

GIÁO TRÌNH

ĐO LƯỜNG NHIỆT

HOÀNG DƯƠNG HÙNG

2004

# ĐO LƯỜNG NHIỆT

## MỞ ĐẦU

**CHƯƠNG 1 : NHỮNG KHÁI NIỆM VỀ ĐO LƯỜNG**

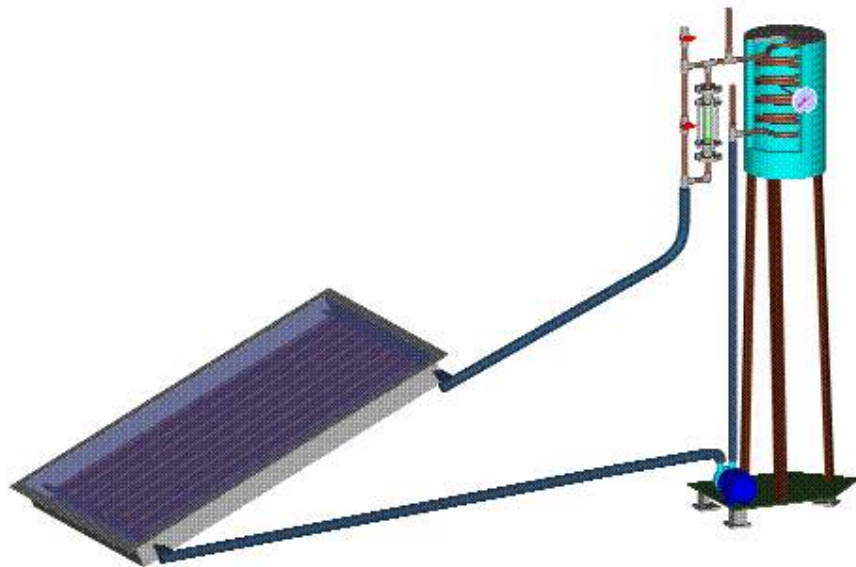
**CHƯƠNG 2 : ĐO NHIỆT ĐỘ**

**CHƯƠNG 3 : ĐO ÁP SUẤT VÀ CHÂN KHÔNG**

**CHƯƠNG 4 : ĐO LƯU LƯỢNG MÔI CHẤT**

**CHƯƠNG 5 : ĐO MỨC CAO MÔI CHẤT**

**CHƯƠNG 6 : PHÂN TÍCH CHẤT THÀNH PHẦN TRONG HỖN HỢP**



## MỞ ĐẦU

*Trong quá trình đấu tranh với thiên nhiên, con người cần phải nghiên cứu các qui luật của sự vật khách quan, vì vậy phải tìm hiểu quan hệ giữa lượng và chất của sự vật cho nên không thể tách rời khỏi đo lường.*

*Khoa học kỹ thuật bắt nguồn từ đo lường. Sự phát triển của khoa học, kỹ thuật liên quan chặt chẽ với sự không ngừng hoàn thiện của kỹ thuật đo lường. Không có đo lường thì không thể có bất kỳ một khoa học tinh vi nào, một khoa học ứng dụng nào, một thí nghiệm nào ...*

*Kỹ thuật đo lường nhiệt có liên quan đến nhiều ngành kinh tế quốc dân, vì các tham số của quá trình nhiệt cũng là những tham số quan trọng trong rất nhiều quá trình sản xuất công nghiệp, nông nghiệp... Đo lường nhiệt là quá trình đo các thông số trạng thái của môi chất của các quá trình xảy ra trong thiết bị nhiệt. Ví dụ như đo nhiệt độ  $t$ , đo áp suất  $p$ , đo lưu lượng  $Q$ , ...*

*Thiết bị nhiệt ngày càng phát triển với các tham số cao, dung lượng lớn, do đó cần phải có các dụng cụ và phương pháp đo lường thích hợp. Mặt khác muốn tự động hóa quá trình sản xuất nhiệt thì trước hết phải đảm bảo tốt khâu đo lường nhiệt. Do đó là cán bộ kỹ thuật nhiệt không những chỉ nắm rõ quá trình sản xuất của các thiết bị nhiệt mà còn phải thành thạo cả việc lựa chọn và sử dụng các loại dụng cụ cùng với các phương pháp đo khác nhau, có khả năng xác định các sai số đo lường, biết đoán nhận các nguyên nhân gây sai số và biết cách khử mất các nguyên nhân gây sai số đó ./.*

## CHƯƠNG 1 : NHỮNG KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ ĐO LƯỜNG

### 1.1. ĐO LƯỜNG VÀ DỤNG CỤ ĐO LƯỜNG

#### 1.1.1. Định nghĩa

Đo lường là một quá trình đánh giá định lượng một đại lượng cần đo để có kết quả bằng số so với đơn vị đo. *Hoặc có thể định nghĩa rằng đo lường là hành động cụ thể thực hiện bằng công cụ đo lường để tìm trị số của một đại lượng chưa biết biểu thị bằng đơn vị đo lường.* Trong một số trường hợp đo lường như là quá trình so sánh đại lượng cần đo với đại lượng chuẩn và số ta nhận được gọi là kết quả đo lường hay đại lượng bị đo .

Kết quả đo lường là giá trị bằng số của đại lượng cần đo  $A_x$  nó bằng tỷ số của đại lượng cần đo  $X$  và đơn vị đo  $X_0$ .

$$\Rightarrow A_x = \frac{X}{X_0} \Rightarrow X = A_x \cdot X_0$$

**Ví dụ :** ta đo được  $U = 50 \text{ V}$  ta có thể xem kết quả đó là  $U = 50 \text{ u}$

50 - là kết quả đo lường của đại lượng bị đo

u - là lượng đơn vị

*Mục đích đo lường* là lượng chưa biết mà ta cần xác định.

*Đối tượng đo lường* là lượng trực tiếp bị đo dùng để tính toán tìm lượng chưa biết .

Tùy trường hợp mà mục đích đo lường và đối tượng đo lường có thể thống nhất lẫn nhau hoặc tách rời nhau.

**Ví dụ :**  $S = ab$  mục đích là  $m^2$  còn đối tượng là  $m$ .

#### 1.1.2. Phân loại

Thông thường người ta dựa theo cách nhận được kết quả đo lường để phân loại, do đó ta có 3 loại đó là *đo trực tiếp*, *đo gián tiếp* và *đo tổng hợp* và ngoài ra còn có 1 loại nữa là *đo thống kê*.

**Đo trực tiếp:** Là ta đem lượng cần đo so sánh với lượng đơn vị bằng dụng cụ đo hay đồng hồ chia độ theo đơn vị đo. Mục đích đo lường và đối tượng đo lường thống nhất với nhau. Đo trực tiếp có thể rất đơn giản nhưng có khi cũng rất phức tạp, thông thường ít khi gặp phép đo hoàn toàn trực tiếp. Ta có thể chia đo lường trực tiếp thành nhiều loại như :

- *Phép đo trực tiếp:* Ví dụ đo chiều dài bằng  $m$ , đo dòng điện bằng Ampemét, đo điện áp bằng Vônmet, đo nhiệt độ bằng nhiệt kế, đo áp suất...

- *Phép chỉ không (hay phép bù)*. Loại này có độ chính xác khá cao và phải dùng ngoại lực để tiến hành đo lường. Nguyên tắc đo của phép bù là đem lượng chưa biết cân bằng với lượng đo đã biết trước và khi có cân bằng thì đồng hồ chỉ không.

Ví dụ : cân, đo điện áp

- *Phép trùng hợp* : Theo nguyên tắc của thước cặp để xác định lượng chưa biết.

- *Phép thay thế* : Nguyên tắc là lần lượt thay đại lượng cần đo bằng đại lượng đã biết.

Ví dụ : Tìm giá trị điện trở chưa biết nhờ thay điện trở đó bằng một hộp điện trở và giữ nguyên dòng điện và điện áp trong mạch.

- *Phép cầu sai* : thay đại lượng không biết bằng cách đo đại lượng gần nó rồi suy ra. Thường dùng hiệu chỉnh các dụng cụ đo độ dài.

**Đo gián tiếp**: Lượng cần đo được xác định bằng tính toán theo quan hệ hàm đã biết đối với các lượng bị đo trực tiếp có liên quan.

- Đại lượng cần đo là hàm số của lượng đo trực tiếp  $Y = f(x_1, \dots, x_n)$

Ví dụ : Đo diện tích , công suất.

Trong phép đo gián tiếp mục đích và đối tượng không thống nhất, lượng chưa biết và lượng bị đo không cùng loại. Loại này được dùng rất phổ biến vì trong rất nhiều trường hợp nếu dùng cách đo trực tiếp thì quá phức tạp. Đo gián tiếp thường mắc sai số và là tổng hợp của sai số trong phép đo trực tiếp.

**Đo tổng hợp**: Là tiến hành đo nhiều lần ở các điều kiện khác nhau để xác định được một hệ phương trình biểu thị quan hệ giữa các đại lượng chưa biết và các đại lượng bị đo trực tiếp, từ đó tìm ra các lượng chưa biết.

Ví dụ : Đã biết qui luật dẫn nở dài do ảnh hưởng của nhiệt độ là :

$L = L_0 (1 + \alpha t + \beta t^2)$ . Vậy muốn tìm các hệ số  $\alpha$ ,  $\beta$  và chiều dài của vật ở nhiệt độ  $0^\circ\text{C}$  là  $L_0$  thì ta có thể đo trực tiếp chiều dài ở nhiệt độ  $t$  là  $L_t$ , tiến hành đo 3 lần ở các nhiệt độ khác nhau ta có hệ 3 phương trình và từ đó ta xác định được các lượng chưa biết bằng tính toán.

**Đo thống kê** : Để đảm bảo độ chính xác của phép đo nhiều khi người ta phải sử dụng phương pháp đo thống kê, tức là ta phải đo nhiều lần sau đó lấy giá trị trung bình.

Cách đo này đặc biệt hữu hiệu khi tín hiệu đo là ngẫu nhiên hoặc khi kiểm tra độ chính xác của một dụng cụ đo.

### 1.1.3. Dụng cụ đo lường

Dụng cụ để tiến hành đo lường bao gồm rất nhiều loại khác nhau về cấu tạo, nguyên lý làm việc, công dụng ... Xét riêng về mặt thực hiện phép đo thì có thể chia dụng cụ đo lường thành 2 loại, đó là: *vật đo* và *đồng hồ đo*.

**Vật đo** là biểu hiện cụ thể của đơn vị đo, ví dụ như quả cân, mét, điện trở tiêu chuẩn...

**Đồng hồ đo**: Là những dụng cụ có thể đủ để tiến hành đo lường hoặc kèm với vật đo. Có nhiều loại đồng hồ đo khác nhau về cấu tạo, nguyên lý làm việc... nhưng xét về tác dụng của các bộ phận trong đồng hồ thì bất kỳ đồng hồ nào cũng gồm bởi 3 bộ phận là bộ phận nhạy cảm, bộ phận chỉ thị và bộ phận chuyển đổi trung gian.

- *Bộ phận nhạy cảm* : (đồng hồ sơ cấp hay đầu đo) tiếp xúc trực tiếp hay gián tiếp với đối tượng cần đo. Trong trường hợp bộ phận nhạy cảm đứng riêng biệt và trực tiếp tiếp xúc với đối tượng cần đo thì được gọi là đồng hồ sơ cấp.

- *Bộ phận chuyển đổi* : Làm chuyển tính hiệu do bộ phận nhạy cảm phát ra đưa về đồng hồ thứ cấp, bộ phận này có thể chuyển đổi toàn bộ hay một phần, giữ nguyên hay thay đổi hoặc khuếch đại.

- *Bộ phận chỉ thị đồng hồ* : (Đồng hồ thứ cấp) căn cứ vào tín hiệu của bộ phận nhạy cảm chỉ cho người đo biết kết quả.

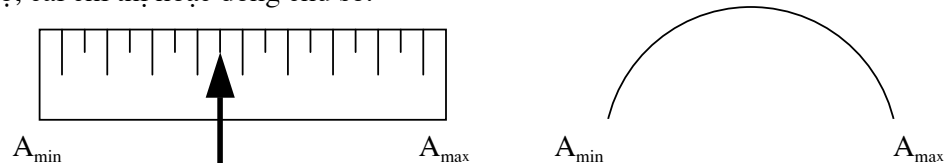
#### **Các loại đồng hồ đo:**

*Phân loại theo cách nhận được lượng bị đo từ đồng hồ thứ cấp*

+ *Đồng hồ so sánh*: Làm nhiệm vụ so sánh lượng bị đo với vật đo. Lượng bị đo được tính theo vật đo.

Ví dụ : cái cân, điện thế kế...

+ *Đồng hồ chỉ thị*: Cho biết trị số tức thời của lượng bị đo nhờ thang chia độ, cái chỉ thị hoặc dòng chữ số.



- Giới hạn đo dưới  $A_{\min}$  & Giới hạn đo trên  $A_{\max}$

- Khoảng cách giữa hai vạch gần nhất gọi là một độ chia.

Thước chia độ có thể 1 phía, 2 phía, chứa hoặc không chứa điểm 0.

- Giá trị của độ chia: là trị số biến đổi của lượng bị đo làm cho kim di chuyển 1 độ chia, độ chia có thể đều hay không đều tùy giá trị mỗi độ chia bằng nhau hay khác nhau. Có thể đọc trực tiếp hay phải nhân thêm các hệ số nào đó.

- Khoảng đo là khoảng chia của thang từ giới hạn dưới đến giới hạn trên.

+ *Đồng hồ tự ghi*: là đồng hồ có thể tự ghi lại giá trị tức thời của đại lượng đo trên giấy dưới dạng đường cong  $f(t)$  phụ thuộc vào thời gian. Đồng hồ tự ghi có thể ghi liên tục hay gián đoạn, độ chính xác kém hơn đồng hồ chỉ thị.

Loại này trên một băng có thể có nhiều chỉ số

+ *Đồng hồ tích phân*: là loại đồng hồ ghi lại tổng số vật chất chuyển qua trong một số thời gian nào đó như đồng hồ đo lưu lượng.

+ *Đồng hồ kiểu tín hiệu*: loại này bộ phận chỉ thị phát ra tín hiệu (ánh sáng hay âm thanh) khi đại lượng đo đạt đến giá trị nào đó 1 đồng hồ có thể có nhiều bộ phận chỉ thị.

*Phân loại theo các tham số cần đo*:

- + *Đồng hồ đo áp suất* : áp kế - chân không kế
- + *Đồng hồ đo lưu lượng* : lưu lượng kế
- + *Đồng hồ đo nhiệt độ* : nhiệt kế, hỏa kế
- + *Đồng hồ đo mức cao* : đo mức của nhiên liệu, nước.
- + *Đồng hồ đo thành phần vật chất* : bộ phân tích



## 1.2. CÁC THAM SỐ CỦA ĐỒNG HỒ

Trong thực tế giá trị đo lường nhận được từ đồng hồ khác với giá trị thực của lượng bị đo. Giá trị thực không biết được và người ta thay giá trị thực này bằng giá trị thực nghiệm, giá trị này phụ thuộc phẩm chất đồng hồ đo hay nói cách khác là các tham số của đồng hồ. Chúng ta chỉ xét đến những tham số chủ yếu có liên quan đến độ chính xác của số đo do đồng hồ cho biết, đó là : Sai số và cấp chính xác, biến sai, độ nhạy và hạn không nhạy.

### 1.2.1. Sai số và cấp chính xác

Trên thực tế không thể có một đồng hồ đo lý tưởng cho số đo đúng trị số thật của tham số cần đo. Đó là do vì nguyên tắc đo lường và kết cấu của đồng hồ không thể tuyệt đối hoàn thiện.

Gọi giá trị đo được là :  $A_d$

Còn giá trị thực là :  $A_t$

- Sai số tuyệt đối : là độ sai lệch thực tế

$$\gamma = A_d - A_t$$

- Sai số tương đối :  $\gamma_o = \frac{\gamma}{A_t} \cdot 100\%$

Trong thực tế ta tính :  $\gamma_o = \frac{\gamma}{A_d} \cdot 100\%$

- Sai số qui dẫn: là tỉ số giữa s.số tuyệt đối đối với khoảng đo của đồng hồ (%)

$$\delta_{qd} = \frac{\gamma}{A_{\max} - A_{\min}} \cdot 100\%$$

- Cấp chính xác : là sai số quy dẫn lớn nhất trong khoảng đo của đồng hồ

$$CCX = \delta_{qd}^{\max} = \left( \frac{\gamma_{\max}}{A_{\max} - A_{\min}} \right) \cdot 100 \%$$

Dãy cấp chính xác 0.1 ; 0.2 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2.5 ; 4.

Tiêu chuẩn để đánh giá độ chính xác của dụng cụ đo là CCX

Các dụng cụ đo có CCX = 0.1 hay 0.2 gọi là dụng cụ chuẩn. Còn dùng trong phòng thí nghiệm thường là loại có CCX = 0.5 , 1. Các loại khác được dùng trong công nghiệp. Khi nói dụng cụ đo có cấp chính xác là 1,5 tức là

$$S_{qd} = 1,5\%$$

*Các loại sai số định tính:* Trong khi sử dụng đồng hồ người ta thường để ý đến các loại sai số sau

- *Sai số cho phép:* là sai số lớn nhất cho phép đối với bất kỳ vạch chia nào của đồng hồ (với quy định đồng hồ vạch đúng t/c kỹ thuật) để giữ đúng cấp chính xác của đồng hồ.

- *Sai số cơ bản:* là sai số lớn nhất của bản thân đồng hồ khi đồng hồ làm việc bình thường, loại này do cấu tạo của đồng hồ.

- *Sai số phụ:* do điều kiện khách quan gây nên.

Trong các công thức tính sai số ta dựa vào sai số cơ bản còn sai số phụ thì không tính đến trong các phép đo.

### 1.2.2. Biến sai

Là độ sai lệch lớn nhất giữa các sai số khi đo nhiều lần 1 tham số cần đo ở cùng 1 điều kiện đo lường :  $|A_{dm} - A_{nd}|_{\max}$

*Chú ý :* Biến sai số chỉ của đồng hồ không được lớn hơn sai số cho phép của đồng hồ .

### 1.2.3. Độ nhạy

$$S = \frac{\Delta X}{\Delta A}$$



$\Delta X$  : độ chuyển động của kim chỉ thị (m ; độ ...)

$\Delta A$  : độ thay đổi của giá trị bị đo.

Ví dụ :  $S = \frac{3}{2} = 1,5 \text{ mm/}^{\circ}\text{C}$

- Ta có thể tăng độ nhạy bằng cách tăng hệ số khuếch đại (trong lúc này không được tăng sai số cơ bản của đồng hồ)

- Giá trị chia độ bằng  $1/s = C$  hay còn gọi là hằng số của dụng cụ đo

Giá trị của mỗi độ chia không được nhỏ hơn trị tuyệt đối của sai số cho phép của đồng hồ.

#### 1.2.4. Hạn không nhạy

Là mức độ biến đổi nhỏ nhất của tham số cần đo để cái chỉ thị bắt đầu làm việc.

Chỉ số của hạn không nhạy nhỏ hơn  $1/2$  sai số cơ bản.

\* Trong thực tế ta không dùng dụng cụ có độ nhạy cao vì làm kim dao động dẫn đến hỏng dụng cụ.

#### 1.2.5. Kiểm định đồng hồ

Xác định chất lượng làm việc của đồng hồ bằng cách so sánh với đồng hồ chuẩn để đánh giá mức độ làm việc.

**Nội dung:** Xét sai số cho phép : sai số cơ bản, biến sai, độ nhạy và hạn không nhạy của đồng hồ.

- Đối với đồng hồ dùng trong công nghiệp CCX 2.5 ... thì kiểm định  $3 \div 5$  vạch chia độ trong đó có Amin & Amax.

- Đồng hồ dùng trong phòng thí nghiệm : kiểm định  $10 \div 15$  vạch và sau khi kiểm tra dùng bảng bố chính. Thông thường dùng đồng hồ có CCX là 0.1 ; 0.2 để kiểm định các đồng hồ cấp chính xác lớn hơn 0.5 .. 1.

Các đồng hồ chuẩn cấp 1 có CCX < 0.1 thì kiểm định bằng phương pháp đặc biệt và dùng đồng hồ chuẩn gốc.

Đồng hồ chuẩn cấp 2 (CCX 0.1; 0.2) thì dùng đồng hồ chuẩn cấp 1 để kiểm định.

### 1.3. SAI SỐ ĐO LƯỜNG

Trong khi tiến hành đo lường, trị số mà người xem, đo nhận được không bao giờ hoàn toàn đúng với trị số thật của tham số cần đo, sai lệch giữa hai trị số đó gọi là sai số đo lường. Dù tiến hành đo lường hết sức cẩn thận và dùng các công cụ đo lường cực kỳ tinh vi ... cũng không thể làm mất được sai số đo

lượng, vì trên thực tế không thể có công cụ đo lường tuyệt đối hoàn thiện, người xem đo tuyệt đối không mắc thiếu sót và điều kiện đo lường tuyệt đối không thay đổi ...

Trị số đo lường chỉ là trị số gần đúng của tham số cần đo, nó chỉ có thể biểu thị bởi một số có hạn chữ số đáng tin cậy tùy theo mức độ chính xác của việc đo lường. Không thể làm mất được sai số đo lường và cũng không nên tìm cách giảm nhỏ nó tới quá mức độ có thể cho phép thực hiện vì như vậy rất tốn kém. Do đó người ta thừa nhận tồn tại sai số đo lường và tìm cách hạn chế sai số đó trong một phạm vi cần thiết rồi dùng tính toán để đánh giá sai số mắc phải và đánh giá kết quả đo lường.

Người làm công tác đo lường, thí nghiệm, cần phải đi sâu tìm hiểu các dạng sai số, nguyên nhân gây sai số để tìm cách khắc phục và biết cách làm mất ảnh hưởng của sai số đối với kết quả đo lường.

### 1.3.1. Các loại sai số

Tùy theo nguyên nhân gây sai số trong quá trình đo lường mà người ta chia sai số thành 3 loại sai số sau: - Sai số nhầm lẫn - Sai số hệ thống - và sai số ngẫu nhiên .

**1- Sai số nhầm lẫn:** Trong quá trình đo lường, những sai số do người xem đo đọc sai, ghi chép sai, thao tác sai, tính sai, vô ý làm sai .... được gọi là sai số nhầm lẫn. Sai số đó làm cho số đo được khác hẳn với các số đo khác, như vậy sai số nhầm lẫn thường có trị số rất lớn và hoàn toàn không có quy luật hơn nữa không biết nó có xuất hiện hay không, vì vậy nên rất khó định ra một tiêu chuẩn để tìm ra và loại bỏ những số đo có mắc sai số nhầm lẫn. Cách tốt nhất là tiến hành đo lường một cách cẩn thận để tránh mắc phải sai số nhầm lẫn. Trong thực tế cũng có khi người ta xem số đo có mắc sai số nhầm lẫn là số đo có sai số lớn hơn 3 lần sai số trung bình mắc phải khi đo nhiều lần tham số cần đo.

**2- Sai số hệ thống:** Sai số hệ thống thường xuất hiện do cách sử dụng đồng hồ đo không hợp lý, do bản thân đồng hồ đo có khuyết điểm, hay điều kiện đo lường biến đổi không thích hợp và đặc biệt là khi không hiểu biết kỹ lưỡng tính chất của đối tượng đo lường... Trị số của sai số hệ thống thường cố định hoặc là biến đổi theo quy luật vì nói chung những nguyên nhân tạo nên nó cũng là những nguyên nhân cố định hoặc biến đổi theo quy luật. Vì vậy mà chúng ta có thể làm mất sai số hệ thống trong số đo bằng cách tìm các trị số bổ chính hoặc là sắp xếp đo lường một cách thích đáng.