

## Chương 4. ĐỊNH LUẬT NHIỆT ĐỘNG II

Định luật nhiệt động I chính là định luật bảo toàn và biến hoá năng lượng viết cho các quá trình nhiệt động, nó cho phép tính toán cân bằng năng lượng trong các quá trình nhiệt động, xác định lượng nhiệt có thể chuyển hoá thành công hoặc công chuyển hoá thành nhiệt. Tuy nhiên nó không cho ta biết trong điều kiện nào thì nhiệt có thể biến đổi thành công và liệu toàn bộ nhiệt có thể biến đổi hoàn toàn thành công không.

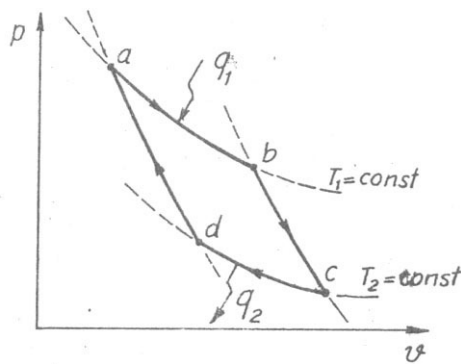
Định luật nhiệt động II cho phép ta xác định trong điều kiện nào thì quá trình sẽ xảy ra, chiều hướng xảy ra và mức độ chuyển hoá năng lượng của quá trình. Định luật nhiệt động II là tiên đề để xây dựng lý thuyết động cơ nhiệt và thiết bị nhiệt.

Theo định luật nhiệt động II thì mọi quá trình tự phát trong tự nhiên đều xảy ra theo một hướng nhất định. Ví dụ nhiệt năng chỉ có thể truyền từ vật có nhiệt độ cao đến vật có nhiệt độ thấp hơn. nếu muốn quá trình xảy ra ngược lại thì phải tiêu tốn năng lượng, ví dụ muốn tăng áp suất thì phải tiêu tốn công nén hoặc phải cấp nhiệt vào; muốn lấy nhiệt từ vật có nhiệt độ thấp hơn thả ra môi trường xung quanh có nhiệt độ cao hơn (như ở máy lạnh) thì phải tiêu tốn một năng lượng nhất định (tiêu tốn một điện năng chạy động cơ kéo máy nén).

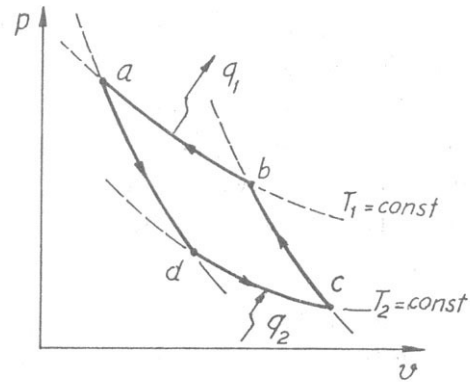
### 4.1. CÁC LOẠI CHU TRÌNH NHIỆT ĐỘNG VÀ HIỆU QUẢ CỦA NÓ

#### 4.1.1. Khái niệm chung

Trong các chu trình nhiệt, muốn biến nhiệt thành công thì cần có môi chất để làm chất tải nhiệt và cho môi chất dẫn nở để sinh công. Môi chất dẫn nở mãi được vì kích thước thiết bị có hạn. Vì vậy, cho môi chất dẫn nở đến một trạng thái nào đó, người ta lại nén môi chất để nó trở lại trạng thái ban đầu rồi tiếp tục cho dẫn nở và nén lặp lại như lần đầu, quá trình được lặp đi lặp lại như vậy . . . . Khi môi chất thay đổi trạng thái một cách liên tục rồi lại trở về trạng thái ban đầu, ta nói môi chất thực hiện một chu trình hay một quá trình kín.



Hình 4.1. Đồ thị p-v chu trình Carnot thuận nghịch thuận chiều



Hình 4.2. Đồ thị p-v chu trình Carnot thuận nghịch ngược chiều

Trên đồ thị trạng thái, nếu chu trình tiến hành theo chiều kim đồng hồ thì gọi là chu trình thuận chiều (hình 4.1).

Ở chu trình này môi chất nhận nhiệt sinh công, nên công có dấu dương ( $l > 0$ ). Các thiết bị nhiệt làm việc theo chu trình này được gọi là động cơ nhiệt.

Nếu chu trình tiến hành theo chiều ngược chiều kim đồng hồ thì gọi là chu trình ngược chiều (hình 4.2). Ở chu trình này môi chất tiêu hao công hoặc nhận năng lượng khác, do đó công có dấu âm ( $l < 0$ ). Các thiết bị nhiệt làm việc theo chu trình này được gọi là máy lạnh hoặc bơm nhiệt.

#### 4.1.1.1. Chu trình thuận nghịch và không thuận nghịch

Công của chu trình là công mà môi chất sinh ra hoặc nhận vào khi thực hiện một chu trình.

Công của chu trình được ký hiệu là  $L$  khi tính cho  $G$ kg môi chất hoặc  $l$  khi tính cho 1kg môi chất.

Nhiệt lượng và công của chu trình bằng tổng đại số nhiệt lượng và công của các quá trình trong chu trình đó.

$$q_{CT} = \sum q_i = \oint Tds \quad (4-1)$$

$$l_{CT} = \sum l_i = \oint pdv \quad (4-2)$$

Lượng biến thiên  $\Delta u$ ,  $\Delta i$ ,  $\Delta s$  của chu trình đều bằng không vì  $u$ ,  $i$ ,  $s$  là các thông số trạng thái, mà chu trình thì có trạng thái đầu và cuối trùng nhau.

Theo định luật nhiệt động I thì  $q = \Delta u + l$ , mà ở đây  $\Delta u = 0$ , nên đối với chu trình ta luôn có:

$$q_{CT} = l_{CT} \quad (4-3)$$

#### 4.1.2 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.

\* *Đồ thị:*

Trên đồ thị hình 4.1, chu trình thuận chiều có chiều 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  $\eta_{ct}$ , 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.

$$\eta_{ct} = \frac{l}{q_1} = \frac{q_1 - |q_2|}{q_1} \quad (4-4)$$

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. Theo (4-3) ta có:  $l = q_1 - |q_2|$ , vì  $\Delta u = 0$ .

### 4.1.3. 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,  $l < 0$ .

\* *Đồ thị:*

Trên đồ thị hình 4.2, chu trình ngược chiều có chiều 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  $\varepsilon$ , 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.

$$\varepsilon = \frac{q_2}{l} = \frac{q_2}{|q_1| - q_2} \quad (4-5)$$

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  $\Delta u = 0$ .

## 4.2. Chu trình carno thuận nghịch

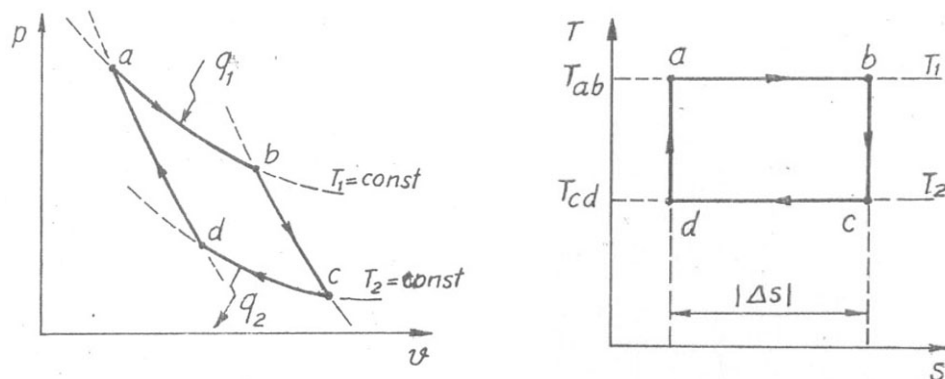
Chu trình carno thuận nghịch là Chu trình lý tưởng, có khả năng biến đổi nhiệt lượng với hiệu quả cao nhất. Tuy nhiên, nếu áp dụng vào thực tế thì nó có

những nhược điểm khác về giá thành và hiệu suất thiết bị, do đó xét về tổng thể thì hiệu quả kinh tế không cao. Chính vì vậy nó không được áp dụng trong thực tế mà nó chỉ làm mục tiêu để hoàn thiện các chu trình khác về mặt hiệu quả nhiệt, nghĩa là người ta phấn đấu thực hiện các chu trình càng gần với chu trình Carno thì hiệu quả chuyển hoá nhiệt năng càng cao.

Chu trình Carno thuận nghịch làm việc với hai nguồn nhiệt có nhiệt độ khác nhau  $T_1$  và  $T_2$ , nhiệt độ các nguồn nhiệt không thay đổi trong suốt quá trình trao đổi nhiệt. Môi chất thực hiện 4 quá trình thuận nghịch liên tiếp nhau: hai quá trình đẳng nhiệt và hai quá trình đoạn nhiệt tiến hành xen kẽ nhau. Sau đây ta xét hai chu trình Carno thuận nghịch gọi tắt là chu trình Carno thuận chiều và chu trình Carno ngược chiều.

#### 4.2.1. 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 4.3.  $ab$  là quá trình nén đoạn nhiệt, nhiệt độ môi chất tăng từ  $T_2$  đến  $T_1$ ;  $bc$  là quá trình giãn 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  $q_1 = T_1(s_c - s_b)$ ;  $cd$  là quá trình giãn nở đoạn nhiệt, sinh công  $l$ , nhiệt độ môi chất giảm từ  $T_1$  đến  $T_2$ ;  $da$  là quá trình nén đẳng nhiệt, môi chất tiếp xúc với nguồn lạnh có nhiệt độ  $T_2$  không đổi và nhả cho nguồn lạnh một nhiệt lượng là  $q_2 = T_2(s_a - s_d)$ .



Hình 4.3. 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 (4-4). Khi thay các giá trị  $q_1$  và  $|q_2|$  vào ta có hiệu suất nhiệt của chu trình Carno thuận chiều thuận chiều là:

$$\eta_{ct} = \frac{l}{q_1} = \frac{q_1 - |q_2|}{q_1} = \frac{T_1(s_c - s_b) - T_2(s_d - s_a)}{T_1(s_c - s_b)} = 1 - \frac{T_2}{T_1}. \quad (4-6)$$

\* Nhận xét:

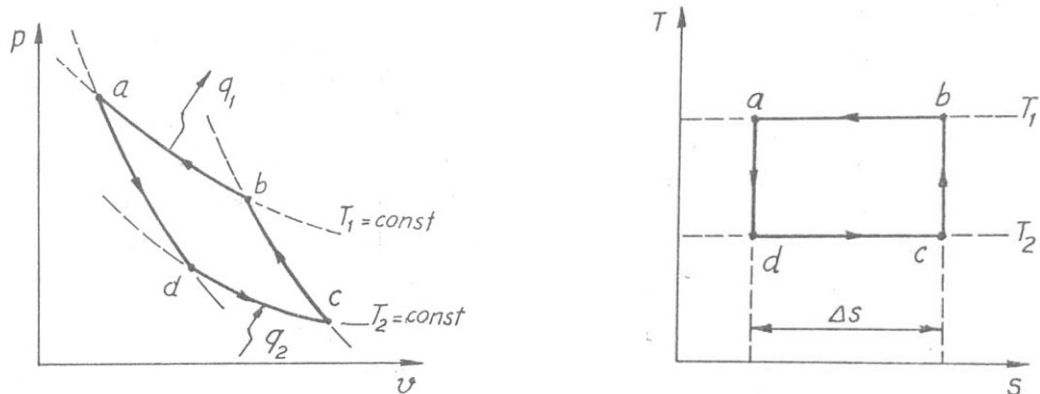
Từ biểu thức (4-6) ta thấy:

- 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.

#### 4.2.1. 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 4.4. ab 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  $q_2 = T_2(s_b - s_a)$ ; bc là quá trình nén đoạn nhiệt, tiêu tốn công nén là l, nhiệt độ môi chất tăng từ  $T_2$  đến  $T_1$ ; cd 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  $q_1 = T_1(s_d - s_c)$ ; da là quá trình giãn nở đoạn nhiệt, nhiệt độ môi chất giảm từ  $T_1$  đến  $T_2$ .



Hình 4.3. Đồ thị p-v và T-s của chu trình Carno ngược chiều

Hệ số làm lạnh của chu trình ngược chiều được tính theo công thức (4-5). 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:

$$\varepsilon = \frac{q_2}{1} = \frac{q_2}{|q_1| - q_2} = \frac{T_2(s_b - s_a)}{T_1(s_c - s_d) - T_2(s_b - s_a)}$$

$$\varepsilon = \frac{T_2}{T_1 - T_2} = \frac{1}{\frac{T_1}{T_2} - 1} \quad (4-7)$$

\* Nhận xét:

Từ biểu thức (4-7) ta thấy:

- 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 một.

#### 4.3. MỘT VÀI CÁCH PHÁT BIỂU CỦA ĐỊNH LUẬT NHIỆT ĐỘNG II

- 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).

- 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.

- Chu trình Carno là chu trình có hiệu suất cao nhất,

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

- Hiệu suất nhiệt của chu trình không thuận nghịch nhỏ hơn hiệu suất nhiệt của chu trình thuận nghịch.

$$\eta_{kTN} < \eta_{TN} \text{ ./.}$$