

# Phần một

## THỦY LỰC HỌC

---

### Chương 1

#### MỞ ĐẦU

#### 1.1. ĐỐI TƯỢNG, PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU MÔN HỌC, ỨNG DỤNG

##### 1.1.1. Đối tượng

Đối tượng nghiên cứu của môn thủy lực học là chất lỏng. Chất lỏng ở đây hiểu theo nghĩa rộng, bao gồm chất lỏng ở thể nước – chất lỏng không nén được (khối lượng riêng  $\rho = \text{const}$ ) và chất lỏng ở thể khí – chất lỏng nén được (khối lượng riêng  $\rho \neq \text{const}$ ). Trong phạm vi giáo trình này chủ yếu nghiên cứu chất lỏng ở thể nước, nhưng mở rộng các kết quả nghiên cứu chất lỏng ở thể nước cho chất lỏng ở thể khí không có gì khó khăn.

*Thủy lực học* là một môn khoa học cơ sở nghiên cứu các quy luật cân bằng và chuyển động của chất lỏng đồng thời vận dụng những quy luật ấy để giải quyết các vấn đề kỹ thuật trong thực tiễn sản xuất và đời sống. Chính vì thế mà nó có vị trí là nhịp cầu nối giữa những môn khoa học cơ bản với những môn kỹ thuật chuyên ngành.

##### 1.1.2. Phương pháp nghiên cứu

Trong thủy lực học thường dùng 3 phương pháp nghiên cứu phổ biến sau đây.

**Phương pháp lý thuyết :** Sử dụng công cụ toán học, chủ yếu là toán giải tích, phương trình vi phân với các toán tử vi phân quen thuộc như : gradient, divergent, rotor, toán tử Laplas, đạo hàm toàn phần... Sử dụng các định lý tổng quát của cơ học như định lý bảo toàn khối lượng, năng lượng, định lý biến thiên động lượng, mô men động lượng...

**Phương pháp thực nghiệm :** dùng trong một số trường hợp mà không thể giải bằng lý thuyết (như xác định hệ số cản cục bộ, hệ số  $\lambda$  ...).

**Phương pháp bán thực nghiệm :** Kết hợp giữa lý thuyết và thực nghiệm.

### 1.1.3. Ứng dụng

Phạm vi ứng dụng của thủy lực học khá rộng rãi : có thể nói không một ngành nào trong các lĩnh vực khoa học, kỹ thuật công nghệ và đời sống có liên quan đến chất lỏng và chất khí như giao thông vận tải, hàng không, cơ khí, công nghệ hóa chất, xây dựng, nông nghiệp, thủy lợi... mà lại không ứng dụng ít nhiều những định luật cơ bản của thủy lực học.

## 1.2. SƠ LƯỢC LỊCH SỬ PHÁT TRIỂN MÔN HỌC

Ngay từ thời xa xưa, tổ tiên loài người đã biết lợi dụng sức nước phục vụ cho sinh hoạt đời sống, làm nông nghiệp, thủy lợi, kênh đập, thuyền bè...

Nhà bác học Acsimet (287–212, trước công nguyên) đã phát minh ra lực đẩy Acsimet tác dụng lên vật nhúng chìm trong lòng chất lỏng.

Nhà danh họa Ý – Lêôna Đovanxi (1452–1519) đưa ra khái niệm về lực cản của chất lỏng lên vật chuyển động trong nó. Ông muốn biết tại sao chim lại bay được. Nhưng phải hơn 400 năm sau, Jucopxki và Kutta mới giải thích được : đó là lực nâng.

1687 – Nhà bác học thiên tài người Anh I.Newton đã đưa ra giả thuyết về lực ma sát trong giữa các lớp chất lỏng chuyển động mà mãi hơn một thế kỷ sau nhà bác học Nga – Pêtrôp mới chứng minh giả thuyết đó bằng biểu thức toán học, làm cơ sở cho việc nghiên cứu chất lỏng thực (chất lỏng nhớt) sau này.

Hai ông L.Ôle (1707–1783) và D.Becnuli (1700–1782) là những người đã đặt cơ sở lý thuyết cho thủy khí động lực, tách nó khỏi cơ học lý thuyết để thành lập một ngành riêng.

Tên tuổi của Navie và Stóc gắn liền với nghiên cứu chất lỏng thực. Hai ông đã tìm ra phương trình vi phân chuyển động của chất lỏng (1821–1845).

Nhà bác học Đức – L.Prandtl đã sáng lập ra lý thuyết lớp biên (1904), góp phần giải quyết nhiều bài toán động lực học.

Ngày nay, ngành thủy khí động lực học đang phát triển với tốc độ vũ bão, thu hút sự tập trung nghiên cứu của nhiều nhà khoa học nổi tiếng trên thế giới và trong nước; nó can thiệp hầu hết tới tất cả các lĩnh vực đời sống, kinh tế, quốc phòng... nhằm đáp ứng mọi nhu cầu cấp bách của nền khoa học công nghệ hiện đại bước sang Thế kỷ 21.

## 1.3. MỘT SỐ TÍNH CHẤT CƠ LÝ CỦA CHẤT LỎNG

### 1.3.1. Một số tính chất dễ nhận biết

**Tính liên tục :** vật chất được phân bố liên tục trong không gian.

**Tính dễ di động :** do lực liên kết giữa các phân tử chất lỏng rất yếu, ứng suất tiếp (nội ma sát) trong chất lỏng chỉ khác 0 khi có chuyển động tương đối giữa các lớp chất lỏng.

**Tính chống kéo và cắt rất kém** do lực liên kết và lực ma sát giữa các phân tử chất lỏng rất yếu.

**Tính dính ướt** theo thành bình chứa chất lỏng.

### 1.3.2. Khối lượng riêng và trọng lượng riêng

**Khối lượng riêng** : là khối lượng của một đơn vị thể tích chất lỏng, ký hiệu là  $\rho$  ;

$$\rho = \frac{M}{W} \quad (\text{kg/m}^3)$$

trong đó :  $M$  – khối lượng chất lỏng (kg) ;

$W$  – thể tích chất lỏng có khối lượng  $M$  ( $\text{m}^3$ ).

**Trọng lượng riêng** : là trọng lượng của một đơn vị thể tích chất lỏng, ký hiệu là  $\gamma$  ;

$$\gamma = \frac{G}{W} \quad (\text{N/m}^3 ; \text{kG/m}^3)$$

Quan hệ giữa  $\rho$  và  $\gamma$  :  $\gamma = \rho g$  ;

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

**Bảng 1-1**

**Trọng lượng riêng của một số chất lỏng**

Tên chất lỏng	Trọng lượng riêng, $\text{N/m}^3$	Nhiệt độ
Nước cất	9810	4
Nước biển	10000 – 10100	4
Dầu hoả	7750 – 8040	15
Xăng máy bay	6380	15
Xăng thường	6870 – 7360	15
Dầu nhờn	8730 – 9030	15
Điexel	8730 – 9220	15
Thủy ngân	132890	20
Cồn nguyên chất	7750 – 7850	15

*Lưu ý* : Khối lượng của chất lỏng là một đại lượng không thay đổi còn trọng lượng của chúng thì phụ thuộc vào vị trí của nó.

### 1.3.3. Tính nén ép và tính giãn nở vì nhiệt

**Tính nén ép** : biểu thị bằng hệ số nén ép ( $\beta_p$ ). Hệ số nén ép là số giảm thể tích tương đối của chất lỏng khi áp suất tăng lên một đơn vị :

$$\beta_p = - \frac{1}{W} \frac{dW}{dp} \quad (\text{m}^2/\text{N})$$

trong đó :  $W$  – thể tích ban đầu của chất lỏng ( $\text{m}^3$ ) ;

$dW$  – số giảm thể tích khi áp suất tăng lên ( $\text{m}^3$ ) ;

$dp$  – lượng áp suất tăng lên ( $\text{N/m}^2$ ).

Ví dụ hệ số  $\beta_p$  của nước ở nhiệt độ  $0^\circ\text{C}$  đến  $20^\circ\text{C}$  có trị số trung bình là  $\frac{1}{210000000} \text{ m}^2/\text{N}$ ; ở nhiệt độ  $100^\circ\text{C}$ , áp suất 500 at là  $\frac{1}{250000000} \text{ m}^2/\text{N}$ .

**Tính giãn nở vì nhiệt :** Biểu thị bằng hệ số giãn nở vì nhiệt  $\beta_t$ , là số thể tích tương đối của chất lỏng tăng lên khi nhiệt độ tăng lên 1 độ:

$$\beta_t = \frac{1}{W} \frac{dW}{dt} \quad (1/\text{độ})$$

*Ví dụ:* Trong những điều kiện thông thường: Dầu hỏa có  $\beta_t = 0,000600 - 0,00800$ ; Thủy ngân có  $\beta_t = 0,00018$ .

*Lưu ý :* Hệ số giãn nở vì nhiệt lớn hơn nhiều so với hệ số nén ép, song chúng đều là những trị số rất nhỏ mà trong một số tính toán thông thường có thể bỏ qua.

### 1.3.4. Tính nhớt

Trong quá trình chuyển động, các lớp chất lỏng trượt lên nhau, phát sinh ra lực ma sát trong, gây ra tổn thất năng lượng và chất lỏng như thế gọi là chất lỏng có tính nhớt.

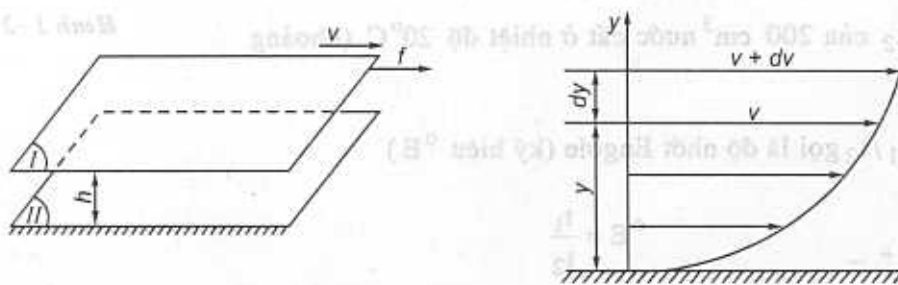
Năm 1687 I.Newton dựa trên thí nghiệm : có hai tấm phẳng I – chuyển động với vận tốc  $v$  nhờ lực kéo  $F$  có diện tích  $S$  và tấm phẳng II – đứng yên (H. 1-1). Giữa hai tấm có một lớp chất lỏng  $h$ . Ông đã đưa ra giả thiết về lực ma sát trong giữa những lớp chất lỏng lân cận chuyển động là tỷ lệ thuận với tốc độ và diện tích bề mặt tiếp xúc, phụ thuộc vào loại chất lỏng và không phụ thuộc vào áp suất.

Sau đó Pêtrôp (1836–1920) đã biểu thị giả thuyết đó trong trường hợp chuyển động thẳng bằng biểu thức toán học :

$$F = \mu S \frac{dv}{dy} \quad (\text{N}) \quad (1-1)$$

trong đó :  $F$  – lực ma sát trong ;  $\mu$  – hệ số nhớt động lực, đặc trưng tính nhớt của chất lỏng

;  $S$  – diện tích tiếp xúc giữa hai lớp chất lỏng ;  $\frac{dv}{dy}$  – gradien vận tốc theo phương  $y$  vuông góc với dòng chảy.



Hình 1-1

Lực ma sát trong sinh ra ứng suất tiếp  $\tau$  :

$$\tau = \frac{F}{S} = \mu \frac{dv}{dy} \quad (\text{N/m}^2) \quad (1-2)$$

Từ (1-2) rút ra công thức xác định hệ số nhớt động lực  $\mu$  :

$$\mu = \frac{F}{S \frac{dv}{dy}} \quad (\text{NS/m}^2) \quad (1-3)$$

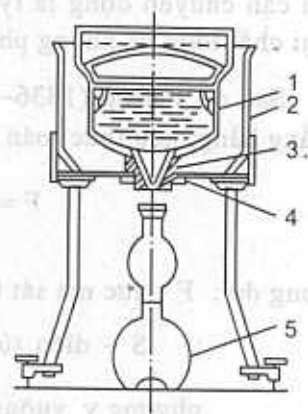
Ngoài  $\mu$ , còn dùng hệ số nhớt động (v) trong các biểu thức có liên quan đến chuyển động:

$$v = \frac{\mu}{\rho} \quad (\text{m}^2/\text{s}) \quad \text{hoặc} \quad (\text{Stéc} : 1 \text{st} = 10^{-4} \text{m}^2/\text{s}) \quad (1-4)$$

các hệ số  $\mu$  và  $v$  thay đổi theo nhiệt độ và áp suất. Nhìn chung  $\mu$  và  $v$  của chất lỏng giảm khi nhiệt độ tăng và tăng khi áp suất tăng.

Ví dụ : hệ số nhớt động lực của nước ở nhiệt độ  $0^\circ\text{C}$ ,  $\mu = 0,0179$  còn ở  $100^\circ\text{C}$ ,  $\mu = 0,0028$  ; dầu nhờn ở nhiệt độ  $0^\circ\text{C}$ ,  $\mu = 6,40$  ; ở  $60^\circ\text{C}$ ,  $\mu = 0,22$  và hệ số nhớt động của dầu nhờn sẽ tăng gấp đôi khi áp suất tăng từ 1 đến 300 at.

Để đo độ nhớt của chất lỏng, người ta dùng các loại dụng cụ khác nhau. Dưới đây giới thiệu một loại dụng cụ đo độ nhớt Engle thường dùng ở Việt Nam (H. 1-2) để đo độ nhớt lớn hơn độ nhớt của nước. Máy gồm có bình hình trụ kim loại 1, có đáy hình cầu, hàn vào đáy một ống hình trụ bằng đồng thau 3. Ống hình trụ đặt trong bình chứa nước 2. Trong lỗ của ống hình trụ 3, đặt một ống bạch kim hình nón 4 để xả chất lỏng ra khỏi bình lỗ 1. Lỗ của ống 4 được đóng bằng một thanh đặc biệt có đường kính 3 mm. Muốn xác định độ nhớt của một chất lỏng ở nhiệt độ nào đó, ta rót  $200 \text{ cm}^3$  chất lỏng cần đo vào bình 1 và giữ đúng nhiệt độ cần thiết. Đo thời gian chảy  $t_1$  của  $200 \text{ cm}^3$  chất lỏng đo qua lỗ đáy. Sau đó đo thời gian chảy  $t_2$  của  $200 \text{ cm}^3$  nước cất ở nhiệt độ  $20^\circ\text{C}$  (khoảng 50 giây).



Hình 1-2

Tỷ số  $t_1/t_2$  gọi là độ nhớt Engle (ký hiệu  $^\circ\text{E}$ )

$$^\circ\text{E} = \frac{t_1}{t_2} \quad (1-5)$$

Ngoài các đơn vị Stéc và độ nhớt Engle, thường gặp các đơn vị đo độ nhớt khác nhau, quan hệ giữa chúng với đơn vị Stéc được trình bày trên bảng 1-2.



Bảng 1-2

Tên đơn vị	Ký hiệu	Trị số tính bằng Stoc
Độ Engole	$^{\circ}E$	$0,0731^{\circ}E - \frac{0,0631}{^{\circ}E}$
Giây Sebon	"S	$0,00220"S - \frac{1,80}{"S}$
Giây Redút	"R	$0,00260"R - \frac{1,72}{"R}$
Độ Bache	$^{\circ}B$	$\frac{48,5}{^{\circ}B}$

### 1.3.5. Chất lỏng thực, chất lỏng lý tưởng

Trong thực tế, chất lỏng có đầy đủ tính chất cơ lý như đã trình bày ở trên gọi là chất lỏng thực.

Nhưng để thuận tiện cho công việc nghiên cứu, người ta đưa ra khái niệm chất lỏng lý tưởng (hay còn gọi là chất lỏng không nhớt).

Chất lỏng lý tưởng là chất lỏng có tính di động tuyệt đối, hoàn toàn không chống được lực cắt và lực kéo, hoàn toàn không nén ép, không giãn nở và không có tính nhớt.

Chất lỏng ở trạng thái tĩnh trong những điều kiện thay đổi áp suất và nhiệt độ bình thường, thì thể tích và khối lượng xem như không đổi vì không có chuyển động nên không có lực ma sát trong (không có tính nhớt). Như vậy, chất lỏng thực ở trạng thái tĩnh rất gần với chất lỏng lý tưởng. Do đó, có thể nghiên cứu các quy luật của chất lỏng thực ở trạng thái tĩnh trên chất lỏng lý tưởng thì kết quả thu được hoàn toàn phù hợp với thực tế.

Trong trường hợp chất lỏng thực ở trạng thái chuyển động vì có tính nhớt nên có lực ma sát trong, có tiêu hao năng lượng. Do đó, nếu dùng khái niệm chất lỏng lý tưởng để nghiên cứu thì kết quả sẽ không đúng với thực tế. Người ta phải dùng thực nghiệm, tiến hành các thí nghiệm chất lỏng thực. So sánh kết quả nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm để rút ra các hệ số hiệu chỉnh đưa vào các công thức lý thuyết cho phù hợp với thực tế.



Áp suất tĩnh là những đại lượng đặc trưng cho các lực kéo và lực ép mặt. Ta hãy xét một thể tích chất lỏng giới hạn bởi diện tích  $\Omega$  (H. 2-1). Tương đương với khối chất lỏng bằng mặt phẳng AB, chất lỏng phần I tác dụng lên phần II qua diện tích mặt cắt  $\omega$ . Bộ I mà vẫn giữ ở trạng thái cân bằng thì phải chịu tác dụng lên II bằng lực P gọi là áp lực đẩy lên tác dụng lên mặt  $\omega$ .

Áp suất trung bình:  $p_0 = \frac{P}{\omega}$

Áp suất tại điểm M:  $p_M = \lim_{\Delta\omega \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta\omega}$

Bảng 1-3

Tên đơn vị	Kí hiệu	Tỉ lệ tính bằng số
Độ Enthalpy	$h$	$\frac{0,0012}{h}$
Giấy Enthalpy	$h$	$\frac{0,0012}{h}$
Giấy Enthalpy	$h$	$\frac{0,0012}{h}$

## Chương 2

### TĨNH HỌC CHẤT LỎNG

Tĩnh học chất lỏng nghiên cứu những quy luật cân bằng của chất lỏng ở trạng thái tĩnh và ứng dụng những quy luật ấy để giải quyết các vấn đề trong thực tiễn kỹ thuật, sản xuất và đời sống.

Người ta phân ra 2 trạng thái tĩnh :

**Tĩnh tuyệt đối :** Chất lỏng không chuyển động so với hệ tọa độ cố định (gắn liền với trái đất).

**Tĩnh tương đối :** Chất lỏng chuyển động so với hệ tọa độ cố định, nhưng giữa chúng không có chuyển động tương đối.

#### 2.1. LỰC TÁC DỤNG LÊN CHẤT LỎNG – ÁP SUẤT THỦY TĨNH

##### 2.1.1. Lực tác dụng lên chất lỏng

Ở trạng thái tĩnh, chất lỏng chịu tác dụng của hai loại ngoại lực :

**Lực khối lượng** (hay lực thể tích) tác dụng lên chất lỏng tỉ lệ với khối lượng (như trọng lực, lực quán tính...).

**Lực bề mặt** là lực tác dụng lên bề mặt của khối chất lỏng (như áp lực khí quyển tác dụng lên bề mặt tự do của chất lỏng...).

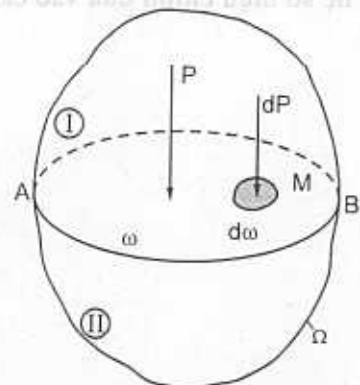
##### 2.1.2. Áp suất thủy tĩnh

###### a) Định nghĩa

Áp suất thủy tĩnh là những ứng suất gây ra bởi các lực khối và lực bề mặt. Ta hãy xét một thể tích chất lỏng giới hạn bởi diện tích  $\Omega$  (H. 2-1). Tường tượng cắt khối chất lỏng bằng mặt phẳng AB, chất lỏng phần I tác dụng lên phần II qua diện tích mặt cắt  $\omega$ . Bỏ I mà vẫn giữ II ở trạng thái cân bằng thì phải thay tác dụng I lên II bằng lực P gọi là áp lực thủy tĩnh tác dụng lên mặt  $\omega$ .

Áp suất trung bình : 
$$P_{tb} = \frac{P}{\omega}$$

Áp suất tại điểm M : 
$$P_M = \lim_{\Delta\omega \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta\omega}$$



Hình 2-1

Đơn vị áp suất :  $N/m^2 = P_a$  (pascal)

$$1at = 9,8 \cdot 10^4 N/m^2 = 10^4 kG/m^2 = 1 kG/cm^2.$$

### b) Hai tính chất của áp suất thủy tĩnh

*Tính chất 1 :* Áp suất thủy tĩnh luôn luôn tác dụng thẳng góc và hướng vào mặt tiếp xúc (H. 2-2) có thể tự chứng minh bằng phản chứng.

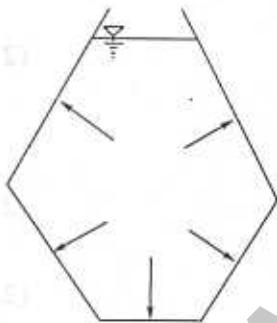
*Tính chất 2 :* Áp suất thủy tĩnh tại mỗi điểm theo mọi phương bằng nhau.

Biểu thức:  $P_x = P_y = P_z = P_n$  (2-1)

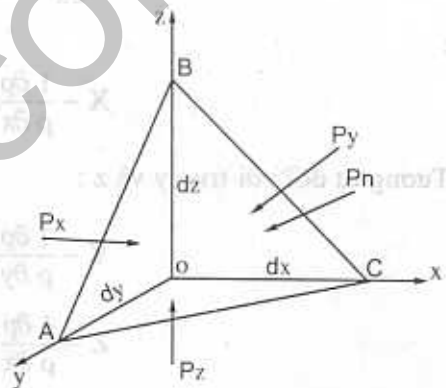
Có thể chứng minh bằng cách xét khối chất lỏng tứ diện có các cạnh  $d_x, d_y, d_z$ , vô cùng bé. Chứng minh biểu thức (2-1) khi  $d_x, d_y, d_z \rightarrow 0$  (tham khảo thêm [1]).

Ta cũng nhận thấy áp suất thủy tĩnh tại một điểm chỉ phụ thuộc vào vị trí của nó:

$$p = f(x, y, z) \quad (2-2)$$



Hình 2-2



Hình 2-3

## 2.2. PHƯƠNG TRÌNH VI PHÂN CỦA CHẤT LỎNG CÂN BẰNG (PHƯƠNG TRÌNH OLE TĨNH)

Phương trình biểu diễn mối quan hệ giữa ngoại lực tác dụng vào một phần tử chất lỏng với nội lực sinh ra trong đó (tức là áp suất thủy tĩnh p).

Xét một phần tử chất lỏng hình hộp cân bằng có các cạnh  $dx, dy, dz$  đặt trong hệ trục tọa độ Oxyz (H. 2-4).

Ngoại lực tác dụng lên phần tử chất lỏng xét bao gồm :

Lực khối :  $F \sim m = \rho dx dy dz$

X, Y, Z – hình chiếu lực khối đơn vị lên các trục x, y, z.



Lực mật tác dụng lên phần tử chất lỏng là các áp lực thủy tĩnh tác dụng trên các mặt hình hộp chất lỏng.

Điều kiện cân bằng của phần tử chất lỏng hình hộp là tổng hình chiếu của tất cả các ngoại lực trên bất kỳ trục tọa độ nào cũng bằng không.

Hình chiếu các ngoại lực lên trục x :

$$\Sigma_x = P_x - P'_x + F_x = 0 \tag{2-3}$$

trong đó :  $F_x = X\rho dx dy dz$

$$P_x = \left( p + \frac{dx}{2} \frac{\partial p}{\partial x} \right) dy dz$$

$$P'_x = \left( p - \frac{dx}{2} \frac{\partial p}{\partial x} \right) dy dz$$

Thay vào (2-3) ta có :

$$-\frac{\partial p}{\partial x} dx dy dz + X\rho dx dy dz = 0$$

hay :

$$X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = 0 \tag{2-4a}$$

Tương tự đối với trục y và z :

$$Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} = 0 \tag{2-4b}$$

$$Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} = 0 \tag{2-4c}$$

Các phương trình (2-4a,b,c) là những phương trình Ôle tĩnh viết dưới dạng hình chiếu (do Ôle lập ra năm 1755).

Ta có thể viết phương trình Ôle tĩnh dưới dạng véc tơ :

$$\vec{F} - \text{grad} p = 0 \tag{2-5}$$

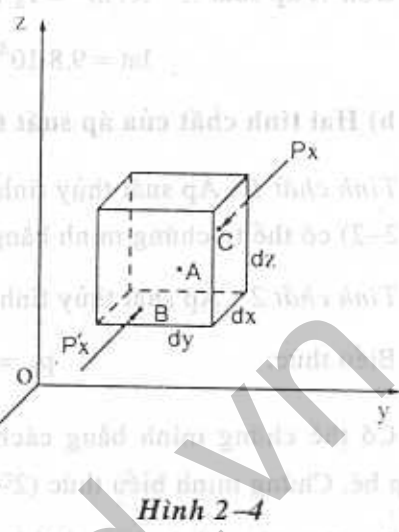
trong đó :  $\vec{F} = \vec{i}X + \vec{j}Y + \vec{k}Z$

$$\text{grad} p = \vec{i} \frac{\partial p}{\partial x} + \vec{j} \frac{\partial p}{\partial y} + \vec{k} \frac{\partial p}{\partial z}$$

Mặt khác nếu nhân lần lượt (2-4a), (2-4b), (2-4c) với dx, dy, dz rồi cộng những phương trình này lại, biến đổi ta có :

$$dp = \rho(Xdx + Ydy + Zdz) \tag{2-6}$$

Vì dp là một vi phân toàn phần của áp suất p,  $\rho = \text{const}$ , do đó vế phải của (2-6) cũng phải là vi phân toàn phần. Như vậy ắt phải tồn tại một hàm số :



Hình 2-4

$$\frac{\partial U}{\partial x} = X ; \quad \frac{\partial U}{\partial y} = Y ; \quad \frac{\partial U}{\partial z} = Z$$

Hàm số như vậy gọi là hàm số lực và lực được biểu thị bằng hàm số trên gọi là lực có thế. Do đó, chất lỏng có thế ở trạng thái cân bằng chỉ khi lực khối tác dụng lên nó là lực có thế.

## 2.3. PHƯƠNG TRÌNH CƠ BẢN CỦA THỦY TĨNH HỌC

### 2.3.1. Tích phân phương trình Ôle tĩnh

Để giải quyết một số vấn đề thực tế ta viết phương trình Ôle tĩnh dưới dạng :

$$dp = \rho \left( \frac{\partial U}{\partial x} dx + \frac{\partial U}{\partial y} dy + \frac{\partial U}{\partial z} dz \right) \quad (2-7)$$

hay :  $dp = \rho dU$ .

Tích phân (2-7) ta được :

$$p = \rho U + C \quad (2-8)$$

Để xác định hằng số tích phân C cần phải có điều kiện biên, giả sử biết áp suất  $p_0$  của 1 điểm nào đó trong chất lỏng và có trị số hàm số lực  $U_0$  tương ứng, thay vào (2-8) ta có :

$$C = p_0 - \rho U_0 \quad (2-9)$$

Thay (2-9) vào (2-8) :

$$p = p_0 + \rho(U - U_0) \quad (2-10)$$

Như vậy, dùng phương trình (2-10) có thể xác định được áp suất thủy tĩnh tại bất kỳ điểm nào trong chất lỏng, nếu biết được trị số của hàm U và điều kiện biên  $u_0 ; p_0$ .

### 2.3.2. Mặt đẳng áp

Mặt đẳng áp là một mặt trên đó tại mọi điểm, áp suất đều bằng nhau, từ (2-6) ta có phương trình mặt đẳng áp :

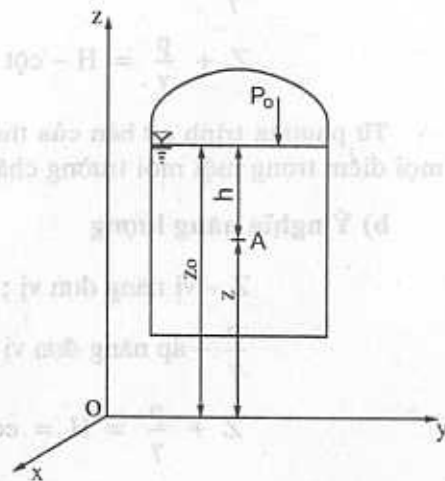
$$Xdx + Ydy + Zdz = 0$$

trong đó :  $X = \frac{\partial U}{\partial x} ; Y = \frac{\partial U}{\partial y} ; Z = \frac{\partial U}{\partial z}$ .

Mặt tự do là mặt đẳng áp, áp suất tác dụng trên nó có trị số bằng áp suất khí quyển.

### 2.3.3. Phương trình cơ bản của thủy tĩnh học

Xét trường hợp chất lỏng cân bằng dưới tác dụng của lực khối là trọng lực. Giả sử khối chất lỏng đựng trong bình kín, đặt trong hệ trục tọa độ Oxyz (H. 2-5). Áp suất tác dụng lên bề mặt chất lỏng là  $p_0$ . Hình chiếu lực khối lên các trục x, y, z :



Hình 2-5

$$X = \frac{\partial U}{\partial x} = 0 \quad ; \quad X = \frac{\partial U}{\partial x}$$

$$Y = \frac{\partial U}{\partial y} = 0$$

$$Z = \frac{\partial U}{\partial z} = -g$$

Phương trình (2-6) trong trường hợp khảo sát ở đây có dạng :

$$\begin{aligned} dp &= -\rho g dz = -\gamma dz \\ p &= -\gamma Z + C \end{aligned} \quad (2-11)$$

Để xác định C với điều kiện biên là trên bề mặt chất lỏng ( $Z_0, p_0$ ) ta có :

$$C = p_0 + \gamma Z_0$$

Thay C vào (2-11) :

$$p = p_0 + \gamma(Z_0 - Z) \quad (2-12)$$

Như vậy, với một điểm A bất kỳ trong chất lỏng có tọa độ Z và ở độ sâu  $h = Z_0 - Z$  ; ta có thể viết được phương trình cơ bản của thủy tĩnh học :

$$p = p_0 + \gamma h \quad (2-13)$$

Nghĩa là áp suất tại bất kỳ một điểm nào của chất lỏng ở trạng thái tĩnh bằng áp suất ở mặt tự do cộng với trọng lượng cột chất lỏng (đáy là một đơn vị diện tích, chiều cao là độ sâu của điểm đó).

### 2.3.4. Ý nghĩa của phương trình cơ bản của thủy tĩnh học

#### a) Ý nghĩa hình học hay thủy lực

Z - độ cao hình học ;

$\frac{p}{\gamma}$  - độ cao đo áp ;

$Z + \frac{p}{\gamma} = H$  - cột áp thủy tĩnh.

Từ phương trình cơ bản của thủy tĩnh học ta dễ dàng nhận thấy rằng cột áp thủy tĩnh tại mọi điểm trong một môi trường chất lỏng cân bằng là một hằng số.

#### b) Ý nghĩa năng lượng

Z - vị năng đơn vị ;

$\frac{p}{\gamma}$  - áp năng đơn vị ;

$Z + \frac{p}{\gamma} = H = \text{const}$  - thế năng đơn vị.

Vậy thế năng đơn vị của mọi điểm trong một môi trường chất lỏng cân bằng đều bằng nhau và bằng cột áp thủy tĩnh.

### 2.3.5. Phân biệt các loại áp suất

Áp suất thủy tĩnh được tính theo (2-13) là áp suất tuyệt đối ( $p_t$ ).

Lấy áp suất khí quyển ( $p_a$ ) để so sánh :

Nếu áp suất tuyệt đối lớn hơn áp suất khí quyển ta có áp suất dư ( $p_d$ ) :

$$p_d = p_t - p_a$$

Nếu áp suất tuyệt đối nhỏ hơn áp suất khí quyển ta có áp suất chân không ( $p_{ck}$ ) :

$$p_{ck} = p_a - p_t$$

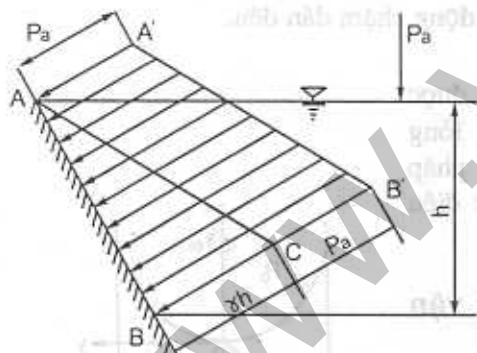
### 2.3.6. Biểu đồ phân bố áp suất thủy tĩnh

Là biểu hiện sự phân bố áp suất theo chiều sâu trong chất lỏng.

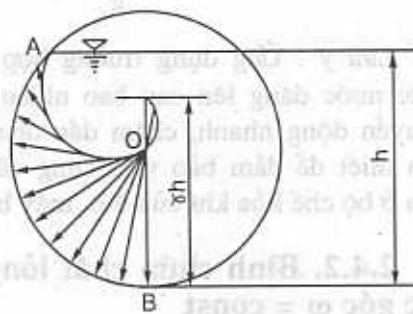
Từ phương trình cơ bản của thủy tĩnh học  $p_t = p_0 + \gamma h$  là dạng phương trình bậc nhất  $y = ax + b$ , ta có  $b$  tương ứng với áp suất trên mặt thoáng của chất lỏng ( $p_0$ ), còn hệ số góc  $a$  tương ứng trọng lượng riêng của chất lỏng và  $(\gamma h)$  thay đổi theo độ sâu trong chất lỏng.

Từ đó ta có thể dễ dàng vẽ được biểu đồ áp suất thủy tĩnh tuyệt đối và áp suất dư tác dụng lên mặt phẳng AB chìm trong chất lỏng có độ sâu  $h$  (H. 2-6). Biểu diễn ABC và AA'B'B.

Nếu trường hợp mặt chịu áp suất thủy tĩnh là một mặt cong thì cách vẽ cũng tương tự, chỉ có điều véc tơ biểu thị áp suất tại các điểm không song song với nhau nên phải vẽ từng điểm rồi nối lại. Vẽ càng nhiều điểm thì biểu đồ càng chính xác. Hình 2-7 vẽ biểu đồ áp suất dư tác dụng lên một thùng hình trụ tròn nằm ngang chứa chất lỏng ở độ sâu  $h$ .



Hình 2-6



Hình 2-7

## 2.4. TÍNH TƯƠNG ĐỐI

Chất lỏng chuyển động so với hệ tọa độ cố định. Hệ tọa độ theo được gắn liền với khối chất lỏng chuyển động. Lực khối trong trường hợp này gồm trọng lực và lực quán tính của chuyển động theo. Ta xét hai dạng tính tương đối đặc trưng dưới đây.

### 2.4.1. Bình chứa chất lỏng chuyển động thẳng thay đổi đều (gia tốc $\vec{a} = \text{const}$ )

Chọn hệ trục tọa độ như hình vẽ (H.2-8).

Xuất phát từ phương trình (2-6) :

$$dp = \rho(Xdx + Ydy + Zdz)$$

Lực khối : trọng lực  $\vec{G} = m\vec{g}$

Lực quán tính  $\vec{F}_{qt} = -m\vec{a}$

Chiều lực khối đơn vị lên các hệ trục tọa độ :

$$X = 0 ; Y = -a ; Z = -g.$$

do đó :  $dp = \rho(-a dy - g dz)$

$$p = -\rho a y - \rho g z + c$$

Tại  $y = 0, z = 0$  thì  $p = c = p_0$  - áp suất tại mặt thoáng.

Vậy, phân bố áp suất tại mọi điểm trong chất lỏng :

$$p = p_0 - \rho(ay + gz)$$

Phương trình mặt đẳng áp :  $p = \text{const}, dp = 0$

$$a dy + g dz = 0 \rightarrow ay + gz = C$$

Vậy mặt đẳng áp là mặt phẳng nghiêng một góc  $\alpha$  :

$$|\tan \alpha| = \frac{a}{g} ;$$

$$-\frac{a}{g} < 0 \rightarrow a > 0 : \text{chuyển động nhanh dần đều}$$

$$-\frac{a}{g} > 0 \rightarrow a < 0 : \text{chuyển động chậm dần đều.}$$

*Lưu ý* : Ứng dụng trường hợp trên để xác định được mực nước dâng lên cao bao nhiêu khi xe chứa chất lỏng chuyển động nhanh, chậm dần đều. Tìm những biện pháp cần thiết để đảm bảo việc cung cấp nhiên liệu được điều hòa ở bộ chế hòa khí của ô tô, máy bay v.v...

### 2.4.2. Bình chứa chất lỏng quay đều với vận tốc góc $\omega = \text{const}$

Chọn hệ trục tọa độ như hình vẽ (H. 2-9)

Lực khối :  $G = mg$  - trọng lực ;

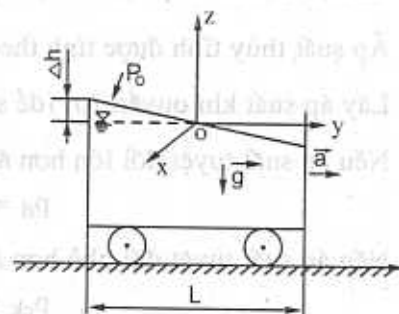
$$F_{qt} = m\omega^2 r - \text{lực quán tính ly tâm.}$$

Hình chiếu lực khối đơn vị :

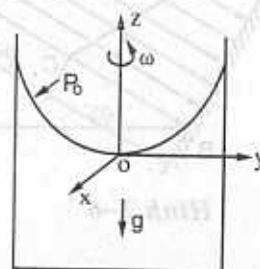
$$X = \omega^2 x ; Y = \omega^2 y ; Z = -g$$

do đó :  $dp = \rho(\omega^2 x dx + \omega^2 y dy - g dz)$

$$p = \rho \frac{\omega^2}{2} (x^2 + y^2) - \rho g z + C$$



Hình 2-8



Hình 2-9



Tại 0 :  $x = y = z = 0$  thì  $p = c = p_0$

$$\rightarrow p = p_0 - \frac{\rho \omega^2}{2} r^2 - \gamma Z + p_0$$

Phương trình mặt đẳng áp :  $\rho \omega^2 \frac{r^2}{2} - \gamma Z = C$

Đó là phương trình mặt paraboloid tròn xoay quay quanh trục Oz.

Phương trình mặt thoáng (mặt tự do) :  $p = p_0$

$$p \frac{\omega^2 r^2}{2} - \gamma Z = 0$$

$$\text{do đó : } \Delta h = Z = p \frac{\omega^2 r^2}{2\gamma} = \frac{\omega^2 r^2}{2g}$$

Lưu ý : Dựa trên hiện tượng này người ta chế tạo các máy đo vòng quay, các hệ thống bôi trơn ổ trục, các hệ thống lắng li tâm, đúc các bánh xe, các ống gang, thép v.v...

## 2.5. TÍNH ÁP LỰC THỦY TĨNH

### 2.5.1. Xác định áp lực thủy tĩnh lên hình phẳng

Tính áp lực  $P$  lên diện tích  $S$  (H. 2-10). Phải xác định 3 yếu tố : phương chiều, trị số và điểm đặt của  $P$ .

Cách tính : tính  $dP$  tác dụng trên  $dS$ , sau đó tích phân trên toàn  $S$  sẽ được  $P$ .

- Phương, chiều :  $P \perp S$  và hướng vào mặt tác dụng.

$$\text{- Trị số : } P = \int_S dP = \int_S p dS = \int_S (p_0 + \gamma h) dS = \int_S p_0 dS + \int_S \gamma h dS = p_0 S + \gamma \sin \alpha \int_S y dS$$

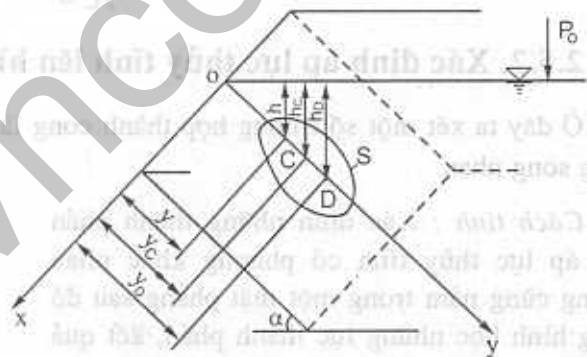
$$P = p_0 S + \gamma \sin \alpha \cdot y_c S = S(p_0 + \gamma h_c) = p_c S \quad (2-14)$$

trong đó :  $h_c$  - độ sâu của trọng tâm hình phẳng ;  $p_c$  - áp suất tại trọng tâm ;

$$\int_S y dS = y_c S - \text{mô men tĩnh của hình phẳng xét đối với Ox.}$$

Nếu  $p_0 = p_a \rightarrow$  áp lực thủy tĩnh dư :

$$P_d = \gamma h_c S \quad (2-15)$$



Hình 2-10

– Điểm đặt : xét trường hợp hình phẳng có trục đối xứng.

Gọi D là điểm đặt của P.

Áp dụng định lý Varinhong : Mo men của hợp lực (P) đối với một trục bằng tổng các mo men của các lực thành phần (dP) đối với trục đó.

Lấy mo men đối với trục x :  $P_d y_D = \int_S y dP_d$

$$P_d y_D = \gamma h_c S y_D = \gamma y_c \sin \alpha S y_D$$

$$\int_S y dP_d = \int_S y \gamma h dS = \int_S y \gamma y \sin \alpha dS = \gamma \sin \alpha \int_S y^2 dS = \gamma \sin \alpha J_x$$

vì  $J_x = \int_S y^2 dS = J_o + y_c^2 S$  – mo men quán tính của S đối với trục x.

$J_o$  – mo men quán tính trung tâm.

Thay các giá trị  $J_x$  vào biểu thức trên, ta rút ra điểm đặt của P :

$$y_D = y_c + \frac{J_o}{y_c S} \quad (2-16)$$

### 2.5.2. Xác định áp lực thủy tĩnh lên hình cong

Ở đây ta xét một số trường hợp thành cong là hình cầu, hình trụ. Các lực phân tố không song song nhau.

*Cách tính* : Xác định những thành phần của áp lực thủy tĩnh có phương khác nhau không cùng nằm trong một mặt phẳng sau đó cộng hình học những lực thành phần, kết quả sẽ cho ta trị số của áp lực thủy tĩnh lên mặt cong về trị số cũng như phương chiều. Điểm đặt của chúng thì được xác định theo phương pháp đồ giải.

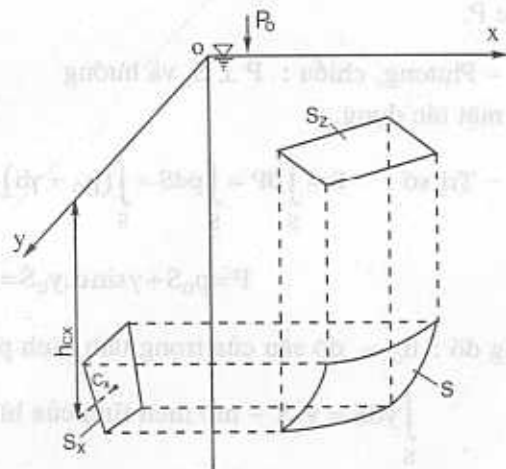
$P(P_x, P_y, P_z)$

Xét trường hợp thành cong S của bình chứa có một mặt tiếp xúc với chất lỏng, còn mặt kia tiếp xúc với không khí.

Hệ trục tọa độ chọn như hình vẽ (H. 2-11).

Lấy một vi phân diện tích dS (coi như phẳng), vi phân áp lực thủy tĩnh dP tác dụng lên dS ở độ sâu h được xác định :

$$dP = \gamma h dS ; \quad dP \perp dS$$



Hình 2-11

$$P_x = \int_{S_x} dP_x = \int_{S_x} \gamma h dS_x = \gamma h_{cx} S_x$$

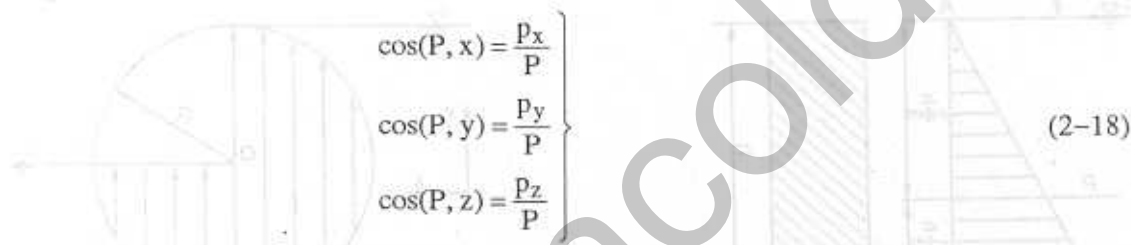
$$P_y = \int_{S_y} dP_y = \int_{S_y} \gamma h dS_y = \gamma h_{cy} S_y$$

$$P_z = \int_{S_z} dP_z = \int_{S_z} \gamma h dS_z = \gamma V$$

trong đó :  $S_x, S_y$  – hình chiếu của  $S$  lên mặt phẳng  $\perp Ox, Oy$  ;  $h_{cx}, h_{cy}$  – độ sâu của trọng tâm  $S_x, S_y$  ;  $V$  – thể tích hình trụ có đáy dưới là hình cong  $S$ , đáy trên là hình chiếu  $S$  lên mặt thoáng  $S_z$  ( $V$  còn gọi là vật thể áp lực).

$$\text{Vậy : } P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2} \quad (2-17)$$

Phương của áp lực thủy tĩnh  $P$  lập với hệ tọa độ  $Oxyz$  các góc xác định bởi các cosin định hướng sau :



$$\left. \begin{aligned} \cos(P, x) &= \frac{P_x}{P} \\ \cos(P, y) &= \frac{P_y}{P} \\ \cos(P, z) &= \frac{P_z}{P} \end{aligned} \right\} \quad (2-18)$$

Điểm đặt là giao điểm của phương lực  $P$  vuông góc với mặt cong. Nếu mặt cong là một phần mặt trụ tròn nằm ngang thì áp lực thủy tĩnh  $P$  lên mặt đó lập thành một góc  $\alpha$  với phương ngang :

$$\text{tg} \alpha = \frac{P_z}{P_x}$$

Áp lực thủy tĩnh  $P$  đi qua trục tâm của mặt trụ tròn.

### 2.5.3. Phương pháp đồ giải

Ngoài cách xác định áp lực thủy tĩnh theo phương pháp giải tích đã trình bày ở trên, trong một số trường hợp đơn giản ta có thể xác định nhanh bằng phương pháp đồ giải.

**Ví dụ 1:** Tính áp lực thủy tĩnh tác dụng lên tấm phẳng thẳng đứng hình chữ nhật có chiều cao  $h$ , chiều rộng  $b$  (H. 2-12).

– Phương pháp giải tích :

Theo công thức (2-15), ta tính áp lực thủy tĩnh dư :  $P = \gamma h_c S$

Độ sâu của trọng tâm thành bể thẳng đứng  $h_c = h/2$  và  $S = bh$ .

Thay vào phương trình trên ta có : 
$$P = \frac{1}{2} \gamma h b h = \gamma \frac{h^2}{2} b$$

Điểm đặt áp lực  $P$  tính theo công thức (2-16) : 
$$y_D = y_C + \frac{J_0}{y_C S}$$

trong đó :

$$y_C = \frac{h}{2}; \quad J_o = \frac{bh^3}{12}; \quad S = bh.$$

Thay vào ta có :

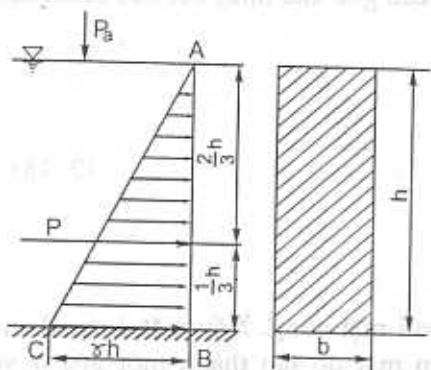
$$y_D = \frac{h}{2} + \frac{bh^3}{12h \frac{bh}{2}} = \frac{2}{3}h$$

- Phương pháp đồ giải :

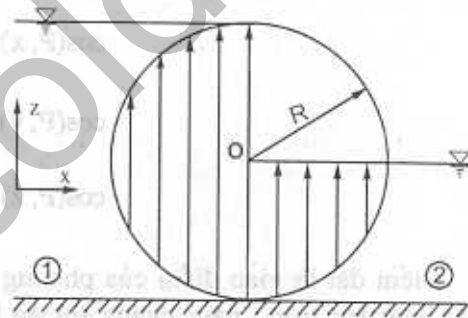
Vẽ biểu đồ áp suất thủy tĩnh dư tác dụng lên tấm phẳng ta được tam giác vuông ABC (đáy là  $\gamma h$ , cao là  $h$ ). Theo công thức tính áp lực thủy tĩnh lên hình phẳng (2-15) :

$$P = \gamma h_C S = \gamma \frac{h}{2} hb = \gamma h \frac{h}{2} b = \Omega b$$

trong đó :  $\Omega = \gamma h \frac{h}{2}$  - diện tích tam giác biểu đồ phân bố áp suất thủy tĩnh.



Hình 2-12



Hình 2-13

Vậy áp lực thủy tĩnh có trị số bằng trọng lượng khối chất lỏng hình trụ có đáy là biểu đồ áp suất  $\left(\gamma h \frac{h}{2}\right)$  và chiều cao là bề rộng của cánh cửa ( $b$ ).

Điểm đặt của  $P$  đi qua trọng tâm biểu đồ áp suất và vuông góc với mặt tác dụng ( $P$  đi qua trọng tâm  $\Delta ABC$ , cách  $A$  một khoảng  $2/3 h$ ).

**Ví dụ 2 :** Tính áp lực lên trụ tròn có bán kính  $R$ , chiều dài  $b$

Chọn hệ trục tọa độ như hình vẽ (H. 2-13).  $P$  ở trường hợp này chỉ bao gồm  $P_x$  và  $P_z$

$P_x = P_{1x} - P_{2x}$  được xác định theo biểu đồ áp suất :

$$P_x = \gamma 2RRb - \gamma R(R/2)b = (3/2)\gamma R^2 b$$

$$P_z = P_{1z} + P_{2z} = \gamma V_1 + \gamma V_2 =$$

$$= \gamma \frac{\pi R^2}{2} b + \gamma \frac{\pi R^2}{4} b = \frac{3}{4} \gamma \pi R^2 b$$

vậy : 
$$P = \sqrt{P_x^2 + P_z^2}$$

Phương của P đi qua trục tâm và nghiêng 1 góc  $\alpha$  so với mặt phẳng nằm ngang. Góc  $\alpha$  xác định bởi :  $\cos\alpha = \frac{P_X}{P}$  hay  $\sin\alpha = \frac{P_Z}{P}$ .

Điểm đặt của P là giao điểm của phương P vuông góc với mặt cong.

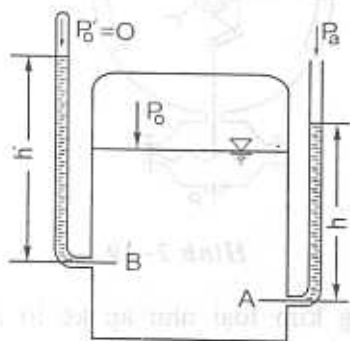
## 2.6. MỘT SỐ ỨNG DỤNG CỦA THỦY TĨNH HỌC

### 2.6.1. Dụng cụ đo áp suất

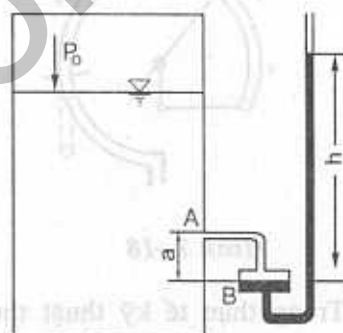
a) **Ống đo áp** : là một ống thủy tinh đường kính không nhỏ hơn 10mm. Đầu dưới nối với nơi cần đo áp suất, đầu trên hở thông với khí quyển (để đo áp suất dư) hoặc kín được hút hết không khí trong ống ra (để đo áp suất tuyệt đối) (H. 2-14).

Khi nối ống đo áp vào nơi cần đo, chất lỏng sẽ dâng lên trong ống với một độ cao nhất định ta sẽ xác định được áp suất tại điểm đó :  $P_d = \gamma h$  và  $P_t = \gamma h'$ .

Dùng ống đo áp để đo các áp suất nhỏ cần có độ chính xác cao, do đó người ta thường dùng ống đo áp trong các phòng thí nghiệm.



Hình 2-14



Hình 2-15

b) **Áp kế thủy ngân** : là một ống thủy tinh hình chữ U dựng thủy ngân (H. 2-15), ở nhánh trái của ống nơi nối với chỗ cần đo áp suất có một bầu lớn, mục đích để khi đo, thủy ngân di chuyển trong ống thì mức thủy ngân ở bầu hầu như không thay đổi.

Áp suất dư tại A được xác định :  $P_d = \gamma_{Hg} h - \gamma a$

c) **Chân không kế thủy ngân** :

Cấu tạo (H. 2-16). Tính áp suất chân không tại A ta có :

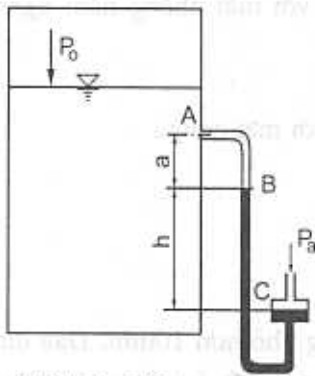
$$P_{CKA} = \gamma_{Hg} h + \gamma a$$

d) **Áp kế đo chênh** : Để đo độ chênh lệch về áp suất tại hai điểm. Nó là một áp kế hình chữ U (H. 2-17) :

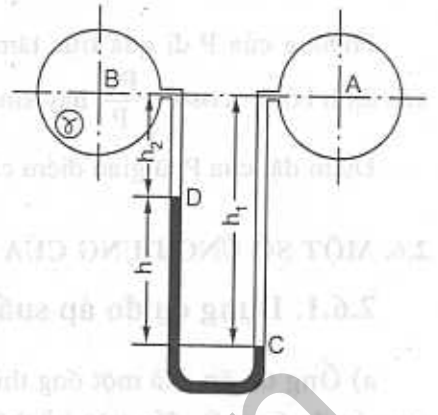
$$P_A - P_B = (\gamma_{Hg} - \gamma) h$$

*Lưu ý* : Ngoài thủy ngân ra còn có thể dùng các chất lỏng khác trong các áp kế, chân không kế như cồn, nước v.v...



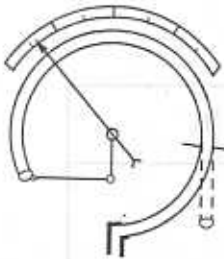


Hình 2-16

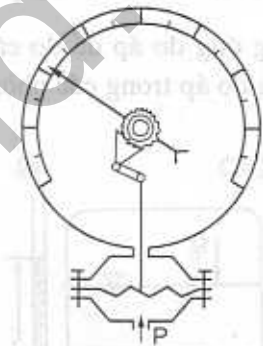


Hình 2-17

Những loại áp kế dùng chất lỏng nói trên thường được dùng để đo trong các phòng thí nghiệm với độ chính xác cao.



Hình 2-18



Hình 2-19

Trong thực tế kỹ thuật thường dùng các loại áp kế bằng kim loại như áp kế lò xo (H. 2-18), áp kế màng (H. 2-19). Các áp kế này cho ta ngay trị số đọc được trên đồng hồ đo (là áp suất dư đối áp kế và áp suất chân không đối chân không kế).

## 2.6.2. Định luật Pascal và ứng dụng thực tế

a) Định luật Pascal : "Trong một bình kín chứa chất lỏng ở trạng thái tĩnh, áp suất do ngoại lực tác dụng lên mặt thoáng được truyền nguyên vẹn tới mọi điểm của chất lỏng".

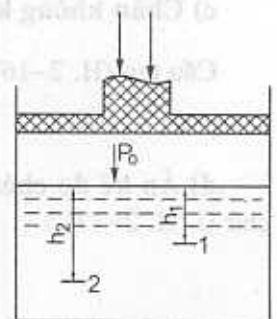
Xét một bình đựng chất lỏng đầy kín bằng một Pítông có áp suất trên mặt thoáng là  $p_0$  (H. 2-20). Tại hai điểm bất kỳ 1 và 2 ở độ sâu  $h_1$  và  $h_2$  áp suất bằng :

$$p_1 = p_0 + \gamma h_1$$

$$p_2 = p_0 + \gamma h_2$$

Nếu ta nén Pítông để làm tăng áp suất trên mặt thoáng lên một lượng  $\Delta p$  thì áp suất trên mặt thoáng trở thành :

$$p'_0 = p_0 + \Delta p$$



Hình 2-20

và áp suất tại các điểm 1 và 2 lúc này bằng :

$$p_1' = p_0' + \gamma h_1 = p_1 + \Delta p$$

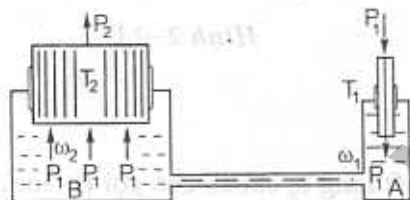
$$p_2' = p_0' + \gamma h_2 = p_2 + \Delta p$$

Rõ ràng lượng tăng áp suất  $\Delta p$  đã được truyền nguyên vẹn đến điểm 1 và 2. Vì hai điểm này được chọn bất kỳ nên kết luận trên đây cũng đúng cho mọi điểm khác trong chất lỏng.

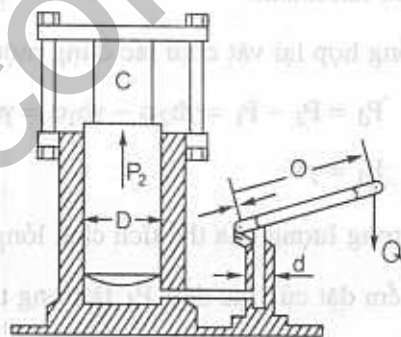
b) Ứng dụng của định luật Pascal rất rộng rãi trong kỹ thuật, dựa trên nguyên tắc cơ bản là truyền áp suất bên trong chất lỏng, người ta đã chế tạo một số loại máy thủy lực : máy ép thủy lực, máy tích năng, máy tăng áp, kích, cơ, cần truyền lực và truyền động bằng thủy lực...

Ở đây ta chỉ xét một ứng dụng cụ thể : máy ép thủy lực.

Sơ đồ làm việc của máy ép thủy lực (H. 2-21) gồm hai bộ phận chính : một xi lanh B và pít tông lớn  $T_2$  có tiết diện  $\omega_2$ , một xi lanh A và pít tông nhỏ  $T_1$  có tiết diện  $\omega_1$ . Hai xi lanh thông nhau và đựng chất lỏng, một cánh tay đòn quay quanh trục O (H. 2-22).



Hình 2-21



Hình 2-22

Khi tác dụng vào cánh tay đòn lực  $Q$ , gây lên lực  $P_1$  ở pít tông nhỏ, áp suất ở xi lanh nhỏ là :

$$p_1 = \frac{P_1}{\omega_1}$$

Theo định luật Pascal, áp suất do pít tông nhỏ tác dụng vào chất lỏng  $p_1$  được truyền nguyên vẹn đến xi lanh lớn cũng là  $p_1$ .

Áp lực tác dụng lên mặt pít tông lớn là :  $P_2 = \omega_2 p_1$

thay  $p_1$  từ biểu thức trên ta được :

$$P_2 = \frac{P_1}{\omega_1} \omega_2 \quad \text{hay} \quad \frac{P_1}{P_2} = \frac{\omega_2}{\omega_1}$$

Nếu coi  $P_1, \omega_1$  không đổi thì muốn tăng  $P_2$  ta phải tăng diện tích mặt pít tông lớn  $\omega_2$ .

### 2.6.3. Định luật Acsimet – cơ sở lý luận về vật nổi

a) Định luật Acsimet : "Một vật ngập trong chất lỏng chịu một lực đẩy của chất lỏng thẳng đứng từ dưới lên trên bằng trọng lượng của thể tích chất lỏng bị vật choán chỗ và gọi là lực đẩy Acsimet".

Để chứng minh, ta xét một hình trụ ngập trong chất lỏng (H. 2-23), vật này chịu tác dụng của những lực sau :

- Áp lực  $P_1$  tác dụng lên mặt hình trụ :

$$P_1 = \gamma h_1 \omega$$

- Áp lực  $P_2$  tác dụng lên đáy hình trụ :

$$P_2 = \gamma h_2 \omega$$

- Áp lực lên mặt xung quanh hình trụ :

Có phương ngược nhau và có trị số bằng nhau nên triệt tiêu lẫn nhau.

Tổng hợp lại vật chịu tác dụng một lực đẩy  $P_d$  :

$$P_d = P_2 - P_1 = \gamma h_2 \omega - \gamma h_1 \omega = \gamma \omega h$$

hay :  $P_d = \gamma V$

$\gamma V$  là trọng lượng của thể tích chất lỏng bị vật choán chỗ.

Điểm đặt của lực đẩy  $P_d$  là trọng tâm của thể tích chất lỏng bị choán chỗ gọi là tâm đẩy.

Thông thường thì tâm đẩy không trùng với trọng tâm của vật, chỉ có trọng tâm của một vật rắn đồng chất mới trùng với tâm đẩy.

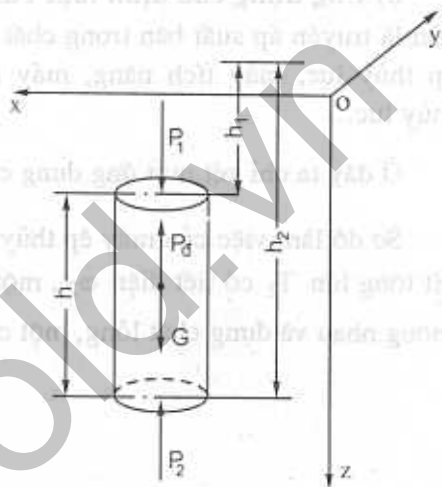
b) Điều kiện nổi của một vật : Căn cứ vào tương quan giữa lực đẩy Acsimet  $P_d$  và trọng lượng của vật  $G$ , ta có 3 trường hợp sau (H. 2-24) :

Nếu  $G > P_d$  - vật chìm xuống đáy ;

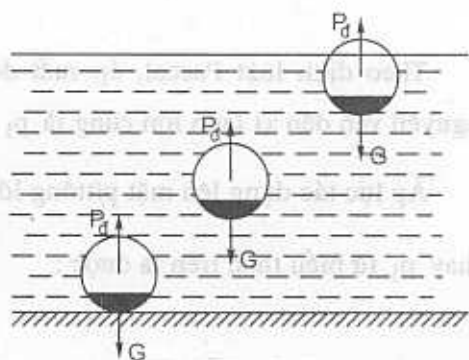
Nếu  $G = P_d$  - vật lơ lửng trong chất lỏng;

Nếu  $G < P_d$  - vật bị đẩy nổi lên khỏi mặt chất lỏng đến khi nào trọng lượng phần thể tích vật ngập trong chất lỏng (lực đẩy  $P_d$ ) bằng trọng lượng vật  $G$  thì thôi.

c) Tính ổn định của vật : Là khả năng khôi phục lại vị trí cân bằng của vật khi làm thay đổi vị trí của vật.

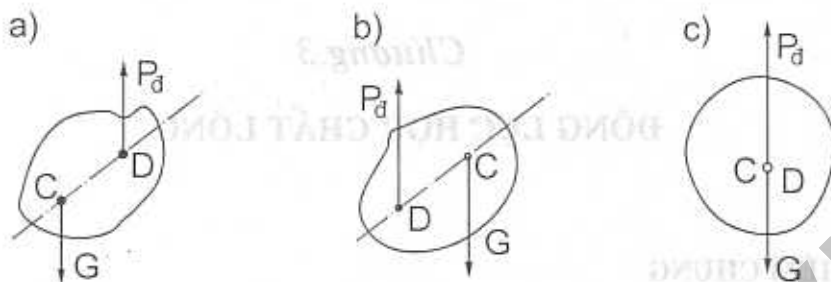


Hình 2-23



Hình 2-24

Ta thấy rằng một vật nổi trong chất lỏng muốn cân bằng thì ngoài điều kiện lực đẩy bằng trọng lượng của vật còn phải có điều kiện trọng tâm C và tâm đẩy D ở trên cùng một đường thẳng.



Hình 2-25

Thực tế có thể có những ngoại lực tác dụng vào vật nổi làm mất trạng thái cân bằng, vật bị nghiêng đi. Nghiên cứu tính ổn định của vật ta thấy:

- Nếu trọng tâm C thấp hơn tâm đẩy D (H. 2-25a) thì vật ở trạng thái cân bằng bền. Khi vật bị ngoại lực làm nghiêng đi thì vật có khả năng khôi phục trạng thái cân bằng như cũ.

- Nếu trọng tâm C cao hơn tâm đẩy D (H. 2-25b) thì vật ở trạng thái cân bằng không bền. Nếu vật bị đẩy ra khỏi trạng thái cân bằng thì không thể khôi phục lại trạng thái cân bằng cũ được mà càng nghiêng đi.

- Nếu trọng tâm C và tâm đẩy D trùng nhau (H. 2-25c), ta có vật ở trạng thái cân bằng phiếm định. Khi đó bất kỳ ở vị trí nào vật cũng vẫn được cân bằng.

Cơ sở lý luận về vật nổi nói trên được ứng dụng rộng rãi trong việc thiết kế và vận chuyển của tàu thuyền và những vật nổi khác (tham khảo thêm [1], [7]).

## Chương 3

### ĐỘNG LỰC HỌC CHẤT LỎNG

#### 3.1. KHÁI NIỆM CHUNG

Thủy động lực học (hay là động lực học của chất lỏng) nghiên cứu các quy luật đặc trưng chuyển động của chất lỏng và ứng dụng các quy luật ấy vào thực tiễn sản xuất.

Nhiệm vụ chủ yếu của thủy động lực học là xác lập liên hệ giữa những trị số cơ bản đặc trưng cho chuyển động như vận tốc dòng chảy  $U$ , độ sâu  $h$  và áp suất thủy động  $p$  sinh ra trong chất lỏng chuyển động. Cần chú ý rằng áp suất thủy động có hướng khác nhau tùy theo chất lỏng ta nghiên cứu là chất lỏng thực hay chất lỏng lý tưởng. Trong chất lỏng lý tưởng áp suất thủy động hướng theo pháp tuyến của mặt chịu tác dụng; còn trong chất lỏng thực áp suất thủy động vẫn hướng vào mặt tác dụng, nhưng không hướng theo pháp tuyến, vì nó là tổng hợp của thành phần ứng suất pháp tuyến và thành phần ứng suất tiếp tuyến do lực nhớt gây ra.

Khi nghiên cứu chuyển động của chất lỏng, có thể dùng phương pháp Lagrangơ hoặc phương pháp Ole.

- *Phương pháp Lagrangơ* khảo sát chuyển động từng phần tử chất lỏng riêng biệt. Giả sử ở thời điểm ban đầu  $t_0$ , phần tử chất lỏng có vị trí  $A_0(a, b, c)$ ; ở thời điểm  $t$ , nó chuyển sang tọa độ  $A(x, y, z)$ . Gọi  $\vec{r}$  là véc tơ bán kính chuyển động của mỗi phần tử ở thời điểm  $t$ :

$$\vec{r}(a, b, c, t) \quad (3-1)$$

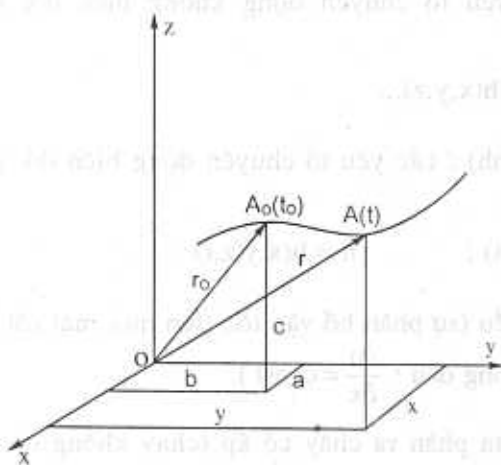
hay là hình chiếu lên các trục tọa độ (H. 3-1):

$$\left. \begin{aligned} x &= x_1(a, b, c, t) \\ y &= y_1(a, b, c, t) \\ z &= z_1(a, b, c, t) \end{aligned} \right\} \quad (3-2)$$

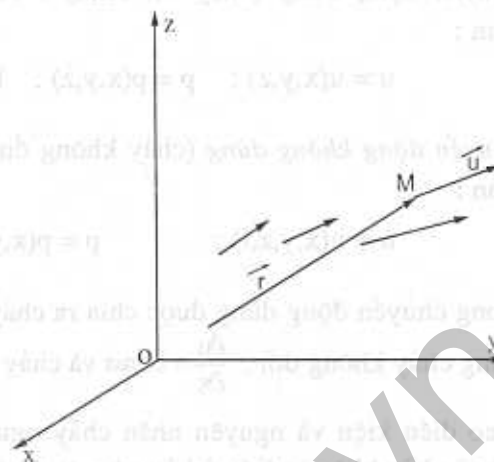
Nếu biết  $x_1, y_1, z_1$  ta sẽ biết chuyển động của phần tử chất lỏng và quỹ đạo của nó và từ đó suy ra vận tốc  $\vec{u} = \frac{d\vec{r}}{dt}$ , gia tốc  $\vec{w} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2}$ ;  $a, b, c, t$  - gọi là biến số Lagrangơ.

- *Phương pháp Ole* nghiên cứu vận tốc của các phần tử chất lỏng tại nhiều điểm trong dòng chảy ở những thời điểm khác nhau.





Hình 3-1



Hình 3-2

Ví dụ ta xét một điểm M cố định trong không gian xác định bởi véc tơ bán kính  $\vec{r}(x, y, z)$ . Tại thời điểm T ta xác định được véc tơ vận tốc của phân tử chất lỏng đi qua điểm đó (H. 3-2):

$$\vec{u} = \vec{u}(x, y, z, t) \quad (3-3)$$

Khảo sát chuyển động của nhiều phân tử chất lỏng tại các điểm cố định trong dòng chảy. Ứng với thời điểm t xác định, ta có các véc tơ vận tốc phân bố tại các điểm trong không gian, nghĩa là ta có trường vận tốc.

Hình chiếu của  $\vec{u}$  lên các trục tọa độ :

$$\left. \begin{aligned} u_x &= u(x, y, z, t) \\ u_y &= v(x, y, z, t) \\ u_z &= w(x, y, z, t) \end{aligned} \right\} \quad (3-4)$$

Gia tốc :

$$\begin{aligned} \vec{W} &= \frac{d\vec{u}}{dt} = \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \frac{\partial \vec{u}}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial \vec{u}}{\partial y} \frac{dy}{dt} + \frac{\partial \vec{u}}{\partial z} \frac{dz}{dt} \\ &= \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \frac{\partial \vec{u}}{\partial x} u_x + \frac{\partial \vec{u}}{\partial y} u_y + \frac{\partial \vec{u}}{\partial z} u_z \end{aligned} \quad (3-5)$$

$x, y, z, t$  gọi là biến số Ôle.

So sánh hai phương pháp : Phương pháp Lagrangio nghiên cứu chuyển động bằng cách gắn chặt vào một phân tử chất lỏng, do đó tìm được quỹ đạo của nó (như chuyển động sóng). Còn phương pháp Ôle xác định được trường vận tốc và sẽ tìm được dòng của các phân tử chất lỏng. Có thể chuyển từ biến số Lagrangio sang biến số Ôle và ngược lại.

## 3.2. CÁC ĐẶC TRƯNG ĐỘNG HỌC CỦA CHẤT LỎNG

### 3.2.1. Phân loại chuyển động

Căn cứ vào tính chất chảy, người ta phân ra chuyển động dừng và không dừng.

**Chuyển động dừng** (chảy ổn định) : các yếu tố chuyển động không biến đổi theo thời gian :

$$u = u(x,y,z) ; \quad p = p(x,y,z) ; \quad h = h(x,y,z)...$$

**Chuyển động không dừng** (chảy không ổn định) : các yếu tố chuyển động biến đổi theo thời gian :

$$u = u(x,y,z,t) ; \quad p = p(x,y,z,t) ; \quad h = h(x,y,z,t)...$$

Trong chuyển động dừng được chia ra chảy đều (sự phân bố vận tốc trên mọi mặt cắt dọc theo dòng chảy không đổi :  $\frac{\partial u}{\partial x} = \text{const}$  và chảy không đều :  $\frac{\partial u}{\partial x} \neq \text{const}$ ).

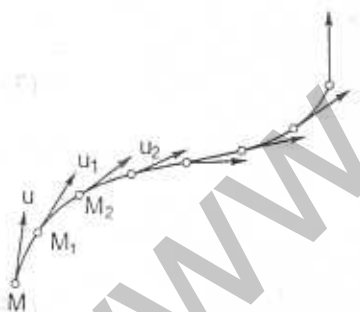
Theo điều kiện và nguyên nhân chảy người ta phân ra chảy có áp (chảy không có mặt thoáng) và chảy không có áp (chảy có mặt thoáng).

### 3.2.2. Đường dòng, dòng nguyên tố

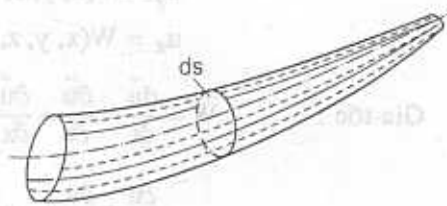
a) Trong một trường véc tơ vận tốc, ta có thể tìm được một đường cong sao cho nó tiếp tuyến với các véc tơ vận tốc qua các điểm của nó. Đường cong đó gọi là đường dòng (H. 3-3).

Nếu gọi  $dr$  là một phần tử của đường dòng và  $u$  là véc tơ vận tốc tiếp tuyến với phần tử đó, ta có phương trình đường dòng :

$$\vec{u} \parallel d\vec{r} \rightarrow \vec{u} \wedge d\vec{r} = 0 \rightarrow \frac{dx}{u} = \frac{dy}{v} = \frac{dz}{w} \quad (3-6)$$



Hình 3-3



Hình 3-4

**Chú ý :** Tại mỗi điểm trong không gian, ở mỗi thời điểm chỉ đi qua một đường dòng, nghĩa là các đường dòng không cắt nhau.

– Cần phân biệt quỹ đạo với đường dòng : Quỹ đạo đặc trưng cho sự biến thiên vị trí của phân tử chất lỏng theo thời gian, còn đường dòng biểu diễn phương vận tốc của các phân tử chất lỏng tại thời điểm.

Trong chuyển động dừng thì chúng trùng nhau.

b) Các đường dòng tựa lên một vòng kín vô cùng nhỏ ta được một ống dòng (H. 3-4). Chất lỏng không thể xuyên qua ống dòng.

c) Dòng chất lỏng chảy đầy trong ống dòng gọi là dòng nguyên tố. Dòng nguyên tố có những đặc tính sau :

– Dạng của dòng nguyên tố không thay đổi theo thời gian vì dạng của đường dòng tạo thành dòng nguyên tố trong chuyển động dừng.

– Bề mặt của những dòng nguyên tố do những đường dòng tạo thành là không xuyên qua được. Những chất điểm của chất lỏng trong các dòng lân cận trượt theo bề mặt các dòng chứ không xuyên vào trong dòng được.

– Vì mặt cắt của dòng nguyên tố vô cùng nhỏ nên vận tốc của các điểm trong mặt cắt đều bằng nhau.

### 3.2.3. Các yếu tố thủy lực của dòng chảy

Mặt cắt ướt ( $\omega$ ) là mặt cắt vuông góc với véc tơ vận tốc của dòng chảy.

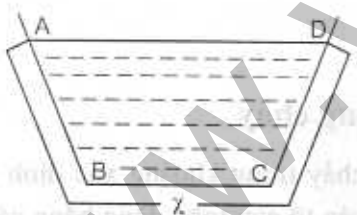
Chu vi ướt ( $\chi$ ) là phần chu vi của mặt cắt ướt tiếp xúc với thành rắn giới hạn dòng chảy (ví dụ cung ABC, hình 3-6).

Bán kính thủy lực ( $R$ ) là tỷ số giữa diện tích mặt cắt ướt và chu vi ướt.

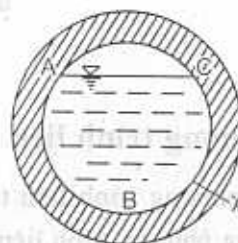
$$R = \frac{\omega}{\chi} \quad (3-7)$$

Lưu lượng ( $Q$ ) là lượng chất lỏng chảy qua mặt cắt ướt trong một đơn vị thời gian:

$$Q = \int_{\omega} u d\omega \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (3-8)$$



Hình 3-5



Hình 3-6

Như ta đã biết, các vận tốc điểm trên mặt cắt ướt của dòng chảy không bằng nhau. Để thuận tiện cho việc nghiên cứu và giải quyết những vấn đề kỹ thuật, ta đưa vào khái niệm vận tốc trung bình mặt cắt  $v$ , tức là coi mọi điểm trên mặt cắt ướt có vận tốc bằng nhau. Lưu lượng tính theo vận tốc trung bình mặt cắt  $v$  cũng bằng lưu lượng tính theo sự phân bố vận tốc thực của dòng chảy (H. 3-6).

$$Q = \int_{\omega} u d\omega = \int_{\omega} v d\omega = v \int_{\omega} d\omega = v\omega \quad (3-9)$$

Suy ra vận tốc trung bình :

$$v = \frac{Q}{\omega} \quad (3-10)$$

Như vậy vận tốc trung bình của dòng chảy bằng lưu lượng chia cho mặt cắt ướt.

### 3.3. PHƯƠNG TRÌNH LIÊN TỤC CỦA DÒNG CHẢY

Đây là một dạng của định luật bảo toàn khối lượng : Khối lượng  $m$  của hệ cô lập không thay đổi trong suốt quá trình chuyển động :

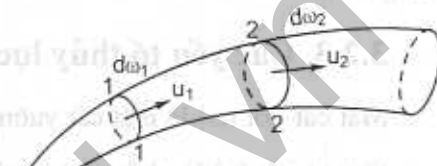
$$\frac{dm}{dt} = 0$$

#### 3.3.1. Phương trình liên tục của dòng nguyên tố

Xét một dòng nguyên tố chuyển động dừng (H. 3-7) xét đoạn giới hạn giữa hai mặt cắt 1-1 và 2-2.

Tại mặt cắt 1-1, có mặt cắt ướt  $d\omega_1$ , vận tốc  $u_1$ .

Tại mặt cắt 2-2, có mặt cắt ướt  $d\omega_2$ , vận tốc  $u_2$ . Trong thời gian  $dt$ , thể tích chất lỏng chảy vào qua 1-1 là  $u_1 d\omega_1 dt$ , đồng thời thể tích chất lỏng chảy qua 2-2 là  $u_2 d\omega_2 dt$ .



Hình 3-7

Theo tính chất của dòng nguyên tố trong chuyển động dừng : vì hình dạng của đoạn dòng nguyên tố không thay đổi theo thời gian, bề mặt của chất lỏng không xuyên qua được và chất lỏng không ép được nên trong thời gian  $dt$ , thể tích chất lỏng chảy qua mặt cắt 1-1 phải bằng thể tích chất lỏng chảy cùng thời gian ấy qua mặt cắt 2-2.

Vậy ta có :

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

$$u_1 d\omega_1 = u_2 d\omega_2 \quad (3-11)$$

hay :

$$dQ_1 = dQ_2 \quad (3-12)$$

#### 3.3.2. Phương trình liên tục của toàn dòng chảy

Muốn lập phương trình liên tục của toàn dòng chảy trong khoảng xác định ứng với mặt cắt  $\omega$  ta mở rộng phương trình liên tục của dòng nguyên tố cho toàn dòng bằng cách tích phân phương trình đó trên toàn mặt cắt  $\omega$ .

$$\int_{\omega_1} u_1 d\omega_1 = \int_{\omega_2} u_2 d\omega_2$$

$$\text{Rút ra :} \quad Q_1 = Q_2 \quad (3-13)$$

$$\text{hay :} \quad v_1 \omega_1 = v_2 \omega_2 \quad (3-14)$$

Đó là phương trình liên tục của dòng chảy ổn định có kích thước xác định.

Chú ý mặt cắt 2-2 ta chọn tùy ý trong dòng nguyên tố và trong toàn dòng, do đó có thể kết luận rằng :

Trong dòng chảy ổn định, lưu lượng qua mọi mặt cắt ướt đều bằng nhau, và vận tốc trung bình ( $v$ ) tỷ lệ nghịch với diện tích mặt cắt ướt ( $\omega$ ).

### 3.3.3. Phương trình vi phân liên tục của dòng chảy (dạng Ole)

Trong môi trường chất lỏng chuyển động ta tưởng tượng tách ra một phần tử hình hộp có thể tích  $\Delta V = dx dy dz$  (H. 3-8).

Theo định luật bảo toàn khối lượng :

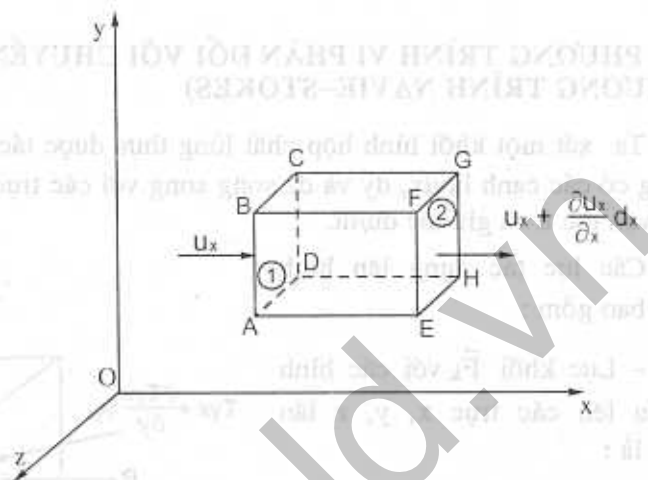
$$\frac{d(\rho \Delta V)}{dt} = 0$$

$\rho = \rho(x, y, z, t)$  – khối lượng riêng của chất lỏng.

Lấy đạo hàm theo  $t$  :

$$\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt} + \frac{1}{\Delta V} \frac{d\Delta V}{dt} = 0$$

$\frac{d\Delta V}{dt}$  – vận tốc biến dạng tương đối của thể tích phân tử chất lỏng.



Hình 3-8

Xét theo phương  $x$  : vận tốc tại mặt ABCD :  $u_x$

vận tốc tại mặt EFGH :  $u_x + \frac{\partial u_x}{\partial x} dx$

Sau thời gian  $dt$  : mặt ABCD di chuyển sang phải :  $u_x dt$

mặt EFGH :  $\left( u_x + \frac{\partial u_x}{\partial x} dx \right) dt$

Thể tích của phân tử chất lỏng thay đổi theo hướng trục  $x$  một lượng tuyệt đối bằng :

$$\left( u_x + \frac{\partial u_x}{\partial x} dx \right) dy dz dt - u_x dy dz dt = \frac{\partial u_x}{\partial x} dx dy dz dt$$

Tương tự viết cho hai phương  $y, z$ , tổng hợp lại ta có :

$$d\Delta V = \left( \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) dx dy dz dt$$

hay :

$$\frac{1}{\Delta V} \frac{d\Delta V}{dt} = \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z}$$

Vậy :

$$\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt} + \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0$$

Đó chính là phương trình liên tục dạng tổng quát, có thể viết gọn hơn :

$$\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt} + \text{div } \vec{u} = 0 \quad (3-15)$$



Trong chuyển động dừng (dòng chảy ổn định)  $\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$  nên  $\text{div}(\rho \vec{u}) = 0$

Đối với chất lỏng không nén được ( $\rho = \text{const}$ ) ta được :

$$\text{div} \vec{u} = 0$$

### 3.4. PHƯƠNG TRÌNH VI PHÂN ĐỐI VỚI CHUYỂN ĐỘNG CỦA CHẤT LỎNG THỰC (PHƯƠNG TRÌNH NAVIE-STOKES)

Ta xét một khối hình hộp chất lỏng thực được tách ra từ một thể tích chất lỏng chuyển động có các cạnh là  $dx$ ,  $dy$  và  $dz$  song song với các trục tọa độ  $x$ ,  $y$ ,  $z$  (H. 3-9), chuyển động với vận tốc  $u$  và gia tốc  $du/dt$ .

Các lực tác dụng lên hình hộp bao gồm :

- Lực khối  $\vec{F}_k$  với các hình chiếu lên các trục  $x$ ,  $y$ ,  $z$  lần lượt là :

$$\left. \begin{aligned} F_{kx} &= \rho X dx dy dz \\ F_{ky} &= \rho Y dx dy dz \\ F_{kz} &= \rho Z dx dy dz \end{aligned} \right\} \quad (3-16)$$

trong đó :  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  là hình chiếu của lực khối trên một đơn vị khối lượng chất lỏng.

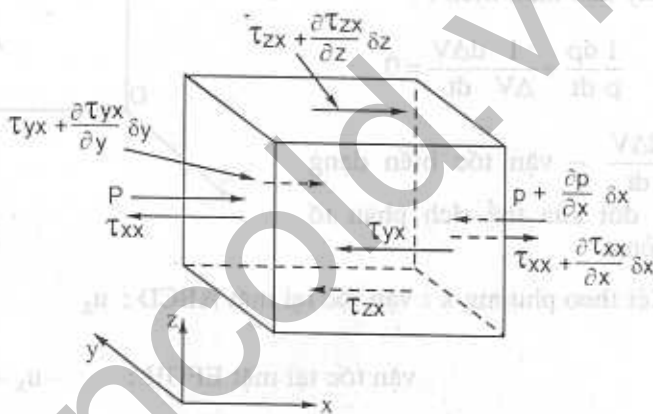
- Lực bề mặt  $\vec{F}_m$  được xác định dựa theo các đại lượng áp suất và 9 thành phần ứng suất của lực nhớt lập thành tenxơ ứng suất :

$$\begin{pmatrix} (-p + \tau_{xx}) & \tau_{yx} & \tau_{zx} \\ \tau_{xy} & (-p + \tau_{yy}) & \tau_{zy} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & (-p + \tau_{zz}) \end{pmatrix}$$

trong đó, áp suất được ký hiệu là  $p$  và các ứng suất nhớt là  $\tau_{ij}$ ; với  $ij$  trong  $\tau_{ij}$  chỉ ra rằng thành phần ứng suất tác dụng theo phương  $j$  tại tiết diện vuông góc với phương  $i$ .

Phân tích hình chiếu của các lực mặt lên các trục tọa độ, chẳng hạn như hình chiếu các lực mặt lên trục  $x$  có dạng :

$$\begin{aligned} F_{mx} &= \left[ (p - \tau_{xx}) dy dz + \left( -p - \frac{\partial p}{\partial x} dx + \tau_{xx} \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} dx \right) dy dz \right] + \\ &+ \left[ -\tau_{yx} + \tau_{yx} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} dy \right] dx dz + \left[ -\tau_{zx} + \tau_{zx} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} dz \right] dx dy = \\ &= \left( -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \right) dx dy dz \end{aligned} \quad (3-17a)$$



Hình 3-9

Tiến hành tương tự với các trục y và z ta có :

$$F_{my} = \left( -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} \right) dx dy dz \quad (3-17b)$$

$$F_{mz} = \left( -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \right) dx dy dz \quad (3-17c)$$

- Lực quán tính  $M \frac{d\bar{u}}{dt}$ , trong đó  $M = \rho dx dy dz$  là khối lượng chất lỏng.

Theo nguyên lý bảo toàn động lượng, lực quán tính phải cân bằng với các lực tác dụng nên ta có :

$$M \frac{d\bar{u}}{dt} = \bar{F}_k + \bar{F}_m \quad (3-18)$$

Nếu chia cả hai vế cho  $\rho dx dy dz$  ta có phương trình động lực dạng ứng suất :

$$\frac{d\bar{u}}{dt} = \bar{F} + \frac{1}{\rho} \bar{f}_m \quad (3-19)$$

trong đó :

$$\bar{F} = \frac{\bar{F}_k}{\rho dx dy dz} \quad \text{và} \quad \bar{f}_m = \frac{\bar{F}_m}{dx dy dz}$$

hay dưới dạng hình chiếu lên các trục tọa độ x, y, z, hệ phương trình vi phân đối với chuyển động của chất lỏng thực dạng ứng suất sẽ là :

$$\frac{du_x}{dt} = X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \right) \quad (3-20a)$$

$$\frac{du_y}{dt} = Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} \right) \quad (3-20b)$$

$$\frac{du_z}{dt} = Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \right) \quad (3-20c)$$

Theo giả thiết của Newton thì các thành phần ứng suất  $\tau_{xx}, \tau_{yy}, \tau_{zz}$  là hàm số của vận tốc biến dạng dài của chất lỏng :

$$\tau_{xx} = 2\mu \frac{\partial u_x}{\partial x} - \frac{2}{3} \mu \text{div} \bar{u}$$

$$\tau_{yy} = 2\mu \frac{\partial u_y}{\partial y} - \frac{2}{3} \mu \text{div} \bar{u} \quad (3-21)$$

$$\tau_{zz} = 2\mu \frac{\partial u_z}{\partial z} - \frac{2}{3} \mu \text{div} \bar{u}$$

Cũng theo giả thiết của Newton (ứng suất nhớt tiếp tỉ lệ với biến dạng góc) mở rộng cho trường hợp chuyển động không gian :

$$\begin{aligned}\tau_{xy} &= \tau_{yx} = \mu \left( \frac{\partial u_y}{\partial x} + \frac{\partial u_x}{\partial y} \right) \\ \tau_{xz} &= \tau_{zx} = \mu \left( \frac{\partial u_z}{\partial x} + \frac{\partial u_x}{\partial z} \right) \\ \tau_{yz} &= \tau_{zy} = \mu \left( \frac{\partial u_z}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial z} \right)\end{aligned}\quad (3-22)$$

Thay các biểu thức (3-21 và 3-22) vào hệ phương trình (3-20a,c) và thực hiện một số phép biến đổi ta được hệ ba phương trình vi phân sau :

$$\frac{du_x}{dt} = X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left( \frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial z^2} \right) + \frac{\nu}{3} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) \quad (3-23a)$$

$$\frac{du_y}{dt} = Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left( \frac{\partial^2 u_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_y}{\partial z^2} \right) + \frac{\nu}{3} \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) \quad (3-23b)$$

$$\frac{du_z}{dt} = Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left( \frac{\partial^2 u_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2} \right) + \frac{\nu}{3} \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) \quad (3-23c)$$

hay dưới dạng vectơ :

$$\frac{d\vec{u}}{dt} = \vec{F} - \frac{1}{\rho} \text{grad } p + \nu \Delta \vec{u} + \frac{\nu}{3} \text{grad} (\text{div} \vec{u}) \quad (3-24)$$

trong đó :  $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$  – toán tử Laplace

Hệ phương trình (3-23a,c) chính là phương trình Navies–Stockes (1822). Đây là phương trình động lực dưới dạng tổng quát nhất đối với chất lỏng thực.

Trong trường hợp chất lỏng không nén được ( $\rho = \text{const}$ ) ta có  $\text{div} \vec{u} = 0$  và phương trình vi phân chuyển động của chất lỏng thực không nén được có dạng :

$$\frac{d\vec{u}}{dt} = \vec{F} - \frac{1}{\rho} \text{grad } p + \nu \Delta \vec{u} \quad (3-25)$$

Trường hợp chất lỏng không nhớt ( $\nu = 0$ ), ta có phương trình vi phân chuyển động Olee của chất lỏng lý tưởng :

$$\frac{d\vec{u}}{dt} = \vec{F} - \frac{1}{\rho} \text{grad } p \quad (3-26)$$

Trường hợp chất lỏng không chuyển động ( $u = 0$ ) hay chuyển động thẳng đều ( $du/dt = 0$ ) ta sẽ được phương trình Olee tĩnh (2-5) :

$$\vec{F} - \frac{1}{\rho} \text{grad } p = 0$$

*Lưu ý :* Do tính chất phi tuyến của phương trình Navies – Stockes nên tích phân của nó hiện chỉ có thể thực hiện được trong một số ít trường hợp, ví dụ như bài toán về dòng chảy giữa hai bản phẳng song song. Trong số lớn các trường hợp khác, người ta thực hiện tuyến

tính hóa phương trình bằng cách đơn giản bớt các điều kiện bài toán, bỏ bớt một vài số hạng có ảnh hưởng không đáng kể so với các số hạng còn lại...

### 3.5. PHƯƠNG TRÌNH BECNULI VIẾT CHO DÒNG NGUYÊN TỐ CHẤT LỎNG LÝ TƯỜNG – Ý NGHĨA CỦA PHƯƠNG TRÌNH BECNULI

Năm 1738, Becnuli đã tìm ra phương trình nổi tiếng về quan hệ giữa vận tốc và động áp lực của dòng chảy bằng cách ứng dụng định luật động năng vào chuyển động của chất lỏng. Phương trình Becnuli còn được gọi là phương trình năng lượng vì nó là một dạng của định luật bảo toàn năng lượng.

#### 3.5.1. Phương trình Becnuli viết cho dòng nguyên tố chất lỏng lý tưởng

Xét một đoạn dòng nguyên tố chất lỏng lý tưởng chuyển động ổn định giới hạn bởi mặt cắt I-I và II-II (H. 3-10).

Tại trọng tâm của I-I và II-II ta có :

Độ cao hình học  $Z_1$  và  $Z_2$ .

Áp suất thủy động  $P_1$  và  $P_2$ .

Vận tốc  $v_1$  và  $v_2$ .

Diện tích mặt cắt  $d\omega_1$  và  $d\omega_2$ .

Ta thấy rằng đoạn chất lỏng AB sau thời gian  $dt$  đã chuyển đến vị trí mới A'B'. Khi đó những chất điểm của chất lỏng từ mặt cắt I-I chuyển động với vận tốc  $u_1$  đã dịch chuyển được một đoạn  $dS_1$  đến mặt cắt I'-I'. Còn những chất điểm trong mặt cắt II-II chuyển động với vận tốc  $u_2$  đã dịch chuyển được một đoạn  $dS_2$  đến mặt cắt II'-II'.

Ta có :

$$dS_1 = u_1 dt \quad \text{và} \quad dS_2 = u_2 dt.$$

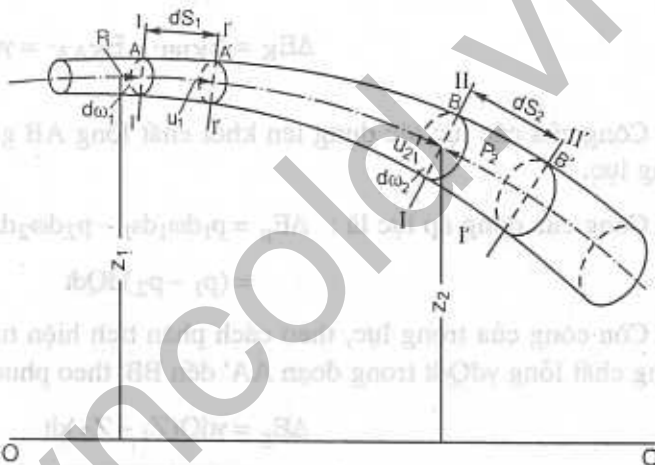
Theo phương trình liên tục của dòng nguyên tố ta viết được :

$$d\omega_1 u_1 = d\omega_2 u_2 = dQ$$

Theo định luật bảo toàn động năng : "Sự thay đổi động năng của khối lượng một vật chuyển động trong một khoảng thời gian nào đó bằng tổng số công của tất cả những lực tác dụng lên vật ấy cũng trong khoảng thời gian đó".

Ứng dụng định luật bảo toàn động năng vào chuyển động của đoạn chất lỏng AB. Trên hình 3-10 ta thấy khi đoạn chất lỏng chuyển động từ AB đến A'B', ta xem như phần đoạn A'B' ở tại chỗ, còn thể tích chất lỏng AA' dịch chuyển đến vị trí mới BB'. Do đó sự thay đổi động năng của tất cả đoạn AB sẽ bằng hiệu số động năng của thể tích BB' và AA'.

$$\text{Ta có :} \quad E_{KAA'} = \frac{\rho u_1^2}{2} = \frac{\rho d\omega_1 dS_1 u_1^2}{2}$$



Hình 3-10

$$E_{KBB'} = \frac{\rho u_2^2}{2} = \frac{\rho d \omega_2 ds_2 u_2^2}{2}$$

Thay  $\rho = \frac{\gamma}{g}$ ,  $ds_1 = u_1 dt$ ,  $ds_2 = u_2 dt$  ta có :

$$E_{KAA'} = \frac{\gamma u_1^2 u_1 d\omega_1 dt}{2g} = \frac{\gamma u_1^2 dQ dt}{2g}$$

$$E_{KBB'} = \frac{\gamma u_2^2 u_2 d\omega_2 dt}{2g} = \frac{\gamma u_2^2 dQ dt}{2g}$$

Do đó sự thay đổi động năng sau thời gian  $dt$  của đoạn AB sẽ bằng :

$$\Delta E_K = E_{KBB'} - E_{KAA'} = \gamma dQ \left( \frac{u_2^2}{2g} - \frac{u_1^2}{2g} \right) dt \quad (3-27)$$

Công của các lực tác dụng lên khối chất lỏng AB gồm công của động áp lực và công của trọng lực.

$$\begin{aligned} \text{Công của động áp lực là : } \Delta E_p &= p_1 d\omega_1 ds_1 - p_2 d\omega_2 ds_2 \\ &= (p_1 - p_2) dQ dt \end{aligned} \quad (3-28)$$

Còn công của trọng lực, theo cách phân tích hiện tượng đã nói trên, bằng công của trọng lượng chất lỏng  $\gamma dQ dt$  trong đoạn AA' đến BB' theo phương thẳng đứng từ  $Z_1$  đến  $Z_2$  :

$$\Delta E_g = \gamma dQ (Z_1 - Z_2) dt \quad (3-29)$$

Công của các lực khác vuông góc với trục chuyển động của ống dòng bằng 0. Vậy:

$$\Delta E_K = \Delta E_p + \Delta E_g \quad (3-30)$$

$$\gamma dQ \left( \frac{u_2^2}{2g} - \frac{u_1^2}{2g} \right) dt = (p_1 - p_2) dQ dt + \gamma dQ (Z_1 - Z_2) dt$$

rút gọn và sắp xếp lại :

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g}$$

Vì các mặt cắt I-I và II-II ta chọn tùy ý nên có thể viết :

$$Z + \frac{p}{\gamma} + \frac{u^2}{2g} = \text{const} \quad (3-31)$$

Phương trình (3-31) là phương trình Bernoulli cho dòng nguyên tố chất lỏng lý tưởng, chảy ổn định, xác định mối liên hệ giữa vận tốc, áp suất thủy động và độ cao hình học của chất điểm trong dòng nguyên tố chất lỏng lý tưởng.

### 3.5.2. Ý nghĩa hình học và năng lượng của phương trình Bernoulli

a) Ý nghĩa thủy lực hay hình học : Để hiểu rõ ý nghĩa những thành phần của phương trình Bernoulli ta quan sát hình 3-11 vẽ dòng nguyên tố chất lỏng chuyển động. Tại trọng tâm



mặt cắt 1-1 và 2-2 ở độ cao  $Z_1$  và  $Z_2$  trên mặt chuẩn 0-0, ta đặt các ống Pito kép để xác định độ cao đo áp và độ cao vận tốc :

Ta có :  $Z$  - độ cao hình học ;  $\frac{p}{\gamma}$  - độ cao đo áp ;  $\frac{u^2}{2g}$  - độ cao vận tốc ;  $Z, \frac{p}{\gamma}, \frac{u^2}{2g}$  đều có thứ nguyên là độ dài.

$$Z + \frac{p}{\gamma} = H_t - \text{cột áp tĩnh ;}$$

$$Z + \frac{p}{\gamma} + \frac{u^2}{2g} = H_d - \text{cột áp thủy động.}$$

Trong dòng nguyên tố chất lỏng lý tưởng chảy ổn định, cột áp thủy động là một hằng số :

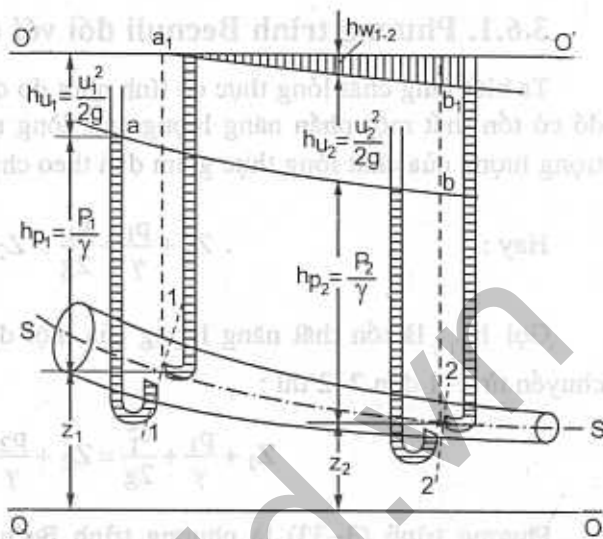
$$H_d = Z + \frac{p}{\gamma} + \frac{u^2}{2g} = \text{const}$$

b) Ý nghĩa năng lượng : Trong thủy tĩnh học ta đã xét ý nghĩa năng lượng của hai số hạng  $Z$  và  $\frac{p}{\gamma}$ .

$Z$  - là vị năng của một đơn vị trọng lượng chất lỏng so với mặt chuẩn, gọi tắt là vị năng đơn vị hay tỷ vị năng ;  $\frac{p}{\gamma}$  - là áp năng của một đơn vị trọng lượng chất lỏng gọi tắt là áp năng đơn vị hay tỷ áp năng ;  $Z + \frac{p}{\gamma}$  là thế năng của một đơn vị trọng lượng chất lỏng gọi tắt là thế năng đơn vị hay tỷ thế năng ;  $\frac{u^2}{2g}$  là động năng của một đơn vị trọng lượng chất lỏng gọi tắt là động năng đơn vị hay tỷ động năng ;  $Z + \frac{p}{\gamma} + \frac{u^2}{2g}$  là năng lượng toàn phần của một đơn vị trọng lượng chất lỏng gọi tắt là tỷ năng toàn phần.

Đường biểu diễn thế năng đơn vị  $\left( Z + \frac{p}{\gamma} \right)$  của dòng chảy gọi là đường đo áp (đường ab trong hình 3-11).

Đường biểu diễn năng lượng đơn vị  $\left( Z + \frac{p}{\gamma} + \frac{u^2}{2g} \right)$  của dòng chảy tức là cũng biểu diễn cột áp thủy động  $H_d$  gọi là đường năng (đường  $a_1b_1$  hình 3-11).



Hình 3-11



### 3.6. PHƯƠNG TRÌNH BECNULI ĐỐI VỚI DÒNG CHẤT LỎNG THỰC

#### 3.6.1. Phương trình Becnuli đối với dòng nguyên tố chất lỏng thực

Ta biết rằng chất lỏng thực có tính nhớt do đó gây ra sức cản trong khi chuyển động và do đó có tổn thất một phần năng lượng của dòng nguyên tố, vì vậy năng lượng của một đơn vị trọng lượng của chất lỏng thực giảm dần theo chiều dài dòng chảy, nghĩa là  $E_1 > E_2$ .

$$\text{Hay : } Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g} > Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g} \quad (3-32)$$

Gọi  $h'_{w1-2}$  là tổn thất năng lượng của một đơn vị trọng lượng chất lỏng khi chất lỏng di chuyển từ 1-1 đến 2-2 thì :

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g} + h'_{w1-2} \quad (3-33)$$

Phương trình (3-33) là phương trình Becnuli viết cho dòng nguyên tố chất lỏng thực chuyển động ổn định.

Để đặc trưng cho điều kiện chảy của chất lỏng thực ta đưa ra những khái niệm về độ dốc hình học  $i$ , độ dốc đo áp  $I$  và độ dốc thủy lực  $J$ .

Độ dốc hình học là độ hạ thấp đáy dòng chảy trên một đơn vị chiều dài nghĩa là :

$$i = \frac{dZ}{dL} \approx \frac{Z_1 - Z_2}{L_{1-2}} = \sin \alpha \quad (3-34)$$

trong đó :  $\alpha$  – góc nghiêng của dòng chảy so với mặt phẳng nằm ngang.

Độ dốc đo áp là độ hạ thấp của đường đo áp trên một đơn vị chiều dài của dòng chảy:

$$I = \frac{d\left(Z + \frac{p}{\gamma}\right)}{dL} = \frac{\left(Z_1 + \frac{p_1}{\gamma}\right) - \left(Z_2 + \frac{p_2}{\gamma}\right)}{L_{1-2}} \quad (3-35)$$

Độ dốc thủy lực là độ hạ thấp của đường năng trên một đơn vị chiều dài, hay nói cách khác là tổn thất năng lượng trên một đơn vị chiều dài dòng chảy :

$$J = \frac{dh_w}{dL} = \frac{\left(Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g}\right) - \left(Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g}\right)}{L_{1-2}} = \frac{h'_{w1-2}}{L_{1-2}} \quad (3-36)$$

**Nhận xét :** Độ dốc đo áp có thể có trị số âm hay trị số dương tùy theo sự thay đổi áp suất trong dòng chảy. Còn độ dốc thủy lực bao giờ cũng có trị số dương vì tổn thất năng lượng  $h'_w$  luôn tăng dọc dòng chảy.

Độ dốc đo áp trong dòng chảy chất lỏng thực khác độ dốc đo áp trong dòng chảy chất lỏng lý tưởng.

Trong trường hợp chuyển động đều, đường đo áp và đường năng song song do đó  $I = J$ .

Trường hợp dòng chảy đều trong kênh hở :  $i = I = J$ .

### 3.6.2. Phương trình Bernouli đối với toàn dòng chất lỏng thực

Mở rộng phương trình Bernouli đối với dòng nguyên tố chất lỏng thực ra toàn dòng chất lỏng bằng cách cộng năng lượng của các dòng nguyên tố tạo thành dòng chảy và cộng tổn thất của những dòng ấy.

Nếu biểu thị trọng lượng chất lỏng của dòng nguyên tố chảy trong một đơn vị thời gian  $\gamma dQ$  và nhân với cả hai vế của (3-33) ta có biểu thức năng lượng của dòng nguyên tố trong mặt cắt 1-1 và 2-2:

$$\left( Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g} \right) \gamma dQ = \left( Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g} \right) \gamma dQ + h'_{w_{1-2}} \gamma dQ \quad (3-37)$$

Tích phân biểu thức trên theo mặt cắt toàn dòng chảy :

$$\int_{\omega_1} \left( Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g} \right) \gamma dQ = \int_{\omega_2} \left( Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g} \right) \gamma dQ + \int_{\omega_2} h'_{w_{1-2}} \gamma dQ \quad (3-38)$$

Ta biết rằng áp suất thủy động trong dòng chảy đều và dòng biến đổi chậm phân bố theo quy luật thủy tĩnh  $Z + \frac{p}{\gamma} = \text{const}$  trên một mặt cắt ướt.

Với điều kiện hạn chế trên ta viết được :

$$\begin{aligned} \int_{\omega_1} \left( Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} \right) \gamma dQ &= \gamma \left( Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} \right) \int_{\omega_1} dQ = \gamma Q \left( Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} \right) \\ \int_{\omega_2} \left( Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} \right) \gamma dQ &= \gamma \left( Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} \right) \int_{\omega_2} dQ = \gamma Q \left( Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} \right) \end{aligned} \quad (3-39)$$

Các tích phân này biểu thị thế năng của lưu lượng  $\gamma Q$ .

Tích phân  $\int_{\omega_2} h'_{w_{1-2}} \gamma dQ$  biểu thị tổng số các tổn thất năng lượng đơn vị của tất cả các dòng nguyên tố trong toàn dòng chảy từ mặt cắt 1-1 đến mặt cắt 2-2. Nếu gọi  $h_{w_{1-2}}$  là tổn thất năng lượng đơn vị trung bình trên đoạn dòng chảy đó, ta có :

$$\int_{\omega_2} h'_{w_{1-2}} \gamma dQ = \gamma Q h_{w_{1-2}} \quad (3-40)$$

Các tích phân có dạng  $\int_{\omega} \frac{u^2}{2g} \gamma dQ$  biểu thị tổng số các động năng của các dòng nguyên tố,

ký hiệu là  $E_{dn}^u$  :

$$E_{dn}^u = \int_{\omega} \frac{u^2}{2g} \gamma dQ = \frac{\gamma}{2g} \int_{\omega} u^2 dQ \quad (3-41)$$

Việc tính tích phân này phức tạp vì chưa biết quy luật phân bố vận tốc  $u$  trong mặt cắt toàn dòng chảy. Để đơn giản ta thay vận tốc  $u$  của các dòng nguyên tố bằng vận tốc trung bình  $v$  của toàn dòng chảy. Ta có :

$$E_{dn}^v = \frac{\gamma}{2g} \int_{\omega} v^2 dQ = \gamma Q \frac{v^2}{2g} \quad (3-42)$$

Vì sự phân bố của  $u$  khác sự phân bố của  $v$  nên  $E_{dn}^u \neq E_{dn}^v$ .

Để thay  $\int_{\omega} \frac{u^2}{2g} \gamma dQ$  bằng  $\int_{\omega} \frac{v^2}{2g} \gamma dQ$  ta đưa vào hệ số  $\alpha$  là hệ số để hiệu chỉnh sự phân bố vận tốc không đều trong tính toán động năng (hệ số hiệu chỉnh động năng – hệ số Coriolis)

$$\alpha = \frac{E_{dn}^u}{E_{dn}^v} \quad (3-43)$$

$\alpha = 1,01 \div 2$  tùy theo chế độ chảy (tầng, rối) và hình dạng kích thước dòng chảy.

Thay (3-43) vào (3-42) ta có :

$$E_{dn}^u = \int_{\omega} \frac{u^2}{2g} \gamma dQ = \alpha \frac{v^2}{2g} \gamma Q \quad (3-44)$$

Thay các trị số tính được ở (3-39), (3-40) và (3-44) vào (3-38) ta có :

$$\gamma Q \left( Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} \right) + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \gamma Q = \gamma Q \left( Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} \right) + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} \gamma Q + \gamma Q h_{w1-2}$$

Hay đơn giản cho  $\gamma Q$  :

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_{w1-2} \quad (3-45)$$

Phương trình (3-45) là phương trình Bernoulli cho toàn dòng chất lỏng thực. Nó được dùng rộng rãi để giải các bài toán trong thủy lực và thủy khí động lực học.

*Lưu ý* : Việc mở rộng phương trình Bernoulli không phải đối với loại dòng chảy nào cũng làm được. Ở trên ta đã tiến hành mở rộng được trong điều kiện dòng chảy đều và biến đổi chậm.

Trong trường hợp chuyển động tương đối hoặc chuyển động không đều (chảy không ổn định) thì trường hợp tổng quát phương trình Bernoulli viết cho toàn dòng chất lỏng thực, ngoài các số hạng của phương trình đã nêu trên còn phải kể thêm thành phần tổn thất cột áp quán tính.

### 3.7. MỘT SỐ ỨNG DỤNG CỦA PHƯƠNG TRÌNH BECNULI

Phương trình Bernoulli được ứng dụng rất rộng rãi trong nhiều ngành kỹ thuật để giải quyết nhiều vấn đề trong thực tiễn. Một số chương tiếp theo của giáo trình có thể coi là những ứng

dụng của phương trình Becnuli như : dòng chảy qua lỗ, vòi, đập tràn, trong ống, trong kênh ; trong hệ thống cung cấp nước, máy bơm...

Dưới đây chỉ nêu một số ứng dụng cụ thể của phương trình Becnuli.

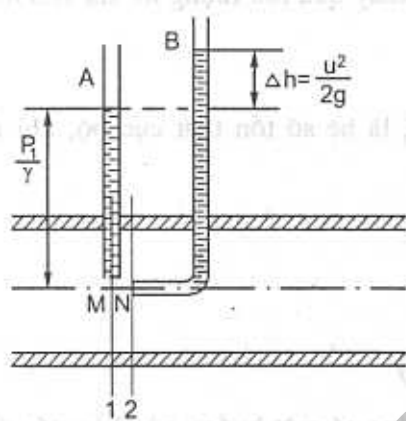
### 3.7.1. Dụng cụ đo vận tốc, ống Pito-Prandtl

Để đo vận tốc của một điểm trong dòng chảy ta cắm ống đo áp và ống Pito hình chữ L vào dòng chảy như hình vẽ (H. 3-12).

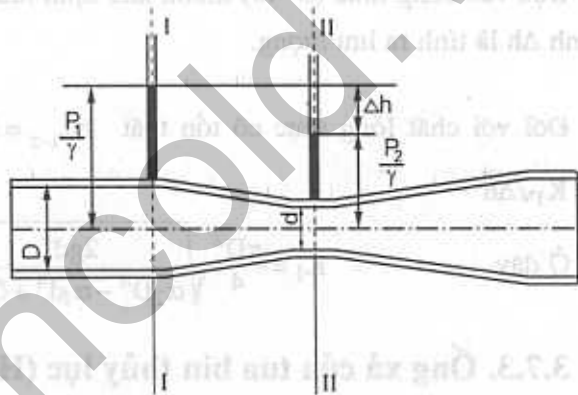
Ống đo áp cho giá trị  $\left(Z + \frac{p}{\gamma}\right)$  còn độ chênh  $\Delta H = \frac{u^2}{2g}$

suy ra :  $u = \sqrt{2g\Delta H}$

Kết hợp hai ống này được ống Pito-Prandtl (hay còn gọi là ống Pito kép).



Hình 3-12



Hình 3-13

### 3.7.2. Lưu lượng kế Venturi

Là một dụng cụ dùng để đo lưu lượng dòng chảy trong ống, gồm một đoạn ống hình côn thu hẹp và một đoạn ống hình côn mở rộng ghép với nhau bằng một đoạn ống ngắn hình trụ. Đặt hai ống đo áp, một ở đầu ống hình côn (mặt cắt 1-1) và một ở đoạn ống hình trụ (mặt cắt 2-2) (H. 3-13).

Viết phương trình Becnuli cho mặt cắt 1-1 và 2-2, mặt chuẩn trùng với trục ống, bỏ qua  $h_w$  ta có :

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} ;$$

ở đây hệ số động năng  $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$ .

Theo phương trình liên tục của dòng chảy, có thể viết :

$$v_2 = v_1 \frac{\omega_1}{\omega_2} = v_1 \frac{D^2}{d^2}$$

Thay vào phương trình trên :

$$\frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \frac{\Delta p}{\gamma} = \frac{v_1^2}{2g} \left( \frac{D^4}{d^4} - 1 \right)$$

hay 
$$v_1 = \sqrt{\frac{d^4}{D^4 - d^4}} \sqrt{2g \frac{\Delta p}{\gamma}} = \sqrt{\frac{d^4}{D^4 - d^4}} \cdot \sqrt{2g \Delta h}$$

$\frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \Delta h$  là độ chênh của hai độ cao đo áp, lưu lượng chất lỏng đi qua lưu lượng kế bằng :

$$Q = v_1 \omega_1 = \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{\frac{d^4}{D^4 - d^4}} \sqrt{2g \Delta h} = K \sqrt{\Delta h} \quad (3-46)$$

Dựa vào công thức (3-46) muốn xác định lưu lượng chảy qua lưu lượng kế chỉ cần đo độ chênh  $\Delta h$  là tính ra lưu lượng.

Đối với chất lỏng thực có tổn thất  $h_{w_{1-2}} = \zeta \frac{v_1^2}{2g}$ ,  $\zeta$  là hệ số tổn thất cục bộ, khi đó :

$$Q = K_1 \sqrt{\Delta h}$$

Ở đây 
$$K_1 = \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{\frac{2gd^4}{\alpha_2 D^4 - \alpha_1 d^4 + \zeta d^4}}$$

### 3.7.3. Ống xả của tua bin thủy lực (H. 3-14)

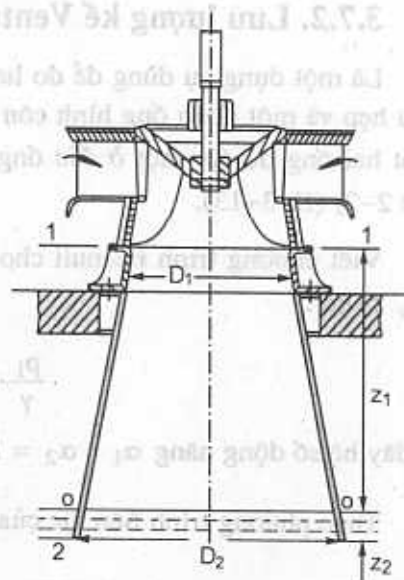
Trong các nhà máy thủy điện, bên dưới tua bin thủy lực có một buồng xả nhằm tác dụng nâng cao hiệu suất của tua bin. Mặt cắt 1-1 là mặt cắt ra của tua bin, đặt cao hơn mặt nước của kênh tháo một đoạn  $Z_1$  (để tránh lụt chằng hạn). Vận tốc nước ra khỏi tua bin là  $v_1$ . Nếu ta để mặt cắt ra của tua bin thông với không khí thì áp suất tại 1-1 là áp suất khí quyển  $p_a$ , ta sẽ không tận dụng được hết động năng

$\frac{v_1^2}{2g}$  và thế năng  $Z_1$  của dòng chảy.

Nếu tại mặt cắt ra của tua bin có lắp một ống hút loe dẫn, trong đó vận tốc được giảm dần đến không tại mặt cắt 2-2. Viết phương trình Bernoulli cho hai mặt cắt (1-1) và (2-2), mặt chuẩn (0-0) ta có :

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = -Z_2 + \frac{p_2}{\gamma}$$

ở đây :  $v_2 \approx 0$ ,  $h_{w_{1-2}} \approx 0$ ,  $\alpha_1 = 1$



Hình 3-14

Rút ra 
$$\frac{P_1}{\gamma} = \frac{P_2}{\gamma} - Z_1 - Z_2 - \frac{v_1^2}{2g}$$

Mặt khác 
$$P_2 = P_a + \gamma Z_2$$

Do đó : 
$$\frac{P_1}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma} - Z_1 - \frac{v_1^2}{2g}$$

Rõ ràng  $p_1$  bé hơn áp suất khí quyển  $p_a$ , vì vậy trong ống xả xuất hiện áp suất chân không có tác dụng hút nước trong tua bin ra. Như vậy, nhờ ống xả, áp suất tại mặt cắt ra của tua bin giảm bớt một lượng tương đương  $Z_1 + \frac{v_1^2}{2g}$  so với khi chưa lắp ống. Cột nước trên tua bin đáng lẽ mất một phần năng lượng  $\left( Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} \right)$ , nhưng nhờ ống xả nên thu lại được năng lượng đó để cung cấp thêm cho tua bin.

*Tóm lại, các bước áp dụng phương trình Bernouli như sau :*

- Chọn mặt cắt cho phù hợp điều kiện lập phương trình nói trên và tạo điều kiện để dễ dàng giải bài toán, như qua những mặt cắt, qua những điểm tại đó có một số yếu tố cần thiết hoặc cần tìm.
- Chọn điểm viết phương trình sao cho viết phương trình được đơn giản giảm bớt các ẩn số không cần thiết.
- Chọn mặt chuẩn cũng chú ý làm đơn giản phương trình, nên tránh những trị số âm cho các độ cao hình học  $Z$  và cho  $Z + \frac{P}{\gamma}$ .
- Lưu lượng qua các mặt cắt không đổi  $Q = \omega v = \text{const.}$
- Áp suất có thể là tuyệt đối, dư, nhưng phải thống nhất cho 2 vế, nếu lấy áp suất dư thì tại mặt cắt nào đó có áp suất chân không phải đổi dấu.



## Chương 6

### DÒNG CHẢY QUA LỖ - VÒI - ĐẬP TRẦN

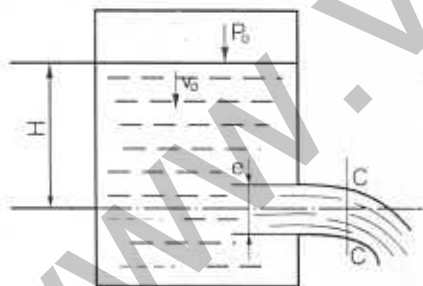
Trong thực tế thường gặp những trường hợp chảy qua lỗ, vòi như tháo nước, nhiên liệu từ bể, thùng chứa... nước hoặc chất lỏng khác chảy qua đập tràn để điều hòa mức nước hoặc do lưu lượng...

Mục đích chính của tính toán thủy lực dòng chảy qua lỗ, vòi, đập tràn là xác định vận tốc và lưu lượng. Về thực chất bài toán này chỉ là sự áp dụng linh hoạt phương trình Bernouli, phương trình liên tục và cách tính tổn thất năng lượng trong những điều kiện ảnh hưởng đến tính chất dòng chảy.

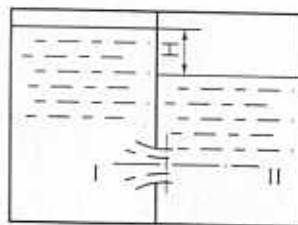
#### 6.1. CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN DÒNG CHẢY QUA LỖ

##### 6.1.1. Ảnh hưởng của môi trường bao quanh : Chảy tự do, chảy ngập

Tùy theo dòng chảy lỏng sau khi qua khỏi lỗ chảy vào môi trường khí hoặc vào môi trường chất lỏng ta gọi là chảy tự do (H. 6-1) hay chảy ngập (H. 6-2). Nếu chảy ngập, động năng của dòng chảy qua lỗ bị tiêu hao vào việc tạo nên những xoáy trong môi trường chất lỏng.



Hình 6-1



Hình 6-2

##### 6.1.2. Ảnh hưởng của kích thước so sánh giữa lỗ và cột áp H trên lỗ : Lỗ nhỏ, lỗ to

Gọi  $d$  là kích thước đặc trưng cho lỗ, ta có:

Lỗ nhỏ khi  $d < 0,1 H$

Lỗ lớn khi  $d \geq 0,1 H$

Đối với lỗ nhỏ, cột áp  $H$  trên mọi điểm của lỗ có thể coi như bằng nhau.

Trái lại, đối với lỗ to, cột áp tại các điểm phía trên và phía dưới khác nhau rõ rệt.

### 6.1.3. Ảnh hưởng bề dày thành lỗ : Lỗ thành mỏng, lỗ thành dày. Hiện tượng co hẹp dòng chảy

Tùy theo quan hệ kích thước so sánh giữa bề dày thành lỗ  $\delta$  và đường kính  $d$  ta phân ra:

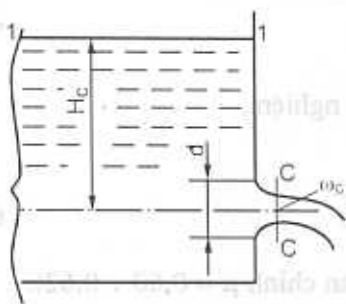
**Lỗ thành mỏng :**  $\delta < (3 \div 4) d$ . Dòng chảy sau khi qua khỏi cạnh lỗ không tiếp xúc với thành của lỗ mà tiếp tục thu nhỏ mặt cắt, tạo nên hiện tượng co hẹp dòng chảy (H. 6-3). Ví dụ dòng chảy khỏi lỗ tam giác có dạng hình sao 3 cánh, chảy khỏi lỗ tròn có dạng hình elip.

Để đánh giá mức độ co hẹp dòng chảy, trong thủy lực dùng khái niệm hệ số co hẹp dòng chảy ( $\epsilon$ ) là tỷ số giữa diện tích mặt cắt co hẹp ( $\omega_c$ ) và mặt cắt lỗ ( $\omega$ ):

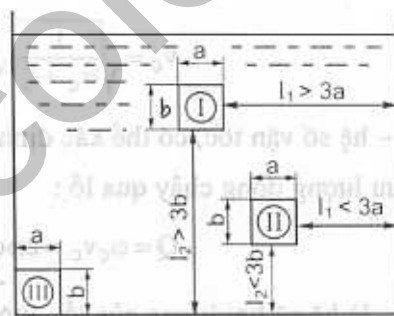
$$\epsilon = \frac{\omega_c}{\omega} \quad (6-1)$$

**Lỗ thành dày :**  $\delta \geq (3 \div 4) d$ . Dòng chảy qua lỗ thành dày cũng có bị co hẹp, nhưng sau đó mở rộng ra và bám vào thành của lỗ, chảy đầy lỗ.

### 6.1.4. Ảnh hưởng vị trí lỗ trên thành bể chứa : Co hẹp hoàn chỉnh và không hoàn chỉnh



Hình 6-3



Hình 6-4

Tùy theo vị trí của lỗ xa hay gần các thành khác của bể chứa (thành bên hay đáy) sự co hẹp của dòng chảy sẽ hoàn chỉnh hay không hoàn chỉnh.

Nếu cạnh bên và đáy ở cạnh lỗ lớn hơn 3 lần kích thước của lỗ, dòng chảy qua khỏi lỗ sẽ bị co hẹp mức độ lớn và đồng đều về mọi phía : Ta gọi sự co hẹp này là hoàn chỉnh (H. 6-4 - Lỗ I).

Ngược lại, lỗ càng gần các thành đáy bể chứa thì mức độ co hẹp càng giảm và sự co hẹp cũng không đồng đều theo mọi phía. Trường hợp này là co hẹp không hoàn chỉnh (H. 6-4 - Lỗ II ; III).

### 6.1.5. Ảnh hưởng của cột áp trên lỗ và số Reynolds (Re)

Với cột áp nhỏ, vận tốc qua lỗ nhỏ, số Re nhỏ, ảnh hưởng của lực nhớt lớn nhiều so với lực quán tính. Đến mức độ nào đó sẽ không có hiện tượng thu hẹp. Nếu cột áp giảm dần, dòng chảy sẽ không ổn định.

Số Re ảnh hưởng đến dòng chảy qua lỗ thông qua các hệ số vận tốc  $\varphi$ , hệ số lưu lượng  $\mu$ , hệ số tổn thất của lỗ  $\zeta$  mà sau này ta xét.

## 6.2. TÍNH TOÁN THỦY LỰC DÒNG CHẢY QUA LỖ NHỎ THÀNH MỎNG KHI CỘT ÁP KHÔNG ĐỔI

### 6.2.1. Tính toán thủy lực dòng chảy tự do

Quan sát dòng chảy qua lỗ nhỏ thành mỏng (H. 6-3).

Viết phương trình Bernoulli cho mặt cắt 1-1 và mặt cắt co hẹp dòng chảy c-c. Mặt chuẩn đi qua tâm mặt cắt co hẹp.

$$H_1 + \frac{P_a}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = \frac{P_a}{\gamma} + \frac{\alpha_c v_c^2}{2g} + \frac{\zeta v_c^3}{2g}$$

trong đó :  $v_1$  – vận tốc trên mặt cắt 1-1 ;

$v_c$  – vận tốc trên mặt cắt co hẹp.

Đặt  $H_0 = H_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g}$  là cột nước toàn phần hay tỷ năng toàn phần trên trọng tâm lỗ.

Ta tính được  $v_c$  theo biểu thức sau:

$$v_c = \sqrt{\frac{1}{\alpha_c + \zeta}} \sqrt{2gH_0} = \varphi \sqrt{2gH_0} \quad (6-2)$$

$\varphi$  – hệ số vận tốc, có thể xác định trực tiếp bằng thực nghiệm.

Lưu lượng dòng chảy qua lỗ :

$$Q = \omega_c v_c = \epsilon \omega \varphi \sqrt{2gH_0} = \mu \omega \sqrt{2gH_0} \quad (6-3)$$

$\mu$  – là hệ số lưu lượng của lỗ, luôn  $< 1$  (lỗ co hẹp hoàn chỉnh  $\mu = 0,60 + 0,62$ ).

Lưu ý : Các hệ số  $\epsilon$ ,  $\varphi$ ,  $\mu$  phụ thuộc trước tiên vào loại lỗ, số Re tiêu chuẩn cơ bản tương tự thủy động lực.

Trường hợp áp suất trên mặt tự do của chất lỏng khác áp suất khí quyển ( $P_0 > P_a$ ) thì công thức (6 - 2) và (6 - 3) có dạng:

$$v_c = \varphi \sqrt{2g \left( H_0 + \frac{P_0 - P_a}{\gamma} \right)} \quad (6-4)$$

$$Q = \mu \omega \sqrt{2g \left( H_0 + \frac{P_0 - P_a}{\gamma} \right)} \quad (6-5)$$

Để tính lưu lượng chảy qua lỗ lớn, thường dùng công thức :

$$Q = \frac{2}{3} \mu b \sqrt{2g} \left( H_{02}^{3/2} - H_{01}^{3/2} \right)$$

Nhưng ở đây, hệ số lưu lượng của lỗ lớn ( $\mu$ ) dao động trong một khoảng rộng do nhiều yếu tố ảnh hưởng đến trị số của nó : kích thước và dạng lỗ, cột áp trên miệng lỗ, điều kiện chảy, co hẹp dòng chảy, đặc điểm gia công cạnh sắc... (có thể sử dụng bảng tính  $\mu$  của Pavlôpski để chọn, tính toán lỗ).

## 6.2.2. Tính toán thủy lực dòng chảy ngập

Dòng chảy qua khỏi lỗ thành mỏng ngập dưới mặt nước, hình thành mặt cắt co hẹp c-c tại lỗ ra. Áp dụng phương trình Bernouli viết cho mặt cắt 1-1 và c-c, lấy mặt chuẩn qua trọng tâm lỗ (H. 6-5) :

$$\frac{P_a}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + H_1 = \frac{P_c}{\gamma} + \frac{\alpha_c v_c^2}{2g} + \zeta \frac{v_c^2}{2g}$$

mà 
$$\frac{P_c}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma} + H_2$$

Do đó ta có:

$$\frac{P_a}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + H_1 = \frac{P_a}{\gamma} + H_2 + \frac{\alpha_c v_c^2}{2g} + \zeta \frac{v_c^2}{2g}$$

Đặt 
$$H_o = H_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g}$$

Ta có: 
$$H_o - H_2 = (\alpha_c + \zeta) \frac{v_c^2}{2g}$$

Vận tốc tại mặt cắt co hẹp c-c bằng:

$$v_c = \sqrt{\frac{1}{\alpha_c + \zeta} \sqrt{2g(H_o - H_2)}} = \varphi \sqrt{2g(H_o - H_2)} \quad (6-6)$$

$\varphi$  - hệ số vận tốc.

Lưu lượng dòng chảy qua lỗ :

$$Q = \omega_c v_c = \varepsilon \omega v_c = \varepsilon \varphi \omega \sqrt{2g(H_o - H_2)} = \mu \omega \sqrt{2g(H_o - H_2)} \quad (6-7)$$

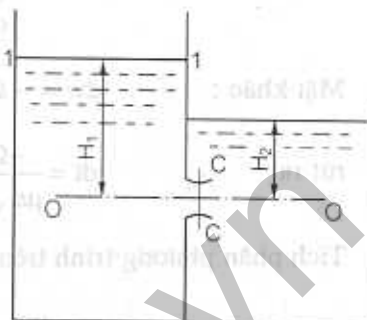
$\mu$  - hệ số lưu lượng (xác định như trường hợp dòng chảy tự do).

*Lưu ý* : Đối với dòng chảy ngập cột áp toàn phần tác dụng lên lỗ bằng hiệu số cột áp ở thượng lưu và hạ lưu, vì vậy không cần phân biệt lỗ to hay lỗ nhỏ.

## 6.3. TÍNH TOÁN THỦY LỰC DÒNG CHẢY QUA LỖ NHỎ THÀNH MỎNG KHI CỘT ÁP THAY ĐỔI

Trong trường hợp cột áp tác dụng lên lỗ thay đổi việc tính toán thủy lực phức tạp hơn vì dòng chảy ra khỏi lỗ không ổn định.

Xét một thùng chứa chất lỏng có mặt cắt không đổi qua lỗ (hoặc vòi) có mặt cắt  $\omega$ , nước chảy vào khí quyển (H. 6-6). Vấn đề cần giải quyết là khi biết trước cột áp  $H_1$ , mặt cắt thùng  $\Omega$ , phải xác định thời gian  $t$  để tháo nước một phần hay cả thùng nếu cho trước mặt cắt lỗ  $\omega$  hoặc ngược lại cho trước thời gian  $t$ , phải xác định  $\omega$ . Chẳng hạn cần phải xác định thời gian  $t$  để tháo nước từ  $H_1$  xuống  $H_2$ . Nếu mực nước thay đổi từ  $H$  thì trong khoảng thời gian vô cùng nhỏ  $dt$ , nước trong bình sẽ hạ xuống một khoảng cách là  $dH$ . Cột nước  $H$  để tính lưu lượng xem như không đổi.



Hình 6-5

Ứng dụng công thức tính lưu lượng chảy qua lỗ khi cột áp không đổi :

$$Q = \mu\omega\sqrt{2gH_0}$$

Vì phân thể tích nước chảy ra khỏi thùng  $dW$  sau thời gian  $dt$  sẽ bằng :

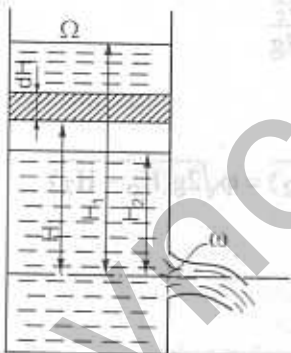
$$dW = \mu\omega\sqrt{2gH}.dt$$

Mặt khác :  $dW = -\Omega dH$ , do đó ta có  $\Omega dH = \mu\omega\sqrt{2gH}.dt$

rút ra:  $dt = \frac{-\Omega dH}{\mu\omega\sqrt{2gH}}$

Tích phân phương trình trên từ  $H_1$  đến  $H_2$  ta được :

$$t = \int_{H_1}^{H_2} \frac{-\Omega dH}{\mu\omega\sqrt{2gH}} = \frac{2\Omega(\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2})}{\mu\omega\sqrt{2g}} \quad (6-8)$$



Hình 6-6

Nếu tháo hết nước ra khỏi thùng  $H_2 = 0$  thì ta có :

$$t = \frac{2\Omega\sqrt{H_1}}{\mu\omega\sqrt{2g}} = \frac{2\Omega H_1}{\mu\omega\sqrt{2gH_1}} = \frac{2W}{Q_1} \quad (6-9)$$

trong đó:  $W = \Omega H_1$  - thể tích nước có ban đầu trong thùng ;

$Q = \mu\omega\sqrt{2gH_1}$  - lưu lượng nước chảy ra khỏi thùng ở cột áp ban đầu  $H_1$ .

Như vậy, thời gian tháo hết nước trong thùng khi cột nước giảm dần bằng 2 lần thời gian để tháo hết những lượng nước ấy nhưng cột áp không đổi và bằng  $H_1$ .

## 6.4. TÍNH TOÁN THỦY LỰC DÒNG CHẢY QUA VÒI

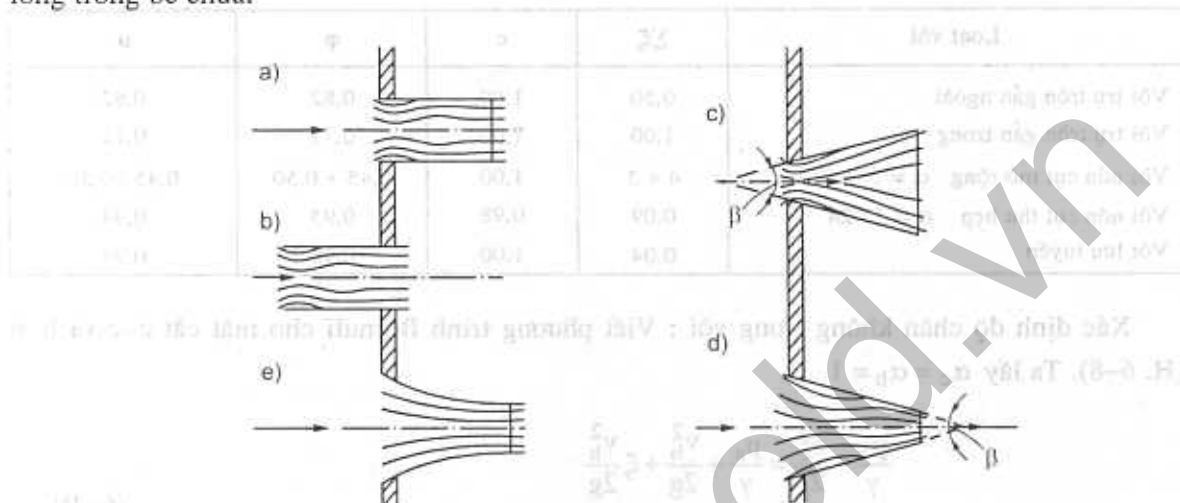
### 6.4.1. Phân loại và công dụng của vòi

Vòi là những ống ngắn gắn vào trong thành mỏng. Chiều dài của ống  $l \geq 3 \div 4$  lần đường kính  $d$ .

Đòng chảy qua vòi nối chung cũng bị co hẹp sau mặt cắt vào một ft (khoảng 0,5d), nhưng qua khỏi mặt cắt co hẹp, đòng chảy mở rộng ra và bám vào thành vòi. Quanh mặt cắt co hẹp có hiện tượng chân không.

Sau đây giới thiệu một số loại vòi thường gặp và công dụng cơ bản của chúng (H. 6-7).

– Vòi trụ tròn (gắn trong hoặc ngoài – H. 6-7 a,b). Loại này thường dùng để tháo chất lỏng trong bể chứa.



Hình 6-7

– Vòi hình nón cắt mở rộng (H. 6-7 c). Loại vòi này vẫn có hiện tượng co hẹp và chân không. Độ chân không tỷ lệ với độ lớn của góc mở rộng  $\beta$ , nhưng nếu lớn quá thì đòng chảy bị tách ra khỏi thành và không khí bên ngoài sẽ lọt vào phá hoại chân không làm cho đòng chảy giống đòng chảy qua lỗ (thực nghiệm cho thấy  $\beta = 5^\circ \div 7^\circ$  là tốt nhất). Loại vòi này tháo được lưu lượng lớn, vận tốc chảy ra nhỏ nên nó được ứng dụng ở những trường hợp cần có độ chân không lớn (máy bơm phun tia) và cần có vận tốc nhỏ (máy tưới phun mưa).

– Vòi hình nón cắt thu hẹp (H. 6-7d). Động năng của đòng chảy ra khỏi vòi khá lớn nên nó thường được sử dụng trong các thiết bị chữa cháy, trong tua bin xung kích, súng thủy lực đào đất, rửa quặng... Góc thu hẹp tốt nhất  $\beta = 13^\circ 24'$ .

– Vòi lưu tuyến (H. 6-7e). Hình dạng của vòi giống như hình dạng bố đường đòng trong vùng lân cận lỗ, không gây hiện tượng co hẹp, rất ít cản trở đòng chảy. Vì vậy hệ số lưu lượng của vòi lưu tuyến lớn hơn tất cả các vòi khác.

#### 6.4.2. Tính toán thủy lực vòi trụ tròn gắn ngoài, chảy ổn định không ngập

Tương tự như đòng chảy qua lỗ, ta dùng công thức sau đây để tính vận tốc và lưu lượng chảy qua vòi :

$$v = \varphi \sqrt{2gH_0} \quad ; \quad \varphi = \frac{1}{\alpha_c + \sum \zeta}$$

$\sum \zeta$  – là tổng số các hệ số cản trong vòi gồm có hệ số cản do thu hẹp đột ngột chảy vào vòi và hệ số cản do mở rộng đột ngột chỗ mặt cắt co hẹp. Vì chiều dài vòi nhỏ nên bỏ qua tổn thất dọc đường.



$$Q = \varepsilon \omega \varphi \sqrt{2gH_0} = \mu \omega \sqrt{2gH_0}$$

Các hệ số kháng  $\Sigma\zeta$ , hệ số co hẹp  $\varepsilon$ , hệ số vận tốc  $\varphi$  và hệ số lưu lượng  $\mu$  cho ở bảng 6-1 (Tính cho mặt cắt ra của vòi).

**Bảng 6-1**

Loại vòi	$\Sigma\zeta$	$\varepsilon$	$\varphi$	$\mu$
Vòi trụ tròn gắn ngoài	0,50	1,00	0,82	0,82
Vòi trụ tròn gắn trong	1,00	1,00	0,77	0,71
Vòi nón cụt mở rộng $\alpha = 5^\circ + 7^\circ$	4 ÷ 3	1,00	0,45 ÷ 0,50	0,45 ÷ 0,50
Vòi nón cụt thu hẹp $\alpha = 13^\circ 24'$	0,09	0,98	0,95	0,94
Vòi lưu tuyến	0,04	1,00	0,98	0,98

Xác định độ chân không trong vòi : Viết phương trình Bernuli cho mặt cắt c-c và b-b (H. 6-8). Ta lấy  $\alpha_c = \alpha_b = 1$

$$\frac{p_c}{\gamma} + \frac{v_c^2}{2g} = \frac{p_a}{\gamma} + \frac{v_b^2}{2g} + \zeta \frac{v_b^2}{2g} \quad (6-10)$$

$$\frac{p_a - p_c}{\gamma} = \frac{v_c^2}{2g} - \frac{v_b^2}{2g} (1 + \zeta)$$

Vì  $\omega_c = \varepsilon \omega$

Theo nguyên lý liên tục của dòng chảy :  
 $\omega_c v_c = \omega_b v_b$ , nên :

$$v_c = v_b \frac{\omega_b}{\omega_c} = v_b \frac{1}{\varepsilon}$$

Thay  $v_c$  vào (6-10) ta có:

$$h_{ck} = \frac{p_a - p_c}{\gamma} = \frac{v_b^2}{2g\varepsilon^2} - \frac{v_b^2}{2g} (1 + \zeta) =$$

$$= \frac{v_b^2}{2g} \left( \frac{1}{\varepsilon^2} - 1 - \zeta \right)$$

mà  $v_b = \varphi \sqrt{2gH_0}$ , thay vào phương trình trên ta được:

$$h_{ck} = \varphi^2 H_0 \left( \frac{1}{\varepsilon^2} - 1 - \zeta \right) \quad (6-11)$$

**Hình 6-8**

Thay các giá trị  $\varphi$ ,  $\zeta$ ,  $\mu$ ,  $\varepsilon$  từ bảng 6-1, đối với vòi trụ tròn gắn ngoài ta tính được:

$$h_{ck} = 0,764H_0$$

Qua đó ta nhận thấy rằng độ chân không trong và ngoài vòi có một giá trị giới hạn nhất định. Ứng với một nhiệt độ nhất định của chất lỏng, áp suất tại vùng chân không trong vòi nhỏ hơn áp suất bay hơi bão hòa thì sẽ xuất hiện hiện tượng xâm thực trong vòi làm ảnh hưởng khả năng chảy và độ bền vật liệu chế tạo vòi (bản chất của hiện tượng xâm thực ta sẽ nghiên cứu ở chương 9).

## 6.5. TÍNH TOÁN THỦY LỰC DÒNG CHẢY QUA ĐẬP TRÀN

### 6.5.1. Khái niệm chung và phân loại

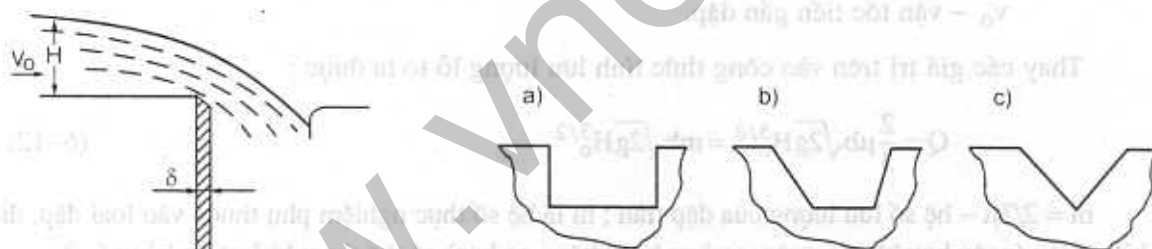
Những công trình nhân tạo ngăn cản dòng chảy và làm cho dòng chảy phải tràn qua gọi là đập tràn.

Đập tràn được ứng dụng rộng rãi trong các ngành thủy lợi, thủy điện, nông nghiệp, công trình công nghiệp...

Đập tràn được phân làm nhiều loại tùy theo ảnh hưởng của hình dạng và kích thước của ngưỡng tràn đối với dòng chảy qua đập tràn.

a) **Đập tràn thành mỏng (H. 6-9)** : Có bề dày đỉnh tràn nhỏ, không ảnh hưởng gì đến dòng chảy qua đập. Thường quy định  $\delta < 0,67 H$ . Trong đập tràn thành mỏng bao gồm nhiều loại, tùy theo hình dạng lỗ đập như đập chữ nhật, hình thang, tam giác... (H. 6-9).

Loại đập tràn thành mỏng thường được dùng trong phòng thí nghiệm để đo lưu lượng dòng chảy.



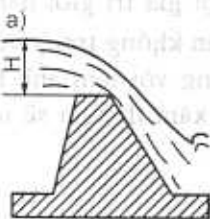
Hình 6-9

b) **Đập tràn mặt cát thực dụng** : Có bề dày đỉnh tràn khá lớn, ảnh hưởng đến dòng chảy qua đập. Thường quy định đập tràn có bề dày  $\delta$  trong giới hạn  $0,67 H \leq \delta \leq 3 H$  là đập tràn mặt cát thực dụng.

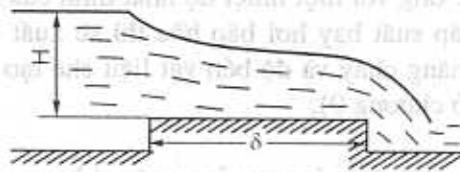
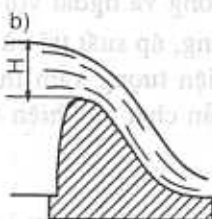
Có 2 loại đập tràn thực dụng: Đập tràn thực dụng hình cong (H. 6-10b) và đập tràn thực dụng hình đa giác (H. 6-10a).

Đập tràn thực dụng là loại phổ biến nhất trong thực tế xây dựng các công trình thủy lợi, thủy điện, cung cấp nước... Nó có thể làm bằng mọi vật liệu như gỗ, đá, bê tông... Tính chất của nó ổn định hơn về mặt chịu lực.

c) **Đập tràn đỉnh rộng** : Chiều dài ngưỡng tràn  $\delta$  khá lớn, ảnh hưởng đến dòng chảy qua nó. Dòng chảy qua ngưỡng tràn là dòng biến đổi chậm (các đường dòng hầu như song song với nhau). Thường quy định khi :  $3 H \leq \delta \leq 10 H$  đập tràn thuộc loại đập tràn đỉnh rộng, (H. 6-11).



Hình 6-10



Hình 6-11

### 6.5.2. Tính toán thủy lực đập tràn

Mục đích chủ yếu tính toán thủy lực đập tràn là nhằm xác định được lưu lượng  $Q$  thoát qua đập, xác định chiều rộng  $b$  hoặc là tính cột áp  $H$  trên đỉnh đập tràn.

Công thức tính tổng quát cho mọi loại đập tràn có thể rút ra từ công thức tính toán cho lỗ lớn, với quan điểm xem rằng sự chảy qua đập tràn tương tự như chảy qua lỗ lớn, mà cạnh trên của lỗ không có, ta có:

$$H_{o1} = 0 \text{ và } H_{o2} = H + \frac{\alpha v_o^2}{2g} = H_o$$

trong đó :  $H_o$  – cột áp toàn phần của đập tràn ;

$H$  – cột áp trên đỉnh đập tràn (không kể độ cao vận tốc tiến gần  $\frac{2v_o^2}{2g}$ ) ;

$v_o$  – vận tốc tiến gần đập.

Thay các giá trị trên vào công thức tính lưu lượng lỗ to ta được :

$$Q = \frac{2}{3} \mu b \sqrt{2g} H_o^{3/2} = m b \sqrt{2g} H_o^{3/2} \quad (6-12)$$

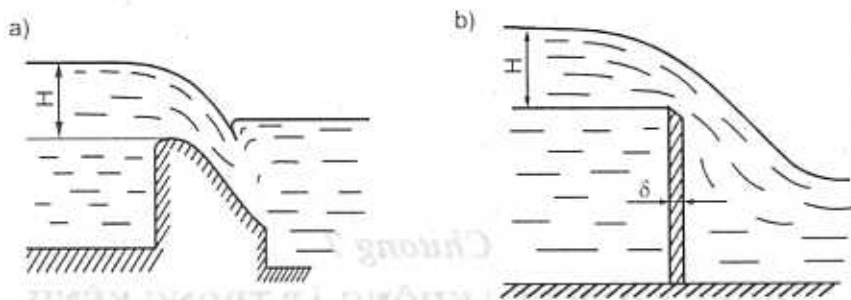
$m = 2/3\mu$  – hệ số lưu lượng của đập tràn ;  $m$  là hệ số thực nghiệm phụ thuộc vào loại đập, điều kiện chảy (ngập hay không ngập, co hẹp hay không co hẹp) có thể tham khảo trên bảng 6-2.

Bảng 6-2

Loại hình đập tràn	$m$
Đập tràn đỉnh rộng	0,35
Đập tràn có mặt cắt thực dụng không trơn tru (Hình thang, hình chữ nhật)	0,45
Đập tràn thành mỏng	0,42
Đập tràn có mặt cắt thực dụng hình cong không trơn tru:	
- Trị số thông thường	0,45
- Trị số lớn nhất	0,49

### 6.5.3. Một số điểm cần chú ý khi tính toán thủy lực đập tràn

Khi tính toán đập tràn cần chú ý đến một số yếu tố sau đây ảnh hưởng đến lưu lượng chảy qua đập tràn, làm cho các công thức tính toán ứng với mỗi trường hợp có khác đi một ít so với công thức tổng quát (6-12).



Hình 6-12

a) Ảnh hưởng của mức nước sau đập tràn (mức nước hạ lưu) : Mức nước sau đập tràn dâng cao lên đến một mức độ nào đó sẽ làm cản trở sự chảy của dòng nước qua đập. Trường hợp này gọi là đập tràn chảy ngập (H. 6-12a).

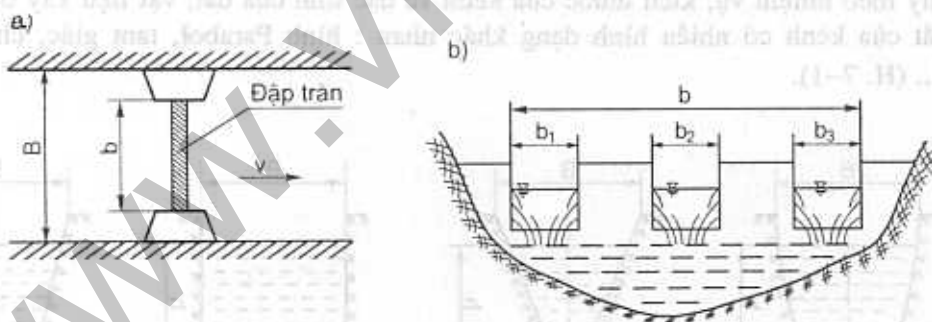
Nếu mức nước hạ lưu không cản trở dòng chảy qua đập tràn ta gọi là đập tràn chảy tự do (H. 6-12b).

Trong trường hợp đập tràn chảy ngập, hệ số lưu lượng đập tràn bị giảm so với trường hợp đập tràn chảy tự do. Mức độ giảm hệ số lưu lượng được đánh giá bằng hệ số ngập  $\sigma_n$  ( $\sigma_n \leq 1$ ) nghĩa là :  $m_n = \sigma_n m$

trong đó:  $m_n$  - hệ số lưu lượng của đập tràn chảy ngập ;

$m$  - hệ số lưu lượng của đập tràn ứng với lúc chảy tự do.

b) Ảnh hưởng của sự co hẹp bên : Sự co hẹp bên xảy ra khi chiều rộng đập tràn  $b$  nhỏ hơn chiều rộng dòng chảy nơi xây đập (H. 6-13a) hoặc là khi đập tràn có chiều dài tràn khá lớn người ta phải xây nhiều trụ đập để chia ra nhiều khoang tràn.



Hình 6-13

Những trụ đập cản trở dòng chảy, thu hẹp diện tràn (H. 6-13b) cho nên hệ số lưu lượng cũng bị giảm, nó được xác định như sau:

$$m_c = \epsilon m$$

trong đó :  $m_c$  - hệ số lưu lượng của đập tràn bị co hẹp bên ;

$m$  - hệ số lưu lượng của đập tràn ứng với lúc không co hẹp và chảy tự do.

c) Ảnh hưởng của cách bố trí đập tràn trên mặt bằng : Cách bố trí đập thẳng, xiên, cong... có ảnh hưởng đến lưu lượng nước thoát qua đập tràn.

Các trường hợp ảnh hưởng trên, khi tính toán cụ thể xem "Số tay tính toán thủy lực" của P.G Kixelôp.

## Chương 7

### ĐỒNG CHẢY ĐỀU KHÔNG ÁP TRONG KÊNH

Hình 6-12

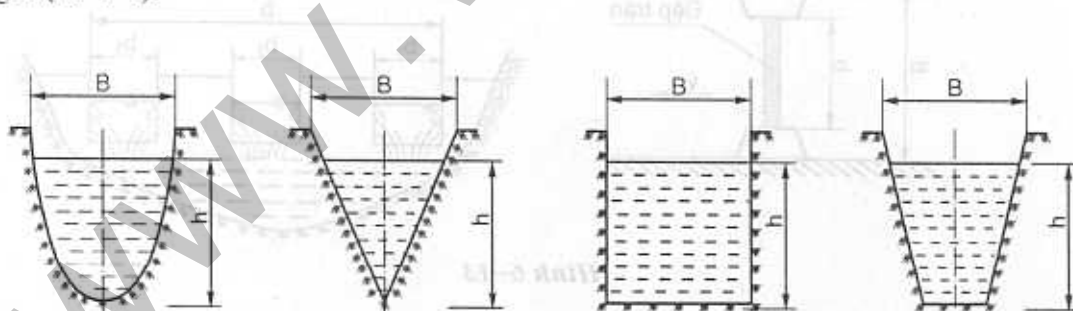
#### 7.1. KHÁI NIỆM VÀ PHÂN LOẠI

Kênh là dòng chảy nhân tạo có nhiều hình dạng khác nhau. Thông thường thì nước trong kênh có mặt thoáng tiếp xúc với khí quyển (áp suất dư trên mặt thoáng bằng 0).

Đồng chảy đều không áp trong kênh trước hết phải đảm bảo điều kiện của dòng chảy đều nói chung : lưu lượng, hình dạng và diện tích mặt cắt ướt, biểu đồ phân bố trên mặt cắt ướt, độ dốc đáy, độ nhám lòng kênh không đổi dọc theo dòng chảy và theo thời gian. Nhưng vì dòng chảy đều không áp có mặt thoáng nên phải thêm một điều kiện nữa là độ sâu  $h$  của dòng chảy không đổi và do đó việc tính toán thủy lực cho dòng chảy đều không áp phức tạp thêm.

Kênh được ứng dụng nhiều trong các ngành kinh tế quốc dân khác nhau. Trong nông nghiệp kênh dùng trong các hệ thống thủy nông để tưới, tiêu nước cho cây trồng ; kênh dẫn thoát nước trong nhà máy thủy điện ; trong giao thông vận tải kênh dùng để cho tàu, thuyền đi lại ; kênh cấp thoát nước trong công nghiệp, sinh hoạt...

Tùy theo nhiệm vụ, kích thước của kênh và đặc tính của đất, vật liệu xây dựng kênh mà mặt cắt của kênh có nhiều hình dạng khác nhau : hình Parabol, tam giác, chữ nhật, hình thang... (H. 7-1).



Hình 7-1

Vận tốc cho phép của kênh phải đảm bảo các yêu cầu sau :

- Vận tốc chảy trong kênh không được gây ra lở xói sườn kênh và lòng kênh, nghĩa là không được vượt quá vận tốc giới hạn lở xói. Trị số của nó phụ thuộc vào tính chất của đất hoặc vật liệu làm kênh.

- Vận tốc trong kênh không được gây ra bồi lắng lòng kênh bằng phù sa, nghĩa là không được nhỏ hơn vận tốc giới hạn bồi, phụ thuộc vào số lượng và độ lớn của phù sa và cả dạng của mặt cắt kênh.



Vận tốc trong kênh cũng không cho phép vận tốc làm lắng đọng cở đại hoặc rong rêu trong kênh.

Trị số vận tốc giới hạn cho phép thường được tính toán sẵn trong các sổ tay tính toán về thủy lực.

## 7.2. NHỮNG CÔNG THỨC CƠ BẢN TRONG TÍNH TOÁN THỦY LỰC VỀ KÊNH HÌNH THANG – MẶT CẮT LỢI NHẤT VỀ MẶT THỦY LỰC

### 7.2.1. Những công thức cơ bản trong tính toán thủy lực về kênh hình thang

Dòng chảy trong kênh là dòng chảy đều không áp nên các độ dốc hình học, độ dốc do áp, độ dốc thủy lực bằng nhau :

$$i = I = j$$

và phần lớn là trường hợp chảy rối nên ta ứng dụng được công thức Sedi để tính vận tốc trung bình  $v$  :

$$v = C\sqrt{RJ}$$

và tính lưu lượng  $Q$  :

$$Q = \omega v = C\omega\sqrt{RJ} = K\sqrt{J} \quad (7-1)$$

Hay :

$$i = J = \frac{v^2}{C^2 R} = \frac{Q^2}{\omega^2 C^2 R} = \frac{Q^2}{K^2}$$

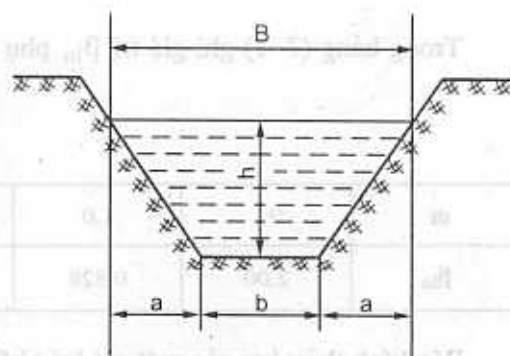
Ở kênh hình thang (H. 7-2) diện tích  $\omega$  của mặt cắt kênh được tính như sau :

$$\omega = \frac{b+B}{2} h = bh + mh^2 = h(b+mh) \quad (7-2)$$

trong đó :  $b$  - chiều rộng đáy kênh ;  $B$  - chiều rộng mặt kênh ;  $h$  - độ sâu ngập nước của kênh ;  
 $m = a/h = \cot\phi$  - hệ số mái sườn kênh.

Chu vi ướt của kênh :

$$\chi = b + 2h\sqrt{1+m^2} \quad (7-3)$$



Hình 7-2

Bán kính thủy lực của kênh :

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{h(b+mh)}{b+2h\sqrt{1+m^2}} \quad (7-4)$$

Nếu đặt  $b/h = \beta$  thì (7-2), (7-3), (7-4) có dạng sau :

$$\omega = (\beta + m) h^2 \quad (7-5)$$



$$\chi = (\beta + 2\sqrt{1+m^2})h \quad (7-6)$$

$$R = \frac{(\beta+m)h}{\beta+2\sqrt{1+m^2}} \quad (7-7)$$

### 7.2.2. Mặt cắt lợi nhất về mặt thủy lực của kênh hình thang

Mặt cắt lợi nhất về mặt thủy lực của kênh hình thang là mặt cắt với một diện tích cho trước, cùng độ dốc đáy và độ nhám lòng kênh cho lưu lượng lớn nhất. Hay nói cách khác là mặt cắt có bán kính thủy lực lớn nhất và chu vi ướt nhỏ nhất. Khi thiết kế cố gắng làm sao để mặt cắt kênh gần đúng với mặt cắt lợi nhất về thủy lực.

Từ (7-2) ta xác định được chiều rộng đáy kênh b :

$$b = \frac{\omega}{h} - mh$$

Thay vào (7-3) ta có :

$$\chi = \frac{\omega}{h} - mh + 2h\sqrt{1+m^2}$$

Khi  $\omega = \text{const}$  ta có  $\chi = f(h)$ , để  $\chi = \text{min}$  khi  $\frac{d\chi}{dh} = 0$

Và ta xác định được  $\beta$  cho mặt cắt có lợi nhất về mặt thủy lực, ký hiệu là  $\beta_{ln}$

$$\beta_{ln} = 2(\sqrt{1+m^2} - m) \quad (7-8)$$

Trong bảng (7-1) ghi giá trị  $\beta_{ln}$  phụ thuộc vào hệ số mái m :

**Bảng 7-1**

m	0	1,0	1,5	2,0	2,75	3,0
$\beta_{ln}$	2,00	0,828	0,606	0,472	0,385	0,325

Bán kính thủy lực của mặt cắt lợi nhất :

$$R_{ln} = \frac{\omega}{\chi_{ln}} = \frac{h^2(\beta_{ln} + m)}{h(\beta_{ln} + 2\sqrt{1+m^2})} = \frac{h}{2} \quad (7-9)$$

Ta thấy bán kính thủy lực của mặt cắt lợi nhất bằng một nửa độ sâu ngập nước. Nhưng kênh hẹp quá thường không tiện cho việc xây dựng cũng như trong sử dụng. Vì thế khi thiết kế kênh phải đi ngược lại từ mặt cắt lợi nhất về thủy lực và tính đến chiều rộng lớn hơn của kênh.

## 7.3. MỘT SỐ BÀI TOÁN CƠ BẢN THƯỜNG GẶP TRONG TÍNH TOÁN THỦY LỰC VỀ KÊNH HÌNH THANG

Từ công thức (7-1) trong những điều kiện cụ thể, tính toán thủy lực về kênh có thể chia ra hai loại bài toán cơ bản sau.

### 7.3.1. Đối với kênh đã biết

Nhiệm vụ là phải xác định một trong 6 đại lượng đã nêu trên khi đã biết 5 đại lượng.

a) Cho  $i, b, h, m, n$  – xác định  $Q$  : Tính  $\omega, R$  theo (7-2), (7-4) và  $C$ , thay vào (7-1), tìm  $Q$ .

b) Cho  $Q, b, h, m, n$  – xác định  $i$  : Tính  $\omega, R, C$  như trên rồi thay vào (7-1), tìm  $i$  :

$$i = \frac{Q^2}{\omega^2 C^2 R^2}$$

### 7.3.2. Thiết kế kênh mới

Trong trường hợp này thông thường đã biết tài liệu về địa hình, về vật liệu làm kênh và lưu lượng cần dẫn đi trong kênh. Từ bản đồ địa hình ta tiến hành chọn tuyến kênh và độ dốc đáy  $i$  sao cho phù hợp nhất với những yêu cầu về thủy lực và kinh tế. Căn cứ vào vật liệu làm kênh ta xác định hệ số mái  $m$  và hệ số nhám  $n$  của lòng kênh. Nhiệm vụ là phải xác định kích thước mặt cắt kênh để dẫn được một lưu lượng cho trước.

Bài toán này theo (7-1) ta có một phương trình 2 ẩn số, vì vậy muốn giải được ta phải chọn trước 1 nghiệm, tức là chọn trước 1 kích thước kênh hoặc tìm thêm một mối quan hệ giữa  $b$  và  $h$  bằng 1 phương trình nữa. Ta có thể gặp 3 bài toán cơ bản sau đây :

a) Cho trước  $b$ , xác định  $h$  : Lúc này phương trình (7-1) chỉ còn một ẩn  $h$ , nhưng trực tiếp rút  $h$  từ (7-1) là một việc rất phức tạp nên ta áp dụng phương pháp thử dần để giải bài toán này. Một mặt, ta tự chọn trị số  $h$  rồi tính ra  $\omega, C, R, K$  tương ứng. Mặt khác ta có  $K_0 = \frac{Q}{\sqrt{i}}$ .

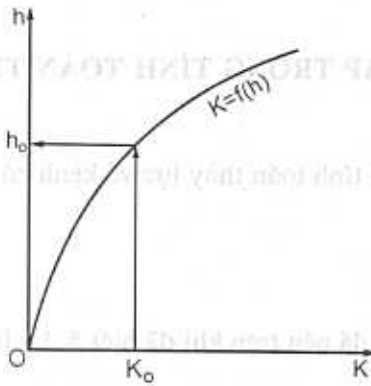
Vậy trị số  $h$  phải tìm là trị số có  $K$  tương ứng với nó bằng trị số  $K_0$ .

Để tính toán nhanh chóng hơn ta có thể giải bài toán bằng phương pháp đồ thị. Tự cho vài trị số  $h$  rồi tính  $K$  để vẽ ra đường cong  $K = f(h)$  (H. 7-3).

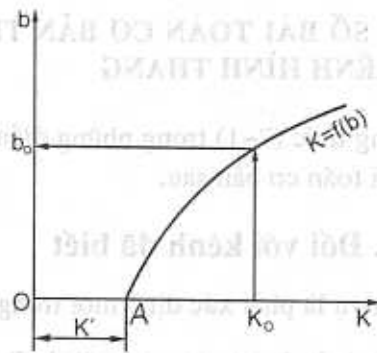
Từ trị số  $K_0$  đã biết ta xác định trên đường cong điểm có trị số  $h_0$  phải tìm. Bài toán này luôn luôn có nghiệm với bất cứ trị số  $K_0$  nào.

Trường hợp chọn trước  $h$ , xác định  $b$  từ (7-1),  $K$  là một hàm số của  $b$  :  $K = f(b)$ .

Ta tiến hành giải bài toán hoàn toàn tương tự như trường hợp tìm  $h$  ở trên. Nhưng chú ý rằng đường cong  $K = f(b)$  trên tọa độ  $(K, b)$  không đi qua gốc tọa độ mà cắt trục  $OK$  tại  $A$  (H. 7-4). Đoạn  $OA$  tương ứng trị số  $K'$  của kênh có mặt cắt hình tam giác ( $b = 0$ ). Vậy bài toán chỉ có lời giải với các trị số  $K_0 > K'$ .



Hình 7-3



Hình 7-4

b) Tự chọn trước  $\beta = \frac{b}{h}$  - xác định  $b, h$  : Nếu thay  $b = \beta h$  và  $m = a/h$  thì (7-1) sẽ có một phương trình một ẩn là  $h$  hoặc  $b$ . Bài toán trở về trường hợp a) đã xét ở trên. Có thể chọn  $\beta$  theo  $\beta_{in}$  và khi đó phương trình thứ hai là (7-8).

c) Cho trước  $R$  hoặc  $v$  - xác định  $b, h$  : Giả sử cho biết  $R$ , từ (7-1) ta có :

$$\omega = \frac{Q}{C\sqrt{Ri}}$$

Mặt khác :

$$\chi = b + 2h\sqrt{1+m^2}$$

Vậy ta có hệ phương trình với hai ẩn số  $b$  và  $h$  sau :

$$\begin{cases} (b+mh)h = \omega \\ b + 2h\sqrt{1+m^2} = \frac{\omega}{R} \end{cases} \quad (7-10)$$

Giải hệ phương trình trên ta sẽ tìm được  $b$  và  $h$ .

- Giả sử cho biết  $v$  :

Từ công thức Sedi  $v = C\sqrt{Ri}$  ta viết được :

$$C\sqrt{R} = \frac{1}{n}R^{y+0,5} = \frac{v}{\sqrt{i}}$$

Biết  $\frac{v}{\sqrt{i}}$  và  $n$  đồng thời xác định được  $y$  ta tìm được  $R$ .

Trị số  $y$  có thể lấy theo công thức của Manning hoặc Pavlópki để tính  $R$  (xem phụ lục).

Sau khi có  $R$ , bài toán trở về trường hợp trên và giải hệ phương trình (7-10).

Ta biết rằng trong mặt cắt có lợi nhất về thủy lực trị số  $R_{in}$  và  $v_{in}$  lớn nhất và  $\omega_{in}$  nhỏ nhất. Như vậy bài toán chỉ có lời giải nếu như trị số cho trước  $R$  và  $v$  nhỏ hơn  $R_{in}$  và  $v_{in}$  của mặt cắt có lợi nhất về thủy lực.

## Chương 8

### DÒNG TIA

#### 8.1. KHÁI NIỆM VỀ DÒNG TIA

##### 8.1.1. Định nghĩa và phân loại

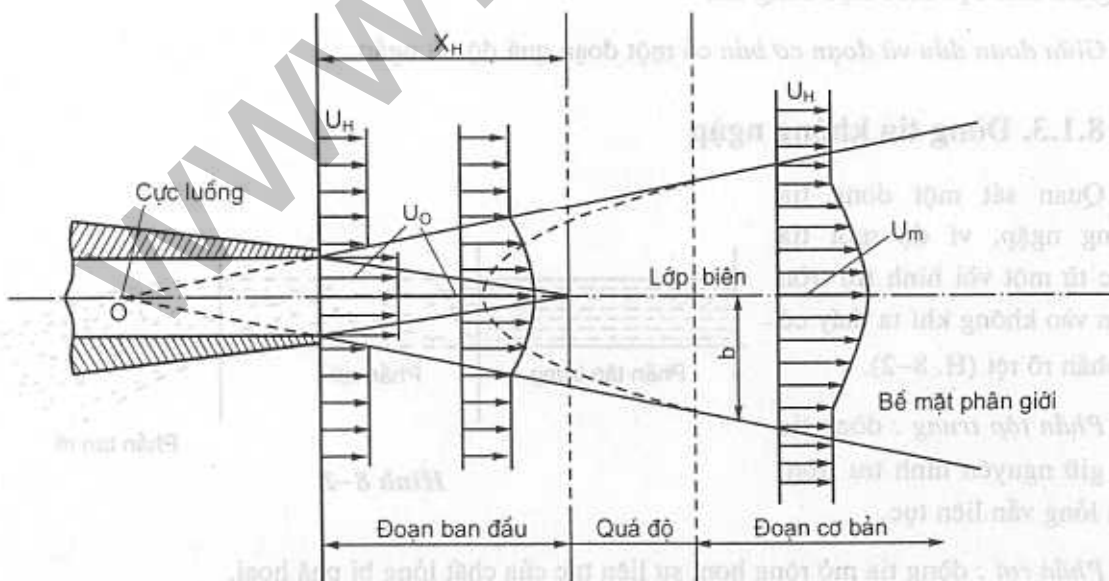
Dòng chất lỏng khi chảy ra khỏi vòi phun và được phun vào môi trường chất lỏng hay chất khí thì gọi là dòng tia.

Dòng tia chất lỏng chuyển động trong môi trường chất lỏng là dòng tia ngập (hay còn gọi là luồng). Ví dụ dòng tia nước từ vòi đặt ngầm dưới mặt nước sông để phá đất, nạo vét lòng sông.

Dòng tia chất lỏng chuyển động trong môi trường khí là tia tự do, ví dụ : dòng tia nước của vòi chữa cháy, của máy tưới...

Trạng thái chảy trong dòng tia có thể là chảy tầng hoặc chảy rối, nhưng trong thực tế thường gặp chảy rối. Vì vậy dưới đây chúng ta chỉ nghiên cứu một số tính chất của dòng tia ở trạng thái chảy rối.

##### 8.1.2. Dòng tia ngập



Hình 8-1

Là dòng tia được phun vào trong môi trường cùng loại hoặc khác loại. Khi dòng tia chuyển động, do tính nhớt và sự mạch động vận tốc của dòng chảy rời xuất hiện các xoáy ốc ở chỗ tiếp giáp của dòng tia và môi trường xung quanh, các xoáy này làm cho một phần chất lỏng của môi trường bị lôi kéo theo dòng tia, đồng thời lại gây tác dụng kìm hãm chuyển động của dòng tia. Vì vậy dòng tia ngập loe rộng dần rồi phân tán vào môi trường chất lỏng bao quanh (H. 8-1).

a) Dựa vào biểu đồ phân bố vận tốc trên các mặt cắt ngang, người ta chia dòng tia ra làm 2 phần : lõi và lớp biên chảy rời.

*Lõi* : là phần trong cùng, trong đó vận tốc  $u_0$  trên các mặt cắt ngang dòng tia không đổi.

Lõi bắt đầu từ miệng vòi phun đến mặt cắt giới hạn (quá độ) trên đó chỉ có điểm trên trục dòng tia là có vận tốc bằng vận tốc ban đầu tại miệng vòi. Đường giới hạn lõi là đường thẳng (xác định theo thực nghiệm).

*Lớp biên chảy rời* : là phần được giới hạn bởi lõi và môi trường bao quanh dòng tia, trong đó vận tốc biến đổi liên tục cho đến khi bằng vận tốc môi trường bên ngoài. Đường giới hạn lớp biên chảy rời với môi trường bao quanh là đường gần như thẳng (theo thực nghiệm tính toán).

b) Theo chiều dài dòng tia ngập có thể chia làm 3 đoạn :

*Đoạn đầu* : từ miệng vòi phun cho đến mặt cắt quá độ tức là mặt cắt kết thúc lõi dòng tia. Trong đoạn đầu có lõi và một phần của lớp biên chảy rời quanh lõi.

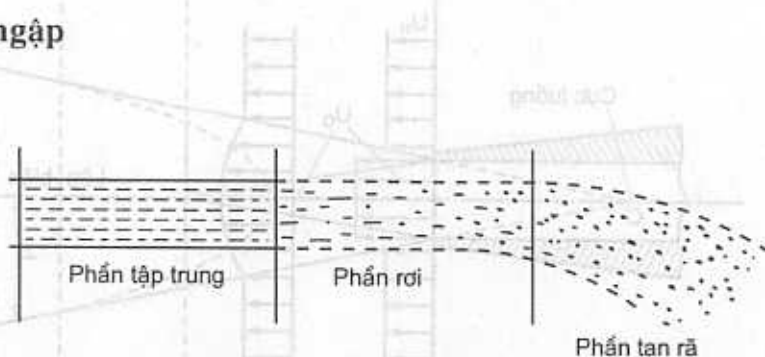
*Đoạn cơ bản* : từ mặt cắt giới hạn trở đi. Dòng tia chỉ gồm lớp biên chảy rời trong đó vận tốc giảm dần dọc theo trục dòng tia.

Giữa đoạn đầu và đoạn cơ bản có một đoạn quá độ rất ngắn.

### 8.1.3. Dòng tia không ngập

Quan sát một dòng tia không ngập, ví dụ một tia nước từ một vòi hình trụ tròn phun vào không khí ta thấy có ba phần rõ rệt (H. 8-2).

*Phần tập trung* : dòng tia vẫn giữ nguyên hình trụ tròn, chất lỏng vẫn liên tục.



Hình 8-2

*Phần rời* : dòng tia mở rộng hơn, sự liên tục của chất lỏng bị phá hoại.

*Phần tan rã* : dòng tia tan rã thành những hạt nhỏ, gián đoạn.

Dòng tia tự do được sử dụng nhiều trong kỹ thuật như súng thủy lực dùng phá đất, khai thác than, dòng tia chữa cháy..., những loại này cần dùng phần tập trung của dòng tia. Nhưng khi cần phun hạt nước nhỏ để tưới thì lại phải lợi dụng phần tán rã.

## 8.2. CÁC ĐẶC TRƯNG THỦY KHÍ ĐỘNG CƠ BẢN CỦA DÒNG TIA

### 8.2.1. Sự phân bố các thông số thủy khí động theo tiết diện ngang của dòng tia

Nhiều nghiên cứu về lý thuyết tính toán cũng như những kết quả thực nghiệm đã rút ra những nhận xét về dòng tia rời tự do như sau :

- Tại mỗi điểm trên tiết diện dòng tia thành phần vận tốc theo phương ngang (y) rất nhỏ so với thành phần vận tốc theo phương dọc (x). Do đó trong tính toán thực tế có thể bỏ qua thành phần vận tốc theo phương ngang.

- Profil vận tốc biến dạng liên tục dọc theo trục x và kéo theo sự thay đổi liên tục các thông số thủy khí động khác. Ở những tiết diện càng xa so với tiết diện ban đầu của dòng tia thì profil vận tốc đồng dạng với profil vận tốc ở những tiết diện trước nó (theo Fetman, Gavin, Naumov...).

- Profil giá trị dư của vận tốc, nhiệt độ và nồng độ tạp chất được xây dựng theo các tọa độ không thứ nguyên, có thể dùng các hàm giải tích gần đúng viết dưới dạng đa thức có bậc của các tọa độ ngang không thứ nguyên để mô tả; chẳng hạn có thể dùng hàm giải tích gần đúng của Silichting  $f(\eta)$ .

Đối với đoạn cơ bản của dòng tia ta có :

+ Hàm biểu diễn profil vận tốc :

$$\frac{u - u_H}{u_m - u_H} = f(\eta) = (1 - \eta^{3/2})^2 \quad (8-1)$$

trong đó :

$$\eta = \frac{y}{b}$$

+ Hàm biểu diễn sự phân bố nhiệt độ :

$$\frac{T - T_H}{T_m - T_H} = (1 - \eta^{3/2})^{P_r} \quad (8-2)$$

trong đó :  $P_r$  – trị số rớt Prandtl, phụ thuộc vào tỷ số giữa nhiệt lượng tiêu phí do ma sát rớt và nhiệt lượng sản sinh ra do sự xáo trộn.

Theo thực nghiệm :  $P_r = 0,8$  đối với dòng tia đối xứng.

$P_r = 0,5$  đối với dòng tia phẳng.



+ Hàm phân bố nồng độ tạp chất trên tiết diện dòng tia :

$$\frac{\chi - \chi_H}{\chi_m - \chi_H} = \frac{T - T_H}{T_m - T_H} = \left(1 - \eta^{3/2}\right)^{P_n} \quad (8-3)$$

trong đó :  $\chi = \frac{G_{tc}}{G + G_{tc}}$  - nồng độ trọng lượng tạp chất ;

$G_{tc}$  - trọng lượng tạp chất ;

$G + G_{tc}$  - trọng lượng toàn hỗn hợp.

## 8.2.2. Quy luật mở rộng dòng tia (dọc theo trục x)

Để giải quyết vấn đề này có thể tiến hành theo nhiều phương pháp. Tuy nhiên phương pháp thông dụng và đơn giản hơn cả là dùng lý thuyết tương tự kết hợp với các số liệu thực nghiệm.

Theo giả thuyết Prandtl đối với dòng rối ta có :

$$v' \sim l \frac{du}{dg} \sim \frac{db}{dt} \quad (8-4)$$

trong đó :  $v'$  - thành phần mạch động vận tốc ngang ;

$l$  - chiều dài đường rối ;

$u$  - thành phần vận tốc dọc (theo trục x).

Từ đó xác định được quy luật tăng bề rộng của dòng tia biểu diễn dưới dạng :

$$\frac{1}{C} \frac{db}{dx} = \frac{|u_1 - u_2|}{|u_1| + |u_2|} \quad (8-5)$$

trong đó :  $C$  - hệ số xác định bằng thực nghiệm.

Trường hợp  $u_1 = \text{const}$  ,  $u_2 = \text{const}$  :

$$\frac{db}{dx} = \text{const} \rightarrow b = C_1 x \quad (8-6)$$

trong đó :  $C_1 = C \frac{|u_1 - u_2|}{|u_1| + |u_2|}$

đối với dòng tia ngập ( $u_2 = 0$ ) :  $b_z = Cx$  (8-7)

Từ (8-5), (8-6) và (8-7) ta có :

$$\frac{b}{b_z} = \frac{C_1 x}{Cx} = \frac{|u_1 - u_2|}{|u_1| + |u_2|} \quad (8-8)$$

(có thể xem thêm ở [5])

### 8.3. MỘT SỐ VÍ DỤ VỀ TÍNH TOÁN DÒNG TIA NGẬP ĐỐI XỨNG

#### 8.3.1. Dòng tia rơi ngập tự do

Phân trên ta đã tiến hành khảo sát tổng quát đối với dòng tia.

Để cụ thể hóa chúng ta khảo sát một trường hợp dòng tia ngập đối xứng sau đây:

Điều kiện xét :

- Đẳng nhiệt.
- Dòng tia đối xứng, miệng vòi phun tròn (bán kính  $R_0$ ).
- Sự phân bố các thông số dòng chảy tại tiết diện ban đầu của dòng phun (tại miệng vòi phun) là đều.
- Dòng phun đồng chất (không có tạp chất).
- Dòng phun đẳng áp ( $p = \text{const}$ ); thực tế điều kiện này thỏa mãn vì trong dòng phun áp suất tĩnh hầu như không đổi và bằng áp suất tĩnh trong môi trường ngoài.

a) Xét quy luật biến đổi vận tốc và sự mở rộng của lớp biên dọc theo trục dòng tia (xét trên đoạn cơ bản của dòng tia)

Vì áp suất tĩnh tại mọi điểm trong dòng tia là không đổi nên từ nguyên lý bảo toàn động lượng ta thấy rằng : động lượng của chất lỏng tính trên một đơn vị thời gian có trị số như nhau tại mọi mặt cắt :

$$\int_{\omega} \rho u^2 d\omega = \rho u \omega_0 \quad (8-9)$$

trong đó :  $\omega_0 = \pi R_0^2 (2b_0 l)$  – diện tích tiết diện đầu (tiết diện vòi phun) ;

$\omega = \pi R^2 (2b l)$  – diện tích tiết diện dòng tia tại điểm xét ;

$d\omega = 2\pi r dr (2dy)$  – diện tích tiết diện của dòng tia nguyên tố.

Do đó với dòng tia đối xứng ta có :

$$2\pi \int_0^R \rho u^2 r dr = \pi \rho u_0^2 R_0$$

Đặt  $\eta = r/R$ , phương trình trên dưới dạng không thứ nguyên sẽ là :

$$2 \int_0^{R/R_0} \left( \frac{u}{u_0} \right) \left( \frac{r}{R_0} \right) d \left( \frac{r}{R_0} \right) = 1$$

$$2 \left( \frac{u_m}{u_o} \right)^2 \left( \frac{R}{R_o} \right)^2 \int_0^1 \left( \frac{u}{u_m} \right)^2 \left( \frac{r}{R} \right) d \left( \frac{r}{R} \right) = 1$$

$$2 \left( \frac{u_m}{u_o} \right)^2 \left( \frac{R}{R_o} \right)^2 \int_0^1 \left( \frac{u}{u_m} \right)^2 \eta d\eta = 1 \quad (8-10)$$

Thay  $\frac{u}{u_{\max}} = f_1(\eta)$  từ (8-1) vào tích phân trên ta sẽ tính được giá trị của tích phân :

$$\int_0^1 f_1(\eta) \eta d\eta = 0,0464$$

Thay giá trị của biểu thức tích phân trên vào (8-10) ta có :

$$\frac{R}{R_o} = 3,3 \frac{u_o}{u_m}$$

hay : 
$$u_m = \frac{\text{const}}{R} \quad (8-11)$$

Tương tự đối với luồng phẳng ta có :

$$\left( \frac{u_m}{u_o} \right)^2 \left( \frac{b}{b_o} \right)^2 \int_0^1 \left( \frac{u}{u_m} \right)^2 d\eta = 1$$

$$\frac{b}{b_o} = \frac{1}{1,65} \left( \frac{u_o}{u_m} \right)^2$$

hay : 
$$u_m = \frac{\text{const}}{\sqrt{b}} \quad (8-12)$$

### b) Các đặc trưng động học của dòng tia rơi ngập tự do

Lưu lượng của dòng tia :

$$Q = \int_{\omega} dQ = 2\pi \int_0^R u r dr$$

Biến đổi ta có :

$$Q = 2\pi u_m R^2 \int_0^1 \frac{u}{u_m} \frac{r}{R} d \left( \frac{r}{R} \right) = 2\pi R_o^2 u_o \frac{u_m}{u_o} \left( \frac{R}{R_o} \right)^2 \int_0^1 \frac{u}{u_m} \eta d\eta$$

trong đó :  $Q_o = \pi R_o^2 u_o$  - lưu lượng qua tiết diện ban đầu của vòi phun.

Cuối cùng ta rút ra :

$$\frac{Q}{Q_o} = 2,13 \frac{u_o}{u_m} \quad (8-13)$$

### Quy luật tắt dần của vận tốc dọc trục dòng tia

Phương trình đường biên của dòng tia trong dòng tia ngập đối xứng có dạng :

$$R = Cx \quad (8-14)$$

Trong những nghiên cứu về dòng tia, người ta thường chia hệ số  $C$  ra hai phần tương ứng, đoạn ban đầu ( $C$  không biến đổi), đoạn cơ bản ( $C = 3,4a$  – tài liệu thực nghiệm).

Từ phương trình (8-11) ta có :

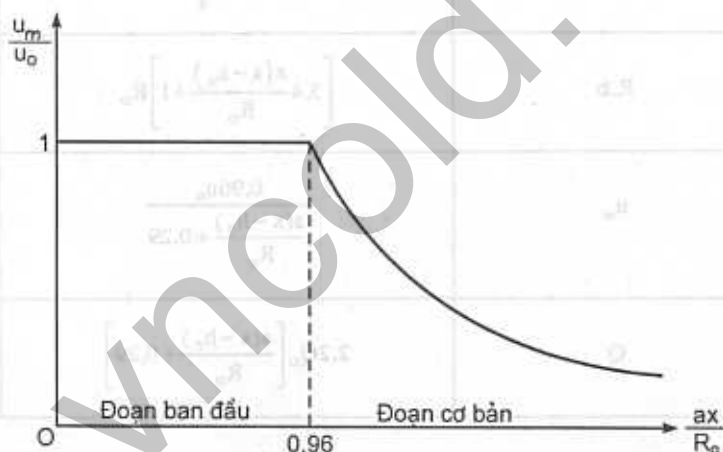
$$\frac{R}{R_0} = \frac{3,4ax}{R_0} = 3,3 \frac{u_0}{u_m} \quad (8-14)$$

$$\frac{u_m}{u_0} = \frac{3,3R_0}{3,4ax} = 0,96 \frac{R_0}{ax} \quad (8-15)$$

Từ biểu thức (8-15) ta thấy vận tốc trên trục dòng tia tắt dần theo quy luật hypecbol (H. 8-3).

Chiều dài giới hạn ban đầu  $x_{bd}$  và độ sâu  $h_0$  của cực dòng phun

Sử dụng phương trình (8-15) để xác định hoành độ  $x_{bd}$  với chú ý rằng tại tiết diện quá độ  $u_m = u_0$ , ta có :



Hình 8-3

$$x_{bd} = \frac{0,96}{a} R_0 \quad (8-16)$$

Chiều sâu cực luồng  $h_0$  được xác định từ biểu thức :

$$\frac{R}{R_0} = \frac{3,4ax}{R_0} \quad (8-17)$$

Chú ý đến điều kiện biên : Khi  $x = h_0$  thì  $R = R_0$  ; do đó ta rút ra :

$$h_0 = \frac{R_0}{3,4a} = 4,15R_0 \quad (8-18)$$

trong đó :  $a = 0,07$  – hệ số thực nghiệm.

Khoảng cách từ tiết diện mũi phun đến cuối lõi dòng tia (tiết diện quá độ) :

$$x_H = x_{bd} - h_0 = 9,57R_0 \quad (8-19)$$

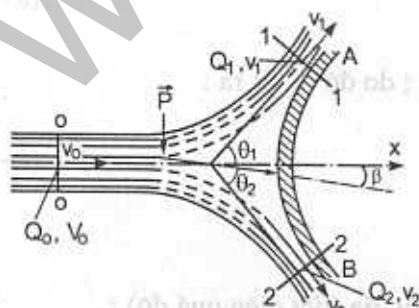
Bảng 8-1 là công thức tính toán đối với dòng tia đối xứng và phẳng ngập theo công thức của Abramovich.

Bảng 8-1

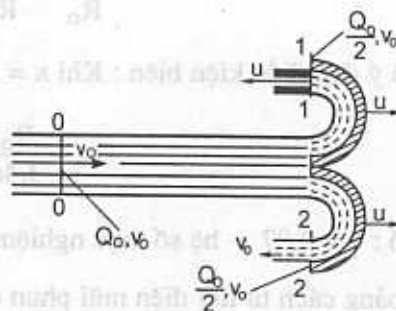
Các thông số	Trị số và công thức	
	Dòng tia đối xứng	Dòng tia phẳng
a	0,07	0,09
$h_n$	$0,29 \frac{R_0}{a}$	$0,41 \frac{b_0}{a}$
$x_H$	$0,67 \frac{R_0}{a}$	$1,03 \frac{b_0}{a}$
R, b	$\left[ 3,4 \frac{a(x-h_0)}{R_0} + 1 \right] R_0$	$\left[ 2,4 \frac{a(x-h_0)}{R_0} + 1 \right] b_0$
$u_m$	$\frac{0,96u_0}{\frac{a(x-h_0)}{R_0} + 0,29}$	$\frac{1,2u_0}{\sqrt{\frac{a(x-h_0)}{R_0} + 0,41}}$
Q	$2,2Q_0 \left[ \frac{a(x-h_0)}{R_0} + 0,29 \right]$	$1,2Q_0 \left[ \sqrt{\frac{a(x-h_0)}{R_0} + 0,41} \right]$

### 8.3.2. Áp lực của dòng tia lên mặt rắn

Dòng tia thoát ra từ lỗ hoặc vòi có trục nằm ngang x-x gặp trên đường đi của nó vật cản dưới nước dạng mặt rắn cố định AB (H. 8-4) sẽ chia thành hai nhánh chảy dọc theo vật rắn có phương hợp với trục x một góc  $\theta_1$  và  $\theta_2$ . Áp lực  $\vec{P}$  của dòng tia tác dụng lên thành hợp với dòng tia một góc  $\beta$ , ngược lại dòng tia chịu một phản lực  $\vec{R}$  của vật chắn ( $\vec{R} = -\vec{P}$ ).



Hình 8-4



Hình 8-5

Áp dụng phương trình động lượng cho đoạn dòng chảy được xác định bởi các mặt 0-0, 1-1 và 2-2 ta có :

$$\bar{R} + m_0 \bar{v}_0 = m_1 \bar{v}_1 + m_2 \bar{v}_2 \quad (8-20)$$

hay hình chiếu lên trục x :

$$R \cos \beta = m_1 v_1 \cos \theta_1 + m_2 v_2 \cos \theta_2 - m_0 v_0$$

trong đó :  $m_0 = Q_0 v_0$  ;  $m_1 = Q_1 v_1$  ;  $m_2 = Q_2 v_2$  là khối lượng chất lỏng đi qua mặt cắt 0-0, 1-1, 2-2 trong một đơn vị thời gian.

Từ đó ta có :

$$P = -R = \frac{\rho(Q_0 v_0 - Q_1 v_1 \cos \theta_1 - Q_2 v_2 \cos \theta_2)}{\cos \beta} \quad (8-21)$$

• Trường hợp thành phẳng đặt vuông góc với trục x, khi đó  $\theta_1 = \theta_2$  ta có  $Q_1 = Q_2 = Q_0/2$  ;  $v_1 = v_2 = v_0$  và :

$$P = \rho Q_0 v_0 \quad (8-22)$$

thực tế thì áp lực này bé hơn :

$$P_{\text{thực}} = (0,092 \div 0,95)P$$

• Trường hợp thành đối xứng với  $\theta_1 = \theta_2 = \theta$ , ta có  $Q_1 = Q_2 = Q_0/2$  ;  $v_1 = v_2 = v_0$  và :

$$P = \rho Q_0 v_0 (1 - \cos \theta) \quad (8-23)$$

nếu  $\theta = 180^\circ$  (H. 8-5) khi đó :

$$P = 2\rho Q_0 v_0 \quad (8-24)$$

So sánh kết quả (8-22) với (8-24) ta thấy áp lực dòng tia tác dụng lên mặt lõm đối xứng gồm 2 nửa hình trụ (hay cầu) bằng 2 lần áp lực lên thành phẳng.

Áp lực luồng được sử dụng làm quay bánh xe nước và các tua bin kiểu xung kích (tua bin gầu).

• Trường hợp thành chuyển động với vận tốc  $u$  theo phương của  $v_0$  ta có :

$$P = \rho Q (v_0 - u) \quad (8-25)$$

Vì vật chắn vuông góc với dòng tia nên công suất  $N$  của dòng tia cung cấp cho vật chắn sẽ là :

$$N = Pu = \rho Q_0 (v_0 - u)u \quad (8-26)$$



Công suất này lớn nhất khi :

$$\frac{dN}{du} = \rho Q_0 (v_0 - 2u), \quad \text{hay } u = \frac{v_0}{2}$$

và : 
$$N_{\max} = \frac{1}{4} \rho Q_0 v_0^2 = \frac{1}{2} \frac{\rho Q_0 v_0^2}{2} \quad (8-27)$$

Biểu thức này cho thấy : công suất truyền lớn nhất bằng nửa động năng dòng tia.

- Trong trường hợp cánh cong với  $\theta_1 = \theta_2 = 180^\circ$  ;  $u = v_0/2$  ; áp lực của dòng tia là :

$$P = \rho Q_0 v_0^2 \quad (8-28)$$

và công suất lớn nhất là :

$$N_{\max} = \rho Q_0 \frac{v_0^2}{2} \quad (8-29)$$

cho thấy công suất dòng tia được sử dụng toàn bộ, tua bin cánh cong tận dụng được toàn bộ công suất dòng chảy.

## Phần hai

# MÁY BƠM

## Chương 9

### KHÁI NIỆM CHUNG VỀ MÁY BƠM

Máy thủy lực là tên gọi chung cho tất cả các máy làm việc trên nguyên tắc trao đổi năng lượng với chất lỏng theo các nguyên lý thủy lực nói riêng và cơ học chất lỏng nói chung. Trong đó người ta phân ra hai loại chính :

- Máy bơm : biến đổi cơ năng thành năng lượng của dòng chảy (áp năng và động năng).
- Tua bin : nhận năng lượng của dòng chảy thành cơ năng kéo các máy công tác làm việc.

Trong phạm vi giáo trình này chúng ta chỉ nghiên cứu một số loại máy bơm chủ yếu dùng trong nông nghiệp.

#### 9.1. VÀI NÉT VỀ QUÁ TRÌNH PHÁT TRIỂN CỦA MÁY BƠM

Từ cổ xưa, con người đã gắn liền cuộc sống của mình với nước, đã tìm cách khai thác và sử dụng nước. Ở Việt Nam, Ấn Độ, Trung Quốc..., từ lâu đời đã biết dùng năng lượng dòng nước kéo các cối xay lương thực, máy mài, khoan đá; guồng nước để cung cấp nước cho nương, ruộng, đời sống sinh hoạt...

Mãi đến thế kỷ thứ XVII và sau này mới có nhiều nhà bác học nghiên cứu một cách khoa học cơ sở lý thuyết về máy thủy lực nói chung và máy bơm nói riêng.

Năm 1640 nhà vật lý học người Đức Ôtto-Henrich đã sáng chế ra bơm pittông đầu tiên để bơm khí và nước dùng trong công nghiệp. Lômônôxốp (1711 – 1765) là người đầu tiên dùng lý luận cơ học chất lỏng để cải tạo kết cấu guồng nước có từ ngàn xưa, nâng cao hiệu suất và công suất của nó.

Ôle (1707–1783) đã viết về lý thuyết cơ bản của tua bin nước nói riêng và máy thủy lực cánh dẫn nói chung làm cơ sở cho các nhà bác học Phuócnaýrôn, Xablucôp, Jucôpski... phát minh ra tua bin nước và bơm ly tâm ở đầu thế kỷ XIX là những bước nhảy lớn trong lịch sử các máy năng lượng.

Đặc biệt trong vòng 50 năm gần đây, lý thuyết về thủy khí động lực phát triển rất mạnh, có nhiều thành tựu to lớn và việc áp dụng những thành quả phát minh này trong lĩnh vực máy bơm vô cùng phong phú.

Ngày nay, với tốc độ phát triển vũ bão của KHKT, đặc biệt là khoa học công nghệ, máy bơm có rất nhiều loại với nhiều kiểu khác nhau có cấu trúc ngày càng hoàn thiện, có hiệu suất ngày càng cao nhằm đáp ứng ngày càng đầy đủ mọi yêu cầu đòi hỏi của mọi lĩnh vực sản xuất đời sống và quốc phòng.

## 9.2. CÔNG DỤNG VÀ PHÂN LOẠI MÁY BƠM

Máy bơm được ứng dụng rất rộng rãi trong các lĩnh vực sản xuất và sinh hoạt.

Trong công nghiệp, bơm để cấp thoát nước, bơm các loại nguyên liệu lỏng ở các nhà máy cơ khí hóa chất, bơm dùng trong các công trình khai thác và vận chuyển quặng, dầu mỏ v.v... Trong công nghiệp cơ khí, bơm được sử dụng phổ biến trong các hệ thống bôi trơn, làm nguội, nâng hạ, điều khiển, truyền động thủy lực...

Trong nông nghiệp, bơm được dùng rộng rãi trong các hệ thống thủy lợi để tưới tiêu nước cho cây trồng, cung cấp nước cho chuồng trại chăn nuôi, cơ sở chế biến nông sản phẩm...

Ngoài ra, bơm cũng được dùng rộng rãi trong các lĩnh vực giao thông vận tải, quốc phòng và sinh hoạt.

Để tiện cho việc thiết kế, chế tạo và sử dụng, bơm được phân loại như sau :

### • Theo nguyên lý làm việc :

Bơm cánh dẫn : Bơm ly tâm, bơm hướng trục.

Bơm thể tích : bơm pittông, bơm rôto..vv...

Bơm làm việc theo nguyên lý đặc biệt : Bơm nước va, bơm khí ép, bơm phun tia..vv...

### • Theo công dụng, bơm được phân loại thành :

Bơm cấp thoát nước

Bơm nhiên liệu

Bơm hóa chất

Bơm cứu hỏa..vv...

• Ngoài ra, theo phạm vi cột áp hoặc lưu lượng, người ta còn chia bơm thành các loại : bơm có cột áp cao, thấp, trung bình hoặc bơm có lưu lượng lớn, trung bình, nhỏ.

## 9.3. CÁC THÔNG SỐ CƠ BẢN CỦA MÁY BƠM

Ta xét một trường hợp cụ thể, bơm làm việc trong một hệ thống đường ống (H.9-1).

$Z_h$  – chiều cao hút là chiều cao từ mặt thoáng bể hút đến trục bơm ;

$Z_d$  – chiều cao đẩy là chiều cao từ miệng ra của bơm đến mặt thoáng của bể chứa ;

$\Delta Z$  – chênh lệch độ cao giữa miệng vào và miệng ra của bơm ;

$Z$  – cao trình của bơm (chiều cao dâng chất lỏng của bơm) là độ chênh lệch giữa hai mặt thoáng bể hút và bể chứa ;

$P_1$  – áp suất trên mặt thoáng bể hút ;

$P_2$  – áp suất tại miệng vào của bơm ;

$P_3$  – áp suất tại miệng ra của bơm ;

$P_4$  – áp suất trên mặt thoáng bể chứa ;

$C$  – chân không kế (vacummet), lắp ở miệng vào của bơm ;

$A$  – áp kế (manomet), lắp ở miệng ra của bơm ;

$K_1$  – khóa trên ống hút ;

$K_2$  – khóa trên ống đẩy ;

$L$  – dụng cụ đo lưu lượng ;

Khi bơm làm việc, chất lỏng từ bể hút qua lưới chắn rác theo ống hút đi vào bơm. Sau khi đi qua bơm, chất lỏng được cung cấp thêm năng lượng chảy vào ống đẩy lên bể chứa.

### 9.3.1. Lưu lượng

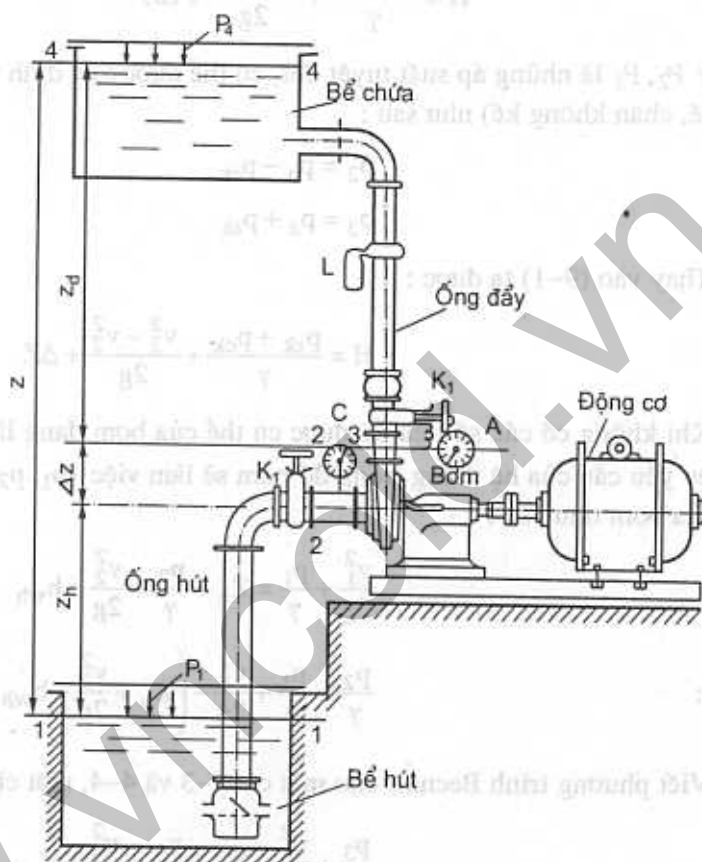
Lưu lượng của bơm là lượng chất lỏng do bơm chuyển đi trong một đơn vị thời gian, ký hiệu là  $Q$ , đơn vị đo :  $(m^3/h)$ ,  $(m^3/s)$ ,  $(l/s)$ .

### 9.3.2. Cột áp

Cột áp của bơm là năng lượng đơn vị mà bơm truyền được cho chất lỏng (thường ký hiệu bằng chữ  $H$ , đơn vị đo : m cột chất lỏng).

Từ sơ đồ hệ thống làm việc của bơm (H. 9-1) ta có :

$$H = E_3 - E_2$$



Hình 9-1

$$= \left( \frac{P_3}{\gamma} + \frac{v_3}{2g} + Z_h + \Delta Z \right) - \left( \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_h \right)$$

$$H = \frac{P_3 - P_2}{\gamma} + \frac{v_3^2 - v_2^2}{2g} + \Delta Z \quad (9-1)$$

ở đây  $P_2, P_3$  là những áp suất tuyệt đối, có thể được xác định thông qua dụng cụ đo áp suất dư (áp kế, chân không kế) như sau :

$$P_2 = P_a - P_{ck}$$

$$P_3 = P_a + P_{ak}$$

Thay vào (9-1) ta được :

$$H = \frac{P_{ak} + P_{ck}}{\gamma} + \frac{v_3^2 - v_2^2}{2g} + \Delta Z \quad (9-2)$$

Khi không có các số liệu đo được cụ thể của bơm đang làm việc ( $P_{ak}, P_{ck}$ ) mà chỉ có các số liệu yêu cầu của hệ thống trong đó bơm sẽ làm việc ( $p_1, p_2, Z, \dots$ ) thì có thể tính cột áp yêu cầu của bơm như sau :

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} = Z_h + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_{wh}$$

hay :

$$\frac{P_2}{\gamma} = \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} - \left( Z_h + \frac{v_2^2}{2g} + h_{wh} \right) \quad (9-3)$$

Viết phương trình Bernoulli cho mặt cắt 3-3 và 4-4, mặt chuẩn là 3-3 có :

$$\frac{P_3}{\gamma} + \frac{v_3^2}{2g} = Z_d + \frac{P_4}{\gamma} + \frac{v_4^2}{2g} + h_{wd}$$

suy ra :

$$\frac{P_3}{\gamma} = \frac{P_4}{\gamma} + Z_d + \frac{v_4^2}{2g} + h_{wd} - \frac{v_3^2}{2g} \quad (9-4)$$

Thay (9-3), (9-4) vào (9-1) ta tìm được cột áp yêu cầu của bơm :

$$H = \frac{P_4 - P_1}{\gamma} + Z_d + Z_h + \Delta Z + \frac{v_4^2 - v_1^2}{2g} + h_{wd} + h_{wh}$$

hay :

$$H = \frac{P_4 - P_1}{\gamma} + Z + \frac{v_4^2 - v_1^2}{2g} + \sum h_w \quad (9-5)$$

Từ đây ta nhận thấy cột áp yêu cầu của bơm cần phải khác phục được :

- Độ cao hình học của bơm (độ chênh lệch mặt thoáng chất lỏng ở bể chứa và bể hút).
- Độ chênh áp suất trên mặt thoáng ở bể chứa và bể hút.
- Độ chênh động năng giữa mặt thoáng bể chứa và bể hút.
- Tổn thất năng lượng trong ống đẩy và ống hút.

Phương trình (9-5) cho ta biết cột áp của bơm làm việc trong một hệ thống. Đó cũng chính là cột áp của hệ thống. Ta cũng có thể viết :

$$H = H_t + H_d \quad (9-6)$$

trong đó :  $H_t = \frac{P_4 - P_1}{\gamma} + Z$  - cột áp tĩnh của hệ thống ;

$$H_d = \sum h_w + \frac{v_4^2 - v_1^2}{2g} \quad \text{- cột áp động của hệ thống.}$$

Trường hợp áp suất trên mặt thoáng bể hút và bể chứa đều bằng áp suất khí quyển và vận tốc trong ống đẩy và ống hút bằng nhau ta có :

$$H = Z + \sum h_w \quad (9-7)$$

Chúng ta thường dùng công thức (9-7) để xác định cột áp tính toán, khi thiết kế trạm bơm.

### 9.3.3. Công suất và hiệu suất

Công suất thủy lực  $N_{tl}$  (công suất hữu ích) của bơm là công suất dùng để truyền trọng lượng của lưu lượng  $Q$  với cột áp  $H$  :

$$N_{tl} = \frac{\gamma QH}{1000} \quad (\text{kW}) \quad (9-8)$$

trong đó :

$\gamma$  - trọng lượng riêng của chất lỏng ( $\text{N/m}^3$ ) ;  $Q$  - lưu lượng của bơm ( $\text{m}^3/\text{S}$ ) ;

$H$  - cột áp toàn phần của bơm ( $\text{mH}_2\text{O}$ ).

Công suất đòi hỏi trên trục của bơm cần phải lớn hơn công suất thủy lực  $N_{tl}$  vì bơm phải tiêu hao một phần năng lượng để bù vào các tổn thất thủy lực, tổn thất ma sát giữa các bộ phận làm việc của bơm...

$$N = \frac{N_{tl}}{\eta} = \frac{\gamma QH}{1000\eta} \quad (\text{kW}) \quad (9-9)$$

$\eta < 1$  - hiệu suất toàn phần của bơm (tính bằng %).

$$\eta = \frac{N_{tl}}{N} = \eta_H \eta_Q \eta_C \quad (9-10)$$

trong đó :  $\eta_H$  - hiệu suất thủy lực ;  $\eta_Q$  - hiệu suất lưu lượng ;  $\eta_C$  - hiệu suất cơ khí.

Khi chọn động cơ để kéo bơm, cần phải chọn công suất động cơ  $N_{dc}$  lớn hơn công suất tại trục bơm để đề phòng các trường hợp quá tải bất thường và bù vào tổn thất do truyền động từ động cơ đến bơm.

$$N_{dc} = \frac{kN}{\eta_{tr}} \quad (9-11)$$



trong đó :  $k > 1$  – hệ số an toàn phụ thuộc vào từng loại bơm, động cơ và công suất làm việc ;  
 $\eta_{tr}$  – hiệu suất truyền từ động cơ đến trạm bơm.

### 9.3.4. Chiều cao hút cho phép của bơm. Hiện tượng xâm thực

Bất kỳ một loại bơm nào khi làm việc cũng có hai quá trình hút và đẩy chất lỏng. Quá trình hút chất lỏng, bơm phải tạo được độ chênh áp suất nhất định giữa miệng hút của bơm và mặt thoáng bể hút.

$$H_h = \frac{P_1 - P_2}{\gamma} \quad (9-12)$$

Nếu  $p_1 = p_a$  thì cột áp hút chính bằng cột áp chân không tại lối vào của bơm :

$$H_h = H_{ck} = \frac{P_a - P_2}{\gamma} \quad (9-13)$$

Từ (9-3) có thể viết :

$$H_{ck} = \frac{P_a - P_2}{\gamma} = Z_h + \frac{v^2}{2g} + h_{wh} \quad (9-14)$$

Ta nhận thấy cột áp hút của bơm tùy thuộc vào trị số của áp suất trên mặt thoáng của bể hút mà áp suất này có giới hạn nhất định.

Trong trường hợp  $p_1 = p_a$ , theo (9-14) khả năng hút tối đa của bơm ứng với  $p_2 = 0$  là:  
 $H_h = H_{ck \max} = \frac{P_a}{\gamma} = 10mH_2O$ .

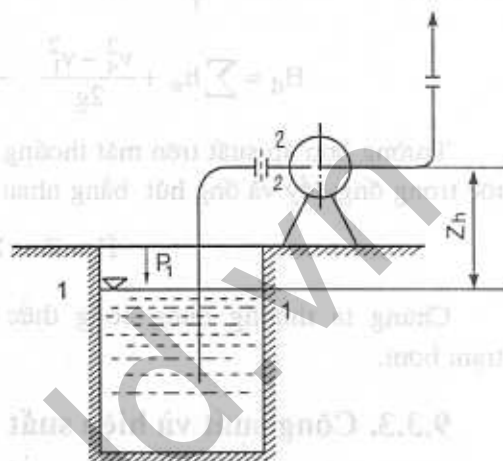
Biết rằng áp suất khí quyển  $p_a$  phụ thuộc vào độ cao tại vị trí đó so với mặt nước biển (bảng 9-1).

**Bảng 9-1**

Độ cao trên mặt biển, m	-600	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1500	2000
$\frac{P_a}{\gamma}$ , m	11,3	10,3	10,2	10,1	10,0	9,8	9,7	9,6	9,5	9,4	9,3	9,2	8,6	8,2

Thực tế thì cột áp hút lớn nhất của bơm (khi  $p_1 = p_a$ ) không bao giờ đạt được đến  $10mH_2O$  vì áp suất tại miệng vào của bơm không thể bằng 0 được. Khi  $p_2$  nhỏ đến một mức nào đó bằng áp suất bay hơi bão hòa ( $p_H$ ) của chất lỏng thì sẽ gây ra hiện tượng xâm thực trong bơm.

Trị giá của  $p_H$  phụ thuộc vào nhiệt độ của chất lỏng làm việc (bảng 9-2).



**Hình 9-2**

Bảng 9-2

Nhiệt độ $t^{\circ}\text{C}$	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$\frac{P_H}{\gamma}, \text{m}$	0,09	0,12	0,24	0,43	0,75	1,25	2,00	3,17	4,80	7,10	10,33

Vậy điều kiện để cho bơm làm việc được là :

$$H_h = Z_h + \frac{v^2}{2g} + h_{wh} < H_{ck\max} = \frac{P_a - P_H}{\gamma} \quad (9-15)$$

Từ đó ta xác định được chiều cao hút cho phép  $[Z_h]$  của bơm là :

$$[Z_h] = \frac{P_a}{\gamma} - \left( \frac{P_H}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + h_{wh} + \Delta h \right) \quad (9-16)$$

ở đây :  $\Delta h$  – cột áp chống xâm thực được xác định bằng thực nghiệm.

Trong trường hợp quan hệ (9-15) không thỏa mãn (nghĩa là  $p_2 \leq P_H$ ), sẽ xảy ra hiện tượng chất lỏng bắt đầu bay hơi, gián đoạn dòng chảy và bơm không làm việc được. Hiện tượng đó gọi chung là hiện tượng xâm thực.

Sự xâm thực là quá trình hiện tượng phức tạp xảy ra trong bơm:

– Sự bay hơi và hòa tan hơi trong chất lỏng ở tất cả các vùng có áp suất bằng hay nhỏ hơn áp suất bay hơi bão hòa.

– Sự tăng cao tức thời tốc độ chuyển động của chất lỏng tại chỗ gây nên sự bay hơi và làm chất lỏng chuyển động hỗn độn.

– Ngưng tụ những bọt hơi nước chảy trong dòng chất lỏng ở vùng có áp suất cao. Sự ngưng tụ bọt hơi nước làm giảm đột ngột thể tích và gây ra va đập thủy lực trong những vùng cực nhỏ, phá hoại cơ học bộ phận làm việc của máy bơm.

– Sự ăn mòn hóa học kim loại trong vùng xâm thực bằng oxy của không khí, sinh ra từ chất lỏng, khi nó đi qua vùng có áp suất thấp.

Sự ăn mòn tác dụng đồng thời với phá hoại cơ học làm giảm độ bền các chi tiết của bơm bằng kim loại.

Sự xâm thực làm giảm hiệu suất, cột áp, năng suất bơm và dẫn đến bơm không làm việc được.

Để ngăn ngừa hiện tượng xâm thực, nâng cao chiều cao hút cho phép của bơm, từ (9-16) ta nhận thấy chiều cao hút của bơm giảm nếu :

- Hạ thấp áp suất trên mặt thoáng của chất lỏng trong bể hút.
- Tăng cao áp suất bay hơi bão hòa do tăng nhiệt độ chất lỏng hút.
- Tăng vận tốc chất lỏng chỗ đi vào bánh công tác.
- Tăng cột áp chống xâm thực.

Bảng 9-1

Loại bơm	Loại chất lỏng	Loại chất lỏng	Loại chất lỏng	Loại chất lỏng	Loại chất lỏng	Loại chất lỏng	Loại chất lỏng	Loại chất lỏng	Loại chất lỏng	Loại chất lỏng	Loại chất lỏng
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

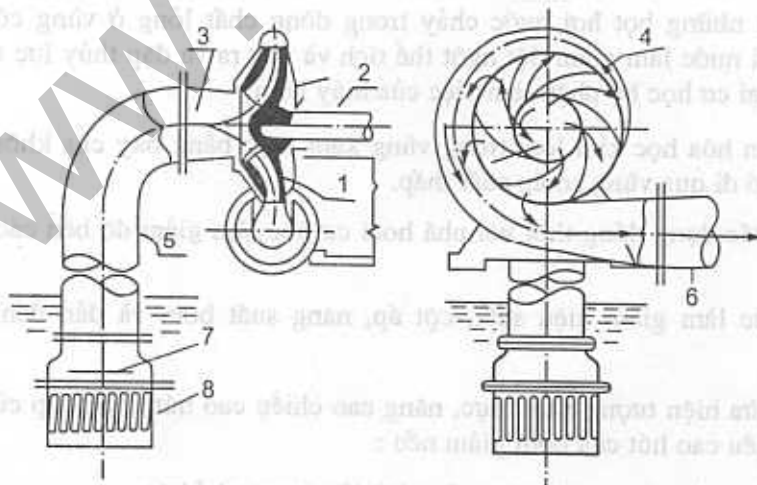
## Chương 10

### BƠM LY TÂM

#### 10.1. KHÁI NIỆM CHUNG

Bơm ly tâm thuộc loại bơm cánh dẫn được sử dụng rộng rãi do có những ưu điểm sau :

- Cấu tạo đơn giản và chắc chắn, tháo lắp tiện lợi, trọng lượng kích thước không lớn khi có năng suất lớn, diện tích đặt máy không lớn và nền máy đơn giản.
- Nối trực tiếp với động cơ điện hoặc tua bin hơi thích ứng với kích thước của tất cả trạm bơm và nâng cao hiệu suất của liên hợp bơm.
- Khởi động bơm nhanh và điều chỉnh đơn giản trong khoảng lưu lượng lớn.
- Truyền nước đều và liên tục. Có thể bơm được nhiều loại chất lỏng khác nhau, hỗn hợp chất lỏng và chất rắn.
- Giá thành tương đối rẻ, sử dụng đơn giản, tiện lợi.



Hình 10-1

Xét sơ đồ kết cấu của một bơm ly tâm đơn giản (H. 10-1).

Bộ phận cơ bản và quan trọng nhất là bánh công tác 1 đặt trên trục 2.

Bánh công tác gồm có những bản lá uốn cong đặt trong buồng xoắn cố định. Ở đầu bộ phận dẫn hướng vào 3 có ống hút 5 có lắp van một chiều 7 và lưới chắn rác 8. Ở bộ phận dẫn hướng ra của buồng xoắn 4 có ống đẩy 6.

Trước khi khởi động bơm, phải đổ đầy chất lỏng vào bơm (mỗi bơm) khi bơm làm việc bánh công tác quay, các phân tử chất lỏng ở trong rãnh của bánh công tác dưới ảnh hưởng của lực ly tâm bị dồn từ trong ra ngoài, chuyển động theo máng dẫn và đi vào ống đẩy với áp suất cao hơn. Đồng thời lối vào của bánh công tác tạo nên một vùng có chân không và dưới tác dụng của áp suất trong bể chứa lớn hơn áp suất ở lối vào của bơm, chất lỏng ở bể hút liên tục bị đẩy vào bơm theo ống hút. Quá trình hút và đẩy của bơm là quá trình liên tục, tạo nên dòng chảy liên tục qua bơm.

Để tiện cho việc thiết kế, chế tạo và sử dụng, bơm được phân loại như sau :

*Phân loại theo cột áp của bơm :*

- Bơm cột áp thấp :  $H < 20\text{m}$  cột nước.
- Bơm cột áp trung bình :  $H = (20 \div 60)\text{m}$  cột nước.
- Bơm cột áp cao :  $H > 60\text{m}$  cột nước.

*Phân loại theo số lượng bánh công tác lắp nối tiếp trong bơm :*

- Bơm một cấp (một bánh công tác) : cột áp của bơm hạn chế ( $\leq 10\text{m}$  cột nước) bởi số vòng quay và sức bền vật liệu cánh dẫn.
- Bơm nhiều cấp : gồm 2 hay nhiều bánh công tác mắc nối tiếp nhằm nâng cao cột áp của bơm.

*Phân loại theo cách dẫn chất lỏng vào bánh công tác :*

- Bơm một miệng hút – bơm có bánh công tác hút chất lỏng từ một phía (còn gọi là bơm Côngxôn). Cách hút này lưu lượng hạn chế, phát sinh lực dọc trục.
- Bơm hai miệng hút – Bơm có bánh công tác hút chất lỏng từ hai phía, cách hút này lưu lượng bơm tăng gấp đôi, không gây lực hướng trục, bơm làm việc ổn định, bền vững hơn.

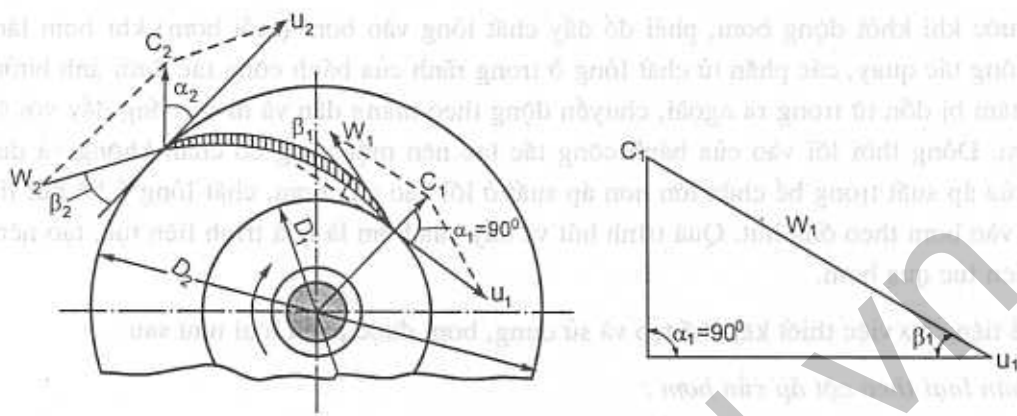
*Ngoài ra còn phân loại theo sự bố trí của trục bơm : bơm trục ngang, bơm trục đứng. Theo điều kiện chảy của chất lỏng vào bơm : loại có cơ cấu dẫn hướng và không có cơ cấu dẫn hướng...*

## 10.2. LÝ THUYẾT CƠ BẢN VỀ BƠM LY TÂM

### 10.2.1. Phương trình cơ bản của bơm ly tâm

Để thiết lập được phương trình cơ bản của bơm, ta giả thiết khi bơm làm việc không có tổn thất thủy lực và bánh công tác có vô số bản lá. Điều đó cho phép ta xem dòng chảy trong bánh công tác gồm những dòng nguyên tố và tốc độ của những chất điểm trên bề mặt dòng nguyên tố được xác định như nhau.

Ứng dụng phương trình mô men động lượng (đã đề cập đến ở chương 4). Đối với bơm, ta có biểu thức mô men quay của trục (H. 10-2):



Hình 10-2

$$M = \rho Q_T (c_2 l_2 - c_1 l_1) = \rho Q_T (C_2 R_2 \cos \alpha_2 - C_1 R_1 \cos \alpha_1)$$

Công suất trên trục của bánh công tác :  $N = M\omega$  ;  $\omega$  - vận tốc góc.

Công suất thủy lực :  $N_{\text{th}} = \gamma Q H_T$  ;  $H_T$  - cột áp lý thuyết.

Vì bỏ qua tổn thất thủy lực :  $N = N_{\text{th}}$ , nghĩa là  $\rho g Q_T H_T = M\omega$

suy ra :

$$H_T = \frac{C_2 R_2 \cos \alpha_2 - C_1 R_1 \cos \alpha_1}{g}$$

Vì :  $\omega R_1 = u_1$  ;  $\omega R_2 = u_2$  - vận tốc theo chiều quay ;

$C_1 \cos \alpha_1 = C_{1u}$  ;  $C_2 \cos \alpha_2 = C_{2u}$  - là thành phần vận tốc tuyệt đối chiếu theo phương  $u$ ,

nên :

$$H_T = \frac{u_2 C_{2u} - u_1 C_{1u}}{g} \quad (10-1)$$

Đó là phương trình cơ bản của bơm ly tâm hay còn gọi là phương trình Ôle của bơm.

Trong các bơm ly tâm hiện đại  $\vec{C}_1 \perp \vec{u}_1 \rightarrow \alpha_1 = 90^\circ \rightarrow C_{1u} = 0$  (để cột áp của bơm có lợi nhất) nên ta có :

$$H_T = \frac{u_2 C_{2u}}{g} \quad (10-2)$$

Xét phương trình (10-2) ta thấy cột áp của bơm càng lớn khi tốc độ quay vành ngoài của bánh công tác càng lớn và hình chiếu của tốc độ tuyệt đối trên phương tốc độ quay càng lớn ( $\alpha_2$  nhỏ,  $\beta_2$  lớn).

Cột áp thực tế của bơm ly tâm nhỏ hơn cột áp lý thuyết do hai nguyên nhân :

Do tổn thất thủy lực trong bơm ;



Do có số bản lá nhất định nên không phải tất cả các chất điểm của chất lỏng đều chuyển động bằng nhau. Nó làm giảm tốc độ tuyệt đối hay hình chiếu của tốc độ tuyệt đối trên phương tốc độ quay.

Vậy phương trình để tính cột áp thực tế của bơm có dạng :

$$H = K\eta_t \frac{u_2 C_{2u}}{g}$$

trong đó :  $H$  – cột áp toàn phần của bơm ;  $\eta_t$  – hiệu suất thủy lực của bơm, phụ thuộc vào cấu tạo bơm, chất lượng chế tạo các chi tiết bơm và kích thước bơm ;  $K$  – hệ số có tính đến số bản lá nhất định.

### 10.2.2. Ảnh hưởng của kết cấu cánh dẫn đến cột áp của bơm ly tâm

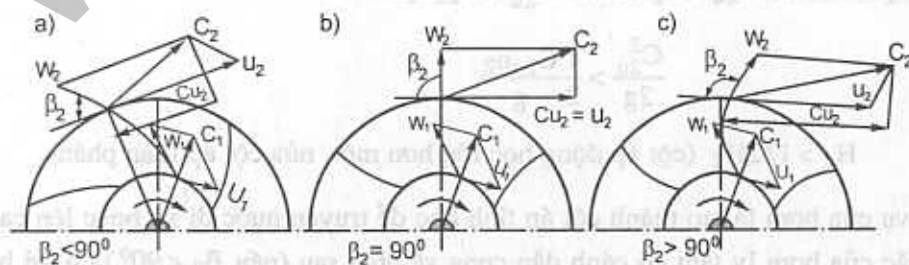
Kết cấu của bánh công tác nói chung và cánh dẫn nói riêng có ảnh hưởng quyết định đến cột áp của bơm ly tâm. Hình dạng bố trí kết cấu của cánh dẫn chủ yếu phụ thuộc vào góc  $\beta_1$  (góc vào) và  $\beta_2$  (góc ra).

– Ảnh hưởng của  $\beta_1$  : Góc  $\beta_1$  biểu thị phương của vận tốc tương đối ở lối vào của bánh công tác (H. 10-2). Như ta đã biết, trường hợp có lợi nhất về cột áp của bơm là  $\alpha_1 = 90^\circ$ , do đó  $\beta_1$  chỉ phụ thuộc vào  $u_1$  và  $C_1$  (H. 10-2) :

$$\operatorname{tg}\beta_1 = \frac{C_1}{u_1}$$

Theo (10-2) thì góc vào  $\beta_1$  không ảnh hưởng trực tiếp đến cột áp của bơm. Nhưng nếu trị số góc  $\beta_1$  không thích hợp thì sẽ gây va đập dòng chảy với cánh dẫn ở lối vào bánh công tác, ảnh hưởng xấu đến hiệu suất, cột áp của bơm (thường  $\beta_1 \approx 15 \div 30^\circ$ ).

– Ảnh hưởng của  $\beta_2$  : Góc  $\beta_2$  biểu thị phương của vận tốc ở lối ra của bánh công tác (H. 10-2). Lý thuyết và thực nghiệm chứng tỏ góc  $\beta_2$  có ảnh hưởng trực tiếp đến phương và trị số các thành phần vận tốc của dòng chảy trong máng dẫn, do đó có ảnh hưởng quyết định đến cột áp toàn phần  $H_T$  và các cột áp thành phần  $H_t$ ,  $H_d$  của bơm.



Hình 10-3



Tùy theo trị số của  $\beta_2$ , bánh công tác có ba cách bố trí cánh dẫn sau đây :

$\beta_2 < 90^\circ$  – cánh dẫn cong về phía sau (H. 10–3a) ;

$\beta_2 = 90^\circ$  – cánh dẫn hướng kính ở lối ra (H. 10–3b) ;

$\beta_2 > 90^\circ$  – cánh dẫn cong về phía trước (H. 10–3c).

Từ (10–2) ta xác định trị số cột áp động của bơm theo công thức :

$$H_d = \frac{C_2^2 - C_1^2}{2g} \quad (10-3)$$

trong đó :  $C_1$  và  $C_2$  – tốc độ tuyệt đối của chất lỏng vào và ra khỏi bánh công tác.

Trong cấu trúc của bơm, thường thiết kế sao cho  $C_1 = C_{2r}$ .

Phương trình (10–3) được viết lại như sau :

$$H_d = \frac{C_2^2 - C_{2r}^2}{2g} = \frac{C_{2u}^2}{2g}$$

Mà cột áp toàn phần của bơm từ (10–2) có dạng :

$$H_T = \frac{u_2 C_{2u}}{g}$$

– Nếu  $\beta_2 < 90^\circ$  thì  $C_{2u} < u_2$ , do đó  $C_{2u}^2 < u_2 C_{2u}$

và  $\frac{C_{2u}^2}{2g} < \frac{1}{2} \frac{u_2 C_{2u}}{g}$

Nghĩa là,  $H_d < 1/2 H_T$  (cột áp động học nhỏ hơn một nửa cột áp toàn phần).

– Nếu  $\beta_2 = 90^\circ$  thì  $C_{2u} = u_2$ , do đó :

$$\frac{C_{2u}^2}{2g} = \frac{1}{2} \frac{u_2 C_{2u}}{g}$$

hay  $H_d = 1/2 H_T$  (cột áp động học bằng cột áp tĩnh học).

– Nếu  $\beta_2 > 90^\circ$  thì  $C_{2u} > u_2$  do đó  $C_{2u}^2 > C_{2u} u_2$

$$\frac{C_{2u}^2}{2g} > \frac{1}{2} \frac{C_{2u} u_2}{g}$$

$H_d > 1/2 H_T$  (cột áp động học lớn hơn một nửa cột áp toàn phần).

Nhiệm vụ của bơm là tạo thành cột áp tĩnh học để truyền nước đi xa hoặc lên cao. Vì vậy bánh công tác của bơm ly tâm có cánh dẫn cong về phía sau (nếu  $\beta_2 < 90^\circ$ ) có lợi hơn về cột áp tĩnh học. Tuy nhiên trị số  $\beta_2$  xác định trong một giới hạn nhất định ( $\beta_2 = 15 \div 30^\circ$ ).

### 10.3. ĐƯỜNG ĐẶC TÍNH CỦA BƠM LY TÂM

Các quan hệ  $H = f_1(Q)$ ;  $N = f_2(Q)$ ;  $\eta = f_3(Q)$  biểu thị dưới dạng đồ thị gọi là các đường đặc tính của bơm.

Có 2 phương pháp xây dựng các đường đặc tính : bằng lý thuyết và thực nghiệm.

#### 10.3.1. Đường đặc tính làm việc ( $n = \text{const}$ )

a) Đường đặc tính lý thuyết : Từ phương trình cơ bản, ta có thể xây dựng đường đặc tính lý thuyết của bơm :

$$H_T = \frac{u_2 C_{2u}}{g}$$

Xét tam giác vận tốc (H. 10-4) ta có :

$$C_{2u} = u_2 - C_{2r} \cot \beta_2$$

Mặt khác :

$$C_{2u} = \frac{Q_T}{\pi D_2 b_2 \varphi_2}$$

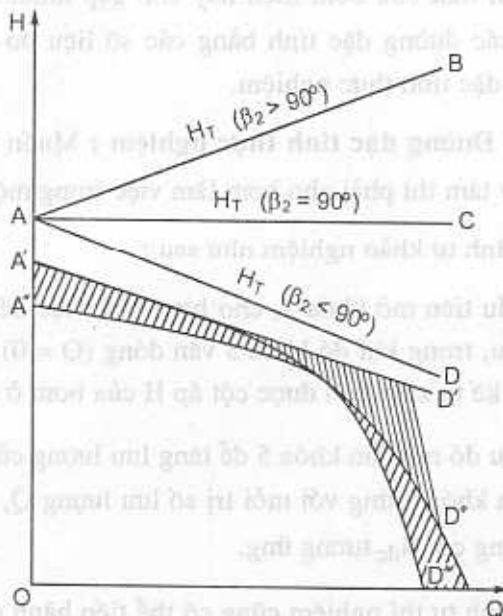
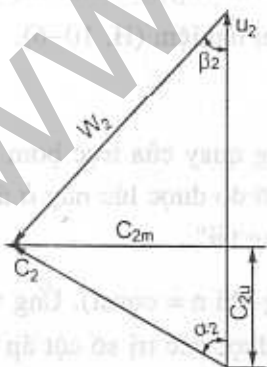
$\varphi_2$  - hệ số tính đến sự giới hạn mật cắt đi ra do có các cánh dẫn ( $\varphi_2 < 1$ ).

Do đó :

$$H_T = \frac{u_2^2}{g} - \frac{u_2 \cot \beta_2}{\pi D_2 b_2 \varphi_2} Q_T$$

$$H_T = A - B \cot \beta_2 Q_T$$

trong đó : A, B là những hằng số dương.



Hình 10-4

Hình 10-5

Đường biểu diễn phương trình này gọi là đường đặc tính cơ bản lý thuyết, đó là một đường thẳng không qua gốc tọa độ, hệ số góc của nó phụ thuộc vào trị số góc  $\beta_2$  (H. 10-5).

Nếu  $\beta_2 < 90^\circ$  thì  $\cotg\beta_2 > 0$ , ta có đường AD ;

Nếu  $\beta_2 = 90^\circ$  thì  $\cotg\beta_2 = 0$ , ta có đường AC ;

Nếu  $\beta_2 > 90^\circ$  thì  $\cotg\beta_2 < 0$ , ta có đường AB.

Như đã phân tích ở trên đối với bơm ly tâm thì  $\beta_2 < 90^\circ$ , do đó đường đặc tính lý thuyết của bơm là đường nghịch biến bậc nhất AD.

Cần chú ý đường đặc tính lý thuyết AD biểu diễn phương trình cơ bản (10-2) trong đó chưa kể tới ảnh hưởng của số cánh dẫn có hạn và các loại tổn thất. Khi kể tới ảnh hưởng do số cánh dẫn có hạn, đường đặc tính trở thành đoạn thẳng A'D'.

$$H_T = KH_T$$

trong đó :  $K < 1$  – hệ số kể tới ảnh hưởng của số cánh dẫn có hạn.

Khi kể tới các loại tổn thất thủy lực của dòng chảy qua bánh công tác các loại tổn thất này đều tỷ lệ với bình phương của vận tốc, tức là với bình phương của lưu lượng, thì đường đặc tính là đường cong bậc hai A"D".

Khi kể đến các loại tổn thất cơ học và lưu lượng thì đường đặc tính A"D'" thấp hơn một chút so với A"D". Đường A"D'" chính là đường đặc tính cơ bản tính toán của bơm ly tâm.

Cách xây dựng đường đặc tính bằng tính toán rất phức tạp vì việc đánh giá chính xác các loại tổn thất của bơm hiện nay còn gặp nhiều khó khăn. Bởi vậy trong kỹ thuật thường xây dựng các đường đặc tính bằng các số liệu đo được khi khảo nghiệm trên các máy cụ thể – đường đặc tính thực nghiệm.

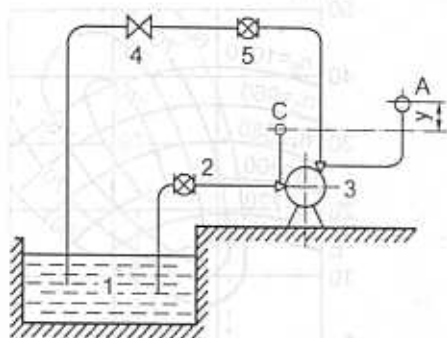
**b) Đường đặc tính thực nghiệm :** Muốn xây dựng các đường đặc tính thực nghiệm của bơm ly tâm thì phải cho bơm làm việc trong một hệ thống thí nghiệm (H. 10-6).

Trình tự khảo nghiệm như sau :

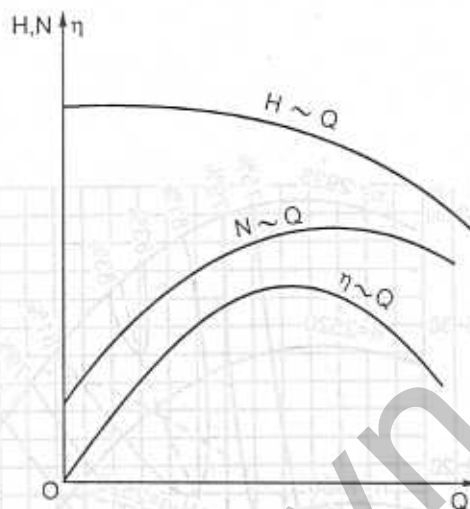
Đầu tiên mở khóa 2, cho bơm làm việc đến khi số vòng quay của trục bơm đạt tới trị số yêu cầu, trong khi đó khóa 5 vẫn đóng ( $Q = 0$ ). Từ các trị số đo được lúc này ở áp kế và chân không kế ta xác định được cột áp H của bơm ở chế độ "không tải".

Sau đó mở dần khóa 5 để tăng lưu lượng của bơm (trong khi  $n = \text{const}$ ). Ứng với mỗi vị trí mở của khóa 5 ứng với mỗi trị số lưu lượng Q, ta xác định được các trị số cột áp H, công suất của động cơ  $N_{dc}$  tương ứng.

Trình tự thí nghiệm cũng có thể tiến hành ngược lại từ chế độ làm việc có Q lớn nhất, sau đó giảm dần (bằng cách đóng dần khóa 5) cho đến chế độ "không tải" ( $Q = 0$ ).



Hình 10-6



Hình 10-7

Tại mỗi điểm làm việc ứng với  $Q$ ,  $H$  nhất định ta xác định được công suất thủy lực của bơm ( $N_H$ ) tương ứng. So sánh công suất thủy lực với công suất đo được trên trục bơm ta xác định được hiệu suất của bơm  $\eta$ .

Như vậy từ các số liệu thí nghiệm, ta có thể xây dựng được các đường đặc tính thực nghiệm của bơm  $H-Q$ ,  $N-Q$ ,  $\eta-Q$  (H. 10-7).

Các đường đặc tính thực nghiệm nói chung không trùng với đường đặc tính lý thuyết đối với một bơm cụ thể. Điều đó có thể lý giải là trong lý thuyết tính toán không thể đánh giá hoàn toàn chính xác các loại tổn thất trong bơm so với thực tế.

Các đường đặc tính thực nghiệm trên thường được ghi trong các tài liệu kỹ thuật của bơm. Đối với bơm ly tâm, thường có thêm đường biểu diễn quan hệ độ chân không hút cho phép với lưu lượng  $[H_{ck}] = f(Q)$

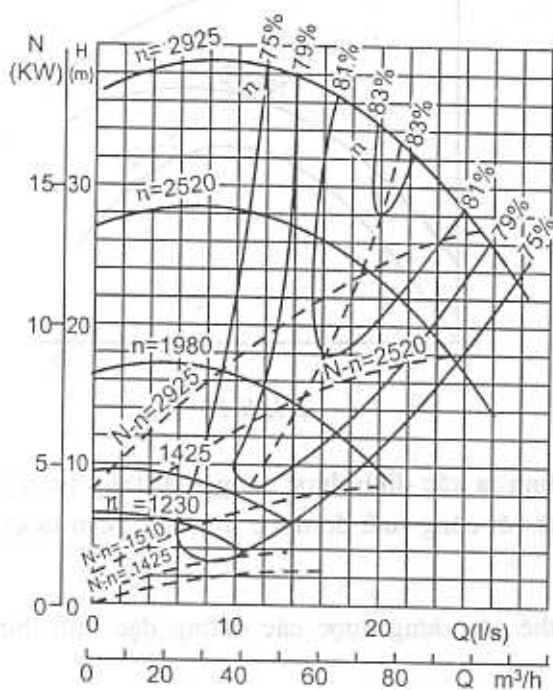
### 10.3.2. Đường đặc tính tổng hợp ( $n = \text{var}$ )

Để xác định được nhanh chóng các thông số  $Q$ ,  $\eta$ ,  $N$  của bơm thay đổi như thế nào khi số vòng quay làm việc của bơm thay đổi, người ta xây dựng đường đặc tính tổng hợp của bơm (H. 10-8).

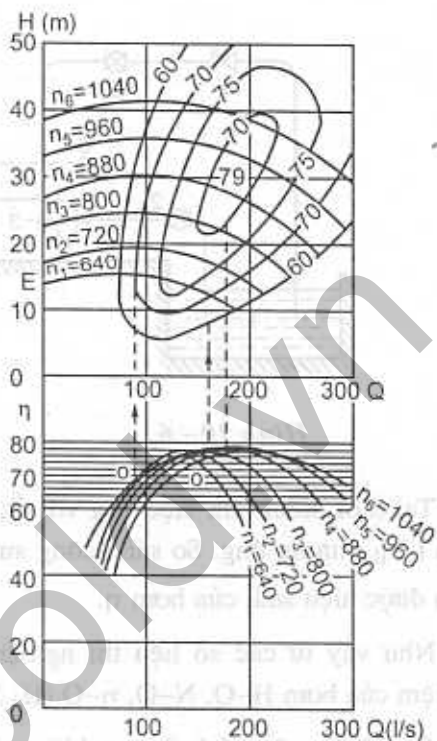
Đường đặc tính tổng hợp của bơm chính là đường biểu diễn quan hệ  $Q - H$  với các số vòng quay làm việc của bơm khác nhau, trên đó các điểm làm việc cùng hiệu suất được nối với nhau thành những đường cong, gọi là đường cùng hiệu suất.

Để xây dựng đường đặc tính tổng hợp, cần phải có các đường đặc tính làm việc ứng với nhiều số vòng quay khác nhau của bơm. Trên hình 10-9 biểu thị các đường đặc tính  $H - Q$ ,  $\eta - Q$  ứng với nhiều số vòng quay.

Căn cứ vào đường đặc tính tổng hợp của bơm ly tâm, ta có thể chọn chế độ làm việc thích hợp nhất trong khi điều chỉnh bơm, xác định được khả năng làm việc của bơm khi chọn mua bơm.



Hình 10-8



Hình 10-9

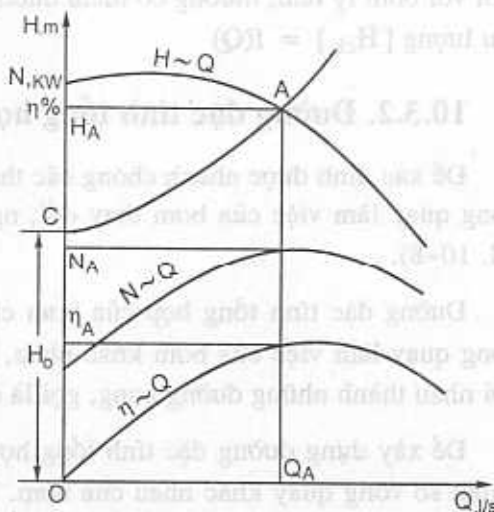
### 10.4. ĐIỂM LÀM VIỆC, ĐIỀU CHỈNH BƠM

#### 10.4.1. Điểm làm việc

Bơm bao giờ cũng làm việc trong một hệ thống đường ống cụ thể nào đấy. Do đó ta cần phải xác định chế độ làm việc của bơm. Theo (9-7) có thể xác định được cột áp của bơm làm việc trong một hệ thống (đó cũng chính là cột áp của hệ thống) :

$$H = Z + \Sigma h_w$$

trong đó :  $Z$  - độ cao hình học của bơm ;  
 $\Sigma h_w$  - tổn thất năng lượng trong ống hút và ống đẩy của bơm.



Hình 10-10

Như đã biết trong thủy lực  $\Sigma h_w$  phụ thuộc vào đường kính, chiều dài ống dẫn, lưu lượng truyền trong ống dẫn, vật liệu và trạng thái ống dẫn.



$$\Sigma h_w = AQ^2$$

trong đó : A – hệ số tổn thất phụ thuộc vào các yếu tố đã nói ở trên ; Q – lưu lượng của bơm.

Do đó có thể viết :

$$H = Z + AQ^2 \quad (10-4)$$

Đường biểu diễn quan hệ (10-4) gọi là đường đặc tính ống dẫn (đường đặc tính lưới) trong hệ thống bơm với điều kiện cho trước. Vẽ đồ thị đường đặc tính ống dẫn lên cùng đồ thị đường đặc tính làm việc của bơm (H. 10-10). Giao điểm của 2 đường đặc tính (của bơm và của hệ thống đường ống) chính là điểm làm việc của bơm lý tưởng (điểm A trên hình 10-10). Tại đó bơm làm việc ổn định vì cột áp “đẩy” của bơm bằng cột áp “cản” của hệ thống (xem thêm tài liệu [1], [5], [6]).

Điểm A cho ta biết những thông số biểu thị chế độ làm việc của bơm (lưu lượng  $Q_A$ , cột áp  $H_A$ , công suất  $N_A$  và hiệu suất  $\eta_A$  của bơm).

#### 10.4.2. Điều chỉnh bơm

Điều chỉnh bơm sang chế độ làm việc khác nghĩa là thay đổi điểm làm việc của bơm theo một yêu cầu nào đó. Có nhiều phương pháp điều chỉnh.

a) **Điều chỉnh bằng khóa :** Nội dung của phương pháp này là tạo nên sự thay đổi đường đặc tính lưới bằng cách điều chỉnh khóa ở ống đẩy để thay đổi lưu lượng Q của hệ thống (không điều chỉnh khóa ở ống hút vì có thể gây nên hiện tượng xâm thực trong bơm).

*Trên hình 10-11 :* Khi mở khóa hoàn toàn có điểm làm việc A ( $H_A, Q_A$ ).

Khi đóng bớt khóa lại thì tổn thất khóa sẽ tăng lên ( $\xi_A \rightarrow \xi_B$ ) lưu lượng của hệ thống giảm đi, nghĩa là đường đặc tính lưới sẽ thay đổi (dốc hơn), trong khi đó đường đặc tính bơm vẫn không đổi và như vậy điểm làm việc ở chế độ mới là điểm B ( $H_B, Q_B$ ).

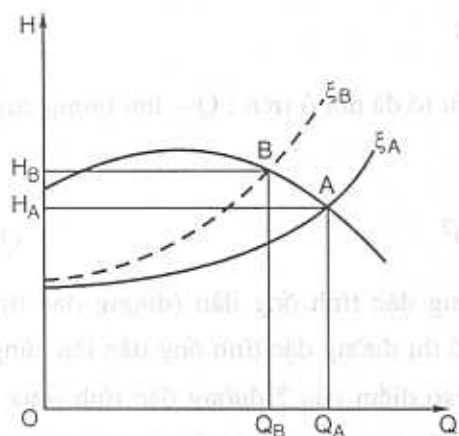
Phương pháp điều chỉnh này đơn giản, thuận tiện nhưng không kinh tế vì gây thêm tổn thất ở khóa ( $\Sigma h_{wK}$ ) khi điều chỉnh và chỉ điều chỉnh được trong phạm vi hạn chế.

b) **Điều chỉnh bằng số vòng quay trục bơm :** Nội dung phương pháp này là làm thay đổi chế độ làm việc của bơm bằng cách thay đổi đường đặc tính của bơm khi thay đổi số vòng quay của trục bơm.

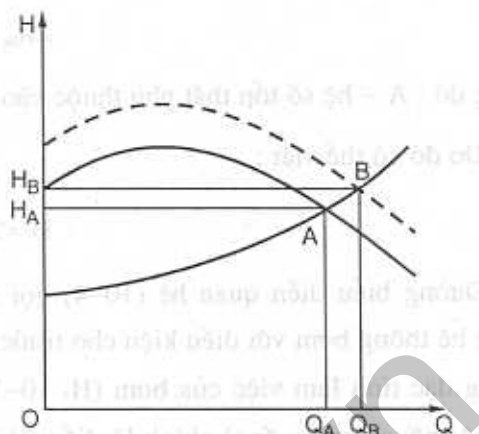
*Trên hình 10-12 :* Điểm làm việc A ( $H_A, Q_A$ ) ứng với số vòng quay  $n_A$ .

Khi tăng số vòng quay đến  $n_B > n_A$  thì đường đặc tính bơm sẽ thay đổi, trong khi đó đường đặc tính lưới không thay đổi, điểm làm việc từ điểm A chuyển đến điểm B ( $H_B, Q_B$ ).





Hình 10-11



Hình 10-12

So với phương pháp điều chỉnh bằng khóa, phương pháp này kinh tế hơn (vì không mất tổn thất năng lượng vô ích do khóa) song phức tạp hơn vì phải có thiết bị thay đổi số vòng quay.

Ngoài ra, nếu dùng lâu dài với năng suất nhỏ hơn ta có thể điều chỉnh đường đặc tính làm việc của bơm bằng cách ứng dụng định luật tương tự để gọt nhỏ bớt bánh công tác. Nhưng phương pháp này ít được sử dụng vì sẽ phá hoại bánh công tác không phục hồi lại được.

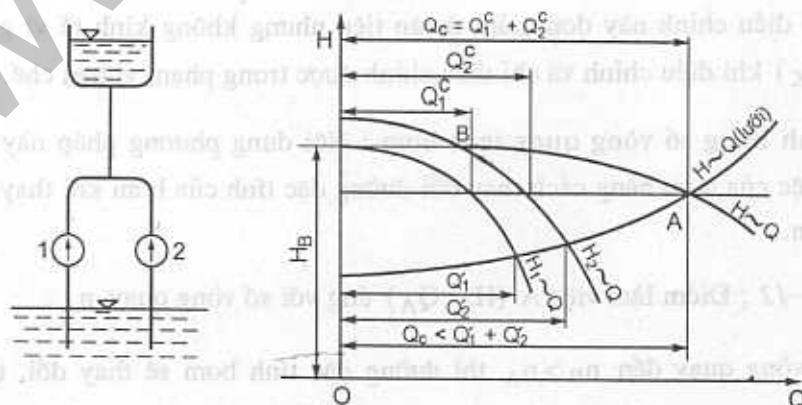
## 10.5. GHÉP BƠM LY TÂM

Trong thực tế có trường hợp phải ghép nhiều bơm làm việc trong cùng một hệ thống, khi hệ thống có yêu cầu cột áp hoặc lưu lượng lớn hơn cột áp và lưu lượng của một bơm. Có hai cách ghép.

### 10.5.1. Ghép song song

Dùng trong trường hợp hệ thống có yêu cầu lưu lượng lớn hơn lưu lượng của một bơm.

Trên hình 10-13 biểu thị sơ đồ ghép song song 2 bơm. Để xác định điểm làm việc chung của hệ thống bơm ta vẽ đường đặc tính chung của các bơm ghép bằng cách cộng các lưu lượng của từng bơm ghép với cùng một cột áp. Giao điểm của đường đặc tính chung với đặc tính lưới là điểm làm việc của các bơm ghép trong hệ thống.



Hình 10-13

Rõ ràng tổng lưu lượng của 2 bơm làm việc song song sẽ lớn hơn lưu lượng một bơm nhưng nhỏ hơn lưu lượng của hai bơm làm việc riêng rẽ vì tổn thất trong ống dẫn tăng, làm tăng cột áp toàn phần của bơm.

Sau khi nghiên cứu nguyên tắc ghép bơm song song ta thấy :

– Sự điều chỉnh (thay đổi điểm làm việc) của hệ thống bơm ghép song song tương đối phức tạp khi các bơm ghép có đường đặc tính khác nhau nhiều. Vì vậy người ta thường ghép các bơm có đường đặc tính gần giống nhau hoặc như nhau để điều chỉnh thuận lợi.

– Cách ghép bơm song song chỉ có hiệu quả lớn khi đường đặc tính của các bơm ghép thoải (có độ dốc nhỏ) và đường đặc tính lưới không dốc lắm cách ghép này ứng dụng trong các hệ thống bơm cần có cột áp  $H$  thay đổi ít, khi lưu lượng  $Q$  thay đổi nhiều.

– Số lượng bơm ghép song song để tăng lưu lượng trong hệ thống có giới hạn nhất định, xác định bởi đường đặc tính chung của các bơm ghép và đặc tính lưới.

### 10.5.2. Ghép nối tiếp

Dùng trong trường hợp hệ thống có yêu cầu cột áp lớn hơn cột áp của một bơm. Điều kiện để các bơm ghép nối tiếp làm việc được bình thường trong hệ thống là các bơm ghép có cùng một lưu lượng.

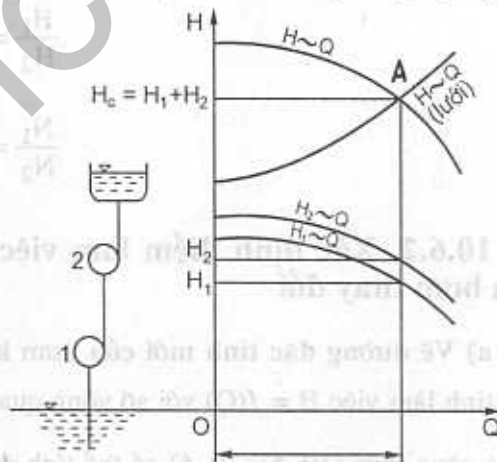
$$Q_1 = Q_2 = \dots = Q_i$$

Cột áp làm việc của hệ thống có ghép nối tiếp bơm khi  $Q = \text{const}$  bằng tổng cột áp các bơm ghép.

$$H_c = H_1 + H_2 + \dots + H_i$$

Xét hai bơm 1,2 ghép nối tiếp (H. 10-14) làm việc trong một hệ thống.

Đường đặc tính chung của 2 bơm ghép ( $H_c - Q$ ) được xây dựng bằng cách cộng các cột áp của riêng từng bơm ghép với cùng một lưu lượng. Giao điểm của đường đặc tính chung với đường đặc tính lưới là điểm làm việc của các bơm ghép trong hệ thống (điểm A - hình 10-14). Từ đó ta xác định được lưu lượng  $Q$  và cột áp của hai bơm ghép ( $H_1 + H_2$ ).



Hình 10-14

Chú ý :

- Khi ghép nối tiếp nên chọn bơm và hệ thống có đường đặc tính dốc nhiều mới có hiệu quả cao.
- Khi ghép nối tiếp, bơm thứ 2 phải làm việc với áp suất cao hơn bơm 1, do đó phải chú ý đến độ bền của bơm và hệ thống đường ống.

## 10.6. ỨNG DỤNG LUẬT TƯƠNG TỰ TRONG BƠM LY TÂM

### 10.6.1. Sự liên hệ giữa lưu lượng, cột áp với số vòng quay của bơm ly tâm

Ta đã biết trong một bơm ly tâm khi số vòng quay làm việc ( $n$ ) của bơm thay đổi thì các thông số làm việc khác của bơm  $Q$ ,  $H$ ,  $N$  cũng thay đổi theo. Thực nghiệm chứng tỏ rằng khi

một bơm ly tâm làm việc với số vòng quay  $n$  thay đổi ít (dưới 50% so với  $n$  định mức) thì hiệu suất của bơm  $\eta$  thay đổi ít có thể xem  $\eta = \text{const}$ . Mặt khác các vận tốc đều tỷ lệ với số vòng quay nên các tam giác vận tốc sẽ đồng dạng với nhau. Do đó các chế độ làm việc khác nhau của một bơm khi số vòng quay  $n$  thay đổi ít, xem như các trường hợp tương tự.

Ứng dụng các công thức xác định lưu lượng  $Q$  và cột áp  $H$  của bơm ly tâm :

$$Q = \pi D b C_2 r \eta v$$

$$H = \frac{K u_2 C_2 \cos \alpha_2 \eta_1}{g}$$

Gọi  $H_1, Q_1, N_1$  là cột áp, lưu lượng và công suất ứng với số vòng quay  $n_1$  ;

$H_2, Q_2, N_2$  là cột áp, lưu lượng và công suất ứng với số vòng quay  $n_2$  ;

Ta xác định được các quan hệ tỷ lệ giữa lưu lượng, cột áp và công suất với số vòng quay của bơm ly tâm như sau :

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (10-5)$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^2 \quad (10-6)$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^3 \quad (10-7)$$

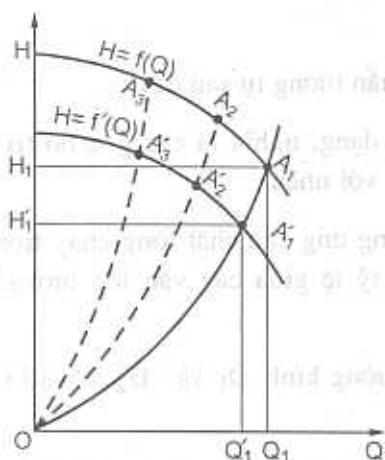
### 10.6.2. Xác định điểm làm việc và đường đặc tính khi chế độ làm việc của bơm thay đổi

a) Vẽ đường đặc tính mới của bơm khi số vòng quay làm việc thay đổi : Biết đường đặc tính làm việc  $H = f(Q)$  với số vòng quay  $n$  (H. 10-15) ứng với điểm làm việc  $A_1(H_1, Q_1)$  dùng công thức (10-5) (10-6) có thể tính được  $H'_1, Q'_1$  ứng với điểm làm việc  $A'_1(H'_1, Q'_1)$  khi số vòng quay của bơm  $n' \neq n$ .

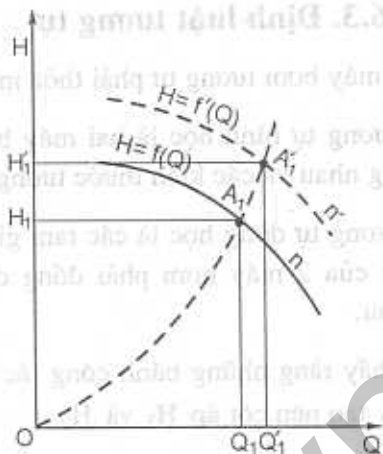
$$H'_1 = H_1 \left( \frac{n'}{n} \right)^2$$

$$Q'_1 = Q_1 \left( \frac{n'}{n} \right)$$

Cũng tương tự như vậy đối với các điểm khác  $A_2, A_3, \dots, A_i$  trên đường đặc tính  $H = f(Q)$  ta có thể tìm ra các điểm tương ứng  $A'_2, A'_3, \dots, A'_i$ . Và ta có thể vẽ được đường đặc tính mới của bơm  $H = f(Q)$  ứng với số vòng quay làm việc  $n'$  của bơm.



Hình 10-15



Hình 10-16

b) Vẽ đường biểu diễn những điểm làm việc tương tự (đường cùng hiệu suất) từ các quan hệ tương tự (10-5) (10-6) ta có thể viết :

$$\frac{H_1}{H_1'} = \left( \frac{Q_1}{Q_1'} \right)^2 \quad \text{hoặc} \quad \frac{H_1}{Q_1^2} = \frac{H_1'}{Q_1'^2} = \text{const}$$

Như vậy các điểm làm việc  $A_1, A_1', \dots$  ứng với các cặp trị số  $H_1, Q_1; H_1', Q_1'; \dots$  biểu diễn những chế độ làm việc tương tự. Các điểm làm việc tương tự biểu thị quan hệ bậc 2 giữa lưu lượng và cột áp – Quy luật Parabol :  $H = KQ^2$  ( $K$  – hằng số). Đường cong này là đường biểu diễn các điểm làm việc có hiệu suất bằng nhau gọi là đường cùng hiệu suất.

c) Xác định số vòng quay làm việc của bơm ứng với một điểm làm việc cho trước : Chẳng hạn cần xác định số vòng quay  $n'$  có đường đặc tính làm việc đi qua điểm  $A_1'(H_1', Q_1')$  không nằm trên đường đặc tính cho trước  $H = f(Q)$  ứng với số vòng quay  $n$ .

Muốn vậy, trước hết ta phải xác định đường cong cùng hiệu suất – biểu diễn các điểm làm việc tương tự với điểm  $A_1'(H_1', Q_1')$ .

$$\text{Như vậy có } H_1' = KQ_1'^2 \text{ hay } K = \frac{H_1'}{Q_1'^2}.$$

Khi biết  $K$ , vẽ đường  $H = KQ^2$  đi qua điểm cho trước  $A_1'$  cắt  $H = f(Q)$  tại điểm  $A_1$  (H. 10-16) đó chính là điểm làm việc tương tự với điểm  $A_1'$ . Khi biết được điểm  $A_1(H_1, Q_1)$  từ quan hệ tương tự (10-5), hoặc (10-6) ta có thể xác định được số vòng quay  $n'$  :

$$n' = \frac{Q_1}{Q_1'} n \quad \text{hoặc} \quad n' = n \sqrt{\frac{H_1'}{H_1}}$$

Chú ý : Bơm có thể làm việc với số vòng quay giảm, nhưng tăng số vòng quay trong trường hợp cần phải theo quy định của nhà máy chế tạo.

### 10.6.3. Định luật tương tự

Hai máy bơm tương tự phải thỏa mãn các tiêu chuẩn tương tự sau đây :

- Tương tự hình học là hai máy bơm phải đồng dạng, nghĩa là các góc bố trí cánh dẫn phải bằng nhau và các kích thước tương ứng phải tỷ lệ với nhau.

- Tương tự động học là các tam giác vận tốc tương ứng của chất lỏng chảy trong 2 bánh công tác của 2 máy bơm phải đồng dạng, nghĩa là tỷ lệ giữa các vận tốc tương ứng phải bằng nhau.

Ta thấy rằng những bánh công tác tương tự có đường kính  $D_1$  và  $D_2$  với số vòng quay  $n_1$  và  $n_2$  tạo nên cột áp  $H_1$  và  $H_2$ .

Từ phương trình cơ bản của bơm ly tâm (xác định cột áp) và công thức xác định lưu lượng của bơm, ta xác định được các quan hệ tương tự của lưu lượng cột áp và công suất khi số vòng quay và đường kính bánh công tác của 2 bơm khác nhau :

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1 D_1^3}{n_2 D_2^3} \quad (10-8)$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left( \frac{n_1 D_1}{n_2 D_2} \right)^2 \quad (10-9)$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^3 \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^5 \quad (10-10)$$

Các quan hệ (10-8),(10-9),(10-10) thể hiện nội dung của định luật tương tự của bơm ly tâm.

Dựa vào định luật tương tự ta có thể tính toán với độ chính xác cao những thông số cơ bản của bơm thiết kế, nếu biết thông số của bơm tương tự và nghiên cứu bằng thực nghiệm loại bơm mới trên mô hình nhỏ làm giảm nhẹ công việc và tăng thêm sự hoàn chỉnh cấu tạo bơm.

Tuy nhiên định luật tương tự chỉ ứng dụng trong trường hợp kích thước của bơm không khác nhau quá 2 đến 3 lần và bơm làm việc với cùng một loại chất lỏng.

### 10.6.4. Số vòng quay đặc trưng $n_s$

Số vòng quay đặc trưng là số vòng quay của bánh công tác bơm ly tâm, có các chi tiết máy tương tự hình học với bánh công tác của bơm nghiên cứu, có năng suất  $Q = 75l/s$  và cột áp  $H = 1m$  cột nước.

Dùng định luật tương tự ta có :

$$\frac{1}{H} = \frac{n_s^2 D_s^2}{n^2 D^2} \quad \text{và} \quad \frac{0,075}{Q} = \frac{n_s D_s^3}{n D^3}$$

$D_s$  và  $n_s$  là đường kính bánh công tác và số vòng quay bơm có năng suất  $Q = 75l/s$ , cột  $H = 1m$  cột nước.



Từ hai biểu thức trên ta tính được

$$\frac{D_s^2}{D^2} = \frac{n^2}{n_s^2 H} \Rightarrow \frac{D_s^3}{D^3} = \frac{n^3}{n_s^3 H^2}$$

và :

$$\frac{0,075}{Q} = \frac{n_s n^3}{n n_s^3 H^{3/2}} = \frac{n^2}{n_s^2 H^{3/2}}$$

Rút ra :

$$n_s = 3,65 \frac{n \sqrt{Q}}{H^{3/4}} \quad (10-11)$$

Xét phương trình (10-11) ta thấy số vòng quay đặc trưng không phụ thuộc vào loại chất lỏng. Như vậy ta có thể xác định được số vòng quay đặc trưng của bất kỳ loại bơm nào, nếu biết được năng suất, cột áp của bơm ứng với số vòng quay n.

Dùng khái niệm về số vòng quay đặc trưng, ta có thể :

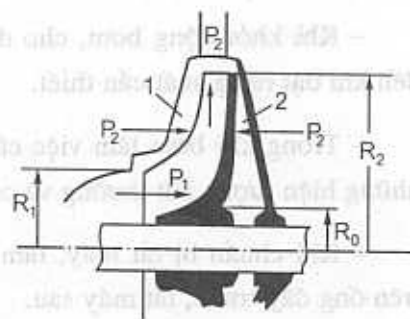
- Thành lập sự phân loại thủy lực bơm ;
- So sánh những loại bánh công tác khác nhau của bơm ly tâm ;
- Nghiên cứu những bơm lớn trên mô hình nhỏ ;
- Chọn bơm tiện lợi nhất khi biết năng suất và cột áp.

## 10.7. MỘT SỐ ĐIỂM CHÚ Ý TRONG KẾT CẤU VÀ SỬ DỤNG BƠM LY TÂM

### 10.7.1. Lực hướng trục trong bơm ly tâm

Ở những bơm hút một phía, trong thời gian làm việc bánh công tác chịu tác dụng của lực hướng trục về phía ngược với hướng chuyển động của chất lỏng đi vào bơm. Lực đó sinh ra lực ma sát phụ làm tăng thêm tổn thất năng lượng, giảm năng suất và hiệu suất của bơm.

Quan sát sơ đồ bánh công tác (H. 10-17), khi chất lỏng đi vào bánh công tác có áp suất  $p_1$  và khi đi ra áp suất tăng lên  $p_2$ . Vì  $p_2$  lớn hơn  $p_1$  nên chất lỏng đi qua các kẽ hở giữa bánh công tác và thân bơm và các buồng trống 1 và 2 và có thể chạy ngược về ống hút làm giảm năng suất bơm.



Hình 10-17

Lực hướng trục là độ chênh áp lực tác dụng lên hai mặt trống 1 và 2 từ hai phía, nghĩa là :

$$P_{ht} = (\pi R_2^2 - \pi R_0^2) p_2 - (\pi R_2^2 - \pi R_1^2) p_1 - (\pi R_1^2 - \pi R_0^2) p_1$$

Sau khi biến đổi ta có :

$$P_{ht} = \pi (R_1^2 - R_0^2) (p_2 - p_1)$$



Nếu  $p_2 - p_1 = \gamma H$  (cột áp của bơm) ta có :

$$P_{ht} = \pi \gamma H (R_1^2 - R_0^2) \quad (10-12)$$

Để làm cân bằng lực hướng trục, thường dùng các biện pháp sau đây :

- Với bơm có một bánh công tác : cho chất lỏng đi vào từ hai phía (bơm có 2 miệng hút) hoặc trên đĩa sau bánh công tác có khoan những lỗ, do đó làm giảm độ chênh áp suất tác dụng lên thành ngoài của bánh công tác.

- Với bơm có nhiều bánh công tác : có thể bố trí các bánh công tác đối xứng ngược nhau ; hoặc dùng pittong cân bằng gắn vào phần cuối roto của bơm ; hoặc dùng đĩa cân bằng gắn vào trục bơm ở cấp cuối cùng.

### 10.7.2. Một số điểm chú ý khi sử dụng bơm

- Chọn bơm đúng theo yêu cầu kỹ thuật, dựa vào đường đặc tính của hệ thống và đường đặc tính của bơm, trong đó đặc biệt chú ý đường đặc tính cơ bản ( $H - Q$ ).

- Các thiết bị và đồng hồ đo áp suất, đo chân không, đo điện nên có dây đủ, phải có van một chiều ở ống hút để dễ dàng khi mỗi bơm và khởi động bơm.

- Trước khi khởi động bơm phải kiểm tra tình trạng bơm, dầu mỡ bôi trơn, động cơ, các mối ghép, hệ thống điện..., sau đó đổ nước để mỗi bơm để cho nước điền đầy vào trong ống hút và bánh công tác của bơm, đóng khóa trên đường ống đẩy lại để tránh quá tải động cơ khi khởi động bơm.

- Khi khởi động bơm, cho động cơ quay ổn định rồi mới từ từ mở khóa ở ống đẩy cho đến khi đạt năng suất cần thiết.

- Trong khi bơm làm việc cần theo dõi đồng hồ đo, chú ý nghe tiếng máy để phát hiện những hiện tượng bất thường và có biện pháp xử lý kịp thời.

- Khi chuẩn bị tắt máy, làm thứ tự động tác ngược với khi cho máy chạy : đóng khóa trên ống đẩy trước, tắt máy sau.

- Khi bơm làm việc, chất lỏng không lên hoặc lên ít, cần dừng máy và kiểm tra lại :

Các van hoặc khóa trên ống đẩy.

Ống hút không kín hoặc chưa đuối hết không khí ra khi mới bơm.

Lưới chắn rác bị lắp kín hoặc miệng ống hút không ở đúng độ sâu cần thiết cách mặt thoáng bể hút.

Bánh công tác quay ngược chiều (khi đấu dây ngược pha trong động cơ điện) hoặc số vòng quay bánh công tác tăng, giảm quá định mức cho phép...

## Chương 11

### BƠM HƯỚNG TRỰC

#### 11.1. KHÁI NIỆM CHUNG

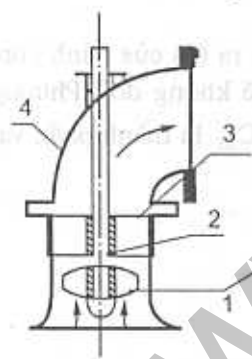
Bơm hướng trục thuộc loại bơm cánh dẫn, được dùng phổ biến trong nông nghiệp và công nghiệp nhẹ khi cần phải bơm chất lỏng với lưu lượng lớn và cột áp tương đối nhỏ.

Phạm vi ứng dụng thông thường của bơm hướng trục là :

$$Q = 0,11 \div 25 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H = 4 \div 10 \text{ m cột nước}$$

Bơm hướng trục được nghiên cứu một cách có hệ thống và được sử dụng rộng rãi trong khoảng 70 năm gần đây.



Hình 11-1



Hình 11-2

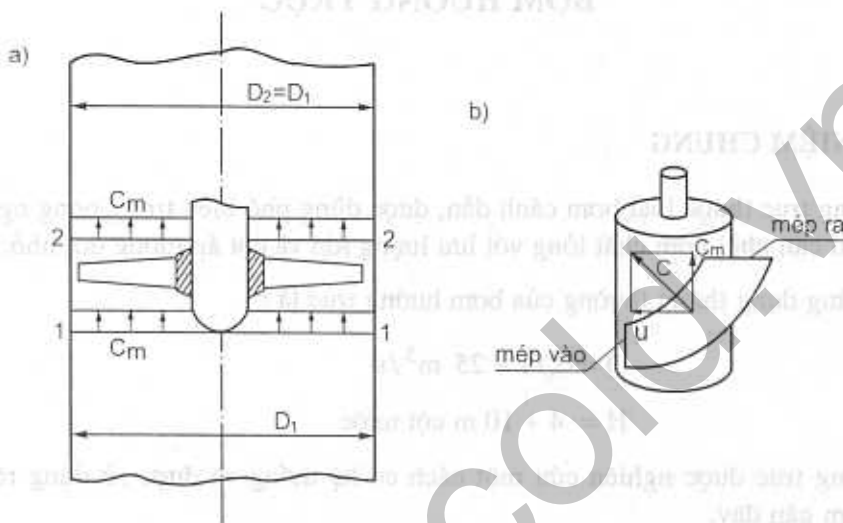
Kết cấu của bơm hướng trục khá đơn giản và chắc chắn (H. 11-1) nó bao gồm :

Phần quay (động) gồm bánh công tác 1 gắn liền với trục bơm 2. Bánh công tác hình trụ có gắn cánh dẫn mặt cong ba chiều phân bố đều xung quanh. Thường số cánh dẫn của bánh công tác từ 2 ÷ 6.

Phần đứng yên (tĩnh) là thân bơm 4, hình trụ rỗng, phía trong có gắn các cánh dẫn hướng 3 và bộ phận ổ đỡ trục. Phía trên bộ phận dẫn hướng thân bơm uốn cong để tiện bố trí các bộ phận dẫn động trục bơm.

Khác với bơm ly tâm, chất lỏng chuyển động trong bơm hướng trục không thẳng góc với trục bơm mà chuyển động trong các mặt trụ đồng tâm với trục bơm, nghĩa là vận tốc vòng ở

lối ra và lối vào của bánh công tác như nhau  $u_1 = u_2 = u$  (H. 11-2). Xét một phần tử chất lỏng bị cánh dẫn đẩy khi quay tròn (H. 11-3). Vì mặt nghiêng của cánh dẫn nên phần tử chất lỏng chuyển động theo quỹ đạo “xoắn ốc” dọc theo trục. Để giảm tổn thất năng lượng của dòng “xoắn ốc”, sau khi ra khỏi bánh công tác, người ta dùng bộ phận dẫn hướng để “khử” thành phần chuyển động quay của dòng chảy. Qua bộ phận dẫn hướng, dòng chảy trở nên song song với trục, vì thế cho nên góc độ bố trí và biên dạng cánh dẫn hướng phải sao cho phù hợp với dòng chảy sau bánh công tác.



Hình 11-3

Giả sử diện tích mặt cắt ướt của dòng chảy từ lối vào (1) đến lối ra (2) của bánh công tác bằng nhau (H. 11-3a) thì thành phần vận tốc  $C_m$  của dòng chảy sẽ không đổi. Phương của  $C_m$  trong bánh công tác hướng trục song song với trục nên còn gọi  $C_m$  là thành phần vận tốc hướng trục :

$$C_{1m} = C_{2m} = C_m$$

## 11.2. LÝ THUYẾT CƠ BẢN VỀ BƠM HƯỚNG TRỤC

### 11.2.1. Phương trình cơ bản của bơm hướng trục

Từ phương trình cơ bản của bơm cánh dẫn :

$$H = \frac{u_2 C_{2u} - u_1 C_{1u}}{g}$$

áp dụng với bơm hướng trục, ta có :

$$u_1 = u_2 = u ; \quad C_{1u} = 0 \quad (\text{vì ở lối vào của bánh công tác, dòng chất lỏng chưa có thành phần chuyển động quay}).$$

Vậy phương trình cơ bản viết cho bơm hướng trục là :

$$H_T = \frac{u C_{2u}}{g} \tag{11-1}$$

hoặc

$$H_T = \frac{W_1^2 - W_2^2}{2g} + \frac{C_1^2 - C_2^2}{2g} \quad (11-2)$$

Như vậy cột áp của bơm hướng trục được tạo nên do sự chênh lệch về trị số thành phần vận tốc tương đối và tuyệt đối ở lối ra của bánh công tác.

Từ (11-2) ta thấy cột áp của bơm hướng trục không có thành phần do lực ly tâm  $\left(\frac{u_2^2 - u_1^2}{2g}\right)$  tham dự như bơm ly tâm (đó là thành phần chủ yếu tạo nên cột áp của bơm ly tâm).

Do tính chất này mà bơm hướng trục có những đặc điểm sau :

- Cột áp của bơm hướng trục không thể lớn bằng cột áp bơm ly tâm.
- Cột áp tĩnh của bơm hướng trục chỉ do độ mở rộng các cánh dẫn của bánh công tác tạo nên ( $W_1 > W_2$ ) :

$$H_T = \frac{W_1^2 - W_2^2}{2g}$$

Thành phần vận tốc tương đối  $W$  trong bơm hướng trục có ý nghĩa quan trọng. Các cánh dẫn của bánh công tác phải có độ mở rộng thích đáng để tạo nên cột áp tĩnh cần thiết cho bơm ( $W_1 \gg W_2$ ). Điều này gây nên các tổn thất phụ vì lực quán tính của dòng chảy qua cánh dẫn có vận tốc thay đổi lớn. Để giảm bớt tổn thất phụ thêm đó, các cánh dẫn của bơm cần được gia công chính xác và có độ nhẵn bề mặt cao.

e) Công thức (11-1) cho ta thấy rằng để dòng chất lỏng qua bánh công tác bơm hướng trục được cân bằng (ổn định) thì cánh dẫn phải có kết cấu sao cho :

$$H_T = \frac{uC_{2u}}{g} = \text{const.} \quad (\text{với mọi bán kính } r)$$

Muốn vậy thì  $uC_{2u} = \text{const}$ , nghĩa là  $u$  và  $C_{2u}$  cùng phải thay đổi theo bán kính, cụ thể là  $u$  tăng dần từ trong ra ngoài thì  $C_{2u}$  phải giảm dần từ ngoài vào trong theo hướng kính của bánh công tác.

Từ tam giác vận tốc (H. 11-2) của bơm hướng trục, ta có :

$$C_{2u} = u - C_m \cot \beta_2$$

$$u = C_m \cot \beta_1$$

do đó :

$$C_{2u} = C_m (\cot \beta_1 - \cot \beta_2)$$

Thay vào (11-1) :

$$H_T = \frac{u}{g} C_m (\cot \beta_1 - \cot \beta_2)$$

hoặc :

$$H_T = \frac{\pi n C_m}{30g} R (\cot \beta_1 - \cot \beta_2) \quad (11-3)$$

trong đó :  $\frac{\pi n C_m}{30g} = \text{const}$  (vì đối với một bơm nhất định  $n = \text{const}$  thì  $C_m = \text{const}$ ).

Từ (11-3), ta thấy rằng :

- Bánh công tác bơm hướng trục chỉ tạo được cột áp khi cánh dẫn có các góc ra lớn hơn góc vào ( $\beta_2 > \beta_1$ ) tức là mặt cánh dẫn không phải là mặt phẳng mà là mặt cong. Trị số các góc  $\beta_1$  và  $\beta_2$  càng khác nhau nhiều thì độ cong của mặt cánh dẫn càng lớn. Hai bơm hướng trục có cột áp như nhau, bơm nào có số vòng quay làm việc lớn hơn, thì cánh dẫn của bánh công tác bơm đó có độ cong ít hơn.

- Để đảm bảo  $H_T = \text{const}$  thì  $R(\cot\beta_1 - \cot\beta_2) = \text{const}$ . Do đó các cặp trị số của  $\beta_1$  và  $\beta_2$  không phải cố định mà thay đổi theo bán kính  $r$ ; nghĩa là độ cong của cánh dẫn không phải đồng đều ở mọi nơi, mà ở phía sát bầu, độ cong cánh dẫn sẽ lớn nhất và giảm dần từ trong ra ngoài theo hướng kính. Độ cong cánh dẫn nhỏ nhất ứng với bán kính lớn nhất. Vì độ cong thay đổi như vậy nên mặt cánh dẫn là mặt cong theo 3 chiều trong không gian - xoắn vò dẽ (H. 11-4).

Cũng như đối với bơm ly tâm, cột áp thực tế của bơm hướng trục nhỏ hơn cột áp lý thuyết :

$$H < H_T$$

Trong trường hợp gần đúng, cột áp thực tế của bơm hướng trục có thể xác định theo công thức :

$$H = \frac{1}{K_H^2} \frac{u^2}{2g}$$

trong đó :  $K_H$  - hệ số cột áp phụ thuộc vào số vòng quay đặc trưng  $n_s$  :

$$K_H \approx 0,0244n_s^{2/3}$$

### 11.2.2. Lưu lượng của bơm hướng trục

Lưu lượng của bơm hướng trục được xác định như sau :

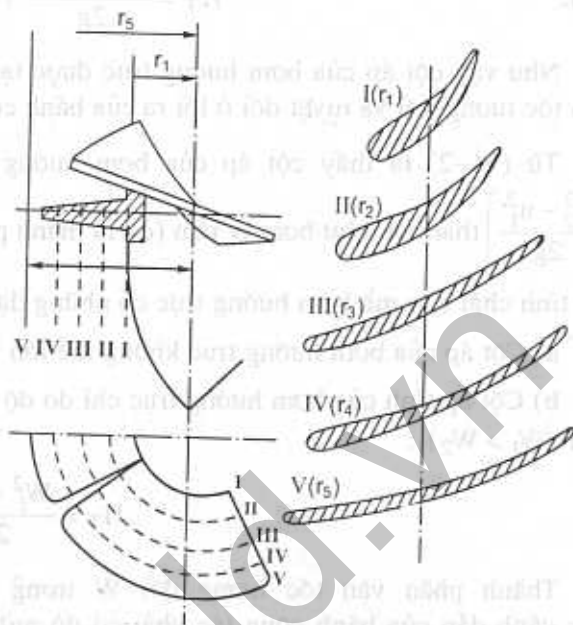
$$Q = C_m F$$

$F$  - diện tích mặt cắt ở lối ra (sau bộ phận dẫn hướng) của bơm :

$$F = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$$

trong đó :  $D$  - đường kính ngoài (lớn nhất) của bánh công tác ;

$d$  - đường kính trong (đường kính bầu) của bánh công tác ;



Hình 11-4



$$vay : Q = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) C_m$$

$C_m$  – vận tốc hướng trục của dòng chất lỏng qua bơm; có thể tính gần đúng theo công thức :

$$C_m = K_c \sqrt{2gH_T}$$

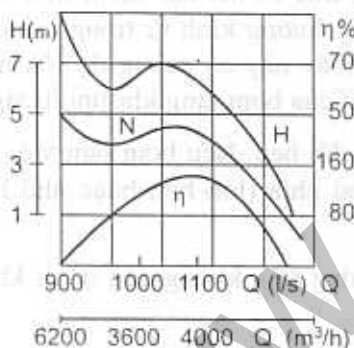
$K_c = 0,0055n_s^{2/3}$  – hệ số vận tốc.

### 11.3. ĐƯỜNG ĐẶC TÍNH CỦA BƠM HƯỚNG TRỤC

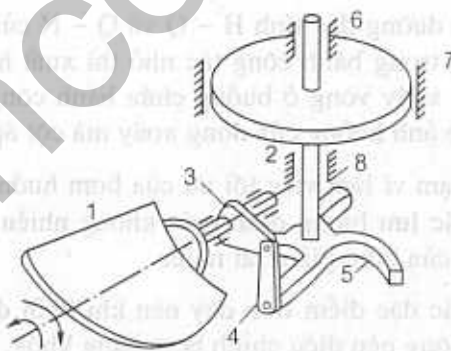
Các đường đặc tính và khả năng làm việc của bơm hướng trục được thể hiện bằng các đường đặc tính thực nghiệm; tương tự như đối với bơm ly tâm. Tuy nhiên về hình dạng các đường đặc tính của bơm hướng trục có những nét khác so với bơm ly tâm.

Trên hình 11-5 là đường đặc tính làm việc của bơm hướng trục có cánh dẫn cố định với số vòng quay không đổi.

Trong các bơm hướng trục cỡ lớn thường gặp trường hợp cánh dẫn của bánh công tác có thể thay đổi được góc độ làm việc bằng cơ cấu điều chỉnh bố trí ở bên trong bầu bánh công tác để điều chỉnh lưu lượng bơm. Sơ đồ cơ cấu điều chỉnh góc độ bố trí cánh dẫn thể hiện trên hình 11-6.



Hình 11-5



Hình 11-6

Bánh công tác như vậy gọi là bánh công tác có cánh dẫn điều chỉnh được.

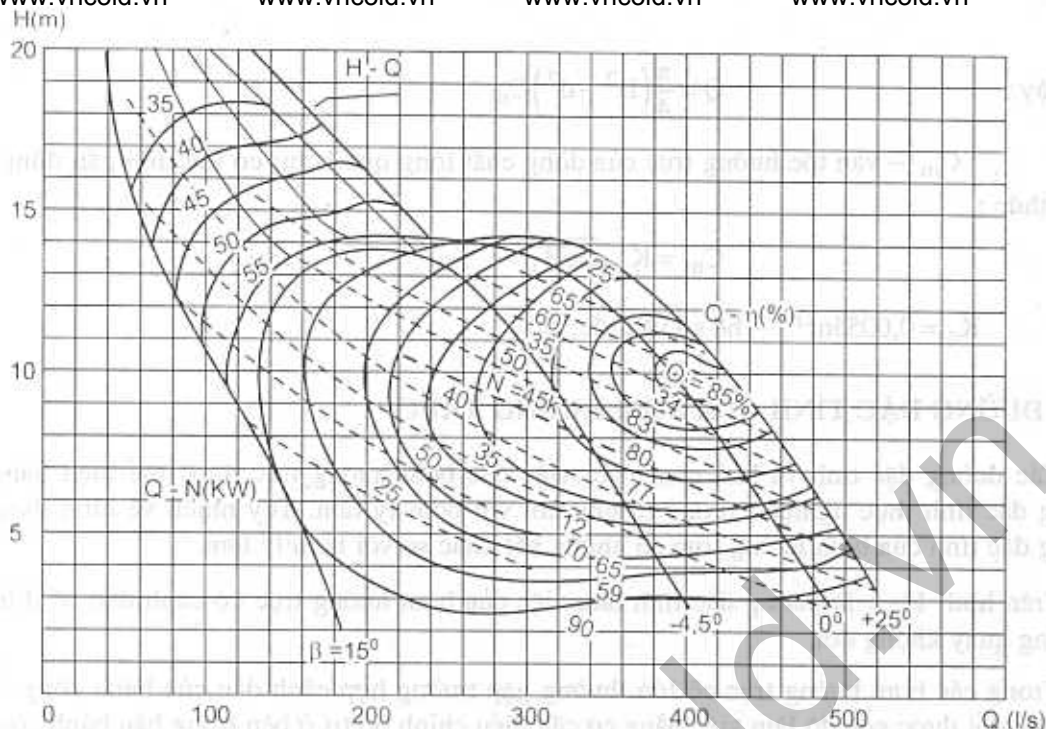
Hình 11-7 biểu thị đường đặc tính làm việc của bơm hướng trục với các góc độ làm việc khác nhau của cánh dẫn bánh công tác.

Quan sát các đường đặc tính ( $H - Q$ ), ( $Q - N$ ) và ( $\eta - Q$ ) của bơm hướng trục ở trên hình 11-5 và hình 11-7, so sánh với các đường đặc tính của bơm ly tâm, ta thấy có những điểm khác sau đây :

a) Đường đặc tính  $H - Q$  có độ dốc lớn, nhất là ở hai đầu ; ở khoảng giữa có thể có điểm uốn hoặc điểm gãy. Cột áp càng tăng khi lưu lượng càng giảm và lớn nhất khi  $Q = 0$ .

b) Đường đặc tính  $Q - N$  cũng có hình dạng tương tự như đường  $H - Q$ . Khi  $Q = 0$  thì  $N = N_{max}$  ( $N_{max}$  có thể vượt từ 1,5 đến 2 lần công suất làm việc bình thường của bơm).





Hình 11-7

Sở dĩ đường đặc tính  $H - Q$  và  $Q - N$  của bơm hướng trục có hai đặc điểm trên là vì khi lưu lượng trong bánh công tác nhỏ thì xuất hiện dòng chảy hướng kính từ trong ra ngoài tạo nên dòng xoáy vòng ở buồng chứa bánh công tác, dòng xoáy này có cường độ lớn nhất khi  $Q = 0$ . Do ảnh hưởng của dòng xoáy mà cột áp và công suất của bơm tăng khi lưu lượng giảm.

c) Phạm vi làm việc tối ưu của bơm hướng trục tương đối hẹp. Nếu bơm làm việc với lưu lượng khác lưu lượng định mức không nhiều lắm về cả hai phía (lớn hơn hoặc nhỏ hơn) thì hiệu suất của bơm giảm rất nhiều.

Do các đặc điểm trên đây nên khi khởi động bơm hướng trục không nên đóng khóa ống đẩy và không nên điều chỉnh bơm bằng khóa.

Thông thường dùng các phương pháp điều chỉnh sau:

- Điều chỉnh số vòng quay làm việc của bơm, khi có khả năng thay đổi được số vòng quay làm việc của động cơ.
- Dùng khớp nối thủy lực cho phép thay đổi số vòng quay làm việc của bơm trong khi số vòng quay động cơ vẫn không đổi.
- Dùng bánh công tác có cánh dẫn có thể điều chỉnh được góc độ làm việc, phương pháp này có thể cho phép bơm hướng trục làm việc với hiệu suất cao ở mọi chế độ. Nhưng chỉ áp dụng cho bơm có kích thước và công suất lớn, vì việc chế tạo các cơ cấu điều chỉnh góc độ làm việc của cánh dẫn tương đối phức tạp và đắt tiền.

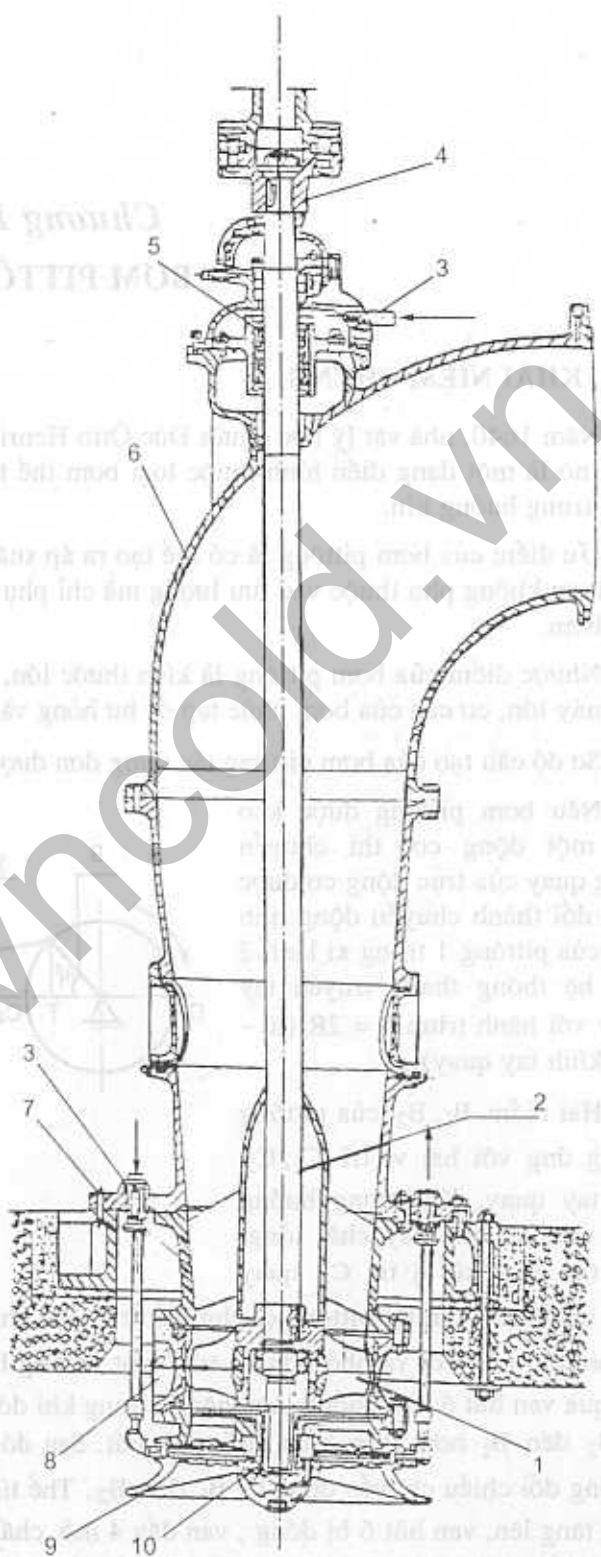
## 11.4. KẾT CẤU CỦA BƠM HƯỚNG TRỤC

So với bơm ly tâm, bơm hướng trục có kết cấu đơn giản hơn. Trong các hệ thống có yêu cầu cột áp nhỏ, lưu lượng lớn thì dùng bơm hướng trục sẽ giảm được kích thước của thiết bị và

trạm bơm. Bơm hướng trục phần lớn bố trí thẳng đứng nhưng cũng có loại bố trí xiên hoặc nằm ngang.

Trên hình 11-8 là kết cấu cụ thể của một bơm hướng trục đặt thẳng đứng. Phần quay của bơm gồm có hai bộ phận chủ yếu : bánh công tác 1 và trục 2. Bánh công tác gồm hai phần : bầu và cánh dẫn. Số cánh dẫn có từ 2 đến 6 ghép chặt với bầu bằng bu lông hoặc đúc liền. Có loại có thể quay tương đối với bầu để thay đổi góc độ làm việc bằng cơ cấu điều chỉnh đặt bên trong bầu. Bầu bánh công tác bằng gang hoặc thép. Cánh dẫn làm bằng thép hợp kim chống rỉ hoặc hợp kim đồng để có khả năng chống xâm thực tốt. Trục bơm nối với động cơ bằng khớp nối 4. Toàn bộ bộ phận quay được cố định bằng một ổ chặn trượt bố trí ở trên đỉnh động cơ và hai ổ đỡ trong vỏ bơm 5 và 10. Các ổ đỡ trục phần lớn là ổ trượt chế tạo bằng cao su nén, bôi trơn bằng nước lã và thường xuyên được thay thế đúng kỳ hạn. Khe hở  $\delta$  giữa bánh công tác (cánh dẫn) với vỏ bơm ảnh hưởng lớn đến hiệu suất lưu lượng  $\eta_Q$  và cột áp của bơm. Thường  $\delta \approx 0,001D$  ( $D$  - đường kính ngoài cùng của bánh công tác). Vỏ bơm gồm bốn phần : ống hút 9, buồng làm việc 8, bộ phận dẫn hướng 7 và ống đẩy 6. Các phần được ghép với nhau bằng bulông. Mặt trong của buồng làm việc có dạng mặt cầu, được gia công chính xác để đảm bảo khe hở cần thiết. Bộ phận dẫn hướng gồm có các cánh dẫn hướng đúc liền với vỏ bơm.

**Chú ý :** Bơm hướng trục có chiều cao hút  $Z_h < 0$  nên bơm thường phải đặt sâu dưới mặt thoáng của bể hút. Như vậy trước khi bơm làm việc không cần phải mở nước.



Hình 11-8