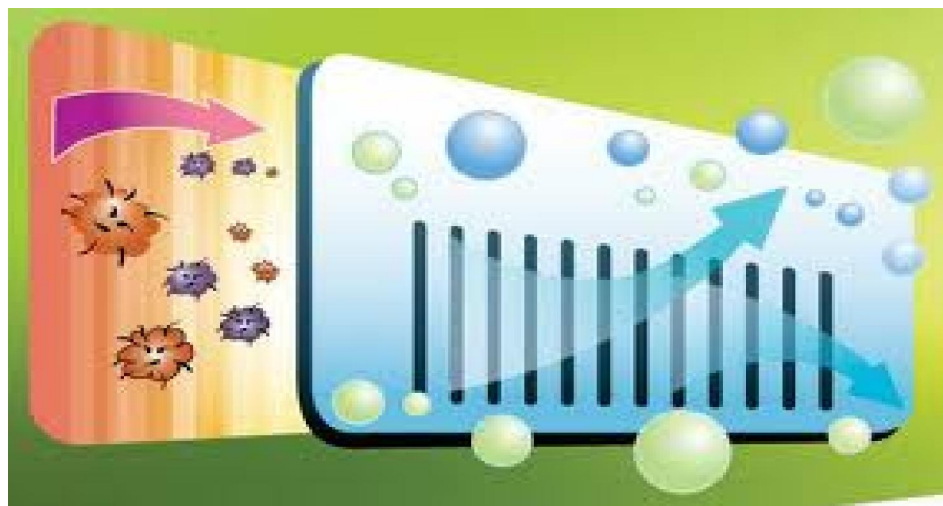


**BỘ LAO ĐỘNG - THƯƠNG BINH VÀ XÃ HỘI
TỔNG CỤC DẠY NGHỀ**

GIÁO TRÌNH
Tên mô đun: Kỹ thuật lạnh
NGHỀ: ĐIỆN CÔNG NGHIỆP
TRÌNH ĐỘ TRUNG CẤP NGHỀ

*(Ban hành kèm theo Quyết định số: 120/QĐ-TCDN ngày 25 tháng 02 năm 2013
của Tổng cục trưởng Tổng cục Dạy nghề)*



Hà Nội, năm 2013

TUYÊN BỐ BẢN QUYỀN

Tài liệu này thuộc loại sách giáo trình nên các nguồn thông tin có thể được phép dùng nguyên bản hoặc trích dùng cho các mục đích về đào tạo và tham khảo.

Mọi mục đích khác mang tính lệch lạc hoặc sử dụng với mục đích kinh doanh thiếu lành mạnh sẽ bị nghiêm cấm.

Tailieu.vn

LỜI GIỚI THIỆU

Giáo trình Kỹ thuật lạnh là kết quả của Dự án “Thí điểm xây dựng chương trình và giáo trình dạy nghề năm 2011-2012”. Được thực hiện bởi sự tham gia của các giảng viên của trường Cao đẳng nghề công nghiệp Hải Phòng phối kết hợp với giáo viên ngành điện của các trường dạy nghề khác.

Trên cơ sở chương trình khung đào tạo, trường Cao đẳng nghề công nghiệp Hải Phòng, cùng với các trường trọng điểm trên toàn quốc, các giáo viên có nhiều kinh nghiệm thực hiện biên soạn giáo trình Kỹ thuật lạnh phục vụ cho công tác dạy nghề

Chúng tôi xin chân thành cảm ơn Trường Cao nghề Bách nghệ Hải Phòng, trường Cao đẳng nghề giao thông vận tải Trung ương II, trường Cao đẳng nghề số 3 Bộ quốc phòng, trường Cao đẳng nghề cơ điện Hà Nội đã góp nhiều công sức để nội dung giáo trình được hoàn thành

Giáo trình này được thiết kế theo mô đun thuộc hệ thống mô đun/ môn học của chương trình đào tạo nghề Điện công nghiệp ở cấp trình độ Trung cấp nghề, và được dùng làm giáo trình cho học viên trong các khóa đào tạo

Mặc dù đã hết sức cố gắng, song sai sót là khó tránh. Tác giả rất mong nhận được các ý kiến phê bình, nhận xét của bạn đọc để giáo trình được hoàn thiện hơn.

Hà nội, ngày tháng năm 2013

Tham gia biên soạn

1. Phạm Văn Bắc: Chủ biên
2. Lưu Bá Hai
3. Trần Cao Phi

MỤC LỤC

LỜI GIỚI THIỆU	3
MÔN HỌC	7
Bài 1: Cơ sở nhiệt động kỹ thuật và truyền nhiệt	8
1. Nhiệt động kỹ thuật	8
1.1. Chất môi giới và các thông số trạng thái của chất môi giới	8
1.1.1. Chất môi giới	8
1.1.2. Các thông số trạng thái của chất môi giới	8
1.2. Hơi và các thông số trạng thái của hơi	12
1.2.1. Các thể (pha) của vật chất	12
1.2.2. Các thông số trạng thái của hơi	12
1.3. Các quá trình nhiệt động cơ bản của hơi	14
1.3.1. Quá trình đẳng tích	14
1.3.2. Quá trình đẳng áp	15
1.3.3. Quá trình đẳng nhiệt	16
1.3.4. Quá trình đoạn nhiệt	16
1.4. Chu trình nhiệt động của máy lạnh và bơm nhiệt	17
1.4.1. Chu trình máy lạnh và bơm nhiệt không khí	17
1.4.2. Chu trình máy lạnh và bơm nhiệt dùng hơi	18
2. Truyền nhiệt	21
2.1. Dẫn nhiệt	21
2.1.1. Những khái niệm cơ bản	21
2.1.2. Dẫn nhiệt ổn định khi không có nguồn nhiệt bên trong	22
2.1.3. Dẫn nhiệt ổn định khi có nguồn nhiệt bên trong	27
2.2. Trao đổi nhiệt đối lưu	31
2.2.1. Những khái niệm cơ bản	31
2.2.2. Trao đổi nhiệt đối lưu tự nhiên	34
2.2.3. Trao đổi nhiệt đối lưu cưỡng bức	38
2.2.4. Trao đổi nhiệt đối lưu khi có biến đổi pha	46
2.3. Trao đổi nhiệt bức xạ	48
2.3.1. Những khái niệm cơ bản	48
2.3.2. Các định luật cơ bản	50
2.3.3. Trao đổi nhiệt giữa hai bề mặt phẳng, rộng vô hạn và đặt song song	55
2.3.4. Trao đổi nhiệt bức xạ giữa hai vật bọc nhau	57
2.4. Truyền nhiệt và thiết bị trao đổi nhiệt	59
2.4.1. Truyền nhiệt	59
2.4.2. Thiết bị trao đổi nhiệt	66
Bài 2: Cơ sở kỹ thuật lạnh	70
1. Khái niệm chung	70
1.1. Ý nghĩa của kỹ thuật lạnh trong đời sống và kỹ thuật	70
1.1.1. Ứng dụng lạnh trong bảo quản thực phẩm	70
1.1.2. Ứng dụng lạnh trong sấy thăng hoa	71
1.1.3. Ứng dụng lạnh trong công nghiệp hóa chất	71
1.1.4. Ứng dụng lạnh trong điều hòa không khí	71
1.1.5. Ứng dụng trong kỹ thuật đo và tự động	72
1.1.6. Ứng dụng trong thể dục thể thao	72
1.2. Các phương pháp làm lạnh nhân tạo	73

1.2.1.	Phương pháp bay hơi khuếch tán.....	73
1.2.2.	Phương pháp hòa trộn lạnh.....	73
1.2.3.	Phương pháp tiết lưu không sinh ngoại công	74
1.2.4.	Dẫn nở khí trong ống xoáy	75
1.2.5.	Hiệu ứng nhiệt điện, hiệu ứng Peltier	76
1.2.6.	Phương pháp tan chảy hoặc thăng hoa chất rắn.....	77
1.2.7.	Bay hơi chất lỏng	77
2.	Môi chất lạnh và chất tải lạnh	78
2.1.	Các môi chất lạnh thường dùng trong kỹ thuật lạnh.....	78
2.1.1.	Môi chất lạnh là gì?.....	78
2.1.2.	Môi chất lạnh NH ₃	79
2.1.3.	Môi chất lạnh R22.....	80
2.1.4.	Môi chất lạnh R12.....	81
2.1.5.	Môi chất lạnh R134a	81
2.1.6.	Môi chất lạnh R410A	81
2.2.	Chất tải lạnh	82
2.2.1.	Định nghĩa	82
2.2.2.	Chất tải lạnh nước	82
2.2.3.	Chất tải lạnh dung dịch nước muối NaCl	82
2.2.4.	Chất tải lạnh dung dịch nước muối CaCl ₂	83
2.3.	Bài tập về môi chất lạnh và chất tải lạnh	84
3.	Các hệ thống lạnh thông dụng.....	85
3.1.	Hệ thống lạnh với một cấp nén.....	85
3.1.1.	Sơ đồ một cấp nén đơn giản	85
3.1.2.	Sơ đồ có quá nhiệt hơi hút, quá lạnh lỏng và hồi nhiệt.....	86
3.2.	Sơ đồ hai cấp nén có làm mát trung gian.....	88
3.2.1.	Sơ đồ thiết bị và biểu diễn chu trình trên đồ thị lpP-h	88
3.2.2.	Các quá trình của chu trình.....	88
3.3.	Các sơ đồ khác.....	89
3.3.1.	Sơ đồ hai cấp, hai tiết lưu, làm mát trung gian toàn phần.....	89
3.3.2.	Sơ đồ hai cấp bình trung gian ống xoắn.....	90
3.4.	Bài tập	91
4.	Máy nén lạnh.....	91
4.1.	Khái niệm.....	91
4.2.	Máy nén pittông.....	92
4.3.	Giới thiệu một số chủng loại máy nén khác	96
4.3.1.	Máy nén rô to.....	96
4.3.2.	Máy nén Scroll (đĩa xoắn)	97
4.3.3.	Máy nén trục vít.....	98
4.3.4.	Máy nén kín	98
5.	Giới thiệu chung về các thiết bị khác của hệ thống lạnh	99
5.1.	Các thiết bị trao đổi nhiệt chủ yếu	99
5.1.1.	Thiết bị ngưng tụ.....	99
5.1.2.	Tháp giải nhiệt	101
5.1.3.	Thiết bị bay hơi.....	102
5.2.	Thiết bị tiết lưu (giảm áp)	104
5.3.	Các thiết bị tự động và bảo vệ của hệ thống lạnh.....	107
5.3.1.	Thermostat.....	107
5.3.2.	Rơ le khởi động	108

5.3.3.	Rơ le bảo vệ.....	109
5.3.4.	Cầu chì phá băng.....	109
Bài 3:	Cơ sở kỹ thuật điều hòa không khí.....	111
1.	Không khí ẩm.....	111
1.1.	Các thông số trạng thái của không khí ẩm.....	111
1.1.1.	Áp suất.....	111
1.1.2.	Nhiệt độ.....	111
1.1.3.	Khối lượng riêng (mật độ).....	112
1.1.4.	Độ ẩm tương đối.....	112
1.1.5.	Dung ẩm (độ chứa hơi).....	112
1.1.6.	Entanpy.....	112
1.1.7.	Nhiệt độ điểm sương.....	113
1.1.8.	Nhiệt độ nhiệt kế ướt.....	113
1.2.	Đồ thị I - d và t - d của không khí ẩm.....	113
1.2.1.	Đồ thị I - d của không khí ẩm.....	113
1.2.2.	Đồ thị t - d của không khí ẩm.....	115
1.3.	Một số quá trình của không khí ẩm khi điều hòa không khí.....	116
1.4.	Bài tập về sử dụng đồ thị.....	118
2.	Khái niệm về điều hòa không khí.....	118
2.1.	Khái niệm về thông gió và điều hòa không khí.....	118
2.1.1.	Khái niệm về thông gió.....	118
2.1.2.	Khái niệm về điều hòa không khí.....	119
2.2.	Bài tập về tính toán tải lạnh đơn giản.....	120
2.3.	Các hệ thống điều hòa không khí.....	121
2.3.1.	Theo mục đích sử dụng.....	121
2.3.2.	Theo mức độ tin cậy và kinh tế.....	121
2.3.3.	Theo cấu trúc của hệ thống.....	121
2.3.4.	Theo phạm vi tác dụng (hoặc quy mô) của hệ thống.....	121
2.3.5.	Theo đặc tính của thiết bị.....	122
2.4.	Các phương pháp và thiết bị xử lý không khí.....	122
2.4.1.	Làm lạnh không khí.....	122
2.4.2.	Tăng nhiệt (gia nhiệt - sưởi ẩm) không khí.....	124
2.4.3.	Tăng ẩm (tăng d) cho không khí.....	125
2.4.4.	Làm khô không khí (giảm ẩm - khử ẩm).....	127
3.	Hệ thống vận chuyển và phân phối không khí.....	128
3.1.	Trao đổi không khí trong phòng.....	128
3.1.1.	Khái niệm.....	128
3.1.2.	Các dòng không khí tham gia trao đổi khí trong phòng.....	128
3.1.3.	Tổ chức trao đổi khí trong phòng.....	129
3.2.	Đường ống gió. Quạt gió.....	132
3.2.1.	Kết cấu đường ống dẫn không khí.....	132
3.2.2.	Kết cấu miệng thổi gió.....	134
3.2.3.	Quạt gió.....	138
4.	Các phần tử khác của hệ thống điều hòa không khí.....	141
4.1.	Khâu tự động điều chỉnh nhiệt độ và độ ẩm trong phòng.....	141
4.2.	Lọc bụi và tiêu âm trong điều hòa không khí.....	141
4.3.	Cung cấp nước cho điều hòa không khí.....	142
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....		151

TÊN MÔ ĐUN: KỸ THUẬT LẠNH

Mã môn học: MĐ 26

Vị trí, tính chất, ý nghĩa và vai trò của môn học:

- Mô đun này là mô đun cơ sở kỹ thuật chuyên ngành, chuẩn bị các kiến thức cần thiết cho các phân học chuyên môn tiếp theo. Mô đun này học sau các môn học: An toàn lao động; Vật liệu điện; Đo lường điện; Mạch điện; máy điện.
- Là mô đun thuộc mô đun đào tạo nghề Điện công nghiệp.
- Trang bị cho học sinh những kiến thức cơ bản nhất về kỹ thuật nhiệt - lạnh và điều hòa không khí.

Mục tiêu của môn học:

- Hiểu biết về chất môi giới trong hệ thống lạnh và điều hòa không khí, cấu tạo và nguyên lý hoạt động của máy lạnh, cấu trúc cơ bản của hệ thống lạnh và điều hòa không khí.
- **Tra được** bảng các thông số trạng thái của môi chất, sử dụng được đồ thị, biết chuyển đổi một số đơn vị đo và giải được một số bài tập đơn giản.
- Rèn luyện tính cẩn thận, tỉ mỉ, chính xác, tư duy khoa học, an toàn và tiết kiệm.

Nội dung của mô đun:

Số TT	Tên các bài trong mô đun	Thời gian (giờ)			
		Tổng số	Lý thuyết	Thực hành	Kiểm tra*
1	Cơ sở nhiệt động kỹ thuật và truyền nhiệt	15	7	7	1
2	Cơ sở kỹ thuật lạnh	35	18	15	2
3	Cơ sở kỹ thuật điều hòa không khí	30	15	13	2
	Cộng:	80	40	35	5

Bài 1: Cơ sở nhiệt động kỹ thuật và truyền nhiệt

Mã bài: MĐ26-1

Mục tiêu của bài:

- Trình bày được các khái niệm, quá trình truyền nhiệt.
- Phân tích được nguyên lý làm việc của máy lạnh
- Rèn luyện tính cẩn thận, chính xác, tư duy khoa học.

Nội dung chính:

1. Nhiệt động kỹ thuật

Mục tiêu: Trình bày được những khái niệm cơ bản, quá trình và quy luật truyền nhiệt

1.1. Chất môi giới và các thông số trạng thái của chất môi giới

1.1.1. Chất môi giới

Chất môi giới (hay còn gọi là môi chất) là chất trung gian để thực hiện quá trình biến đổi nhiệt thành công và ngược lại.

Chất môi giới có thể ở thể rắn, thể lỏng hoặc thể khí. Để đảm bảo yêu cầu an toàn vận hành, hiệu quả kinh tế và kỹ thuật cao, khi chọn chất môi giới phải dựa trên các tiêu chí sau: rẻ tiền, không độc hại, dễ kiếm, có khả năng thay đổi thể tích do nhiệt lớn.

Trong các thiết bị nhiệt, chất môi giới thường ở thể lỏng, hơi, khí. Vì vậy, sau đây khi nói đến chất môi giới, ta hiểu rằng chất môi giới có thể là thể lỏng, thể hơi hoặc thể khí.

Theo khái niệm về hệ thống nhiệt động thì chất môi giới dùng để biến nhiệt thành công trong các thiết bị nhiệt có thể được coi là hệ thống nhiệt động.

1.1.2. Các thông số trạng thái của chất môi giới

a. Thể tích riêng

Thể tích riêng là thể tích của một đơn vị khối lượng chất môi giới. Kí hiệu là v , có đơn vị đo là m^3/kg .

Nếu $V \text{ m}^3$ chất môi giới có khối lượng là $G \text{ kg}$, thì:

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

Đại lượng nghịch đảo của thể tích riêng là khối lượng riêng, kí hiệu là ρ , có đơn vị là kg/m^3 :

$$\rho = \frac{1}{v} = \frac{G}{V}; \text{ kg}/\text{m}^3 \quad (1-2)$$

Thể tích riêng và khối lượng riêng là hai thông số phụ thuộc vào nhau, biết thông số này có nghĩa là biết thông số kia và ngược lại.

b. Áp suất

Áp suất là tổng hợp lực của các phần tử tác dụng theo phương vuông góc lên một đơn vị diện tích bề mặt thành bình chứa chất môi giới. Kí hiệu là p, đơn vị đo là N/m².

$$p = \frac{F}{S}; \text{ N/m}^2 \quad (1-3)$$

Ở đây: F – lực tác dụng của các phần tử chất môi giới, (N)
S – diện tích thành bình, (m²)

Trong thực tế, ngoài việc dùng đơn vị N/m² để đo áp suất, người ta còn dùng các đơn vị khác, như: pascal (Pa), bar, ata, mmHg, mH₂O... Chuyển đổi các đơn vị đó như sau:

$$1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ Pa}; 1 \text{ Kpa} = 10^3 \text{ Pa}; 1 \text{ Mpa} = 10^6 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ N/m}^2 = 750 \text{ mmHg}$$

$$1 \text{ ata} = 9,81 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ mmHg} = 1,332 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ ata} = 0,981 \text{ bar} = 735,5 \text{ mmHg} = 10 \text{ mH}_2\text{O}$$

Các chuyển đổi đơn vị ở trên có liên quan đến chiều cao cột chất lỏng chỉ đúng khi nhiệt độ là 0°C. Nếu nhiệt độ khác 0°C, ta phải hiệu chỉnh cột chất lỏng này về 0°C. Thông thường ở nhiệt độ không lớn ta có thể bỏ qua sự sai khác do nhiệt độ gây nên.

Áp suất của chất môi giới gọi là áp suất tuyệt đối, kí hiệu là p và là thông số trạng thái của chất môi giới. Áp suất của khí quyển kí hiệu là p_{kt} được đo bằng barômet. Phần áp suất của chất môi giới lớn hơn áp suất khí quyển gọi là áp suất dư, kí hiệu là p_d, được đo bằng maromet. Phần áp suất của chất môi giới nhỏ hơn áp suất khí quyển gọi là độ chân không, kí hiệu là p_{ck} được đo bằng chân không kế.

Vậy: khi $p > p_{kt}$ thì $p = p_{kt} + p_d$

Khi $p < p_{kt}$ thì $p = p_{kt} - p_{ck}$

c. Nhiệt độ

Nhiệt độ là mức đo trạng thái nhiệt (nóng, lạnh) của vật. Theo thuyết động học phân tử, nhiệt độ biểu thị mức độ chuyển động hỗn loạn của các phân tử cấu tạo nên vật.

Dụng cụ đo nhiệt độ gọi chung là nhiệt kế. Để đo nhiệt độ người ta dựa vào các tính chất vật lý của vật thay đổi theo nhiệt độ. Ví dụ, dựa vào sự giãn nở của chất lỏng theo nhiệt độ có nhiệt kế chất lỏng (thủy ngân, rượu...); dựa vào điện trở phụ thuộc vào nhiệt độ ta có nhiệt kế điện trở; dựa vào hiệu ứng nhiệt điện ta có nhiệt kế cặp nhiệt.

Thường dùng hai thang nhiệt độ sau để xác định nhiệt độ: nhiệt độ bách phân và nhiệt độ tuyệt đối.

Nhiệt độ bách phân kí hiệu là $^{\circ}\text{C}$. Trong thang nhiệt độ bách phân, $^{\circ}\text{C}$ ứng với nhiệt độ nước đá đang tan và 100°C ứng với nhiệt độ nước sôi, tất cả đều ở áp suất $p = 760 \text{ mmHg}$. Từ 0°C đến 100°C người ta chia làm 100 phần bằng nhau, mỗi phần ứng với 1°C .

Nhiệt độ tuyệt đối (còn gọi là nhiệt độ Kelvin), kí hiệu là T , đơn vị là $^{\circ}\text{K}$.

Quan hệ giữa hai thang nhiệt độ trên biểu thị bằng biểu thức:

$$T = 273,15 + t \approx 273 + t$$

Cần lưu ý rằng giá trị một độ trong hai thang nhiệt độ trên là như nhau (tức là $\Delta T = \Delta t$ và $dT = dt$)

Theo thuyết động học phân tử, nhiệt độ tuyệt đối tỷ lệ thuận với động năng của các phân tử. Vậy nhiệt độ thấp nhất của vật chất là nhiệt độ ứng với trạng thái vật chất mà trong đó các phân tử ngừng chuyển động, nhiệt độ thấp nhất này gọi là không độ tuyệt đối 0°K . Từ quan hệ (1 – 10) ta có:

$$0^{\circ}\text{K} = -273,15^{\circ}\text{C} \approx -273^{\circ}\text{C}$$

Ngoài các thang nhiệt độ trên, người ta còn dùng thang nhiệt độ Farenheit, đơn vị đo là $^{\circ}\text{F}$. Ta có qui đổi sau: $32^{\circ}\text{F} = 0^{\circ}\text{C}$; $212^{\circ}\text{F} = 100^{\circ}\text{C}$. Chuyển từ $^{\circ}\text{C}$ sang $^{\circ}\text{F}$ ta có: $t^{\circ}\text{C} = (t^{\circ}\text{F} - 32) \frac{5}{9}$

d. Nội năng

Nội năng là tổng các dạng năng lượng ở bên trong hệ. Những dạng năng lượng đó là động năng, thế năng của các phân tử, nguyên tử, năng lượng điện, năng lượng từ, năng lượng hóa... Nội năng ký hiệu là $U(\text{J})$ hay $u(\text{J/kg})$

Khi không có phản ứng hóa học, phản ứng hạt nhân... thì nội năng gồm hai thành phần: nội động năng và nội thế năng (những năng lượng này do vận động nhiệt gây ra, người ta gọi chung là nội nhiệt năng). Vì vậy, khái niệm nội năng trong nhiệt động học phải hiểu là nội nhiệt năng.

Nội động năng do chuyển động của các phân tử, nguyên tử gây ra nên nó phụ thuộc vào nhiệt độ. Nội thế năng do lực tác dụng tương hỗ giữa các phân tử tạo nên nó phụ thuộc vào khoảng cách giữa các phân tử hay thể tích riêng. Vậy nội năng là hàm của nhiệt độ: $u = u(T, v)$. Riêng đối với khí lý tưởng, nội năng chỉ là hàm của nhiệt độ $u = u(T)$, vì khí lý tưởng chỉ có động năng mà không có lực tác dụng tương hỗ giữa các phân tử. Nội năng là một thông số trạng thái. Đối với khí lý tưởng, trong mọi quá trình biến đổi, nội năng được xác định bằng biểu thức:

$$du = C_v dT \text{ và } \Delta u_{12} = u_2 - u_1 = C_v \cdot (T_2 - T_1) \quad (1-4)$$

Ở đây: C_v – nhiệt dung riêng khối lượng đẳng tích.

Vì trong các quá trình nhiệt động ta chỉ cần biết giá trị biến đổi nội năng Δu mà không cần biết giá trị tuyệt đối của nội năng, nên ta có thể chọn điểm gốc tùy ý

tại đó nội năng có giá trị bằng không. Ví dụ, đối với nước theo qui ước quốc tế người ta chọn $u = 0$ ở nhiệt độ $0,01^{\circ}\text{C}$, áp suất $0,0062\text{at}$ (điểm ba thể của nước).

e. Entanpy

Entanpy được kí hiệu là $I(\text{J})$ $i(\text{J/kg})$, hoặc $h(\text{J/kg})$. Trong nhiệt động học, entanpy được định nghĩa bằng biểu thức:

$$I = U + p.V; \text{ J hoặc } i = u + pv; \text{ J/kg} \quad (1-5)$$

Entanpy là thông số trạng thái và có vi phân toàn phần:

$$di = du + d(pv) \quad (1-6)$$

$$\text{hay } di = d(u + pv); \text{ J/kg} \quad (1-7)$$

Entanpy là hàm trạng thái nên $\oint di = 0$, nghĩa là sự biến thiên của nó không phụ thuộc vào quá trình, mà chỉ phụ thuộc vào trạng thái đầu và trạng thái cuối của quá trình:

$$\Delta i_{12} = i_2 - i_1; \text{ J/kg và } \Delta I_{12} = I_2 - I_1; \text{ J} \quad (1-9)$$

Đối với khí lý tưởng ($U = U_d = f(T)$; $pv = RT$), entanpy chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ, sự biến thiên entanpy của nó chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ đầu và nhiệt độ cuối của quá trình, không phụ thuộc vào quá trình.

Đối với mọi quá trình của khí lý tưởng đều có:

$$di = C_p dT; \text{ J/kg và } dI = G.C_p dT; \text{ J} \quad (1-10)$$

$$\Delta i_{12} = C_p(T_2 - T_1); \text{ J/kg và } \Delta I_{12} = GC_p(T_2 - T_1); \text{ J} \quad (1-11)$$

Ở đây: C_p – nhiệt dung riêng khối lượng đẳng áp của chất môi giới; $\text{J/kg}^{\circ}\text{K}$

T_1, T_2 – là nhiệt độ đầu và nhiệt độ cuối của quá trình; $^{\circ}\text{K}$

G – khối lượng của chất môi giới; kg

Trong thực tế kỹ thuật chỉ quan tâm đến sự biến thiên entanpy mà không cần biết giá trị entanpy ở một trạng thái nào đó của chất môi giới. Vì vậy, ta có thể chọn tùy ý điểm gốc và cho entanpy tại điểm đó bằng không. Ví dụ, thường chọn điểm tương ứng với trạng thái điểm ba thể của nước làm điểm gốc có trị số $i = 0$.

f. Entrôpy

Entrôpy là một thông số trạng thái, ký hiệu là s , đơn vị là $\text{J/kg}^{\circ}\text{K}$ hoặc ký hiệu là S , đơn vị là J°K , ($S = G.s$). Vi phân của nó bằng tỷ số giữa phần nhiệt lượng và nhiệt độ tuyệt đối của chất môi giới khi trao đổi nhiệt

$$ds = \frac{dq}{T}; \text{ J/kg và } dS = \frac{dQ}{T}; \text{ J}^{\circ}\text{K} \quad (1-12)$$

Ở đây, dq không phải là vi phân toàn phần nhưng ds lại là vi phân toàn phần và có $\oint ds = 0$. Nghĩa là sự biến thiên entrôpy không phụ thuộc vào quá trình mà chỉ phụ thuộc vào trạng thái đầu và trạng thái cuối của quá trình:

$$\Delta s_{12} = s_2 - s_1 = \int_1^2 \frac{dq}{T}; \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{K} \quad (1-13)$$

$$\Delta S_{12} = G(s_2 - s_1) = \int_1^2 \frac{dQ}{T}; \text{ J}^\circ\text{K} \quad (1-14)$$

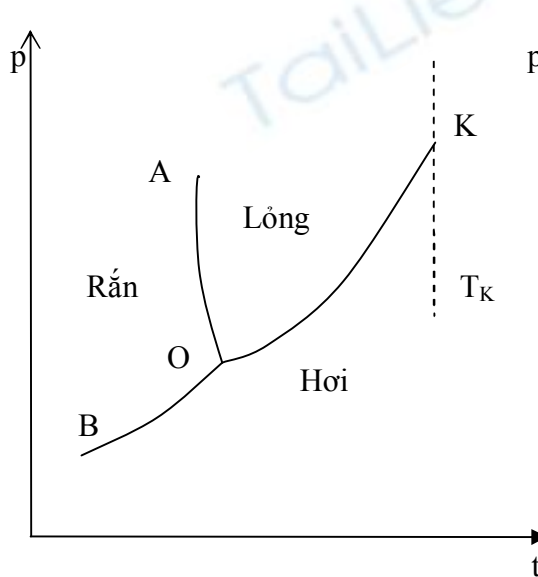
Tương tự như nội năng và entanpy, trong thực tế chỉ quan tâm đến sự biến thiên entrôpy trong quá trình mà không quan tâm đến giá trị entrôpy ở một trạng thái của chất môi giới. Bởi vậy, có thể tùy ý chọn điểm gốc cho $s = 0$.

1.2. Hơi và các thông số trạng thái của hơi

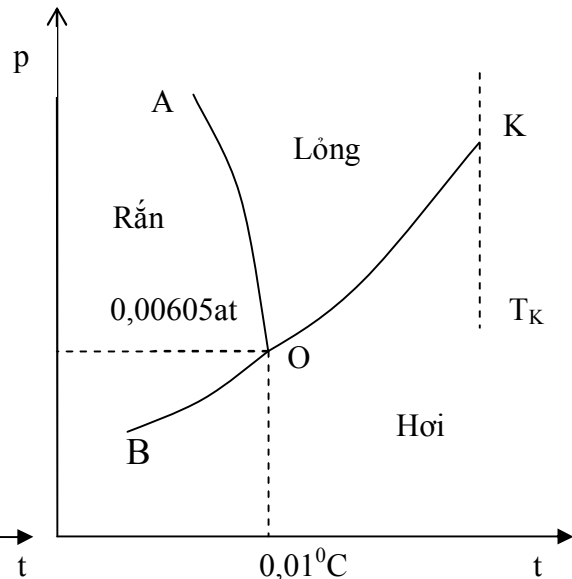
1.2.1. Các thể (pha) của vật chất

Khí thực trong những điều kiện cụ thể có khả năng tồn tại ở các trạng thái: rắn, lỏng, hơi. Ba trạng thái đó của vật chất gọi là các pha.

Để biểu thị các pha rắn, lỏng, hơi của một chất, ta dùng đồ thị p - t . Hình 1-1 và hình 1-2 biểu thị các pha của CO_2 và H_2O trên đồ thị p - t .



Hình 1-1. Đồ thị pha p - t của CO_2



Hình 1-2. Đồ thị pha p - t của H_2O

Ở đây, đường OB biểu thị quá trình chuyển từ pha rắn sang hơi (gọi là sự thăng hoa) và ngược lại (sự ngưng kết). Đường OA biểu thị quá trình chuyển từ pha rắn sang lỏng (sự nóng chảy) và ngược lại (sự đông đặc). Đường OK biểu thị quá trình chuyển từ pha lỏng sang hơi (sự hóa hơi) và ngược lại (sự ngưng tụ). Điểm O gọi là điểm 3 pha (hay 3 thể). Ở điểm 3 pha, vật chất có thể tồn tại ở cả 3 pha: rắn, lỏng, hơi. Điểm K gọi là điểm tới hạn. Ví dụ, với H_2O điểm 3 pha có $t = 0,01^\circ\text{C}$, $p = 0,00605\text{at}$ và điểm tới hạn $t_K = 374,15^\circ\text{C}$; $p_K = 221,29\text{bar}$.

1.2.2. Các thông số trạng thái của hơi

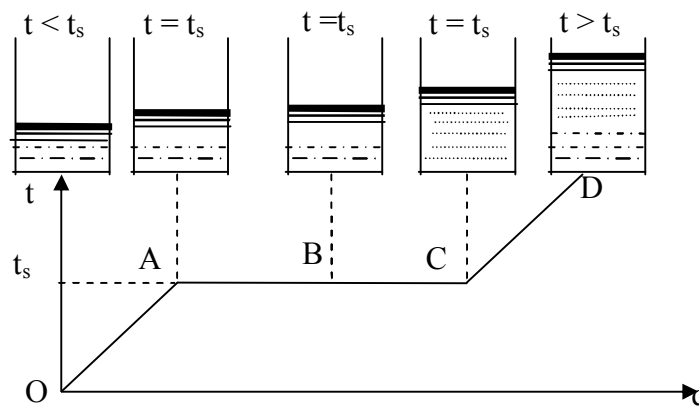
Hóa hơi là quá trình chuyển từ chất lỏng thành hơi. Quá trình này được thực hiện ở áp suất lớn hơn áp suất của điểm 3 pha. Hóa hơi có thể thực hiện bằng cách bay hơi hoặc sôi.

Bay hơi là sự hóa hơi chỉ xảy ra trên bề mặt thoáng của chất lỏng ở áp suất và nhiệt độ nào đó. Cường độ bay hơi phụ thuộc vào bản chất của chất lỏng, vào áp suất và nhiệt độ. Khi nhiệt độ tăng, cường độ bay hơi tăng.

Sôi là quá trình hóa hơi không chỉ xảy ra trên bề mặt thoáng của chất lỏng mà còn xảy ra trong thể tích của chất lỏng tại các bọt hơi. Sôi chỉ xảy ra ở nhiệt độ xác định (ứng với áp suất đã cho), nhiệt độ này gọi là nhiệt độ bão hòa hay nhiệt độ sôi, ký hiệu t_s . Nhiệt độ sôi phụ thuộc vào bản chất của chất lỏng và áp suất, $t_s = f(p)$. Khi áp suất tăng nhiệt độ sôi tăng và ngược lại.

Quá trình hóa hơi thường xảy ra ở áp suất không đổi, nên ở đây ta xét quá trình hóa hơi đẳng áp của các chất lỏng. Vì đặc điểm quá trình hóa hơi của các chất lỏng là giống nhau nên ở đây ta chỉ xét quá trình hóa hơi của nước, nhưng kết quả về đặc tính quá trình hóa hơi của nước cũng sẽ đúng cho các chất lỏng khác.

Xét quá trình hóa hơi của nước. Giả sử có 1kg nước trong xylanh ở nhiệt độ ban đầu t_0 , trên bề mặt của nước ta đặt một piston có khối lượng không đổi, nên lực của piston cũng không đổi và vì piston có tiết diện không đổi cho nên áp suất piston gây ra đối với nước cũng không đổi. Nếu ta cấp nhiệt cho nước, quá trình hóa hơi đẳng áp $p = \text{const}$ sẽ xảy ra. Hình 1-3 biểu diễn quá trình hóa hơi đẳng áp trong đó nhiệt độ của nước phụ thuộc vào nhiệt lượng cấp (đây không phải là đồ thị trạng thái vì nhiệt lượng không phải là thông số trạng thái).



Hình 1-3. Mô tả quá trình sôi của nước

Đoạn OA biểu diễn quá trình đốt nóng nước ở nhiệt độ ban đầu đến nhiệt độ sôi t_s . Ở đây nhiệt độ tăng lên khi lượng nhiệt cấp tăng. Nước ở nhiệt độ ban đầu $t_0 < t_s$ gọi là nước chưa sôi.

Đoạn AC biểu diễn quá trình sôi, ở đây nhiệt độ $t = t_s = \text{const}$ mặc dù vẫn cấp nhiệt cho nước. Nhiệt cấp cho nước trong đoạn này chỉ để nước biến đổi pha gọi là nhiệt hóa hơi, kí hiệu là $r(\text{kJ/kg})$.

Nước ở điểm A gọi là nước sôi (có $t = t_s$). Các thông số của nước sôi được kí hiệu: $i', s', u', v', \dots$

Hơi ở điểm C gọi là hơi bão hòa khô (có $t = t_s$). Các thông số của hơi bão hòa khô được kí hiệu: $i'', s'', u'', v'', \dots$

Hơi tại điểm B gọi là hơi bão hòa ẩm. Hơi bão hòa ẩm (có $t = t_s$) là hỗn hợp giữa nước sôi và hơi bão hòa khô. Các thông số của hơi bão hòa ẩm cần biết thêm một thông số nữa gọi là độ khô x (hay độ ẩm $y = 1 - x$). Độ khô x là tỷ số giữa lượng hơi bão hòa khô G_h và lượng hơi ẩm G_x :

$$x = \frac{G_h}{G_x} = \frac{G_h}{G_n + G_h}; \quad (1-15)$$

Ở đây: G_n – lượng nước sôi.

Với nước sôi ta có $x = 0$, với hơi bão hòa khô ta có $x = 1$, nên với hơi bão hòa ẩm $0 < x < 1$.

Hơi tại điểm D gọi là hơi quá nhiệt. Hơi quá nhiệt là hơi có nhiệt độ lớn hơn nhiệt độ sôi, $t > t_s$ (ở cùng áp suất). Trong đoạn CD, khi nhận nhiệt, nhiệt độ của hơi lại tăng lên.

1.3. Các quá trình nhiệt động cơ bản của hơi

Hơi nước có bản chất như khí thực, muốn xác định các thông số trạng thái của hơi nước không thể dùng phương trình trạng thái của khí lý tưởng mà phải dùng phương trình trạng thái khí thực, thuận tiện hơn là dùng đồ thị của hơi nước (đồ thị T-s, i-s hoặc lgp-i)

Các quá trình nhiệt động cơ bản của hơi nước tương tự như các quá trình nhiệt động cơ bản của không khí, (quá trình đẳng tích, đẳng áp, đẳng nhiệt, đoạn nhiệt). Khi khảo sát, giả thiết các quá trình đó là thuận nghịch và dựa vào định luật nhiệt động I để xác định các đại lượng công, nhiệt, sự biến thiên nội năng, entanpy và entrôpy trong quá trình.

Cần chú ý rằng, nội năng, entanpy và entrôpy là hàm trạng thái. Sự biến thiên của chúng chỉ phụ thuộc vào trạng thái đầu và cuối của quá trình mà không phụ thuộc vào quá trình. Cho nên trong bất kỳ quá trình nào, ta cũng có:

$$\Delta u_{12} = u_2 - u_1; \text{ J/kg}$$

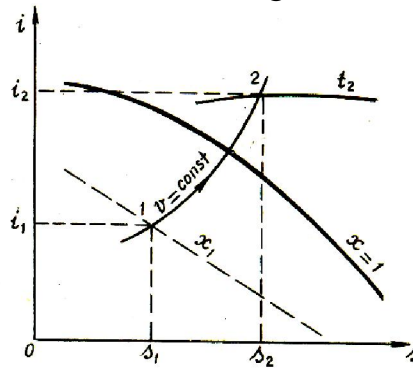
$$\Delta i_{12} = i_2 - i_1 = (u_2 + p_2 v_2) - (u_1 + p_1 v_1); \text{ J/kg}$$

$$\Delta s_{12} = s_2 - s_1; \text{ J/kg.độ}$$

Khác với khí lý tưởng, trong quá trình đẳng nhiệt của hơi nước $\Delta u \neq 0$ và $\Delta i \neq 0$.

1.3.1. Quá trình đẳng tích

Hình 1-4 biểu diễn quá trình đẳng tích 1-2 trên đồ thị i-s. Điểm 1 và điểm 2 được xác định khi biết độ khô x_1 , thể tích riêng v_1 và nhiệt độ t_2 .



Hình 1-4. Đồ thị i-s quá trình đẳng tích của hơi nước
Công thay đổi thể tích của quá trình:

$$l_{12} = 0 \quad (1-16)$$

Công kỹ thuật của quá trình:

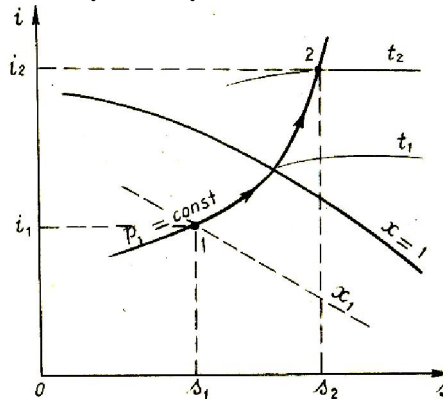
$$l_{kt12} = v(p_1 - p_2); \text{ J/kg} \quad (1-17)$$

Nhiệt lượng trao đổi của quá trình:

$$q_{12} = \Delta u_{12} = u_2 - u_1; \text{ J/kg} \quad (1-18)$$

1.3.2. Quá trình đẳng áp

Hình 1-5 biểu diễn quá trình đẳng áp 1-2 trên đồ thị i-s. Khi biết độ khô x_1 , áp suất p_1 và nhiệt độ t_2 ta xác định được điểm 1 và điểm 2.



Hình 1-5. Đồ thị i-s quá trình đẳng áp của hơi nước
Nhiệt lượng cấp cho quá trình:

$$q_{12} = i_2 - i_1; \text{ J/kg} \quad (1-19)$$

Công thay đổi thể tích của quá trình:

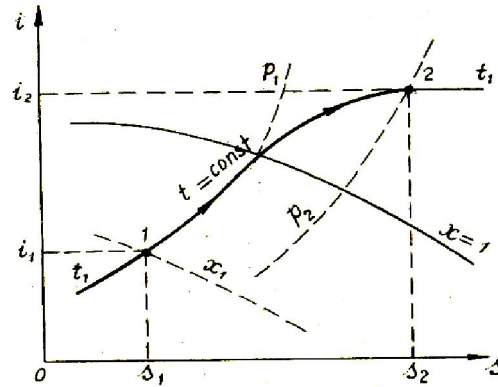
$$l_{12} = p(v_2 - v_1); \text{ J/kg} \quad (1-20)$$

Công kỹ thuật của quá trình:

$$l_{kt12} = \int_{p_1}^{p_2} -v dp = 0 \quad (1-21)$$

1.3.3. Quá trình đẳng nhiệt

Hình 1-6 biểu diễn quá trình đẳng nhiệt 1-2 trên đồ thị i-s. Khi biết độ khô x_1 , nhiệt độ t_1 và áp suất p_2 ta xác định được điểm 1 và điểm 2.



Hình 1-6. Đồ thị i-s quá trình đẳng nhiệt của hơi nước
Nhiệt lượng cấp cho quá trình:

$$q_{12} = T(s_2 - s_1); \text{ J/kg} \quad (1-22)$$

Công thay đổi thể tích của quá trình:

$$q_{12} = \Delta u_{12} + l_{12} \quad (1-23)$$

$$l_{12} = q_{12} - \Delta u_{12}; \text{ J/kg} \quad (1-24)$$

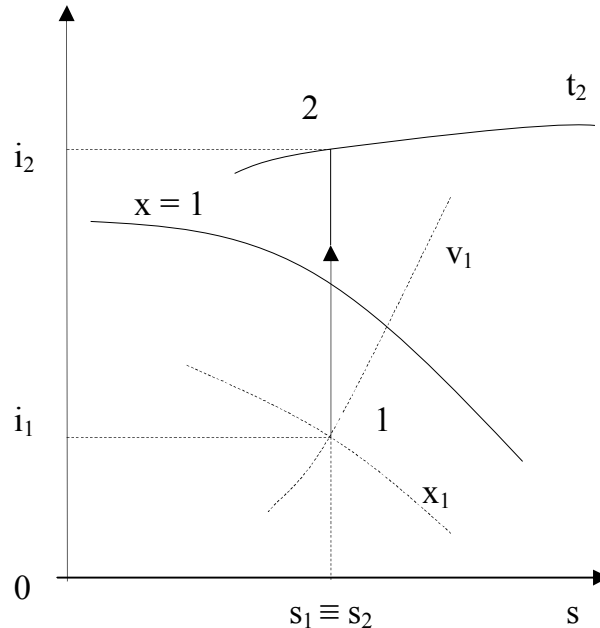
Công kỹ thuật của quá trình:

$$q_{12} = \Delta i_{12} + l_{kt12} \quad (1-25)$$

$$l_{kt12} = q_{12} - \Delta i_{12}; \text{ J/kg} \quad (1-26)$$

1.3.4. Quá trình đoạn nhiệt

Hình 1-7 biểu diễn quá trình đoạn nhiệt 1-2 trên đồ thị i-s. Khi biết độ khô x_1 , thể tích v_1 và nhiệt độ t_2 , ta xác định được điểm 1 và điểm 2.



Hình 1-7. Đồ thị i-s quá trình đoạn nhiệt của hơi nước

Nhiệt lượng trao đổi trong quá trình:

$$q_{12} = T(s_2 - s_1) = 0 \quad (1-27)$$

Công thay đổi thể tích của quá trình:

$$q_{12} = \Delta u_{12} + l_{12} = 0 \quad (1-26)$$

$$l_{12} = -\Delta u_{12}; \text{ J/kg} \quad (1-29)$$

Công kỹ thuật của quá trình:

$$q_{12} = \Delta i_{12} + l_{kt_{12}} = 0 \quad (1-30)$$

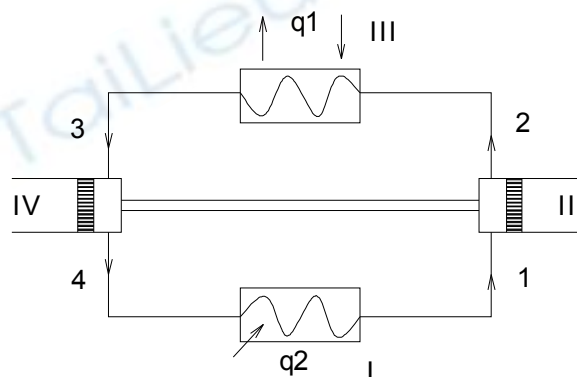
$$l_{kt_{12}} = -\Delta i_{12}; \text{ J/kg} \quad (1-31)$$

1.4. Chu trình nhiệt động của máy lạnh và bơm nhiệt

1.4.1. Chu trình máy lạnh và bơm nhiệt không khí

a. Sơ đồ nguyên lý

Môi chất sử dụng ở đây là không khí. Sơ đồ nguyên lý nêu trên hình 1-8



Hình 1-8. Sơ đồ nguyên lý máy lạnh và bơm nhiệt không khí
Trong đó:

I - buồng lạnh không khí

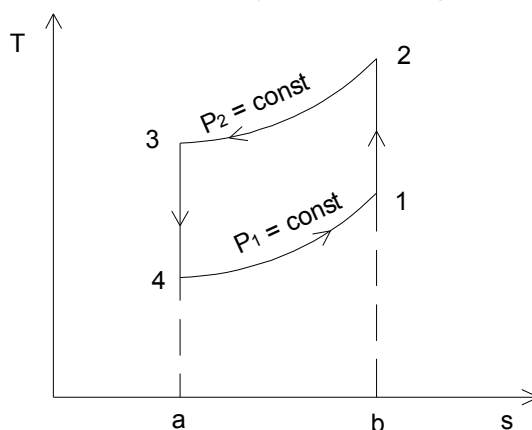
III - bình làm mát

II - máy nén

IV - máy dẫn nở

b. Các quá trình

Hình 1-9 biểu diễn chu trình máy lạnh không khí trên đồ thị T-s.



Hình 1-9. Đồ thị T-s chu trình máy lạnh không khí

Trong đó:

1-2: Quá trình nén đoạn nhiệt không khí trong máy nén. Dùng máy nén II (piston, ly tâm, ...) hút không khí từ buồng lạnh ở áp suất p_1 vào và nén (giả thiết là đoạn nhiệt) đến áp suất p_2 . Khi nén nhiệt độ không khí tăng đến t_2 .

2-3: Quá trình nhả nhiệt đẳng áp trong bình làm mát. Không khí nén từ máy nén đi vào bình làm mát III, nhả nhiệt q_1 cho nước hoặc không khí làm mát ở áp suất $p_2 = \text{const}$. Nhiệt độ của không khí giảm từ t_2 đến t_3 .

3-4: Quá trình dẫn nở đoạn trong máy dẫn nở. Không khí ra khỏi bình làm mát vào máy dẫn nở IV thực hiện quá trình dẫn nở (giả thiết là đoạn nhiệt), ở đây áp suất giảm từ p_2 đến p_1 và nhiệt độ giảm từ t_3 đến t_4 . Máy dẫn nở và máy nén đồng trục với nhau nên công thực hiện trong máy dẫn nở để góp một phần chạy máy nén, phần còn lại có thể dùng động cơ điện.

4-1: Quá trình nhận nhiệt q_2 đẳng áp trong buồng lạnh (q_2 bằng diện tích hình a41b). Ở buồng lạnh I không khí nhận nhiệt q_2 của vật cần làm lạnh ở nhiệt độ thấp và áp suất $p_1 = \text{const}$ làm nhiệt độ của vật giảm xuống đến nhiệt độ yêu cầu.

Hệ số làm lạnh của chu trình được xác định:

$$\varepsilon = \frac{q_2}{|q_0|} = \frac{q_2}{|q_1| - q_2} \quad (1-32a)$$

$$\varepsilon = \frac{T_1}{T_2 - T_1} = \frac{T_4}{T_3 - T_4} \quad (1-32b)$$

Khi chu trình trên là chu trình bơm nhiệt. Hệ số bơm nhiệt sẽ là:

$$\varphi = \varepsilon + 1 \quad (1-33)$$

Ưu điểm cơ bản của chu trình máy lạnh hoặc bơm nhiệt không khí là dùng không khí sẵn có và không độc. Nhược điểm là do chu trình tiến hành xa chu trình Carnot (vì hai quá trình nhận nhiệt và thải nhiệt ở đây là đẳng áp) nên hệ số làm lạnh ε hoặc bơm nhiệt φ đặt nhỏ. Hơn nữa, vì phải dùng tới máy dẫn nở nên kích thước thiết bị lớn. Vì vậy, hiện nay chỉ còn dùng nhiều trong ngành hàng không (máy bay phản lực).

1.4.2. Chu trình máy lạnh và bơm nhiệt dùng hơi

a. Chu trình máy lạnh và bơm nhiệt có máy nén

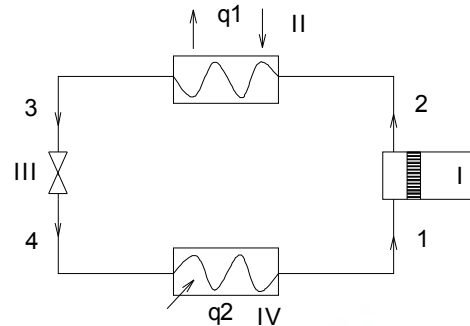
Môi chất được sử dụng ở đây là amôniac, các frêon như R12, R22, ..., khí CO_2 . Khi áp suất trong buồng lạnh $p_1 = 1 \text{ bar}$, nhiệt độ sôi t_s tương ứng với các môi chất trên như sau:

Môi chất	t_s
NH_3	$-33,5^\circ\text{C}$
R12	$-29,8^\circ\text{C}$
R22	-40°C

CO₂

- 78⁰C

Sơ đồ cấu tạo máy lạnh dùng hơi có máy nén và van tiết lưu được thể hiện trên hình 1-10.



Hình 1-10. Sơ đồ máy lạnh dùng hơi có máy nén

Trong đó:

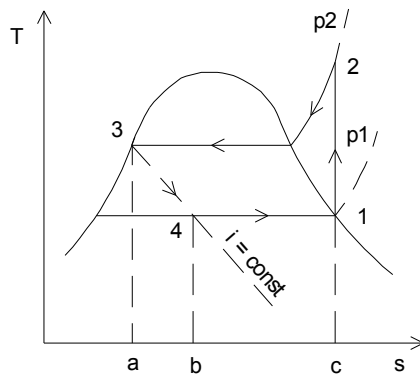
I - máy nén

III - van tiết lưu

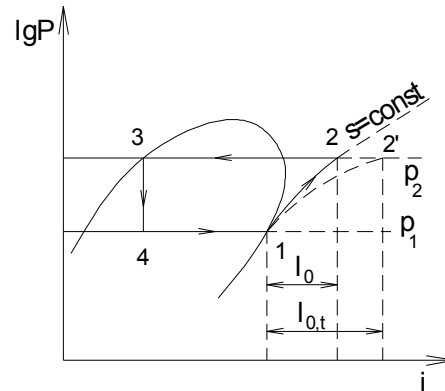
II - bình ngưng tụ

IV - buồng lạnh

Các quá trình của chu trình được biểu diễn trên đồ thị T-s (hình 1-11) hoặc đồ thị lgP-i (hình 1-12) bao gồm:



Hình 1-11. Đồ thị T-s chu trình máy lạnh dùng hơi có máy nén



Hình 1-12. Đồ thị lgP-i chu trình máy lạnh dùng hơi có máy nén

1-2: Quá trình nén đoạn nhiệt trong máy nén. Máy nén I hút hơi môi chất giả thiết là hơi bão hòa khô từ buồng lạnh IV ở áp suất p_1 , sau đó nén đoạn nhiệt môi chất đến p_2 .

2-3: Quá trình ngưng tụ đẳng áp $p_2 = \text{const}$ trong bình ngưng. Hơi từ máy nén đi vào bình ngưng II ngưng tụ trong điều kiện áp suất không đổi, nhả nhiệt q_1 cho không khí hoặc nước làm mát.

3-4: Quá trình tiết lưu trong van tiết lưu. Chất lỏng ngưng từ bình ngưng qua van tiết lưu III, áp suất giảm từ p_2 đến p_1

4-1: Quá trình bay hơi đẳng áp trong dàn bay hơi. Hơi bão hòa ẩm từ van tiết lưu đi vào buồng lạnh IV hoặc bình bay hơi nhận nhiệt q_2 của vật cần làm lạnh ở $p_1 = \text{const}$, sôi và bay hơi.

Hệ số làm lạnh của chu trình:

$$\varepsilon = \frac{q_2}{|l_0|} = \frac{q_2}{|q_1| - q_2} \quad (1-34a)$$

$$\varepsilon = \frac{i_1 - i_4}{i_2 - i_1} \quad (1-34b)$$

Hệ số bơm nhiệt của chu trình:

$$\varphi = \varepsilon + 1$$

Năng suất lạnh của máy lạnh:

$$Q_0 = G \cdot q_2; \text{ W hoặc kcal/h} \quad (1-35)$$

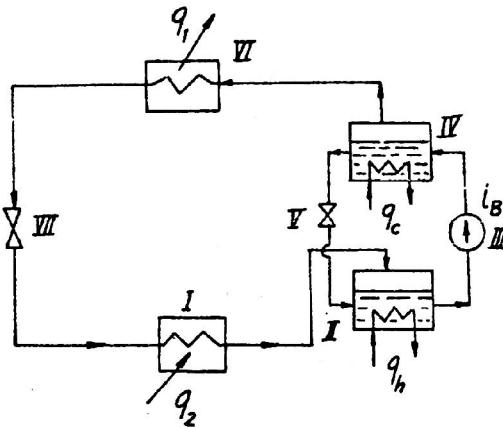
Công suất của máy nén

$$N = G |l_0| \quad (1-36)$$

Trong đó: G - lưu lượng của môi chất trong chu trình; kg/s.

b. Chu trình máy lạnh hấp thụ

Sơ đồ nguyên lý máy lạnh hấp thụ được thể hiện trên hình 1-13



Hình 1-13. Sơ đồ nguyên lý máy lạnh hấp thụ

Chu trình máy lạnh hấp thụ dùng cặp môi chất $\text{NH}_3 - \text{H}_2\text{O}$. Nhiệt độ sôi của NH_3 nhỏ hơn nhiệt độ sôi của nước (ở cùng áp suất) rất nhiều. Ví dụ, khi $p = 6 \text{ bar}$, $t_{s\text{NH}_3} = 10^\circ \text{C}$, $t_{s\text{H}_2\text{O}} = 159^\circ \text{C}$

Hơi bão hòa ẩm NH_3 ra khỏi van tiết lưu ở áp suất thấp p_1 đi vào buồng lạnh I, NH_3 nhận nhiệt q_2 của vật cần làm lạnh ở $p_1 = \text{const}$ biến thành hơi bão hòa khô.

Hơi bão hòa khô NH_3 ra khỏi buồng lạnh đi vào bình hấp thụ II, được nước hấp thụ tạo nên dung dịch $\text{NH}_3 - \text{H}_2\text{O}$ ở áp suất p_1 . Vì phản ứng hấp thụ $\text{NH}_3 - \text{H}_2\text{O}$ tỏa nhiệt q_h nên để tăng khả năng hấp thụ người ta phải lấy nhiệt đó đi (làm mát bình hấp thụ). Sau đó dung dịch $\text{NH}_3 - \text{H}_2\text{O}$ được bơm III đưa đến bình sinh hơi IV ở áp suất $p_2 > p_1$. Trong quá trình hấp thụ, nồng độ của NH_3 trong dung dịch ở bình hấp thụ tăng nên người ta đưa dung dịch có nồng độ nhỏ hơn ở bình sinh hơi qua van V xuống bình hấp thụ để làm giảm nồng độ ở bình hấp thụ và tăng khả năng hấp thụ.