

## Biểu đồ cấu tạo

Chu Văn Ngợi. Khoa Địa chất,  
Trường Đại học Khoa học Tự nhiên (ĐHQG HN).

### Giới thiệu

Trong Địa chất học, việc nghiên cứu ứng suất và biến dạng của đá có ý nghĩa khoa học và thực tiễn cao. Kết quả nghiên cứu về ứng suất và biến dạng là cơ sở khoa học quan trọng để luận giải bối cảnh địa động lực của một vùng, một khu vực; đồng thời cũng có giá trị phục vụ xây dựng các công trình hạ tầng cơ sở (cầu cống, đường giao thông, các nhà cao tầng, đập thủy điện, v.v...) góp phần giảm thiểu tai biến.

Các nhà địa chất đã áp dụng lý thuyết biến dạng vật thể rắn (các kim loại) vào nghiên cứu biến dạng các đá. Kim loại và đá khác nhau về tính chất vật lý và sự biến dạng, nhưng cũng có nhiều điểm chung. Sự biến dạng của đá xảy ra trong các thời đại địa chất dưới tác động của trường lực rất phức tạp và khác xa điều kiện ở trong phòng thí nghiệm. Bởi vậy khi nghiên cứu sự biến dạng của đá phải chú ý đến các nhân tố ảnh hưởng đến quá trình biến dạng.

Trong nghiên cứu ứng suất và biến dạng, các nhà địa chất đã xác lập một số biểu đồ, sơ đồ biểu diễn các đại lượng, có tính khái quát và phản ánh được trạng thái ứng suất và biến dạng. Đó là các biểu đồ elipsoid biến dạng, vòng tròn Mohr, biểu đồ cầu thể hiện khe nứt, biểu đồ hoa hồng và biểu đồ vòng tròn.

### Biến dạng và ứng suất

#### Biến dạng

##### Khái niệm về biến dạng

Sự thay đổi vị trí tương đối của các phần tử tạo nên vật thể khi bị tác động bởi một lực gọi là sự biến dạng. Trong quá trình biến dạng vật thể rắn thay đổi hình dạng và thể tích theo các phương thức căng, nén, cắt, uốn cong và xoắn. Các kiểu biến dạng nêu trên có thể gộp lại thành 3 dạng - căng, nén và cắt.

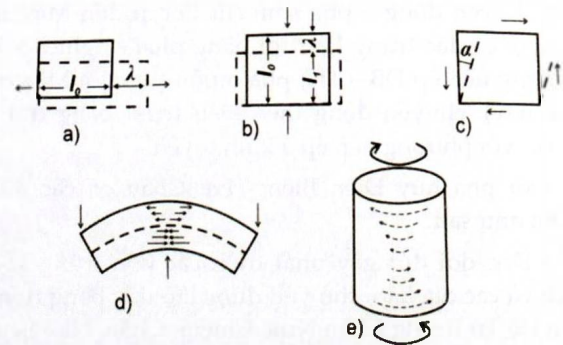
Đối với biến dạng căng, đại lượng biến dạng được xác định bằng độ dài ra tương đối (như  $\lambda$  trong H.1a). Đối với biến dạng cắt, đại lượng biến dạng được xác định bằng tang góc cắt (tang  $\alpha$ ). Trong trường hợp giá trị cắt nhỏ thì đại lượng biến dạng bằng chính góc  $\alpha$  [H.1c].

##### Các giai đoạn biến dạng

Trong thực tế, một vật thể bị biến dạng cho đến khi bị phá hủy, vật thể đó đã trải qua ba giai đoạn biến dạng liên tục - đàn hồi, dẻo và phá hủy.

#### • Biến dạng đàn hồi

Biến dạng đàn hồi là biến dạng khi đình chỉ lực tác động, vật thể sẽ trở lại trạng thái ban đầu. Giá trị biến dạng đàn hồi tỷ lệ thuận với độ lớn lực gây biến dạng và không phụ thuộc vào thời gian lực tác động.



Hình 1. Các kiểu biến dạng (Theo A.E. Mikhailov, 1973). a-căng; b-nén; c-cắt; d-uốn cong; e-xoắn.

Định luật Hooke khẳng định sự tồn tại quan hệ tỷ lệ thuận giữa ứng suất và sự biến dạng đàn hồi. Đối với trường hợp vật thể bị kéo căng đơn trục được biểu diễn như sau:

$$\sigma = E \cdot \epsilon$$

là ứng suất; E là môđun đàn hồi hay môđun Young;  $\epsilon$  là độ biến dạng.

Theo cách đó, ứng suất cắt được xác lập  $\tau = G \cdot \gamma$

$\tau$  là ứng suất cắt; G là môđun cắt;  $\gamma$  là đại lượng cắt

Đối với các đá khác nhau, môđun đàn hồi và môđun cắt thay đổi trong giới hạn rộng. Ví dụ đá granit có  $E = 6.000 \text{ kg/cm}^2$ ; đá sét có  $E = 30 \text{ kg/cm}^2$ .

#### • Biến dạng dẻo

Biến dạng dẻo là kiểu biến dạng khi đình chỉ lực tác động, vật thể vẫn giữ nguyên trạng thái bị biến dạng và vật thể không bị phá hủy. Biến dạng dẻo là quá trình không đảo ngược, nó phụ thuộc vào thời gian lực tác động. Khác với trong phòng thí nghiệm, trong vỏ Trái Đất các thể địa chất bị biến dạng dẻo được gây ra do trường lực kiến tạo tác động lâu dài.

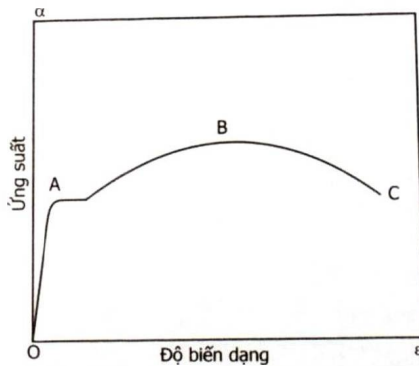
#### • Biến dạng phá hủy

Biến dạng phá hủy là biến dạng làm cho vật thể bị phá hủy, là kết quả cuối cùng của một quá trình biến dạng. Biến dạng phá hủy thường được gọi là biến dạng giòn (đập vỡ, phân cắt).

Trong tự nhiên, ba kiểu biến dạng (đàn hồi, dẻo và phá hủy) là tổng thể của hai hay ba kiểu chồng lên nhau, ít khi gặp chúng ở dạng độc lập. Cụ thể là trong

trường hợp vật thể bị phá hủy thì sự biến dạng đá trải qua ba trình liên tục - đàn hồi, dẻo, phá hủy.

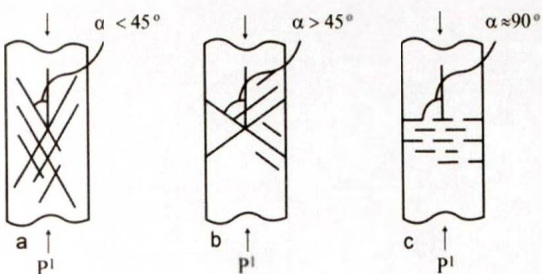
Các trạng thái của vật thể trong quá trình chuyển đổi từ biến dạng đàn hồi sang biến dạng dẻo, từ biến dạng dẻo sang biến dạng phá hủy gọi là các trạng thái tới hạn. Trên đường cong biến dạng, những điểm uốn hoặc những điểm đặc trưng thể hiện các trạng thái của vật thể [H.2].



**Hình 2.** Đường cong biến dạng tổng hợp (Theo A. E. Mikhailov, 1973). OA- Biến dạng đàn hồi; AB- Biến dạng dẻo; BC- Biến dạng khi vật thể ở trước ngưỡng bị phá hủy.

Dưới tác động của lực - một vật thể bị biến dạng. Kết quả của quá trình biến dạng phụ thuộc vào phương thức tác động của lực và đặc điểm cơ học của vật thể. Nếu vật thể giòn, cứng thì hệ thống khe nứt cắt tạo với phương của lực tác động một góc  $\alpha < 45^\circ$ ; nếu vật thể tương đối dẻo thì  $\alpha > 45^\circ$ ; vật thể dẻo tuyệt đối thì  $\alpha = 90^\circ$  [H.3].

Trong thực tế, trường hợp  $\alpha = 90^\circ$  là rất phổ biến. Trong trường hợp này, lực kiến tạo tác động vuông góc với mặt trượt cắt, điển hình đó là thờ chẻ song song với mặt trục nếp uốn.

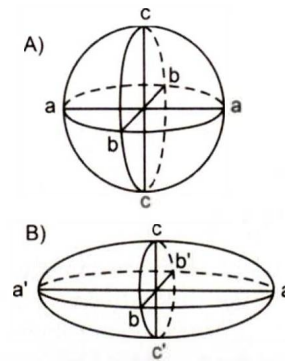


**Hình 3.** Sự thành tạo khe nứt (Theo G. D. Agirey, 1969) a- Vật thể giòn; b- Vật thể dẻo; c- Vật thể dẻo tuyệt đối.

**Elipsoid biến dạng**

Để biểu diễn các đại lượng biến dạng tương đối của vật thể, người ta dùng hình elipsoid biến dạng [H.4]. Ta có quả cầu thể hiện trạng thái không biến dạng của vật thể [H.4A]. Các trục aa, bb và cc có giá trị bằng nhau. Tác động lên quả cầu những lực nén hoặc căng khác nhau theo ba hướng vuông góc với nhau, kết quả là quả cầu bị biến dạng và trở thành elipsoid ba trục [H.4B]. Khi đó,  $aa' \neq bb' \neq cc'$ . Các giá

trị lệch đi của các trục elipsoid so với đường kính của quả cầu không biến dạng sẽ phù hợp với đại lượng biến dạng dọc theo các trục biến dạng chính. Trục dài nhất nằm theo hướng căng cực đại. Trục ngắn nhất nằm theo hướng nén cực đại.



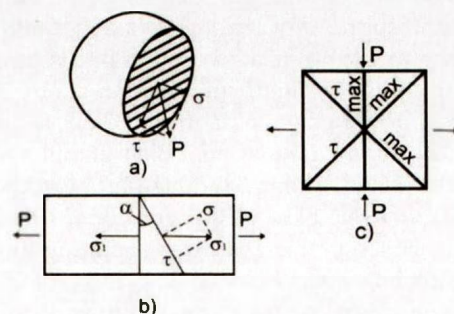
**Hình 4.** Sự phân bố các trục elipsoid biến dạng (Theo A. E. Mikhailov, 1973). A -Trạng thái không biến dạng; B - Trạng thái biến dạng.

**Ứng suất**

**Khái niệm ứng suất**

Khi một vật thể bị một lực tác động thì bên trong vật thể xuất hiện một lực cân bằng với lực bên ngoài tác động lên vật thể và gây ra biến dạng đàn hồi gọi là ứng suất.

Lực cân bằng xuất hiện trong vật thể tác động lên tiết diện bất kỳ gọi là ứng suất tổng hợp. Ứng suất tổng hợp phân ra ứng suất pháp tuyến và ứng suất tiếp tuyến. Ứng suất pháp tuyến là lực tác động vuông góc lên đơn vị diện tích, ứng suất tiếp tuyến là lực tiếp tuyến tác động lên đơn vị diện tích [H.5].



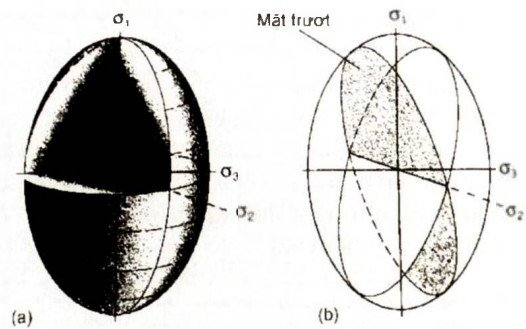
**Hình 5.** Sự phân bố ứng suất pháp tuyến và tiếp tuyến trong các kiểu biến dạng cơ bản. a) Ứng suất tổng hợp (P); ứng suất pháp tuyến ( $\sigma$ ); ứng suất tiếp tuyến ( $\tau$ ); b) Trạng thái ứng suất căng; c) Trạng thái ứng suất nén. (theo A. E. Mikhailov, 1973).

**Elipsoid ứng suất**

Khi một vật thể ở trạng thái biến dạng bất kỳ thì tại mỗi điểm trong vật thể có thể tìm được những mặt vuông góc với nhau mà trên đó chỉ có ứng suất pháp tuyến tác động, còn ứng suất tiếp tuyến bằng 0. Những ứng suất pháp tuyến như vậy gọi là ứng suất chính, còn hướng theo đó ứng suất tác động gọi là

trục ứng suất chính. Đối với vật thể đồng nhất thì chúng chính là các trục biến dạng chính.

Trạng thái ứng suất của vật thể được biểu diễn bằng elipsoid ứng suất [H.6]. Đó chính là elipsoid ba trục trong đó biểu diễn trục lớn nhất, trung gian và nhỏ nhất tương ứng với  $\sigma_1, \sigma_2$  và  $\sigma_3$ . Tại các mặt  $\sigma_1 - \sigma_2, \sigma_2 - \sigma_3, \sigma_1 - \sigma_3$  ứng suất pháp tuyến tác động cực đại và ứng suất tiếp tuyến bằng 0. Mặt  $\sigma_1 - \sigma_3$  thể hiện sự phân dị ứng suất cực đại. Tất cả các mặt là những mặt trượt chịu tác động của ứng suất tiếp tuyến.



**Hình 6.** a) Elipsoid ứng suất - một ellipsoid ba trục trong đó thể hiện các trục ứng suất chính  $\sigma_1, \sigma_2$  và  $\sigma_3$ . b) Các mặt ứng suất cắt cực đại luôn luôn song song với trục  $\sigma_2$  tạo một góc  $45^\circ$  so với trục  $\sigma_1$  và  $\sigma_3$ . (Theo Robert Hatcher, 1995).

**Các biểu đồ cấu tạo**

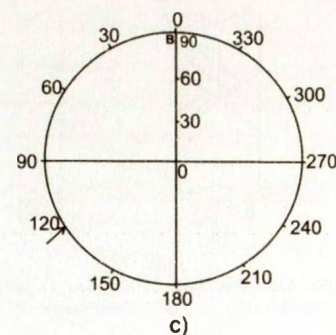
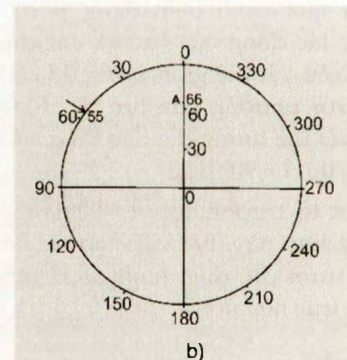
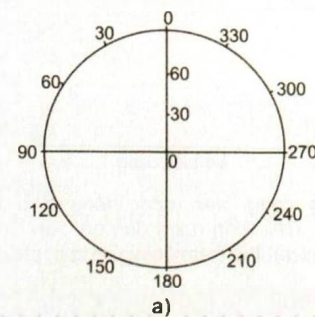
Một số biểu đồ cấu tạo được sử dụng để thể hiện các cấu tạo phá hủy và trạng thái ứng suất, gồm biểu đồ vòng tròn, biểu đồ hoa hồng, biểu đồ trục ứng suất bằng hình chiếu lập thể và trạng thái ứng suất bằng vòng tròn Mohr.

**Biểu đồ vòng tròn**

Biểu đồ vòng tròn là biểu đồ biểu diễn khe nứt dưới dạng điểm. Mỗi một điểm trên biểu đồ biểu diễn một khe nứt với giá trị phương vị hướng dốc và góc dốc. Theo các giá trị của khe nứt được đưa lên biểu đồ nhờ mạng Walter - Smith (mạng Walter - Smith thể hiện là một hình tròn bán kính  $R = 10\text{cm}$  được chia độ theo chiều ngược kim đồng hồ từ  $0^\circ$ . Giá trị  $0^\circ$  nằm tại giao điểm bán kính bắc với vòng tròn và bán kính bắc biểu diễn góc dốc từ  $0^\circ$  đến  $90^\circ$  [H.7a]. Bằng lưới này, ta đưa tất cả các khe nứt lên vòng tròn có cùng bán kính và được đánh dấu vị trí phương bắc trên vòng tròn bằng một mũi tên.

Ví dụ có khe nứt với thể nằm  $55^\circ/66^\circ$ . Ta đưa khe nứt này lên biểu đồ như sau: đặt vòng tròn giấy can có bán kính tương ứng lên lưới Walter - Smith sao cho vị trí phương bắc trùng với vị trí  $0^\circ$  của lưới, sau đó di chuyển vòng tròn để mũi tên đến giá trị  $55^\circ$  và trên bán kính ghi góc dốc đánh dấu điểm tại giá trị góc dốc  $66^\circ$ . Đó là điểm A biểu diễn khe nứt có thể nằm  $55^\circ/66^\circ$  [H.7b]. Theo cách đó lần lượt các khe nứt được biểu diễn. Nếu khe nứt có góc dốc  $90^\circ$ , có nghĩa là khe nứt chỉ có phương vị đường phương thì phải tiến hành như sau. Ví dụ có khe nứt với giá trị  $30^\circ/90^\circ$ . Trước hết cộng  $90^\circ$  vào phương vị đường phương được giá trị  $120^\circ$ . Giá trị này chính là phương vị của đường vuông góc với mặt khe nứt. Tiếp đó đặt vòng tròn lên lưới và di chuyển vòng tròn để mũi tên đạt đến giá trị  $120^\circ$ . Trên bán kính ghi độ dốc đánh dấu điểm tại vị trí có góc dốc  $90^\circ$ . Điểm này là giao điểm giữa vòng tròn và bán kính ghi độ dốc. Điểm tìm được chính là điểm B biểu diễn khe nứt có thể nằm  $30^\circ/90^\circ$  [H.7c].

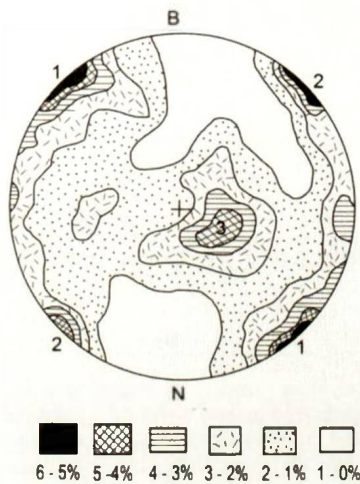
Kết quả biểu đồ thể hiện rõ sự khác nhau về mặt độ khe nứt có phương vị hướng dốc và góc dốc khác nhau phân bố theo không gian trong vùng nghiên cứu.



**Hình 7.** Lưới chiếu Walter - Smith (a) và kết quả biểu diễn khe nứt  $55^\circ \angle 66^\circ$  (b) và khe nứt  $30^\circ \angle 90^\circ$  (c).

Trên cơ sở biểu đồ vòng tròn thể hiện khe nứt dưới dạng điểm, người ta còn có thể xây dựng biểu đồ vòng tròn khe nứt theo đường đẳng trị. Ví dụ tổng số khe nứt là 400, được đưa lên biểu đồ vòng tròn có  $R = 10\text{cm}$ . Trên biểu đồ này, ta kẻ lưới ô vuông có cạnh là 1 cm dựa trên hai đường đứng và ngang vuông góc, có giao điểm trùng với tâm đường tròn lớn. Tiếp đó, ta xác định số khe nứt nằm trong

4 ô vuông bằng hình tròn với  $R = 1\text{cm}$ . Số khe nứt tính được trong vòng tròn nhỏ với  $R = 1\text{cm}$  được ghi vào tâm của vòng tròn nhỏ. Bằng cách như vậy, tiến hành tính toán các khe nứt liên tục cho đến khi tất cả các ô vuông trong phạm vi vòng tròn lớn đã được tính. Cuối cùng ta được vòng tròn  $R = 10\text{cm}$  mà trên đó thể hiện các khe nứt dưới dạng các số ghi ở giao điểm của mạng ô vuông. Nếu tại giao điểm ghi số 8 có nghĩa là chiếm 2% số đo, ghi 4 có nghĩa là chiếm 1% số đo. Nhiệm vụ cuối cùng là vẽ các đường đẳng trị đi qua 1% số điểm. Kết quả được thể hiện trên hình 8 [H.8].



**Hình 8.** Biểu đồ vòng tròn khe nứt theo các đường đẳng trị (Theo A.E. Mikhailov, 1973). Tổng số đo khe nứt là 400 được đưa lên biểu đồ, các đường đẳng trị được vẽ qua 1% số điểm. Các vòng tròn đen nhỏ – các yếu tố thể nằm của đá. Các dãy khe nứt trên biểu đồ: 1- thẳng đứng với phương vị  $50^\circ$ ; 2- thẳng đứng với phương vị  $130^\circ$ ; 3- nghiêng với phương  $25^\circ$ ; dốc về phía đông nam với góc dốc  $20^\circ$ .

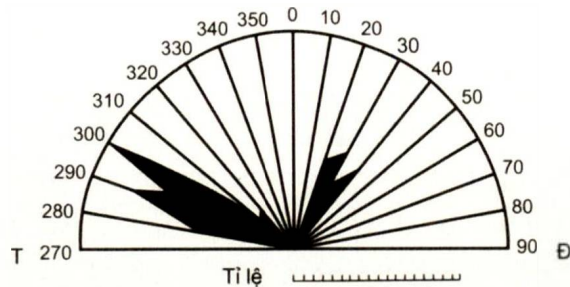
**Biểu đồ hoa hồng**

Biểu đồ hoa hồng là biểu đồ thể hiện các giá trị khác nhau của khe nứt (phương vị đường phương, phương vị hướng dốc và góc dốc).

Trong tập hợp các khe nứt đo được, chọn số lượng khe nứt lớn nhất có cùng phương vị làm thước tỷ lệ (ví dụ khe nứt có phương vị đường phương là  $300^\circ$  với số lượng là 10 ứng với 10cm). Ta dựng đường tròn bán kính 10cm. Theo tỷ lệ 1 khe nứt ứng với 10mm, ta lần lượt biểu diễn số lượng các khe nứt trên biểu đồ. Cuối cùng ta nối các đầu pích lại và được biểu đồ hoa hồng biểu diễn phương vị đường phương của khe nứt [H.9].

Ngoài ra còn có thể sử dụng biểu đồ hoa hồng để biểu diễn các khe nứt theo phương vị hướng dốc. Khi đó, ta cần toàn bộ vòng tròn. Nguyên tắc xây dựng biểu đồ cũng tương tự như biểu đồ hoa hồng biểu diễn các phương vị đường phương của khe nứt. Trên biểu đồ này biểu diễn các số đo khe nứt theo phương vị đường hướng dốc và giá trị góc dốc. Nếu biểu diễn khe nứt theo giá trị góc dốc ta chỉ cần 1/4

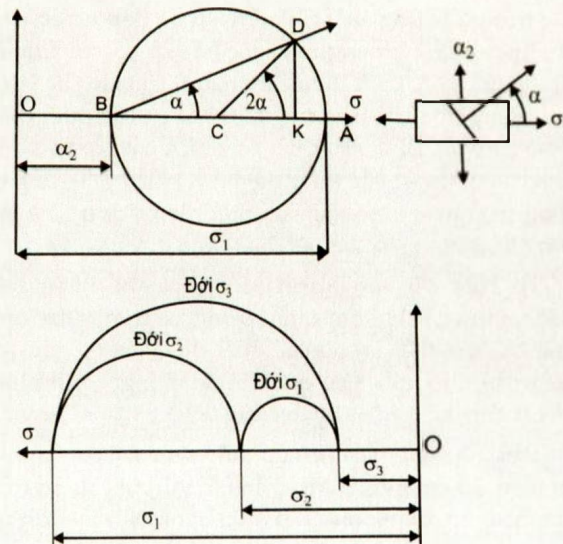
vòng tròn với bán kính tỷ lệ phù hợp. Trên biểu đồ này, giá trị góc dốc được chia từ  $0^\circ$  đến  $90^\circ$  theo cung tròn 1/4, bán kính biểu diễn số đo khe nứt phù hợp với góc dốc.



**Hình 9.** Biểu đồ hoa hồng biểu diễn phương khe nứt – mỗi khe nứt ứng với 1 vạch (Theo A.E. Mikhailov, 1973).

**Vòng tròn Mohr**

Vòng tròn Mohr biểu diễn trạng thái ứng suất mặt và khối. Giá trị ứng suất pháp tuyến và tiếp tuyến được đặt tương ứng trên trục hoành và trục tung của hệ tọa độ vuông góc với quy ước ứng suất nén là âm, đặt ở bên trái gốc tọa độ, ứng suất căng là dương đặt bên phải gốc tọa độ [H.10].



**Hình 10.** Biểu đồ vòng tròn Mohr (Theo G.D. Agirey, 1969). a- Biểu diễn trạng thái ứng suất mặt; b- Biểu diễn trạng thái ứng suất khối.

• Vòng tròn Mohr biểu diễn ứng suất mặt

Trên trục ứng suất ( $\sigma$ ) đoạn OA và OB [H.10] biểu diễn đại lượng  $\sigma_1$  và  $\sigma_2$  theo tỷ lệ. Dựng trên đoạn AB một vòng tròn tâm C. Vòng tròn tâm C có đường kính AB là vòng tròn ứng suất. Tiếp theo, để tìm giá trị  $\sigma_\alpha$  và  $\tau_\alpha$  trên tiết diện mà pháp tuyến tạo với ứng suất cực đại  $\sigma_1$  một góc  $\alpha$  ta dựng tại C một góc tâm bằng  $2\alpha$  và đặt nó cách trục ứng suất ( $\sigma$ ) theo chiều ngược kim đồng hồ. Điểm D trên vòng tròn sẽ tương ứng với tiết diện lựa chọn. Đoạn OK và DK tương ứng với  $\sigma_\alpha$  và  $\tau_\alpha$ . Từ biểu đồ ta có:

$$CD = AC = BC = \frac{AB}{2} = \frac{OA - OB}{2} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}$$

Theo tam giác KDC ta có:

$$KD = CD \sin 2\alpha = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \sin 2\alpha = \tau\alpha$$

Tiếp đến, ta có:

$$\begin{aligned} OK &= OB + BC + CK = \sigma_2 + \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \cos 2\alpha \\ &= \sigma_2 + \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} (1 + \cos 2\alpha) = \sigma_2 + \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} 2\cos^2\alpha \\ &= \sigma_2 + \sigma_1 \cos^2\alpha - \sigma_2 \cos^2\alpha = \sigma_1 \cos^2\alpha + \sigma_2 \sin^2\alpha = \sigma\alpha \end{aligned}$$

Các điểm nằm trên đường tròn này biểu diễn trạng thái ứng suất mặt. Ví dụ tại điểm A có ứng suất pháp tuyến cực đại là  $\sigma_1$  và ứng suất tiếp tuyến  $\tau = 0$ .

• Vòng tròn Mohr biểu diễn trạng thái ứng suất khối

Lý thuyết đàn hồi chứng minh rằng một hình khối lập phương luôn luôn có thể định hướng sao cho trên các mặt chỉ tác động các ứng suất pháp tuyến  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  và  $\sigma_3$ . Khi đó vòng tròn Mohr có dạng như hình 10b. Vòng tròn dựng theo giá trị  $\sigma_1$  và  $\sigma_3$  đặc trưng các ứng suất pháp tuyến và tiếp tuyến trên các thiết diện nghiêng một góc bất kỳ so với trục  $\sigma_1$  và  $\sigma_3$ , tất cả các thiết diện cắt nhau ở trục thứ ba (trục  $\sigma_2$ ) vuông góc với hai trục đầu. Tất cả các thiết diện cắt ở trục  $\sigma_2$  gọi là các thiết diện đối trục  $\sigma_2$  và vòng tròn  $\sigma_1 - \sigma_3$  thuộc các thiết diện đối trục  $\sigma_2$ . Tương tự vòng tròn  $\sigma_1 - \sigma_2$  thuộc các thiết diện đối trục  $\sigma_3$  và vòng tròn  $\sigma_2 - \sigma_3$  thuộc các thiết diện đối trục  $\sigma_1$ .

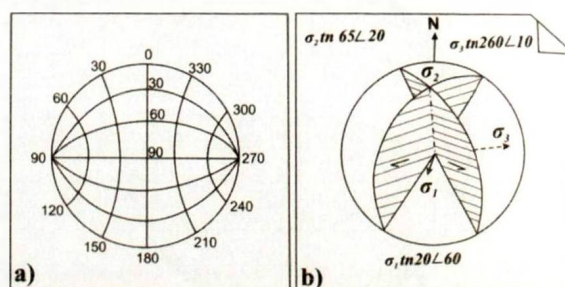
Từ biểu đồ vòng tròn Mohr, có thể nhận biết được những đặc điểm quan trọng về trạng thái ứng suất của vật thể. Trong các thiết diện vuông góc với các trục  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  và có quan hệ vuông góc với nhau thì các ứng suất tiếp tuyến bằng 0.

Trong trường hợp nén ép thủy tĩnh với  $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$  thì biểu đồ vòng tròn Mohr trở thành một điểm trên trục hoành, và trên mọi tiết diện bất kỳ không tồn tại ứng suất tiếp tuyến.

#### Xác định các trục ứng suất bằng hình chiếu lập thể

Các trục ứng suất  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  và  $\sigma_3$  có thể xác định bằng hình chiếu lập thể và cặp khe nứt cộng ứng. Các cặp khe nứt cộng ứng ( $120^\circ \angle 30^\circ$  và  $240^\circ \angle 60^\circ$ ) bằng mạng lưới cầu [H.11a] có thể biểu diễn ở bán cầu trên hoặc bán cầu dưới. Các đường giao nhau của mặt khe nứt với mặt cầu được chiếu xuống mặt nằm ngang (nếu sử dụng bán cầu trên) và chiếu lên mặt

nằm ngang (nếu sử dụng bán cầu dưới). Tại hình 11b [H.11b], cặp khe nứt cộng ứng được biểu diễn ở bán cầu trên. Giao tuyến của 2 mặt khe nứt chính là trục  $\sigma_2$ . Để xác định trục  $\sigma_1$  và  $\sigma_3$ , ta dựng một cung tròn vuông góc với  $\sigma_2$ , có đường kính đi qua tâm vòng tròn. Nếu cặp khe nứt cộng ứng có các dấu hiệu (vết xước, tia trượt) thể hiện hướng dịch trượt trên bề mặt thì dễ dàng xác định  $\sigma_1$  (trục căng cực đại) và  $\sigma_3$  (trục nén cực đại). Nếu thuộc cùng một góc mũi tên dịch trượt của khe nứt này hướng vào tâm, của khe nứt kia hướng khỏi tâm – hai khe nứt này không phải là cộng ứng mà chúng đã được hình thành trong các trạng thái ứng suất khác nhau theo thời gian khác nhau.



**Hình 11.** Xác định hướng các trục ứng suất theo hai hệ thống khe nứt cắt cộng ứng và hệ thống khe nứt tách (Theo M.V. Gzovsky). a-mạng lưới cầu để xác định hướng các trục ứng suất; b-biểu đồ hoàn chỉnh.

Trong trường hợp bề mặt khe nứt không có các dấu hiệu dịch trượt, theo quy ước trục  $\sigma_1$  là đường phân giác góc tù và trục  $\sigma_3$  là đường phân giác góc nhọn.

Kết quả xác định các trục ứng suất – trục căng cực đại  $\sigma_1$  có góc nghiêng  $60^\circ$  theo phương  $20^\circ$ , trục nén cực đại  $\sigma_3$  có góc nghiêng  $15^\circ$  theo phương  $260^\circ$ , còn trục trung gian  $\sigma_2$  có góc nghiêng  $20^\circ$  theo phương  $165^\circ$  [H.11b].

#### Tài liệu tham khảo

- Engelder Terry, Goldstein Arthur, Helper Mark, Mosher Sharon and Woodward Nicholas 1988. Basic methods of structural Geology. By Printice – Hall, Inc. 446 pgs. Toronto.
- Hatcher Robert 1995. Structural Geology - Principles, Concepts and Problems. 2nd edition. 525 pgs. New Jersey.
- Ажгирей Г.Д., 1969. Структурная геология. Издат. Московского Университета. 348 стр. Москва.
- Михайлов А.Е., 1973. Структурная геология и геологическое картирование. Издат. "Недра". 432 стр. Москва.