

XỬ LÝ THỐNG KÊ SỐ LIỆU THỰC NGHIỆM TRONG PHÒNG THÍ NGHIỆM

Tác giả: Nguyễn Văn Lâm, PGS/TS

CHƯƠNG 1

Một số khái niệm về đo lường

Đo lường học là một môn khoa học nghiên cứu về các phép đo, bảo đảm tính thống nhất và độ chính xác cần thiết trong mọi lĩnh vực của nền kinh tế quốc dân. Tính thống nhất của phép đo biểu hiện bằng những đơn vị hợp pháp có mức tin cậy quy định. Độ chính xác của phép đo phản ánh chất lượng đo, thể hiện mức tiệm cận của kết quả đo với giá trị thực của đại lượng đo.

Các lĩnh vực chủ yếu mà môn đo lường học đề cập là :

Lý thuyết đo - phần nghiên cứu lý thuyết chung về phép đo, về đại lượng và đơn vị, về sai số, về phương pháp xử lý kết quả đo, v.v..

Kỹ thuật đo - phần nghiên cứu về tính chất và công dụng của phương tiện đo như phân loại phương tiện đo, các đặc trưng đo lường cơ bản, sai số định mức, v.v..

Đo lường pháp quyền - phần nghiên cứu về tổ chức, điều lệ, quy định và biện pháp chung để bảo đảm tính thống nhất và độ chính xác cần thiết của các phép đo.

Giáo trình sẽ đề cập một số nét cơ bản của hai lĩnh vực đầu.

1. PHÉP ĐO

Phép đo là tập hợp các thao tác thực nghiệm dựa trên các phương tiện kỹ thuật đặc biệt nhằm đạt một giá trị bằng số của đại lượng đo. Ví dụ : Một đại lượng có độ dài Q , dùng một thước đo có đơn vị dài u thì giá trị độ dài đọc được sẽ là $A = Q/u$.

1.1 Phân loại phép đo

Theo cách nhận **kết quả** đo, có :

Phép đo trực tiếp: Giá trị đo nhận trực tiếp từ đại lượng đo khi đại lượng đo được đem so sánh trực tiếp với vật đo hoặc với thiết bị đo có khắc đơn vị. Ví dụ : đo độ dài bằng thước cặp, đo thể tích bằng bình định mức,...Phép đo này được áp dụng rất phổ biến.

Phép đo gián tiếp: Giá trị đo xác định qua mối liên hệ giữa đại lượng đo với một đại lượng khác được xác định bằng phép đo trực tiếp. Mối liên hệ có dạng chung:

$$Q = f(X_1, X_2, \dots)$$

Ví dụ: Xác định điện trở suất ρ của một vật dẫn thông qua phép đo trực tiếp điện trở R , tiết diện S và chiều dài L của đoạn dây :

$$\rho = (R \times S)/L$$

Phép đo áp dụng cho những đại lượng chưa có thể đo trực tiếp, những đại lượng vĩ mô (khoảng cách thiên văn) hoặc đại lượng vi mô (nguyên tử, hạt nhân).

Phép đo hợp bộ: Đo đồng thời một số đại lượng cùng loại và giá trị đại lượng đo xác định bằng cách giải hệ phương trình nhận được từ kết quả phép đo trực tiếp các tập hợp khác nhau của những đại lượng trên. Ví dụ cần hiệu chỉnh khối lượng của một bộ quả cân gồm quả 1 kg, 2 kg, 2' kg, 5 kg, 10 kg theo khối lượng quả cân chuẩn 1* kg, ta lần lượt thực hiện :

$$1 = 1^* + a \quad (1)$$

$$1 + 1^* = 2 + b \quad (2)$$

$$2' = 2 + c \quad (3)$$

$$1 + 2 + 2' = 5 + d \quad (4)$$

$$1 + 2 + 2' + 5 = 10 + e \quad (5)$$

trong đó a, b, c, d, e là các khối lượng cần thêm vào hoặc bớt đi so với quả cân cần hiệu chỉnh. Giải hệ 5 phương trình trên, sẽ được khối lượng từng quả cân theo khối lượng quả cân chuẩn 1* kg và các giá trị a, b, c, d, e .

Phép đo phối hợp: Các phép đo đồng thời hai hay một số đại lượng khác loại để tìm mối liên quan phụ thuộc giữa chúng. Ví dụ phép đo hệ số điện trở theo nhiệt độ quy về nhiệt độ chuẩn 20 °C.

Theo **thời gian**, các phép đo được chia ra :

Phép đo tĩnh: Đại lượng đo được coi như không đổi trong khoảng thời gian đủ để đọc và ghi kết quả đo, khi phương tiện đo làm việc trong chế độ tĩnh và tín hiệu ra coi như không đổi. Ví dụ các phép đo độ dài, khối lượng, dung tích, ...

Phép đo động: Khi đại lượng đo $Q(t)$ biến thiên quá nhanh theo thời gian, tín hiệu ra $R(t)$ tuy cũng biến thiên nhưng không kịp phản ánh đúng giá trị tức thời (do quán tính, ma sát của dụng cụ đo,...). Phải nghiên cứu các đặc trưng động của phương tiện đo như : thời gian ổn định, phương trình biểu thị quan hệ tín hiệu đầu ra và đầu vào $R = \beta.Q$. Ví dụ đo nồng độ, thành phần khí trong một công đoạn sản xuất.

Theo cách **biểu thị kết quả**, các phép đo chia ra :

Phép đo tuyệt đối: Kết quả đo tính bằng đơn vị đo hoặc hằng số vật lý.

Phép đo tương đối: Kết quả đo là tỷ số của đại lượng cần đo và một đại lượng cùng loại được chọn làm đơn vị hoặc được quy định làm gốc, thường biểu thị bằng hư số, bằng %, bằng ppm (phần triệu),.... Ví dụ độ ẩm không khí bằng tỷ số khối lượng hơi nước trong

1 m³ không khí và lượng hơi nước bão hòa trong 1 m³ không khí cùng nhiệt độ, hàm lượng một loại độc tố trong nước được tính bằng ppm.

Theo độ **chính xác** của kết quả, phép đo chia ra :

Phép đo chính xác cao nhất: Kết quả đo có độ chính xác cao nhất mà trình độ khoa học kỹ thuật hiện tại đạt được . Ví dụ phép đo các chuẩn độ dài 1 m, chuẩn khối lượng 1 kg, ...các hằng số vật lý như gia tốc rơi tự do, khối lượng nguyên tử.

Phép đo kiểm tra - kiểm chứng: Phép đo mà sai số được tính toán và kết quả báo cáo phải ghi kèm độ không đảm bảo (theo TCVN 5958 : 1998).

Phép đo kỹ thuật: Sai số kết quả đo được quy định sẵn bởi các đặc trưng phương tiện đo.

1.2 Các đặc trưng chính của phép đo

Để so sánh đánh giá chất lượng phép đo, cần căn cứ trên:

Nguyên lý đo: Đó là tập hợp các hiện tượng vật lý làm cơ sở cho phép đo. Ví dụ khối lượng có được do cân dựa trên hiện tượng trọng lượng của vật tỷ lệ thuận với khối lượng. Có thể dùng nhiều nguyên lý khác nhau để đo một đại lượng và do đó mỗi nguyên lý đều có ưu điểm và nhược điểm riêng.

Phương pháp đo: Tập hợp các cách sử dụng nguyên lý và phương tiện đo. Ví dụ phương pháp so sánh trực tiếp, phương pháp vi sai, phương pháp trùng, phương pháp bù, v.v.. (nói kỹ ở Mục 4).

Sai số của phép đo Δ : Đó là độ lệch của kết quả đo X_d với giá trị thực X_t của đại lượng đo, ký hiệu bằng Δ :

$$\Delta = X_d - X_t$$

đôi khi được biểu thị bằng giá trị tương đối δ :

$$\delta = \frac{\Delta}{X_t}$$

Sai số phép đo do nhiều nguyên nhân như phương pháp đo không hoàn chỉnh, phương tiện đo không hiệu chuẩn, hiệu chỉnh, điều kiện đo không ổn định, thao tác đo không cẩn thận, đại lượng đo biến thiên, ...

Chất lượng của một phép đo: có thể tính theo:

$$\delta_{\max}(\%) = \frac{\Delta_{\max}}{X_d} \times 100$$

và được xem là:

cao	khi $\delta_{\max} \leq 2\%$
trung bình	khi $2 < \delta_{\max} \leq 5\%$
thấp	khi $5 < \delta_{\max} \leq 10\%$

rất thấp khi $\delta_{\max} > 10\%$

Độ chính xác của phép đo ε : phản ánh chất lượng phép đo, là độ tiệm cận với giá trị thực của đại lượng đo, được biểu thị bằng giá trị nghịch đảo của sai số tương đối δ :

$$\varepsilon = \frac{1}{\delta}$$

Cấp chính xác c_{cx} của thiết bị đo thường được xét theo sai số cho phép $[\Delta]$ của kết quả đo so với hiệu số giá trị lớn nhất và bé nhất trên thang đo X_{\max} .

$$c_{cx} = \frac{[\Delta]}{X_{\max}} \times 100 \quad \text{từ đó} \quad [\Delta] = \frac{c_{cx} \times X_{\max}}{100}$$

Trong kiểm chứng phương tiện đo, nếu bất kỳ kết quả đo nào sai lệch với kết quả đọc trên thiết bị chuẩn một lượng Δ không vượt quá $[\Delta]$, phương tiện đo đó sẽ được coi như vẫn còn ở tình trạng tốt.

Độ đúng của phép đo: phản ánh chất lượng phép đo, là sự tiến đến "0" của sai số hệ thống trong kết quả đo, nó phụ thuộc vào sự đúng đắn của phương tiện được sử dụng.

Độ lặp lại của phép đo: phản ánh chất lượng phép đo, là sự gần nhau giữa các kết quả đo thực hiện trong cùng một điều kiện.

Độ tái lập của phép đo: phản ánh chất lượng phép đo, là sự gần nhau giữa các kết quả đo trong những điều kiện khác nhau (như thời gian, địa điểm, phương pháp, phương tiện đo, người đo,...)

Độ không đảm bảo của kết quả đo: theo một mức tin cậy chọn trước nói lên phạm vi mà giá trị thực của đại lượng đo có thể tồn tại. Nếu ký hiệu độ không đảm bảo của kết quả đo bằng giá trị U và kết quả đo bằng X thì phạm vi đó là $X \pm U$.

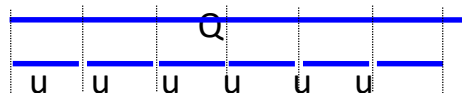
2. BẢN CHẤT CỦA KẾT QUẢ ĐO

2.1 Bản chất của kết quả đo

Đo một đại lượng có nghĩa là so sánh nó với đơn vị đo nhờ một dụng cụ đo xem nó bằng bao nhiêu lần đơn vị đo (số lần có thể là nguyên hay thập phân).

Nếu gọi Q là đại lượng cần đo, u là đơn vị đo thì số đo A của đại lượng đó tính bằng :

$$A = \frac{Q}{u}$$



Điều này được minh họa ở hình bên. Nếu u thay đổi (nhỏ đi hay lớn lên) thì A cũng thay đổi theo (lớn lên hay nhỏ đi). Do vậy, ta có :

$$Q = A_1 \cdot u_1 = A_2 \cdot u_2 = \dots = A_n \cdot u_n$$

dẫn đến
$$\frac{u_n}{u_1} = \frac{A_1}{A_n} = \frac{n \cdot u_1}{u_1} = n$$

Ví dụ : Một thanh thép có chiều dài L, đo bằng đơn vị $u_1 = 1 \text{ mm}$ có số đo $A_1 = 156 \text{ mm}$, nếu dùng đơn vị $u_n = 1 \text{ m}$ thì L có số đo A_n tính như sau :

Vì $\frac{u_n}{u_1} = 1000$ nên $A_n = \frac{A_1}{1000}$ tức là $A_n = 0,156 \text{ m}$.

Bài tập 1.1

a. Lập công thức chuyển đổi lực kéo với số đo F_G tính bằng đơn vị gam-lực (gf) sang số đo F_N tính bằng đơn vị newton (N) biết rằng 1 đơn vị gf bằng 0,009 81 đơn vị N.

b. Lập công thức chuyển đổi nhiệt độ đo trên thang Celsius sang nhiệt độ đo trên thang Fahrenheit và ngược lại, biết rằng $0 \text{ }^\circ\text{C}$ tương đương với $32 \text{ }^\circ\text{F}$ và $100 \text{ }^\circ\text{C}$ tương đương với $212 \text{ }^\circ\text{F}$.

c. Một mẫu thử có diện tích S (mm^2) được nén cho đến hỏng bởi lực F (kN). Tính ứng suất nén σ_N của mẫu theo đơn vị đo MPa biết rằng $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$.

2.2 Đơn vị đo

Những đơn vị đo lường hiện nay được thế giới thống nhất sử dụng là những đơn vị của hệ SI (Système International - Hệ Quốc tế). Một hệ đơn vị bao giờ cũng gồm một số đơn vị cơ bản và các đơn vị dẫn xuất.

Đơn vị cơ bản là những đơn vị lập nên theo một quy ước nào đó và chúng độc lập với nhau. Hệ SI gồm 7 đơn vị cơ bản sau :

1. Chiều dài - mét (m)
2. Khối lượng - kilôgam (kg)
3. Thời gian - giây (s)
4. Nhiệt độ - kelvin (K)
5. Cường độ dòng điện - ampe (A)
6. Cường độ sáng - candela (cd)
7. Lượng vật chất - mol (mol)

Những đơn vị dẫn xuất của hệ SI được lập nên từ các đơn vị cơ bản, ví dụ Hz (héc - đơn vị tần số), N (niutơn - đơn vị lực), Pa (pascal - đơn vị áp suất), J (joule - đơn vị công, năng lượng, nhiệt lượng), W (watt, đơn vị công suất), v.v..

Mỗi đơn vị có quy định gắn tiếp đầu ngữ chỉ ước số và bội số như sau:

Tên		Ký hiệu	Thừa số
Quốc tế	Việt Nam		
Bội			
yotta	yôttô	Y	1 000 000 000 000 000 000 000 000 = 10^{24}
zetta	zettô	Z	1 000 000 000 000 000 000 000 = 10^{21}
exa	exa	E	1 000 000 000 000 000 000 = 10^{18}
peta	peta	P	1 000 000 000 000 000 = 10^{15}
tera	tera	T	1 000 000 000 000 = 10^{12}
giga	giga	G	1 000 000 000 = 10^9
mega	mega	M	1 000 000 = 10^6
kilo	kilô	k	1 000 = 10^3
hecto	hectô	h	100 = 10^2
deca	deca	da	10 = 10^1
Ước			
deci	deci	d	0,1 = 10^{-1}
centi	centi	c	0,01 = 10^{-2}
milli	mili	m	0,001 = 10^{-3}
micro	micrô	μ	0,000 001 = 10^{-6}
nano	nanô	n	0,000 000 001 = 10^{-9}
pico	picô	p	0,000 000 000 001 = 10^{-12}
femto	femtô	f	0,000 000 000 000 001 = 10^{-15}
atto	attô	a	0,000 000 000 000 000 001 = 10^{-18}
zepto	zeptô	z	0,000 000 000 000 000 000 001 = 10^{-21}
yocto	yoctô	y	0,000 000 000 000 000 000 000 001 = 10^{-24}

Hiện nay trên thế giới, không những trong sinh hoạt, thương mại mà kể cả trong kỹ thuật, người ta vẫn còn dùng các đơn vị đo không theo hệ SI (nhất là ở những phòng thí nghiệm còn sử dụng trang thiết bị thí nghiệm cũ).

Trong kết quả báo cáo thí nghiệm, cần phải chuyển sang sử dụng đơn vị đo lường theo hệ SI qua các công thức chuyển đổi. Ngoài ra, cũng cần lưu ý một số quy định mới của ISO trong cách viết ký hiệu đơn vị, ví dụ giờ - h; phút - min, giây - s, ngày - d, lít - L; tấn - t (bằng Mg hay 10^3 kg); pascal (1 Pa bằng 1 N/m^2), bar (1 bar bằng 10^5 Pa), v.v... Không được viết Kg thay cho kg, μ (micron) thay cho μm .

Về cách ghi ký hiệu đơn vị cùng với giá trị, lưu ý SI có một số quy ước như sau :

- Về nhiệt độ, đơn vị viết là kelvin (ký hiệu K) chứ không viết Kelvin hoặc độ kelvin; cũng được viết độ Celsius chứ không viết độ bách phân.

- Không được thêm chữ “s” (chỉ số nhiều) sau ký hiệu đơn vị. Ví dụ 10 kgs (sai) và 10 kilograms (được phép).

3. PHƯƠNG TIỆN ĐO

3.1 Vật đo

Vật đo là phương tiện đo thể hiện một hay nhiều giá trị của đại lượng. Tùy theo cách thể hiện giá trị của đại lượng vật lý, nó được chia ra :

Vật đo đơn trị : thể hiện một giá trị của đại lượng, ví dụ các quả cân là vật đo khối lượng, miếng can chuẩn là vật đo độ dài, các mẫu chất chuẩn về độ tinh khiết v.v..

Vật đo đa trị : thể hiện một dãy giá trị liên tiếp của đại lượng, ví dụ thước vạch dài 500 mm có vạch chia tới milimét, tụ xoay có điện dung biến thiên 0-150 pF, v.v..

Bộ vật đo : gồm một số vật đo được chọn lọc và sử dụng kết hợp với nhau để thể hiện một dãy giá trị khác nhau của đại lượng, ví dụ bộ quả cân phân tích (gồm một quả 1 mg, hai quả 2 mg, một quả 5 mg, một quả 10 mg).

Vật đo có những đặc trưng chính như : *giá trị danh định* (ghi khắc trên vật đo), *giá trị thực tế* (giá trị đã loại trừ sai số hệ thống, xác định bởi phương tiện đo có cấp chính xác cao hơn), *sai số* và *số hiệu chính*. Vật đo có thể dùng đo trực tiếp một vài đại lượng nào đó hoặc đo thông qua một dụng cụ đo.

3.2 Dụng cụ đo

Dụng cụ đo là phương tiện gồm những khâu, những chi tiết cảm nhận được đại lượng đo hoặc đại lượng có quan hệ hàm với một hiện tượng vật lý, có thể biến đổi tín hiệu cảm nhận thành chỉ số để người quan sát đọc hoặc ghi lại. Dụng cụ đo có thể kèm thêm hoạt động điều chỉnh, phát tín hiệu, định lượng, v.v..

Các loại dụng cụ đo

Căn cứ theo cách thu nhận giá trị đo, dụng cụ đo được chia ra :

Dụng cụ đo trực tiếp: được dùng phổ biến, tác động trực tiếp lên đại lượng đo và giá trị đo được biểu hiện trên thang đo, ví dụ máy thử kéo, nhiệt kế, áp kế, cân đồng hồ, v.v.. Đặc điểm của loại dụng cụ này là khả năng đo nhanh, bền nhưng độ chính xác không cao vì một phần năng lượng của đối tượng đo bị tiêu hao trong quá trình đo.

Dụng cụ đo so sánh: so sánh trực tiếp đại lượng đo với đại lượng có giá trị đã biết (như vật đo, bộ vật đo). Vật đo chuẩn có độ chính xác cao có thể được lắp sẵn trong dụng cụ đo hoặc đi kèm. Cân đĩa, áp kế pistông, cầu đo điện trở, vôn kế hiện số, v.v.. thuộc loại dụng cụ đo này. Đặc điểm là có độ chính xác cao nhưng thao tác mất nhiều thời gian và đòi hỏi điều kiện đo nghiêm ngặt.

Căn cứ theo cách thể hiện giá trị đo, dụng cụ đo được chia ra :

Dụng cụ đo chỉ thị: cho phép đọc trực tiếp các số chỉ, có thể là dụng cụ đo liên tục nếu số chỉ có dạng hàm liên tục của đại lượng đo hoặc dụng cụ đo hiện số nếu dụng cụ tự động biến đổi thông tin thành tín hiệu gián đoạn dạng số. Dụng cụ đo liên tục thuộc nhóm đo trực tiếp, còn dụng cụ đo hiện số thuộc nhóm đo gián tiếp và có độ chính xác cao hơn.

Dụng cụ đo ghi hoặc in: cơ cấu ghi phản ánh sự biến thiên liên tục của đại lượng đo theo thời gian bằng một đường liên tục trên băng giấy hoặc bằng các chấm gián đoạn sau từng khoảng thời gian nhất định, còn ở dụng cụ đo in, giá trị đại lượng đo thể hiện bằng con số in trên băng giấy.

Ngày nay, ở loại hiện số, tín hiệu ra có thể đưa trực tiếp vào máy tính để xử lý số liệu và tiếp tục điều khiển quá trình sản xuất. Còn loại ghi và chỉ thị bằng kim thì kim được liên hệ với công tắc tiếp xúc hoặc rơ le đóng ngắt để điều khiển tự động quá trình sản xuất.

Dụng cụ đo có thể làm việc trong phòng thí nghiệm hoặc phục vụ công tác kiểm tra kỹ thuật ở cơ sở sản xuất, trong đó loại dùng trong phòng thí nghiệm có đo chính xác cao hơn.

Theo chu kỳ thời gian, dụng cụ đo dùng trong phòng thí nghiệm phải được *hiệu chuẩn* bởi các đơn vị hiệu chuẩn được công nhận và có liên kết chuẩn.

Khi hiệu chuẩn, chỉ thị của dụng cụ đo được so sánh với chỉ thị của dụng cụ chuẩn có cấp chính xác cao hơn, từ đó xác nhận độ không đảm bảo hiệu chuẩn của dụng cụ đo dựa trên các sai số hệ thống và sai số ngẫu nhiên trong quá trình hiệu chuẩn.

Dụng cụ đo dùng trong kiểm tra kỹ thuật hoặc trong sản xuất cũng theo chu kỳ thời gian được *kiểm định và hiệu chuẩn* bởi các tổ chức kiểm định được chỉ định và các tổ chức hiệu chuẩn nhằm mục đích xác định dụng cụ đo lường có còn bảo đảm cấp chính xác; liên kết chuẩn và có thể được tiếp tục sử dụng hay không.

Các đặc trưng đo lường học của dụng cụ đo

Các đặc trưng cơ bản của dụng cụ đo là :

Độ sai: thể hiện bởi sai lệch giữa số chỉ thị của dụng cụ đo với giá trị thực của đại lượng đo.

Độ đúng: thể hiện mức độ gần của số chỉ thị với giá trị thực của đại lượng đo và tính bằng nghịch đảo với độ sai.

Độ nhạy (S): của dụng cụ đo được xác định bằng tỷ số giữa lượng dịch chuyển thẳng hoặc cong của kim chỉ của dụng cụ (Δn) với lượng biến đổi (ΔA) của đại lượng đo gây bởi lượng dịch chuyển đó :

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

Nếu Δn biểu thị bằng số vạch chia của thang đo và ΔA tính bằng đơn vị đo của thang đo thì đại lượng c , nghịch đảo của độ nhạy, bằng giá trị một vạch chia của thang đo :

$$c = \frac{1}{S} = \frac{\Delta A}{\Delta n}$$

Khi giảm dần ΔA bé đến mức mà không gây nên chút dịch chuyển nào của kim, khi đó $\Delta n = 0$. Điều này thường xảy ra do sự ma sát hoặc sự rơ trong các chi tiết của dụng cụ đo. Giá trị lớn nhất p mà đại lượng đo có thể biến đổi khi $\Delta n = 0$ gọi là *ngưỡng độ nhạy*. Khi đó:

$$\Delta A \leq p \text{ thì } \Delta n = 0$$

và khi

$$\Delta A > p \text{ thì } \Delta n > 0$$

Hằng số dụng cụ đặc trưng cho tính bền vững của số chỉ thị của dụng cụ đo trong cùng điều kiện sử dụng. Nó được xét theo **độ biến động**, tức là sai lệch lớn nhất giữa các số chỉ lặp đi lặp lại nhiều lần tương ứng với cùng giá trị thực của đại lượng đo.

Với các dụng cụ đo của phòng thí nghiệm, độ biến động không vượt quá 0,2 giá trị vạch chia thang đo, còn dụng cụ đo dùng trong kiểm tra kỹ thuật thì cho phép độ biến động đến 0,5 giá trị vạch chia thang đo.

4. PHƯƠNG PHÁP ĐO

Các phép đo trực tiếp và gián tiếp được tiến hành theo các phương pháp cơ bản sau:

Phương pháp đánh giá trực tiếp: Giá trị đại lượng đo được đọc trực tiếp trên bộ phận chỉ của dụng cụ đo sau khi đưa đối tượng đo vào phương tiện đo. Ví dụ cân một vật trên cân đồng hồ, đo nhiệt độ dung dịch bằng nhiệt kế. Phương pháp rất đơn giản, mất ít thời gian, không cần tính toán nên được áp dụng nhiều. Độ chính xác của phương pháp này không cao do sai số khắc độ thang đo, sai số đọc, sai số do các đại-lượng-ảnh-hưởng v.v..

Phương pháp so sánh: Đại lượng đo được so sánh với một đại lượng vật đo có giá trị điều chỉnh được và có độ chính xác cao đã được lắp sẵn trên thiết bị đo. Phương pháp này có độ chính xác cao hơn phương pháp đánh giá trực tiếp. Sai số của nó chủ yếu phụ thuộc sai số vật đo và độ nhạy của dụng cụ chỉ thị. Phương pháp so sánh còn phân thành các phương pháp sau :

Phương pháp vi sai: Giá trị của vật đo được chọn gần với giá trị của đại lượng đo. Người ta đo giá trị sai lệch giữa giá trị vật đo và giá trị đại lượng đo. Với một vật đo có độ chính xác cao, chỉ cần một dụng cụ đo thông thường (độ chính xác thấp) cũng vẫn thu được kết quả đo chính xác cao. Ví dụ để đo độ dài thanh kim loại x , ta đo chênh lệch a giữa x và thước chuẩn có độ dài L đã biết độ chính xác. Sai số đo của a là $\pm\alpha$. Kết quả đo a sẽ là $a \pm \alpha$ hay $a(1 \pm \alpha/a)$ với α/a là sai số tương đối của phép đo a . Tương tự, phép đo x sẽ được biểu thị bằng :

$$x = L + a[1 \pm \alpha/(L+a)] \text{ với } \alpha/(L+a) \text{ là sai số tương đối của phép đo } x.$$

So sánh hai biểu thức sai số tương đối, ta thấy : $\alpha/(L+a) \ll \alpha/a$ rất nhiều vì L rất lớn so với a .

Giả sử $L = 100 \text{ mm}$, $a = 1 \text{ mm}$ và $\alpha/a = 1 \%$ tức 0,01 thì $\alpha/(L+a) \approx \alpha/L = 0,0001$ tức 0,01 %.

Phương pháp chỉ "0": Đại lượng đo và vật đo (cùng bản chất) tác dụng đồng thời lên vật chỉ thị. Điều chỉnh vật đo cho tới khi dụng cụ chỉ thị đạt trạng thái cân bằng, lúc đó giá trị đại lượng đo bằng giá trị vật đo. Ví dụ cân có tay đòn cân bằng áp dụng phương pháp chỉ "0". Vật đo trong phương pháp này có giá trị điều chỉnh được, ví dụ hộp điện trở biến đổi, bộ quả cân, v.v.. Cũng có thể vật đo có giá trị cố định nhưng thay đổi tác dụng lên dụng

cụ để có được những giá trị khác nhau. Phương pháp chỉ “0” áp dụng rộng rãi trong đo lường điện, khối lượng, quang học, nhiệt học,...cho độ chính xác cao.

Phương pháp thế: Đại lượng đo được thay thế bởi đại lượng thể hiện bằng vật đo khi đo. Thực chất của phép đo này là tạo trạng thái cân bằng thiết bị có đại lượng đo, sau đó thay đại lượng đo bằng vật đo và điều chỉnh vật đo sao cho thiết bị đạt trạng thái cân bằng cũ. Phương pháp thế là một trong các phương pháp đo loại trừ được sai số hệ thống của phương tiện đo và đạt được độ chính xác cao. Trong phép đo khối lượng, phương pháp này cho kết quả chính xác nhất và đôi khi được gọi là phương pháp cân lặt hoặc phương pháp cân Borda.

Phương pháp trùng: Giá trị đại lượng đo được xác định bằng cách tìm sự trùng khớp của vạch trên thang đo hoặc của tín hiệu thể hiện giá trị đại lượng đo với vạch hoặc tín hiệu tương tự của đại lượng cùng loại có giá trị đã biết chính xác. Ví dụ muốn biết 1 inch bằng bao nhiêu mm, ta đặt hai thước khắc vạch theo mm và theo inch cạnh nhau sao cho số “0” của chúng trùng nhau rồi quan sát kỹ trên hai thước tìm một cặp vạch khác trùng khít nhau ví dụ vạch 254 mm trùng với vạch 10 inch, từ đó suy ra 1 inch = 25,4 mm.

Du xích trên thước cặp được chế tạo theo nguyên lý của phương pháp trùng. Thang chính của thước cặp khắc vạch mm, thang du xích có 10 vạch, giá trị mỗi vạch bằng 0,9 mm làm cho độ chênh giữa giá trị vạch trên thang chính và thang du xích là 0,1 mm. Khi vạch “0” của thang du xích nằm giữa một vạch nào đó trên thang chính có nghĩa là ngoài phần nguyên mm đọc trên thang chính còn phải cộng thêm một số phần mười mm (0,1mm) nào đó (gọi là x). Để xác định x, ta xem vạch thứ mấy của thang du xích trùng khít với một vạch nào đó của thang chính, ví dụ vạch số 6. Vậy :

$$0,1 \text{ (mm)} \cdot x = 1 \text{ (mm)} \times 6 - 0,9 \text{ (mm)} \times 6 = 0,1 \text{ (mm)} \times 6 = 0,6 \text{ mm}$$

5. SAI SỐ

Dù có sử dụng dụng cụ đo chính xác bao nhiêu, thao tác đo cẩn thận đến mấy, kết quả đo lường, thử nghiệm luôn luôn chỉ là số **gần đúng** với giá trị thực của đại lượng cần đo. Có điều này bởi vì bất kỳ dụng cụ đo và phương pháp đo nào cũng có thiếu sót và tạo nên sai số.

5.1 Sai số tuyệt đối

Giả sử giá trị thực (giá trị đúng) của đại lượng cần đo là X (không thể biết được) và giá trị đo được là số đo A. Sai số của kết quả đo Δ được định nghĩa là :

$$\Delta = |A - X|$$

Hiệu số Δ gọi là **sai số tuyệt đối**. Vì X không thể biết nên Δ cũng không thể biết. Trong thực tế, chỉ có thể phỏng đoán một giá trị sai số giới hạn mà Δ không thể vượt quá và thường người ta chấp nhận trường hợp xấu nhất với giá trị sai số giới hạn Δ_{\max} đó. Ví dụ khi đo đường kính D của một thanh hình trụ bằng thước cặp có du xích có độ phân giải

0,02 mm, nếu D gần với 15,26 sẽ được chọn D = 15,26 mm, nếu D gần với 15,24 sẽ được chọn D = 15,24 mm. Như vậy giá trị đo dù có sai với giá trị thực nhưng sai số không vượt quá giới hạn $\Delta_{\max} = 0,01$ mm.

5.2 Sai số tương đối

Một phép đo sẽ được đánh giá có độ chính xác cao hay thấp là dựa vào *sai số tương đối* δ của nó với định nghĩa như sau :

$$\delta = \frac{\Delta}{X}$$

Cũng như công thức tính Δ nêu trên, công thức này dùng để định nghĩa chứ không thực hiện tính toán được. Trong thực tế, chỉ có thể tính sai số tương đối theo :

$$\delta = \frac{\Delta_{\max}}{A} \text{ hoặc } \delta\% = \frac{\Delta_{\max}}{A} 100$$

Đối với dụng cụ đo có tải trọng lớn nhất A_{\max} , người ta quy ước *cấp chính xác* (c_{cx}) của nó theo :

$$c_{cx} = \frac{\Delta_{\max}}{A_{\max}} 100$$

Những dụng cụ đo lường trong *phòng thí nghiệm* nên chọn các cấp chính xác :

$$0,02 - 0,05 - 0,1$$

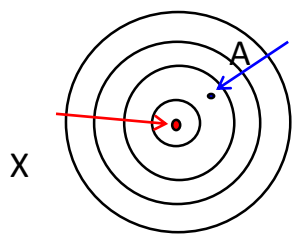
và những dụng cụ đo lường trong *kiểm tra quá trình công nghệ* nên có cấp chính xác :

$$0,5 - 1,0 - 1,5$$

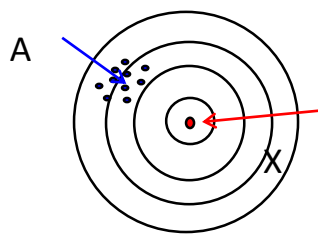
Như vậy, dụng cụ đo có c_{cx} càng nhỏ thì cấp chính xác càng cao. Những phép đo nên được thực hiện trong phạm vi từ 25 % đến 75 % giá trị lớn nhất của thang đo, khi đó sai số tương đối của phép đo không vượt quá 4 lần giá trị c_{cx} của dụng cụ đo. Những số đo tốt nhất xảy ra ở giữa thang đo, xấp xỉ 50 % giá trị lớn nhất của thang đo, khi đó sai số tương đối của mỗi phép đo cũng xấp xỉ gấp 2 lần giá trị c_{cx} . Bởi vậy, cần dựa vào sai số tương đối ấn định cho mỗi phép đo của các bài thí nghiệm cụ thể để trang bị dụng cụ đo hoặc máy đo có cấp chính xác phù hợp.

Bài tập 1.2 : Độ bền kéo trung bình của các mẫu thử là 50 kN. Hãy chọn máy thử kéo cấp chính xác 0,05 thể hiện qua tải trọng tối đa A_{\max} và giá trị vạch chia nhỏ nhất của thang đo a .

Việc đo một đại lượng có thể ví như công việc bắn bia được minh họa theo hình vẽ dưới đây nhưng với điều kiện người ngắm bắn (người đo) bị bị mắt :



Đo 1 lần



Đo 10 lần

Sai số kết quả thử nghiệm bao gồm hai loại là sai số ngẫu nhiên và sai số hệ thống:

$$\Delta = \Delta_R + \Delta_S$$

5.3 Sai số ngẫu nhiên

Sai số ngẫu nhiên Δ_R do những yếu tố “ngẫu nhiên” không lường trước được gây ra. Các yếu tố này có thể là do tính không đồng nhất của chất lượng mẫu, do tính bất nhất trong thao tác của người làm thí nghiệm (khi đong, đo, đọc), do tính không ổn định của dụng cụ đo, v.v.. Chỉ có thể dễ dàng phát hiện sai số ngẫu nhiên khi thực hiện phép đo lặp, tức quan trắc nhiều lần. Trên hình vẽ, khi bắn 10 lần, độ tập trung (precision) mạnh hay yếu của các vết đạn biểu hiện rõ sai số ngẫu nhiên. Sai số ngẫu nhiên sẽ giảm khi tăng số phép đo lặp hay nâng cấp chính xác của dụng cụ đo. Sai số ngẫu nhiên luôn luôn hiện diện và không thể khắc phục.

5.4 Sai số hệ thống

Sai số hệ thống Δ_S trên hình vẽ thể hiện qua khoảng chênh lệch giữa vết đạn (bắn 1 lần) so với hồng tâm hoặc giữa vị trí trung tâm của các vết đạn (bắn 10 lần) so với hồng tâm. Người ta gọi nó là độ chính xác (accuracy) của điểm bắn tức kết quả thử nghiệm.

Sai số hệ thống phát sinh do máy móc thiết bị đo dùng lâu bị hao mòn sai lệch không được thường xuyên kiểm chứng hiệu chỉnh, do phương pháp đo không hợp lý, do tác động không kiểm soát của môi trường thông qua nhiệt độ, độ ẩm, áp suất, do kỹ năng thao tác không đúng của kiểm nghiệm viên, v.v.. Sai số hệ thống rất khó phát hiện, nhưng nếu biết thì có thể khắc phục được.

Một kết quả thử nghiệm thường là tổng hợp của một hay nhiều kiểu phép đo khác nhau qua một mô hình toán nào đó. Sai số của kết quả thử nghiệm có thể tính được từ các sai số (ngẫu nhiên và hệ thống) của tổng hợp các phép đo theo định luật lan truyền sai số. Ví dụ : Dùng pipet hút 25 mL dung dịch và thực hiện làm hai lần, lần đầu hút 20 mL, lần sau hút 5 mL, tức là $25 = 20 + 5$. Giả sử lần hút 20 mL có sai số là $\pm\Delta_{20}$, lần hút 5 mL có sai số $\pm\Delta_5$ (tức $20 \pm \Delta_{20}$ và $5 \pm \Delta_5$). Nếu dùng cùng một ống pipet để hút hai lần, $\Delta_{25} = \Delta_{20} + \Delta_5$, nhưng nếu dùng hai ống pipet khác nhau cho hai lần hút thì $\Delta_{25} = \sqrt{\Delta_{20}^2 + \Delta_5^2}$.

5.5 Sai số thô

Sai số thô tạo nên những kết quả đo hoặc quá lớn hoặc quá bé so với các kết quả còn lại, làm ta nghi ngờ có thể do đo nhầm, đọc nhầm, ghi nhầm hoặc bởi một lý do bất thường nào khác của đối tượng đo, của thiết bị đo hoặc của môi trường được tiến hành đo. Kết quả đo do sai số thô sẽ làm sai lệch kết quả tính cuối cùng nên phải tìm cách loại bỏ. Nếu kết quả đo có phân bố chuẩn và số lần đo tương đối lớn, một kết quả đo bình thường ít khi vượt ra ngoài giới hạn số trung bình (μ) \pm 4 lần độ lệch chuẩn s . Vậy kết quả đo nào nhỏ hơn $\mu - 4s$ hoặc lớn hơn $\mu + 4s$ thì xem là sai số thô và bị loại bỏ (quy tắc Graf-Henning).

Bài tập 1.3 : Cân một lượng hóa chất với giả thiết sai số Δ cho mỗi khối lượng cân được là như nhau. Tính sai số của phép cân mẫu có trừ bì (dụng cụ đựng mẫu) và phép cân mẫu theo phương pháp Borda.

6. CÁCH DIỄN ĐẠT KẾT QUẢ ĐO VÀ KẾT QUẢ TÍNH

Thực chất, các kết quả đo và kết quả tính chỉ là những số gần đúng do các sai số không tránh khỏi gây nên. Giá trị của chúng khi ghi chép báo cáo phải thể hiện cho được hai nội dung :

- giá trị bằng số
- mức độ tin cậy của các chữ số diễn đạt.

Sau đây, cần xét quy ước :

6.1 Chữ số có nghĩa

Chữ số có nghĩa của một số gần đúng là những chữ số tính từ chữ số khác 0 đầu tiên bên trái đến chữ số cuối cùng bên phải kể cả số 0, nhưng không gồm các số 0 của thừa số 10^n . Ví dụ các số 30; 0,056 là những số có 2 chữ số có nghĩa; các số 12,0, 120×10^n , $5,14 \times 10^{-2}$ có 3 chữ số có nghĩa. Chính là mức độ tin cậy của các số gần đúng đã được thể hiện qua số chữ số có nghĩa.

Ví dụ hai số 2,4 và 2,40 tuy giống nhau về giá trị nhưng khác nhau về mức độ chính xác. Số thứ hai được tính toán chi ly đến đơn vị phần trăm trong lúc số thứ nhất chỉ đến đơn vị phần mười. Giả sử hai số đó là khối lượng tính bằng gam thì để có số thứ hai, phải dùng cân chính xác đến centigam, còn số thứ nhất chỉ cần cân chính xác đến decigam.

Đừng vì phép chia có thể chọn tùy ý số chữ số có nghĩa cho thương số mà làm tăng mức độ chính xác của số thực nghiệm một cách phi lý và vô nghĩa. Giá trị bằng số của các đại lượng vật lý trong cùng tập hợp phải được ghi với cùng mức độ tin cậy như nhau, tức là có số chữ số có nghĩa giống nhau. Ví dụ khối lượng của mẫu thử được cân chính xác đến 2 mg thì các kết quả sau đây được viết :

1,814 g	1,850 g	2,000 g	(đúng)
1,814 g	1,85 g	2 g	(sai)

Ví dụ những con số hàng chục có sai số tuyệt đối 0,05 sẽ có 3 chữ số có nghĩa được viết dưới dạng nn,n:

12,4 - 13,2 - 12,0 - 13,1 - 12,8 - 12,7 - 13,0 - 12,5 - 13,2 - 12,2

Còn dãy số gần đúng với 3 chữ số có nghĩa :

22,2 - 23,4 - 20,0 - 22,8 - 20,6 - 23,0 - 21,6 - 21,8 - 22,4 - 23,2

sẽ có sai số tuyệt đối bằng 0,1.

Bài tập 1.4 : a. Những kết quả đo được quy định viết với 3 chữ số có nghĩa thì hy vọng sai số tương đối của chúng lớn nhất và nhỏ nhất là bao nhiêu ?

b. Các số 0,025; 0,250; 2,05; 2,500 lần lượt có bao nhiêu chữ số có nghĩa

c. Một mẫu thử cân nặng hai phẩy năm gam trên cân chính xác đến đơn vị miligam sẽ được viết khối lượng với bao nhiêu chữ số có nghĩa ?

d. Hãy tính số trung bình của ba kết quả đo 1,23; 1,32; 1,28 và viết ra với số chữ số có nghĩa hợp lý.

6.2 Làm tròn số gần đúng

Do quá trình tính toán, số chữ số có nghĩa của kết quả cuối cùng thường nhiều quá mức cần thiết. Để không gây ngộ nhận về mức độ tin cậy của số gần đúng, cần phải làm tròn nó đến số chữ số có nghĩa quy định.

Bản thân việc làm tròn lại tạo thêm một sai số cho số gần đúng. Để sai số phạm phải là nhỏ nhất, cần theo quy tắc sau. Giả sử gọi u là đơn vị làm tròn, ngoài giá trị phổ biến 1×10^n , còn có thể gặp 2×10^n , $2,5 \times 10^n$ và 5×10^n . Khi làm tròn số gần đúng đến một số có số chữ số có nghĩa nào đó, u khác nhau sẽ dẫn tới những kết quả khác nhau.

Ví dụ $X = 12,421$ cần làm tròn đến 4 chữ số có nghĩa, nếu $u = 0,01$ thì $X \approx 12,42$ nhưng nếu $u = 0,05$ thì $X \approx 12,40$.

Bất kỳ một số gần đúng trước khi làm tròn đều nằm trong phạm vi

$$m.u \leq X \leq (m+1).u$$

m là phần nguyên của thương số X chia u ; $m.u$ là số gần đúng đã được làm tròn về phía giảm của X và $(m+1).u$ là số gần đúng đã được làm tròn về phía tăng của X . Để cho sai số do làm tròn là nhỏ nhất, ta xét ba trường hợp sau :

Nếu $X < m.u + 0,5.u$: X sẽ làm tròn thành $m.u$,

Nếu $X > m.u + 0,5.u$: X sẽ làm tròn thành $(m+1).u$,

Nếu $X = m.u + 0,5.u$: X làm tròn thành $m.u$ hay $(m+1).u$ đều được bởi vì trong hai cách , sai số là bằng nhau và đạt giá trị lớn nhất $0,5.u$.

Ví dụ 1 : Làm tròn $X = 12,436$ đến một số gần đúng có 4 chữ số có nghĩa

1. Với $u = 0,01 \rightarrow 12,43 < X < 12,44$ và vì $X > 12,435$ nên $X \approx 12,44$
2. Với $u = 0,02 \rightarrow 12,42 < X < 12,44$ và vì $X > 12,43$ nên $X \approx 12,44$
3. Với $u = 0,05 \rightarrow 12,40 < X < 12,45$ và vì $X > 12,425$ nên $X \approx 12,45$

Ví dụ 2 : Làm tròn $X = 12,415$ đến một số gần đúng có 4 chữ số có nghĩa và $u = 0,01$. Ở đây, $12,41 < X < 12,42$ và vì $X = 12,415$ nên $X \approx 12,41$ hoặc $X \approx 12,42$ đều được.

Nếu không có quy ước ngoại lệ nào, trong trường hợp chung đối với trường hợp thứ ba, nên làm tròn tăng nếu chữ số ở đơn vị quy tròn là lẻ (ví dụ trên đây $X = 12,415 \rightarrow 12,42$ vì 1 là số lẻ) và làm tròn giảm nếu chữ số ở đơn vị quy tròn là chẵn (ví dụ với $u = 0,01$ trên đây, $X = 12,425 \rightarrow 12,42$ vì 2 là số chẵn).

Một số gần đúng chỉ được làm tròn một lần trong suốt quá trình tính toán để tránh phạm phải hơn một lần sai số do làm tròn. Các kết quả tính trung gian nếu cần ít chữ số có nghĩa để giảm nhẹ công việc tính toán, quy ước được có hơn 1 chữ số có nghĩa so với kết quả cuối cùng. Điều này không cần thiết phải đặt ra nếu việc tính toán được máy tính đảm nhiệm từ đầu đến cuối.

Bài tập 1.5

a. Hãy làm tròn $X = 12,284$ lần lượt với các đơn vị $u = 0,1; 0,2; 0,25$ và $0,5$.

b. Hãy làm tròn $X = 2128,5$ lần lượt với các đơn vị $u = 1; 10; 100$ và ghi đúng với số chữ số có nghĩa của nó.

6.3 Số chữ số có nghĩa của kết quả tính

Quy tắc lấy số chữ số có nghĩa cho kết quả tính như sau :

Cộng, trừ : lấy đến chữ số có nghĩa ở hàng đơn vị của số hạng có độ chính xác thấp nhất . Ví dụ

$$113,2 + 1,43 = 114,63 \text{ chỉ ghi đến } 114,6$$

$$113,2 - 1,43 = 111,77 \text{ chỉ ghi đến } 111,8$$

Nhân, chia : theo quy tắc của cộng trừ đồng thời theo số chữ số có nghĩa ít nhất mà các số hạng có. Ví dụ :

$$113,2 \times 1,43 = 161,876 \text{ chỉ lấy đến } 162 ;$$

$$113,2 : 1,43 = 79,16 \text{ chỉ lấy đến } 79,2$$

Khai căn: lấy số chữ số có nghĩa của kết quả tính tương tự trị số dưới dấu căn. Ví dụ :

$$\sqrt{113,2} = 10,63954 \text{ chỉ lấy đến } 10,63$$

Kết quả báo cáo ghi kèm độ không đảm bảo đo: giá trị độ không đảm bảo **không nên giữ quá 2 chữ số có nghĩa** và theo đó, kết quả báo cáo sẽ giữ số chữ số có nghĩa đến bậc cao nhất của giá trị độ không đảm bảo. Ví dụ :

$$162,8720 \pm 0,5241 \text{ có thể ghi thành } 162,87 \pm 0,53 \text{ hoặc } 162,9 \pm 0,6$$

Chú ý : Đối với độ không đảm bảo, nên lấy tăng giá trị của nó đến đơn vị làm tròn.

Bài tập 1.6 : Hãy làm tròn các kết quả tính sau :

a. $12,65 + 232,2 + 78 = 322,85$

b. $12,675 + 23,12 \times 1,20 = 40,419$

c. $\sqrt{12,675} / (23,12 \times 1,20) = 0,128323$

d. $235,842 \pm 1,387$ (kg) ; $848,64 \pm 23,72$ (m) ; $2780,6 \pm 25,2$ (ppm)

e. $2586,23 \pm 52,44$; 53775 ± 135 ; $0,008945 \pm 0,000023$