

Chương 4: Dòng chảy ổn định trong ống có áp

1. Khái niệm về tính toán thủy lực đường ống
2. Tính toán thủy lực ống ngắn
3. Tính toán thủy lực ống dài

1. Khái niệm về tính toán thủy lực đường ống

1.1. Khái niệm:

Dòng chảy ổn định trong ống có áp là dòng chảy ổn định, đầy ống. Trong từng đoạn ống vì vận tốc v không đổi và có tổn thất năng lượng nên áp suất p thay đổi.

Đường ống đơn giản: chỉ có một ống, có lưu lượng không đổi dọc theo chiều dài ống dẫn, dẫn chất lỏng từ bình chứa vào không khí hay vào bình chứa khác.

Đường ống phức tạp: là một hệ thống đường ống cùng một lúc có thể dẫn chất lỏng đến nhiều vị trí khác nhau.

1.1. Khái niệm

- Cơ sở để tính toán

Để tính toán thủy lực đường ống, ta dựa trên cơ sở lý thuyết đã học ở các chương trước bao gồm:

- + Phương trình Bernoulli
- + Phương trình liên tục
- + Các công thức tính tổn thất năng lượng trong dòng chảy

1.2. Phân loại bài toán thủy lực đường ống

Trong tính toán thủy lực đường ống, căn cứ vào tương quan độ lớn giữa tổn thất dọc đường và tổn thất cục bộ trong dòng chảy, thường chia ra thành:

- + Bài toán ống dài
- + Bài toán ống ngắn

1.2. Phân loại bài toán thủy lực đường ống

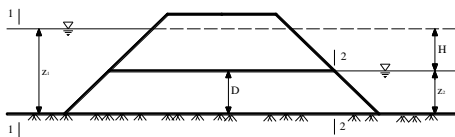
+ Ống dài: khi tổn thất dọc đường (h_d) là chủ yếu, tổn thất cục bộ nhỏ ($h_c < 5\% h_d$). Trong quá trình tính toán có thể bỏ qua tổn thất cục bộ vì ảnh hưởng của nó không đáng kể. Mạng lưới đường ống dẫn nước trong thành phố có thể được xem là ống dài.

+ Ống ngắn: khi tổn thất cục bộ là đáng kể so với tổn thất dọc đường, trong quá trình tính toán bắt buộc phải kể đến hai thành phần tổn thất này. Cổng qua đường, ống hút máy bơm,... thuộc loại bài toán ống ngắn.

2. Tính toán thủy lực ống ngắn

Trong bài toán ống ngắn, tổn thất năng lượng bao gồm cả tổn thất dọc đường và tổn thất cục bộ. Các bài toán ống ngắn rất đa dạng, ở đây ta chỉ xét một số bài toán cụ thể

2.1. Chảy không ngập qua ống ngắn



2.1. Chảy không ngập qua ống ngắn

Khi mực nước hạ lưu không ảnh hưởng đến lưu lượng, mực nước hạ lưu vừa đến mép trên của ống

Viết phương trình Bernoulli cho mặt cắt 1-1 và 2-2, mặt chuẩn qua đáy cống

(mặt cắt 1-1 ở thượng lưu, mặt cắt 2-2 thuộc ống)

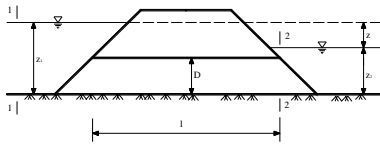
$$z_1 + \frac{p_a}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_a}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_w$$

Lưu lượng qua cống

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gH}$$

2.2. Trường hợp chảy ngập

Khi mực nước hạ lưu cao hơn mép trên của cống



Viết phương trình Bernoulli cho mặt cắt 1-1 và mặt 2-2 (mặt chuẩn qua đáy cống)

$$z_1 + \frac{p_a}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_a}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_w$$

2.2. Trường hợp chảy ngập

Lưu lượng qua cống

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gz}$$

- Nhận xét:

Viết với mặt cắt 2-2, điểm viết thuộc ống thì có với $\alpha_2 = 1, v_2 = v$, không có $\xi_{\text{đột mở}}$

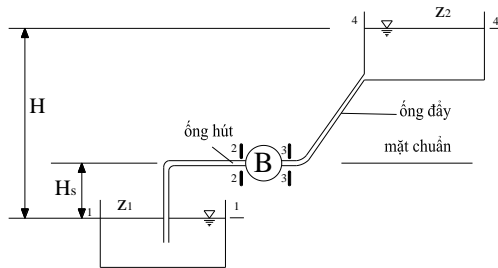
Nếu viết cho mặt cắt 2-2 thuộc phía hạ lưu, lúc này không thuộc ống nên $v_2=0$, nhưng lại có $\xi_{\text{đột mở}}$. Nên khi dùng công thức Q là không đối, chỉ lưu ý khi tính μ có α thì không có $\xi_{\text{đột mở}}$ và ngược lại.

2.3. Bơm ly tâm

Bơm ly tâm là máy thủy lực biến đổi cơ năng của động cơ thành năng lượng để vận chuyển chất lỏng hoặc tạo ra áp suất trong hệ thống truyền dẫn thủy lực.

Bơm ly tâm được sử dụng rộng rãi trong các công trình xây dựng.

2.3. Bơm ly tâm



2.3.1. Tính toán thủy lực đường ống của máy bơm ly tâm

Tính toán thủy lực đường ống hút:

Khi bơm làm việc có hai quá trình hút và đẩy chất lỏng. Trong quá trình hút, bơm phải tạo ra được độ chênh áp suất nhất định giữa miệng hút của bơm và mặt thoáng bể hút để chất lỏng chảy từ bể hút vào bơm. Độ chênh lệch áp suất này gọi là cột áp hút của bơm.

$$H_h = h_{ck} = \frac{p_a - p_1}{\gamma}$$

Theo phương trình Bernoulli cho mặt thoáng bể hút và miệng vào máy bơm:

$$H_h = \frac{p_a - p_1}{\gamma} = H_s + \frac{v_1^2}{2.g} + h_{wh}$$

Tính toán thủy lực đường ống hút

Vậy: cột áp hút của bơm dùng để khắc phục chiều cao hút (H_s); tổn thất trên ống hút h_{wh} và tạo nên động năng cho dòng chảy ở miệng vào của bơm .

Áp suất tại miệng vào của bơm (p_1) có giá trị nhỏ nhất. Để tránh xảy ra hiện tượng xâm thực trong bơm, áp suất tại đây phải lớn hơn áp suất bốc hơi của chất lỏng. Để tránh hiện tượng này, người ta quy định giá trị áp suất chân không cho phép

$$H_h \leq [H_{ck}]$$

Từ đây có thể xác định được chiều cao hút của bơm

$$[H_s] = [H_{ck}] - \frac{v_1^2}{2.g} - h_{wh}$$

2.3.1. Tính toán thủy lực đường ống của máy bơm ly tâm

Tính toán thủy lực đường ống đẩy:

Bơm phải tạo ra được một cột nước bằng tổng chênh cao mặt thoáng hai bể chứa và tổn thất năng lượng

Từ sơ đồ hệ thống làm việc của bơm, cột nước do máy bơm tạo ra được xác định như sau:

$$H_b = E_{ra} - E_{vào}$$

$$H_b = \left(\frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2.g} \right) - \left(\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2.g} \right)$$

Tính toán thủy lực đường ống đẩy:

Theo phương trình Bernoulli cho miệng ra của máy bơm và mặt thoáng bể chứa

$$0 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2.g} = z_2 + \frac{p_a}{\gamma} + 0 + h_{wd} \quad (\text{ống đẩy})$$

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2.g} = \frac{p_a}{\gamma} - H_s - h_{wh} \quad (\text{ống hút})$$

Thay vào phương trình trên:

$$H_b = z_2 + H_s + h_{wh} + h_{wd}$$

$$H_b = H + h_{wh} + h_{wd}$$

Công suất máy bơm

$$N = \frac{\gamma.Q.H_b}{\eta} (W)$$

3. Tính toán thủy lực ống dài

3.1. Công thức tính toán

Từ công thức Chezy

$$v = C \cdot \sqrt{R \cdot J}$$

Trong đó:

C: hệ số Chezy, là hệ số thực nghiệm, $C = f(n, R)$

n: độ nhám, phụ thuộc vào mức độ gồ ghề của lòng dẫn,

R: bán kính thủy lực

3.1. Công thức tính toán

Vậy $Q = v \cdot \omega = \omega \cdot C \cdot \sqrt{R \cdot J}$

hay: $Q = K \cdot \sqrt{J}$

với: $K = C \cdot \omega \cdot \sqrt{R}$ môđun lưu lượng

Suy ra:

$$h_d = \frac{Q^2}{K^2 \cdot J}$$

K: là đặc tính lưu lượng của ống, là lưu lượng khi độ dốc thủy lực $J = 1$.

3.1. Công thức tính toán

- Cách xác định K của ống

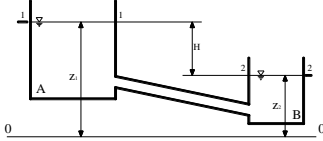
$$K = \omega \cdot C \cdot \sqrt{R} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \frac{1}{n} \left(\frac{d}{4} \right)^y \left(\frac{d}{4} \right)^{0.5}$$

Thường có các bảng tra sẵn với n và d: $K = f(n, d)$.

Các bảng tra này được xây dựng khi dòng chảy ở khu vực bình phương sức cản (chảy rối thành nhám),

3.2. Tính toán thủy lực ống dài đơn giản.

Đường ống đơn giản là đường ống không có ống nhánh, đường kính ống không đổi



Ta cần tìm mối quan hệ giữa Q với K , H , l

3.2. Tính toán thủy lực ống dài đơn giản.

Viết phương trình Bernoulli cho mặt cắt 1-1 và 2-2 mặt chuẩn 0-0 như hình vẽ

$$z_1 + \frac{p_a}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_a}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_w$$

$$\text{Mà } h_w = h_c + h_d$$

Đây là bài toán ống dài nên bỏ qua h_c , vậy $h_w = h_d$

$$\text{và } \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g}, \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} \approx 0$$

$$\text{nên } H = z_1 - z_2 = h_d$$

$$\text{Vậy } H = \frac{Q^2 l}{K^2}$$

3.2. Tính toán thủy lực ống dài đơn giản.

Các bài toán thủy lực ống dài đơn giản

Có hai công thức cơ bản:

$$Q = K \sqrt{J}$$

$$H = \frac{Q^2 l}{K^2}$$

Bài toán 1:

Cho biết l , d , H . Yêu cầu xác định lưu lượng Q .

$$\text{Giải: } H \approx h_d \rightarrow J = \frac{H}{l}$$

$$K = f(d, n)$$

$$\text{Từ đó: } Q = K \sqrt{J}$$

3.2. Tính toán thủy lực ống dài đơn giản.

Bài toán 2:

Cho biết Q , d , l . Yêu cầu xác định chênh lệch mực nước giữa hai bể H .

Giải:

$$K = f(d, n)$$

$$J = \frac{H}{l}$$

$$Q = K \cdot \sqrt{J}$$

$$\rightarrow H = \frac{Q^2}{K^2} \cdot l$$

3.2. Tính toán thủy lực ống dài đơn giản.

Bài toán 3:

Cho biết H , Q , l , n (loại ống). Yêu cầu xác định đường kính d .

Giải: $K = f(d, n)$

$$J = \frac{H}{l}$$

$$Q = K \cdot \sqrt{J}$$

$$\rightarrow H = \frac{Q^2}{K^2} \cdot l$$

3.2. Tính toán thủy lực ống dài đơn giản.

$$J = \frac{H}{l} \rightarrow K = \frac{Q}{\sqrt{J}}$$

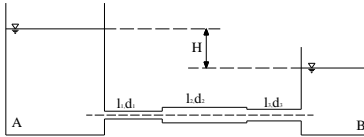
Dùng K tra bảng $K = f(n, d)$ rồi chọn d

Nếu lẻ chọn d lớn hơn sau đó kiểm tra lại Q , H .

3.3. Trường hợp đường ống phức tạp

3.3.1. Đường ống ghép nối tiếp

Hệ gồm nhiều đường ống có đường kính, độ nhám khác nhau nối lại với nhau. Hình bên là một hệ gồm ba ống có (l_1, d_1, n_1) ; (l_2, d_2, n_2) và (l_3, d_3, n_3) ghép nối tiếp với nhau dẫn nước từ bể chứa A sang bể chứa B.



3.3.1. Đường ống ghép nối tiếp

Trong đó:

Q : là lưu lượng nước chảy ra khỏi bể chứa A đến bể chứa B

h_d : là tổng tổn thất (dọc đường) trên hệ ống ghép nối tiếp

Q_i : là lưu lượng nước chảy trên đoạn ống i ($i = 1, 2, 3$)

h_{di} : là tổn thất (dọc đường) trên đoạn ống i ($i = 1, 2, 3$)

3.3.1. Đường ống ghép nối tiếp

Hệ đường ống ghép nối tiếp có các đặc điểm:

+ Lưu lượng trên các đoạn ống đều bằng nhau:

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q$$

+ Tổn thất trên toàn bộ hệ ống bằng tổng tổn thất trên từng đoạn ống

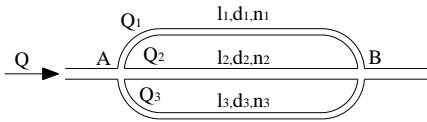
$$h_d = H = \sum h_{di}$$

Với

$$h_{di} = Q^2 \cdot \frac{l_i}{K^2}$$

3.3.2. Đường ống ghép song song

Hệ gồm nhiều đường ống có đường kính, độ nhám khác nhau nối lại với nhau thông qua hai nút. Hình bên là một hệ gồm ba ống có (l_1, d_1, n_1) ; (l_2, d_2, n_2) ; (l_3, d_3, n_3) ghép song song với nhau qua hai nút A và B



3.3.2. Đường ống ghép song song

Trong đó:

Q : là lưu lượng nước vào ở nút A, ra khỏi nút B

h_{di} : là tổn thất (dọc đường) khi đi từ nút A đến B

Q_i : là lưu lượng nước chảy trên đoạn ống i

($i = 1,2,3$)

h_{di} : là tổn thất (dọc đường) trên đoạn ống i

($i = 1,2,3$)

3.3.2. Đường ống ghép song song

Hệ đường ống ghép song song có các đặc điểm:

+ Lưu lượng vào nút A (Q) bằng tổng lưu lượng các đoạn ống ra khỏi nút A (Q_1, Q_2, Q_3)

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

+ Tổn thất năng lượng trên các đoạn ống là bằng nhau

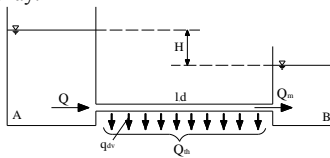
$$h_d = H = h_{di}$$

Với:

$$h_{di} = Q_i^2 \cdot \frac{l_i}{K_i^2}$$

3.3.3. Đường ống tháo nước liên tục dọc đường

Hệ gồm một ống có khả năng tháo nước dọc theo chiều dài dòng chảy. Hình bên là một ống có (l, d, n) ngoài làm nhiệm vụ dẫn nước từ bể chứa A đến bể chứa B còn có nhiệm vụ phân phối nước (tháo nước) dọc theo chiều dài dòng chảy.



3.3.3. Đường ống tháo nước liên tục dọc đường

Trong đó:

Q là lưu lượng nước ra khỏi bể chứa A

Q_m là lưu lượng đến bể nước B

Q_{th} là tổng lưu lượng nước tháo ra dọc theo dòng chảy

q_{dv} là lưu lượng nước tháo ra trên một đơn vị chiều dài dòng chảy

h_d là tổn thất (dọc đường) khi đi từ bể chứa A đến bể chứa B

3.3.3. Đường ống tháo nước liên tục dọc đường

Đối với đường ống tháo nước liên tục, tổn thất cột nước giữa hai điểm AB là:

$$H = \frac{Q_{tính}^2}{K^2} \cdot l$$

Với: $Q_{tính} = Q_m + 0,55Q_{th}$

Q_m, Q_{th} biểu thị ở hình vẽ.

3.3.4. Mạng đường ống chia nhánh

Hình bên dưới thể hiện mạng đường ống chia nhánh bao gồm tuyến ống chính 1-2-3-4 và các ống nhánh 2-5, 4-6

