

## Chương 3

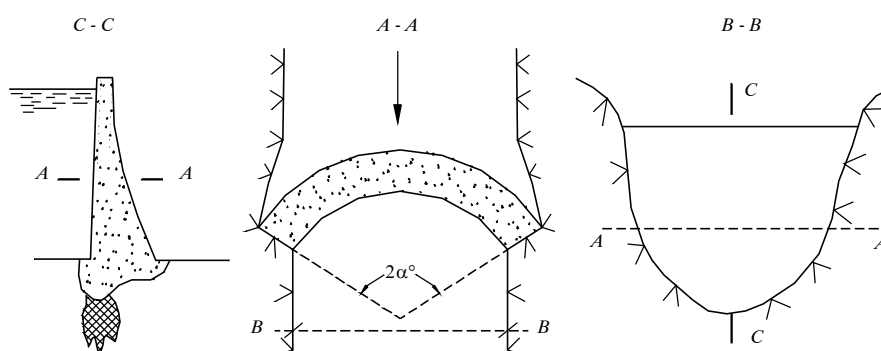
### ĐẬP VÒM

Biên soạn: PGS. TS. Phạm Ngọc Quý

#### 3.1. PHÂN LOẠI VÀ ĐIỀU KIỆN XÂY DỰNG

##### I. Đặc điểm của đập vòm

Đập vòm là một loại đập, trên mặt bằng có dạng vòm. Trên các mặt cắt nằm ngang, đập là những vòng vòm, chân tựa vào bờ, vì vậy các tải trọng hướng ngang được truyền tới bờ toàn bộ hay một phần (hình 3-1).



Hình 3-1. Sơ đồ đập vòm

Đập vòm có những đặc điểm sau:

1. Đập vòm có khối lượng vật liệu nhỏ và giá thành thấp nếu điều kiện cho phép xây dựng.

Đập vòm là kết cấu siêu tĩnh chịu nén, nên chiều dày nhỏ. Chiều dày đáy đập so với đập bê tông trọng lực cùng chiều cao, nhỏ hơn  $2 \div 4$  lần, có trường hợp tới  $4 \div 8$  lần. Ví dụ đập vòm Ladzanuan xây dựng năm 1960 (hình 3-2) cao 67m chiều dày đáy 13m, đập Vaint (Ý) xây dựng năm 1960 (hình 3-3) cao 266m; chiều dày ở đỉnh 3,9m, ở đáy 23m, khối lượng bê tông chỉ bằng 18% so với đập bê tông trọng lực. Đập Tolla (Pháp) xây dựng năm 1961 (hình 3-4), cao 88m; chiều dày đập từ 1,5m đến 2,3m.

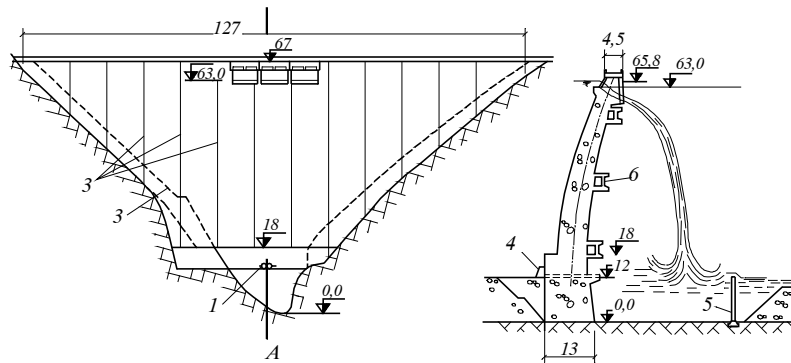
2. Áp lực thấm tác dụng lên đập vòm nhỏ, do đập mỏng, nhưng Gradient thấm lớn. Vì vậy cần chú ý xử lý điều bất lợi này.

3. Đập vòm phát huy được khả năng làm việc của bê tông. Ứng suất nén trong đập vòm khoảng  $50 \div 70 \text{ kG/cm}^2$ .

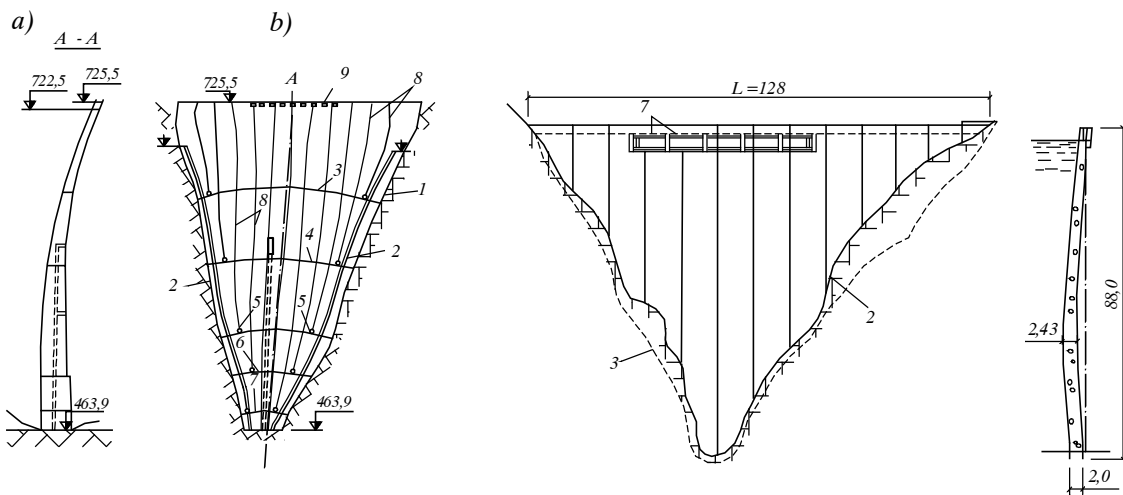
4. Sự thay đổi nhiệt độ, sự co ngót của bê tông đều làm tăng ứng suất kéo trong thân đập vòm. Vì vậy khi xây dựng đập vòm, người ta thường chừa lại các khe thẳng đứng, chờ khi nhiệt độ ngoài trời hạ thấp mới lấp kín khe, tạo thành đập vòm liền khối.

5. Yêu cầu về địa chất khá cao để giữ ổn định. Điều kiện địa hình ảnh hưởng rõ nét đến việc lựa chọn đập vòm.

6. Đập vòm là một trong những loại đập làm việc đảm bảo an toàn. Động đất cũng gây ra tác động nguy hiểm, nhưng đập vòm có khả năng chịu đựng tốt lực động đất.



Hình 3-2. Đập vòm Ladzanuan (Liên Xô cũ)



Hình 3-3. Đập vòm Vaint (Ý)

Hình 3-4. Đập vòm Tolla (Pháp)

## II. Phân loại đập vòm

### 1. Theo chiều dày tương đối của đập $\beta = e_0 / H$

- Đập vòm mỏng khi  $\beta < 0,2$ .
- Đập vòm trọng lực khi  $\beta = 0,2 \div 0,35$ .

- Đập trọng lực - vòm khi  $\beta = 0,35 \div 0,65$ .

trong đó:

$e_0$  - chiều dày chân vòm;

H - chiều cao vòm.

## 2. Theo chiều cao đập H

- Đập vòm thấp, khi  $H < 25$ (m).

- Đập vòm trung bình, khi  $25 \leq H < 75$  (m).

- Đập vòm cao, khi  $H \geq 75$  (m).

## 3. Theo chế độ làm việc

- Đập vòm dâng chắn nước.

- Đập vòm tràn nước.

Đập vòm Ladzanuan (hình 3 - 2) có 3 khoang tràn nước trên đỉnh và hai lỗ xả đáy.

Thông thường lưu lượng đơn vị tràn qua đập vòm chọn là:  $q = 5 \div 20 \text{ m}^3/\text{s.m}$ .

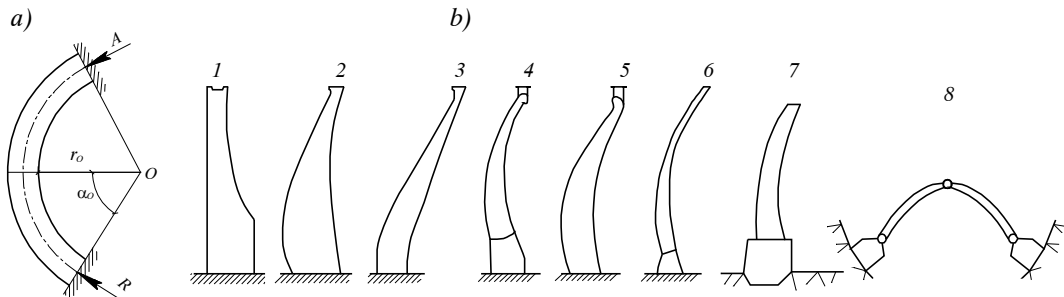
## 4. Theo vật liệu xây dựng

- Đập vòm đá xây (với chiều cao thấp)

- Đập vòm bê tông

- Đập vòm bê tông cốt thép.

## 5. Theo hình dạng mặt cắt đứng (hình 3-5)



**Hình 3-5. Các dạng mặt cắt đập vòm**

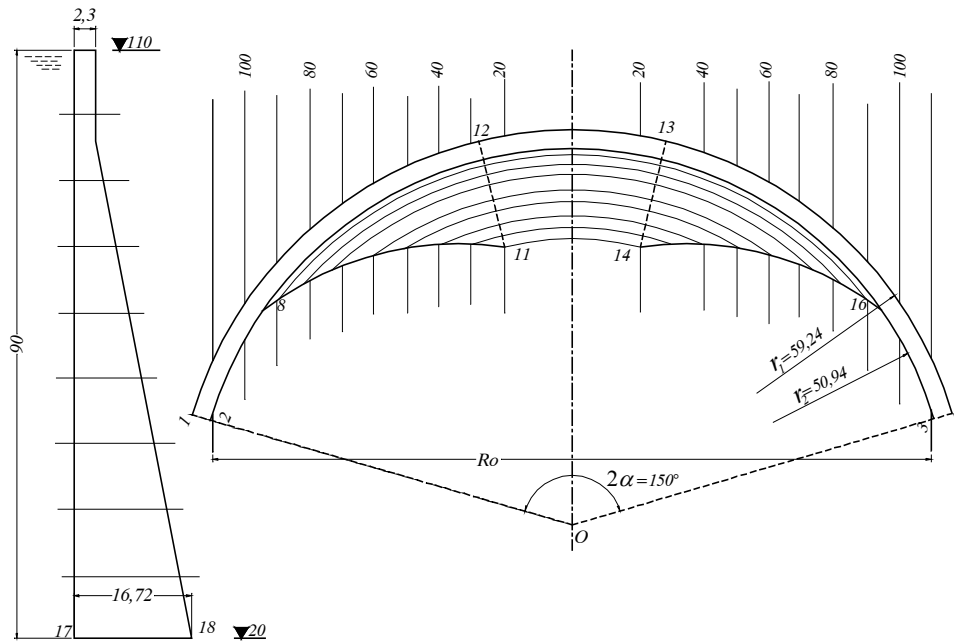
- Đập có mặt thượng lưu thẳng (hình 3-5, b1)

- Đập vòm uốn cong một chiều (hình 3-5, b2; b3)

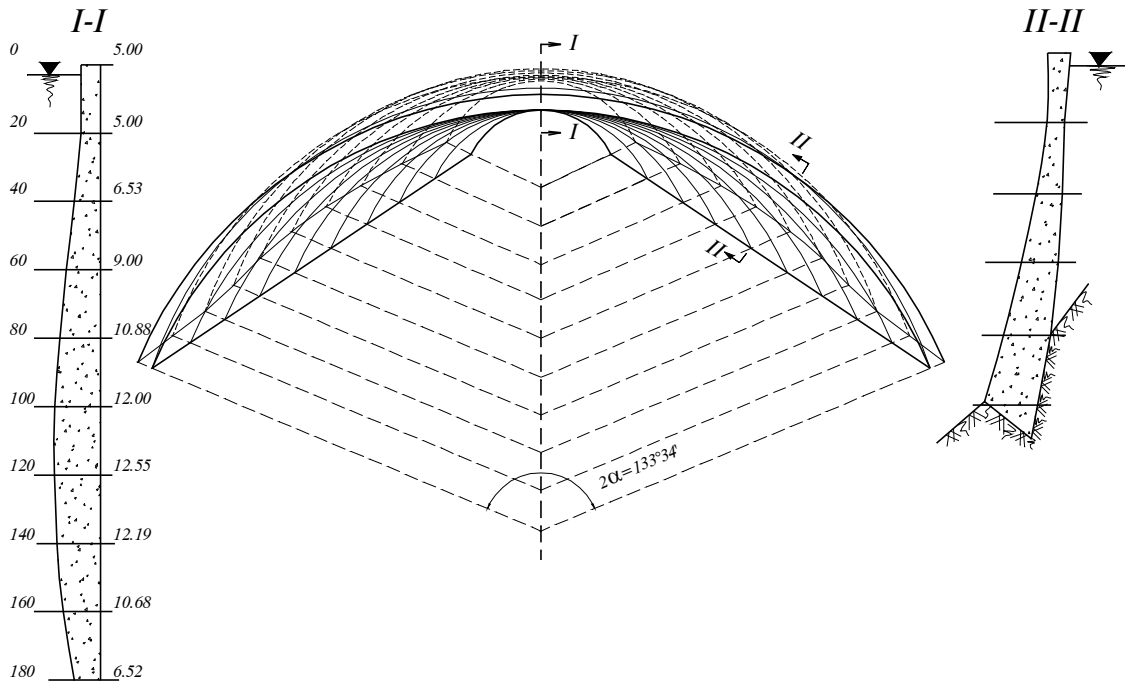
- Đập vòm cong hai chiều (hình 3-5, b4; b5; b6)

## 6. Theo mặt bằng

Đập có bán kính ngoài và góc ở tâm không đổi (hình 3-6): bán kính ngoài ở các mặt cắt ngang khác nhau là như nhau, mặt thượng lưu đập là mặt trụ tròn thẳng đứng, loại này đơn giản, dễ thi công. Khi mặt cắt ngang sông dạng U, nếu dùng loại này thì bán kính mặt cắt trong và góc ở tâm không thay đổi nhiều giữa các mặt cắt ngang khác nhau.



Hình 3-6. Đập vòm có bán kính ngoài và góc ở tâm không đổi

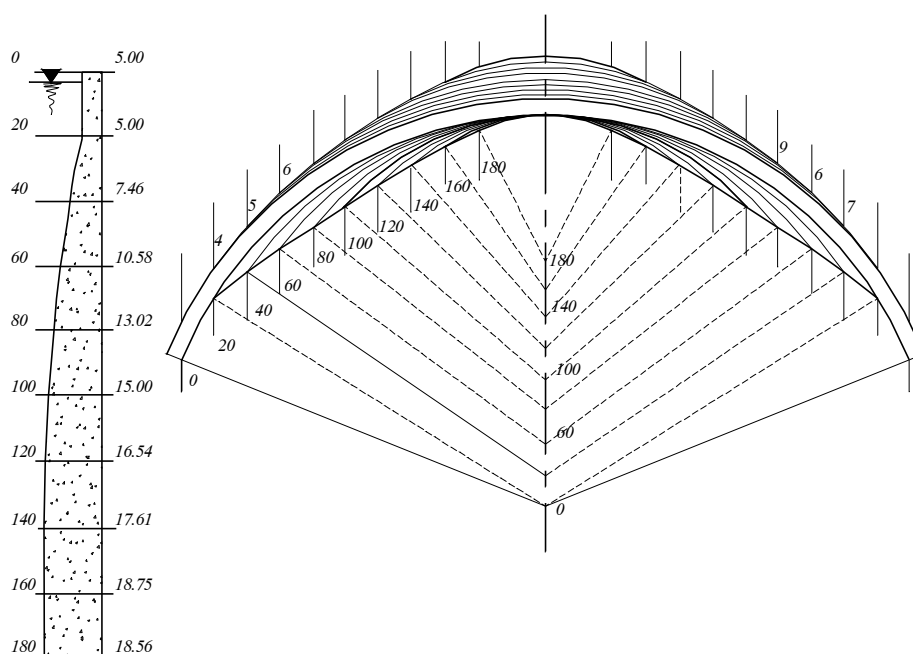


Hình 3-7. Đập vòm có góc tâm không đổi

Khi mặt cắt ngang sông càng xuống đáy càng thu hẹp nếu giữ tâm vòm không đổi thì góc trung tâm sẽ khá nhỏ không kinh tế. Trong trường hợp này nên dùng loại có tâm và bán kính ngoài không đổi, còn tâm và bán kính trong thay đổi từ trên xuống dưới (hình 3-7).

Đập vòm có góc trung tâm không đổi (hình 3-7). Trong trường hợp này tâm và bán kính sẽ thay đổi theo cao trình đập. Loại này dùng với địa hình lòng sông có dạng chữ V hoặc hình thang. Ở hai bờ có kết hợp với các đoạn đập trọng lực.

Đập vòm có góc ở tâm và bán kính thay đổi (hình 3-8). Loại này thích ứng với mọi loại mặt cắt lòng sông, để đạt được mặt cắt kinh tế.



**Hình 3-8. Đập vòm có góc ở tâm và bán kính thay đổi**

### 7. Theo liên kết với nền bờ

- Chân vòm ngàm với nền.
- Chân vòm có khớp nối theo đường chu vi (hình 3-5, b7).
- Đập vòm gồm các đĩa có 3 khớp (hình 3-5, b8).

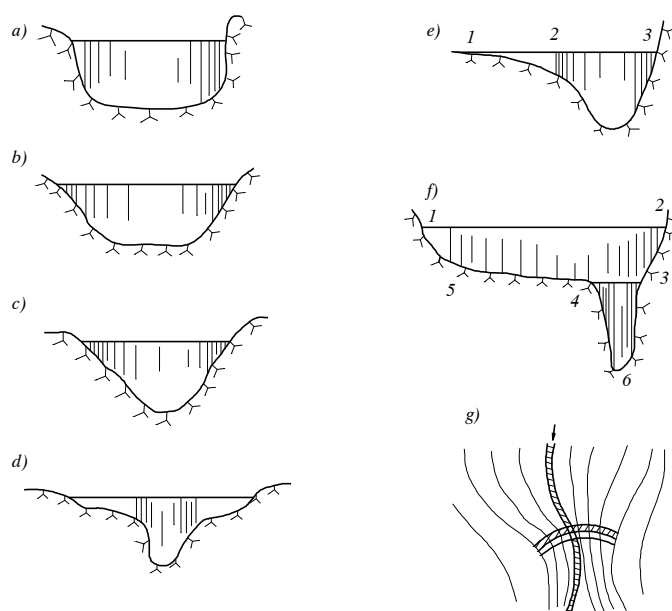
### III. Điều kiện xây dựng đập vòm

Khi xây dựng đập vòm đòi hỏi có những điều kiện sau:

#### 1. Điều kiện địa hình

Điều kiện địa hình ảnh hưởng rất lớn đến hình dạng đập vòm, bố trí công trình và chiều dày đập cũng như khối lượng vật liệu xây dựng đập.

Điều kiện địa hình của tuyến xây dựng được đặc trưng bằng tỷ số  $n = \frac{L}{H}$ ;  $n$  gọi là hệ số tuyến,  $L$  là chiều dài đỉnh đập;  $H$  là chiều cao đập. Hệ số tuyến ảnh hưởng quyết định đến tỷ số  $\beta = e_0/H$ , tức là ảnh hưởng đến chiều dày của đập. Theo kinh nghiệm, nếu  $n < 2$  và lòng khe tam giác có thể chọn vòm có dạng tròn với chiều dày không đổi hoặc dày hơn cục bộ ở chân vòm (khi đó bán kính phải lấy nhỏ nhất và góc ở tim phải là góc cho phép lớn nhất theo điều kiện đảm bảo cho đập tựa được chắc chắn); nếu hệ số tuyến  $n > 1,5 \div 0,2$  (tuyến xây dựng hẹp) thì có thể xây dựng được đập vòm; nếu  $n > 3,5 \div 4,0$  thì xây dựng đập vòm không kinh tế. Tuy nhiên hiện nay đã có những đập vòm được xây dựng với  $n=7 \div 11,0$ .



**Hình 3-9. Những điều kiện địa hình khi xây dựng đập vòm**

Ngoài ra hình dạng mặt cắt tại tuyến xây dựng cũng ảnh hưởng đến điều kiện xây dựng và làm việc của đập. Nếu mặt cắt tuyến xây dựng hình chữ U (hình 3-9a), chiều dài cong của vòm ở đỉnh và ở đáy đập gần bằng nhau, do đó thường xây loại đập vòm còn có bán kính vòm không đổi, chiều dày của loại này lớn. Nếu mặt cắt có dạng hình thang (hình 3-9b) hoặc hình tam giác (hình 3-9c) loại đập vòm có bán kính vòm thay đổi, còn góc tâm không thể thay đổi. Mặt cắt tuyến xây dựng thích hợp nhất là chữ V (hình 3-9c), vì tuy áp lực thủy tĩnh ở gần đáy lớn, nhưng nhịp vòm lại nhỏ, do đó đập có thể làm mỏng. Nói chung trong xây dựng đập vòm yêu cầu có mặt cắt tuyến sông đối xứng, không có chỗ lồi lõm lớn. Nếu không thỏa mãn điều kiện trên thì các phần gần hai bờ 1 - 2 và 3 - 4 có thể xây thành khối trọng lực, phần 2 - 3 làm đập vòm (hình 3-9d, e). Còn trường hợp (3-9f) xây hai loại đập vòm 1- 2 - 3 - 4 - 5 và 3 - 4 - 6 làm việc độc lập nhau.

## 2. Điều kiện địa chất

Trước năm 1960, người ta chỉ quan tâm đến ứng suất trong đập vòm. Năm 1959 đập vòm Malpasset (Pháp) cao 66m bị vỡ. Sau nhiều năm khảo sát thực địa, nghiên cứu lý luận và thực tiễn, các nhà khoa học đã chỉ ra:

1. Vùng đá núi vai trái có cấu tạo phân lớp song song với hướng lực tác dụng từ đập tới (còn vai phải đập tác dụng vuông góc với các lớp đá) vì vậy các lực đẩy của đập tới bờ không được phân đều mà tập trung vào một dải hẹp.

2. Lớp chịu lực nén ép lớn, chặt lại và hệ số thấm bị giảm hàng chục lần, dẫn đến thoát nước kém và tăng áp lực thấm.

3. Chân đập có cấu tạo đoạn tầng.

Ba lý do trên chính chính là nguyên nhân làm cho vai trái đập bị trượt và đập bị vỡ sau khi dâng nước lên mức cao nhất. Sự cố đập vòm Malpasset đã buộc người ta phải quan tâm đến ổn định của đập và tình hình địa chất ở chân và vai đập vòm.

Tuyến xây dựng đập vòm phải có hai bờ đá đủ cường độ, chịu được tải trọng truyền tới, đá có hình toàn khối, không bị biến dạng lớn và không bị nước xâm thực. Yêu cầu về nền tại đáy đập không chặt chẽ như nền đập bê tông trọng lực, vì tải trọng chủ yếu truyền đến hai bờ, song cũng phải đủ cường độ, thoát nước và không bị mất ổn định thấm.

Trong khảo sát địa chất cần tiến hành khoan, đào thậm chí phải đào đường hầm ngang để khảo sát, phán đoán khả năng mất ổn định, phạm vi mất ổn định, mặt trượt có thể xảy ra. Xác định rõ thể nằm và phân bố của các lớp đá. Xác định các hệ số kháng cắt  $f$ ,  $C$  theo mẫu có kích thước tùy thuộc vào số lượng và độ lớn của các vết nứt trong đá. Đánh giá an toàn ổn định kháng trượt. Trên cơ sở tài liệu khảo sát địa chất để đánh giá điều kiện địa chất xây dựng đập vòm.

Trong thực tế các yêu cầu địa chất khó đạt được hoàn toàn, vì vậy phải có các biện pháp gia cố:

- Đào, khoan đường hầm ngang xuyên qua vết nứt và đổ bê tông truyền lực.
- Khoan phụt vữa bê tông lấp các vết nứt hoặc tạo màng chống thấm.
- Đào các hố đáy vết nứt, đổ bê tông tạo nên các chốt nút bê tông nhằm ngăn các mảng đá, đoạn tầng, tạo nên chính thể.
- Đào, dọn sạch vết nứt và đổ đầy bê tông thay thế.
- Làm tường áp vách đá có thép neo dự ứng lực.
- Tạo rãnh, chân khay cắm vào phân đá tốt v.v...

Tùy tình hình địa chất cụ thể để chọn và áp dụng một hay nhiều giải pháp nhằm đảm bảo đá hai bờ và ở đáy đập trở thành chính thể đủ cường độ và ổn định.

## 3. Đặc điểm thi công

Trong quá trình ngưng kết, nhiệt độ bê tông ban đầu tăng lên, sau đó giảm dần, các khoanh vòm bị co rút lại, trong thân đập sẽ phát sinh ứng suất kéo. Do đó khi thi công không đổ bê tông thành các khoanh vòm theo chiều ngang mà thi công đập vòm

thành nhiều trụ đứng từ đáy lên đỉnh đập. Khi bê tông đã nguội, thể tích đã ổn định, lúc đó mới nối các khe giữa các trụ đứng thành đập vòm liền khối. Trong quá trình thi công các trụ độc lập nhau không có tác dụng vòm, do đó không chịu được tải trọng. Vì vậy nếu đập dâng nước là đập vòm thì không thể tranh thủ tích nước trong hồ chứa trước khi xây dựng đập xong hoàn toàn được.

## 3.2. PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH CÁC THÔNG SỐ CƠ BẢN CỦA ĐẬP VÒM

### I. Xác định bán kính và góc ở tâm của vòm

Theo kinh nghiệm tính toán, góc tâm nằm trong phạm vi  $2\alpha_0 = 150^\circ \div 180^\circ$  thì khối lượng vật liệu xây dựng đập nhỏ nhất, và thường lấy trong khoảng  $125^\circ \div 140^\circ$ . Theo Buxinét ảnh hưởng truyền lực của chân vòm vào bờ nằm trong phạm vi góc  $30^\circ$ , do đó không nên giảm góc tâm nhiều quá. Góc tâm ở các vòm tại đáy đập có khi chọn trong khoảng  $70^\circ \div 90^\circ$ . Nếu căn cứ vào các độ cao khác nhau của thân đập để chọn góc tâm và bán kính vòm thích đáng thì có thể cải thiện được trạng thái ứng suất trong thân đập, giảm được chiều dày của đập, do đó thường chia ra:

1. Đập có bán kính ngoài không đổi và góc tâm không đổi có mặt thượng lưu thẳng đứng, mặt hạ lưu dốc (hình 3-6).

Tâm của vòm tròn ở các cao trình khác nhau đều cùng nằm trên một đường thẳng. Vì bán kính ngoài không đổi nên bán kính trong của vòm càng xuống gần đáy đập càng giảm dần.

2. Đập có góc tâm không đổi và bán kính vòm không đổi. Loại đập này bảo đảm chọn được góc tâm  $2\alpha_0$  lớn cho tất cả các khoang vòm theo chiều đứng của đập (hình 3-7).

3. Đập có góc tâm thay đổi và bán kính thay đổi thường được xây dựng ở các tuyến có mặt cắt chữ V và có trạng thái ứng suất tốt tránh được các khuyết điểm của các loại đập trên (hình 3 - 8).

4. Đập vòm cong hai chiều, trên bình diện là vòm cong, mặt khác mặt cắt dọc cũng có dạng cong theo cung tròn hoặc theo dạng Parabol.

### II. Xác định cao trình đỉnh đập

Với đập vòm không tràn, đỉnh đập xác định đủ cao để không cho nước tràn qua đỉnh đập.

Cao trình đỉnh đập  $Z_{dd}$  được xác định như xác định cao trình đỉnh đập bê tông lực. Nghĩa là chọn giá trị lớn trong hai giá trị tính theo công thức (3 - 1), (3 - 2) và cao hơn mực nước lũ kiểm tra:

$$Z_{dd} = MNDBT + \eta_s + \Delta h + a \quad (3 - 1)$$

$$Z_{dd} = MNLTK + \eta'_s + \Delta h' + a' \quad (3 - 2)$$

trong đó:



MNDBT - mực nước dâng bình thường;

MNLTK - mực nước lũ thiết kế;

$\eta_s$ - độ cao dềnh lớn nhất của sóng khi gặp mái đập ứng với tốc độ gió lớn nhất thiết kế;

$\eta'_s$ - độ cao dềnh lớn nhất của sóng khi gặp mái đập ứng với tốc độ gió lớn nhất trung bình;

$\Delta h, \Delta h'$  - độ dềnh mặt nước do gió ứng với tốc độ gió lớn nhất thiết kế và tốc độ gió lớn nhất trung bình;

$a, a'$  - độ cao an toàn.

### III. Bề rộng của đập

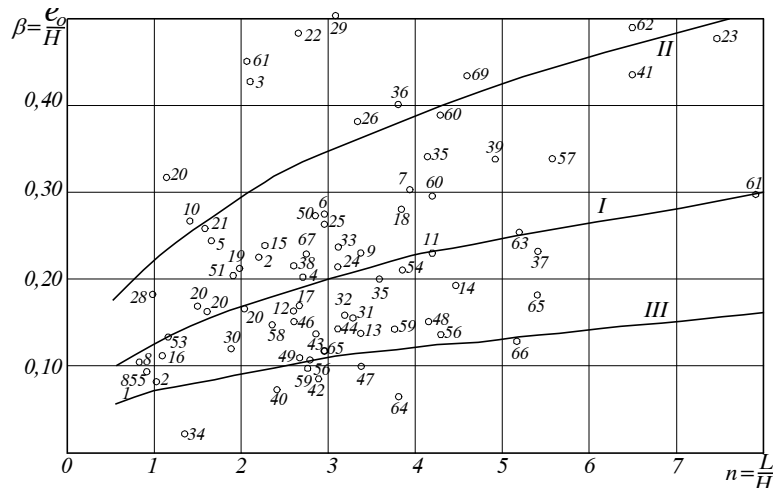
Bề rộng của đập được xác định tùy thuộc vào yêu cầu giao thông, thi công, quản lý, khai thác, sửa chữa, du lịch, chiều cao đập, cấu tạo đỉnh đập.

Nếu làm đường giao thông thì theo yêu cầu cấp đường, còn lại có thể chọn từ  $5 \div 10$  (m) bằng cách mở rộng đỉnh vòm hợp lý (do chiều dày của đỉnh vòm thường nhỏ).

### IV. Chiều dày thân đập

Trong thiết kế sơ bộ chọn chiều dày thân đập  $e_0$  có thể được xác định nhờ quan hệ giữa  $\beta = \frac{e_0}{H}$  với  $n = \frac{L}{H}$  (hình 3-10).

Chọn  $n$ , hay từ chiều cao đập ( $H$ ), chiều dài đỉnh đập ( $L$ ) tính ra hệ số tuyến  $n$ . Tra quan hệ  $\beta$  với  $n$  (hình 3-10) trong phạm vi giữa hai đường giới hạn ta có  $\beta$ , từ đó  $e_0 = \beta.H$ .



Hình 3-10. Quan hệ  $\beta = \frac{e_0}{H}$  với  $n = \frac{L}{H}$

I- đường cong trong bình; II- đường cong giới hạn trên; III- đường cong giới hạn dưới.

### 3.3. TÍNH TOÁN CỜNG ĐỘ ĐẬP VÒM

#### I. Lực tác dụng

##### 1. Áp lực thủy tĩnh

Thành phần nằm ngang của áp lực thủy tĩnh tác dụng theo hướng đường kính. Đó là tải trọng chủ yếu phải xét đến khi tính toán đập vòm. Nếu mặt thượng lưu xiên thì xét đến thành phần thẳng đứng của áp lực thủy tĩnh tác dụng lên phần tường công xôn.

##### 2. Trọng lượng bản thân

Đập vòm có tiết diện mỏng, trọng lượng bản thân nhỏ, nhất là đối với những đập vòm mỏng, sự ổn định của công trình do điều kiện truyền lực vào hai bờ quyết định. Vì vậy khi tính toán không kể đến trọng lượng bản thân đập. Riêng đối với đập vòm trọng lực vì trọng lượng bản thân lớn nên phải xét đến khi tính toán.

##### 3. Áp lực thấm

Đối với đập vòm mỏng và đập vòm thông thường chiều rộng đáy đập bé nên áp lực thấm tác dụng lên công trình nhỏ không cần xét đến trong tính toán.

##### 4. Lực do nhiệt độ thay đổi

Đập vòm là một kết cấu siêu tĩnh, tiết diện mỏng, do đó khi có sự thay đổi nhiệt độ bên ngoài và co giãn của bê tông trong quá trình thi công đều phát sinh ứng suất nhiệt trong thân đập. Vì vậy khi tính toán đập vòm cần phải xét đến lực do nhiệt độ thay đổi gây ra.

*Các trường hợp phát sinh ra lực do nhiệt độ thay đổi*

- Sự thay đổi nhiệt độ khi nối khe và nhiệt độ bình quân từng mùa. Trong thi công khi nhiệt độ bê tông trong các trụ đứng đạt đến trị số ổn định, thì bắt đầu nối các khe giữa các trụ đứng. Sau đó nhiệt độ trong thân đập sẽ biến đổi tùy theo sự thay đổi có tính chất chu kỳ của nước phía thượng lưu và nhiệt độ khí trời phía hạ lưu. Ảnh hưởng đó trong từng mùa có tác dụng sâu vào trong thân đập tới 3 ÷ 6(m) gây ra biến dạng co giãn của bê tông và vì đập gắn chặt vào hai bờ nên trong thân đập sẽ phát sinh ứng suất nén hoặc kéo.

Thường nối khe đập khi nhiệt độ của các trụ bê tông thân đập đạt đến nhiệt độ bình quân năm (đôi khi nối khe khi nhiệt độ bê tông các trụ đứng đạt đến nhiệt độ bình quân thấp nhất trong năm). Nếu lấy nhiệt độ khi nối khe làm chuẩn thì khi nhiệt độ bên ngoài tăng, bê tông thân đập sẽ giãn nở, đỉnh vòm sẽ chuyển vị về phía thượng lưu và khi nhiệt độ bên ngoài hạ thấp, sẽ tương đương với tác dụng của áp lực thủy tĩnh về phía hạ lưu; mặt thượng lưu đập sẽ bị kéo không có lợi cho trạng thái ứng suất trong thân đập.

Khi thiết kế sơ bộ, sự tăng và hạ nhiệt độ lớn nhất tại các cao trình của thân đập so với nhiệt độ khi nối khe có thể tính theo công thức kinh nghiệm sau:

$$\Delta t = \pm \frac{57^0 57}{e + 2,44} \quad (^\circ\text{C}) \quad (3 - 3)$$

trong đó:  $e$  - chiều dày thân đập, tính theo mét.

Nếu nhiệt độ thay đổi không đều, mặt thượng lưu là  $t_1$  và mặt hạ lưu là  $t_2$ , thì khi tính toán ta xem biến đổi nhiệt độ từ  $t_1$  đến  $t_2$  trong thân đập theo đường thẳng và lúc ấy  $\Delta t$  tính bằng độ chênh lệch nhiệt độ khi nối khe với trị số trung bình  $t_{tb} = \frac{t_1 + t_2}{2}$  ở giữa

trục vòm. Theo kinh nghiệm thì trị số  $\Delta t$  trong trường hợp này vẫn có thể tính theo công thức (3 - 3).

- Sự thay đổi nhiệt độ khi nối khe và nhiệt độ bình quân ngày, tuần. Ảnh hưởng của sự thay đổi này chỉ tác dụng sâu vào thân đập khoảng  $0,3 \div 0,6\text{m}$  do đó không cần xét đến.

## 5. Lực động đất

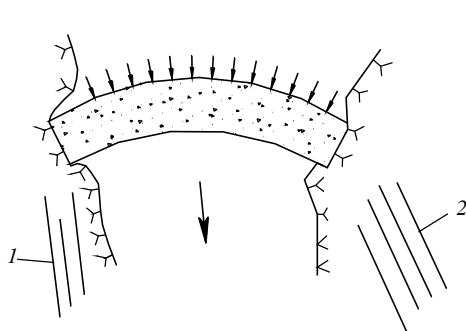
Khi phương tác dụng của lực động đất song song với trục đập (tức thẳng góc với dòng chảy) sẽ gây cho đập vòm mất ổn định, vì trường hợp này nửa vòm chịu lực nén và nửa vòm còn lại chịu lực kéo. Như vậy khi tính toán đập vòm chỉ xét hai loại lực: áp lực nước phía thượng lưu (và hạ lưu nếu có) và lực do nhiệt độ thay đổi so với khi khe nối gây ra. Trong trường hợp đập vòm trọng lực tính thêm trọng lượng bản thân.

## II. Phân tích ổn định của đập vòm

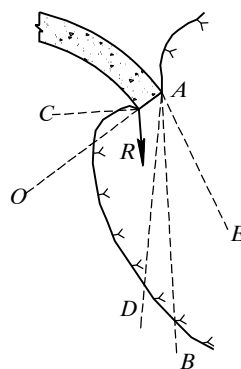
Ổn định của đập vòm chủ yếu dựa vào sự chống đỡ của khối chân vòm. Cần kiểm tra ổn định ở những nơi xung yếu bao gồm cả kiểm tra ổn định cục bộ và toàn khối.

### 1. Tính toán ổn định cục bộ chân vòm

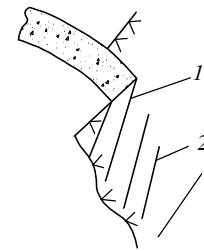
#### a) Mặt trượt tính toán



**Hình 3-11. Khe nứt và ảnh hưởng ổn định trượt**



**Hình 3-12. Khả năng mặt trượt chân vòm**



**Hình 3-13. Khả năng mặt trượt và khe nứt**

1- khả năng mặt trượt; 2- khe nứt.

Mặt trượt tính toán thường là khe nứt, đoạn tầng. Vì vậy muốn chọn mặt trượt tính toán hợp lý cần nắm vững tình hình nứt nẻ, đoạn tầng, ví dụ như hình 3-11, tuy cùng có khe nứt, nhưng khe nứt 1 ảnh hưởng đến ổn định trượt. Trường hợp chân vòm không có nứt nẻ (nền đá tốt) như hình 3-12 cần phán đoán mặt trượt chân vòm như sau: gọi R là hợp lực chân vòm, từ A vẽ AE song song với mép nền hạ lưu, AB song song với phương của R, AC thẳng góc với R. Như vậy lực đẩy theo phương AC là không có. Đường OA nối A đến tâm vòm, AD song song với trục đối xứng của đập. Theo lý thuyết thì khả năng mặt trượt nằm trong phạm vi (AC, AE). Nhưng thực tế, không thể xảy ra mặt trượt ở vùng giữa AC và AO. Vì vậy phạm vi trượt chỉ xảy ra trong khu thu hẹp giữa AO và AE.

Trường hợp chân vòm có đoạn tầng hay khe nứt bất lợi trường hợp thì rất có nhiều khả năng phát sinh mặt trượt theo hướng bất lợi đó (hình 3-13).

#### b) Tính toán ổn định trượt chân vòm

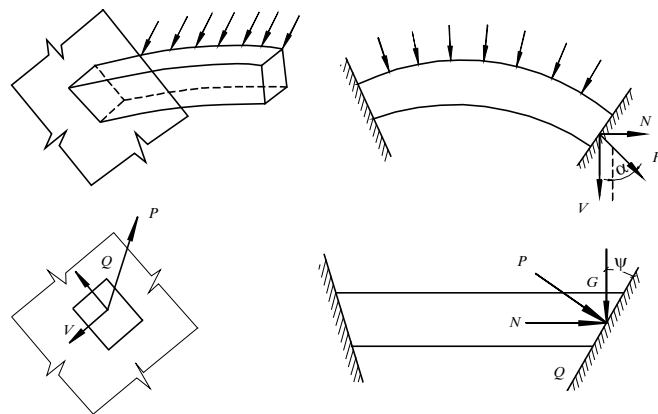
Để tính toán ổn định trượt chân vòm, cần thực hiện các bước sau:

- Chia đập thành các lớp vòm để xem xét. Ở một lớp vòm nhất định (hình 3-14), gọi H là lực hướng trục, còn S là lực cắt do tác dụng của áp lực nước lên vòm.

- Giả thiết mặt trượt: gọi  $\alpha$  là góc mà mặt trượt tạo ra so với phương của lực hướng trục H.

Gọi V và N là các thành phần lực theo phương song song và thẳng góc với mặt trượt, ta có:

$$\left. \begin{aligned} V &= H \cos \alpha + S \sin \alpha \\ N &= H \sin \alpha - S \cos \alpha \end{aligned} \right\} \quad (3-4)$$



Hình 3-14. Sơ đồ tính ổn định chân vòm

Nếu lòng sông có độ dốc so với phương thẳng đứng một góc  $\psi$ , vì vòm còn chịu tác dụng của trọng lượng bản thân  $G_1$  và áp lực nước thấm  $W_{th}$ . Như vậy thành phần lực song song và thẳng góc với mặt nền được tính như sau:

$$\left. \begin{aligned} Q &= N \sin \psi - G_1 \cos \psi \\ P &= N \cos \psi + G \sin \psi - W_{th} \end{aligned} \right\} \quad (3-5)$$

Sự ổn định của vòm được xét theo công thức:

$$K_c = \frac{P f_1 + G_2 \sin \psi \cdot f_2 + c \cdot l \sec \psi}{V} = \frac{(N \cos \psi + G_1 \sin \psi - W_{th}) f_1 + G_2 \sin \psi \cdot f_2 + c \cdot l \sec \psi}{V} \quad (3-6)$$

trong đó:

$G_2 \sin \psi \cdot f_2$  - lực ma sát do trọng lượng khối đá đỡ tựa ở chân vòm sinh ra;

$f_1$  - hệ số ma sát của mặt trượt;

$c \cdot l \sec \psi$  - lực cố kết chống cắt xén ở mặt trượt;

$l$  - chiều dài mặt trượt.

Khi tính toán ta có thể giả thiết nhiều mặt trượt để xác định hệ số an toàn  $K_c$ . Hệ số an toàn nhỏ nhất  $K_c^{\min} > [K]$  được quy định theo quy phạm.

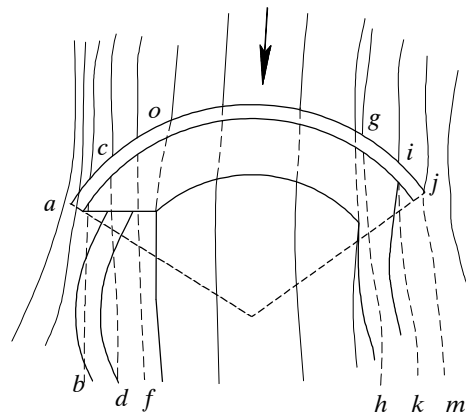
## 2. Xét ổn định trượt toàn khối

### a) Khả năng xảy ra trượt theo phương vòng chảy

Mặt trượt xuất hiện theo các hướng khe nứt về phía hạ lưu (hình 3 - 15)

Hệ số an toàn chống trượt  $K_c$  xét theo công thức sau:

$$\left. \begin{aligned} K &= \frac{\sum_1^n G_n \cdot f_n}{\sum_1^n P} \\ \text{hoặc } K &= \frac{\sum_1^n G_n \cdot f_n + \sum_1^n C_n \cdot A_n}{\sum_1^n P_n} \end{aligned} \right\} \quad (3-7)$$



**Hình 3 -15. Tính toán ổn định trượt mặt vòm**

trong đó:

$G_n f_n, C_n A_n$  - lực chống trượt do ma sát và cố kết của từng bộ phận tác dụng lên mặt trượt;

$\sum_1^n P_n$  - tổng lực gây trượt.

### b) Mất ổn định do bị xoay quanh ở một bên bờ

Trường hợp này xảy ra khi địa chất ở một bờ xấu hơn bờ bên kia, làm cho đập biến dạng, xem như bị xoay quanh vị trí đỡ tỳ ở bờ đá cứng.

Ta có công thức:

$$K_c = \frac{\sum M_n^c}{\sum M_n^t} \quad (3 - 8)$$

trong đó:

$\sum M_n^c$  và  $\sum M_n^t$  - tổng các mô men chống trượt và gây trượt xét với các điểm đỡ tỳ.

Trong các trường hợp trên, nếu không thỏa mãn yêu cầu, cần có biện pháp xử lý để đảm bảo an toàn.

### III. Các phương pháp tính toán cường độ đập vòm

Có nhiều phương pháp tính toán cường độ đập vòm:

- Phương pháp ống tròn thành mỏng.
- Phương pháp vòm đơn thuần (vòm phẳng).
- Phương pháp dầm - vòm.
- Phương pháp lý thuyết vỏ mỏng với việc sử dụng lý thuyết sai phân và phân tử hữu hạn.

#### 1. Phương pháp ống tròn thành mỏng

Theo phương pháp này vòm được xem như một phần của ống tròn, chịu tác dụng của áp lực nước rồi dùng công thức đơn giản của ống thành mỏng để tính toán. Việc xem xét như trên là quá đơn giản, do đó tất nhiên chưa phản ánh đúng điều kiện thực tế. Tuy hệ số an toàn phải lấy lớn, song có thể vẫn dẫn đến chưa thỏa mãn yêu cầu làm việc ở một số vị trí trong vòm đồng thời lại tốn kém vật liệu, tất nhiên phương pháp này chỉ dùng cho những đập vòm thấp. Khi vòm có chiều dày không đổi, góc ở tâm cố định thì mức ổn định có phần khả dĩ hơn. Phương pháp này có thể dùng sơ bộ ước định chiều dày vòm lúc ban đầu khi thiết kế sơ bộ.

Xét một vòm có chiều dày  $e$ , chiều cao là một đơn vị (1m) bán kính ngoài  $r_n$ , bán kính trong  $r_t$ , bán kính trung bình  $r_0$ , góc ở tâm  $2\alpha_0$ . Vòm đối xứng chịu áp lực nước phân bố đều  $P$  (hình 3-16).

Như vậy, nếu xét cho đường trung tâm của vòm (tương ứng với bán kính  $r_0$ ), thì áp lực nước  $p'$  biến đổi tương ứng có thể biểu thị theo công thức:

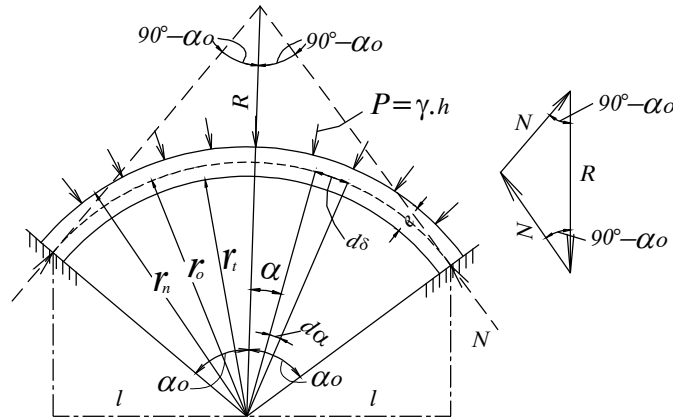
$$P' = p \frac{r_n}{r_t} \quad (3 - 9)$$

Tải trọng tác dụng  $R$  (hình 3-16) được xác định bằng cách lấy tích phân  $ds = r_0 d\alpha$  cho toàn bộ cung vòm, ta có:

$$R = 2 \int_0^{\alpha_0} P' \cos \alpha ds = 2p' r_0 \int_0^{\alpha_0} \cos \alpha d\alpha = 2p' r_0 \sin \alpha_0 = 2pr_n \sin \alpha_0 \quad (3 - 10)$$

Gọi  $N$  là phản lực ở chân vòm, từ tam giác lực (hình 3 - 16) ta suy ra:

$$R = 2N \sin \alpha_0 \quad (3 - 11)$$



**Hình 3-16. Sơ đồ tính toán ứng suất đập vòm theo phương pháp ống tròn thành mỏng**

Kết hợp công thức (3 - 10) và (3 - 11), ta có:

$$N = pr_n \quad (3 - 12)$$

Như vậy ứng suất trong tiết diện vòm là:

$$\sigma = \frac{N}{F} = \frac{pr_n}{e} \quad (3 - 13)$$

Nói khác đi chiều dày vòm tính theo công thức:

$$e = \frac{pr_n}{[\sigma]_n} = \frac{pl}{[\sigma]_n \sin \alpha_0} \quad (3 - 14)$$

trong đó:

$[\sigma]_n$  - ứng suất nén cho phép của bê tông thân đập, thường lấy khoảng  $10 \div 20 \text{ kg/cm}^2$  (càng tính cho các vòm dưới sâu, trị số này lấy càng nhỏ);

$l$  - chiều dài của một nửa nhịp vòm (tính với mép ngoài).

Cũng từ công thức (3 - 14) ta sẽ tính được thể tích của vòm  $\left( V = \frac{\pi}{180} \cdot 2\alpha_0 \text{Re} \right)$  và

xác định được vòm có thể tích nhỏ nhất khi  $2\alpha_0 = 133^{\circ}34'$ . Trong thực tế góc này thường bằng  $110 \div 120^{\circ}$ . Nếu góc trung tâm lớn hơn thì việc bố trí gập khó khăn và thường phải đào nhiều đá ở hai bờ, mặt khác tính ổn định cũng kém.

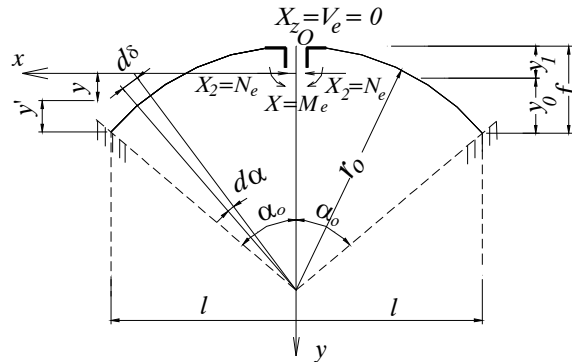
## 2. Phương pháp vòm đơn thuần

### a) Tr- ờng hợp tổng quát

Phân chia đập theo các mặt cắt nằm ngang thành các vòm đơn, xem như chịu tác dụng của ngoại lực (chủ yếu là áp lực nước và thay đổi nhiệt độ bên ngoài) một cách độc lập với nhau.

Hình (3-17) là sơ đồ để tính toán cho một vòng vòm. Vì vòm có chiều dày không đổi, nên mô men quán tính  $J$  không đổi, góc ở tâm là  $2\alpha_0$ .

Trong hệ vòm cơ bản này, tại điểm 0 của thành cứng tuyệt đối gọi mô men  $X_1 = M_e$ , lực hướng trục  $X_2 = N_e$  và lực cắt  $X_3 = V_e$ . Vì vòm chịu lực đối xứng nên  $X_3 = V_e = 0$ .



Hình 3-17. Sơ đồ tính toán theo vòm đơn thuần

Theo cơ học kết cấu, ta có:

$$\left. \begin{aligned} X_1 \delta_{11} + X_2 \delta_{12} + \Delta_{1p} &= 0 \\ X_1 \delta_{21} + X_2 \delta_{22} + \Delta_{2p} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (3 - 15)$$

trong đó:

$\delta_{11}; \delta_{12} = \delta_{21}; \delta_{22}$  - các chuyển vị theo hướng ản lực, do  $X_1 = 1$  và  $X_2 = 1$  gây ra trong hệ cơ bản.

$\Delta_{1p}; \Delta_{2p}$  - các chuyển vị theo hướng ản lực, do ngoại lực gây ra trong hệ cơ bản.

Trường hợp hệ ản lực trên đặt ở tâm đàn hồi, trị số  $y_0$  (khoảng cách từ chân vòm đến tâm đàn hồi) được xác định như sau:

$$\delta_{12} = \delta_{21} = \int_0^s \frac{y ds}{EJ} = \int_0^s \frac{y_0 - y'}{EJ} ds = 0 \quad (3 - 16)$$

Vì mô đun đàn hồi E của vật liệu và mô men quán tính J không đổi nên:

$$y_0 = \frac{\int_0^s y' ds}{\int_0^s ds} \quad (3 - 17)$$

Từ hình (3 - 17), ta có:  $y' = r_0 \cos \alpha - r_0 \cos \alpha_0 = r_0 (\cos \alpha - \cos \alpha_0)$

$$ds = r_0 d\alpha$$

Nên công thức (3 - 17) tính ra được:

$$y_0 = r_0 \left( \frac{\sin \alpha_0}{\alpha_0} - \cos \alpha_0 \right) \quad (3 - 18)$$



Từ phương trình (2- 15), trong trường hợp này, ta có:

$$X_1 = M_c = -\frac{\Delta_{1p}}{\delta_{11}} \quad (3 - 19)$$

$$X_2 = N_c = -\frac{\Delta_{2p}}{\delta_{22}} \quad (3 - 20)$$

Từ dạng tổng quát của lý thuyết cơ học kết cấu:

$$\delta_{ik} = \int_0^s \frac{M_i M_k}{EJ} ds + \int_0^s \frac{N_i N_k}{EF} ds \quad (3 - 21)$$

trong đó:  $M_i, M_k, N_i$  và  $N_k$  - mô men uốn, lực dọc trục lần lượt do  $X_i = 1; X_k = 1$  gây ra trên hệ cơ bản.

Trường hợp bài toán đang xét có:  $M_1 = 1; M_2 = 1; y = y'; N_1 = N_2 = 1; \cos \alpha = \cos \alpha_0$ , ta được kết quả:

$$\left. \begin{aligned} \Delta_{1p} &= \int_0^s \frac{M_o}{EJ} ds; & \delta_{11} &= \int_0^s \frac{ds}{EJ} \\ \Delta_{2p} &= \int_0^s \frac{M_o \cdot y}{EJ} ds + \int_0^s \frac{N_o \cos \alpha}{EF} ds \\ \delta_{22} &= \int_0^s \frac{y^2 ds}{EJ} + \int_0^s \frac{\cos^2 \alpha}{EJ} ds \end{aligned} \right\} \quad (3 - 22)$$

Từ các phương trình (3 - 19); (3 - 20); (3 - 21), suy ra:

$$M_c = \frac{\int_0^s M_o ds}{\int_0^s ds} = -\frac{\int_0^s M_o ds}{\frac{2\alpha_0}{\sin \alpha_0} \ell} \quad (3 - 23)$$

$$N_c = \frac{\frac{F}{J} \int_0^s M_o y ds + \int_0^s N_o \cos \alpha ds}{\frac{F}{J} \int_0^s y^2 ds + \int_0^s \cos^2 \alpha ds} = \frac{\frac{F}{J} \int_0^s M_o y ds + \int_0^s N_o \cos \alpha ds}{\left( \frac{12k_4}{v^2 \sin^3 \alpha_0} + \frac{k_5}{\sin \alpha_0} \right) \ell} \quad (3 - 24)$$

trong đó:

$$k_4 = \frac{1}{2} \sin \alpha_0 + \alpha_0 + \frac{2 \sin^2 \alpha_0}{\alpha_0}$$

$$k_5 = \frac{1}{2} \sin^2 \alpha_0 + \alpha_0;$$

$$\ell = r_0 \sin \alpha_0 \text{ (chiều dài nửa nhịp vòm).}$$

$$v = \frac{e}{\ell} \text{ (chiều dày tương đối của vòm)}$$

Mô men  $M$  và lực dọc  $N$  sinh ra tại mặt cắt bất kỳ của vòm tính theo công thức:

$$M = M_0 + M_c + N_c y \quad (3 - 25)$$

$$N = N_0 + N_c \cdot y \quad (3 - 26)$$

Ứng suất tại mép biên của mặt cắt tính theo công thức:

$$\sigma = \frac{N}{F} \pm \frac{M}{W} \quad (3 - 27)$$

trong đó:

$F$  - tiết diện mặt cắt tính toán ( $F = e$ );

$W$  - mô đun chống uốn ( $W = \frac{e^2}{6}$ );

$M_0, N_0$  - mô men, lực dọc do ngoại lực gây ra ở hệ lực cơ bản;

$e$  - chiều dày vòm.

*b) Trường hợp vòm chịu tải của n- ớc*

Vòm chịu tải trọng phân bố đều của nước  $p = \gamma h$  ( $h$  - chiều sâu nước ở mặt vòm tính toán,  $\gamma$  - trọng lượng riêng của nước).

Trong trường hợp này ta có  $N_0 = p r_n$  và  $M_0 = 0$  (vì phương của áp lực nước đi qua tâm vòm).

Từ các công thức (3 - 23); (3 - 24) ta dễ dàng xác định được  $M_c = 0$  và  $N_c = A \gamma h$ , với:

$$A = \frac{2r_o \cdot r_n \sin \alpha_o}{\left(\frac{12k_4}{v^2 \sin^3 \alpha_o} + \frac{k_5}{\sin \alpha_o}\right) \ell}$$

Như vậy mô men  $M$  và lực dọc trục  $N$  ở mặt cắt bất kỳ, tính được:

$$M = N_c \cdot y \quad (3 - 28)$$

$$N = N_c \cos \alpha + N_0 \quad (3 - 29)$$

Trong tính toán cần chú ý: trị số  $y$  trong công thức lấy giá trị dương trong khoảng từ chân vòm đến tâm đàn hồi, giá trị âm từ tâm đàn hồi đến đỉnh vòm:

Trong hình (3 - 17) ta tính được:

$$y_1 = f - y_o = r_o(1 - \cos \alpha_o) - r_o \left( \frac{\sin \alpha_o}{\alpha_o} - \cos \alpha_o \right)$$

và: 
$$y_o = r_o \left( \frac{\sin \alpha_o}{\alpha_o} - \cos \alpha_o \right)$$

Mô men tại chân vòm  $M_{cv}$  (với  $y = + y_o$ )

$$M_{cv} = N_c \cdot y_o = A\gamma h y_o$$

Mô men tại đỉnh vòm  $M_{dv}$  (với  $y = -y_1$ )

$$M_{dv} = -N_c \cdot y_1 = -\frac{y_1}{y_o} M_{cv}$$

Lực dọc trục tại chân vòm  $N_{cv}$  (khi  $\alpha = \alpha_o$ ):  $N_{cv} = (r_n + A \cos \alpha_o) \gamma h$

Lực dọc trục tại đỉnh vòm  $N_{dv}$  (khi  $\alpha = 0$ ):  $N_{dv} = (r_n + A) \gamma h$

Ứng suất pháp  $\sigma$  tại biên (thượng hạ lưu) mặt cắt chân vòm:

$$\sigma_{cv} = \frac{N_{cv}}{F} \pm \frac{M_{cv}}{W} = \frac{N_{cv}}{e} \pm \frac{6M_{cv}}{e^2} \quad (3 - 30)$$

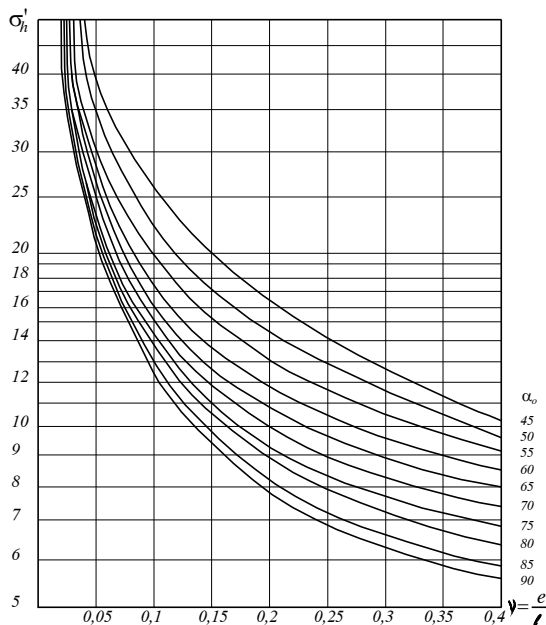
Trong công thức dấu âm ứng với ứng suất ở mép biên thượng lưu, còn dấu dương cho mép biên hạ lưu.

Để tiện lợi cho việc tính toán, N. Kelen đã đưa ra công thức biến đổi:

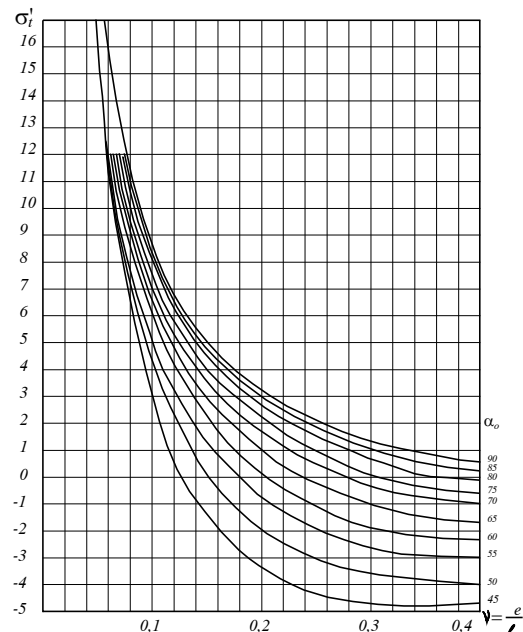
$$\sigma_{cv} = \gamma h \sigma' \quad (3 - 31)$$

trong đó:

$\sigma'$  - ứng suất dẫn suất: tức là tương ứng khi  $p = \gamma h = 1$ . Tác giả đưa ra hai đồ thị ở hình (3-18) dùng để tra trị số dẫn suất này cho điểm chân vòm phía hạ lưu  $\sigma'_h$ , còn hình (3-19) cho điểm chân vòm phía thượng lưu  $\sigma'_t$ .



**Hình 3-18. Biểu đồ tính ứng suất pháp  $\sigma'_h$  tại chân vòm phía hạ lưu do áp lực nước  $p = 1$  gây ra**



**Hình 3-19. Biểu đồ tính ứng suất pháp  $\sigma'_t$  tại chân vòm phía thượng lưu do áp lực nước  $p=1$  gây ra**

Từ biểu đồ hình (3-19) ta thấy luôn luôn có ứng suất nén ở chân vòm phía hạ lưu và tăng khi góc  $\alpha_0$  và độ dày vòm  $e$  giảm.

Ở biểu đồ hình (3-20), nhận thấy ứng suất kéo ở chân vòm phía thượng lưu xuất hiện khi  $\alpha_0 < 82^\circ$  và trị số của nó tăng lên khi góc  $\alpha_0$  giảm và chiều dày vòm tăng.

Để tránh ứng suất kéo ở mép thượng lưu, theo kinh nghiệm thường chọn  $2\alpha_0 \geq 140^\circ$ .

Ứng suất tại mặt cắt đỉnh đập  $\sigma_{dv}$

$$\sigma_{dv} = \frac{N_{dv}}{e} \pm \frac{6M_{dv}}{e^2} \quad (3 - 32)$$

Ở đây dấu dương tương ứng cho mép thượng lưu, còn dấu âm cho mép hạ lưu; Rõ ràng khác với chân vòm, ở đỉnh vòm mép thượng lưu luôn có ứng suất nén, còn mép phía hạ lưu có thể phát sinh ứng suất kéo. Điều này cần chú ý xử lý để thiết kế vòm cho hợp lý.

### c) Tính toán ứng suất do nhiệt độ gây ra

Trong đập vòm, khi nhiệt thay đổi sẽ gây ra một ứng suất đáng kể. Vì vậy cần phải xét đến khi thiết kế đập vòm. Thông thường thì nhiệt độ bên ngoài hạ thấp, trong đập phát sinh ứng suất kéo lớn. Vì thế khi thi công đập, người ta để chừa các khe, chọn thời kỳ nhiệt độ bên ngoài thấp, lúc đó lấp khe để khắc phục một phần hiện tượng bất lợi này.

Trong tính toán, thường xét các trường hợp sau:

- Khi có sự thay đổi đều của nhiệt độ so với nhiệt độ thời kỳ lấp các khe.
- Khi có sự thay đổi nhiệt độ không đều ở mặt thượng hạ lưu đập.

#### c1) Khi nhiệt độ thay đổi đều

Vấn dùng sơ đồ hình (3-17) để xét, song biến dạng trong vòm là do nhiệt gây ra chứ không phải tải trọng ngoài. Vì vậy  $N_0 = 0$ ;  $M_0 = 0$ . Như vậy tại tâm đàn hồi chỉ còn lực dọc  $N_{et}$  gây ra do thay đổi nhiệt độ.

Khi tính toán ta dựa vào điều kiện tỷ số giữa lực dọc  $N_{et}$  và  $N_c$  do áp lực nước phân bố đều gây ra bằng tỷ số biến dạng tương ứng của đoạn vòm  $ds$  do nhiệt độ gây ra  $\Delta ds_t$  và do áp lực nước gây ra  $\Delta ds_n$ .

$$\frac{N_{et}}{N_c} = \frac{\Delta ds_t}{\Delta ds_n} \quad (3 - 33)$$

Vì  $\Delta ds_n = \frac{N_0}{EF} ds$  và  $\Delta ds_t = \alpha t ds$  với  $\alpha$  là hệ số giãn nở nhiệt (bê tông  $\alpha = 0,00001$ ).

Mặt khác như ta đã biết  $N_0 = \gamma hr_n$ ,  $N_c = A\gamma h$  và  $F = e$  nên từ công thức (3 - 33) suy ra được:

$$N_{et} = AE\alpha \frac{e}{r_n} t \quad (3 - 34)$$

Trị số  $t$  dương khi nhiệt độ bên ngoài lớn hơn nhiệt độ khí lấp khe và âm khi ngược lại.

Biết trị số  $N_{et}$ , ta xác định được mô men và lực dọc trục tại mặt cắt bất kỳ của vòm theo công thức:

$$\left. \begin{aligned} M_t &= N_{et} \cdot y \\ N_t &= N_{et} \cdot \cos \alpha \end{aligned} \right\} \quad (3 - 35)$$

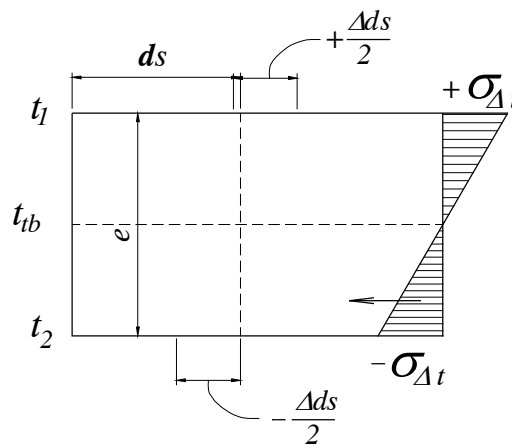
Ta có thể xác định được ứng suất biên ở mặt cắt chân vòm theo công thức bài toán nén lệch tâm:

$$\sigma_{t,cv} = \frac{N_{et} \cdot \cos \alpha_o}{e} \pm \frac{6N_{et} \cdot y_o}{e^2} \quad (3 - 36)$$

Dấu dương thuộc về biên thượng lưu. Ta thấy khi nhiệt độ bên ngoài lớn hơn nhiệt độ lấp khe ( $t > 0$ ) thì chân đập phía thượng lưu phát sinh ứng suất nén, còn ngược lại sinh kéo. Điều này cho thấy khi nhiệt độ bên ngoài hạ hơn nhiệt độ lấp khe thì ở cả hai biên mặt cắt chân đập sẽ sinh ứng suất kéo. Đó là điều bất lợi. Vì vậy cần chú ý chọn thời điểm lấp khe cho thích hợp.

### c2) Do chênh lệch nhiệt độ

Trường hợp có thay đổi nhiệt độ, nhưng ở một phía có nhiệt độ  $t_1$  và phía kia là  $t_2$ . Để tính toán trong trường hợp này trước hết ta cần xét sự thay đổi nhiệt độ  $t$  thay đổi đều từ nhiệt độ lấp khe tới nhiệt độ trung bình  $t_{tb} = 0,5(t_1 + t_2)$  theo cách đã nêu trên. Sau đó xét đến sự chênh lệch nhiệt độ  $\Delta t = t_1 - t_2$ .



Hình 3-20. Sơ đồ tính toán vòm do chênh lệch nhiệt độ

Do sự khác nhau về nhiệt độ này mà biến dạng ở hai phía biên của phân tố vòm  $ds$  so với trục giữa (hình 3-20) được tính theo công thức:

$$\frac{\Delta ds}{2} = \frac{\alpha \Delta t}{2} ds$$

Ứng suất tại biên của phân tố tính được theo định luật Hook:

$$\sigma_{\Delta t} = \frac{\Delta ds}{ds} E = \frac{1}{2} E \alpha \Delta t \quad (3 - 37)$$

Mô men do  $\Delta t$  gây ra:

$$M_{\Delta t} = \frac{\sigma_{\Delta t}}{2} \cdot \frac{e}{2} \cdot \frac{2}{3} e = \frac{1}{12} E \alpha e^2 \Delta t = \frac{1}{2} E \alpha \cdot v^2 \cdot \ell^2 \cdot \Delta t \quad (3 - 38)$$

Phía có nhiệt độ cao  $t_1$  sinh ứng suất nén, còn phía có nhiệt độ thấp  $t_2$  phát sinh ứng suất kéo.

Bảng (3-1) cho thấy tình hình và tổ hợp ứng suất tại một số điểm của mặt cắt vòm do áp lực nước và thay đổi nhiệt độ gây ra. Trong bảng dấu dương biểu thị ứng suất nén, dấu có (\*) thể hiện có thể đổi dấu, còn dấu âm chỉ ứng suất kéo.

**Bảng 3-1**

Dạng tải trọng	Chân vòm		Đỉnh vòm	
	Mặt thượng lưu	Mặt hạ lưu	Mặt thượng lưu	Mặt hạ lưu
- Áp lực nước phân bố đều	+	+	+	+
- Nhiệt độ bên ngoài tăng so với nhiệt độ nổi khe	+	-	-	+
- Nhiệt độ bên ngoài giảm so với nhiệt độ nổi khe	-	+	+	-
- Nhiệt độ thượng lưu lớn hơn ở hạ lưu	+	-	+	-
- Nhiệt độ hạ lưu lớn hơn ở thượng lưu	-	+	-	+

### 3. Phương pháp dầm - Vòm (Bài toán không gian)

Phương pháp vòm ngang đơn thuần chỉ xét từng vòm riêng được cắt theo mặt ngang. Thực tế đập vòm là kết cấu không gian, nghĩa là ngoài hướng ngang, đập vòm còn làm việc theo phương thẳng đứng, các phương pháp dầm - vòm kể đến thực tế này gồm có:

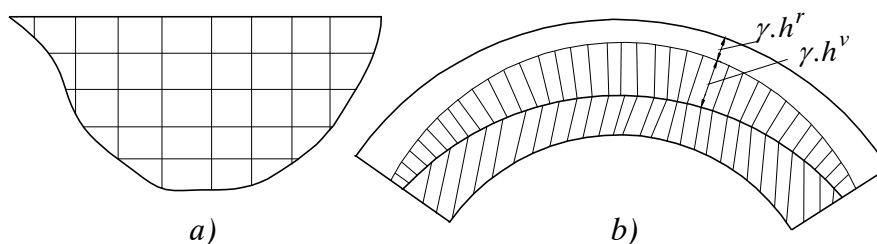
- Phương pháp vòm - dầm đỉnh.
- Phương pháp nhiều vòm - nhiều dầm.

#### a) Phương pháp vòm - dầm đỉnh

Trên hình (3-21): mặt cắt A - A là sơ đồ của dầm ở đỉnh. Dầm được phân thành nhiều đoạn, có chiều cao  $a$  tương ứng với các lớp vòm nằm ngang của đập. Áp lực nước tác dụng lên đập ở các phân tử này lần lượt là  $p_1, p_2, \dots, p_i, \dots, p_n$  với  $p_i = \gamma h_i a$ , ( $h_i$  là chiều sâu của nước ở trung tâm tại phân tử thứ  $i$ ). Tại phân tử này gọi biến dạng của vòm là  $f_i$ , còn biến dạng của dầm là  $f_i^r$ . Nếu gọi áp lực nước tại phân tử đó tác dụng lên vòm là  $p_i^v$  và cho dầm là  $p_i^r$ , ta dễ dàng nhận thấy rằng biến dạng  $f_i^v$  chính do tác dụng của  $f_i$  gây ra, còn biến dạng của dầm  $f_i^r$  lại do tất cả các tải trọng  $p_1^r, p_2^r, \dots, p_n^r$  gây ra. Ta biết rằng  $p_i = p_i^v + p_i^r$  hay  $p_i^r = p_i - p_i^v$ . Vì vậy có thể biểu diễn các biến dạng đó theo các hệ thức sau:



Phương pháp nhiều vòm - nhiều dầm là phương pháp tính toán đập vòm chính xác hơn. Đập vòm được chia thành nhiều khoang vòm có cùng chiều cao và nhiều dầm có cùng chiều rộng bằng các mặt phẳng ngang và các mặt phẳng đứng theo hướng đường kính. Nếu hình dạng mặt cắt tuyến đập không thay đổi đột biến thì lấy khoảng cách giữa các khoang vòm bằng nhau.



**Hình 3-22. Sơ đồ phân phối tải trọng cho dầm và vòm trên mặt nằm ngang**

- Nói chung chọn 5 ÷ 7 khoang vòm và tường công xôn (hình 3-22) vòm và dầm nên giao nhau tại bờ đập (trừ dầm qua đỉnh vòm).

- Phương pháp tính toán được dùng hiện nay vẫn là phương pháp thử tải trọng. Đầu tiên căn cứ vào kinh nghiệm, tham khảo kết quả tính toán các công trình đã xây dựng mà phân biểu đồ tải trọng nước cho cả hai hệ thống vòm và dầm. Căn cứ vào biểu đồ tải trọng của vòm và dầm để tính biến dạng tại các điểm chung. Nếu biến dạng tại các điểm chung của hai hệ thống không bằng nhau thì phân bố lại biểu đồ tải trọng nước và việc tính toán lặp lại như lần đầu, đến khi biến dạng tại các điểm chung bằng nhau (hoặc tính gần bằng nhau). Sai số cho phép về biến dạng tại các điểm chung của hai hệ thống vào khoảng 5 ÷ 10%. Dựa vào biểu đồ phân bố tải trọng cuối cùng để tính nội lực và ứng suất trong thân đập.

Căn cứ vào lý luận trên ta có thể tính được các bước tính toán của phương pháp thử tải trọng như sau:

- Chọn hệ thống vòm và dầm tính toán.
- Điều chỉnh theo hướng đường kính:
  - Phân biểu đồ tải trọng cho khoang vòm và dầm.
  - Tính biến vị theo hướng đường kính của khoang vòm và dầm dưới tác dụng của tải trọng theo hướng đường kính.
  - So sánh trị số biến vị tại các điểm chung của khoang vòm và dầm; phân lại biểu đồ tải trọng.
  - Tiếp tục tính toán đến khi biến vị của điểm chung gần bằng nhau thì dừng.
- Điều chỉnh theo hướng tiếp tuyến, tức điều chỉnh biến vị theo hướng tiếp tuyến của khoang vòm.
- Điều chỉnh theo hướng quay của mômen, tức điều chỉnh biến vị góc.



- Tiến hành điều chỉnh trở lại: Khi đã điều chỉnh biến vị theo hướng tiếp tuyến và hướng quay của mômen, ta điều chỉnh lại biến vị theo hướng đường kính. Đến đây mới kết thúc quá trình tính toán điều chỉnh để tìm tải trọng thành phần tác dụng lên khoan vòm và dầm. Khối lượng tính toán rất lớn, để giảm nhẹ việc tính toán có thể chỉ điều chỉnh biến vị theo hướng đường kính, vì đây là loại biến vị chủ yếu.

- Tính toán nội lực và ứng suất:

- Căn cứ vào biểu đồ tải trọng đã điều chỉnh mà tính nội lực và ứng suất tại các điểm tính toán.
- Tính toán ứng suất chính tại các điểm tính toán.

Trong tính toán có thể sử dụng các bảng lập sẵn ở các sách chuyên đề hoặc sử dụng các phần mềm tính toán.

Ngoài các phương pháp nêu trên, ngày nay trong nhiều đập vòm lớn, khi thiết kế người ta còn dùng phương pháp lý thuyết đàn hồi để tính toán. Kết quả tính toán cho thấy đạt hiệu quả kinh tế cao là đập vòm mỏng, cong hai chiều. Việc dùng lý thuyết vỏ mỏng trong bài toán không gian, dùng phương pháp sai phân, phân tử hữu hạn, lập các chương trình, giải trên máy tính điện tử sẽ cho kết quả phù hợp và chính xác hơn. Các phương pháp này được ứng dụng ngày càng nhiều, tất nhiên phức tạp và khối lượng tính toán rất lớn. Máy tính là một công cụ rất cần thiết để khắc phục khó khăn này.

Ngoài ra, một điểm cần lưu ý trong thiết kế đập vòm là vấn đề biến hình nền. Sự biến hình nền rất ảnh hưởng tới điều kiện làm việc của đập. Vì vậy trong thiết kế đập vòm cần tính toán biến hình nền và xử lý khống chế để bảo đảm sự làm việc an toàn của đập. Vấn đề này được nghiên cứu kỹ trong các tài liệu chuyên đề.

Trạng thái ứng suất biến dạng, trị số và hướng của các lực truyền từ đập vào nền, độ bền và độ ổn định của đập cũng như của nền đập phải được xác định qua tính toán và nghiên cứu thực nghiệm là bắt buộc. Khi tính toán ứng suất biến dạng cần chú ý tới cả trường hợp có kể tới thi công, thi công xong, quá trình tích và tháo nước ở hồ chứa, động đất.

Nếu như các điều kiện độ bền đối với các bờ mặt yếu của khối đá không thỏa mãn cần có biện pháp gia cố bờ. Nếu nền hoặc bờ có điều kiện địa chất không đều, đáy khả năng chịu lực cũng cần xử lý cho đồng nhất bằng các giải pháp thích hợp.

### 3.4. CẤU TẠO CỦA ĐẬP VÒM

#### I. Dạng đập vòm trên bình diện và trên mặt cắt đứng

##### 1. Dạng đập vòm trên bình diện

Dạng thông thường của đập vòm trên bình diện là cung tròn và chiều dày không đổi từ đỉnh vòm đến chân vòm. Trong trường hợp này đường áp lực do tải trọng nước gây ra truyền qua tâm cung tròn, do đó mô men uốn sẽ bằng không hoặc nhỏ hơn so với các đập vòm khác. Việc thi công đập vòm dạng cung tròn cũng dễ dàng hơn.

Những năm gần đây bắt đầu thiết kế loại đập vòm có dạng Elip hoặc Parabol trên bình diện. Từ việc phân tích ứng suất cho thấy, ứng suất ở chân vòm lớn hơn ứng suất ở đỉnh vòm, nên chiều dày ở chân vòm có thể chọn dày hơn ở đỉnh.

## 2. Dạng đập vòm trên mặt cắt đứng

*Dạng đập vòm trên mặt cắt đứng có thể là*

- Dạng mặt thượng lưu thẳng đứng, mặt hạ lưu dốc (xem hình 3-6). Dạng này có ở đập vòm có bán kính ngoài không đổi và góc ở tâm không đổi. Khi đó tâm của vòm tròn ở các cao trình khác đều nằm trên một đường thẳng.

- Dạng mặt thượng lưu và mặt hạ lưu đều có dạng cong (xem hình 3-7). Dạng này có ở đập vòm có góc ở tâm không đổi (nhưng có bán kính thay đổi từ trên xuống dưới). Trong trường hợp này trừ dầm công xôn ở gần giữa đập, còn lại các mặt cắt ở gần hai bờ đều nghiêng về phía thượng lưu.

- Dạng cong theo cung tròn hoặc Parabol (xem hình 3-8). Dạng này gặp ở đập vòm có bán kính thay đổi và góc ở tâm thay đổi.

## II. Vẽ đường viền thân đập

Từ tài liệu đã biết về địa hình, địa chất và chiều cao đập, chúng ta vẽ được đường viền thân đập, cách vẽ đường viền thân đập vòm có góc ở tâm thay đổi và bán kính thay đổi theo các bước sau (hình 3-23).

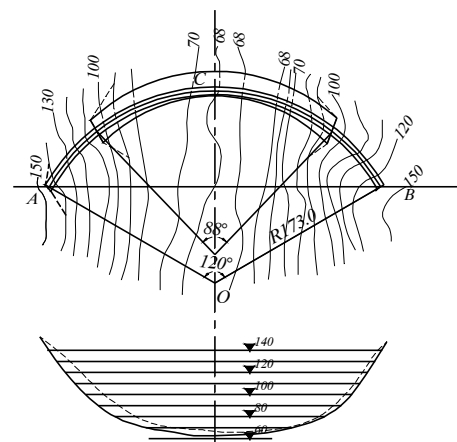
1) Xác định quỹ tích của các tâm điểm vòm. Trong ví dụ này quỹ tích đó là trục OC đối xứng qua cung ABC (A và B là hai giao điểm của trục đỉnh đập với các đường đồng mức).

2) Vẽ cung ABC tức đỉnh vòm. Khi vẽ cung này phải chú ý đến nguyên tắc là dùng đường bán kính cung tương đối nhỏ, góc ở tâm lớn và cắt đường đồng mức (tức bờ) một góc nhỏ không quá  $30^\circ$  (căn cứ vào đề nghị của Buxinet, lực truyền từ vòm vào bờ trong phạm vi góc  $30^\circ$ ) ở đây chọn  $2\alpha_0 = 120^\circ$  và  $r_0 = 173$  (m).

3) Vẽ vòm đỉnh đập, chiều dày sơ bộ 2 - 6 (m), chọn 4 (m).

4) Vẽ mặt cắt theo cung ABC của lòng sông; khi vẽ mặt cắt này cần chú ý đập phải xây trên nền đất đá tốt, do đó mặt cắt đó phải ứng với nền đá và nếu có phần không đối xứng thì phải tăng khối lượng bê tông.

5) Bố trí các khoanh vòm ở các cao trình khác nhau, thường là bắt đầu từ khoanh vòm nằm ở 1/3 chiều cao đập kể từ đáy đập trở lên (vì ở vùng này ứng suất trong thân đập lớn) trong ví dụ này bắt đầu bằng cao trình 90 (m).



**Hình 3-23. Cách vẽ đập vòm**

Cụ thể với khoanh vòm này tiến hành như sau:

- Chọn góc tâm của khoanh vòm này là  $2\alpha_0 = 88^\circ$  khi chọn góc tâm phải chiếu cố các góc tâm đó nằm trong giới hạn góc tâm tại đỉnh đập và đáy đập (ở đáy  $120^\circ \sim 70^\circ$ ) và thường lấy biến đổi tỷ lệ với cao trình. Trục của vòm luôn luôn cắt các đường đồng mức một góc không nhỏ hơn  $30^\circ$ . Nói chung cần tránh cho đập vòm, không bị nghiêng nhiều về phía thượng lưu (nếu góc tâm của các vòm gần đáy đập quá lớn sẽ làm cho các vòm phía trên khó bố trí và đập có thể bị nghiêng về phía thượng lưu).

- Tại điểm A' (hoặc B') giao điểm của trục với các đường đồng mức  $\nabla 90$  vẽ bán kính của vòm cắt OC với góc  $\alpha = 44^\circ$  và xác định được tâm điểm O', đồng thời vẽ bán kính trong của vòm.

- Căn cứ vào công thức  $c = \frac{\gamma h r_1}{[\sigma]}$  sơ bộ tính chiều dày của vòm có thể tính giả

thiết  $r_1$  trước khi tính  $e$  và sau đó chữa lại, nhưng trị số  $[\sigma]$  lấy lớn hơn khi tính vòm tựa tự do. Ở phần trên của đập lấy bằng  $50 - 60 \text{ kg/cm}^2$ , còn ở đáy đập lấy bằng  $20 - 30 \text{ kg/cm}^2$ . Căn cứ vào các bước cụ thể đó để vẽ các khoanh vòm khác.

Mỗi lần vẽ một khoanh vòm đều phải tính đi tính lại nhiều lần, đồng thời phải vẽ mặt cắt đập để đối chiếu.

Đối với các loại đập bán kính hoặc góc tâm cố định thì phương pháp vẽ đường viền còn đơn giản hơn.

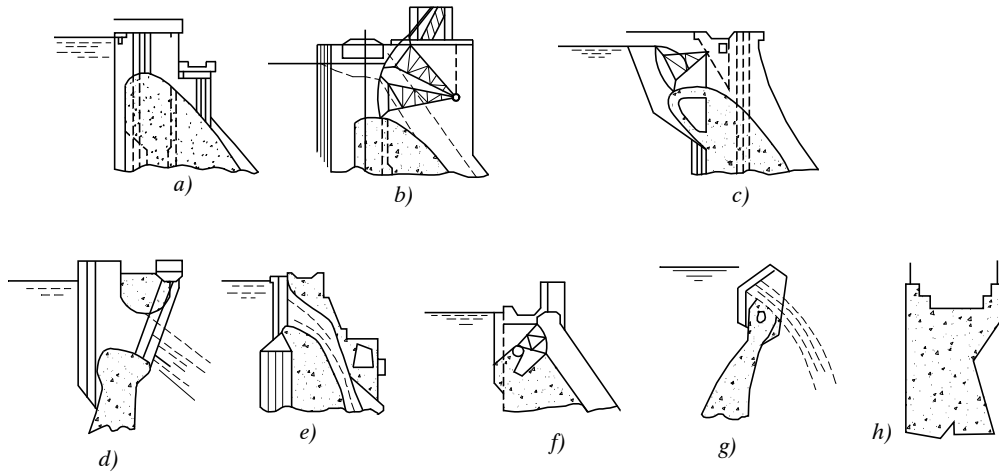
Ngoài ra cần chú ý mấy điểm sau: mép ngoài của vòm trên không cắt mép ngoài của vòm dưới (kể từ 1/3 chiều cao trở lên) trừ chỗ chân vòm, và các vòm đó nằm trong vòm có bề dày lớn nhất (tại 1/3 chiều cao). Mép hạ lưu của vòm ở đỉnh nên bố trí tiếp tuyến với mép hạ lưu của các khoanh vòm dưới hoặc bao sát vỏ của các cung hạ lưu vòm dưới nằm trong phạm vi của nó.

### III. Cấu tạo đập vòm

#### 1. Cấu tạo đỉnh đập

Chiều dày đỉnh đập vòm rất nhỏ khoảng từ  $1,5 \div 2,0$  khi cần làm đường giao thông qua đập phải mở rộng đỉnh đập bằng các bản công xôn về phía hạ lưu. Khi cần tràn nước thì đỉnh đập thiết kế để nước có thể phun xa khỏi chân đập. Để chống xói cho hạ lưu có thể xây tường thấp ở phía hạ lưu để tạo thành hố nước - hoặc gia cố ở hạ lưu. Chiều dày lớp nước tràn trên đỉnh đập vòm không nên quá  $2,0 \div 4,0$  (m). Hình thức kết cấu đỉnh đập vòm tràn nước phụ thuộc vào loại cửa van chắn nước như trên (hình 3-24).

Trong thân đập vòm có thể đặt các đường ống tháo nước dưới sâu để đưa nước vào các tuốc bin nhà máy thủy điện nằm sau đập. Trường hợp đó cửa van công tác thường đặt ở mặt sau đập, còn phía trước chỉ bố trí lưới chắn rác để thuận tiện cho việc đóng mở. Cũng có trường hợp đặt ống xả nước ở dưới sâu, kết hợp với tháo nước từ đỉnh đập. Kinh nghiệm cho biết, đập vòm có kết hợp tháo lũ trên mặt là biện pháp xây dựng kinh tế hơn khi xây các công trình tháo lũ ven bờ.



**Hình 3 - 24. Các hình thức cấu tạo đỉnh đập**

**2. Thiết bị thoát nước**

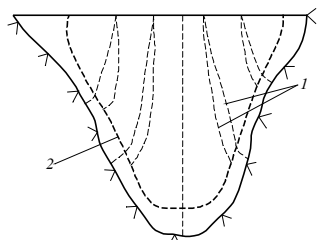
Thường trong đập vòm áp lực nước thấm tác dụng ở thân và nền đập nhỏ, nên nhiều khi không cần bố trí thiết bị thoát nước. Tuy nhiên, khi đập vòm tương đối dày, thì cũng cần bố trí thiết bị thoát nước ở thân và nền đập. Việc bố trí này cũng giống như ở đập bê tông trọng lực.

Thiết bị thoát nước trong thân đập là những ống có đường kính khoảng 6÷15 (cm), bố trí cách mặt đập thượng lưu khoảng 1÷2 (m). Thân đập cũng bố trí hành lang để đi lại kiểm tra và tập trung nước.

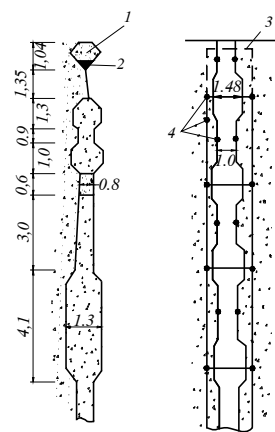
Ở nền các thiết bị thoát nước bố trí sau các màng xi măng chống thấm và tập chung nước vào hành lang.

**3. Khe đập**

Trong đập vòm thường có hai loại khe: Khe chu vi và khe thi công (hình 3-25).



**Hình 3-25. Khe trong đập vòm**  
1- khe thi công; 2- khe chu vi.

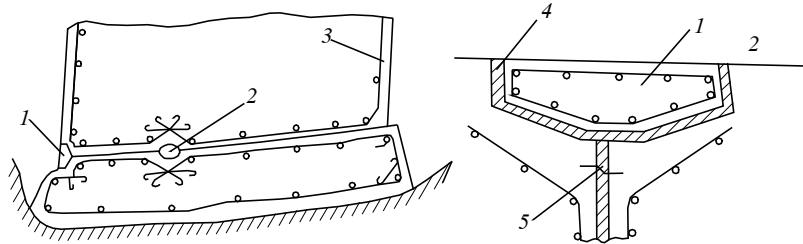


**Hình 3-26. Các khe thi công của đập vòm**  
1- bê tông cốt thép; 2- bi tum;  
3- kim loại chống thấm; 4- ống phụt xi măng.

Khe thi công cũng còn gọi là khe nhiệt độ. Khe này phân đập vòm thành các đoạn tường thẳng đứng trong thời kỳ thi công. Khe cách nhau khoảng  $7 \div 15$  (m); chiều rộng khe  $0,7 \div 1,2$  (m). Khe lắp để tạo thành đập vòm ở thời kỳ nhiệt độ bên ngoài hạ thấp, tránh cho đập phát sinh ứng suất kéo khi thay đổi nhiệt độ. Khe lắp bằng bê tông hoặc vữa xi măng và có các biện pháp chống thấm tốt (hình 3-26).

**Hình 3-27. Cấu tạo của khe chu vi**

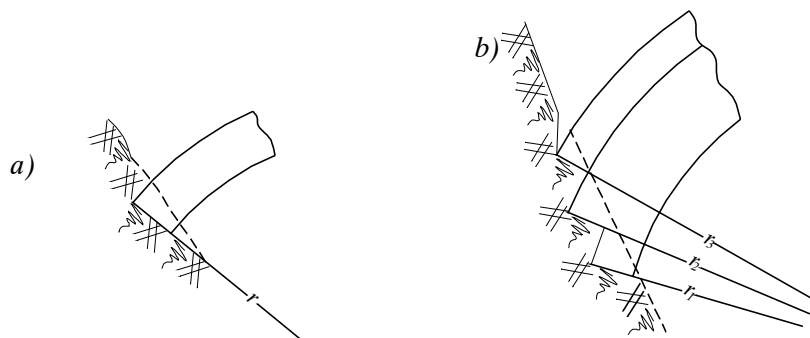
- 1- dầm bê tông cốt thép;
- 2- thoát nước;
- 3- cốt thép;
- 4- nhựa chống thấm;
- 5- tấm đồng.



Khe chu vi, thường dùng trong trường hợp mặt cắt sông nơi xây dựng đập không có hình dạng đối xứng hoặc lồi lõm không đều. Vì vậy người ta tạo phần sát nền như một bệ đỡ (kiếm đập bê tông trọng lực) tạo cho phần còn lại có dạng đối xứng. Như vậy phần bệ tựa vào đá ở nền và bờ, còn thân đập tựa vào bệ theo dạng khớp (hình 3-27). Khe chu vi có tác dụng tránh cho đập chịu ứng suất cục bộ, mà còn cải tạo được trạng thái ứng suất trong thân đập.

**4. Nối tiếp với bờ**

Đập vòm nối tiếp với bờ và nền cần đạt được hai yêu cầu sau: chống thấm và tạo điều kiện truyền lực tốt xuống nền và sang hai bờ. Để đạt được yêu cầu chống thấm cần làm chân khay ăn sâu vào nền và dưới chân khay là màng chống thấm bằng xi măng. Khi nối tiếp chân đập và bờ cần phải nạo vét loại đá vụn đá phong hoá, sau đó dùng tia nước mạnh hoặc phun cát có tốc độ lớn để làm sạch. Phải xử lý để cho mặt tiếp giáp giữa bê tông chân vòm và bờ là mặt phẳng hướng tâm vòm. Nếu chiều dày chân vòm lớn thì có thể làm thành nhiều cấp (hình 3-28).



**Hình 3-28. Nối tiếp chân vòm với bờ đá**

- a) Chân vòm mỏng;
- b) Chân vòm dày.

<b>Chương 3 ĐẬP VÒM</b>	<b>122</b>
<b>§3.1. Phân loại và điều kiện xây dựng</b>	<b>122</b>
I. Đặc điểm của đập vòm	122
II. Phân loại đập vòm	123
III. Điều kiện xây dựng đập vòm	126
<b>§3.2. Phương pháp xác định các thông số cơ bản của đập vòm</b>	<b>129</b>
I. Xác định bán kính và góc ở tâm của vòm	129
II. Xác định cao trình đỉnh đập	129
III. Bề rộng của đập	130
<b>§3.3. tính toán cường độ đập vòm</b>	<b>131</b>
I. Lực tác dụng	131
II. Phân tích ổn định của đập vòm	132
III. Các phương pháp tính toán cường độ đập vòm	135
<b>§3.4. cấu tạo của đập vòm</b>	<b>146</b>
I. Dạng đập vòm trên bình diện và trên mặt cắt đứng	146
II. Vẽ đường viền thân đập	147
III. Cấu tạo đập vòm	148