

TỔNG LIÊN ĐOÀN LAO ĐỘNG VIỆT NAM
TRƯỜNG TRUNG CẤP KINH TẾ - KỸ THUẬT SỐ 2



GIÁO TRÌNH

**MÔN HỌC: CƠ SỞ KỸ THUẬT NHIỆT LẠNH VÀ ĐIỀU HÒA
KHÔNG KHÍ**

Mã môn học: CS05

NGHỀ: KỸ THUẬT MÁY LẠNH & ĐIỀU HÒA KHÔNG KHÍ

TRÌNH ĐỘ: TRÌNH ĐỘ: TRUNG CẤP

*(Ban hành kèm theo Quyết định số: /QĐ-TC2 ngày tháng năm.....
của Hiệu trưởng Trường Trung cấp Kinh tế - Kỹ thuật số 2)*

Đồng Nai, năm 202

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.

LỜI GIỚI THIỆU

Giáo trình *Cơ sở nhiệt lạnh và điều hòa không khí* là giáo trình được biên soạn ở dạng cơ bản và tổng quát cho học sinh, sinh viên ngành lạnh từ kiến thức nền cho đến kiến thức chuyên sâu. Do đó có một số nội dung mang tính chung không đi vào cụ thể. Giáo trình giúp học sinh, sinh viên có được kiến thức chung rất hữu ích khi cần phải nghiên cứu chuyên ngành sâu hơn. Mặc khác giáo trình cũng đã đưa vào các nội dung mang tính thực tế giúp học sinh, sinh viên gần gũi, dễ nắm bắt vấn đề khi va chạm trong thực tế. Ngoài ra giáo trình cũng có thể sử dụng cho các khối không chuyên muốn tìm hiểu thêm về ngành nhiệt lạnh và điều hòa không khí.

Trong quá trình biên soạn giáo trình, tác giả đã tham khảo rất nhiều các tài liệu của các tác giả khác nhau cả trong và ngoài nước.

Tác giả cũng xin chân thành gửi lời cảm ơn đến lãnh đạo nhà trường Trường Trung cấp kinh tế kỹ thuật số 2 đã tạo điều kiện giúp đỡ tác giả hoàn thành giáo trình này. Đặc biệt là sự giúp đỡ hỗ trợ nhiệt tình của tập thể giáo viên bộ môn Khoa – Điện lạnh của trường cũng như các bạn đồng nghiệp đã nhiệt tình đóng góp ý kiến trong quá trình biên soạn.

Đồng Nai, ngày 25 tháng 12 năm 2021

Giaó viên biên soạn

1. Chủ biên: K.S.Trịnh Cao Sơn

Tên môn học: CƠ SỞ KỸ THUẬT NHIỆT – LẠNH VÀ ĐIỀU HÒA KHÔNG KHÍ

Mã môn học: CS05

Thời gian thực hiện môn học: 60 giờ; (Lý thuyết: 58 giờ; Thực hành, thí nghiệm, thảo luận, bài tập: 0 giờ; Kiểm tra: 2 giờ)

I. VỊ TRÍ TÍNH CHẤT CỦA MÔN HỌC:

- Vị trí:

Là môn học cơ sở kỹ thuật chuyên ngành, chuẩn bị các kiến thức cần thiết cho các phần học kỹ thuật chuyên môn tiếp theo.

- Tính chất:

Là môn học thiên về lý thuyết: Các bài tập ứng dụng chủ yếu là tra bảng biểu, hoặc làm sáng tỏ các vấn đề lý thuyết.

II. MỤC TIÊU MÔN HỌC:

- Kiến thức:

Trang bị cho học sinh những kiến thức cơ bản nhất về kỹ thuật Nhiệt- Lạnh và điều hòa không khí, cụ thể là: Các hiểu biết về chất môi giới trong hệ thống lạnh và ĐHKK, cấu tạo và nguyên lý hoạt động của máy lạnh, cấu trúc cơ bản của hệ thống lạnh và ĐHKK .

- Kỹ năng:

Học sinh cần đạt được kỹ năng tra 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.

- Năng lực tự chủ và trách nhiệm:

+ Cẩn thận, kiên trì, nghiêm túc.

+ Tích cực tham gia các hoạt động rèn luyện, làm bài tập.

III. NỘI DUNG MÔN HỌC:

1. Nội dung tổng quát và phân bố thời gian:

Số TT	Nội dung môn học	Thời gian			
		Tổng số	Lý thuyết	Thực hành, thí nghiệm, thảo luận, bài tập	Kiểm tra
1	Chương 1: Cơ sở nhiệt động kỹ thuật và truyền nhiệt Mở đầu 1.1 Nhiệt động kỹ thuật 1.2 Truyền nhiệt	15 1 9 5	14 1 9 5		
2	Chương 2: Cơ sở kỹ thuật lạnh 2.1 Khái niệm chung 2.2 Các hệ thống lạnh dân dụng 2.3 Máy nén lạnh 2.4 Giới thiệu chung về các thiết bị khác của hệ thống lạnh. <i>Kiểm tra</i>	25 5 6 9 4 1	24 5 6 9 4		1 1
3	Chương 3: Cơ sở kỹ thuật điều hoà không khí 3.1 Không khí ẩm 3.2 Khái niệm về điều hoà không khí 3.3 Hệ thống vận chuyển và phân phối không khí. 3.4 Các phần tử khác của hệ thống điều hòa không khí <i>Kiểm tra</i>	20 6 6 4 3 1	19 6 6 4 3		1 1
4	Cộng	60	58		2
5	Kiểm tra hết môn học				2

MỤC LỤC

ĐỀ MỤC	TRANG
LỜI GIỚI THIỆU	2
MỤC LỤC	3
CHƯƠNG TRÌNH MÔN HỌC CƠ SỞ KỸ THUẬT NHIỆT LẠNH VÀ ĐIỀU HÒA KHÔNG KHÍ	7
CHƯƠNG 1: CƠ SỞ KỸ THUẬT NHIỆT ĐỘNG VÀ TRUYỀN NHIỆT	9
1. NHIỆT ĐỘNG KỸ THUẬT	9
1.1. Chất môi giới và các thông số trạng thái của chất môi giới.....	9
1.1.1. Các khái niệm và định nghĩa	9
1.1.2. Chất môi giới và các thông số trạng thái của chất môi giới.....	10
1.1.3. Nhiệt dung riêng và tính nhiệt lượng theo nhiệt dung riêng	14
1.1.4. Công	16
1.2. Hơi và các thông số trạng thái của hơi.....	17
1.2.1. Các thể (pha) của vật chất	17
1.2.2. Quá trình hoá hơi đẳng áp	19
1.2.3. Các đường giới hạn và các miền trạng thái của nước và hơi	20
1.2.4. Cách xác định các thông số của hơi bằng bảng và đồ thị lgp-h.....	20
1.3. Các quá trình nhiệt động cơ bản của hơi.....	22
1.3.1. Các quá trình nhiệt động cơ bản của hơi trên đồ thị lgp-h.....	22
1.3.2. Quá trình lưu động và tiết lưu	24
1.3.3. Quá trình lưu động	24
1.3.4. Quá trình tiết lưu	25
1.4. Chu trình nhiệt động của máy lạnh và bơm nhiệt	25
1.4.1. Khái niệm và định nghĩa chu trình nhiệt động.....	25
1.4.2. Chu trình nhiệt động của máy lạnh và bơm nhiệt	29
1.4.3. Chu trình máy lạnh hấp thụ.....	30
2. TRUYỀN NHIỆT.....	32
2.1. Dẫn nhiệt	32
2.1.1. Các khái niệm và định nghĩa	32
2.1.2. Dòng nhiệt ổn định dẫn qua vách phẳng và vách trụ	36
2.1.3. Nhiệt trở của vách phẳng và vách trụ mỏng.....	41
2.2. Trao đổi nhiệt đối lưu.....	42
2.2.1. Các khái niệm và định nghĩa	42
2.2.2. Các nhân tố ảnh hưởng tới trao đổi nhiệt đối lưu	43
2.2.3. Một số hình thức trao đổi nhiệt đối lưu thường gặp	44
2.2.4. Tỏa nhiệt khi sôi và khi ngưng hơi.....	49
2.3. Trao đổi nhiệt bức xạ.....	51
2.3.1. Các khái niệm và định nghĩa	51
2.3.2. Dòng nhiệt trao đổi bằng bức xạ giữa các vật.....	55

2.3.3. Bức xạ của mặt trời (năng).....	57
2.4. Truyền nhiệt và thiết bị trao đổi nhiệt.....	58
2.4.1. Truyền nhiệt tổng hợp.....	58
2.4.2. Truyền nhiệt qua vách.....	59
2.4.3. Truyền nhiệt qua vách phẳng và vách trụ.....	59
2.4.4. Truyền nhiệt qua vách có cánh.....	60
2.4.5. Tăng cường truyền nhiệt và cách nhiệt.....	61
2.4.6. Thiết bị trao đổi nhiệt.....	62
CHƯƠNG 2: CƠ SỞ KỸ THUẬT LẠNH.....	68
1. KHÁI NIỆM CHUNG.....	68
1.1. Ý nghĩa của kỹ thuật lạnh trong đời sống và kỹ thuật.....	68
1.2. Các phương pháp làm lạnh nhân tạo.....	69
2. MÔI CHẤT LẠNH VÀ CHẤT TẢI LẠNH.....	72
2.1. Các môi chất lạnh thường dùng trong kỹ thuật lạnh.....	72
2.2. Chất tải lạnh.....	77
2.3. Bài tập về môi chất lạnh và chất tải lạnh.....	78
3. CÁC HỆ THỐNG LẠNH THÔNG DỤNG.....	78
3.1. Hệ thống lạnh với một cấp nén.....	78
3.1.1. Sơ đồ 1 cấp nén đơn giản.....	78
3.1.2. Sơ đồ có quá nhiệt hơi hút, quá lạnh lỏng và hồi nhiệt.....	79
3.2. Sơ đồ 2 cấp nén có làm mát trung gian.....	82
3.3. Các sơ đồ khác.....	88
3.4. Bài tập.....	90
4. MÁY NÉN LẠNH.....	90
4.1. Khái niệm.....	90
4.1.1. Vai trò của máy nén lạnh.....	90
4.1.2. Phân loại máy nén lạnh.....	91
4.1.3. Các thông số đặc trưng của máy nén lạnh.....	91
4.2. Máy nén pittông.....	95
4.2.1. Máy nén lí tưởng một cấp nén (không có không gian thừa).....	95
4.2.2. Cấu tạo và chuyển vận.....	95
4.2.3. Các hành trình và đồ thị P-V.....	96
4.2.4. Máy nén có không gian thừa.....	97
4.2.5. Năng suất nén V khi có không gian thừa.....	97
4.2.6. Máy nén nhiều cấp có làm mát trung gian.....	98
4.2.7. Cấu tạo và nguyên lý làm việc.....	98
4.2.8. Đồ thị P-V.....	99
4.2.9. Tỉ số nén ở mỗi cấp.....	99
4.2.10. Lợi ích của máy nén nhiều cấp.....	99
4.2.11. Bài tập tính toán máy nén piston.....	100

4.3. Giới thiệu một số chủng loại máy nén khác.....	100
4.3.1. Máy nén rô to	100
4.3.2. Máy nén scroll (đĩa xoắn)	102
4.3.3. Máy nén trục vít	103
5. CÁC THIẾT BỊ KHÁC CỦA HỆ THỐNG LẠNH.....	104
5.1. Các thiết bị trao đổi nhiệt chủ yếu	104
5.1.1. Thiết bị ngưng tụ	104
5.1.2. Vai trò của thiết bị trong hệ thống lạnh	104
5.1.3. Các kiểu thiết bị ngưng tụ thường gặp.....	104
5.1.4. Tháp giải nhiệt.....	111
5.1.5. Thiết bị bay hơi	110
5.1.6. Vai trò của thiết bị trong hệ thống lạnh.....	110
5.1.7. Các kiểu thiết bị bay hơi thường gặp	110
5.2. Thiết bị tiết lưu (giảm áp).....	115
5.2.1. Giảm áp bằng ống mao.....	115
5.2.2. Van tiết lưu.....	116
5.3. Thiết bị phụ, dụng cụ và đường ống của hệ thống lạnh.....	119
5.3.1. Thiết bị phụ của hệ thống lạnh.....	119
5.3.2. Dụng cụ của hệ thống lạnh.....	123
5.3.3. Đường ống của hệ thống lạnh	125
CHƯƠNG 3: CƠ SỞ KỸ THUẬT ĐIỀU HÒA KHÔNG KHÍ	128
1. KHÔNG KHÍ ẨM.....	128
1.1. Các thông số trạng thái của không khí ẩm	128
1.1.1. Thành phần của không khí ẩm	128
1.1.2. Các thông số trạng thái của không khí ẩm	129
1.2. Đồ thị I - d và d - t của không khí ẩm	132
1.2.1. Đồ thị I – d	132
1.2.2. Đồ thị t – d.....	133
1.3. Một số quá trình của không khí ẩm khi ĐHKK.....	133
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	136

CHƯƠNG 1: CƠ SỞ KỸ THUẬT NHIỆT ĐỘNG VÀ TRUYỀN NHIỆT

Mã chương: CS05 - 01

Giới thiệu:

Chương này cung cấp cho sinh viên học sinh những kiến thức cơ bản ban đầu về cơ sở nhiệt động và truyền nhiệt: các khái niệm nhiệt động cơ bản, thông số của hơi, các chu trình nhiệt động cũng như quy luật của các hình thức truyền nhiệt và thiết bị trao đổi nhiệt

Mục tiêu:

- Trình bày được các kiến thức chung nhất về kỹ thuật Nhiệt - Lạnh.
- Phân tích được các khái niệm về nhiệt động lực học.
- Trình bày được các kiến thức về hơi và thông số trạng thái hơi.
- Trình bày được các quá trình nhiệt động của hơi.
- Trình bày được các chu trình nhiệt động.
- Trình bày được các quá trình dẫn nhiệt và truyền nhiệt và các thiết bị trao đổi nhiệt.
- Phân tích được các quá trình, nguyên lý làm việc của máy lạnh và các quy luật truyền nhiệt nói chung;
- Rèn luyện tính tập trung, tỉ mỉ, tư duy logic, ứng dụng thực tiễn sản xuất áp dụng vào môn học cho HSSV.

Nội dung chính:

1. NHIỆT ĐỘNG KỸ THUẬT:

Mục tiêu:

- Trình bày được các khái niệm về nhiệt động lực học.
- Hơi và thông số trạng thái hơi, Các quá trình nhiệt động của hơi.
- Các chu trình nhiệt động.

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

1.1.1. Các khái niệm và định nghĩa:

a) Thiết bị nhiệt:

Là loại thiết bị có chức năng chuyển đổi giữa nhiệt năng và cơ năng. Thiết bị nhiệt được chia thành 2 nhóm: *động cơ nhiệt* và *máy lạnh*.

* Động cơ nhiệt:

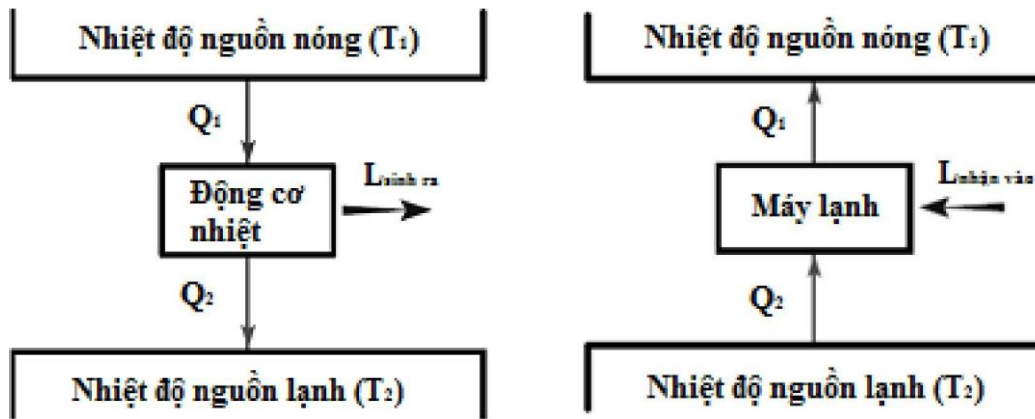
Có chức năng chuyển đổi nhiệt năng thành cơ năng như động cơ hơi nước, turbine khí, động cơ xăng, động cơ phản lực, v.v.

* Máy lạnh:

Có chức năng chuyển nhiệt năng từ nguồn lạnh đến nguồn nóng.

b) Hệ nhiệt động (HND):

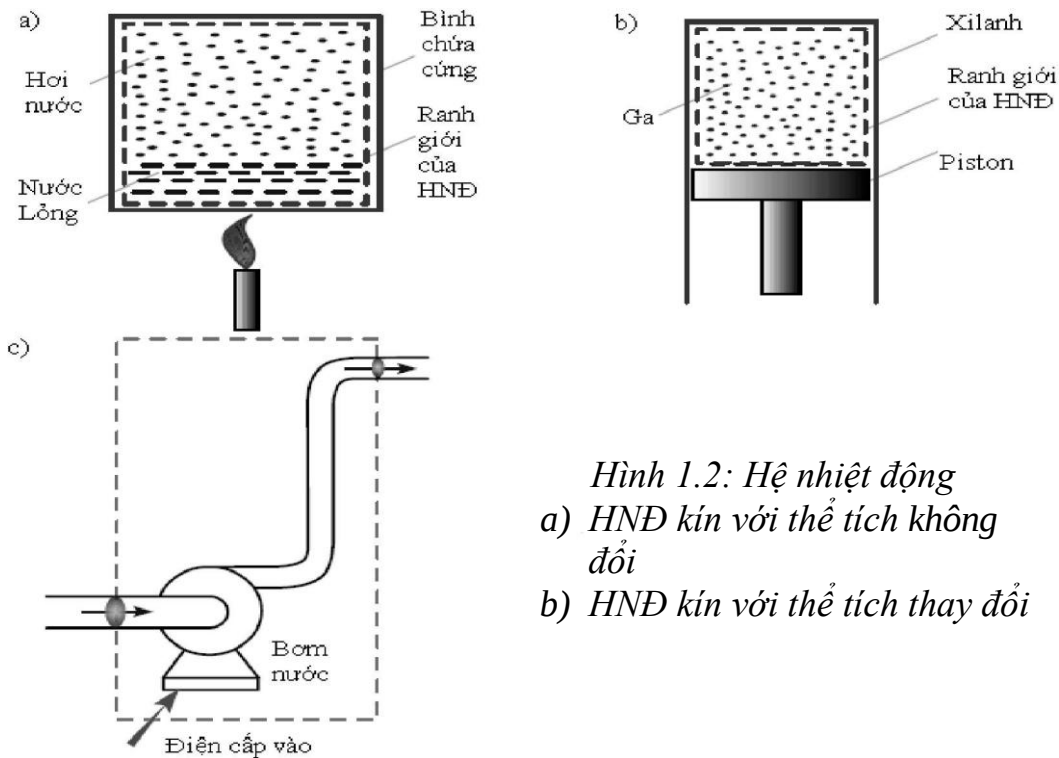
Là hệ gồm một hoặc nhiều vật được tách riêng ra khỏi các vật khác để nghiên cứu các tính chất nhiệt động của chúng. Tất cả những vật ngoài HND được gọi là *môi trường xung quanh*.



Hình 1.1: Nguyên lý làm việc của động cơ nhiệt và máy lạnh, bơm nhiệt

Vật thực hoặc tưởng tượng ngăn cách hệ nhiệt động với môi trường xung quanh được gọi là *ranh giới của HNĐ*.

Hệ nhiệt động được phân loại như sau :



Hình 1.2: Hệ nhiệt động

a) HNĐ kín với thể tích không đổi

b) HNĐ kín với thể tích thay đổi

* *Hệ nhiệt động kín:*

HNĐ trong đó không có sự trao đổi vật chất giữa hệ và môi trường xung quanh.

* *Hệ nhiệt động hở:*

HNĐ trong đó có sự trao đổi vật chất giữa hệ và môi trường xung quanh.

* *Hệ nhiệt động cô lập:*

HNĐ được cách ly hoàn toàn với môi trường xung quanh.

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

a) Khái niệm chất môi giới (CMG):

* *Chất môi giới hay môi chất công tác:*

Được sử dụng trong thiết bị nhiệt là chất có vai trò trung gian trong quá trình biến đổi giữa nhiệt năng và cơ năng.

* *Thông số trạng thái của CMG:*

Là các đại lượng vật lý đặc trưng cho trạng thái nhiệt động của CMG.

b) Các thông số trạng thái của chất môi giới:

* *Nhiệt độ:*

Nhiệt độ (T) - số đo trạng thái nhiệt của vật. Theo thuyết động học phân tử, nhiệt độ là số đo động năng trung bình của các phân tử.

$$\frac{m_{\mu} \cdot \bar{v}^2}{3} = kT \quad [1-1]$$

Trong đó: m_{μ} - khối lượng phân tử

$\bar{v}$ - vận tốc trung bình của các phân tử

k - hằng số Bonzman, $k = 1,3805 \cdot 10^{-18}$ J/độ

T - nhiệt độ tuyệt đối.

Nhiệt kế: Nhiệt kế hoạt động dựa trên sự thay đổi một số tính chất vật lý của vật thay đổi theo nhiệt độ, ví dụ: chiều dài, thể tích, màu sắc, điện trở, v.v.

Thang nhiệt độ:

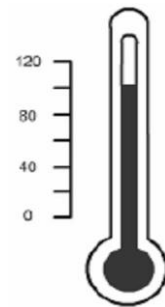
- 1) Thang nhiệt độ Celsius ($^{\circ}\text{C}$)
- 2) Thang nhiệt độ Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$)
- 3) Thang nhiệt độ Kelvin (K)
- 4) Thang nhiệt độ Rankine ($^{\circ}\text{R}$)

Mối quan hệ giữa các đơn vị đo nhiệt độ:

$$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} - 32)$$

$$^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273$$

$$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} \cdot ^{\circ}\text{R} - 273$$



Hình 1.3: Nhiệt kế

* *Áp suất:*

+ *Khái niệm:*

Áp suất của lưu chất (p) - lực tác dụng của các phân tử theo phương pháp tuyến lên một đơn vị diện tích thành chứa.

$$p = \frac{F}{A} \quad [1-2]$$

Theo thuyết động học phân tử :

$$p = n \cdot \frac{m_{\mu} \bar{v}^2}{3} \quad [1-3]$$

trong đó : p - áp suất ;

F - lực tác dụng của các phân tử ;

A - diện tích thành bình chứa ;

n - số phân tử trong một đơn vị thể tích ;

α - hệ số phụ thuộc vào kích thước và lực tương tác của các phân tử.

+ Đơn vị áp suất:

1) N/m^2 ; 5) mm Hg (tor - Torricelli, 1068-1647)

2) Pa (Pascal) ; 6) $\text{mm H}_2\text{O}$

3) at (Technical Atmosphere) ; 7) psi (Pound per Square Inch)

4) atm (Physical Atmosphere) ; 8) psf (Pound per Square Foot)

Mối quan hệ giữa các đơn vị đo áp suất:

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mm Hg (at } 0^\circ \text{C)} = 101,3 \cdot 10^4 \text{ Pa} = 2116 \text{ psf (lbf/ft}^2\text{)}$$

$$1 \text{ at} = 2049 \text{ psf}$$

$$1 \text{ at} = 0,981 \text{ bar} = 9,81 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2 = 9,81 \cdot 10^4 \text{ Pa} = 10 \text{ mH}_2\text{O} = 735,5 \text{ mmHg} = 14,7 \text{ psi}$$

+ Phân loại áp suất:

Áp suất khí quyển (p_0):

Áp suất của không khí tác dụng lên bề mặt các vật trên trái đất.

Áp suất dư (p_d):

Là phần áp suất tuyệt đối lớn hơn áp suất khí quyển

$$p_d = p - p_0 \quad [1-4]$$

Áp suất tuyệt đối (p):

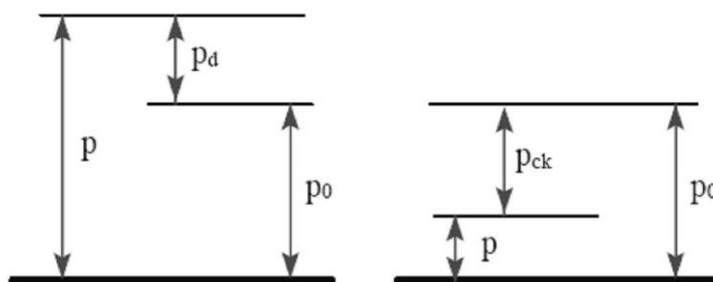
Áp suất của lưu chất so với chân không tuyệt đối.

$$p = p_d + p_0 \quad [1-5]$$

Áp suất chân không (p_{ck}):

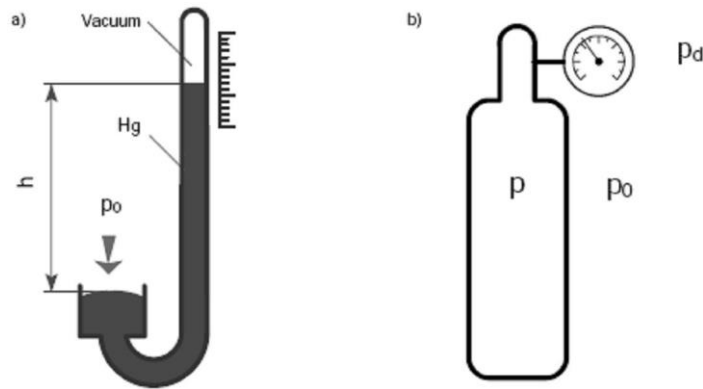
Phần áp suất tuyệt đối nhỏ hơn áp suất khí quyển.

$$p_{ck} = p_0 - p \quad [1-6]$$



Hình 1.4: Các loại áp suất

+ Áp kế:



Hình 1.5: Dụng cụ đo áp suất

a) Barometer, b) Áp kế

* Ghi chú: Khi đo áp suất bằng áp kế thủy ngân, chiều cao cột thủy ngân cần được hiệu chỉnh về nhiệt độ 0 °C.

$$h_0 = h (1 - 0,000172 \cdot t) \quad [1-7]$$

trong đó : t - nhiệt độ cột thủy ngân, °C

h_0 - chiều cao cột thủy ngân hiệu chỉnh về nhiệt độ 0 °C

h - chiều cao cột thủy ngân ở nhiệt độ t °C

c) Thể tích riêng và khối lượng riêng:

Thể tích riêng (v) - Thể tích riêng của một chất là thể tích ứng với một đơn vị khối lượng chất đó : $v = \frac{V}{m} \quad [m^3/kg] \quad [1-8]$

Khối lượng riêng (ρ) - Khối lượng riêng - còn gọi là **mật độ** - của một chất là khối lượng ứng với một đơn vị thể tích của chất đó :

$$\rho = \frac{m}{V} \quad [kg/m^3] \quad [1-9]$$

d. Nội năng:

Nội nhiệt năng (u) - gọi tắt là **nội năng** - là năng lượng do chuyển động của các phân tử bên trong vật và lực tương tác giữa chúng.

Nội năng gồm 2 thành phần: nội động năng (u_d) và nội thế năng (u_p).

- Nội động năng liên quan đến chuyển động của các phân tử nên nó phụ thuộc vào nhiệt độ của vật.

- Nội thế năng liên quan đến lực tương tác giữa các phân tử nên nó phụ thuộc vào khoảng cách giữa các phân tử. Như vậy, nội năng là một hàm của nhiệt độ và thể tích riêng: $u = u(T, v)$

Đối với khí lý tưởng, lực tương tác giữa các phân tử bằng 0 nên nội năng chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ. Lượng thay đổi nội năng của khí lý tưởng được xác định bằng các biểu thức:

$$du = C_v dT \quad \text{và} \quad \Delta u = C_v (T_2 - T_1) \quad [1-10]$$

Đối với 1kg môi chất, nội năng kí hiệu là u , đơn vị là J/kg; Đối với Gkg môi chất, nội năng kí hiệu là U , đơn vị là J. Ngoài ra nội năng còn có một số đơn vị khác như: kCal; kWh; Btu...

$$1\text{kJ} = 0,239 \text{ kCal} = 277,78 \cdot 10^{-6} \text{ kWh} = 0,948 \text{ Btu}$$

e. Enthalpy:

Enthalpy (i hoặc h) - là đại lượng được định nghĩa bằng biểu thức :

$$i = h = u + p.v \quad [1-11]$$

Như vậy, cũng tương tự như nội năng, enthalpy của khí thực là hàm của các thông số trạng thái. Đối với khí lý tưởng, enthalpy chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ.

f. Entropy:

Entropy (s) là một hàm trạng thái được định nghĩa bằng biểu thức :

$$ds = \frac{dq}{T} \quad [\text{J/K}] \quad [1-12]$$

1.1.3. Nhiệt dung riêng và tính nhiệt lượng theo nhiệt dung riêng:

a) Các khái niệm chung:

+ *Nhiệt năng (nhiệt lượng)*: là dạng năng lượng truyền từ vật này sang vật khác do sự chênh lệch nhiệt độ.

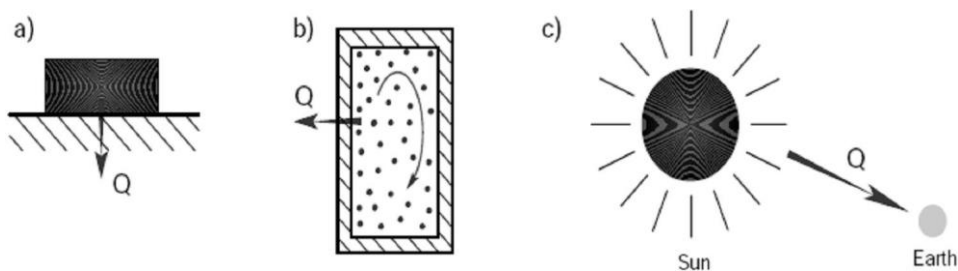
Đơn vị đo nhiệt năng:

Calorie (Cal) - 1 Cal là nhiệt năng cần thiết để làm nhiệt độ của 1 gam nước tăng từ 14.5 C đến 15.5 C.

British thermal unit (Btu) - 1 Btu là nhiệt năng cần thiết để làm nhiệt độ của 1 pound nước tăng từ 59.5 F lên 60.5 F.

Joule (J) - 1 [J]

$$1 \text{ Cal} = 4.187 \text{ J} \quad 1 \text{ Btu} = 252 \text{ Cal} = 1055 \text{ J}$$



Hình 1.6: Các hình thức truyền nhiệt

+ *Nhiệt dung và nhiệt dung riêng*:

Nhiệt dung của một vật là lượng nhiệt cần cung cấp cho vật hoặc từ vật tỏa ra để nhiệt độ của nó thay đổi 1 .

$$C = \frac{dQ}{dt} \quad [\text{J/độ}] \quad [1-13]$$

Nhiệt dung riêng (NDR) - còn gọi là *Tỷ nhiệt* - là lượng nhiệt cần cung cấp hoặc tỏa ra từ 1 đơn vị số lượng vật chất để nhiệt độ của nó thay đổi 1 .

Phân loại NDR theo đơn vị đo lường vật chất:

$$\text{Nhiệt dung riêng khối lượng } c = \frac{C}{m}, [\text{J/kg.độ}] \quad [1-14]$$

$$\text{Nhiệt dung riêng thể tích } c' = \frac{C}{V_{tc}}, [\text{J/m}^3 \cdot \text{độ}] \quad [1-15]$$

$$\text{Nhiệt dung riêng mol } c_{\square} = \frac{C}{N} [\text{J/kmol.độ}] \quad [1-16]$$

Phân loại NDR theo quá trình nhiệt động:

- NDR đẳng tích $c_v, c_v', c_{\mu v}$

- NDR đẳng áp $c_p, c_p', c_{\mu p}$

Công thức Mayer :

$$c_p - c_v = R \quad [1-17]$$

$$c_{\mu p} - c_{\mu v} = R = 8314 [\text{J/kmol.độ}] \quad [1-18]$$

Chỉ số đoạn nhiệt:

$$k = \frac{c_p}{c_v} \quad [1-19]$$

Trị số k của khí thực phụ thuộc vào loại chất khí và nhiệt độ. Đối với khí lý tưởng, k chỉ phụ thuộc vào loại chất khí.

Quan hệ giữa c, k và R:

$$c_v = \frac{1}{k-1} \cdot R; c_p = \frac{k}{k-1} \cdot R \quad [1-20]$$

+ Nhiệt dung riêng của khí thực:

NDR của khí thực phụ thuộc vào bản chất của chất khí, nhiệt độ, áp suất và quá trình nhiệt động :

$$c = f(T, p, \text{quá trình}).$$

Trong phạm vi áp suất thông dụng, áp suất có ảnh hưởng rất ít đến NDR. Bởi vậy có thể biểu diễn NDR dưới dạng một hàm của nhiệt độ như sau :

$$c = a_0 + a_1 \cdot t + a_2 \cdot t^2 + \dots + a_n \cdot t^n \quad [1-21]$$

+ Nhiệt dung riêng của khí lý tưởng:

NDR của khí lý tưởng chỉ phụ thuộc vào loại chất khí mà không phụ thuộc vào nhiệt độ và áp suất.

Bảng 1.1: Chỉ số đoạn nhiệt và nhiệt dung riêng của khí lý tưởng

Loại khí	k	$c_{\mu v}$ [kJ/kmol.độ]	$c_{\mu p}$ [kJ/kmol.độ]
Khí 1 nguyên tử	1,6	12,6	20,9
Khí 2 nguyên tử	1,4	20,9	29,3
Khí nhiều nguyên tử	1,3	29,3	37,4

+ Nhiệt dung riêng của hỗn hợp khí:

$$c = \sum_{i=1}^n g_i \cdot c_i; c = \sum_{i=1}^n r_i \cdot c_i'; c = \sum_{i=1}^n r_i c_i \quad [1-22]$$

b) Tính nhiệt lượng theo nhiệt dung riêng trung bình:

* Tính NDR trung bình trong khoảng nhiệt độ $t_1 \div t_2$ khi biết NDR trung bình trong khoảng nhiệt độ $0 \div t$:

- NDR trung bình trong khoảng nhiệt độ $0 \div t$:

$$c|_0^t = a_0 + a_1 \cdot t$$

- Theo định nghĩa NDR: $c = dq/dt$

- Nhiệt trao đổi trong quá trình 1 - 2: $q|_{t_1}^{t_2} = \int_{t_1}^{t_2} c dt = c|_{t_1}^{t_2} \cdot (t_2 - t_1)$

- Mặt khác có thể viết:

$$q|_{t_1}^{t_2} = q|_0^{t_2} - q|_0^{t_1} = c|_0^{t_2} \cdot (t_2 - 0) - c|_0^{t_1} \cdot (t_1 - 0) = c|_0^{t_2} t_2 - c|_0^{t_1} t_1$$

- Từ đó ta có:

$$c|_{t_1}^{t_2} = \frac{c|_0^{t_2} \cdot t_2 - c|_0^{t_1} \cdot t_1}{t_2 - t_1} = a_0 + a_1 \cdot (t_2 - t_1) \quad [1-23]$$

* Tính nhiệt dung riêng trung bình trong khoảng nhiệt độ $t_1 \div t_2$ khi biết NDR thực $c = a_0 + a_1 \cdot t$:

$$c|_{t_1}^{t_2} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} c dt}{t_2 - t_1} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} (a_0 + a_1 \cdot t) dt}{t_2 - t_1} = \frac{a_0 \cdot t_2 - a_1 \cdot \frac{t_2^2}{2} - (a_0 \cdot t_1 - a_1 \cdot \frac{t_1^2}{2})}{t_2 - t_1}$$

$$c|_{t_1}^{t_2} = a_0 + a_1 \cdot \frac{t_2 + t_1}{2} \quad [1-24]$$

* Tính nhiệt lượng theo nhiệt dung riêng trung bình:

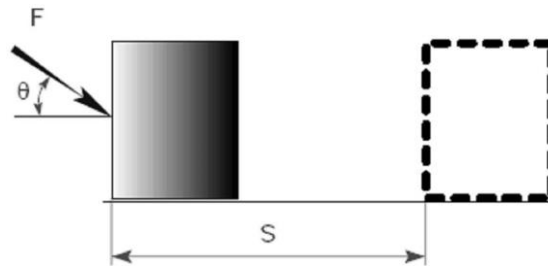
$$q = \int_{t_1}^{t_2} c dt = c|_{t_1}^{t_2} \cdot (t_2 - t_1) \quad [1-25]$$

1.1.4. Công:

Công - còn gọi là cơ năng - là dạng năng lượng hình thành trong quá trình biến đổi năng lượng trong đó có sự dịch chuyển của lực tác dụng. Về trị số, công

bằng tích của thành phần lực cùng phương chuyển động và quãng đường dịch chuyển:

$$L = (F \cdot \cos\theta) \cdot S$$



Hình 1.7

* Đơn vị:

Công là một dạng năng lượng nên đơn vị của công là đơn vị của năng lượng. Đơn vị thông dụng là *Joule* (J). 1J là công của lực 1N tác dụng trên quãng đường 1 m.

* Phân loại công:

Công thay đổi thể tích (l) - còn gọi là *công cơ học* - là công do CMG sinh ra khi dẫn nở hoặc nhận được khi bị nén. Công thay đổi thể tích gắn liền với sự dịch chuyển ranh giới của HNĐ.

Công thay đổi thể tích được xác định bằng biểu thức :

$$l = \int_{v_1}^{v_2} p \cdot dv \Rightarrow dl = p \cdot dv \quad [1-26]$$

Công kỹ thuật (l_{kt}) - là công của dòng khí chuyển động được thực hiện khi áp suất của chất khí thay đổi.

Công kỹ thuật được xác định bằng biểu thức:

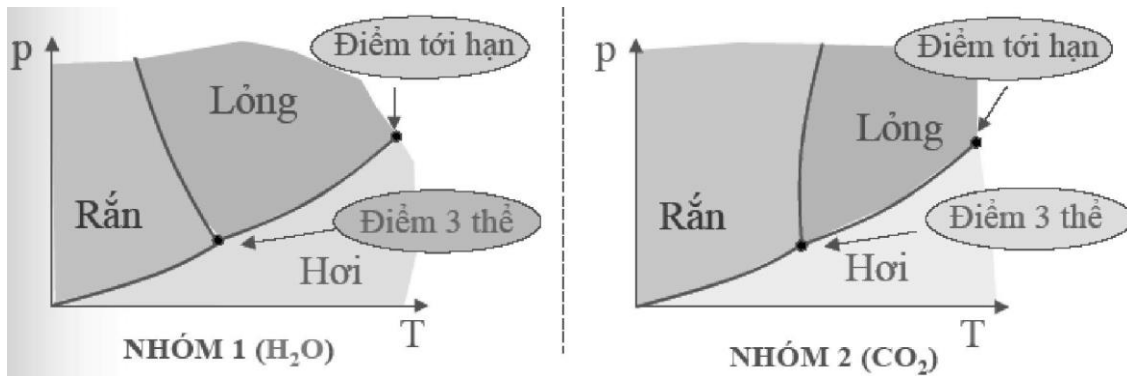
$$l_{kt} = \int_{p_1}^{p_2} v \cdot dp \Rightarrow dl_{kt} = -v \cdot dp \quad [1-27]$$

Qui ước: Công do HNĐ sinh ra mang dấu (+), công do môi trường tác dụng lên HNĐ mang dấu (-).

1.2. Hơi và các thông số trạng thái của hơi:

1.2.1. Các thể (pha) của vật chất:

Chất môi giới là chất có vai trò trung gian trong các quá trình biến đổi năng lượng trong các thiết bị nhiệt. Dạng đồng nhất về vật lý của CMG được gọi là pha. Ví dụ, nước có thể tồn tại ở pha lỏng, pha rắn và pha hơi (khí). Thiết bị nhiệt thông dụng thường sử dụng CMG ở pha khí vì chất khí có khả năng thay đổi thể tích rất lớn nên có khả năng thực hiện công lớn.



Hình 1.8: Đồ thị biểu diễn pha của chất thuần khiết

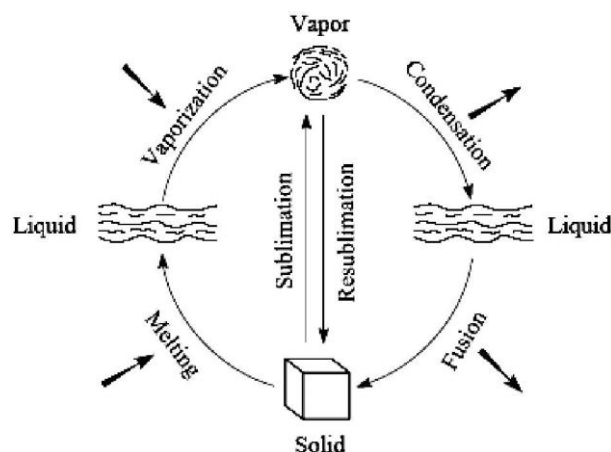
* Ví dụ các quá trình chuyển pha của nước:

+ Sự hóa hơi và ngưng tụ:

Hóa hơi là quá trình chuyển từ pha lỏng sang pha hơi. Ngược lại, quá trình chuyển từ pha hơi sang pha lỏng gọi là ngưng tụ. Để hóa hơi, phải cấp nhiệt cho CMG. Ngược lại, khi ngưng tụ CMG sẽ nhả nhiệt. Nhiệt lượng cấp cho 1kg CMG lỏng hóa hơi hoàn toàn gọi là nhiệt ẩn hóa hơi (r_{hh}), nhiệt lượng tỏa ra khi 1kg CMG ngưng tụ gọi là nhiệt ngưng tụ (r_{nt}). Nhiệt ẩn hóa hơi và nhiệt ngưng tụ có trị số bằng nhau. Ở áp suất khí quyển, nhiệt ẩn hóa hơi của nước là 2257 kJ/kg.

+ Sự nóng chảy và đông đặc:

Nóng chảy là quá trình chuyển từ pha rắn sang pha lỏng, quá trình ngược lại được gọi là đông đặc. Cần cung cấp nhiệt để làm nóng chảy CMG. Ngược lại, khi đông đặc CMG sẽ nhả nhiệt. Nhiệt lượng cần cung cấp để 1 kg CMG nóng chảy gọi là nhiệt nóng chảy (r_{nc}), nhiệt lượng tỏa ra khi 1 kg CMG đông đặc gọi là nhiệt đông đặc (r_{dd}). Nhiệt nóng chảy và nhiệt đông đặc có trị số bằng nhau. Ở áp suất khí quyển, nhiệt nóng chảy của nước bằng 333 kJ/kg.



Hình 1.9: Các quá trình chuyển pha của nước

+ Sự thăng hoa và ngưng kết:

Thăng hoa là quá trình chuyển trực tiếp từ pha rắn sang pha hơi. Ngược lại với quá trình thăng hoa là ngưng kết. CMG nhận nhiệt khi thăng hoa và nhả

nhệt khi ngưng kết. Nhiệt thăng hoa (r_{th}) và nhiệt ngưng kết (r_{nk}) có trị số bằng nhau. Ở áp suất $p = 0,006$ bar, nhiệt thăng hoa của nước bằng 2818 kJ/kg.

1.2.2. Quá trình hoá hơi đẳng áp:

Giả sử có 1 kg nước trong xylanh, trên bề mặt nước có một piston có khối lượng không đổi. Như vậy, áp suất tác dụng lên nước sẽ không đổi trong quá trình hóa hơi. Giả sử nhiệt độ ban đầu của nước là t_0 , nếu ta cấp nhiệt cho nước, quá trình hóa hơi đẳng áp sẽ diễn ra. Hình 1.10 thể hiện quá trình hóa hơi đẳng áp, trong đó nhiệt độ phụ thuộc vào lượng nhiệt cấp: $t = f(q)$.

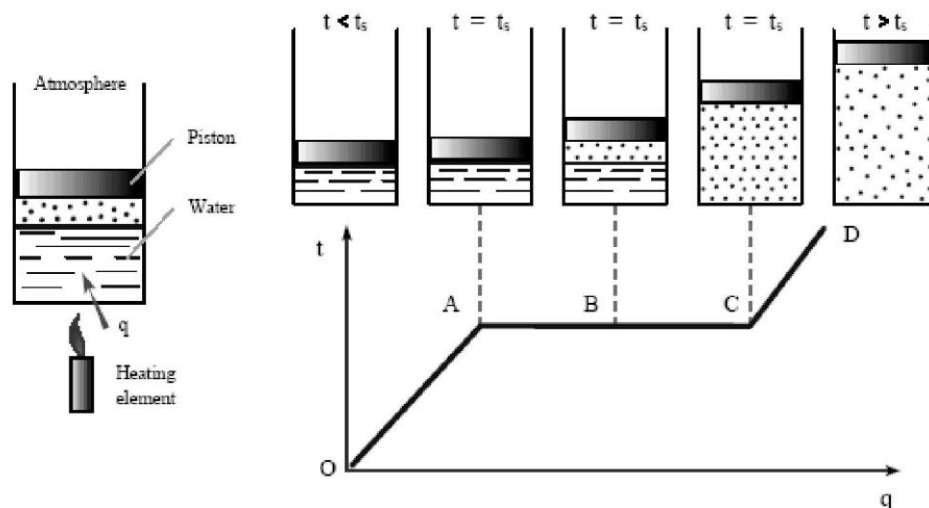
* Đoạn OA biểu diễn quá trình đốt nóng nước từ nhiệt độ ban đầu t_0 đến nhiệt độ sôi t_s . Nước ở nhiệt độ $t < t_s$ gọi là nước chưa sôi. Khi chưa sôi, nhiệt độ của nước sẽ tăng khi tăng lượng nhiệt cấp vào.

* Đoạn AC thể hiện quá trình sôi. Trong quá trình sôi, nhiệt độ của nước không đổi ($t_s = \text{const}$), nhiệt được cấp vào được sử dụng để biến đổi pha mà không làm tăng nhiệt độ của chất lỏng. Thông số trạng thái của nước ở điểm A được ký hiệu là : $i', s', u', v', \dots$. Hơi ở điểm C gọi là hơi bão hòa khô, các thông số trạng thái của nó được ký hiệu là : $i'', s'', u'', v'', \dots$. Hơi ở trạng thái giữa A và C được gọi là hơi bão hòa ẩm, các thông số trạng thái của nó được ký hiệu là $i_x, s_x, u_x, v_x, \dots$.

* Sau khi toàn bộ lượng nước được hóa hơi, nếu tiếp tục cấp nhiệt thì nhiệt độ của hơi sẽ tăng (đoạn CD). Hơi có nhiệt độ $t > t_s$ gọi là hơi quá nhiệt. Hơi bão hòa ẩm là hỗn hợp của nước sôi và hơi bão hòa khô. Hàm lượng hơi bão hòa khô trong hơi bão hòa ẩm được đánh giá bằng đại lượng độ khô (x) hoặc độ ẩm (y):

$$x = \frac{G_h}{G_x} \square \frac{G_h}{G_n \square G_h} \quad [1-28]$$

Trong đó: x - độ khô; y - độ ẩm; G_x - lượng hơi bão hòa ẩm; G_h - lượng hơi bão hòa khô; G_n - lượng nước sôi.



Hình 1.10: Quá trình hóa hơi đẳng áp của nước

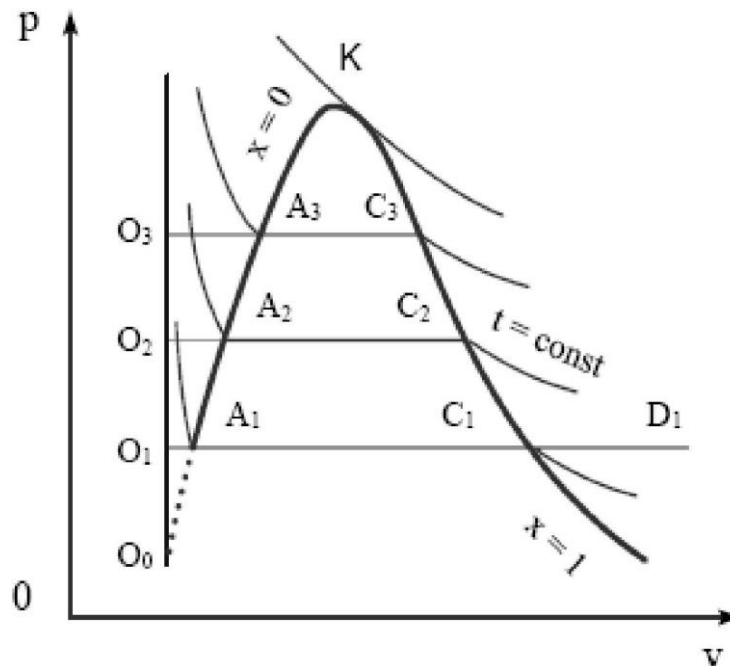
1.2.3. Các đường giới hạn và các miền trạng thái của nước và hơi:

Tương tự, nếu tiến hành quá trình hóa hơi đẳng áp ở những áp suất khác nhau ($p_1, p_2, p_3, \dots$) và cùng biểu diễn trên đồ thị trạng thái $p - v$, sẽ được các đường, điểm và vùng đặc trưng biểu diễn trạng thái của nước như sau:

+ Đường trạng thái của nước chưa sôi: đường nối các điểm $O_0, O_1, O_2, O_3, \dots$ gần như thẳng đứng vì thể tích của nước thay đổi rất ít khi tăng hoặc giảm áp suất.

+ Đường giới hạn dưới: đường nối các điểm $\dots A_1, A_2, A_3, \dots$ biểu diễn trạng thái nước sôi độ khô $x = 0$.

+ Đường giới hạn trên: đường nối các điểm $\dots C_1, C_2, C_3, \dots$ biểu diễn trạng thái hơi bão hòa khô có độ khô $x = 1$.



Hình 1.11: Quá trình hóa hơi đẳng áp của nước trên đồ thị $p-v$

+ Điểm tới hạn K: điểm gặp nhau của đường giới hạn dưới và giới hạn trên. Trạng thái tại K gọi là trạng thái tới hạn, ở đó không còn sự khác nhau giữa chất lỏng sôi và hơi bão hòa khô. Các thông số trạng thái tại K gọi là các thông số trạng thái tới hạn. Nước có các thông số trạng thái tới hạn: $p_k = 221 \text{ bar}$, $t_k = 374 \text{ }^\circ\text{C}$, $v_k = 0,00326 \text{ m}^3/\text{kg}$.

+ Vùng chất lỏng chưa sôi ($x = 0$): vùng bên trái đường giới hạn dưới.

+ Vùng hơi bão hòa ẩm ($0 < x < 1$): vùng giữa đường giới hạn dưới và trên.

+ Vùng hơi quá nhiệt ($x = 1$): vùng bên phải đường giới hạn trên.

1.2.4. Cách xác định các thông số của hơi bằng bảng và đồ thị $\lg p-h$:

Hơi của các chất lỏng thường phải được xem như là khí thực, nếu sử dụng phương trình trạng thái của khí lý tưởng cho hơi thì sai số sẽ khá lớn. Trong tính toán kỹ thuật cho hơi người ta thường dùng các bảng số hoặc đồ thị đã được xây dựng sẵn cho từng loại hơi.

a) Bảng hơi nước:

Trạng thái của CMG được xác định khi biết hai thông số trạng thái độc lập:

Đối với nước sôi ($x = 0$) và hơi bão hòa khô ($x = 1$) chỉ cần biết áp suất (p) hoặc nhiệt độ (t) sẽ xác định được trạng thái vì đã biết trước độ khô. Đối với nước chưa sôi và hơi quá nhiệt người ta thường chọn áp suất (p) và nhiệt độ (t) là hai thông số độc lập để xây dựng bảng trạng thái. Các bảng trạng thái của nước (chưa sôi, nước sôi, hơi bão hòa khô, hơi quá nhiệt) và một số chất lỏng thông dụng thường được cho trong phần phụ lục.

Đối với hơi bão hòa ẩm, người ta không lập bảng trạng thái mà xác định trạng thái của nó trên cơ sở độ khô và các thông số trạng thái của nước sôi và hơi bão hòa khô như sau :

$$v_x = v' + x (v'' - v') \quad [1-29]$$

$$i_x = i' + x (i'' - i') \quad [1-30]$$

$$s_x = s' + x (s'' - s') \quad [1-31]$$

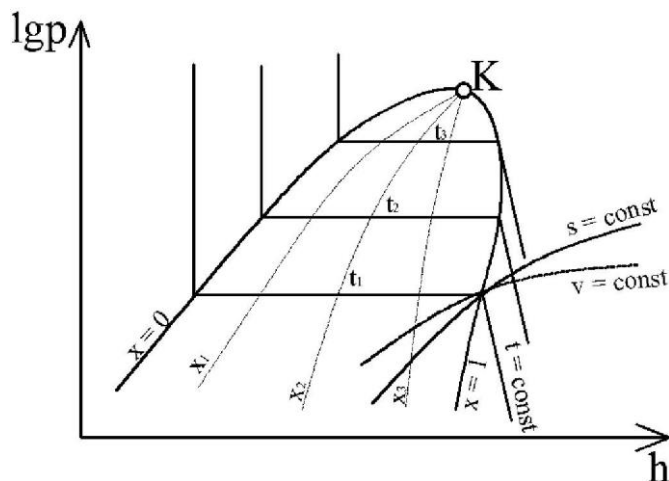
$$u_x = u' + x (u'' - u') \quad [1-32]$$

Nội năng không có trong các bảng và đồ thị. Nội năng được xác định theo enthalpy bằng công thức sau :

$$u = i - pv \quad [1-33]$$

b) Đồ thị lgp - h (hay lgp - i):

Bên cạnh việc dùng bảng, người ta có thể sử dụng các đồ thị trạng thái để tính toán cho hơi.



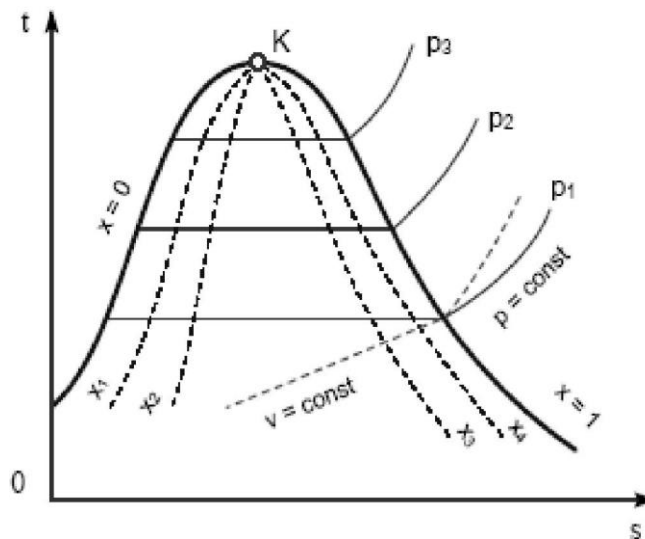
Hình 1.12: Đồ thị lgp-h của hơi nước

Trên đồ thị lgp-h các đường đẳng áp là đường thẳng song song với trục hoành. Các đường đẳng nhiệt trong vùng hơi bão hòa ẩm trùng với các đường đẳng áp tương ứng, ở vùng hơi quá nhiệt là những đường cong hướng xuống gần như thẳng đứng trong khi đó ở vùng lỏng chưa sôi có thể xem là đường thẳng đứng song song với trục tung. Chiều tăng của nhiệt độ cùng với chiều tăng của

áp suất. Các đường đẳng entropy và đẳng tích là các đường cong có bề lồi quay về phía trên nhưng đường đẳng entropy dốc hơn so với đường đẳng tích. Các đường có độ khô không đổi ($x = \text{const}$) xuất phát từ điểm tới hạn K tỏa xuống phía dưới.

c) Đồ thị $T - s$ của hơi nước:

Trên đồ thị $T-s$ (Hình 1.13), các đường đẳng áp $p = \text{const}$ trong vùng nước chưa sôi hầu như trùng với đường giới hạn dưới ($x = 0$), trong vùng hơi bão hòa ẩm là các đoạn thẳng nằm ngang và trùng với đường đẳng nhiệt ($T = \text{const}$), trong vùng hơi quá nhiệt là các đường cong đi lên. Chiều tăng của áp suất cùng với chiều tăng của nhiệt độ



Hình 1.13: Đồ thị $T - s$ của hơi nước

1.3. Các quá trình nhiệt động cơ bản của hơi:

1.3.1. Các quá trình nhiệt động cơ bản của hơi trên đồ thị lgp-h:

Các quá trình cơ bản của chất thuần khiết cũng được khảo sát thông qua nước và hơi nước.

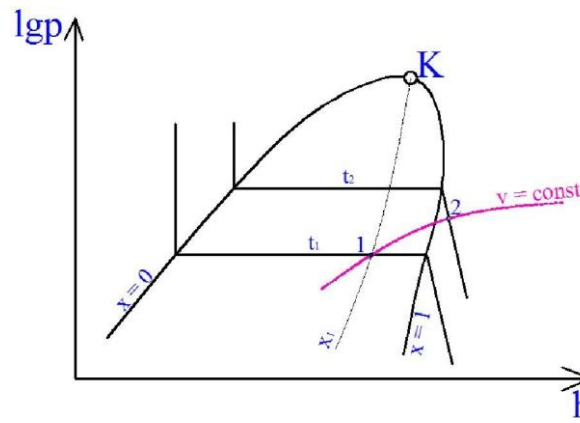
Để khảo sát một quá trình nào đó, ta thường phải tiến hành các bước sau:

- Xác định điểm biểu diễn trạng thái đầu của quá trình trên đồ thị tương ứng.

- Từ đặc điểm của quá trình và một thông số trạng thái đã biết của điểm cuối ta xác định được điểm biểu diễn trạng thái cuối.

- Kết hợp giữa bảng và đồ thị ta sẽ xác định được các thông số trạng thái cần thiết và qua đó tính được lượng nhiệt và công trao đổi giữa chất môi giới và môi trường.

a) Quá trình đẳng tích ($v = \text{const}$):



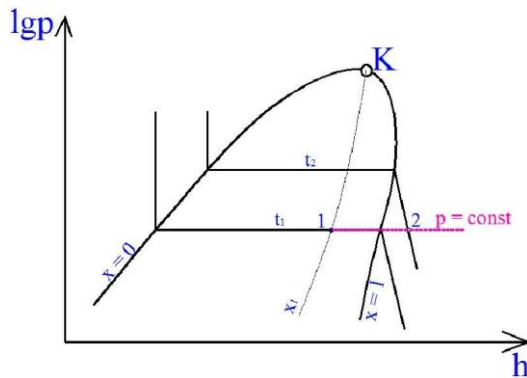
Hình 1.14: Đồ thị biểu diễn quá trình đẳng tích

Nội năng: $\Delta u = u_2 - u_1 = (h_2 - p_2.v_2) - (h_1 - p_1.v_1)$ [1-34a]

Công của trong quá trình: $l = \int_1^2 p.dv = 0$ [1-34b]

Nhiệt lượng tham gia trong quá trình: $\Delta q = \Delta u + l = \Delta u$ [1-34c]

b) Quá trình đẳng áp ($p = \text{const}$):



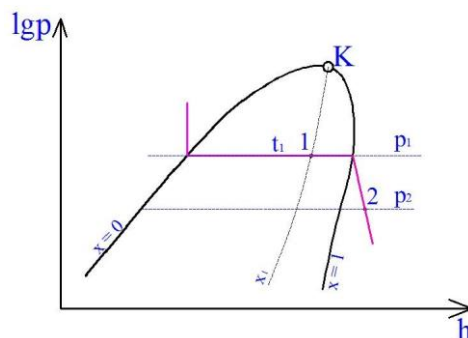
Hình 1.15: Đồ thị biểu diễn quá trình đẳng áp

- Nội năng: $\Delta u = u_2 - u_1 = (h_2 - p_2.v_2) - (h_1 - p_1.v_1)$ [1-35a]

- Công của trong quá trình: $l = \int_1^2 p.dv = p(v_2 - v_1)$ [1-35b]

- Nhiệt lượng tham gia trong quá trình: $\Delta q = \Delta u + l = h_2 - h_1$ [1-35c]

c) Quá trình đẳng nhiệt ($t = \text{const}$):



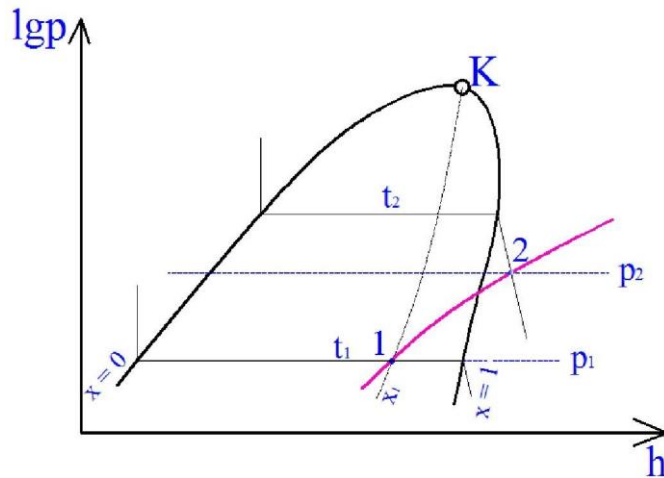
Hình 1.16: Đồ thị biểu diễn quá trình đẳng nhiệt

- Nội năng: $\Delta u = u_2 - u_1 = (h_2 - p_2 \cdot v_2) - (h_1 - p_1 \cdot v_1)$ [1-36a]

- Nhiệt lượng tham gia trong quá trình: $q = T(s_2 - s_1)$ [1-36b]

- Công của trong quá trình: $l = q - \Delta u$ [1-36c]

d) Quá trình đoạn nhiệt ($s = \text{const}$)



Hình 1.17: Đồ thị biểu diễn quá trình đoạn nhiệt

- Nội năng: $\Delta u = u_2 - u_1 = (h_2 - p_2 \cdot v_2) - (h_1 - p_1 \cdot v_1)$ [1-37a]

- Nhiệt lượng tham gia trong quá trình: $q = 0$ [1-37b]

- Công của trong quá trình: $l = q - \Delta u = -\Delta u$ [1-37c]

- Công kỹ thuật của quá trình: $l_{kt} = -\Delta h = h_1 - h_2$ [1-37d]

1.3.2. Quá trình lưu động và tiết lưu:

1.3.3. Quá trình lưu động:

a) Khái niệm:

Trong thực tế kỹ thuật, tùy theo mục tiêu kỹ thuật, ta có thể gặp rất nhiều các quá trình lưu động với các dạng khác nhau trong các thiết bị. Ví dụ: trong một số động cơ hiện nay khi yêu cầu tốc độ động cơ lớn, nếu sử dụng động cơ piston sẽ gặp một số hạn chế như: sức bền không cho phép, công suất thừa... Để khắc phục người ta sử dụng loại động cơ có cánh (Tuabin) dùng trong máy phát điện, động cơ phản lực... Trong trường hợp này dòng khí hoặc hơi có chuyển động tương đối lớn nên ta không thể bỏ qua động năng của chúng được. Sự chuyển động của dòng khí hoặc hơi như vậy gọi là quá trình lưu động.

b) Giả thiết khi nghiên cứu quá trình lưu động:

Để thuận tiện cho việc nghiên cứu quá trình lưu động, ta dựa trên một số các giả thiết sau:

- Chuyển động của dòng trong kênh dẫn là đoạn nhiệt.
- Tất cả các thông số đặc trưng cho trạng thái của CMG ở mỗi tiết diện đều là hằng số.
- Tốc độ dòng ở mỗi tiết diện ngang đều là hằng số.
- Điều kiện chuyển động trong kênh dẫn không thay đổi theo thời gian, lưu lượng qua tiết diện là hằng số.

1.3.4. Quá trình tiết lưu:

a) Khái niệm:

Thực nghiệm cho thấy khi dòng lưu chất chuyển động trong ống nếu gặp trở lực đột ngột (van, ống mao, van tiết lưu...) thì áp suất phía sau tiết diện bị thu hẹp sẽ thấp hơn áp suất phía trước. Quá trình này gọi là quá trình tiết lưu.

b) Đặc điểm:

- Quá trình tiết lưu là quá trình không thuận nghịch và là quá trình đoạn nhiệt nên không phải là quá trình đẳng entropy (trao đổi nhiệt giữa CMG và môi trường rất nhỏ).

- Khi qua tiết lưu áp suất giảm nhưng không sinh công ngoài mà để thắng sức cản do ma sát và xoáy.

Từ định luật nhiệt động 1 cho dòng khí ta có:

$$dq = dh + d(\omega^2/2) = 0 \text{ (đoạn nhiệt)} \Rightarrow dh = -\omega.d\omega$$

Tích phân từ 0 đến 1 ta được:

$$h_0 - h_1 = (\omega_1^2 - \omega_0^2)/2 \quad [1-38]$$

Theo thực nghiệm vận tốc trước và sau tiết lưu xem như không đổi nên $\omega_1 = \omega_0$, do đó $h_0 = h_1$.

Vậy quá trình tiết lưu là quá trình có enthalpy của chất môi giới không bị thay đổi.

- Đối với khí lý tưởng ta có:

$$dh = c_p.dT = 0$$

Nên quá trình tiết lưu đối với khí lý tưởng có nhiệt độ không đổi.

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

1.4.1. Khái niệm và định nghĩa chu trình nhiệt động:

a) Định nghĩa về chu trình:

Trong các máy nhiệt, để sinh công một cách liên tục, CMG sau khi giãn nở cần phải tạo ra quá trình để đưa CMG về trạng thái ban đầu. Nó có nghĩa CMG phải tạo các quá trình kín, hay nói cách khác là nó thực hiện một chu trình.

b) Chu trình thuận chiều:

** Định nghĩa:*

Chu trình thuận chiều là chu trình mà môi chất nhận nhiệt từ nguồn nóng nhả cho nguồn lạnh và biến một phần nhiệt thành công, còn được gọi là chu trình sinh công. Qui ước: công của chu trình thuận chiều $l > 0$. Đây là các chu trình được áp dụng để chế tạo các động cơ nhiệt.

Hay nói cách khác: chu trình thuận chiều là chu trình có các quá trình tiến hành theo cùng chiều kim đồng hồ.

** Hiệu quả chu trình:*

Để đánh giá hiệu quả biến đổi nhiệt thành công của chu trình thuận chiều, người ta dùng hệ số η_{ct} , gọi là hiệu suất nhiệt của chu trình.

Hiệu suất nhiệt của chu trình bằng tỷ số giữa công chu trình sinh ra với nhiệt lượng mà môi chất nhận được từ nguồn nóng.

$$\eta_{ct} = \frac{1}{q_1} \frac{q_1 - |q_2|}{q_1} \quad [1-39]$$

Ở đây: q_1 là nhiệt lượng mà môi chất nhận được từ nguồn nóng,
 q_2 là nhiệt lượng mà môi chất nhả ra cho nguồn lạnh,
 l là công chu trình sinh ra, hiệu nhiệt lượng mà môi chất trao đổi với nguồn nóng và nguồn lạnh. Vậy ta có: $l = q_1 - |q_2|$, vì $\Delta u = 0$.

c) Chu trình ngược chiều:

* *Định nghĩa:*

Chu trình ngược chiều là chu trình mà môi chất nhận công từ bên ngoài để lấy nhiệt từ nguồn lạnh nhả cho nguồn nóng, công tiêu tốn được qui ước là công âm, $l < 0$.

Hay nói cách khác: chu trình ngược chiều là chu trình có các quá trình tiến hành theo ngược chiều kim đồng hồ.

* *Hệ số làm lạnh:*

Để đánh giá hiệu quả biến đổi năng lượng của chu trình ngược chiều, người ta dùng hệ số ε , gọi là hệ số làm lạnh của chu trình.

Hệ số làm lạnh của chu trình là tỷ số giữa nhiệt lượng mà môi chất nhận được từ nguồn lạnh với công tiêu tốn cho chu trình.

$$\varepsilon = \frac{q_2}{l} = \frac{q_2}{|q_1| - q_2} \quad [1-40a]$$

Trong đó: q_1 là nhiệt lượng mà môi chất nhả cho nguồn nóng,
 q_2 là nhiệt lượng mà môi chất nhận được từ nguồn lạnh,
 l là công chu trình tiêu tốn, $l = |q_1| - q_2$, vì $\Delta u = 0$.

Còn đối với chu trình bơm nhiệt ta có hệ số bơm nhiệt φ

$$\varphi = \frac{|q_1|}{l} = \frac{|q_1|}{|q_1| - q_2} \quad [1-40b]$$

Mối quan hệ giữa φ và ε : $\varphi = 1 + \varepsilon$

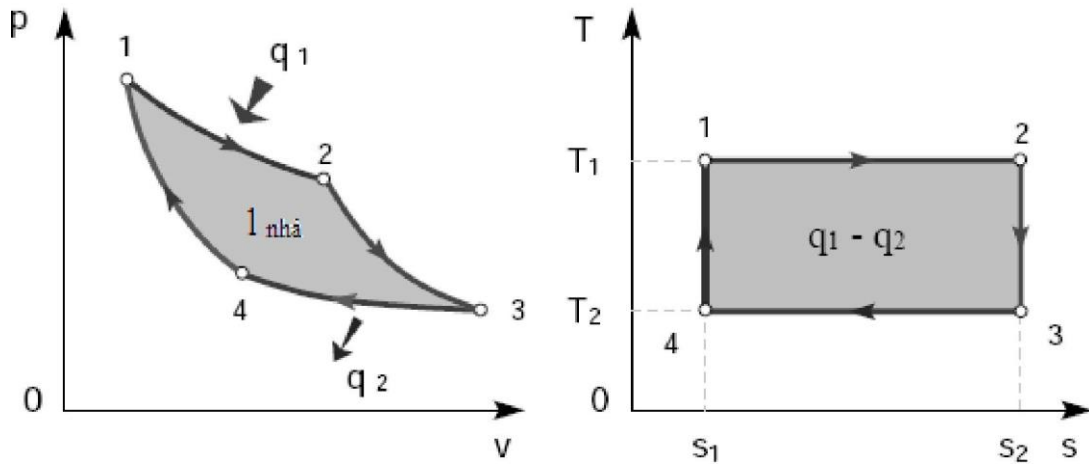
d) Chu trình Carno:

* *Chu trình Carno thuận nghịch thuận chiều:*

Đồ thị p-v và T-s của chu trình Carno thuận chiều được biểu diễn trên hình 1.18.

- + 4-1 là quá trình nén đoạn nhiệt, nhiệt độ môi chất tăng từ T_2 đến T_1 ;
- + 1-2 là quá trình dẫn nở đẳng nhiệt, môi chất tiếp xúc với nguồn nóng có nhiệt độ T_1 không đổi và nhận từ nguồn nóng một nhiệt lượng là: $q_1 = T_1(s_2 - s_1)$
- + 2-3 là quá trình dẫn nở đoạn nhiệt, sinh công l , nhiệt độ môi chất giảm từ T_1 đến T_2

+ 3-4 là quá trình nén đẳng nhiệt, môi chất tiếp xúc với nguồn lạnh có nhiệt độ T_1 không đổi và nhả cho nguồn lạnh một nhiệt lượng là: $q_2 = T_2(s_3 - s_4)$.



Hình 1.18: Đồ thị p-v và T-s của chu trình Carno thuận chiều

Hiệu suất nhiệt của chu trình thuận chiều được tính theo công thức [1-39]. Khi thay các giá trị q_1 và $|q_2|$ vào ta có hiệu suất nhiệt của chu trình Carno thuận chiều là:

$$\eta_{ct} = \frac{1}{q_1} \frac{q_1 - |q_2|}{q_1} = \frac{T_1(s_2 - s_1) - T_2(s_3 - s_4)}{T_1(s_2 - s_1)} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad [1-41]$$

+ Nhận xét:

- Hiệu suất nhiệt của chu trình Carno thuận chiều chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ nguồn nóng T_1 và nhiệt độ nguồn lạnh T_2 mà không phụ thuộc vào bản chất của môi chất.
- Hiệu suất nhiệt của chu trình Carno càng lớn khi nhiệt độ nguồn nóng càng cao và nhiệt độ nguồn lạnh càng thấp.
- Hiệu suất nhiệt của chu trình Carno luôn nhỏ hơn một vì nhiệt độ nguồn nóng không thể đạt vô cùng và nhiệt độ nguồn lạnh không thể đạt đến không.
- Hiệu suất nhiệt của chu trình Carno thuận nghịch lớn hơn hiệu suất nhiệt của chu trình khác khi có cùng nhiệt độ nguồn nóng và nhiệt độ nguồn lạnh.

* Chu trình carno thuận nghịch ngược chiều:

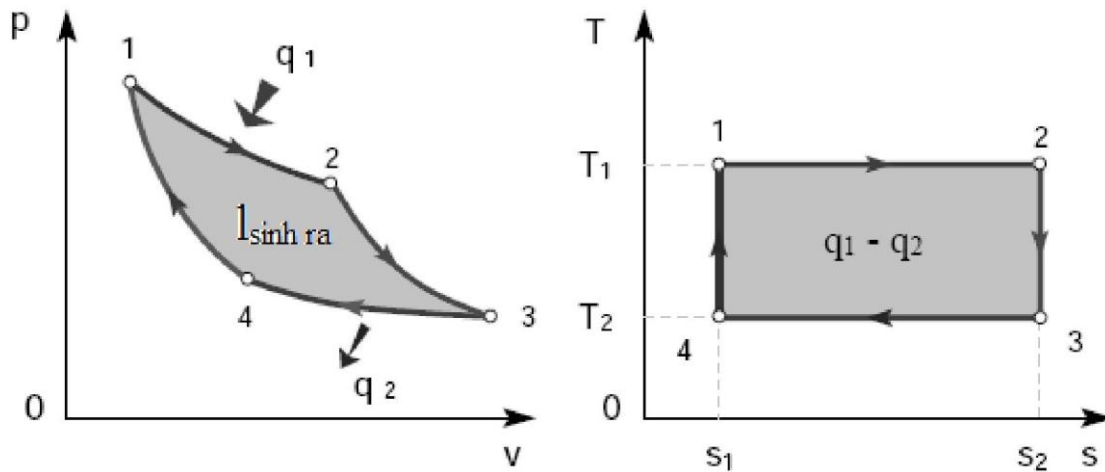
Đồ thị p-v và T-s của chu trình Carno ngược chiều được biểu diễn trên hình 1.19.

+ 4-3 là quá trình giãn nở đẳng nhiệt, môi chất tiếp xúc với nguồn lạnh có nhiệt độ T_2 không đổi và nhận từ nguồn lạnh một nhiệt lượng là: $q_2 = T_2(s_3 - s_4)$

+ 3-2 là quá trình nén đoạn nhiệt, tiêu tốn công nén là 1, nhiệt độ môi chất tăng từ T_2 đến T_1

+ 2-1 là quá trình nén đẳng nhiệt, môi chất tiếp xúc với nguồn nóng có nhiệt độ T_1 không đổi và nhả cho nguồn nóng một nhiệt lượng là: $q_1 = T_1(s_2 - s_1)$

+ 1-4 là quá trình giãn nở đoạn nhiệt, nhiệt độ môi chất giảm từ T_1 đến T_2 .



Hình 1.19: Đồ thị p-v và T-s của chu trình Carno ngược chiều

Hệ số làm lạnh của chu trình ngược chiều:

Khi thay các giá trị $|q_1|$ và q_2 vào ta có hệ số làm lạnh của chu trình Carno thuận nghịch ngược chiều là:

$$\frac{q_2}{l} = \frac{q_2}{|q_1| - q_2} = \frac{T_2(s_3 - s_4)}{T_1(s_2 - s_1) - T_2(s_3 - s_4)} = \frac{T_2}{T_1 - T_2} = \frac{1}{\frac{T_1 - T_2}{T_2}} \quad [1-42]$$

+ Nhận xét:

- Hệ số làm lạnh của chu trình Carno ngược chiều chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ nguồn nóng T_1 và nhiệt độ nguồn lạnh T_2 mà không phụ thuộc vào bản chất của môi chất.
- Hệ số làm lạnh của chu trình Carno càng lớn khi nhiệt độ nguồn nóng càng thấp và nhiệt độ nguồn lạnh càng cao.
- Hệ số làm lạnh của chu trình Carno có thể lớn hơn 1.

e) Định luật nhiệt động II:

* *Phát biểu Clausius:*

Nhiệt lượng không thể tự truyền từ vật có nhiệt độ thấp đến vật có nhiệt độ cao hơn. Muốn thực hiện quá trình này thì phải tiêu tốn một phần năng lượng bên ngoài (chu trình ngược chiều).

Hay nói cách khác: hệ số làm lạnh của máy lạnh, hay hệ số làm nóng của bơm nhiệt không thể nào tiến đến vô cùng.

* *Phát biểu Kenvil Planck:*

Không thể có bất kỳ động cơ nhiệt nào có thể biến toàn bộ nhiệt lượng nhận được thành ra công. Hay không thể tồn tại bất kỳ động cơ nhiệt nào có hiệu suất nhiệt 100%.

Khi nhiệt độ $T_1 = T_2 = T$ thì hiệu suất $\eta_{ct} = 0$, nghĩa là không thể nhận công từ một nguồn nhiệt. Muốn biến nhiệt thành công thì động cơ nhiệt phải làm việc theo chu trình với hai nguồn nhiệt có nhiệt độ khác nhau. Trong đó một

nguồn cấp nhiệt cho môi chất và một nguồn nhận nhiệt môi chất nhả ra. Điều đó có nghĩa là không thể biến đổi toàn bộ nhiệt nhận được từ nguồn nóng thành công hoàn toàn, mà luôn phải mất đi một lượng nhiệt thải cho nguồn lạnh. Có thể thấy được điều đó vì: $T_1 < \infty$ và $T_2 > 0$, do đó $\eta_{ct} < \eta_{ctCarno} < 1$, nghĩa là không thể biến hoàn toàn nhiệt thành công.

* Các hệ quả của định luật nhiệt động II:

- Khi hoạt động giữa các giới hạn nhiệt độ như nhau, không thể có bất kì 1 chu trình nhiệt động thuận chiều thực tế nào có hiệu suất nhiệt lớn hơn hoặc bằng hiệu suất nhiệt của chu trình Carno.

$$\max \eta_{ct} = \eta_{ctCarno} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

- Tất cả các chu trình Carno thuận chiều đều có hiệu suất nhiệt bằng nhau nếu cùng hoạt động giữa các nguồn nóng và nguồn lạnh như nhau.

- Khi tiến hành 1 chu trình thuận nghịch bất kỳ (bao gồm các quá trình thuận nghịch), ta luôn có:

$$\oint \frac{\delta Q}{T} = 0$$

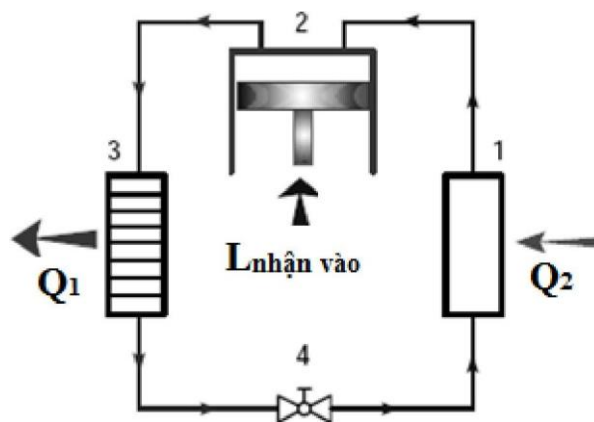
- Khi tiến hành 1 chu trình không thuận nghịch bất kỳ (bao gồm các quá trình không thuận nghịch), ta luôn có:

$$\oint \frac{\delta Q}{T} < 0$$

Vậy: Hiệu suất nhiệt của chu trình không thuận nghịch nhỏ hơn hiệu suất nhiệt của chu trình thuận nghịch: $\eta_{kTN} < \eta_{TN}$

1.4.2. Chu trình nhiệt động của máy lạnh và bơm nhiệt:

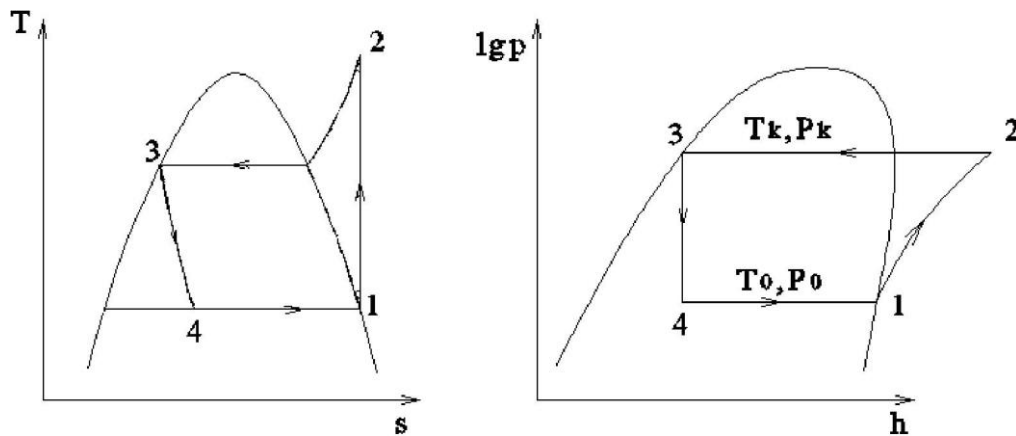
a) Sơ đồ nguyên lý:



Hình 1.20: Nguyên lý hoạt động của máy lạnh và bơm nhiệt dùng tác nhân lạnh là chất lỏng dễ bay hơi

1- Thiết bị bay hơi, 2- Máy nén, 3- Thiết bị ngưng tụ, 4- Thiết bị tiết lưu

b) Đồ thị:



Hình 1.21: Đồ thị $T-s$ và $lgp-h$

Trong đó : 1-2 : quá trình nén đoạn nhiệt đẳng entropy ở máy nén
 2-3 : quá trình nhả nhiệt đẳng áp ở thiết bị ngưng tụ
 3-4 : quá trình tiết lưu đẳng enthanpy ở thiết bị tiết lưu
 4-1 : quá trình nhận nhiệt đẳng áp ở thiết bị bay hơi

c) Hệ số làm lạnh và bơm nhiệt:

- Công nén riêng:

$$l = h_2 - h_1 \quad [1-43]$$

- Nhiệt lượng nhận được ở THBH:

$$q_o = q_2 = h_1 - h_4 \quad [1-44]$$

- Nhiệt lượng thải ra ở TBNT:

$$q_k = q_1 = h_2 - h_3 \text{ hay } q_k = l + q_o \quad [1-45]$$

- Hệ số lạnh:

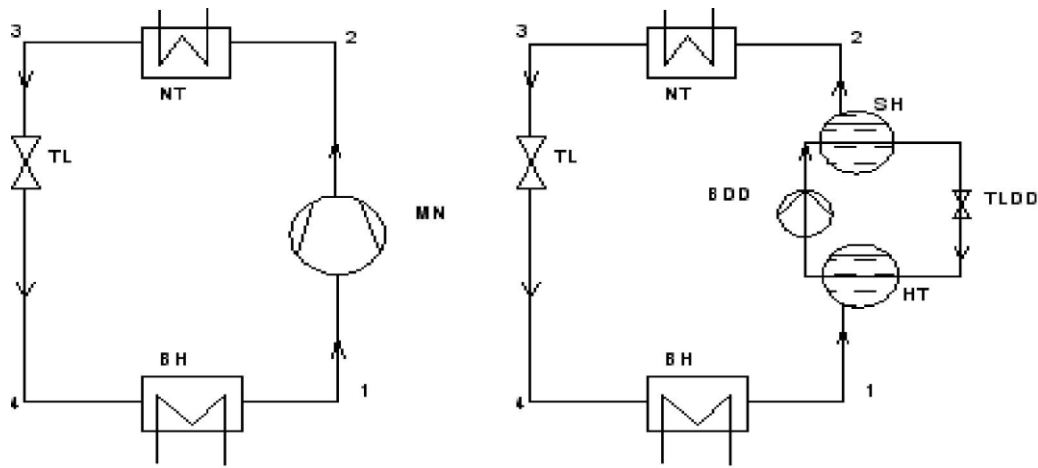
$$\epsilon = \frac{q}{l} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad [1-46]$$

- Tương tự hệ số bơm nhiệt của chu trình:

$$\epsilon_k = \frac{|q_1|}{l} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1} \quad [1-47]$$

1.4.3. Chu trình máy lạnh hấp thụ:

Để dễ hiểu chúng ta quan sát nguyên lý làm việc của máy lạnh nén hơi và máy lạnh hấp thụ biểu diễn trên hình 1.22. Hình 1.22a là máy lạnh nén hơi đơn giản, trong đó quá trình 1 - 2 là quá trình nén hơi từ áp suất p_o lên p_k ; 2 - 3 là quá trình ngưng tụ từ hơi thành lỏng; 3 - 4 là quá trình tiết lưu từ áp suất p_k xuống áp suất p_o và 4 - 1 là quá trình bay hơi thu nhiệt của môi trường lạnh tạo hiệu ứng lạnh



a)

b)

Hình 1.22: Sơ đồ nguyên lý của máy lạnh

MN – máy nén; *NT* – thiết bị ngưng tụ; *TL* – van tiết lưu; *BH* – thiết bị bay hơi; *SH* – bình sinh hơi; *TLDD* – van tiết lưu dung dịch; *HT* – bình hấp thụ; *BDD* – bơm dung dịch.

So sánh 2 sơ đồ a và b ta thấy các quá trình 2 - 3; 3 - 4; 4 - 1 là giống nhau. Riêng quá trình nén hơi của 1 - 2 của máy lạnh hấp thụ được thay bằng “máy nén nhiệt” với 4 thiết bị là bình sinh hơi, bình hấp thụ bơm dung dịch và tiết lưu dung dịch. Quá trình nén hơi như sau: Hơi sinh ra ở thiết bị bay hơi được bình hấp thụ “hút” về nhờ quá trình hấp thụ hơi vào dung dịch loãng. Dung dịch loãng sau hấp thụ hơi trở thành đậm đặc và được bơm lên bình sinh hơi, ở đây dung dịch được nung nóng lên $120^{\circ}\text{C} - 130^{\circ}\text{C}$, hơi sinh ra đi vào thiết bị ngưng tụ, còn dung dịch trở thành loãng và được tiết lưu trở lại bình hấp thụ. Như vậy dung dịch đã thực hiện một vòng tuần hoàn khép kín HT – BDD – SH – TLDD - HT để nén hơi gas lạnh từ áp suất bay hơi lên áp suất ngưng tụ và đẩy vào thiết bị ngưng tụ. Bình sinh hơi được gia nhiệt bằng hơi nước nóng, khí nóng hoặc dây điện trở và có áp suất cao p_k . Ưu điểm của máy lạnh hấp thụ là:

- Không cần dùng điện nên có thể sử dụng ở những vùng không có điện. Có thể chạy bằng hơi nước thừa, khí thải, than củi.
- Máy rất đơn giản vì phần lớn chỉ là các thiết bị trao đổi nhiệt, trao đổi chất, dễ dàng chế tạo, vận hành.
- Không gây ồn ào vì bộ phận chuyển động duy nhất là bơm dung dịch.

Trong máy lạnh hấp thụ bao giờ cũng phải có gas lạnh và chất hấp thụ. Chất hấp thụ, có khả năng hấp thụ gas lạnh ở áp suất thấp và ở nhiệt độ môi trường, sinh hơi (nhả) gas lạnh ở nhiệt độ và áp suất cao. Chính vì vậy thường người ta gọi chúng là cặp môi chất của máy lạnh hấp thụ. Hai cặp môi chất thường sử dụng là amôniac/nước ($\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$), trong đó amôniac là gas lạnh, nước là chất hấp thụ và nước/bromualiti ($\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$) trong đó nước là gas lạnh và Bromualiti là chất hấp thụ.

2. TRUYỀN NHIỆT:

Mục tiêu:

- Trình bày các vấn đề về dẫn nhiệt, đối lưu, bức xạ, truyền nhiệt và các thiết bị trao đổi nhiệt.
- Phân tích được các quy luật truyền nhiệt nói chung.

2.1. Dẫn nhiệt:

2.1.1. Các khái niệm và định nghĩa:

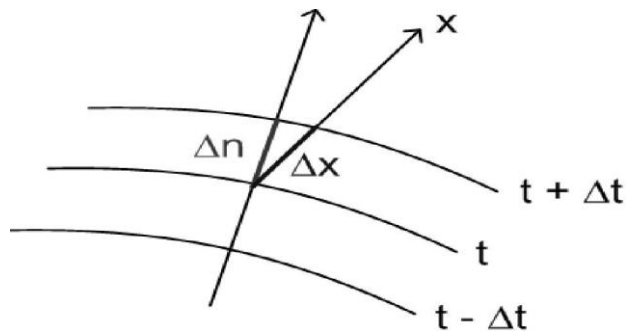
a) Trường nhiệt độ:

Nhiệt độ là một thông số trạng thái biểu thị mức độ nóng lạnh của một vật. Trong trường hợp tổng quát nhiệt độ t là hàm số của tọa độ x, y, z và thời gian τ , tức là:

$$t = f(x, y, z, \tau)$$

Đây cũng chính là biểu thức toán học diễn tả trường nhiệt độ tổng quát nhất. Tập hợp giá trị nhiệt độ của tất cả các điểm khác nhau trong không gian tại một thời điểm nào đó gọi là trường nhiệt độ.

Trường nhiệt độ có thể phân thành trường nhiệt độ ổn định (trường nhiệt độ không biến thiên theo thời gian) và trường nhiệt độ không ổn định (trường nhiệt độ biến thiên theo thời gian).



Hình 1.23: Mặt đẳng nhiệt

+ Phương trình trường nhiệt độ ổn định có dạng:

$$t = f(x, y, z) \quad \frac{\partial t}{\partial \tau} = 0 \quad [1-48a]$$

+ Phương trình trường nhiệt độ không ổn định có dạng:

$$t = f(x, y, z, \tau) \quad \frac{\partial t}{\partial \tau} \neq 0 \quad [1-48b]$$

- Trường nhiệt độ biến thiên theo 3 tọa độ gọi là trường nhiệt độ ba chiều:

$$t = f(x, y, z, \tau) \quad [1-49a]$$

- Trường nhiệt độ biến thiên theo 2 tọa độ gọi là trường nhiệt độ hai chiều:

$$t = f(x, y, \tau) \quad \frac{\partial t}{\partial z} = 0 \quad [1-49b]$$

- Trường nhiệt độ biến thiên theo 1 tọa độ gọi là trường nhiệt độ một chiều:

$$t = f(x, y, z) \quad \frac{\partial t}{\partial y} = \frac{\partial t}{\partial z} = 0 \quad [1-49c]$$

- Đơn giản nhất là trường nhiệt độ ổn định một chiều:

$$t = f(x) \quad \frac{\partial t}{\partial z} = 0 \quad \text{và} \quad \frac{\partial t}{\partial y} = \frac{\partial t}{\partial z} = 0 \quad [1-50]$$

b) Gradient nhiệt độ:

* Mặt đẳng nhiệt:

Tại một thời điểm nào đó, tập hợp tất cả các điểm của vật có nhiệt độ như nhau ta được những mặt gọi là mặt đẳng nhiệt, hay nói cách khác mặt đẳng nhiệt chính là quỹ tích của các điểm có nhiệt độ như nhau tại một thời điểm nào đó. Bởi vì một điểm trong vật không thể tồn tại hai nhiệt độ do đó các mặt nhiệt độ không cắt nhau, nó chỉ cắt bề mặt vật hoặc khép kín bên trong vật.

* Gradient nhiệt độ:

Nhiệt độ trong vật chỉ thay đổi theo phương cắt các mặt đẳng nhiệt, đồng thời sự biến thiên nhiệt độ trên một đơn vị độ dài theo phương pháp tuyến với bề mặt đẳng nhiệt là lớn nhất.

Độ tăng nhiệt độ theo phương tiếp tuyến bề mặt đẳng nhiệt được đặc trưng bằng Gradient nhiệt độ. Vậy gradient nhiệt độ là một vec tơ có phương trùng với phương pháp tuyến của bề mặt đẳng nhiệt và có chiều dài là chiều tăng nhiệt độ, về giá trị nó bằng đạo hàm của nhiệt độ theo phương đó, nghĩa là:

$$\vec{grad} t = \vec{n}_0 \frac{\partial t}{\partial n} \quad [1-51]$$

Với: $\vec{n}_0$: vectơ đơn vị theo phương pháp tuyến với bề mặt đẳng nhiệt và có chiều dài là chiều tăng nhiệt độ.

$$\frac{\partial t}{\partial n} : \text{đạo hàm của nhiệt độ theo phương pháp tuyến } n.$$

c) Mật độ dòng nhiệt:

Mật độ dòng nhiệt (q - W/m²): là lượng nhiệt truyền qua một đơn vị diện tích bề mặt đẳng nhiệt vuông góc với hướng truyền nhiệt trong một đơn vị thời gian.

Dòng nhiệt (Q - W): là lượng nhiệt truyền qua toàn bộ diện tích bề mặt đẳng nhiệt trong một đơn vị thời gian.

$$dQ = q dF \quad Q = qF \quad [1-52]$$

d) Định luật Fourier về dẫn nhiệt:

Định luật: *mật độ dòng nhiệt tỉ lệ thuận với gradient nhiệt độ.*

$$q = - \vec{grad}(t) = - \frac{\partial t}{\partial n} ; [W/m^2]$$

[1-53]

Véc tơ mật độ dòng nhiệt có phương trùng với phương của $\text{grad}(t)$, chiều dương là chiều giảm nhiệt độ (ngược chiều với $\text{grad}(t)$).

e) Hệ số dẫn nhiệt:

Là nhiệt lượng truyền qua một đơn vị diện tích bề mặt đẳng nhiệt trong một đơn vị thời gian khi $\text{grad}(t) = 1$

$$\lambda = \frac{q}{\frac{t}{n}} \quad \text{W/mK} \quad [1-54]$$

Hệ số dẫn nhiệt λ đặc trưng cho khả năng dẫn nhiệt của vật. Hệ số dẫn nhiệt phụ thuộc vào các yếu tố sau:

- Phụ thuộc vào bản chất của các chất

$$\lambda_{\text{rắn}} > \lambda_{\text{lỏng}} > \lambda_{\text{khí}}$$

- Phụ thuộc vào nhiệt độ

$$\lambda = \lambda_0(1 + bt)$$

λ_0 - hệ số dẫn nhiệt ở 0°C

b - hệ số thực nghiệm

*** Tính chất của hệ số dẫn nhiệt:**

λ của kim loại nguyên chất và hầu hết chất lỏng (trừ nước và Glyxerin) giảm khi t tăng

Chất cách nhiệt và chất khí có λ tăng khi t tăng

λ của vật liệu xây dựng còn phụ thuộc vào độ xốp và độ ẩm.

$\lambda \leq 0,2 \text{ W/mK}$ có thể làm chất cách nhiệt.

f) Phương trình vi phân dẫn nhiệt:

Để thiết lập phương trình vi phân dẫn nhiệt ta có các giả thuyết sau:

- Vật đồng chất và đẳng hướng.
- Thông số vật lý là hằng số.
- Vật xem là hoàn toàn cứng, nghĩa là sự thay đổi thể tích do nhiệt độ gây nên rất bé.
- Các phần vĩ mô của vật không có sự chuyển động tương đối với nhau.
- Nguồn nhiệt bên trong phân bố đều là $q_v = f(x, y, z, t)$

Dựa trên cơ sở định luật bảo toàn năng lượng và định luật Fourier để thiết lập phương trình vi phân dẫn nhiệt trong trường hợp khảo sát. Định luật bảo toàn năng lượng trong trường hợp cụ thể này có thể phát biểu dưới dạng sau: “ *Nhiệt lượng dQ đưa vào phần tử thể tích dv sau khoảng thời gian dt do dẫn nhiệt và nguồn nhiệt bên trong phát ra bằng sự biến thiên nội năng trong phần tử thể tích vật.* ”

Hay: $dQ_1 + dQ_2 = dQ$

trong đó:

dQ_1 : nhiệt lượng đưa vào phần tử thể tích bằng dẫn nhiệt sau khoảng thời gian $d\tau$

dQ_2 : nhiệt lượng tỏa ra trong phần tử thể tích sau khoảng thời gian $d\tau$ do nguồn nhiệt bên trong.

dQ : độ biến thiên nội năng trong phần tử thể tích dv sau khoảng thời gian $d\tau$.

Phương trình vi phân có dạng tổng quát:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) + \frac{q_v}{c \rho}$$

Đặt $\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2}$ - toán tử Laplace

Phương trình viết gọn lại như sau:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \nabla^2 t + \frac{q_v}{c \rho} \quad [1-55]$$

Trong đó: $a = \frac{\lambda}{c \rho}$: hệ số khuếch tán nhiệt, nó là thông số vật lý tồn tại trong quá trình dẫn nhiệt không ổn định và đặc trưng cho tốc độ biến thiên nhiệt độ của vật.

q_v (W/m³): năng suất phát nhiệt của nguồn nhiệt bên trong

c (kJ/kg.K): nhiệt dung riêng của vật

ρ (kg/m³): khối lượng riêng của vật.

Phương trình [1-55] gọi là phương trình vi phân dẫn nhiệt, nó thiết lập quan hệ giữa nhiệt độ tại một điểm bất kỳ trong vật biến thiên theo không gian và thời gian trong quá trình dẫn nhiệt.

g) Các điều kiện đơn trị:

- Điều kiện thời gian: cho sự phân bố nhiệt độ tại thời điểm ban đầu.
- Điều kiện hình học: cho biết hình dạng, kích thước của vật đang khảo sát.
- Điều kiện biên:

+ Loại 1: phân bố nhiệt độ trên bề mặt của vật ở thời điểm bất kỳ.

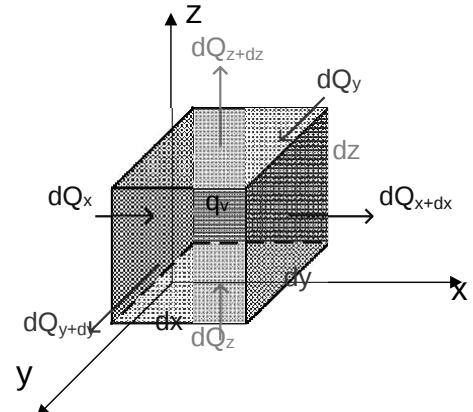
+ Loại 2: mật độ dòng nhiệt qua bề mặt vật ở thời điểm bất kỳ.

+ Loại 3: quy luật trao đổi nhiệt giữa bề mặt của vật với môi trường xung quanh.

- Điều kiện vật lý: thông số vật lý của vật đang khảo sát.

$$\left[\frac{\partial t}{\partial \tau} \right]_w = \left[\frac{\partial t}{\partial \tau} \right]_f = \left[\frac{\partial t}{\partial \tau} \right]_x = 0$$

[1-56]



Hình 1.24

Từ phương trình vi phân dẫn nhiệt ổn định chúng ta có thể tìm được sự phân bố nhiệt độ theo tọa độ và theo thời gian, trong chế độ nhiệt ổn định trường nhiệt độ không phụ thuộc theo thời gian, có nghĩa là $\frac{\partial t}{\partial \tau} = 0$. Trong trường hợp đó phương trình vi phân dẫn nhiệt có dạng:

$$a \cdot \nabla^2 t = \frac{q_v}{c} = 0 \text{ hoặc } \nabla^2 t = \frac{q_v}{c} = 0 \quad [1-57]$$

Nếu vật không có nguồn nhiệt bên trong ($q_v=0$) thì phương trình sẽ được viết lại đơn giản như sau:

$$\nabla^2 t = 0 \text{ hoặc } \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} = 0$$

Trong chương trình này ta chỉ xét dẫn nhiệt ổn định đối với các vật có hình dáng hình học đơn giản và nguồn nhiệt bên trong không tồn tại hoặc phân bố đều trong vật.

2.1.2. Dòng nhiệt ổn định dẫn qua vách phẳng và vách trụ:

a) Dẫn nhiệt qua vách phẳng không có nguồn nhiệt bên trong

* Vách phẳng một lớp:

Xét một vách phẳng đồng chất và đẳng hướng, chiều dày δ và hệ số dẫn nhiệt λ , lớp có chiều rộng rất lớn so với chiều dày, nhiệt độ hai bên giữ không đổi là t_{w1} , t_{w2} . Trong trường hợp này nhiệt độ chỉ biến thiên theo phương vuông góc với bề mặt. Nếu chọn trục Ox như hình bên thì nhiệt độ không đổi theo phương Oy và Oz, nghĩa là:

$$\frac{\partial t}{\partial y} = \frac{\partial t}{\partial z} = 0$$

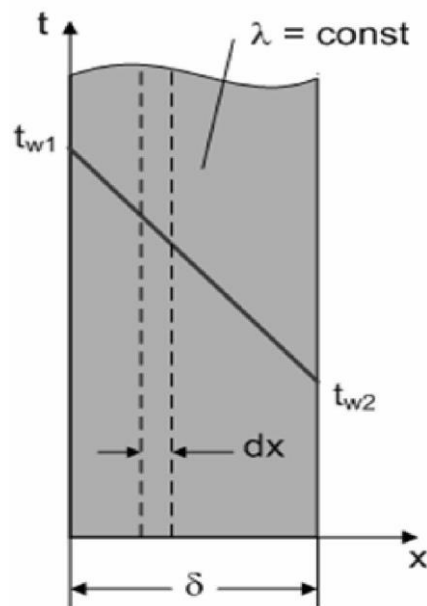
Khi các thông số c , $\lambda = \text{const}$ thì phương trình vi phân dẫn nhiệt đối với vách phẳng một lớp được viết đơn giản như sau:

$$\frac{d^2 t}{dx^2} = 0 \quad [1-58]$$

Điều kiện biên trong bài toán đang xét (điều kiện biên loại 1) có dạng:

$$x = 0 \quad t = t_{w1}$$

$$x = \delta \quad t = t_{w2}$$



Hình 1.25: Dẫn nhiệt qua vách phẳng một lớp

Để tìm quy luật phân bố nhiệt độ trong vách ta lấy tích phân phương trình [1-58].

Lấy tích phân lần 1 phương trình [1-58] ta được:

$$\frac{dt}{dx} = C_1$$

Tích phân lần 2 ta được:

$$t = C_1 x + C_2 \quad [1-59]$$

Từ kết quả trên ta thấy khi hệ số dẫn nhiệt không đổi, nhiệt độ trong vách phân bố theo quy luật đường thẳng.

Hằng số tích phân C_1, C_2 được xác định theo điều kiện biên:

$$\begin{aligned} x = 0 \quad t = t_{w1} \\ x = \delta \quad t = t_{w2} \\ t = C_1 x + C_2 \end{aligned} \Rightarrow \begin{cases} C_1 = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\delta} \\ C_2 = t_{w1} \end{cases}$$

Thay vào phương trình [1-59] ta được:

$$t = t_{w1} - \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\delta} x \quad [1-60]$$

Để xác định mật độ dòng nhiệt qua vách theo phương Ox, dựa vào định luật Fourier:

$$q = -\lambda \frac{dt}{dx}$$

Thay $\frac{dt}{dx} = C_1 = -\frac{t_{w1} - t_{w2}}{\delta}$ vào biểu thức định luật Fourier ta được:

$$q = \frac{\lambda}{\delta} (t_{w1} - t_{w2}) \quad (\text{W/m}^2) \quad [1-61]$$

Phương trình [1-61] cho ta thấy rằng nhiệt lượng truyền qua vách trong một đơn vị thời gian tỉ lệ thuận bậc nhất với hệ số dẫn nhiệt, với độ chênh nhiệt độ giữa hai bề mặt vách và tỉ lệ nghịch với chiều dày của vách.

Phương trình [1-61] có thể viết lại dưới dạng:

$$q = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\frac{\delta}{\lambda}} \quad (\text{W/m}^2) \quad [1-62]$$

Phương trình [1-62] tương tự như phương trình định luật Ohm về điện,

chúng ta có thể xem $\frac{\delta}{\lambda}$ là nhiệt trở dẫn nhiệt của vách 1 lớp. Kí hiệu: $R = \frac{\delta}{\lambda}$

Nhiệt lượng truyền qua bề mặt vách F sau khoảng thời gian Δt được xác định theo công thức sau:

$$Q = qF = \frac{\lambda}{\delta} \cdot (t_{w1} - t_{w2}) \cdot F \quad (J) \quad [1-63]$$

* *Vách phẳng nhiều lớp:*

Vách được tổ hợp từ một số các lớp vật liệu gọi là vách nhiều lớp.

+ Ví dụ: Vách lò hơi bên trong là lớp gạch chịu lửa, ngoài là lớp gạch đỏ và ngoài cùng là lớp bảo ôn hay vách kho lạnh được làm từ các tấm panel có ba lớp chính gồm hai lớp ngoài cùng bằng tôn, lớp giữa là polyurethan...

Trong phần này chúng ta sẽ giải bài toán dẫn nhiệt qua vách phẳng nhiều lớp. Giả sử chúng ta có các thông số của vách phẳng nhiều lớp như hình dưới.

Các thông số đã biết: $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \delta_1, \delta_2, \delta_3, t_{w1}, t_{w4}$

Thông số chưa biết: t_{w2}, t_{w3}

Ở chế độ nhiệt ổn định dòng nhiệt qua các bề mặt đẳng nhiệt bất kỳ của vách bằng nhau, nghĩa là: $q = 0$

Mật độ dòng nhiệt qua các vách được tính như sau:

$$q = \frac{\lambda_1}{\delta_1} (t_{w1} - t_{w2})$$

$$q = \frac{\lambda_2}{\delta_2} (t_{w2} - t_{w3})$$

$$q = \frac{\lambda_3}{\delta_3} (t_{w3} - t_{w4})$$

Từ các công thức trên ta xác định được độ chênh nhiệt độ qua các lớp:

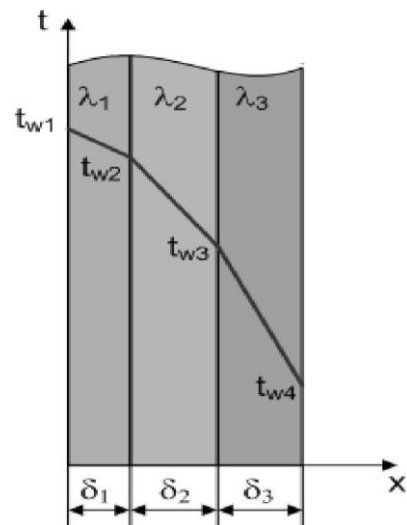
$$t_{w1} - t_{w2} = \frac{\delta_1}{\lambda_1} q$$

$$t_{w2} - t_{w3} = \frac{\delta_2}{\lambda_2} q$$

$$t_{w3} - t_{w4} = \frac{\delta_3}{\lambda_3} q$$

Cộng từng vế các biểu thức trên ta được:

$$t_{w1} - t_{w4} = q \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right)$$



Hình 1.26: Dẫn nhiệt qua vách phẳng nhiều lớp

$$q = \frac{t_{w1} - t_{w4}}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{1}{\alpha_3}} \quad [1-64]$$

Tương tự ta có thể suy ra cho nhiều lớp:

$$q = \frac{t_{w1} - t_{wn+1}}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \dots + \frac{1}{\alpha_n}} \quad (\text{W/m}^2) \quad [1-65]$$

Nhiệt trở toàn phần tính bằng công thức: $R = \frac{1}{q} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \dots + \frac{1}{\alpha_n}$

Ta có thể tính t_{w2} , t_{w3} theo công thức sau:

$$t_{w2} - t_{w1} = q \frac{1}{\alpha_1}, \quad t_{w3} - t_{w2} = q \frac{1}{\alpha_2}, \quad \dots, \quad t_{wn+1} - t_{wn} = q \frac{1}{\alpha_n} \quad [1-66]$$

b) Dẫn nhiệt qua vách trụ không có nguồn nhiệt bên trong:

* *Vách trụ một lớp:*

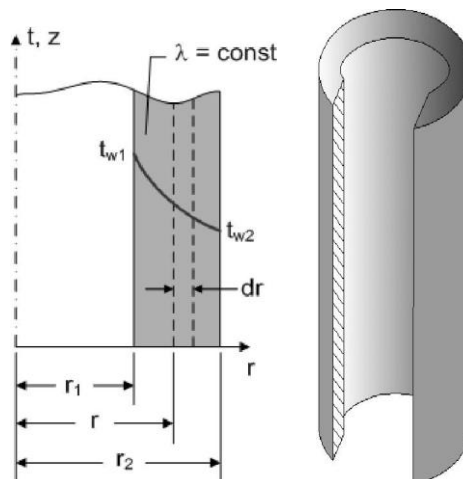
Phương trình vi phân dẫn nhiệt trong hệ tọa độ trụ cho vách trụ một lớp được viết như sau:

$$\frac{d^2 t}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dt}{dr} = 0 \quad [1-67]$$

Điều kiện biên:

Khi $r = r_1$ $t = t_{w1}$

$r = r_2$ $t = t_{w2}$



Hình 1.27: Dẫn nhiệt qua vách trụ một lớp

Giải phương trình [1-67] kết hợp với điều kiện biên, ta sẽ tìm được phương trình nhiệt độ qua vách trụ.

$$\text{Đặt } u = \frac{dt}{dr}$$

Lấy đạo hàm hai vế theo biến r ta được: $\frac{d^2t}{dr^2} = \frac{du}{dr}, \quad \frac{1}{r} \frac{dt}{dr} = \frac{u}{r}$

Thay vào phương trình (1.34) ta được:

$$\frac{du}{dr} + \frac{1}{r} u = 0 \quad \frac{du}{u} + \frac{dr}{r} = 0$$

Lấy tích phân hai vế phương trình trên ta được:

$$\ln u + \ln r = \ln C_1 \Rightarrow u \cdot r = C_1$$

Thay $u = \frac{dt}{dr}$ vào phương trình trên ta được:

$$r \frac{dt}{dr} = C_1 \quad dt = C_1 \frac{dr}{r}$$

Lấy tích phân hai vế phương trình ta được:

$$t = C_1 \ln r + C_2$$

Căn cứ vào điều kiện biên ta xác định được các hằng số tích phân C_1, C_2 :

$$\text{Khi } r = r_1 \text{ thì } t = t_{w1} = C_1 \ln r_1 + C_2$$

$$r = r_2 \text{ thì } t = t_{w2} = C_1 \ln r_2 + C_2$$

Giải hệ trên ta được :

$$C_1 = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\ln \frac{r_1}{r_2}} \quad \text{và} \quad C_2 = t_{w1} - t_{w2} \frac{\ln r_1}{\ln \frac{r_1}{r_2}}$$

Thay C_1 và C_2 vào phương trình (1.36) ta được :

$$t = t_{w1} - (t_{w1} - t_{w2}) \frac{\ln \frac{r}{r_1}}{\ln \frac{r_1}{r_2}} \quad \text{hay} \quad t = t_{w2} - (t_{w1} - t_{w2}) \frac{\ln \frac{r}{r_2}}{\ln \frac{r_1}{r_2}}$$

Từ phương trình trên ta thấy đường phân bố nhiệt độ trong vách trụ là một đường logarit.

Để tính mật độ dòng nhiệt qua mặt trụ F trong một đơn vị thời gian chúng ta áp dụng định luật Fourie như sau :

$$Q = - \frac{dt}{dr} F = - (2\pi r l) \frac{dt}{dr} = - (2\pi l) \frac{r dt}{dr} = \frac{2\pi l (t_{w1} - t_{w2})}{\ln \frac{d_2}{d_1}} \quad (W)$$

(W)

$$q = \frac{Q}{l} = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\frac{1}{2\pi} \ln \frac{d_2}{d_1}} = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{R_l} \quad (W/m) \quad [1-68]$$

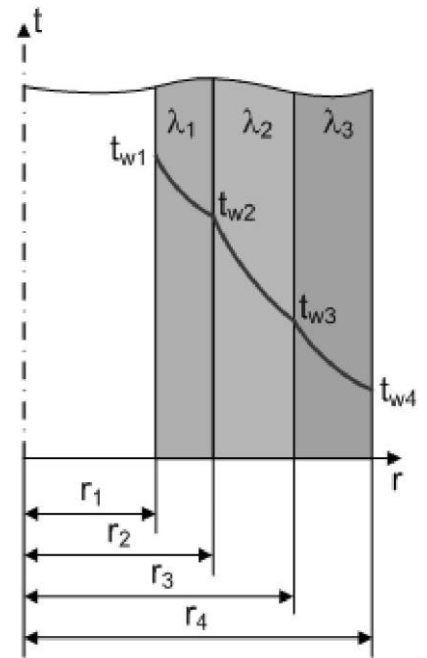
* Vách trụ nhiều lớp:

Giả thiết có một vách trụ được tổ hợp bởi ba lớp vật liệu khác nhau, có các thông số như hình bên.

Khi chế độ nhiệt ổn định, mật độ dòng nhiệt trên một đơn vị độ dài q_l không thay đổi theo chiều dày của

vách, nghĩa là: $\frac{q_l}{r} = 0$

Trong trường hợp này dòng nhiệt dẫn qua các lớp có thể tính theo công thức sau:



Hình 1.28: Dẫn nhiệt qua vách trụ nhiều lớp

$$\left. \begin{aligned} t_{w1} - t_{w2} &= q_l R_{l1} \\ t_{w2} - t_{w3} &= q_l R_{l2} \\ t_{w3} - t_{w4} &= q_l R_{l3} \end{aligned} \right\} \Rightarrow t_{w1} - t_{w4} = q_l (R_{l1} + R_{l2} + R_{l3})$$

$$q_l = \frac{(t_{w1} - t_{w4})}{R_{l1} + R_{l2} + R_{l3}}$$

Trong trường hợp vách trụ có n lớp ta có công thức tính như sau:

$$q_l = \frac{(t_{w1} - t_{w(n+1)})}{\sum R_{li}} = \frac{(t_{w1} - t_{w(n+1)})}{\sum \frac{1}{2\pi\lambda_i} \ln \left(\frac{d_{i+1}}{d_i} \right)} \quad [1-69]$$

2.1.3. Nhiệt trở của vách phẳng và vách trụ mỏng:

Ta có nhiệt trở của vách phẳng được xác định: $R = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}$

Trường hợp tính nhiệt trở của vách trụ mỏng (có $d_2/d_1 < 2$), để đơn giản có thể sử dụng công thức vách phẳng tính cho vách trụ mà sai số rất nhỏ có thể bỏ qua.

2.2. Trao đổi nhiệt đối lưu:

2.2.1. Các khái niệm và định nghĩa:

Trao đổi nhiệt đối lưu: là quá trình trao đổi nhiệt xảy ra giữa bề mặt vật rắn với chất lỏng hoặc chất khí chuyển động khi có sự chênh lệch nhiệt độ.

Trao đổi nhiệt đối lưu luôn kèm theo dẫn nhiệt (nhưng không đáng kể) vì luôn có sự tiếp xúc giữa các phần tử có nhiệt độ khác nhau.

* Công thức Newton:

Để xác định lượng nhiệt trao đổi giữa bề mặt vách chất lỏng hay chất khí ta có công thức sau::

$$q = \alpha(t_w - t_f)[W/m^2] \quad [1-70]$$

$$Q = qF = \alpha F(t_w - t_f) [W] \quad [1-71]$$

- q, Q là mật độ dòng nhiệt và dòng nhiệt
- F là diện tích bề mặt trao đổi nhiệt [m²]
- t_w, t_f là nhiệt độ bề mặt vách và chất lỏng ở xa bề mặt vách [°C]
- α là hệ số trao đổi (toả) nhiệt đối lưu [W/m²K]

* Các phương pháp xác định α:

$$\alpha = f(\alpha, \nu, C_p, \rho, \mu, t_w, t_f, \dots, \text{kích thước l...})$$

Trong đó:

t_w – nhiệt độ bề mặt, (°C)

t_f – nhiệt độ chất lỏng, (°C)

α – tốc độ chuyển động của chất lỏng, (m/s)

α – hệ số dẫn nhiệt của chất lỏng, (W/mK)

C_p – nhiệt dung riêng đẳng áp của chất lỏng, (kJ/kgK)

ρ – khối lượng riêng của chất lỏng, (kg/m³)

μ – độ nhớt động lực học của chất lỏng, (Ns/m²)

α – độ nhớt động học, (m²/s)

α – hệ số dẫn nở thể tích của chất lỏng.

Phương pháp giải tích: viết hệ phương trình vi phân và giải cùng với các điều kiện đơn trị.

Phương pháp thực nghiệm: xây dựng thí nghiệm để đo một số đại lượng cần thiết để từ đó có thể xác định được α

Lý thuyết đồng dạng: để mở rộng kết quả thực nghiệm.

+ Lý thuyết đồng dạng:

Hai hiện tượng vật lý chỉ có thể đồng dạng khi chúng có cùng bản chất vật lý và cùng được mô tả bởi một hệ phương trình vi phân, kể cả điều kiện đơn trị.

Nếu 2 hiện tượng vật lý đồng dạng được biểu diễn bằng phương trình f(α, α, α, α, l, ...), ta có các hằng số đồng dạng:

$$\frac{\alpha_1}{\alpha_2} C; \quad \frac{\alpha_1}{\alpha_2} C; \quad \frac{\alpha_1}{\alpha_2} C; \quad \frac{\alpha_1}{\alpha_2} C; \quad \frac{l_1}{l_2} C_2$$

Trong chương trình này chúng ta chỉ giới hạn xét các tiêu chuẩn đồng dạng sau:

$$Nu = \frac{\alpha l}{a}; \quad Re = \frac{U l}{\nu}; \quad Gr = \frac{g l^3 \beta \Delta t}{\nu^2}; \quad Pr = \frac{c_p \nu}{a}$$

Nếu 2 hiện tượng vật lý đồng dạng thì các tiêu chuẩn đồng dạng cùng tên có giá trị bằng nhau.

Cụ thể các tiêu chuẩn trên:

- Tiêu chuẩn Nuxen ($Nu = \frac{\alpha l}{a}$) là tiêu chuẩn biểu thị cường độ tỏa nhiệt.

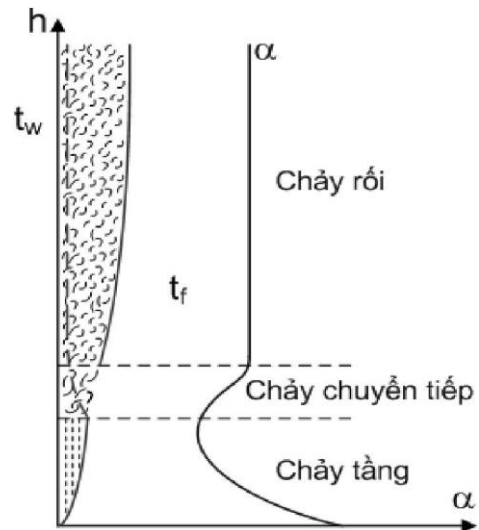
Từ tiêu chuẩn Nuxen ta tính được hệ số tỏa nhiệt α :

$$\alpha = \frac{Nu a}{l} \quad [1-72]$$

- Tiêu chuẩn Reynold ($Re = \frac{U l}{\nu}$) là tỉ số giữa lực quán tính và lực nhớt, nó biểu thị sự đồng dạng của dòng chất lỏng hoặc đồng dạng của trường tốc độ.

- Tiêu chuẩn Grashoff: $Gr = \frac{g l^3 \beta \Delta t}{\nu^2}$

- Tiêu chuẩn Prandt: $Pr = \frac{c_p \nu}{a}$



Hình 1.29: Tỏa nhiệt đối lưu giữa tấm phẳng và môi trường

2.2.2. Các nhân tố ảnh hưởng tới trao đổi nhiệt đối lưu:

Những nhân tố ảnh hưởng đến chuyển động của chất lỏng hoặc chất khí đều ảnh hưởng đến quá trình trao đổi nhiệt đối lưu.

* Nguyên nhân gây ra chuyển động:

- Chuyển động tự nhiên do chênh lệch mật độ. Lực nâng $P = g \Delta \rho$.
- Chuyển động cưỡng bức do tác dụng của ngoại lực (bơm, quạt...).

Trong chuyển động cưỡng bức luôn kèm theo chuyển động tự nhiên.

* Chế độ chuyển động (phụ thuộc vào Re):

- Chảy tầng ($Re < 2300$): quỹ đạo chuyển động của các phần tử song song với nhau.

- Chảy rối ($Re > 2300$): quỹ đạo chuyển động của các phần tử không theo quy luật nào. Trong dòng chảy rối, luôn tồn tại lớp đệm (biên) chảy tầng ở sát bề mặt vách rắn do ma sát giữa chất lỏng với nhau và với vách rắn. Chiều dày lớp đệm tầng phụ thuộc vào tốc độ chuyển động và độ nhớt của chất lỏng.

* Tính chất vật lý của chất lỏng hay chất khí:

$\rho, C_p, \nu, a, \beta, \nu$. Ta có quan hệ $\alpha = \frac{Nu a}{l}$

* Hình dạng, kích thước, vị trí bề mặt trao đổi nhiệt.

2.2.3. Một số hình thức trao đổi nhiệt đối lưu thường gặp:

a) Trao đổi nhiệt đối lưu tự nhiên:

Là quá trình trao đổi nhiệt thực hiện khi chất lỏng hay chất khí chuyển động tự nhiên.

Nguyên nhân gây ra chuyển động tự nhiên là chênh lệch mật độ giữa những vùng có nhiệt độ khác nhau. Chuyển động tự nhiên phụ thuộc vào bản chất của chất lỏng hoặc khí và độ chênh nhiệt độ.

* Đối lưu tự nhiên có thể xảy ra trong không gian vô hạn hoặc hữu hạn.

+ Trao đổi nhiệt đối lưu tự nhiên trong không gian vô hạn:

Không gian vô hạn: đủ lớn để trong đó quá trình đốt nóng hoặc làm nguội chất lỏng hay chất khí xảy ra độc lập.

Xét 2 dạng không gian vô hạn: ống hoặc tấm phẳng đặt đứng và ống hoặc tấm phẳng đặt nằm ngang.

Ta có công thức tính tiêu chuẩn Nu:

Ống hoặc tấm đặt đứng:

- Chế độ chảy tầng ($10^3 < (Gr_f Pr_f) < 10^9$)

$$Nu_f = 0,76 Gr_f^{0,25} Pr_f^{0,25} \frac{Pr_f}{Pr_w} \quad [1-73]$$

- Chế độ chảy rối ($Gr_f Pr_f > 10^9$)

$$Nu_f = 0,15 Gr_f^{0,33} Pr_f^{0,33} \frac{Pr_f}{Pr_w} \quad [1-74]$$

Ống hoặc tấm đặt ngang ($10^3 < (Gr_f Pr_f) < 10^9$)

$$Nu_f = 0,5 Gr_f^{0,25} Pr_f^{0,25} \frac{Pr_f}{Pr_w} \quad [1-75]$$

Nhiệt độ xác định: t_f

Kích thước xác định:

- Ống, tấm đặt đứng là chiều cao
- Ống nằm ngang là đường kính ngoài
- Tấm nằm ngang là chiều rộng

Với tấm nằm ngang:

- Bề mặt nóng quay lên trên $\square$ tăng 30% so với công thức
- Bề mặt nóng quay xuống dưới $\square$ giảm 30% so với công thức

* Hệ số hiệu chỉnh chiều dòng nhiệt: $\frac{Pr_f}{Pr_w}^{0,25}$

* Với chất khí: $\frac{Pr_f}{Pr_w}^{0,25} \square 1$

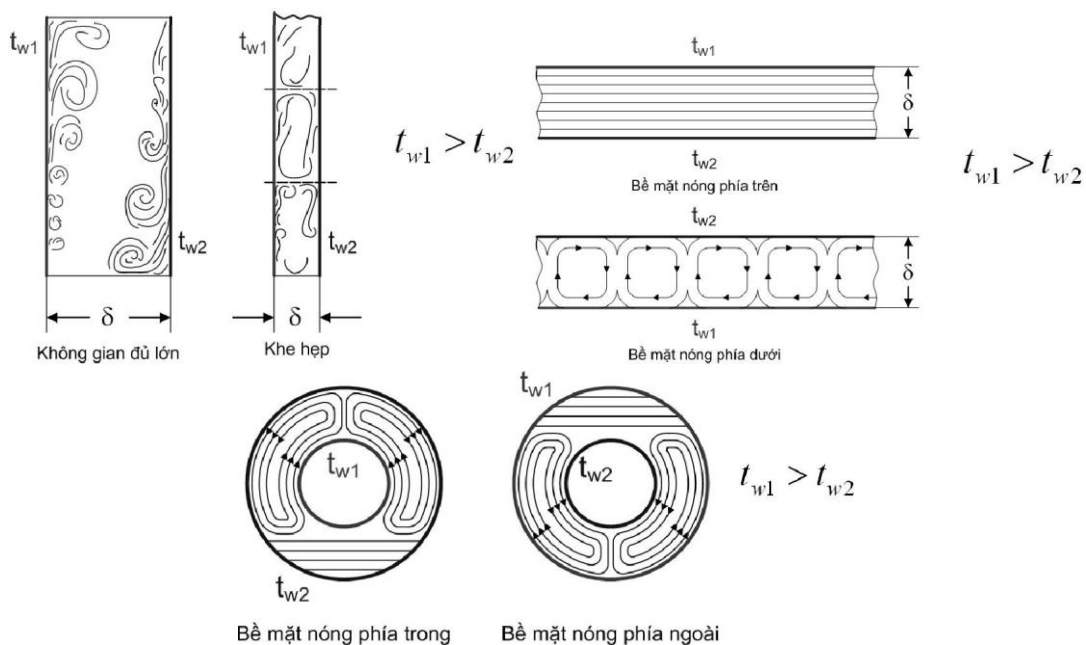
* Đối lưu tự nhiên trong không gian hữu hạn:

Không gian hữu hạn: quá trình đốt nóng hoặc làm nguội chất lỏng hay chất khí có ảnh hưởng lẫn nhau.

Các dạng không gian hữu hạn:

- Khe hẹp thẳng đứng
- Khe hẹp nằm ngang
- Khe hình xuyên ...

Khe hẹp giữa hai vách song song thẳng đứng, song song nằm ngang hoặc hình xuyên:



Hình 1.30: Tính chất chảy vòng tự nhiên của chất lỏng trong không gian hẹp
 Tính toán đối lưu tự nhiên trong không gian hữu hạn:

+ Xem quá trình là dẫn nhiệt:

$$q = \frac{\lambda}{\delta} (t_{w1} - t_{w2}) \quad \delta = \frac{\lambda}{h} \quad [1-76]$$

- Khi $10^3 < (Gr_f Pr_f) < 10^6$

$$\delta_{dl} = 0,105 Gr_f Pr_f^{0,3} \quad [1-77]$$

- Khi $10^6 < (Gr_f Pr_f) < 10^{10}$

$$\delta_{dl} = 0,40 Gr_f Pr_f^{0,2} \quad [1-78]$$

b) Trao đổi nhiệt đối lưu cưỡng bức:

Là quá trình trao đổi nhiệt thực hiện nhờ sự chuyển động cưỡng bức của chất lỏng hay khí.

Các trường hợp trao đổi nhiệt đối lưu cưỡng bức:

- Chảy trong ống

- Chảy ngoài 1 ống

- Chảy ngoài 1 chùm ống

* Trao đổi nhiệt đối lưu cưỡng bức, chất lỏng chảy trong ống:

+ Chất lỏng chảy tầng trong ống:

- Chế độ chảy tầng: $Re < 2300$

- Đối lưu tự nhiên có ảnh hưởng lớn đến trao đổi nhiệt

- Hệ số tỏa nhiệt thay đổi dọc theo chiều dài ống

- Hệ số tỏa nhiệt trung bình sẽ ổn định từ khoảng cách $l > 50d$ (d - đường kính trong của ống)

* Công thức thực nghiệm của M.A. Mikheev:

$$Nu_f = 0,15 Re_f^{0,33} Pr_f^{0,43} Gr_f^{0,1} \frac{Pr_f}{Pr_w}^{0,25} \frac{1}{lR} \quad [1-79]$$

* Đối với không khí:

$$Nu_f = 0,13 Re_f^{0,33} Gr_f^{0,1} \frac{1}{lR} \quad [1-80]$$

- Hệ số hiệu chỉnh chiều dài ống $\square_l$ lấy theo bảng dưới đây:

Bảng 1.2: Trị số $\square_l$ khi chảy tầng

l/d	1	2	5	10	15	20	30	40	50
$\square_l$	1.9	1.7	1.44	1.28	1.18	1.13	1.05	1.02	1

- Hệ số hiệu chỉnh tính đến độ cong của ống:

$$\square_R = 1 + 1,77 \frac{d}{R}$$

- Nhiệt độ tính toán là nhiệt độ trung bình của chất lỏng

- Kích thước tính toán là đường kính trong của ống

+ Chất lỏng chảy rối trong ống:

Chế độ chảy rối, đối lưu tự nhiên hầu như không ảnh hưởng đến trao đổi nhiệt.

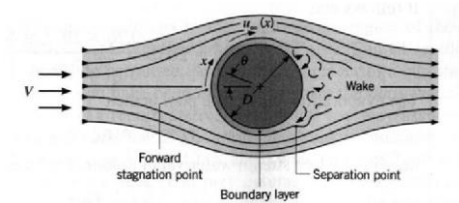
Công thức thực nghiệm của M.A. Mikheev (với $Re > 10^4$):

$$Nu_f = 0,021 Re_f^{0,8} Pr_f^{0,43} \frac{Pr_f}{Pr_w}^{0,25} \frac{1}{lR} \quad [1-81]$$

Đối với không khí:

$$Nu_f = 0,018 Re_f^{0,8} \frac{1}{lR} \quad [1-82]$$

- * Trao đổi nhiệt đối lưu cưỡng bức khi chất lỏng chảy bên ngoài ống tròn:
- + Trao đổi nhiệt đối lưu cưỡng bức chất lỏng chảy ngang qua một ống:



Hình 1.31: Chất lỏng chảy ngang qua một ống

Khi chất lỏng t_f chảy cưỡng bức với vận tốc $\vec{V}$, lệch một góc α so với trục ống có đường kính ngoài d , nhiệt độ t_w thì công thức thực nghiệm có dạng:

$$Nu_f = 0,25 Re_f^{0,6} Pr_f^{0,38} \left(\frac{Pr_f}{Pr_w} \right)^{0,25} \quad [1-83]$$

- Với không khí: $Nu_f = 0,216 Re_f^{0,6} Pr_f^{0,38} \left(\frac{Pr_f}{Pr_w} \right)^{0,25} \quad [1-84]$

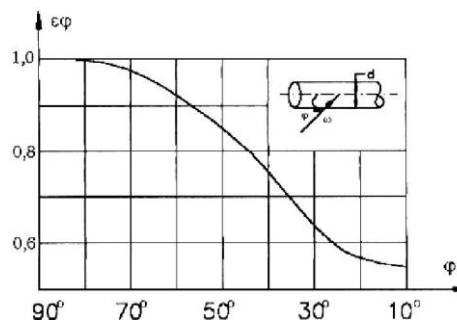
$$Nu_f = 0,5 Re_f^{0,5} Pr_f^{0,38} \left(\frac{Pr_f}{Pr_w} \right)^{0,25} \quad [1-85]$$

- Với không khí: $Nu_f = 0,43 Re_f^{0,5} Pr_f^{0,38} \left(\frac{Pr_f}{Pr_w} \right)^{0,25} \quad [1-86]$

Kích thước tính toán: là đường kính ngoài của ống.

Nhiệt độ tính toán: là nhiệt độ chất lỏng t_f .

Hệ số ảnh hưởng của góc va đập (góc tới) của dòng ϵ_φ (tra theo đồ thị hình dưới).



Hình 1.32: Ảnh hưởng của góc α đối với tỏa nhiệt

- + Trao đổi nhiệt đối lưu cưỡng bức, chất lỏng chảy ngang qua một chùm ống:

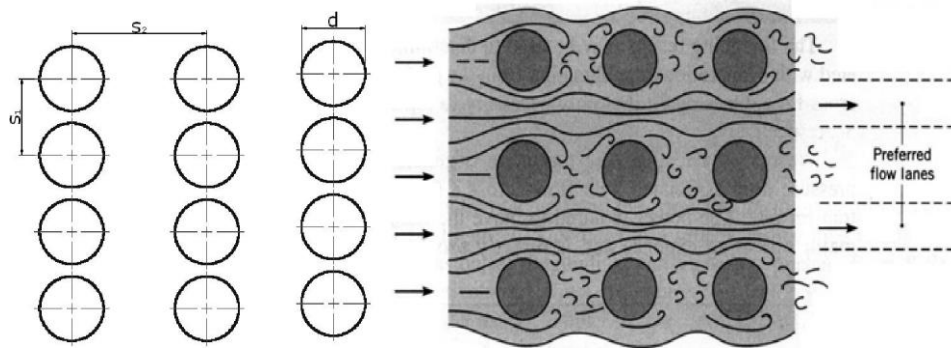
- * Các trường hợp chùm ống:

- Bố trí song song;
- Bố trí so le.

- * Đặc tính của chùm ống:

- Bước ống ngang tương đối s_1/d ;

- Bước ống dọc tương đối s_2/d .



Hình 1.33: Cụm ống song song

* Tính toán trao đổi nhiệt đối lưu cưỡng bức, lỏng chảy qua chùm ống:

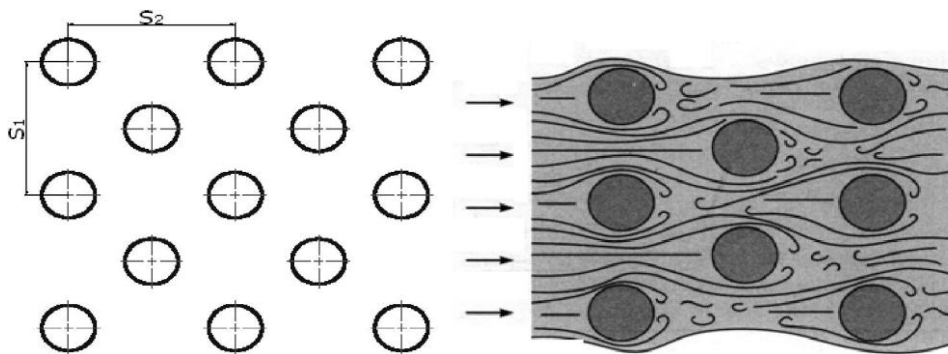
□ Khi $10^3 < Re_f < 10^5$

- Với chùm ống song song:

$$Nu_f \approx 0,26 Re_f^{0,65} Pr_f^{0,35} \left(\frac{Pr_f}{Pr_w} \right)^{0,25} \left(\frac{s_2}{d} \right)^{0,2} \left(\frac{s_1}{d} \right)^{0,2} \quad [1-87]$$

Với không khí:

$$Nu_f \approx 0,21 Re_f^{0,65} \left(\frac{s_2}{d} \right)^{0,2} \left(\frac{s_1}{d} \right)^{0,2}$$



Hình 1.34: Cụm ống so le

- Với chùm ống so le:

$$Nu_f \approx 0,41 Re_f^{0,6} Pr_f^{0,33} \left(\frac{Pr_f}{Pr_w} \right)^{0,25} \left(\frac{s_2}{d} \right)^{0,25} \left(\frac{s_1}{d} \right)^{0,25} \quad [1-89]$$

Với không khí:

$$Nu_f \approx 0,37 Re_f^{0,6} \left(\frac{s_2}{d} \right)^{0,25} \left(\frac{s_1}{d} \right)^{0,25} \quad [1-90]$$

- Kích thước xác định: là đường kính ngoài của ống.
- Nhiệt độ xác định: là nhiệt độ chất lỏng t_f .
- Tốc độ xác định: là tại tiết diện hẹp nhất.
- Hệ số ảnh hưởng của góc va đập (góc tới) của dòng □□
- Hệ số ảnh hưởng bước ống □_s

* Hệ số ảnh hưởng bước ống:

- Với chùm ống song song:

$$\left(\frac{s_2}{d} \right)^{0,15} \left(\frac{s_1}{d} \right)^{0,15} \quad [1-91]$$

- Với chùm ống so le:

Khi $s_1/s_2 < 2$

$$\frac{s_1}{s_2} \leq 1,6$$

Khi $s_1/s_2 \geq 2$

$$\frac{s_1}{s_2} \leq 1,12$$

[1-92]

* Đối với dãy ống thứ 1 và thứ 2

- Với chùm ống song song:

$$\frac{s_1}{s_2} \leq 0,6; \quad \frac{s_2}{s_1} \leq 0,9$$

- Với chùm ống so le:

$$\frac{s_1}{s_2} \leq 0,6; \quad \frac{s_2}{s_1} \leq 0,7$$

* Hệ số tỏa nhiệt trung bình của chùm ống:

$$\frac{1}{n} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} + \dots + \frac{1}{n_n} \right)$$

[1-93]

2.2.4. Tỏa nhiệt khi sôi và khi ngưng hơi:

a) Khái niệm chung:

Trong mục 2.2.3. chúng ta đã nghiên cứu quá trình tỏa nhiệt của chất lỏng trong môi trường một pha, tức là không có sự biến đổi từ pha này sang pha khác trong quá trình trao đổi nhiệt

Trong kỹ thuật chúng ta gặp nhiều trường hợp quá trình trao đổi nhiệt có kèm theo quá trình biến đổi pha như: bình ngưng trong Tuabin ngưng hơi hay thiết bị ngưng tụ trong hệ thống lạnh có quá trình trao đổi nhiệt kèm theo quá trình chuyển từ pha hơi sang pha lỏng, hay quá trình trao đổi nhiệt xảy ra ở Lò hơi của chu trình Tuabin hơi, thiết bị bay hơi trong hệ thống lạnh có kèm theo quá trình chuyển từ pha lỏng sang pha hơi.

Trong thiết bị kỹ thuật ta thường gặp nhất là trao đổi nhiệt khi sôi và ngưng.

b) Tỏa nhiệt khi sôi:

+ Sôi:

Là quá trình biến đổi từ pha lỏng sang pha hơi xảy ra trong toàn bộ khối chất lỏng. Điều kiện để xảy ra quá trình sôi là chất lỏng phải được quá nhiệt đến nhiệt độ t_f nào đó lớn hơn nhiệt độ sôi t_s ứng với một áp suất sôi nhất định và phải có tâm hóa hơi.

+ Những yếu tố ảnh hưởng đến quá trình trao đổi nhiệt khi sôi:

- Ảnh hưởng của độ chênh nhiệt độ $\Delta t = t_f - t_s$

t_f càng cao thì khả năng hình thành bọt hơi càng nhiều, tăng độ khuấy động chất lỏng làm tăng cường độ trao đổi nhiệt.

$\Delta t < 5^\circ\text{C} \Rightarrow \Delta t$ ít ảnh hưởng đến hệ số trao đổi nhiệt đối lưu và cường độ trao đổi nhiệt, quá trình sôi đối lưu tự nhiên như trong môi trường 1 pha.

$5^{\circ}\text{C} < \Delta t < 22,2^{\circ}\text{C} \Rightarrow \Delta t$ ảnh hưởng mạnh đến hệ số trao đổi nhiệt đối lưu và cường độ trao đổi nhiệt, quá trình sôi lúc này gọi là sôi bọt.

$22,2^{\circ}\text{C} < \Delta t < 110^{\circ}\text{C} \Rightarrow \Delta t$ càng tăng, hệ số trao đổi nhiệt đối lưu càng giảm, quá trình sôi lúc này gọi là sôi màng không ổn định.

$\Delta t > 110^{\circ}\text{C} \Rightarrow$ quá trình sôi lúc này gọi là sôi màng ổn định.

- Ảnh hưởng của góc dính ướt: chất lỏng dính ướt bề mặt rất dễ sôi màng và ngược lại chất lỏng không dính ướt bề mặt rất dễ sôi bọt.

- Ảnh hưởng của áp suất: áp suất bão hòa càng cao thì hệ số trao đổi nhiệt đối lưu càng lớn do bọt hơi sinh nhiều.

- Ảnh hưởng của sức căng bề mặt và độ nhớt của chất lỏng: sức căng càng lớn thì số tâm hóa hơi và cường độ tỏa nhiệt giảm, hệ số nhớt càng tăng thì hệ số trao đổi nhiệt càng giảm.

- Ảnh hưởng của trạng thái bề mặt đốt nóng: độ nhám bề mặt càng lớn thì tâm hóa hơi càng nhiều.

- Ảnh hưởng của tốc độ chuyển động của chất lỏng và cách bố trí bề mặt đốt nóng.

+ Tính toán tỏa nhiệt khi sôi:

$$q = b \frac{\Delta t^2}{T_s} \quad [1-94]$$

Trong đó: $b = 0,075 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^{2/3}}$

Tính chất vật lý chọn theo nhiệt độ sôi T_s .

Khi sôi với khoảng áp suất $p = 0,2 - 80$ bar trong không gian tự do đối với nước:

$$q = 46 \cdot t^{2,33} \cdot q^{0,5}, \text{W} / \text{m}^2 \text{K}$$

$$\text{Hoặc } q = 3,45 \cdot p^{0,5} \cdot q^{0,7}, \text{W} / \text{m}^2 \text{K} \quad [1-95]$$

$$\Delta t = t_w - t_s :$$

t_w : nhiệt độ bề mặt vách

t_s : nhiệt độ sôi

q : mật độ dòng nhiệt

c) Tỏa nhiệt khi ngưng:

+ Ngưng:

Là quá trình quá độ biến trạng thái hơi thành trạng thái lỏng hoặc trạng thái tinh thể, quá trình này gắn liền với việc biến đổi pha. Điều kiện để xảy ra quá trình ngưng là nhiệt độ bề mặt vật rắn phải thấp hơn nhiệt độ bão hòa của hơi ở áp suất tương ứng và trên bề mặt vật rắn phải có tâm ngưng tụ.

+ Những yếu tố ảnh hưởng đến quá trình trao đổi nhiệt khi ngưng:

- Ảnh hưởng của tốc độ và phương hướng lưu động của dòng hơi:

Trường hợp ngưng hơi trên ống đứng hoặc vách đứng, phương chuyển động của dòng hơi trùng với phương của trọng trường, bề dày màng nước ngưng có xu hướng giảm nên làm tăng hệ số trao đổi nhiệt đối lưu.

Khi dòng hơi chuyển động ngược chiều với lực trọng trường, màng nước ngưng bị hãm lại, bề dày nước ngưng tăng làm giảm hệ số trao đổi nhiệt đối lưu. Nếu tốc độ dòng hơi đủ lớn màng nước sẽ bị bắn tung ra làm giảm nhiệt trở và hệ số trao đổi nhiệt đối lưu sẽ tăng.

- Ảnh hưởng của khí không ngưng lẫn trong hơi: hơi có lẫn khí không ngưng thì tại màng ngưng chỉ lỏng ngưng tụ còn khí không ngưng tích tụ phía trên màng ngưng làm ngăn cản quá trình tiếp xúc giữa hơi với bề mặt vách, quá trình ngưng hơi sẽ bị giảm đáng kể, lúc đó áp suất tăng nhanh gây nguy hiểm cho thiết bị.

- Quá trình ngưng hơi còn phụ thuộc vào cách bố trí bề mặt ngưng hơi.

- Ảnh hưởng của trạng thái và vật liệu bề mặt ngưng hơi: trên các bề mặt nhám hoặc bề mặt có phủ một lớp oxit thì hệ số trao đổi nhiệt đối lưu sẽ giảm khoảng 20 – 30%.

+ Tính toán tỏa nhiệt khi ngưng:

Ngưng hơi trên vách đứng hoặc ống đứng có chiều cao H:

$$\alpha = 0,943 \sqrt{\frac{r \cdot \lambda \cdot g \cdot \rho^3}{H \cdot (t_s - t_w)}}, W / m^2.K \quad [1-96]$$

Ngưng hơi trên ống nằm ngang có đường kính d:

$$\alpha = 0,724 \sqrt{\frac{r \cdot \lambda \cdot g \cdot \rho^3}{d \cdot (t_s - t_w)}}, W / m^2.K \quad [1-97]$$

Trong đó:

g (m/s²): gia tốc trọng trường

λ (W/m. độ): hệ số dẫn nhiệt của chất lỏng

r (J/kg.độ): nhiệt ẩn hóa hơi

ρ (kg/m³): khối lượng riêng của chất lỏng

ν (m²/s): độ nhớt động học của chất lỏng

Các thông số vật lý chọn theo $t_m = 0,5(t_w + t_f)$; r chọn theo t_s .

2.3. Trao đổi nhiệt bức xạ:

2.3.1. Các khái niệm và định nghĩa:

Trao đổi nhiệt bức xạ là quá trình trao đổi nhiệt được thực hiện bằng sóng điện từ.

Tia nhiệt là tia bức xạ được các vật hấp thụ và biến thành nhiệt. Quá trình phát sinh và truyền những tia nhiệt được gọi là quá trình bức xạ nhiệt.

Tia nhiệt gồm:

- Ánh sáng trông thấy ($\lambda = 0,4 \text{ } \lambda 0,8 \text{ } \mu\text{m}$)
- Hồng ngoại ($\lambda = 0,8 \text{ } \lambda 400 \text{ } \mu\text{m}$).

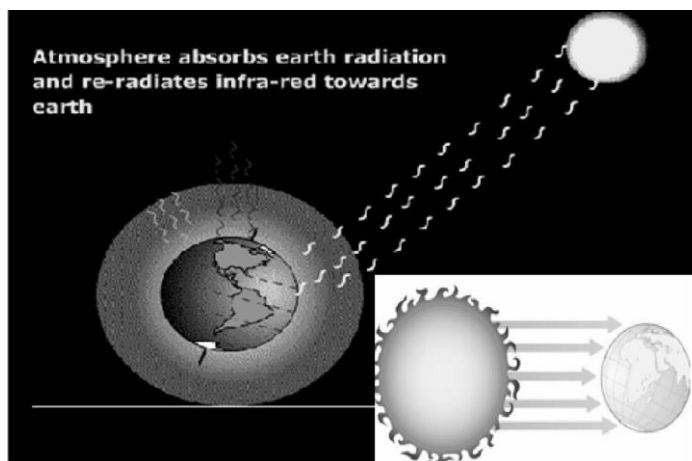
* Đặc điểm của quá trình bức xạ nhiệt là luôn gắn liền với việc chuyển hóa năng lượng từ dạng này sang dạng khác. Khi nhiệt năng của vật biến thành năng lượng của các dao động điện từ truyền đi trong không gian với vận tốc ánh sáng, khi gặp các vật khác thì một phần hoặc toàn bộ năng lượng đó bị hấp thụ và biến thành nhiệt năng. Năng lượng này một phần lại được phát trở lại dưới dạng năng lượng sóng điện từ và quá trình cứ thế tiếp tục mãi. Như vậy các vật luôn đồng thời phát ra và hấp thụ năng lượng bức xạ từ các vật khác chiếu đến.

* Nếu hệ gồm các vật có nhiệt độ như nhau thì hệ ấy ở trạng thái cân bằng nhiệt động, trong trường hợp này các vật của hệ đều bức xạ năng lượng cho nhau và đồng thời cũng hấp thụ năng lượng bức xạ của nhau, nhưng năng lượng bức xạ bằng năng lượng hấp thụ.

* Cường độ trao đổi nhiệt bức xạ phụ thuộc vào:

- Độ chênh nhiệt độ giữa các vật
- Nhiệt độ tuyệt đối của các vật.

* Trao đổi nhiệt bức xạ giữa các vật còn có thể xảy ra trong chân không.



Hình 1.35: Bức xạ nhiệt

a) Các đại lượng đặc trưng của trao đổi nhiệt bức xạ:

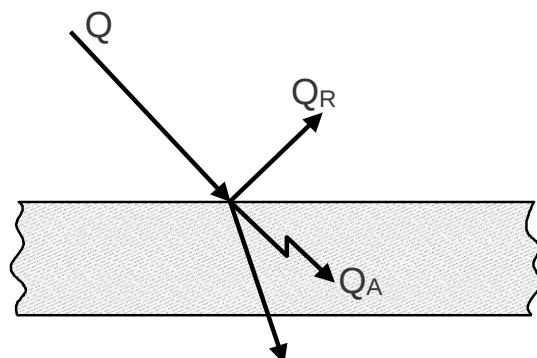
Trong các trường hợp dòng năng lượng bức xạ từ bên ngoài chiếu đến vật được khảo sát là Q , nó sẽ bị vật hấp thụ một phần Q_A để biến thành nhiệt, một phần sẽ bị phản xạ lại là Q_R , còn một phần xuyên qua vật là Q_D .

Ta có:

$$Q = Q_A + Q_R + Q_D$$

$$\frac{Q_A}{Q} + \frac{Q_R}{Q} + \frac{Q_D}{Q} = 1$$

$$A + R + D = 1$$



Q_D

Trong đó :

$$A = \frac{Q_A}{Q} \quad \text{Là hệ số hấp thụ}$$

$$R = \frac{Q_R}{Q} \quad \text{Là hệ số phản xạ của vật}$$

$$D = \frac{Q_D}{Q} \quad \text{Là hệ số xuyên qua của vật.}$$

Các hệ số A, R, D không có thứ nguyên và biến đổi từ 0 đến 1, trị số của chúng phụ thuộc vào bản chất vật lý của vật, nhiệt độ và chiều dài bước sóng mà vật đó phát đi.

- Nếu $A = 1$ ($D = R = 0$) thì vật có khả năng hấp thụ toàn bộ năng lượng bức xạ chiếu tới nó và được gọi là *vật đen tuyệt đối*.

- Nếu $R = 1$ ($D = A = 0$) thì vật sẽ phản xạ toàn bộ năng lượng bức xạ tới gọi là *vật trắng tuyệt đối* (vật gương).

- Nếu $D = 0$ ($A = R = 0$) vật sẽ cho xuyên qua toàn bộ năng lượng bức xạ tới và được gọi là *vật trong suốt tuyệt đối*.

Trong thực tế không có vật đen tuyệt đối, vật gương, vật trong suốt tuyệt đối. Đối với vật rắn thường gặp trong kỹ thuật có thể coi như $D = 0$, nó được gọi là *vật đục*.

- Dòng bức xạ: là *tổng năng lượng* bức xạ phát đi từ *diện tích F* của vật theo mọi hướng của không gian bán cầu *trong một đơn vị thời gian* ứng với *toàn bộ chiều dài bước sóng* ($\lambda = 0 \rightarrow \infty$). Ký hiệu Q, đơn vị W.

- Dòng bức xạ đơn sắc: Q_λ (từ λ đến $\lambda + d\lambda$).

- Năng suất bức xạ: là *dòng bức xạ* ứng với *một đơn vị diện tích bề mặt*.

$$E = \frac{dQ}{dF} \quad [W / m^2] \quad [1-98]$$

Trong đó: dQ – dòng bức xạ toàn phần phát ra từ bề mặt phân tố dF .

- Cường độ bức xạ: là *năng suất bức xạ* ứng với *một khoảng hẹp* (đơn vị) của *chiều dài bước sóng*.

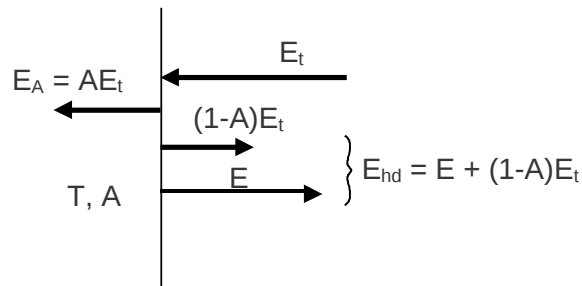
$$I_\lambda = \frac{dE}{d\lambda} \quad [W / m^3] \quad [1-99]$$

- Năng suất bức xạ riêng: là năng suất bức xạ của bản thân vật.

- Năng suất bức xạ hiệu dụng:

Giả sử một vật đục, bản thân nó phát ra một năng lượng bức xạ gọi là E_1 ; năng lượng bức xạ từ các vật xung quanh chiếu lên nó là E_t , năng lượng này bị vật hấp thụ một phần $A_1 E_t$ phần còn lại là $(1-A_1)E_t$ bị phản hồi trở lại.

$$E_{hd} = E + (1-A)E_t \quad [W / m^2] \quad [1-100]$$



Hình 1.37: Sơ đồ nguyên lý các thành phần bức xạ

b) Các định luật cơ bản của bức xạ nhiệt:

* Định luật Planck: quan hệ giữa cường độ bức xạ nhiệt độ và chiều dài bước sóng.

$$I_{0\lambda} = \frac{C_1 \lambda^{-5}}{e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1} \quad [1-101]$$

$$C_1 = 0,374 \cdot 10^{-15} \text{ [Wm}^2\text{]}$$

$$C_2 = 1,4388 \cdot 10^{-2} \text{ [mK]}$$

λ : chiều dài bước sóng (m)

T: nhiệt độ tuyệt đối của vật (K)

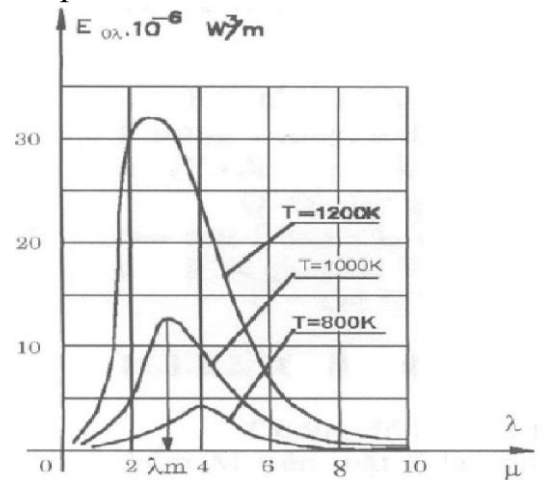
Công thức Planck có thể được biểu diễn trên đồ t

Đồ thị $E_{0\lambda}(\lambda, T)$ cho thấy $E_{0\lambda}$ tăng rất nhanh theo T và chỉ có giá trị đáng kể

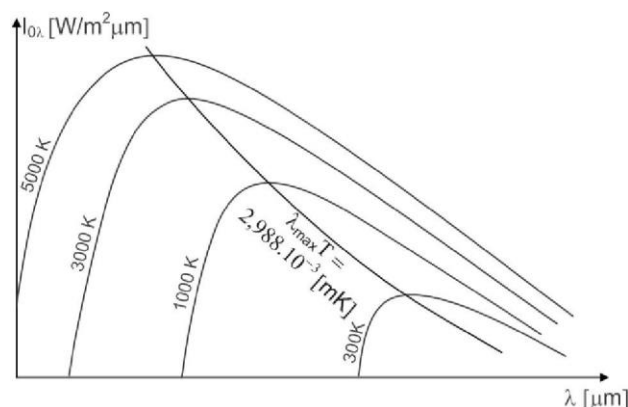
trong miền $\lambda \in (0,8 \div 10) \cdot 10^{-6} \text{ m}$.

Nhiệt độ càng tăng thì giá trị cực đại λ_m của quang phổ càng dịch về phía bước sóng ngắn, quan hệ giữa T và λ_m được xác định theo định luật Wien:

$$\lambda_m T = 2,9 \text{ (mm.K)}$$



Hình 1.38: Đồ thị định luật



Hình 1.39: Đồ thị biểu diễn định luật Wien

* Định luật Stefan - Boltzman:

Năng suất bức xạ của vật đen tuyệt đối tỉ lệ với nhiệt độ tuyệt đối lũy thừa

$$E_0 = \int_0^\infty I_{0\lambda} d\lambda = \frac{C_1}{C_2} \int_0^\infty \frac{\lambda^{-5}}{e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1} d\lambda \quad [1-102]$$

$$E = \sigma T^4 \quad \sigma = \frac{C_1}{C_2} \frac{T^4}{4} \quad [\text{W/m}^2] \quad [1-103]$$

$$\begin{matrix} 0 & 0 & 0 \\ \square & & 100 \square \end{matrix}$$

$\sigma_0 = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ [W/m}^2\text{K}^4\text{]}$ là hằng số bức xạ của vật đen tuyệt đối.

$C_0 = 5,67 \text{ [W/m}^2\text{K}^4\text{]}$ là hệ số bức xạ của vật đen tuyệt đối

+ Định luật Stefan - Boltzmann với vật xám:

$$E = C \frac{T^4}{100} \quad \text{[W/m}^2\text{]} \quad [1-104]$$

C - hệ số bức xạ của vật xám

$$E = I_0 d \quad I_0 d \quad I_0 d \quad E_0$$

$$E = C_0 \frac{T^4}{100}; \quad C = C_0$$

[1-105]

* Định luật Kirchhoff:

Các vật đục ($D = 0$; $A + R = 1$) có cùng nhiệt độ thì tỉ số giữa năng suất bức xạ và hệ số hấp thụ là như nhau và bằng năng suất bức xạ của vật đen tuyệt đối ở cùng nhiệt độ.

$$\frac{E_1}{A_1} = \frac{E_2}{A_2} = \dots = E_0$$

$$\frac{E}{A} = E_0 = A$$

Hay có thể phát biểu như sau:

Trong điều kiện cân bằng nhiệt động, tỉ số giữa khả năng bức xạ và hệ số hấp thụ của vật xám đều bằng nhau và bằng khả năng bức xạ của vật đen tuyệt đối E_0

$$\frac{E}{E_0} = \frac{C \frac{T^4}{100}}{C_0 \frac{T^4}{100}} = \frac{C}{C_0} = A$$

[1-106]

2.3.2. Dòng nhiệt trao đổi bằng bức xạ giữa các vật:

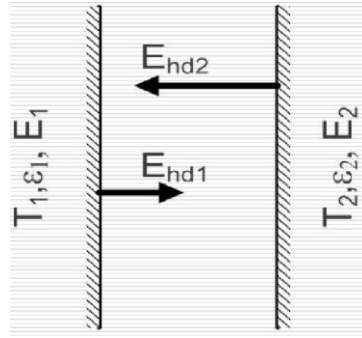
a) Bức xạ nhiệt giữa hai mặt phẳng rộng vô hạn, đặt song song nhau:

Giả sử có hai tấm phẳng rộng vô hạn đặt song song. Tấm thứ 1 có nhiệt độ T_1 , hệ số hấp thụ A_1 , tấm thứ hai có nhiệt độ T_2 , hệ số hấp thụ A_2 .

Giả sử $T_1 > T_2$ yêu cầu tính năng lượng trao đổi nhiệt bức xạ giữa hai tấm trong điều kiện ổn định, nghĩa là nhiệt độ các tấm phẳng T_1 , T_2 không đổi theo thời gian.

Năng lượng trao đổi nhiệt bức xạ giữa hai tấm:

$$\begin{aligned}
 q_{12} &= E_{hd1} - E_{hd2} \\
 E_{hd1} &= E_1 - (1 - A_1)E_{hd2} \\
 E_{hd2} &= E_2 - (1 - A_2)E_{hd1} \\
 q_{12} &= \frac{A_2 E_1 - A_1 E_2}{A_1 + A_2 - A_1 A_2}
 \end{aligned}$$



Theo định luật *Stefan - Boltzmann* và *Kirchhof* thì năng lượng bức xạ được tính như sau:

$$\begin{aligned}
 E_1 &= C_0 T_1^4 \\
 E_2 &= C_0 T_2^4 \\
 q_{12} &= C_0 \frac{T_1^4 - T_2^4}{\frac{1}{A_1} + \frac{1}{A_2} - 1}
 \end{aligned} \quad [1-107]$$

b) Bức xạ nhiệt giữa hai vật bọc nhau:

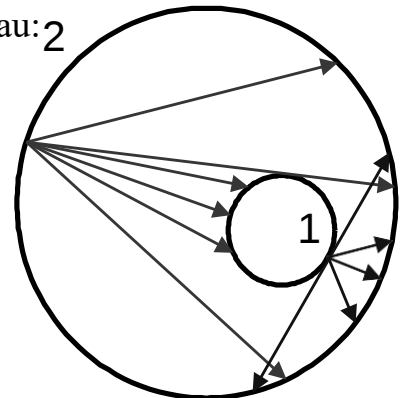
Giả sử có hai vật bọc nhau như hình bên với các thông số sau: 2

Vật 1: $F_1, T_1, A_1, \epsilon_1$

Vật 2: $F_2, T_2, A_2, \epsilon_2$

Hệ số góc bức xạ của vật 2 tới vật 1 là:

$$\begin{aligned}
 \epsilon_{21} &= \frac{Q_{21}}{Q_2} \\
 Q_2 &= \frac{C_0 F_2 (T_2^4 - T_1^4)}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1} \\
 \epsilon_{21} &= \frac{F_1}{F_2} \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1}
 \end{aligned} \quad [1-108]$$



Hình 1.40: Trao đổi
nhiệt bức xạ giữa
hai vật bọc nhau

Để tìm giá trị ϵ_{21} chúng ta cần phải xét trong điều kiện cân bằng nhiệt động, tức là $T_1 = T_2$ thì lúc đó $Q_{12} = 0$.

$$\begin{aligned}
 Q_{12} &= 0 \\
 Q_{12} &= \frac{C_0 F_1 (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1} \\
 \epsilon_{21} &= \frac{F_1}{F_2} \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1}
 \end{aligned} \quad [1-109]$$

$$\text{Ta có: } Q_{12} = \frac{C_0 F_1 \left(\frac{T_1^4}{100} - \frac{T_2^4}{100} \right)}{F_2 - F_1} \quad [1-110]$$

Sau đây chúng ta xét các trường hợp đặc biệt sau:

- Khi $F_1 \ll F_2$ tức xem $F_1/F_2 = 0$ thì :

$$F_2 \gg F_1 \Rightarrow \frac{F_1}{F_2} \approx 0$$

$$Q_{12} = \frac{C_0 F_1 \left(\frac{T_1^4}{100} - \frac{T_2^4}{100} \right)}{F_2} \approx \frac{C_0 F_1}{F_2} \left(\frac{T_1^4}{100} - \frac{T_2^4}{100} \right) \quad [1-111]$$

- Khi $F_1 = F_2$ tức xem $F_1/F_2 = 1$ thì :

$$Q_{12} = \frac{C_0 F_1 \left(\frac{T_1^4}{100} - \frac{T_2^4}{100} \right)}{\frac{1}{\frac{1}{F_1} - \frac{1}{F_2}}} = \frac{FC}{\frac{1}{\frac{1}{F_1} - \frac{1}{F_2}}} \quad [1-112]$$

2.3.3. Bức xạ của mặt trời (năng):

Khoảng cách trung bình từ Trái Đất đến Mặt Trời là 149,6 triệu km. Khoảng cách đó cùng với sự tự quay đã làm cho Trái Đất nhận được từ Mặt Trời một lượng bức xạ phù hợp, tạo điều kiện cho sự sống trên Trái Đất tồn tại và phát triển.

Phần lớn năng lượng mặt trời bị phân tán vào vũ trụ, chỉ một phần rất nhỏ của nó đến được trái đất, nhưng "lượng nhỏ" đó cũng đã rất lớn. Cường độ bức xạ mặt trời thay đổi theo vĩ độ, mùa, giờ trong ngày và độ mây che phủ. Cường độ bức xạ có tính chất gần giống với các tia bức xạ phát ra từ vật đen tuyệt đối ở nhiệt độ gần 6000 K. Trong đó, bao gồm các vùng tia cực tím (Ultra-violet), vùng các tia bức xạ nhìn thấy được và vùng các tia hồng ngoại (Infra-red).

Khi đi vào bầu khí quyển, bức xạ mặt trời sẽ bị:

- Tán xạ chủ yếu bởi các phân tử không khí, hơi nước, hạt nước, hạt bụi,... Kết quả: có khoảng 6% số tia bức xạ bị dội ngược ra ngoài không gian, 20% số tia đến bề mặt trái đất như các tia khuếch tán.

- Hấp thụ bởi các phân tử ozone (ở độ cao trên 40km, khoảng 3% các tia bức xạ đến từ Mặt trời, chủ yếu trong vùng tia cực tím)

Các tia cực tím $\lambda < 0,29 \mu\text{m}$: bị hấp thụ mạnh.

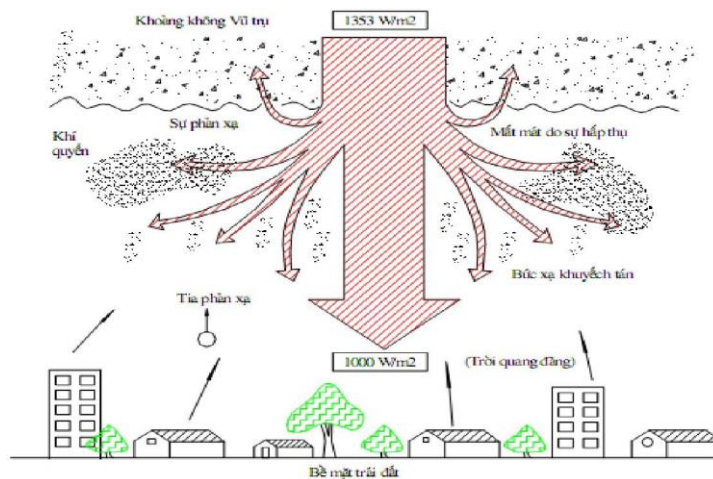
Các tia có $\lambda > 0,29 \mu\text{m}$: khả năng hấp thụ giảm xuống đáng kể

Khi $\lambda > 0,35 \mu\text{m}$: không còn khả năng hấp thụ.

(Tuy nhiên, ở vùng lân cận bước sóng 0,6 μm thì ozone vẫn còn khả năng hấp thụ một ít).

- Hấp thụ bởi hơi nước (ở độ cao thấp hơn, khoảng 14% các tia bức xạ đến từ Mặt trời, chủ yếu trong vùng lân cận tia hồng ngoại, đặc biệt ở trong vùng lân cận các bước sóng 1 μm , 1,4 μm và 1,8 μm).

- Khả năng hấp thụ các tia bức xạ bởi mây, CO₂ và oxygen rất nhỏ.



Hình 1.41: Quá trình truyền năng lượng bức xạ mặt trời qua lớp khí quyển của trái đất

Kết quả rất ít các tia bức xạ có bước sóng lớn hơn $0,23\mu\text{m}$ có thể đến được bề mặt Trái đất. Phần năng lượng bức xạ mặt trời truyền tới bề mặt trái đất trong những ngày quang đãng ở thời điểm cao nhất vào khoảng $1000\text{W}/\text{m}^2$.

Mặc dù toàn bộ năng lượng chạm đến bầu khí quyển Trái Đất xuất phát từ Mặt Trời là rất lớn, nhưng nó không có mức độ tập trung cao. Vì vậy, bất cứ phương tiện nào bắt lấy năng lượng Mặt Trời cũng phải chiếm một diện tích tương đối lớn để làm tập trung có hiệu quả phần năng lượng cần thiết. Chỉ trong vài thập niên gần đây, loài người mới bắt đầu tìm kiếm cơ chế khai thác tiềm năng khổng lồ của năng lượng Mặt Trời.

Ngày nay năng lượng mặt trời đã được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực từ nhu cầu sinh hoạt cho đến sản xuất như: sản xuất điện, điều hòa không khí, vận tải, cung cấp nước nóng trong sinh hoạt, công nghệ sấy...

2.4. Truyền nhiệt và thiết bị trao đổi nhiệt:

2.4.1. Truyền nhiệt tổng hợp:

Trong các phần trước chúng ta đã nghiên cứu riêng lẻ qui luật của các phương thức truyền nhiệt như dẫn nhiệt, đối lưu và bức xạ. Thực tế có một số quá trình là sự kết hợp của hai hay cả ba phương thức truyền nhiệt ở trên và có sự ảnh hưởng tác động qua lại lẫn nhau.

Trong tính toán thực tế thường tính theo dạng ảnh hưởng chính đối với quá trình, còn ảnh hưởng của các dạng phụ khác có thể đưa thêm vào hệ số hiệu chỉnh nào đó.

Ví dụ: quá trình truyền nhiệt trong vật liệu xốp chúng ta xem dẫn nhiệt là chủ yếu còn ảnh hưởng của bức xạ và đối lưu có thể dùng biện pháp tăng hệ số dẫn nhiệt một cách thích đáng. Hay quá trình trao đổi nhiệt tổng hợp giữa bề mặt vật rắn và chất lỏng, chúng ta thường xem trao đổi nhiệt đối lưu là dạng chủ yếu, trong đó hệ số trao đổi nhiệt đối lưu có thể bổ sung thêm thành phần bức xạ.

2.4.2. Truyền nhiệt qua vách:

Truyền nhiệt qua vách là bài toán truyền nhiệt tổng hợp, nghiên cứu quá trình truyền nhiệt lượng từ lưu chất này đến lưu chất khác qua một bề mặt vật rắn ngăn cách. Trong trường hợp này trao đổi nhiệt do tác dụng đồng thời của các phương thức truyền nhiệt cơ bản đã trình bày ở trên quyết định.

2.4.3. Truyền nhiệt qua vách phẳng và vách trụ:

a) Truyền nhiệt qua vách phẳng :

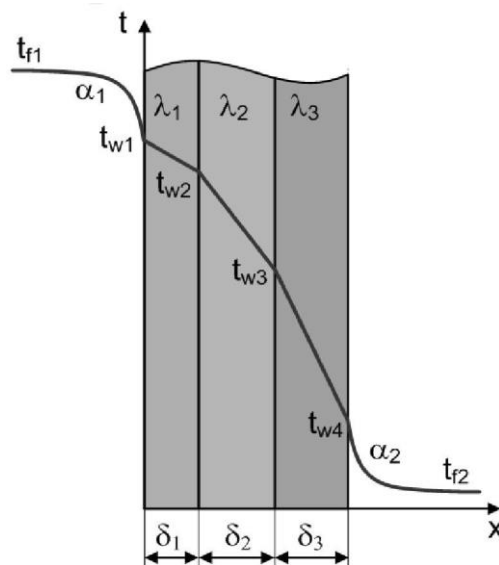
Bài toán truyền nhiệt qua vách phẳng 1 hay n lớp có nhiệt trở R, hệ số dẫn nhiệt k và mật độ dòng nhiệt được tính theo các công thức sau:

$$R = \frac{1}{k_1} + \frac{\delta_1}{k_1} + \frac{\delta_2}{k_2} + \dots + \frac{\delta_n}{k_n} \quad [m^2 K / W]$$

$$k = \frac{1}{R} = \frac{1}{\frac{1}{k_1} + \frac{\delta_1}{k_1} + \frac{\delta_2}{k_2} + \dots + \frac{\delta_n}{k_n}} \quad [W/m^2 K]$$

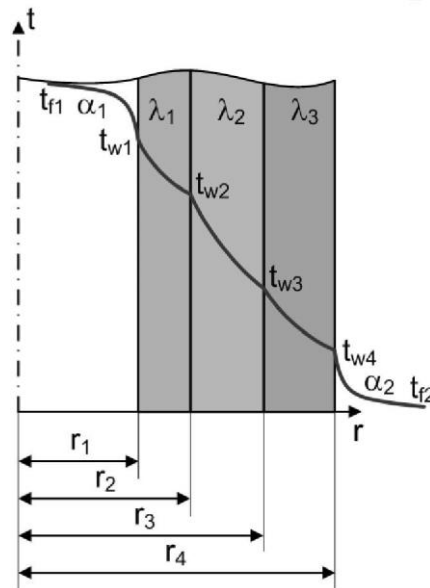
[1-113]

$$q = k \frac{t_{f1} - t_{f2}}{\frac{1}{k_1} + \frac{\delta_1}{k_1} + \frac{\delta_2}{k_2} + \dots + \frac{\delta_n}{k_n}} \quad [W/m^2]$$



Hình 1.42: Quá trình truyền nhiệt qua vách phẳng

a) Truyền nhiệt qua vách trụ



Hình 1.43: Quá trình truyền nhiệt qua vách trụ

Bài toán truyền nhiệt qua vách trụ 1 hay n lớp có nhiệt trở R , hệ số dẫn nhiệt k và mật độ dòng nhiệt được tính theo các công thức sau:

$$R_l = \frac{1}{\alpha_1 d_1} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{2\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} + \frac{1}{\alpha_2 d_2} \quad \text{[mK / W]}$$

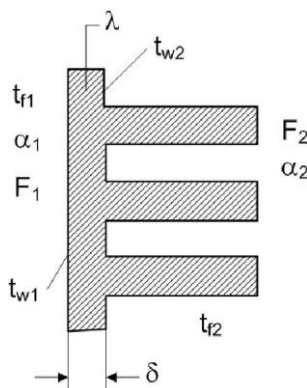
$$k_l = \frac{1}{R_l} \quad \text{[W/m K]} \quad [1-114]$$

$$q_l = k_l (t_{f1} - t_{f2}) \quad \text{[W/m]} \\ = \frac{t_{f1} - t_{f2}}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{2\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} + \frac{1}{\alpha_2 d_2}} \quad \text{[W/m]}$$

Cũng tương tự như truyền nhiệt qua vách phẳng, vách trụ nhiều lớp do con người làm ra thường không có cánh.

2.4.4. Truyền nhiệt qua vách có cánh:

Cánh thường làm cho vách 1 lớp và cánh làm về phía có α bé hơn.



Hình 1.44: Vách có làm cánh

Bài toán truyền nhiệt qua vách có cánh có nhiệt trở R , hệ số dẫn nhiệt k và mật độ dòng nhiệt được tính theo các công thức sau:

$$\begin{aligned}
 R_c &= \frac{1}{\alpha_{F_1}} + \frac{1}{\alpha_{F_1}} + \frac{1}{\alpha_{F_2}} \quad [K/W] \\
 k_c &= \frac{1}{R} \quad [W/K] \\
 Q &= k_c (t_{f1} - t_{f2}) \quad [W] \\
 Q &= \frac{(t_{f1} - t_{f2})}{\frac{1}{\alpha_{F_1}} + \frac{1}{\alpha_{F_1}} + \frac{1}{\alpha_{F_2}}} \quad [W] \\
 q_1 &= \frac{Q}{F_1} = \frac{(t_{f1} - t_{f2})}{\frac{1}{\alpha_{F_1}} + \frac{1}{\alpha_{F_1}} + \frac{1}{\alpha_{F_2}}} \quad [W/m^2]
 \end{aligned}
 \tag{1-115}$$

Khi muốn giảm cường độ truyền nhiệt k người ta cách nhiệt mặt vách bằng cách bọc nó bởi nhiều lớp vật liệu có λ nhỏ. Còn khi muốn tăng k , người ta có thể làm cánh phía có α bé, chẳng hạn phía chất khí. Công dụng của hai việc làm trên trái ngược nhau nên không ai làm cánh trên vách nhiều lớp.

2.4.5. Tăng cường truyền nhiệt và cách nhiệt:

Khi giải quyết các vấn đề thực tế về truyền nhiệt, một số trường hợp cần tăng cường truyền nhiệt và một số trường hợp yêu cầu ngược lại là làm thế nào giảm sự truyền nhiệt. Muốn thực hiện các vấn đề này cần phải dựa vào những phương thức truyền nhiệt cơ bản đã trình bày để tìm ra những biện pháp có hiệu quả.

Giảm chiều dày của vách và tăng hệ số dẫn nhiệt của vật liệu có thể làm giảm nhiệt trở của vách. Tăng cường sự nhiễu loạn và tăng tốc độ chuyển động của lưu chất thì có thể tăng cường độ tỏa nhiệt, khi sôi có thể dùng biện pháp tăng cường sự nhiễu loạn và làm sạch chất bẩn trên bề mặt để tăng cường truyền nhiệt, cuối cùng trên bề mặt bức xạ nhiệt có thể tìm cách tăng độ đen và nhiệt độ để tăng cường trao đổi nhiệt bức xạ.

Trong quá trình truyền nhiệt, khi các phương thức truyền nhiệt đồng thời xảy ra làm thế nào tăng cường truyền nhiệt một cách có hiệu quả là vấn đề rất phức tạp, vấn đề này chỉ sau khi phân tích kỹ từng trường hợp cụ thể mới tìm được giải pháp tối ưu. Để phân tích những trường hợp như vậy việc nắm vững các công thức truyền nhiệt là rất cần thiết. Vì thông qua công thức có thể dự tính được ảnh hưởng của các nhân tố và tìm ra khả năng cũng như biện pháp chính xác giải quyết vấn đề.

Trường hợp nếu muốn làm giảm sự truyền nhiệt nói chung cần phải tìm cách tăng nhiệt trở. Thông thường được thực hiện bằng cách bọc thêm một lớp cách nhiệt – là loại vật liệu có hệ số dẫn nhiệt bé – đây chỉ là lớp phụ dung để làm giảm sự tổn thất nhiệt ra môi trường xung quanh. Việc lựa chọn loại vật liệu

cách nhiệt nào cho phù hợp phải xét trên quan điểm kỹ thuật – kinh tế – vệ sinh an toàn.

2.4.6. Thiết bị trao đổi nhiệt:

a) Định nghĩa và phân loại:

* Định nghĩa:

Thiết bị trao đổi nhiệt (TBTĐN) là thiết bị trong đó thực hiện quá trình trao đổi nhiệt (TĐN) giữa các chất mang nhiệt, thường là chất lỏng, khí hoặc hơi.

* Phân loại:

Theo đặc điểm trao đổi nhiệt, TBTĐN được chia ra 3 loại: loại vách ngăn, loại hồi nhiệt và loại hỗn hợp.

- Trong thiết bị trao đổi nhiệt loại vách ngăn, chất lỏng nóng (CL_1) bị ngăn cách hoàn toàn với chất lỏng lạnh (CL_2) bởi bề mặt vách hoặc ống bằng vật rắn.

- Trong thiết bị trao đổi nhiệt loại hồi nhiệt, vách TĐN được quay để nó tiếp xúc với CL_1 và CL_2 một cách tuần hoàn, khiến cho quá trình TĐN luôn ở chế độ không ổn định, và nhiệt độ trong vách luôn dao động tuần hoàn theo chu kỳ quay.

- Trong thiết bị trao đổi nhiệt loại hỗn hợp, chất lỏng nóng tiếp xúc trực tiếp với chất lỏng lạnh, khiến cho quá trình trao đổi chất luôn xảy ra đồng thời với quá trình TĐN giữa hai chất này.

Việc cách li hoàn toàn chất cần gia công với chất tải nhiệt là yêu cầu phổ biến của nhiều quá trình công nghệ, do đó TBTĐN loại vách ngăn được sử dụng rộng rãi trong sản xuất.

Theo chiều chuyển động của hai chất lỏng, TBTĐN loại vách ngăn được chia ra 2 kiểu chính: kiểu song song và kiểu giao nhau.

- Trong thiết bị trao đổi nhiệt kiểu song song, véc tơ vận tốc 2 chất lỏng song song nhau ($\vec{v}_1 // \vec{v}_2$), có thể cùng chiều, ngược chiều hay thay đổi chiều hay gọi là song song hỗn hợp.

- Trong TBTĐN kiểu giao nhau, 2 véc tơ $\vec{v}_1 // \vec{v}_2$ giao nhau theo 1 góc nào đó, có thể giao 1 lần hay nhiều lần.

b) Tính toán thiết bị trao đổi nhiệt.

* Các phương trình cơ bản:

Tính nhiệt cho TBTĐN là phép tính xác định mọi thông số cần thiết của TBTĐN để nó thực hiện đúng quá trình TĐN giữa 2 chất lỏng mà công nghệ yêu cầu. Người ta thường qui ước dùng chỉ số 1 và 2 chỉ chất lỏng nóng và chất lỏng lạnh, dấu (‘) và (‘‘) để chỉ thông số vào và ra khỏi thiết bị TĐN.

Việc tính nhiệt cho TBTĐN luôn dựa vào 2 phương trình cơ bản sau đây:

Phương trình cân bằng nhiệt:

$$\begin{aligned}
 Q &= G_1 i_1' - i_1'' = G_2 i_2'' - i_2' \\
 Q &= GC_1 (t_1' - t_1'') = GC_2 (t_2'' - t_2') \\
 Q &= W_1 (t_1' - t_1'') = W_2 (t_2'' - t_2') \\
 W &= GCp \text{ là nhiệt dung toàn phần [W/K]}
 \end{aligned}
 \tag{1-116}$$

$W = GCp$ là nhiệt dung toàn phần [W/K]

Phương trình truyền nhiệt:

$$Q = kF \Delta t \tag{1-117}$$

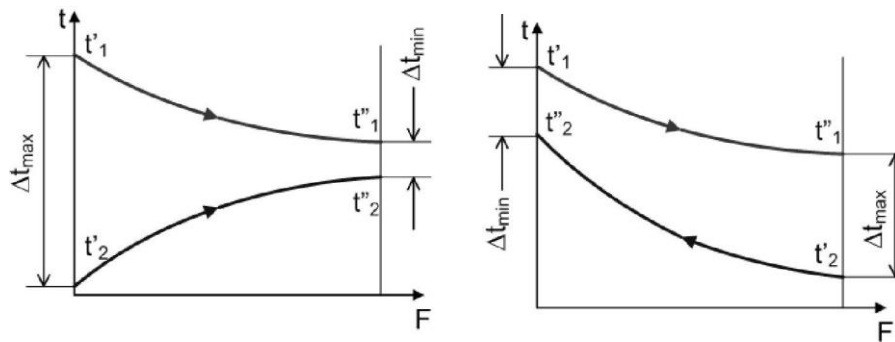
Trong đó :

F – diện tích truyền nhiệt, m^2 .

k – độ chênh nhiệt độ trung bình, $k = f(\alpha_1, \alpha_2, \lambda, \delta)$ (W/m^2K)

Δt gọi là độ chênh trung bình trên mặt F của nhiệt độ 2 chất lỏng.

- Xác định độ chênh trung bình Δt :



Hình 1.45: Sơ đồ song song

Sơ đồ song song:

- Nhiệt độ trung bình lôgarit

$$\Delta t = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{\ln \frac{t_{\max}}{t_{\min}}} \quad K \tag{1-118}$$

- Nhiệt độ trung bình số học

$$\begin{aligned}
 \Delta t &= \frac{1}{2} (t_1' - t_1'') + \frac{1}{2} (t_2'' - t_2') \\
 \Delta t &= \frac{t_{\max} - t_{\min}}{2} \quad K
 \end{aligned}
 \tag{1-119}$$

Các sơ đồ khác:

Biểu thức Δt của các sơ đồ khác (song song đổi chiều, giao nhau 1 hay nhiều lần) được tính theo sơ đồ song song ngược chiều rồi nhân với hệ số kinh nghiệm.

- Tính nhiệt độ của các chất ra khỏi TBTĐN:

Khi tính kiểm tra hoặc tính chọn 1 TBTĐN có sẵn, thường cho biết t_1' , t_2' , k , C_1 , C_2 và cần tính nhiệt độ t_1'' , t_2'' ra khỏi TBTĐN để xem nhiệt độ có phù hợp với công nghệ hay không. Phép tính này có thể thực hiện cho các sơ đồ song song không đổi chiều như sau:

Biết t_1' , t_2' , W_1 , W_2 , tính t_1'' , t_2'' với nhiệt độ trung bình số học

$$Q = K F \frac{t_1' - t_2'}{\frac{1}{2W_1} + \frac{1}{kF} + \frac{1}{2W_2}} \quad [1-120]$$

Từ đó ta suy ra được t_1'' , t_2'' .

* Câu hỏi và bài tập:

Câu 1: Trình bày các thông số cơ bản của chất môi giới.

Câu 2 : Trình bày các quá trình nhiệt động cơ bản của hơi trên đồ thị $lpg - h$.

Câu 3 : Thế nào là quá trình lưu động và tiết lưu ? Giải thích ?

Câu 4 : Chu trình nhiệt động là gì ? Phân loại chu trình nhiệt động ? Trình bày cách đánh giá hiệu quả của chu trình nhiệt động.

Câu 5 : Trình bày chu trình nhiệt động của máy lạnh và bơm nhiệt.

Câu 6 : Trình bày chu trình máy lạnh hấp thụ.

Câu 7 : Hơi nước bão hòa ẩm ở áp suất $p = 2\text{bar}$, độ khô $x = 0,3$. Xác định các thông số còn lại.

Câu 8 : Hơi nước ở nhiệt độ 150°C , áp suất 1bar . Hỏi hơi nước đang ở trạng thái nào ? Xác định các thông số còn lại.

Câu 9 : Hơi nước ở áp suất 30bar , enthalpy $i = 1500 \text{ kJ/kg}$ được cấp nhiệt để đạt đến nhiệt độ 400°C ở điều kiện áp suất không đổi. Cho biết lượng hơi nước đang khảo sát có khối lượng 250 kg . Xác định :

a) Trạng thái hơi nước ở đầu và cuối quá trình khảo sát.

b) Lượng nhiệt cần cung cấp.

Câu 10: Các phương thức truyền nhiệt? Cho ví dụ minh họa. Trình bày khái niệm về dẫn nhiệt, trường nhiệt độ? Mật độ nhiệt là gì? Các tính chất của mặt đẳng nhiệt?

Câu 11: Gradient nhiệt độ là gì? Mật độ dòng nhiệt q là gì? Phát biểu định luật Fourier về dẫn nhiệt? Viết công thức của định luật.

Câu 12: Thiết lập công thức tính mật độ dòng nhiệt q cho dẫn nhiệt ổn định qua vách phẳng 1 lớp rộng và dài vô hạn trong điều kiện biên loại 1 có $q_v = 0$?

Câu 13: Thiết lập công thức tính mật độ dòng nhiệt q cho dẫn nhiệt ổn định qua vách phẳng n lớp rộng và dài vô hạn trong điều kiện biên loại 1 có $q_v = 0$?

Câu 14: Mật độ dòng nhiệt truyền qua vách phẳng rộng $q = 8000 \text{ W/m}^2$, nhiệt độ bề mặt trong và bề mặt ngoài duy trì không đổi $t_1 = 100^\circ\text{C}$, $t_2 = 90^\circ\text{C}$, hệ số dẫn nhiệt $\lambda = 40 \text{ W/(m.}^\circ\text{C)}$. Xác định chiều dày δ (mm) của vách?

Câu 15: Vách buồng sấy (vách phẳng) được dựng bằng hai lớp vật liệu, lớp trong dày $\delta_1 = 250 \text{ mm}$, $\lambda_1 = 0,93 \text{ W/(m.}^\circ\text{C)}$, lớp vật liệu phía ngoài có $\lambda_2 = 0,7 \text{ W/(m.}^\circ\text{C)}$. Nhiệt độ bề mặt trong cùng $t_1 = 110^\circ\text{C}$, nhiệt độ bề mặt ngoài cùng $t_3 = 25^\circ\text{C}$, mật độ dòng nhiệt $q = 110 \text{ W/m}^2$. Xác định chiều dày lớp vật liệu thứ hai δ_2 (mm)?

Câu 16: Một đường ống dẫn tác nhân lạnh bằng thép có đường kính $\phi 75/\phi 80$ mm, chiều dài $L = 10$ m, hệ số dẫn nhiệt $\lambda_2 = 38 \text{ W/(m.}^\circ\text{C)}$, nhiệt độ bề mặt trong của ống $t_{w1} = -20^\circ\text{C}$. Bên ngoài ống được bọc một lớp cách nhiệt có chiều dày là 25 mm , $\lambda_1 = 0,05 \text{ W/(m.}^\circ\text{C)}$, nhiệt độ bề mặt ngoài cùng $t_{w3} = 22^\circ\text{C}$.

a) Tính tổn thất nhiệt trên toàn bộ đường ống trong thời gian 7 giờ 30 phút (đơn vị kJ)

b) Để tránh hiện tượng đóng sương bên ngoài ống, cần tăng chiều dày lớp cách nhiệt lên bao nhiêu để tổn thất nhiệt giảm đi một nửa và nhiệt độ bề mặt ngoài lúc này là $t_{w3} = 28^\circ\text{C}$. Các thông số khác không thay đổi.

Câu 17: Khái niệm về trao đổi nhiệt đối lưu? Những nhân tố ảnh hưởng tới trao đổi nhiệt đối lưu?

Câu 18: Trình bày 5 tiêu chuẩn đồng dạng và nêu đặc trưng của chúng?

Câu 19: Điều kiện để quá trình sôi xảy ra? Sự hình thành bọt hơi?

Câu 20: Các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình tỏa nhiệt khi sôi?

Câu 21: Điều kiện để quá trình ngưng hơi xảy ra? So sánh hệ số tỏa nhiệt khi ngưng màng và khi ngưng giọt?

Câu 22: Các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình tỏa nhiệt khi ngưng hơi?

Câu 23: Bao hơi lò hơi được đặt nằm ngang, đường kính ngoài $D = 600$ mm, nhiệt độ bề mặt ngoài lớp bảo ôn $t_w = 60^\circ\text{C}$, nhiệt độ không khí xung quanh $t_f = 40^\circ\text{C}$. Tính tổn thất nhiệt đối lưu ứng với 1 m^2 bề mặt bao hơi.

Câu 24: Nhiệt độ bề mặt ngoài của tường lò nung có nhiệt độ $t_w = 80^\circ\text{C}$, nhiệt độ môi trường không khí xung quanh $t_f = 35^\circ\text{C}$, chiều cao của tường lò $H = 2,5$ m, tổng diện tích bề mặt xung quanh của lò $F = 39 \text{ m}^2$.

Tính cường độ tỏa nhiệt trên bề mặt vách và tổn thất nhiệt trên bề mặt xung quanh lò, khi tính toán bỏ qua tổn thất nhiệt bức xạ.

Câu 25: Xác định hệ số dẫn nhiệt tương đương và mật độ dòng nhiệt qua lớp không khí mỏng nằm giữa 2 bề mặt vách có chiều dày $\delta = 20$ mm, nhiệt độ bề mặt nóng $t_{w1} = 200^\circ\text{C}$, nhiệt độ bề mặt lạnh $t_{w2} = 80^\circ\text{C}$. Hệ số dẫn nhiệt tương đương sẽ thay đổi như thế nào nếu chiều dày lớp không khí giảm đi 2 lần trong khi nhiệt độ vẫn không thay đổi.

Câu 26: Không khí chảy trong ống có đường kính $d = 60\text{mm}$, chiều dài $L = 4\text{m}$, tốc độ chảy $3,5\text{ m/s}$. Xác định hệ số tỏa nhiệt khi biết nhiệt độ trung bình dòng khí $t_f = 50^\circ\text{C}$.

Câu 27: Hai tấm phẳng rộng đặt song song trong môi trường trong suốt có diện tích mỗi tấm là 7 m^2 . Tấm thứ nhất có nhiệt độ $t_1 = 450^\circ\text{C}$, tấm thứ 2 có nhiệt độ $t_2 = 120^\circ\text{C}$, độ đen của hai tấm như nhau $\epsilon_1 = \epsilon_2 = 0,75$.

Tính nhiệt lượng trao đổi giữa hai tấm Q_{12} ?

Câu 28: Một thiết bị trao đổi nhiệt kiểu ống lồng ống có lưu lượng chất lỏng nóng $V_1 = 0,25\text{ m}^3/\text{h}$, $\rho_1 = 1100\text{kg}/\text{m}^3$, $c_{p1} = 3,04\text{kJ}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C}$, $t_1' = 120^\circ\text{C}$. Nước giải nhiệt có $V_2 = 1000\text{ l/h}$, $\rho_2 = 1100\text{kg}/\text{m}^3$, $c_{p2} = 3,04\text{kJ}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C}$, nhiệt độ nước vào và ra lần lượt là $t_2' = 10^\circ\text{C}$, $t_2'' = 24^\circ\text{C}$. Biết hệ số truyền nhiệt của thiết bị $k = 34,5\text{ W}/\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}$.

Tính nhiệt lượng truyền của thiết bị, nhiệt độ ra của chất lỏng nóng và diện tích truyền nhiệt của thiết bị trong trường hợp lưu động ngược chiều.

*** Yêu cầu về đánh giá kết quả học tập:**

Mục tiêu	Nội dung	Điểm
Kiến thức	- Trả lời đầy đủ các câu hỏi ở phần câu hỏi và bài tập; - Kiểm tra chi tiết phần trả lời câu hỏi của một câu hỏi bất kỳ nào đó trong 16 câu	4
Kỹ năng	- Làm đầy đủ các bài tập được giao; - Kiểm tra chi tiết 1 bài tập bất kỳ trong 12 bài;	5
Thái độ	- Nộp bài tập đúng hạn (1 tuần về nhà), vở bài tập nghiêm túc, sạch sẽ	1
Tổng		10

*** Hướng dẫn trả lời các câu hỏi và gợi ý giải các bài tập:**

Câu 7 : Hơi nước bão hòa ẩm ở áp suất $p = 2\text{bar}$, độ khô $x = 0,3$. Giá trị các thông số còn lại : $v = 0,26636193\text{ m}^3/\text{kg}$; $i = 1165,46\text{ kJ}/\text{kg}$; $s = 3,20924\text{ kJ}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C}$; $u = 1112,187\text{ kJ}/\text{kg}$.

Câu 8 : Hơi nước ở áp suất 1bar có nhiệt độ $150^\circ\text{C} > t_s = 99,64^\circ\text{C}$ cho nên hơi này là hơi quá nhiệt.

Giá trị các thông số còn lại : $v = 1,9365\text{ m}^3/\text{kg}$; $i = 2776,5\text{ kJ}/\text{kg}$; $s = 7,608\text{ kJ}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C}$; $u = 2582,850\text{ kJ}/\text{kg}$.

Câu 9 : a) Trạng thái đầu của hơi nước có $i' < i_1 < i''$ nên nó là hơi bão hòa ẩm.

Trạng thái cuối của hơi nước có $t = 400^\circ\text{C} > t_s = 233,83^\circ\text{C}$ nên nó là hơi quá nhiệt

b) Lượng nhiệt cần cung cấp : $Q = G.(i_2 - i_1) = 432250\text{ kJ}$

Câu 14: $\delta = 50\text{ mm}$

Câu 15: $\delta_2 = 352\text{ mm}$

Câu 16: a) $Q = 7333 \text{ kJ}$; b) $\delta = 81 \text{ mm}$

Câu 23: $q = 84 \text{ W/m}^2$

Câu 24: $\alpha = 5,4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{độ}$; $Q = 9477 \text{ W}$

Câu 25: $q = 448 \text{ W/m}^2$; λ_{td} giảm đi 1,68 lần

Câu 26: $\alpha = 15 \text{ W/m}^2 \cdot \text{độ}$

Câu 27: $Q_{12} = 59,45 \text{ kW}$

Câu 28: $Q = 13 \text{ kW}$; $t_1'' = 64^\circ\text{C}$; $F = 5,16 \text{ m}^2$

CHƯƠNG 2: CƠ SỞ KỸ THUẬT LẠNH

Mã chương: MH10 – 02

Giới thiệu:

Chương này cung cấp cho sinh viên học sinh những kiến thức cơ bản về kỹ thuật lạnh: các phương pháp làm lạnh, môi chất lạnh, chu trình lạnh và các thiết bị sử dụng trong hệ thống lạnh nói chung.

Mục tiêu:

- Nắm được các kiến thức cơ sở về máy và hệ thống lạnh.
- Nắm rõ các đặc điểm của môi chất lạnh.
- Ký hiệu môi chất lạnh.
- Nắm rõ các đặc điểm của chất tải lạnh.
- Các chu trình lạnh 1 cấp và 2 cấp.
- Nguyên lý hoạt động của các chu trình 1 cấp và 2 cấp.
- Cách thể hiện chu trình trên đồ thị lgp-h, t-s.
- Tính toán chu trình bằng bảng tra hoặc đồ thị.
- Cấu tạo máy nén nhiều cấp(2 cấp).
- Nguyên lý hoạt động của máy nén nhiều cấp.
- Các phương pháp điều chỉnh năng suất.
- Tính toán công suất máy nén 1 cấp và nhiều cấp.
- Các thiết bị trao đổi nhiệt (thiết bị ngưng tụ, thiết bị bay hơi, van tiết lưu, các thiết bị phụ trong hệ thống lạnh)
- Phân tích được nguyên lý làm việc của máy nén và các hệ thống lạnh thông dụng.
- Rèn luyện tính tập trung, tỉ mỉ, tư duy logic, sáng tạo, ứng dụng thực tiễn sản xuất áp dụng vào môn học cho HSSV.

Nội dung chính:

1. KHÁI NIỆM CHUNG:

Mục tiêu:

- Trình bày được các kiến thức cơ sở về máy và hệ thống lạnh.

1.1. Ý nghĩa của kỹ thuật lạnh trong đời sống và kỹ thuật:

1.1.1. Ứng dụng lạnh trong bảo quản thực phẩm:

Theo thống kê thì khoảng 80% công suất lạnh được sử dụng trong công nghệ bảo quản thực phẩm. Đây là lĩnh vực quan trọng nhất của kỹ thuật lạnh, nhằm đảm bảo cho các thực phẩm: rau, quả, thịt, cá, sữa, ...không bị phân hủy (thối rửa) do vi khuẩn gây ra. Đặc biệt những nước có thời tiết nóng và ẩm như nước ta thì quá trình phân hủy (thối rửa) sẽ diễn ra càng nhanh. Vì thế việc áp dụng kỹ thuật lạnh vào việc bảo quản thực phẩm là hết sức cần thiết

Các kho lạnh bảo quản, kho lạnh chế biến phân phối, các máy lạnh thương nghiệp đến tủ lạnh gia đình; các nhà máy sản xuất nước đá, máy lạnh lắp

trên tàu thủy hay phương tiện vận tải không còn xa lạ; kể cả ngành công nghiệp rượu bia, bánh kẹo, nước uống, sữa..

1.1.2. Ứng dụng lạnh trong công nghiệp:

Hóa lỏng không khí bao gồm các chất khí là sản phẩm của công nghiệp hóa học như: clo, amoniac, cacbonic, các loại khí đốt, các loại khí sinh học...

Oxi, Nitơ được sử dụng nhiều như hàn, cắt kim loại

Các loại khí trơ He, Ar, Xe... được sử dụng trong nghiên cứu vật lý, sản xuất bóng đèn

1.1.3. Ứng dụng lạnh trong nông nghiệp:

Nhằm bảo quản giống, lai tạo giống, điều hoà khí hậu cho các trại chăn nuôi trồng trọt, bảo quản và chế biến cá, nông sản thực phẩm.

Hóa lỏng không khí thu nitơ sản xuất phân đạm

1.1.4. Ứng dụng lạnh trong điều tiết không khí:

Ngày nay người ta không thể tách rời kỹ thuật điều tiết không khí với các ngành cơ khí chính xác, kỹ thuật điện tử, kỹ thuật phim ảnh, quang học...

Để đảm bảo chất lượng cao của sản phẩm cần có những yêu cầu nghiêm ngặt về điều kiện và thông số của không khí như: nhiệt độ, độ ẩm, độ chứa bụi...

1.1.5. Ứng dụng lạnh trong y tế:

Trong y tế người ta ứng dụng lạnh để bảo quản thuốc và các phẩm vật y tế... kỹ thuật lạnh được sử dụng trong y tế ngày càng nhiều và càng đem lại những hiệu quả hết sức to lớn. Phần lớn những loại thuốc quý, hiếm đều cần được bảo quản lạnh ở nhiệt độ thích hợp: như các loại vaccine, kháng sinh, gây mê....

1.1.6. Ứng dụng lạnh trong thể dục thể thao:

Nhờ có kỹ thuật lạnh mà người ta có thể tạo ra sân trượt băng, đường đua trượt băng và trượt tuyết nhân tạo cho các vận động viên luyện tập hoặc cho các đại hội thể thao ngay cả khi nhiệt độ không khí còn rất cao, hoặc có thể để sưởi ấm bể bơi.

1.1.7. Ứng dụng lạnh trong đời sống:

Sản xuất nước đá và dùng nước đá cho việc trữ lạnh khi vận chuyển, bảo quản nông sản, thực phẩm, cho chế biến thủy sản và cho sinh hoạt của con người, nhất là ở các vùng nhiệt đới để làm mát và giải khát.

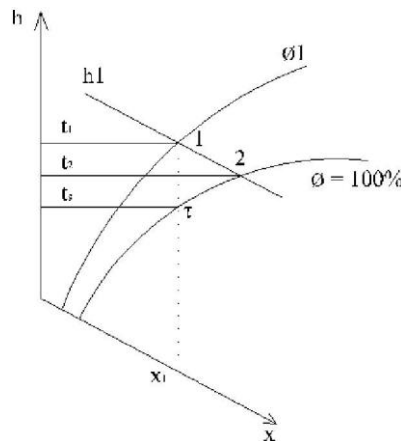
1.1.8. Một số ứng dụng khác:

Trong ngành hàng không, vũ trụ hay quốc phòng, máy bay hoặc tàu vũ trụ phải làm việc trong những điều kiện khác nhau. Nhiệt độ có khi tăng lên hàng ngàn độ nhưng cũng có lúc hạ xuống dưới -100°C . Oxy và hydro lỏng là nhiên liệu cho tàu vũ trụ.

1.2. Các phương pháp làm lạnh nhân tạo:

1.2.1. Phương pháp bay hơi khuếch tán:

Một thí dụ điển hình của bay hơi khuếch tán là nước bay hơi vào không khí



Hình 2.1: Đồ thị $h - x$ của không khí ẩm

t_1 - nhiệt độ khô, t_2 - nhiệt độ ướt, t_3 - nhiệt độ đọng sương

Điểm 1 là trạng thái ban đầu của không khí. Khi phun nước liên tục vào không khí khô, nước sẽ bay hơi khuếch tán vào không khí và trạng thái không khí sẽ biến đổi theo đường đẳng enthalpy $h = \text{const}$, độ ẩm tăng từ ϕ_1 đến $\phi_{\text{max}} = 100\%$. Bằng cách này ta đã thực hiện quá trình làm lạnh không khí từ t_1 giảm xuống t_2

1.2.2. Phương pháp hòa trộn lạnh:

Cách đây 2000 năm, người Trung Quốc và Ấn Độ đã biết làm lạnh bằng cách hòa trộn muối và nước.

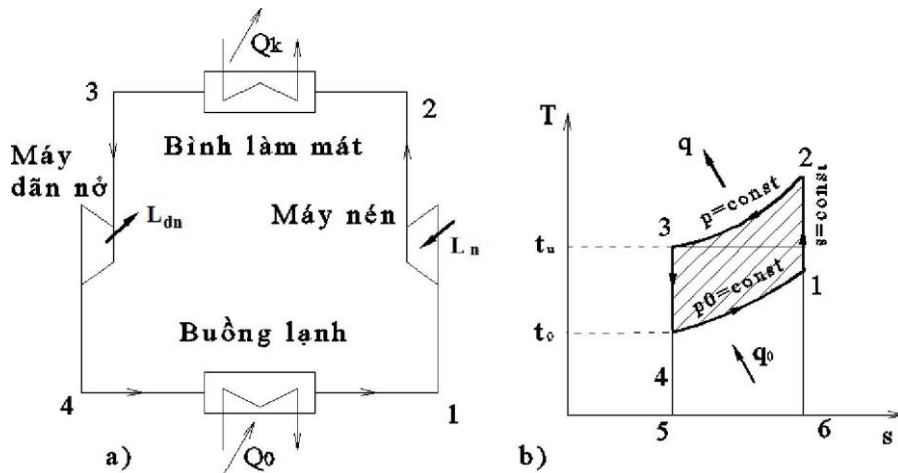
Ví dụ : Nếu hòa trộn 31g NaNO_3 và 31g NH_4Cl với 100g nước (10°C) thì hỗn hợp sẽ giảm đến -12°C . Hay hòa trộn 200g CaCl_2 với 100g nước đá vụn, nhiệt độ sẽ giảm từ 0°C xuống -42°C ...

Ngày nay người ta vẫn sử dụng nước đá muối để ướp cá mới đánh bắt khi cần bảo quản cá ở nhiệt độ dưới 0°C

1.2.3. Phương pháp dẫn nổ khí có sinh ngoại công:

Đây là phương pháp làm lạnh nhân tạo quan trọng. Các máy lạnh làm việc theo nguyên lý dẫn nổ khí có sinh ngoại công gọi là máy lạnh nén khí có máy dẫn nổ. Phạm vi ứng dụng rất rộng lớn từ máy điều tiết không khí cho đến các máy sử dụng trong kỹ thuật cryô để sản xuất nitơ, oxi lỏng, hóa lỏng không khí.

Nguyên lý làm việc:



Hình 2.2: Máy điều hòa không khí bay hơi nước

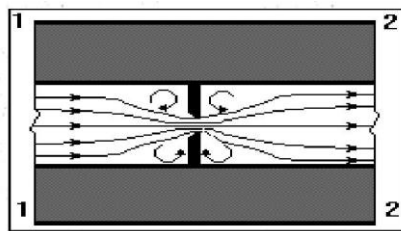
a) Sơ đồ thiết bị ; b) Chu trình lạnh biểu diễn trên đồ thị T-s

Máy lạnh nén khí gồm 4 thiết bị chính: máy nén, bình làm mát, máy dẫn nở và buồng lạnh. Môi chất lạnh là không khí hoặc một chất khí bất kỳ, không biến đổi pha trong chu trình. Không khí được nén đoạn nhiệt $s_1 = \text{const}$ từ trạng thái 1 đến trạng thái 2. Ở bình làm mát, không khí thải nhiệt cho môi trường ở áp suất không đổi đến trạng thái 3, sau đó được dẫn nở đoạn nhiệt $s_3 = \text{const}$ xuống trạng thái 4 có nhiệt độ thấp và áp suất thấp. Trong phòng lạnh không khí thu nhiệt của môi trường ở áp suất không đổi và nóng dần lên điểm 1, khép kín vòng tuần hoàn. Như vậy chu trình máy lạnh nén khí gồm 2 quá trình nén và dẫn nở đoạn nhiệt với 2 quá trình thu và thải nhiệt đẳng áp nhưng không đẳng nhiệt.

1.2.4. Phương pháp tiết lưu không sinh ngoại công:

Quá trình tiết lưu là quá trình giảm áp suất do ma sát mà không sinh ngoại công khi môi chất chuyển động qua những chỗ có trở lực cục bộ đột ngột.

Ví dụ : môi chất chuyển động qua nghẽn van tiết lưu



Hình 2.3: Tiết lưu không sinh ngoại công của một dòng môi chất

1.2.5. Hiệu ứng nhiệt điện, hiệu ứng Peltier:

Hiệu ứng nhiệt điện hay hiệu ứng Peltier: Khi có dòng điện chạy qua một vòng dây dẫn kín gồm 2 kim loại khác nhau được nối với nhau thì một đầu nối tỏa nhiệt còn đầu kia hấp thụ nhiệt.

Sử dụng hấp thụ nhiệt của một đầu nối ở nhiệt độ thấp để lấy nhiệt của vật cần làm lạnh là nguyên lý của chu trình máy lạnh điện - nhiệt.

1.2.6. Tan chảy hoặc thăng hoa vật rắn:

Hoá lỏng hoặc thăng hoa vật rắn để làm lạnh là phương pháp chuyển pha của các chất như nước đá và đá khô.

Nước đá tan ở 0°C thu một nhiệt lượng 333 kJ/kg .

Đá khô là CO_2 ở thể rắn khi chuyển từ dạng rắn qua dạng hơi thu 1 nhiệt lượng $572,2 \text{ kJ/kg}$ ($-78,5^{\circ}\text{C}$).

1.2.7. Bay hơi chất lỏng:

Quá trình bay hơi chất lỏng bao giờ cũng gắn liền với quá trình thu nhiệt. Nhiệt lượng cần thiết để bay hơi 1 kg chất lỏng gọi là nhiệt ẩn bay hơi r.

Ví dụ: Khi tắm xong đứng trước quạt ta thấy mát lạnh vì nước bay hơi trên bề mặt da thu nhiệt của cơ thể tạo cảm giác mát lạnh.

Chất lỏng bay hơi đóng vai trò là môi chất lạnh và chất tải lạnh quan trọng trong kỹ thuật lạnh. Các môi chất lỏng cho máy lạnh nén hơi, hấp thụ và ejector là amoniac, nước, các freon đều thực hiện quá trình thu nhiệt ở môi trường lạnh bằng quá trình bay hơi ở áp suất thấp và nhiệt độ thấp, và thải nhiệt ra môi trường bằng quá trình ngưng tụ ở áp suất cao và nhiệt độ cao.

2. MÔI CHẤT LẠNH VÀ CHẤT TẢI LẠNH:

Mục tiêu:

- Nắm rõ các đặc điểm của môi chất lạnh.
- Ký hiệu môi chất lạnh.
- Nắm rõ các đặc điểm của chất tải lạnh.

2.1. Các môi chất lạnh thường dùng trong kỹ thuật lạnh:

* Định nghĩa:

Môi chất lạnh (tác nhân lạnh hay gas lạnh) là chất môi giới sử dụng trong chu trình nhiệt động ngược chiều để thu nhiệt môi trường có nhiệt độ thấp và thải ra môi trường có nhiệt độ cao.

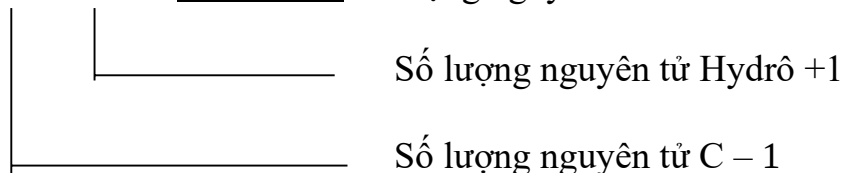
* Ký hiệu môi chất lạnh:

2.1.1. Các frêon:

Các frêon là các chất hữu cơ no hoặc chưa no mà các Hydro(H_2) được thay thế một phần hay toàn bộ bằng các nguyên tử Cl, Br hay F

Các frêon thường được ký hiệu chữ đầu tiên là R.

Xét: R 1 2 3 Số lượng nguyên tử F



* Ví dụ 1: Môi chất có công thức hoá học CCl_2F_2 . Tìm ký hiệu

Số thứ nhất: số nguyên tử C -1 = 1-1 = 0

Số thứ 2: số nguyên tử H +1 = 0+1 = 1

Số thứ 3: số nguyên tử F =2

Vậy môi chất có ký hiệu: R012 hoặc R12.

* Ví dụ 2: môi chất có công thức hoá học CHClF_2 . Tìm ký hiệu

Số thứ nhất: số nguyên tử C $-1 = 1 - 1 = 0$

Số thứ 2: số nguyên tử H $+1 = 1 + 1 = 2$

Số thứ 3: số nguyên tử F $= 2$

Vậy môi chất có ký hiệu: R022 hoặc R22

* Ví dụ 3: môi chất có ký hiệu R114 tìm công thức hoá học của môi chất đó

Số thứ nhất: số nguyên tử C $-1 = 1 \square$ C $= 2$

Số thứ 2: số nguyên tử H $+ 1 = 1 \square$ H $= 0$

Số thứ 3: số nguyên tử F $= 4$

Vậy môi chất có công thức hoá học: $C_2Cl_2F_4$

Số lượng nguyên tử Cl xác định được nhờ hoá trị còn lại của nguyên tử từ Cacbon: 2 Cacbon $\square$ C_2H_6 , có 4 F $\square$ có 2 Cl.

2.1.2. Các chất vô cơ:

Các chất vô cơ có ký hiệu đầu tiên là R và sau đó là 3 chữ số, chữ số đầu tiên là 7 còn lại hai chữ số sau là phân tử lượng của chất đó:

* Ví dụ: môi chất NH_3 : R717

H_2O : R718

CO_2 : R744

Không khí: R729

2.1.3. Yêu cầu đối với môi chất lạnh:

a. Tính chất hoá học:

Bền vững về mặt hoá học trong phạm vi áp suất và nhiệt độ làm việc, không được phân huỷ và polyme hóa.

Phải trơ, không ăn mòn các vật liệu chế tạo máy, dầu bôi trơn...

An toàn, không dễ cháy nổ

b. Tính chất lý học:

Áp suất ngưng tụ P_k không được quá cao: giảm chiều dày các thiết bị.

Áp suất bay hơi P_o không được quá nhỏ, phải lớn hơn áp suất khí quyển để hệ thống không bị chân không, dễ rò lọt không khí vào hệ thống

Nhiệt độ đông đặc nhỏ hơn nhiệt độ bay hơi.

Nhiệt độ tới hạn phải cao hơn nhiệt độ ngưng tụ

Nhiệt ẩn hóa hơi và nhiệt dung riêng càng lớn càng tốt.

Năng suất lạnh riêng thể tích càng lớn càng tốt.

Độ nhớt càng nhỏ càng tốt.

Hệ số dẫn nhiệt càng lớn càng tốt.

Khả năng hoà tan nước càng lớn càng tốt.

Không được dẫn điện

c. Tính chất sinh lý:

Môi chất không được độc hại với con người và cơ thể sống, không gây phản ứng với cơ quan hô hấp.

Môi chất phải có mùi đặc trưng để dễ dàng phát hiện rò rỉ.

Nếu cần có thể pha thêm chất có mùi đặc trưng vào môi chất với điều kiện chất đó không ảnh hưởng đến các tính chất khác của môi chất.

Không ảnh hưởng xấu đến chất lượng sản phẩm bảo quản.

d. Tính kinh tế:

Giá thành phải rẻ, Dễ kiếm nghĩa là môi chất được sản xuất công nghiệp, vận chuyển và bảo quản dễ dàng.

e. Tính an toàn và cháy nổ:

Phải an toàn, không dễ cháy nổ.

* Kết luận:

Không có môi chất lạnh lý tưởng đáp ứng đầy đủ các yêu cầu trên mà chỉ có thể đáp ứng ít hay nhiều các yêu cầu trên mà thôi. Tùy trường hợp ứng dụng có thể chọn một loại môi chất này hay môi chất kia cho phù hợp.

1.2.4. Môi chất lạnh thường dùng:

a. Amoniac (NH_3):

Amoniac có công thức hoá học NH_3 và ký hiệu môi chất là R717 là một chất khí không màu có mùi hắc đặc trưng

Ở áp suất khí quyển có $t_s = -33,4^\circ\text{C}$. Có tính chất nhiệt động tốt phù hợp với máy lạnh nén hơi dùng máy nén piston

* Tính chất hóa học:

NH_3 bền vững ở khoảng nhiệt độ và áp suất làm việc. NH_3 chỉ phân huỷ thành N_2 và H_2 ở 260°C .

Khi có nước và thép làm chất xúc tác thì NH_3 phân huỷ ngay ở nhiệt độ $110 \square 120^\circ\text{C}$. Vì vậy cần làm mát tốt ở đầu xilanh và hạn chế nhiệt độ cuối tầm nén càng thấp càng tốt.

NH_3 không ăn mòn các kim loại dùng chế tạo máy nhưng ăn mòn đồng và các hợp kim của đồng, ngoại trừ đồng thau phát phát. Do đó không sử dụng đồng và các hợp kim của đồng trong máy lạnh NH_3 .

* Tính chất vật lý:

Ở điều kiện ngưng tụ làm mát bằng nước nếu $t_{\text{nước}} = 25^\circ\text{C}$. nhiệt độ nước ra khỏi ngưng tụ $t = 37^\circ\text{C}$ thì $t_k = 42^\circ\text{C}$ và $P_k = 16,5 \text{ bar}$.

Nhiệt độ cuối tầm nén rất cao nên phải làm mát bằng nước.

Áp suất bay hơi lớn hơn 1 bar (áp suất khí quyển) nên máy lạnh làm việc ít bị chân không. Chỉ bị chân không khi nhiệt độ bay hơi nhỏ hơn $-33,4^\circ\text{C}$.

Năng suất lạnh riêng thể tích lớn nên máy nén và thiết bị gọn nhẹ (năng suất lạnh riêng thể tích là năng suất lạnh của 1 đơn vị thể tích môi chất)

Độ nhớt nhỏ, tính lưu động cao nên tổn thất áp suất trên đường ống nhỏ.

Hệ số dẫn nhiệt và trao đổi nhiệt lớn nên thuận lợi cho việc tính toán chế tạo thiết bị bay hơi và ngưng tụ.

Hoà tan nước không hạn chế nên van tiết lưu không bị tắc ẩm.

Không hoà tan dầu nên khó bôi trơn các chi tiết chuyển động cơ của máy nén và hệ thống máy lạnh phải bố trí bình tách dầu.

Dẫn điện nên không sử dụng cho máy nén kín

* Tính chất sinh lý:

Nhược điểm cơ bản nhất của NH_3 là gây độc hại đối với con người và cơ thể sống. Ở nồng độ 1% trong không khí gây ngất sau 1 phút.

Có mùi đặc trưng khó chịu nên dễ phòng tránh.

Làm giảm chất lượng sản phẩm cần bảo quản.

* Tính kinh tế:

Là môi chất lạnh dễ tìm, rẻ tiền, dễ vận chuyển và bảo quản

* Tính an toàn cháy nổ:

Gây cháy nổ trong không khí ở nồng độ 13,5 – 16% với nhiệt độ cháy 651°C. Vì vậy các gian máy NH_3 không được dùng ngọn lửa trần và các gian máy phải thông thoáng.

* Kết luận:

Qua các tính chất trên ngày nay NH_3 trở thành môi chất quan trọng được sử dụng trong nhiều lĩnh vực từ nhiệt độ bay hơi +10 – 60°C.

b. R12:

Môi chất lạnh R12 có công thức hoá học là CCl_2F_2 , là một chất khí không màu có mùi thơm rất nhẹ, nặng hơn không khí khoảng 4 lần ở 30°C. Ở áp suất khí quyển có nhiệt độ sôi -28,9°C.

* Tính chất hoá học:

Bền vững trong phạm vi nhiệt độ và áp suất làm việc.

Không phản ứng hoá học với dầu bôi trơn và vật liệu phụ trong hệ thống lạnh.

Không ăn mòn kim loại đen, màu và phi kim loại nhưng làm trương phồng một số chất hữu cơ như cao su và một số chất dẻo.

Bắt đầu phân huỷ ở nhiệt độ 540 – 565°C khi có chất xúc tác, đến 760°C thì phân huỷ hoàn toàn.

* Tính chất lý học:

Áp suất ngưng tụ thuộc loại trung bình, ở nhiệt độ ngưng tụ 42°C thì áp suất ngưng tụ $P_k = 10$ bar.

Nhiệt độ cuối tầm nén thấp.

Áp suất bay hơi lớn hơn 1 bar (áp suất khí quyển).

Năng suất lạnh riêng khối lượng nhỏ, chỉ bằng 1/8 đến 1/10 NH_3 nên lưu lượng tuần hoàn trong hệ thống lớn

Năng suất lạnh riêng thể tích bằng khoảng 60% của NH_3 nên hệ thống cồng kềnh hơn.

Độ lưu động kém nên đường ống cửa van phải làm to.

Không dẫn điện nên sử dụng được cho máy nén kín và nửa kín.

Hoà tan dầu hoàn toàn nên rất thuận lợi cho việc bôi trơn.

Không hoà tan nước nên nhược điểm rất lớn là gây tắc ẩm ở bộ phận tiết lưu.

Có đặc tính rửa sạch cặn bẩn, cát bụi, gỉ sắt trên thành máy nén và thiết bị nên phải bố trí phin lọc cẩn thận.

Có khả năng rò rỉ rất cao, có thể rò rỉ qua cả gang có cấu trúc tinh thể thô.

*** Tính chất sinh lý:**

Không độc hại đối với con người và cơ thể sống.

Với nồng độ 30% gây ngạt vì thiếu dưỡng khí.

Không ảnh hưởng xấu đến chất lượng sản phẩm bảo quản.

*** Tính kinh tế:**

Giá thành đắt tuy dễ kiểm, dễ bảo quản và vận chuyển.

Do phá huỷ tầng ôzôn nên cấm sử dụng ở các nước công nghiệp từ 1/1/1996 và các nước đang phát triển từ 1/1/2006

*** Tính an toàn cháy nổ:**

Không gây cháy nổ nên được gọi là môi chất lạnh an toàn.

c. R22:

Là môi chất lạnh có công thức hoá học CHClF_2 , là chất khí không màu có mùi thơm rất nhẹ.

Ở áp suất khí quyển có $t_s = -40,8^\circ\text{C}$.

*** Tính chất hoá học:**

Bền vững ở phạm vi nhiệt độ và áp suất làm việc.

Khi có chất xúc tác là thép, phân huỷ ở 550°C .

Không tác dụng với kim loại và phi kim loại chế tạo máy nhưng hoà tan và làm trương phồng một số chất hữu cơ (cao su, chất dẻo).

*** Tính chất lý học:**

Ở điều kiện ngưng tụ làm mát bằng nước, nhiệt độ ngưng tụ $t_k = 42^\circ\text{C}$, $P_k = 16,1$ bar là môi chất có P_k khá cao. Nhiệt độ cuối tầm nén trung bình.

Ở áp suất khí quyển có $t_s = -40,8^\circ\text{C}$ nên áp suất bay hơi thường lớn hơn áp suất khí quyển.

Năng suất lạnh riêng thể tích lớn gần NH_3 nên máy gọn nhẹ.

Độ nhớt nhỏ, tính lưu động lớn.

Hoà tan hạn chế dầu nên gây khó khăn cho quá trình bôi trơn.

Không hoà tan nước nhưng mức độ hòa tan lớn gấp 5 lần của R12 nên nguy cơ tắc ẩm giảm đi.

Không dẫn điện nên có thể dùng cho máy nén kín và nửa kín.

*** Tính chất sinh lý:**

Không độc hại đối với cơ thể sống, khi nồng độ quá cao sẽ gây ngạt do thiếu dưỡng khí.

Không ảnh hưởng xấu đến sản phẩm bảo quản.

* Tính kinh tế:

Đắt tiền tuy dễ kiểm, dễ bảo quản và dễ vận chuyển.

* Tính an toàn cháy nổ:

Không cháy và không nổ tuy tính an toàn thấp hơn R12.

2.2. **Chất tải lạnh:**

Là môi chất trung gian, nhận nhiệt của đối tượng cần làm lạnh chuyển tới thiết bị bay hơi cấp cho chất lạnh sôi. Chất tải lạnh còn gọi là môi chất lạnh thứ cấp.

2.2.1. Các yêu cầu đối với chất tải lạnh:

Giống như môi chất lạnh, chất tải lạnh lý tưởng cũng cần có các tính chất sau đây:

* Tính chất hoá học:

Không ăn mòn thiết bị.

Bền vững, không phân hủy trong phạm vi làm việc.

* Tính chất vật lý:

Nhiệt độ đông đặc phải thấp hơn nhiệt độ bay hơi của môi chất lạnh là 5°C

Nhiệt độ sôi ở áp suất khí quyển phải cao để khi dừng máy, nhiệt độ chất tải lạnh nâng lên bằng nhiệt độ môi trường thì chất tải lạnh không bị bay hơi.

Hệ số dẫn nhiệt và trao đổi nhiệt phải lớn.

Nhiệt dung riêng càng lớn càng tốt

Độ nhớt và khối lượng càng nhỏ càng tốt vì giảm được tổn thất thủy lực.

* Tính chất sinh lý:

Không độc hại với con người và cơ thể sống.

Không tác động xấu đến thực phẩm.

* Tính kinh tế:

Phải rẻ tiền, dễ kiểm, dễ vận chuyển và bảo quản.

* Tính an toàn cháy nổ:

Không gây cháy nổ.

Không làm ô nhiễm môi trường.

2.2. . Các chất tải lạnh thường dùng:

* Nước:

Là chất tải lạnh lý tưởng, nó đáp ứng hầu hết các yêu cầu đã nêu. Nhược điểm duy nhất là đông đặc ở 0°C.

* Dung dịch nước muối NaCl:

Đáp ứng khá đầy đủ yêu cầu trên. Nhược điểm chủ yếu là ăn mòn kim loại của hệ thống lưu chuyển môi chất tải lạnh.

* Dung dịch nước muối CaCl₂:

Có các tính chất gần giống NaCl tuy khó tìm.

2.3. Bài tập về môi chất lạnh và chất tải lạnh:

Câu 1: Nêu cách ký hiệu môi chất lạnh frêon ?

Câu 2: Môi chất có kí hiệu R114. Tìm công thức hoá học của môi chất đó ?

Câu 3: Tìm ký hiệu của môi chất lạnh NH_3 , CO_2 , không khí ?

3. CÁC HỆ THỐNG LẠNH THÔNG DỤNG:

Mục tiêu:

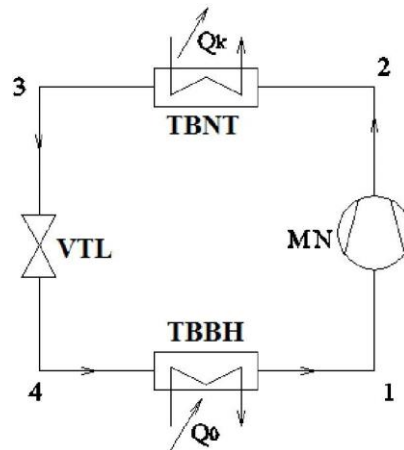
- Nắm rõ các chu trình lạnh 1 cấp và 2 cấp.
- Nguyên lý hoạt động của các chu trình 1 cấp và 2 cấp.
- Cách thể hiện chu trình trên đồ thị lgp-h, t-s.
- Tính toán chu trình bằng bảng tra hoặc đồ thị.

3.1. Hệ thống lạnh với một cấp nén:

3.1.1. Sơ đồ 1 cấp nén đơn giản:

Sơ đồ 1 cấp nén đơn giản hay còn gọi là chu trình khô. Chu trình khô là chu trình có hơi hút về máy nén là hơi bão hoà khô.

a) Sơ đồ nguyên lý



Hình 2.4: Chu trình khô

TBBH - Thiết bị bay hơi ; TBNT - Thiết bị ngưng tụ ;

MN - Máy nén ; VTL - Van tiết lưu

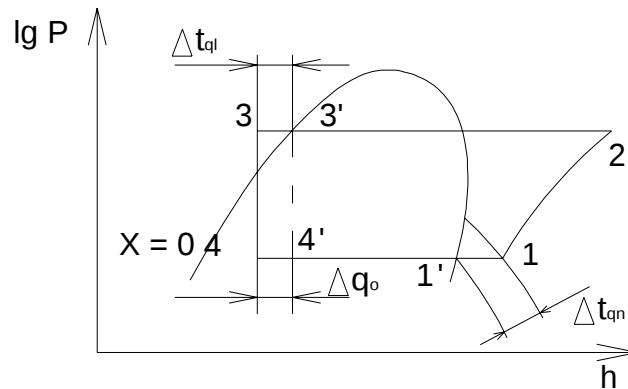
b) Nguyên lý làm việc:

Hơi bão hòa khô sau TBBH được máy nén hút về nén đoạn nhiệt, đẳng entropy theo quá trình 1-2 thành hơi quá nhiệt cao áp có thông số trạng thái tại 2 đẩy vào TBNT. Tại TBNT, hơi quá nhiệt cao áp nhả nhiệt cho môi trường làm mát ngưng tụ đẳng áp theo quá trình 2-3 thành lỏng cao áp. Lỏng cao áp với thông số trạng thái 3 đi đến van tiết lưu tiết lưu đẳng enthalpy thành hơi bão hòa ẩm hạ áp với thông số trạng thái 4 đi vào TBBH. Tại TBBH, hơi hạ áp nhận nhiệt của môi trường cần làm lạnh sôi và hóa hơi đẳng áp. Hơi sau TBBH tiếp tục được máy nén hút về, chu trình cứ thế tiếp diễn.

c) Đồ thị:

ngưng tụ đẳng áp thành lỏng cao áp ứng với trạng thái 3' và được làm quá lạnh nhờ thiết bị quá lạnh ($t_3 < t_3'$). Lỏng môi chất sau khi được quá lạnh qua van tiết lưu nhiệt tiết lưu thành hơi bão hòa ẩm có nhiệt độ, áp suất thấp đưa vào TBBH. Tại TBBH, môi chất nhận nhiệt của môi trường cần làm lạnh sôi và hóa hơi đẳng áp đến trạng thái 1' sau đó được quá nhiệt và được máy nén hút về, chu trình cứ thế tiếp diễn.

* Đồ thị lgp - h:



Hình 2.7: Đồ thị $T - s$ và $lgp - h$

* Tính toán chu trình:

- Nhiệt lượng nhận được ở THBH : $q_o = h_{1'} - h_4$ [2-6]

- Năng suất lạnh riêng thể tích q_{ov} : $q_{ov} = q_o/v_1$ [2-7]

- Nhiệt lượng thải ra ở TBNT : $q_k = h_2 - h_3$ [2-8]

- Công nén riêng l : $l = h_2 - h_1$ [2-9]

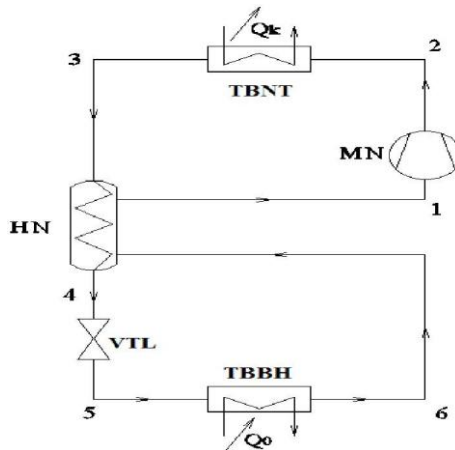
- Tỷ số nén $\square$: $\square = \frac{p_k}{p_o}$ [2-10]

- Hệ số làm lạnh $\square$: $\square = \frac{q_o}{l}$ [2-11]

b. Chu trình hồi nhiệt:

Chu trình hồi nhiệt là chu trình có thiết bị trao đổi nhiệt giữa môi chất lỏng nóng trước khi vào van tiết lưu và hơi lạnh trước khi về máy nén.

* Sơ đồ nguyên lý:

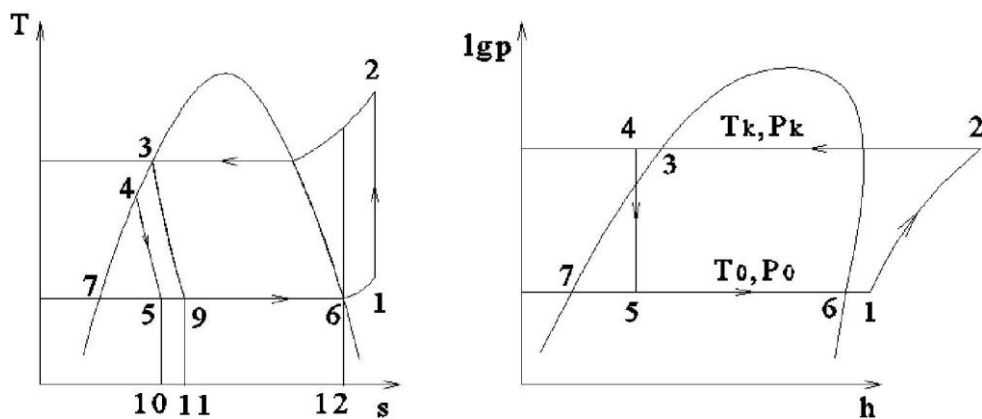


Hình 2.8: Chu trình hồi nhiệt
HN: thiết bị hồi nhiệt.

* Nguyên lý làm việc:

Hơi quá nhiệt với thông số trạng thái 1 được máy nén hút về nén đoạn nhiệt - đẳng entropy theo quá trình 1 - 2 thành hơi quá nhiệt cao áp với thông số trạng thái 2 đẩy vào TBNT. Tại TBNT hơi quá nhiệt cao áp nhả nhiệt cho môi trường làm mát ngưng tụ đẳng áp theo quá trình 2 - 3 thành lỏng cao áp. Lỏng cao áp với thông số trạng thái 3 đi đến thiết bị HN nhả nhiệt cho hơi từ TBBH đến thành lỏng quá lạnh. Lỏng với thông số trạng thái 4 đi qua van tiết lưu tiết lưu đẳng enthalpy thành hơi bão hòa ẩm hạ áp với thông số trạng thái 5 đi vào TBBH. Tại TBBH, môi chất nhận nhiệt của môi trường cần làm lạnh sôi và hóa hơi đẳng áp thành hơi có thông số trạng thái 6 rồi đi đến thiết bị HN. Tại thiết bị HN, hơi nhận nhiệt đẳng áp từ lỏng sau TBNT trở thành hơi quá nhiệt và được máy nén hút về, chu trình cứ thế tiếp diễn.

* Đồ thị:



Hình 2.9: Đồ thị

*

Tính toán chu trình:

- Nhiệt lượng nhận được ở TBBH : $q_0 = h_6 - h_5$ [2-12]
- Năng suất lạnh riêng thể tích q_{ov} : $q_{ov} = q_0/v_1$ [2-13]
- Nhiệt lượng thải ra ở TBNT : $q_k = h_2 - h_3$ [2-14]

- Công nén riêng l : $l = h_2 - h_1$ [2-15]

- Tỷ số nén $\square$: $\square = \frac{p_k}{p_o}$ [2-16]

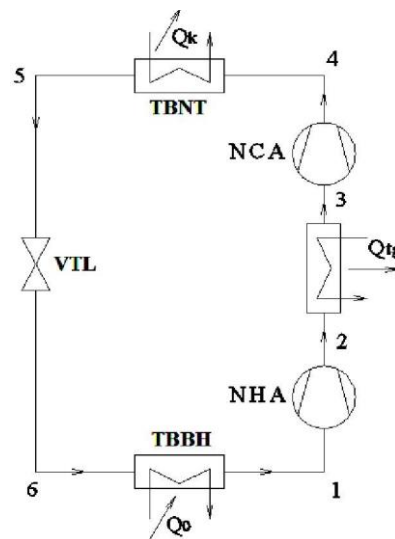
- Hệ số làm lạnh $\square$: $\square = \frac{q_o}{l}$ [2-17]

3.2. Sơ đồ 2 cấp nén có làm mát trung gian:

3.2.1. Chu trình 2 cấp, 1 tiết lưu làm mát trung gian không hoàn toàn:

Chu trình 2 cấp, 1 tiết lưu làm mát trung gian không hoàn toàn là chu trình có hơi hút về máy nén là hơi bão hoà khô, riêng quá trình nén được phân thành 2 cấp. Hơi sinh ra ở máy nén hạ áp được làm mát trung gian.

* Sơ đồ nguyên lý:



Hình 2.10 : Sơ đồ nguyên lý

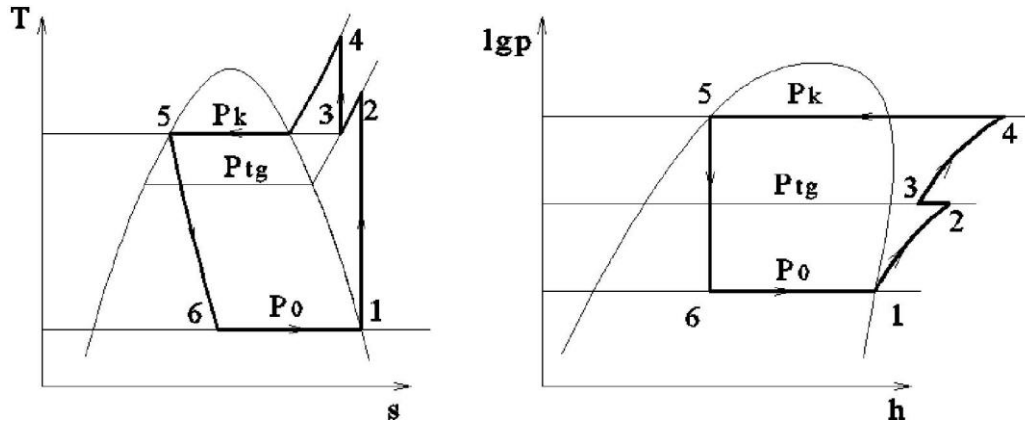
NHA : Máy nén hạ áp ; NCA : Máy nén cao áp ;

Q_{tg} : Thiết bị làm mát trung gian

* Nguyên lý làm việc:

Hơi bão hoà khô sau khi ra TBBH có thông số trạng thái tại 1 được máy nén hạ áp hút về nén đoạn nhiệt – đẳng entropy thành hơi quá nhiệt trung gian có thông số trạng thái 2, hơi quá nhiệt trung gian sau đó được đưa vào thiết bị làm mát trung gian, môi chất nhả nhiệt cho môi trường làm mát không hoàn toàn theo quá trình 2 - 3. Hơi quá nhiệt trung áp ở trạng thái 3 được máy nén cao áp hút về nén đoạn nhiệt – đẳng entropy thành hơi quá nhiệt cao áp đẩy vào TBNT. Tại TBNT, hơi quá nhiệt cao áp nhả nhiệt cho môi trường làm mát ngưng tụ đẳng áp thành lỏng cao áp ở trạng thái 5. Lỏng sau TBNT được đưa đến van tiết lưu tiết lưu thành hơi bão hoà ẩm có nhiệt độ, áp suất thấp với trạng thái 6 rồi đi vào TBBH. Tại TBBH, môi chất nhận nhiệt của môi trường cần làm lạnh sôi và hóa hơi trở về trạng thái 1. Hơi này được máy nén hút về, chu trình cứ thế tiếp diễn.

* Đồ thị:



Hình 2.11: Đồ thị

*

Tính toán chu trình :

- Công nén riêng: $l = l_{NHA} + l_{NCA} = (h_2 - h_1) + (h_4 - h_3)$, kJ/kg [2-18]

- Nhiệt lượng nhả ra ở thiết bị làm mát trung gian: $q_{tg} = h_2 - h_3$, kJ/kg [2-19]

- Nhiệt lượng nhả ra ở thiết bị ngưng tụ: $q_k = h_4 - h_5$, kJ/kg [2-20]

- Nhiệt lượng nhận được ở thiết bị bay hơi: $q_o = h_1 - h_6$, kJ/kg [2-21]

- Năng suất lạnh riêng thể tích: $q_{ov} = \frac{q_o}{v_1}$, kJ/m³ [2-22]

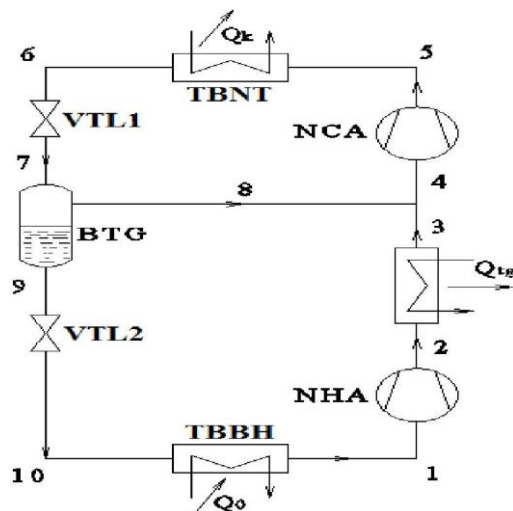
- Áp suất trung gian: $P_{tg} = \sqrt{P_0 \cdot P_k}$ [2-23]

- Tỷ số nén : $\square = \frac{P_k}{P_0}$ [2-24]

- Hệ số làm lạnh $\square$: $\square = \frac{q_o}{l}$ [2-25]

3.2.2. Chu trình 2 cấp, 2 tiết lưu làm mát trung gian không hoàn toàn:

* Sơ đồ nguyên lý:

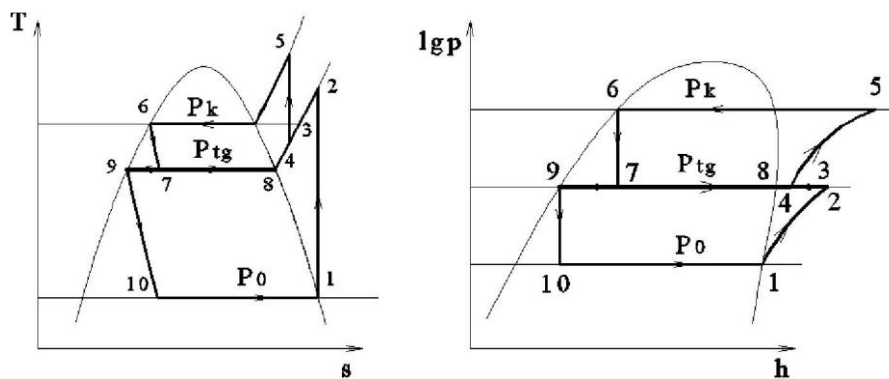


Hình 2.12: Sơ đồ nguyên lý
BTG : Bình trung gian

* Nguyên lý hoạt động:

Hơi sau TBBH có thông số trạng thái 1 được máy nén hạ áp hút về nén đoạn nhiệt – đẳng entropy thành hơi quá nhiệt trung gian có thông số tại trạng thái 2, hơi quá nhiệt trung gian sau đó được đưa vào thiết bị làm mát trung gian, môi chất nhả nhiệt cho môi trường làm mát theo quá trình 2-3. Sau khi ra khỏi thiết bị làm mát trung gian, hơi quá nhiệt trung gian tại 3 được hỗn hợp với hơi từ bình trung gian thành hỗn hợp hơi có số trạng thái 4. Hơi tại 4 được máy nén cao áp hút về nén đoạn nhiệt – đẳng entropy thành hơi quá nhiệt cao áp đẩy vào TBNT. Tại TBNT, hơi quá nhiệt cao áp nhả nhiệt cho môi trường làm mát ngưng tụ đẳng áp thành lỏng cao áp ở trạng thái 6. Lỏng này qua VTL 1 tiết lưu đến trạng thái 7. Phần hơi sinh ra sau VTL 1 với thông số trạng thái 8 được đưa trở lại đầu hút máy nén cao áp, phần lỏng với trạng thái 9 đi qua VTL 2 tiết lưu thành hơi bão hòa ẩm có nhiệt độ áp suất thấp đưa vào TBBH. Tại TBBH, môi chất nhận nhiệt của môi trường cần làm lạnh sôi và hóa hơi thành hơi ở trạng thái 1, hơi này được máy nén hút về, chu trình cứ thế tiếp diễn.

* Đồ thị:



Hình 2.13: Đồ thị

* Tính toán chu trình:

Gọi m_1 là lượng môi chất vào NHA

m_4 là lượng môi chất vào NCA

Ta có lượng môi chất bão hòa khô ra khỏi BTG là m_8 và lượng lỏng môi chất ra khỏi BTG vào van tiết lưu 2 là m_1

Vậy tại bình trung gian ta có:

* Cân bằng chất : $m_4 = m_1 + m_8$ (1)

* Cân bằng Enthalpy: $m_4 h_7 = m_8 h_8 + m_1 h_9$ (2)

□ $m_4 h_7 = (m_4 - m_1) h_8 + m_1 h_9$

$$\frac{m_4}{m_1} \square \frac{h_8 - h_7}{h_8 - h_9}$$

- Công nén riêng: $l = l_{\text{NHA}} + l_{\text{NCA}} = (h_2 - h_1) + (h_5 - h_4)$, kJ/kg [2-26]

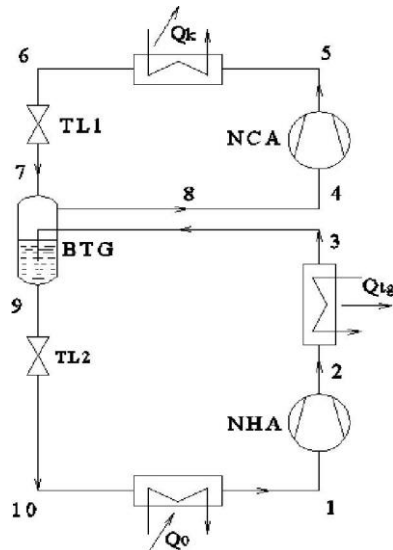
- Nhiệt lượng nhả ra ở thiết bị làm mát trung gian: $q_{tg} = h_2 - h_3$, kJ/kg [2-27]
- Nhiệt lượng nhả ra ở thiết bị ngưng tụ: $q_k = h_5 - h_6$, kJ/kg [2-28]
- Nhiệt lượng nhận được ở thiết bị bay hơi: $q_o = h_1 - h_{10}$, kJ/kg [2-29]
- Năng suất lạnh riêng thể tích: $q_{ov} = \frac{q_o}{v_1}$, kJ/m³ [2-30]
- Áp suất trung gian: $P_{tg} = \sqrt{P_0 \cdot P_k}$ [2-31]
- Tỷ số nén: $\square = \frac{P_k}{P_0}$ [2-32]
- Hệ số làm lạnh $\square$: $\square = \frac{m_1 q_o}{m_1 l_1 \square m_4 l_2} \square \frac{q_o}{l \square \frac{m_4 l_2}{m_1}}$ [2-33]

3.2.3. Chu trình 2 cấp, 2 tiết lưu, làm mát trung gian hoàn toàn:

Nhược điểm chính của chu trình 2 cấp làm mát trung gian không hoàn toàn là hơi hút về máy nén chưa phải là hơi bão hoà khô $\square$ công nén chưa gần tối đa và nhiệt độ cuối tầm nén cao.

Để khắc phục nhược điểm trên, người ta cho sức thẳng hơi quá nhiệt trung gian vào bình trung gian để làm mát hoàn toàn hơi nén hạ áp sau thiết bị làm mát trung gian.

* Sơ đồ nguyên lý:



Hình 2.14: Sơ đồ nguyên lý

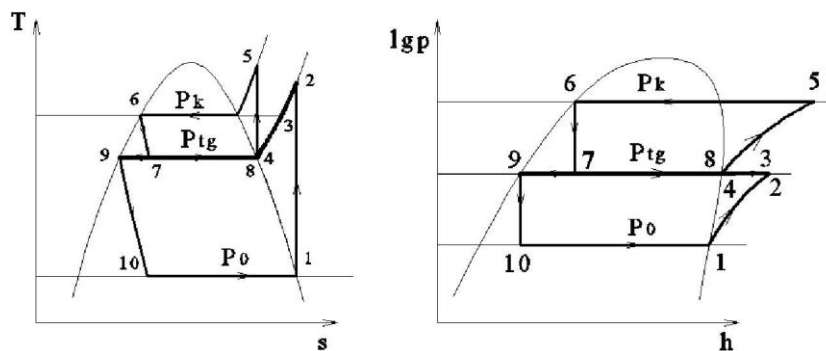
*

Nguyên lý hoạt động:

Hơi sau TBBH có thông số trạng thái 1 được máy nén hạ áp hút về nén đoạn nhiệt– đẳng entropy thành hơi quá nhiệt trung gian có thông số tại trạng thái 2, hơi quá nhiệt trung gian sau đó được đưa vào thiết bị làm mát trung gian, môi chất nhả nhiệt cho môi trường làm mát theo quá trình 2-3. Hơi sau thiết bị làm mát trung gian ở trạng thái 3 được sức thẳng vào bình trung gian. Tại đây hơi sẽ được một phần lỏng sau VTL 1 thu nhiệt bay hơi và làm mát tới trạng thái

bão hoà khô ứng với thông số trạng thái 8. Hơi sau bình trung gian tiếp tục được máy nén cao áp hút về nén đoạn nhiệt – đẳng entropy thành hơi quá nhiệt cao áp đẩy vào TBNT. Tại TBNT, hơi quá nhiệt cao áp nhả nhiệt cho môi trường làm mát ngưng tụ đẳng áp thành lỏng cao áp ở trạng thái 6. Lỏng này qua VTL 1 tiết lưu đến trạng thái 7 đổ vào bình trung gian. Phần hơi sinh ra sau VTL 1 với thông số trạng thái 8 và phần lỏng bay hơi để làm mát hơi từ máy nén hạ áp được đưa trở lại đầu hút máy nén cao áp. Phần lỏng với trạng thái 9 đi qua VTL 2 tiết lưu thành hơi bão hòa ẩm có nhiệt độ áp suất thấp đưa vào TBBH. Tại TBBH, môi chất nhận nhiệt của môi trường cần làm lạnh sôi và hóa hơi thành hơi ở trạng thái 1, hơi này được máy nén hút về, chu trình cứ thế tiếp diễn.

* Đồ thị:



Hình 2.1 : Đồ thị

* Tính toán chu trình:

Gọi m_1 là lượng môi chất vào NHA

m_4 là lượng môi chất vào NCA,

m_4 = lượng môi chất vào NHA (m_1) + lượng hơi hình thành sau van tiết lưu 1 (m_8) + lượng lỏng bay hơi ở bình trung gian để làm mát hoàn toàn hơi trung áp (m_9)

Vậy tại bình trung gian ta có:

- Cân bằng chất: $m_4 = m_1 + m_8$ (1)

- Cân bằng Entanpi: $m_1 h_9 + m_4 h_8 = m_1 h_3 + m_4 h_7$ (2)

$$\square \frac{m_4}{m_1} \square \frac{h_3 - h_8}{h_7 - h_8}$$

- Công nén riêng: $l = l_{\text{NHA}} + l_{\text{NCA}} = (h_2 - h_1) + (h_5 - h_4)$, kJ/kg [2-36]

- Nhiệt lượng nhả ra ở thiết bị làm mát trung gian: $q_{\text{tg}} = h_2 - h_3$, kJ/kg [2-37]

- Nhiệt lượng nhả ra ở thiết bị ngưng tụ: $q_k = h_5 - h_6$, kJ/kg [2-38]

- Nhiệt lượng nhận được ở thiết bị bay hơi: $q_0 = h_1 - h_{10}$, kJ/kg [2-39]

- Năng suất lạnh riêng thể tích: $q_{\text{ov}} = \frac{q_0}{v_1}$, kJ/m³ [2-40]

- Áp suất trung gian: $P_{\text{tg}} = \sqrt{P_0 \cdot P_k}$ [2-41]

- Tỷ số nén :

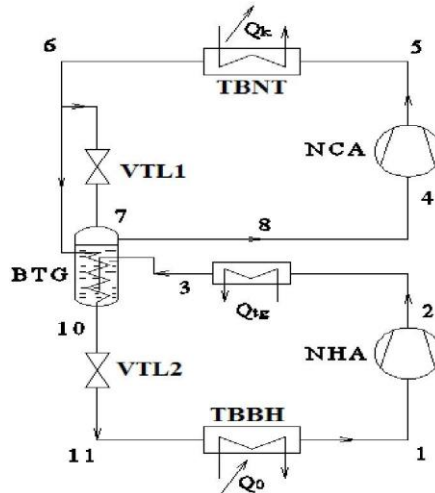
$$\square = \frac{P_k}{P_0} \quad [2-42]$$

- Hệ số làm lạnh $\square$:

$$\square = \frac{m_1 q_o}{m_1 l_1 \square m_4 l_2} \square \frac{q_o}{l_1 \square \frac{m_4 l}{m_1}} \quad [2-43]$$

3.2.4. Chu trình 2 cấp, 2 tiết lưu, làm mát trung gian hoàn toàn, bình trung gian ống xoắn:

* Sơ đồ nguyên lý:



Hình 2.16: Sơ đồ nguyên lý

*

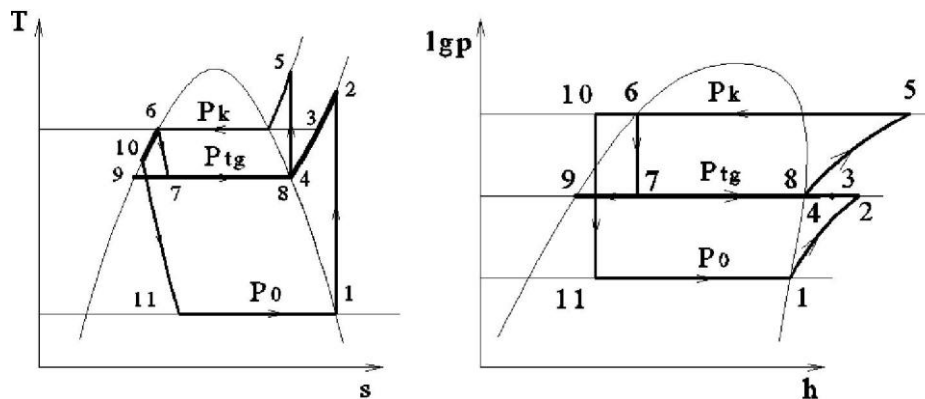
Nguyên lý hoạt động:

Chu trình cơ bản giống chu trình 2 cấp, 2 tiết lưu làm mát trung gian hoàn toàn. Sự khác biệt cơ bản là dòng môi chất từ TBNT đi ra chia làm 2 nhánh:

Nhánh 1: qua VTL 1 tiết lưu thành hơi bão hòa ẩm trung gian đổ vào bình trung gian ống xoắn. Hơi sinh ra sau VTL 1 cùng với lượng lỏng bay hơi để làm mát hơi từ máy nén hạ áp đến và lượng lỏng bay hơi để quá lạnh lỏng cao áp với thông số trạng thái 8 được đưa trở lại đầu hút máy nén cao áp.

Nhánh 2: phần lớn lượng môi chất qua nhánh này đi qua ống xoắn trong bình trung gian và được làm quá lạnh trước khi qua VTL2 tiết lưu thành hơi bão hòa ẩm có nhiệt độ áp suất thấp đưa vào TBBH.

* Đồ thị:



Hình 2.17: Đồ thị

* Tính toán chu trình:

Gọi m_1 là lượng môi chất vào NHA

m_4 là lượng môi chất vào NCA,

m_4 = lượng môi chất vào NHA + lượng hơi hình thành sau van tiết lưu 1 + lượng lỏng bay hơi ở bình trung gian để làm mát hoàn toàn hơi trung áp + lượng lỏng bay hơi ở bình trung gian để quá lạnh lỏng cao áp.

Theo phương trình cân bằng Entanpi tại bình trung gian:

$$m_1 h_6 + m_1 h_2 + (m_4 - m_1) h_7 = m_1 h_{10} + m_4 h_8$$

$$\frac{m_4}{m_1} = \frac{h_6 - h_2 - (h_7 - h_{10})}{h_8 - h_7}$$

- Công nén riêng: $l = l_{NHA} + l_{NCA} = (h_2 - h_1) + (h_5 - h_4)$, kJ/kg [2-44]

- Nhiệt lượng nhả ra ở thiết bị làm mát trung gian: $q_{tg} = h_2 - h_3$, kJ/kg [2-45]

- Nhiệt lượng nhả ra ở thiết bị ngưng tụ: $q_k = h_5 - h_6$, kJ/kg [2-46]

- Nhiệt lượng nhận được ở thiết bị bay hơi: $q_o = h_1 - h_{10}$, kJ/kg [2-47]

- Năng suất lạnh riêng thể tích: $q_{ov} = \frac{q_o}{v_1}$, kJ/m³ [2-48]

- Áp suất trung gian: $P_{tg} = \sqrt{P_0 \cdot P_k}$ [2-49]

- Tỷ số nén: $\square = \frac{P_k}{P_0}$ [2-50]

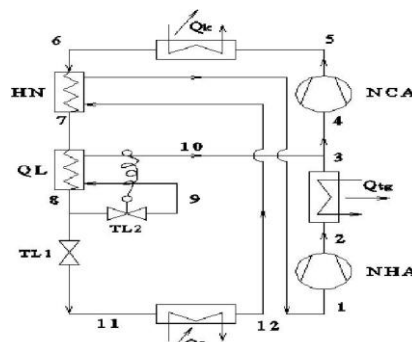
- Hệ số làm lạnh $\square$: $\square = \frac{m_1 q_o}{m_1 l_1 + m_4 l_2} = \frac{q_o}{l_1 + \frac{m_4}{m_1} l_2}$ [2-51]

3.3. Các sơ đồ khác:

3.3.1. Chu trình 2 cấp, có quá lạnh, quá nhiệt:

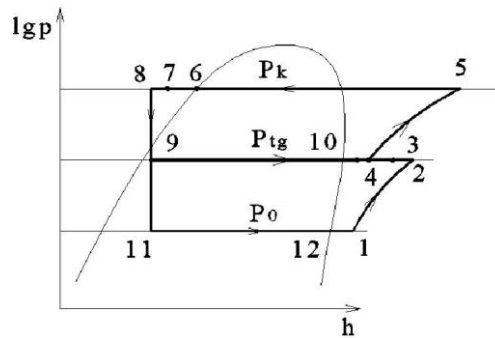
Đây là chu trình hai cấp nén, làm mát trung gian không hoàn toàn, tiết lưu thẳng từ p_k xuống p_o , tiết lưu thứ hai sử dụng môi chất lỏng bay hơi ở áp suất trung gian làm quá lạnh lỏng, có thiết bị hồi nhiệt giữa hơi hút về máy nén hạ áp và lỏng trước khi vào thiết bị quá lạnh, sử dụng chủ yếu cho môi chất frêon.

* Sơ đồ nguyên lý:



Hình 2.18: Sơ đồ nguyên lý

* Đồ thị:



Hình 2.19: Đồ thị

* Nguyên lý hoạt động:

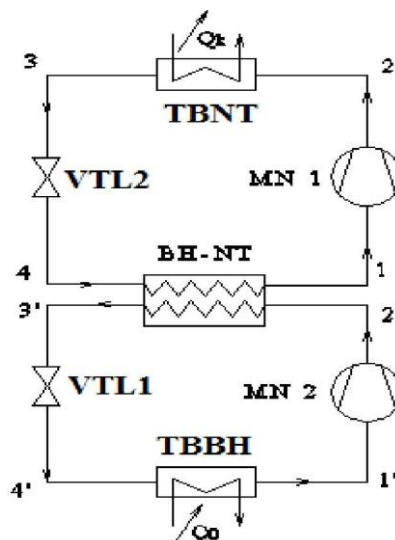
Đặc điểm của sơ đồ này là có thiết bị hồi nhiệt và thiết bị quá lạnh lỏng bằng tiết lưu môi chất lỏng xuống áp suất trung gian bằng van tiết lưu nhiệt. Sau van tiết lưu 2 môi chất có trạng thái 9. Khi ra khỏi thiết bị quá lạnh môi chất ở trạng thái hơi quá nhiệt 10. Độ quá nhiệt 10 được khống chế bằng van tiết lưu nhiệt 2.

3.3.2. Chu trình máy lạnh ghép tầng:

Nguyên lý của chu trình ghép tầng là ghép các chu trình lạnh đơn giản một cấp với nhau theo kiểu: thiết bị bay hơi của cấp trên dùng làm thiết bị ngưng tụ của cấp dưới

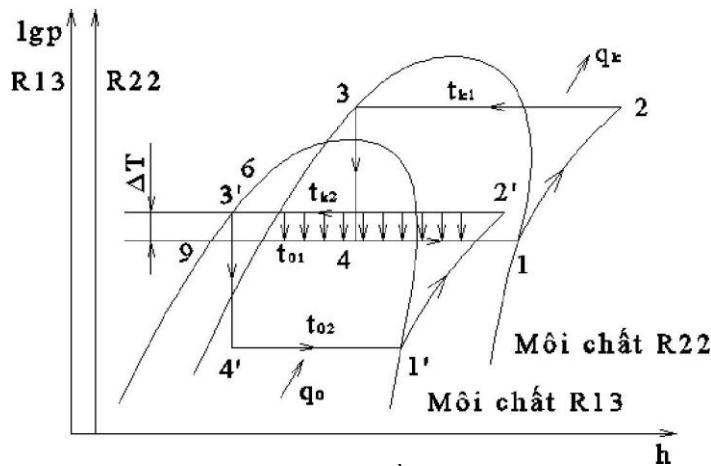
Toàn bộ nhiệt thải ra ở thiết bị ngưng tụ ở tầng dưới phải được thải cho thiết bị bay hơi của tầng trên nên năng suất nhiệt tầng dưới phải bằng năng suất lạnh tầng trên. Để đảm bảo sự truyền nhiệt, nhiệt độ ngưng tụ tầng dưới phải lớn hơn nhiệt độ bay hơi tầng trên. Trong máy lạnh ghép hai tầng, môi chất tầng trên thường là R22 và tầng dưới là R13. Vì vậy, áp suất vận hành trong máy lạnh ghép tầng không quá cao ở thiết bị ngưng tụ và quá thấp ở thiết bị bay hơi như máy lạnh hai hoặc ba cấp nén.

* Sơ đồ nguyên lý:



Hình 2.20: Sơ đồ nguyên lý
BH – NT: Thiết bị bay hơi – ngưng tụ

* Đồ thị:



Hình 2.2 : Sơ đồ nguyên lý

3.4. Bài tập:

Câu 1 : Một máy lạnh nén hơi amoniắc cỡ trung có thể tích hút lý thuyết $V_{lt} = 80 \text{ m}^3/\text{h}$. Biết nhiệt độ ngưng tụ $t_k = 42^\circ\text{C}$, nhiệt độ bay hơi $t_0 = -10^\circ\text{C}$. Xác định các thông số tại các điểm nút của chu trình ? Biết chu trình được tiến hành theo chu trình khô.

Câu 2 : Một máy làm đá làm việc theo chu trình hồi nhiệt, sử dụng môi chất R22, $Q_0 = 100 \text{ kW}$, $t_k = 40^\circ\text{C}$, $t_0 = -15^\circ\text{C}$. Hãy xác định thông số tại các điểm nút của chu trình ?

Câu 3: Tính toán chu trình 2 cấp, 1 tiết lưu làm mát trung gian không hoàn toàn. Biết chu trình sử dụng môi chất R22 :

a) $Q_0 = 150 \text{ kW}$

$t_k = 40^\circ\text{C}$

$t_0 = -35^\circ\text{C}$

b) $Q_0 = 150 \text{ kW}$

$t_k = 40^\circ\text{C}$

$t_0 = -50^\circ\text{C}$

4. MÁY NÉN LẠNH:

Mục tiêu:

- Cấu tạo và nguyên lý làm việc các loại máy nén
- Cấu tạo máy nén nhiều cấp (2 cấp).
- Nguyên lý hoạt động của máy nén nhiều cấp.
- Các phương pháp điều chỉnh năng suất.
- Tính toán công suất máy nén 1 cấp và nhiều cấp.

4.1. Khái niệm:

4.1.1. Vai trò của máy nén lạnh:

Máy nén lạnh là bộ phận quan trọng nhất trong các hệ thống lạnh nén hơi. Máy nén có nhiệm vụ liên tục hút hơi môi chất lạnh sinh ra ở thiết bị bay hơi để nén lên áp suất cao, nhiệt độ cao đẩy vào thiết bị ngưng tụ. Máy nén phải có năng suất hút đủ lớn để duy trì được áp suất bay hơi p_0 (tương ứng với nhiệt độ bay hơi t_0) đạt yêu cầu ở dàn bay hơi và có áp suất đầu đẩy đủ lớn để đảm bảo áp suất trong dàn ngưng tụ đủ cao tương ứng với nhiệt độ môi trường làm mát hiện có.

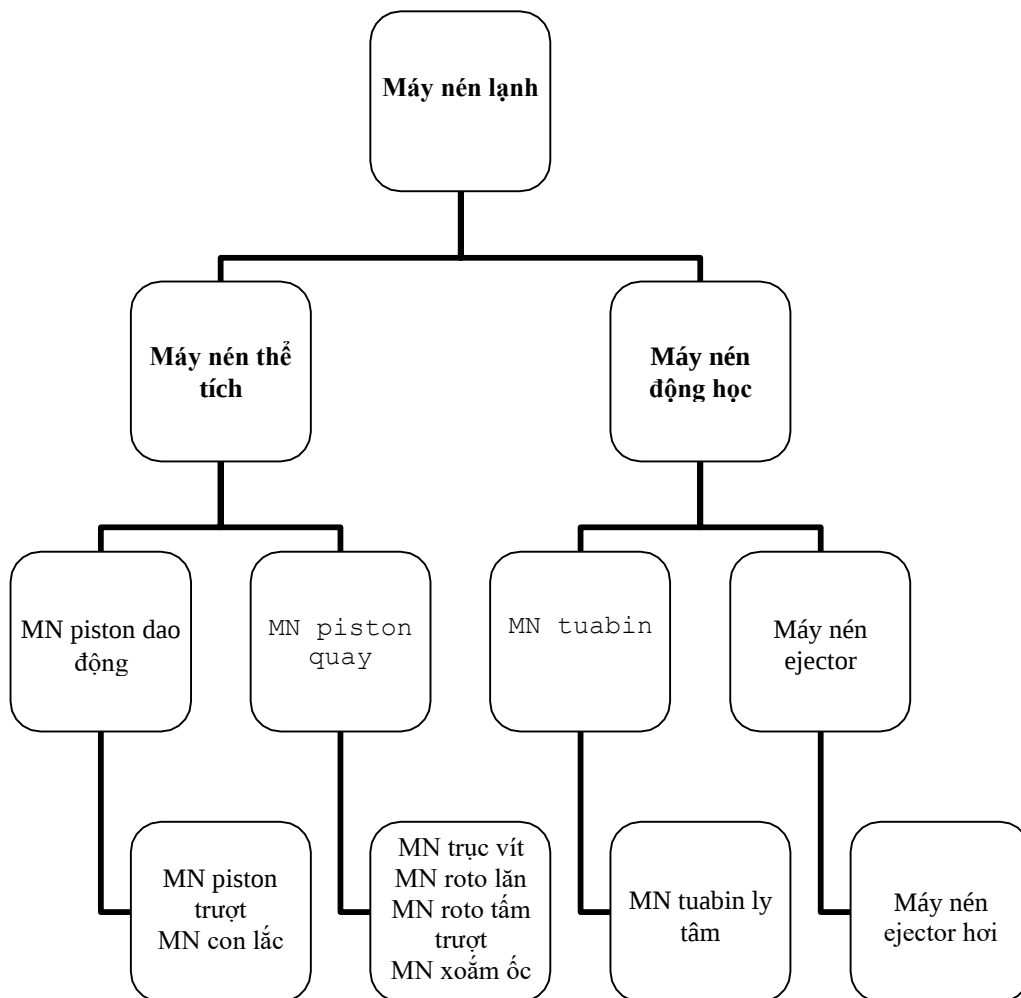
Máy nén quan trọng một mặt do chức năng của nó trong hệ thống, mặt khác do gồm nhiều bộ phận chuyển động phức tạp nên chất lượng, độ tin cậy và năng suất lạnh của hệ thống phụ thuộc chủ yếu vào chất lượng, độ tin cậy và năng suất lạnh của máy nén.

4.1.2. Phân loại máy nén lạnh:

Trong kỹ thuật lạnh người ta phân loại máy nén thành nhiều loại khác nhau. Theo nguyên lý làm việc máy nén có thể chia làm 2 loại:

+ Máy nén làm việc theo nguyên lý thể tích: quá trình nén thực hiện nhờ sự thay đổi thể tích giới hạn bởi xilanh và pittông khi pittông chuyển động lên xuống.

+ Máy nén làm việc theo nguyên lý động học: áp suất tăng lên là do động năng của dòng hơi biến thành thế năng.



4.1.3. Các thông số đặc trưng của máy nén lạnh:

a) Thể tích hút lý thuyết:

Thể tích hút lý thuyết của máy nén là năng suất hút của máy nén hay thể tích quét lý thuyết của các pittông trong một đơn vị thời gian

$$V_{lt} = \frac{\pi d^2}{4} s n z \quad [2-52]$$

Trong đó:

V_{lt} - năng suất hút lý thuyết, m^3/s hoặc m^3/h

d - đường kính xilanh, m

s - hành trình pittông, m

n - tốc độ vòng quay, vg/s

z - số pittông

b) Thể tích hút thực tế:

Thể tích hút thực tế là thể tích thực tế của hơi môi chất lạnh ở trạng thái hút mà máy nén hút và nén lên áp suất áp suất cao đẩy vào TBNT theo điều kiện làm việc của hệ thống.

$$V_{tt} = \eta \cdot V_{lt}, \quad m^3/s \quad [2-53]$$

Trong đó: η - hệ số cấp

Hệ số cấp là tỉ số giữa thể tích hút thực tế và thể tích hút lý thuyết

$$\eta = \eta_c \cdot \eta_{tl} \cdot \eta_w \cdot \eta_r \cdot \eta_k$$

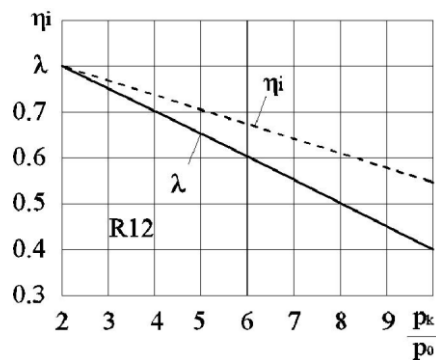
η_c - hệ số tổn thất do thể tích chết gây ra

η_{tl} - hệ số tổn thất tính đến môi chất tiết lưu ở van đẩy và máy nén

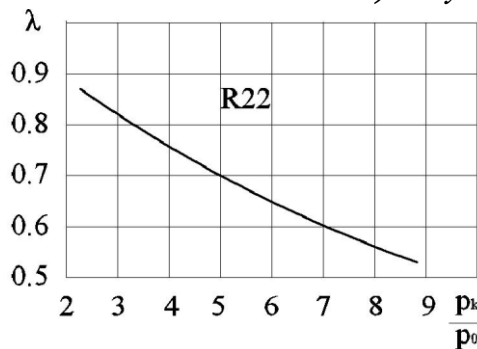
η_w - hệ số tổn thất tính đến môi chất bị nóng lên

η_r - hệ số tổn thất tính đến môi chất bị rò rỉ qua secmăng

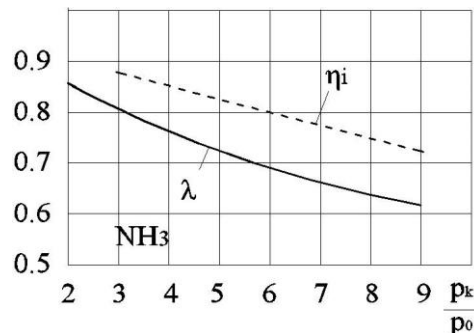
η_k - hệ số tổn thất tính đến các tổn thất khác



a) Máy nén nhỏ R12

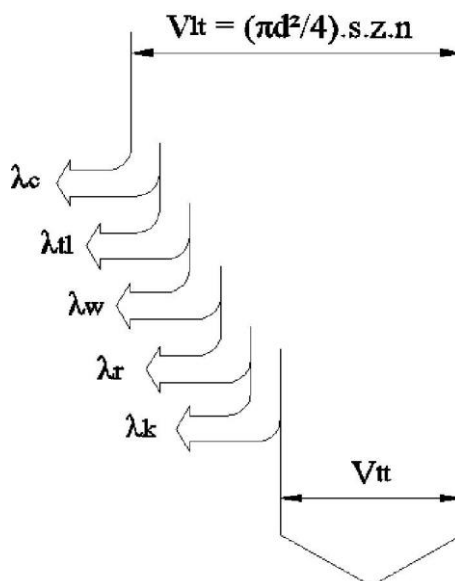


b) Máy nén R22



c) Máy nén amoniac có con trượt

Hình 2.22: Hiệu suất thể tích η và hiệu suất chỉ thị η_i phụ thuộc vào tỉ số nén



Hình 2.23: Tổn thất thể tích của máy nén

c) Năng suất khối lượng của máy nén:

Năng suất khối lượng của máy nén là khối lượng môi chất mà máy nén thực hiện được trong một đơn vị thời gian hay là lưu lượng khối lượng của máy nén, đơn vị kg/s hoặc kg/h, ký hiệu là m .

$$m = \frac{V}{v} \cdot \frac{lt}{tt} \quad [2-54]$$

Trong đó: v - thể tích riêng của hơi hút về máy nén, m^3/kg

$\square$ - khối lượng riêng của hơi hút về máy nén, kg/m^3

d) Hiệu suất nén và công suất động cơ yêu cầu:

Hiệu suất nén là tỷ số giữa công nén lý thuyết và công nén thực tế cấp cho máy nén.

$$\square \square \frac{N_s}{N_{el}} \quad [2-55]$$

+ Công nén lý thuyết N_s : $N_s = m.l$, kW

Công nén lý thuyết (công nén đoạn nhiệt) là công lý thuyết để nén hơi môi chất lạnh từ áp suất p_0 đến p_k .

+ Công suất chỉ thị N_i : $N_i = \frac{N_s}{\square_i}$

Trong đó: $\square_i$ $\square_w$ $\square_{b.t.}$ $\square_w$ $\square \frac{T_0}{T_K}$

Công suất hữu ích N_e : $N_e = N_i + N_{ms}$

$$N_{ms} = V_{tt} \cdot P_{ms}$$

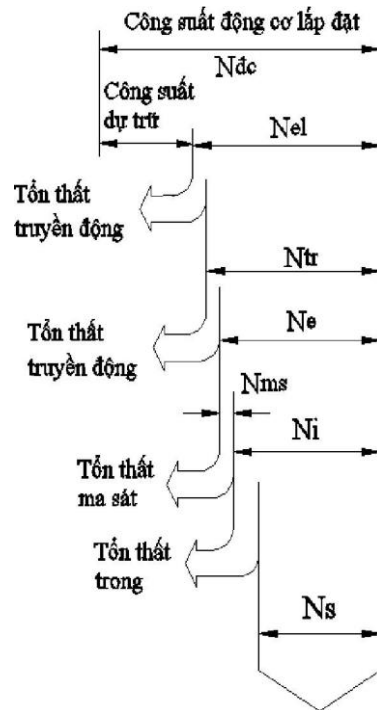
Trong đó: P_{ms} - áp suất ma sát

V_{tt} - thể tích thực tế m^3/s

$P_{ms} = 0,19 - 0,59$ với môi chất Freon

$P_{ms} = 0,49 - 0,69$ với môi chất NH_3

+ Công suất điện tiêu thụ N_{el} : $N_{el} = \frac{N_e}{\eta_{td} \eta_{el}}$



Hình 2.24: Các loại công nén

- Hiệu suất truyền động: $\eta_{td} = 0,95$

- Hiệu suất truyền động của động cơ: $\eta_{el} = 0,80 - 0,95$

Công suất động cơ lắp đặt:

Để đảm bảo hoạt động an toàn: $N_{dc} = 1,1 - 2,1 N_e$ [2-56]

e) Năng suất lạnh của máy nén:

Năng suất lạnh của máy nén (công suất lạnh của máy nén) là tích của năng suất lạnh riêng khối lượng và năng suất khối lượng mà máy nén thực hiện được trong một đơn vị thời gian.

$$Q_0 = m \times q_0, \text{ kW (hoặc kcal/h)} \quad [2-57]$$

Q_0 - năng suất lạnh của máy nén, kW (hoặc kcal/h).

m - năng suất khối lượng, kg/s

q_0 - năng suất lạnh riêng khối lượng, kJ/kg

Năng suất lạnh riêng khối lượng là năng suất lạnh của 1 kg môi chất lạnh sau khi qua tiết lưu:

$$q_0 = h_1 - h_4, \text{ kJ/kg} \quad [2-58]$$

h_1 - entanpi của hơi ra khỏi dàn bay hơi về máy nén

h_4 - entanpi của lỏng sau khi tiết lưu vào dàn bay hơi

Gọi v_1 là thể tích riêng của hơi hút về máy nén:

$$m = \frac{V_{tt}}{v_1} = \frac{V}{v_1} = \frac{\pi d^3}{4v_1} s.n.z \quad [2-59]$$

Trong đó:

V_{tt} - thể tích hút thực tế của máy nén, m^3/s

v_1 - thể tích hơi hút về máy nén, m^3/s

η - hệ số cấp

V_{lt} - thể tích hút lý thuyết của máy nén, m^3/s

d - đường kính pittông, m

s - hành trình pittông, m

z - số xilanh hay số pittông

n - số vòng quay trục khuỷu, vg/s

$$Q_0 = m q_0 = \frac{V}{v} q_0 = \frac{\pi V}{v} q_0 = \frac{\pi d^2 s z n \eta}{4v_1} q_0 \quad [2-60]$$

Do q_0 thay đổi và m cũng thay đổi vì η và v_1 thay đổi theo chế độ làm việc nên Q_0 cũng thay đổi theo.

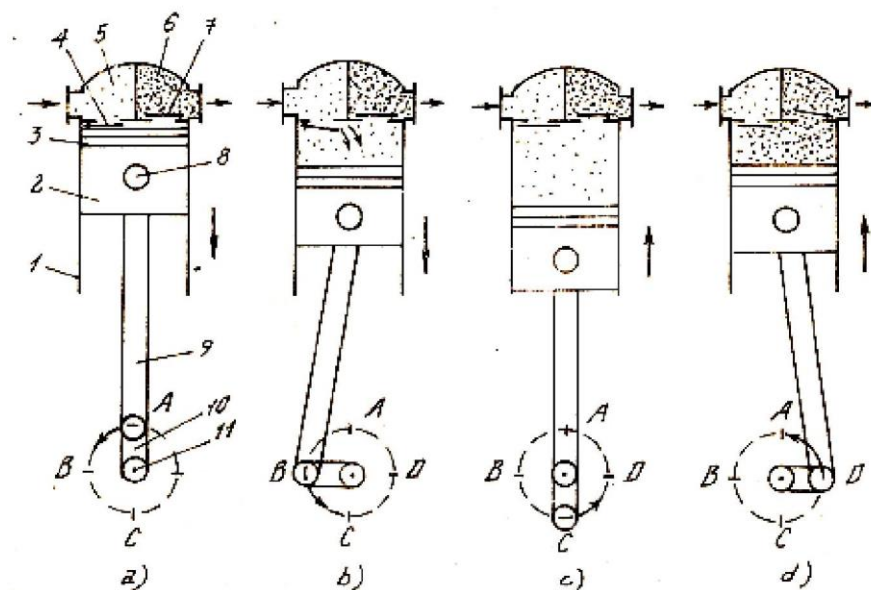
4.2. Máy nén pittông:

4.2.1. Máy nén lí tưởng một cấp nén (không có không gian thừa):

Máy nén lí tưởng một cấp nén là kiểu máy nén khí làm việc bỏ qua tổn thất do không gian thừa gây ra. Cấu tạo và nguyên lý làm việc như mô tả trên hình 2.25.

4.2.2. Cấu tạo và chuyển vận:

* Quá trình làm việc của máy nén:



Hình 2.25: Nguyên lý làm việc của máy nén pittông

1 - xilanh ; 2 - pittông ; 3 – secmăng ; 4 – clapê hút ; 5 – khoang hút ;
6 – khoang đẩy ; 7 - clapê đẩy ; 8 – chốt pittông ; 9 – tay biên ;
10 – khuỷu ; 11- trục khuỷu

Máy nén pittông dùng cơ cấu chủ yếu là tay quay thanh truyền biến chuyển động quay của động cơ điện thành chuyển động tịnh tiến của pittông trong xilanh để thực hiện quá trình hút, nén, đẩy. Quá trình hút nén đẩy thực hiện nhờ sự thay đổi thể tích của khoang giữa pittông và xilanh.

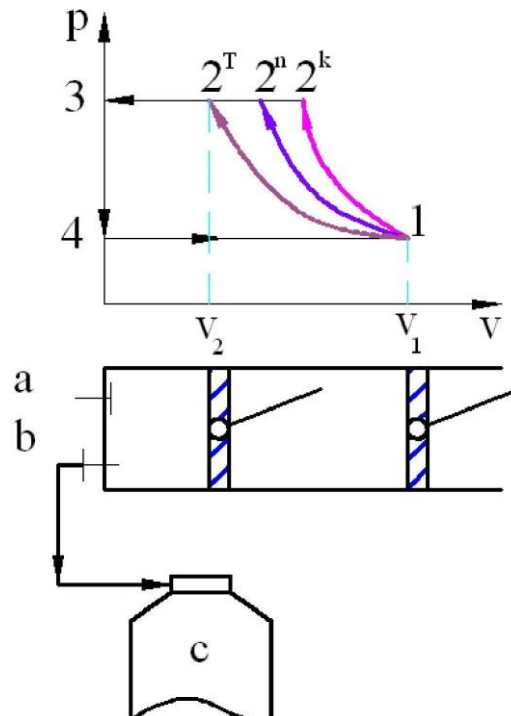
Khi khuỷu ở vị trí A pittông đạt vị trí điểm chết trên, 2 van đều đóng.

Khi khuỷu tiến đến vị trí B, pittông đi xuống thực hiện quá trình hút, clapê hút mở, hơi từ khoang hút 5 đi vào buồng xilanh, clapê đẩy vẫn đóng do áp suất ở buồng đẩy 6 cao hơn

Quá trình hút kết thúc khi khuỷu tiến đến vị trí C, pittông tiến tới điểm chết dưới.

Pittông đổi hướng đi lên phía trên, bắt đầu quá trình nén, do chênh lệch áp suất nên clapê hút và đẩy đều đóng. Pittông đi lên thực hiện quá trình nén và đẩy hơi nén vào khoang đẩy. Clapê hút đóng, clapê đẩy bắt đầu mở ra khi có chênh lệch áp suất giữa khoang trong xilanh và khoang đẩy. Quá trình đẩy kết thúc khi khuỷu quay lại điểm A và pittông đạt điểm chết trên. Quá trình hút, nén, đẩy lại bắt đầu chu kỳ mới

4.2.3. Các hành trình và đồ thị P - V:



Hình 2.26: Các quá trình cơ bản của máy nén piston 1 cấp

Với: a – van hút, b – van đẩy, c – bình chứa

Trong đó:

1-2^T : quá trình nén đẳng nhiệt

1-2ⁿ : quá trình nén đa biến (với $n = 1,2 - 1,25$)

1-2^k : quá trình nén đoạn nhiệt

- Khi piston đi từ trái sang phải khí được nạp vào xilanh với áp suất không đổi quá trình 4 - 1, quá trình này trạng thái khí không đổi.

- Khi piston chuyển động ngược lại (2 van đều đóng), khí trong xilanh được nén đến một áp suất cần thiết quá trình 1 - 2, quá trình này trạng thái chất khí thay đổi.

- Khi đạt được áp suất cần thiết, van thải mở, khí được đẩy vào bình chứa với áp suất không đổi.

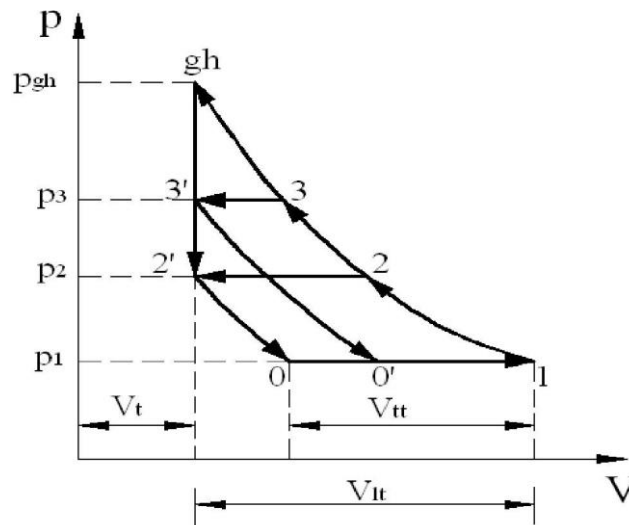
Để đạt được áp suất theo yêu cầu ta có thể thực hiện: quá trình nén đẳng nhiệt, quá trình nén đa biến hoặc quá trình nén đoạn nhiệt.

4.2.4. Máy nén có không gian thừa:

Trong thực tế khi nén đỉnh piston và nắp xilanh không thể sát vào nhau được, mà giữa chúng luôn có một khoảng hở, tạo thành một vùng không gian có hại hay còn gọi là phần không gian thừa. Ảnh hưởng của phần không gian thừa đến máy nén được giải thích rõ ở mục 4.2.5.

4.2.5. Năng suất nén V khi có không gian thừa:

Đồ thị thực tế khi có không gian thừa (Dung tích thừa):



Hình 2.27: Đồ thị biểu diễn ảnh hưởng của không gian thừa

Trong đó:

V_t : Dung tích thừa

V_{lt} : Dung tích lý thuyết

V_{tt} : Dung tích thực tế

Do có dung tích thừa nên luôn luôn có quá trình giãn nở 2' - 0, làm cho lượng khí hút vào xilanh tương ứng là V_{tt} ($V_{tt} < V_{lt}$). Nếu quá trình nén có áp suất càng lớn thì V_{tt} càng bị thu hẹp, lượng khí nạp vào cũng nhỏ theo và nếu ta nén đến một áp suất nào đó gọi là áp suất giới hạn, lúc này quá trình giãn nở trùng với quá trình nén $V_{tt} = 0$, lượng khí nạp cũng bằng 0 (không nén được).

Để đánh giá lượng khí nạp vào ta đặt:

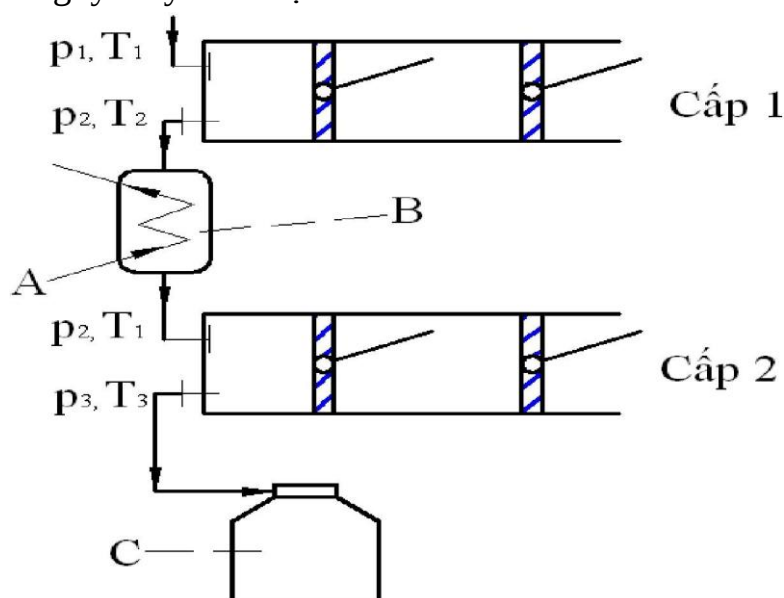
$$\frac{V_{tt}}{V_{lt}} \eta_v : \text{Hiệu suất thể tích} \quad 0 \leq \eta_v \leq 1$$

4.2.6. Máy nén nhiều cấp có làm mát trung gian:

Đối với máy nén piston tỉ số nén càng cao thì hệ số cấp càng nhỏ, nhiệt độ cuối quá trình nén càng cao, nhất là đối với môi chất ammoniac. Như vậy tỉ số nén cao dẫn đến những điều kiện làm việc không thuận lợi của máy nén. Khi tỉ số nén lớn hơn 9 đối với NH_3 hoặc 13 đối với Freon phải chuyển chu trình từ 1 cấp nén sang 2 hay nhiều cấp nén có làm mát trung gian. Tuy vậy việc lựa chọn 1 hay 2 cấp nén còn phụ thuộc vào nhiều điều kiện của từng trường hợp cụ thể vì 1 cấp nén có ưu điểm hơn so với 2 cấp nén ở chỗ đơn giản, dễ sử dụng, ít thiết bị và giá thành rẻ hơn. Đây là một bài toán tối ưu kinh tế, nhưng nếu chọn máy nén 1 cấp phải không chế chế độ làm việc của máy và các thiết bị không vượt quá những giới hạn cho phép về nhiệt độ, độ bền và an toàn do đơn vị chế tạo qui định.

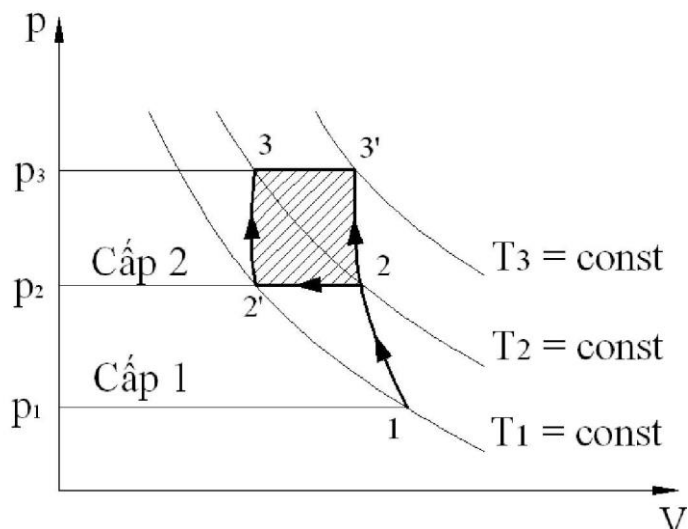
Nếu số giờ hoạt động của máy trong năm nhỏ hoặc rất nhỏ, thường người ta chọn máy nén 1 cấp, phải chấp nhận hệ số lạnh nhỏ nhưng giảm được đáng kể số vốn đầu tư lắp đặt.

4.2.7. Cấu tạo và nguyên lý làm việc:



Hình 2.28: Sơ đồ nguyên lý máy nén 2 cấp có làm mát trung gian
A: Đường nước làm mát, B: Bộ làm mát trung gian, C: Bình chứa

4.2.8. Đồ thị P - V:



Hình 2.29: Đồ thị lý thuyết máy nén 2 cấp có làm mát trung gian

Trong đó:

1-2: quá trình nén đa biến ở cấp 1

2-2': quá trình làm mát đẳng áp ở bộ làm mát trung gian.

2'-3: quá trình nén đa biến ở cấp 2 (có làm mát trung gian)

2-3': quá trình nén đa biến ở cấp 2 (khi không làm mát trung gian)

Trên p - v ta thấy: khi có làm mát trung gian, công tiêu hao của máy nén 2 cấp sẽ nhỏ hơn khi không làm mát với diện tích tương ứng là: $dt(23'32'2)$.

4.2.9. Tỷ số nén ở mỗi cấp:

Đối với máy nén nhiều cấp ta cần chọn áp suất trung gian giữa các cấp để sao cho công tiêu hao là nhỏ nhất. Ở đây ta xem số mũ đa biến là không đổi ở các cấp. Nhiệt độ qua các bình làm mát trung gian trở về nhiệt độ ban đầu.

Tỷ số tăng áp β ở mỗi cấp nén đều bằng nhau:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{p_3}{p_2}$$

$$\beta^2 = \frac{p_3}{p_1} \quad \beta = \sqrt{\frac{p_3}{p_1}} \quad [2-61]$$

Ta có thể suy ra tỷ số tăng áp của máy nén i cấp từ máy nén hai cấp:

$$\beta^i = \sqrt[i]{\frac{p_{i+1}}{p_1}} = \sqrt[i]{\frac{p_{cuoi}}{p_{dau}}} \quad [2-62]$$

4.2.10. Lợi ích của máy nén nhiều cấp:

- Với máy nén nhiều cấp cho phép sử dụng trong các hệ thống lạnh làm việc với áp suất cao mà máy nén 1 cấp không thực hiện được, hoặc làm việc khó khăn trong điều kiện áp suất cao này.

- Khi cần nén lên áp suất cao người ta sử dụng máy nén nhiều cấp có làm mát trung gian. Việc làm mát trung gian này sẽ giúp cho nhiệt độ đầu đẩy máy nén không quá cao nhờ đó giảm khả năng cháy dầu bôi trơn, không làm giảm tính năng bôi trơn của dầu.

4.2.11. Bài tập tính toán máy nén piston:

Câu 1 : Một hệ thống lạnh làm việc với thông số như sau:

Chu trình khô, $Q_0 = 150 \text{ kW}$, Môi chất R22, $t_k = 40^\circ\text{C}$; $t_0 = -10^\circ\text{C}$

Hãy xác định các thông số trạng thái tại các điểm nút của chu trình và tính toán công suất lắp đặt cần thiết cho máy nén để phù hợp với hệ thống trên.

Câu 2 : Cho một hệ thống lạnh làm việc với chu trình quá lạnh quá nhiệt, có các thông số sau:

- Nhiệt độ bay hơi: $t_0 = -20^\circ\text{C}$
- Nhiệt độ quá nhiệt: $t_{qn} = -10^\circ\text{C}$
- Nhiệt độ ngưng tụ: $t_k = 30^\circ\text{C}$
- Nhiệt độ quá lạnh: $t_{ql} = 22^\circ\text{C}$

Môi chất lạnh R22. Máy nén có các kích thước hình học như sau:

- Số xi lanh: 3
- Đường kính pit tông: $d = 120 \text{ mm}$
- Hành trình pit tông: $s = 100 \text{ mm}$
- Số vòng quay: $n = 15 \text{ vòng/s}$
- Công suất lạnh tiêu chuẩn: 60000 kcal/h
- Hệ số cấp $\lambda = 0,7$
- Hiệu suất làm việc của máy: $\eta = 70\%$
- Công suất động cơ lắp đặt: $N_{dc} = 25 \text{ HP}$

Với công suất lắp đặt như trên có phù hợp với hệ thống này không?

Câu 3 : Tính chọn máy nén cho hệ thống lạnh làm việc với chu trình 2 cấp, 2 tiết lưu làm mát trung gian hoàn toàn, sử dụng môi chất NH_3 . Biết :

$$\begin{aligned} \text{a)} \quad Q_0 &= 150 \text{ kW} \\ t_k &= 40^\circ\text{C} \\ t_0 &= -35^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b)} \quad Q_0 &= 150 \text{ kW} \\ t_k &= 40^\circ\text{C} \\ t_0 &= -50^\circ\text{C} \end{aligned}$$

4.3. Giới thiệu một số chủng loại máy nén khác:

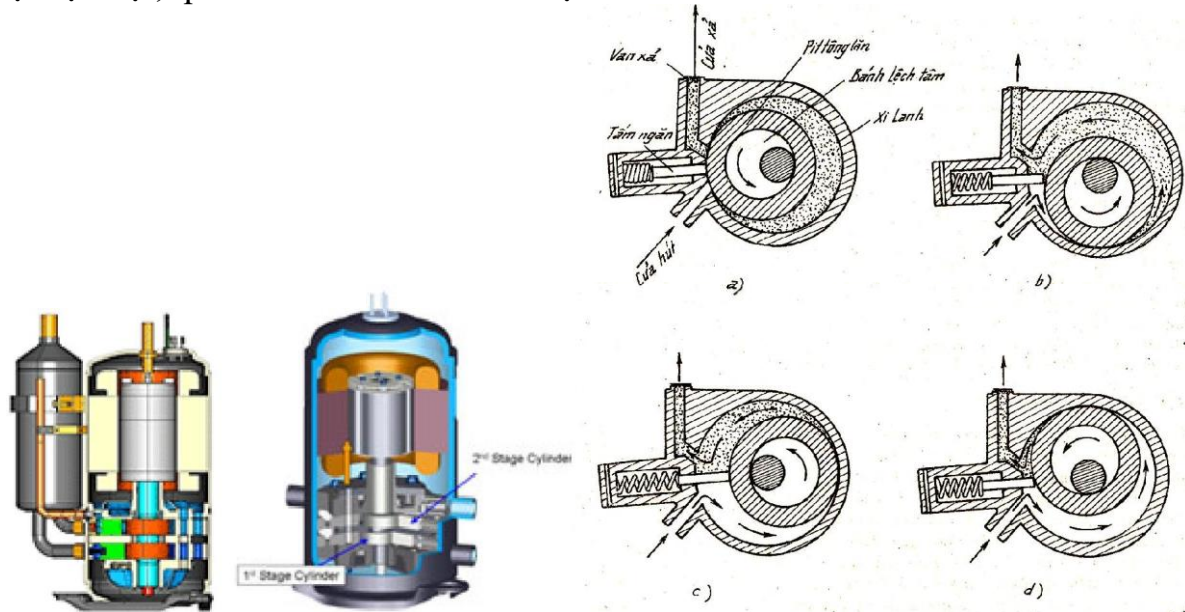
4.3.1. Máy nén rô to:

Máy nén rô to là một loại máy nén thể tích. Điều khác biệt cơ bản của máy nén rô to với máy nén pittông trượt là pittông lăn hoặc pittông quay.

* Máy nén rô to lăn:

Máy nén rô to lăn có thân hình trụ như là một xilanh, pittông cũng có dạng hình trụ nằm trong xilanh. Nhờ có bánh lệch tâm, pittông lăn trên bề mặt trong của xilanh và tạo ra 2 khoang hút và nén. Khi pittông lăn đến vị trí tâm ngăn, khoang hút đạt thể tích tối đa, quá trình hút kết thúc. Khi pittông lăn tiếp tục,

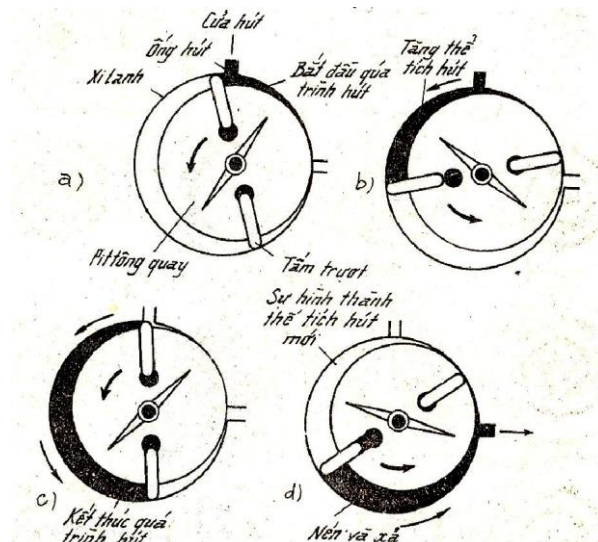
quá trình nén bắt đầu và khoang hút hình thành. Cứ như vậy, khoang nén nhỏ dần và khoang hút tăng dần đến khi hơi nén được đẩy hết ra ngoài và khoang hút đạt cực đại, quá trình hút và nén mới lại bắt đầu.

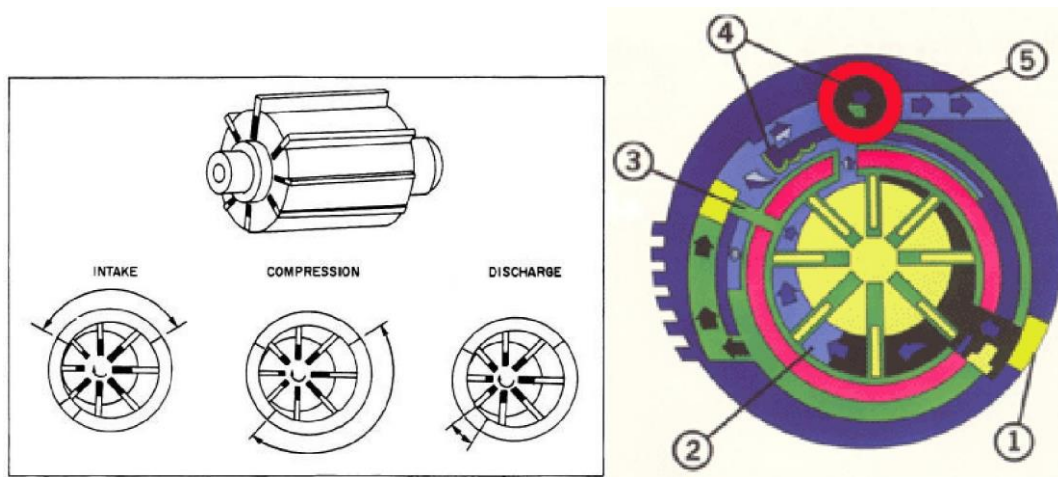


Hình 2.30: Nguyên lý cấu tạo và làm việc của máy nén rôto lăn
a) bắt đầu quá trình nén, cửa hút và xả đóng ; b) tiếp tục quá trình nén, bắt đầu quá trình hút ; c) tiếp tục nén và hút ; d) chuẩn bị kết thúc quá trình đẩy và sắp kết thúc quá trình hút

* Máy nén rôto tấm trượt:

Cấu tạo và nguyên lý làm việc của máy nén rôto tấm trượt giống như máy nén rôto lăn. Khác nhau cơ bản là các tấm trượt nằm trên pittông. Pittông không có bánh lệch tâm mà quay ở vị trí cố định. Pittông và xilanh luôn tiếp xúc với nhau ở một đường cố định. Cửa hút không có van chỉ cửa đẩy có van. Khi pittông quay, các tấm trượt văng ra do lực ly tâm và tạo ra các khoang có thể tích thay đổi, thực hiện quá trình hút, nén và đẩy.

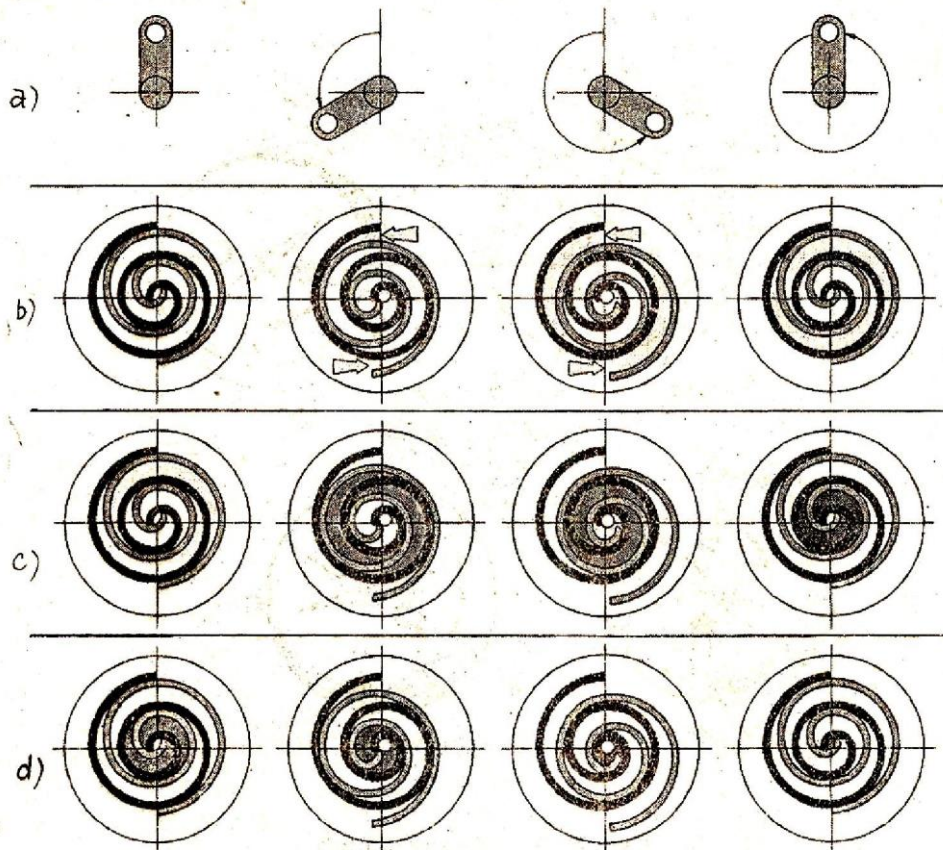




Hình 2.31: Nguyên lý làm việc của máy nén roto tâm trượt

4.3.2. Máy nén scroll (đĩa xoắn):

Xilanh cũng như pittông đều có dạng băng xoắn. Xilanh đứng im còn pittông chuyển động. Bề mặt của pittông và xilanh tạo ra các khoang có thể tích thay đổi thực hiện quá trình hút, nén và đẩy.



Hình 2.32: Máy nén xoắn ốc 3-D™ hãng TRANE

a) Máy nén xoắn ốc có 2 vòng xoắn. Vòng xoắn trên (xilanh) đứng im, vòng xoắn dưới quay;

b) Quá trình hút – khi vòng xoắn dưới quay được 1 vòng 360° , hai túi hơi được hình thành và khép kín;

c) Quá trình nén: hai túi hơi khép nhỏ dần thực hiện quá trình nén;

d) Quá trình đẩy: hai túi hơi khép nhỏ hơn và thực hiện quá trình đẩy.

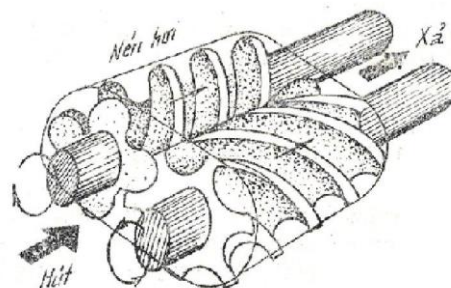
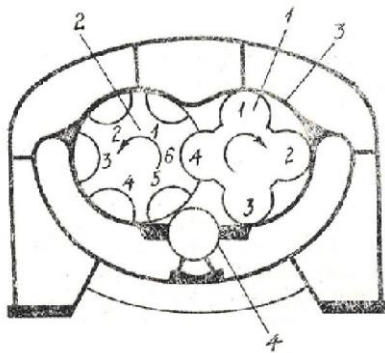


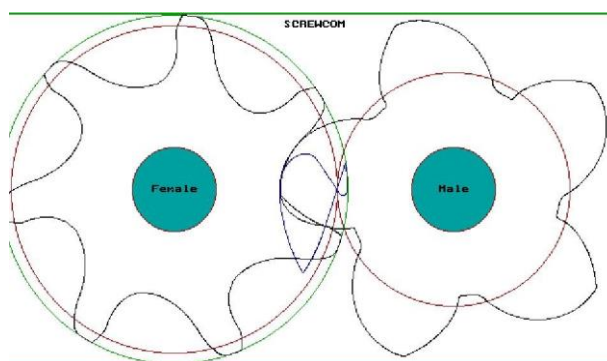
Hình 2.33: Cấu tạo của máy nén roto xoắn ốc

4.3.3. Máy nén trục vít:

Càng ngày, máy nén trục vít càng giữ vị trí quan trọng trong kỹ thuật lạnh do máy nén trục vít có một loạt các ưu điểm nổi bật so với nén pittông như sau :

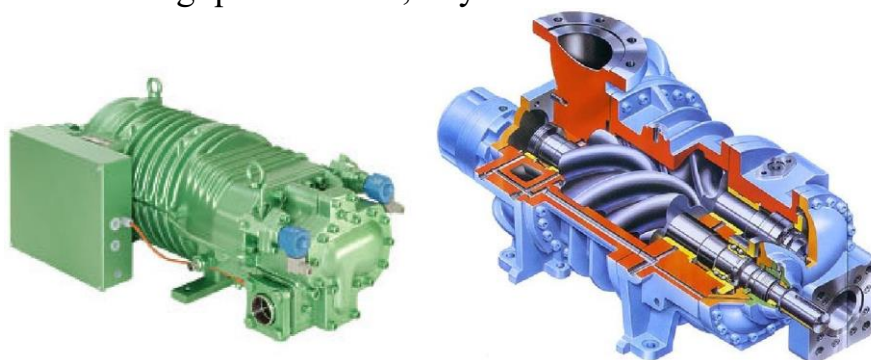
- Cấu tạo đơn giản, số lượng chi tiết chuyển động ít, độ tin cậy cao, tuổi thọ cao
- Máy nén gọn gàng, chắc chắn
- Dễ lắp đặt, truyền động quay ổn định hơn so với truyền động xung qua lại của pittông trục khuỷu
- Năng suất lạnh có thể điều chỉnh vô cấp từ 100% xuống đến 10% và tiết kiệm được công nén
- Nhiệt độ cuối tầm nén thấp hơn
- Tỷ số nén cao hơn, có thể đạt $\frac{P}{P_0} \approx 20$
- Có thể đạt nhiệt độ sôi thấp mà với máy nén pittông phải dùng chu trình 2 cấp
- Không có van hút và đẩy nên không có tổn thất tiết lưu
- Dầu phun tràn trong máy nén ngoài tác dụng làm kín, bôi trơn, hấp thụ nhiệt của quá trình nén còn có tác dụng làm giảm tiếng ồn
- Hầu như không ảnh hưởng khi hút phải lỏng





Hình 2.34: Hình dáng, cấu tạo của máy nén trục vít loại 2 vít,
1 – vít chính với 4 răng lồi ; 2 – vít phụ với 6 răng lõm ; 3 – xilanh hoặc thân máy ; 4 – con trượt điều chỉnh năng suất lạnh

Máy nén trục vít là loại máy nén pittông quay, gồm một trục chính và một trục phụ. Trục chính có 4 răng lồi gọi là trục chủ động (trục đực), trục phụ có 6 răng lõm gọi là trục cái. Ngoài ra người ta còn bố trí các lỗ phun dầu trên thân để làm kín các khoang. Ngoài máy nén trục vít kiểu 2 vít người ta còn chế tạo máy nén trục vít loại 1 vít. Nguyên lý làm việc của máy nén 1 trục vít cũng giống như máy nén 2 trục vít nhưng phải có thêm 2 bánh răng hình sao bố trí 2 bên sườn của trục vít để tạo ra các khoang có thể tích thay đổi lớn dần trong quá trình hút và nhỏ dần trong quá trình nén, đẩy.



Hình 2.35: Máy nén trục vít

5. CÁC THIẾT BỊ KHÁC CỦA HỆ THỐNG LẠNH:

Mục tiêu:

- Các thiết bị trao đổi nhiệt (thiết bị ngưng tụ, thiết bị bay hơi, van tiết lưu, các thiết bị phụ trong hệ thống lạnh)

5.1. Các thiết bị trao đổi nhiệt chủ yếu:

5.1.1. Thiết bị ngưng tụ:

Thiết bị ngưng tụ là một trong bốn thiết bị chính và có diện tích lớn nhất trong hệ thống lạnh. Thiết bị ngưng tụ là thiết bị trao đổi nhiệt kiểu bề mặt.

5.1.2. Vai trò của thiết bị trong hệ thống lạnh:

Tại thiết bị ngưng tụ, hơi môi chất lạnh có áp suất và nhiệt độ cao sau quá trình nén sẽ ngưng tụ thành trạng thái lỏng. Môi trường nhận nhiệt trong thiết bị ngưng tụ gọi là môi trường làm mát (thường là nước hoặc không khí).

5.1.3. Các kiểu thiết bị ngưng tụ thường gặp:

Theo môi trường làm mát, có thể chia các thiết bị ngưng tụ thành 3 nhóm:

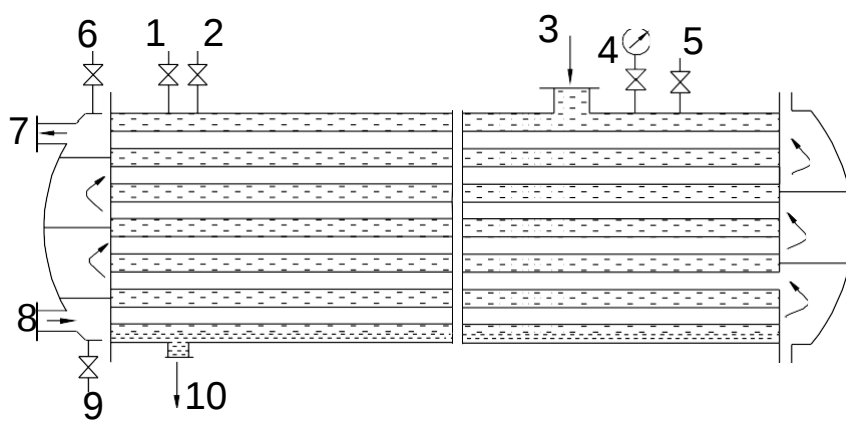
- Thiết bị ngưng tụ làm mát bằng nước
- Thiết bị ngưng tụ làm mát bằng nước và không khí
- Thiết bị ngưng tụ làm mát bằng không khí

* Thiết bị ngưng tụ làm mát bằng nước:

Gồm bình ngưng ống vỏ nằm ngang, bình ngưng ống vỏ thẳng đứng, thiết bị ngưng tụ kiểu phân tử và kiểu ống lồng.

+ Bình ngưng ống vỏ nằm ngang:

Bình ngưng gồm 1 bình hình trụ nằm ngang chứa bên trong nhiều ống trao đổi nhiệt đường kính nhỏ. Bình ngưng loại này được dùng khá phổ biến cho cả các máy lạnh cỡ công suất trung bình và lớn, dùng thích hợp cho những nơi có nguồn nước sạch và sẵn nước, giá thành nước không cao.



Hình 2.36: Sơ đồ cấu tạo của bình ngưng ống vỏ nằm ngang

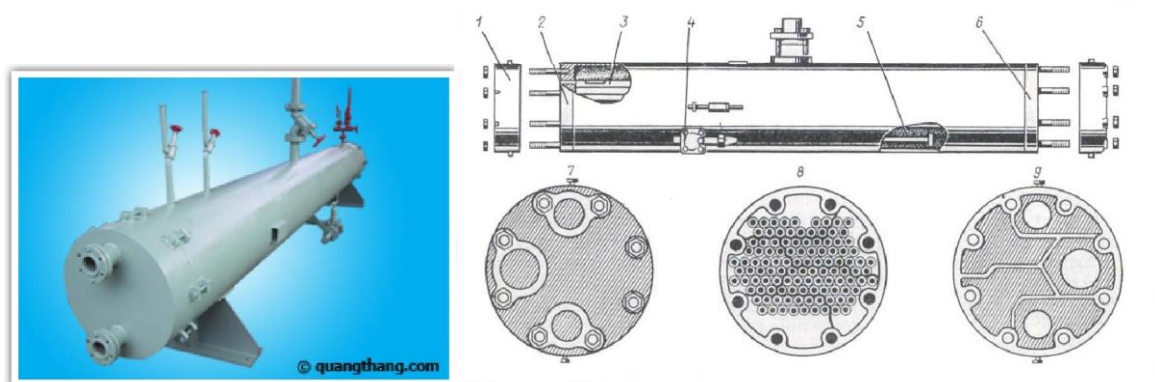
- | | |
|-----------------------------------|--|
| 1. nối van an toàn | 2. ống nối đường cân bằng với bình chứa. |
| 3. ống hơi NH_3 vào | 4. áp kế |
| 5. ống nối van xả khí không ngưng | 6. van xả không khí ở khoang nước |
| 7. ống nước làm mát ra | 8. ống nước làm mát vào |
| 9. van xả nước | 10. ống NH_3 lỏng ra |

Hơi cao áp sau máy nén được đưa vào phần trên của bình ngưng qua đường ống 3 bao phủ không gian giữa các ống, tỏa nhiệt cho nước làm mát đi trong ống và ngưng tụ thành lỏng. Để tăng tốc độ nước và sự truyền nhiệt giữa hơi và nước lạnh, cũng như để kéo dài đường đi của nước trong bình ngưng, bố trí cho nước đi qua đi lại nhiều lần trước khi ra ngoài theo ống dẫn 7. Lỏng ngưng tụ ở phần dưới bình được dẫn ra ngoài qua ống 10 đi vào bình chứa. Để thoát lỏng liên tục vào bình chứa phải có ống nối cân bằng (qua đầu 2) giữa bình ngưng và bình chứa.

Các ống trong bình ngưng amôniac thường là các ống trơn, thẳng, đường kính $d = 25 \pm 2.5\text{mm}$ và được núc hoặc hàn vào hai mặt sàng theo đỉnh của tam giác đều cạnh 4mm.

Trong các hệ thống lạnh frêon, cấu tạo bình ngưng và các ống trao đổi nhiệt có một số khác biệt so với bình ngưng amôniac để phù hợp với tính chất

của môi chất. Các ống trao đổi nhiệt thường là ống đồng có cánh nhôm lồng vào hoặc cuốn trên bề mặt ngoài của ống để tăng cường khả năng truyền nhiệt.

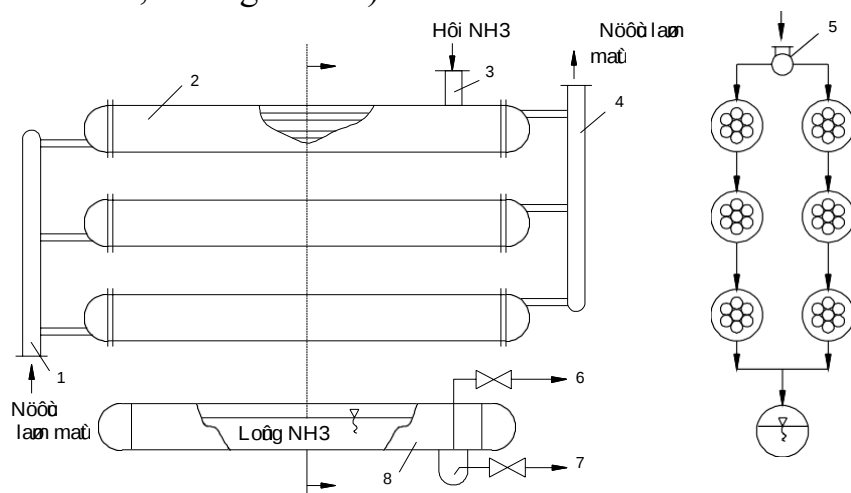


Hình 2.37: Bình ngưng ống vỏ nằm ngang

+ Thiết bị ngưng tụ kiểu phân tử và kiểu ống lồng:

- Thiết bị ngưng tụ kiểu phân tử:

Thiết bị ngưng tụ kiểu phân tử gồm những phần tử riêng biệt là các ống trao đổi nhiệt (2) ghép với nhau thành từng cụm. Mỗi phần tử như vậy xem như một bình ngưng ống vỏ nằm ngang loại nhỏ. Các phần tử được lắp nối tiếp với nhau theo đường hơi môi chất và ghép song song theo đường nước làm mát. Mỗi cụm này (trong hình vẽ gồm 3 phần tử) lại được ghép song song với nhau tạo thành thiết bị ngưng tụ kiểu phân tử (trên hình vẽ gồm 2 cụm với 6 phần tử và 1 bình chứa ở dưới, có ống xả dầu).



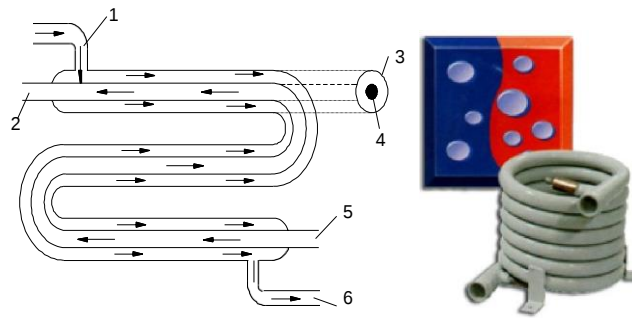
Hình 2.38: Sơ đồ cấu tạo của thiết bị ngưng tụ kiểu phân tử

- | | | |
|-----------------|-----------------------|--------------------|
| 1. Ống nước vào | 2. Ống trao đổi nhiệt | 3. Ống dẫn hơi vào |
| 4. Ống nước ra | 5. Ống góp hơi vào | 6. Ống dẫn lỏng ra |
| 7. Ống xả dầu | 8. Bình chứa lỏng. | |

Trong mỗi phần tử, hơi môi chất được đưa vào ống (3) đi vào không gian giữa các ống trao đổi nhiệt (2) và được ngưng tụ lại do thải nhiệt cho nước làm mát đi trong các ống trao đổi nhiệt. Nước được đưa vào từ ống góp ở phía dưới (1) và chảy song song qua các phần tử rồi đi ra ống góp ở phía trên (4). Như vậy, thiết bị ngưng tụ kiểu phân tử trao đổi nhiệt theo nguyên lý ngược chiều.

- Thiết bị ngưng tụ kiểu ống lồng:

Thiết bị ngưng tụ kiểu ống lồng chỉ gồm có vỏ (ống ngoài) và một ống trong.



Hình 2.39: Sơ đồ cấu tạo của thiết bị ngưng tụ kiểu ống lồng ống
1,6. Ống hơi và ống lỏng ra; 2,5. Ống nước ra và ống nước vào;
3. Môi chất lạnh; 4. Nước.

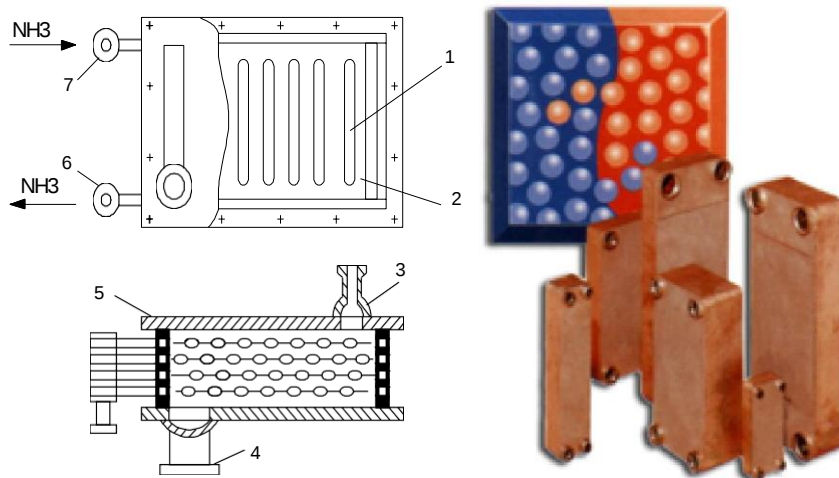
Thiết bị ngưng tụ kiểu ống lồng ống có cùng nguyên lý hoạt động như thiết bị ngưng tụ kiểu phân tử. Nước làm mát cũng đi trong ống, còn môi chất được chảy theo chiều ngược lại trong không gian giữa các ống. Như vậy, nước và môi chất trao đổi nhiệt ngược chiều.

* Thiết bị ngưng tụ kiểu panen:

Với mục đích thay thế các ống không có mối hàn bằng thép tấm rẻ tiền hơn, người ta đã nghiên cứu chế tạo loại dàn ngưng panen.

Thiết bị ngưng tụ kiểu panen cũng gồm những cụm riêng biệt, mỗi cụm lại gồm một số panen liên tiếp được siết chặt và ép lại bằng hai tấm nắp, giữa có đệm chèn để đảm bảo kín về đường nước (lưu động ngang qua bên ngoài).

Bộ phận chủ yếu của dàn ngưng là panen (2) làm từ hai tấm thép cán được dập thành hình gợn sóng ép vào nhau. Do đó trong panen sẽ hình thành một dãy các rãnh đứng (1), trong đó môi chất sẽ ngưng tụ. Hai cạnh ngoài cùng dọc theo chiều dài của panen được hàn kín, còn khoảng giữa các rãnh thì chỉ cần ốp sát và hàn điểm (phần này đóng vai trò như là cánh tản nhiệt).



Hình 2.40: Sơ đồ cấu tạo của thiết bị ngưng tụ kiểu panen
1. Rãnh đứng; 2. Panen; 3,4. Ống dẫn nước vào và ra;
5. Nắp phẳng; 6,7. Ống góp hơi và lỏng.

Nước giải nhiệt đi vào ống 3 qua ống góp có lỗ phân phối, lần lượt chảy qua các panen và đi ra ở ống 4. Nước làm mát vào môi chất chuyển động cắt nhau theo các rãnh.

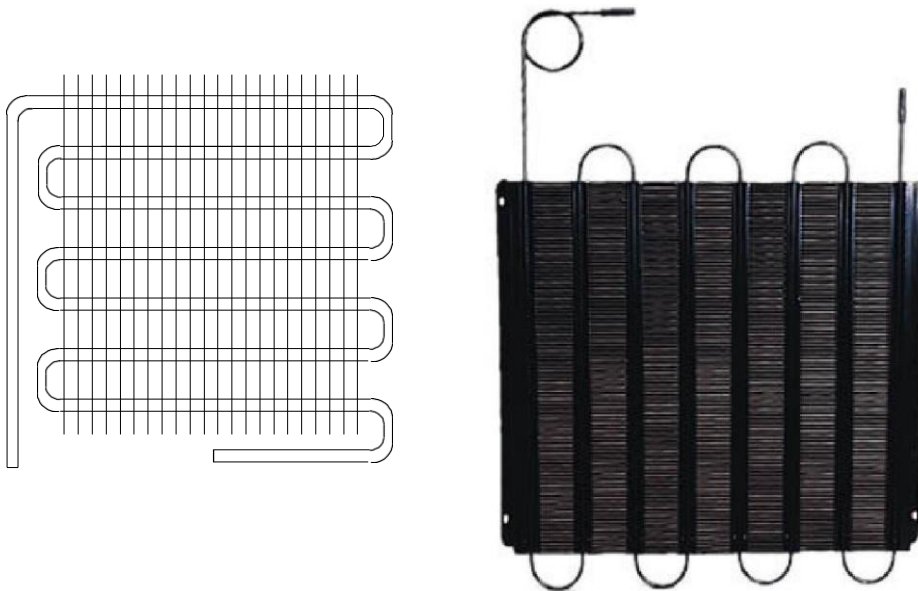
* Thiết bị ngưng tụ làm mát bằng không khí:

Loại dàn ngưng này thường được sử dụng trong các tủ lạnh gia đình, trong các quầy hàng thực phẩm tươi sống, trong các máy điều hòa không khí, trên các phương tiện giao thông vận tải và cả những nơi không thể giải nhiệt bằng nước hoặc không có đủ nước để giải nhiệt.

Dàn ngưng không khí được chia làm 2 loại: đối lưu tự nhiên và đối lưu cưỡng bức

+ Dàn ngưng đối lưu tự nhiên:

Loại dàn ngưng đối lưu tự nhiên có cấu tạo là một chùm ống xoắn phẳng bằng nhôm hoặc đồng có đường kính 4.8 □ 6.5mm và có bước ống là 40 60mm. Cánh là các sợi dây thẳng bằng thép có đường kính 1 □ 1.5mm và có bước cánh là 6 □ 9mm được hàn điểm vào chùm ống xoắn.

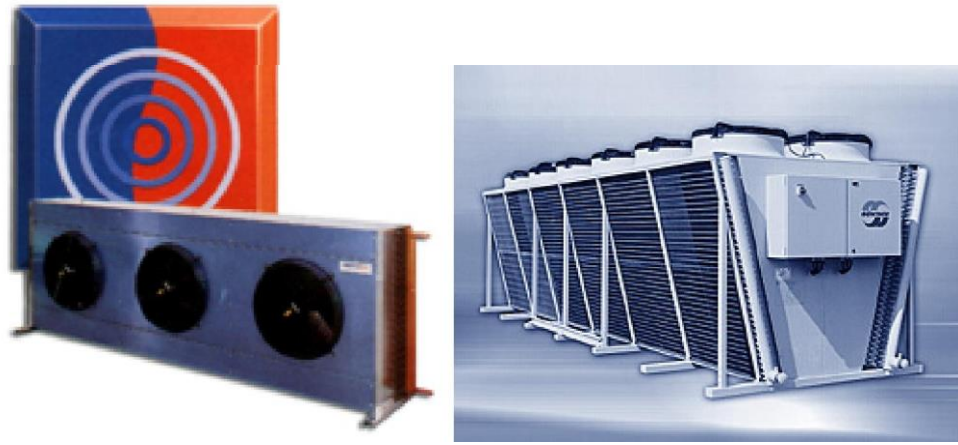


Hình 2.41: Dàn ngưng không khí đối lưu tự nhiên

+ Dàn ngưng đối lưu cưỡng bức:

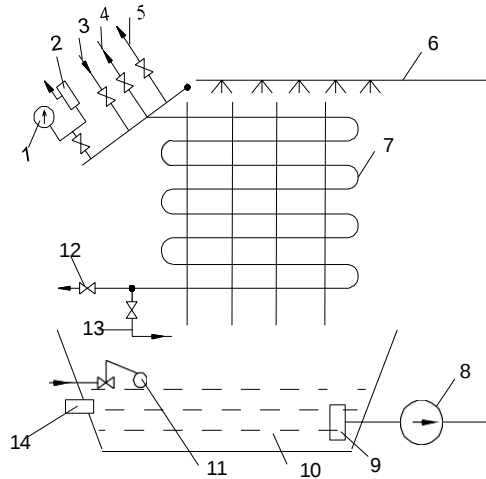
Dàn ngưng đối lưu cưỡng bức thường có cấu tạo gồm một dàn ống trao đổi nhiệt bằng ống thép hoặc ống đồng có cánh nhôm hoặc cánh sắt bên ngoài, bước cánh nằm trong khoảng 3 ÷ 10mm.

Hơi môi chất đi trong ống xoắn nhả nhiệt cho không khí bên ngoài ống để ngưng tụ thành lỏng. Sự chuyển động của không khí có thể nhờ quạt (quạt hướng trục thổi qua với vận tốc 4 □ 5m/s _ đối lưu cưỡng bức) hoặc tự do (đối lưu tự nhiên)



Hình 2.42: Dàn ngưng không khí đối lưu cưỡng bức

- * Thiết bị ngưng tụ làm mát bằng nước và không khí:
- + Thiết bị ngưng tụ kiểu tưới:

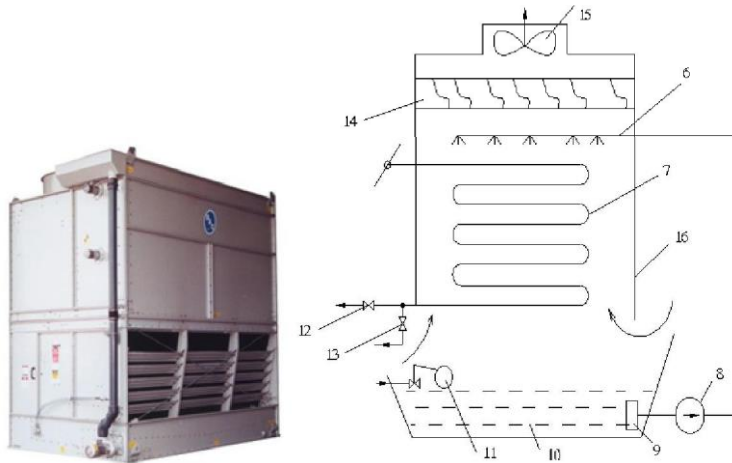


Hình 2.43: Sơ đồ cấu tạo của thiết bị ngưng tụ kiểu tưới.

- | | | |
|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|
| 1. Đồng hồ cao áp | 2. Van an toàn | 3. Hơi cao áp cấp vào |
| 4. Đường cân bằng | 5. Đường xả khí không ngưng | 6. Dàn tưới |
| 7. Ống trao đổi nhiệt | 8. Bơm nước | 9. Bộ lọc cơ khí |
| 10. Bể nước | 11. Van phao | 12. Lỗ cao áp ra |
| 13. Đường xả dầu | 14. Xả nước tràn. | |

Thiết bị ngưng tụ kiểu tưới được làm mát bằng nước và không khí. Nước tưới ở bên ngoài ống, hơi môi chất đi bên trong ống. Hơi môi chất sẽ nhả nhiệt cho nước tưới để ngưng tụ tạo thành lỏng. Nước làm mát sẽ nhận nhiệt □ nóng lên: một phần bay hơi, 1 phần nhả nhiệt cho không khí bên ngoài. Phần nhả nhiệt cho không khí bên ngoài + lượng nước bổ sung □ nước nguội lại ở trạng thái ban đầu và được bơm bơm lên dàn tưới. Chu trình cứ thế tiếp diễn.

+ Thiết bị ngưng tụ kiểu bay hơi:



Hình 2.44: Sơ đồ cấu tạo của thiết bị ngưng tụ kiểu bay hơi.
(1 – 13). Giống hình 2.42 ; 14. Tấm chắn nước ; 15. Quạt gió ;
16. Vỏ thiết bị.

5.1.4. Tháp giải nhiệt:

Tháp giải nhiệt là một thiết bị trao đổi nhiệt dùng để làm mát nước tuần hoàn cho bình ngưng bằng cách bay hơi một phần nước vào không khí khi cho nước tiếp xúc trực tiếp với không khí môi trường.



Hình 2.45: Cụm tháp giải nhiệt

5.1.5. Thiết bị bay hơi:

Thiết bị bay hơi cũng là một trong bốn thiết bị chính của hệ thống lạnh. Thiết bị bay hơi là thiết bị trao đổi nhiệt kiểu bề mặt.

5.1.6. Vai trò của thiết bị trong hệ thống lạnh:

Tại thiết bị bay hơi môi chất lạnh ở trạng thái bão hòa ẩm có áp suất thấp, nhiệt độ thấp thu nhiệt từ môi trường cần làm lạnh, sôi và hoá hơi đẳng áp để chuyển từ lỏng sang hơi.

5.1.7. Các kiểu thiết bị bay hơi thường gặp:

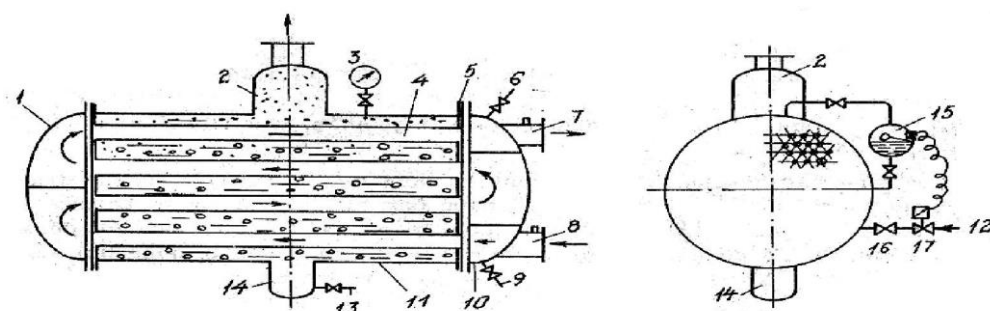
Có nhiều cách phân loại thiết bị bay hơi, theo môi trường cần làm lạnh có thể chia như sau :

+ Thiết bị bay hơi làm lạnh chất tải lạnh lỏng như nước, nước muối, glycol...

+ Thiết bị bay hơi làm lạnh không khí. Trong loại này lại chia làm hai nhóm : không khí tuần hoàn tự nhiên không khí tuần hoàn cưỡng bức

* Thiết bị bay hơi làm lạnh chất lỏng:

- Thiết bị bay hơi ống vỏ kiểu ngập:



Hình 2.46: Bình bay hơi ống vỏ amoniắc kiểu ngập lỏng

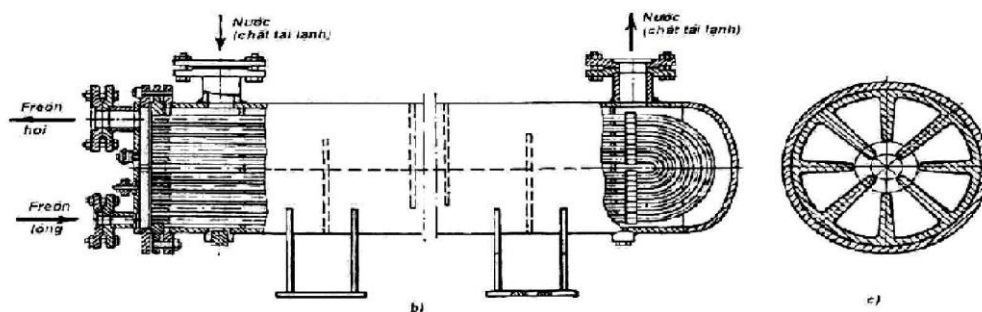
1, 10 – nắp bình ; 2 – tách lỏng ; 3 – áp kế ; 4 - ống trao đổi nhiệt ; 5 – mặt sàng ; 6 - ống xả không khí ; 7,8 - ống nước (muối) vào và ra ; 9 – xả nước ; 11 – thân ; 12 - ống amoniắc lỏng vào ; 13 – xả dầu ; 14 – bầu dầu ; 15 – bộ điều chỉnh mức lỏng ; 16 – van tiết lưu ; 17 – van điện từ

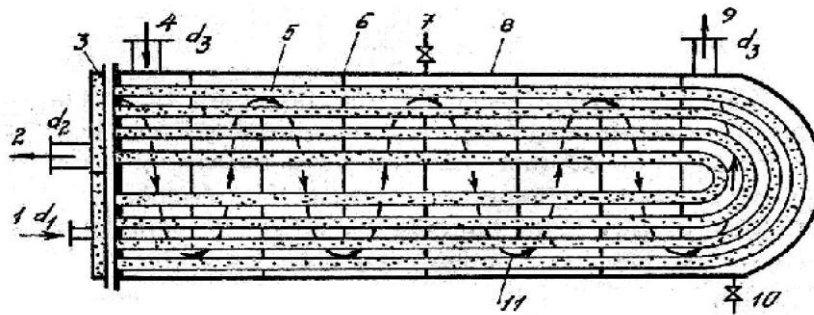
Đây là loại TBBH được dùng phổ biến nhất trong các hệ thống lạnh công suất trung bình và lớn. Nguyên lý cấu tạo và quá trình truyền nhiệt giống như bình ngưng tụ làm mát bằng nước, nhưng ở đây chất lỏng được làm lạnh chảy trong ống còn môi chất sôi ở bề mặt ngoài trong không gian giữa các ống. Lỏng hạ áp được đưa vào trong thiết bị nhận nhiệt của chất lỏng, sôi và hoá hơi để tạo thành hơi hạ áp, tiếp tục đi qua bình tách lỏng nhằm tách các hạt lỏng trước khi về máy nén.



Hình 2.47: Bình bay hơi ống vỏ kiểu ngập lỏng

- Thiết bị bay hơi ống vỏ, môi chất sôi trong ống và trong kênh:



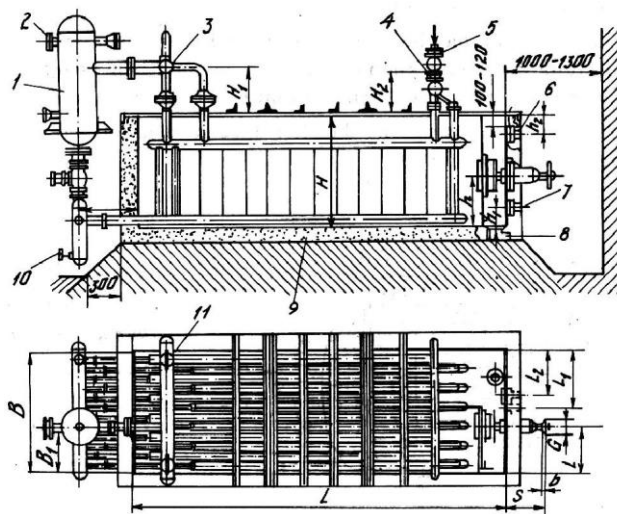


Hình 2.48: Bình bay hơi ống vỏ ống chữ U môi chất sôi trong ống
1, 2 – môi chất lạnh vào ra ; 3 – nắp bình ; 4, 9 – ống vào, ra của chất tải lạnh ; 5 – ống sôi ; 6 – tấm chắn ; 7 – xả khí ; 8 – thân bình ; 10 – xả chất tải lạnh ; 11 – đường zic zắc chất tải lạnh

Là thiết bị bay hơi kiểu chất lỏng làm lạnh không ngập. Môi chất lạnh lưu động sôi và bay hơi ở phía bên trong ống nhận nhiệt của chất lỏng chuyển động bên ngoài ống làm cho môi chất lạnh sôi. Các tấm chắn thẳng đứng đặt trong không gian giữa các ống bên trong vỏ để tăng tốc độ chuyển động của chất tải lạnh, tốc độ trung bình khoảng 0,3 – 0,8 m/s.

+ Dàn lạnh panen:

Để làm lạnh các chất lỏng trong chu trình hở người ta sử dụng các dàn lạnh panen.



Hình 2.49: Dàn lạnh panen

1 - Bình giữ mức-tách lỏng ; 2 - Hơi về máy nén ; 3- Ống góp hơi ; 4 - Góp lỏng vào ; 5 - Lỏng vào ; 6 - Xả tràn nước muối ; 7 - Xả nước muối ; 8 - Xả cạn ; 9 - Nền cách nhiệt ; 10 - Xả dầu ; 11 - Van an toàn

Cấu tạo của dàn gồm 2 ống góp lớn nằm phía trên và phía dưới, nối giữa 2 ống góp là các ống trao đổi nhiệt dạng ống trơn thẳng đứng.

Môi chất chuyển động và sôi trong các ống, chất lỏng cần làm lạnh chuyển động ngang qua ống. Các dàn lạnh panen được cấp dịch theo kiểu ngập lỏng nhờ bình giữ mức - tách lỏng. Môi chất lạnh đi vào ống góp dưới và đi ra ống góp trên.

Tốc độ luân chuyển của nước muối trong bể khoảng $0,5 \div 0,8$ m/s, hệ số truyền nhiệt $k = 460 \div 580$ W/m²K. Khi hiệu nhiệt độ giữa môi chất và nước muối khoảng $5 \div 6$ K, mật độ dòng nhiệt của dàn bay hơi panen khá cao khoảng $2900 \div 3500$ W/m²

Dàn lạnh panen kiểu ống thẳng có nhược điểm là quãng đường đi của dòng môi chất trong các ống trao đổi nhiệt khá ngắn và kích thước tương đối cồng kềnh. Để khắc phục điều đó người ta làm dàn lạnh theo kiểu xương cá.

+ Dàn lạnh xương cá:

Dàn lạnh xương cá được sử dụng rất phổ biến trong hệ thống làm lạnh nước, nước muối và được sử dụng nhiều trong sản xuất đá cây.

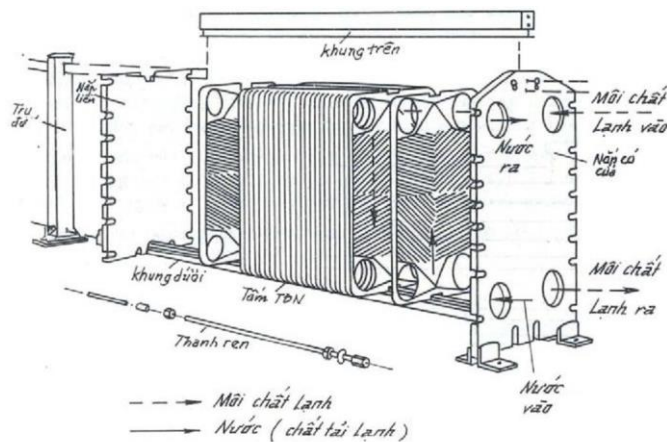


Hình 2.50: Dàn lạnh xương cá

Về cấu tạo, tương tự dàn lạnh panen nhưng ở đây các ống trao đổi nhiệt được uốn cong, do đó chiều dài mỗi ống tăng lên đáng kể. Các ống trao đổi nhiệt gắn vào các ống góp trông giống như một xương cá khổng lồ. Đó là các ống thép áp lực dạng trơn, không cánh. Dàn lạnh xương cá cũng có cấu tạo gồm nhiều cụm (môđun), mỗi cụm có 1 ống góp trên và 1 ống góp dưới và hệ thống 2 ÷ 4 dãy ống trao đổi nhiệt nối giữa các ống góp.

Mật độ dòng nhiệt của dàn bay hơi xương cá tương đương dàn lạnh kiểu panen tức khoảng $2900 \div 3500$ W/m²

+ Dàn lạnh tấm bản:



Hình 2.51: Dàn lạnh tấm bản

Ngoài các dàn lạnh thường được sử dụng ở trên, trong công nghiệp người ta còn sử dụng dàn bay hơi kiểu tấm bản để làm lạnh nhanh các chất lỏng. Ví dụ

hạ nhanh dịch đường và glycol trong công nghiệp bia, sản xuất nước lạnh chế biến trong nhà máy chế biến thực phẩm ...

Cấu tạo dàn lạnh kiểu tấm bản hoàn toàn giống dàn ngưng tấm bản, gồm các tấm trao đổi nhiệt dạng phẳng có dập sóng được ghép với nhau bằng đệm kín. Hai đầu là các tấm khung dày, chắc chắn được giữ nhờ thanh giằng và bulông. Đường chuyển động của môi chất và chất tải lạnh ngược chiều và xen kẽ nhau. Tổng diện tích trao đổi nhiệt rất lớn. Quá trình trao đổi nhiệt giữa hai môi chất thực hiện qua vách tương đối mỏng nên hiệu quả trao đổi nhiệt cao. Các lớp chất tải lạnh khá mỏng nên quá trình trao đổi nhiệt diễn ra nhanh chóng. Dàn lạnh tấm bản NH_3 có thể đạt $k = 2500 \square 4500 \text{ W/m}^2\text{K}$ khi làm lạnh nước. Đối với R22 làm lạnh nước hệ số truyền nhiệt đạt $k = 1500 \square 3000 \text{ W/m}^2\text{K}$. Đặc điểm của dàn lạnh kiểu tấm bản là thời gian làm lạnh rất nhanh, khối lượng môi chất lạnh cần thiết nhỏ.

Nhược điểm là chế tạo phức tạp nên chỉ có các hãng nổi tiếng mới có khả năng chế tạo. Do đó khi hư hỏng, không có vật tư thay thế, sửa chữa khó khăn

* Thiết bị bay hơi làm lạnh không khí:

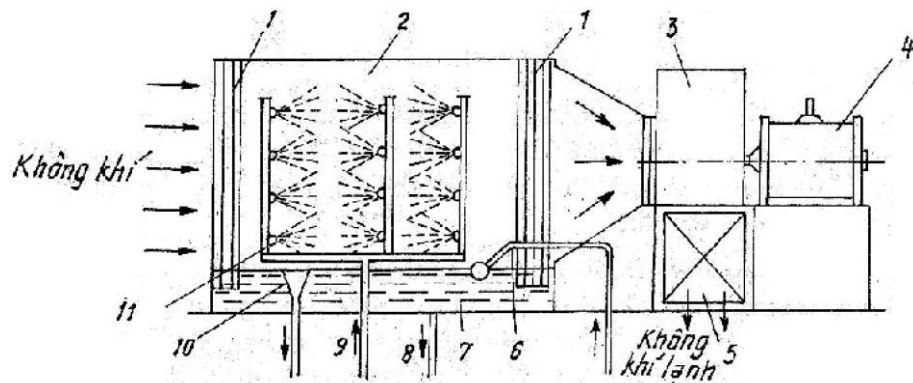
+ Thiết bị bay hơi làm lạnh không khí kiểu khô:

Là thiết bị trao đổi nhiệt bề mặt, trong đó không khí (lưu động ngoài chùm ống) thải nhiệt cho môi chất sôi trong ống hoặc cho chất tải lạnh chảy trong ống. Nếu không khí được làm lạnh do truyền nhiệt cho môi chất sôi trong ống ta gọi là thiết bị làm lạnh trực tiếp, còn nếu không khí được làm lạnh do truyền nhiệt cho nước hay chất tải lạnh lỏng đi trong ống được gọi là thiết bị làm lạnh gián tiếp



Hình 2.52: Dàn lạnh không khí

+ Thiết bị làm lạnh không khí kiểu ướt:

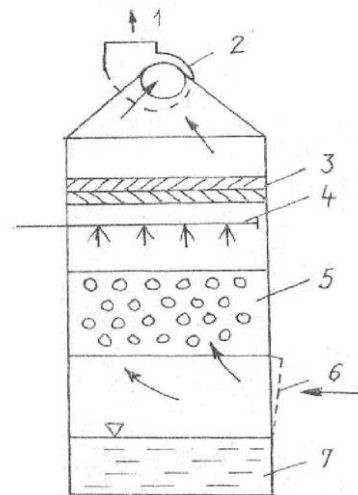


Hình 2.53: Thiết bị làm lạnh không khí kiểu uớt

1 – máng chắn nước ; 2 – buồng phun ; 3 – quạt gió ; 4 – động cơ ; 5 - cửa gió lạnh ; 6 – van phao ; 7 – đáy nước ; 8 - ống xả đáy ; 9 - ống dẫn nước lạnh ; 10 - ống xả tràn ; 11 – vòi phun nước

Được sử dụng rộng rãi trong điều hoà không khí, không khí được làm lạnh nhờ tiếp xúc trực tiếp với nước hoặc nước muối lạnh phun ra từ các vòi phun nhờ quạt.

+ Thiết bị làm lạnh không khí kiểu hỗn hợp:



Hình 2.54: Thiết bị làm lạnh không khí kiểu hỗn hợp

1 – không khí lạnh
2 – quạt gió
3 – chắn nước
4 - dàn phun nước
5 – dàn bay hơi
6 - không khí tuần hoàn
7 – bể chứa nước

Không khí trong phòng qua cửa gió tiếp xúc với dàn lạnh truyền nhiệt cho môi chất sôi trong ống hạ nhiệt độ xuống rồi lại được làm lạnh nhờ được tiếp xúc trực tiếp với nước lạnh phun từ ống phun nước. Tấm chắn giữ không cho nước bay theo vào phòng.

5.2. Thiết bị tiết lưu (giảm áp):

Quá trình tiết lưu là quá trình giảm áp suất do ma sát mà không sinh ngoại công khi môi chất chuyển động qua những chỗ có trở lực cục bộ đột ngột.

5.2.1. Giảm áp bằng ống mao:

Ống mao (cáp tiết lưu) được sử dụng trong hệ thống lạnh nhỏ như: tủ lạnh dân dụng, thương mại, máy điều hòa.



Hình 2.55: Cáp tiết lưu (ống mao)

5.2.2. Van tiết lưu:

* Van tiết lưu tay:

Van tiết lưu tay là van tiết lưu được điều chỉnh bằng tay. Van có kết cấu tương tự van chặn. Khác biệt cơ bản của van tiết lưu là ren của ti van mịn hơn so với van chặn nhằm điều chỉnh lưu lượng một cách chính xác.

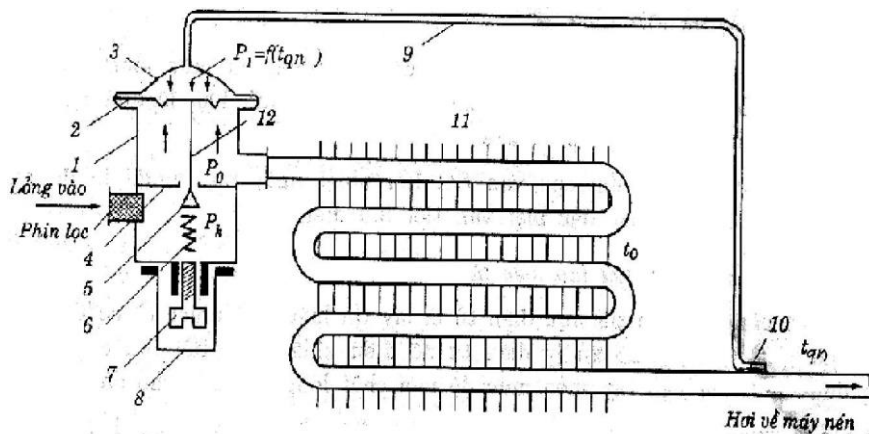


Hình 2.56: Van tiết lưu tay

* Van tiết lưu nhiệt:

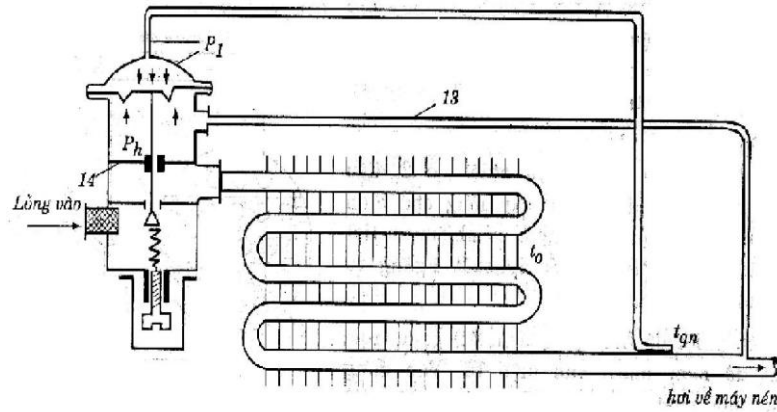
Van tiết lưu nhiệt là van tiết lưu điều chỉnh tự động nhờ độ quá nhiệt của hơi hút về máy nén.

Van tiết lưu nhiệt có 2 loại van: van tiết lưu nhiệt cân bằng trong và van tiết lưu nhiệt cân bằng ngoài.



Hình 2.57: Van tiết lưu nhiệt cân bằng trong

1 – thân van ; 2 – màng đàn hồi ; 3 – mũi van ; 4 – đế van ; 5 – kim van ;
6 – lò xo nén ; 7 – vít điều chỉnh độ quá nhiệt ; 8 – nắp ; 9 - ống nối ;
10 – đầu cảm nhiệt ; 11- dàn bay hơi



Hình 2.58: Van tiết lưu nhiệt cân bằng ngoài
13 – ống nối với đường hút máy nén ; 14 – tâm chặn

Van tiết lưu nhiệt gồm khoang áp suất quá nhiệt p_1 có màng đàn hồi, đầu cảm nhiệt 10, ống nối 9. Phía trong khoang được nạp môi chất dễ bay hơi (thường chính là môi chất sôi sử dụng trong hệ thống lạnh). Nhiệt độ quá nhiệt (cao hơn nhiệt độ sôi t_0) được đầu cảm 10 biến thành tín hiệu áp suất để làm thay đổi vị trí của màng đàn hồi. Màng đàn hồi được gắn với kim van 5 nhờ thanh truyền 12 nên khi màng co giãn, kim van 5 trực tiếp điều chỉnh cửa thoát phun môi chất lỏng vào dàn.

Van tiết lưu nhiệt hoạt động như sau: Nếu tải nhiệt của dàn tăng hay môi chất vào dàn ít, độ quá nhiệt hơi hút tăng, áp suất p_1 tăng, màng 2 giãn ra, đẩy kim van 5 xuống dưới, cửa thoát môi chất mở rộng hơn cho môi chất lỏng vào nhiều hơn. Khi môi chất lạnh vào nhiều, độ quá nhiệt hơi hút giảm, p_1 giảm, màng 2 bị kéo lên trên khép bớt cửa môi chất vào ít hơn và độ quá nhiệt lại tăng, chu kỳ điều chỉnh lặp lại, và dao động quanh vị trí đã đặt.

Độ quá nhiệt có thể điều chỉnh nhờ vít 7. Khi vặn vít thuận chiều kim đồng hồ tương ứng độ quá nhiệt tăng, và ngược chiều kim đồng hồ là độ quá nhiệt giảm. Khi điều chỉnh hết mức, có thể thay đổi 20% năng suất lạnh của van.

Van tiết lưu nhiệt cân bằng trong chỉ sử dụng cho các loại máy lạnh nhỏ, dàn bay hơi bé, tổn thất áp suất không lớn. Khi cần giữ áp suất bay hơi và nhiệt độ bay hơi ổn định, đối với các dàn lạnh có công suất lớn và tổn thất áp suất lớn người ta phải sử dụng loại van tiết lưu nhiệt cân bằng ngoài.

Van tiết lưu nhiệt cân bằng ngoài có thêm ống nối 13 lấy tín hiệu áp suất hút ở gần đầu máy nén (bố trí càng gần đầu máy nén càng tốt). Áp suất phía dưới màng đàn hồi không còn là áp suất p_0 mà là áp suất hút p_h . Do tổn thất áp suất ở dàn bay hơi thay đổi theo tải nên áp suất hút p_h là tín hiệu cấp lỏng bổ sung để hoàn thiện hơn chế độ cấp lỏng cho dàn bay hơi.



Hình 2.59: Van tiết lưu nhiệt

* Van tiết lưu nhiệt điện:



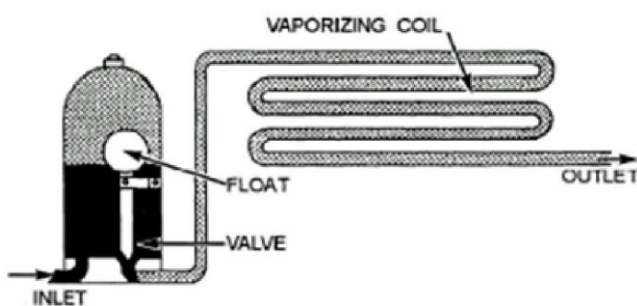
Hình 2.60: Van tiết lưu nhiệt điện

* Van tiết lưu điện tử:

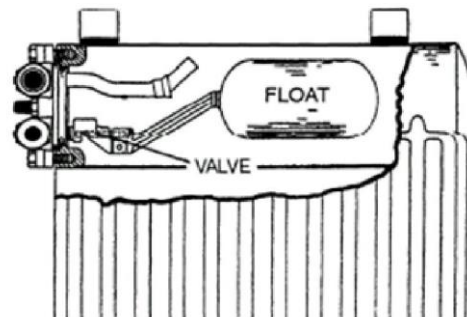


Hình 2.61: Van tiết lưu điện tử

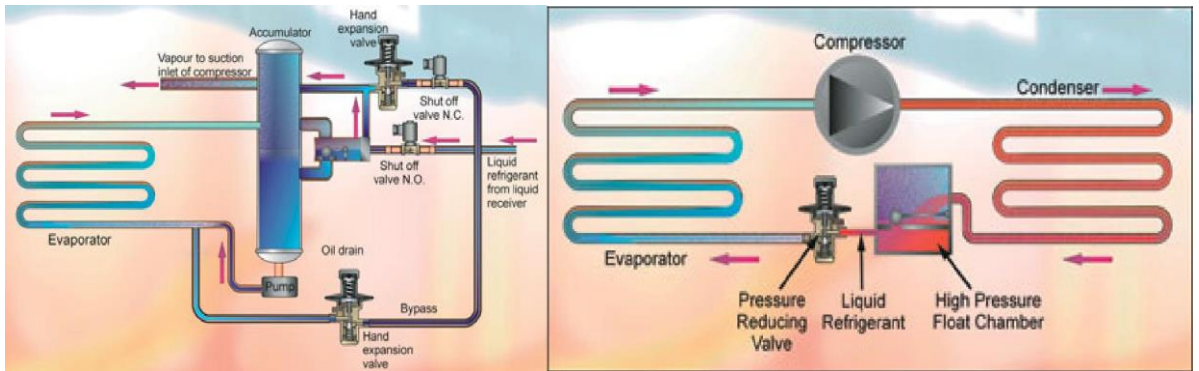
* Van phao tiết lưu:



Van phao tiết lưu cao áp



Van phao tiết lưu thấp áp



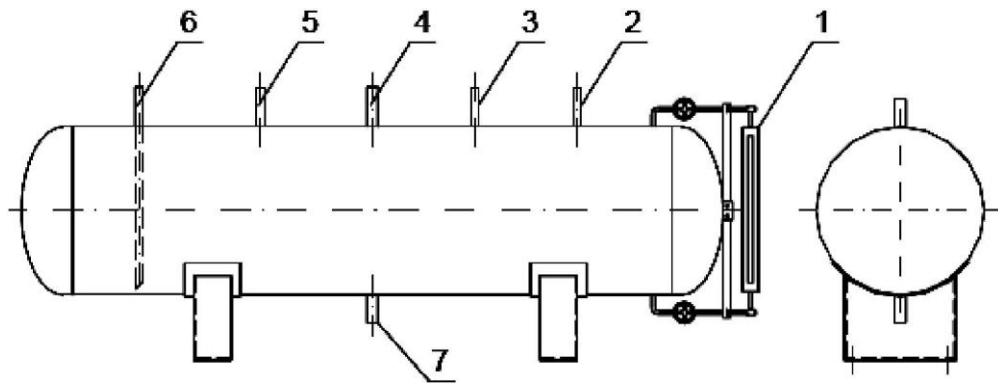
Hình 2.62: Van phao tiết lưu

5.3. Thiết bị phụ, dụng cụ và đường ống của hệ thống lạnh:

5.3.1. Thiết bị phụ của hệ thống lạnh:

* Bình chứa cao áp:

Bình chứa cao áp có chức năng chứa lỏng nhằm cấp dịch ổn định cho hệ thống, đồng thời giải phóng bề mặt trao đổi nhiệt cho thiết bị ngưng tụ. Khi sửa chữa bảo dưỡng bình chứa cao áp có khả năng chứa toàn bộ lượng môi chất của hệ thống.



Hình 2.63: Cấu tạo bình chứa cao áp

1 – kính xem ga ; 2 - ống lắp van an toàn ; 3 - ống lắp áp kế ;
4 - ống lỏng về; 5 - ống cân bằng ; 6 - ống cấp dịch ; 7 - ống xả đáy

* Bình chứa hạ áp:

Nhiều hệ thống lạnh đòi hỏi phải sử dụng bình chứa hạ áp, đặc biệt trong các hệ thống lạnh 2 cấp có bơm cấp dịch.

Bình chứa hạ áp có các nhiệm vụ chính sau:

- Chứa dịch môi chất nhiệt độ thấp để bơm cấp dịch ổn định cho hệ thống lạnh.
- Tách lỏng dòng gas hút về máy nén. Trong các hệ thống lạnh có sử dụng bơm cấp dịch lượng lỏng sau dàn bay hơi khá lớn, nếu sử dụng bình tách lỏng thì không có khả năng tách hết, rất dễ gây ngập lỏng. Vì vậy người ta đưa trở về bình chứa hạ áp, ở đó lỏng rơi xuống phía dưới, hơi phía trên được hút về máy nén.



Hình 2.64: Bình chứa hạ áp

* Bình chứa dầu:

Trong hệ thống lạnh NH_3 , dầu được thu gom về bình thu hồi dầu.

* Bình tách dầu:

Các máy lạnh khi làm việc cần phải tiến hành bôi trơn các chi tiết chuyển động nhằm giảm ma sát, tăng tuổi thọ thiết bị. Trong quá trình máy nén làm việc dầu thường bị cuốn theo môi chất lạnh. Việc dầu bị cuốn theo môi chất lạnh có thể gây ra các hiện tượng:

- Máy nén thiếu dầu, chế độ bôi trơn không tốt nên chóng hư hỏng.

- Dầu sau khi theo môi chất lạnh sẽ đọng bám ở các thiết bị trao đổi nhiệt như thiết bị ngưng tụ, thiết bị bay hơi làm giảm hiệu quả trao đổi nhiệt, ảnh hưởng chung đến chế độ làm việc của toàn hệ thống.

Để tách lượng dầu bị cuốn theo dòng môi chất khi máy nén làm việc, ngay trên đầu ra đường đẩy của máy nén người ta bố trí bình tách dầu. Lượng dầu được tách ra sẽ được hồi lại máy nén hoặc đưa về bình thu hồi dầu.



Hình 2.65: Bình tách dầu

* Bình tách lỏng:

Để ngăn ngừa hiện tượng ngập lỏng gây hư hỏng máy nén, trên đường hơi hút về máy nén, người ta bố trí bình tách lỏng. Bình tách lỏng sẽ tách các giọt hơi ẩm còn lại trong dòng hơi trước khi về máy nén.

Các bình tách lỏng làm việc theo các nguyên tắc tương tự như bình tách dầu, bao gồm:

- Giảm đột ngột tốc độ dòng hơi từ tốc độ cao xuống tốc độ thấp cỡ $0,5 \div 1,0 \text{ m/s}$. Khi giảm tốc độ đột ngột các giọt lỏng mất động năng và rơi xuống đáy bình.

- Thay đổi hướng chuyển động của dòng môi chất một cách đột ngột. Dòng môi chất đưa vào bình không theo phương thẳng mà thường đưa ngoặt theo những góc nhất định.

- Dùng các tấm chắn để ngăn các giọt lỏng. Khi dòng môi chất chuyển động va vào các vách chắn các giọt lỏng bị mất động năng và rơi xuống.

- Kết hợp tách lỏng hồi nhiệt, hơi môi chất khi trao đổi nhiệt sẽ bốc hơi hoàn toàn.



Hình 2.66: Bình tách lỏng

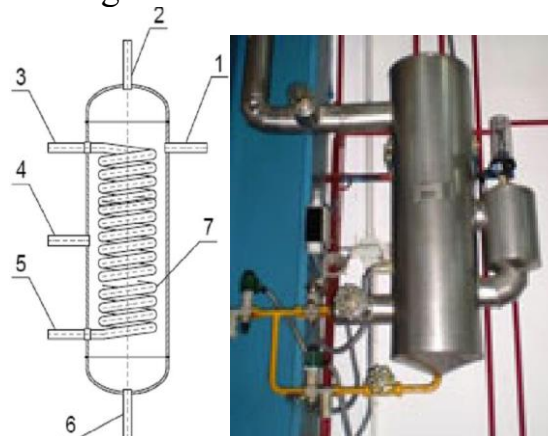
* Bình tách khí không ngưng:

Khi để lọt khí không ngưng vào bên trong hệ thống lạnh, hiệu quả làm việc và độ an toàn của hệ thống lạnh giảm rõ rệt, các thông số vận hành có xu hướng kém hơn, cụ thể:

- Áp suất và nhiệt độ ngưng tụ tăng.
- Nhiệt độ cuối quá trình nén tăng.
- Năng suất lạnh giảm.

Vì vậy nhiệm vụ của bình là tách các khí không ngưng trong hệ thống lạnh xả bỏ ra bên ngoài để nâng cao hiệu quả làm việc, độ an toàn của hệ thống, đồng thời tránh không được xả lẫn môi chất ra bên ngoài.

Hầu hết các bình tách khí không ngưng đều hoạt động dựa trên nguyên tắc là làm lạnh hỗn hợp khí không ngưng có lẫn hơi môi chất để ngưng tụ hết môi chất, trước khi xả khí ra bên ngoài.



Hình 2.67: Cấu tạo bình tách khí không ngưng

1- Nối van AT và đồng hồ áp suất; 2- Khí không ngưng ra; 3- Ga ra; 4- Hỗn hợp hơi và khí không ngưng vào; 5- Lồng tiết lưu vào; 6- Ga lỏng ra và xả đáy; 7- ống xoắn TĐN

* Bình trung gian:

Công dụng chính của bình trung gian là để làm mát trung gian giữa các cấp nén trong hệ thống lạnh máy nén nhiều cấp. Thiết bị làm mát trung gian trong các hệ thống lạnh gồm có 3 dạng chủ yếu sau:

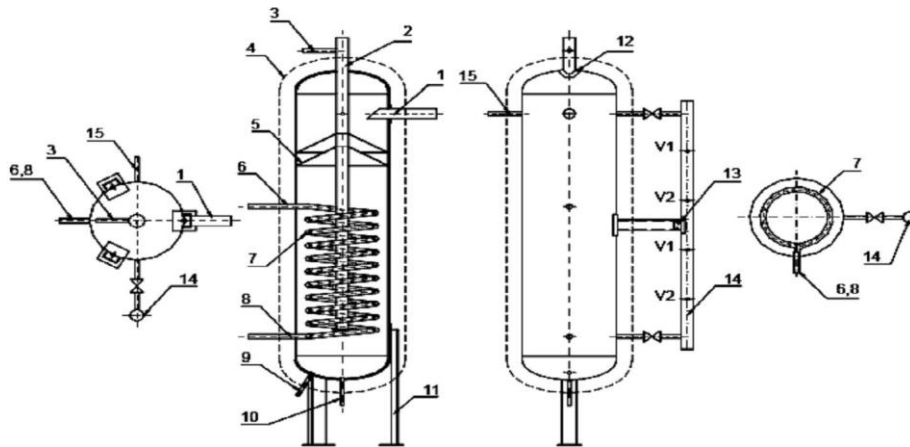
- Bình trung gian kiểu đặt đứng có ống xoắn ruột gà sử dụng cho NH_3 và frêôn

- Bình trung gian nằm ngang sử dụng cho Frêôn
- Bình trung gian kiểu tấm bản.

+ Bình trung gian đặt đứng có ống xoắn ruột gà:

Bình trung gian có ống xoắn ruột gà ngoài việc sử dụng để làm mát trung gian, bình có thể sử dụng để :

- Tách dầu cho gas đầu đẩy máy nén cấp 1, tách lỏng cho gas hút về máy nén cấp 2
- Quá lạnh lỏng trước khi tiết lưu vào dàn lạnh nhằm giảm tổn thất tiết lưu.



1- Hơi hút về máy nén áp cao; 2- Hơi từ đầu đẩy máy nén hạ áp đến; 3- Tiết lưu vào; 4- Cách nhiệt; 5- Nón chấn; 6- Lồng ra; 7- ống xoắn ruột gà; 8- Lồng vào; 9- Hối lỏng; 10- Xả đáy, hồi dầu; 11- Chân bình; 12- Tấm bệ; 13- Thanh đỡ; 14- ống góp lắp van phao; 15- ống lắp van AT, áp kế

Hình 2.68: Bình trung gian đặt đứng

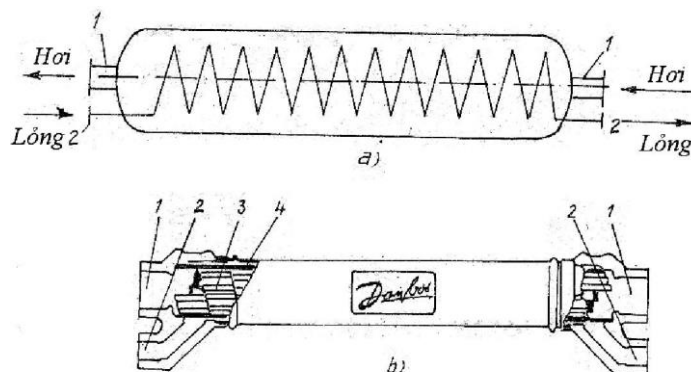
+ Bình trung gian kiểu nằm ngang:



Hình 2.69: Bình trung gian nằm ngang

* Thiết bị hồi nhiệt:

Thiết bị hồi nhiệt sử dụng trong các máy lạnh freon. Thiết bị hồi nhiệt dùng để quá lạnh lỏng môi chất sau ngưng tụ trước khi vào van tiết lưu bằng hơi lạnh ra từ dàn bay hơi trước khi về máy nén nhằm tăng hiệu suất lạnh chu trình.



Hình 2.70: Bình hồi nhiệt

a) nguyên lý cấu tạo ; b) bình hồi nhiệt của Danfoss (Đan Mạch)
1 – hơi vào, ra ; 2 – lỏng vào, ra ; 3 – không gian bên trong ;
4 - không gian 2 vỏ

* Bộ lọc ẩm và lọc cơ khí:

Trong quá trình chế tạo, lắp ráp, sửa chữa và vận hành thiết bị lạnh, dù rất cẩn thận vẫn có cặn bẩn như đất, gỉ sắt...lọt vào hệ thống.

Ẩm hoặc hơi nước và các tạp chất gây ra nhiều vấn đề ở bất cứ hệ thống lạnh nào. Hơi ẩm có thể đông đá và làm tắc van tiết lưu, gây ăn mòn các chi tiết kim loại, làm ẩm cuộn dây mô tơ máy nén nửa kín, làm cháy mô tơ và dầu. Các tạp chất có thể làm bẩn dầu máy nén và làm cho thao tác các van khó khăn.

Có rất nhiều dạng thiết bị được sử dụng để khử hơi nước và tạp chất. Dạng thường gặp là phin lọc ẩm kết hợp lọc cơ khí (filter – drier). Nó chứa một lõi xốp đục. Lõi có chứa chất hấp thụ nước cao, chứa tác nhân axit trung hoà để loại bỏ tạp chất. Để bảo vệ van tiết lưu và van cấp dịch, bộ lọc được lắp đặt tại trên đường cấp dịch trước các thiết bị này.



Hình 2.71: Phin lọc

5.3.2. Dụng cụ của hệ thống lạnh:

* Van chặn:

Van chặn có rất nhiều loại tùy thuộc vị trí lắp đặt, chức năng, công dụng, kích cỡ, môi chất, phương pháp làm kín, vật liệu chế tạo ...

Theo chức năng van chặn có thể chia ra làm: Van chặn hút, chặn đẩy, van lắp trên bình chứa, van góc, van lắp trên máy nén

Theo vật liệu : Có van đồng, thép hợp kim hoặc gang



Hình 2.72: Các loại van chặn

* Van điện từ:



Hình 2.73: Van điện từ

* Van 1 chiều:

Trong hệ thống lạnh để bảo vệ các máy nén, bơm ... người ta thường lắp phía đầu đẩy các van một chiều. Van một chiều chỉ cho chất lỏng đi theo một chiều nhất định.



Hình 2.74: Van 1 chiều

* Kính xem ga:

Trên các đường ống cấp dịch của các hệ thống nhỏ và trung bình, thường có lắp đặt các kính xem ga, mục đích là báo hiệu lưu lượng lỏng và chất lượng của nó một cách định tính.



Hình 2.75: Kính xem ga

* Ngoài ra còn có các thiết bị khác như áp kế, thermostat, ống tiêu âm...



Hình 2.76: Áp kế, thermostat

5.3.3. Đường ống của hệ thống lạnh:

Yêu cầu đối với việc tính toán và lựa chọn đường ống là đủ độ bền cần thiết, tiết diện ống đảm bảo yêu cầu kỹ thuật và kinh tế. Các đường ống sử dụng trong kỹ thuật lạnh thường là ống thép, ống đồng hoặc ống nhôm. Việc tính toán kiểm tra sức bền là không cần thiết. Thường ống chịu đến áp lực là 3MPa.

Việc lựa chọn đường kính ống là một bài toán kinh tế tối ưu. Khi tiết diện ống tăng lên, khối lượng ống và khối lượng kim loại tăng lên làm tăng giá thành nhưng tổn thất đường ống và chi phí vận hành sẽ giảm xuống. Do đó khi thông thường người ta lựa chọn đường ống theo kinh nghiệm.

Công thức xác định đường kính ống:

$$\square \square \frac{m}{\square.F} \square \frac{4.m}{\square.\square d^2} \quad [2-63]$$

Trong đó:

- ω – tốc độ dòng chảy, m/s
- m – lưu lượng khối lượng, kg/s
- ρ – khối lượng riêng của môi chất, kg/m³
- d – đường kính ống, m

Các đường ống của hệ thống lạnh cần phải bố trí sao cho có đường đi ngắn nhất. Chú ý trên các đường ống dẫn lỏng không có các vị trí tạo thành các túi khí và trên đường ống dẫn khí không có các vị trí túi lỏng trừ trường hợp túi dầu. Cần phải bố trí đường ống sao cho thiết bị bay hơi được phân bố đều lỏng và sự tái tuần hoàn dầu từ thiết bị bay hơi về máy nén được đảm bảo. Từ yêu cầu này người ta cũng qui định tốc độ tối thiểu của hơi trên đường ống hút thẳng đứng để đảm bảo dầu tuần hoàn được về máy nén.

* Câu hỏi và bài tập:

Câu 1: Nêu ý nghĩa kinh tế của kỹ thuật lạnh ?

Câu 2: Có bao nhiêu phương pháp làm lạnh ? Trình bày các phương pháp làm lạnh đó.

Câu 3 : Nêu các yêu cầu đối với môi chất lạnh và chất tải lạnh ?

Câu 4 : Thế nào là chu trình quá lạnh, quá nhiệt ? Trình bày sơ đồ nguyên lý, nguyên lý làm việc và đồ thị của chu trình quá lạnh, quá nhiệt ? Nêu các nguyên nhân có thể gây quá lạnh, quá nhiệt ?

Câu 5 : Thế nào là chu trình hồi nhiệt ? Hãy vẽ sơ đồ thiết bị, đồ thị và nguyên lý làm việc của chu trình hồi nhiệt ? Vì sao không sử dụng NH_3 cho chu trình hồi nhiệt ?

Câu 6: Trình bày sơ đồ nguyên lý, đồ thị, nguyên lý làm việc và ưu nhược điểm của chu trình 2 cấp 2 tiết lưu làm mát trung gian không hoàn toàn ?

Câu 7: Trình bày sơ đồ nguyên lý, đồ thị, nguyên lý làm việc và ưu nhược điểm của chu trình 2 cấp 2 tiết lưu làm mát trung gian hoàn toàn ?

Câu 8: Trình bày sơ đồ nguyên lý, đồ thị, nguyên lý làm việc và ưu nhược điểm của chu trình 2 cấp 2 tiết lưu bình trung gian ống xoắn?

Câu 9: Thế nào là chu trình ghép tầng ? Ứng dụng ?

Câu 10: Tính chu trình 2 cấp, 2 tiết lưu làm mát trung gian hoàn toàn. Tính chọn máy nén, cho biết môi chất NH_3 ; $Q_0 = 100 \text{ kW}$ $t_k = 42^\circ\text{C}$ $t_0 = -40^\circ\text{C}$ $t_{qn} = -35^\circ\text{C}$.

Câu 11: Chức năng và phân loại máy nén?

Câu 12: Trình bày cấu tạo và nguyên lý làm việc của máy nén pittông ?

Câu 13: Trình bày các loại tổn thất thể tích của máy nén ?

Câu 14: Trình bày cấu tạo và nguyên lý làm việc của máy nén rôto tấm trượt ?

Câu 15: Trình bày cấu tạo và nguyên lý làm việc của máy nén rôto lăn ?

Câu 16: Hãy nêu vai trò, vị trí và phân loại của thiết bị ngưng tụ trong hệ thống lạnh ?

Câu 17: Trình bày sự khác biệt giữa thiết bị ngưng tụ kiểu bay hơi và kiểu tưới ?

Câu 18: Hãy nêu vai trò, vị trí và phân loại của thiết bị bay hơi trong hệ thống lạnh ?

Câu 19: Trình bày cấu tạo, nguyên lý làm việc và ưu nhược điểm của thiết bị bay hơi ống vỏ kiểu ngập?

Câu 20: Trình bày cấu tạo và nguyên lý làm việc của thiết bị bay hơi ống vỏ kiểu kiểu panel?

Câu 21: Sự khác nhau giữa dàn lạnh không khí kiểu khô và dàn lạnh không khí kiểu ướt ?

Câu 22: Nêu chức năng và phân loại thiết bị tiết lưu trong hệ thống lạnh ?

Câu 23: Trình bày nguyên lý làm việc của van tiết lưu nhiệt cân bằng trong và cân bằng ngoài?

Câu 24: Chức năng của tháp giải nhiệt trong hệ thống lạnh ?

Câu 25: Tại sao phải lắp đặt thiết bị tách khí không ngưng ? Vẽ cấu tạo và nêu nguyên lý làm việc của thiết bị tách khí không ngưng ?

Câu 26: Nêu chức năng của van chặn, van 1 chiều và kính xem ga ?

*** Yêu cầu về đánh giá kết quả học tập:**

Mục tiêu	Nội dung	Điểm
Kiến thức	- Trả lời đầy đủ các câu hỏi ở phần câu hỏi và bài tập; - Kiểm tra chi tiết phần trả lời câu hỏi của một câu hỏi	4

	bất kỳ nào đó trong 25 câu	
Kỹ năng	- Làm đầy đủ bài tập được giao; - Kiểm tra chi tiết bài tập;	5
Thái độ	- Nộp bài tập đúng hạn (1 tuần về nhà), vở bài tập nghiêm túc, sạch sẽ	1
Tổng		10

*** Hướng dẫn trả lời các câu hỏi và gợi ý giải các bài tập:**

Câu 10: Tính chu trình 2 cấp, 2 tiết lưu làm mát trung gian hoàn toàn. Tính chọn máy nén, cho biết môi chất NH_3 ; $Q_0 = 100 \text{ kW}$ $t_k = 42^\circ\text{C}$ $t_0 = -40^\circ\text{C}$ $t_{qn} = -35^\circ\text{C}$.

- Năng suất lạnh riêng : $q_0 = 1234 \text{ kJ/kg}$
- Lưu lượng qua nén hạ áp: $m_1 = 0,081 \text{ kg/s}$
- Lưu lượng qua nén cao áp: $m_4 = 0,1069 \text{ kg/s}$
- Công nén riêng và công nén đoạn nhiệt:
 $l_1 = 211 \text{ kJ/kg}$; $l_4 = 229 \text{ kJ/kg}$
 $N_{s1} = 17,09 \text{ kW}$; $N_{s2} = 24,48 \text{ kW}$
- Hệ số làm lạnh của chu trình : $\varepsilon = 2,41$
- Thể tích hút thực tế : $V_{tt1} = 0,1312 \text{ m}^3/\text{s}$; $V_{tt1} = 0,03816 \text{ m}^3/\text{s}$
- Thể tích hút lý thuyết : $\lambda_1 = 0,638$; $\lambda_4 = 0,672$
 $V_{lt1} = 0,1312 \text{ m}^3/\text{s}$; $V_{lt1} = 0,03816 \text{ m}^3/\text{s}$
- Công nén chỉ thị : $N_{i1} = 20,52 \text{ kW}$; $N_{i2} = 29,07 \text{ kW}$
- Công nén hữu ích : $N_{ms1} = 7,87 \text{ kW}$; $N_{ms2} = 2,28 \text{ kW}$
 $N_{e1} = 28,39 \text{ kW}$; $N_{e2} = 31,35 \text{ kW}$

CHƯƠNG 3: CƠ SỞ KỸ THUẬT ĐIỀU HÒA KHÔNG KHÍ

Mã chương: MH10 - 03

Giới thiệu:

Chương này cung cấp cho sinh viên học sinh những kiến thức cơ bản về điều hòa không khí: các khái niệm, các kiểu và cách tính toán chu trình điều hòa không khí cơ bản, đồ thị không khí ẩm và chức năng một số các thiết bị sử dụng trong thông gió và điều hòa không khí.

Mục tiêu:

- Nắm được các kiến thức cơ sở về điều hòa không khí và hệ thống ĐHKK.

- Hiểu và sử dụng được đồ thị I-d, t-d.
- Các chu trình điều hòa không khí.
- Tính toán các chu trình điều hòa dựa vào đồ thị I-d, t-d.
- Chức năng các thiết bị trong hệ thống ĐHKK.
- Các hệ thống điều hòa không khí.
- Nắm rõ về thông gió.
- Cách phân phối không khí trong hệ thống điều hòa không khí.
- Hiểu được các khái niệm về ĐHKK, vai trò và chức năng của các thiết bị chính trong hệ thống ĐHKK.

- Rèn luyện tính tập trung, tỉ mỉ, tư duy logic, sáng tạo, ứng dụng thực tiễn sản xuất áp dụng vào môn học cho HSSV.

Nội dung chính:

1. KHÔNG KHÍ ẨM:

Mục tiêu:

- Nắm được các kiến thức về không khí ẩm và thông số của không khí ẩm.
- Hiểu và sử dụng được đồ thị I-d, t-d.

1.1. Các thông số trạng thái của không khí ẩm:

1.1.1 Thành phần của không khí ẩm:

Không khí ẩm là hỗn hợp của không khí khô và hơi nước. Là không khí được sử dụng trong kỹ thuật và trong sinh hoạt đời sống con người. Không khí khô là hỗn hợp của các chất khí 78% N₂, 21% O₂, còn lại là CO₂ và các khí trơ.

Vì phân áp suất của hơi nước trong không khí ẩm rất nhỏ, nên hơi nước trong không khí ẩm có thể xem như là khí lý tưởng và không khí ẩm có thể xem như là hỗn hợp của các khí lý tưởng với các tính chất như sau :

$$\text{Áp suất:} \quad p = p_k + p_h \quad [3-1]$$

$$\text{Nhiệt độ:} \quad t = t_k = t_h \quad [3-2]$$

$$\text{Khối lượng:} \quad G = G_k + G_h \quad [3-3]$$

$$\text{Thể tích:} \quad V = V_k = V_h \quad [3-4]$$

Trong đó: k và h nhỏ chỉ cho không khí khô và hơi trong không khí ẩm.

* Phân loại không khí ẩm:

Không khí ẩm được phân loại như sau:

+ Không khí ẩm bão hòa:

Là không khí ẩm trong đó hơi nước ở trạng thái hơi bão hòa khô và lượng hơi nước trong không khí ẩm là lớn nhất ($G_{h,max}$).

Lúc này nếu ta thêm hơi nước vào thì nó sẽ đọng lại thành những hạt rất nhỏ, nếu tiếp tục cho thêm hơi nước vào ta sẽ được không khí ẩm quá bão hòa.

+ Không khí ẩm chưa bão hòa:

Là không khí ẩm chứa lượng hơi nước lớn hơn $G_{h,max}$. Hơi nước ở đây là hơi bão hòa ẩm, tức là ngoài hơi nước bão hòa khô còn có một lượng nước ngưng nhất định (G_n).

Không khí ẩm khi có sương mù là không khí ẩm quá bão hòa vì có chứa những giọt nước ngưng tụ.

+ Không khí ẩm chưa bão hòa:

Là không khí ẩm chứa lượng hơi nước nhỏ hơn $G_{h,max}$, tức là còn có thể nhận thêm hơi nước để trở thành bão hòa (hay nói cách khác: trong trường hợp này nếu ta thêm hơi nước vào thì hơi nước vẫn chưa bị ngưng tụ).

Hơi nước trong không khí ẩm chưa bão hòa là hơi quá nhiệt.

1.1.2. Các thông số trạng thái của không khí ẩm:

* Độ ẩm tuyệt đối (ρ_h):

Là khối lượng hơi nước có trong 1 m³ không khí ẩm.

$$\rho_h = \frac{G_h}{V} \quad (\text{kg/m}^3) \quad [3-5]$$

Trong đó: V – thể tích không khí ẩm, m³.

G_h – Khối lượng hơi nước có trong không khí ẩm, kg.

Trong thực tế để biết khả năng chứa hơi nước nhiều hay ít của không khí ẩm ta cần dùng đến độ ẩm tương đối.

* Độ ẩm tương đối (φ):

Là tỷ số giữa độ ẩm tuyệt đối của không khí ẩm chưa bão hòa (ρ_h) và độ ẩm tuyệt đối của không khí ẩm bão hòa ($\rho_{h,max}$) ở cùng nhiệt độ.

$$\varphi = \frac{\rho_h}{\rho_{h,max}} \quad (\%) \quad [3-6]$$

Sử dụng phương trình trạng thái của khí lý tưởng cho hơi nước ta có:

Với hơi nước trong không khí ẩm chưa bão hòa:

$$p_h \cdot V = G_h \cdot R_h \cdot T \quad \left[\frac{G_h}{V} = \frac{p_h}{R_h \cdot T} \right] \quad (a)$$

Với hơi nước trong không khí ẩm bão hòa:

$$p_{h \max} \cdot V = G_{h \max} \cdot R_h \cdot T \quad \left[\frac{G_{h \max}}{V} = \frac{p_{h \max}}{R_h \cdot T} \right]_{h \max} \quad (b)$$

Từ (3-6), (a) và (b), ta có:

$$\varphi = \frac{p_h}{p_{h \max}} \quad [\%] \quad [3-7]$$

Vì $0 \leq p_h \leq p_{h \max}$ nên $0 \leq \varphi \leq 100 \%$. Không khí khô có $\varphi = 0$, không khí ẩm bão hòa có $\varphi = 100 \%$.

Độ ẩm tương đối là một đại lượng có ý nghĩa lớn không chỉ trong kỹ thuật mà trong cuộc sống con người. Con người sẽ cảm thấy thoải mái nhất trong không khí có độ ẩm tương đối $\varphi = 40 \div 70 \%$. Trong bảo quản rau quả thực phẩm có độ ẩm tương đối khoảng $\varphi = 90 \%$ ($0 \div 5^\circ\text{C}$).

Dụng cụ đo độ ẩm tương đối gọi là ẩm kế. Ẩm kế thông dụng gồm 2 nhiệt kế thủy ngân: nhiệt kế khô và nhiệt kế ướt. Nhiệt kế ướt có bầu thủy ngân được bọc vải thấm ướt bằng nước. Nhiệt độ đo bằng nhiệt kế khô gọi là nhiệt độ khô (t_k), còn nhiệt độ đo bằng nhiệt kế ướt gọi là nhiệt độ ướt (t_u). Hiệu số $\Delta t = t_k - t_u$ tỷ lệ với độ ẩm tương đối của không khí. Không khí càng khô thì Δt càng lớn, không khí ẩm bão hòa có $\Delta t = 0$.

* Độ chứa hơi (d):

Là lượng hơi nước chứa trong không khí ẩm ứng với 1kg không khí khô.

$$d = \frac{G_h}{G_k}, \text{ kg hơi nước/kg không khí khô} \quad [3-8]$$

Áp dụng phương trình trạng thái của khí lý tưởng cho hơi nước và không khí khô ta có:

$$p_h \cdot V = G_h \cdot R_h \cdot T \quad \left[G_h = \frac{p_h \cdot V}{R_h \cdot T} \right] \quad (c)$$

$$\text{và} \quad p_k \cdot V = G_k \cdot R_k \cdot T \quad \left[G_k = \frac{p_k \cdot V}{R_k \cdot T} \right] \quad (d)$$

Từ (3-8), (c) và (d) ta có:

$$d = \frac{p_h R_k}{p_k R_h}, \text{ Với } R_k = \frac{8314}{29} \text{ và } R_h = \frac{8314}{18}$$

$$\square \quad d = 0,622 \frac{p_h}{p_k}$$

$$\text{Mà } p = p_k + p_h$$

$$\square \quad d = 0,622 \frac{p_h}{p - p_h} \quad [3-8a]$$

$$\text{Mà: } \square \frac{p_h}{p_{h \max}}$$

$$\square \quad d = 0,622 \frac{\square \cdot p_{h \max}}{p \square \square \cdot p_{h \max}} \quad [\text{kg hơi/kg kkk}] \quad [3-9]$$

* Enthanpy của không khí ẩm:

Enthanpy không khí ẩm bằng tổng enthanpy của không khí khô và hơi nước chứa trong nó. Enthanpy của không khí ẩm có chứa 1kg không khí khô, cũng có nghĩa là (1+d)kg không khí ẩm.

$$d = \frac{G_h}{G_k} \quad \square \quad d = G_h, \text{ (do } G_k = 1), G = G_k + G_h = 1 + d$$

$$I = i_k + d \cdot i_h \quad [3-10]$$

Trong đó:

i_k : enthanpy 1kg không khí khô, được xác định:

$$i_k = 1,0048 \cdot t \approx t \quad [\text{kJ/kg}]$$

i_h : enthanpy hơi nước, được xác định:

$$i_h = 2500 + 2 \cdot t \quad [\text{kJ/kg}]$$

$$\square I = t + (2500 + 2 \cdot t) \cdot d \quad [3-11]$$

* Nhiệt độ bão hòa đoạn nhiệt τ :

Khí không khí tiếp xúc với nước, nếu sự bay hơi của nước vào không khí chỉ do nhiệt lượng của không khí truyền cho, thì nhiệt độ của không khí bão hòa gọi là nhiệt độ bão hòa đoạn nhiệt τ (nhiệt độ τ lấy gần đúng bằng nhiệt độ nhiệt kế ướt $\tau = t_w$).

* Nhiệt độ nhiệt kế ướt:

Khí cho hơi nước bay hơi đoạn nhiệt vào không khí chưa bão hòa ($I = \text{const}$). Nhiệt độ của không khí sẽ giảm dần trong khi độ ẩm tương đối tăng lên. Tới trạng thái $\square = 100\%$ quá trình bay hơi chấm dứt. Nhiệt độ ứng với trạng thái bão hòa cuối cùng này gọi là nhiệt độ nhiệt kế ướt và ký hiệu là t_w . Người ta gọi nhiệt độ nhiệt kế ướt là vì nó được xác định bằng nhiệt kế có bầu thấm ướt nước.

Như vậy nhiệt độ nhiệt kế ướt của một trạng thái là nhiệt độ ứng với trạng thái bão hòa và có entanpi I bằng entanpi của trạng thái đã cho. Giữa entanpi I và nhiệt độ nhiệt kế ướt t_w có mối quan hệ phụ thuộc. Trên thực tế ta có thể đo được nhiệt độ nhiệt kế ướt của trạng thái không khí hiện thời là nhiệt độ trên bề mặt thoáng của nước.

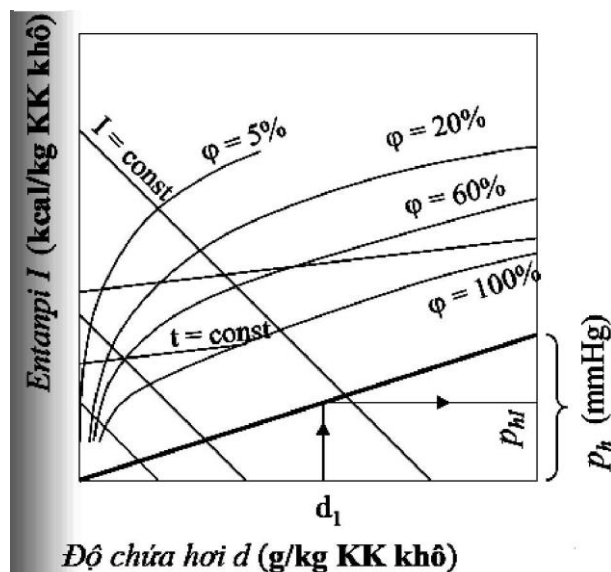
* Nhiệt độ đọng sương:

Nhiệt độ đọng sương t_{ds} hay là điểm sương là nhiệt độ tại đó không khí chưa bão hòa trở thành không khí ẩm bão hòa trong điều kiện phân áp suất của

hơi nước không đổi $p_h = \text{const}$. Từ bảng nước và hơi nước bão hòa, khi biết p_h ta tìm được nhiệt độ t_{ds} .

1.2. Đồ thị $I - d$ và $d - t$ của không khí ẩm:

1.2.1. Đồ thị $I - d$:



Hình 3.1: Các đường đặc trưng trên đồ thị $I - d$

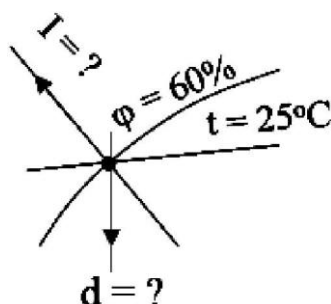
Trên đồ thị trục I và d hợp với nhau một góc 135° .

- Đường $I = \text{const}$: là đường thẳng hợp với trục d một góc 135° .
- Đường $d = \text{const}$: là những đường thẳng đứng.
- Đường $t = \text{const}$: là những đường thẳng hơi dốc, càng lên cao có khuynh hướng phân kỳ.
- Đường $\phi = 100\%$ chia không khí ẩm thành hai vùng: vùng trên là không khí ẩm chưa bão hòa, vùng dưới là không khí ẩm quá bão hòa. Đối với vùng không khí ẩm chưa bão hòa, ϕ có dạng đường cong quay phía lồi lên trên, nhưng đến vùng có $t > t_{sôi}$ thì nó là đường thẳng vuông góc trục d . Để xác định các thông số của không khí ẩm ta cần biết 2 trong số các thông số: i , d , t , ϕ , ...
- p_h : phân áp suất hơi nước.

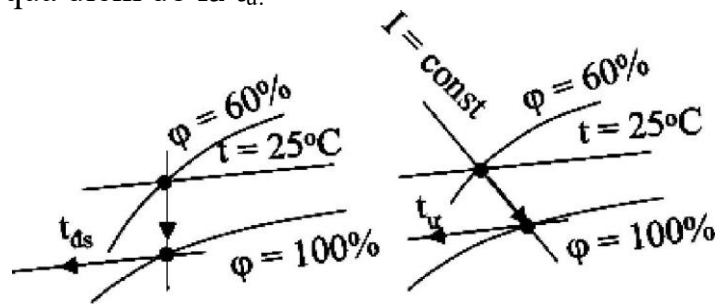
Ví dụ:

Cho biết không khí ẩm có nhiệt độ $t = 25^\circ\text{C}$, $\phi = 60\%$. Xác định nhiệt độ đọng sương t_{ds} và nhiệt độ nhiệt kế ướt t_{ur} ?

- Trên đồ thị $I-d$, ta xác định được giao điểm của đường $t = 25^\circ\text{C}$ và $\phi = 60\%$.



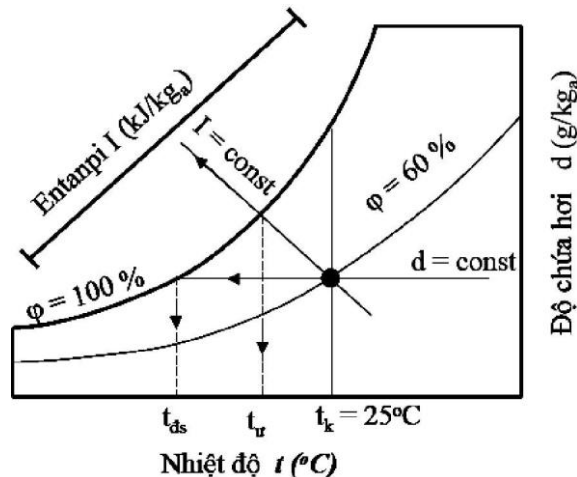
- Đường đẳng d qua điểm giao nhau, cắt đường $\varphi = 100\%$ tại đâu, thì đường nhiệt độ qua điểm đó là t_{ds} .
- Đường đẳng I qua điểm giao nhau, cắt đường $\varphi = 100\%$ tại đâu, thì đường nhiệt độ qua điểm đó là t_{tr} .



1.2.2. Đồ thị t – d:

Trên đồ thị trục t và d hợp với nhau thành 1 góc vuông.

- Đường $I = \text{const}$: là đường thẳng hợp với trục t một góc 135° .
- Đường $d = \text{const}$: là những đường nằm ngang.
- Đường $t = \text{const}$: là những đường thẳng đứng.
- Đường $\varphi = \text{const}$ là những đường cong lõm, càng đi lên phía trên φ càng tăng. Trên đường $\varphi = 100\%$ là vùng sương mù hay vùng hơi quá bão hòa.
- p_h : phân áp suất hơi nước.

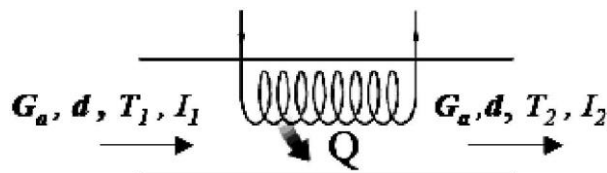


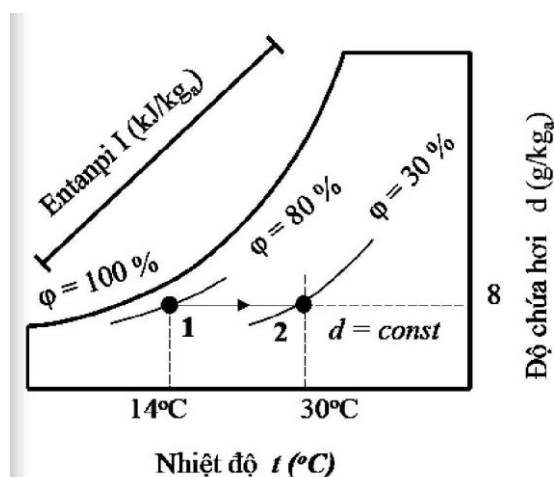
Hình 3.2: Các đường đặc trưng trên đồ thị t – d

1.3. Một số quá trình của không khí ẩm khi ĐHKK:

1.3.1. Quá trình gia nhiệt:

Khi gia nhiệt cho không khí ẩm, nhiệt độ tăng lên, lượng nước trong không khí ẩm không đổi ($d = \text{const}$), quá trình này biểu diễn bằng đường thẳng vuông góc với trục d, độ ẩm φ giảm (quá trình 1-2) trên đồ thị hình 3.3.



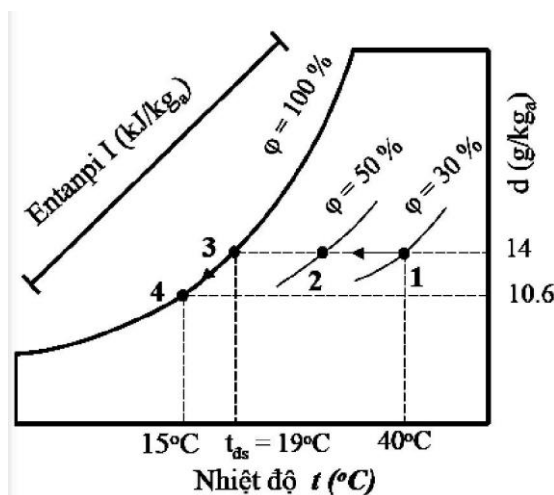


Hình 3.3: Đồ thị biểu diễn quá trình gia nhiệt

1.3.2. Quá trình làm lạnh:

Khi làm lạnh không khí ẩm, nhiệt độ sẽ giảm xuống và độ ẩm sẽ tăng lên, quá trình này xảy ra trong hai trường hợp:

- Nếu nhiệt độ làm lạnh nhỏ hơn nhiệt độ điểm sương ($t < t_{ds}$), do độ chứa hơi $d = \text{const}$ nên khi nhiệt độ giảm thì ϕ sẽ tăng lên (quá trình 1-2 trên đồ thị hình 3.4)



Hình 3.4: Đồ thị biểu diễn quá trình làm lạnh

- Nếu nhiệt độ nhỏ hơn nhiệt độ đọng sương ($t < t_{ds}$) thì quá trình lần lượt trải qua hai giai đoạn, giai đoạn đầu nhiệt độ giảm xuống và độ ẩm tăng lên đến $\phi = 100\%$ (quá trình 1-4), giai đoạn này có $d = \text{const}$. Tại điểm 3, không khí đạt trạng thái hơi bão hòa, nếu tiếp tục làm lạnh thì giai đoạn tiếp theo một phần hơi nước trong không khí ẩm sẽ ngưng tụ thành nước nên lượng nước trong không khí ẩm giảm xuống, quá trình này biểu diễn bằng đường (3-4) trên đồ thị hình 3.4.

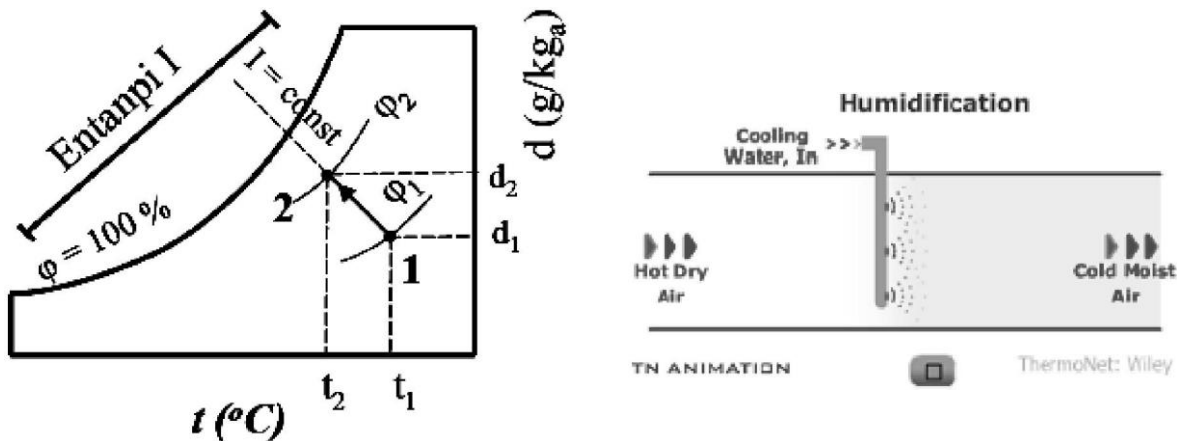
1.3.3. Quá trình bốc hơi tăng ẩm:

Có thể thực hiện tăng ẩm bằng 2 cách phun khác nhau:

* Phun bằng nước lạnh:

Quá trình phun này có $I = \text{const}$. Không khí ẩm có nhiệt độ cao, độ ẩm thấp đi vào thiết bị tăng ẩm, nhờ nước lạnh phun vào nên nhiệt độ của không khí

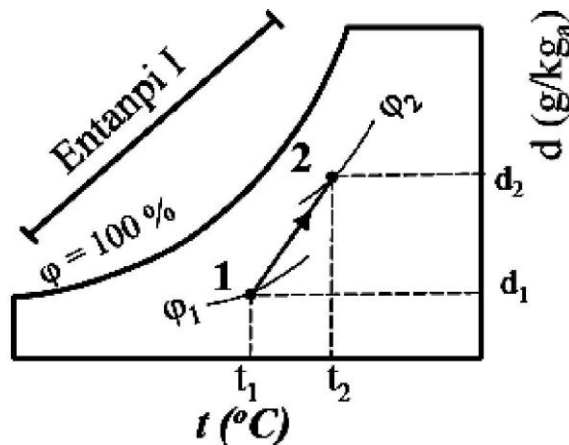
ẩm giảm xuống, đồng thời lượng ẩm tăng lên (theo quá trình 1-2 trên đồ thị hình 3.5).



Hình 3.5: Đồ thị biểu diễn quá trình bốc hơi tăng ẩm nhờ phun nước lạnh

* Phun bằng hơi bão hòa:

Không khí ẩm có nhiệt độ và độ ẩm thấp đi vào thiết bị tăng ẩm, nhờ hơi bão hòa phun vào nên nhiệt độ của không khí ẩm tăng lên, đồng thời lượng ẩm tăng lên (theo quá trình 1-2 trên đồ thị hình 3.6).



Hình 3.6: Đồ thị biểu diễn quá trình bốc hơi tăng ẩm nhờ phun hơi bão hòa

1.3.4. Hỗn hợp các dòng không khí:

Hỗn hợp các dòng không khí thường thấy trong điều hòa không khí hay trong các hệ thống sấy. Tuy nhiên ở đây chúng ta chỉ xét trong điều hòa không khí.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Hoàng Đình Tín – Lê Chí Hiệp – **Nhiệt động lực học kỹ thuật** – NXB Đại học quốc gia TP HCM, 2003.
- [2] Hoàng Đình Tín – Bùi Hải – **Bài tập Nhiệt động lực học kỹ thuật và truyền nhiệt** – NXB Đại học quốc gia TP HCM, 2003.
- [3] Hoàng Đình Tín – **Truyền nhiệt và tính toán thiết bị trao đổi nhiệt** – NXB Đại học quốc gia TP HCM, 2003.
- [4] Nguyễn Bốn – Hoàng Ngọc Đồng - **Nhiệt kỹ thuật** – NXB Giáo Dục
- [5] Nguyễn Đức Lợi – **Kỹ thuật lạnh Cơ sở** – NXB Giáo Dục, 2006
- [6] Trần Thanh Kỳ – **Máy lạnh** – NXB Giáo Dục, 2006
- [7] Võ Chí Chính – **Máy và thiết bị lạnh** – NXB khoa học và kỹ thuật
- [8] Võ Chí Chính – **Thông gió và Điều hòa không khí** – NXB khoa học và kỹ thuật.
- [10] TS Hà Đăng Trung – ThS Nguyễn Quân – **Cơ sở kỹ thuật điều tiết không khí** – NXB khoa học và kỹ thuật Hà Nội, 1997
- [11] Nguyễn Đức Lợi – **Hướng dẫn thiết kế hệ thống điều hòa không khí** – NXB khoa học và kỹ thuật Hà Nội, 2007