

Chương 5: HƠI NƯỚC VÀ CÁC QUÁ TRÌNH CỦA NÓ

5.1 KHÁI NIỆM CƠ BẢN

5.1.1. Hơi nước là 1 khí thực

Hơi nước có rất nhiều ưu điểm so với các môi chất khác như có nhiều trong thiên nhiên, rẻ tiền và đặc biệt là không độc hại đối với môi trường và không ăn mòn thiết bị, do đó nó được sử dụng rất nhiều trong các ngành công nghiệp.

Hơi nước thường được sử dụng trong thực tế ở trạng thái gần trạng thái bão hoà nên không thể bỏ qua thể tích bản thân phân tử và lực hút giữa chúng. Vì vậy không thể dùng phương trình trạng thái lí tưởng cho hơi nước được.

Phương trình trạng thái cho hơi nước được dùng nhiều nhất hiện nay là phương trình Vukalovich-novikov:

$$\left(p + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = RT \left(1 - \frac{c}{T^{3/2+m}}\right) \quad (5-1)$$

Ở đây : a,b,m là các hệ số được xác định bằng thực nghiệm.
Từ công thức này người ta đã xây dựng bảng và đồ thị hơi nước .

5.1.2 Quá trình hoá hơi của nước

Nước có thể chuyển từ thể lỏng sang thể hơi nhờ quá trình hoá hơi. Quá trình hoá hơi có thể là bay hơi hoặc sôi.

* *Quá trình bay hơi:*

Quá trình bay hơi là quá trình hoá hơi chỉ xảy ra trên bề mặt thoáng chất lỏng, ở nhiệt độ bất kì.

- Điều kiện để xảy ra quá trình bay hơi : Muốn xảy ra quá trình bay hơi thì cần phải có mặt thoáng.

- Đặc điểm của quá trình bay hơi: Quá trình bay hơi xảy ra do các phân tử nước trên bề mặt thoáng có động năng lớn hơn sức căng bề mặt và thoát ra ngoài, bởi vậy quá trình bay hơi xảy ra ở bất kì nhiệt độ nào.

- Cường độ bay hơi phụ thuộc vào bản chất và nhiệt độ của chất lỏng. Nhiệt độ càng cao thì tốc độ bay hơi càng lớn.

* *Quá trình sôi:*

Quá trình sôi là quá trình hoá hơi xảy ra cả trong lòng thể tích chất lỏng.

- Điều kiện để xảy ra quá trình sôi: Khi cung cấp nhiệt cho chất lỏng thì nhiệt độ của nó tăng lên và cường độ bay hơi cũng tăng lên, đến một nhiệt độ xác định nào đó thì hiện tượng bay hơi xảy ra cả trong toàn bộ thể tích chất lỏng, khi đó các bọt hơi xuất hiện cả trên bề mặt nhận nhiệt lẫn trong lòng chất lỏng, ta nói chất lỏng sôi. Nhiệt độ đó được gọi là nhiệt độ sôi hay nhiệt độ bão hoà.

- Đặc điểm của quá trình sôi: Nhiệt độ sôi phụ thuộc vào bản chất và áp suất của chất lỏng đó. Ở áp suất không đổi nào đó thì nhiệt độ sôi của chất lỏng không đổi, khi áp suất chất lỏng càng cao thì nhiệt độ sôi càng lớn và ngược lại.

5.1.3 Quá trình ngưng tụ :

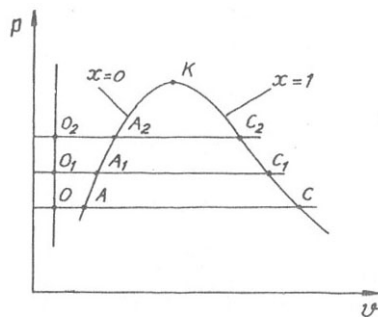
Quá trình ngược lại với quá trình sôi là quá trình ngưng tụ, trong đó hơi nhả nhiệt và biến thành chất lỏng. Nhiệt độ của chất lỏng không thay đổi suốt trong quá trình ngưng tụ .

5.2 QUÁ TRÌNH HÓA HƠI ĐẲNG ÁP

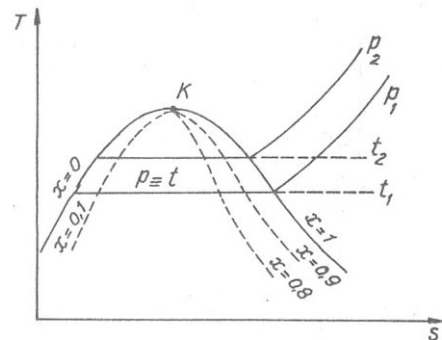
5.2.1 Mô tả quá trình

Giả thiết nước bắt đầu ở trạng thái O trên đồ thị p-v và T-s hình 5.1 và 5.2 có nhiệt độ t , thể tích riêng là v . Khi cung cấp nhiệt cho nước trong điều kiện áp suất không đổi $p = \text{const}$, nhiệt độ và thể tích riêng tăng lên. Đến nhiệt độ t_s nào đó thì nước bắt đầu sôi, có thể tích riêng là v' và các thông số trạng thái khác tương ứng là: u' , i' , s' , trạng thái sôi được biểu thị bằng điểm A. t_s được gọi là nhiệt độ sôi hay nhiệt độ bão hoà ứng với áp suất p .

Nếu tiếp tục cấp nhiệt vẫn ở áp suất đó thì cường độ bốc hơi càng tăng nhanh, nhiệt độ của nước và hơi không thay đổi và bằng t_s . Đến một lúc nào đó thì toàn bộ nước sẽ biến hoàn toàn thành hơi trong khi nhiệt độ của hơi vẫn còn giữ ở nhiệt độ t_s . Hơi nước ở trạng thái này được gọi là hơi bão hoà khô, được biểu diễn bằng điểm C. Các thông số tại điểm C được kí hiệu là v'' , u'' , i'' , s'' . Nhiệt lượng cấp vào cho 1 kg nước từ khi bắt đầu sôi đến khi biến thành hơi hoàn toàn được gọi là nhiệt ẩn hoá hơi, kí hiệu là $r = i'' - i'$



Hình 5.1 Đồ thị trạng thái p-v



Hình 5.2 Đồ thị trạng thái T-s của hơi nước

Nếu ta cung cấp nhiệt cho hơi bão hoà khô vẫn ở áp suất đó thì nhiệt độ và thể tích riêng của nó lại bắt đầu tiếp tục tăng lên. Hơi nước ở nhiệt độ này gọi là hơi quá nhiệt. Các thông số hơi quá nhiệt kí hiệu là v , p , t , i , s . Hiệu số nhiệt độ của hơi quá nhiệt và hơi bão hoà được gọi là độ quá nhiệt. Độ quá nhiệt càng cao thì hơi càng gần với khí lí tưởng.

Vậy ở áp suất p không đổi, khi cấp nhiệt cho nước ta sẽ có các trạng thái O, A, C tương ứng với nước chưa sôi, nước sôi và hơi bão hoà khô. Quá trình đó được gọi là quá trình hoá hơi đẳng áp.

Tương tự như vậy, nếu cấp nhiệt đẳng áp cho nước ở áp suất $p_1 = \text{const}$ thì ta có các trạng thái tương ứng kí hiệu O_1 , A_1 , C_1 và ở áp suất $p_2 = \text{const}$ ta cũng có các điểm tương ứng là O_2 , A_2 , C_2

5.2.2 Các đường đặc tính của nước

Khi nối các điểm O, O_1, O_2, O_3, \dots ta được một đường gọi là đường nước chưa sôi, đường này gần như thẳng đứng, chứng tỏ thể tích riêng của nước rất ít phụ thuộc vào áp suất.

Khi nối các điểm A, A_1, A_2, A_3, \dots ta được một đường cong biểu thị trạng thái nước sôi gọi là đường giới hạn dưới. Khi nhiệt độ sôi tăng thì thể tích riêng của nước sôi v' tăng, do đó đường cong này dịch dần về phía bên phải khi tăng áp suất.

Khi nối các điểm C, C_1, C_2, C_3, \dots ta được một đường cong biểu thị trạng thái hơi bão hoà khô, gọi là đường giới hạn trên. Khi áp suất tăng thì thể tích riêng của hơi bão hoà khô giảm nên đường cong này dịch về phía trái.

Đường giới hạn trên và đường giới hạn dưới gặp nhau tại điểm K , gọi là điểm tới hạn. Trạng thái tại điểm K gọi là trạng thái tới hạn, đó chính là trạng thái mà không còn sự khác nhau giữa chất lỏng sôi và hơi bão hoà khô. Các thông số tương ứng với trạng thái đó được gọi là thông số tới hạn, ví dụ nước có $p_k = 22,1 \text{ Mpa}, t_k = 374^\circ\text{C}, v_k = 0,00326 \text{ m}^3/\text{kg}, i_k = 2156,2 \text{ kJ/kg}, s_k = 4,43 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$.

Hai đường giới hạn trên và dưới chia đồ thị làm 3 vùng. Vùng bên trái đường giới hạn dưới là vùng nước chưa sôi, vùng bên phải đường giới hạn trên là vùng hơi quá nhiệt, còn vùng giữa hai đường giới hạn là vùng hơi bão hoà ẩm.

Trong vùng bão hoà ẩm thì nhiệt độ và áp suất không còn là thông số độc lập nữa. Ứng với nhiệt độ sôi, môi chất có áp suất nhất định và ngược lại ở một áp suất xác định, môi chất có nhiệt độ sôi tương ứng. Vì vậy, ở vùng này muốn xác định trạng thái của môi chất phải dùng thêm một thông số nữa gọi là độ khô x hay độ ẩm y của hơi, ($y = 1 - x$).

Nếu xét G kg hỗn hợp hơi và nước (hơi ẩm), trong đó gồm

$$x \frac{G''}{G' + G''} \quad (5-2)$$

hoặc độ ẩm:

$$y = \frac{G'}{G' + G''} \quad (5-3)$$

Như vậy ta thấy: Trên đường giới hạn dưới lượng hơi $G'' = 0$, do đó độ khô $x = 0$, độ ẩm $y = 1$. Còn trên đường giới hạn trên, lượng nước đã biến hoàn toàn thành hơi nên $G' = 0$ nghĩa là độ khô $x = 1$, độ ẩm $y = 0$ và giữa hai đường giới hạn có độ khô: $0 < x < 1$

5.3. XÁC ĐỊNH CÁC THÔNG SỐ TRẠNG THÁI CỦA NƯỚC VÀ HƠI BẰNG ĐỒ THỊ HOẶC BẢNG

Cũng như hơi của các chất lỏng khác, hơi nước là một khí thực, do đó không thể tính toán theo phương trình trạng thái của khí lí tưởng được. Muốn tính toán chúng cần phải sử dụng các đồ thị hoặc bảng số đã được lập sẵn cho từng loại hơi.

5.3.1. các bảng và xác định thông số trạng thái của nước.

* *Bảng nước chưa sôi và hơi qua nhiệt:*

Để xác định trạng thái môi chất ta cần biết hai thông số trạng thái độc lập.

Trong vùng nước chưa sôi và vùng hơi qua nhiệt, nhiệt độ và áp suất là hai thông số độc lập, do đó bảng nước chưa sôi và hơi quá nhiệt được xây dựng theo hai thông số này. Bảng nước chưa sôi và thông qua hơi nhiệt được trình bày ở phần phụ lục, bảng này cho phép xác định các thông số trạng thái v, i, s của nước chưa sôi và hơi quá nhiệt ứng với một áp suất và nhiệt độ xác định nào đó.

Từ đó định được:

$$u = i - pv \quad (5-4)$$

* *Bảng nước sôi và hơi bão hòa khô:*

Khi môi chất có trạng thái trong vùng giữa đường giới hạn dưới (đường nước sôi) và đường giới hạn trên (đường hơi bão hòa khô) thì nhiệt độ và áp suất không còn là hai thông số độc lập nữa, vì vậy muốn xác định trạng thái của môi chất thì cần biết thêm một thông số khác nữa.

Độ khô cũng là một thông số trạng thái. Nước sôi có độ khô $x = 0$, hơi bão hòa khô có độ khô $x = 1$, như vậy trạng thái của môi chất trên các đường giới hạn này sẽ được xác định khi biết thêm một thông số trạng thái nữa là áp suất p hoặc nhiệt độ t . Chính vì vậy các thông số trạng thái khác của nước sôi và hơi bão hòa khô có thể được xác định bằng bảng nước sôi và hơi bão hòa khô theo áp hoặc nhiệt độ.

Bảng “nước sôi và hơi bão hòa khô” có thể cho theo p hoặc t , được trình bày trong phần phụ lục, cho biết các thông số trạng thái của nước sôi (v', i', s'), hơi bão hòa khô (v'', i'', s'') và nhiệt ẩn hoá hơi r theo áp suất hoặc theo nhiệt độ.

Khi môi chất ở trong vùng hơi ẩm, các thông số trạng thái của nó có thể được tính theo các thông số trạng thái tương ứng trên các đường giới hạn và độ khô x ở cùng áp suất.

Vi dụ: Trong 1kg hơi ẩm có độ khô x , sẽ có x kg hơi bão hòa khô với thể tích v'' và $(1-x)$ kg nước sôi với thể tích v' . Vậy thể tích riêng của hơi ẩm sẽ là:

$$v_x = xv'' + (1-x)v' = v' + x(v'' - v') \quad (5-5)$$

Như vậy, muốn xác định các thông số trạng thái của hơi ẩm có độ khô x ở áp suất p , trước hết dựa vào bảng “nước sôi và hơi bão hòa khô” ta xác định các thông số v', i', s' của nước sôi và v'', i'', s'' của hơi bão hòa khô theo áp suất p , sau đó tính các thông số tương ứng của hơi ẩm theo công thức:

$$\Phi_x = \Phi + x(\Phi'' - \Phi') \quad (5-6)$$

Trong đó:

Φ_x là thông số trạng thái của hơi bão hòa ẩm có độ khô x (ví dụ v_x, i_x, s_x),

Φ' là thông số trạng thái v', i', s' của nước sôi tương ứng trên đường $x=0$

Φ'' là thông số trạng thái v'', i'', s'' của hơi bão hòa khô tương ứng trên đường $x=1$ ở cùng áp suất.

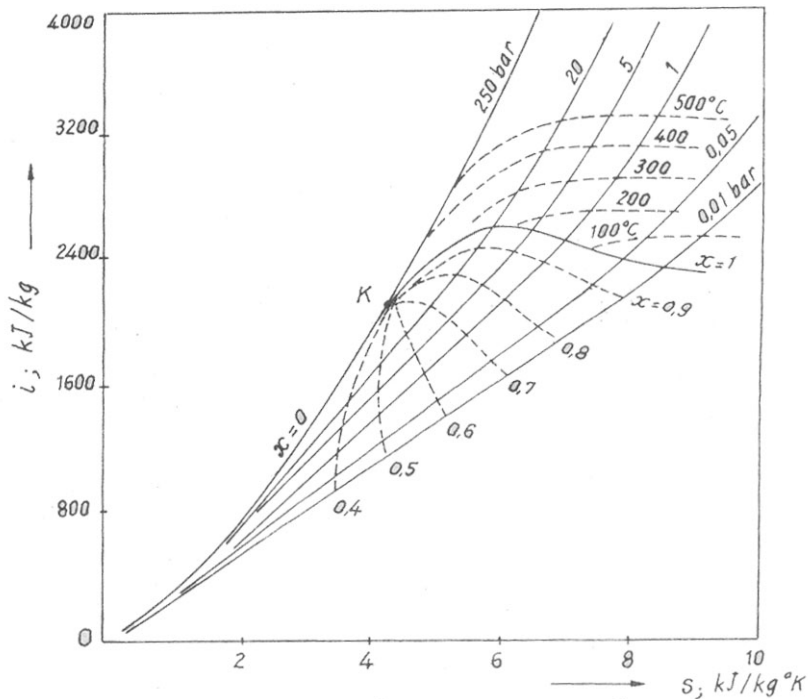
5.3.2. Đồ thị T-s và i-s của hơi nước

Các bảng hơi nước cho phép tính toán các thông số trạng thái với độ chính xác cao, tuy nhiên việc tính toán phức tạp và mất nhiều thời giờ. Để đơn giản việc tính toán, ta có thể dùng đồ thị của hơi nước. Dựa vào đồ thị có thể xác định các thông số còn lại khi biết 2 thông số độc lập với nhau. Đối với hơi nước, thường dùng các đồ thị T-s, i-s.

**Đồ thị T - s của hơi nước:*

Đồ thị T-s của hơi nước được biểu thị trên hình 5.2, trục tung của đồ thị biểu diễn nhiệt độ, trục hoành biểu diễn entropi. Ở đây các đường đẳng áp trong vùng nước chưa sôi gần như trùng với đường giới hạn giới $x = 0$ (thực tế nằm trên đường $x = 0$), trong vùng hơi bão hoà ẩm là các đường thẳng song song với trục hoành và trùng với đường đẳng nhiệt, trong vùng hơi quá nhiệt là các đường cong lõm đi lên. Các đường độ khô không đổi xuất phát từ điểm K đi tỏa xuống phía dưới.

Đồ thị T-s được xây dựng cho vùng hơi bão hòa và vùng hơi quá nhiệt.



Hình 5-3. Đồ thị i - s của hơi nước

** Đồ thị i-s của hơi nước:*

Theo định luật nhiệt động thứ nhất ta có $q = \Delta i - 1$, mà trong quá trình đẳng áp $dp = 0$ do đó $1 = 0$, vậy $q = \Delta i = i_2 - i_1$. Nghĩa là trong quá trình đẳng áp, nhiệt lượng q trao đổi bằng hiệu entanpi, vì vậy đồ thị i-s sử dụng rất thuận tiện khi tính nhiệt lượng trong quá trình đẳng áp. Đồ thị i-s của hơi nước được biểu diễn trên hình 5.3, trục tung biểu diễn entanpi, trục hoành biểu diễn Entropi, được xây dựng trên cơ sở các số liệu thực nghiệm.

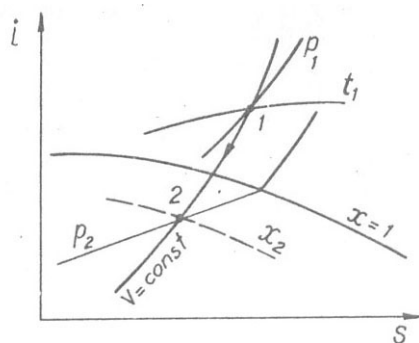
Đồ thị gồm các đường : Đường đẳng áp ($p=\text{const}$) trong vùng hơi ẩm là các đường thẳng nghiêng đi lên, trùng với đường đẳng nhiệt tương ứng; trong vùng hơi quá nhiệt là các đường cong lõm đi lên.

Đường đẳng nhiệt trong vùng hơi ẩm trùng với đường đẳng áp, là những đường thẳng nghiêng đi lên, trong vùng hơi quá nhiệt là những đường cong lõm đi lên và càng xa đường $x = 1$ thì càng gần như song song với trục hoành. Đường đẳng tích dốc hơn đường đẳng áp một ít. Đường độ khô $x = \text{const}$ là chùm đường cong xuất phát từ điểm K đi xuống phía dưới.

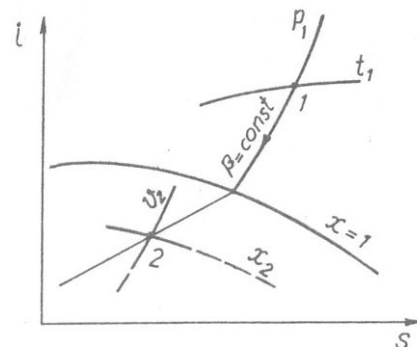
5.4. CÁC QUÁ TRÌNH NHIỆT ĐỘNG CỦA HƠI NƯỚC

5.4.1. Quá trình đẳng tích $v = \text{const}$

Quá trình đẳng tích của hơi nước được biểu diễn bằng đường 1-2 trên đồ thị i - s hình 5.4. Trạng thái đầu được biểu diễn bằng điểm 1, là giao điểm của đường $p_1 = \text{const}$ với đường $t_1 = \text{const}$. Các thông số còn lại i_1, s_1, v_1 được xác định bằng cách đọc các đường i, s và v đi qua điểm 1.



Hình 5.4 Đồ thị i - s quá trình đẳng tích của hơi nước



Hình 5.5 Đồ thị i - s quá trình đẳng áp của hơi nước

Trạng thái cuối được biểu diễn bằng điểm 2, được xác định bằng giao điểm của đường $v_2 = v_1 = \text{const}$ và đường $p_2 = \text{const}$, từ đó xác định các thông số khác như đối với điểm 1

- Công của quá trình: $dl = pdv = 0$ vì $dv = 0$,

hay:

$$l = 0 \quad (5-7)$$

- Biến thiên nội năng:

$$\begin{aligned} \Delta u &= (i_2 - p_2 v_2) - (i_1 - p_1 v_1) \\ \Delta u &= i_2 - i_1 - v(p_2 - p_1) \end{aligned} \quad (5-8)$$

- Nhiệt lượng trao đổi trong quá trình:

$$q = \Delta u + l = \Delta u \quad (5-9)$$

5.4.2. Quá trình đẳng áp

Quá trình đẳng áp của hơi nước được biểu diễn bằng đường 1-2 trên đồ thị $i-s$ hình 5.5. Trạng thái đầu được biểu diễn bằng điểm 1, là giao điểm của đường $p_1 = \text{const}$ với đường $t_1 = \text{const}$. Các thông số còn lại i_1, s_1, v_1 được xác định bằng cách đọc các đường i, s và v đi qua điểm 1.

Trạng thái cuối được biểu diễn bằng điểm 2, được xác định bằng giao điểm của đường $p_2 = p_1 = \text{const}$ với đường $x_2 = \text{const}$, từ đó xác định các thông số khác như đối với điểm 1.

- Công của quá trình:

$$l = \int_{v_1}^{v_2} p dv = p(v_2 - v_1) \quad (5-10)$$

- Biến thiên nội năng:

$$\Delta u = i_2 - i_1 - p(v_2 - v_1) \quad (5-11)$$

- Nhiệt lượng trao đổi:

$$q = \Delta u + l = i_2 - i_1 \quad (5-12)$$

5.4.3. Quá trình đẳng nhiệt

Quá trình đẳng nhiệt của hơi nước được biểu diễn bằng đường 1-2 trên đồ thị $i-s$ hình 5.6. Trạng thái đầu được biểu diễn bằng điểm 1, là giao điểm của đường t_1 và x_1 . Các thông số còn lại v_1, i_1, s_1 được xác định bằng cách đọc các đường v, i, s đi qua điểm 1.

Trạng thái cuối được biểu diễn bằng điểm 2, là giao điểm của đường p_2 với đường $t_2 = t_1 = \text{const}$, từ đó xác định các thông số khác như đối với điểm 1.

- Biến thiên nội năng:

$$\Delta u = i_2 - i_1 - (p_2 v_2 - p_1 v_1) \quad (5-13)$$

- Nhiệt lượng trao đổi trong quá trình:

$$q = \int_{s_1}^{s_2} T ds = T(s_2 - s_1) \quad (5-14)$$

- Công của quá trình:

$$l = q - \Delta u \quad (5-15)$$

5.4.4. Quá trình đoạn nhiệt

Quá trình đoạn nhiệt của hơi nước được biểu diễn bằng đường 1-2 trên đồ thị $i-s$ hình 5-7. Trong quá trình này, $dq = 0$ nếu $ds = 0$. Trên đồ thị $T-s$ và $i-s$ quá trình đoạn nhiệt là một đoạn thẳng song song với trục tung có $s = \text{const}$.

- Nhiệt lượng trao đổi :

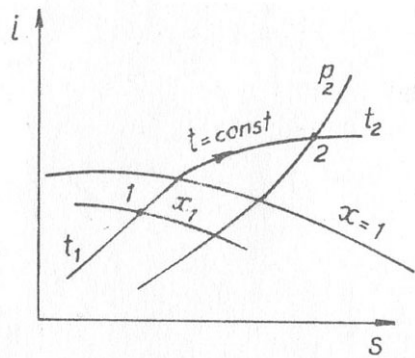
$dq = 0$ hay $q = 0$, do đó:

$$ds = \frac{dq}{T} = 0 \quad (5-16)$$

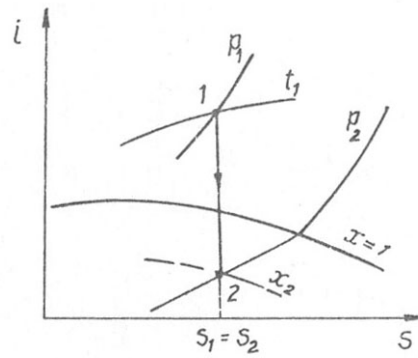
- Công và biến thiên nội năng:

$$l = \Delta u = i_2 - i_1 - (p_2 v_2 - p_1 v_1) \quad (5-17)$$

17)



Hình 5.6 Đồ thị i - s quá trình đẳng nhiệt của hơi nước



Hình 5.7. Đồ thị i - s quá trình đoạn nhiệt thuận nghịch (đẳng entrôpi) của hơi nước