

Lời tựa

Giáo trình "Thủy 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 thủy - 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

Chương 1

Mở đầu

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

Thủy khí 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 nghiên cứu được áp dụng cho chất khí, kim loại nóng chảy và hỗn hợp thủy 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 động của chất lỏng được giới thiệu trong phần động lực học chất lỏng.

Trong quá trình nghiên cứu thủy 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 tử lỏng có hình dạng tùy ý và có các tính chất cơ - lý như toàn bộ chất lỏng. Cần lưu ý rằng mỗi phân tử 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 tử lỏng phân bố liên tục. Với khái niệm phân tử 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 lượng đặc trưng động học và động lực học của chất lỏng có thể biểu diễn bằng các hàm liên tục đối với tọa độ không gian và thời gian, đồng thời những hàm số

đó là những hàm khả tích, khả vi. Các phương pháp được 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 thủy khí-điện từ, trong đó môi trường vận tốc được thay bằng thế hiệu của môi trường.
- Phương pháp phân tích thứ nguyên dựa trên cơ sở đồng nhất của hệ phương trình vi phân đạo hàm riêng.
- Phương pháp thống kê thủy 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 thủy 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 thủy 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" Nui-ton (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 Ôle (1707-1783), Bernoulli (1718-1813), ... đã hoàn chỉnh cơ sở động lực học chất lỏng lý tưởng. Đặc biệt phương trình "tốc bin - bơm" của Ôle là cơ sở cho việc thiết kế các máy thủy - khí cánh dẫn. Phương trình Bernoulli đã được sử dụng rộng rãi để 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 nghiên 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 : ông Venturi (1746-1822) dùng để đo lưu lượng. Công thức tính tổn thất năng lượng mang tên hai nhà bác học Đăcxì (1803-1858) và Vâyxbác (1866-1871). Số Râyynôn (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 Pơrăng 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 khẳng định sự đúng đắn các kết quả nghiên cứu lý thuyết. Các bài toán chảy tầng trong khe hẹp của Cuét đã được sử dụng trong bài toán bôi trơn thủy động. Đến năm 1883 các thực nghiệm của Pêtrốp đã khẳng định sự đúng đắn của lý thuyết bôi trơn thủy 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 việc 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 định công thức tính lực nâng trong chảy bao prôfin cánh dẫn. Trong thời gian này nhà bác học người Đức là Kutý cũng đã công bố kết quả tương tự. Dòng vượt âm được hai anh em người Áo là Mắc nghiên cứu. Jukốpxki 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 đề nan giải. Áp dụng phương pháp thống kê thủy 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 dụng 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 thủy 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 của 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 chuyển động không ngừng. Theo thuyết động năng thì vận tốc của chúng phụ thuộc vào nhiệt độ của vật thể. Tùy 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. Tùy theo nhiệt độ và áp suất của môi trườngng chất lỏng có tính chất như chất rắn hay chất khí.

Đối 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 đẳng 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 :

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

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:

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

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 áp suất thủy tĩnh còn chất lỏng chuyển động thì gọi là áp suất thủy động. Áp suất tại một điểm được tính theo :

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

Đơn vị của áp suất là Pa, ký hiệu là Pa - tương đương với N/m². 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 lượng của một đơn vị thể tích chất lỏng, ký hiệu là ρ , đơn vị là kg/m³. Công thức tính là :

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{hay} \quad \rho = \frac{dm}{dV} \quad (3.1)$$

Trong đó m là khối lượng (tính theo kg) chứa trong thể tích V (tính theo m³).

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 nhiệt 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 riêng giảm

giảm. Tuy nhiên sự thay đổi này không đáng kể. Trong kỹ thuật người ta thường lấy khối lượng riêng của nước là 1000 kg/m^3 .

Bảng 3.2

t (°C)	0	4	10	30	60	80	100
$\rho(\text{kg/m}^3)$	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
$\rho (\text{kg/m}^3)$	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 ,
glixerin	: 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 lượng của một đơn vị thể tích chất lỏng) là :

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

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

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

$$\delta = \frac{\gamma}{\gamma_{H_2O,4^\circ C}} \quad (3.3)$$