

Chương 2

QUÁ TRÌNH NHIỆT ĐỘNG

ĐỊNH LUẬT 1 NHIỆT ĐỘNG HỌC

2.1 . QUÁ TRÌNH NHIỆT ĐỘNG

2.1.1. Định nghĩa

Quá trình nhiệt động là tập hợp những trạng thái thay đổi liên tục của hệ.

Thí dụ : ở trạng thái đầu hệ có các thông số : p_1, v_1, T_1 khi thay đổi liên tục đến trạng thái cuối hệ có thông số p_2, v_2, T_2 . Tập hợp toàn bộ các trạng thái trên tạo thành quá trình.

2.1.2 . Phân loại

Theo tính chất quá trình nhiệt động được chia làm 2 loại là quá trình cân bằng và quá trình không cân bằng.

a - Quá trình cân bằng

Quá trình cân bằng là một dãy liên tục các trạng thái cân bằng .

Trong quá trình cân bằng tại mỗi trạng thái thông số của hệ tại mọi điểm đều bằng nhau và bằng với môi trường , tức là hệ luôn thoả mãn điều kiện cân bằng nhiệt động .

Quá trình xảy ra với tốc độ hết sức chậm có thể coi là quá trình cân bằng vì tại hai trạng thái kế tiếp nhau sự khác biệt của các thông số trạng thái là hết sức nhỏ , nên tại mỗi trạng thái các thông số được coi là đồng đều ở mọi điểm bên trong hệ

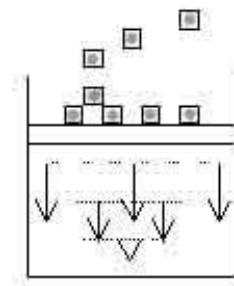
b- Quá trình không cân bằng

Quá trình không cân bằng là quá trình đi qua những trạng thái không cân bằng.

Trong quá trình không cân bằng thông số cường độ tại các điểm thuộc hệ sẽ khác nhau.

c - Thí dụ

Nén một khối khí trong xy lanh với tốc độ vô cùng chậm bằng cách xếp dần một số vật nhỏ lên mặt trên của pít tông, hình 2.1. Khi đó trọng lượng pít tông tăng lên dần dần làm pít tông di chuyển rất chậm xuống phía dưới. Lớp khí sát mặt dưới pít tông sẽ di chuyển chậm bằng tốc độ pít tông. Do tốc độ chuyển động chậm, thời gian đủ lớn nên chuyển động của lớp khí đó được truyền cho các lớp khí ở xa hơn, làm toàn bộ khối khí cùng bị dồn lại. Như vậy ở mỗi thời điểm áp suất trong khối khí là luôn luôn đồng nhất tại mọi điểm, đó chính là trạng thái cân bằng. Tập hợp các trạng thái của quá trình đó tạo thành quá trình cân bằng .



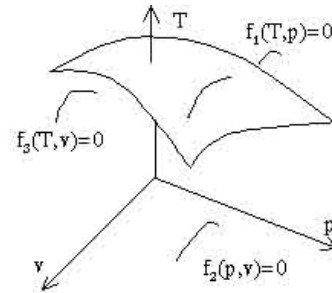
Hình 2.1

Ngược lại khi nén nhanh khối khí, tại mỗi trạng thái lớp khí phía dưới pít tông chuyển động không kịp với tốc độ của pít tông nên bị dồn nén trước làm áp suất cao hơn các lớp khí ở xa mặt dưới pít tông. Kết quả tại mỗi trạng thái, áp suất không đồng nhất tại mọi điểm, đó là trạng thái không cân bằng. Như vậy toàn bộ quá trình nén nhanh là quá trình không cân bằng.

2.1.3. Phương trình của quá trình

Phương trình của quá trình là biểu thức mô tả mối quan hệ giữa các thông số trạng thái của hệ thống nhiệt động trong quá trình cân bằng. Quá trình nhiệt động được mô tả bởi 1 đường cong liên tục trên mặt nhiệt động, gọi là đường quá trình. Hình chiếu của nó xuống các mặt phẳng tọa độ được biểu thị bởi các phương trình 2 biến, hình 2.2:

$$\begin{aligned}f_1(p, v) &= 0 ; \\f_2(T, v) &= 0 ; \\f_3(p, T) &= 0 .\end{aligned}$$



Hình 2.2

Đường quá trình và phương trình quá trình chỉ biểu thị cho quá trình cân bằng. Các quá trình không cân bằng được quy ước là đường nét đứt và không thể biểu thị bằng phương trình quá trình

2.2. CÁC DẠNG TRAO ĐỔI NĂNG LƯỢNG TRONG QUÁ TRÌNH

2.2.1. Công

a. Định nghĩa :

Công là dạng năng lượng trao đổi được thực hiện bằng sự dịch chuyển vật thể một cách có hướng dưới tác dụng của lực .

Quá trình sinh công luôn gắn liền với sự chuyển dời vật thể vĩ mô, nên công là dạng trao đổi năng lượng vĩ mô.

b. Phân loại :

- Công thể tích : gắn liền với sự thay đổi thể tích của hệ . Ký hiệu L
- Công dòng chảy : gồm
 - . Công phân bố L_{pb} , gắn liền với sự thay đổi tốc độ dòng chảy
 - . Công đẩy L_d , gắn liền với sự thay đổi tích số (pv) tức là tương tác giữa dòng chảy với môi trường .

Khi hệ trao đổi cơ năng với bên ngoài thông qua các tác động kỹ thuật như bơm, quạt ...thì còn có thể có công kỹ thuật. Thí dụ, vật nặng hạ xuống làm quay cánh quạt khuấy hệ cấp công kỹ thuật L_{kt} cho hệ

c. Biểu thức tính công thể tích L :

Công thể tích là công thường gặp hơn cả. Xét G kg khí trong xy lanh có pít tông di chuyển không ma sát. áp suất khí trong xy lanh p , môi trường bên ngoài có áp suất p_0 . Pít tông có diện tích F .

Khi hệ dẫn nở đẩy pít tông di chuyển 1 đoạn dS , thì hệ phải sinh ra một công nguyên tố để thắng áp lực $p_0 F$ của môi trường là :

$$dL = p_0 F dS = p_0 dV$$

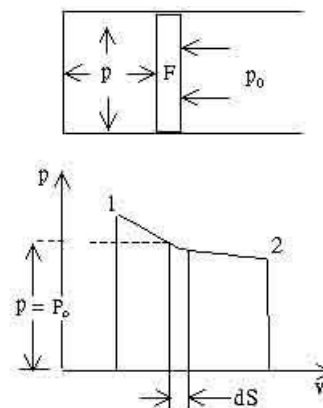
nếu hệ dẫn nở từ trạng thái 1 tới 2 thì công dẫn nở là :

$$L = \int_1^2 p_0 dV$$

xét cho 1 kg

$$l = \int_1^2 p_0 dv$$

nếu quá trình dẫn nở là cân bằng, tức $p = p_0$ thì



Hình 2.3

$$L_{12(danCB)} = \int_1^2 p dV \quad (2.1)$$

nếu quá trình dẫn là không cân bằng, tức $p > p_0$ thì

$$L_{12(danKCB)} = \int_1^2 p_0 dV$$

Từ đó thấy rằng :

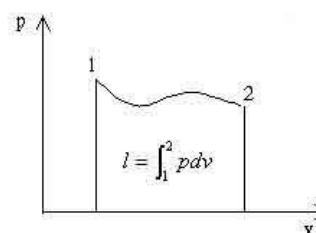
$$L_{12(danCB)} > L_{12(danKCB)}$$

tương tự có thể thấy trong quá trình nén :

$$L_{12(nenCB)} < L_{12(nenKCB)}$$

d. Biểu diễn trên đồ thị $p-v$

Lượng công sinh ra của 1kg chính bằng diện tích nằm dưới đường cong của quá trình trên đồ thị $p-v$, hình 2.4. Trong môn học chỉ khảo sát công trong quá trình cân bằng, nên tính toán áp dụng công thức (2.1)



Hình 2.4

d. Quy ước dấu

Công hệ sinh ra mang dấu dương: (+); Công hệ nhận được mang dấu âm: (-)

2.2.2. Nhiệt

a Định nghĩa

Nhiệt là một dạng năng lượng trao đổi giữa hai hệ thống, thực hiện bởi sự có mặt của độ chênh nhiệt độ.

Quá trình truyền nhiệt không gắn liền với sự dịch chuyển vật thể vĩ mô mà là quá trình phân tử, bởi vậy truyền nhiệt là dạng trao đổi năng lượng vi mô.

Nhiệt có thể truyền bằng 3 phương thức: dẫn nhiệt, toả nhiệt đối lưu, bức xạ. Nhiệt động học không quan tâm đến phương thức cụ thể mà chỉ quan tâm đến lượng nhiệt được truyền giữa các hệ thống hoặc hệ với môi trường.

b. Biểu thức tính nhiệt trong quá trình cân bằng :

- Trong vật lý, lượng nhiệt vi phân hệ trao đổi trong quá trình cân bằng được xác định bởi :

$$dQ = TdS \quad (J) \quad (2.2)$$

trong đó : T - nhiệt độ tuyệt đối của hệ (K)
 S - entropi là hàm trạng thái của hệ (J/độ)

viết cho 1kg: $dq = Tds$.

Vậy lượng nhiệt trao đổi trong quá trình 12 là:

$$Q = \int_1^2 TdS \quad \text{viết cho 1kg:} \quad q = \int_1^2 Tds$$

c. Biểu thị trên đồ thị Ts :

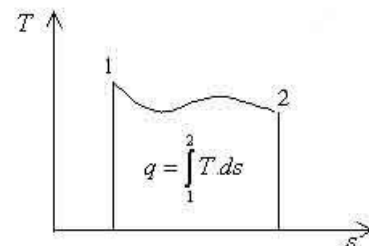
Lượng nhiệt trong quá trình cân bằng được biểu thị bằng diện tích nằm dưới đường cong quá trình trên đồ thị Ts

- Có thể tính nhiệt theo nhiệt dung C :

$$dQ = CdT \quad (2.3)$$

vậy:
$$Q = \int_1^2 CdT$$

nếu $C = \text{const}$, thì $Q = C\Delta T$



Hình 2.5

d. Quy ước dấu :

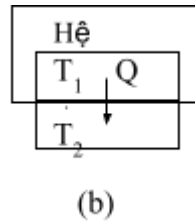
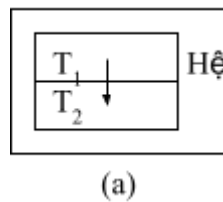
Lượng nhiệt hệ nhận được mang dấu dương (+); lượng nhiệt hệ thải ra mang dấu âm (-)

2.2.3 . Đặc điểm của công và nhiệt :

+ Công và nhiệt là dạng năng lượng trao đổi khác nhau khi hệ tương tác với môi trường, chứ không phải là năng lượng chứa bên trong hệ hoặc môi trường. Chúng chỉ xuất hiện khi hệ tiến hành quá trình. Tại một trạng thái không có khái niệm công và nhiệt .

+ Khi công và nhiệt đã xuất hiện, chúng buộc phải đi qua biên giới của hệ, bởi vậy cần phải được đánh giá tại biên giới.

Xét hai phần của vật có nhiệt độ khác nhau: $T_1 > T_2$. Chọn biên giới theo 2 cách.



Trường hợp (a) không có nhiệt xuất hiện, vì không có nhiệt qua biên giới. Trong vật chỉ có sắp xếp lại nội năng từ phần có nhiệt độ cao sang phần có nhiệt độ thấp hơn. Trường hợp (b) xuất hiện nhiệt vì nhiệt đi qua biên giới giữa hai phần.

+ Công và nhiệt phụ thuộc vào quá trình, nó là hàm của quá trình. Vì phân của chúng là những vô cùng bé, chứ không phải vì phân toàn phần. Khi tích phân trong quá trình sẽ được các lượng hữu hạn không phải là số giả

$$\int_1^2 dQ = Q_{12} ; \int_1^2 dq = q_{12} \text{ và } \int_1^2 dL = L_{12} ; \int_1^2 dl = l_{12}$$

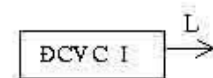
2.3. ĐỊNH LUẬT 1 NHIỆT ĐỘNG HỌC

1. Định luật Bảo toàn và biến hoá năng lượng :

" Năng lượng không tự sinh ra cũng không tự mất đi, nó chỉ có thể chuyển từ hệ thống này sang hệ thống khác dưới những dạng khác nhau, nhưng tổng năng lượng của một hệ cô lập luôn luôn được bảo toàn trong mọi điều kiện "

2. Động cơ vĩnh cửu loại 1 :

Động cơ vĩnh cửu loại 1 là máy có thể sinh công liên tục mà không tiêu thụ bất cứ năng lượng nào, sơ đồ như hình 2.6. Theo định luật bảo toàn và biến hoá năng lượng thì không thể tồn tại loại động cơ vĩnh cửu loại 1 vì nó tự sinh ra công mà không cần nhận bất cứ năng lượng nào.



Hình 2.6

3. Định luật 1 Nhiệt động học

Để xây dựng định luật 1 nhiệt động học cần dựa vào định luật bảo toàn và biến hoá năng lượng trong quá trình trao đổi năng lượng khi hệ tương tác với môi trường.

Khảo sát hệ thống nhiệt động và môi trường, ban đầu năng lượng của hệ thống là U , năng lượng của môi trường là E_0 , hình 2.7a. Khi cho chúng tương tác với nhau, hệ nhận năng lượng từ môi trường nên năng lượng của hệ thống tăng một lượng là ΔU , môi trường bị giảm một lượng năng lượng là $-\Delta E_0$. Năng lượng của hệ sau tương tác là $(U + \Delta U)$, còn của môi trường là $(E_0 - \Delta E_0)$, hình 2.7b.

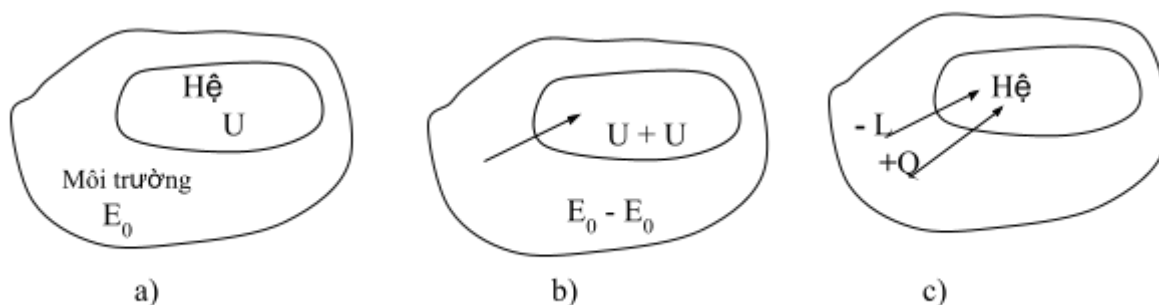
Gộp hệ và môi trường thành hệ kín mới. Hệ mới là hệ cô lập vì không có tương tác với bên ngoài. Theo định luật bảo toàn và biến hoá năng lượng thì năng lượng của hệ cô lập này luôn được bảo toàn trong mọi điều kiện. Nghĩa là năng lượng hệ cô lập trước và sau khi có tương tác phải bằng nhau:

$$U + E_0 = (U + \Delta U) + (E_0 - \Delta E_0) = \text{const.} \quad (\text{a})$$

Từ đây suy ra $\Delta U - \Delta E_0 = 0$, hay

$$\Delta U = \Delta E_0 \quad (\text{b})$$

Vậy "Tổng năng lượng hệ trao đổi với bên ngoài bằng biến thiên nội năng của hệ".



Hình 2.7

Năng lượng đó buộc phải đi qua biên giới của hệ nên nó buộc phải là công và nhiệt. Theo dấu quy ước hệ nhận công nên mang dấu $(-)$, hệ nhận nhiệt nên nhiệt mang dấu $(+)$, hình 2.7c. Tức là

$$\Delta E_0 = L - Q \quad (\text{c})$$

Thay (c) vào (b) được $\Delta U = L - Q$

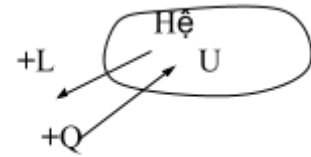
Hay :

$$Q = \Delta U + L \quad (2.4)$$

(2.4) chính là biểu thức của định luật 1 và có thể phát biểu như sau:

Lượng nhiệt hệ nhận được sẽ làm hệ thay đổi nội năng và sinh công

Vậy định luật 1 nhiệt động học là kết quả của sự áp dụng định luật bảo toàn và biến hoá năng lượng cho quá trình trao đổi năng lượng dưới dạng công và nhiệt khi hệ tương tác với môi trường.



Hình 2.7 (d)

2.4. ĐỊNH LUẬT 1 VIẾT CHO HỆ KÍN

Biểu thức (2.4) ở dạng vi phân

$$dQ = dU + dL \quad (2.4a)$$

Viết cho 1 kg :

$$q = \Delta u + l$$

$$dq = du + dl \quad (2.4b)$$

- Nếu công của hệ thực hiện là công thể tích, tức $dL = pdV$ thì :

$$dQ = dU + pdV$$

$$Q = \Delta U + \int_1^l pdV \quad \left. \vphantom{\int_1^l} \right\} \quad (2.5a)$$

Viết cho 1kg :

$$dq = du + pdv$$

$$q = \Delta u + \int_1^l pdv \quad \left. \vphantom{\int_1^l} \right\} \quad (2.5b)$$

- Viết dạng chứa entanpi :

Vậy :

$$dQ = dI - Vdp$$

$$Q = \Delta I - \int_1^2 Vdp$$

(2.6a)

Viết cho 1 kg

$$dq = di - vdp$$

$$q = \Delta i - \int_1^2 vdp_q$$

(2.6b)

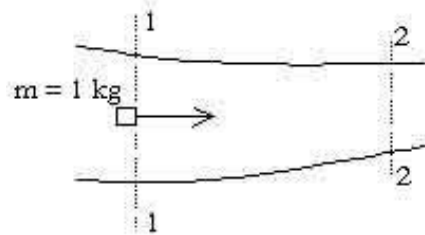
2.5 . ĐỊNH LUẬT 1 ÁP DỤNG CHO DÒNG CHẢY

Xét dòng chảy (chất khí hoặc lỏng) ổn định và liên tục.

Ổn định là các thông số tại mọi điểm trong dòng không thay đổi theo thời gian ,liên tục là được thoả mãn phương trình liên tục :

$$G = \frac{FW}{v} = const \quad (2.7)$$

trong đó G - lưu lượng khối lượng (kg/s)
 F - diện tích tiết diện dòng chảy (m²)
 W - tốc độ dòng chảy (m/s)
 v - thể tích riêng (m³/kg)



Hình 2.7

Một phần tử chất lỏng có khối lượng $m = 1$ kg khi đi vào hệ tại 1-1 có các thông số: p_1, T_1, v_1, w_1 ; khi đi ra khỏi hệ tại 2-2 có các thông số p_2, T_2, v_2, w_2 , phần tử chất lỏng thực hiện các công sau :

+ Công đẩy :

Khi đi vào hệ , phần tử m nhận công đẩy là $p_1 v_1$, khi ra khỏi hệ sinh ra công đẩy là $p_2 v_2$. Vậy công đẩy tổng cộng là :

$$l_d = p_2 v_2 - p_1 v_1 \quad (a)$$

+ Công phân bố l_{pb} :

Do hệ thay đổi tốc độ từ w_1 tới w_2 , nên công phân bố là :

$$l_{pb} = \frac{w_2^2}{2} - \frac{w_1^2}{2} \quad (b)$$

+ Hệ có thể thực hiện công kỹ thuật l_{kt} để nâng vật nặng nào đó nhờ việc quay cánh quạt .

+ Công tổng cộng của dòng chảy là tổng các công trên:

$$l_{\Sigma} = l_d + l_{pb} + l_{kt}$$

$$l_{\Sigma} = (p_1 v_1 - p_2 v_2) + \frac{w_2^2}{2} - \frac{w_1^2}{2} + l_{kt} \quad (c)$$

theo định luật 1 :

$$q = \Delta u + l_z$$

thay biểu thức công (c) ở trên vào sẽ được

$$q = (p_2 v_2 - p_1 v_1) + (u_2 - u_1) + \left(\frac{w_2^2}{2} - \frac{w_1^2}{2}\right) + l_{kt}$$

$$q = (i_1 - i_2) + \left(\frac{w_2^2}{2} - \frac{w_1^2}{2}\right) + l_{kt}$$

Hay:

$$q = \Delta i + \frac{\Delta w^2}{2} + l_{kt} \quad (2.8)$$

thông thường hệ không thực hiện $l_{k,t}$ nên :

$$\left. \begin{aligned} q &= \Delta i + \frac{\Delta w^2}{2} \\ dq &= di + \frac{dw^2}{2} \end{aligned} \right\} \quad (2.9)$$

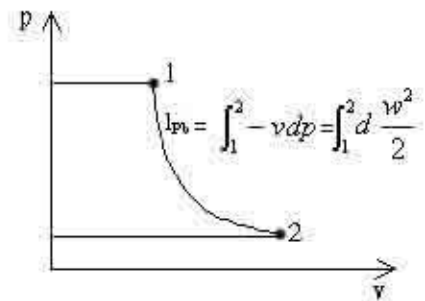
Hay

(2.6b) đã có

$$dq = di - vdp$$

$$q = \Delta i - \int_1^2 vdp$$

(2.6b)



Hình 2.8

So sánh (2.6b) với (2.9) rút ra biểu thức tính công phân bố theo áp suất và thể tích:

$$l_{pb} = \frac{\Delta w^2}{2} = - \int_1^2 vdp \quad (2.10)$$

(2.10) được biểu thị trên đồ thị $p-v$ như hình 2.8. Mặt khác từ (2.10) thấy rằng :

$$d \frac{w^2}{2} = -vdp; \quad \text{hay} \quad wdw = -vdp \quad (2.11)$$

(2.11) chỉ ra rằng trong dòng chảy tốc độ và áp suất luôn biến đổi ngược chiều nhau. Nếu tốc độ tăng thì áp suất giảm và ngược lại. Đây là một quy luật rất quan trọng trong dòng chảy.

Trường hợp dòng có tốc độ đủ lớn khiến các phần tử chất lỏng không kịp trao đổi nhiệt với bên ngoài thì được coi là dòng chảy đoạn nhiệt coa $dq = 0$, nên

$$\Delta i + \frac{\Delta w^2}{2} = 0; \quad \text{hay} \quad \frac{dw^2}{2} = -di \quad (2.12)$$

nghĩa là độ tăng động năng trong dòng chảy bằng độ giảm entanpy và ngược lại .

2.6 NHIỆT DUNG

2.6.1. Khái niệm

a. Định nghĩa

Nhiệt dung là lượng nhiệt vật trao đổi với bên ngoài để nhiệt độ của vật tăng lên 1 độ

+ Nhiệt dung trung bình : tính cho trung bình 1 khoảng nhiệt độ :

$$C = \frac{Q}{t_2 - t_1} ; \quad \text{hoặc} \quad C = \frac{Q}{T_2 - T_1} \quad (2.13)$$

+ Nhiệt dung thực :

$$C = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{Q}{\Delta t} = \frac{dQ}{dt} ; \quad \text{hoặc} \quad C = \frac{dQ}{dT} \quad (2.14)$$

b- Biểu thức tổng quát

Từ phương trình (2.5a) và (2.6a) định luật 1 nhiệt động học :

$$\begin{aligned} dQ &= dU + pdV \\ dQ &= dI - Vdp \end{aligned}$$

thay các vi phân toàn phần dU và dI trong các công thức (1.26) và (1.32) vào (2.5a) và (2.6a) và (2.14) sẽ có :

$$\begin{aligned} C &= \frac{dQ}{dT} = \frac{dU + pdV}{dT} = \frac{1}{dT} \left[\left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V dT + \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T dV + pdV \right] = \\ &= \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V + \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T + p \right] \frac{dV}{dT} \end{aligned} \quad (2.15)$$

$$C = \frac{dQ}{dT} = \frac{dI - Vdp}{dT} = \frac{1}{dT} \left[\left(\frac{\partial I}{\partial T} \right)_p dT + \left(\frac{\partial I}{\partial p} \right)_T dp - Vdp \right] =$$

$$= \left(\frac{\partial I}{\partial T} \right)_p + \left[\left(\frac{\partial I}{\partial p} \right)_T - V \right] \frac{dp}{dT} \quad (2.16)$$

(2.15) và (2.16) là các biểu thức tổng quát của nhiệt dung.

c- Phân loại :

+ *Theo quá trình :*

- Nhiệt dung đẳng tích. Từ (2.15) với $dV = 0$ sẽ có

$$C_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V \quad (\text{J/độ}) \quad (2.17)$$

- Nhiệt dung đẳng áp. Từ (2.16) với $dp = 0$ sẽ có

$$C_p = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_p \quad (\text{J/độ}) \quad (2.18)$$

+ *Theo đơn vị vật chất*

- Nhiệt dung riêng khối lượng (J/ kgđộ)
Nhiệt dung riêng đẳng tích

$$c_v = \left(\frac{\partial u}{\partial T} \right)_v \quad (2.19)$$

Nhiệt dung riêng đẳng áp

$$c_p = \left(\frac{\partial i}{\partial T} \right)_p \quad (2.20)$$

- Nhiệt dung riêng thể tích. Nhiệt dung tính cho 1 m³ tiêu chuẩn

Nhiệt dung riêng thể tích đẳng tích c'_V (J/ m³_{TC}độ)

Nhiệt dung riêng thể tích đẳng áp c'_p (J/ m³_{TC}độ)

- Nhiệt dung kilomol. Nhiệt dung tính cho 1 kilomol

Nhiệt dung kilomol đẳng tích $c_{\mu V}$ (J/Kmolđộ)

Nhiệt dung kilomol đẳng áp $c_{\mu p}$ (J/Kmolđộ)

+ Quan hệ giữa các loại nhiệt dung :

$$c' = C_p = \frac{C}{\nu}$$

$$C = \frac{c_\mu}{\nu}$$

2.6.2. Tính ΔU , ΔI công thức May-e

a- Tính ΔU của khí lý tưởng

Từ công thức dU của khí lý tưởng có

$$dU = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_\nu dT = C_\nu dT \quad (2.21)$$

thường coi nhiệt dung khí lý tưởng là hằng số nên

$$\Delta U = C_\nu \Delta T; \quad \text{cho } 1\text{kg} : \Delta u = c_\nu \Delta T \quad (2.22)$$

b - Tính ΔI của khí lý tưởng

Từ công thức dI của khí lý tưởng có:

$$dI = \left(\frac{\partial I}{\partial T} \right)_p dT = C_p dT \quad (2.23)$$

C_p của khí lý tưởng được coi là hằng số nên

$$\Delta I = C_p \Delta T; \quad \text{cho } 1\text{kg} : \Delta i = c_p \Delta T \quad (2.24)$$

c - Định luật 1 viết dưới dạng chứa nhiệt dung

Thay dU và dI trong (2.21) và (2.23) vào biểu thức định luật 1 sẽ được:

$$dQ = C_\nu dT + p dV \quad (2.25)$$

$$dQ = C_p dT - V dp \quad (2.26)$$

d- Công thức May-e

Viết (2.22) và (2.23) cho 1 kg khí lý tưởng là

$$c_v = \frac{du}{dT} \quad \text{và} \quad c_p = \frac{di}{dT}$$

Lập hiệu số :

$$c_p - c_v = \frac{di - du}{dT} = \frac{d(u + pv) - du}{dT} = \frac{d(pv)}{dT} = \frac{d(RT)}{dT} = R$$

vậy :

$$c_p - c_v = R \quad (2.27)$$

(2.27) gọi là công thức May-e, cho biết liên hệ giữa nhiệt dung riêng đẳng áp và đẳng tích của các khí lý tưởng

2.6.3. Tính nhiệt lượng theo nhiệt dung

từ định nghĩa $C = \frac{dQ}{dT}$, suy ra

$$Q = \int_1^2 C dT \quad (2.28)$$

nếu $C = \text{const}$ thì

$$Q = C\Delta T$$

Đối với khí lý tưởng, các nhiệt dung là hằng số nên

- trong quá trình đẳng tích

$$Q = C_v\Delta T ; \quad q = c_v\Delta T \quad (2.29)$$

- trong quá trình đẳng áp

$$Q = C_p\Delta T ; \quad q = c_p\Delta T \quad (2.30)$$

