

Chương 4. MỘT SỐ BÀI TOÁN DÒNG CHẢY MỘT CHIỀU VÀ ỨNG DỤNG

Nội dung

- I. Chuyển động một chiều của chất lỏng không nén được
- II. Chuyển động một chiều chất khí
- III. Tính toán thủy lực đường ống

I. Chuyển động một chiều của chất lỏng không nén được

1. Tổn thất năng lượng dòng chảy

1.1 Hai trạng thái chảy:

- Thí nghiệm của Reynolds: chảy tầng, chuyển tiếp và chảy rối

- Số Reaynolds: $Re = \frac{v\rho d}{\mu} = \frac{vd}{\nu}$ > 2329 : chảy rối
 < 2320 : chảy tầng

1.2 Quy luật tổn thất năng lượng dòng chảy

- Tổn thất năng lượng phụ thuộc vào nhiều tham số: độ nhớt, ống, trạng thái dòng chảy...

a) Tổn thất dọc đường $h_d = \lambda \frac{l}{d} \frac{u^2}{2g}$ $\lambda=f(Re,n)$: Tra bảng, đồ thị

*** Tham khảo sổ tay tính toán thủy lực**

b) Tổn thất cục bộ $h_c = \zeta \frac{u^2}{2g}$ $\zeta=f(Re,\omega/\Omega)$: Tra bảng, công thức, đồ thị

*** Xem ví dụ hình 5.a và 5.b, tham khảo sổ tay tính toán thủy lực**

1. Chuyển động một chiều của chất lỏng không nén được

2. Dòng chảy rối trong ống

2.1 Cấu trúc dòng chảy rối trong ống

- Lõi rối: Vận tốc thay đổi về trị số và hướng

- Vùng chuyển tiếp

- Chảy tầng sát thành ống: $\delta_T = \frac{30d}{\text{Re} \sqrt{\lambda}}$

- Giá trị trung bình thời gian (đủ dài) của vận tốc không đổi:

$$\bar{u} = \frac{1}{T} \int_T u dt$$

- Vận tốc tức thời: $u = \bar{u} + u'$ u' gọi vận tốc mạch động

- Áp suất tức thời: $p = \bar{p} + p'$

- Mật độ tức thời: $\rho = \bar{\rho} + \rho'$

Cơ sở của lý thuyết rối

1. Chuyển động một chiều của chất lỏng không nén được

2. Dòng chảy rối trong ống

2.2 Phân bố vận tốc dòng chảy rối trong ống

- Chảy tầng, giả thiết Newton: $\tau = \mu \frac{du}{dy}$

- Chảy rối, thêm độ nhớt rối: $\tau = (\mu + \varepsilon) \frac{d\bar{u}}{dy}$

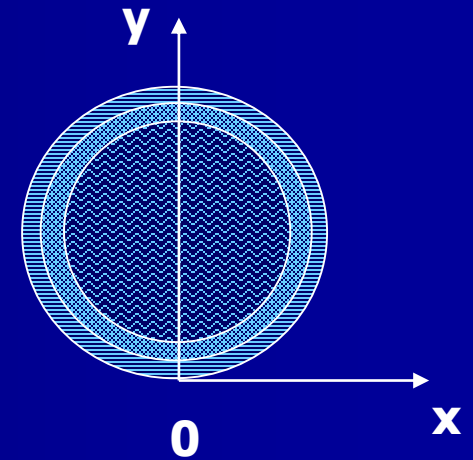
- Thực nghiệm chỉ ra : $\varepsilon \gg \mu \leftrightarrow \tau = \varepsilon \frac{d\bar{u}}{dy}$

với $\varepsilon = \rho l^2 \frac{d\bar{u}}{dy}$; $l = k.y$; $k = 0.4$; $\frac{d\bar{u}}{dy}$ gradient vận tốc TB thời gian

- Thay ε vào phương trình trên để tính vận tốc

$$\bar{u} = \bar{u}_{\max} - \frac{u^*}{k} \ln \frac{r}{y}$$

$$v = Q / \omega = 0.825 \bar{u}_{\max}$$



1. Chuyển động một chiều của chất lỏng không nén được

3. Dòng chảy tầng trong ống – dòng Poiseuille

3.1 Phương trình vi phân chuyển động

- * Chuyển động 1 chiều trong ống nằm ngang ($u_y = u_z = 0$)
- * Chất lỏng không nén được ($\rho = \text{const}$)
- * Chuyển động dừng ($\frac{\partial u}{\partial t} = 0$)
- * Bỏ qua lực khối ($F = 0$)
- * Bán kính ống không đổi, dòng chảy đều ($u_x(y, z)$), đối xứng trục

- Phương trình N-V có dạng:
$$-\frac{1}{\rho} \text{grad} p + \nu \Delta \vec{u} = \frac{d\vec{u}}{dt}$$

$$\Rightarrow \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial z^2} = \frac{1}{\mu} \frac{dp}{dx} \quad \text{Trong hệ tọa độ trụ:} \quad \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{du_x}{dr} \right) = -\frac{1}{\mu} \frac{\Delta p}{l}$$

- Điều kiện biên $r = 0$: u hữu hạn; $r = R_0$: $u = 0$

I. Chuyển động một chiều của chất lỏng không nén được

3. Dòng chảy tầng trong ống

3.2 Phân bố vận tốc

- Tích phân PT CĐ $u = \frac{\Delta p}{4\mu l}(R_0^2 - r^2)$
- Lưu lượng: $Q = \int_{\omega} u d\omega = \int_0^{R_0} u 2\pi r dr = \frac{\pi}{2} R_0^2 u_m$
- Vận tốc trung bình: $\bar{u} = \frac{Q}{\omega} = \frac{u_{\max}}{2}$
- Độ giảm áp: $\Delta p = \frac{8\mu l \bar{u}}{R_0^2} = \frac{8\mu l Q}{\pi R_0^4}$: Định luật Hagen-Poadoi
- Hệ số hiệu chỉnh động năng: $\alpha = \frac{\int u^3 d\omega}{\bar{u}^3 Q} = 2$

3.3 Tổn thất dọc ống

- $h_w \cong h_d = \frac{\Delta p}{\lambda} = \frac{32}{\gamma d^2} \mu l v = \frac{128}{\pi \gamma d^4} \mu l Q$
- + h_d tỷ lệ với vận tốc trung bình
- + μ giảm thì h_d giảm => tăng T
- Thu nhận lại công thức Darcy $h_d = \frac{32}{\rho g d^2} \mu l v \frac{2v}{2v} = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}$; $\lambda = \frac{64}{Re}$; $Re = \frac{vd\rho}{\mu}$

I. Chuyển động một chiều của chất lỏng không nén được

4. Dòng chảy tầng có áp trong các khe hẹp

4.1 Dòng chảy tầng giữa hai bản phẳng song song

- Các giả thiết: * Giống dòng chảy trong ống
- * Khe hẹp bề rộng $\gg$ bề cao

- Phương trình CĐ:
$$\frac{d^2 u_x}{dy^2} = \frac{1}{\mu} \frac{dp}{dx}$$

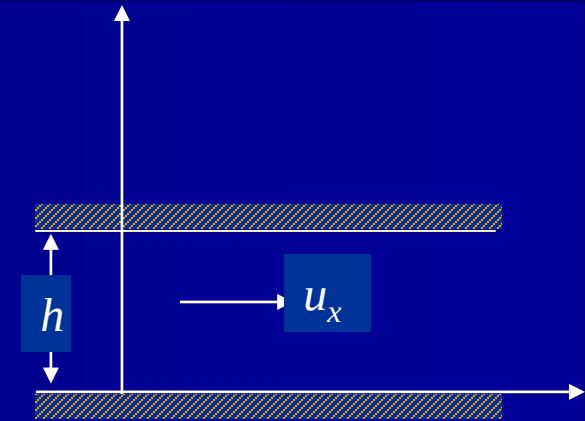
- Điều kiện biên:
$$u_x|_{0,h} = 0$$

- Tích phân PT CĐ (vế phải chỉ là hàm của x):
$$u_x = -\frac{1}{2\mu} \frac{dp}{dx} y(h-y)$$

- Vận tốc đạt max tại $y=h/2$:
$$u_{x\max} = -\frac{1}{8\mu} \frac{dp}{dx} h^2$$

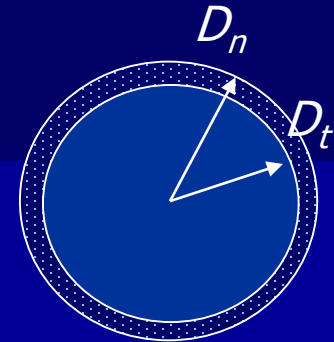
- Lưu lượng $Q = \int_0^h b u_x dy = -\frac{b}{12\mu} \frac{dp}{dx} h^3 = -\frac{1}{12\mu} \frac{\Delta p}{l} b h^3$

- Vận tốc TB:
$$\bar{u} = \frac{Q}{bh} = \frac{2}{3} u_{x\max}$$



I. Chuyển động một chiều của chất lỏng không nén được

4. Dòng chảy tầng có áp trong các khe hẹp



4.2 Dòng chảy tầng giữa hai trụ tròn

a) Mặt trụ đồng tâm đường kính D_n (ngoài) và D_t (trong)

Đường kính trung bình: $D = \frac{D_n + D_t}{2}$ Chiều dày khe: $\delta = \frac{D_n - D_t}{2}$

Xét $\delta \ll \frac{D}{2}$ nên với một phân tử ds có thể coi dòng chảy giữa hai bản phẳng

Sử dụng kết quả bài toán trước với $b = \pi D$: $Q \cong Q_1 = \frac{\pi D \delta^3}{12\mu} \frac{\Delta p}{l}$

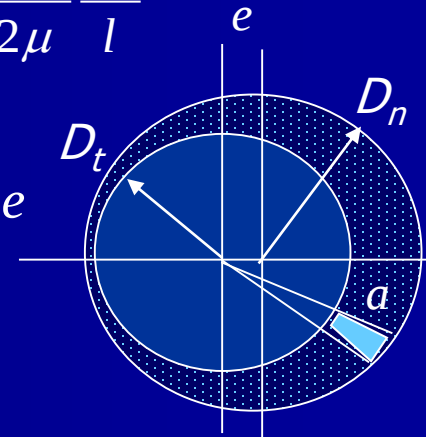
b) Mặt trụ lệch tâm

Khe hở khi hai hình trụ đồng tâm: δ ; Độ lệch tâm: e

Xét a - độ hở tại φ : $a \ll D \Rightarrow a(\varphi) = \delta + e \cos \varphi$

Sử dụng kết quả bài toán trước với : $db = \frac{D}{2} d\varphi$; $a = h$

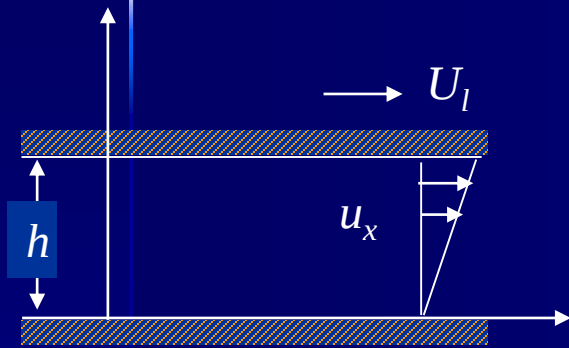
$$dQ = \frac{\Delta p}{12\mu l} \frac{D}{2} \delta^3 \left(1 + \frac{e}{\delta} \cos \varphi\right)^3 d\varphi \quad \Rightarrow \quad Q = \int_0^{2\pi} dQ = \frac{\pi D \Delta p}{12\mu l} \delta^3 \left(1 + \frac{3}{2} \frac{e^2}{\delta^2}\right)$$



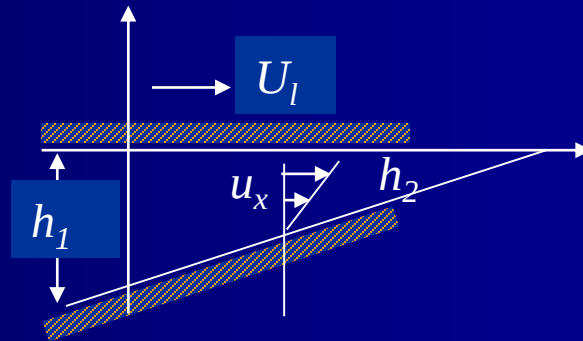
Chương 4. MỘT SỐ BÀI TOÁN DÒNG CHẢY MỘT CHIỀU VÀ ỨNG DỤNG

1. Chuyển động một chiều của chất lỏng không nén được

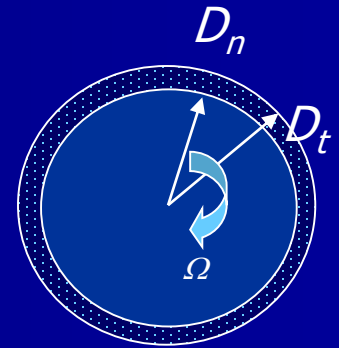
5. Dòng chảy trong khe hẹp do ma sát - Bôi trơn thủy động



Hai bản phẳng song song



Bôi trơn hình nêm



Bôi trơn ổ trục

Xem sách giáo khoa

II. Tính toán thủy lực đường ống, CL không nén được

Công cụ vận chuyển chất lỏng hoặc truyền cơ năng trong các cơ cấu

1. Cơ sở lý thuyết tính toán đường ống

1.1 Phân loại

Dựa trên đặc trưng giá trị của các tổn thất thành phần của $h_w = h_d + h_c$

- + Ống dài: $h_c < 10\% h_w$
- + Ống ngắn: $h_c > 10\% h_w$
- + Ống phức tạp: ghép nhiều loại ống

1.2 Công thức tính

- Phương trình Bernoulli:
$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 \bar{u}_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 \bar{u}_2^2}{2g} + h_w$$
- Phương trình lưu lượng:
$$Q = \bar{u} \omega$$
- Tổn thất: $h_w = h_d + h_c$;
$$h_d = \lambda \frac{l}{d} \frac{\bar{u}^2}{2g} ; \quad h_c = \zeta \frac{\bar{u}^2}{2g}$$
- Xác định λ và ζ bằng các bảng hoặc hàm thực nghiệm (xem sổ tay)

II. Tính toán thủy lực đường ống

Công cụ vận chuyển chất lỏng hoặc truyền cơ năng trong các cơ cấu

1. Cơ sở lý thuyết tính toán đường ống

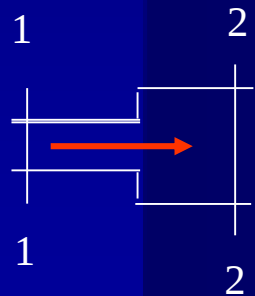
1.4 Ví dụ về công thức xác định hệ số trở lực

+ Hệ số cản dọc đường do ma sát, ống tròn, trơn, chảy ổn định

	Chảy tầng ($Re \leq 2000$)	Chuyển tiếp $2000 < Re \leq 4000$:	Chảy rối $4000 < Re \leq 10^5$	Chảy rối $Re > 10^5$:
λ	$\frac{64}{Re}$	$-2 \cdot 10^{-12} Re^3 + 2 \cdot 10^{-08} Re^2 - 7 \cdot 10^{-05} Re + 0.1005$	$\frac{0.3164}{Re^{0.25}}$	$\frac{1}{(1.8 \ln Re - 1.64)^2}$

+ Hệ số cản cục bộ do thay đổi bán kính, chảy ổn định (giáo trình, trang 81)

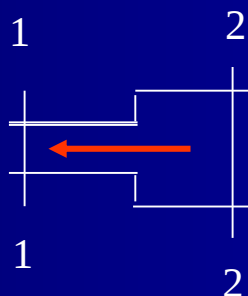
Đột mở



$$h_c = \zeta_1 \frac{v_1^2}{2g}; \quad \zeta_1 = \left(1 - \frac{\omega}{\Omega}\right)^2$$

$$h_c = \zeta'_1 \frac{v_2^2}{2g}; \quad \zeta'_1 = \left(\frac{\omega}{\Omega} - 1\right)^2$$

Đột thu



$$h_c = \zeta_2 \frac{v_2^2}{2g}; \quad \zeta_2 = 0.5 \left(1 - \frac{\omega}{\Omega}\right)$$

$$h_c = \zeta'_2 \frac{v_1^2}{2g}; \quad \zeta'_2 = 0.5 \frac{\Omega}{\omega} \left(\frac{\omega}{\Omega} - 1\right)$$

II. Tính toán thủy lực đường ống

Công cụ vận chuyển chất lỏng hoặc truyền cơ năng trong các cơ cấu

1. Cơ sở lý thuyết tính toán đường ống

1.3 Bốn bài toán cơ bản về đường ống đơn giản

Ký hiệu lại H_1 cột áp đầu, H_2 là cột áp cuối $\Rightarrow$ PT Bernoulli: $H_1 = H_2 + h_w$

Gọi l là chiều dài ống; $n = \Delta/d$ - độ nhám tương đối; d là đường kính ống

Biểu thức chung từ PT Bernoulli: $f(H_1, H_2, d, Q, l, n) = 0$

a) Tính H_1 khi biết H_2, Q, l, d, n

$$H_1 = H_2 + \left(\sum \zeta + \lambda \frac{l}{d} \right) \frac{8Q^2}{\pi^2 g d^4}$$

b) Tính Q khi biết H_1, H_2, l, d, n

$$\Delta H = H_1 - H_2 = \left(\sum \zeta + \lambda \frac{l}{d} \right) \frac{8Q^2}{\pi^2 g d^4}$$

Dùng PP thử dần hoặc viết chương trình để tính

II. Tính toán thủy lực đường ống

Công cụ vận chuyển chất lỏng hoặc truyền cơ năng trong các cơ cấu

1. Cơ sở lý thuyết tính toán đường ống

1.3 Bốn bài toán cơ bản về đường ống đơn giản

c) Tính d khi biết l, H_1, H_2, Q, n

Thu nhận PT cho d :

$$d^4 = \frac{8Q^2}{\pi^2 \Delta H} \left(\sum \zeta + \lambda \frac{l}{d} \right)$$

Dùng phép thử dần hay chương trình máy tính

d) Tính d, H_1 khi biết l, H_2, Q, n

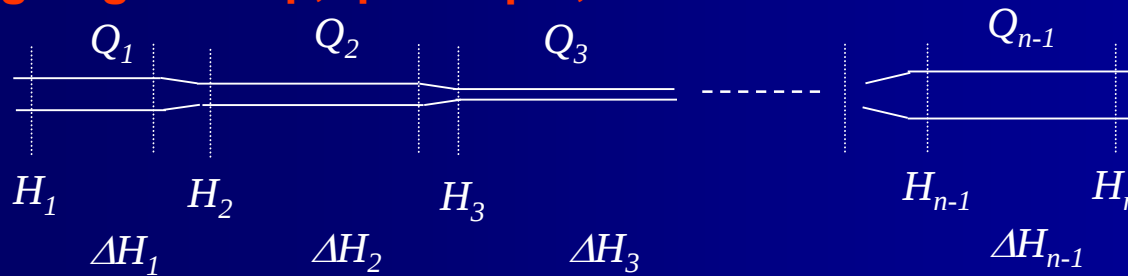
- Trước hết tính d với $v_{kt} = 1 \text{ m/s}$

- Sau đó tính H_1 như bài toán 1

II. Tính toán thủy lực đường ống

2. Tính toán thủy lực đường ống ngắn phức tạp

2.1 Đường ống nối tiếp, quan hệ Q, H



+ **Đặc điểm thủy lực:**

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = \dots = Q_{n-1}$$

$$\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + \dots + \Delta H_{n-1}$$

+ **Tính toán: Từ PT Bernoulli**

$$\Delta H_1 = \left(\sum \zeta_1 + \lambda_1 \frac{l}{d_1} \right) \frac{8Q_1^2}{\pi^2 g d_1^4} = S_1 Q_1^2$$

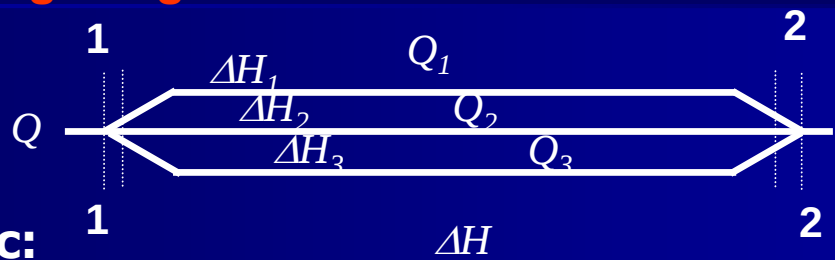
$$\Delta H_2 = \left(\sum \zeta_2 + \lambda_2 \frac{l}{d_2} \right) \frac{8Q_2^2}{\pi^2 g d_2^4} = S_2 Q_2^2$$

Hay:
$$\Delta H = (S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_{n-1}) Q^2 = Q^2 \sum S_i$$

II. Tính toán thuỷ lực đường ống

2. Tính toán thuỷ lực đường ống ngắn phức tạp

2.2 Đường ống nối song song



+ Đặc điểm thuỷ lực:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n$$

$$\Delta H = \Delta H_1 = \Delta H_2 = \Delta H_3 = \dots = \Delta H_n$$
$$= S_1 Q_1^2 = S_2 Q_2^2 = \dots = S_n Q_n^2$$

Với $S = \frac{8}{\pi^2 g d^4} (\sum \zeta + \lambda \frac{l}{d})$

Hay

$$Q_1 = Q_1$$
$$Q_2 = \sqrt{\frac{S_1}{S_2}} Q_1$$
$$Q_3 = \sqrt{\frac{S_1}{S_3}} Q_1$$

.....

$$Q = (1 + \sqrt{\frac{S_1}{S_2}} + \sqrt{\frac{S_1}{S_3}} + \dots + \sqrt{\frac{S_1}{S_n}}) Q_1$$

+ Phương trình tính $H = H_1 = S_1 \frac{Q}{(1 + \sqrt{\frac{S_1}{S_2}} + \sqrt{\frac{S_1}{S_3}} + \dots + \sqrt{\frac{S_1}{S_n}})}$

+ Dùng đồ giải, giải lặp

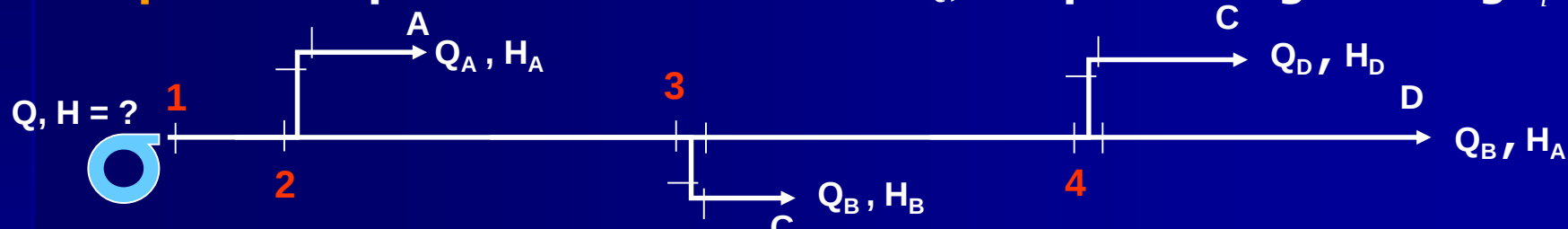
II. Tính toán thủy lực đường ống

2. Tính toán thủy lực đường ống ngắn phức tạp

2.3 Đường ống phân nhánh hở

+ **Bài toán:** Thông thường cần tính đường kính các ống, lưu lượng và áp nguồn cấp để thỏa mãn nhu cầu lưu lượng tại các điểm phân phối

+ **Ví dụ:** Sơ đồ cấp nước như hình vẽ. Tính Q , H cấp và đường kính ống d_i



- Số liệu đã biết tại A, B, C, D gồm: Q_i , H_i ; độ dài l_i và độ nhám n_i

* **Bước 1:** Chọn đường ống chính 1 – 2 – 3 – 4 – D

* **Bước 2:** tính Q , d_i , H : $Q = Q_A + Q_B + Q_C + Q_D$; $v_{kt} (=1m/s)$

$$d_{4-D} = 1.13 \sqrt{\frac{Q_{4-D}}{v_{kt}}} ; d_{3-4} = 1.13 \sqrt{\frac{Q_{3-4}}{v_{kt}}} ; d_{2-3} = 1.13 \sqrt{\frac{Q_{2-3}}{v_{kt}}} ; d_{1-2} = 1.13 \sqrt{\frac{Q_{1-2}}{v_{kt}}}$$

$$D_{4-D} = S_{4-D} Q_{4-D} ; D_{4-D} = S_{4-D} Q_{4-D} ; D_{4-D} = S_{4-D} Q_{4-D} ; D_{4-D} = S_{4-D} Q_{4-D}$$

* **Kiểm tra lại điều kiện trên các ống nhánh => điều chỉnh vận tốc**

II. Tính toán thủy lực đường ống

3. Phương pháp dùng hệ số đặc trưng lưu lượng K

3.1 Phương pháp

+ Đối với 1 đoạn ống dài l , bỏ qua tổn thất cục bộ:

$$\Delta H = h_w \cong h_d = J.l \quad \text{Với } J \text{ là độ dốc thủy lực}$$

+ Theo Sêdi, vận tốc dòng chảy:

$$v = C\sqrt{RJ} \quad \text{Với } R - \text{bán kính thủy lực; } C \text{ là hệ số Sêdi: } C = \frac{1}{4}\left(\frac{d}{4}\right)^y$$

y là hệ số phụ thuộc vào R và n ; n - hệ số nhám tương đối

+ Khi đó, lưu lượng và độ giảm áp biểu diễn được qua K :

$$Q = \omega C\sqrt{RJ} = K\sqrt{J}$$

$$\Delta H = h_d = \frac{Q^2}{K^2}l \quad \text{Với } K = \omega C\sqrt{R} \text{ gọi là hệ số lưu lượng}$$

+ Trong kỹ thuật, các giá trị K được tính sẵn dạng bảng cho đường kính khác nhau, chế độ với chảy rối ($v > 1,2 \text{ m/s}$).

Nếu $v \leq 1.2 \text{ m/s}$, (chảy tầng), sử dụng hệ số hiệu chỉnh a :

$$\Delta H = h_d = a \frac{Q^2}{K^2}l \quad \text{A tra bảng theo các giá trị vận tốc (trang 108, q1)}$$

II. Tính toán thuỷ lực đường ống

3. Phương pháp dùng hệ số đặc trưng lưu lượng K

3.2 Ứng dụng giải bốn bài toán cơ bản

a) Tính H_1 khi cho Q, H_2 và các thông số đường ống:

$$\Delta H = H_1 - H_2 = h_d = \frac{Q^2}{K^2} l \quad \Rightarrow \quad H_1 = H_2 + \frac{Q^2}{K^2} l$$

b) Tính Q khi cho ΔH_2 và các thông số đường ống:

$$Q = K \sqrt{\frac{\Delta H}{l}}$$

c) Tính d khi cho $\Delta H, Q$ và các thông số đường ống khác:

$$K = Q / \sqrt{\frac{\Delta H}{l}} \quad \text{Từ } K \text{ và } n, \text{ tra ngược bảng của } K=K(n,d) \text{ có } d$$

d) Tính d và H_1 , khi cho Q, H_2 và các thông số đường ống khác:

Tính $d = Q / v_{kt}$

Tính H_1 như trường hợp a)

II. Tính toán thuỷ lực đường ống

4. Va đập thuỷ lực trong đường ống

4.1 Hiện tượng

- Thay đổi đột ngột vận tốc dòng chảy (tăng hoặc giảm bằng cách đóng hoặc mở van đột ngột) dẫn tới **tăng hay giảm đột ngột áp suất trong ống**
- Đóng van áp suất trong ống tăng => **va đập thuỷ lực dương**
- Mở van, áp suất giảm đột ngột => **va đập thuỷ lực âm**
- Nguyên nhân tăng hay giảm áp suất là do thay đổi đột ngột của vận tốc làm xuất hiện **lực quán tính** của khối chất lỏng trong ống
- **Giucopxki nghiên cứu phát triển năm 1898**
- Ví dụ: Dòng chảy từ bình, ống bán kính r , dài l , cuối có khoá K , mở ω
- Đóng khoá K diện tích $\Delta\omega$, vận tốc giảm Δv tại sát khoá và xuất hiện tăng áp lực Δp , đường ống nở ra. Sự giảm vận tốc và tăng áp truyền **ngược chiều dòng chảy** về bình chứa
- **Vận tốc truyền sóng áp lực a** , thời gian truyền từ khoá đến bình chứa và ngược lại gọi là **pha va đập thuỷ lực**: $t_1 = 2l/a$
- Thời gian đóng khoá hoàn toàn: t_3
 $t_3 \leq t_1$: va đập thuỷ lực trực tiếp; $t_3 > t_1$: va đập thuỷ lực gián tiếp

II. Tính toán thủy lực đường ống

4. Va đập thủy lực trong đường ống

4.2 Tính toán

- Xét khối chất lỏng $ABCD$
- Theo định lý biến thiên động lượng

$$F = m \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

- Sử dụng các biểu thức : $F = \Delta p \omega$; $m = \rho \omega \Delta x$

$$\Delta p = \rho \frac{\Delta x}{\Delta t} (v - v_1) = \rho a (v - v_1) \quad \text{Đóng nhanh: } v_1 = 0 \Rightarrow \Delta p = \rho a v$$

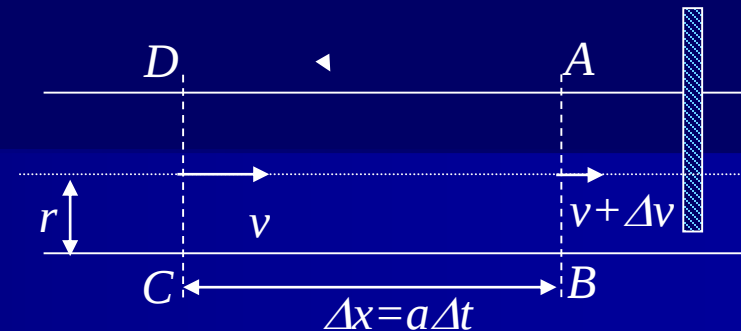
- Va đập dương trực tiếp: $\Delta p = \rho a v$

- Va đập dương gián tiếp: $\Delta p = \rho a v \frac{l}{at_2 - l}$

- Va đập âm trực tiếp: $\Delta p = \rho a (v - v_1)$

- Va đập âm gián tiếp: $\Delta p = \gamma H \frac{2\theta}{1 - \theta}$; $\theta = \frac{lv}{gHt_3}$

- Vận tốc truyền sóng a : $a = \frac{\sqrt{K / \rho}}{\sqrt{1 + \frac{D}{\delta} \frac{K}{E}}}$; $\theta = \frac{lv}{gHt_3}$



K : Mô đun đàn hồi CL

D : ĐK ống

δ : Bề dày ống

E : Mô đun đàn hồi ống

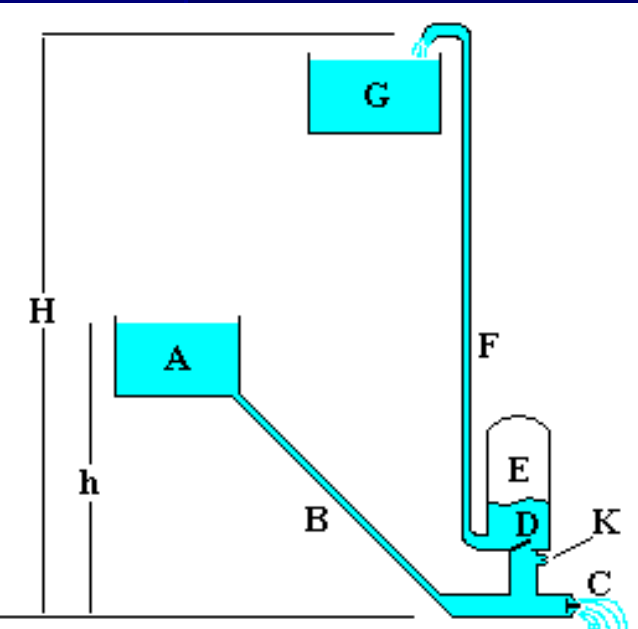
II. Tính toán thủy lực đường ống

4. Va đập thủy lực trong đường ống

4.3 Ứng dụng tính toán va đập thủy lực

- Khắc phục hiện tượng, tránh sự cố khi vận hành các đường ống

- Chế tạo bơm nước va



III. Chuyển động một chiều của chất khí

Đọc thêm ở nhà

IV. Chuyển động của chất khí trong ống

Đọc thêm ở nhà