

## 1. Nhiệm vụ và yêu cầu của thiết bị đo :

Khi nghiên cứu thực nghiệm, các tham số của hệ khảo sát cần được làm sáng tỏ bằng những số liệu đo hoặc những đồ thị ghi nhận được trực tiếp hay gián tiếp từ các thiết bị đo lường tương ứng. Với mỗi tham số khảo sát của đối tượng nghiên cứu sẽ có những phương pháp và thiết bị đo phù hợp, thỏa mãn được các yêu cầu về độ nhạy cảm và độ chính xác.

Các thiết bị và dụng cụ đo tùy thuộc vào tính chất và mục đích làm việc, được tập hợp thành 5 nhóm cơ bản sau :

1. *Đo lực và áp suất* : thông dụng là các loại lực kế lò xo, lực kế cảm biến hoặc các loại đồng hồ đo áp lực chất lỏng, chất khí...
2. *Đo chuyển vị thẳng* thường dùng các thước đo độ dài như thước cặp, panme, đồng hồ đo chuyển vị, , các đầu đo dịch chuyển cảm biến...
3. *Đo độ giãn dài, biến dạng tương đối* của các thớ vật liệu : phổ biến là các loại tenzomet cơ học, quang học điện cảm, điện trở ...
4. *Đo xoay, biến dạng góc* của các phần tử, các liên kết trong kết cấu.
5. *Đo trượt và biến dạng trượt tương đối* giữa các thớ VL, các phần tử kết cấu ghép.

Nhóm thiết bị đo lực và áp suất nhằm xác định giá trị của tải trọng tác dụng khi tiến hành thí nghiệm, còn các nhóm khác đều phục vụ cho mục đích chủ yếu trong nghiên cứu công trình là xác định **trạng thái ứng suất - biến dạng**. Trong mỗi nhóm thiết bị có thể có nhiều chủng loại được thiết kế và chế tạo theo những cơ sở vật lý và sơ đồ cấu tạo khác nhau. Như vậy, trong đo lường sẽ nhận được những kết quả có mức độ chính xác khác nhau. Trong kỹ thuật đo, cần căn cứ vào các đặc trưng của đối tượng nghiên cứu, tính chất của tham số khảo sát và yêu cầu về độ chính xác của số đo để chọn những thiết bị đo .

## 2. Các thiết bị và phương pháp đo ứng suất - biến dạng theo cách đo điểm rời rạc :

Thiết bị và phương pháp đo điểm rời rạc được dùng rất phổ biến khi khảo sát trạng thái ứng suất - biến dạng, đặc biệt khi cần quan sát giá trị biến dạng của những điểm đặc trưng trong đối tượng. Những thiết bị và phương pháp đo theo cách đo điểm rời rạc được cấu tạo theo những nguyên lý khác nhau. Tuy nhiên dù được cấu tạo theo nguyên lý nào cũng cần thỏa mãn các yêu cầu sau :

- Cấu tạo đơn giản, số chi tiết là ít nhất, gọn và trọng lượng nhẹ;
- Tháo, lắp nhanh, dễ dàng, đảm bảo được ổn định và an toàn ;

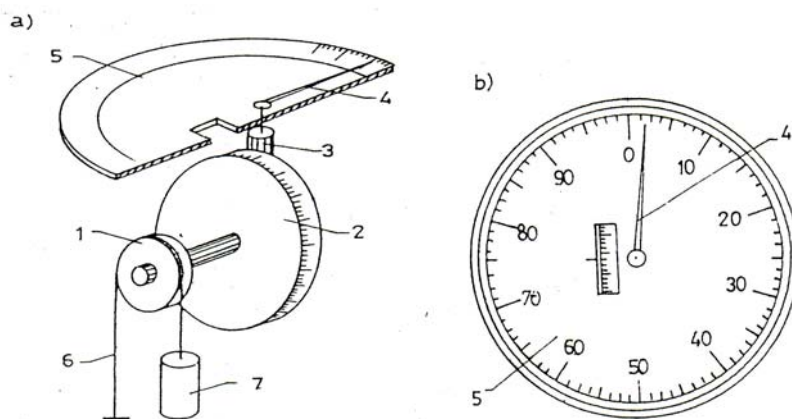
- Độ nhạy cảm và độ chính xác cao, luôn có thể đáp ứng được yêu cầu đúng đắn của số đo;
- Có khả năng đo các giá trị nằm trong khoảng đo rộng mà độ chính xác của số đọc và kết quả đo không bị ảnh hưởng;
- Chiều dài chuẩn đo thay đổi được liên tục;
- Giá trị của đại lượng cần đo được chỉ thị trực tiếp ngay trên thiết bị, không đòi hỏi phải qua tính toán chuyển đổi;
- Ít nhạy cảm với các ảnh hưởng của môi trường ...

**\* Phương pháp khảo sát liên tục** - Thường là những phương pháp chuyên dùng, đặc biệt khi nghiên cứu trên đối tượng mô hình hóa. Ưu điểm là cho biết ngay được quy luật phân bố của ứng suất - biến dạng trên 1 vùng hay toàn bộ đối tượng khảo sát; nhưng đại lượng thực của chúng thì thường phải thông qua các phép tính toán biến đổi trung gian, phép chuyển đổi mô hình hóa hoặc phép so sánh với giá trị chuẩn được xác định trước trên các phần tử chuẩn có trạng thái làm việc đơn giản.

**\* Phương pháp đo điểm rời rạc** - Phương pháp này cho ngay được giá trị biến dạng thực tại từng điểm riêng lẻ trên đối tượng ; nhưng khi muốn khảo sát quy luật phân bố thì đòi hỏi phải có số lượng điểm đo nhiều và liên tục. Thiết bị thường có cấu tạo đơn giản.

## 2.1 Đồng hồ đo chuyển vị lớn và phương pháp đo độ võng:

### 1. Nguyên lý cấu tạo và chuyển động ( hình 3.1)



**Hình 3.1.** Cấu tạo đồng hồ đo chuyển vị lớn

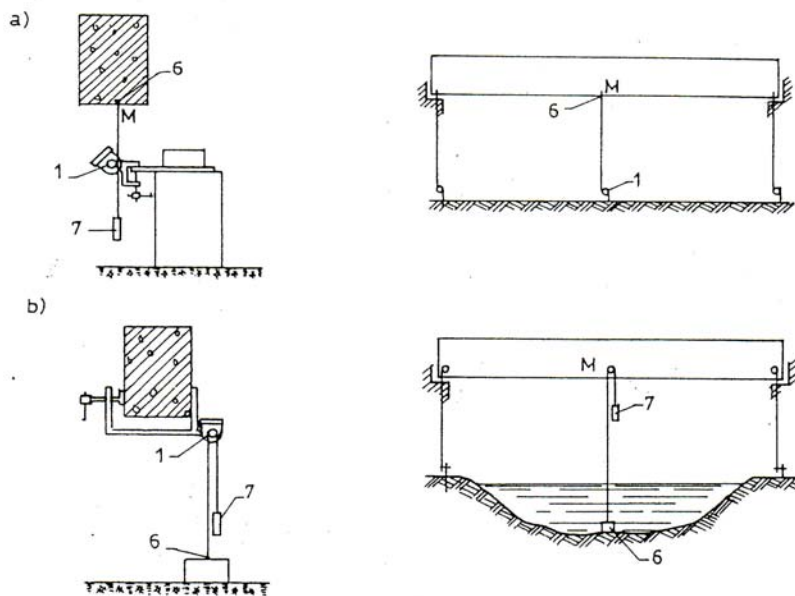
### 2. Phương pháp lắp đặt đồng hồ đo :

#### \* Cách 1 (h.3.2a) :

Đồng hồ đặt tại một vị trí cố định nằm trên phương chuyển vị của KC.

#### \* Cách 2 (h.3.2b):

Đồng hồ đặt tại điểm đo chuyển vị trên kết cấu.



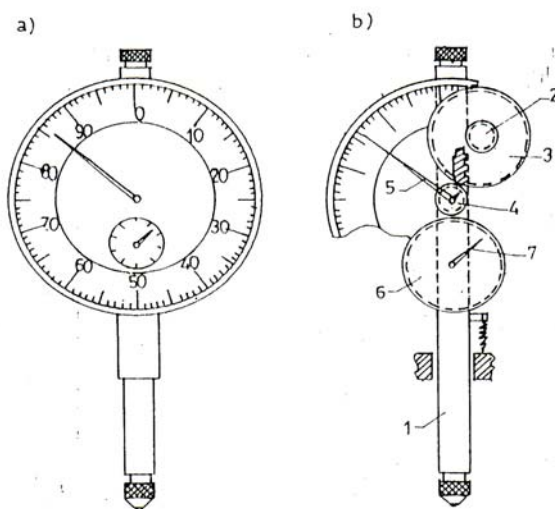
**Hình 3.2.** Sơ đồ đo độ vồng.  
a- khi đo tại điểm cố định  
nằm ngoài kết cấu  
b- khi đo tại điểm chuyển vị  
nằm trên kết cấu

### 3. Các đặc trưng cơ bản

- Đồng hồ đo chuyển vị kiểu đĩa quay không hạn chế khoảng đo, cho nên có thể đo độ vồng của kết cấu nhịp lớn, độ lún của cọc móng...;
- Giá trị của vạch đo trên mặt đồng hồ là 0,1 mm ;
- Có độ nhạy và độ chính xác cao.

## 2.2 Đồng hồ đo chuyển vị bé và phương pháp đo biến dạng $\varepsilon$

### 1. Nguyên lý cấu tạo và chuyển động (h.3.3).



**Hình 3.3.** Cấu tạo đồng hồ  
đo chuyển vị bé  
a-hình dạng đồng hồ  
b-cấu tạo hệ thống truyền  
động

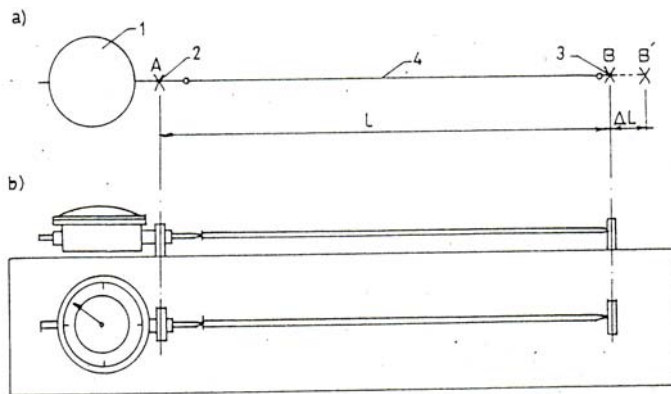
### 2. Các đặc trưng cơ bản :

- Hiện nay, những đồng hồ đo thông dụng có các giá trị vạch đo là 0,01; 0,02; 0,001 và 0,002 mm.

- Khoảng chuyển vị lớn nhất đo được của đồng hồ thường bị khống chế bởi giá trị của vạch đo. Cụ thể :
  - Với loại đồng hồ 0,01 và 0,02 có khoảng đo từ 10 đến 50mm;
  - Với loại đồng hồ 0,001 và 0,002 có khoảng đo từ 5 đến 10mm;

### 3. Các ứng dụng để đo biến dạng tương đối của vật liệu

a) Đo biến dạng tương đối trong kết cấu có kích thước lớn, có cấu tạo vật liệu không đồng nhất, có giá trị biến dạng lớn, có trường phân bố biến dạng đều đặn. (h 3.4)

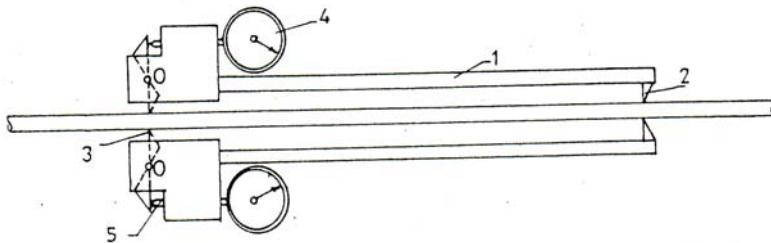


**Hình 3.4.** Đo biến dạng bằng đồng hồ đo chuyển vị bé

a- Sơ đồ cơ học

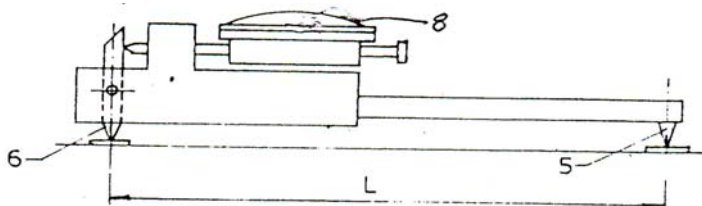
b- Sơ đồ lắp đặt để đo

b) Đo biến dạng trong những bản mỏng, thép hình, thép thanh có đường kính nhỏ, các dây kim loại, dây cáp... có thể dùng thiết bị đo biến dạng bằng cách ghép một cặp đồng hồ chuyển vị trên bộ giá kéo dài chuẩn đo, tiêu biểu cho loại này là thiết bị tenzomet MK-3 (h. 3.5).



**Hình 3.5.** Dụng cụ đo biến dạng bằng đồng thời trên hai thớ vật liệu đối xứng

c) Đo biến dạng trên các đối tượng chịu nhiệt độ hoặc biến dạng thay đổi chậm rãi theo thời gian, biến dạng từ biến ..., thường dùng loại thiết bị không lắp cố định tại chỗ đo gọi là **Comparator**, đồng hồ đo chuyển vị có độ nhạy 0,001mm. (h 3.6)



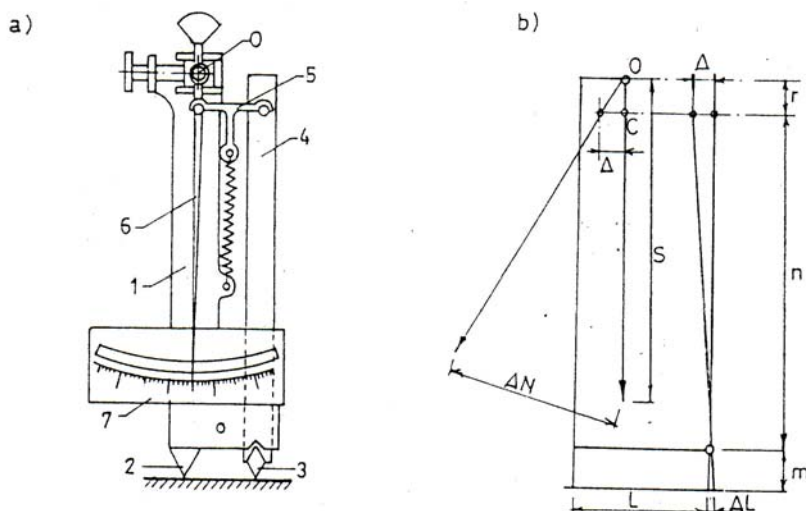
**Hình 3.6.** Sơ đồ cấu tạo và lắp đặt comparator

## 2.3 Tenzomet cơ học

Tenzomet cơ học là loại dụng cụ đo biến dạng từng điểm rời rạc được dùng phổ biến khi khảo sát trạng thái biến dạng tĩnh của kết cấu công trình; vì chúng có cấu tạo đơn giản, độ chính xác cao và ổn định trong quá trình đo. Trong đó, đặc trưng nhất là loại tenzomet đòn bẩy.

### 1. Nguyên lý cấu tạo và chuyển động của tenzomet đòn bẩy (h.3.7)

Dưới tác dụng của tải trọng, các thớ vật liệu của kết cấu bị co giãn 1 đoạn  $\Delta L$  và kéo dãn dao động (3) chuyển dịch theo. Ta có :



**Hình 3.7.** Sơ đồ cấu tạo  
tenzomet đòn bẩy

$$\Delta = \Delta L \frac{n}{m} \quad (3.1)$$

$$\Delta N = \Delta \frac{S}{r} = \Delta L \frac{n.S}{m.r} \quad (3.2)$$

K- hệ số khuếch đại: 
$$K = \frac{n.S}{m.r} \quad (3.3)$$

### 2. Các đặc trưng cơ bản và ưu nhược điểm:

\* Sai số số đọc lớn nhất :  $\pm 2,5.10^{-6}$

\* Hệ số khuếch đại :  $K = 1000$

\* Giá trị một vạch đo :  $1.10^{-3}$

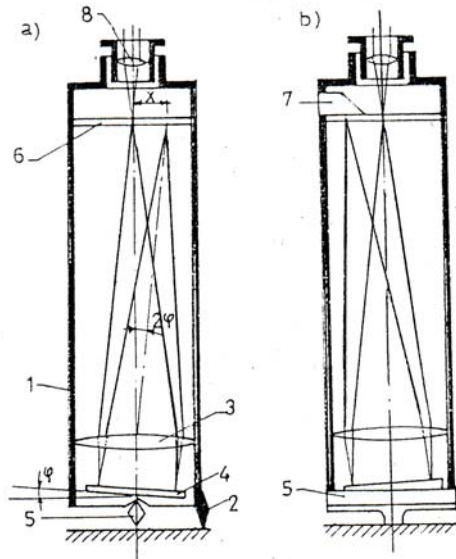
Tenzomet đòn bẩy có cấu tạo đơn giản, trọng lượng không lớn, độ chính xác cao. Tuy nhiên, xét từ cấu tạo còn tồn tại những nhược điểm như :

- Vật liệu đòn, các chi tiết dễ hỏng ;
- Liên kết các bộ phận chuyển động là liên kết bản lề không hoàn toàn, dễ bị xộc xệch khi tháo lắp ;
- Không đo được biến dạng động;
- Không sử dụng được ngoài trời mưa nắng.

### 2.4 Tenzomet quang học

Dựa trên nguyên tắc khuếch đại tín hiệu bằng hệ thống quang học. Các dụng cụ đo này rất dễ dàng đạt được độ nhạy cảm cao khi đo biến dạng tĩnh. Đặc trưng cho loại dụng cụ đo biến dạng nhờ hệ thống kính quang học là các tenzomet phản chiếu gương phẳng.

1. Sơ đồ cấu tạo: (h. 3.8 a,b)



**Hình 3.8.** Tenzomet quang học

1- vỏ, 2-chân cố định, 3-vật kính có tiêu cự f, 4-gương phẳng, 5-chân di động, 6-tấm kính mờ có chia vạch, 7-lăng kính lấy ánh sáng, 8-thị kính

Ta có :  $X = f \cdot \tan 2\varphi = 2f\varphi$  (3.4)

$\varphi = \frac{X}{2f}$  (3.5)

Mặt khác,  $\varphi = \frac{\Delta l}{m}$

Cuối cùng ta có :  $X = \frac{2f \cdot \Delta l}{m} = k\Delta l$  (3.6)

Gọi K là hệ số khuếch đại của tenzomet:  $K = \frac{2f}{m}$  (3.7)

Trong đó : f - tiêu cự của vật kính  
m - chiều cao của gối dao di động  
 $\Delta L$  - độ giãn dài của vật liệu

2. Các đặc trưng cơ bản :

\* Chiều cao toàn bộ của tenzonmet: 145mm

\*Kích thước chuẩn đo :  $L = 10 \div 20\text{mm}$

\*Số vạch chia trên thang đo : 160 vạch với vạch 0 ở chính giữa .

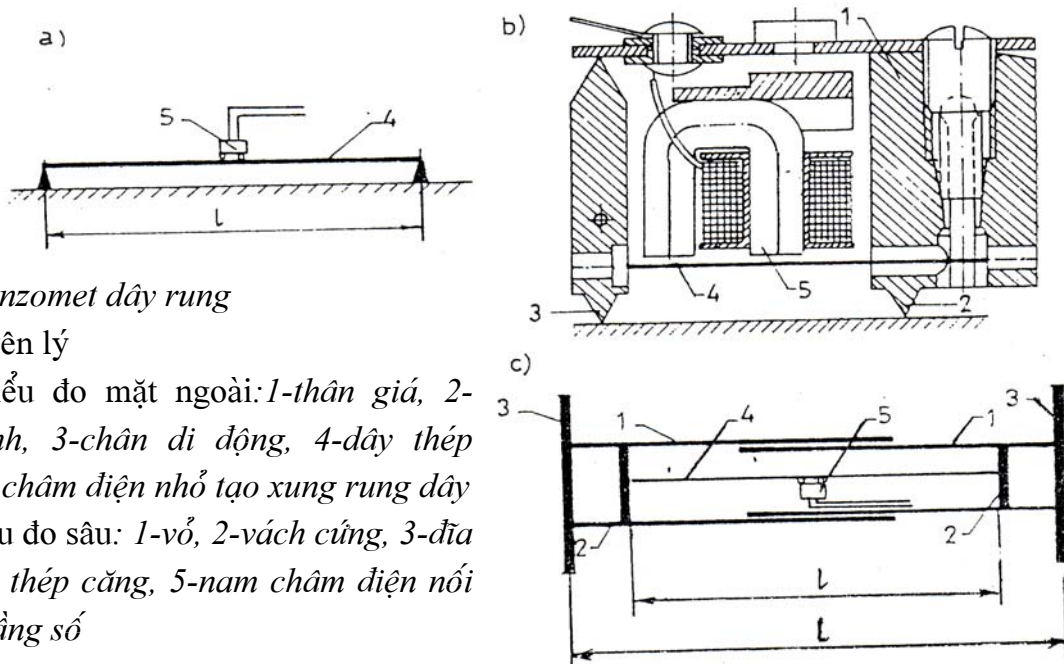
\*Khoảng cách các vạch chia: 1,25mm biểu thị một lượng biến dạng VL là 1 micron.



\*Hệ số khuếch đại :

K= 1250

## 2.5 Tenzomet dây rung :(h.3.9)



**Hình 3.9. Tenzomet dây rung**

a-sơ đồ nguyên lý

b-cấu tạo kiểu đo mặt ngoài: 1-thân giá, 2-chân cố định, 3-chân di động, 4-dây thép căng, 5-nam châm điện nhỏ tạo xung rung dây  
c-cấu tạo kiểu đo sâu: 1-vỏ, 2-vách cứng, 3-đĩa cứng, 4-dây thép căng, 5-nam châm điện nối với bộ đếm tầng số

Dụng cụ đo biến dạng kiểu dây rung dựa trên cơ sở quan hệ giữa tần số dao động riêng của sợi dây với lực kéo căng trong dây. Tần số  $f$  của sợi dây căng khi dao động ngang phụ thuộc chiều dài  $l$  của dây, đặc trưng cho độ chặt  $\rho$  của vật liệu dây, ứng suất căng  $\sigma$  trong dây; xác định theo công thức :

$$f = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}} \quad (3.8)$$

Nếu căng một sợi dây và giữ chặt trên bề mặt của kết cấu; khi kết cấu bị biến dạng, dây sẽ bị kéo căng thêm và do đó tần số dao động ngang của dây cũng bị thay đổi theo.

Ta có :

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = 4 \frac{\rho l^2}{E} (f_2^2 - f_1^2) \quad (3.9)$$

$f_1, f_2$ : tần số dao động ngang của dây trước và sau lúc kết cấu biến dạng .

1.Sơ đồ cấu tạo và chuyển động: Xem hình 3.9

2.Các đặc trưng cơ bản, phạm vi ứng dụng

- Chiều dài chuẩn đo: 20,50 và 100mm; Độ chính xác đạt đến  $1.10^{-6}$
- Đo các đối tượng có khối lượng lớn và nghiên cứu trong thời gian dài
- Tenzomet có độ cứng bản thân rất lớn do đó không dùng để đo biến dạng trong các đối tượng mỏng và mềm.

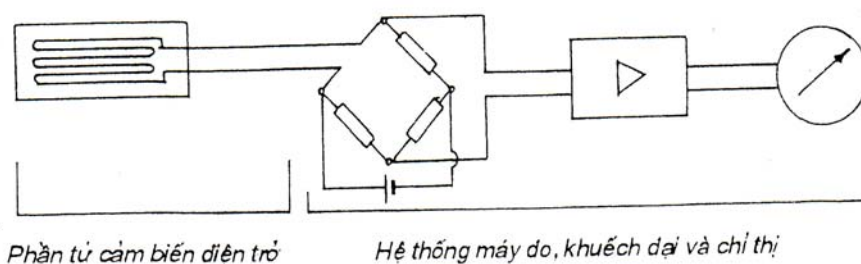
### 3. Tenzomet cảm biến điện trở

### 3.1 Khái niệm chung

Tenzomet cảm biến điện trở là một dụng cụ đo được sử dụng rộng rãi, có hiệu quả, cho độ chính xác cao khi tiến hành khảo sát tham số biến dạng tương đối của nhiều loại vật liệu khác nhau thuộc nhiều lĩnh vực nghiên cứu khoa học và kỹ thuật. Ưu điểm :

1. Đo được những biến dạng nhỏ  $10^{-5}$  -  $10^{-6}$  đến các biến dạng rất lớn của vật liệu khi làm việc ngoài trạng thái đàn hồi.
2. Đo biến dạng tĩnh, động, xung kích, biến dạng trong những vùng có tập trung ứng suất cao.
3. Đo biến dạng trong những môi trường có chế độ khắc nghiệt :
4. Có kích thước và hình dạng đáp ứng được trạng thái làm việc của đối tượng. Đo được biến dạng phân tán theo nhiều phương.
5. Có nhiều loại kích thước chuẩn đo thích hợp, từ rất nhỏ 0,25 mm đến rất lớn 1000 - 1200mm.
6. Có độ cứng riêng và trọng lượng bản thân bé.
7. Có thể tiến hành với số lượng lớn điểm đo lớn trên một kết cấu trong khoảng thời gian ngắn .
8. Đảm bảo độ chính xác cao cho kết quả đo
9. Ứng dụng để đo được nhiều tham số cơ học khác như trọng lượng, lực, chuyển vị...

Tenzomet cảm biến điện trở được tạo thành từ hai bộ phận cơ bản như (h. 3.10) :



**Hình 3.10.** Sơ đồ cấu tạo tenzomet cảm biến điện trở

- Khi đo biến dạng động có thể ghi được nhờ các dao động ký, băng từ, máy tính ...

### 3.2 Phần tử cảm biến điện trở

Các phần tử cảm biến điện trở được chế tạo từ những dây thanh mảnh bằng vật liệu hợp kim có điện trở suất cao.

1. *Phần tử cảm biến dây tiết diện tròn* là một sợi dây điện trở từ vật liệu hợp kim constantan hoặc nicrom có đường kính  $d = 0,01 \div 0,04$  mm được căng thành nhiều vòng và dán chặt trên bề mặt của một lớp vật liệu mỏng, gọi là lớp nền. Vật liệu của lớp nền có

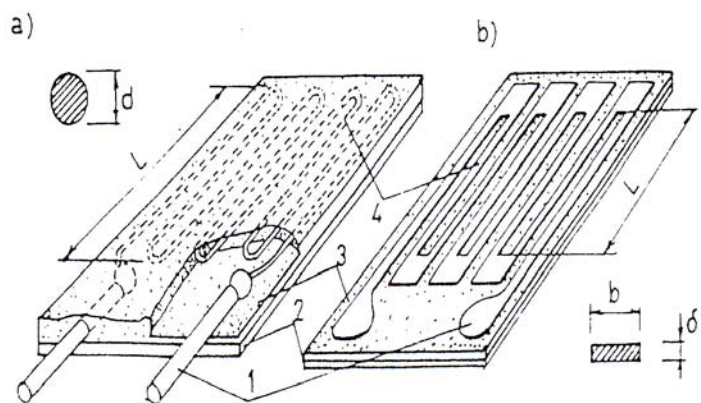


thể bằng loại giấy cellulose mỏng (nền giấy) hoặc bằng một lớp giấy keo mỏng (nền keo). (**h. 3.11a**). Cảm biến điện trở dây tròn thông thường có chiều dài chuẩn đo từ 3 đến 150 mm và chỉ số điện trở dao động từ 100 đến 400 Ohm.

2. *Phần tử cảm biến dây tiết diện dẹt* được chế tạo bằng phương pháp thẳng hoa. Dùng những tờ giấy bằng vật liệu constantan hoặc nicrom có giá trị điện trở suất cao và chiều dày không quá 4 - 6 micron; trên mặt tờ giấy phủ một lớp keo mỏng, sau khi lớp keo phủ khô, tiến hành áp sát bề mặt không phủ keo của tờ giấy vào tấm kính phim âm bản đã thu nhỏ đúng kích thước yêu cầu hình ảnh của các phần tử cảm biến. Rọi ánh sáng trắng qua bản phim chụp để in hình các phần tử cảm biến lên tờ giấy hợp kim; sau đó cho tờ giấy điện trở vào một dung dịch hóa chất ăn mòn để làm hòa tan phần vật liệu do tấm phim che không cho ánh sáng lọt qua và giữ lại trên lớp keo những phần vật liệu có ánh sáng rọi vào (**h.3.11b**)

Ưu điểm:

- Chế tạo được các phần tử có kích thước chính xác và phân bố đều đặn;
- Có nhiều loại hình dạng theo đòi hỏi của kỹ thuật đo;
- Độ nhạy cảm theo phương ngang của phần tử đo rất nhỏ, không ảnh hưởng kết quả đo;
- Dính kết với kết cấu tốt



**Hình 3.11.** Phần tử cảm biến điện trở

1- dây nối tiếp, 2-lớp nền, 3- lớp keo, 4-dây điện trở

### 3.3 Nguyên lý làm việc và hệ số nhạy cảm của các phần tử cảm biến điện trở:

Cơ sở của phương pháp đo biến dạng tương đối trên kết cấu công trình bằng các phần tử cảm biến điện trở dựa trên mối quan hệ giữa sự thay đổi trị số điện trở với độ giãn dài của dây dẫn.

Như đã biết trong điện học: 
$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (3.10)$$

Xét một đoạn dây điện trở thẳng được dán chặt trên bề mặt của kết cấu. Khi kết cấu bị biến dạng, đoạn dây điện trở biến dạng theo trên chiều dài  $l$  với độ giãn dài tương đối là  $dl/l$ ; diện tích tiết diện ngang của dây cũng bị thay đổi  $dS/S$ ; điện trở suất của vật liệu dây  $\rho$  cũng biến thiên một giá trị tương đối  $d\rho/\rho$ .

Sự thay đổi tương đối về diện tích tiết diện ngang  $dS/S$  của dây có liên quan mật thiết đến độ giãn dài  $dl/l$ . Thật vậy, diện tích tiết diện ngang của dây là  $S = \pi r^2$  và vi phân của  $S$  theo  $r$  bằng  $dS = 2\pi r \cdot dr$  nên :

$$\frac{dS}{S} = \frac{2\pi r dr}{\pi r^2} = 2 \frac{dr}{r} \quad (3.11)$$

$$\frac{dS}{S} = 2 \frac{dr}{r} = -2\mu \frac{dl}{l} \quad (3.12)$$

Với sự thay đổi tương đối về kích thước chiều dài  $dl/l$ , về tiết diện ngang  $dS/S$  của dây dẫn và về điện trở suất của vật liệu dây  $d\rho/\rho$  sẽ làm thay đổi giá trị tương đối về điện trở của dây  $dR/R$ .

Đại lượng  $dR/R$  được xác định bằng phép tính vi phân toàn phần của liên hệ trên. Ta có :

$$\begin{aligned} dR &= \frac{\rho}{S} dl + \frac{l}{S} d\rho - \frac{pl}{S^2} dS ; \\ \frac{dR}{R} &= \frac{dl}{l} + \frac{d\rho}{\rho} - \frac{dS}{S} = \frac{dl}{l} + \frac{d\rho}{\rho} + 2\mu \frac{dl}{l} \\ \frac{dR}{R} &= \frac{dl}{l} \left[ 1 + 2\mu + \frac{d\rho}{\rho(dl/l)} \right] \end{aligned} \quad (3.13)$$

Suy ra: 
$$\frac{(dR/R)}{(dl/l)} = \left[ 1 + 2\mu + \frac{d\rho}{\rho(dl/l)} \right] \quad (3.14)$$

Gọi  $\eta_d$  là hệ số nhạy cảm của dây điện trở: 
$$\eta_d = \left[ 1 + 2\mu + \frac{d\rho}{\rho\varepsilon} \right] \quad (3.15)$$

Ta có : 
$$\frac{dR}{R\varepsilon} = \eta_d \quad (3.16)$$

Hệ số nhạy cảm  $\eta_d$  của một đoạn dây điện trở thẳng là tỷ số giữa sự thay đổi điện trở  $dR/R$  và độ giãn tương đối của chiều dài  $dl/l$ .

Giá trị của hệ số nhạy cảm  $\eta_d$  sẽ nhận được bằng phương pháp hiệu chỉnh thực nghiệm trên một dầm chuẩn chịu uốn.

Như vậy , số gia của điện trở  $\Delta R$  trong quá trình dây bị biến dạng được xác định bằng liên hệ sau : 
$$\Delta R = \eta_d \varepsilon R \quad (3.17)$$

Đối với một phần tử cảm biến điện trở hoàn chỉnh sẽ gồm những phần dây căng theo phương dọc (I) và những phần nằm theo phương ngang (II) cho nên số gia điện trở của một tenzo cảm biến điện trở sẽ là :

$$\frac{\Delta R_T}{R_T} = \eta_d \varepsilon_I + \eta_n \varepsilon_{II} = \eta_d \varepsilon_I - \eta_n \mu \varepsilon_I = (\eta_d - \mu \eta_n) \varepsilon_I \quad (3.18)$$

Đặt 
$$\eta_T = (\eta_d - \mu \eta_n) \quad (3.19)$$

ta có : 
$$\Delta R_T = \eta_T R_T \varepsilon \quad (3.20)$$

Thường  $\eta_d / \eta_n = 0,012 \div 0,02$  khi tenzo cảm biến điện trở có chuẩn đo  $l > 10\text{mm}$ .

Trị số  $\eta_n$  có thể giảm nếu như các phần dây ngang có diện tích tiết diện lớn hơn các phần tử dọc. Điều này đã được thực hiện khi chế tạo các phần tử tenzo cảm biến điện trở dây dẹt.

Hệ số nhạy  $\eta_T$  của các tenzo cảm biến điện trở còn chịu ảnh hưởng của thành phần biến dạng ngang, tính chất của lớp nền và keo dán. Vì thế, để kể đến các yếu tố trên, giá trị của hệ số nhạy  $\eta_T$  sẽ được xác định qua kết quả hiệu chỉnh bằng thực nghiệm trên mẫu chuẩn khi biết chính xác giá trị biến dạng tương đối phát triển trong mẫu. Hệ số  $\eta_T$  còn thay đổi khi chiều dài chuẩn đo  $l$  của các tenzo cảm biến có giá trị khác nhau.

### **3.4 Ảnh hưởng của sự thay đổi nhiệt độ đến độ chính xác của phép đo :**

Khi nhiệt độ của môi trường đo thay đổi sẽ làm ảnh hưởng đến tính chất vật liệu của dây cảm biến, đặc biệt làm thay đổi điện trở suất của vật liệu, kích thước hình học của dây; đồng thời sẽ ảnh hưởng đến tính chất của lớp keo dán và cuối cùng làm thay đổi điện trở của các phần tử cảm biến. Tất cả những yếu tố đó dẫn đến sự sai lệch trị số điện trở trong các phần tử cảm biến và phép đo sẽ cho những kết quả đo không phản ánh đúng giá trị biến dạng thực tế cần khảo sát vì trong số đo nhận được có cả giá trị biến dạng do sự thay đổi nhiệt độ của môi trường.

Ảnh hưởng của nhiệt độ môi trường đến kết quả phép đo được khắc phục bằng biện pháp dùng trong hệ thống đo một hoặc nhiều phần tử cảm biến bù nhiệt.

### **3.5 Xác định giá trị biến dạng tương đối của tenzo cảm biến điện trở**

Từ liên hệ (3.21), ta có thể biểu diễn độ nhạy cảm của tenzo cảm biến bằng :

$$\eta_T = \frac{\Delta R_T}{R_T} \cdot \frac{1}{\varepsilon} \quad (3.21)$$

Từ đó giá trị biến dạng của tenzo cảm biến sẽ là :

$$\varepsilon = \frac{1}{\eta_T} \cdot \frac{\Delta R_T}{R_T} \quad (3.22)$$

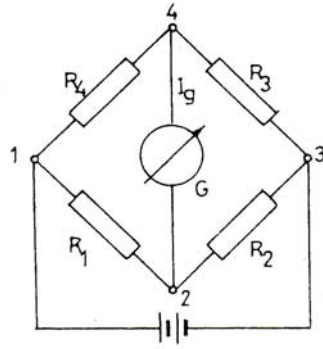
Để tìm được giá trị biến dạng tương đối, ngoài hệ số nhạy cảm  $\eta_T$  được xác định bằng phương pháp hiệu chỉnh thực nghiệm, còn cần phải đo trị số biến thiên điện trở  $\Delta R$  hay  $\Delta R/R$  xảy ra trong tenzo cảm biến.

Trị số của  $\Delta R/R$  trong thực tế lớn nhất chỉ đạt đến 1,5%, cho nên để xác định lượng biến thiên  $\Delta R/R$  trong kỹ thuật đo lường các đại lượng điện thường dùng cầu đo Wheatstone.

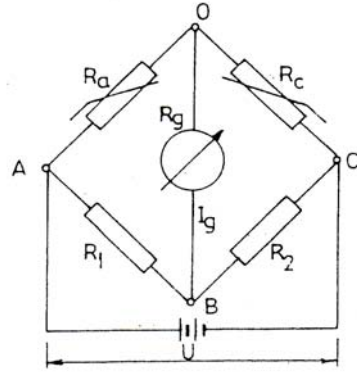
#### **1. Nguyên tắc đo của cầu wheatstone:**

Trên hình 3.12 thể hiện sơ đồ cầu gồm 4 điện trở  $R_1, R_2, R_3, R_4$  nối với nhau thành bốn nhánh cầu 1-2, 2-3, 3-4, 4-1. Các điểm 1-3 nối với nguồn cung cấp ; trên đường chéo 2-4 đặt trên đồng hồ đo dòng hay đo hiệu điện thế. Khi thực hiện được trên cầu đo điều kiện :

$$R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4 \quad (3.23)$$



**Hình 3.12.** Sơ đồ nguyên lý cầu đo



**Hình 3.13.** Sơ đồ đo cầu lệch

thì sẽ nhận được cầu cân bằng và khi đó, trên đường chéo 2-4 sẽ không có dòng điện  $I_g$ . Trường hợp ngược lại, không thực hiện được điều kiện cân bằng trên thì trong đường chéo 2-4 sẽ xuất hiện dòng điện  $I_g$  và có giá trị bằng :

$$I_g = \frac{U(R_1 R_3 - R_2 R_4)}{R_g (R_1 + R_2)(R_3 + R_4) + R_1 R_2 (R_3 + R_4) + R_3 R_4 (R_1 + R_2)} \quad (3.24)$$

Dựa trên nguyên tắc đó để chế tạo các thiết bị đo giá trị biến thiên điện trở  $\Delta R/R$  trong các tenzo cảm biến khi đo biến dạng tương đối của vật liệu và kết cấu công trình .

## 2. Phép đo sự biến thiên của điện trở $\Delta R/R$ bằng phương pháp lệch cầu (h.3.13)

Trên cầu đo dùng hai điện trở không đổi  $R_1, R_2$  có cùng một trị số điện trở và có độ chính xác cao tạo thành nửa cầu trong.

Thay hai điện trở  $R_3$  và  $R_4$  bằng hai phần tử tenzo cảm biến  $R_a$  và  $R_c$  ban đầu có cùng trị số điện trở như nhau và có thể thay đổi.

$R_a$  - tenzo cảm biến dùng để đo biến dạng trên kết cấu khảo sát;

$R_c$  - tenzo cảm biến dùng để khử ảnh hưởng của nhiệt độ .

Trước khi đo, thực hiện trên cầu điều kiện cân bằng ban đầu :

$$R_2 \cdot R_a = R_1 \cdot R_c \quad (3.25)$$

Khi vật liệu của kết cấu bị biến dạng, điện trở  $R_a$  của phần tử cảm biến dán trên kết cấu thay đổi một lượng  $\Delta R_a$  ; lúc đó sự cân bằng ban đầu của cầu đo bị phá hoại và lập tức trong đường chéo OB của cầu xuất hiện dòng điện  $I_g$  bằng :

$$I_g = U \frac{R_1 R_c - R_2 (R_a + \Delta R_a)}{R_g (R_1 + R_2) R_* + R_1 R_2 R_* + R_c (R_a + \Delta R_a) (R_1 + R_2)} \quad (3.26)$$

Với  $R_* = R_a + \Delta R_a + R_c$  .

Khai triển biểu thức (3.26) , có chú ý xét đến điều kiện cân bằng ban đầu là  $R_2 \cdot R_a = R_1 \cdot R_c$  và bỏ lượng vô cùng bé  $\Delta R_a$  ở mẫu số, ta có :

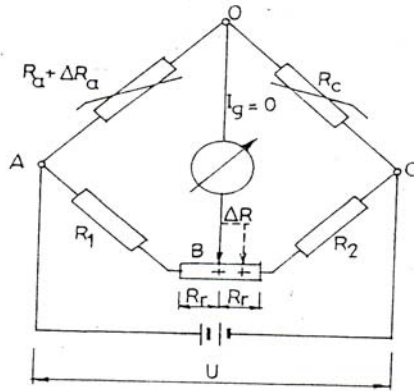
$$I_g = \frac{U \Delta R_a R_2}{R_g (R_1 + R_2) (R_a + R_c) + R_1 R_2 (R_a + R_c) + R_a R_c (R_1 + R_2)} \quad (3.27)$$

Trong thực tế thường chọn trị số điện trở của  $R_1 = R_2$  và  $R_a = R_c$  , nên biểu thức của dòng  $I_g$  có dạng :

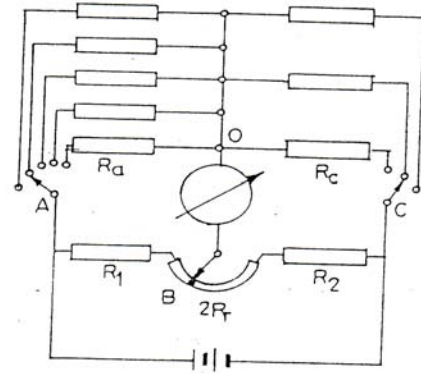
$$I_g = \frac{U}{2R_a} \frac{\frac{\Delta R_a}{R_a}}{2 \frac{R_g}{R_a} + \frac{R_l}{R_a} + 1} = f\left(\frac{\Delta R_a}{R_a}\right) \quad (3.28)$$

Do sự biến thiên  $\Delta R_a/R_a$  qua dòng  $I_g$  trên đường chéo OB gọi là phương pháp đo trực tiếp hay phương pháp đo lệch cầu.

1. *Phép đo sự biến thiên điện trở  $\Delta R/R$  bằng phương pháp cầu cân bằng:*



**Hình 3.14.** Sơ đồ đo cầu cân bằng



**Hình 3.15.** Sơ đồ đo thực tế

Sơ đồ cầu đo theo phương pháp cầu cân bằng cơ bản vẫn như trường hợp đo cầu lệch; nhưng ở đây cần tách điểm b ra và nối vào đó một biến trở có trị số điện trở  $2R_r$ . Trạng thái cân bằng cầu sẽ tương ứng với vị trí con chạy trên biến trở nằm chính giữa để chia biến trở thành hai phần có chỉ số điện trở bằng nhau là  $R_r$  (h. 3.15). Điều kiện cân bằng ban đầu:

$$R_a (R_2 + R_r) = R_c (R_1 + R_r) \quad (3.29)$$

Nếu lúc đó, giá trị điện trở trên  $R_a$  biến thiên 1 lượng  $\Delta R_a$  do kết cấu bị biến dạng thì trạng thái cân bằng ban đầu của cầu đo bị phá; muốn thành lập điều kiện cân bằng mới, cần phải dịch chuyển con chạy trên biến trở để thay đổi điện trở trên hai nhánh cầu trong AB và BC. Giả sử dịch chuyển con chạy trên biến trở một lượng  $\Delta R_r$  thì thành lập trạng thái cân bằng mới tương ứng của cầu. Điều kiện cân bằng mới :

$$(R_a + \Delta R_a)(R_2 + R_r - \Delta R_r) = R_c (R_1 + R_r + \Delta R_r) \quad (3.30)$$

Triển khai biểu thức (3.30), có kể đến điều kiện cân bằng ban đầu:

$$\Delta R_a (R_2 + R_r) = \Delta R_r (R_c + R_a + \Delta R_a) \quad (3.31)$$

$$\text{Từ đó ta có : } \Delta R_r = \frac{(R_2 + R_r) \Delta R_a}{R_c + R_a + \Delta R_a} \quad (3.32)$$

Thông thường  $\Delta R_a$  rất nhỏ so với tổng số điện trở của hai tenzo cảm biến ( $R_a + R_c$ ), nên lượng biến thiên điện trở  $\Delta R_r$  trên biến trở sẽ tỷ lệ thuận với trị số điện trở biến thiên của tenzo cảm biến  $R_a$ . Cuối cùng :

$$\Delta R_r = \frac{R_2 + R_r}{R_c + R_a} \Delta R_a \quad (3.33)$$

Phương pháp đo cầu cân bằng cho độ chính xác cao, vì lúc cầu cân bằng dòng điện  $I_g$  trên đường chéo OB bằng không, và lúc đó sự thay đổi điện áp nguồn cung cấp không ảnh hưởng đến kết quả của phép đo. Ngoài ra, giá trị đo không bị hạn chế bởi khoảng đo nhỏ của đồng hồ đo.

### **3.6 Sơ đồ các máy đo thực tế với nhiều điểm đo biến dạng tương đối**

Trên hình 3.15 trình bày sơ đồ cấu tạo thực tế của cầu đo theo nguyên tắc cầu cân bằng. Khi dùng các tenzo cảm biến điện trở để đo, chỉ cần chuẩn bị các tenzo cảm biến của hai nhánh cầu ngoài gồm :

- Các tenzo cảm biến điện trở  $R_a$  nối song song với nhau trên nhánh cầu OA, dùng để đo biến dạng tại các điểm khảo sát trên kết cấu công trình. Chỉ số điện trở của các tenzo cảm biến cần chọn xấp xỉ như nhau, thường thì cho phép chênh khoảng  $\pm 0,25$  Ohm.

- Các tenzo cảm biến điện trở  $R_c$  cũng được nối song song với nhau trên nhánh cầu OC và dùng làm các điện trở bù nhiệt (có tác dụng khử ảnh hưởng nhiệt độ của môi trường). Các điện trở bù nhiệt  $R_c$  cần được dán trên những vùng kết cấu không làm việc hoặc trên các miếng vật liệu của kết cấu, rồi đặt trong môi trường thí nghiệm. Chỉ số điện trở của mỗi tenzo cảm biến bù nhiệt cần chọn bằng chỉ số điện trở của từng chiếc tenzo  $R_a$  hoặc từng nhóm tenzo  $R_a$  có cùng điện trở như nhau. Trường hợp đơn giản nhất là chọn tất cả các tenzo cảm biến đo  $R_a$  dán trên kết cấu khảo sát có cùng một chỉ số điện trở bằng nhau thì trong phép đo chỉ cần một tenzo cảm biến bù nhiệt  $R_c$  là đủ.

- Hiện nay, đối với các cầu đo biến dạng tĩnh như máy P-3500, USB-11A, 3800, System 4000, cũng như các cầu đo biến dạng động như System 2300, 2100, CDA, MCC... thường dùng những tenzo cảm biến đo  $R_a$  và bù  $R_c$  có chỉ số điện trở là  $R_a = 120$  và 350 Ohm.

\*\*\*\*\*