

Chương 1

CƠ SỞ LÝ THUYẾT VỀ MÁY THỦY LỰC

1. 1. GIỚI THIỆU CHUNG.

Phần lớn hoạt động của các máy thủy lực đều liên quan đến chất lỏng và chất khí. Vì vậy mà lý thuyết cơ sở để khảo sát các máy thủy lực được dựa trên lý thuyết cơ bản của thủy khí động lực học. Một số định luật về thủy khí động lực học ứng dụng trong việc khảo sát các máy thủy lực sẽ được trình bày dưới đây.

1.1.1. PHƯƠNG TRÌNH CÂN BẰNG NĂNG LƯỢNG-BERLLOULI

Chất lỏng và chất khí đều là một dạng của vật chất nói chung. Trong thực tế chúng luôn tiềm tàng năng lượng dưới ba dạng chủ yếu; Động năng ($\frac{mv^2}{2}$) của môi chất chuyển động, áp năng (pV) của môi chất có áp suất và thế năng (mgh) của môi chất trong môi trường trọng lực.

Năng lượng của môi chất ký hiệu E là tổng các năng lượng thành phần và được viết dưới dạng tổng quát:

$$E = pV + \frac{mv^2}{2} + mgh ;$$

Đơn vị của năng lượng là N.m hoặc KN.m.

Đối với chất lỏng, để tiện cho việc khảo sát và nghiên cứu, năng lượng của chất lỏng thường được tính cho một đơn vị trọng lượng ($G=mg$) của chất lỏng, được ký hiệu là H và gọi là cột áp của một trạng thái chất lỏng.

($H = \frac{E}{G}$); trong đó G là trọng lượng của chất lỏng, $G=mg$.

Như vậy cột áp của chất lỏng:

$$H = \frac{pV}{G} + \frac{mv^2}{2G} + \frac{mgh}{G} ; \quad (1-1)$$

Trong đó: p - áp suất của chất lỏng.

V - Thể tích chất lỏng chiếm chỗ.

m - Khối lượng chất lỏng.

v - vận tốc chuyển động tương đối của chất lỏng.

g - Gia tốc trọng trường.

G- Trọng lượng của chất lỏng.

Từ công thức (1-1) sau khi biến đổi ta được:

$$H = \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + h; \quad (1-2).$$

H là cột áp của một trạng thái chất lỏng, đơn vị của cột áp là [mH₂O].

Trong đó:

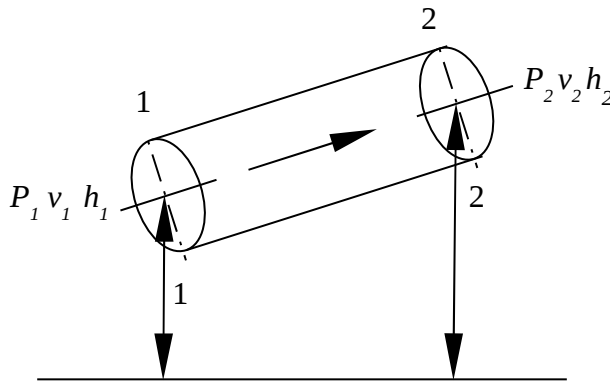
$\frac{p}{\gamma}$ - Cột áp áp năng;

$\frac{v^2}{2g}$ - Cột áp động năng;

h - Cột áp thế năng.

Tổng ba giá trị của cột áp áp năng, cột áp thế năng và cột áp động năng biểu thị cột áp toàn phần của một chất lỏng đang tồn tại ở trạng thái nào đó và được xác định bằng công thức (1-2).

Dựa trên cơ sở của định luật bảo toàn và chuyển hoá năng lượng áp dụng cho một dòng chảy của chất lỏng từ điểm 1 đến điểm 2, ta xét quy luật của nó đối với từng điều kiện cụ thể.



Hình 1.1. Sơ đồ xây dựng phương trình năng lượng

a. Phương trình cân bằng năng lượng Berllouli đối với chất lỏng lý tưởng

Xét trường hợp quãng đường chuyển động từ mặt cắt 1-1 đến mặt cắt 2-2 (Hình 1.1) mà chất lỏng không trao đổi năng lượng với môi trường bên ngoài. Khi chất lỏng là lý tưởng (độ nhớt bằng không) ta có:

$$E_1 = E_2$$

Có nghĩa là tổng năng lượng tại đầu vào (1-1) và tại đầu ra (2-2) của đường dòng là như nhau. Hoặc có thể viết dưới dạng cột áp ta có:

$$H_1=H_2 \text{ hoặc } \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + h_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_2;$$

Phương trình được viết dưới dạng chung là:

$$\frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + h = \text{const}; \quad (1-3)$$

Đây là phương trình Berllouli viết cho chất lỏng dưới dạng tổng quát.

b. Phương trình cân bằng năng lượng Berllouli đối với chất lỏng thực

* Xét trường hợp quãng đường chuyển động từ mặt cắt 1-1 đến mặt cắt 2-2 (Hình 1.1) mà chất lỏng không trao đổi năng lượng với môi trường bên ngoài. Chất lỏng thực với độ nhớt ($\nu \neq 0$), dòng chảy ổn định. Vì chất lỏng có $\nu \neq 0$, nên khi chất lỏng chuyển động từ mặt cắt 1-2 đến mặt cắt 2-2 phải chi phí một giá trị cột áp để thắng các sức cản dọc đường và một số điểm cục bộ. Giá trị tổn thất này gọi là tổn thất cột áp và ký hiệu là h_{tt} , phương trình được viết dưới dạng sau:

$$E_1 = E_2 + E_{tt} \text{ hoặc } H_1 = H_2 + h_{tt(1-2)};$$

$$\text{Hoặc } \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + h_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_2 + h_{tt(1-2)}; \quad (1-4)$$

Trong đó tổng tổn thất thủy lực từ 1→2 là:

$$h_{tt(1-2)} = h_{dọc đường} + h_{cục bộ}; \quad (1-5)$$

* Một số ít trường hợp đối với dòng chất lỏng thực ($\nu \neq 0$), dòng chảy không ổn định ($\nu = \text{variant}$). Khi đó tồn tại quán tính tức là chất lỏng chuyển động có gia tốc a thì phương trình cân bằng năng lượng tổng quát có dạng:

$$H_1 = H_2 + h_{tt(1-2)} + H_{qt} \quad (1-6)$$

c. Tổn thất thủy lực

Tổn thất thủy lực được chia làm hai dạng là tổn thất cục bộ và tổn thất dọc đường.

*Tổn thất dọc đường

Là tổn thất xảy ra dọc theo đường di chuyển của dòng chảy ký hiệu là h_λ .

Năm 1956 Daraf đã tìm ra công thức: $h_{\lambda} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$

Trong đó : L - là chiều dài dòng chảy.

D - là đường kính ống.

V - là vận tốc trung bình của dòng chảy.

G - là gia tốc trọng trường.

λ - là hệ số tổn thất dọc đường.

Giá trị của hệ số tổn thất dọc đường phụ thuộc vào tình trạng của ống (ví dụ ống nhẵn trơn, ống nhám ...) và được tra bảng hoặc tính toán bằng các công thức thực nghiệm.

Trong thực tế nếu đường ống được tạo thành bởi nhiều đoạn ống có kích thước khác nhau và tình trạng ống khác nhau thì h_{λ} tổng quát được tính theo công thức sau:

$$\sum h_{\lambda} = \sum_{i=1}^n \lambda_{.i} \frac{L_i}{d_i} \cdot \frac{v_i^2}{2g}; \quad (1-7)$$

* **Tổn thất cục bộ**

Khi đổi hướng đột ngột hay gặp vật cản trên đường đi, dòng chảy bị tách khỏi thành ống và lập tức xuất hiện khu vực xoáy. Tại đó xảy ra sự rối loạn của các phần tử chất lỏng:

$$h_c = \xi \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Trong đó : v - là vận tốc trung bình ở hạ lưu của vật cản .

ξ - là hệ số tổn thất cục bộ được xác định bằng thực nghiệm

$$\xi = \frac{Z}{\text{Re}^x}$$

Z - là hệ số phụ thuộc đặc trưng hình học của vật cản,

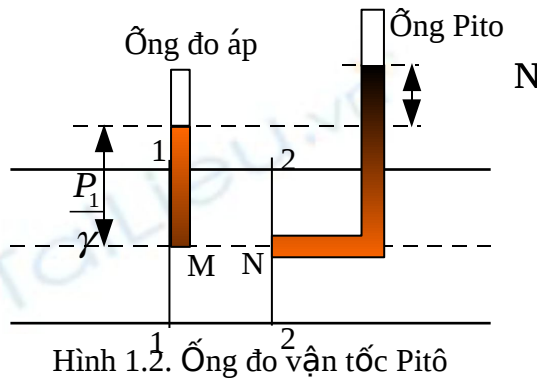
x - là số mũ phụ thuộc mức độ bị phá hoại của trạng thái chảy tầng.

Trong thực tế nếu tại nhiều vị trí có tổn thất cục bộ, với nhiều hệ số ξ khác nhau thì công thức tổng quát như sau:

$$\sum h_{\xi} = \sum_{i=1}^n \xi \frac{v_i^2}{2g}; \quad (1-8)$$

d. Ứng dụng của phương trình năng lượng Berllouli

Ống đo vận tốc Pitô: Ống Pitô là một ống nhỏ bằng thủy tinh hoặc bằng kim loại, hình chữ L, đường kính từ 6 ÷ 10 (mm), miệng ống ngấn thu hẹp với đường kính 1÷ 2 mm như (hình 1.2).



Nếu đặt ống Pitô sao cho miệng ống ngấn ngược dòng chảy và vuông góc với đường dòng sẽ thấy chất lỏng dâng lên trong ống với độ cao $\frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2g}$; Để xác đ h độ cao vận tốc $\frac{v^2}{2g}$ ta đặt thêm một ống đo áp thẳng đứng sao cho miệng ống song song với các đường dòng và sát với miệng ống vào của ống Pitô. Ống này đo $\frac{P}{\gamma}$.

Độ chênh mức chất lỏng trong hai ống đo áp và Ống Pitô cho phép xác định giá trị $\frac{v^2}{2g}$.

Viết phương trình Berllouli cho dòng chảy ổn định qua hai mặt cắt sau:

- Mặt cắt 1-1 qua miệng ống đo áp (Điểm M sát miệng Ống đo áp)
- Mặt cắt 2-2 qua miệng Ống pitô. (Điểm N sát miệng Ống Pito)
- Lấy mặt chuẩn qua các điểm M và N ta có $Z_1 = Z_2 = 0$; $v_2 = 0$; $h_{\omega 1-2}=0$ và vì đoạn 1-2 rất ngắn, nên ta có:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} \Rightarrow \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2 - p_1}{\gamma} \rightarrow v_1 = \sqrt{2g \cdot \frac{p_2 - p_1}{\gamma}} = \sqrt{2g \cdot \Delta h}.$$

Như vậy đo Δh ta tính được v .

Để xét đến ảnh hưởng của tính nhớt và sự phá hoại kết cấu của dòng chảy khi đặt ống Pitô cần đưa vào công thức tính vận tốc. Hệ số tổn thất cục bộ (ζ) được xác định bằng thực nghiệm:

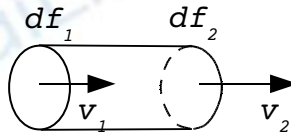
$$v = \zeta \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta h};$$

Hệ số $\zeta = 1,00 \div 1,04$.

1.1.2. PHƯƠNG TRÌNH LIÊN TỤC VÀ ỨNG DỤNG

a. Phương trình liên tục của dòng nguyên tố

Trong một dòng nguyên tố của chất lỏng chuyển động ổn định ta xét đoạn giới hạn giữa hai mặt cắt 1-1 và 2-2, xem hình 1.3



Hình 1.3. Sơ đồ thành lập phương trình liên tục

* Tại mặt cắt 1-1 ta có diện tích mặt cắt ướt là df_1 và vận tốc là v_1

* Tại mặt cắt 2-2 ta có diện tích mặt cắt ướt là df_2 và vận tốc là v_2

Trong thời gian dt

+ Thể tích chảy qua 1-1 là $v_1 \cdot df_1 \cdot dt$

+ Đồng thời thể tích chất lỏng chảy qua 2-2 là $v_2 \cdot df_2 \cdot dt$.

Theo đặc điểm của dòng nguyên tố trong chuyển động ổn định, nếu thể tích chất lỏng chảy vào không bằng chất lỏng chảy ra, thì hoặc chất lỏng bị nén lại (điều này không thể thực hiện được vì $\rho = const$) hoặc trong chất lỏng xuất hiện lỗ hổng và mất liên tục (điều này cũng không thể có được vì giả thiết chất lỏng là một môi trường liên tục).

Do đó, trong chuyển động của dòng nguyên tố chất lỏng không nén được ($\rho = const$) ta có: $v_1 \cdot df_1 \cdot dt = v_2 \cdot df_2 \cdot dt \Rightarrow v_1 \cdot df_1 = v_2 \cdot df_2$

$$dQ_1 = dQ_2 \quad (1-9)$$

b. Phương trình liên tục của toàn dòng chảy

Ta mở rộng phương trình liên tục của dòng nguyên tố cho toàn dòng chảy bằng cách tích phân phương trình trên toàn bộ mặt cắt ước f :

$$\int_{f_1} v_1 \cdot df_1 = \int_{f_2} v_2 \cdot df_2 \Rightarrow Q_1 = Q_2 : v_1 \cdot df_1 = v_2 \cdot df_2 \quad (1-10)$$

Trong dòng nguyên tố chảy ổn định, lưu lượng qua mọi mặt cắt ước đều bằng nhau và vận tốc trung bình v tỷ lệ với diện tích mặt cắt ước.

Phương trình liên tục là biểu thức của một trong những nguyên lý quan trọng nhất của vật lý: nguyên lý bảo toàn khối lượng.

1.2. KHÁI NIỆM CHUNG VỀ MÁY THỦY LỰC TÀU THỦY

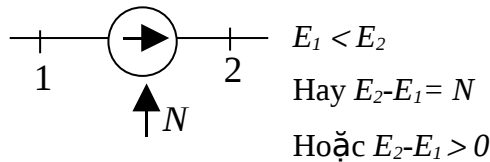
Máy thủy lực là danh từ chung để chỉ các máy làm việc bằng cách trao đổi năng lượng với chất lỏng theo nguyên lý thủy lực học nói riêng và cơ học chất lỏng nói chung.

Máy thủy lực trong thực tế được ứng dụng rất rộng rãi. Trong lĩnh vực công nghiệp tàu thủy thường ứng dụng các loại máy thủy lực như các loại bơm, động cơ thủy lực, các loại xy lanh lực, xy lanh mô men...

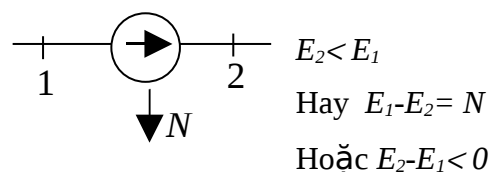
Có thể phân loại máy thủy lực theo một số cơ sở sau.

Trên phương diện trao đổi năng lượng với chất lỏng tồn tại hai nguyên tắc chính: Nhận năng lượng (Bơm) và truyền năng lượng (Động cơ).

Các máy thủy lực nhận năng lượng từ nguồn bên ngoài dưới dạng cơ năng (do các động cơ lai), sau đó truyền năng lượng cho chất lỏng dưới dạng động năng và áp năng được gọi là bơm. Biểu thị năng lượng của bơm như sau:



Ngược lại, các máy thủy lực nhận năng lượng của chất lỏng dưới dạng động năng và áp năng, sau đó biến đổi thành cơ năng để lái các thiết bị khác thì được gọi là động cơ thủy lực.



Đối với máy thủy lực nói chung, (Không phân biệt bơm hay động cơ) dựa theo nguyên tắc biến đổi năng lượng người ta còn chia ra làm hai loại máy thủy lực cánh dẫn và máy thủy lực thể tích.

Máy thủy lực cánh dẫn là máy thủy lực mà trong quá trình làm việc của nó năng lượng biến đổi liên tục từ cơ năng của thiết bị lai thành động năng của dòng chảy thông qua cơ cấu chính của máy là các cánh quay với vận tốc đủ lớn (bơm cánh dẫn) hoặc ngược lại biến động năng của dòng chất lỏng thành cơ năng để lai các thiết bị ngoài (động cơ cánh dẫn).

Trong thực tế máy thủy lực cánh dẫn thường là: bơm ly tâm, bơm hướng trục, tua bin nước, khớp nối và biến tốc thủy lực...

Máy thủy lực thể tích là máy thủy lực mà trong đó việc trao đổi năng lượng giữa chúng với chất lỏng được thực hiện nhờ sự nén chất lỏng trong những thể tích công tác kín và dưới áp lực thủy tĩnh nhất định (biến áp năng của dòng chất lỏng thành cơ năng đối với động cơ và biến cơ năng thành áp năng của dòng chất lỏng đối với bơm thủy lực)

Các máy thủy lực thể tích có thể là: bơm piston, bơm bánh răng, bơm cánh gạt và các loại bơm và động cơ thủy lực kiểu rotor.

1.3. CÁC THÔNG SỐ CƠ BẢN CỦA MÁY THỦY LỰC

Để khảo sát quá trình làm việc của máy thủy lực, người ta sử dụng một số đại lượng dựa trên định luật vật lý cơ bản và chúng được gọi là các thông số cơ bản. Một số thông số cơ bản của máy thủy lực là: cột áp, lưu lượng, công suất, hiệu suất.

1.3.1. CỘT ÁP

Cột áp của chất lỏng hay của máy thủy lực là giá trị năng lượng tính cho một đơn vị trọng lượng của chất lỏng. Cột áp thường được ký hiệu là H , đơn vị là mét và được tính bằng công thức dưới đây:

$$H = \frac{E}{G}$$

E - Năng lượng của chất lỏng,

G - trọng lượng chất lỏng.

Để tiện cho việc khảo sát ta đi xác định cột áp cho từng đối tượng cụ thể.

a. Cột áp của trạng thái chất lỏng

Là giá trị cột áp của chất lỏng nói chung ở dạng tổng quát hoặc trạng thái chất lỏng của đường dòng tại một điểm nào đó:

$$H = \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + h \quad (1-11)$$

p - Giá trị áp suất tuyệt đối tại vị trí xác định

γ - Trọng lượng riêng của chất lỏng tại áp suất đó.

v - Tốc độ trung bình của chất lỏng.

h - Độ cao hình học đối với một mặt chuẩn nào đó được xác định.

g - Gia tốc trọng trường.

Thông qua giá trị cột áp ta đánh giá được trạng thái năng lượng của phần chất lỏng đó.

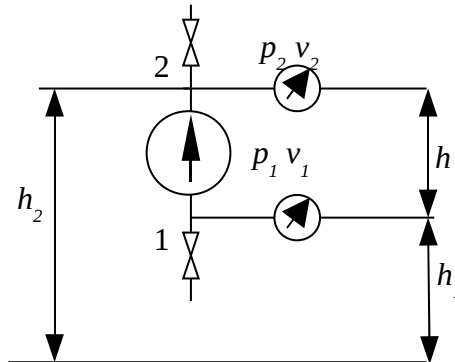
b. Cột áp của bơm

Cột áp của bơm là năng lượng của chất lỏng nhận được thông qua bơm tính cho một đơn vị trọng lượng chất lỏng, ký hiệu là H_B

$$H = \frac{E_2 - E_1}{G} \quad \text{hay } H = H_2 - H_1$$

E_1 và H_1 - là năng lượng và cột áp tại cửa vào của bơm.

E_2 và H_2 - là năng lượng và cột áp tại cửa ra của bơm.



Hình 1.4. Sơ đồ tính cột áp của bơm

Cột áp của bơm còn được tính bằng công thức sau:

$$H_B = \left(\frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_2 \right) - \left(\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + h_1 \right)$$

Nếu phân bố tốc độ đường dòng tại cửa ra và cửa vào của bơm không đều, hay dòng chảy tại các vị trí đó ở chế độ chảy rối thì công thức được viết dưới dạng sau:

$$H_B = \left(\frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_2 \right) - \left(\frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + h_1 \right),$$

Trong đó:

α_1 - Hệ số hiệu chỉnh động năng tại cửa vào.

α_2 - Hệ số hiệu chỉnh động năng tại cửa ra.

Công thức tính cột áp của bơm có thể biến đổi thành:

$$H_B = \frac{p_2 - p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_2 \cdot v_2^2 - \alpha_1 \cdot v_1^2}{2g} + (h_2 - h_1). \quad (1-12)$$

Nếu quy ước: $\frac{p_2 - p_1}{\gamma} + (h_2 - h_1)$ là cột áp tĩnh của bơm và ký hiệu

là (H_t) và coi $\frac{\alpha_2 \cdot v_2^2 - \alpha_1 \cdot v_1^2}{2g}$ là cột áp động, ký hiệu là (H_d), thì ta có:

$$H = H_t + H_d, \quad (1-13)$$

c. Cột áp của động cơ thủy lực

Cột áp của động cơ thủy lực là năng lượng đơn vị mà chất lỏng truyền được thông qua động cơ thủy lực. Đây là trường hợp ngược lại của bơm, về cách tính cũng giống như đối với bơm.

1.3.2. LƯU LƯỢNG

Lưu lượng (hay còn gọi là sản lượng) của máy thủy lực là lượng chất lỏng chuyển qua máy thủy lực trong một đơn vị thời gian, ký hiệu là (Q) hoặc (G).

Tùy thuộc lượng chất lỏng được đo như thế nào mà ta có một số dạng lưu lượng sau:

Lưu lượng thể tích là lưu lượng được đo bằng đơn vị thể tích. Thứ nguyên của lưu lượng thể tích là: m^3/h ; m^3/s ;

Lưu lượng khối lượng là lưu lượng được đo bằng đơn vị khối lượng. Thứ nguyên của lưu lượng khối lượng là kg/h , kg/s , $tấn/h$...

Lưu lượng trọng lượng là lưu lượng được đo bằng đơn vị trọng lượng. Thứ nguyên của lưu lượng trọng lượng là T/h , kg/s ...