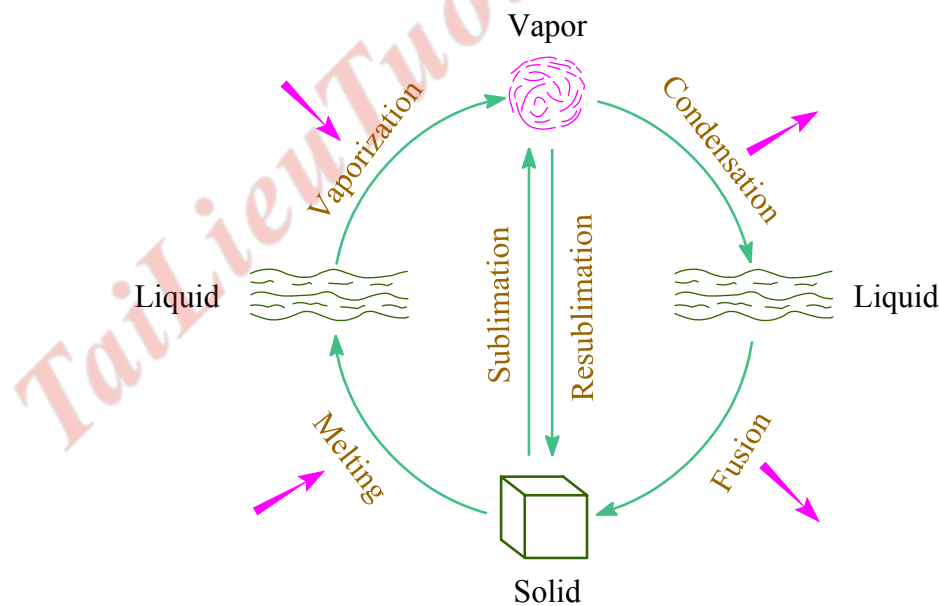


Chương 4 :

## HƠI NƯỚC VÀ KHÔNG KHÍ ẨM

### 4.1. SỰ CHUYỂN PHA CỦA MÔI CHẤT CÔNG TÁC

*Môi chất công tác* (MCCT) 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 MCCT 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 MCCT ở pha khí vì chất khí có khả năng thay đổi thể tích rất lớn nên có khả năng thực hiện công lớn.



H. 4.1-1. Sự chuyển pha của MCCT

- **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 MCCT. Ngược lại, khi ngưng tụ MCCT sẽ nhả nhiệt. Nhiệt lượng cấp cho 1 kg MCCT lỏng hóa hơi hoàn toàn gọi là nhiệt hóa hơi ( $r_{hh}$ ), nhiệt lượng tỏa ra khi 1 kg MCCT ngưng tụ gọi là nhiệt ngưng tụ ( $r_{nt}$ ). Nhiệt hóa hơi và nhiệt ngưng tụ có trị số bằng nhau. Ở áp suất khí quyển, nhiệt hóa hơi của nước là 2258 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 MCCT. Ngược lại, khi đông đặc MCCT sẽ nhả nhiệt. Nhiệt lượng cần cung cấp để 1 kg MCCT nóng chảy gọi là nhiệt nóng chảy ( $r_{nc}$ ), nhiệt lượng tỏa ra khi 1 kg MCCT 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.

- **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. MCCT nhận nhiệt khi thăng hoa và nhả nhiệt 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.

## 4.2. QUÁ TRÌNH HÓA HƠI ĐẲNG ÁP CỦA NƯỚC

### 4.2.1. QUÁ TRÌNH HÓA HƠI ĐẲNG ÁP

Hơi của các chất lỏng được sử dụng nhiều trong kỹ thuật. Ví dụ hơi nước được sử dụng chạy turbine hơi nước trong các nhà máy nhiệt điện, để sấy nóng ; hơi Amoniac, Freon được sử dụng trong các thiết bị lạnh, v.v.

*Hóa hơi* là quá trình chuyển pha từ lỏng sang hơi. Hóa hơi có thể được thực hiện bằng cách bay hơi hoặc sôi.

*Bay hơi* là quá trình hóa hơi chỉ diễn ra trên bề mặt thoáng của chất lỏng. Cường độ bay hơi phụ thuộc vào bản chất của chất lỏng, áp suất và nhiệt độ.

*Sôi* là quá trình hóa hơi diễn ra trong toàn bộ thể tích chất lỏng. Sự sôi chỉ diễn ra ở một nhiệt độ xác định gọi là *nhiệt độ sôi* hay *nhiệt độ bão hòa* ( $t_s$ ). Nhiệt độ sôi phụ thuộc vào bản chất của chất lỏng và áp suất. Ở áp suất khí quyển, nhiệt độ sôi của nước bằng 100 °C.

Trong kỹ thuật, quá trình hóa hơi thường được tiến hành ở áp suất không đổi, đặc điểm quá trình hóa hơi của các chất lỏng là giống nhau. Những đặc điểm quá trình hóa hơi của nước được trình bày dưới đây cũng sẽ được áp dụng cho các chất lỏng khác.

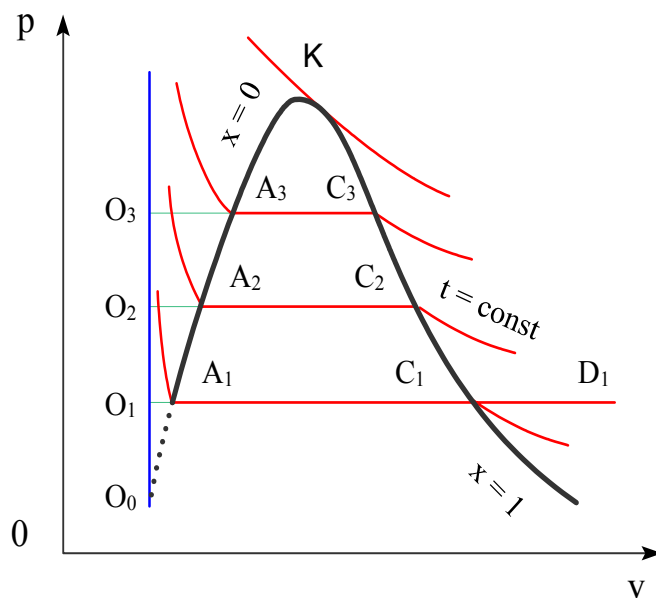
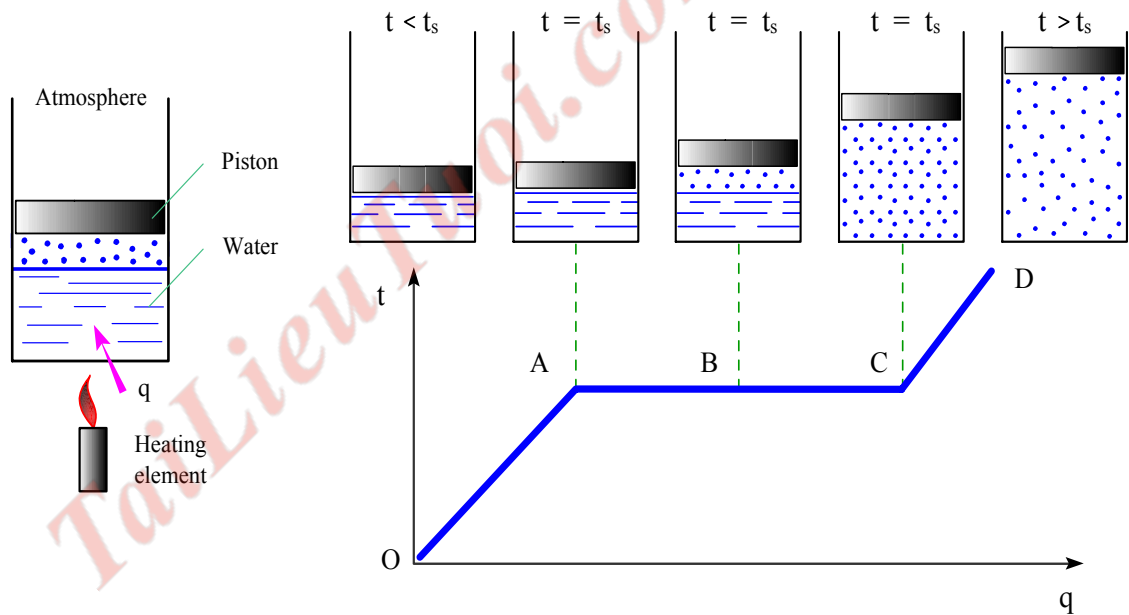
Giả sử có 1 kg nước trong xylanh, trên bề mặt nước có một piston có khối lượng không đổi. Như vậy, áp suất tác dụng lên nước sẽ không đổi trong quá trình hóa hơi. Giả sử nhiệt độ ban đầu của nước là  $t_0$ , nếu ta cấp nhiệt cho nước, quá trình hóa hơi đẳng áp sẽ diễn ra. H. 4.2-1 thể hiện quá trình 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* ( $y$ ) :

$$x = \frac{m_h}{m_x} = \frac{m_h}{m_n + m_h}$$

$$y = 1 - x$$

trong đó :  $x$  - độ khô;  $y$  - độ ẩm;  $m_x$  - lượng hơi bão hòa ẩm;  $m_h$  - lượng hơi bão hòa khô;  $m_n$  - lượng nước sôi.



#### 4.2-1. Quá trình hóa hơi đẳng áp

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  $O, O_1, O_2, O_3...$  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  $A, A_1, A_2, A_3...$  biểu diễn trạng thái nước sôi độ khô  $x = 0$ .
- *Đường giới hạn trên* : đường nối các điểm  $C, C_1, C_2, C_3,...$  biểu diễn trạng thái hơi bão hòa khô có độ khô  $x = 1$ .
- *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 :  $p_K = 221 \text{ bar}$ ,  $t_K = 374^\circ\text{C}$ ,  $v_K = 0,00326 \text{ m}^3/\text{kg}$ .
- *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.

#### 4.2.2. BẢNG VÀ ĐỒ THỊ CỦA HƠI

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.

##### 4.2.2.1. BẢNG HƠI NƯỚC

Trạng thái của MCCT 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 :

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

$$i_x = i' + x (i'' - i')$$

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

$$u_x = u' + x (u'' - u')$$

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

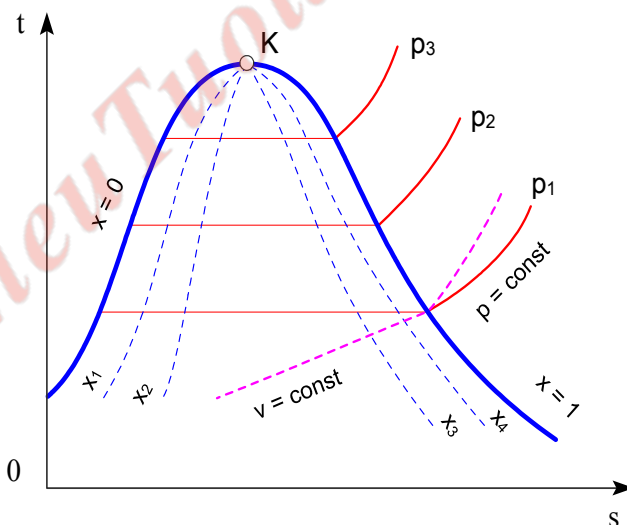
$$u = i - pv$$

#### 4.2.2.2. ĐỒ THỊ HƠI NƯỚC

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

##### 1) Đồ thị $T - s$ của hơi nước

Trên đồ thị  $T-s$  (H. 4.2-2), 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. Các đường có độ khô không đổi ( $x = \text{const}$ ) xuất phát từ điểm tới hạn  $K$  tỏa xuống phía dưới.



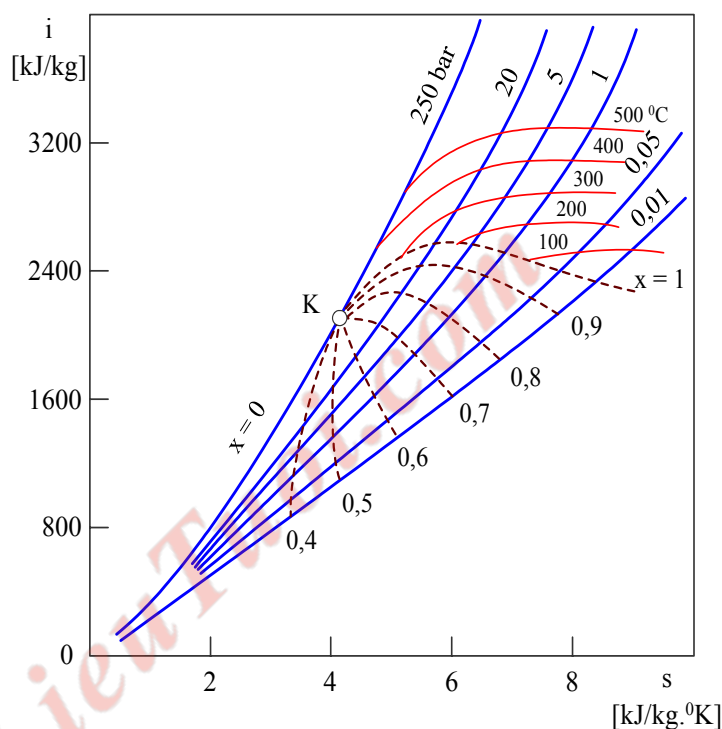
H. 4.2-2. Đồ thị  $T - s$  của hơi nước

##### 2) Đồ thị $i - s$ của hơi nước

Đồ thị  $i-s$  của hơi nước (H. 4.2-3) do Mollier xây dựng lần đầu tiên vào năm 1904 trên cơ sở các số liệu thực nghiệm. Đồ thị  $i-s$  rất thuận tiện cho việc tính toán đối với hơi nước, vì trong quá trình đẳng áp thì:  $dq = di - v.dp$  hay  $q = i_2 - i_1$ . Như vậy, nhiệt trong quá trình đẳng áp bằng hiệu của enthalpy.

Trên đồ thị  $i-s$ , đường đẳng áp ( $p = \text{const}$ ) trong vùng hơi bão hòa ẩm trùng với đường đẳng nhiệt tương ứng và là các đường thẳng xiên, trong vùng hơi quá nhiệt là các đường cong đi lên có bề lõm quay về phía dưới. Đường đẳng nhiệt ( $T = \text{const}$ ) trong vùng hơi bão hòa ẩm trùng với đường đẳng áp tương ứng, trong vùng hơi quá nhiệt là các đường cong đi lên. Càng xa đường  $x = 1$ , đường đẳng nhiệt càng gần như song song với trục hoành. Đường đẳng tích ( $v = \text{const}$ ) đều là các đường cong đi lên dốc hơn đường đẳng áp, chúng thường được vẽ bằng đường nét đứt hoặc màu đỏ.

Trong thực tế kỹ thuật, các quá trình nhiệt động thường chỉ diễn ra trong vùng hơi quá nhiệt và một phần vùng hơi bão hòa ẩm có độ khô cao. Vì vậy, để đơn giản người ta thường chỉ vẽ một phần của nó.



H. 4.2-3. Đồ thị  $i - s$  của hơi nước

### 4.3. KHÔNG KHÍ ẨM

#### 4.3.1. ĐỊNH NGHĨA VÀ PHÂN LOẠI

Không khí khô là hỗn hợp của các chất khí  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$ , v.v.

Không khí ẩm là hỗn hợp của không khí khô và hơi nước.

Bảng 4.3-1. Thành phần của không khí khô

Thành phần	[kg/kmol]	$V$ [%]	$V$ [%]	$m$ [%]
Oxygen ( $O_2$ )	31,998	0,2095	0,210	0,232
Nitrogen ( $N_2$ )	28,013	0,7809	0,790	0,768
Argon (A)	39,948	0,0093		
Carbon dioxide ( $CO_2$ )	44,010	0,0003		

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 :

1) Áp suất ( $p$ ) của không khí ẩm bằng tổng phân áp suất của không khí khô ( $p_k$ ) và của hơi nước ( $p_h$ ) :

$$p = p_k + p_h$$

2) Nhiệt độ của không khí ẩm ( $T$ ) bằng nhiệt độ của không khí khô ( $T_k$ ) và bằng nhiệt độ của hơi nước ( $T_h$ ) :

$$T = T_k = T_h$$

3) Thể tích của không khí ẩm ( $V$ ) bằng thể tích của không khí khô ( $V_k$ ) và bằng thể tích của hơi nước ( $V_h$ ) :

$$V = V_k = V_h$$

4) Khối lượng của không khí ẩm ( $m$ ) bằng tổng khối lượng của không khí khô ( $m_k$ ) và khối lượng của hơi nước ( $m_h$ ) :

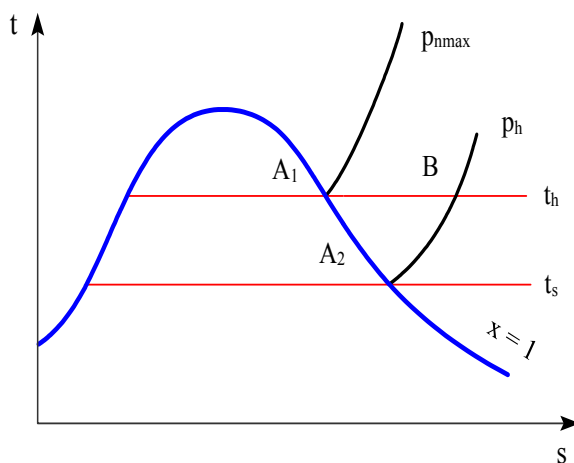
$$m = m_k + m_h$$

Không khí ẩm được phân loại như sau :

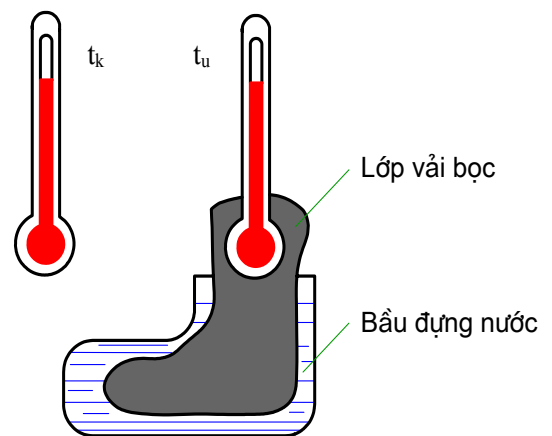
- *Không khí ẩm bão hòa* : là không khí ẩm chứa lượng hơi nước lớn nhất ( $m_{h,max}$ ). Hơi nước trong không khí bão hòa là hơi bão hòa khô.
- *Không khí ẩm quá bão hòa* : là không khí ẩm chứa lượng hơi nước lớn hơn  $m_{h,max}$ . Hơi nước ở đây là hơi bão hòa ẩm, tức là ngoài hơi nước bão hòa khô còn có một lượng nước ngưng nhất định ( $m_n$ ). 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  $m_{h,max}$ , tức là còn có thể nhận thêm hơi nước để trở thành bão hòa. Hơi nước trong không khí ẩm chưa bão hòa là hơi quá nhiệt.

Có thể biến không khí ẩm chưa bão hòa thành bão hòa bằng một trong 2 cách sau đây (H. 4.3-1) :

- *Cách thứ nhất* (theo đường B - A<sub>1</sub>): giữ không đổi nhiệt độ hơi  $t_h = \text{const}$ , tăng áp suất của hơi nước từ  $p_h$  đến áp suất bão hòa  $p_{h,max}$ . Trong trường hợp này, không khí ẩm chưa bão hòa nhận thêm hơi nước đến khi trở thành bão hòa.
- *Cách thứ hai* (theo đường B - A<sub>2</sub>) : giữ không đổi áp suất của hơi  $p_h = \text{const}$ , giảm nhiệt độ của hơi từ  $t_h$  đến nhiệt độ đọng sương  $t_s$ . Trường hợp này xảy ra trong mùa đông khi nhiệt độ không khí đột ngột giảm xuống đến giá trị bằng hoặc nhỏ hơn nhiệt độ đọng sương, hơi nước trong không khí sẽ ngưng tụ thành sương mù.



H. 4.3-1. Đồ thị  $t - s$  của hơi nước



H. 4.3-2. Ẩm kế



### 4.3.2. CÁC ĐẠI LƯỢNG ĐẶC TRƯNG CỦA KHÔNG KHÍ ẨM

**1) Độ ẩm tuyệt đối** ( $\rho_h$ ) : là khối lượng hơi nước có trong 1 m<sup>3</sup> không khí ẩm.

$$\rho_h = \frac{m_h}{V} \quad (4.3-1)$$

**2) Độ ẩm tương đối** ( $\varphi$ ) : là tỷ số giữa độ ẩm tuyệt đối của không khí ẩm chưa bão hòa ( $\rho_h$ ) và độ ẩm tuyệt đối của không khí ẩm bão hòa ( $\rho_{h\max}$ ) .

$$\varphi = \frac{\rho_h}{\rho_{h\max}} \quad (4.3-2)$$

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 ;

$$p_h \cdot V = m_h \cdot R_h \cdot T ; \quad \rho_h = \frac{m_h}{V} = \frac{p_h}{R_h \cdot T}$$

(4.3-3a)

- Với hơi nước trong không khí ẩm bão hòa :

$$p_{h\max} \cdot V = m_{h\max} \cdot R_h \cdot T ; \quad \rho_{h\max} = \frac{m_{h\max}}{V} = \frac{p_{h\max}}{R_h \cdot T} \quad (4.3-3b)$$

Thế (4.3-3a) và (4.3-3b) vào (4.3-2) ta có :

$$\varphi = \frac{p_h}{p_{h\max}} \quad (4.3-4)$$

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  $\varphi = 40 \div 70 \%$ .

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* (H. 4.3-2). 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  $\Delta t$  càng lớn, không khí ẩm bão hòa có  $\Delta t = 0$ . Biết  $\Delta t$ , có thể xác định  $\varphi$  bằng bảng hoặc đồ thị.

**3) Độ chứa hơi** ( $d$ ) : là lượng hơi nước chứa trong không khí ẩm ứng với 1 kg không khí khô.

$$d = \frac{m_h}{m_k} \quad [\text{kg hơi nước/kg không khí khô}] \quad (4.3-5a)$$



Áp dụng phương trình trạng thái của khí lý tưởng cho hơi nước và không khí khô ta có :

$$m_h = \frac{p_h \cdot V}{R_h \cdot T} \quad \text{và} \quad m_k = \frac{p_k \cdot V}{R_k \cdot T}$$

Thế  $m_h$  và  $m_k$  vào (4.3-5) ta có :

$$d = \frac{R_k \cdot p_h}{R_h \cdot p_k} = \frac{\frac{8314}{29} p_h}{\frac{8314}{18} p_k}$$
$$d = 0,622 \frac{p_h}{p - p_h} \quad [\text{kgH/kgK}] \quad (4.3-5b)$$

Khi  $p_h = p_{h\max}$  thì  $d = d_{\max}$ . Từ (4.3-5b) ta có :

$$d_{\max} = 0,622 \frac{p_{h\max}}{p - p_{h\max}} \quad (4.3-5c)$$

## CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 4

- 1) Mô tả quá trình hóa hơi đẳng áp và các thông số trạng thái của hơi nước ?
- 2) Mô tả các bảng hơi nước và phương pháp xác định các thông số trạng thái của hơi nước bằng bảng hơi nước ?
- 3) Mô tả đồ thị T - s, đồ thị i - s của hơi nước và phương pháp xác định các thông số nhiệt động cơ bản của hơi nước bằng đồ thị T - s, i - s ?
- 4) Phân loại và định nghĩa không khí ẩm ?
- 5) Mô tả các thông số nhiệt động đặc trưng của không khí ẩm ?