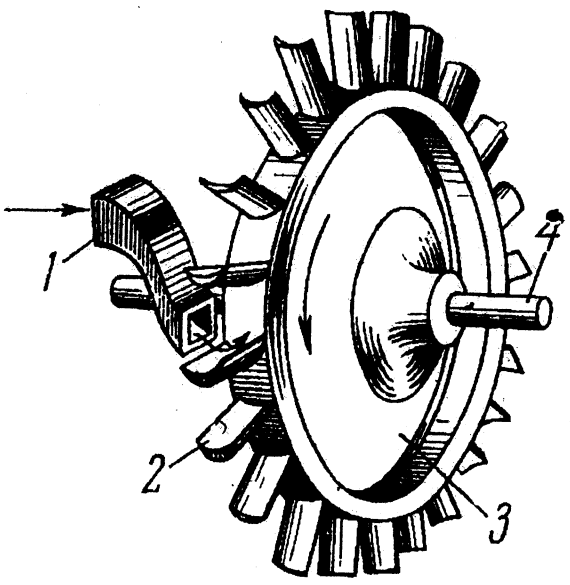
ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA

PGS. TS. HOÀNG NGỌC ĐỒNG

NHIỆT KỸ THUẬT

(Lưu hành nội bộ)



ĐÀ NẴNG - 2008

MỤC LỤC

Lời nói đầu 01
Mục lục 03
Phần thứ nhất. Nhiệt động kỹ thuật 05
chương 1. khái niệm mở đầu 05
1.1. khái niệm cơ bản 05
1.1.1. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu 05
1.1.2. Khái niệm về nhiệt và công 06
1.1.3. Hệ nhiệt động 06
1.1.4. Trạng thái và thông số trạng thái của hệ nhiệt động 07
1.1.5. Quá trình nhiệt động của môi chất và các loại công 12
1.2 Phương trình trạng thái của khí lý tưởng 14
1.2.1. Khí lý tưởng và khí thực 14
1.2.2. Phương trình trạng thái của khí lý tưởng 14
1.2.3. Hỗn hợp khí lý tưởng 16
1.3. Nhiệt dung riêng của chất khí 16
1.3.1. Định nghĩa, phân loại và quan hệ giữa các loại nhiệt dung riêng 16
1.3.2. Tính nhiệt lượng theo nhiệt dung riêng 20
Chương 2. Các định luật và các quá trình nhiệt động cơ bản 22
2.1. Định luật nhiệt động I 22
2.1.1. Phát biểu định luật nhiệt động I 22
2.1.2. Các dạng biểu thức của định luật nhiệt động I 22
2.2. Các quá trình nhiệt động cơ bản Của khí lý tưởng 23
2.2.1. Cơ sở lí thuyết và nội dung khảo sát một quá trình nhiệt động 23
2.2.3. Khảo sát quá trình đa biến 24
2.2.4. Khảo sát các trường hợp đặc biệt của quá trình đa biến 28
2.3. Định luật nhiệt động II 38
2.3.1. Các loại chu trình nhiệt động và hiệu quả của nó 38
2.3.2. Một vài cách phát biểu của định luật nhiệt động II 43
2.3.3. Entropi của hệ nhiệt động 43
Chương 3. các quá trình nhiệt động thực tế 45
3.1. Hơi nước và các quá trình của nó 45
3.1.1. Hơi nước và ứng dụng 45
3.1.2. Quá trình hoá hơi đẳng áp của nước 45
3.1.3. Các quá trình nhiệt động của hơi nước 51
3.2. Không khí ẩm 53
3.2.1. Định nghĩa, tính chất và phân loại không khí ẩm 54
3.2.2. các đại lượng đặc trưng cho không khí ẩm 55
3.2.3. Đồ thị i-d và ứng dụng 56
3.3. Các quá trình nhiệt động thực tế 57
3.3.1. Quá trình sấy 57
3.3.2. Quá trình lưu động 58
3.3.3. Quá trình tiết lưu 63
3.3.4. Quá trình nén 65
Chương 4. các chu trình nhiệt động thực tế 70
4.1. chu trình động cơ đốt trong 70
4.1.1. Chu trình cấp nhiệt hỗn hợp 70
4.1.2. Các chu trình đặc biệt khác và nhận xét 73
4.2. Chu trình nhà máy nhiệt điện 76
4.2.1. Chu trình nhà máy nhiệt điện dùng tuốc bin hơi nước 76
4.2.2. Nhà máy điện dùng chu trình hỗn hợp Tuốc bin khí - hơi 77
4.3. Chu trình thiết bị lạnh có máy nén hơi 79
4.3.1. Sơ đồ thiết bị của chu trình lạnh máy nén hơi 79

4.3.2. Hệ số làm lạnh 80
Phần thứ hai. Truyền nhiệt 81
Chương 5. Các khái niệm cơ bản về truyền nhiệt 81
5.1. Mô tả quá trình trao đổi nhiệt 81
5.1.1 Đặc điểm của quá trình trao đổi nhiệt 81
5.1.2. Các phương thức trao đổi nhiệt 81
5.2. Các khái niệm cơ bản của truyền nhiệt 83
5.2.1. Trường nhiệt độ và mặt đẳng nhiệt 83
5.2.2. Gradient nhiệt độ và dòng nhiệt 84
Chương 6. dẫn nhiệt ổn định 86
6.1. định luật fourier và hệ số dẫn nhiệt 86
6.1.1 Định luật fourier 86
6.1.2 Hệ số dẫn nhiệt λ 86
6.2. Phương trình vi phân dẫn nhiệt 87
6.2.1. Nội dung phương trình vi phân dẫn nhiệt và cách thiết lập 89
6.2.2. Các điều kiện đơn trị 89
6.3. Dẫn nhiệt ổn định khi không có nguồn nhiệt bên trong 89
6.3.1. Dẫn nhiệt qua vách phẳng 89
6.3.2. Dẫn nhiệt qua trụ 92
6.4. Bài toán vách một lớp, biên loại 3 94
6.4.1. Bài toán 95
6.4.2. Lời giải 95
Chương 7. tra đổi nhiệt đối lưu 96
7.1. Các khái niệm cơ bản 96
7.1.1. Định nghĩa và phân loại trao đổi nhiệt đối lưu 96
7.1.2. Công thức Newton và hệ số trao đổi nhiệt 96
7.1.3. Các yếu tố ảnh hưởng tới tỏa nhiệt đối lưu 97
7.2. Cách xác định hệ số toả nhiệt đối lưu 98
7.2.1. Các tiêu chuẩn đồng dạng và phương trình tiêu chuẩn của toả nhiệ đối lưu 98
7.2.2. Công thức tính tỏa nhiệt đối lưu 100
Chương 8. trao đổi nhiệt bức xạ 104
8.1. Các khái niệm cơ bản 104
8.1.1. Đặc điểm của quá trình trao đổi nhiệt bức xạ 104
8.1.2. Các đại lượng đặc trưng cho bức xạ 104
8.1.3. Các hệ số A, D, R và ε 105
8.2. Các định luật cơ bản của bức xạ 107
8.2.1. Định luật Planck 107
8.2.2. Định luật Stefan — Boltzmann 107
8.2.3 Định luật Kirrchoff 108
8.3. Trao đổi nhệt bức xạ giữa hai mặt bao nhau 108
8.3.1. Khi không có mằng chắn bức xạ 108
8.3.2. Các trường hợp đặc biệt 110
Chương 9. truyền nhiệt trong thiết bị trao đổi nhiệt 112
9.1. trao đổi nhiệt phức hợp và truyền nhiệt 112
9.1.1. Khái niệm về trao đổi nhiệt phức hợp và truyền nhiệt 112
9.1.2. Truyền nhiệt qua vách phẳng 113
9.1.3. Truyền nhiệt qua vách trụ 115
9.1.4. Tăng cường truyền nhiệt và cách nhiệt 116
9.2. Thiết bị trao đổi nhiệt 118
9.2.1. Định nghĩa và phân loại 118
9.2.2. Các phương trình cơ bản để tính nhiệt cho TBTĐN 119
9.2.3. Xác định độ chênh trung bình $\overline{\Delta t}$ 121
Tài liệu tham khảo 122

1.1.2. Khái niệm nhiệt và công

Nhiệt và công là các đại lượng đặc trưng cho sự trao đổi năng lượng giữa môi chất và môi trường khi thực hiện một quá trình, phụ thuộc vào quá trình. Khi môi chất có chuyển động vĩ mô thì trao đổi công với môi trường, còn khi có sự chênh lệch nhiệt độ thì luôn có trao đổi nhiệt.

1.1.2.1. Nhiệt lượng

Một vật có nhiệt độ khác không thì các phân tử và nguyên tử của nó sẽ chuyển động hỗn loạn và vật mang một năng lượng gọi là nhiệt năng.

Khi hai vật tiếp xúc với nhau thì nhiệt năng của vật nóng hơn sẽ truyền sang vật lạnh hơn. Quá trình chuyển nội năng từ vật này sang vật khác gọi là quá trình truyền nhiệt. Lượng nhiệt năng truyền được trong quá trình đó được gọi là nhiệt lượng trao đổi giữa hai vật, ký hiệu là:

q nếu tính cho 1 kg, đơn vị đo là J/kg, kJ/kg,

Q nếu tính cho G kg, đơn vị đo là J, kJ,

Qui ước: Nếu $q > 0$ ta nói vật nhận nhiệt,

Nếu $q < 0$ ta nói vật nhả nhiệt,

1.1.2.2. Công

Công là đại lượng đặc trưng cho sự trao đổi năng lượng giữa môi chất với môi trường khi có chuyển động vĩ mô. Khi thực hiện một quá trình, nếu có sự thay đổi áp suất, thay đổi thể tích hoặc dịch chuyển trọng tâm khối môi chất thì một phần nhiệt năng sẽ được chuyển hoá thành cơ năng. Lượng chuyển biến đó chính là công của quá trình.

Công không thể chứa trong một vật bất kỳ nào, mà nó chỉ xuất hiện khi có quá trình thay đổi trạng thái kèm theo chuyển động của vật. được ký hiệu là:

l nếu tính cho 1 kg, đơn vị đo là J/kg,

L nếu tính cho G kg, đơn vị đo là J,

Qui ước: Nếu $l > 0$ ta nói vật sinh công,

Nếu $l < 0$ ta nói vật nhận công,

Nhiệt lượng và công trao đổi trong một quá trình phụ thuộc vào đường đi của quá trình nên không phải là thông số trạng thái, chúng là hàm của quá trình.

1.1.3. Hệ nhiệt động

** Hệ nhiệt động:* Tập hợp tất cả các vật thể có liên quan với nhau về mặt cơ và nhiệt được tách ra để nghiên cứu những tính chất nhiệt động của nó được gọi là hệ nhiệt động, còn những vật khác không nằm trong hệ nhiệt động gọi là môi trường xung quanh.

Ranh giới giữa hệ nhiệt động và môi trường có thể là một bề mặt cụ thể, cũng có thể là bề mặt tưởng tượng do ta qui ước. Các vật thể nằm trong hệ có thể trao đổi nhiệt với nhau và với môi trường xung quanh.

Ví dụ khi nghiên cứu quá trình đun nước trong một bình kín thì có thể coi hệ nhiệt động là nước và hơi trong bình, còn bình và không khí xung quanh là môi trường xung quanh.

Trong thực tế ta gặp nhiều hệ thống nhiệt như máy lạnh, máy điều hoà nhiệt độ, các thiết bị sấy, chưng cất, thiết bị nhà máy điện . . . . , đó là những hệ thống thực hiện việc chuyển tải nhiệt từ vùng này đến vùng khác hoặc biến đổi nhiệt thành công, nó bao gồm có thiết bị nhiệt và môi chất làm việc trong đó.

* *Thiết bị nhiệt:* là các thiết bị trong đó chứa môi chất và tiến hành các quá trình nhiệt động, thực hiện việc trao đổi và chuyển hoá năng lượng.

* *Môi chất:* Môi chất (hay chất công tác) là chất chứa trong thiết bị nhiệt, chúng có thể nhận (hoặc nhả) nhiệt; nhận (hoặc sinh công) để biến đổi trạng thái và thực hiện việc truyền tải nhiệt hoặc biến đổi nhiệt năng thành cơ năng hoặc ngược lại.

Trong thực tế, môi chất thường ở thể lỏng, thể hơi hoặc thể khí vì chúng dễ dàng nén, ép và có khả năng thay đổi thể tích lớn, thuận lợi cho việc trao đổi công.

** Phân loại hệ nhiệt động*

Có thể phân hệ nhiệt động thành hệ cô lập và hệ đoạn nhiệt, hệ kín và hệ hở.

* *Hệ cô lập và hệ đoạn nhiệt:* Hệ cô lập là hệ không trao đổi chất, không trao đổi nhiệt và công với môi trường xung quanh. Hệ đoạn nhiệt là hệ không trao đổi nhiệt với môi trường.

Trong thực tế, không có hệ hoàn toàn cô lập hoặc đoạn nhiệt, mà chỉ gần đúng với sai số có thể cho phép được.

* *Hệ kín và hệ hở:* Hệ kín là hệ không trao đổi chất với môi trường xung quanh. Hệ hở là hệ có trao đổi chất với môi trường xung quanh.

Ví dụ: ở tủ lạnh, máy điều hoà nhiệt độ thì lượng môi chất (ga làm lạnh) không thay đổi, do đó nó là một hệ kín; ở trong động cơ xe máy, môi chất chính là lượng khí thay đổi liên tục, do đó nó là hệ hở.

1.1.4. Trạng thái và thông số trạng thái của một hệ nhiệt động

1.1.4.1. Trạng thái và thông số trạng thái

Trạng thái là một tập hợp các thông số xác định tính chất vật lí của môi chất hay của hệ ở một thời điểm nào đó. Các đại lượng vật lí đó được gọi là thông số trạng thái.

Khi vật hoặc hệ ở một trạng thái xác định thì thông số trạng thái cũng có giá trị xác định. Nói cách khác thông số trạng thái là một hàm đơn trị của trạng thái và có vi phân toàn phần. Thông số trạng thái chỉ phụ thuộc trạng thái mà không phụ thuộc vào quá trình.

Trong nhiệt động, thường dùng 3 thông số trạng thái có thể đo được trực tiếp là nhiệt độ T, áp suất p và thể tích riêng v (hoặc khối lượng riêng ρ), còn gọi là các thông số trạng thái cơ bản.

Ngoài ra, trong tính toán người ta còn dùng 3 thông số trạng thái khác là: nội năng U, entanpi E và entrôpi S, các thông số này không đo được trực tiếp mà được tính toán qua các thông số trạng thái cơ bản.

Trạng thái cân bằng của hệ đơn chất , một pha được xác định khi biết hai thông số trạng thái độc lập. Trên đồ thị trạng thái, trạng thái được biểu diễn bằng một điểm.

** Các thông số trạng thái cơ bản*

+ Nhiệt độ tuyệt đối

Nhiệt độ là một thông số trạng thái biểu thị mức độ nóng lạnh của vật, nó thể hiện mức độ chuyển động của các phân tử và nguyên tử. Theo thuyết động học phân tử thì nhiệt độ của chất khí là đại lượng thống kê, tỉ lệ thuận với động năng trung bình chuyển động tịnh tiến của các phân tử.

$$T = \frac{m\varpi^2}{3k} \qquad (1\text{-}1)$$

Trong đó: T là nhiệt độ tuyệt đối của vật,

m là khối lượng phân tử,

ϖ là vận tốc trung bình chuyển động tịnh tiến của các phân tử,

k là hằng số Bonzman, bằng $1{,}3805.10^{-23}$J/K.

Như vậy tôc độ trung bình chuyển động tịnh tiến của các phân tử càng lớn thì nhiệt độ của vật càng cao.

Trong hệ thống SI thường dùng hai thang đo nhiệt độ:

- Thang nhiệt độ bách phân: nhiệt độ kí hiệu là t, đơn vị đo là độ Censius (^{0}C).
- Thang nhiệt độ tuyệt đối: nhiệt độ kí hiệu là T, đơn vị đo là độ Kenvin (^{0}K).

Hai thang đo này có quan hệ với nhau bằng biểu thức sau:

$$t\ (^0C) = T\ (^0K) - 273{,}15 \qquad (1\text{-}2)$$

nghĩa là 0 (^{0}C) tương ứng với 273,15 ^{0}K. Giá trị mỗi độ chia trong hai thang này bằng nhau: dT = dt.

Ngoài ra, một số nước như Anh, Mỹ còn dùng thang nhiệt độ Farenhet, đơn vị đo là ^{0}F và thang nhiệt độ Renkin, đơn vị đo là ^{0}R. Giữa chúng có quan hệ như sau:

$$t\,^0C = T\,^0K - 273,15 = \frac{5}{9}(t\,^0F - 32) = \frac{5}{9}t\,^0R - 273,15, \qquad (1\text{-}3)$$

Để đo nhiệt độ, người ta dùng các dụng cụ khác nhau như: nhiệt kế thuỷ ngân, nhiệt kế khí, nhiệt kế điện trở, cặp nhiệt, hoả quang kế, v.v.v.

+ áp suất tuyệt đối:

Áp suất tuyệt đối của môi chất là lực tác dụng của môi chất vuông góc lên một đơn vị diện tích bề mặt tiếp xúc.

Theo thuyết động học phân tử, áp suất tỉ lệ với động năng trung bình chuyển động tịnh tiến của các phân tử và với số phân tử khí trong một đơn vị thể tích:

$$p = \alpha.n.\frac{m\varpi^2}{3}. \qquad (1\text{-}4)$$

trong đó: n là số phân tử khí trong một đơn vị thể tích,

α là hệ số tỉ lệ, phụ thuộc vào kích thước bản thân phân tử và lực tương tác giữa các phân tử. áp suất càng nhỏ, nhiệt độ càng cao thì α càng gần tới 1;

m là khối lượng phân tử;

ϖ là vận tốc trung bình chuyển động tịnh tiến của các phân tử.

Đơn vị tiêu chuẩn đo áp suất là Pascal, kí hiệu là Pa:

$1Pa = 1N/m^2$, $\qquad 1Kpa = 10^3Pa$, $\qquad 1Mpa = 10^6Pa$. $\qquad (1\text{-}5)$

Ngoài đơn vị tiêu chuẩn trên, hiện nay trong các thiết bị kỹ thuật người ta còn dùng đơn vị đo khác như: atmôtphe kỹ thuật at hay kG/cm^2 ($1at = 1kG/cm^2$); bar; mét cột nước (mH_2O); milimet thuỷ ngân (mmHg), quan hệ giữa chúng như sau:

$$1Pa=1N/m^2=10^{-5}bar=\frac{1}{0,981}10^{-5}\,at=\frac{1}{0,981}mmH_2O=\frac{1}{133,32}mmHg, \qquad (1\text{-}6)$$

Áp suất của không khí ngoài trời (ở trên mặt đất) gọi là áp suất khí quyển, ký hiệu là p_k, đo bằng baromet. $p_k = 1at$.

Một chất khí chứa trong bình kín có áp suất tuyệt đối là p. Nếu áp suất p lớn hơn áp suất khí quyển P_k thì hiệu giữa chúng được gọi là áp suất dư, ký hiệu là p_d, $p_d = p - p_k$, được đo bằng manomet. Nếu áp suất p nhỏ hơn áp suất khí quyển P_k thì được gọi là áp suất chân không. Hiệu giữa chúng được gọi là độ chân không, ký hiệu là p_{ck}, $p_{ck} = p_k - p$, được đo bằng chân không kế.

+ Thể tích riêng và khối lượng riêng:

Một vật có khối lượng G kg và thể tích V m^3 thì có:

thể tích riêng là:

$$v = \frac{V}{G} [m^3/kg], \quad (1\text{-}7)$$

và khối lượng riêng là:

$$\rho = \frac{G}{V} [kg/m^3], \quad (1\text{-}8)$$

** Các thông số trạng thái khác*

Các thông số trạng thái khác gồm: nội năng U, entanpi I và entropi S. Các thông số trạng thái này không đo được trực tiếp mà được tính toán qua các thông số trạng thái cơ bản t, p và v. Nó là các thông số trạng thái nên có vi phân toàn phần.

Khi môi chất ở một trạng thái xác định, các thông số trạng thái cơ bản t, p và v có giá trị xác định do đó các thông số trạng thái nội năng U, entanpi I và entropi S cũng có giá trị xác định.

Trong các quá trình nhiệt động, ta chỉ cần biết biến thiên nội năng, entanpi và entropi mà không cần biết giá trị tuyệt đối của nó, do đó có thể chọn điểm gốc tuỳ ý mà tại đó có giá trị bằng không để tính độ biến thiên của các đại lượng này.

+ Nội năng

Nội năng của một vật là toàn bộ năng lượng bên trong vật đó, gồm nội nhiệt năng, hoá năng và năng lượng nguyên tử. Trong các quá trình nhiệt động, khi không xảy ra các phản ứng hoá học và phản ứng hạt nhân, nghĩa là năng lượng các dạng này không thay đổi, khi đó tất cả các thay đổi năng lượng bên trong của vật chỉ là thay đổi nội nhiệt năng. Vậy trong nhiệt động học thay đổi nội năng nghĩa là thay đổi nội nhiệt năng.

Nội năng bao gồm hai thành phần: nội động năng và nội thế năng. Nội động năng là động năng của chuyển động tịnh tiến, chuyển động quay, dao động của các phân tử, nguyên tử; còn nội thế năng là lực tương tác giữa các phân tử:

$$U = U_d + U_{th} \quad (1\text{-}9)$$

Chuyển động của các phân tử phụ thuộc vào nhiệt độ của vật, do đó nội động năng phụ thuộc vào nhiệt độ: $U_d = f(t)$, còn lực tương tác giữa các phân tử phụ thuộc vào khoảng các giữa chúng tức là phụ thuộc vào thể tích riêng v của các phân tử, do đó nội thế năng phụ thuộc vào thể tích: $U_{th} = f(v)$. Như vậy nội năng phụ thuộc vào nhiệt độ T và thể tích v, nói cách khác nó là một hàm của trạng thái: $U = f(T,v)$.

Đối với 1kg môi chất, nội năng ký hiệu là u, đơn vị đo là J/kg; Đối với Gkg ký hiệu là U, đơn vị đo là J. Ngoài ra có thể dùng các đơn vị đo khác như: Kcal; KWh; Btu . . . .. Quan hệ giữa các đơn vị đó là:

$$1kJ = 0,239\ kcal = 277,78.10^{-6}\ kwh = 0,948\ Btu. \quad (1\text{-}11)$$

Đối với khí lý tưởng, lực tương tác giữa các phân tử bằng không, do đó nội năng chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ T, nghĩa là U = f(T).

Theo qui ước, đối với nước ta chọn u = 0 tại điểm có nhiệt độ t = 0,01 ^{0}C và áp suất p = 0,0062 at (điểm 3 thể của nước).

Trong mọi quá trình, biến thiên nội năng được xác định bằng:

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

+ Entanpi:

Trong tính toán thường gặp đại lượng u + pv, ký hiệu chúng là i và gọi là entanpi (đối với 1kg), đối với 1 kg ta có:

$$i = u + pv; \text{ (J/kg)} \qquad (2\text{-}7a)$$

đối với Gkg thì:

$$I = G.i = G.(u + pv) = U + pV; \text{ (J)}. \qquad (2\text{-}7b)$$

Đối với khí lý tưởng, lực tương tác giữa các phân tử bằng không, do đó entanpi chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ T, nghĩa là i = f(T).

Trong mọi quá trình, entanpi của khí lý tưởng được xác định bằng:

$$di = C_p dT \text{ và } \Delta i = C_p(T_2 - T_1) \qquad (1\text{-}13)$$

Tương tụ như nội năng, entanpi của khí thực phụ thuộc vào nhiệt độ T và thể tích v, nói cách khác nó là một hàm trạng thái: i = f(T,v).

Theo qui ước, đối với nước ta chọn i = 0 tại điểm có nhiệt độ T = 0 ^{0}K.

+ Entropi:

Entropi được ký hiệu là s và được định nghĩa qua biểu thức:

$$ds = \frac{dq}{T}, \text{ J/kg}^0\text{K}, \qquad (1\text{-}14a)$$

Entropi được ký hiệu bằng s đối với 1 kgvà S đối với G kg.

Entropi không đo được trực tiếp mà phải tính toán và thường chỉ cần tính toán độ biến thiên Δs của nó như đối với nội năng và entanpi.

Đối với Gkg thì:

$$dS = G.ds = \frac{dQ}{T}, \text{ J/}^0\text{K}, \qquad (1\text{-}14b)$$

1.1.4.2. Tính chất của thông số trạng thái

- Thông số trạng thái có vi phân toàn phần

- Thông số trạng thái là hàm đơn trị của trạng thái, lượng biến thiên thông số trạng thái chỉ phụ thuộc vào điểm đầu và điểm cuối của quá trình mà không phụ thuộc vào đường đi của quá trình.