thích ứng của phương pháp khá mạnh, tính linh hoạt của chương trình khá tốt, nhưng nhược điểm là dựa vào một bộ phận sinh thành mạng lưới lớn mạnh, bộ phận sinh thành mạng lưới lớn mạnh này yêu cầu có khả năng thích ứng các phạm vi phức tạp, tính năng trạng thái của mạng lưới cần tốt, đối với ứng dụng của phương pháp mô hình h này đã đề xuất yêu cầu khá cao. Đồng thời tốc độ hội tụ của nó khá chậm, độ chính xác tương đối thấp, đối với vấn đề điểm kỳ dị hiệu quả khá kém. Phương pháp mô hình p rất thích hợp xử lý như là vấn đề tập trung ứng suất đoạn cuối vết nứt, nhưng kết cấu phần

mềm phân tích phần tử hữu hạn phức tạp. Phương pháp tự thích ứng h – p là loại phương pháp tiên tiến nhất, nó có khả năng cung cấp tốc độ hội tụ theo lũy thừa, phỏng thật máy tính và phân tích vấn đề công trình thực tế này rất có ý nghĩa, song phương pháp này cũng là phương pháp khó nhất trong ứng dụng, có rất nhiều vấn đề đang trong quá trình nghiên cứu [14]. Từ các vấn đề nêu trên, tác giả cho rằng với đập vòm thấp, kết quả ứng suất thu được khi tính toán sử dụng phương pháp PTHH là chấp nhận được hoặc có thể tính toán bổ sung thêm “ứng suất đẳng hiệu”, điều này cũng đã được quy định trong Quy phạm thiết kế đập vòm của Trung quốc; đối với đập vòm cao đặc biệt là đập vòm cao trên 200m, loại hình và kích thước mạng lưới phần tử khi tính toán PTHH ảnh hưởng rất lớn đến kết quả

tính toán ứng suất, vì vậy không thể một lần lựa chọn loại hình và kích thước mạng lưới phân tử là có thể thu được kết quả ứng suất mong muốn mà cần phải có một quá trình điều chỉnh đánh giá, tức là sử dụng phương pháp PTHH tự thích ứng. Hình 2-2 biểu thị một quá

trình chỉnh thể tính toán PTHH tự thích ứng [15]. Phần mềm phân tích PTHH thông dụng ANSYS có khả năng phân tích tự thích ứng hiệu quả cao. Vấn đề phân tích tự thích ứng có thể tham khảo trong các tài liệu hướng dẫn sử dụng phần mềm



Hình 2-2: Quá trình tính toán PTHH tự thích ứng

### 3. Vấn đề chỉ tiêu không chế ứng suất đập vòm

Trong thiết kế đập vòm ứng suất cho phép rất quan trọng, nó liên quan đến tính kinh tế của đập đồng thời ảnh hưởng đến độ an toàn cũng như phản ánh trình độ phát triển của đập vòm. Về quy định chỉ tiêu không chế ứng suất đập vòm, các quốc gia sử dụng tiêu chuẩn không giống nhau do điều kiện và trình độ phát triển đập vòm của mỗi nước. Ví dụ như chưa xét đến mối quan hệ giữa tiêu chuẩn thiết kế với tính quan trọng của công trình, mối quan hệ giữa ứng suất kéo chính cho phép với cấp bậc cường độ bê tông, phương pháp phân tích ứng suất nhiều quốc gia sử dụng phương pháp nhiều dầm vòm (nhược điểm của phương pháp này khi phân tích đập vòm cao phức tạp đã được chứng minh)... Dưới đây là tiêu chuẩn không chế ứng suất đập vòm của hai quốc gia có đập vòm phát triển mạnh.

#### 3.1. Tiêu chuẩn thiết kế đập vòm và đập bê tông trọng lực của Mỹ (1977)<sup>[16]</sup>

Khi tổ hợp tải trọng bình thường, hệ số an toàn cường độ kháng nén bằng 3.0, ứng suất nén cho phép không được vượt quá 10.55 Mpa, ứng suất kéo cho phép không được vượt

quá 1.06 Mpa; Khi tổ hợp tải trọng bất thường, hệ số an toàn cường độ kháng nén bằng 2.0, ứng suất nén cho phép không được vượt quá 15.82 Mpa, ứng suất kéo cho phép không được vượt quá 1.58 Mpa; Khi tổ hợp tải trọng cực đoan (xét đến địa chấn xảy ra lớn nhất), hệ số an toàn cường độ kháng nén bằng 1.0, tức là ứng suất cho phép không được vượt quá cường độ kháng nén cực hạn của bê tông. Đối với quy định chỉ tiêu kháng kéo, khi ứng suất kéo tính toán vượt quá cường độ kháng kéo nên suy xét tính toán nứt bê tông. Cường độ bê tông được lấy ở 365 ngày tuổi.

#### 3.2. Quy phạm thiết kế đập vòm bê tông của Trung Quốc (SL282-2003)<sup>[17]</sup>

Khi tính toán sử dụng phương pháp dầm vòm, ứng suất nén chính và ứng suất kéo chính của đập vòm nên phù hợp với quy định chỉ tiêu không chế ứng suất dưới đây:

- Ứng suất nén cho phép. Ứng suất nén cho phép của bê tông bằng với cường độ kháng nén cực hạn chia cho hệ số an toàn. Đối với tổ hợp tải trọng cơ bản, hệ số an toàn đập vòm cấp I II bằng 4.0, hệ số an toàn đập vòm cấp III bằng 3.5; Đối với tổ hợp tải trọng đặc biệt không có địa chấn, hệ số an toàn đập vòm

cấp I II bằng 3.5, hệ số an toàn đập vòm cấp III bằng 3.0.

- Ứng suất kéo cho phép. Dưới điều kiện nền đập đảm bảo ổn định, thông qua điều chỉnh hình dạng đập để giảm nhỏ giá trị và phạm vi ứng suất kéo. Đối với tổ hợp tải trọng cơ bản, không được vượt quá 1.2 Mpa; Đối với tổ hợp tải trọng đặc biệt không có địa chấn, không được lớn hơn 1.5 Mpa.

Khi tính toán sử dụng phương pháp PTHH cần bổ sung tính toán “ứng suất hiệu quả PTHH”. Ứng suất kéo chính và ứng suất nén chính của đập thu được khi tính toán ứng suất hiệu quả PTHH nên phù hợp với quy định chỉ tiêu khống chế ứng suất như dưới đây:

- Ứng suất nén cho phép. Quy định như ở trên.

- Ứng suất kéo cho phép. Đối với tổ hợp tải trọng cơ bản, không được lớn hơn 1.5 Mpa; Đối với tổ hợp tải trọng đặc biệt không có địa chấn, không được lớn hơn 2.0 Mpa. Khi vượt quá chỉ tiêu ở trên nên điều chỉnh hình dạng đập để giảm nhỏ giá trị và phạm vi ứng suất kéo.

Hiện nay Việt nam đang trong giai đoạn khởi đầu xây dựng đập vòm nên chưa có một tiêu chuẩn riêng khống chế ứng suất, vì vậy theo tác giả khi thiết kế đập vòm có thể lấy khống chế ứng suất đập vòm như sau: 1.0 ~ 1.5Mpa đối với ứng suất kéo cho phép, 5.0 ~ 9.0 Mpa đối với ứng suất nén cho phép.

#### 4. Vấn đề phá hoại đập vòm

Hình thức phá hoại đập vòm rất đa dạng nhưng có thể phân thành mấy loại điển hình như sau<sup>[2]</sup>:

(1) Mất ổn định nền (vai) đập. Có thể xem cơ chế phá hoại của đập Malpasset (Pháp) làm ví dụ. Đầu tiên nứt gót đập bờ trái phát sinh dòng thấm trong nền đập, sau đó khối hình nêm trượt chịu tác dụng lực nén hướng hạ lưu làm hệ số thấm vùng nứt gãy gia tăng, khối hình nêm trượt chịu lực nén thủy tĩnh rất lớn dẫn đến khối hình nêm trượt mất ổn định cục bộ, khối trọng lực bờ trái dịch chuyển xuống, xoay chuyển uốn lượn bờ phải viền đập dẫn

đến vỡ đập. Do vậy có thể thấy rằng ổn định nền đập vai đập là tiền đề của đập vòm vững chắc. Qua đây cũng đã giải thích tính quan trọng trong việc nghiên cứu trường thấm với trường ứng suất tương tác của động thái vùng đập.

(2) Nứt đập. Đại biểu cho hình thức phá hoại này là đập Kolnbrein (Áo). Cơ lý phá hoại nứt của đập là: đập quá mỏng (hệ số độ mềm trong đập vòm 200m rất lớn), dưới tác dụng áp lực nước, phụ cận gót đập thượng lưu hình thành ứng suất kéo khá lớn, đồng thời vượt quá cường độ kháng kéo của bê tông dẫn đến phát sinh nứt chịu kéo, sau khi dòng thấm xâm nhập lại làm vết nứt tiến một bước phát triển.

(3) Nứt địa chấn cao. Lấy phá hoại nứt đập vòm Pacoima (Mỹ) làm ví dụ. Nứt đập chủ yếu là do dưới tác dụng địa chấn cường độ cao, đường nối thẳng đứng (trùng tự với khe ngang) giữa đập với khối trọng lực nứt nghiêm trọng; sau khi sửa chữa khôi phục, địa chấn cao năm 1994 nơi này lại nứt lại.

(4) Mất ổn định trượt (nổi). Sự cố đập vòm Meihua (Trung quốc) là một ví dụ. Sau khi bố trí khe biên, tính tổng thể của đập vòm giảm thấp, mà còn nhựa đường bôi mặt khe biên đã giảm thấp rất nhiều năng lực kháng trượt, khi tràn nước dưới tác dụng cột nước cao khối đập trượt (nổi) trên khe biên, từ đó dẫn đến vỡ đập.

Qua các ví dụ trên có thể thấy rằng cần phải nghiên cứu trường dòng thấm với trường ứng suất tương tác để ngăn ngừa mất ổn định nền và vai đập; nghiên cứu phân khe kết cấu để giảm nhỏ ứng suất kéo; nghiên cứu biện pháp công trình kháng chấn đập vòm; nghiên cứu hình thức và bố trí khe biên để giảm nhỏ ứng suất kéo nhưng không mất đi tính tổng thể của đập.

#### 5. Vấn đề đánh giá độ an toàn đập vòm

Khi thiết kế đập vòm, đương nhiên cần tiến hành phân tích ứng suất và ổn định, từ đó mà quyết định hình dáng và kích thước hình học của đập. Nhưng ngoài kết quả tính toán ứng

suất và ổn định người thiết kế thường hay vẫn muốn với đập vòm đã xây dựng trước đây tiến hành ngoại suy, để tiện tiến hành đánh giá tính an toàn và tính kinh tế đối với mặt cắt thiết kế. Trước đây người thiết kế thường dùng tỉ số dày cao của mặt cắt đầm vòm để đánh giá so sánh độ dày của đập vòm thiết kế với đập vòm đã xây dựng là hợp lý hay không, nhưng ứng suất đập với tỉ lệ cao rộng lòng sông, độ cao đập, hình dáng lòng sông (hình U hoặc hình V)... có liên quan đến nhau, đơn độc dùng tỉ số dày cao khó mà đánh giá độ dày đập vòm là hợp lý hay không. Chuyên gia về đập nổi tiếng của Thụy sĩ Lombardi đã đề xuất dùng hệ số độ mềm để đánh giá tính kinh nghiệm đối với độ dày đập vòm<sup>[18]</sup>. Hệ số độ mềm C như sau:

$$C = A^2/VH \quad (5-1)$$

Trong đó: A là diện tích mặt cắt giữa đập vòm; V là thể tích đập vòm; H là chiều cao đập lớn nhất.

Với chiều cao đập giống nhau, thể tích V càng lớn, C càng nhỏ; diện tích mặt cắt giữa A càng nhỏ, C cũng càng nhỏ. Vì vậy đối với chiều cao đập giống nhau, C càng nhỏ, đập càng an toàn.

Đối với hệ số độ mềm C giống nhau, hệ số an toàn đập thấp lớn hơn đập cao vì nó có liên quan đến ứng suất đập. Để phản ánh ảnh hưởng của đập cao, ZHU Bofang<sup>[19]</sup> đã đề xuất hệ số mức độ ứng suất đập vòm.

$$D = CH = A^2/V \quad (5-2)$$

Hệ số D đại diện cho mức độ ứng suất đập vòm (bao gồm đập và nền). D càng nhỏ đập càng an toàn. Khi đánh giá độ an toàn của đập vòm ngoài việc suy xét hệ số mức độ ứng suất vẫn cần suy xét cường độ bê tông của đập, chất lượng thi công, cường độ kháng nén và kháng cắt của nền đá. Nếu lấy hệ số mức độ ứng suất đập vòm Kolnbrein  $D_0 = 3500$  làm giới hạn trên thì công thức (5-2) có thể viết thành:

$$C \leq D_0/H \quad (5-3)$$

Hệ số mức độ ứng suất D đại diện cho mức độ ứng suất của đập và nền, suy xét đến an

toàn của đập không chỉ có quan hệ với mức độ ứng suất mà còn có quan hệ đến cường độ của đập và nền. Để tiện một bước phản ánh ảnh hưởng của cường độ đập và nền, ZHU Bofang đề xuất hệ số mức độ an toàn đập vòm J như sau:

$$J = 100R/D = 100RV/A^2 \quad (5-4)$$

Trong đó: R là cường độ của đập và nền.

J là một chỉ tiêu phản ánh mức độ an toàn tương đối đập vòm, J càng lớn đập càng an toàn.

## 6. Vấn đề phân tích kháng chấn và biện pháp công trình kháng chấn đập vòm

Hiện nay đánh giá an toàn kháng chấn đập vòm vẫn lấy hệ số an toàn ổn định và ứng suất giới hạn không vượt quá ứng suất cho phép để biểu thị. Phân tích kháng chấn đập vòm cao có đặc điểm ứng suất lớn dẫn đến tính phi tuyến, nguyên lý chồng chất không thích hợp, nên dựa vào nguyên tắc phối hợp nhịp nhàng phân tích động lực với phân tích tĩnh lực. Hiện nay phương pháp cơ bản phân tích động lực đập vòm vẫn sử dụng phương pháp phân tải đầm vòm. Nhưng đập vòm được xem là kết cấu vỏ mỏng không gian siêu tĩnh định bậc cao, phân tích kết cấu của nó có tính đặc biệt và tính phức tạp, dựa vào phương pháp PTHH giả định nền đàn hồi tuyến tính và không khối lượng có khả năng tốt hơn mô phỏng thể hình phức tạp của kết cấu đập, đặc tính cơ học và tác dụng tương tác động lực Đập - Hồ chứa - Nền. Quy phạm hiện hành của Trung Quốc “Quy phạm thiết kế kháng chấn công trình thủy” quy định đây là phương pháp chủ yếu tính toán kiểm tra phân tích động lực. Biện pháp công trình kháng chấn sử dụng trong công trình đập vòm là bố trí cốt thép kháng chấn (bao gồm cả cốt thép hướng đầm và hướng vòm)<sup>[2,20]</sup>.

Hiện nay khi phân tích kháng chấn vẫn còn tồn tại một vài vấn đề cần phải giải quyết như: vấn đề phi tuyến tính khe ngang trong đập vòm cao dưới tác dụng địa chấn mạnh; vấn đề ảnh hưởng của tác dụng tương tác (đập – hồ chứa) đối với phản ứng động lực của đập; vấn

đề mô phỏng số sóng động trong nền vô hạn; vấn đề cơ chế nhập sóng địa chấn; vấn đề nghiên cứu biện pháp giảm chấn; vấn đề ảnh hưởng của tính năng động lực vật liệu bê tông đối với đặc tính kháng chấn đập vòm; vấn đề cơ chế phá hoại đập vòm dưới tác dụng địa chấn mạnh; vấn đề ảnh hưởng của độ dày tầng phù sa đối với áp lực thủy động mặt đập và phản ứng động lực thể đập; vấn đề phân tích kháng chấn trường địa chấn động ngẫu nhiên đập vòm cao...

## 7. Kết luận

Vấn đề cần nghiên cứu thiết kế đập vòm cao có rất nhiều, các vấn đề được nêu ở trên chỉ là những vấn đề chủ yếu và đang trong quá trình hoàn thiện. Các vấn đề này đã được rất nhiều học giả trên thế giới nghiên cứu sâu và đã ứng dụng thành công trong thiết kế rất nhiều đập vòm cao. Kinh nghiệm thiết kế đập vòm ở Việt nam vẫn chưa tích lũy được nhiều vì vậy đây cũng có thể là những gợi ý nhỏ khi nghiên cứu thiết kế đập vòm ở Việt nam.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] ZHU Bo-fang, SONG Jing-ting. Optimizing Design of Double-Curved Arch Dam. Hydro-Science and Engineering, 1980(1): 13~23.
- [2] CHAI Jun-rui, LIU Hao-wu. Advances in High Arch Dam Research. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2001, 21(6): 1~4.
- [3] SU Chao, YU Tian-tang, JIANG Hong-dao. FEM-Based Dynamic Optimum Design Method for High Arch Dams and Its Application. Journal of Hohai University, 2002, 30(1): 1~5.
- [4] PAN Hai-lin. Development of Optimal Design for Arch Dam in China. Journal of Heilongjiang Hydraulic Engineering College, 2005, 32(3): 73~76.
- [5] WANG Wen-juan, XIE Neng-gang, SUN Li-song. Reseach progress of multi-objective shape optimal design of high arch dams. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2007, 27(1): 86~90.
- [6] YANG Ling-qiang, MA Jing, CHEN Zu-ping. Study on stress control standards of high arch dam with self-adaptive finite element method. Water Resources and Hydropower Engineering, 2008, 39(4): 53-55.
- [7] DONG Fu-pin, ZHU Bo-fang, SHEN Zhi-liang, GE Nan. A survey of high arch dam stresses in the world. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2003, 1(4): 292-299.
- [8] FUO Zuo-xin. Phân tích và tính toán vấn đề cơ học kết cấu thủy công. Nhà xuất bản Đại học Hà hải, Nam Kinh, 1993.
- [9] LI Tong-chun, WEN Zhao-wang. The method of finite element internal force for analysis of arch dam stresses. Journal of Hydroelectric Engineering , 2002, 79(4): 18-24.
- [10] ZHANG Hang-hui, LI Tong-chun, WEN Zhao-wang. Method of Finite Element Internal Force for Arch Dam Equivalent Stress Analysis. 2003, 19(2): 23-26.
- [11] LI Tong-chun, ZHANG Hang-hui. An improved method for analysis of arch dam equivalent stress. Journal of Hohai University, 2004, 31(1): 104-107.
- [12] LI Tong-chun, CHEN Hui-fang, ZHANG Hang-hui, WANG Ren-kun. Effect of mesh size on analysis of arch dam equivalent stress. Journal of Water Resources, 2004, 9, 83-87.
- [13] GUO Shu-xiang. Adaptive finite element method and its applications in engineering. Advances in mechanics, 1997, 27(4): 480-488.
- [14] CHEN Sheng-hong. Phân tích ổn định nền đá phức tạp đập cao với mái dốc đá cao. Nhà xuất bản thủy lợi thủy điện Trung quốc, 2001.
- [15] YU Xue-gin, D.Redekop. Applications and Development of Adaptive Finite Element.



Journal of Nanchang Institute of Aeronautical Technology, 1998, No4: 78-83.

[16] United states department of the interior, Bureau of reclamation. Design criteria for concrete arch and gravity dams. 1977.

[17] Tiêu chuẩn ngành thủy lợi nước Cộng hoà nhân dân Trung Hoa. Quy phạm thiết kế đập vòm bê tông SL 282-2003. Bộ thủy lợi nước Cộng hoà nhân dân Trung Hoa, 2003.

[18] Lombardi. Kolnbrein Dam: An Unusual Solution for An Unusual Problem. Water Power and Dam Construction, 1991, 6, 31-34.

[19] ZHU Bo-fang. Hệ số mức độ ứng suất với hệ số mức độ an toàn đập vòm bê tông. Kỹ thuật thủy lợi thủy điện, 2001, 31: 1~3.

[20] ZHAO Lan-hao. Phân tích hưởng ứng địa chấn đập vòm có khe ngang suy xét tác dụng tương hỗ đập – kho nước – nền. Luận văn học vị Tiến sĩ Đại học Hà hải, Nam Kinh, Trung Quốc, 2006.

### **Abstract**

#### **SOME PROBLEMS OF CONCERN IN HIGH ARCH DAM DESIGN**

**MEng. VU HOANG HUNG**,

*Water Resources University*

**Dr. NGUYEN QUANG HUNG**

*College of Water Conservancy and*

*Hydropower Engineering,*

*Hohai Univ., Nanjing 210098, China*

*The paper summarizes some achievements and research trends in high arch dam design worldwide and particularly in China, the country is highly experienced and successful in its design and application. Consequently, it raises some helpful suggestions to researchers and engineers in Vietnam when designing arch dams.*