Tài liệu chỉ xem được một số trang đầu. Vui lòng download file gốc để xem toàn bộ các trang

Lời tựa

Giáo trình "Thuỷ khí kỹ thuật ứng dụng" được biên soạn theo đề cương giảng dạy cho sinh viên các ngành kỹ thuật của trường đại học Bách khoa Đà Nẵng nhằm mục đích giúp cho sinh viên có tài liệu tham khảo trong học tập cũng như trong tính toán thiết kế các hệ thống thuỷ - khí.

Tài liệu được biên soạn không thể tránh khỏi sai sót trên mọi phương diện.

Rất mong độc giả vui lòng góp ý kiến xây dựng để tài liệu được hoàn chỉnh.

Xin chân thành cảm ơn.

Đà nẵng 8 - 2005

Tác giả

Tài liệu chỉ xem được một số trang đầu. Vui lòng download file gốc để xem toàn bộ các trang

Chương 1

Mở đầu

$1 - Mục đích, đối tượng và phương pháp nghiên cứu

Thuỷ khi kỹ thuật ứng dụng nghiên cứu các qui luật cân bằng và chuyển động của dòng chất lỏng, nghiên cứu lực tác dụng của chất lỏng lên vật ngập trong chất lỏng tĩnh hay chuyển động và nghiên cứu ứng dụng các kết quả trên vào sản xuất và đời sống.

Đối tượng nghiên cứu là chất lỏng còn gọi là chất nước. Các kết quả nhiên cứu được áp dụng cho chất khí. kim loại nóng chảy và hỗn hợp thuỷ lực, được gọi chung là chất lỏng Nui-tơn. Các bài toán của chất lỏng ở trạng thái tĩnh được trình bày trong phần tĩnh học chất lỏng, các bài toán chuyển đông của chất lỏng được giới thiệu trong phần động lực học chất lỏng.

Trong quá trình nghiên cứu thuỷ khí ứng dụng phải kết hợp chặt chẽ giữa nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm.

Việc nghiên cứu lý thuyết bắt đầu từ quan sát hiện tượng và mô tả bằng mô hình cơ học, vật lý và toán học. Khi nghiên cứu một vấn đề, chúng ta phải vận dụng các nguyên lý cơ bản của cơ học và vật lý, ngoài ra phải kết hợp chặt chẽ kiến thức toán học, cơ lý thuyết, vật lý và nhiệt động kỹ thuật ... . Đôi khi phải kiểm tra kết quả nghiên cứu lý thuyết bằng thực nghiệm trên mô hình.

Việc nghiên cứu bằng thực nghiệm đóng vai trò hết sức quan trọng vì nó bổ sung cho lý thuyết.Trong một số lĩnh vực nó là phương pháp chủ yếu làm cơ sở cho lý thuyết, ví dụ như nghiên cứu dòng rối, ...

Để đơn giản cho việc nghiên cứu lý thuyết người ta thường bắt đầu từ chất lỏng lý tưởng, sau đó mở rộng ra cho chất lỏng thực. Nghĩa là phải xét đến ảnh hưởng của tính nhớt, tính nén, ... của chất lỏng. Trong nghiên cứu lý thuyết người ta tách khỏi chất lỏng một phân tố lỏng có hình dạng tuỳ ý và có các tính chất cơ - lý như toàn bộ chất lỏng. Cần lưu ý rằng mỗi phân tố lỏng dù nhỏ đến đâu cũng có kích thước lớn hơn rất nhiều so với kích thước phân tử và nó chứa một khối lượng rất lớn phân tử. Môi trường chất lỏng được coi là gồm vô số những phân tố lỏng phân bố liên tục. Với khái niệm phân tố lỏng cho phép chúng mở rộng môi trường chất lỏng như trường vật lý để có thể ứng dụng các qui luật động học và động lực học của cơ học để nghiên cứu chuyển động của chất lỏng. Vì thế những đại lương đặc trưng động học và động lực học của chất lỏng có thể biểu diễn bằng các hàm liên tục đối với toạ độ không gian và thời gian, đồng thời những hàm số đó là những hàm khả tích, khả vi. Các phương pháp đươc sử dụng trong nghiên cứu trong thủy khí kỹ thuật :

- Phương pháp thể tích hữu hạn, trong đó sử dụng định luật giá trị trung bình của tích phân và các biểu thức liên hệ giữa tích phân mặt và tích phân khối.
- Phương pháp tương tự thuỷ khí-điện từ, trong đó môi trường vận tốc được thay bằng thế hiệu của môi trương.
- Phương pháp phân tích thứ nguyên dự trên cơ sở đồng nhất của hệ phương trình vi phân đạo hàm riêng.

Tài liệu chỉ xem được một số trang đầu. Vui lòng download file gốc để xem toàn bộ các trang

- Phương pháp thống kê thuỷ động thường được dùng để khảo sát chuyển động trung bình của dòng rối.

$2 - Lịch sử phát triển

Những năm trước công nguyên (tr.CN) Arixtốt (384-322 tr.CN) nhà triết học Hy lạp đã mô tả và giải thích các hiện tượng chuyển động của nước và không khí. Gần 100 năm sau Asimét (287 -212 tr.CN) nhà vật lý bác học Hy lạp đã tìm ra định luật đẩy lên của chất lỏng và nó trở thành cơ sở cho ngành đóng tàu thuyền. Năm 1506 LêônadaVanxi (1452-1519) dựa kết quả của Asimét đã nghiên cứu tác dụng tương hỗ giữa vật chuyển động và môi trường chất lỏng. Ông đã phát hiện ra lực nâng và đã thiết kế máy bay kiểu cánh dơi. Xtêvin (1548-1620) đã đưa ra "nguyên lý thuỷ tĩnh". Năm 1612 Galilê (1564- 1642) đã phát hiện lực cản môi trường chất lỏng lên vật chuyển động và nó tỷ lệ với vận tốc. Năm 1643 Tôrixeli (1608-1647) tìm ra công thức tính vận tốc chất lỏng chảy ra khỏi lỗ vòi. Năm 1650 Pascan (1623 - 1662) nghiên cứu sự truyền áp suất và chuyển động khả dĩ của chất lỏng. Dựa trên cơ sở đó các máy ép thuỷ lực, bộ tăng áp đã ra đời. Huyghen (1629-1695) đã chứng minh lực cản chất lỏng lên các vật chuyển động tỷ lệ với bình phương vận tốc. Trong "Những nguyên lý cơ bản của chất lỏng" Nuitơn (1642-1727) đã tách cơ học chất lỏng ra khỏi lĩnh vực cơ học vật rắn với giả thuyết nhớt của chất lỏng thực. Mãi đến thế kỷ 18 - thời kỳ phục hưng các công trình nghiên cứu của Ơle (1707-1783), Bernoulli (1718-1813), ... đã hoàn chỉnh cơ sở động lực học chất lỏng lý tưởng. Đặc biệt phương trình "tuốc bin - bơm" của Ơle là cơ sở cho việc thiết kế các máy thuỷ - khí cánh dẫn. Phương trình Bernoulli đã đươc sử dụng rộng rãi đẻ giải các bài toán kỹ thuật.

Cuối thế kỷ 18 đầu thế kỷ 19 các công trình nghiên cứu hướng vào các bài toán dòng hai chiều, chuyển động xoáy, lý thuyết dòng tia, ... Lagrăng (1736-1813) đã giải các bài toán phẳng không xoáy bằng hàm biến phức. Hemhôn (1847-1894) đã chứng minh các định lý cơ bản của chuyển động xoáy trong chất lỏng. Nó trở thành cơ sở cho việc thiết kế cánh dẫn theo lý thuyết dòng xoáy và việc ngiên cứu chuyển động của gió bão trong khi quyển.

Cuối thế kỷ 19 do yêu cầu phát triển kỹ thuật các công trình nghiên cứu hướng vào giải quyết các bài toán về chất lỏng thực. Tên tuổi các nhà bác học, kỹ sư gắn liền với các công trình, Ví dụ như : ống Venturi (1746-1822) dùng để đo lưu lượng. Công thức tính tổn thất năng lượng mang tên hai nhà bác học Đăcxi (1803-1858) và Vâyxbác (1866-1871). Số Râynôn (1842-1912) để phân biệt hai trạng thái dòng chảy. Phương trình Naviê (1785-1836) và Stốc (1819-1903) là phương trình chuyển động chất lỏng thực có xét tới vận tốc biến dạng. Phương trình vi phân lớp biên của Pơrăn đã đặt cơ sở lý thuyết cho các bài toán tính lực cản của chất lỏng thực lên vật chuyển động,... Tuy nhiên do tính chất phức tạp của chất lỏng thực nên bên cạnh các công trình nghiên cứu lý thuyết có các công trình nghiên cứu thực nghiệm. Các kết quả thực nghiệm đã góp phần khẳn định sự đúng đắn các kết quả nghiên cứu lý thuyết. Các bài toán chảy tầng trong khe hep của Cuét đã được sử dụng trong bài toán bôi trơn thuỷ động. Đến năm 1883 các thực nghiệm của Pêtơrốp đã khẳn định sự đúng đắn của lý thuyết bôi trơn thuỷ động. Đến năm 1886 Jukốpxki và học trò của ông là Traplugin đã bổ sung và hoàn chỉnh lý thuyết bôi trơn này. Do yêu cầu thiết kế tuốc bin hơi nước, tuốc bin khí và kỹ thuật hàng không viêc nghiên cứu động lực học chất khí đã được quan tâm tới. Năm 1890 Jukốpxki đã tổng quát hoá bài toán chảy bao vật có điểm rời và xác

Tài liệu chỉ xem được một số trang đầu. Vui lòng download file gốc để xem toàn bộ các trang

định công thức tính lực nâng trong chảy bao prôfin cánh dẫn. Trong thời gian này nhà bác học người Đức là Kuty cũng đã công bố kết quả tượng tự. Dòng vượt âm được hai anh em người Áo là Mắc nghiên cứu. Jukôpxki nghiên cứu chế tạo ra ống khí động và thành lập phương trình chuyển động của đạn đạo phản lực có khối lượng biến thiên.

Việc nghiên cứu chuyển động của chất lỏng thực mà đặc biệt làm sáng tỏ nguyên nhân xuất hiện dòng rối và các tính chất của nó đang là vấn đè nan giải. Áp dụng phương pháp thống kê thuỷ lực và giá trị trung bình theo thời gian của các thông số dòng rối chúng ta đã có những kết quả gần đúng về các bài toán dòng rối.

Trong thời đại cơ giới hoá và tự động hoá các ngành kỹ thuật việc ứng dụmg các thành tựu nghiên cứu chất lỏng vào các lĩnh vực đó trở thành nhu cầu. Ở các trường đại học, các ngành kỹ thuật môn học thuỷ khí kỹ thuật ứng dụng đã được đưa vào giảng dạy một cách có hệ thống trong chương trình đào tạo.

$3 - Những tính chất vật lý cơ bản cuả chất lỏng

3.1- Cấu tạo phân tử

Các chất được cấu tạo từ phân tử. Đó là những phần tử nhỏ bé nhất. Giữa chúng có lực tương tác tác dụng. Giữa các phân tử có khoảng cách. Nếu khoảng cách này nhỏ hơn 3.10^{-10} m thì các phân tử đẩy nhau, còn nếu nó lớn hơn 3.10^{-10} m thì chúng hút nhau. Nhưng nếu khoảng cách đó lớn hơn 15.10^{-10} m thì lực tương tác giữa các phân tử rất nhỏ, các phân tử được coi là không tương tác nhau nữa. Các phân tử chuyêen động không ngừng. Theo thuyết động năng thì vân tốc của chúng phụ thuộc vào nhiệt độ của vật thể. Tuỳ theo sự so sánh giữa lực liên kết và động năng của phân tử do chuyển động nhiệt vật chất được phân ra ba loại chất rắn, chất lỏng và chất khí. Các phân tử chất lỏng chuyển động quanh vị trí cân bằng, đồng thời các vị trí cân bằng này lại di chuyển, nên chất lỏng có hình dạng theo vật chứa và không thể chống lại sự biến dạng về hình dáng. Do còn bị ảnh hưởng đáng kể lực tương tác giữa các phân tử nên chất nước không chịu nén, không chịu cắt và chịu kéo. Tuỳ theo nhiệt độ và áp suất của môi trườngng chất lỏng có tính chất như chất rắn hay chất khí.

Đói với chất khí lực liên kết giữa các phân tử nhỏ hơn động năng chuyển động do nhiệt. Các phân tử chuyển động hỗn loạn, tự do. Vì thế chất khí không có thể tích và hình dáng nhất định. Các phân tử khí có khả năng điền đầy thể tích mà nó có mặt. Khi có sự thay đổi áp suất, nhiệt độ thì thể tích chất khí thay đổi lớn. Tuy nhiên trong điều kiện áp suất nhiệt độ khí trời và vận tốc dòng khí nhỏ thì vẫn có thể coi chất khí là chất lỏng không nén được. Nghĩa là có thể áp dụng các qui luật của chất lỏng cho chất khí. Chất lỏng và chất khí được coi là đồng tính đẵng hướng.

3.2 - Lực tác dụng lên chất lỏng

Tất cả các lực tác dụng lên chất lỏng đều có thể phân ra làm hai loại là lực khối và lực mặt. Lực khối tỷ lệ với thể tích chất lỏng (còn gọi là lực thể tích). Lực khối gồm có trọng lượng, lực quán tính,... . Nó được biểu diễn bằng biểu thức :

Tài liệu chỉ xem được một số trang đầu. Vui lòng download file gốc để xem toàn bộ các trang

$$F_R = \int_{(V)} R.\rho.dV$$

Trong đó V là thể tích hữu hạn của chất lỏng chịu tác dụng bởi lực khối,
ρ là khối lượng riêng của chất lỏng,
R là gia tốc khối (hay lực khối đơn vị).

Nếu chất lỏng chỉ chịu tác dụng bởi trọng lực thì gia tốc khối là gia tốc trọng trường. Nếu chất lỏng chuyển động với gia tốc thì gia tốc lực khối gồm gia tốc trọng trường và gia tốc quán tính của chuyển động.

Lực mặt tỷ lệ với diện tích bề mặt chất lỏng. Lực mặt gồm các lực nhu lực áp, lực ma sát, ... Lực mặt được tính theo công thức:

$$F_p = \int_{(S)} p.dS$$

Trong đó p là lực mặt tính trên một đơn vị diện tích. Nếu F_p thẳng góc với mặt chất lỏng thì p là áp suất. Nếu F_p tác dụng theo phương tiếp tuyến với mặt S thì p là ứng suất tiếp.

Bảng 3.1

Đơn vị	Pa (N/m^2)	bar	at (KG/cm^2)	atm	torr (mm Hg)
Pa	1	10	$1,01972.10^{-5}$	$0,98692.10^{-5}$	$7,5006.10^{-3}$
bar	10^5	1	1,01972	0,98692	$7,5006.10^2$
at	$0.98066.10^5$	0,98066	1	0.96784	$7,3556.10^2$
atm	$1.01325.10^5$	1,01325	1.03332	1	$7.60.10^2$
torr	$1.3332.10^2$	$1,3332.10^{-3}$	$1,3995.10^{-3}$	$1,31579.10^{-3}$	1

Áp suất là lực trên một đơn vị diện tích. Nếu chất lỏng cân bằng gọi là áo suất thuỷ tĩnh còn chất lỏng chuyển động thì gọi là áp suất thuỷ động. Áp suất tại một điểm được tính theo :

$$p = \lim_{dS \to 0} \frac{dF}{dS}$$

Đơn vị của áp suất là Patxcan,kí hiệu là Pa - tương đương với N/m^{-2} . Các đơn vị đo lường khác với quan hệ tương đương được trình bày trong bảng 3-1.

3.3 Khối lượng riêng

Khối lượng riêng là khối lương của một đơn vị thể tích chất lỏng, ký hiệu là ρ, đơn vị là kg/m^3. Công thức tính là :

Tài liệu chỉ xem được một số trang đầu. Vui lòng download file gốc để xem toàn bộ các trang

$$\rho = \frac{m}{V} \quad hay \quad \rho = \frac{dm}{dV} \tag{3.1}$$

Trong đó m là khối lượng (tính theo kg) chứa trong thể tích V (tính theo m^3).

Khối lượng riêng thay đổi khi nhiệt độ và áp suất thay đổi. Nếu nhiệt độ tăng thì khối lượng riêng giảm. Đối với chất lỏng sự thay đổi này không đáng kể .Ví dụ khối lượng riêng của nước thay đổi theo nhiêt độ được trình bày ở bảng 3.2. Khi nhiệt độ tăng đến 4°C thì khối lượng riêng tăng (do tính chất co thể tích của nước) và khi nhiệt độ tiếp tục tăng thì khối lượng riệng giảm giảm. Tuy nhiên sự thay đổi này không đáng kể. Trong kỹ thuật người ta thương lấy khối lượng riêng của nước là 1000 kg/m^3.

Bảng 3.2

t (°C)	0	4	10	30	60	80	100
ρ(kg/m3)	999,9	1000	999,7	995,7	983,3	971,8	958,4

Đối với chất khí sự thay đổi khối lượng theo nhiệt độ và áp suất được biểu diễn bằng phương trình trạng thái. Trong bảng 3.3 là sự thay đổi khối lượng riêng của không khí theo nhiệt độ và áp suất.

Bảng 3.3

t (°C)	-3		27			100
p (Pa)	10^5	10^6	10^5	10^6	10^7	10^6
ρ (kg/m^3)	1.33	13,3	1,127	11,27	112,7	0,916

Khối lượng riêng của một số chất lỏng thường gặp :

nước biển : 1030 kg/m^3,
thủy ngân : 13546 kg/m^3,
grixerin : 1260 kg/m^3 ,
dầu : 800 kg/m^3.

Trước đây chúng ta hay dùng khái niệm " trọng lượng riêng". Chất lỏng có khối lượng m trong thể tích V thì nó chịu sức hút trái đất với gia tốc trọng trường g và trọng lượng của nó là G = m.g và trọng lượng riêng (trọng lương của một đơn vị thể tích chất lỏng) là :

$$\gamma = \frac{G}{V} = \rho.g \qquad (N/m^3) \tag{3.2}$$

Vì giá trị của g thay đổi theo vĩ độ địa lý và độ cao vị trí tính toán so với mực nước biển nên γ có giá trị thay đổi. Trong tính toán kỹ thuật chúng ta thường lấy giá trị g = 9,81 m/s^2.

Trong kỹ thuật còn dùng khái niệm tỷ trọng (ký hiệu δ). Đó là tỷ số giữa trọng lượng riêng của chất lỏng và và trọng lượng riêng của nước ở 4°C

Tài liệu chỉ xem được một số trang đầu. Vui lòng download file gốc để xem toàn bộ các trang

$$\delta = \frac{\gamma}{\gamma_{H_2O,4^oC}} \qquad (3.3)$$

Đối với chất khí chúng ta còn dùng thể tích riêng ký hiệu là v, đơn vị m^3 / kg và tính theo công thức :

$$v = \frac{1}{\rho} \qquad (3.4)$$

3.4 - Tính nén và tính dãn nơ

Khả năng thay đổi thể tích của chất lỏng khi có sự thay đổi áp suất gọi là tính nén, còn do sự thay đổi nhiệt độ gọi là tính dãn nở của chất lỏng.

3.4.1 Tính nén

Tính nén được đặc trưng bởi hệ số nén β_p (m^2/N). Đó là sự thay đổi thể tích tương đối của chất lỏng khi áp suất thay đổi một đơn vị :

$$\beta_p = -\frac{\Delta V}{V_o}\cdot\frac{1}{\Delta p} \quad hay \quad \beta_p = -\frac{dV}{V}\cdot\frac{1}{dp} \qquad (3.5)$$

Trong đó : $\Delta V = V - V_o$ là sự thay đổi thể tích ,
V_o là thể tích ban đầu của chất lỏng.
$\Delta p = p - p_o$ là sự thay đổi áp suất.
Vì sự thay đổi thể tích và sự thay đổi áp suất ngược nhau nên trước biểu thức có dấu" -".
Từ (3.5) suy ra :

$$V = V_0(1 - \beta_p \Delta p) \quad hay \quad \rho = \frac{\rho_o}{1 - \beta_p.\Delta p} \qquad (3.6)$$

Trong đó ρ , ρ_o là khối lượng riêng của chất lỏng ứng với áp suất p và p_o.
Đại lượng nghịch đảo của hệ số nén là mô đun đàn hồi của chất lỏng, ký hiệu là E, đơn vị là N/m^2 :

$$E = \frac{1}{\beta_p} \qquad (3.7)$$

Nếu áp suất chất lỏng không làm giảm đi quá một nửa so với thể tích ban đầu của chất lỏng thì E không thay đổi và nó có ý nghĩa như mô đun đàn hồi của chất rắn.
Tính nén của chất lỏng phụ thuộc vào áp suất và nhiệt độ. Nhưng sự thay đổi này không đáng kể. Ví dụ như nước :

Tài liệu chỉ xem được một số trang đầu. Vui lòng download file gốc để xem toàn bộ các trang

Khi p = 10^5 Pa và t =0°C thì $E_{nước}$ = 2,01.10^9 N/m^2.
Nếu nhiệt độ tăng lên 20°C thì $E_{nước}$ = 2,20.10^9 N/m^2.

Điều này cũng giải thích được khả năng hấp thụ chất khí và khả năng hoà tan muối trong nước khi nhiệt độ tăng.

Nếu áp suất tăng lên từ 10^5 đến 400.10^5 Pa còn nhiệt độ không thay đổi thì khối lượng riêng của nước tăng lên khoảng 2%. Vì vậy nên chất lỏng được coi như không nén được. Tuy nhiên trong cùng một điều kiện p=10^5 Pa, t=10^o C thì $E_{nước}$ = 2.10^9 N/m^2 còn $E_{thép}$ = 2.10^{11}N/m^2, nghĩa là môđun đàn hồi của thép lớn gấp 100 lần so với nước. Vậy tính không nén được của chất lỏng chỉ để so sánh với chất khí.

Trong kỹ thuật thường có thể bỏ qua tính nén của chất lỏng. Nhưng nếu có sự thay đổi áp suất lớn, đột ngột và đặc biệt đối với những thể tích chất lỏng lớn chuyển động thì không thể bỏ qua tính nén được, ví dụ như trong va đập thuỷ lực ... .

Trong quá trình nén chất lỏng thì khối lượng của nó không thay đổi nên chúng ta có thể viết

$$m = \rho.V = const.$$

Lấy đạo hàm biểu thức này ta có :

$$\rho\, dV + V\, d\rho = 0$$

hay :

$$\frac{dV}{V} = -\frac{d\rho}{\rho}$$

Kết hợp với công thức (3.7) tính môđun đàn hồi của chất lỏng :

$$\frac{E}{\rho} = \frac{dp}{d\rho}$$

Đơn vị của biểu thức là bình phương của đơn vị vận tốc. Nên chúng ta có thể viết :

$$a = \sqrt{\frac{dp}{d\rho}} = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \qquad (3.8)$$

Theo Vật lý thì a gọi là vận tốc truyền âm trong chất lỏng và cũng là vận tốc truyền sóng áp suất ; trong nước a = 1414,2m/s ; trong chất lỏng không nén được $a \to \infty$.

Đối với chất khí quá trình nén khí xảy ra rất nhanh chúng ta có thể coi là quá trình đoạn nhiệt và vận tốc truyền âm được tính theo công thức :

$$a = \sqrt{k.r.T} = \sqrt{k\frac{p}{\rho}} \qquad (3.9)$$

Tài liệu chỉ xem được một số trang đầu. Vui lòng download file gốc để xem toàn bộ các trang

Trong đó k là chỉ số đoạn nhiệt,
r là hằng số chất khí.

Nếu cho M trọng lượng phân tử chất khí thì :

$$a = \sqrt{k\frac{RT}{M}} \qquad (3.10)$$

Trong đó R = 8314 J.kmol/^oK là hằng số tổng quát của chất khí.

Vận tốc truyền âm trong không khí với T= 288^oK ; M=28,96 Kmol và k=1,4 thì a= 341 m/s.

3.4.2 Tính dãn nở.

Khi nhiệt dộ thay đổi thì thể tích các chất đều thay đổi. Sự thay đổi này được biểu diễn một cách tổng quát bằng hàm số mũ theo nhiệt độ :

$$V = V_o (1 + \beta_1 \Delta t + \beta_2 \Delta t^2 + ...) \qquad (3.11)$$

Trong đó V_o là thể tích chất khí ở nhiệt độ ban đầu. Đối với chất lỏng chỉ cần sử dụng mối quan hệ bậc nhất :

$$V = V_o (1 + \beta_t \Delta t) \qquad (3.12)$$

β_t là hệ số dãn nở của chất lỏng. Đó là sư tăng thể tích tương đối khi nhiệt độ của chất lỏng tăng lên 1^oC. Đơn vị của hệ số dản nở là đô$^{-1}$. Từ (3.12) suy ra :

$$\beta_t = \frac{\Delta V}{V_o}\cdot\frac{1}{\Delta t} \quad hay \quad \beta_t = \frac{dV}{V_o dt} \qquad (3.13)$$

Tính dãn nở của chất lỏng phụ thuộc vào nhiệt độ và áp suất. Ví dụ nước :

khi nhiệt độ t=4^oC dến 10^oC và áp suất p=10^5 Pa thì β_t = 0,000014 độ$^{-1}$,

khi t= 10^oC đến 20^oC (tăng 10 lần , p=10^5 Pa) thì β_t = 0,000150 độ$^{-1}$

Nếu áp suất tăng lên đến 10^7 Pa thì β_t = 0,00043độ $^{-1}$ (tăng gấp 3 lần).

Nếu nhiệt độ thay đổi từ từ, độ chênh lệch nhiệt độ không đáng kể thì chúng ta cũng có thể bỏ qua sự dãn nở thể tích của chất lỏng. Nhưng khi sự thay đổi nhiệt độ lớn thì phải xét đến sự thay đổi thể tích chất lỏng. Ví dụ trong hệ thống sưởi ấm thì sự thay đổi thể tích do nhiệt độ làm cho nước chuyển động.Từ công thức trên chúng ta có thể suy ra công thức tính khối lượng riêng của chất lỏng ở nhiệt độ t :

$$\rho = \frac{\rho_o}{1 + \beta_t . \Delta t} \qquad (3.14)$$

Tài liệu chỉ xem được một số trang đầu. Vui lòng download file gốc để xem toàn bộ các trang

Riêng đối với chất khí hệ số bành trướng thể tích được tính theo công thức :

$$\beta_V = \frac{1}{p_o} \cdot \frac{dp}{dt} \qquad (3.15)$$

Đối với chất khí lý tưởng thì $\beta_t=\beta_V=1/273{,}15$ độ$^{-1}$.

3.5- Tính nhớt

Năm 1686 Nuitơn khảo sát chuyển động ổn định lớp chất lỏng trên bề mặt tấm phẳng theo phương x (hình 3-1). Trên bề mặt tấm phẳng các phần tử chất lỏng có vận tốc bằng không. Ở khoảng cách y tính từ bề mặt tấm phẳng vận tốc là v, lớp chất lỏng y+dy có vận tốc v+dv. Như vậy vân tốc chất lỏng dọc theo phương y có giá trị khác nhau. Nghĩa là giữa các lớp chất lỏng có lực tương tác hay nói cách khác giữa các lớp chất lỏng có lực ma sát làm thay đổi vận tốc chuyển động của các lớp chất lỏng. Theo Nuitơn ứng suất tiếp của lực ma sát tỷ lệ thuận với građiên vận tốc và phụ thuộc vào chất lỏng :

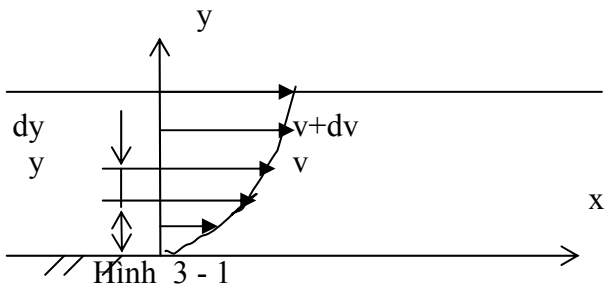
$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} \qquad (3.15)$$

Trong dó μ hệ số tỷ lệ phụ thuộc vào loại chất lỏng, gọi là độ nhớt động lực học của chất lỏng, đơn vị là $[\mu] = Pa.s$ hay $N.s/m^2$.

Ngoài ra hệ số nhớt động lực học còn đo bằng đơn vị Poazơ (ký hiệu P).

$$1P = \frac{dyn.s}{cm^2} = \frac{1}{10}\frac{N.s}{m^2}$$

Đơn vị nhỏ hơn centipoazơ (cP) : P=100 cP



Hình 3 - 1

Ngoài hệ số nhớt động lực học trong kỹ thuật hay dùng hệ số nhớt động học (ký hiệu là ν) .

Tài liệu chỉ xem được một số trang đầu. Vui lòng download file gốc để xem toàn bộ các trang

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \qquad (3.16)$$

Độ nhớt động học của chất lỏng được đo [ν]: m^2/s ;
Stốc (ký hiệu là St) : 1St = 1 cm^2/s.
Đơn vị nhỏ hơn là centiStốc (cSt) :

1cSt = 1mm^2/s ; 1St = 100 cSt

Thường độ nhớt dầu bôi trơn được ghi kèm theo mác dầu ví dụ dầu AK15 là dầu bôi trơn dùng cho ôtô máy kéo có độ nhớt ν_{50}=15 cSt ở nhiệt độ 50°C...

Ngoài ra một số nước có đơn vị đo độ nhớt riêng ,ví dụ như : Nga dùng độ Engle (°E), Anh dùng giây Ređút ("R), Pháp dùng độ Bacbê (°B), Mỹ dùng giây Sêbôn ("S).... giữa các đơn vị này có công thức chuyển đổi :

$$\nu = 0{,}0731^{\circ}E - \frac{0{,}0631}{^{\circ}E} \quad (St)$$

$$\nu = 0{,}00260''R - \frac{1{,}72}{''R} \quad (St)$$

$$\nu = 0{,}00220''S - \frac{1{,}80}{''S} \quad (St)$$

$$\nu = \frac{48{,}5}{^{\circ}B} \quad (St)$$

Cũng cần lưu ý rằng khi so sánh độ nhớt của hai chất lỏng phải dùng cùng một khái niệm là hệ số nhớt động học hay hệ số nhớt dộng lực học và cùng ở nhiệt độ. Ví dụ so sánh nước và không khí :

Khi nhiệt độ 20°C hệ số nhớt động lực học của không khí $\mu_{kk} = 18.10^{-5}$ Poazơ
hệ số nhớt động lực học của nước $\mu_{nước} = 1.10^{-2}$ Poazơ (lớn hơn 57 lần so với không khí)
Nhưng hệ số nhớt động học của không khí $\nu_{kk} = 15.10^{-2}$ Stốc (lớn hơn 15 lần so với nước; hệ số nhớt động học của nước $\nu_{nước} = 1.10^{-2}$ Stốc)

Độ nhớt của chất lỏng phụ thuộc vào nhiệt độ và áp suất môi trường làm việc. Khi nhiệt độ tăng độ nhớt của chất lỏng giảm, còn của chất khí thì lại tăng (Hình 3-2). Tùy theo phạm vi nhiệt độ làm việc cần chọn dầu bôi trơn cho phù hợp. Trong công nghiệp thường lấy độ nhớt động học ở 50°C làm chuẩn.

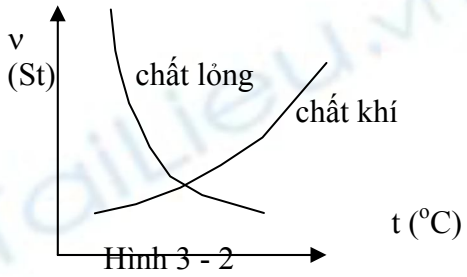
Ảnh hưởng của áp suất đến độ nhớt không đáng kể. Nếu $p<200.10^5$ Pa thì không cần xét tới sự thay đổi của độ nhớt khi áp suất thay đổi. Sự thay đổi này được mô tả bằng phương trình sau :

$$\nu_p = \nu(1+k.p)$$

Tài liệu chỉ xem được một số trang đầu. Vui lòng download file gốc để xem toàn bộ các trang

ν độ nhớt khi áp suất bằng áp suất khí trời
k hệ số phụ thuộc loại dầu : dầu nhẹ k=0,002 ; dầu nặng k=0,003 (thường dùng trong truyền động thuỷ lực)
p áp suất tính bằng at

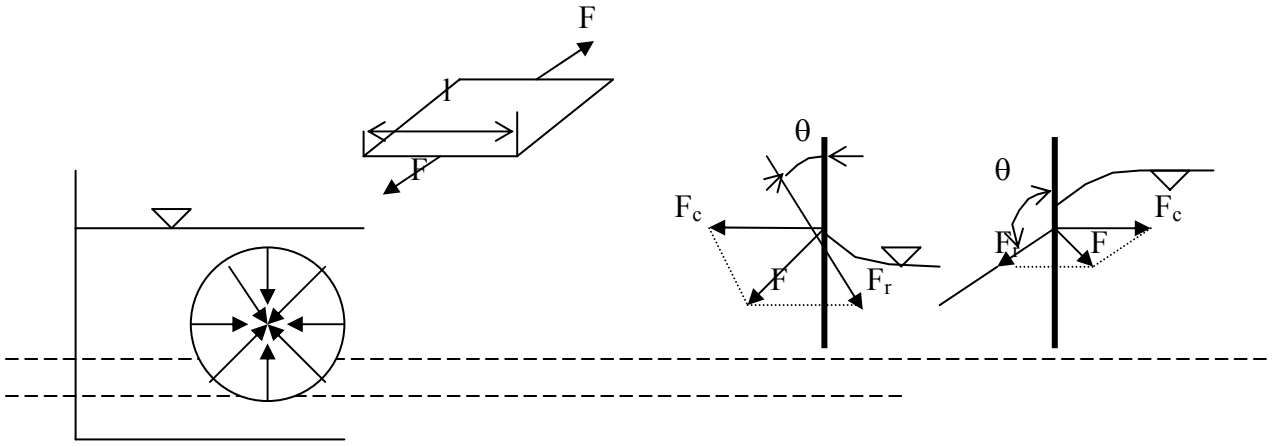
Hệ số nhớt động học (ν) của một số chất lỏng :
nước : $1,01.10^{-6}$ m^2/s ; (ở 20°C) ;
xăng = $0,83.10^{-6}$ m^2/s ; (ở 20°C) ;
thuỷ ngân = $0,116.10^{-6}$ m^2/s (ở 18° C) ;
dầu máy = 60.10^{-6} m^2/s ; (ở 18°C) ;
không khí = $14,9.10^{-6}$ m^2/s (ở 30°C); ...



Hình 3 - 2

3.6 - Sức căng bề mặt của chất lỏng

Tính chất này của chất lỏng thể hiện rõ ở những bề mặt giữa chất lỏng này với chất lỏng khác (giữa nước với thành rắn, ...) mà giữa chúng không thực hiện phản ứng hoá học. Ở các mặt tiếp xúc này chất lỏng tạo ra một màng mỏng bao quanh bề mặt chất lỏng. Nguyên nhân xuất hiện sức căng bề mặt là lực hút giữa các phân tử. Các phân tử lỏng ở trong chất lỏng chiu tác dụng mọi phía như nhau. Còn ở các phân tử trên bề mặt tiếp xúc hoặc ở lớp ngoài có bề dày nhỏ hơn 10^{-9} m thì các lực tác dụng lên chúng không bằng nhau. Các phân tử này chịu tác dụng một lực tổng hợp hướng vào trong chất lỏng và tạo nên một màng mỏng trên bề mặt tiếp xúc gọi là sức căng bề mặt (hình 3-3a). Hệ số sức căng bê mặt (ký hiệu C) là lực tác dụng lên một đơn vị độ dài bề mặt thẳng góc với độ dài và nằm trong bề mặt của chất lỏng (hình 3-3b) :



Tài liệu chỉ xem được một số trang đầu. Vui lòng download file gốc để xem toàn bộ các trang

a/ b/

Hình 3 - 3

$$c = \frac{dF}{dl} \qquad (3.17)$$

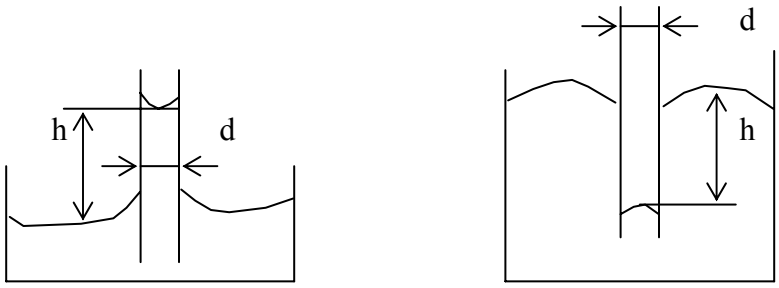
Trong đó F là lực tác dụng,
l là chiều dài bề mặt tiếp xúc của chất lỏng.

Hệ số sức căng bề mặt chất lỏng (hoặc gọi là hệ số mao dẫn) đo bằng N /m. Trong bảng 3.3 là hệ số sức căng bề mặt của một vài chất lỏng ở 20^o C

Bảng 3.3

chất lỏng	nước	dầu	thuỷ ngân	cồn
C(dyn/cm)	72,5	27	460	22,5

Khi nhiệt độ tăng hệ số sức căng bề mặt chất lỏng giảm theo qui luật tuyến tính. Ví dụ hệ số sức căng bề mặt của nước thay đổi theo nhiệt độ t=100^{o}C thì c=55 dyn/cm ; t=200^{o}C thì c=27,5 dyn/cm.



Hình 3 - 4

Dựa vào tính chất sức căng bề mặt của chất lỏng để khảo sát các vấn đề sau:

- Sức bề mặt giữa các lớp chất lỏng với nhau.
- Hiện tượng dính ướt.
- Hiện tượng mao dẫn : Khi chất lỏng ở trong ống có đường kính nhỏ (gọi là ống mao dẫn) nếu lực dính ướt (Fr) lớn hơn lực kéo các phần tử lỏng (Fc) thì chất lỏng dâng lên trong ống cao hơn mực nước bên ngoài. Độ cao này gọi là độ cao mao dẫn (chất lỏng là nước). Còn nếu như Fc>Fr thì chất lỏng trong ống tụt xuống so với mực chất lỏng bên ngoài. Hiện tượng này gọi là hạ mao dẫn (chất lỏng là thuỷ ngân) (hình-3.4).

Độ cao mao dẫn được tính từ điều kiện cân bằng giữa trọng lượng cột chất lỏng và lực căng bề mặt: $\pi.d.c = \frac{\pi}{4} d^2 h.\rho.g$

Tài liệu chỉ xem được một số trang đầu. Vui lòng download file gốc để xem toàn bộ các trang

Suy ra: $$h = \frac{4c}{\rho.g.d}$$

Công thức này thường dùng để tính hệ số sức căng bề mặt. Để tránh hiện tượng mao dẫn trong các dụng cụ đo bằng chất lỏng (đo áp suất, nhiệt độ) phải chọn đường kính ống đo lớn hơn 10 mm.

3.7 - Sự sôi của chất nước

Sự sôi của chất nước là quá trình bay hơi chất lỏng được xảy ra không những từ mặt thoáng mà còn xảy ra bên trong chất lỏng, các bọt khí được tạo thành trong toàn bộ chất nước và vỡ ra. Lúc đó áp suất bay hơi bão hoà trong bọt khí $p_{bh} > p_o$. Nhiệt độ ứng với p_{bh} gọi là nhiệt độ sôi. Nhiệt độ sôi của chất nước ở áp suất p_o là không đổi. Nhiệt lượng cung cấp tiếp cho chất nước đang sôi dùng để sinh công tách các phân tử ra khỏi pha lỏng và chuyển chúng sang pha hơi.

3.8 - Sự hấp thụ khí của chất lỏng

Sự hấp thụ khí trong chất nước được biểu thị bằng độ hoà tan chất khí trong chất lỏng, ký hiệu là α^* :

$$\alpha^* = \frac{V_k}{V} \qquad (3.18)$$

Trong đó V_k là thể tích chất khí được hấp thụ trong V thể tích chất lỏng.
Thể tích chất khí ở nhiệt độ t (V_k) được tính theo thể tích khí ở nhiệt độ t = 0^o C (V_{ok}) :

$$V_K = V_{OK} (1 + \beta_t .t)$$

Hệ số hấp thụ khí của chất lỏng ở nhiệt độ t = 0^o C ; T=273^oK là :

$$\alpha = \frac{V_{ok}}{V} = \frac{V_k}{V(1+\beta_t.t)} = \frac{\alpha^*}{1+\beta_t.t} = \frac{273}{T}\alpha^* = \frac{273}{T}\frac{V_k}{V} \qquad (3.19)$$

Hệ số hấp thụ khí của nước trong điều kiện 0^oC và áp suất khí quyển là :

Oxy	:	0,0489 ;
Nitơ	:	0,0231 ;
OxýtCácbonít	:	1,7130 ;
Amôniắc	:	1300 .

Tài liệu chỉ xem được một số trang đầu. Vui lòng download file gốc để xem toàn bộ các trang

Hệ số hấp thụ khí giảm khi nhiệt độ tăng nhưng lúc đầu thì giảm nhanh sau đó chậm hơn. Chẳng hạn như oxy và nitơ ở 40^{o}C thì hệ số hấp thụ trong nước giảm đi một nửa.

Khối lượng chất khí được hấp thụ vào chất nước được tính từ phương trình trạng thái :

$$P.V_K = m.r.T \quad suy \quad ra \quad m = \frac{p.V_k}{r.T} = \frac{\alpha^*.p}{273.r}V \tag{3.20}$$

Nghĩa là ở nhiệt độ xác định khối lượng chất khí được hấp thụ vào chất lỏng tỷ lệ với áp suất trên mặt thoáng chất nước.

Bây giờ chúng ta xét trường hợp hấp thụ hỗn hợp chất khí vào chất lỏng. Trong trường hợp này áp suất riêng phần của từng chất khí là :

$$p_1 = \frac{m_1.r_1.T_1}{V_{hh}} \quad ; \quad p_2 = \frac{m_2.r_2.T_2}{V_{hh}}$$

$$suy \quad ra \qquad \frac{p_1}{p_2} = \frac{m_1.r_1}{m_2.r_2}$$

Trong đó m_1 , m_2 là khối lượng chất khí trong hỗn hợp.
V_{hh} là thể tích hỗn hợp của chất khí,
T_1=T_2.

Bởi vì mỗi chất khí có khả năng điền đầy thể tích không gian trên mặt thoáng chất nước và nếu tách hỗn hợp khí ra thành những thể tích riêng rẽ thì mỗi chất khí sẽ chiếm thể tích :

$$V_1 = \frac{m_1.r_1.T}{p} \quad suy \quad ra \quad m_1.r_1 = \frac{V_1.p}{T} \quad ;$$

$$V_2 = \frac{m_2.r_2.T}{p} \quad suy \quad ra \quad m_2.r_2 = \frac{V_2.p}{T}$$

Trong đó $p = p_1+p_2$ (theo định luật Đantôn).
T là nhiệt độ hỗn hợp.

Từ các phương trình trên chúng ta suy ra :

$$\varphi = \frac{p_1}{p_2} = \frac{V_1}{V_2} \tag{3.21}$$

Nghĩa là tỷ số áp suất riêng phần của hỗn hợp chát khí bằng thể tích riêng phần của chúng. Khi hỗn hợp này được hấp thụ vào chất lỏng thì tỷ lệ hỗn hợp sẽ phụ thuộc vào hệ số hấp thụ α của mỗi chất nghĩa là :

Tài liệu chỉ xem được một số trang đầu. Vui lòng download file gốc để xem toàn bộ các trang

$$\varphi^* = \frac{V_{1h}}{V_{2h}} = \frac{p_1.\alpha_1}{p_2.\alpha_2} = \frac{\alpha_1}{\alpha_2}\varphi \qquad (3.22)$$

Ví dụ :Trong không khí có 21% Oxy và 79% Nitơ.

Tỷ lệ hỗn hợp này là : $\varphi = \frac{V_0}{V_n} = \frac{0,21}{0,79} = 0,265$.

Khi dược hấp thụ trong nước ở 0^o C thì tỷ lệ này là : $\varphi^* = \frac{0,21.0,0489}{0,79.0,0231} = 0,563$.

Như vậy lượng ôxy được hấp thụ trong nước gấp hai lân trong không khí.

Khi chất lỏng giải phóng chất khí hấp thụ được do sự thay đổi áp suất (giảm) hoặc nhiệt độ (tăng) làm ảnh hưởng đến tính toán thuỷ lực và gây ra sự gián đoạn chuyển động của chất lỏng.

3.9 - Sự trao đổi nhiệt và khối lượng

Hiện tương này được xảy ra ở trong môi trường chất lỏng ở trạng thái tĩnh lẫn chuyển động. Nhiệt được truyền qua chất lỏng tuân theo định luật Furiê. Sự khuyếch tán khối lượmg tuân theo định luật Fích. Hệ số dẫn nhiệt và hệ số khuyếch tán phụ thuộc vào nhiệt độ [1].

3.10 - Các đại lượng trạng thái của chất khí

3.10.1 - Phương trình trạng thái của chất khí

Các thông số trạng thái của chất khí lý tưởng có liên quan chặt chẽ với nhau trong phương trình trạng thái Clapeyrôn (1884) :

$$p.v = r.T \quad hay \quad \frac{p}{\rho} = r.T \qquad (3.23)$$

Phương trình trạng thái viết cho m kg khối lượng chất khí :

$$p\ V = m\ r\ T \qquad (3.24)$$

cho n=m/M mol chất khí : $$pV = \frac{m}{n}R.T \qquad (3.25)$$

Trong đó M là trọng lượng phân tử của chất khí ,
r hằng số chất khí (với không khí r=287 J/kg/^{0}K)
R là hằng số tổng quát của chất khí,
ρ là khối lượng riêng của chất khí ,
p là áp suất của chất khí.

Phương trình trạng thái chỉ được sử dụng khi chất khí ở trạng thái cân bằng.

Tài liệu chỉ xem được một số trang đầu. Vui lòng download file gốc để xem toàn bộ các trang

3.10.2 - Nội măng, công thể tích chất khí

Theo nguyên lý thứ nhất của nhiệt động học chất khí thì nhiệt truyền cho hệ trong một quá trình có giá trị bằng biến thiên nội năng của hệ và công thể tích do hệ sinh ra trong quá trình :

$$dq = du + da \qquad (3.26)$$

Trong đó q là nhiệt truyền cho hệ (J/kg) ;
u là nội năng của chất khí (J/kg) ;
a là công thể tích của chất khí (J/kg).

Nội năng đựoc xác định theo thuyết động lực học phân tử., $du = c_v.dT$. Nội năng là hàm trạng thái đơn vị nên nó có vi phân toàn phần bởi vì độ biến thiên của nó không phụ thuộc vào quá trình .

Công thể tích được sinh ra khi chất khí bị tác dụng bởi áp suất p làm thay đổi thể tích chất khí dv là $da = p\,dv$; (ở đây v là thể tích riêng). Độ lớn của công phụ thuộc vào quá trình làm thay đổi trạng thái chất khí, nên công không phải là hàm của quá trình.

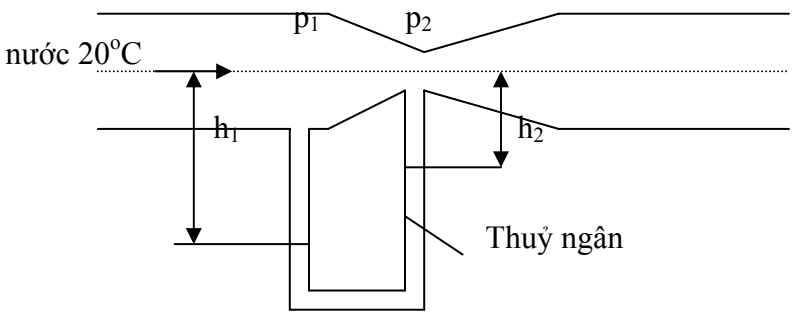
3.11 Chất lỏng lý tưởng

Việc nghiên cứu chất lỏng được bắt đầu tứ chất lỏng lý tưởng, trên cơ sở đó chúng ta mở rộng cho chất lỏng thực. Chất lỏng lý tưởng có những tính chất sau :

- Không có tính nhớt
- Di động tuyệt đối
- Hoàn toàn không chống được lực kéo và lực cắt

Chất lỏng ở trạng thái tĩnh hoàn toàn tuân theo các qui luật cân bằng của chất lỏng lý tưởng.

Ví dụ 1: Nước ở nhiệt dộ 20^{o}C chảy qua ống có tiết diện thay đổi. Người ta lắp một áp kế thủy ngân như hình 3-5 để đo độ chênh áp suất ở hai tiết diện. Hãy tính độ chênh lệch áp suất ? Cho biết ρ_o=13600 kh/m^3 ở 0^{o}C. Hệ số dãn nở của thủy ngân β_t=1,815.10^{-4} độ $^{-1}$ và h_1=350 mm ; h_2=150 mm và ρ_n=1000 kg/m^3.



Tài liệu chỉ xem được một số trang đầu. Vui lòng download file gốc để xem toàn bộ các trang

Hình 3-5

Khối lượng riêng của thủy ngân ở 20°C là

$$\rho_{tn} = \rho_o \frac{1}{1+\beta_t.\Delta t} = \frac{13600}{1+1{,}815.10^{-4}.20} = 13515 \qquad kg/m^3$$

Từ điều kiện cân bằng hai nhánh áp kế chữ U ta có

$$p_1 + \rho_n g(h_1 - h_2) = p_2 + \rho g(h_1 - h_2)$$

Suy ra :

$$\Delta p = p_1 - p_2 = g(h_1 - h_2)(\rho - \rho_{tn})$$
$$= 9{,}81(0{,}350 - 0{,}150)(13515 - 1000) = 24554{,}43 \qquad Pa$$

Ví dụ 2 : Tính lượng nước cần thiết mà bơm phải cung cấp để thử thủy lực đường ống. Đường kính ống d=350 mm ; ống dài l=50 m ; áp suất thử p=5.10^6 Pa (áp suất dư) ; mô đun đàn hồi của nước E_n=2.10^9 Pa.

Từ công thức tính hệ số nén ta tính được lượng nước cần phải cung cấp để thử áp lực

‘ $$\Delta V = \frac{V.\Delta p}{E_n} = \frac{\frac{\pi d^2}{4} l.p}{E_n} = \frac{\frac{\pi 0{,}3^2}{4} 50.5.10^6}{2.10^9} = 8{,}83.10^{-3} \qquad m^3$$

Tài liệu chỉ xem được một số trang đầu. Vui lòng download file gốc để xem toàn bộ các trang

Chương 2

Tĩnh học chất lỏng

2.1- Khái niệm cơ bản

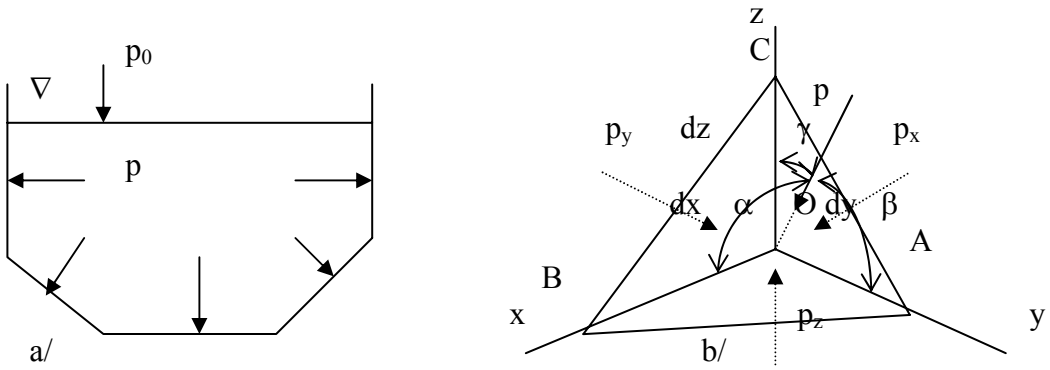
1. Trong chương này chúng ta nghiên cứu điều kiện cân bằng của chất lỏng ở trạng thái tĩnh, qui luật phân bố áp suất và tính lực chất lỏng tác dụng lên vật tiếp xúc hay ngập trong chất lỏng. Trong tĩnh học chất lỏng chúng ta có thể coi chất lỏng như chất lỏng lý tưởng vì ảnh hưởng tính nhớt không thể hiện.

2. Cần phân biệt trạng thái tĩnh tuyệt đối và tĩnh tương đối. Nếu chất lỏng không chuyển động so với hệ toạ độ gắn với quả đất thì chất lỏng ở trạng thái tĩnh tuyệt đối (ví dụ như nước trong ao hồ...). Trong tường hợp này lực khối chỉ là trọng lực. Nếu chất lỏng chuyển động so với hệ toạ độ tuyệt đối nhưng giữa chúng không có chuyển động tương đối, nghĩa là chất lỏng chuyển động liền một khối thì gọi đó là tĩnh tương đối (xe chở nước chuyển động có gia tốc...). Lực khối gồm trọng lực và lực quán tính. Hệ tọa độ nghiên cứu các bài toán này được gắn vào bình chứa chất lỏng.

3. Áp suất tĩnh của chất lỏng

Ứng suất trong chất lỏng tĩnh khi có ngoại lực tác dụng vào gọi là áp suất thủy tĩnh. Áp suất thủy tĩnh có các tính chất :

-Áp suất tĩnh tác dụng thẳng góc và hướng vào mặt tiếp xúc (hình 4.1a). Tính chất này được suy ra từ định nghĩa áp suất: vì chất lỏng ở trạng thái cân bằng nên không có thành phần ứng suất tiếp tuyến chống lại sự trượt của các phần tử lỏng với nhau và chất lỏng chỉ chịu lực nén.



Hình 4 - 1

- Áp suất tĩnh tại một điểm theo mọi phương có giá trị như nhau.

Tài liệu chỉ xem được một số trang đầu. Vui lòng download file gốc để xem toàn bộ các trang

Trong chất lỏng đứng yên ta trích một phân tố lỏng hình dạng tứ diện OABC vô cùng bé, có các cạnh dx, dy, dz (hình 4.1b). Phân tố lỏng ở trạng thái cân bằng bởi các lực khối và lực mặt. Trên mặt ABC có áp suất p tác dụng. Phương của áp suất này tạo với các trục của tọa độ các góc α, β, γ. Vì các mặt vô cùng bé nên có thể coi áp suất tại mọi điểm trên một mặt đều bằng nhau. Trên mặt OBC có áp suất p_x trên mặt OAC có p_y trên mặt OAB có p_z . Các các phân tố diện tích này có liên quan với nhau :

$$dS_x = dS\cos\alpha \;;\; dS_y = dS\cos\beta \;;\; dS_z = dS\cos\gamma$$

lực mặt tác dụng lên phân tố lỏng là :

$$dF_p = p\,dS \;;\; dF_x = p_x\,dS_x \;;\; dF_y = p_y\,dS_y \;;\; dF_z = p_z\,dS_z$$

và

$$dF_{px} = p.dS\cos\alpha = pdS_x \quad ; \quad dF_{py} = p.dS\cos\beta = pdS_y \quad ; \quad dF_{pz} = p.dS\cos\gamma = pdS_z$$

lực khối tác dụng lên phân tố lỏng theo các trục toạ độ :

$$dF_{RX} = R_x\frac{1}{6}\rho.dx.dy.dz \quad ; \quad dF_{RY} = R_Y\frac{1}{6}\rho.dx.dy.dz \quad ; \quad dF_{RZ} = R_z\frac{1}{6}\rho.dx.dy.dz$$

trong đó $\overrightarrow{R}(R_X, R_Y, R_Z)$ là gia tốc khối.

Chất lỏng ở trạng thái cân bằng nghĩa là tổng các lực tác dụng lên phân tố sẽ bằng không. Chiếu lên trục ox :

$$dF_x - dF_{px} + dF_{Rx} = 0$$

hay : $$p_x\frac{1}{2}dy.dz - p\frac{1}{2}dy.dz + R_X\frac{1}{6}\rho.dx.dy.dz = 0$$

Khi dx,dy,dz $\to$ 0 (tại một điểm) ta thấy dx.dy.dz là tích vô cùng bé bậc ba có thể bỏ qua được so với tích dy.dz là tích vô cùng bé bậc hai vì thế chúng ta có thể viết $p = p_x$.

Chứng minh tương tự cho hình chiếu các lực lên các trục còn lại ta có : $p = p_y$; $p = p_z$. Cuối cùng ta có :

$$p_x = p_y = p_z = p \qquad (4.1)$$

Vậy áp suất tĩnh của chất lỏng có tính chất như một đại lượng vô hướng nó không phụ thuộc vào vị trí của mặt tác dụng. Nó là hàm của tọa độ không gian p = p (x,y,z) .

-Áp suất do ngoại lực gây ra được truyền trong chất lỏng theo mọi phương như nhau (định luật Patxcan).