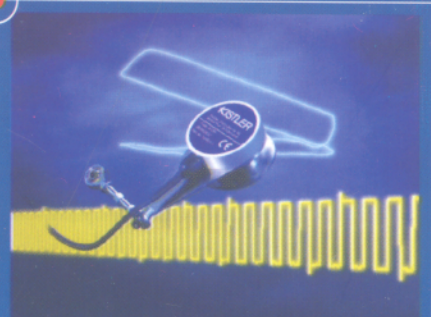
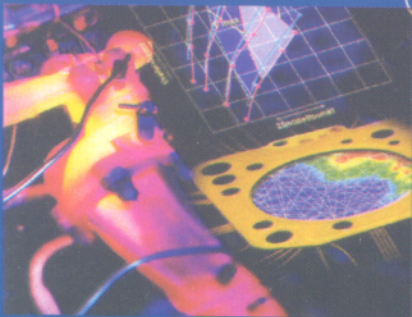
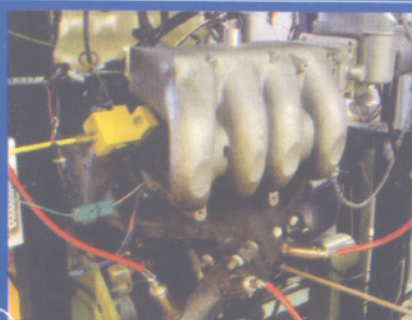
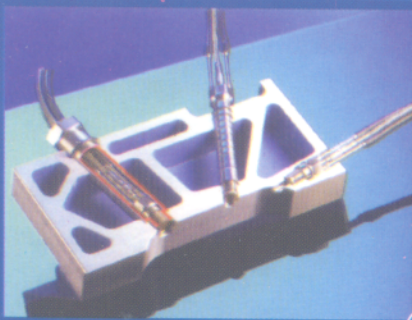


TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI
VÕ NGHĨA - TRẦN QUANG VINH

Kỹ thuật đo

TRONG ĐỘNG CƠ ĐỐT TRONG VÀ ÔTÔ



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI
VÕ NGHĨA - TRẦN QUANG VINH

KỸ THUẬT ĐO
TRONG
ĐỘNG CƠ ĐỐT TRONG VÀ ÔTÔ



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT
HÀ NỘI

LỜI NÓI ĐẦU

Kỹ thuật đo lường từ lâu đã đóng một vai trò hết sức quan trọng trong hầu hết các lĩnh vực khoa học kỹ thuật. Đặc biệt, trong thời đại của các quá trình sản xuất tự động hóa như ngày nay thì kỹ thuật đo lường là nhân tố quyết định cho quá trình nghiên cứu và sản xuất. Và ngành công nghiệp ô tô cũng không phải là ngoại lệ.

Cuốn sách này được soạn lại, chỉnh lý và bổ sung dựa trên cuốn Giáo trình "Thí nghiệm động cơ" xuất bản lần đầu năm 1991 với mục đích giúp sinh viên, kỹ sư và cán bộ kỹ thuật ngành động cơ, ô tô hoàn thiện kiến thức, kỹ năng về kỹ thuật đo lường. Cuốn sách cũng có thể được dùng làm tài liệu tham khảo cho các cán bộ kỹ thuật trong các ngành cơ khí khác.

Các tác giả đã cố gắng trình bày một cách có hệ thống các vấn đề liên quan tới kỹ thuật đo lường trong động cơ và ô tô theo trình tự: định nghĩa, nguyên lý làm việc, cấu tạo, các đặc tính và ứng dụng. Đồng thời chú ý đi sâu phân tích các cảm biến, thiết bị đặc trưng trong lĩnh vực động cơ và ô tô.

Do nội dung đề cập rất rộng và kiến thức cũng như kinh nghiệm còn hạn chế nên cuốn sách này chắc chắn không tránh khỏi còn thiếu sót. Các tác giả mong muốn nhận được nhận xét, góp ý của bạn đọc.

Chúng tôi xin chân thành cảm ơn.

Các tác giả

Chương 1

QUÁ TRÌNH ĐO LƯỜNG TRONG KỸ THUẬT

1.1. CƠ SỞ CỦA KỸ THUẬT ĐO LƯỜNG

1.1.1. Các khái niệm cơ bản

Trước khi bước vào nghiên cứu kỹ thuật đo lường một việc làm cần thiết là phải tìm hiểu một cách khái quát ý nghĩa và mục đích của kỹ thuật đo đối với cuộc sống của con người nói chung.

Kể từ lúc con người biết xác định trọng lượng và khối lượng vào thế kỷ thứ 4 trước công nguyên đến nay, kỹ thuật đo lường mới thực sự bắt đầu có tầm quan trọng đặc biệt chỉ vào thế kỷ 17 - 18 trở lại đây, tức là từ khi có những tiến bộ nhảy vọt trong các lĩnh vực khoa học và kỹ thuật. Ví dụ, vào năm 1642, Toricelli (1608 - 1647) thực hiện thí nghiệm tạo được buồng chân không qua cột thuỷ ngân hoặc việc chế tạo thành công nhiệt kế thuỷ ngân đầu tiên vào năm 1709 của Fahrenheit (1686 - 1763).

Trong thời đại của chúng ta với cuộc cách mạng khoa học và kỹ thuật vũ bão thì kỹ thuật đo lường nói chung là nhân tố quyết định cho quá trình nghiên cứu và sản xuất. Cho đến nay sự phát triển của khoa học kỹ thuật đã ở giai đoạn thay thế cho các quá trình lao động chân tay bằng các quá trình sản xuất tự động hoá một phần hoặc toàn bộ. Các máy móc làm việc hoàn toàn tự động cho khả năng giảm lao động trong quá trình sản xuất và làm tăng nhảy vọt năng suất lao động. Con người không gắn liền với máy móc, thiết bị mà chỉ đóng vai trò kiểm tra và hiệu chỉnh khi cần thiết. Quá trình sản xuất tự nó tiến hành nhờ có sự kiểm tra, điều khiển và điều chỉnh được thực hiện tự động. Đó thực chất là một quá trình đo lường liên tục. Con người ở đây chỉ làm nhiệm vụ quan sát trông coi và giải quyết các hư hỏng gặp phải. Nhiều máy móc thiết bị đo hiện đại, tổng hợp được sử dụng trong các ngành công nghiệp nhằm giải quyết các quá trình kiểm tra, điều chỉnh và điều khiển đó. Như vậy quá trình sản xuất tự động hoá càng phát triển thì phạm vi hoạt động của kỹ thuật đo lường lại càng trở nên rộng rãi.

Nếu lựa chọn kỹ thuật đo đúng đắn, lắp đặt tốt thì có thể loại trừ được sự ỳ trệ do các nhân tố của điều kiện phân xạ và các sai sót mà con người có thể gặp phải. Điều đó cho phép tăng độ nhạy và độ chính xác của quá trình đo.

Ngoài ra kỹ thuật đo lường được dùng trong việc theo dõi hoạt động của các thiết bị máy móc còn mang lại ý nghĩa rất lớn trong việc bảo đảm an toàn cho con người và thiết bị máy móc.

Tóm lại ý nghĩa của kỹ thuật đo lường bao gồm:

1. Thể hiện quá trình làm việc tối ưu
2. Loại trừ sai sót xuất hiện do đối tượng quan sát
3. Điều kiện tiên quyết cho quá trình tự động hoá
4. Loại trừ các nguy hiểm, hư hỏng có thể xảy ra.

Cần phải đặc biệt lưu ý rằng: quá trình đo lường bao giờ cũng chịu ảnh hưởng của môi trường. Vì vậy nó cần phải được chuẩn bị, thực hiện và xử lý các số liệu thật chính xác, thận trọng.

Người ta nói: Đo lường chỉ có ý nghĩa, có giá trị và có sức thuyết phục khi kết quả của nó được đánh giá một cách đúng đắn.

Người ta có thể có định nghĩa cơ bản cho các quá trình đo lường như sau:

Đo lường là một sự so sánh bằng số lượng một độ lớn cần phải đo với một độ lớn đã quen thuộc cùng loại được gọi là đơn vị đo hoặc độ lớn đã quen thuộc được dẫn từ đơn vị đo.

Các máy đo luôn luôn chịu ảnh hưởng của môi trường xung quanh, vì vậy nó phải được hiệu chỉnh với các thông số xác định. Song không thể có phép đo lường không có sai số. Vấn đề ở đây là người thực hiện phép đo phải hiểu biết các nguyên nhân gây ra sai số, phán đoán các sai số có thể gặp phải trước khi thực hiện các phép đo. Độ chính xác của phép đo hay độ lớn của sai số ảnh hưởng rất lớn đến chi phí về vật chất cũng như thời gian tiến hành phép đo. Chính vì vậy người ta phải lựa chọn nó như thế nào để bảo đảm thực hiện thí nghiệm có kết quả tốt nhất - tức là đạt được độ chính xác cần thiết và tính kinh tế của phép đo cao nhất.

Dựa vào mục đích thí nghiệm người ta phân ra như sau:

• *Thí nghiệm giao máy:* Trong thí nghiệm giao máy người ta sử dụng các thiết bị đo lường để kiểm tra các thông số kỹ thuật của sản phẩm khi xuất xưởng. Thí nghiệm loại này có thể được tiến hành cho các máy móc thiết bị mới sản xuất, nhưng cũng có thể được tiến hành nhằm kiểm tra lại đối với máy móc thiết bị đã sử dụng, ví dụ kiểm tra lại các thông số của động cơ sau khi đại tu, sửa chữa hoặc kiểm tra lại các tính năng kinh tế kỹ thuật của các thiết bị máy móc sau một thời gian sử dụng để nếu cần thì điều chỉnh sửa chữa lại hoặc cho ngừng hoạt động.

• *Thí nghiệm cải tiến:* Thí nghiệm loại này nhằm thử lại các kết cấu mới đã được đưa vào sản xuất thử so với mục đích cải tiến nó, trong đó người ta không cần tiến hành hàng loạt các thí nghiệm tìm tòi mà đã có kết quả rõ ràng đo lý thuyết, hoặc quá trình nghiên cứu đã đưa ra, đã chứng minh. Ở đây nó được kiểm tra lại trong điều kiện và đối tượng cụ thể mà thôi.

• *Thí nghiệm nghiên cứu:* Thí nghiệm nghiên cứu là nhằm tìm lời giải cho các câu hỏi chưa được trả lời hoặc chứng minh cho một lý thuyết đưa ra.

• *Thí nghiệm giảng dạy:* Nhằm làm cho học viên thấy được tác dụng của dụng cụ, máy móc hoặc chứng minh các hiện tượng của bài học.

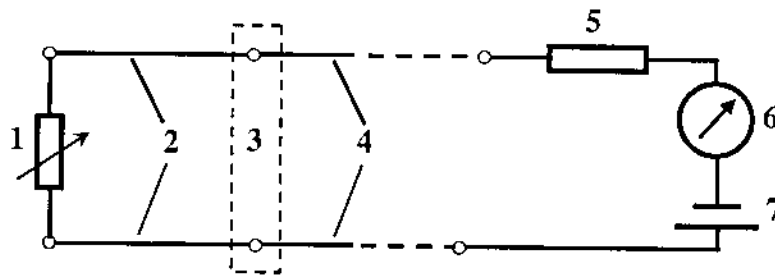
1.1.2. Phương pháp đo lường

Phương pháp đo sẽ chỉ cho ta con đường để thực hiện phép đo, nó bao gồm 3 thành phần chủ yếu:

- Phương pháp cảm thụ độ lớn cần đo
- Phương pháp truyền độ lớn cần đo
- Phương pháp biểu thị kết quả đo.

Bộ phận thu sẽ nhận hay nói cách khác là cảm thụ độ lớn cần đo. Độ lớn này có thể được đưa vào bộ chuyển đổi để biến thành độ lớn tương đương khác và có thể được khuếch đại rồi đưa đến máy chỉ thị, máy ghi hoặc bộ phận điều chỉnh. Tất nhiên cũng có nhiều trường hợp người ta không thể tách riêng bộ phận thu nhận và bộ phận chuyển đổi hoặc cũng không cần bộ chuyển đổi. Đó là phương pháp đo tổng quát nhất.

Độ lớn cần đo được bộ phận thu hay còn gọi là bộ phận cảm thụ hay gọi tắt là đầu cảm thu nhận được ở vị trí tiếp xúc của nó.

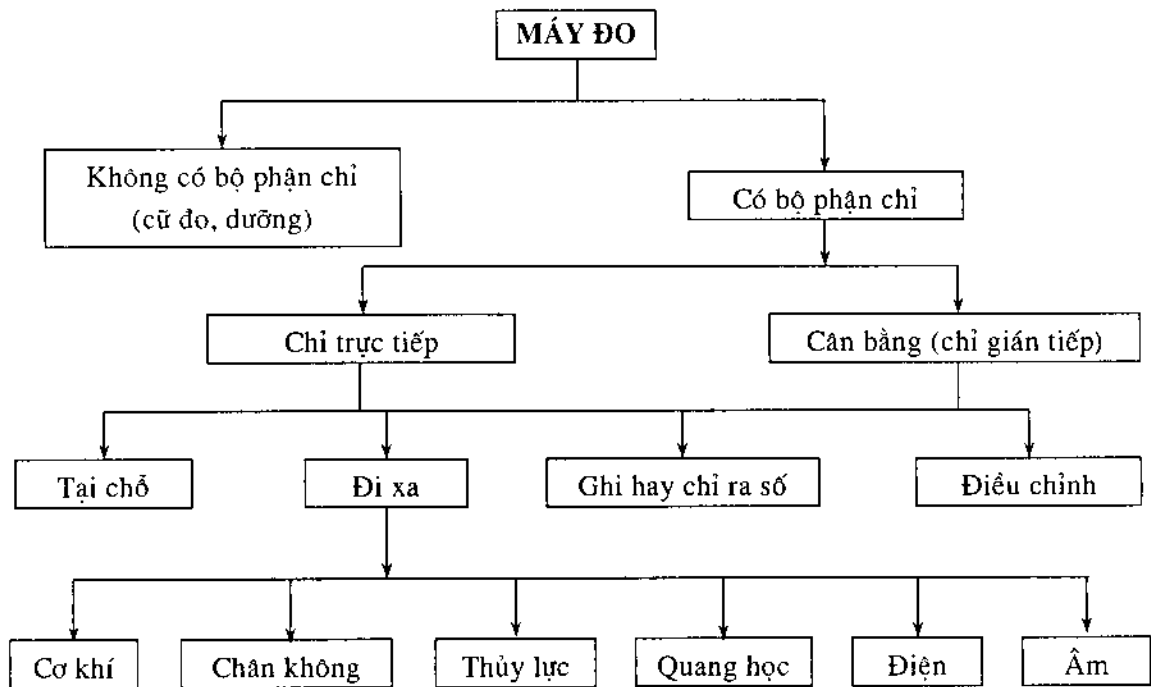


Hình 1.1. Sơ đồ nguyên lý của nhiệt kế điện trở:

- 1- điện trở đo; 2 và 4- dây dẫn; 3- hộp nối;
5- điện trở cân bằng; 6- dụng cụ chỉ; 7- nguồn điện.

. Hình 1.1 giới thiệu sơ đồ nguyên lý của một thiết bị đo nhiệt độ bằng phương pháp điện. Qua hình 1.1 ta nhận biết được các bộ phận chủ yếu của một nhiệt kế điện trở 1 là điện trở đo đồng thời là đầu cảm của thiết bị đo. Ở đây độ lớn của nhiệt độ được chuyển đổi thành độ lớn của điện trở và được dẫn bằng các dây dẫn 2, 4 đến bộ phận chỉ 6. Trong khi đo khâu quan trọng nhất để đánh giá quá trình đo là quan sát dụng cụ chỉ còn gọi là đồng hồ đo mà nó được điều khiển bởi vị trí tiếp xúc tức là chỗ đo và đầu cảm.

Người ta có thể phân biệt máy đo theo sơ đồ trên hình 1.2.



Hình 1.2. Phân loại máy đo.

1.1.2.1. Phương pháp cảm thụ độ lớn cân đo

Người ta có thể phân phương pháp cảm thụ độ lớn ra 2 loại như sau:

a) Thu nhận giá trị đo liên tục hoặc không liên tục

Độ lớn cân đo được tiếp nhận bởi đầu cảm một cách liên tục, ví dụ như khi đo nhiệt độ ta cho điện trở đo vào một môi trường cân đo hoặc như khi đo số vòng quay bằng đồng hồ đo kiểu lực ly tâm - đầu cảm là các quả văng luôn luôn chịu tác dụng của lực ly tâm do tốc độ quay của trục gây ra, nhưng cũng có thể độ lớn cân đo được tiếp nhận sau từng khoảng thời gian một tức là gián đoạn, ví dụ như đo số vòng quay bằng cách đếm các xung của trục quay có thể gây ra (xem mục 4.2).

b) Thu nhận tương đương hoặc bằng số lượng

Theo phương pháp tương đương thì độ lớn thu nhận được bởi đầu cảm được biến thành một đại lượng vật lý khác có giá trị tương ứng với giá trị cân đo. Ví dụ áp kế chữ U dùng đo áp suất của chất lỏng cho ta ứng với mỗi giá trị của áp suất là một độ dài nhất định của cột chất lỏng.

Theo phương pháp thu nhận bằng số lượng thì độ lớn cân đo được đếm bằng số lần, tức là giá trị của nó là số lần có thể đếm được của một đơn vị.

1.1.2.2. Phương pháp truyền độ lớn cần đo

Trong sơ đồ hình 1.2 cho ta thấy được các phương pháp truyền kết quả đi xa. Phương pháp truyền kết quả đi xa phải thích ứng với phương pháp cảm thụ và biểu thị kết quả đo. Vì vậy việc lựa chọn đúng có ý nghĩa rất lớn cho thí nghiệm. Đặc điểm của các phương pháp truyền kết quả như sau:

- *Phương pháp cơ học:* có ý nghĩa nhỏ trong ứng dụng thực tế do độ phức tạp, sự tổn thất,... nên khoảng cách hay có thể nói là độ xa là bị hạn chế.
- *Phương pháp truyền bằng thủy lực và chân không:* có ý nghĩa rất lớn, đặc biệt khi kỹ thuật chuyển đổi phát triển. Độ dài của khoảng cách truyền phụ thuộc vào nhiều yếu tố như độ kín, sự xả khí, quán tính khi thay đổi giá trị đo,... Khoảng cách truyền được tối đa bằng phương pháp này có thể đạt đến 200 m.
- *Phương pháp truyền bằng điện:* Phương pháp này có ý nghĩa và khả năng rất lớn, đặc biệt trong các thí nghiệm đòi hỏi khoảng cách lớn và số điểm đo nhiều.
- *Phương pháp truyền bằng quang học:* Có ý nghĩa nhỏ trong các phép đo có khoảng cách lớn vì dễ bị hấp thụ bởi môi trường truyền. Song lưu ý là quán tính của phương pháp này là rất nhỏ. Do sự hạn chế về khoảng cách truyền mà nó ít được sử dụng.
- *Phương pháp truyền bằng âm được sử dụng rất ít và khoảng cách cũng bị hạn chế.*

1.1.2.3. Phương pháp biểu thị kết quả đo

Phương pháp biểu thị kết quả được sử dụng để cho người đo (người làm thí nghiệm) có thể nhận biết được giá trị đã được cảm thụ bởi đầu cảm một cách nhanh chóng và chính xác. Có 2 phương pháp chủ yếu để biểu thị kết quả đo:

a) Phương pháp chỉ trực tiếp

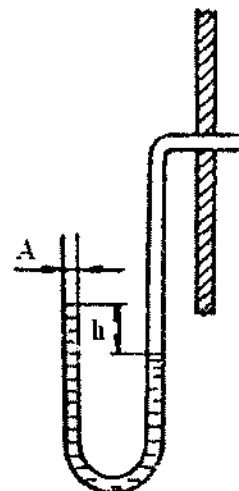
Ở phương pháp chỉ trực tiếp thì độ lớn cần đo tạo nên một giá trị lực nhất định, lực này tác dụng lên thiết bị chỉ. Trong máy chỉ (máy đo) có hai lực ngược chiều nhau:

- Lực tạo ra bởi độ lớn cần đo gọi là lực bên trong ta ký hiệu là P_t . Lực này tác dụng lên thiết bị chỉ (máy đo).
- Lực của máy đo có chiều tác dụng ngược lại với lực của độ lớn cần đo gây ra gọi là lực bên ngoài và được ký hiệu là P_n .

Sự chênh lệch của chúng gây nên lực dịch chuyển bộ phận chỉ, ví dụ kim chỉ hoặc tia sáng, ... của thiết bị chỉ.

Khi chúng - hai lực ở trạng thái cân bằng tức là khi $P_t = P_n$ thì cần phải thu nhận giá trị đo.

Ví dụ trong một áp kế chữ U hình 1.3 ta sẽ có các lực sau:



Hình 1.3. Áp kế chữ U.

- Lực bên trong: $P_t = A.P_d$

trong đó: A là diện tích của ống chứa thủy ngân tính bằng cm^2 ;

P_d là áp suất cần đo tính theo kG/cm^2 .

- Lực bên ngoài: $P_n = A.h.\rho.g$

trong đó: ρ là khối lượng riêng của thủy ngân;

g là gia tốc trọng trường;

h là chiều cao chênh lệch giữa hai mặt thủy ngân trong áp kế.

Khi đạt được trạng thái cân bằng thì :

$$A.P_d = A.h.\rho.g$$

vậy: $P_d = h.\rho.g$

lúc này phải đọc kết quả đo.

Giá trị $\rho.g$ được xem là không đổi cho vị trí đo tức là phụ thuộc vào địa lý - vùng đặt máy đo và người ta gọi nó là hằng số của máy đo. Như vậy ta có:

$$P_d = \Phi(h)$$

Một ví dụ khác về phương pháp chỉ trực tiếp là phương pháp đo nhiệt độ bằng cặp nhiệt ngẫu theo sơ đồ kết cấu biểu diễn ở hình 1.4. Ở đây độ lớn nhiệt độ được biểu thị bằng điện thế và được đo bằng đồng hồ milivolt.

Ở đây nội lực P_t là điện thế do chênh lệch nhiệt độ sinh ra. Ngoại lực P_n là lò xo tác dụng lên khung dây.

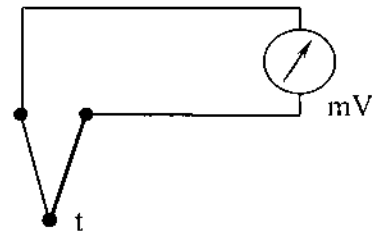
Những đặc điểm của phương pháp chỉ trực tiếp là:

- Có thể đọc trực tiếp kết quả đo nhờ có kim chỉ, điểm sáng hoặc cột chất lỏng,
- ...
- Lực đòi hỏi cho dụng cụ chỉ được gây ra bởi sự thay đổi của độ lớn cần đo.
- Việc thực hiện phép đo không cần phải có kiến thức cao mà chỉ cần qua một sự chỉ dẫn ngắn là có thể thực hiện được.
- Quá trình đo được tiến hành rất nhanh.
- Sai số gặp phải do đọc và tính toán là nhỏ.
- Sự chuyển động của thiết bị chỉ có thể gây ra sai số.

Vì những đặc điểm trên phương pháp chỉ trực tiếp kết quả đo được sử dụng rộng rãi cho các thiết bị được dùng trong các cơ sở sản xuất.

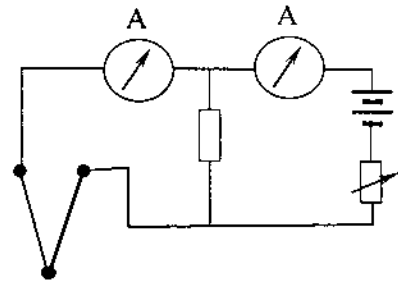
b) Phương pháp cân bằng

Trong phương pháp cân bằng thì độ lớn cần đo cũng sinh ra một lực tác dụng lên máy



Hình 1.4. Sơ đồ kết cấu cặp nhiệt ngẫu theo phương pháp chỉ trực tiếp.

đo, nhưng sự tác dụng này không được dùng để đo mà nó được cân bằng bởi một lực ngược lại làm cho bộ phận chỉ của thiết bị chỉ trở lại vị trí ban đầu. Trong thời gian mà lực tác dụng lên thiết bị chỉ bằng không thì có giá trị đo rất chính xác. Một thí dụ của phương pháp cân bằng là phương pháp đo nhiệt độ bằng cặp nhiệt ngẫu theo sơ đồ biểu diễn ở hình 1.5. Ở đây phải điều chỉnh dòng điện ở mạch ngoài để dòng điện trong cặp nhiệt ngẫu bằng không.



Hình 1.5. Sơ đồ kết cấu cặp nhiệt ngẫu đo nhiệt độ theo phương pháp cân bằng.

Đặc điểm của phương pháp cân bằng:

- Ở phương pháp cân bằng việc đọc kết quả đo xảy ra khi kim thiết bị chỉ ở vị trí 0 của máy đo do tác dụng ngược lại của một lực từ bên ngoài lên máy đo.
- Quá trình đo phức tạp, khó khăn và tốn kém hơn phương pháp chỉ trực tiếp.
- Phương pháp cân bằng đòi hỏi trong thời gian đo, độ lớn cần đo không được thay đổi. Để có thể đo các giá trị thay đổi người ta phải sử dụng các máy đo được tự động điều chỉnh bằng điện.
- Phương pháp cân bằng có thể loại trừ được ảnh hưởng của môi trường xung quanh đến kết quả đo.
- Nó cho giới hạn sai số nhỏ tức là có thể có độ chính xác cao.

1.1.3. Nguyên lý lựa chọn máy đo

Cơ sở của việc lựa chọn máy đo và phương pháp đo là mục đích của phép đo và tình trạng của vị trí đo. Sự lựa chọn một phương pháp đo thuận tiện và máy đo hợp lý chỉ có thể đạt được khi nắm vững mục đích và các điều kiện của vị trí đo. Ví dụ như trạng thái làm việc của đối tượng cần đo, điều kiện của môi trường, độ tinh khiết của môi trường đo (bụi, thành phần các chất gây ăn mòn, ...) sự tạo ra các chùm tia, nhiệt độ ổn định hoặc nhiệt độ thay đổi, sự rung động, tần số của quá trình, ...

Ví dụ: Nếu muốn đo áp suất của quá trình thay đổi nhanh theo thời gian người ta không thể dùng áp kế đàn hồi hình ống được. Trong trường hợp này phải dùng các đầu cảm đo áp suất bằng điện (áp kế sinh điện, áp kế điện trở, ...) kèm theo bộ khuếch đại bằng điện.

Ngoài ra người ta còn cần phải chú ý đến các yếu tố như sau:

- Độ lớn của đại lượng cần đo. Ở đây phải chú ý đến giá trị lớn nhất của đại lượng cần đo. Khi đó phải lựa chọn máy đo sao cho giá trị lớn nhất của đại lượng cần đo nằm trong khoảng 75% giá trị cho phép của máy đo.
- Độ nhạy của máy đo: Độ nhạy của máy đo có quan hệ mật thiết với độ chính xác của phép đo và giá thành của máy đo và do đó liên quan đến tính kinh tế của thí nghiệm.

Khi độ nhạy càng cao thì độ chính xác của quá trình đo càng tăng. Vì vậy trong điều kiện cần thiết và có thể được nên chọn máy đo có độ nhạy lớn.

- Sức ỳ hay quán tính của máy đo. Sự ỳ trệ hay quán tính của máy đo thể hiện qua thời gian để đầu cảm có thể cảm thụ được độ lớn cần đo và máy chỉ có thể thể hiện được giá trị đó. Yếu tố này nhiều khi đóng vai trò rất quan trọng trong quá trình đo. Ta lấy thí dụ trong khi thực hiện thí nghiệm phân tích khí. Thí nghiệm này đòi hỏi thời gian tương đối dài để cho khí cần phân tích đi qua các ống dẫn đến máy đo và từ máy đo đi đến khu vực đo. Thời gian cần thiết này gọi là thời gian chết T_1 . Nó phụ thuộc vào thể tích chết của các ống dẫn và tốc độ của dòng khí. Chỉ có sau khi đạt được thời gian chết này thiết bị đo mới bắt đầu thay đổi nồng độ và sau đó thiết bị mới có thể bắt đầu biểu thị giá trị mới cần đo của chất khí. Quá trình này được biểu diễn ở hình 1.6.

Trong thời gian quá độ từ lúc thiết bị chỉ biểu thị giá trị ban đầu của nồng độ là a_1 đến khi nó chỉ được giá trị cuối cùng cần phải đo là a_2 có những khoảng thời gian đánh dấu các giá trị đo quan trọng là thời gian một nửa T_n và thời gian 90% (T_{90}). Khi chọn máy đo phải chú ý đến giá trị của những khoảng thời gian này, vì giá trị chỉ mới đúng sự thật a_2 chỉ đạt được khi thời gian đo dài vô hạn.

Trong đó giá trị một nửa gọi là $a_{50\%}$ bằng một nửa hiệu số giữa giá trị ban đầu và giá trị mới tức là:

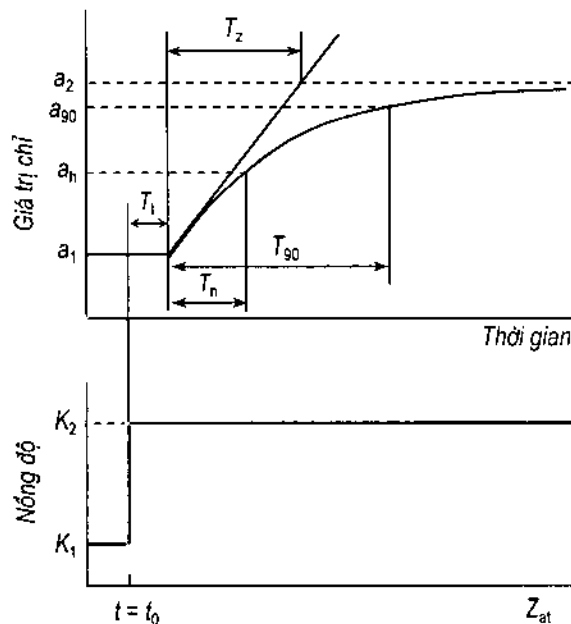
$$a_{50\%} = a_1 + \frac{a_2 - a_1}{2}$$

Giá trị thời gian một nửa ở thiết bị phân tích khí là hàm số của độ nhanh của quá trình diễn đầy bình đo và sự biến đổi độ lớn cần đo thành cường độ hoặc điện thế của dòng điện.

Giá trị tương ứng với T_{90} được coi là giá trị chỉ:

$$a_{90} = a_1 + 0,9.(a_2 - a_1)$$

Có thể tóm tắt các điều kiện chủ yếu cần thiết để chọn máy đo như sau:



Hình 1.6. Sự thay đổi giá trị chỉ theo thời gian khi thay đổi đột ngột nồng độ thiết bị phân tích khí.

a) Đo một cách thận trọng song chỉ chính xác như yêu cầu

Trước khi thí nghiệm cần phải tìm hiểu một cách thận trọng độ chính xác cần thiết của phép đo và từ đó biết được cấp chính xác của máy đo cần lựa chọn. Các máy đo được sử dụng thông thường có các cấp chính xác là 1,0; 1,5; 2,5; 4. Trong các thí nghiệm đòi hỏi độ chính xác cao, người ta sử dụng các máy đo có cấp chính xác 0,5 đến 0,2. Ở đây có thể hiểu được một cách rõ ràng về độ hay cấp chính xác của máy đo qua thí dụ sau: Máy đo có cấp chính xác 1,5 có nghĩa là giá trị chỉ của máy được phép sai số trong giới hạn là 1,5% của giá trị chỉ thực tế.

b) Không phức tạp hơn đòi hỏi

Một cách lập luận hoặc đặt vấn đề hoàn toàn sai trái nếu lựa chọn phép đo này hoặc phép đo khác chỉ vì nó hiện đại hơn. Lấy một vài ví dụ đơn giản: dùng chất đồng vị phóng xạ để đo khối lượng của nước hoặc chiều cao của cột chất lỏng, ... hoặc có thể đưa ra một ví dụ trong thí nghiệm động cơ đốt trong; ở đây mục đích nghiên cứu là “ảnh hưởng của ống nạp đến lượng không khí nạp vào xilanh động cơ” mà người ta cứ mong muốn và đòi hỏi thậm chí chỉ dùng thiết bị đo áp suất trong ống nạp và trong xilanh của Động cơ!

c) Máy đo phải làm việc an toàn, ổn định và giá trị quán tính hợp lý.

1.1.4. Đánh giá và biểu diễn kết quả đo

1.1.4.1. Sai số đo

Khi tiến hành thí nghiệm người ta có thể nói kết quả cuối cùng là chính xác nếu nó phù hợp với giá trị thực của vật đo. Kinh nghiệm thực tiễn trong khi tiến hành thí nghiệm có thể giảm hoặc loại trừ bởi một số yếu tố ảnh hưởng đến kết quả đo làm cho sự sai lệch giữa giá trị thực và giá trị đo ít đi. Khi thực hiện quá trình đo, quá trình thí nghiệm càng thận trọng, tỷ mỉ, càng hiểu biết và mục đích càng rõ ràng thì kết quả cuối cùng càng sai lệch ít với giá trị thực.

Người ta phải nhận thức một cách rõ ràng, dứt khoát rằng: *Tất cả các kết quả đo hoặc trực tiếp hoặc qua nhiều phép tính toán đều sai lệch với giá trị thực không ít thì nhiều.*

Như vậy: *sai số là điều không thể tránh khỏi trong khi thực hiện phép đo, hay nói cách khác, sai số là điều tất nhiên trong mọi phép đo.*

Ở trên ta có khái niệm về sai số hay là khái niệm về sự không đúng của phép đo. Ở đây nên tránh không được nhầm lẫn hoặc cho có sự giống nhau giữa sai số của phép đo trong phạm vi có thể cho phép được. Như vậy sự không đúng của phép đo được thực hiện phải nhỏ hơn giới hạn sai số.

Nguyên nhân gây ra sai số rất phong phú, nhưng người thực hiện các phép đo thích thú nhất là làm thế nào để nhận biết được sai số, phán đoán nó và sửa chữa được nó. Muốn tìm hiểu sai số trước tiên ta tìm cách phân loại sai số. Trong thực tiễn người ta có thể phân sai số theo sơ đồ biểu diễn ở hình 1.7.

Nhìn vào sơ đồ biểu diễn ở hình 1.7 ta nhận ra ngay sai số được phân ra 2 loại chính, đó là sai số có hệ thống và sai số ngẫu nhiên. Ở đây lần lượt nghiên cứu tính chất và đặc điểm của hai loại sai số này.

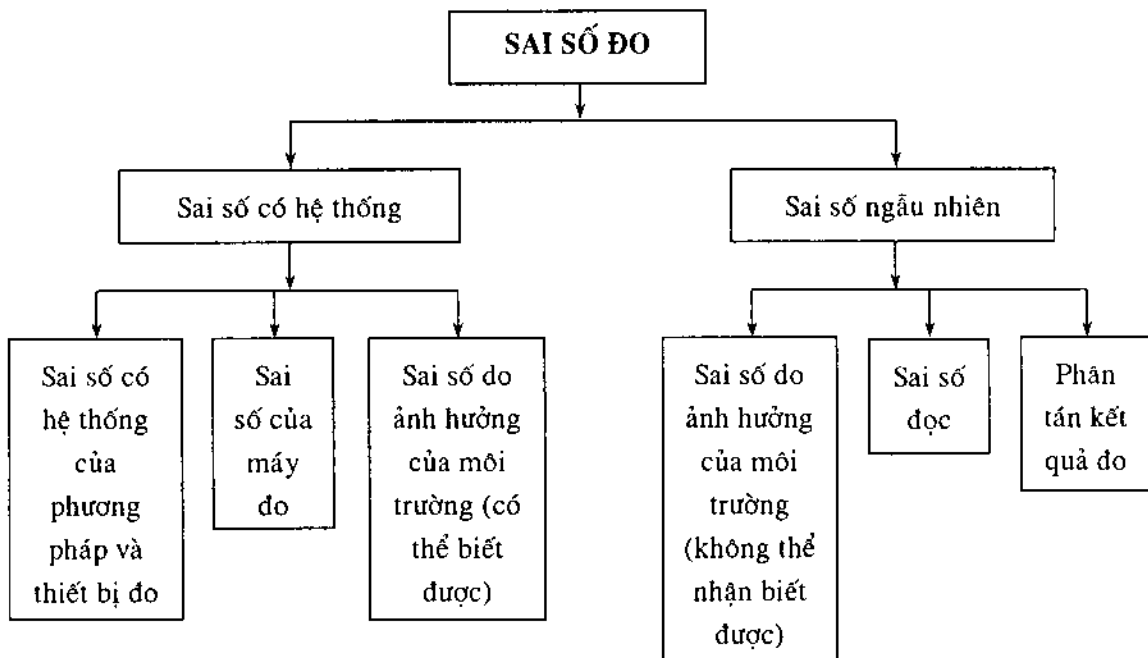
1.1.4.1.1. Sai số có hệ thống

Sai số có hệ thống xuất hiện trước tiên do sự không hoàn hảo của máy đo, của vật đo, của thiết bị đo và của phương pháp đo cũng như do ảnh hưởng của môi trường mà kĩ thuật đo có thể xác định được. Ví dụ khi dùng thước để đo chiều dài của vật thể ở các nhiệt độ khác nhau. Kết quả cùng vật thể đó, ta có các giá trị về chiều dài khác nhau. Sự sai lệch đó chính là sai số mà trong trường hợp này là sai số có hệ thống do ảnh hưởng của môi trường đo là nhiệt độ gây ra. Sai số này có thể nhận biết được và có thể loại trừ được nhờ có phép tính về độ giãn nở dài của vật liệu làm vật thể đó.

Tính chất của sai số có hệ thống là dưới những điều kiện như nhau, ví dụ cùng vị trí đo, cùng máy đo, cùng vật đo và cùng chịu ảnh hưởng của môi trường như nhau thì *sai số có hệ thống CÙNG ĐỘ LỚN VÀ CÙNG DẤU*. Tổng số các sai số này là sự không đúng của phép đo mà có thể loại trừ qua phép hiệu chỉnh.

Trong một số trường hợp, ta có thể gặp sai số có hệ thống mà không thể biết trước được, ví dụ máy đo có sai số hệ thống mà người làm thí nghiệm chưa thể nhận biết được hoặc ảnh hưởng rối loạn không thể tránh khỏi của phép đo mà phương pháp đo này không thể loại trừ được.

Sai số có hệ thống loại này thường phải phán đoán và lưu tâm đến nó.



Hình 1.7. Phân loại sai số đo.

1.1.4.1.2. Sai số ngẫu nhiên

Sai số ngẫu nhiên do sự thay đổi trong thiết bị đo, vật đo, môi trường,... mà kỹ thuật đo ta đang dùng của phép đo không thể nào xác định và điều khiển được. Ví dụ ma sát trong các thiết bị đo có chuyển động cơ khí là cho giá trị đo luôn luôn thay đổi, luôn luôn khác nhau, tùy thuộc vào tình trạng bôi trơn, tải trọng, ... tác dụng lên máy đo.

Tính chất của sai số ngẫu nhiên là dưới các điều kiện như nhau, ví dụ cùng vị trí đo, cùng máy đo, cùng vật đo và cùng chịu ảnh hưởng của môi trường đo như nhau, giá trị của *sai số ngẫu nhiên khác nhau về ĐỘ LỚN* cũng như *DẤU*. Giá trị của mỗi lần đo khác nhau, kết quả đo không chắc chắn, luôn bị dao động. Vì vậy sai số ngẫu nhiên không thể khống chế, không thể biết trước và không xác định được. Sai số này không thể loại trừ được. Trong một số trường hợp người ta có thể giảm bớt sai số ngẫu nhiên bằng cách lặp lại phép đo nhiều lần và qua đó phán đoán sai số.

Ở phần này chúng ta cũng cần phải tiến hành phân tích một số nhân tố gây sai số thường gặp phải trong khi thực hiện các phép đo.

• Sai số có hệ thống của phương pháp và thiết bị đo

Sai số có hệ thống của phương pháp và thiết bị đo gây ra một giá trị sai số nhất định đến kết quả đo tức là có trị số và dấu nhất định. Về nguyên tắc, nó tương ứng với sai số của máy đo (*xem phần sau*) cho nên trong lý thuyết về sai số người ta xử lý chúng giống nhau. Ví dụ khi đo khoảng cách giữa hai điểm, người ta sẽ có kết quả đúng nếu đo được chiều dài của đoạn thẳng nối trực tiếp giữa hai điểm đó - tức là khoảng cách ngắn nhất giữa hai điểm đó. Bất kỳ một phương pháp hoặc thiết bị nào khác không đạt được điều kiện trên sẽ có sai số về phương pháp hoặc thiết bị nào khác không đạt được điều kiện trên sẽ có sai số về phương pháp và thiết bị đo. Nguyên nhân của sai số về phương pháp và thiết bị đo có thể do hình dáng hình học của vật đo, tư thế đo, tổn thất do giãn nở nhiệt, dẫn nhiệt,...

Sai số có hệ thống của một thiết bị đo có thể được xác định qua so sánh kết quả với một thiết bị đo khác có độ chính xác cao hơn.

• Sai số máy đo

Những sai số do tự máy đo sinh ra gọi là sai số máy đo. Sai số máy đo được quyết định bởi độ chính xác trong lúc sản xuất của máy đo. Sai số máy đo có thể có ngay từ khi sản xuất ra nó, tức là máy còn mới và cũng có thể xuất hiện trong quá trình sử dụng ví dụ do sự hoá già của máy móc sinh ra hoặc do sự hao mòn của chúng. Về cơ bản mà nói, tất cả các máy đo được dùng vào đo đạc, thí nghiệm đều có thể hiệu chỉnh được. Công việc hiệu chỉnh cần phải được thực hiện trước và sau khi đo đạc thí nghiệm. Nếu hai giá trị hiệu chỉnh trước và sau khi thí nghiệm không thay đổi thì nó bảo đảm trong quá trình thí nghiệm không xuất hiện thêm các nhân tố của máy đo gây ảnh hưởng đến kết quả đo.

Ngoài ra trong máy đo còn gây ra những sai số do đặc điểm về tĩnh học và động học

của máy đo. Trong một số trường hợp, giá trị chỉ của máy đo được xác định bởi sự cân bằng của các lực tác dụng lên máy đo (P_t và P_n). Khi cân bằng, kim chỉ của máy đo phải đứng yên và có giá trị xác định, đúng với giá trị cần có nhưng trong thực tế do tác dụng của các nhân tố tĩnh học, ví dụ như độ đàn hồi của lò xo, các khe hở lắp ghép,... hoặc các nhân tố động học ví dụ sự dịch chuyển do quán tính, ma sát, ... mà kim chỉ nằm ở vị trí khác với vị trí cần thiết, vị trí đúng của nó. Ví dụ do hiện tượng ma sát là rõ ràng, dễ hiểu nhất. Ma sát lại phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố như phụ tải, số vòng quay hay tốc độ di chuyển, độ bẩn, tình trạng dầu mỡ, tình trạng nhiệt độ,... Sai số loại này không thể nào hiệu chỉnh được. Nó có thể được giảm bớt nếu như ma sát của các chi tiết chuyển động được giảm bớt và nếu như cơ cấu giảm rung của máy đo không phải chỉ do ma sát giữa các chi tiết chuyển động của máy đảm nhận. Chỉ có các máy đo làm việc đo các tia sáng và không có các chi tiết chuyển động bằng cơ khí mới loại trừ được sai số do ma sát gây ra.

Dựa vào khả năng và phương pháp hiệu chỉnh sai số đối với các sai số có thể hiệu chỉnh được, người ta còn phân sai số của máy đo ra các loại sau:

- *Sai số tỷ lệ:*

Sai số tỷ lệ hoặc sai số tịnh tiến là sai số biến đổi tăng dần khi giá trị đo càng tăng. Ví dụ sai số của các loại cân cánh tay đòn. Sai số loại này có thể biểu diễn dưới dạng hàm số bậc 1 hoặc các quan hệ toán học khác.

- *Sai số tuần hoàn:*

Sai số tuần hoàn là sai số mà sự biến thiên của nó được lặp lại trong một phạm vi chỉ của giá trị đo. Ví dụ sai số về vị trí của bánh xe răng trong hộp số.

- *Sai số điểm chuẩn hoặc điểm không:*

Trong trường hợp này ngay ở vị trí ban đầu, lúc chưa đo, giá trị chỉ của kim đã lệch khỏi vị trí qui định. Ở đây, giá trị sai số của nó là bằng hằng số trong toàn bộ phạm vi đo.

Các sai số trên của máy đo thuộc vào loại sai số có quy luật, người ta có thể khắc phục chúng một cách dễ dàng.

Một số sai số khác của máy đo thuộc loại không có quy luật, loại sai số này của máy đo xuất hiện làm cho kết quả đo ứng với mỗi lần đo một khác, tức là giá trị của nhiều lần đo không giống nhau. Nguyên nhân của các sai số loại này rất đa dạng, phong phú, trước tiên phải kể đến nhiều yếu tố ma sát, khe hở,....

• *Sai số do ảnh hưởng của môi trường*

Ngoài các nhân tố về thiết bị, phương pháp và máy đo đã được chỉ ở trên thì các nhân tố của môi trường xung quanh trong khi thực hiện phép đo gây ảnh hưởng rất lớn đến kết quả đo. Dưới tác dụng của môi trường xung quanh có thể làm cho kết quả đo sai lệch ngoài dự tính của người thực hiện. Khi kể đến ảnh hưởng của môi trường đến sai số của kết quả đo, ta phải kể đến các tác dụng vật-lí của môi trường đến máy đo. Ví dụ giá trị của nhiệt kế

thủy ngân chỉ có thể đọc được khi nó nằm ngoài môi trường cần đo. Phần cột thủy ngân nằm ngoài môi trường cần đo chịu tác dụng của nhiệt độ môi trường xung quanh, vì nó tiếp xúc với môi trường này. Phần chịu ảnh hưởng của môi trường xung quanh sẽ có sự giãn nở khác với phần chịu tác dụng của vật đo (môi trường đo). Vì vậy, độ giãn nở của cột thủy ngân là khác nhau (phần nằm ngoài môi trường đo (vật đo) sẽ có độ giãn nở ít hơn phần ở trong vật đo nếu nhiệt độ của vật đo là lớn hơn môi trường), do vậy sinh ra sai số. Sai số này có thể được khắc phục.

Ví dụ khác như kích thước của các vật thể phụ thuộc vào nhiệt độ. Vì vậy khi đòi hỏi độ chính xác cao thì khi nói đến kích thước của vật thể phải nói rõ ở nhiệt độ nào. Những máy đo chính xác, độ nhạy cao thường được đặt trong một môi trường ổn định, tinh khiết ví dụ như loại cân chính xác được đặt trong lồng kính và nhiệt độ là 20°C để khi cân tránh được sự tác dụng của gió, và vì loại cân này được hiệu chỉnh thông thường ở 20°C .

Ảnh hưởng của môi trường là rất đa dạng, ví dụ chúng ta còn cần phải kể đến áp suất rung động cơ học, bức xạ toả nhiệt, điện và từ trường, sự vắng đục của môi trường, gió, độ ẩm,..., tùy theo phép đo, đối tượng đo và thiết bị đo mà người làm thí nghiệm phải chú ý tới yếu tố nào. Tức là người làm thí nghiệm phải xác định cho được các nhân tố của môi trường ảnh hưởng đến kết quả thí nghiệm trong thời gian tiến hành thí nghiệm. Nếu không có các biện pháp, thiết bị xác định được ảnh hưởng này thì tốt nhất phải giữ nó không đổi hoặc tiến hành thí nghiệm trong các điều kiện như nhau.

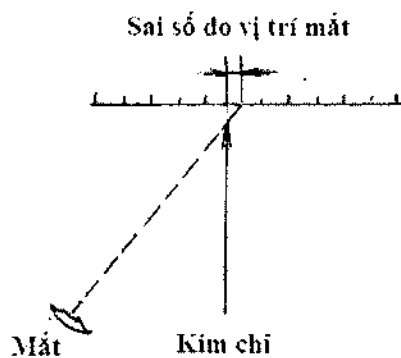
Trong sai số của môi trường gây ra có thể có các sai số tuân theo một quy luật nhất định, tức là thuộc sai số có hệ thống người ta có thể loại trừ được, có thể hiệu đính được. Nhưng có thể có các sai số không có quy luật, không thể hoặc khó xác định chúng, đó là những sai số ngẫu nhiên. Ví dụ sai số do độ đàn hồi của ống dẫn mềm không có chu kỳ trong thí nghiệm đo lưu lượng bằng phương pháp trọng lượng kiểu kín (xem 5.3.1.2).

• Sai số đọc

Ở trên ta vừa xét các nhân tố khách quan làm ảnh hưởng đến kết quả đo, làm xuất hiện sai số. Ở phần này ta xét đến sai số đọc, tức là sai số chủ quan do người làm thí nghiệm phạm phải, nó xuất hiện trong lúc theo dõi kết quả đo người quan sát - người làm thí nghiệm gây ra.

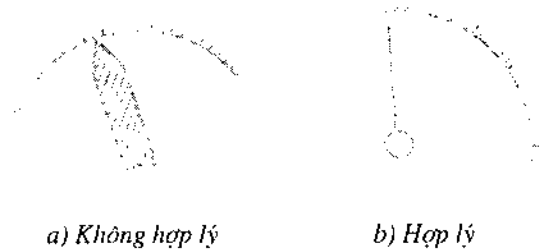
Nguyên nhân của sai số đọc - sai số chủ quan cũng rất phong phú, ví dụ trạng thái về tinh thần, sinh lý và đặc điểm của tính người đọc kết quả đo, phụ thuộc vào thiết bị đo, môi trường đo.

Sau đây ta có thể xem xét một vài thí dụ điển hình như sự phán đoán sai vạch chia trên thước đo do mắt không được đặt ở vị trí đúng là song song với



Hình 1.8. Sai số do vị trí đọc.

kim chỉ như biểu diễn ở hình 1.8. Sai số loại này càng lớn khi có hiện tượng chiếu sáng không đồng đều hoặc dụng cụ đo có kết cấu không hợp lý như kim chỉ, vạch chia quá dày. Để đảm bảo cho đọc chính xác người ta sử dụng các máy đo cỡ vạch chia nhỏ song sắc nét. Các giá trị tròn không nên bố trí các vạch to, đậm mà vẫn là những nét nhỏ nhưng dài hơn (hình 1.9). Hình dạng tốt nhất của kim chỉ là nó không được dày hơn vạch chia hoặc khoảng chia, cũng có thể được lắp các thiết bị phóng đại (kính lúp, kính hiển vi,...).



Hình 1.9. Sai số do kết cấu dụng cụ chỉ không hợp lý.

Chúng ta đã xem xét các nhân tố khách quan và chủ quan gây ra sai số kết quả đo. Nếu tất cả các nhân tố đó được xem xét rất cẩn thận và đạt được độ chính xác tuyệt vời thì cũng chỉ có thể giảm nhỏ được sai số, tuyệt nhiên không thể loại trừ được sai số, có nhiều trường hợp sai số gặp phải vượt quá giới hạn mà người ta tính toán và dự đoán trước. Sở dĩ có trường hợp này là vì trong thực tế tồn tại các yếu tố, các quy luật hoặc các thông số mà người thí nghiệm chưa nhận thức được, hoặc nhận thức chưa đầy đủ. Các yếu tố và quy luật này gây ra các sai số ngẫu nhiên làm cho kết quả bị dao động. Nguyên nhân của các sai số này có thể là:

- Sự thay đổi tác dụng tương hỗ giữa máy đo và vật đo.
 - Sự thay đổi không có quy luật của máy đo có dụng cụ chỉ.
 - Sự thay đổi không có quy luật của vật đo.
 - Những sự phụ thuộc về nhiệt động học
 - Đặc tính của người quan sát.
- Các sai số thuộc loại này có thể dùng lý thuyết về xác suất để giải quyết.

1.1.4.2. Đánh giá kết quả đo

Ở đây ta nghiên cứu một vài phương pháp đơn giản để biết được sai số kết quả đo. Cũng cần nhấn mạnh là *các phương pháp gia công số liệu chỉ có thể giảm bớt, phán đoán được sai số do quá trình đọc và sai số ngẫu nhiên mà thôi*. Các sai số khác do bố trí thí nghiệm hoặc do máy, do môi trường gây ra thuộc loại sai số có hệ thống, không thể dùng các biện pháp gia công số liệu này để giải quyết được.

Theo định nghĩa về sai số ta có thể viết ra dưới dạng biểu thức sau:

$$\text{Sai số} = \text{Sai} - \text{Đúng}$$

diễn giải bằng lời là sai số bằng giá trị sai trừ đi giá trị đúng, hay nói một cách khác thực

tiền

hơn là:

$$\text{Sai số} = \text{Kết quả đo} - \text{Đúng}$$

(bằng lời là: *Sai số là bằng kết quả đo trừ đi giá trị đúng*).

Kết quả của mỗi lần đo bao giờ cũng có được trong đó bao gồm là sai số hệ thống và sai số ngẫu nhiên. Ở đây vấn đề thật hiển nhiên và rõ ràng nếu ta biết được giá trị đúng. Vì giá trị đúng không thể biết được (không thể có được) nên trong thực tế biểu thức trên chỉ hoàn toàn mang ý nghĩa lý thuyết.

Chính vì vậy, để xác định giá trị của nhiều lần đo và độ chính xác của phép đo người ta thường phải lập ra giá trị trung bình của các lần đo. Giá trị trung bình cộng được tính như sau:

$$D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} A_i$$

trong đó: D - giá trị trung bình của các lần đo;

A_i - giá trị đọc của lần đo thứ i ;

n - số lần đo.

Bởi vì giá trị trung bình không thể đánh giá được độ chính xác của phép đo cho nên người ta đi đến phương pháp xác định sai số từ giá trị trung bình theo biểu thức sau:

$$\text{Sai số} = \text{Số đọc} - \text{Giá trị trung bình}$$

(Bằng lời: *sai số là bằng giá trị đọc trừ đi giá trị trung bình*), tức là:

$$\delta_i = A_i - D$$

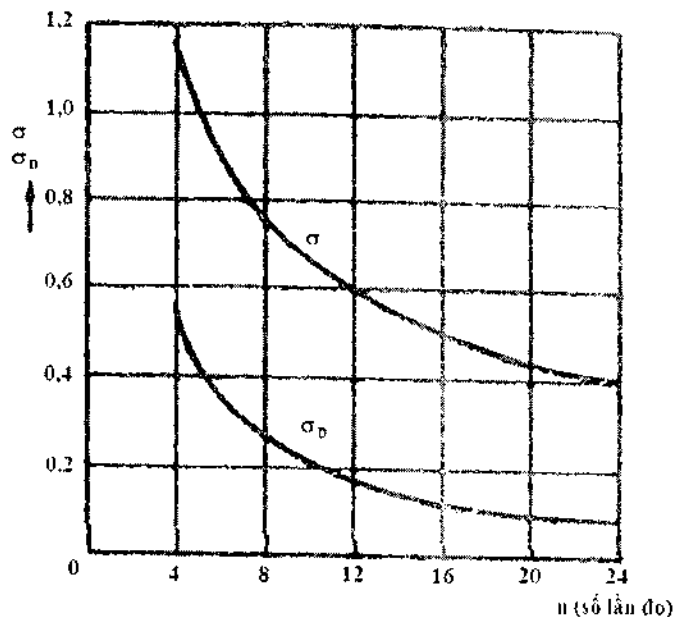
Ở đây δ_i là sai số của lần đọc thứ i .

Từ sai số của mỗi lần đọc δ_i ta đi đến tính giá trị trung bình của sai số và gọi là sai số trung bình.

$$\delta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} \delta_i$$

trong đó δ là sai số trung bình.

Trong những tính toán cho phép và đo đòi hỏi chính xác cao, người ta còn lập ra các giá trị trung bình bình phương, trung bình logarit,... của sai số.



Hình 1.10. Ảnh hưởng của số lần đo n đến độ phân li và độ không tin cậy.

Theo Gauss thì ta còn có khái niệm về sai số trung bình hay độ phân ly như sau:

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{n-1}}$$

với n là số lần đo lớn hơn 1 ($n > 1$)

Ngoài ra, Gauss còn đưa ra khái niệm về độ không tin cậy của giá trị trung bình.

$$\delta_D = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{n(n-1)}}$$

Nếu biểu diễn sai số trung bình δ và độ không tin cậy của giá trị trung bình δ_D theo Gauss phụ thuộc vào số lần đo n , ta được dạng đường cong hyperbol biểu diễn ở hình 1.10.

Từ hình vẽ trên ta có thể rút ra kết luận sau:

Sai số sẽ giảm bớt khi số lần đo càng tăng.

Tuy vậy, khi số lần đo quá lớn, vượt qua một giới hạn nào đó thì chẳng giúp ích gì cho việc giảm sai số nữa. Nói một cách khác là khi đạt tới một số lần đo giới hạn nào đó, ta có sai số giới hạn là giá trị nhỏ nhất, nếu tiếp tục tăng số lần đo lên thì không thể giảm được sai số một giá trị đáng kể.

Trong trường hợp giá trị trung bình cần xác định được do bởi nhiều thông số riêng biệt có độ chính xác khác nhau, chúng ta cần phải lưu ý ảnh hưởng của các thông số riêng biệt đến kết quả đo.

Ví dụ khi số vòng quay n bao gồm hai thông số đo là số vòng quay và thời gian.

Nếu gọi A_i là giá trị xác định được lại phụ thuộc vào một đại lượng khác a_i nào đó thì ta có:

$$D = \frac{\sum a_i A_i}{\sum 1_i}$$

Trở lại với thí nghiệm đo số vòng quay ở trên, ta có A_i là số vòng quay xác định được trong thời gian là a_i . Ta sẽ có bảng như sau (xem bảng 1.1).

Bảng 1.1: Ví dụ về tính sai số

Số vòng quay đếm được, vg	Thời gian đếm a_i , ph	Vòng quay A_i , (vg/ph)	Sai số $\delta' = A_i - D'$, vg/ph	Sai số $\delta = A_i - D$, vg/ph
10,025	5	2005	38	11
35,964	18	1998	45	18
6,309	3	2103	60	87
4,134	2	2067	24	51
			$= \pm 42$	$= \pm 27$

Giá trị trung bình đơn giản D' được tính như sau:

$$D' = \frac{\sum A_i}{n} = \frac{2005 + 1998 + 2103 + 2067}{4} = 2043 \text{ vg/ph}$$

$$\delta_i' = A_i - D'$$

$$\delta' = \frac{38 + 45 + 60 + 24}{4} = \pm 42 \text{ vg/ph}$$

Giá trị trung bình trong quan hệ phụ thuộc có thể tính như sau:

$$D = \frac{\sum a_i A_i}{\sum a_i} = \frac{2005 * 5 + 1998 * 18 + 2103 * 3 + 2067 * 2}{5 + 18 + 3 + 2}$$

$$D = 2015,5 \text{ vg/ph}$$

$$\delta = \frac{11 * 5 + 18 * 8 + 87 * 3 + 51 * 2}{5 + 18 + 3 + 2} = \pm 27 \text{ vg/ph}$$

Qua thí dụ trên ta nhận thấy được ảnh hưởng của các phương pháp xác định giá trị trung bình khác nhau đến giá trị của sai số.

Trong việc xác định các sai số riêng biệt của hàm số cho phép phán đoán được ảnh hưởng của từng thành phần đến kết quả chung. Mặt khác, khi biết được các thành phần riêng biệt có thể xác định được sai số của hàm số và qua đó tìm hiểu được độ chính xác của kết quả đo.

Sai số tổng cộng ΔE_g của hàm số nhiều biến số $E_g = f(x, y, z)$ được xác định từ sai số riêng biệt theo phương pháp đạo hàm riêng:

$$d E_g = \frac{\partial f}{\partial x} dx + \frac{\partial f}{\partial y} dy + \frac{\partial f}{\partial z} dz$$

tức là:

$$\Delta E_g = \Delta x \frac{\partial f}{\partial x} + \Delta y \frac{\partial f}{\partial y} + \Delta z \frac{\partial f}{\partial z}$$

1.1.4.3. Biểu diễn kết quả đo

Mục đích của việc biểu diễn kết quả đo, hay nói rộng ra mục đích của tất cả các thí nghiệm cốt làm cho mọi người có quan tâm nhận thức được nhanh và tốt nhất kết quả của thí nghiệm. Muốn người xem có thể bao quát được kết quả chính xác và nhanh nhất thì phải có cách thể hiện nó một cách tổng quát, sáng tỏ nhất.

Vậy nếu kết quả đo được biểu diễn dưới dạng các bảng số, thì người ta khó nhận thức nó một cách nhanh chóng, tổng quát và rõ ràng được mà thường phải qua một quá trình tư duy mới nhận thức được nó. Chính vậy, trong điều kiện cho phép và có thể được thì nên biểu diễn các kết quả đo dưới dạng các sơ đồ, đồ thị. Sau đây, chúng ta xem xét một vài trường hợp điển hình.