

SỞ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO HÀ NỘI

ThS. TRẦN VĂN LỊCH

GIÁO TRÌNH
KỸ THUẬT NHIỆT

(Dùng trong các trường THCN)

NHÀ XUẤT BẢN HÀ NỘI - 2007

NHÀ XUẤT BẢN HÀ NỘI
4 - TỐNG DUY TÂN, QUẬN HOÀN KIẾM, HÀ NỘI
ĐT: (04) 8252916 - FAX: (04) 9289143

GIÁO TRÌNH
KỸ THUẬT NHIỆT
NHÀ XUẤT BẢN HÀ NỘI - 2007

Chịu trách nhiệm xuất bản
NGUYỄN KHẮC OÁNH

Biên tập
PHẠM QUỐC TUẤN

Bìa
TRẦN QUANG

Kỹ thuật vi tính

THU YẾN

Sửa bản in
PHẠM QUỐC TUẤN

In 850 cuốn, khổ 17x24cm, tại Nhà in Hà Nội - Công ty Sách Hà Nội. 67 Phó Đức Chính - Ba Đình - Hà Nội. Quyết định xuất bản số: 160-2007/CXB/470GT-27/HN. Số: 313/CXB ngày 02/3/2007. Số in: 378/3. In xong và nộp lưu chiểu quý III năm 2007.

Lời giới thiệu

Nước ta đang bước vào thời kỳ công nghiệp hóa, hiện đại hóa nhằm đưa Việt Nam trở thành nước công nghiệp văn minh, hiện đại.

Trong sự nghiệp cách mạng to lớn đó, công tác đào tạo nhân lực luôn giữ vai trò quan trọng. Báo cáo Chính trị của Ban Chấp hành Trung ương Đảng Cộng sản Việt Nam tại Đại hội Đảng toàn quốc lần thứ IX đã chỉ rõ: “Phát triển giáo dục và đào tạo là một trong những động lực quan trọng thúc đẩy sự nghiệp công nghiệp hóa, hiện đại hóa, là điều kiện để phát triển nguồn lực con người - yếu tố cơ bản để phát triển xã hội, tăng trưởng kinh tế nhanh và bền vững”.

Quán triệt chủ trương, Nghị quyết của Đảng và Nhà nước và nhận thức đúng đắn về tầm quan trọng của chương trình, giáo trình đối với việc nâng cao chất lượng đào tạo, theo đề nghị của Sở Giáo dục và Đào tạo Hà Nội, ngày 23/9/2003, Ủy ban nhân dân thành phố Hà Nội đã ra Quyết định số 5620/QĐ-UB cho phép Sở Giáo dục và Đào tạo thực hiện đề án biên soạn chương trình, giáo trình trong các trường Trung học chuyên nghiệp (THCN) Hà Nội. Quyết định này thể hiện sự quan tâm sâu sắc của Thành ủy, UBND thành phố trong việc nâng cao chất lượng đào tạo và phát triển nguồn nhân lực Thủ đô.

Trên cơ sở chương trình khung của Bộ Giáo dục và Đào tạo ban hành và những kinh nghiệm rút ra từ thực tế đào tạo, Sở Giáo dục và Đào tạo đã chỉ đạo các trường THCN tổ chức biên soạn chương trình, giáo trình một cách khoa học, hệ

thống và cập nhật những kiến thức thực tiễn phù hợp với đối tượng học sinh THCN Hà Nội.

Bộ giáo trình này là tài liệu giảng dạy và học tập trong các trường THCN ở Hà Nội, đồng thời là tài liệu tham khảo hữu ích cho các trường có đào tạo các ngành kỹ thuật - nghiệp vụ và đông đảo bạn đọc quan tâm đến vấn đề hướng nghiệp, dạy nghề.

Việc tổ chức biên soạn bộ chương trình, giáo trình này là một trong nhiều hoạt động thiết thực của ngành giáo dục và đào tạo Thủ đô để kỷ niệm "50 năm giải phóng Thủ đô", "50 năm thành lập ngành" và hướng tới kỷ niệm "1000 năm Thăng Long - Hà Nội".

Sở Giáo dục và Đào tạo Hà Nội chân thành cảm ơn Thành ủy, UBND, các sở, ban, ngành của Thành phố, Vụ Giáo dục chuyên nghiệp Bộ Giáo dục và Đào tạo, các nhà khoa học, các chuyên gia đầu ngành, các giảng viên, các nhà quản lý, các nhà doanh nghiệp đã tạo điều kiện giúp đỡ, đóng góp ý kiến, tham gia Hội đồng phản biện, Hội đồng thẩm định và Hội đồng nghiệm thu các chương trình, giáo trình.

Đây là lần đầu tiên Sở Giáo dục và Đào tạo Hà Nội tổ chức biên soạn chương trình, giáo trình. Dù đã hết sức cố gắng nhưng chắc chắn không tránh khỏi thiếu sót, bất cập. Chúng tôi mong nhận được những ý kiến đóng góp của bạn đọc để từng bước hoàn thiện bộ giáo trình trong các lần tái bản sau.

GIÁM ĐỐC SỞ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

Lời nói đầu

Trong những năm gần đây, kỹ thuật lạnh và điều hòa không khí ở nước ta đã phát triển mạnh mẽ và được áp dụng rộng rãi trong các ngành kinh tế quốc dân. Vì vậy, vấn đề trang bị các kiến thức về kỹ thuật nhiệt cho người đang học tập cũng như đang làm các công việc về lắp đặt, vận hành, bảo dưỡng, sửa chữa hệ thống lạnh và điều hòa không khí là vô cùng cần thiết. Với mục đích trang bị cho học sinh các kiến thức cơ bản về kỹ thuật nhiệt, chúng tôi đã biên soạn giáo trình **Kỹ thuật nhiệt** để làm tài liệu giảng dạy và học tập cho giáo viên và học sinh chuyên ngành máy lạnh và điều hòa không khí ở các trường trung học chuyên nghiệp.

Giáo trình gồm hai phần chính:

Phần I: Nhiệt động kỹ thuật.

Phần II: Truyền nhiệt.

Giáo trình nhằm cung cấp cho học sinh những kiến thức về:

- Các quá trình nhiệt động cơ bản của môi chất nói chung và của không khí ẩm nói riêng.
- Các chu trình cơ bản ứng dụng trong máy lạnh và điều hòa không khí.
- Các phương pháp tính toán truyền nhiệt của thiết bị.

Về nội dung, giáo trình đã chọn lọc các kiến thức cơ bản cần thiết, mà những người làm công tác về lạnh cần phải biết. Đồng thời giáo trình còn đề cập đến một số kiến thức về tính toán cách nhiệt để làm cơ sở cho người học có thể mau chóng làm quen với ngành máy lạnh và điều hòa không khí. Do vậy giáo trình không chỉ để cho học sinh học tập mà còn là tài liệu tham khảo bổ ích cho những ai quan tâm đến các ứng dụng của kỹ thuật nhiệt.

Tuy nhiên do điều kiện thời gian có hạn, cuốn sách không tránh khỏi thiếu sót, chúng tôi rất mong nhận được ý kiến đóng góp quý báu của độc giả.

Chúng tôi xin gửi lời cảm ơn PGS. TS. Bùi Hải, TS. Hà Mạnh Thư, giảng viên Trường đại học Bách khoa Hà Nội, TS. Nguyễn Duy Tiến, giảng viên Trường đại học Giao thông vận tải, KS. Trần Hữu Thiết, giảng viên Trường Cán bộ thương mại trung ương, đã đóng góp ý kiến để hoàn thiện nội dung giáo trình.

TÁC GIẢ

Bài mở đầu

ĐỐI TƯỢNG, NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU MÔN HỌC

1. Đối tượng của môn học

Kỹ thuật nhiệt là môn khoa học nghiên cứu những quy luật thay đổi trạng thái của môi chất cũng như các quy luật truyền nhiệt truyền chất của chúng khi chúng tiếp xúc trực tiếp với nhau hoặc gián tiếp thông qua một vật trung gian là các vách truyền nhiệt. đồng thời nghiên cứu ứng dụng các quy luật đó vào các lĩnh vực của đời sống, sản xuất nói chung và ngành máy lạnh nói riêng.

2. Nội dung của môn học

Về nội dung, giáo trình chỉ trình bày những kiến thức cơ bản nhất về nhiệt động học và truyền nhiệt của các môi chất, làm cơ sở cho học sinh dễ dàng tiếp thu được các môn học chuyên ngành khác được bố trí kế tiếp sau. Ngoài ra giáo trình còn là tài liệu tham khảo bổ ích cho những ai quan tâm ứng dụng kỹ thuật nhiệt vào trong các ngành kỹ thuật.

Giáo trình được bố trí thành 2 phần và 5 chương:

Phần I: Nhiệt động kỹ thuật

Chương 1: Những khái niệm cơ bản và các quá trình nhiệt cơ bản của môi chất.

Chương 2: Không khí ẩm và chu trình ngược chiều

Phần II: Truyền nhiệt

Chương 3: Dẫn nhiệt

Chương 4: Trao đổi nhiệt đối lưu và bức xạ

Chương 5: Truyền nhiệt và thiết bị trao đổi nhiệt, cách nhiệt

3. Phương pháp nghiên cứu môn học

Cũng như các môn học cơ sở kỹ thuật khác, việc nghiên cứu môn học “Kỹ thuật nhiệt” là sự kết hợp chặt chẽ giữa sự phân tích lí thuyết với các kết quả thực nghiệm.

Kiến thức về kỹ thuật nhiệt rất cần thiết cho người cán bộ kỹ thuật ở nhiều ngành sản xuất khác nhau là cơ sở để giải quyết những vấn đề có liên quan đến các quá trình truyền nhiệt truyền chất. Vì vậy đây là môn học lý thuyết cơ sở bắt buộc đối với các học sinh theo học ngành Máy lạnh và ĐHKK. Để có thể nắm bắt được các nội dung của môn học, học sinh cần phải có các kiến thức về các môn học cơ bản như: Vật lý, Toán học, Hóa học... Đồng thời trong quá trình học tập, sau khi học lý thuyết học sinh cần phải tìm hiểu kỹ các thiết bị thực nghiệm đã có sẵn trong các phòng thực hành. Trên cơ sở như vậy người học mới có điều kiện để so sánh hai chiều giữa kiến thức thực tế và kiến thức lý thuyết. Nhằm hiểu biết sâu hơn các kiến thức cần lĩnh hội, ngoài kiến thức được nêu ra trong giáo trình, người học cần phải thường xuyên cập nhật các thông tin mới htoong qua các giáo trình tham khảo và các tài liệu khác. Các kiến thức trình bày trong giáo trình, mặc dù chỉ là các kiến thức cơ bản, song để có thể lĩnh hội được nhanh chóng, thì người học cần phải tuân thủ theo kết cấu của giáo trình và cần có sự hướng dẫn của các giáo viên chuyên ngành.

Tóm lại, để có thể học tập tốt môn học, người học cần phải xác định rõ mục đích và yêu cầu của môn học. Luôn luôn kết hợp chặt chẽ giữa kiến thức lý thuyết với các kiến thức thực tế. Đồng thời phải tích cực ôn luyện theo sự hướng dẫn của các giáo viên. Đặc biệt cần ghi nhớ các kết luận rút ra từ các bài tập hoặc từ các kết quả thu được trong quá trình làm thực nghiệm trên các thiết bị thí nghiệm hoặc trên các mô hình.

Phần I

NHIỆT ĐỘNG KỸ THUẬT

Chương 1

NHỮNG KHÁI NIỆM CƠ BẢN VÀ CÁC QUÁ TRÌNH NHIỆT CƠ BẢN CỦA MÔI CHẤT

Mục tiêu:

Hiểu được định nghĩa của các thông số trạng thái, các phương pháp tính toán nhiệt và công của môi chất, các quá trình cơ bản của khí lý tưởng và khí thực.

Nội dung tóm tắt:

- Sự thay đổi trạng thái và chuyển pha của đơn chất
- Thông số trạng thái của môi chất
- Phương trình trạng thái của môi chất
- Nhiệt, công và các phương pháp xác định
- Định luật nhiệt động thứ nhất
- Các quá trình cơ bản của khí lý tưởng
- Các quá trình cơ bản của khí thực
- Tính nhiệt lượng và công của khí thực
- Quá trình tiết lưu

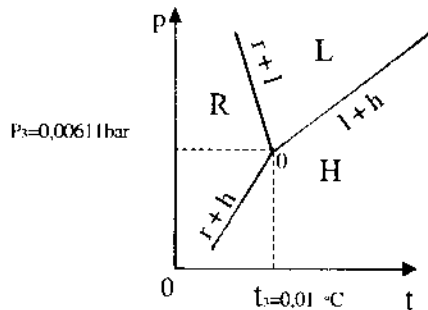
I. SỰ THAY ĐỔI TRẠNG THÁI VÀ CHUYỂN PHA CỦA ĐƠN CHẤT

1. Các kết quả thực nghiệm

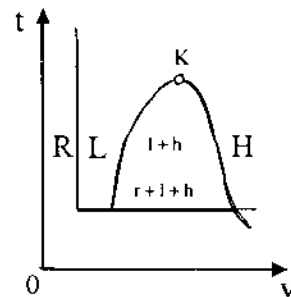
Từ thực nghiệm cho thấy tất cả các môi chất đơn như: nước(H_2O), thủy ngân(Hg), amoniac(NH_3), freon_12(CCl_2F_3) hoặc cacbon(C)v.v..., khi cấp nhiệt hoặc thải nhiệt đều có sự thay đổi trạng thái và sự chuyển pha ở các áp suất và nhiệt độ khác nhau. Lấy 1 kg nước ở 1 bar và $20^{\circ}C$, cấp nhiệt cho nó, ta quan sát thấy nhiệt độ tăng từ $20^{\circ}C$ đến $99,64^{\circ}C$ thì một bộ phận nước bắt đầu hoá hơi, nhiệt độ $99,64^{\circ}C$ giữ không đổi cho tới khi giọt nước cuối cùng biến thành hơi. Sau đó, nếu tiếp tục cấp nhiệt thì nhiệt độ tiếp tục tăng mãi. Thể tích riêng của nước bắt đầu từ $0,0010018 m^3/kg$ tăng lên đến $0,001032 m^3/kg$ khi bắt đầu hoá hơi, và khi vừa bắt đầu hoá hơi hết thì thể tích riêng bằng $1,649 m^3/kg$ (tăng khoảng 1600 lần) và khi nhiệt độ lên đến $600^{\circ}C$ thì thể tích riêng bằng $4,028 m^3/kg$.

Nếu cho hơi nước ở $600^{\circ}C$ thải nhiệt ở áp suất vẫn bằng 1 bar không đổi thì nhiệt độ giảm xuống, đến $99,64^{\circ}C$ thì một bộ phận hơi ngưng lại thành nước, nhiệt độ không đổi cho đến khi hơi vừa ngưng hết, tiếp tục thải nhiệt, nhiệt độ giảm xuống cho đến khi bằng $0^{\circ}C$, một bộ phận nước đông đặc, nhiệt độ không thay đổi, khi nước đông hết thì nhiệt độ lại tiếp tục giảm.

Thể tích thay đổi không đáng kể khi nước đông thành đá. Cấp nhiệt cho đá ở nhiệt độ thấp ví dụ $-20^{\circ}C$ trong điều kiện áp suất bằng 1 bar thì nhiệt độ tăng lên đến $0^{\circ}C$, đá bắt đầu tan, nhiệt độ giữ ở $0^{\circ}C$ không đổi cho đến khi đá tan hoàn toàn, sau đó tiếp tục tăng lên và trở lại bằng $20^{\circ}C$ ban đầu. Làm lại thí nghiệm trên ở các áp suất khác nhau và biểu diễn trên đồ thị p-t (Hình 1-1) và t-v (Hình 1 - 2) ta thấy:



Hình 1 - 1



Hình 1 - 2

Hình 1-1 và Hình 1-2: Đồ thị biểu diễn thay đổi trạng thái pha của đơn chất.

a. Khi áp suất p nằm trong phạm vi áp suất điểm ba pha (đối với nước bằng $0,00611$ bar, tương ứng $t_3 = 0,01^\circ\text{C}$) và áp suất tới hạn p_k (đối với nước $p_k = 221,3$ bar, tương ứng $T_k = 374,152^\circ\text{C}$) nghĩa là:

- $p_k > p > p_3$, thì quá trình xảy ra giống nhau về mặt định tính, nhưng khác nhau về mặt định lượng.

- Ở áp suất p_3 , nhiệt độ đông đặc bằng nhiệt độ hoá hơi, áp suất càng tăng thì nhiệt độ đông đặc thường giảm xuống (Đường O - L trên đồ thị $p-t$) và nhiệt độ hoá hơi tăng lên (Đoạn OK).

Áp suất tăng thì sự khác nhau giữa thể tích riêng của hơi và của nước càng giảm dần, đến áp suất p_k không còn khác nhau nữa (Hình 1-2).

b. Khi $p > p_k$ thì quá trình chuyển từ pha rắn sang pha lỏng không khác mấy, nhưng từ pha lỏng chuyển sang pha hơi không có ranh giới rõ ràng, không có giai đoạn pha lỏng và pha hơi cùng tồn tại.

c. Khi $p < p_3$ thì pha rắn trực tiếp chuyển thành pha hơi khi cấp nhiệt, ngược lại, khi thải nhiệt thì pha hơi trực tiếp thành pha rắn, ở trạng thái p_3 và T_3 , thì cả ba pha có thể cùng tồn tại.

Làm thí nghiệm trên với các môi chất đơn khác nhau, về định tính chúng đều giống nhau, về định lượng có khác nhau, kết quả cho trong bảng 1-1.

Bảng 1-1. Trạng thái ba pha và trạng thái tới hạn

Môi chất	Điểm 3 pha		Điểm tới hạn	
	$t_3(^{\circ}\text{C})$	$P_3(\text{kpa})$	$t_k(^{\circ}\text{C})$	$P_k(\text{bar})$
Thuỷ ngân(Hg)			1490	1510
Nước (H_2O)	0,01	0,6113	374,15	221,29
Amoniac(NH_3)	- 77,4	167	132,3	112,8
Cacbonic(CO_2)	- 56,5	518	31,04	74,12
Oxy(O_2)	- 219	0,15	- 118,35	50,8
Hydro(H_2)	- 259	7,194	- 239,85	13

2. Một số khái niệm và định nghĩa

2.1. Nóng chảy và đông đặc

- Nóng chảy là quá trình chuyển từ pha rắn sang pha lỏng.
- Đông đặc là quá trình chuyển từ pha lỏng sang pha rắn.
- Khi nóng chảy, môi chất nhận nhiệt.
- Khi đông đặc, môi chất nhả nhiệt.

Hai nhiệt lượng trên có chỉ số bằng nhau, gọi là nhiệt ẩn nóng chảy và nhiệt ẩn đông đặc, đối với nước ở áp suất khí quyển, bằng 333,37 KJ/Kg.

2.2. Hoá hơi và ngưng tụ

- Hoá hơi là quá trình chuyển từ pha lỏng sang pha hơi.
- Ngưng tụ là quá trình chuyển từ pha hơi sang pha lỏng.
- Khi hoá hơi môi chất nhận nhiệt.
- Khi đông đặc môi chất nhả nhiệt.

Hai nhiệt lượng trên có trị số bằng nhau, gọi là nhiệt ẩn hoá hơi và nhiệt ẩn ngưng tụ, nó phụ thuộc vào bản chất và thông số của môi chất. Nước ở áp suất khí quyển có nhiệt ẩn hoá hơi bằng 2258 KJ/Kg. Tùy theo điều kiện khác nhau, quá trình hoá hơi được chia thành quá trình bay hơi và quá trình sôi. Quá trình bay hơi chỉ tiến hành trên bề mặt thoáng, quá trình sôi tiến hành trong cả khối chất lỏng. Nhiệt độ mà môi chất tiến hành quá trình hoá hơi hoặc ngưng tụ gọi là nhiệt độ bão hoà (hoặc nhiệt độ sôi hay nhiệt độ ngưng tụ), nhiệt độ bão hoà phụ thuộc vào áp suất, nước ở áp suất khí quyển có nhiệt độ bão hoà (sôi) xấp xỉ 100°C, ở áp suất 0,01 bar bằng 6,92°C, ở áp suất 200 bar là 365,7°C.

2.3. Thăng hoa và ngưng kết

Thăng hoa là quá trình chuyển từ pha rắn sang pha hơi và quá trình ngược lại gọi là quá trình ngưng kết. Khi thăng hoa môi chất nhận nhiệt và khi ngưng kết môi chất nhả nhiệt, hai nhiệt lượng có trị số bằng nhau, gọi là nhiệt ẩn thăng hoa hoặc nhiệt ẩn ngưng kết. Ở áp suất khí quyển, nhiệt ẩn thăng hoa của nước bằng 2828,18 KJ/Kg.

Chú ý:

Tùy điều kiện hình thành khác nhau, pha rắn của môi chất có thể tồn tại ở nhiều dạng khác nhau: Nước (H₂O) có 6 dạng; Cacbon (C) có hai dạng: Graphit và kim cương; Bismuyt có 8 dạng vv...,

2.4. Một số định nghĩa khác

- Nước chưa sôi là chất lỏng có nhiệt độ nhỏ hơn nhiệt độ sôi (so sánh cùng áp suất).

- Nước sôi (nước bão hoà) là chất lỏng có nhiệt độ bằng nhiệt độ sôi.

- Hơi bão hoà khô là hơi có nhiệt độ bằng nhiệt độ sôi.

- Hơi bão hoà ẩm là hỗn hợp giữa hơi bão hoà khô và nước bão hoà (nước sôi). Tỷ số giữa khối lượng hơi bão hoà khô và hơi bão hoà ẩm gọi là độ khô, ký hiệu là x .

Tỷ số giữa khối lượng nước sôi với hơi bão hoà ẩm gọi là độ ẩm của hơi bão hoà ẩm, ký hiệu là y .

Ta có $y = 1 - x$

Hơi quá nhiệt là hơi có nhiệt độ lớn hơn nhiệt độ sôi ở cùng áp suất hoặc là hơi có áp suất nhỏ hơn áp suất bão hoà ở cùng nhiệt độ.

Khí lý tưởng và khí thực:

Mọi khí trong tự nhiên đều là khí thực, khí thực gồm các phân tử chuyển động hỗn loạn, giữa chúng có lực tác dụng tương hỗ và chúng có thể tích bản thân nhất định.

Khí lý tưởng là khí chỉ gồm các phân tử chuyển động mà không có lực tác dụng và không có thể tích bản thân.

Trong thực tế chỉ có khí thực, không có khí lý tưởng. Với bất kỳ môi chất nào, khi áp suất giảm và nhiệt độ tăng đến một lúc mà ảnh hưởng của thể tích bản thân phân tử và lực tương tác giữa các phân tử nhỏ đến mức có thể cho phép bỏ qua, lúc đó môi chất có thể coi là khí lý tưởng. Ở điều kiện áp suất và nhiệt độ thông thường, các khí như O_2 , N_2 , SO_2 , CO_2 , không khí... có thể xem là khí lý tưởng, hơi nước trong sản phẩm cháy hoặc trong không khí cũng xem là khí lý tưởng vì phân áp suất của nó rất nhỏ.

II. THÔNG SỐ TRẠNG THÁI CỦA MÔI CHẤT

Ở một trạng thái và thời điểm xác định của môi chất, có những đại lượng hoàn toàn xác định, các đại lượng này được gọi là thông số trạng thái, chúng là hàm số đơn trị của trạng thái mà không phụ thuộc vào quá trình thay đổi trạng thái, nên độ biến thiên của trạng thái chỉ phụ thuộc vào trạng thái đầu và trạng thái cuối của quá trình mà không phụ thuộc vào đường đi. Khi môi chất ở trạng

thái cân bằng (về cơ và về nhiệt có nghĩa là đồng đều về áp suất và nhiệt độ), thì thông số trạng thái mới có trị số đồng nhất và xác định, trong nhiệt động kỹ thuật chỉ nghiên cứu những trạng thái cân bằng.

Thông số trạng thái có nhiều loại, có thông số có thể đo trực tiếp được, có thông số không đo được trực tiếp, có những thông số độc lập với nhau nhưng cũng có những thông số phụ thuộc vào nhau.

Trong nhiệt kỹ thuật có thể dùng ba thông số có thể đo được trực tiếp gọi là ba thông số cơ bản: nhiệt độ, áp suất, thể tích riêng hoặc khối lượng riêng. Ngoài ra còn các thông số trạng thái khác như: nội năng, entanpi, entropi, execgi...

1. Nhiệt độ và định luật nhiệt thứ không

Nhiệt độ biểu thị mức độ nóng lạnh của môi chất, đứng trên góc độ vi mô, nhiệt độ biểu thị giá trị trung bình động năng của các phân tử chuyển động. Nhiệt độ có thể đo được trực tiếp trên cơ sở định luật nhiệt thứ không.

“ Nếu hai vật (hệ) có nhiệt độ t_1 và t_2 cùng bằng nhiệt độ t_3 của vật (hệ) thứ ba, thì nhiệt độ của hai vật đó bằng nhau tức là $t_1 = t_2$ ”.

Để biểu thị giá trị của nhiệt độ, thường dùng thang nhiệt độ bách phân (còn gọi là thang nhiệt độ Celcius) $^{\circ}\text{C}$, thang nhiệt độ tuyệt đối (còn gọi là thang nhiệt độ Kelvin) K. Ở một số nước dùng thang nhiệt độ Fahrenheit $^{\circ}\text{F}$ và nhiệt độ Rankin $^{\circ}\text{R}$ vv...

Các thang nhiệt độ đều lấy hai điểm mốc: điểm nóng chảy của nước đá và điểm sôi của nước tinh khiết ở áp suất khí quyển ở tiêu chuẩn vật lý.

Nhưng thông số bách phân ký hiệu t , $^{\circ}\text{C}$: Nước đá tan ở 0°C , nước sôi ở nhiệt độ 100°C . Nhiệt độ Kelvin (ký hiệu T, K).

Độ lớn của 1°C bằng 1°K , bằng 1% khoảng cách giữa hai mốc trên, còn độ lớn của 1°F và 1°R bằng nhau và bằng $1/180$ khoảng cách trên, nghĩa là bằng $5/9$ độ lớn của 1°C hoặc 1°K .

Thang nhiệt độ Kelvin và Rankin lấy giá trị 0 ở nhiệt độ không tuyệt đối; Ở điểm nóng chảy của nước, thang nhiệt độ bách phân lấy bằng 0°C , thang nhiệt độ Kelvin lấy bằng 273K ($^{\circ}\text{K}$ người ta ký hiệu là K), thang nhiệt độ Fahrenheit lấy bằng 32°F và thang nhiệt độ Rankin lấy bằng 462°R .

Do vậy quan hệ tính đổi giữa các thang nhiệt độ:

$$t^{\circ}\text{C} = T^{\circ}\text{K} - 273 = 5/9(t^{\circ}\text{F} - 32) = 5/9T^{\circ}\text{R} - 273 \quad (1-1)$$

$$\text{Hay: } T = t + 273^{\circ}\text{C}; t = T - 273. \quad (1-2)$$

Ví dụ: $t = 30^{\circ}\text{C}$ ứng với 303K , 86°F và $544,7^{\circ}\text{R}$.

2. Áp suất tuyệt đối

Áp suất là áp lực của môi chất tác dụng thẳng góc lên một đơn vị bề mặt tiếp xúc, ký hiệu là p .

Đơn vị đo áp suất cơ bản của hệ thống SI là N/m^2 (N/m^2 gọi là Pascal, ký hiệu Pa) và bội số của chúng như:

KiloPascal: $1 \text{ kPa} = 10^3 \text{ Pa}$

Bar: $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$

MegaPascal: $1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa}$

Đơn vị đo áp suất cũ là at: $1 \text{ at} = 0,98 \text{ bar}$.

Người ta còn dùng chiều cao cột chất lỏng làm đơn vị đo áp suất: mmHg (còn gọi là Toricelli: Tor), mmH_2O , ở một số nước còn dùng đơn vị là Poundal/ft 2 (Lbf/ft 2).

Quan hệ giữa các đơn vị thường gặp: $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 760 \text{ mmHg}$.

$1 \text{ at} = 0,98 \text{ bar} \approx 10.000 \text{ mmH}_2\text{O}$.

Ví dụ: Áp suất $p = 400 \text{ mmHg} = (400/760) \text{ bar} = (400/760) \times 10^5 \text{ Pa}$.

Áp suất tuyệt đối là áp suất thực, có thể trực tiếp đo được, nhưng thường đo gián tiếp qua áp suất khí trời và phân sai khác giữa áp suất khí trời và áp suất thực. Áp suất tuyệt đối là thông số trạng thái.

Đối với trường hợp áp suất thực lớn hơn áp suất khí quyển, ta có:

$$p = p_k + p_d \quad (1-3a)$$

Đối với trường hợp áp suất thực nhỏ hơn áp suất khí quyển, ta có:

$$p = p_k - p_{ck} \quad (1-3b)$$

Ở đây p , p_k , p_d , p_{ck} - Áp suất tuyệt đối, áp suất khí quyển, áp suất dư (thừa) và độ chân không.

Cần chú ý là quy đổi $1 \text{ bar} = 760 \text{ mmHg}$ là ở 0°C , nếu ở nhiệt độ khác 0°C . Khi đó theo chiều cao cột thủy ngân Hg, cần quy về chiều cao ở 0°C theo công thức:

$$H_0 = H_t(1 - 0,00172t) \quad (1-4)$$

Ở đây H_t - chiều cao cột thủy ngân đo được ở nhiệt độ t

H_0 - chiều cao cột thủy ngân quy về 0°C

3. Thể tích riêng và khối lượng riêng

Thể tích riêng ký hiệu (v):

$$v = \frac{V}{G}; (\text{m}^3/\text{kg}). \quad (1 - 5)$$

Trong đó: V - thể tích, m^3

G - khối lượng, kg

Khối lượng riêng (ρ):

$$\rho = \frac{G}{V} (\text{kg}/\text{m}^3).$$

$$\rho = \frac{1}{v} (\text{kg}/\text{m}^3).$$

4. Nội năng

Nội năng (ở đây chỉ xét nội nhiệt năng) là tổng của nội động năng, tức động năng của các phân tử chuyển động, và nội thế năng tức trọng trường lực tương tác trong các phân tử. Đối với khí lý tưởng, có thể bỏ qua lực tương tác giữa các phân tử, nên nội năng chỉ bao gồm nội động năng mà theo thuyết động học phân tử và lượng tử thì nội năng chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ, do đó nội năng của khí lý tưởng cũng chỉ là hàm đơn trị của nhiệt độ.

Đối với 1kg môi chất, nội năng có ký hiệu u , với Gkg có $U = G.u$. Đơn vị của nội năng cũng giống như các dạng năng lượng khác, ở hệ thống SI đơn vị cơ bản là J. Bội số: $1\text{kJ} = 10^3\text{J}$; $1\text{MJ} = 10^6\text{kJ}$; $1\text{kwh} = 3600\text{kJ}$. Hoặc các đơn vị khác như kcal Ở một số nước còn dùng đơn vị khác như BTU (British Thermal Unit) và CHU (Centigrado Heat Unit).

Quan hệ giữa các đơn vị đó là:

$$1 \text{ kcal} = 4,18 \text{ kJ}$$

$$1\text{kJ} = 0,239\text{kcal} = 277,78 \cdot 10^6\text{kwh} =$$

$$= 0,948\text{BTU} = 0,527 \text{ CHU} \quad (1- 6)$$

Trong nhiệt kỹ thuật thường chỉ cần tính lượng biến đổi nội năng Δu , do đó không phụ thuộc vào việc chọn gốc tại đó có nội năng $u = 0$, thường lấy gốc ở 0°C .

5. Entanpi

Trong khi tính toán và phân tích về nhiệt thường gặp biểu thức $(u+pV)$ để đơn giản ta ký hiệu bằng "i" hoặc "h" và gọi là entanpi.

$$\text{Đối với 1 kg ta có: } i = u + pv \quad (1-7a)$$

$$\text{Đối với G kg môi chất ta có: } I = Gi = U + pV \quad (1-7b)$$

Vì u , p , v đều là thông số trạng thái, nên i cũng là thông số trạng thái. Đối với khí lý tưởng, u và pv chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ nên i của khí lý tưởng là hàm số đơn trị của nhiệt độ. Đơn vị của i cũng như u và thường chỉ cần tính Δi nên có thể chỉ cần chọn một trạng thái thích hợp nào đó làm mốc coi bằng không giống như Δu . Đối với các môi chất lạnh như Amoniac, Freon-12 chọn entanpi của môi chất lỏng bão hoà ở -40°C bằng 0.

6. Entropi

Entropi là một thông số trạng thái, ký hiệu là "s", có vi phân bằng

$$ds = \frac{dq}{T} \quad (1-8)$$

Trong đó: dq - là đương lượng nhiệt vô cùng nhỏ trao đổi với môi trường khi nhiệt độ môi chất bằng $T(\text{K})$.

Entropi không trực tiếp đo được. Trong tính toán chỉ cần tính Δs , có thể chọn trạng thái mốc ở đó coi bằng không bất kỳ, thường lấy cùng mốc để tính u và i . Đơn vị của s trong hệ SI thường dùng là kJ/kgK .

III. PHƯƠNG TRÌNH TRẠNG THÁI CỦA MÔI CHẤT

Khi một trạng thái được xác định thì giá trị của tất cả các thông số trạng thái đều được xác định. Quan hệ giữa các thông số trạng thái của khí lý tưởng và khí thực, sẽ được trình bày sau đây:

1. Phương trình trạng thái của khí lý tưởng

Phương trình trạng thái là phương trình liên hệ giữa các thông số trạng thái cơ bản với nhau. Đối với một đơn chất ở pha khí là phương trình liên hệ 3 thông số độc lập thường là ba thông số cơ bản p , v , T như phương trình (1 - 9), (1 - 10) và (1-11).

Phương trình trạng thái có thể xác định bằng thực nghiệm hoặc bằng lý thuyết. Cho đến nay chỉ mới có phương trình xác định xây dựng hoàn toàn

bằng lý thuyết cho khí lý tưởng, từ lý thuyết động học phân tử hoặc bằng thực nghiệm trên cơ sở các định luật Boyle - Mariotte (Bôi - Mariôt), Gay-Luy xác và Avogadro (Avôgadrô).

Đối với 1Kg khí lý tưởng ta có:

$$pv = RT \quad (1- 9)$$

Với Gkg khí lý tưởng:

$$pV = GRT \quad (1- 10)$$

Với 1Kmol (μ Kg) khí lý tưởng có:

$$pV_{\mu} = R_{\mu} T \quad (1- 11)$$

Ở đây:

p - Áp suất tuyệt đối, đơn vị thường dùng N/m^2 .

T - Nhiệt độ tuyệt đối (K).

v - Thể tích riêng (m^3/Kg)

G - Khối lượng của môi chất (Kg).

V - Thể tích của môi chất (m^3).

μ - Kilômol (là lượng vật chất tính bằng kg có giá trị bằng phân tử lượng)

V_{μ} - Thể tích của 1 kilomol môi chất, thay đổi theo trạng thái, ở điều kiện tiêu chuẩn ($p = 760 \text{ mmHg}$ và $t = 0^{\circ}C$), tất cả khí lý tưởng đều có thể tích bằng $22,4 \text{ m}^3$, nghĩa là $V_{\mu} = 22,4 \text{ (m}^3_{TC}/\text{kmol)}$.

R_{μ} - Hằng số phổ biến của môi chất, tất cả khí lý tưởng đều có.

$R_{\mu} = 8314 \text{ J/kmol.K}$.

R - Hằng số chất khí, $R = \frac{R_{\mu}}{\mu} = \frac{8314}{\mu} \text{ J/kg.K}$;

Cần lưu ý là các phương trình trên là viết cho khí lý tưởng ở trạng thái cân bằng, với khí thực hoặc trạng thái không cân bằng nếu dùng sẽ có sai số, tùy theo yêu cầu về độ chính xác của bài tính mà cho phép sử dụng hay không.

2. Phương trình trạng thái của hỗn hợp khí lý tưởng

Đối với hỗn hợp đồng đều của khí lý tưởng (không có phản ứng hoá học với nhau), có thể sử dụng các phương trình trạng thái trên, chỉ cần xác định các đại lượng và tỉ lệ hỗn hợp của các chất khí thành phần.

2.1. Các biểu thị thành phần của hỗn hợp

Người ta phân biệt các hỗn hợp theo thành phần các chất hợp thành. Thành phần có thể biểu thị theo khối lượng, thể tích hoặc số Kilomol

2.1.1. Thành phần khối lượng của một chất khí

Là tỉ số giữa khối lượng của khí thành phần với tổng khối lượng của hỗn hợp:

$$g_i = \frac{G_i}{G_1 + G_2 + \dots + G_n} = \frac{G_i}{\sum_{i=1}^n G_i} = \frac{G_i}{G} \quad (1-12)$$

2.1.2. Thành phần thể tích và thành phần kilômol

Ta chứng minh được giá trị thành phần thể tích bằng thành phần kilômol.

$$\text{Ta có:} \quad r_i = \frac{V_i}{V} = \frac{M_i}{M} \quad (1-13a)$$

Trong đó:

V_i - Phần thể tích của chất khí thành phần là thể tích có được khi tách riêng khí đó mà vẫn giữ áp suất và nhiệt độ như của hỗn hợp.

$$V = \sum_{i=1}^n V_i \text{ - Thể tích của hỗn hợp;}$$

M_i : Số Kilomol của chất khí thứ i ;

$$M = \sum_{i=1}^n M_i \text{ - Tổng số kilômol của các chất khí trong hỗn hợp;}$$

Ta chứng minh được đối với khí lý tưởng;

$$r_i = \frac{p_i}{p} \quad (1-13b)$$

p_i - Phân áp suất của các chất khí thành phần thứ i .

p - Áp suất của hỗn hợp.

Theo định luật Dalton (Đantôn) thì trong một hỗn hợp khí lý tưởng không có phản ứng hoá học với nhau thì áp suất của hỗn hợp bằng tổng phân áp suất của tất cả các chất khí thành phần.

Nghĩa là:

$$p = p_1 + p_2 + \dots + p_n = \sum_{i=1}^n p_i \quad (1-14)$$

2.2. Xác định các đại lượng tương đương của hỗn hợp

Kilômol của hỗn hợp μ được xác định theo công thức:

$$\mu = \sum_{i=1}^n \mu_i r_i \quad (1-15)$$

hoặc

$$\mu = \frac{1}{\sum_{i=1}^n g_i / \mu_i} \quad (1-16)$$

- Hằng số chất khí của hỗn hợp được xác định theo:

$$R = \frac{8314}{\mu} J / kg.k$$

- Khi biết thành phần thể tích r_i :

$$\mu = \sum \mu_i r_i$$

- Khi biết thành phần khối lượng g_i ta cũng có thể tính theo:

$$R = \sum g_i R_i \quad (1-17)$$

Ghi chú:

Có thể viết phương trình trạng thái riêng cho một chất khí thành phần theo các trường hợp sau:

Khi khí còn ở trạng thái hỗn hợp có áp suất p_i , thể tích V , nhiệt độ T :

$$p_i V = G_i R_i T \quad (1-18a)$$

Hoặc tách ra khỏi hỗn hợp với V_i , áp suất p , nhiệt độ T :

$$p V_i = G_i R_i T \quad (1-18b)$$

3. Phương trình trạng thái khí thực

Cho tới nay chưa tìm được phương trình trạng thái đúng cho mọi khí thực ở mọi giá trị p và t . Người ta chỉ tìm được bằng thực nghiệm và bằng lý thuyết phương trình trạng thái của từng khí thực, ví dụ H_2O , NH_3 ... Nhưng dạng của chúng rất phức tạp không tiện để cho tính toán. Vì vậy người ta đã tính sẵn và lập ra bảng số và đồ thị của các khí thực (H_2O , NH_3 ...) để thuận tiện cho sử dụng.

4. Một số đồ thị dùng cho khí thực

4.1. Đồ thị

- Theo định luật pha, đối với môi chất đơn, một pha thì số thông số tối thiểu cần thiết để xác định một trạng thái là 2 thông số. Vì vậy, ta có thể dùng trục tọa độ do hai thông số độc lập tạo thành để xác định trạng thái của môi chất. Thường dùng đồ thị p-v, T-s, i-s hoặc lgp-i.vv... để biểu diễn hoặc tính toán trong kỹ thuật nhiệt. Trên các đồ thị đó, khi xác định được một trạng thái nhờ giao điểm của hai đường của hai thông số đã cho, ta có thể xác định tất cả các thông số còn lại như p, t, v, i, vv.... Đồ thị lgp-i của môi chất NH₃, R12 cho ở bảng phần phụ lục.

4.2. Các bảng số

- Bảng hơi bão hoà:

Bảng 3: Nước và hơi nước bão hoà theo nhiệt độ.

Bảng 4: Nước và hơi nước bão hoà theo áp suất.

- Dùng bảng bão hoà chỉ cần biết một thông số là có thể xác định được trạng thái (vì ta đã biết trước một thông số là độ khô: x = chất lỏng sôi; x = 1 hơi khô), thường cho theo áp suất p hoặc nhiệt độ t.

Trong cả hai bảng thông số của chất lỏng bão hoà được ký hiệu v', i', s' và của hơi bão hoà khô được ký hiệu v'', i'', s'' (đối với nước xem ở bảng 3 và bảng 4 phần Phụ lục). Trong bảng tra theo p thì cho nhiệt độ bão hoà tương ứng và ngược lại trong bảng tra theo t thì có áp suất bão hoà tương ứng.

Giá trị nội năng không có trong bảng mà phải xác định theo:

$$i = u + p.v$$

$$u = i - p.v$$

Đối với hơi bão hoà ẩm, vẫn dùng bảng bão hoà nhưng phải biết thêm một thông số nữa, thường là độ khô x và lúc đó các thông số của hơi bão hoà ẩm tính theo:

$$i_x = xi'' + (1-x)i' = i' + x(i'' - i') \quad (1-19)$$

$$v_x = v' + x(v'' - v')$$

$$s_x = s' + x(s'' - s')$$

Từ đẳng thức ngược lại có thể tìm độ khô ví dụ:

$$x = \frac{i_x - i'}{i'' - i'} \quad (1-20)$$

Bảng 5 nước chưa sôi và hơi quá nhiệt, cho theo hai thông số độc lập p và t, trong bảng chỉ cho giá trị v, i, s của chất lỏng chưa sôi và hơi quá nhiệt.

Trong bảng cũng không có nội năng u nên phải tính theo i, p, v như trên.

IV. NHIỆT, CÔNG VÀ CÁC PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH

1. Nhiệt lượng và các phương pháp tính

1.1. Tính nhiệt lượng theo sự thay đổi nhiệt độ

Khảo sát một quá trình nguyên tố, khi cấp cho môi chất một lượng nhiệt vô cùng bé dq, thì nhiệt độ của môi chất cũng thay đổi một lượng vô cùng bé dt, ta thấy:

$$C = \frac{dq}{dt} \quad (1-21)$$

Ở đây: C - Nhiệt dung riêng của môi chất trong quá trình đó.

1.1.1. Nhiệt dung riêng của môi chất (C)

Là lượng nhiệt cần thiết để đưa nhiệt độ của một đơn vị đo lường vật chất môi chất tăng lên một độ (độ °C hay nhiệt độ K) theo một quá trình nào đó.

Theo đơn vị đo lường lượng vật chất môi chất ta chia ra: nhiệt dung riêng khối lượng lượng môi chất đo bằng kg và nhiệt dung riêng kilômol lượng môi chất đo bằng kmol.

Theo đặc điểm của quá trình, có thể chia ra thành nhiều loại, nhưng thường dùng hai loại:

Nhiệt dung riêng đẳng tích và nhiệt dung riêng đẳng áp. Trong nhiệt kỹ thuật, thường gặp các loại nhiệt dung riêng sau:

Nhiệt dung riêng khối lượng đẳng áp $C_{p\mu}$ (kJ/kg.K), nhiệt dung riêng kmol đẳng áp $C_{\mu p}$ (kJ/kmol.K). Ta cũng gặp nhiệt dung riêng khối lượng đẳng tích $C_{v\mu}$ (kJ/kg.K) và nhiệt dung kilômol đẳng tích $C_{\mu v}$ (kJ/kmol.K).

Giữa các loại nhiệt dung riêng có quan hệ như sau:

$$C_p = \frac{C_{\mu p}}{\mu} \quad (1-22a)$$

$$C_v = \frac{C_{\mu v}}{\mu} \quad (1-22b)$$

Giữa nhiệt dung riêng đẳng tích và nhiệt dung riêng đẳng áp có quan hệ sau:

$$\begin{aligned} C_p &= kC_v \\ C_p - C_v &= R \end{aligned} \quad (1-23)$$

- k Được gọi là số mũ đoạn nhiệt.

Đối với khí lý tưởng k là hằng số, phụ thuộc vào số nguyên tử tạo thành phân tử:

+ Khí 2 nguyên tử O_2, N_2 , không khí...: $k = 1,4$

+ Khí 3 nguyên tử CO_2, SO_2 ...: $k = 1,3$

Bảng 1-2. Nhiệt dung riêng của khí lý tưởng

Loại khí	k	$C_{\mu v}$ (kJ/kmol.K)	$C_{\mu p}$ (kJ/kmol.K)
Khí hai nguyên tử	1,40	20,3	29,3
Khí ba nguyên tử	1,30	29,3	37,7

Nhiệt dung riêng của một loại môi chất phụ thuộc vào nhiệt độ, nó phụ thuộc rất ít vào áp suất, trong kỹ thuật có thể bỏ qua.

Khí coi chất khí đó là khí lý tưởng (O_2, N_2, CO_2, SO_2 , không khí, khói...) nhiệt dung riêng được tính theo bảng 1-2.

Khí yêu cầu về độ chính xác cao hơn tức là coi khí đó là khí thực, lúc này nhiệt dung riêng phụ thuộc vào nhiệt độ, nghĩa là ở nhiệt độ khác nhau chúng ta có giá trị khác nhau.

1.1.2. Tính nhiệt lượng theo nhiệt dung riêng:

Dựa vào công thức(1-21) ta có:

$$dq = C.dt \quad (1-24)$$

Khí coi:

$C = \text{const}$ (khí lý tưởng, chất lỏng) sau khi tích phân ta có:

$$q = C(t_2 - t_1)$$

$$Q = G.C(t_2 - t_1)$$

Với khí lý tưởng khi $p = \text{const}$:

$$Q_p = G.C_p(t_2 - t_1)$$

Với khí $v = \text{const}$: $Q_v = G.C_v(t_2 - t_1)$

Với chất lỏng chịu nén (nước,...).

Nhiệt dung riêng đẳng tích, đẳng áp như nhau $C_p = C_v = C$ nên nhiệt:

$$Q = G.C(t_2 - t_1) \quad (1-25)$$

Trong các công thức trên nếu coi nhiệt dq phụ thuộc vào nhiệt độ thì C là nhiệt dung riêng trung bình.

Đối với một hỗn hợp khí, có thể tính nhiệt dung tương đương của hỗn hợp theo công thức sau:

$$C = \sum_{i=1}^n giCi \text{ (kJ/kg.K)} \quad (1-26)$$

1.2. Tính nhiệt lượng theo sự thay đổi entropi

Từ định nghĩa $ds = \frac{dq}{T}$, ta tính nhiệt lượng cần thiết để đưa một đơn vị môi chất từ trạng thái 1 sang trạng thái 2 theo:

$$q_{12} = \int_1^2 dq = \int_{s_1}^{s_2} T.ds \quad (1-27)$$

Muốn lấy được tích phân trên phải biết $T = f(s)$, điều này là rất khó. Cho nên nhiệt lượng tính theo entropi ở đây chỉ tính cho hai trường hợp:

a. Nếu $T = \text{const}$ (quá trình đẳng nhiệt).

$$q_{12} = T(s_2 - s_1).$$

$$Q_{12} = GT(s_2 - s_1).$$

b. Nếu $s = \text{const}$ (quá trình đoạn nhiệt)

$$q_{12} = 0$$

$$Q_{12} = 0$$

2. Các loại công của môi chất

2.1. Công giãn nở

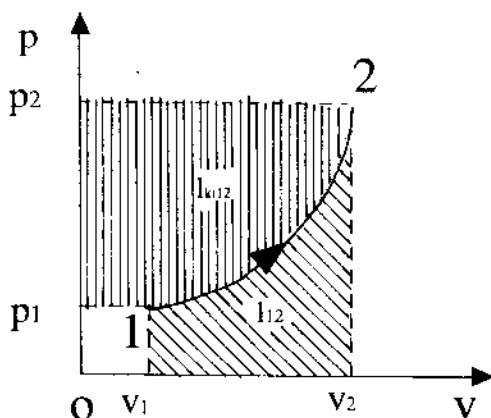
Công giãn nở là công do môi chất thực hiện khi có sự thay đổi về thể tích. Đối với 1 kg môi chất, khi thể tích của nó thay đổi dv, thì công giãn nở bằng:

$$dl = pdv \quad (1-28)$$

Khi thể tích thay đổi từ v_1 đến v_2 thì công giãn nở của 1kg môi chất bằng:

$$l_{12} = \int dl = \int_{v_1}^{v_2} pdv \quad (1-29)$$

Từ (1-29) ta thấy có thể tính l_{12} khi thay p bằng hàm số của v rồi lấy tích phân hoặc biểu thị bằng diện tích $12v_2v_1$ trên đồ thị $p - v$ (Hình 1-3)



Hình 1-3. Đồ thị biểu diễn công giãn nở và công kỹ thuật của môi chất

Ghi chú:

- a. Công giãn nở không phải là thông số trạng thái mà là hàm số quá trình.
- b. dl và dv luôn luôn cùng dấu, nghĩa là dv dương, thể tích tăng thì công giãn nở dương, quy định là công do môi chất sinh ra (thực hiện).
- c. Khi giãn nở, thể tích tăng còn áp suất thì có thể tăng, giảm hoặc không đổi.
- d. Công giãn nở chính là công ngoài mà ta thử được hoặc đem vào cho hệ kín.

2.2. Công kỹ thuật

Là công do môi chất thực hiện khi có sự thay đổi về áp suất được xác định:

$$dl_{kt} = -vdp \rightarrow l_{kt12} = \int_1^2 dl_{kt} = \int_{p_1}^{p_2} -vdp \quad (1-30)$$

Có hàm số v đối với p , thay vào, lấy tích phân sẽ tính được công kỹ thuật. Công kỹ thuật cũng có thể biểu diễn bằng diện tích $12p_2p_1$ trên đồ thị $p-v$ (Hình 1-3).

Ghi chú:

- a. dl_{kt} luôn ngược với dp nghĩa là dp âm, áp suất giảm thì công kỹ thuật dương, môi chất thực hiện công (sinh công), ngược lại áp suất tăng thì môi chất nhiều công, công kỹ thuật có dấu âm.

- b. Công kỹ thuật là diện tích hình p_112p_2 (hình 1-3).

c. Công kỹ thuật chính là công ngoài mà ta thu được hay đem vào trong hệ hở (khi bỏ qua biến đổi động năng và thế năng).

V. ĐỊNH LUẬT NHIỆT ĐỘNG THỨ NHẤT

1. Nội dung và ý nghĩa của định luật nhiệt động thứ nhất

Đây là một trong những định luật nhiệt động cơ bản nhất, thực chất đó là định luật bảo toàn và chuyển hoá năng lượng ứng dụng trong phạm vi nhiệt, có thể phát biểu như sau: “ Nhiệt có thể biến thành công và ngược lại công có thể biến thành nhiệt”.

2. Biểu thức của định luật nhiệt thứ nhất

Khảo sát 1kg môi chất, khi cung cấp cho nó một lượng nhiệt là dq , ta thấy nhiệt độ môi chất tăng dT và thể tích thay đổi dv . Nhiệt độ tăng, chứng tỏ nội năng tăng; thể tích tăng chứng tỏ môi chất thực hiện công giãn nở. Điều đó có thể biểu thị bằng phương trình cân bằng năng lượng:

$$dq = du + dl \quad (1-31)$$

$$dq = du + pdv \quad (1-32)$$

Hoặc: mặt khác ta có $i = u + pu \rightarrow u = i - pv$

Thay vào (1 - 33b) ta có:

$$du = di - d(pv) = di - pdv - vdp \quad (1-33)$$

$$dq = di - vdp \quad (1-34a)$$

$$dq = di + dl_{ki} \quad (1-34b)$$

Các phương trình (1-33a) và (1-34ab) có thể dùng được cho cả hệ thống kín lẫn hệ thống hở, cả khí thực lẫn khí lý tưởng.

Chỉ riêng đối với khí lý tưởng, do có thể chứng minh được $du = c_v dT$ và $di = C_p dT$, nên định luật nhiệt thứ nhất có thể biểu thị:

$$dq = c_v dT + pdv \quad (1-35a)$$

hoặc $dq = c_p dT - vdp \quad (1-35b)$

Thử lại có hai cách biểu thị phương trình định luật nhiệt thứ nhất đúng cho mọi quá trình của khí lý tưởng và khí thực.

* Cách viết theo nội năng và công giãn nở:

$$dq = du + pdv \quad (1-35c)$$

$$q = \Delta u + l_{12}$$

$$Q = \Delta U + L_{12}$$

* Cách viết theo entanpi và công kỹ thuật:

$$dq = di - vdp \quad (1-35d)$$

$$q = \Delta i + l_{k12}$$

$$Q = \Delta I + L_{k12}$$

VI. CÁC QUÁ TRÌNH CƠ BẢN CỦA KHÍ LÝ TƯỞNG

1. Các điều kiện ban đầu

- Môi chất phải là khí lý tưởng.
- Quá trình phải là thuận nghịch, tất cả các trạng thái trong quá trình phải là cân bằng.

- Chỉ nghiên cứu một số quá trình cơ bản, thể hiện bằng một trong các điều kiện: Hoặc nhiệt dung riêng không thay đổi trong cả quá trình hoặc tỷ số

$\alpha = \Delta u/q$ không thay đổi hoặc một thông số trạng thái nào đó không thay đổi trong cả quá trình, thí dụ như nhiệt độ, áp suất, thể tích riêng hoặc entropi.

2. Viết phương trình của quá trình và biểu diễn trên đồ thị

2.1. Phương trình quá trình đa biến.

Từ biểu thức định luật nhiệt thứ nhất và công thức tính nhiệt lượng theo nhiệt dung riêng, ta có:

$$dq = C_p dt - vdp = C dt \quad (1-36a)$$

Hoặc $dq = C_v dt + pdv = C dt$

Từ hệ phương trình (a) có thể cho hệ phương trình:

$$(C - C_p)dt = -vdp \quad (1-36b)$$

$$(C - C_v)dt = pdv$$

Chia vế theo vế ta được $\frac{C - C_p}{C - C_v} = -\frac{v}{p} \cdot \frac{dp}{dv} \quad (1-36c)$

Đặt $\frac{C - C_p}{C - C_v} = n$, và n là hằng số ($n = -\infty \div +\infty$); C_p và C_v là nhiệt dung riêng khối lượng đẳng áp, nhiệt dung riêng khối lượng đẳng tích. Với khí lý tưởng C_p và C_v là hằng số, từ (c) ta có:

$$\frac{dp}{p} + n \frac{dv}{v} = 0 \quad (1-36d)$$

Sau khi biến đổi ta được $pv^n = \text{const}$ (1-36e)

Ngoài ra với, $\frac{C - C_p}{C - C_v} = n$, ta suy ra biểu thức nhiệt dung riêng của quá

trình đa biến. $C = C_v \frac{n - k}{n - 1}$

Với $n = - \frac{vdp}{pdv} = \frac{dl_{kt}}{dl}$, ta suy ra $l_{kt12} = nl_{12}$

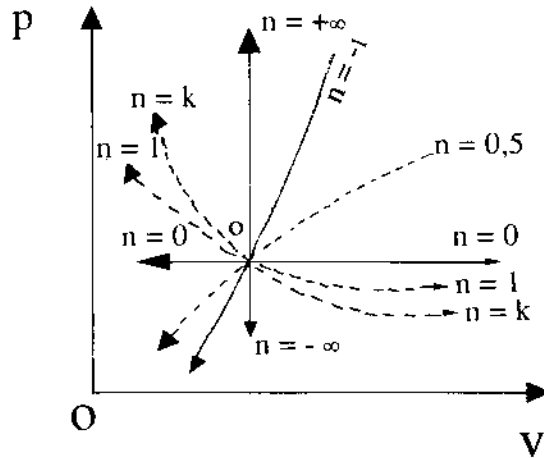
Phương trình (1-36e) là phương trình của quá trình đa biến, n là số mũ đa biến, Với $n = 0$ ta được $p = \text{const}$ gọi là phương trình quá trình đẳng áp, với $n = 1$ ta được $pv = \text{const}$ là phương trình quá trình đẳng nhiệt, với $n = k = c_p/c_v$ ta được $pv^k = \text{const}$ là phương trình quá trình đoạn nhiệt, với $n = \pm\infty$, ta được $v = \text{const}$ là phương trình quá trình đẳng tích.

2.2. Biểu diễn quá trình trên đồ thị p-v và T-s

Trên đồ thị pv, quá trình đa biến với phương trình $pv^n = \text{const}$ được biểu thị bằng một họ đường cong với hệ số góc bằng:

$$\frac{dp}{dv} = \text{tg}\beta = -n \frac{p}{v} \quad (1-37)$$

-Với quá trình đẳng áp, $n = 0$, $\text{tg}\beta = 0$ ta được đường thẳng song song với trục hoành v (Hình 1- 4).



Hình 1-4. Đồ thị biểu diễn quá trình của khí thực trên đồ thị p - v

-Với quá trình đẳng tích, $n = +\infty$, $\text{tg}\beta = +\infty$, ta được đường song song với trục tung.

-Với quá trình đẳng nhiệt, $n = 1$, $\text{tg}\beta = \frac{p}{v}$, ta được đường hypecbon đối xứng.

-Với quá trình đoạn nhiệt, $n = k = \frac{C_p}{C_v} > 1$, ta được một đường hypecbon có độ dốc lớn hơn độ dốc của đường đẳng nhiệt.

-Với quá trình đa biến bất kỳ, $n > 0$, các đường biểu diễn nằm trong khu vực II và IV, $n < 0$, các đường biểu diễn nằm trong khu vực I và III.

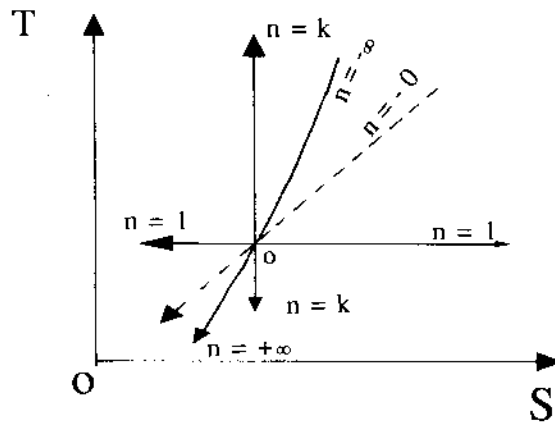
Trên đồ thị T-s ta tìm $\frac{dT}{dS}$ để xác định hệ số góc của đường biểu diễn.

Từ $dS = \frac{dq}{T} = \frac{CdT}{T}$ ta được $\frac{dT}{dS} = \frac{T}{C}$ thay

$$W = \frac{C - C_p}{C - C_v} \text{ và } k = \frac{C_p}{C_v},$$

Ta được $\frac{dT}{dS} = \frac{T}{C_v} \cdot \frac{n-1}{n-k}$ (1-38)

-Với quá trình đẳng nhiệt, $n = 1$ nên $\frac{dT}{dS} = 0$, đường biểu diễn là một đường song song với trục hoành (Hình 1-5).



Hình 1-5. Đồ thị biểu diễn các hằng số trạng thái.

- Với quá trình đoạn nhiệt, $n = k$ nên $\frac{dT}{dS} = \infty$, đường biểu diễn là một đường

song song với trục tung.

- Với quá trình đẳng áp, $n = 0$ nên $\frac{dT}{dS} = \frac{T}{C_p}$, đường biểu diễn là một đường

cong có hệ số góc tăng dần theo nhiệt độ, mặt lồi quay xuống dưới.

- Với quá trình đẳng tích $n = +\infty$, nên $\frac{dT}{dS} = \frac{T}{C_v}$, đường biểu diễn cũng có

dạng tương tự như đường đẳng áp nhưng có độ dốc lớn hơn vì $C_p > C_v$ và

$$\frac{T}{C_v} > \frac{T}{C_p}$$

Cần chú ý hai đường đẳng áp hoặc đẳng tích trên đồ thị T - S có khoảng cách nằm ngang không đổi, vì có thể chứng minh được:

$$\Delta S_v = R \ln \frac{V_2}{V_1} \text{ và } \Delta S_p = R \ln \frac{P_1}{P_2}$$

3. Quan hệ giữa các thông số cơ bản của các trạng thái:

Từ phương trình đa biến ta có: $\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^n$ (1-39a)

Hoặc $\frac{V_1}{V_2} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{1}{n}}$ (1-39b)

Viết phương trình trạng thái: $P_2 V_2 = RT_2$ và $P_1 V_1 = RT_1$, rồi chia theo vế, ta

được: $\frac{P_2 V_2}{P_1 V_1} = \frac{T_2}{T_1}$

Thay (1-39a) hoặc (1-39b) vào ta được: $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{n-1}$ (1-39c)

- Với quá trình đẳng áp

$$n = 0 \text{ được } P_2 = P_1 \text{ và } \frac{T_2}{T_1} = \frac{V_2}{V_1} \quad (1-39d)$$

- Với quá trình đẳng tích.

$$n = \pm\infty, \text{ được } V_2 = V_1 \text{ và } \frac{T_2}{T_1} = \frac{P_2}{P_1} \quad (1-39e)$$

- Với quá trình đẳng nhiệt, $n = 1$ được $\frac{P_2}{P_1} = \frac{V_1}{V_2}$ (1-39g)

và $T_2 = T_1$.

- Với quá trình đoạn nhiệt, $n = k$ nên $\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^k$ và

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1}$$

4. Lượng thay đổi nội năng entanpi, entropi

4.1. Lượng thay đổi nội năng

Từ trạng thái 1 có U_1 đến trạng thái 2 có U_2 , thay đổi bất cứ quá trình nào với khí lý tưởng thì ta cũng có:

$$du = C_v dT$$

$$\Delta U = C_v(t_2 - t_1)$$

$$\Delta U = U_2 - U_1 = GC_v(t_2 - t_1) \quad (1-40a)$$

4.2. Lượng thay đổi entanpi

Tương tự ta thấy; từ trạng thái 1 đến trạng thái 2, tiến hành theo bất cứ quá trình nào của khí lý tưởng ta cũng có:

$$di = C_p dT$$

$$\Delta i = i_2 - i_1 = C_p(t_2 - t_1) \quad (1-41a)$$

$$\Delta I = GC_p(t_2 - t_1) \quad (1-41b)$$

4.3. Lượng thay đổi entropi

Thay phương trình định luật I vào vi phân $ds = \frac{dq}{dT}$ ta được:

$$ds = C_v \frac{dT}{T} + R \frac{dV}{V} \quad (1-42a)$$

Hoặc:
$$ds = C_p \frac{dT}{T} + R \frac{dP}{P} \quad (1-42b)$$

Hoặc:
$$ds = C_p \frac{dV}{V} + C_v \frac{dP}{P} \quad (1-42c)$$

Với quá trình hữu hạn, ta được:

$$\Delta S = \int_{S_1}^{S_2} dS = S_2 - S_1 = C_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (1-42d)$$

Hoặc:
$$\Delta S = C_p \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{P_2}{P_1} \quad (1-42e)$$

Với quá trình $v = \text{const}$ từ (1-42d):

$$\Delta S_v = C_v \ln \frac{T_2}{T_1} \quad (1-42g)$$

Với quá trình đẳng áp $p = \text{const}$ từ (1-42e):

$$\Delta S_p = C_p \ln \frac{T_2}{T_1} \quad (1-42h)$$

Với quá trình đẳng nhiệt:

$$\Delta S_T = \frac{q}{T} \quad (1-42i)$$

5. Tính nhiệt và công của các quá trình

5.1. Tính nhiệt lượng

5.1.1. Tính theo nhiệt dung riêng

- Quá trình đa biến:

$$q = C(t_2 - t_1) \text{ Trong đó: } C = C_v \frac{n-k}{n-1} \quad (1-43a)$$

- Quá trình đẳng áp:

$$q = C_p(t_2 - t_1) \quad (1-43b)$$

- Quá trình đẳng tích:

$$q = C_v(t_2 - t_1) \quad (1-43c)$$

- Quá trình đẳng nhiệt vì $T = \text{const}$ nên không tính theo nhiệt dung riêng, mà tính theo entropi:

$$q_{12} = \int_1^2 p dv = q_T = T(S_2 - S_1) \quad (1-43d)$$

5.1.2. Tính toán theo định luật I

Ta có:

$$q = \Delta u + l_{12}$$

Với quá trình đẳng tích có: $l_{12} = \int_{v_1}^{v_2} p dv = 0$, nên:

$$q_v = \Delta u = C_v(t_2 - t_1) \quad (1-44a)$$

Mặt khác ta có: $q = \Delta i + L_{KT12}$

Với $L_{KT12} = - \int_{p_1}^{p_2} v dp = 0$, nên:

$$q_p = \Delta i = C_p(t_2 - t_1) \quad (1-44b)$$

Với quá trình đoạn nhiệt (Thuận nghịch) có thể dùng công thức (1-43d), trong đó $S_1 = S_2$ nên $q_S = 0$.

5.2. Tính công

5.2.1. Tính công giãn nở

Từ công thức (1-29); $l_{12} = \int_{v_1}^{v_2} p dv$, để tính l_{12} bằng diện tích trên đồ thị p-v hoặc thay quan hệ giữa v và p vào rồi lấy tích phân.

-Với quá trình đa biến có $p_1 v_1^n = p_2 v_2^n = \dots = p v^n$ và $P = \frac{P_1 v_1^n}{v^n}$

$$\text{ nên } l_{12} = \frac{1}{n-1} (P_1 v_1 - P_2 v_2) = \frac{P_1 v_1}{(n-1)} \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right] \quad (1-45a)$$

Từ (1-45a) khi $(T_2/T_1) = \left[\frac{P_2}{P_1} \right]^{\frac{n-1}{n}}$ và phương trình trạng thái:

$$p_1 v_1 = RT_1$$

$$l_{12} = \frac{R}{n-1}(T_1 - T_2) \quad (1-45b)$$

Từ đó suy ra:

- Với quá trình đẳng tích $n = \pm\infty$, suy ra $l_{12}=0$
- Với quá trình đẳng áp $n = 0 \rightarrow l_{12} = p(v_2 - v_1)$.
- Với quá trình đẳng nhiệt $n = 1$, không thể suy ra từ (1-45a) mà ta phải tìm như sau: Khi dùng phương trình trạng thái $p v = RT$ suy ra $p = (RT/v)$

Ta có:
$$l_{12} = \int_{v_1}^{v_2} p dv = \int_{v_1}^{v_2} RT \frac{dv}{v} = RT \ln\left(\frac{v_2}{v_1}\right) = RT \ln\left(\frac{p_1}{p_2}\right).$$

- Với quá trình đoạn nhiệt chỉ cần thay $n = k$ vào phương trình (1-45a)

Ngoài ra có thể sử dụng phương trình của định luật I để tính công giãn nở: $q = \Delta u + l_{12} \rightarrow l_{12} = q - \Delta u$.

5.2.2. Tính công kỹ thuật

Như phần trước đã chứng minh: $l_{KT1} = n l_{12}$.

- Với quá trình đoạn nhiệt: $n = k \rightarrow l_{KT12} = k l_{12}$;
- Với quá trình đoạn nhiệt: Khi $n = 1$; ta có $l_{KT12} = l_{12}$
- Quá trình đẳng tích: $l_{KT12} = \int_{p_1}^{p_2} -v dp = -v(p_2 - p_1)$
- Quá trình đẳng áp $L_{KTp} = 0$.
- Ngoài ra công kỹ thuật còn có thể suy ra từ phương trình định luật I: $q = \Delta i + l_{KT12}$ từ đó ta được $l_{KT12} = q - \Delta i$, quá trình đẳng nhiệt có $l_{KT12} = q$
- Quá trình đoạn nhiệt $q=0$ nên: $L_{KT} = - \Delta i$

VII. CÁC QUÁ TRÌNH CƠ BẢN CỦA KHÍ THỰC

1. Xác định các thông số bằng bảng và đồ thị

Khí thực ở đây trong thực tế là: Hơi nước (H_2O), hơi của các môi chất lạnh (NH_3), Freon... Chúng được sử dụng trong Turbin hơi nước của nhà máy nhiệt điện, trong máy lạnh hay máy điều hoà. Để xác định các thông số như T , p , v , i , ... ta có thể dùng bảng hoặc đồ thị.

1.1. Bảng số

Như ta đã nói với H_2O ta có các bảng 3, 4, 5 ở phần phụ lục. Tương tự với môi chất là NH_3 , R12, ... cũng có các bảng ở phần phụ lục.

1.2. Đồ thị

Tính toán các quá trình nhiệt động bằng bảng thì chính xác nhưng phức tạp, để việc tính toán các quá trình đơn giản ta sử dụng đồ thị:

a. Với H₂O ta sử dụng đồ thị i - s.

b. Với môi chất lạnh ta dùng đồ thị lgp-h cho ở phần phụ lục với các môi chất NH₃ và R12.

Trên các đồ thị này giao điểm của hai thông số đã cho, ví dụ như:

P, h ta sẽ xác định được điểm trạng thái trên đồ thị và từ đó xác định được các thông số còn lại.

2. Các quá trình của khí thực

Như đã nói khí thực ở đây là hơi nước (H₂O), môi chất lạnh.

- Với H₂O thường gặp quá trình đẳng áp (trong lò hơi), quá trình đoạn (nhiệt trong tuabin, bơm).

- Với môi chất lạnh thường gặp các quá trình đẳng áp (quá trình ngưng tụ trong bình ngưng, quá trình sôi trong bình bay hơi), quá trình đoạn nhiệt trong máy nén. Vậy ở đây ta chỉ nghiên cứu quá trình đẳng áp, quá trình đoạn nhiệt.

2.1. Quá trình đẳng áp

2.1.1. Định nghĩa

Là quá trình xảy ra khi $p_1 = p_2 = p = \text{const}$.

2.1.2. Xác định nhiệt

Ta suy ra từ phương trình định luật I:

$$q = \Delta i + l_{KT12} \text{ Ở đây } l_{KT12} = \int -v dp = 0$$

Vậy $q = \Delta i = i_2 - i_1$

$$Q = G (i_2 - i_1).$$

Trong đó: i_1, i_2 - Được xác định từ bảng hay đồ thị (kJ/kg).

G Lưu lượng môi chất (kg/s).

Q Công suất nhiệt của bình ngưng hay bình bay hơi (kW).

2.2. Quá trình đoạn nhiệt

2.2.1. Định nghĩa

Là quá trình xảy ra khi không trao đổi nhiệt. $Q = 0, q = 0, dq = 0$.

2.2.2. **Tính chất:** $ds = dq = 0 \rightarrow s_1 = s_2 = s = \text{const.}$

2.2.3. **Tính công kỹ thuật (hay công suất của máy nén lạnh)**

Máy nén là hệ hở nên công suất chính là công kỹ thuật. Vậy ta có:

$$N \equiv L_{KT12}$$

Theo định luật I: $q = \Delta i + l_{KT12}$ ở đây $q = 0$ vậy $l_{KT12} = -\Delta i = -(i_2 - i_1)$.

$$N \equiv L_{KT12} = -G (i_2 - i_1).$$

Trong đó: i_1, i_2 - Dùng bảng hay đồ thị để tìm (kJ/kg).

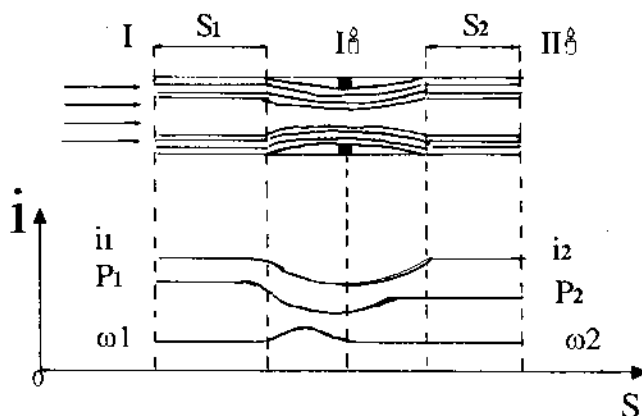
G - Lưu lượng môi chất (kg/s).

N - Công suất máy lạnh (KW).

VIII. QUÁ TRÌNH TIẾT LƯU

1. Định nghĩa

Tiết lưu là hiện tượng của một dòng môi chất lưu động qua một tiết diện thay đổi đột ngột, qua đó áp suất giảm ($p_2 < p_1$) nhưng không sinh công hữu ích. Tiết lưu là một quá trình không thuận nghịch nhưng có nhiều ứng dụng trong kỹ thuật Nhiệt (Hình 1-6).



Hình 1-6. Biểu diễn quá trình tiết lưu

2. Đặc điểm

Khi tiết lưu môi chất trao đổi nhiệt với môi trường ít, không đáng kể, nên có thể coi là quá trình đoạn nhiệt. Một đặc điểm quan trọng của tiết lưu là entanpi của môi chất trước và sau tiết lưu bằng nhau:

$$i_1 = i_2 \quad (1-46)$$

Thực vậy quá trình tiết lưu, để lưu động cân một công bằng $P_1V_1 - P_2V_2$, công này làm tăng nội năng của môi chất ($U_2 - U_1$) tăng động năng $\left(\frac{W_2^2}{2} - \frac{W_1^2}{2}\right)$ mà không sản ngoại công, nên có thể viết:

$$P_1V_1 - P_2V_2 = U_2 - U_1 + \left(\frac{W_2^2}{2} - \frac{W_1^2}{2}\right)$$

Nhưng trong các trường hợp tiết lưu thường gặp $W_1 \approx W_2$, nghĩa là coi $\left(\frac{W_2^2}{2} - \frac{W_1^2}{2}\right) = 0$, nên sau khi chuyển về ta được $i_1 = i_2$.

Như vậy trên đồ thị $i - s$, trạng thái môi chất sau khi tiết lưu nằm trên đường song song với trục hoành và về bên phải trạng thái đầu (Hình 1-6)

Ngoài ra, quan sát thấy, qua tiết lưu, áp suất giảm xuống, còn nhiệt độ với khí lý tưởng sẽ không đổi vì: $di = C_p dT$, $di = u \rightarrow dT = 0$. Với khí thực có thể tăng, giảm hoặc không thay đổi.

3. Hiệu ứng tiết lưu Joule - Thomson (Jun - Tômxơn 1852)

Hiệu ứng Joule - Thomson nghiên cứu sự thay đổi nhiệt độ khi tiết lưu khí thực, nó là tỉ số giữa lượng thay đổi nhiệt độ và lượng thay đổi áp suất của môi chất qua quá trình tiết lưu, có thể biểu thị bằng biểu thức sau:

$$\alpha_i = \left(\frac{\delta T}{\delta P}\right)_i \quad (1-47)$$

Ta biết rằng khi tiết lưu áp suất giảm vậy $dp < 0$ và ta có:

$\alpha_i > 0$ nghĩa là nếu hiệu ứng $\alpha_i > 0 \rightarrow dT < 0$ ($T_2 < T_1$): Khi tiết lưu nhiệt độ khí thực giảm. Nếu $\alpha_i < 0$ thì $dT > 0$ ($T_2 > T_1$): Khi tiết lưu nhiệt độ khí tăng.

Nếu $\alpha_i = 0$, $dT = 0$ ($T_2 = T_1$): Khi tiết lưu nhiệt độ không đổi, nhiệt độ này gọi là nhiệt độ chuyển biến (T_{cb}).

Ngoài ra khi nghiên cứu người ta thấy với hơi hay khí thực thì khi nhiệt độ ban đầu $T_1 < T_{cb}$ thì: Sau tiết lưu nhiệt độ giảm ($T_2 < T_1$). Hiện tượng này được ứng dụng trong kỹ thuật lạnh sâu (hoá lỏng các khí), ngoài ra khi tiết lưu áp suất giảm kéo theo nhiệt độ sôi tương ứng giảm, điểm này được ứng dụng trong máy lạnh ở bộ phận tiết lưu.

Chương 2

KHÔNG KHÍ ẨM VÀ CHU TRÌNH NGƯỢC CHIỀU

Mục tiêu

- Nắm được các thông số cơ bản của không khí ẩm, cấu tạo và ứng dụng của đồ thị i - d, t-d.

-Hiểu được sơ đồ thiết bị và nguyên lý làm việc của các loại chu trình ngược chiều.

Nội dung tóm tắt:

- Những khái niệm cơ bản về không khí ẩm
- Đồ thị i-d, t-d và các ứng dụng
- Định luật nhiệt động thứ hai và chu trình nhiệt động
- Chu trình ngược chiều dùng không khí
- Chu trình ngược chiều dùng hơi
- Chu trình ngược chiều dùng phương pháp hấp thụ
- Chu trình ngược chiều điện nhiệt
- Nguyên lý làm việc của máy lạnh và bơm nhiệt

I. NHỮNG KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ KHÔNG KHÍ ẨM

Không khí ẩm là hỗn hợp giữa không khí khô và hơi nước ở đây. Nếu tách hết hơi nước ta được không khí khô.

1. Các loại không khí ẩm

1.1. Không khí ẩm bão hoà

Là không khí ẩm mà lượng hơi nước trong đó đã đạt đến mức lớn nhất (nghĩa là không thể thêm hơi nước vào hoặc thêm vào bao nhiêu thì sẽ có bấy nhiêu hơi ngưng tụ), hơi nước trong không khí bão hoà là hơi bão hoà khô (trường hợp không khí có nhiệt độ nhỏ hơn hoặc bằng nhiệt độ bão hoà của nước ở áp suất khí quyển).

1.2. Không khí ẩm chưa bão hoà.

Là không khí ẩm mà lượng hơi nước chưa đạt cực đại, còn có thể tiếp nhận thêm hơi nước (hơi nước trong đó là hơi quá nhiệt).

1.3. Không khí ẩm quá bão hoà.

Là không khí ẩm mà trong đó có một bộ phận hơi nước ngưng tụ. Tất nhiên là phần hơi còn lại là hơi bão hoà khô; phần đã ngưng là nước ngưng.

2. Các thông số của không khí ẩm

2.1. Nhiệt độ của không khí ẩm

Bằng nhiệt độ của không khí khô cũng như nhiệt độ của hơi nước:

$$t = t_k = t_h \quad (2-1a)$$

2.2. Áp suất của không khí ẩm

Theo định luật Dalton, bằng tổng phân áp suất của hơi nước và của không khí khô

$$p = p_h + p_k \quad (2-1b)$$

- Nhiệt độ bão hoà của nước ứng với phân áp suất của hơi nước gọi là nhiệt độ đọng sương t_s .

Cách tìm t_s : Từ bảng 4 hơi nước bão hoà theo áp suất hơi nước p_h tìm được t_s .

2.3. Khối lượng của không khí ẩm

Theo định luật bảo toàn khối lượng của hơi nước và của không khí khô:

$$G = G_h + G_k \quad (2-2)$$

2.4. Thể tích không khí

Thể tích của không khí ẩm bằng thể tích của không khí khô (V_k) và bằng thể tích hơi nước (V_h).

$$V = V_h = V_k \quad (2-3)$$

2.5. Độ ẩm tuyệt đối

Nếu trong $V(m^3)$ không khí ẩm có chứa G_h (kg) hơi nước, thì tỉ số

$\rho_h = (G_h/V)$, được gọi là độ ẩm tuyệt đối của không khí ẩm đó. Nó chính là khối lượng của hơi nước trong $1m^3$ không khí ẩm.

2.6. Độ ẩm tương đối (φ).

Là tỷ số giữa độ ẩm tuyệt đối của không khí ẩm chưa bão hoà ρ_h và bão hoà ρ_{hmax} cùng nhiệt độ:

$$\varphi = (\rho_h/\rho_{hmax}). \quad (2-4)$$

Vì hơi nước trong không khí ẩm có thể coi là khí lý tưởng, nên

$$P_h = R_h T \rho_h \text{ và } P_{h \max} = R_h T \rho_{h \max} \text{ và ta có } \varphi = \frac{P_h}{P_{h \max}} \text{ ở đây } P_{h \max} \text{ chính là áp}$$

suất bão hoà của hơi nước ứng với nhiệt độ của không khí ẩm.

2.7. Độ chứa hơi

Là lượng hơi nước có trong không khí ẩm ứng với 1kg không khí khô, đơn vị là kg (hơi nước)/kg không khí khô hoặc là g(hơi nước)/kg không khí khô.

$$\text{Nếu thay } G_h = \frac{p_h V}{R_h T} \text{ và } G_k = \frac{p_k V}{R_k T}, \text{ được } d = \frac{p_h}{P_k} \cdot \frac{R_k}{R_h} \quad (2-5a)$$

$$\text{Nếu thay } R = \frac{8314}{18} J / Kg.K \text{ và } R_k = \frac{8314}{29} J / Kg.K \text{ và } p_k = p - p_h \text{ được}$$

$$d = 0,622 \frac{\varphi \cdot P_{h \max}}{P - \varphi P_{h \max}} \text{ kg hơi nước/kg không khí} \quad (2-5b)$$

$$\text{Hoặc } d = 622 \frac{\varphi \cdot P_{h \max}}{P - \varphi P_{h \max}} \text{ g hơi nước/kg không khí} \quad (2-5c)$$

$$\text{Nhiều khi còn dùng độ bão hoà } \varphi = \frac{d}{d_{\max}} \quad (2-5d)$$

Ở đây tìm d_{\max} theo điều kiện $P_{h \max}$ tức là giữ nhiệt độ không đổi. Còn P_h là phân áp suất của hơi nước, chính là áp suất bão hoà của nước ứng với nhiệt độ động sương (có thể đo được bằng thực nghiệm).

2.8. Entanpi của không khí ẩm

Bằng tổng entanpi của 1kg không khí khô và của hơi nước chứa trong đó. Thường tính entanpi của lượng không khí ẩm có chứa 1kg không khí khô, cũng có nghĩa là (1+d) kg không khí ẩm.

$$\text{Ta có: } I = i_k + d i_h \quad (2-6a)$$

i_k - Entanpi của một kg không khí khô, có thể tính bằng 1,0048t (kJ/kg), thường lấy i_k bằng t (kJ/kg).

i_h - Của hơi nước (hơi quá nhiệt) trong không khí của chất lỏng bay hơi:

$$i_h = r (0^{\circ}C) + C_{ph} \cdot t = 2500 + 1,93t \text{ (kJ/kg)}$$

Thường gặp không khí ẩm chưa bão hoà nên ta có:

$$I = t + d(2500 + 1,93t), \text{ (kJ/kg)} \quad (2-6b)$$

II. ĐỒ THỊ I - D, T-D VÀ CÁC ỨNG DỤNG

1. Đồ thị i - d

Để tính toán các quá trình của không khí ẩm, thường dùng trục tọa độ có trục tung là entanpi của không khí ẩm có chứa 1kg không khí khô và trục hoành là độ chứa hơi d.

Có nhiều cách vẽ đồ thị I - d, theo áp suất khí quyển thường dùng hai loại: một loại có $P = 760\text{mmHg}$ và một loại có $P = 745\text{mmHg}$. Theo góc tạo thành tọa độ, thường gặp ba loại:

- Trục tung vuông góc với trục d.
- Trục I tạo với trục d một góc 135° .
- Lấy đường đẳng nhiệt $t = 0$ vuông góc với trục I.

Ta thường dùng loại đồ thị có $P = 745\text{mmHg}$, I tạo với trục d một góc 135° , trên đồ thị vẽ các đường sau:

1.1. Đường $t = \text{const}$

Là đường gần thẳng, có hệ số góc bằng $\left(\frac{\partial i}{\partial d}\right)_t$, ta thấy đoạn không khí chưa bão hoà có hệ số góc lớn hơn, đường biểu diễn dốc hơn, đoạn có nước ngưng, hệ số góc nhỏ hơn và đoạn có đá, hệ số góc nhỏ hơn cả.

1.2. Đường $\varphi = \text{const}$

Chia thành hai đoạn, khi nhiệt độ không khí còn nhỏ hơn nhiệt độ bão hoà của nước ứng với áp suất khí quyển (99,42 ứng với $P = 745\text{mmHg}$ và 1002 ứng với $P = 760\text{mmHg}$) là đường cong đi lên; còn đoạn trên nhiệt độ đó, đường biểu diễn gần như song song với trục I. Riêng đường cong $\varphi = 100\%$ là đường cong đi lên tiệm cận với đường nhiệt độ bão hoà của nước ứng với áp suất khí quyển (99,4% hoặc 100%). Ta vẽ $\varphi = \text{const}$ theo công thức (2-4).

1.3. Đường $I = \text{const}$

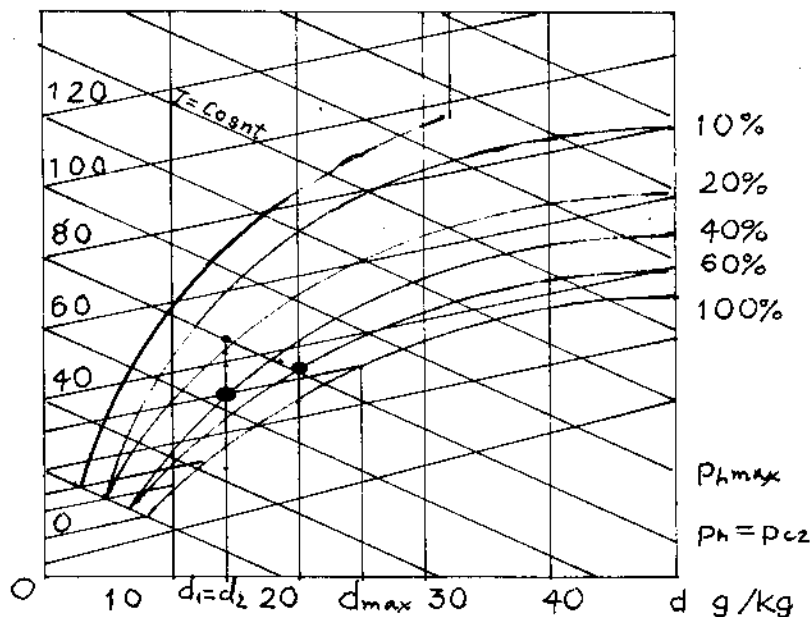
Song song với trục d và đường $d = \text{const}$ song song với trục I, d thẳng đứng, I nghiêng với d một góc 135°

1.4. Đường $\tau = \text{const}$

τ là nhiệt độ bão hoà đoạn nhiệt, tức là nhiệt độ cân bằng của khối lượng không khí hữu hạn có chứa nước và để nước bốc hơi hết mức mà chỉ nhờ vào nhiệt độ của không khí; đường $\tau = \text{const}$ gần song song với trục

$I = \text{const}$.

1.5. Ngoài ra còn đường $P_h = f(d)$ theo toạ độ vuông góc.



Hình 2-1. Đồ thị I - d của không khí ẩm

2. Đồ thị t-d (xem hình 2-2)

Đồ thị t-d dùng để tính toán các quá trình của không khí ẩm, thường dùng trục toạ độ có trục tung là độ chứa hơi d của không khí ẩm có chứa 1kg không khí khô và trục hoành là nhiệt độ t của không khí ẩm. Trục tung d vuông góc với trục hoành t. Cấu tạo của đồ thị như sau:

2.1. Đường $t = \text{const}$

Là các đường thẳng song song với trục tung d.

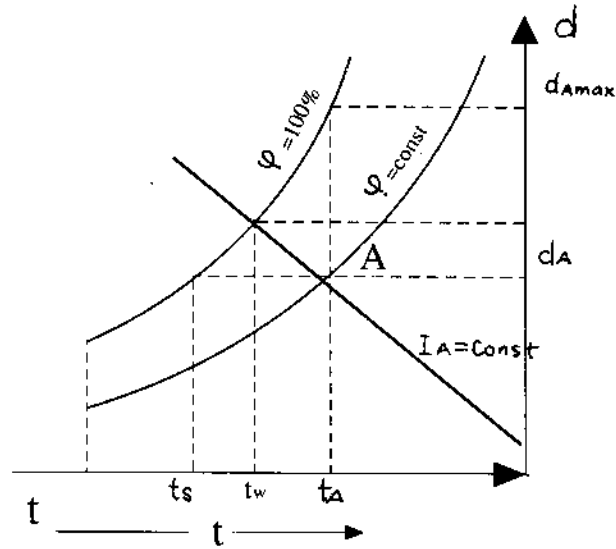
2.2. Đường $\varphi = \text{const}$

Là các đường cong có chiều ngược với các đường cong $\varphi = \text{const}$ trên đồ thị I - d.

2.3. Đường $I = \text{const}$

Là các đường thẳng cắt trục t một góc 135° .

Ngoài ra còn có các đường cong hiệu chỉnh entanpi, các nhiệt độ nhiệt kế ướt và các tia quá trình ε và ε_n .



Hình 2.2 Đồ thị $t - d$ của không khí ẩm

3. Các ứng dụng của đồ thị không khí ẩm

3.1. Xác định các thông số của không khí ẩm

Nếu biết 2 thông số của không khí ẩm, thí dụ t_1 và φ_1 thì giao điểm 1 của 2 đường $t_1 = \text{const}$ và $\varphi_1 = \text{const}$ trên đồ thị sẽ biểu diễn trạng thái đó và từ đó xác định được I_1 , d_1 , P_{h1} , t_{S1} , P_{hmax} và d_{max} (Hình 2-1).

3.2. Các quá trình của không khí ẩm

3.2.1. Quá trình đốt nóng (cấp nhiệt) và làm lạnh (nhả nhiệt) đẳng áp

Vì trong quá trình đó d không thay đổi; nên đường biểu diễn song song với trục tung I :

- Nếu đốt nóng thì I và t tăng, đường biểu diễn đi từ dưới lên.
- Nếu làm lạnh thì I và t giảm φ tăng, đường biểu diễn đi xuống, khi φ tăng đến 100%, nếu tiếp tục nhả nhiệt, hơi sẽ ngưng tụ và quá trình đi xuống theo đường $\varphi = 100\%$, d hơi sẽ giảm. Thường cần tính nhiệt lượng cung cấp hoặc nhả theo công thức của quá trình đẳng áp:

$$Q = \Delta I \text{ kJ/kg}_{(\text{Không khí khô})} \quad (2-7)$$

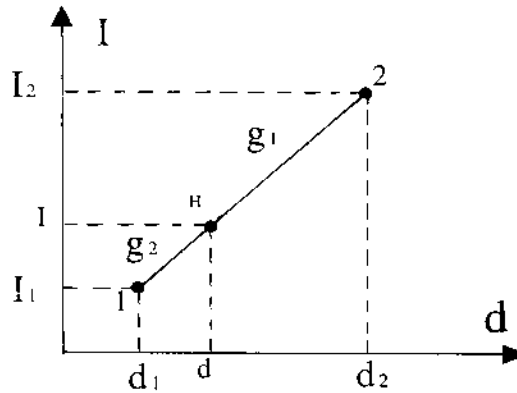
3.2.2. Quá trình hút ẩm và phun ẩm (sấy)

Là quá trình $I = \text{const}$, đường biểu diễn song song với trục d . Trong quá trình phun ẩm vào không khí (cũng là quá trình sấy khô vật) d và φ tăng (đường 2-3)

trong quá trình hút ẩm d và φ giảm. Thường yêu cầu xác định lượng ẩm cần phun thêm và hút đi.

3.2.3. Quá trình hỗn hợp đẳng áp trong kỹ thuật

Thường gặp quá trình hỗn hợp hai loại không khí có trạng thái khác nhau, trạng thái của hỗn hợp nằm trong đoạn thẳng nối liền 2 trạng thái và chia đoạn thẳng đó làm 2 phần tỉ lệ nghịch với thành phần khối lượng không khí khô của chúng (Hình 2-3)



Hình 2-3. Biểu diễn trạng thái hỗn hợp của hai loại không khí

$$\text{Ta có: } \frac{H1}{H2} = \frac{g_2}{g_1}; g_2 = (G_2/G); g_1 = 1 - g_2 = (G_1/G_2); G = G_1 + G_2$$

3.3. Quá trình sấy lý thuyết

Sấy gồm hai giai đoạn:

- Giai đoạn đốt nóng (cấp nhiệt) không khí để độ ẩm tương đối giảm từ φ_1 đến φ_2 (nhiệt độ tăng từ t_1 đến t_2) trên đồ thị là đoạn 1 - 2 đi từ dưới lên và song song với trục I.

- Giai đoạn sấy khô vật ẩm, độ ẩm không khí tăng từ φ_2 đến φ_3 (nhiệt độ giảm từ t_2 xuống t_3), trên đồ thị là đoạn 2 - 3 song song với trục d và theo chiều d tăng. Khi φ_3 tăng đến 100% thì không khí hết khả năng sấy khô, mặc dầu nhiệt độ hãy còn tương đối cao thường cần tính:

- Lượng không khí khô cần thiết để làm bốc hơi một Kg ẩm trong vật muốn sấy.

$$G_k = \frac{1}{d_3 - d_2} \text{ kg không khí khô / kg ẩm} \quad (2-8a)$$

- Lượng không khí ẩm ban đầu cần đưa vào:

$$G_1 = G_K (1 + d_1) \text{ kg không khí ẩm/kg ẩm} \quad (2-8b)$$

- Lượng không khí ẩm cần thải ra:

$$G_3 = G_K (1 + d_3) \text{ kg không khí ẩm/kg ẩm} \quad (2-8c)$$

- Nhiệt lượng cần thiết để làm bốc hơi 1 kg ẩm ở vật cần sấy

$$Q = G_K (I_2 - I_1) = \frac{I_2 - I_1}{d_3 - d_1} \text{ kJ/kg ẩm} \quad (2-8d)$$

3.4. Quá trình điều hoà không khí

Thường bao gồm các quá trình sau:

- Hỗn hợp không khí mới và không khí thải tuần hoàn theo một tỉ lệ chọn trước.

- Điều chỉnh hỗn hợp đến nhiệt độ và độ ẩm thích hợp.

- Độ ẩm thường đưa vào thấp hơn một ít, còn nhiệt độ đưa vào tùy theo mùa, mùa đông thường đưa vào cao hơn, mùa hè thấp hơn một ít so với nhiệt độ trong phòng. Để điều chỉnh độ ẩm có thể dùng biện pháp phun ẩm, hút ẩm hoặc ngưng tụ. Để điều chỉnh nhiệt độ có thể dùng biện pháp cấp nhiệt hoặc hạ nhiệt.

III. ĐỊNH LUẬT NHIỆT ĐỘNG THỨ HAI VÀ CHU TRÌNH NHIỆT ĐỘNG

1. Nội dung định luật thứ hai

Bổ sung cho định luật nhiệt động thứ nhất, định luật thứ hai xác định thêm điều kiện, chiều hướng và mức độ chuyển hoá năng lượng. Tùy theo đặc điểm của đối tượng nghiên cứu, có nhiều cách phát biểu khác nhau.

a. “Nhiệt lượng không thể tự nó truyền từ vật có nhiệt độ thấp đến vật có nhiệt độ cao được” cho nên muốn truyền nhiệt từ vật có nhiệt độ thấp sang vật có nhiệt độ cao cần phải sử dụng thêm năng lượng bên ngoài.

b. “Không thể sinh công một cách liên tục bằng một động cơ nhiệt làm việc theo chu trình với chỉ có một nguồn nhiệt”. Điều đó có nghĩa là có ít nhất hai nguồn nhiệt, trong đó có một nguồn nhiệt cấp nhiệt cho môi chất còn một số nguồn nhận nhiệt từ môi chất thải ra. Điều này cũng có nghĩa là không thể chuyển hoá toàn bộ nhiệt năng nhận từ nguồn nhiệt thành ra công được, mà

bao giờ cũng còn một phần nhiệt thải cho nguồn lạnh, phần nhiệt chuyển thành công tối đa cũng chỉ bằng hiệu suất nhiệt của chu trình carnot thuận nghịch thuận chiều làm việc trong cùng phạm vi nhiệt độ.

2. Chu trình nhiệt động

2.1. Định nghĩa

Muốn chuyển hoá liên tục giữa nhiệt năng với các dạng năng lượng khác, người ta thường phải thực hiện những chu trình, nghĩa là phải để môi chất thay đổi một cách liên tục, từ trạng thái đầu qua vô số trạng thái trung gian rồi lại trở về trạng thái đầu.

Trong nhiệt kỹ thuật chủ yếu nghiên cứu những chu trình thuận nghịch, nó chỉ tiến hành qua các trạng thái cân bằng và có đặc điểm “thuận nghịch” nghĩa là có thể tiến hành ngược trở lại qua tất cả các trạng thái đã đi qua mà môi chất và môi trường không có gì thay đổi. Ta thường nghiên cứu hai loại chu trình: chu trình thuận chiều và chu trình ngược chiều.

Chu trình thuận chiều là chu trình thực hiện sự chuyển hoá nhiệt năng thành công, là chu trình của động cơ nhiệt được tra trên đồ thị $p - v$, $t - s$ thường dùng là một đường cong khép kín tiến hành theo chiều thuận của kim đồng hồ.

Chu trình ngược chiều là chu trình chuyển nhiệt năng từ nguồn có nhiệt độ thấp đến nguồn có nhiệt độ cao nhờ sự hỗ trợ của năng lượng từ bên ngoài, là chu trình của máy lạnh hoặc bơm nhiệt; trên đồ thị $p - v$, $t - s$ thường dùng, là một đường cong khép kín tiến hành ngược chiều với kim đồng hồ.

Để đánh giá hiệu quả chuyển hoá năng lượng, đối với chu trình thuận chiều ta dùng hiệu suất nhiệt, với chu trình ngược chiều ta dùng hệ số làm lạnh hoặc hệ số làm nóng.

2.2. Hiệu suất nhiệt

Hiệu suất nhiệt là tỷ số giữa công chu trình (l_0) và nhiệt cấp vào (q_1). Nếu chọn nhiệt năng đại diện cho năng lượng để tính toán, ta có hiệu suất nhiệt.

$$\eta_t = \frac{l}{q_1} \quad (2-9)$$

Trong đó: q_1 - Tổng nhiệt lượng cấp của chu trình (đây là quá trình cháy nhiên liệu).

q_2 - Tổng nhiệt lượng nhả của chu trình (nhiệt thải vào môi trường như khói,...).

l - Công chu trình.

Ta có thể chứng minh:

$$\begin{aligned} l &= \sum l_i = \sum l_{ki} \\ &= q_1 - |q_2| \end{aligned}$$

2.3. Hệ số làm lạnh (ε) và hệ số làm nóng (φ)

Đối với chu trình ngược chiều, để đánh giá hiệu quả của máy lạnh, ta gọi là hệ số làm lạnh:

$$\varepsilon = \frac{q_2}{|l|} = \frac{q_2}{|q_1| - q_2} \quad (2-10a)$$

Khi làm việc theo tác dụng bơm nhiệt, ta có hệ số làm nóng:

$$\varphi = \frac{|q_1|}{|l|} = \frac{|q_1|}{|q_1| - q_2} \quad (2-10b)$$

Ở đây: $|l| = |q_1| - q_2$

Ta thấy: $\varphi = \frac{|q_1|}{|l|} = \frac{q_2 + |l|}{|l|} = \varepsilon + 1 \quad (2-10c)$

Ở đây: q_1 - Nhiệt thải cho nguồn nóng (ở đây chúng là môi trường khí quyển, ..).

q_2 - Nhiệt nhận của vật làm lạnh từ nguồn lạnh (trong buồng lạnh).

l - Công của chu trình.

3. Chu trình nhiệt động thuận chiều của khí lí tưởng

3.1. Các điều kiện ban đầu

- Các quá trình đều thuận nghịch: không có ma sát, thay quá trình cháy bằng quá trình cấp nhiệt vv....

- Coi quá trình nạp và thải môi chất triệt tiêu nhau về mặt nhiệt và công, biến hệ thống hở thành hệ thống kín.

- Coi môi chất là khí lí tưởng và đồng nhất.

- Coi quá trình nén và giãn nở là đoạn nhiệt thuận nghịch.

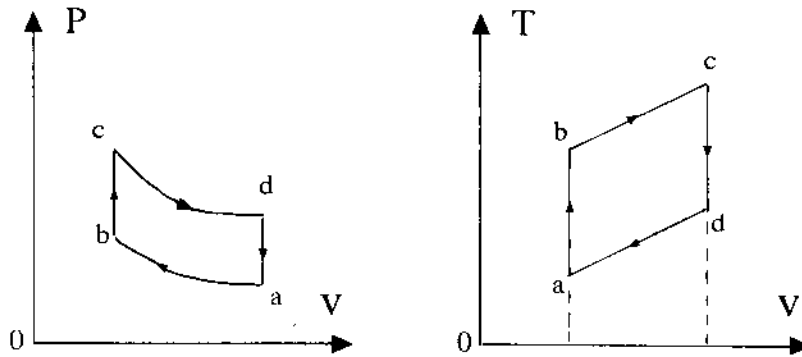
3.2. Các chu trình của khí lí tưởng.

Ở đây ta chỉ xét chu trình của động cơ đốt trong (có pit tông).

3.2.1. Chu trình cấp nhiệt đẳng tích

Tương ứng với các động cơ đốt trong có tia lửa điện (Buji), chạy bằng xăng hoặc khí đốt gồm các quá trình (Hình 2-3).

Đây là động cơ cháy cưỡng bức do kỹ sư người Đức là Ôtô phát minh.



Hình 2-4. Chu trình động cơ đốt trong cấp nhiệt đẳng tích

- Quá trình ab - nén đoạn nhiệt (môi chất thực là hỗn hợp không khí và nhiên liệu)
- Quá trình bc - cấp nhiệt đẳng tích (đốt cháy nhiên liệu).
- Quá trình cd - giãn nở đoạn nhiệt.
- Quá trình da - nhả nhiệt đẳng tích
- Khi ta tính nhiệt lượng, công và hiệu suất nhiệt của chu trình, ta coi thông

số trạng thái ban đầu ta đã biết, thường dùng thêm tỉ số nén $\varepsilon = \frac{v_a}{v_b}$ và tỷ số

tăng áp suất khi cấp nhiệt $\lambda = \frac{P_c}{P_b}$.

Ta có: $q_1 = q_{bc} = \omega (T_c - T_b);$

$$|q_2| = |q_{da}| = \omega (T_d - T_a);$$

$$l = q_1 - |q_2|; \eta_t = \frac{l}{q_1};$$

Từ quan hệ thông số của các quá trình ta tính được:

- Nhiệt lượng cấp vào $q_1 = q_{bc} = C_V T_a \varepsilon^{k-1} (\lambda - 1)$ (2-11a)

- Nhiệt lượng nhả ra $q_2 = q_{da} = C_V T_a (\lambda - 1)$ (2-11b)

- Công môi chất đã sinh ra trong một chu trình:

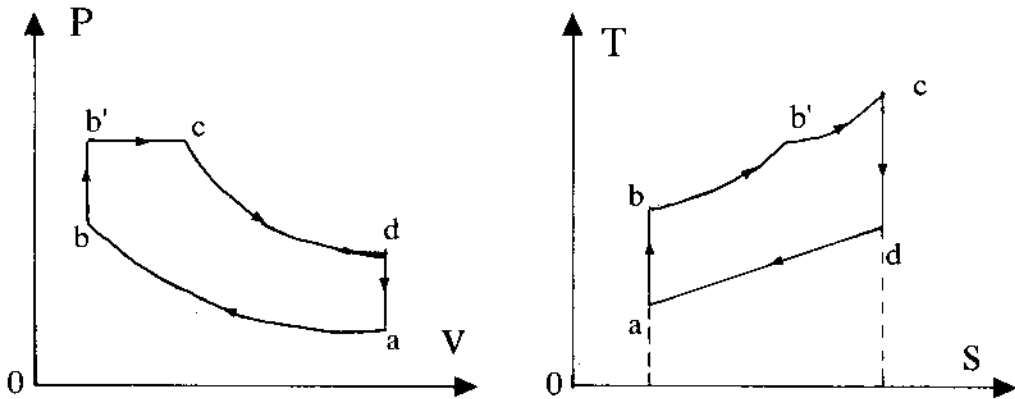
$$l = q_1 - q_2 = C_V T_a (\lambda - 1) (\varepsilon^{k-1} - 1) \quad (2-11c)$$

- Hiệu suất của chu trình:

$$\eta_T = \frac{l}{q_1} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}$$

Ta thấy hiệu suất nhiệt phụ thuộc vào số mũ đoạn nhiệt k và tỷ số nén ε . Hiệu suất nhiệt tăng khi k và ε tăng, nhưng k phụ thuộc vào đặc tính của môi chất, ε cũng bị hạn chế vì hiện tượng kích nổ vì đây là động cơ cháy cưỡng bức nên nhiệt độ sau nén $T_b < T_{bc}$ (nhiệt độ tự bốc cháy của nhiên liệu) nên không thể tăng ε . Thường $\varepsilon = 5 \div 7$ đối với xăng và $\varepsilon = 6 \div 9$ đối với nhiên liệu khí.

3.2.2. Chu trình cấp nhiệt hỗn hợp



Hình 2-5: Chu trình động cơ đốt trong cấp nhiệt hỗn hợp

Đây là động cơ đốt trong tự cháy (không có bụi), nhiên liệu là dầu. Để đưa dầu vào xylanh dùng bơm cao áp và vòi phun. Đây là động cơ Diesel (lấy tên kỹ sư Đức, người phát minh).

Chu trình gồm các quá trình ab, cd và da giống hệt chu trình trên, chỉ khác quá trình cấp nhiệt, gồm hai đoạn bb' là cấp nhiệt đẳng tích và b'c là cấp nhiệt đẳng áp (Hình 2-5).

- Ta tính được nhiệt lượng cấp vào:

$$q_1 = q_{bb'c} = C_v T_a \varepsilon^{k-1} [(\lambda-1) + K\lambda(\rho-1)] \quad (2-12a)$$

- Nhiệt lượng toả ra:

$$q_2 = q_{da} = C_v (\lambda \rho^k - 1) \quad (2-12b)$$

- Công sinh ra trong một chu trình:

$$l = q_1 - q_2 \quad (2-12c)$$

- Hiệu suất nhiệt:

$$\eta_T = \frac{l}{q_1} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \frac{\lambda \rho^k - 1}{[(\lambda-1) + K\lambda(\rho-1)]} \quad (2-12d)$$

- Ta thấy hiệu suất nhiệt tăng khi K, ε , λ tăng và giảm.

Động cơ này nhiệt độ cuối quá trình nén $T_b > T_{bc}$, nên tỷ số nén ε có giá trị cao và kết quả hiệu suất nhiệt lớn hơn.

IV. CHU TRÌNH NGƯỢC CHIỀU DÙNG KHÔNG KHÍ

1. Chu trình nhiệt động ngược chiều

Chu trình ngược chiều là chu trình của máy lạnh và bơm nhiệt, nó chuyển nhiệt năng từ nguồn có nhiệt độ thấp đến nguồn có nhiệt độ cao nhờ sự hỗ trợ của năng lượng bên ngoài; trên đồ thị p-v, t-s, vv... đường biểu diễn tiến hành ngược chiều kim đồng hồ. Tùy theo mục đích sử dụng, ta chia thành chu trình máy lạnh mà nhiệt lượng lấy từ nguồn lạnh là có ích và chu trình bơm nhiệt mà nhiệt lượng có ích là nhiệt lượng nhả ra cho nguồn nóng.

Tùy theo môi chất, chia thành hai loại: chu trình của khí lí tưởng (thường dùng là không khí) và chu trình của khí thực (thường dùng là amoniac, các loại freon, có thể là hơi nước).

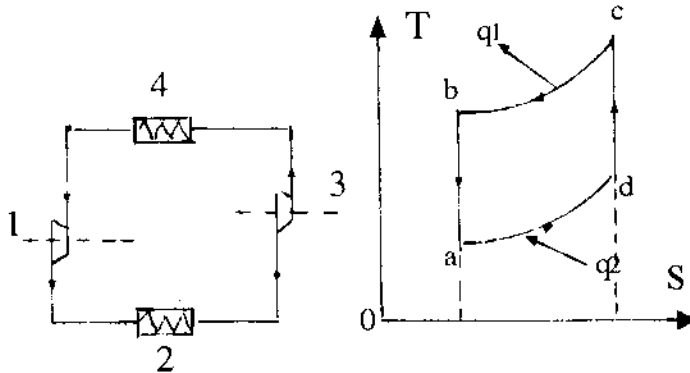
Tùy theo cách nâng áp của môi chất, ta chia ra loại có máy nén, loại có ejecto và loại hấp thụ. Tùy theo cách giảm nhiệt độ, có thể chia ra loại máy giãn nở và loại dùng hiệu ứng tiết lưu. Ngoài các loại trên, người ta áp dụng hiệu ứng nhiệt và chu trình ngược. Cũng cần nhắc lại là, đứng về mặt chuyển hoá năng thì chu trình Carnot ngược chiều vẫn là chu trình lý tưởng của máy lạnh và bơm nhiệt, có hệ số chuyển hoá năng lượng lớn nhất.

2. Chu trình ngược chiều dòng không khí

2.1. Sơ đồ thiết bị

Trên hình 2.6 có các thiết bị sau:

- 1 - Xylanh giãn nở (Máy giãn nở).
- 2 - Buồng lạnh.
- 3 - Máy nén.
- 4 - Bình làm mát.



Hình 2-6. Chu trình ngược chiều dòng không khí

Môi chất lạnh ở đây là không khí. Nguyên lý là làm giảm áp suất kéo theo nhiệt độ giảm (T).

Chu trình gồm hai quá trình đẳng áp và hai quá trình đoạn nhiệt tiến hành xen kẽ.

Trong đó

ad - Quá trình nhận nhiệt đẳng áp trong buồng lạnh 2.

dc - Quá trình nén đoạn nhiệt trong máy nén 3.

cb - Quá trình nhả nhiệt làm mát trong bình làm mát 4.

ba - Quá trình giãn nở đoạn nhiệt trong máy giãn nở 1 (có thể dùng tua bin hoặc xylanh).

Nếu làm việc theo nguyên tắc máy lạnh, ta tính hệ số làm lạnh ε :

$$\varepsilon = \frac{q_2}{|l|} = \frac{q_2}{|q_1| - q_2} \quad (2-17a)$$

Nếu làm việc theo nguyên tắc bơm nhiệt, ta tính hệ số làm nóng:

$$\varphi = \frac{|q_1|}{|l|} = \frac{|q_1|}{|q_1 - q_2|} \quad (2-17b)$$

Nếu thay nguồn nhiệt nhận nguồn lạnh $q_2 = C_p(T_d - T_a)$, và nhiệt lượng nhả ra cho nguồn nóng:

$q_1 = C_p(T_c - T_b)$, và $l = q_1 - q_2$ rồi dùng quan hệ giữa các thông số trạng thái trong quá trình, ta được:

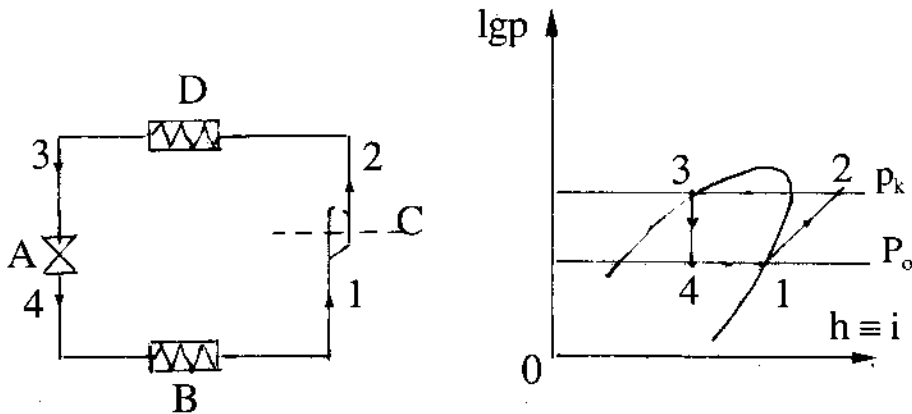
$$\varepsilon = \frac{q_2}{l} = \frac{1}{\frac{T_c - T_b}{T_d - T_a}} = \frac{1}{\frac{T_b}{T_a} - 1} = \frac{1}{\frac{T_d}{T_a} - 1} \quad (2-18a)$$

Hoặc
$$\varepsilon = \frac{1}{\left(\frac{P_b}{P_a}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1} \quad (2-18b)$$

Hệ số làm nóng $\varphi = \frac{q_1}{l} = \varepsilon + 1 \quad (2-19)$

Chu trình có ưu điểm môi chất là không khí sẵn có, rẻ tiền nhưng có nhược điểm thiết bị có cấu tạo công kênh không gọn và hiệu quả kinh tế không cao vì hệ số ε nhỏ, nên hiện nay chỉ còn dùng trong ngành hàng không.

V. CHU TRÌNH NGƯỢC CHIỀU DÙNG HƠI



Hình 2-7. Chu trình ngược chiều dùng hơi

Đây là loại thiết bị dùng phổ biến nhất hiện nay chu trình gồm (Hình 2-7).

4-1: Là quá trình nhận nhiệt (bốc hơi) đẳng áp đẳng nhiệt của môi chất trong bình bay hơi B.

1-2: Là quá trình nén đoạn nhiệt trong máy nén C.

2-3: Là quá trình ngưng tụ đẳng áp (làm mát) trong bình ngưng D.

3-4: Là quá trình tiết lưu trong van tiết lưu A.

Dùng bảng hoặc đồ thị ta tính được nhiệt lượng môi chất nhận từ nguồn lạnh (bình bay hơi):

$$q_2 = q_{41} = i_1 - i_4 = i_1 - i_3 \quad (\text{vì } i_3 = i_4) \quad (2-20a)$$

Nhiệt lượng môi chất nhả cho nguồn nóng (bình ngưng):

$$|q_1| = |q_{23}| = i_2 - i_3 \quad (2-20b)$$

Trong đó: A - Van tiết lưu.

B - Bình bay hơi.

C - máy nén.

D - Bình ngưng tụ.

Công cung cấp cho chu trình (công của máy nén):

$$|l_0| = |l_{MN}| = |q_1| - q_2 = i_2 - i_3 - (i_1 - i_3) = i_2 - i_1 \quad (2-20c)$$

Hệ số làm lạnh:

$$\varepsilon = \frac{q_2}{|l_{MN}|} = \frac{i_1 - i_3}{i_2 - i_1} \quad (2-20d)$$

Hệ số làm nóng:

$$\varphi = \frac{q_1}{|l_{MN}|} = \frac{i_2 - i_3}{i_2 - i_1} \quad (2-20e)$$

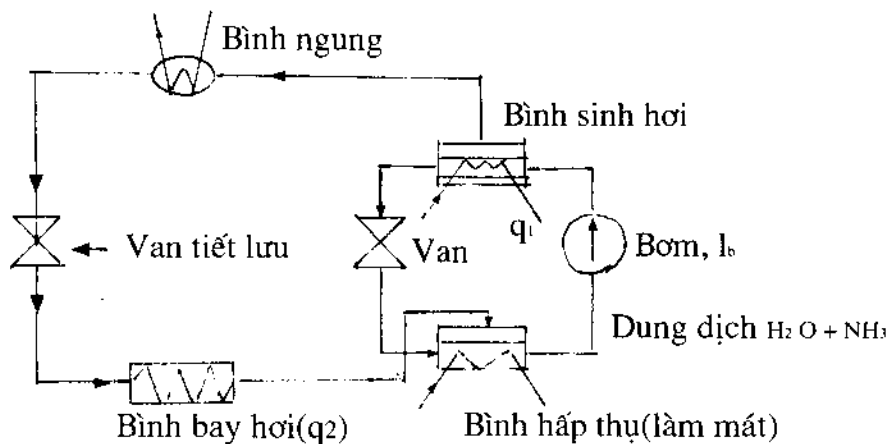
VI. CHU TRÌNH NGƯỢC CHIỀU DÙNG PHƯƠNG PHÁP HẤP THỤ

Điều kiện: Nhiệt độ sôi của môi chất lạnh (NH_3) nhỏ hơn của chất lỏng hấp thụ (H_2O) cùng áp suất:

Ví dụ ở $p = 1 \text{ bar}$, nhiệt độ sôi ở 100°C , còn của NH_3 là -33°C .

Môi chất lạnh NH_3 sau bình bay hơi được hấp thụ vào một dung dịch nghèo

(nồng độ NH_3 nhỏ) có p, t thấp trong bình hấp thụ sau đó bơm dung dịch vào bình sinh hơi, ở đó được gia nhiệt, khả năng hấp thụ của dung dịch giảm, môi chất NH_3 được tách ra rồi đi vào bình ngưng để ngưng NH_3 thành chất lỏng NH_3 và tiếp tục các quá trình như trong chu trình trên (hình 2-8).



Hình 2 - 8. Chu trình ngược chiều dùng phương pháp hấp thụ

Hệ số làm lạnh ở bão hoà được tính theo:

$$\varepsilon = \frac{q_2}{q_1 - l_b} \approx \frac{q_2}{q_1} \quad (2-21)$$

- q_2 : Là nhiệt lượng cho môi chất nhận được ở bình bay hơi.
- q_1 : Là nhiệt lượng cung cấp vào bình sinh hơi.
- l_b : Là công dùng để bơm dung dịch từ bình hấp thụ đến bình bốc hơi, thường nhỏ hơn nhiều so với q_1 nên có thể không tính đến.

Khi vận hành người ta đưa dung dịch có nồng độ cao ở bình sinh hơi qua van xuống bình hấp thụ để tăng khả năng hấp thụ.

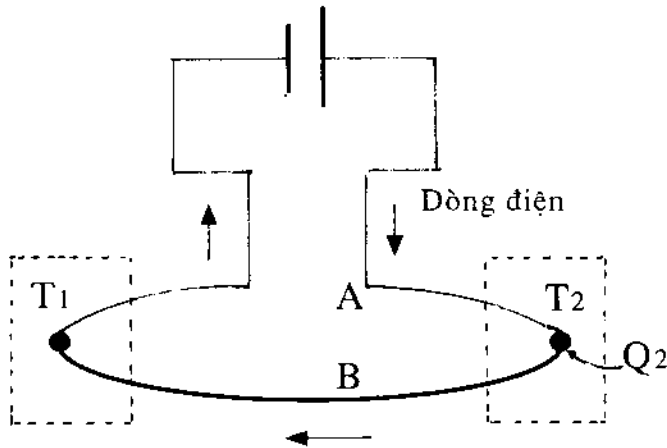
Ưu điểm:

Cấu tạo đơn giản, không có máy nén, không dùng nhiều điện (vì chỉ dùng cho bơm).

Nhược điểm:

Hệ số làm lạnh đạt được nhỏ, nghĩa là hiệu quả chuyển biến nhiệt thấp. Vì vậy dùng chủ yếu ở nơi dư thừa nhiệt (nhiệt khói thải, năng lượng mặt trời, đốt than, củi...).

VII. CHU TRÌNH NGƯỢC CHIỀU ĐIỆN NHIỆT



Hình 2-9: Chu trình ngược chiều điện nhiệt
(A, B là hai dây kim loại khác nhau về bản chất)

Dựa trên hiệu ứng Peltier “khi có dòng điện đi qua một mạch điện gồm hai dây kim loại khác nhau thì một đầu của mỗi hàn có nhiệt độ T_2 nhỏ nhận nhiệt còn mối hàn kia có nhiệt độ T_1 cao thải nhiệt” (Hình 2-9)

Nhiệt lượng mỗi hàn nhận được từ hiệu ứng Peltier:

$$Q_{2p} = \alpha T_2 I \quad (2-22a)$$

Nếu không có những hiện tượng không thuận nghịch thì đây cũng là nhiệt lượng nhận được từ nguồn lạnh.

Nhưng trong thực tế phải trừ bớt phần nhiệt lượng dẫn nhiệt từ mối hàn nóng tới mối hàn lạnh qua hai cực Q_λ và trừ bớt khoảng $1/2$ nhiệt lượng do hiệu ứng joule chuyển thành Q_j do dòng điện chạy qua dây dẫn α . Như vậy trong thực tế, nhiệt lượng nhận từ nguồn lạnh là.

$$Q_2 = \alpha T_2 I - 1/2 Q_j - Q_\lambda \quad (2-22b)$$

Mối hàn nóng toả ra một nhiệt lượng lý thuyết từ hiệu ứng Peltier:

$Q_{1p} = \alpha T_1 I$, nhưng do có hiện tượng dẫn nhiệt và hiệu ứng joule nên:

$$Q_1 = \alpha T_1 I + 1/2 Q_j - Q_\lambda \quad (2-23)$$

Năng lượng điện cấp vào $L = Q_1 - Q_2 = \alpha I (T_1 - T_2) + Q_j$ (2-24)

$$\text{Hệ số làm lạnh } \varepsilon = \frac{Q_2}{L} = \frac{\alpha T_2 I - \frac{1}{2} Q_j - Q_\lambda}{\alpha(T_1 - T_2) + Q_j} \quad (2-25a)$$

Ta cũng thấy, nếu không có các hiện tượng không thuận nghịch người ta bỏ qua $Q_j = 0$, $Q_\lambda = 0$ thì hệ số làm lạnh sẽ có hệ số lớn nhất ε_{\max} :

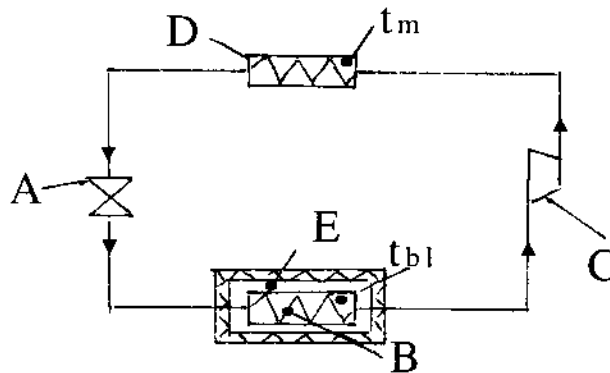
$$\varepsilon_{\max} = \frac{\alpha T_1 I}{\alpha(T_1 - T_2)} = \frac{T_2}{T_1 - T_2} \quad (2-25b)$$

Ví dụ: Tính toán cụ thể với hai thanh bán dẫn hiện có ở: $t_1 = 20^\circ\text{C}$ và $t_2 = -5^\circ\text{C}$, hệ số làm lạnh thực $\varepsilon = 0,75$ còn $\varepsilon_{\max} = 10,7$ vậy hệ số làm lạnh thực còn quá nhỏ. Chu trình chưa hoàn hảo vì vậy hiện nay máy lạnh điện - nhiệt chỉ dùng ở nơi cần công suất lạnh nhỏ.

VIII. CHU TRÌNH CỦA MÁY LẠNH VÀ BƠM NHIỆT NÉN HƠI.

1. Nguyên lý làm việc của máy lạnh

Nguyên lý làm việc của máy lạnh hay máy điều hoà dựa trên cơ sở chu trình ngược chiều dòng hơi. Sơ đồ nguyên lý (Hình 2-10) gồm các thiết bị sau:



Hình 2 -10 Sơ đồ nguyên lý làm việc của máy lạnh

Trong đó: C - Máy nén.

D - Thiết bị ngưng tụ (dàn ngưng tụ hoặc bình ngưng).

A - Van tiết lưu.

B - Thiết bị bay hơi (dàn bay hơi hoặc bình bay hơi).

E - Buồng lạnh (được cách nhiệt).

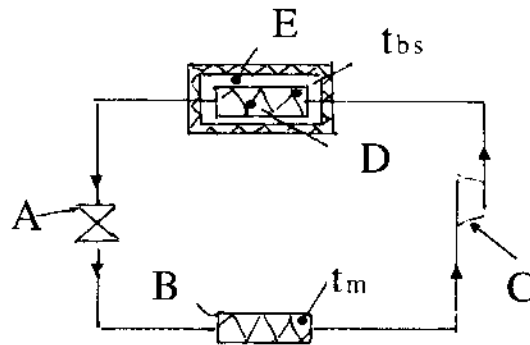
t_m - Nhiệt độ của môi trường.

t_{bl} - Nhiệt độ buồng lạnh.

Nguyên lý làm việc như sau:

Hơi tạo thành ở thiết bị bay hơi B (dàn bay hơi) được máy nén C hút về và nén tới áp suất cao và nhiệt độ cao gọi là áp suất, nhiệt độ ngưng tụ (p_k , t_k) đẩy vào thiết bị ngưng tụ D (dàn ngưng tụ). Ở thiết bị ngưng tụ, hơi thải nhiệt cho môi trường làm mát có nhiệt độ t_m để ngưng tụ thành lỏng ở áp suất cao và nhiệt độ cao (để đảm bảo dòng nhiệt toả ra từ thiết bị ngưng tụ ra môi trường thì $t_k > t_m$). Lỏng có áp suất cao và nhiệt độ cao sẽ đi qua van tiết lưu A để vào bình bay hơi. Qua van tiết lưu áp suất của môi chất lỏng giảm xuống tới áp suất bay hơi (P_0) và nhiệt độ bay hơi (t_0). Như vậy vòng tuần hoàn của môi chất được khép kín.

2. Nguyên lý làm việc của bơm nhiệt



Hình 2 - 11: Sơ đồ nguyên lý làm việc của bơm nhiệt

Sơ đồ nguyên lý bố trí các thiết bị giống như sơ đồ nguyên lý của máy lạnh (Hình 2-10), chỉ khác là E ở đây là buồng sấy.

Trong đó: t_{bs} - Nhiệt độ buồng sấy.

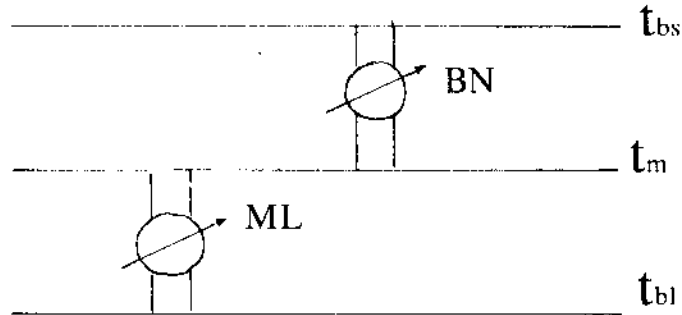
t_m - Nhiệt độ môi trường.

Nguyên lý làm việc của bơm nhiệt tương tự nguyên lý làm việc của máy lạnh.

Ở đây môi chất lạnh nhận nhiệt ở dàn bay hơi, bốc hơi rồi qua máy nén vào dàn ngưng toả nhiệt trong buồng sấy.

3. Các nhận xét về máy lạnh và bơm nhiệt

- Sơ đồ máy lạnh và bơm nhiệt biểu diễn trên Hình 2-12 cho ta thấy:

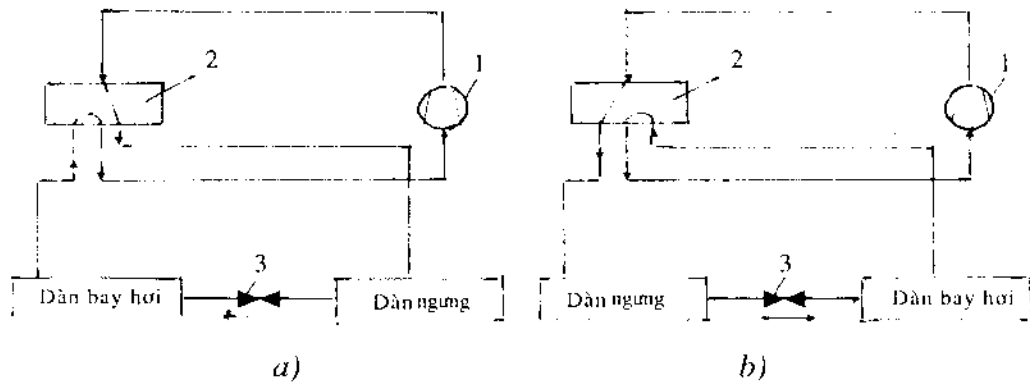


Hình 2 -12. Sơ đồ so sánh máy lạnh và bơm nhiệt

- Máy lạnh làm việc ở chế độ nhiệt độ thấp hơn bơm nhiệt.

$$t_{bl} < t_m < t_{bs}$$

- Người ta kết hợp hai chế độ máy lạnh và bơm nhiệt trong cùng một sơ đồ thiết bị thông qua van đảo chiều, để tạo ra máy hai chiều nóng lạnh



Hình 2-13: Sơ đồ kết hợp 2 chế độ máy lạnh và bơm nhiệt

a. Chu trình làm lạnh b. Chu trình làm nóng (bơm nhiệt)

Trong đó: 1. Máy nén.

2. Van đảo chiều.

3. Tiết lưu.

Bài tập phần I

Bài 1.1. Xác định thể tích riêng, khối lượng riêng của khí N_2 ở điều kiện tiêu chuẩn vật lý và ở điều kiện áp suất dư 0,2 at, nhiệt độ $127^\circ C$. Biết áp suất khí quyển 760 mmHg.

$$\text{ĐS: } v = 0,98 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\rho = 1,02 \text{ kg/m}^3$$

Bài 1.2. Xác định thể tích của 2kg khí O_2 ở áp suất (thực) 4,157 bar, nhiệt độ $47^\circ C$.

$$\text{ĐS: } v = 0,4 \text{ m}^3$$

Bài 1.3. Xác định khối lượng của 2 m^3 không khí O_2 ở áp suất 4,157 bar, nhiệt độ $47^\circ C$.

$$\text{ĐS: } G = 10 \text{ kg}$$

Bài 1.4. Một bình có thể tích $0,5 \text{ m}^3$, chứa không khí ở áp suất dư 2 bar, nhiệt độ $20^\circ C$. Lượng không khí cần thoát ra khỏi bình là bao nhiêu để áp suất trong bình có độ chân không 420 mmHg. Trong điều kiện nhiệt độ trong bình xem như không đổi. Biết áp suất khí quyển là 768 mmHg.

$$\text{ĐS: } G = 1,52 \text{ kg}$$

Bài 1.5. Xác định các thông số entanpi, thể tích riêng, nội năng của 1 kg hơi nước và 300 kg/h hơi nước ở áp suất $p = 10 \text{ bar}$, độ khô $x = 0,9$.

$$\text{ĐS: } u_x = 0,17525 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Bài 1.6. Có 10 kg khí O_2 ở $527^\circ C$ được làm nguội đẳng áp đến $27^\circ C$. Tính biến đổi entropi ΔS và lượng nhiệt Q tỏa ra.

$$\text{ĐS: } Q = 4578 \text{ kJ}$$