

Chương 2 Cơ sở động lực học chất lỏng

1. Khái niệm chung
2. Các yếu tố thủy lực của dòng chảy
3. Phương trình liên tục viết cho dòng chảy ổn định
4. Phương trình Bernoulli
5. Phương trình động lượng

1. Khái niệm chung

- 1.1. Chất lỏng lý tưởng, chất lỏng thực
 - Chất lỏng lý tưởng là chất lỏng không có tính nhớt
 - Chất lỏng thực là chất lỏng có tính nhớt, tuân theo định luật ma sát của Newton
- 1.2. Động học chất lỏng, động lực học chất lỏng
 - Động học chất lỏng: nghiên cứu quy luật chuyển động của chất lỏng mà không xét đến yếu tố lực tác dụng
 - Động lực học chất lỏng: nghiên cứu quy luật chuyển động của chất lỏng có xét đến yếu tố lực tác dụng

1. Khái niệm chung

- 1.3. Các yếu tố của chuyển động
 - 1.3.1. Vận tốc hạt của chất lỏng: u
Là vận tốc của một phần tử chất lỏng vô cùng nhỏ
 $u = u(x,y,z,t)$
 - 1.3.2. Gia tốc của phần tử chất lỏng: a
 $a = a(x,y,z,t)$
 - 1.3.3. Áp suất thủy động: p
Là áp suất của chất lỏng trong quá trình chuyển động
 $p = p(x,y,z,t)$

1. Khái niệm chung

1.4. Chuyển động ổn định và chuyển động không ổn định

1.4.1. Chuyển động ổn định:

Các yếu tố chuyển động không phụ thuộc vào thời gian t

1.4.2. Chuyển động không ổn định:

Các yếu tố chuyển động phụ thuộc vào thời gian t

Hầu hết các dòng chảy trong thực tế là dòng chảy không ổn định

1. Khái niệm chung

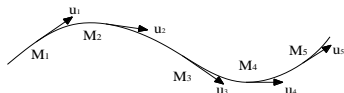
1.5. Các yếu tố mô tả dòng chảy

1.5.1. Quỹ đạo:

Là đường đi của một phần tử chất lỏng trong không gian, theo thời gian

1.5.2. Đường dòng:

Là đường cong đi qua các phần tử chất lỏng có vector lưu tốc là những tiếp tuyến của đường cong ấy tại một thời điểm

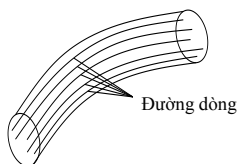


1. Khái niệm chung

1.5. Các yếu tố mô tả dòng chảy

1.5.3. Dòng nguyên tố, dòng chảy

- Dòng nguyên tố : là tập hợp tất cả những đường dòng đi qua mọi điểm của vi phân diện tích ω

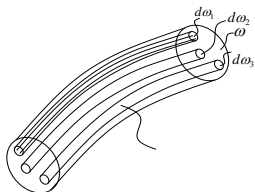


1. Khái niệm chung

1.5. Các yếu tố mô tả dòng chảy

1.5.3. Dòng nguyên tố, dòng chảy

- Dòng chảy: là tập hợp nhiều dòng nguyên tố đi qua diện tích ω



2. Các yếu tố thủy lực dòng chảy

2.1. Mặt cắt ướt:

- Mặt cắt ướt là mặt cắt vuông góc với tất cả các đường dòng đi qua nó.

- Diện tích mặt cắt ướt ký hiệu ω

- Mặt cắt ướt có thể là mặt phẳng (khi các đường dòng song song nhau) hoặc là mặt cong (khi các đường dòng không song song với nhau).



2. Các yếu tố thủy lực dòng chảy

2.2. Chu vi ướt: ký hiệu χ

- Chu vi ướt là chiều dài của phần tiếp xúc giữa chất lỏng và thành rắn trên mặt cắt ướt

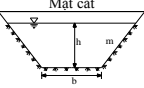
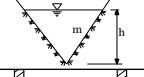
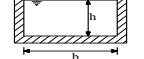
2.3. Bán kính thủy lực: ký hiệu R

- Bán kính thủy lực là tỉ số giữa diện tích mặt cắt ướt và chu vi ướt

$$R = \frac{\omega}{\chi}$$

2. Các yếu tố thủy lực dòng chảy

Kích thước hình học của một số mặt cắt:

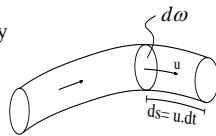
TT	Mặt cắt	Diện tích mặt cắt ướt	Chu vi mặt cắt ướt
1		$(b+mh)h$	$b + 2h\sqrt{1+m^2}$
2		mh^2	$2h\sqrt{1+m^2}$
3		$b.h$	$b+2h$

2. Các yếu tố thủy lực dòng chảy

2.4. Lưu lượng: ký hiệu Q

- Lưu lượng là thể tích chất lỏng đi qua một mặt cắt ướt trong một đơn vị thời gian.
- Xét một đoạn dòng nguyên tố:
- Lưu lượng trên toàn bộ mặt cắt ướt của dòng chảy

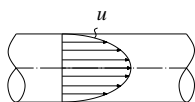
$$Q = \int_{\omega} dQ$$



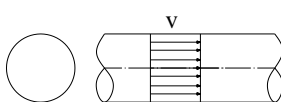
2. Các yếu tố thủy lực dòng chảy

2.5. Vận tốc trung bình: ký hiệu v

+ Thực tế:



+ Giả định



- Vận tốc trung bình v là vận tốc giả định nếu nó được phân bố đều trên mặt cắt ướt thì nó dẫn được lưu lượng bằng lưu lượng dòng chảy thực.

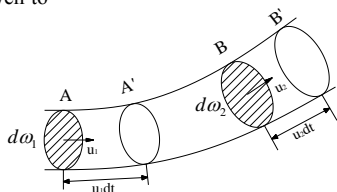
3. Phương trình liên tục viết cho dòng chảy ổn định

- Chất lỏng chuyển động một cách liên tục nghĩa là trong môi trường chất lỏng chuyển động không hình thành những vùng không gian trống không chứa chất lỏng.
- Tính chất liên tục đó có thể biểu thị bởi biểu thức toán học gọi là phương trình liên tục.
- Phương trình liên tục được thiết lập trên cơ sở của nguyên lý bảo toàn khối lượng.

3. Phương trình liên tục viết cho dòng chảy ổn định

3.1. Phương trình liên tục của dòng nguyên tố chảy ổn định

- Xét đoạn dòng nguyên tố (1-1, 2-2) bất kỳ trên dòng nguyên tố



3. Phương trình liên tục viết cho dòng chảy ổn định

3.1. Phương trình liên tục của dòng nguyên tố chảy ổn định

- + Dòng chảy ổn định nên hình dạng của dòng nguyên tố không thay đổi
- + Các đường dòng không cắt nhau nên không có lượng nước đi vào và đi ra
- + Chất lỏng không nén được (không thay đổi thể tích)

$$W_{\text{vào}} = W_{\text{ra}}$$

$$u_1 \cdot d\omega_1 \cdot dt = u_2 \cdot d\omega_2 \cdot dt$$

$$\text{hay } dQ_1 = dQ_2$$

3. Phương trình liên tục viết cho dòng chảy ổn định

3.2. Phương trình liên tục cho dòng chảy ổn định

Dòng chảy là tập hợp nhiều dòng nguyên tố đi qua diện tích. Mà lưu lượng của mỗi dòng nguyên tố tại hai mặt cắt bất kỳ là bằng nhau nên lưu lượng của toàn dòng tại hai mặt cắt bất kỳ cũng phải bằng nhau.

$$dQ_1 = dQ_2$$

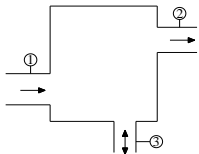
$$\Rightarrow \int_{\omega_1} dQ_1 = \int_{\omega_2} dQ_2$$

$$\Rightarrow Q_1 = Q_2 \text{ hay } Q_{\text{vào}} = Q_{\text{ra}}$$

3. Phương trình liên tục viết cho dòng chảy ổn định

Ví dụ:

Cho sơ đồ như hình vẽ. Dòng chảy ổn định chảy vào và ra khỏi bể kín. Các ống dẫn $d_1=6$ (cm) dẫn lưu lượng $Q_1=100$ m³/h; $d_2=5$ cm với dòng chảy $v_2= 8$ m/s; $d_3=4$ cm. Xác định lưu lượng Q_3 ; vận tốc v_3 trong ống d_3



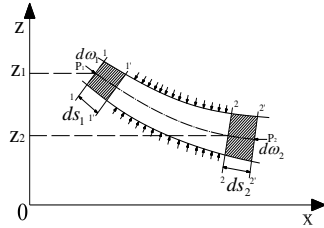
4. Phương trình Bernoulli

4.1. Phương trình Bernoulli của dòng chảy nguyên tố chất lỏng lý tưởng chảy ổn định.

- Dựa vào định luật biến thiên động năng:
"Sự biến thiên động năng của một khối lượng nhất định khi nó di động trên một quãng đường bằng công của các lực tác dụng lên khối lượng đó trên quãng đường đó"

4.1. Phương trình Bernoulli của dòng chảy nguyên tố chất lỏng lý tưởng chảy ổn định.

Xét một đoạn dòng nguyên tố bất kỳ (1-1, 2-2) trong dòng chất lỏng lý tưởng chảy ổn định, mặt chuẩn nằm ngang Ox .



4.1. Phương trình Bernoulli của dòng chảy nguyên tố chất lỏng lý tưởng chảy ổn định.

- Xét sự biến thiên động năng:

$$d_w = w \left(\frac{2-2}{2-2} \right) - w \left(\frac{1-1}{1-1} \right)$$

$$d_w = \frac{\gamma}{g} dQ dt \frac{u_2^2}{2} - \frac{\gamma}{g} dQ dt \frac{u_1^2}{2} = \frac{\gamma}{g} dQ dt \left(\frac{u_2^2 - u_1^2}{2} \right)$$

- Theo định luật động năng ta có:

$$\frac{\gamma}{g} dQ dt \left(\frac{u_2^2 - u_1^2}{2} \right) = \gamma dQ dt (z_1 - z_2) + dQ dt (p_1 - p_2)$$

4.1. Phương trình Bernoulli của dòng chảy nguyên tố chất lỏng lý tưởng chảy ổn định.

Chia hai vế cho $\gamma dQ dt$, ta được phương trình động năng cho một đơn vị trọng lượng chất lỏng

$$\left(\frac{u_2^2 - u_1^2}{2g} \right) = z_1 - z_2 + \frac{p_1 - p_2}{\gamma}$$

Vì các mặt cắt 1-1 và 2-2 của dòng nguyên tố là tùy ý chọn nên ta có thể viết:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u^2}{2g} = \text{const}$$

4.2. Phương trình Bernoulli của dòng chảy nguyên tố chất lỏng thực chảy ổn định.

- Ở chất lỏng thực có tính nhớt, trong quá trình chuyển động có sự ma sát nội bộ dòng chảy làm cản trở chuyển động. Muốn khắc phục sức cản đó chất lỏng phải tiêu hao một năng lượng dự trữ, biến thành nhiệt năng bị dòng nước cuốn đi và không thể lấy lại được. Cho nên:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g} \neq const$$

4.2. Phương trình Bernoulli của dòng chảy nguyên tố chất lỏng thực chảy ổn định.

- Nếu chất lỏng chuyển động từ mặt cắt 1-1 đến mặt cắt 2-2 thì:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g} > z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g}$$

- Nếu ta ký hiệu h'_w là năng lượng tiêu hao của một đơn vị trọng lượng chất lỏng chuyển động từ mặt cắt 1-1 đến 2-2 thì ta có:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g} + h'_w$$

4.3. Ý nghĩa vật lý và ý nghĩa thủy lực của phương trình Bernoulli viết cho dòng nguyên tố chảy ổn định

4.3.1. Ý nghĩa năng lượng (vật lý)

z : vị năng đơn vị

p/γ : áp năng đơn vị

$z + p/\gamma$: thế năng đơn vị

$u^2/2g$: động năng đơn vị

Vậy $z + p/\gamma + u^2/2g = E$

Biểu thị tổng cơ năng của một trọng lượng đơn vị chất lỏng so với mặt chuẩn cho trước gọi là tỷ năng của dòng nguyên tố

4.3.2. Ý nghĩa thủy lực (hình học)

z : cột nước vị trí

p/γ : cột nước áp lực

$u^2/2g$: cột nước vận tốc

Vậy $z + p/\gamma + u^2/2g = H$

tổng cột nước (cột nước toàn phần)

4.4. Độ dốc thủy lực và độ dốc đo áp của dòng nguyên tố

4.1.1. Độ dốc thủy lực

- Là độ dốc của đường năng lượng. Là tỉ số của độ hạ thấp đường năng lượng với chiều dài dòng nguyên tố

$$j = -\frac{dE}{dl} = \frac{dh_w}{dl}$$

Trong đó:

E : năng lượng đơn vị

l : chiều dài dòng nguyên tố

4.4.2. Độ dốc đo áp

Là độ dốc của đường thế năng. Đó là tỉ số giữa độ hạ thấp hoặc nâng lên của đường đo áp đối với chiều dài của dòng nguyên tố.

$$j_p = \pm \frac{d\left(z + \frac{p}{\gamma}\right)}{dl}$$

Trong trường hợp đo giống nhau, hay $u^2/2g$ giống nhau thì $j = j_p$

4.5.1. Phương trình Bernoulli viết cho dòng chảy ổn định

- Thay tất cả vào phương trình ta được:

$$\gamma \cdot Q \left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma} \right) + \gamma \cdot Q \cdot \frac{\alpha_1 \cdot v_1^2}{2 \cdot g} = \gamma \cdot Q \left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma} \right) + \gamma \cdot Q \cdot \frac{\alpha_2 \cdot v_2^2}{2 \cdot g} + \gamma \cdot Q \cdot h_w$$

- Chia 2 vế của phương trình cho $\gamma \cdot Q$ ta được phương trình cho một đơn vị trọng lượng chất lỏng.

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 \cdot v_1^2}{2 \cdot g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 \cdot v_2^2}{2 \cdot g} + h_w$$

4.5.2. Điều kiện áp dụng phương trình Bernoulli

- Phương trình Bernoulli viết cho dòng chảy ổn định của chất lỏng không nén được dưới tác dụng của trường trọng lực.
- Tại hai mặt cắt áp dụng phương trình: 1-1 và 2-2 dòng chảy phải có các đường dòng song song với nhau hoặc gần như song song với nhau (dòng chảy biến đổi dần).
- Trong đoạn dòng chảy giữa hai mặt cắt 1-1 và 2-2 không có nhập lưu hoặc phân lưu.

4.5.2. Điều kiện áp dụng phương trình Bernoulli

- Trị số

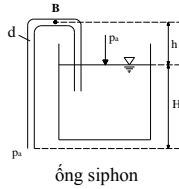
$$z + \frac{p}{\gamma} + \frac{\alpha \cdot v^2}{2 \cdot g}$$

- giống nhau cho mọi điểm trên cùng một mặt cắt ướt, do đó ta chọn điểm nào để viết phương trình cũng được.
 - Có thể viết cho áp suất tuyệt đối hoặc áp suất dư.
- Nhưng phải thống nhất giữa hai mặt cắt.

4.6. Một số ứng dụng của phương trình Bernoulli

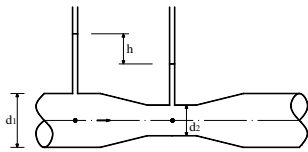
4.6.1. Ống Siphon

Ống Siphon là một ống chữ U được úp lại, vị trí cao nhất của ống (B) nằm cao hơn mặt thoáng bể chứa.



4.6.2. Ống Ventury

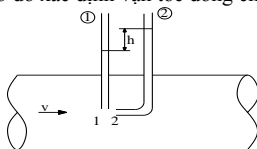
Ống Ventury được dùng để đo lưu lượng dòng chảy đầy ống. Hệ thống gồm hai ống đo áp được gắn trên hai ống có đường kính khác nhau



4.6.3. Ống Pitot

Ống Pitot được dùng để đo vận tốc dòng chảy tại một điểm.

Khi muốn đo vận tốc tại điểm A, đặt miệng ống L vào vị trí điểm đó sao cho miệng ống vuông góc với chiều dòng chảy. Đo chênh lệch mực nước h trong hai ống. Trên cơ sở đó xác định vận tốc dòng chảy.



5. Phương trình động lượng của dòng chảy ổn định

5.1. Cơ sở thiết lập phương trình

- Định luật động lượng:

Đạo hàm của động lượng của một vật thể đối với thời gian bằng tổng hợp những ngoại lực tác dụng vào vật thể.

$$\frac{dK}{dt} = \frac{dmu}{dt} = F$$

Trong đó: K: vector động lượng, $K = m.u$

m: khối lượng vật thể

t: thời gian

5.1. Cơ sở thiết lập phương trình

Phương trình động lượng chỉ xét đến ngoại lực tác dụng mà không có nội lực.

Do đó khi nghiên cứu phương trình động lượng ta chỉ cần tìm hiểu tình hình dòng chảy ở mặt biên giới mà không cần tìm hiểu tình hình nội bộ dòng chảy.

5.1. Cơ sở thiết lập phương trình

- Điều kiện giới hạn để viết phương trình:

+ Giới hạn đoạn dòng nghiên cứu bằng hai mặt cắt 1-1 và 2-2 phải là dòng ổn định, biến đổi dần.

+ Q: không đổi, mặt cắt ướt phẳng

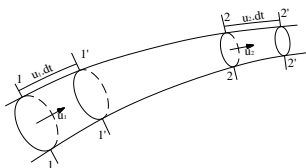
+ v: vận tốc trung bình mới xác định

+ p: phân bố theo quy luật của áp suất thủy tĩnh

Hai mặt cắt giới hạn 1-1 và 2-2 và mặt biên của đoạn dòng chảy nghiên cứu được gọi là mặt kiểm tra.

5.2. Phương trình động lượng với dòng nguyên tố

Trong dòng nguyên tố chảy ổn định lấy một đoạn của dòng giới hạn bởi mặt biên và mặt 1-1 và 2-2. Lấy một đoạn vi phân ds của dòng nguyên tố s .



5.2. Phương trình động lượng với dòng nguyên tố

Nghiên cứu sự biến đổi của động lượng theo trục x của đoạn dòng dài s .

Theo định luật động lượng:

$$dF_x \cdot dt = \rho \cdot ds \cdot d\omega \cdot du_x$$

Vì $dQ = u \cdot dt$ nên:

$$dF_x \cdot dt = \rho \cdot dQ \cdot du_x \cdot dt$$

Tính cho một đơn vị thời gian thì

$$dF_x = \rho \cdot dQ \cdot du_x$$

5.2. Phương trình động lượng với dòng nguyên tố

Vì $dQ = \text{const}$ (dòng chảy ổn định) ta có thể tìm biến thiên động lượng của cả đoạn dòng nguyên tố dài s giới hạn bởi hai mặt cắt 1-1 và 2-2.

$$\int_s dF_x = \rho \cdot dQ \cdot \int_s du_x$$

hay: $\Delta F_x = \rho[(u_x)_2 - (u_x)_1] \cdot dQ$

5.2. Phương trình động lượng với dòng nguyên tố

Với:

ΔF_x là hình chiếu lên phương x của tổng hợp ngoại lực tác dụng lên đoạn dòng nguyên tố đang xét

$(u_x)_1, (u_x)_2$ là hình chiếu lên phương x của lưu tốc tại hai mặt cắt 1-1 và 2-2 của dòng nguyên tố.

5.3. Phương trình động lượng viết cho toàn dòng

Tích phân cho toàn bộ mặt cắt ướt ta có:

$$F_x = \rho \int_{\omega} [(u_x)_2 - (u_x)_1] dQ$$

$\rho \int_{\omega} u_x dQ$: là động lượng của dòng chảy:

$$\rho \int_{\omega} u_x dQ = \alpha_0 \cdot \rho \cdot Q \cdot v$$

α_0 : hệ số sửa chữa động lượng do sự sai khác động lượng khí ta tính động lượng theo lưu tốc thực u và lưu tốc trung bình v. (1,02 – 1,05)

5.3. Phương trình động lượng viết cho toàn dòng

Vậy ta có:

$$F_x = \rho \cdot Q [(v_x \cdot \alpha_{02})_2 - (v_x \cdot \alpha_{01})_1]$$

Hay $F_x = \rho \cdot Q [\alpha_{02} \cdot v_2 \cdot \cos(v_2, x) - \alpha_{01} \cdot v_1 \cdot \cos(v_1, x)]$

Viết dưới dạng vector

$$F_x = \rho \cdot Q [\alpha_{02} \cdot v_2 - \alpha_{01} \cdot v_1]$$
