

第三章

地质构造分析的力学基础

地质构造分析的力学基础

3.1 应力

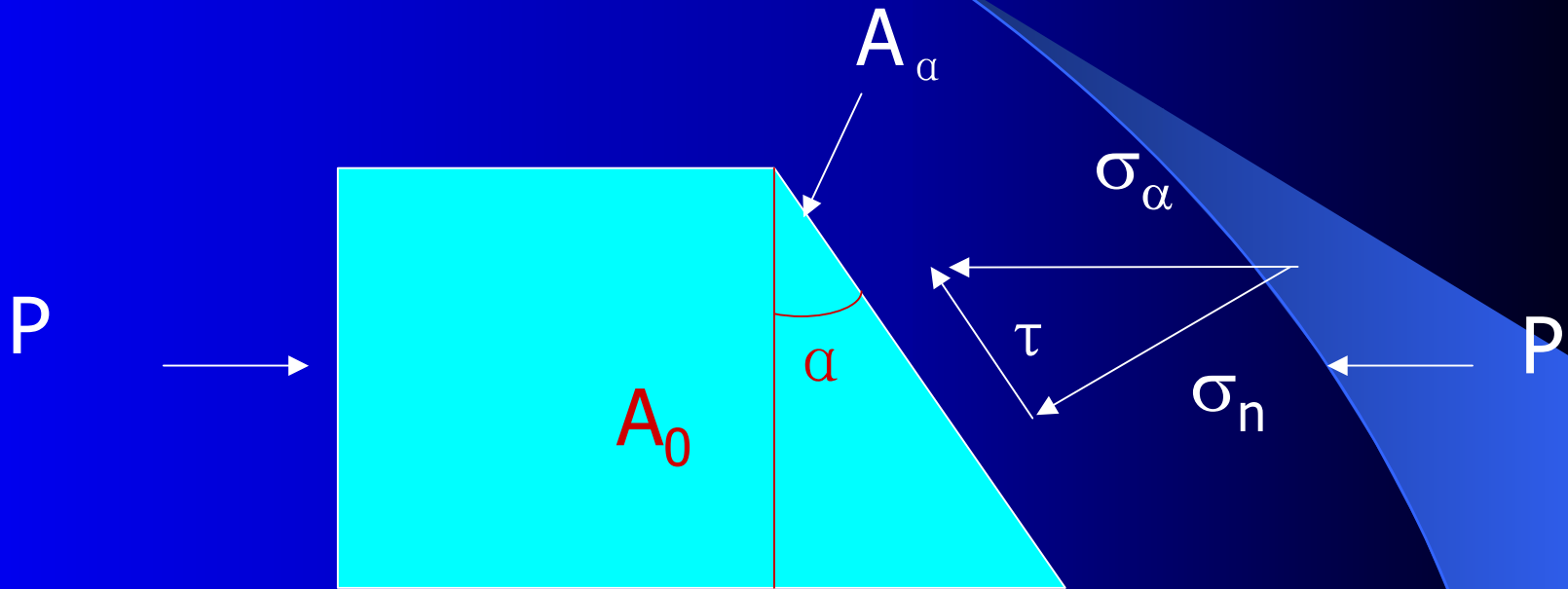
3.2 应变

3.3 岩石变形行为

讨论：应力

- 在应力分析时，物体内部假想的截面是任意方向的吗？
- 单轴应力状态下，当假想面的延伸方向与作用力方向平行时，应力=? 在双轴和三轴应力状态下又是何种情况？

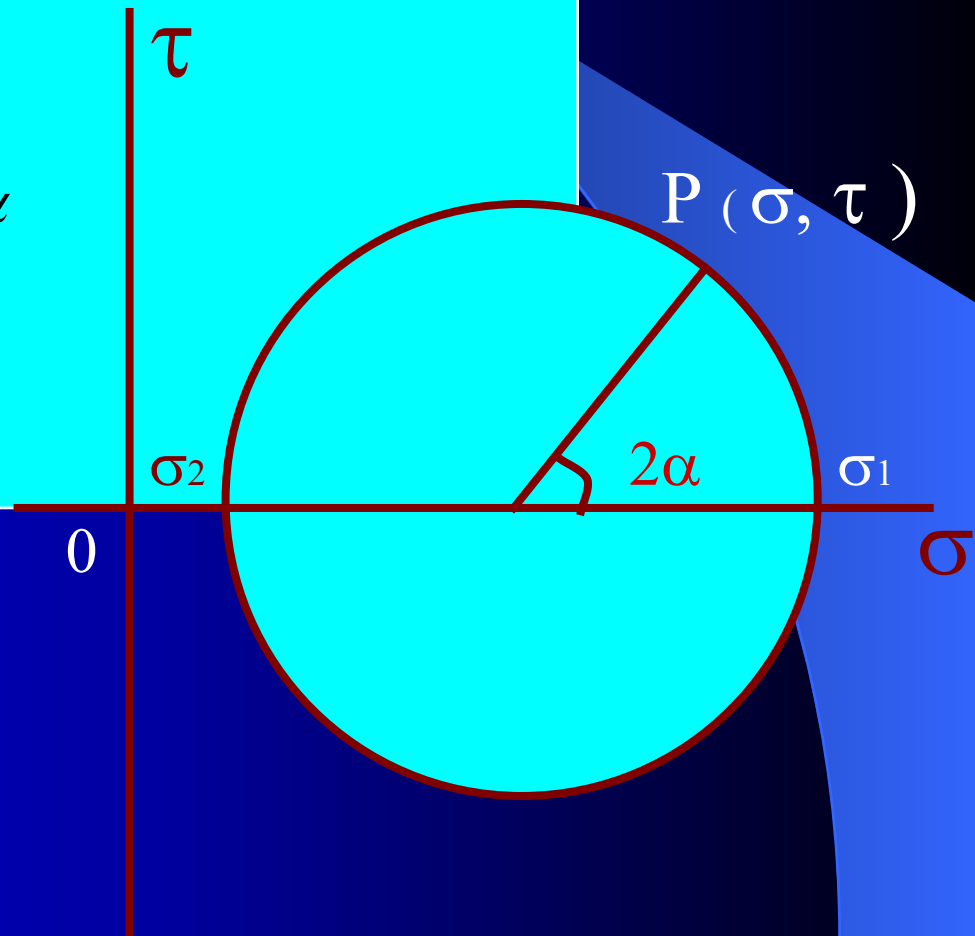
提示一



- A_0 垂直于屏幕, A_α ?

$$\begin{aligned}
 \sigma_{\alpha} &= \sigma_{\alpha}^+ + \sigma_{\beta} \\
 &= \sigma_1 \cos^2 \alpha + \sigma_2 \cos^2 \beta \\
 &= \sigma_1 \cos^2 \alpha + \sigma_2 \cos^2 (\alpha + 90^\circ) \\
 &= \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \cos 2\alpha
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \tau_n &= \tau_{\alpha} + \tau_{\beta} \\
 &= \frac{\sigma_1}{2} \sin 2\alpha - \frac{\sigma_2}{2} \sin 2\alpha \\
 &= \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \sin 2\alpha
 \end{aligned}$$



提示二

3.2 应变

- 应变的概念、度量
- 均匀/非均匀应变
- 应变椭球体、形态类型及其几何表示法
- 递进变形：共轴/非共轴递进变形
- 有限应变测量



“三叉戟”的平移不是畸变

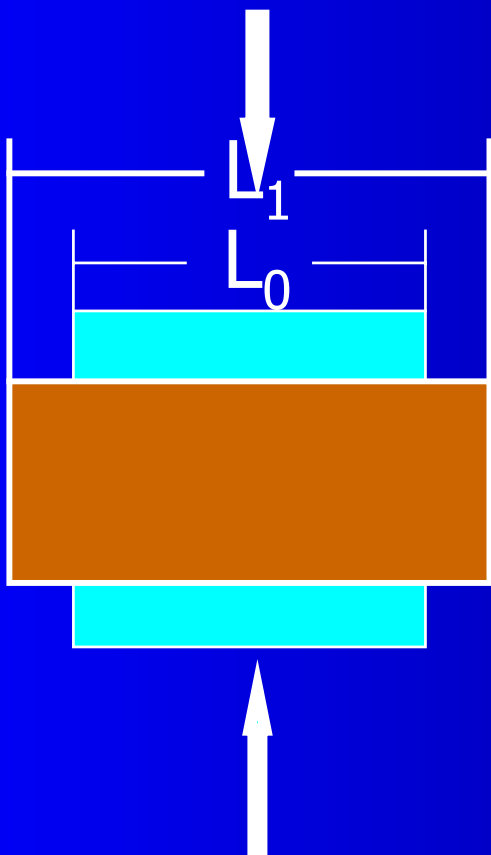
3.2.1 应变的概念

变形与应变

- 变形——物体内部质点在力的作用下位移，使初始形状、方位、位置发生改变
 - 平移
 - 畸变（狭义变形）
 - 旋转
 - 体变
- 应变——是变形程度（大小）的度量

3.2.1 应变度量

线应变 (e)



$$e = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \text{ (伸长时取正值)}$$

$$S = \frac{L_1}{L_0} \text{ (长度比)}$$

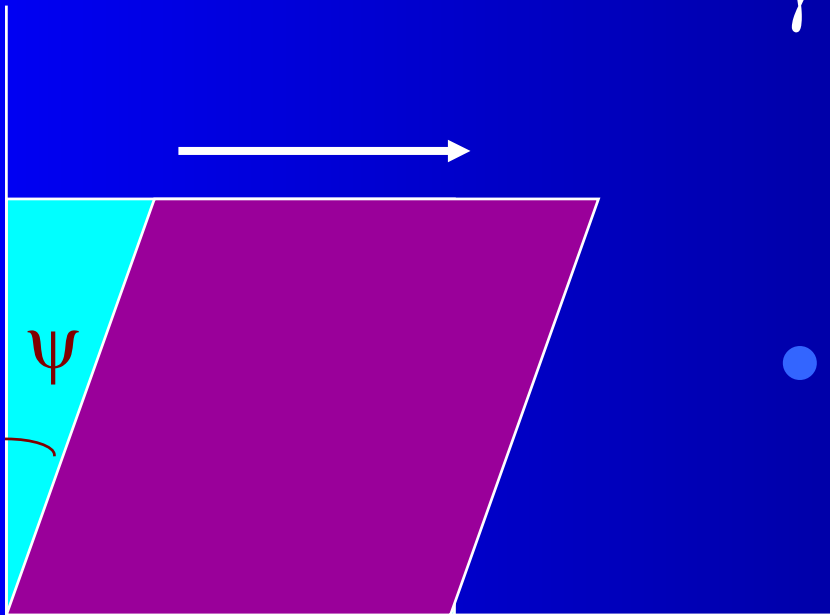
$$\lambda = \left(\frac{L_1}{L_0}\right)^2 = (1 + e)^2 \text{ -- (平方长度比)}$$

3.2.1 应变度量

剪应变 (γ)

$$\gamma = \tan \psi$$

ψ — 变形后偏离直角的量



- 右行(顺时针)剪切 为正

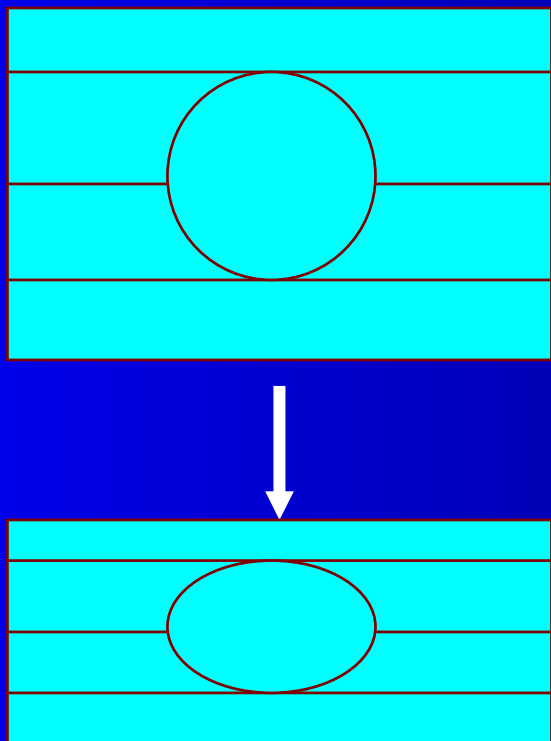
3.2.2

均匀变形和非均匀变形

- 根据物体内部应变状态是否变化划分为均匀变形和非均匀变形

3.2.2

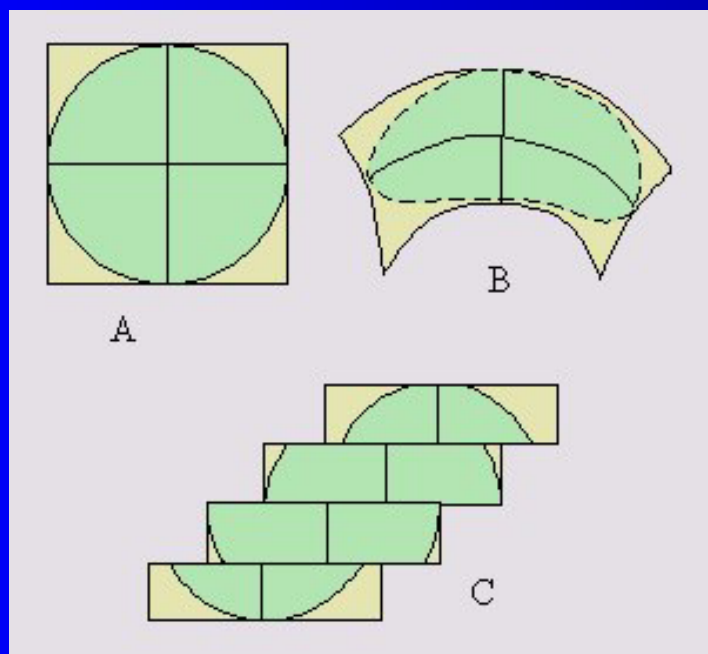
均匀变形



- 变形物体内各点应变特征相同，表现为：
 - 变形前直线仍为直线
 - 变形前平行线仍平行
 - 单位圆→椭圆
 - 可以用一点的变形代表整体变形特征

3.2.2

非均匀变形



- 各点应变特征不相同，表现为：

- 变形前的直线变为非直线
- 平行线变为非平行线
- 圆变为非椭圆

C为不连续变形
——非渐变的应变状态

3.2.2

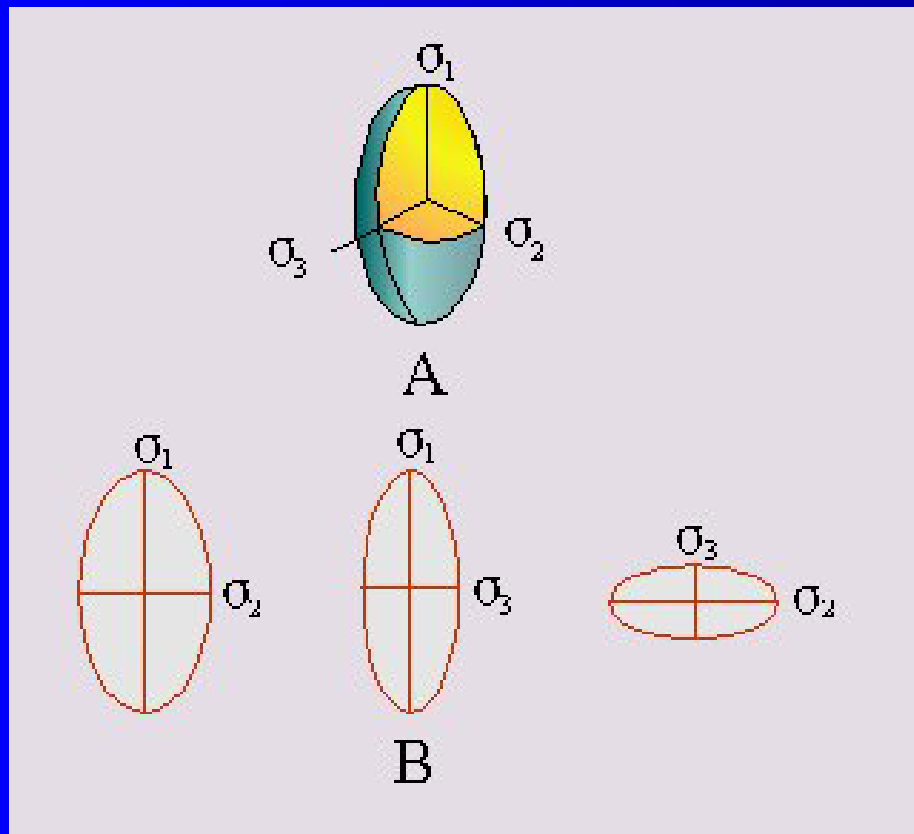
非均匀变形



- 用物体内部变形单元体（应变椭圆）表示非均匀变形——褶皱

3.2.3

应变椭球体



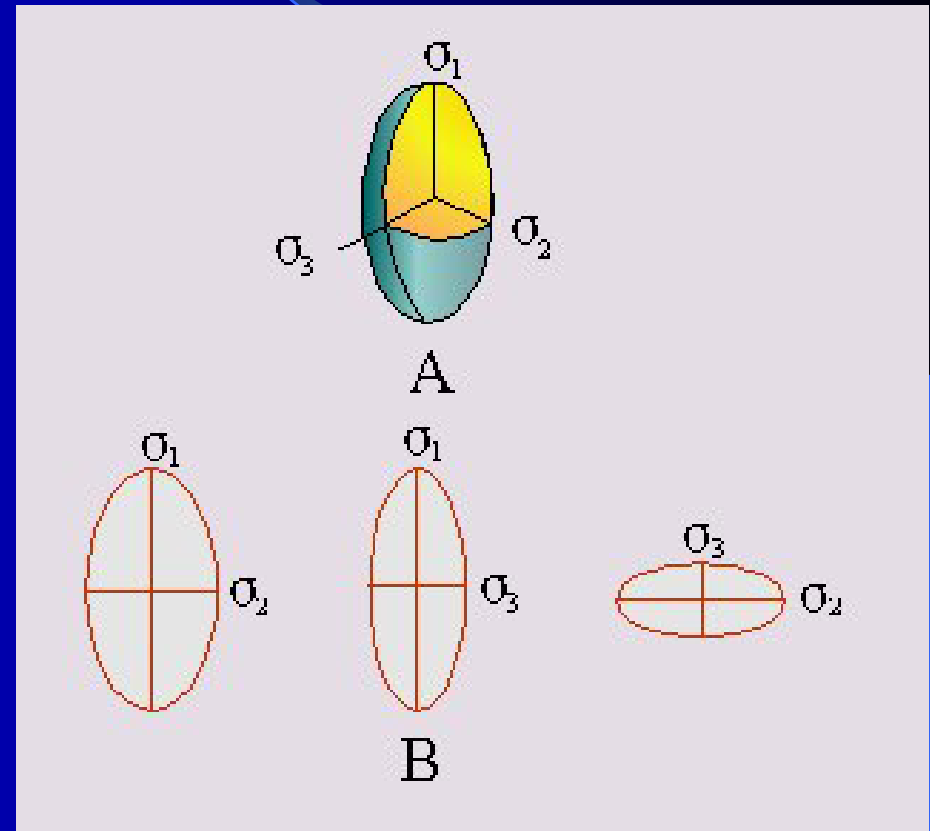
- 设物体内部单位圆球半径 $R = 1$ ，规定
 - $\lambda_1 (X, A)$ 为最大应变轴 (> 1)
 - 半轴长 = $\sqrt{\lambda_1} = \left| \frac{L_1}{L_0} \right| > 1$
 - $\lambda_2 (Y, B)$ 为中间应变轴 ($>$ 或 $=$ 或 < 1)
 - $\lambda_3 (Z, C)$ 为最小应变轴 (< 1)

应变椭球体可以形象化表示应变状态

3.2.3 应变椭球体

主应变（平）面

- 包含任意两个主应变轴的平面为主应变面



3.2.3 应变椭球体

在构造分析中的应用

- 形象表示构造发育的空间方位
 - XY (AB) 面——最大压扁面，用来表示轴面，片理方位
 - YZ (BC) 面——张性面，张节理发育的方位
 - X(A, λ_1) 轴——最大拉伸方向，通常是矿物定向延伸排列的方向

3.2.3 应变椭球体

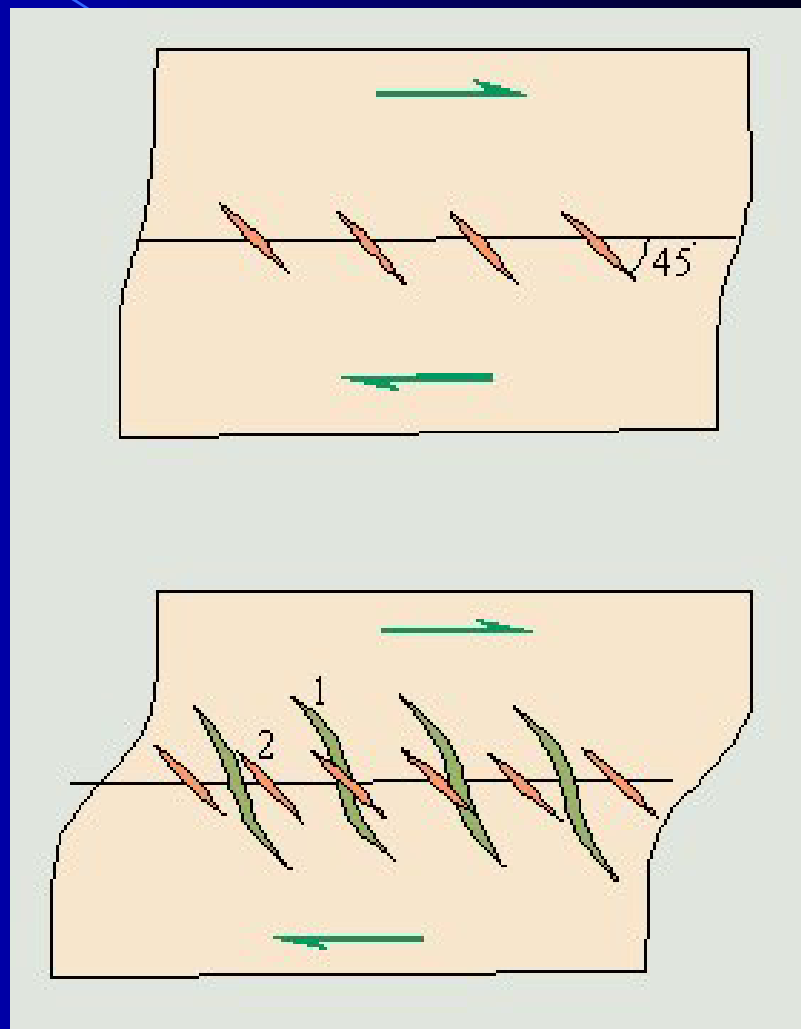
旋转和非旋转变形

- 根据应变椭球体主轴方向物质线方位改变与否，可以把变形分为旋转变形和非旋转变形
- 旋转变形：简单剪切，体变为零
- 非旋转变形：拉伸/压缩（单轴/双轴）
 - 纯剪变形：变形中无体积变化，中间应变轴方向的应变为零

3.2.4

递进变形

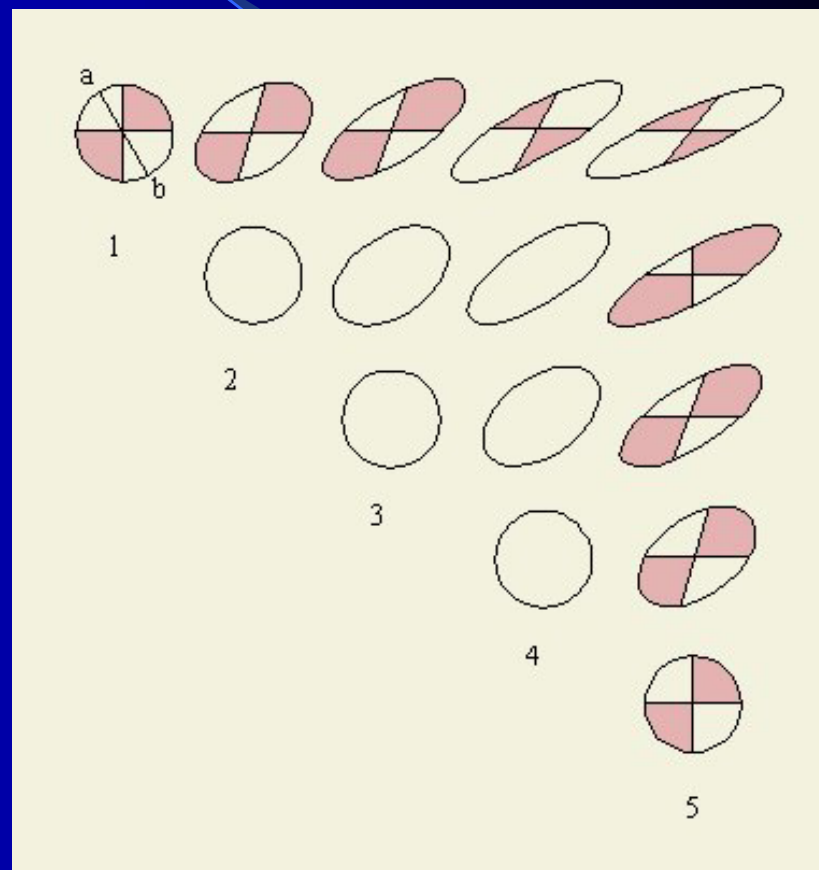
- 有限应变——总应变
- 无限小应变——增量应变
- 递进变形——变形初始状态至最终状态之间，增量应变的叠加过程，用于理解和描述变形过程（演化）



3.2.4

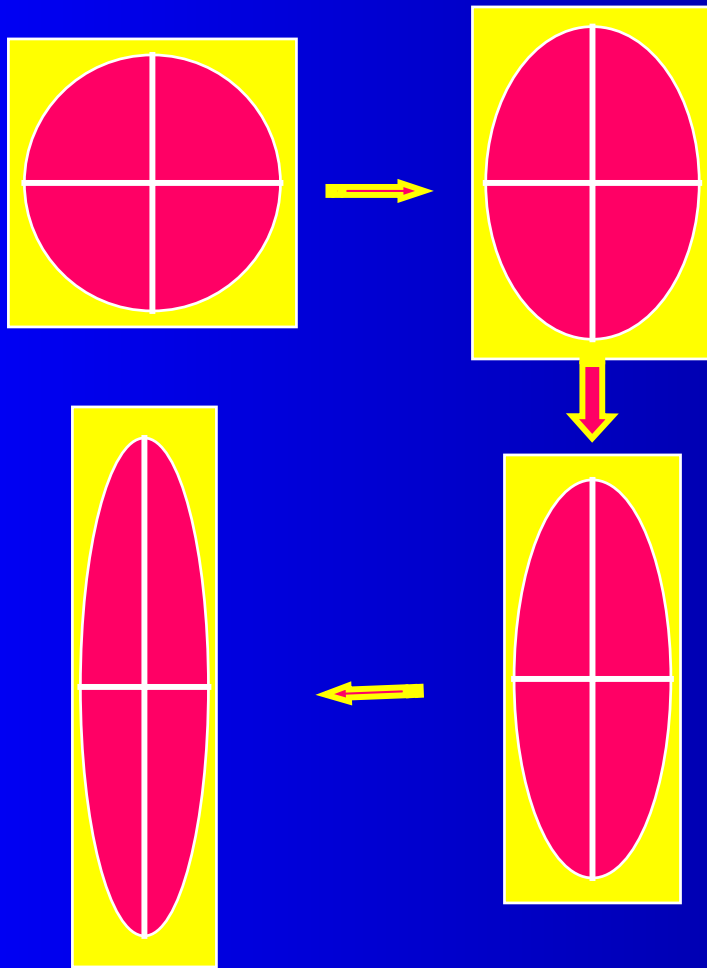
递进变形

- 有限应变——总应变
- 无限小应变——增量应变
- 递进变形——变形初始状态至最终状态之间，增量应变的叠加过程，用于理解和描述变形过程（演化）

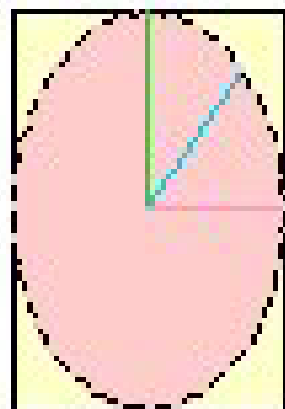
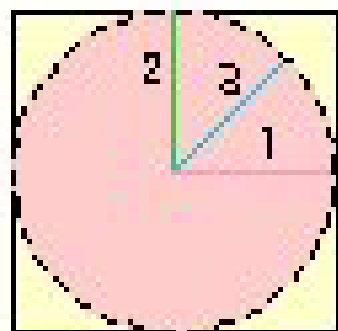


3.2.4

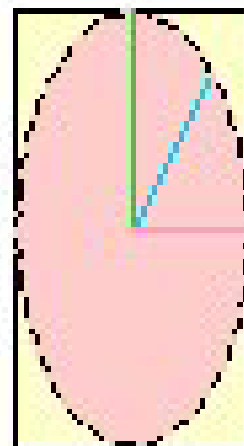
共轴递进变形



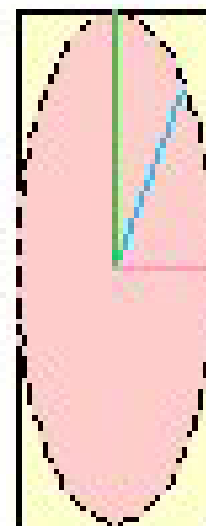
- 增量应变椭球主轴始终与有限应变椭球主轴保持一致
e. g. 递进纯剪变形



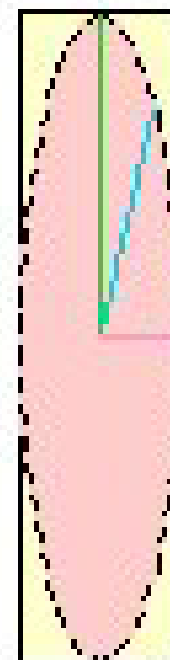
20%



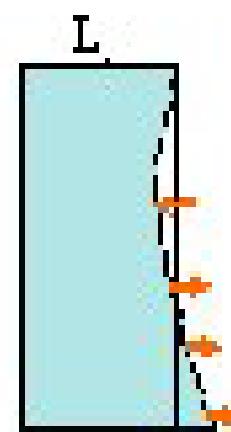
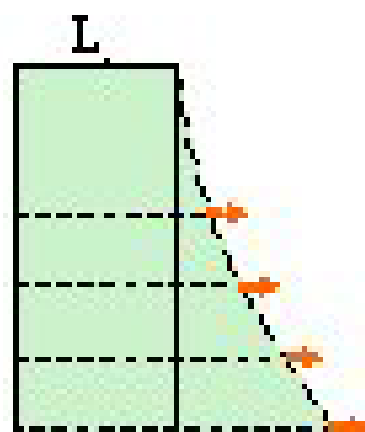
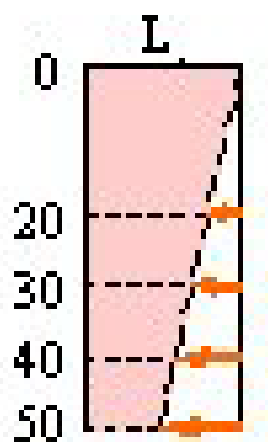
30%



40%



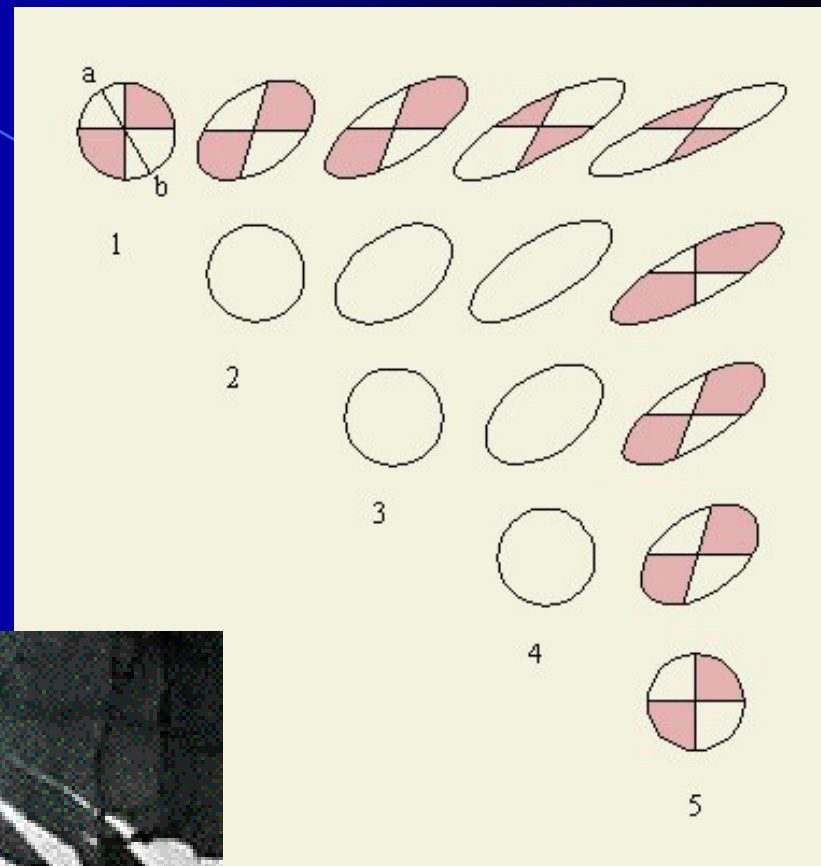
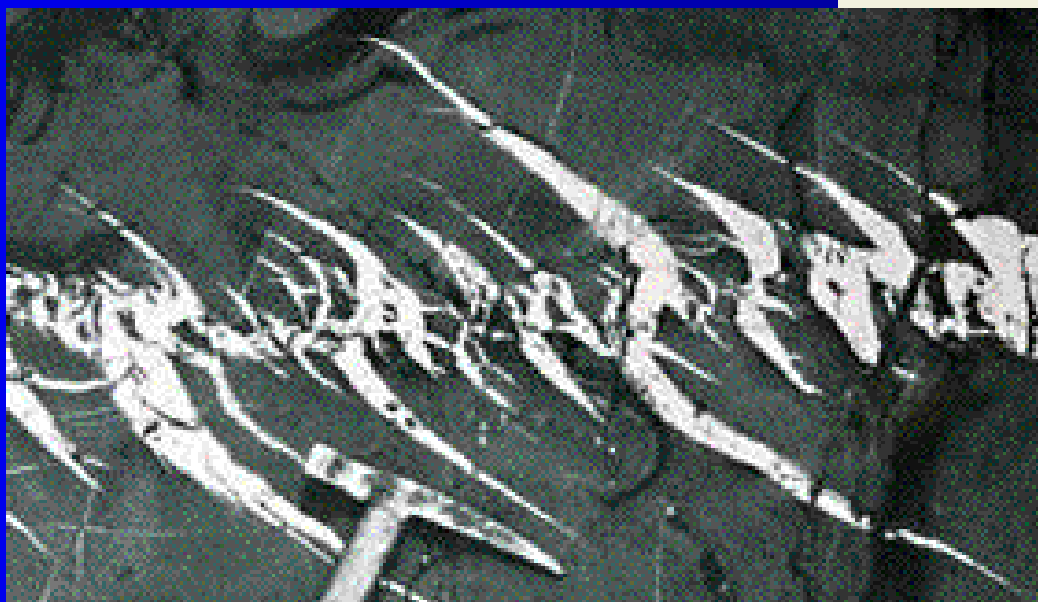
50%



3.2.4

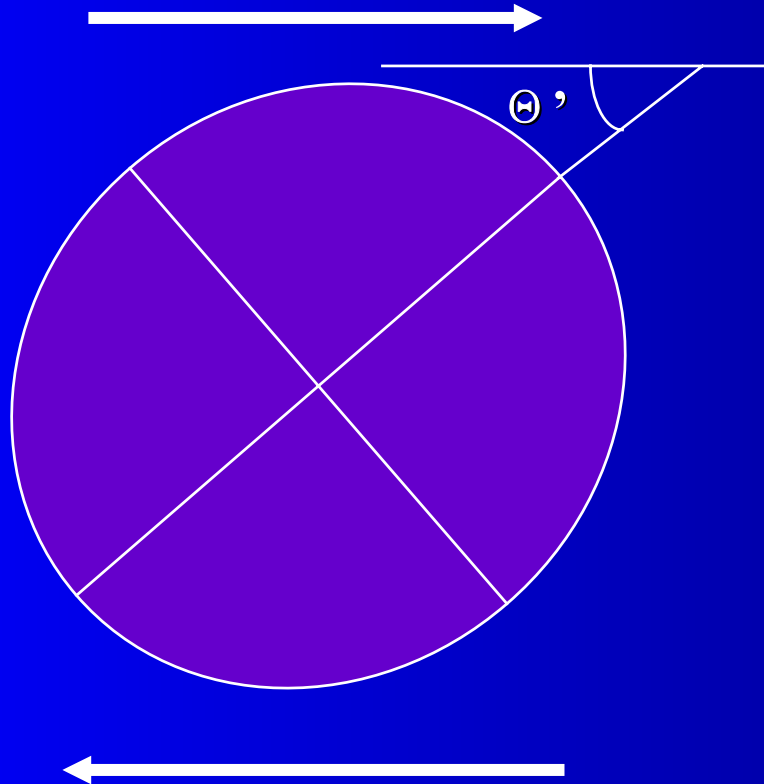
非共轴递进变形

- 增量应变椭球主轴与有限应变椭球主轴不一致



3.2.4 非共轴递进变形

应变椭球长轴与剪切方向的关系



- $\operatorname{tg} 2 \theta' = 2/\gamma$
 θ' ——应变椭球长轴与剪切方向夹角;
 γ ——剪应变
- 当 γ 很小时, θ' 接近 45° (剪切带边缘应变椭球的方位, 也是S组构的方位)

3.2.4

递进变形

- 构造分析中，不能简单根据构造空间展布方位推断应力作用方式，必须从发生、发展的过程作具体分析。要系统研究不同型式构造的特征，以了解构造发展的全过程及其与构造作用力的关系。

3.2.5

岩石有限应变测量介绍

- 岩石有限应变测量可以帮助了解变形构造内部和区域的应变状态和变化，加深对构造特征、成因、形成过程的理解，揭示构造之间的关系，推究变形时的应力状态和构造力的作用方式
- 要了解构造应力场，应该首先研究区域应变场

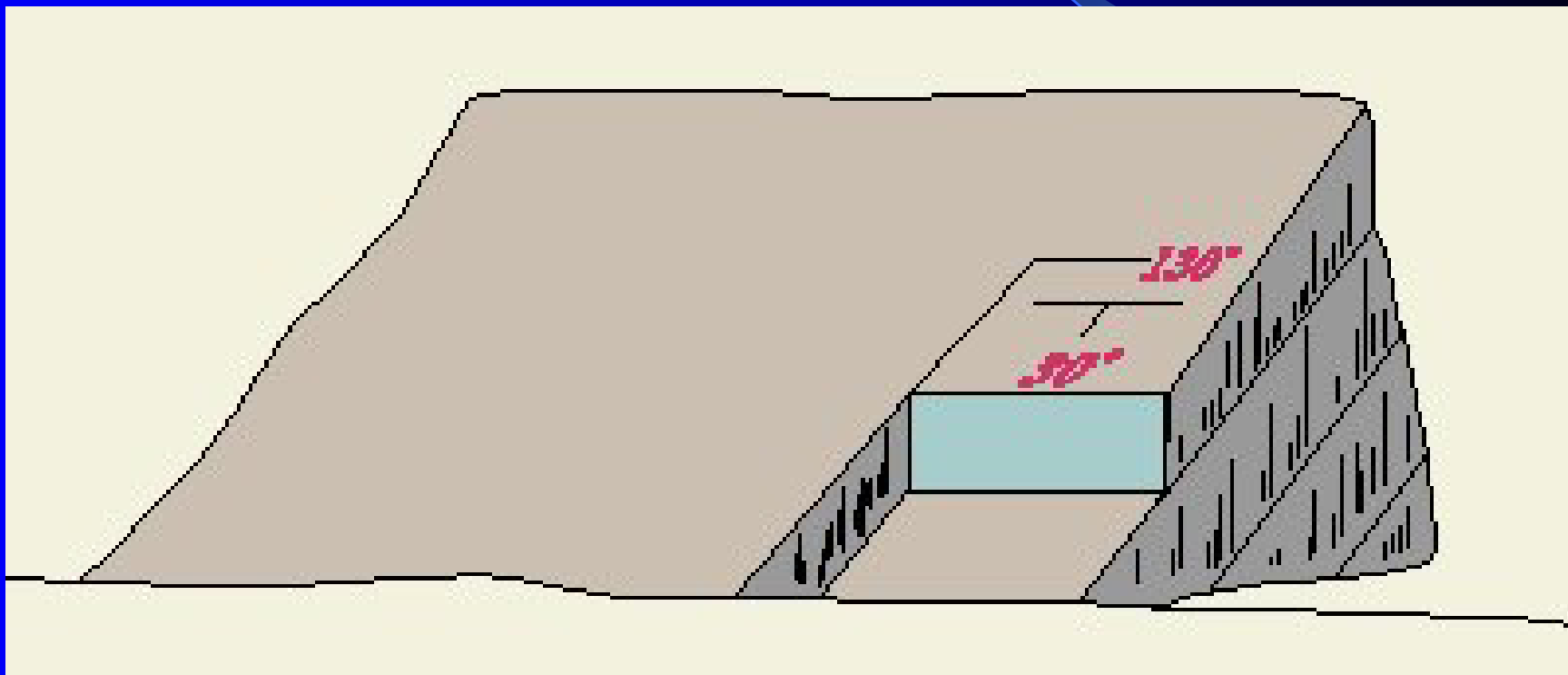
3.2.5.1

应变主轴方位的确立

- 利用特征性构造
 - 板劈理、层理——// XY面（压扁面）， $\perp Z$ ；
 - 拉伸线理 // X 方向
- 应变测量
 - 对于标志物较大者可以直接测量（例如退色斑、杏仁等）
 - 较小者可以采集定向标本（鲕粒、石英），在室内利用显微镜或其它方法测量
- 定向切片应平行于应变椭球的一个主平面

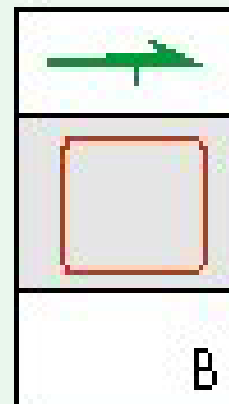
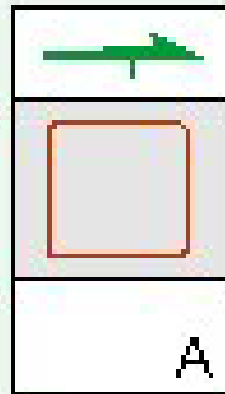
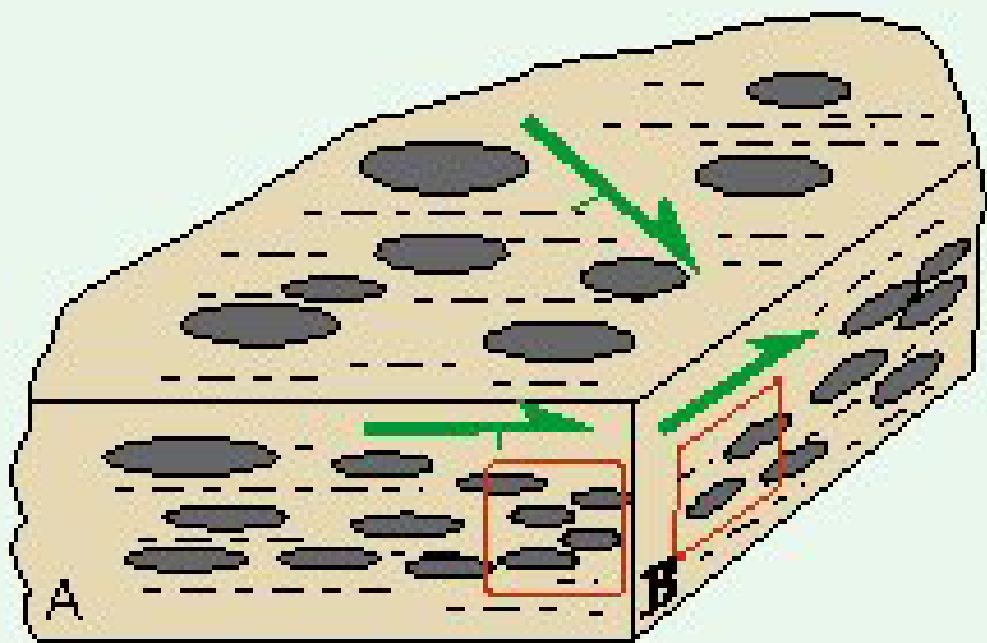
3.2.5.1

应变主轴方位的确立



3.2.5.1

应变主轴方位的确立



3.2.5.2

原始为圆球形个体的应变测量

- 基质与球形个体韧性差小者为优，例如退色斑（还原斑）、灰岩鲕粒
- 灰岩中的泥球、单晶方解石颗粒或硅质结核，与基后有一定韧性差，但可参考使用
- 对于测量体的不规则性，若为随机的，可通过大量测量取平均值来消除

3.2.5.2 原始为圆球形个体的应变测量计算方法

- 算术平均计算平均轴比和方向
- 调和平均值 R_h
 - 当个体轴率变化较大时采用

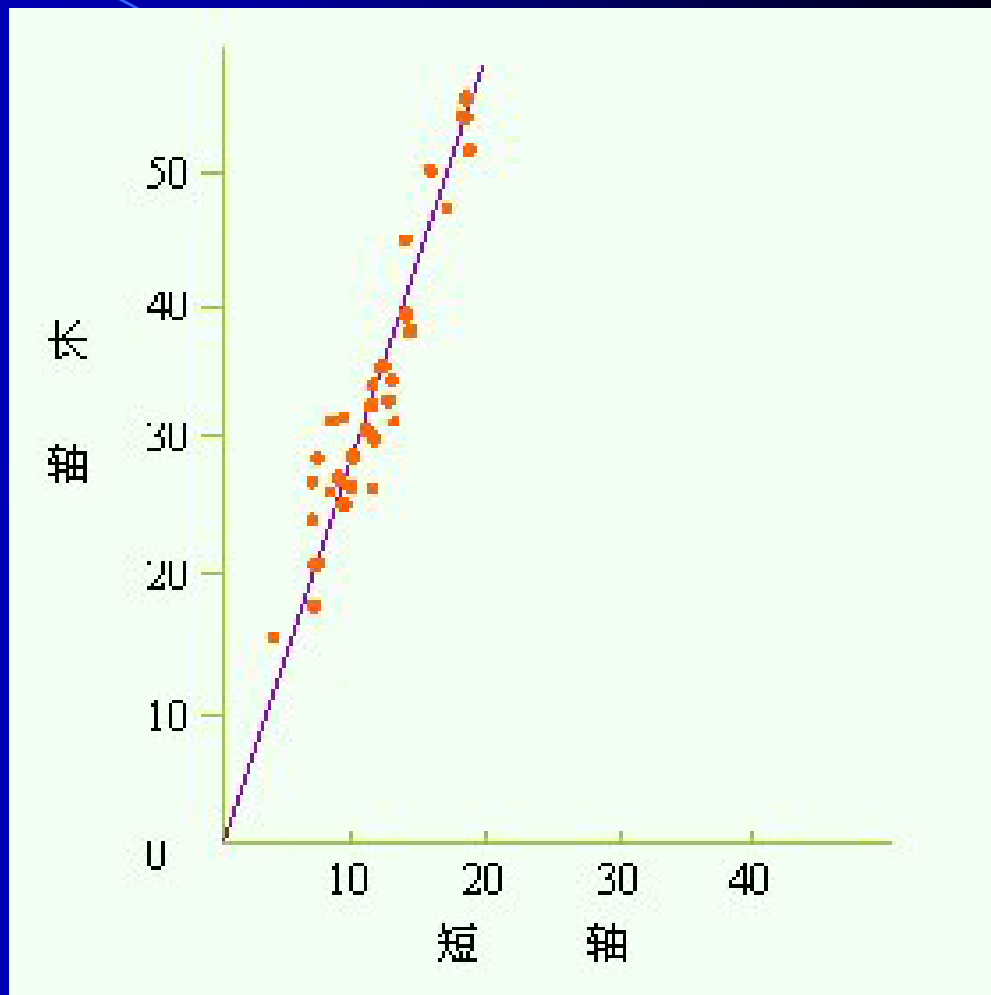
$$R_h = n / \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$$

● (椭球轴比)

3.2.5.3

长短轴法

- 图解（长短轴）法——个别偏离点不考虑，与手工制作等密线图相似
- $R_s = K$ （斜率）
= 长轴 / 短轴



3.2.5.4

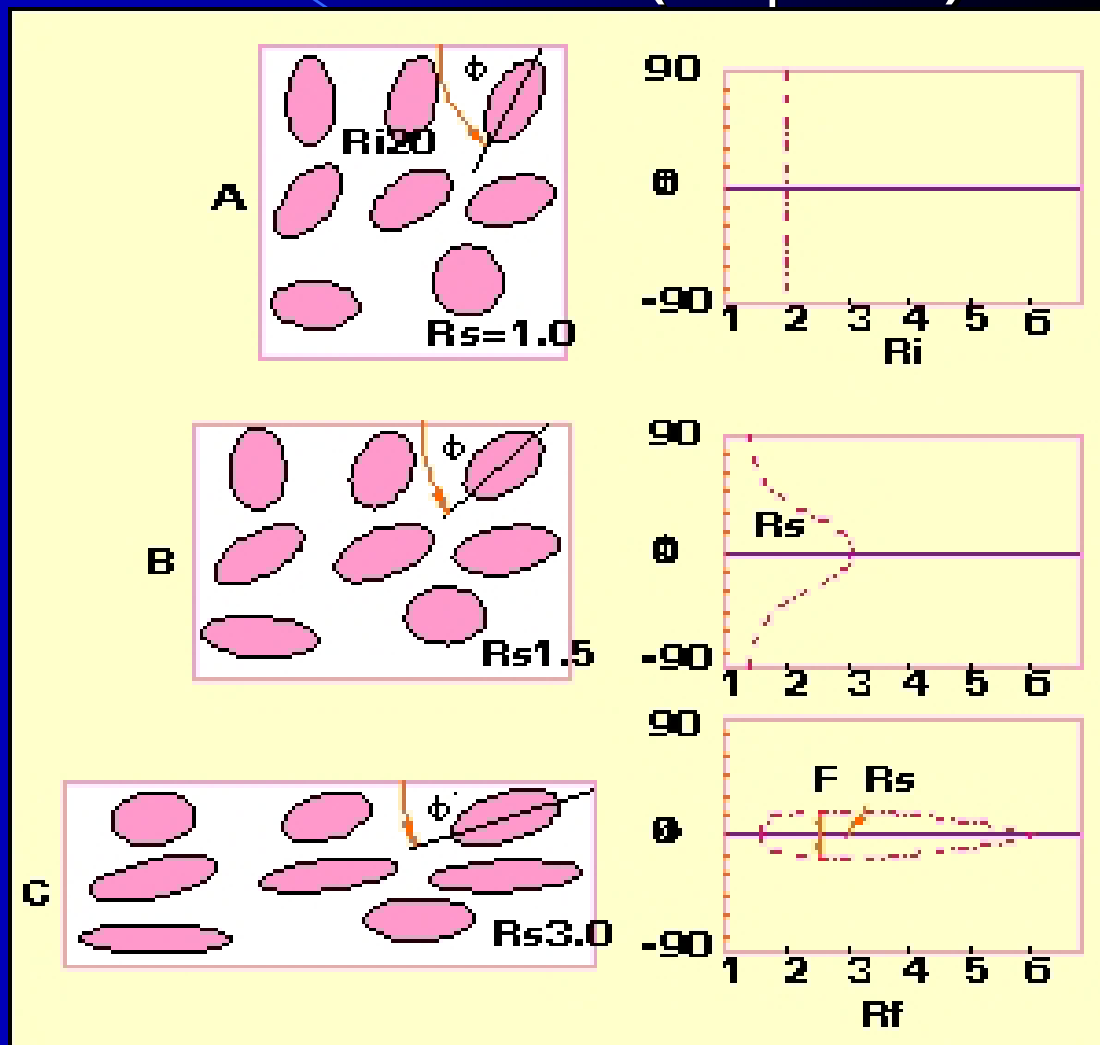
原始为椭球形个体的应变测量(R_f / ϕ)

- 适用于砾石、捕虏体、石英颗粒及集合体
- 标志体的最终状态（最终轴比 R_f 和方位 ϕ ）取决于：

R_s （应变椭圆轴比）

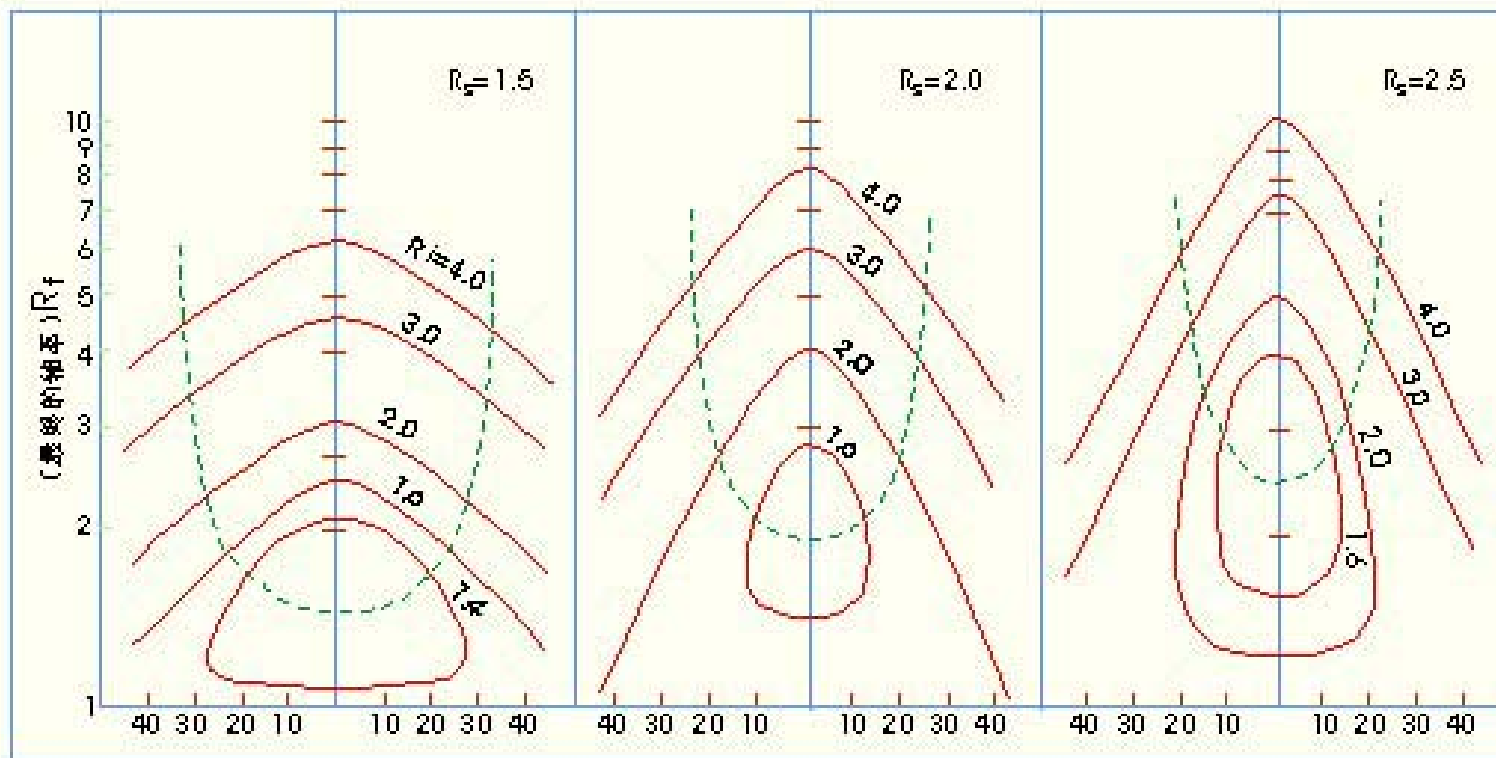
R_i （初始椭圆轴比）

ϕ （初始椭圆长轴与应变椭圆长轴的夹角）



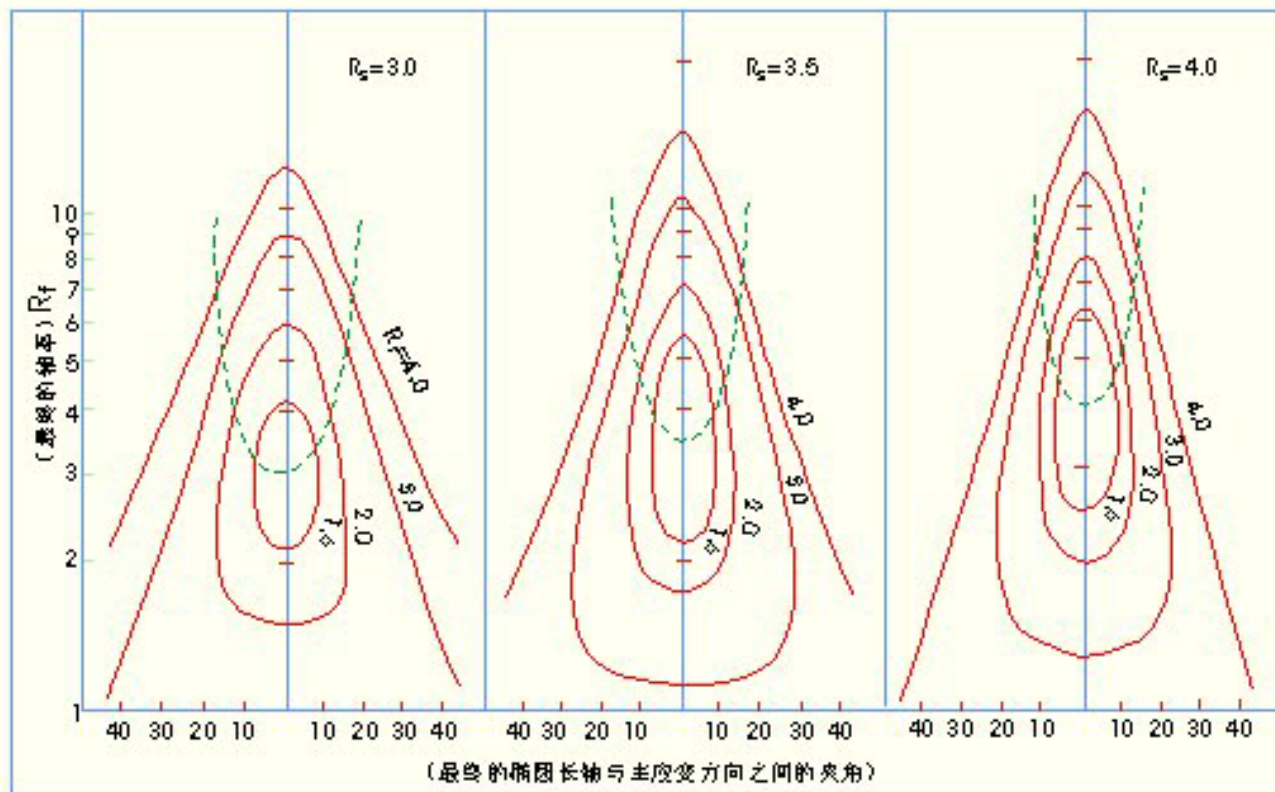
3.2.5.4

R_f / ϕ 法

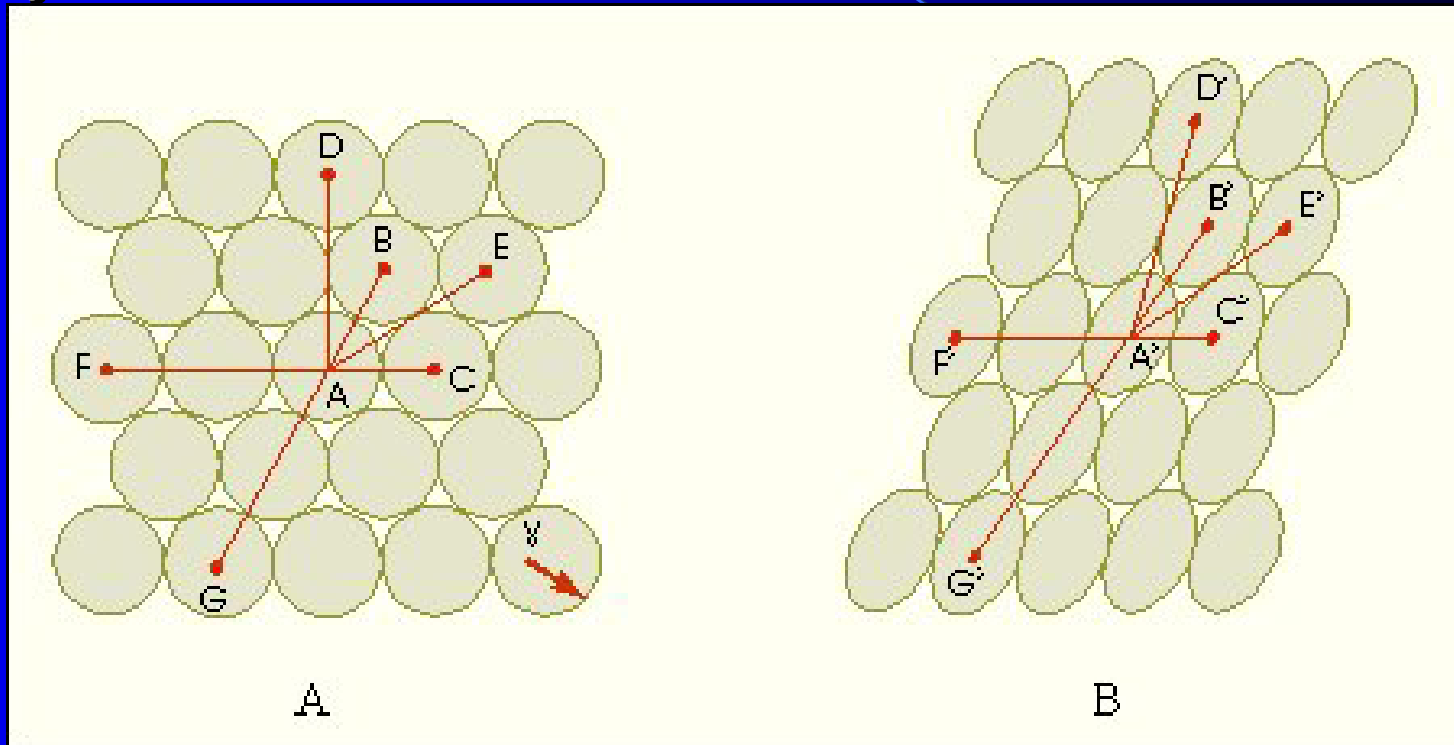


3.2.5.4

R_f / ϕ 法

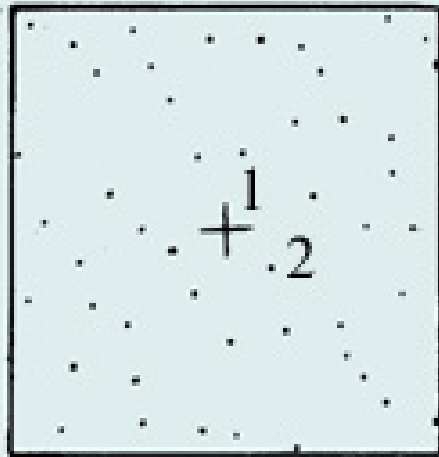


3.2.5.5 据标志点分布变化测量应变 Fry法

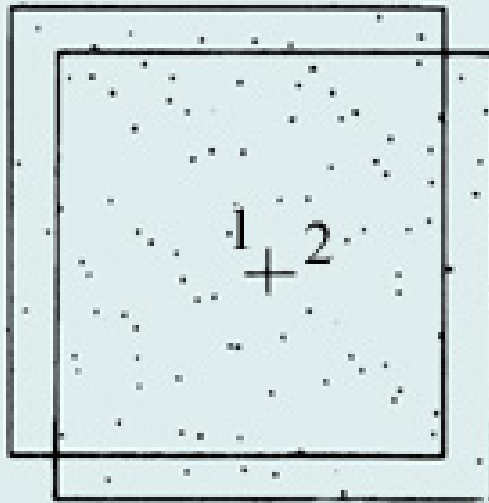


- 前提：①标志体中心点在变形前的分布在统计上是各向同性的；
②在测量范围内是均匀应变。
此时，以任一点为中心，与其它各标志点的距离在各方向上相等。

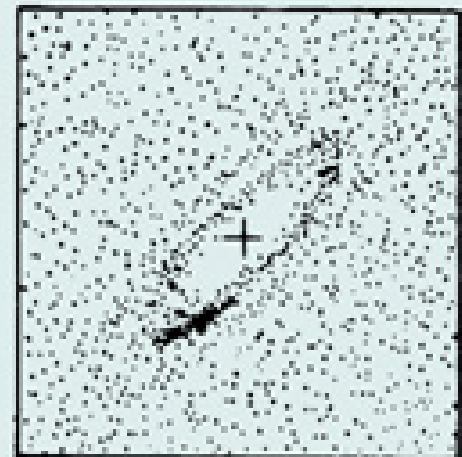
3.2.5.5 据标志点分布变化测量应变 Fry法



A



B



C

本节要点

- 应变椭球体
 - 主应变轴 ($X, Y, Z; A, B, C; \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$) ,
 - 主应变面 (XY^*, YZ, XZ 面)
 - 线伸长/线缩短区域
- (共轴和非共轴) 递进变形*
 - 概念
 - 对变形现象的解释
- 应变测量：设计思路与方法

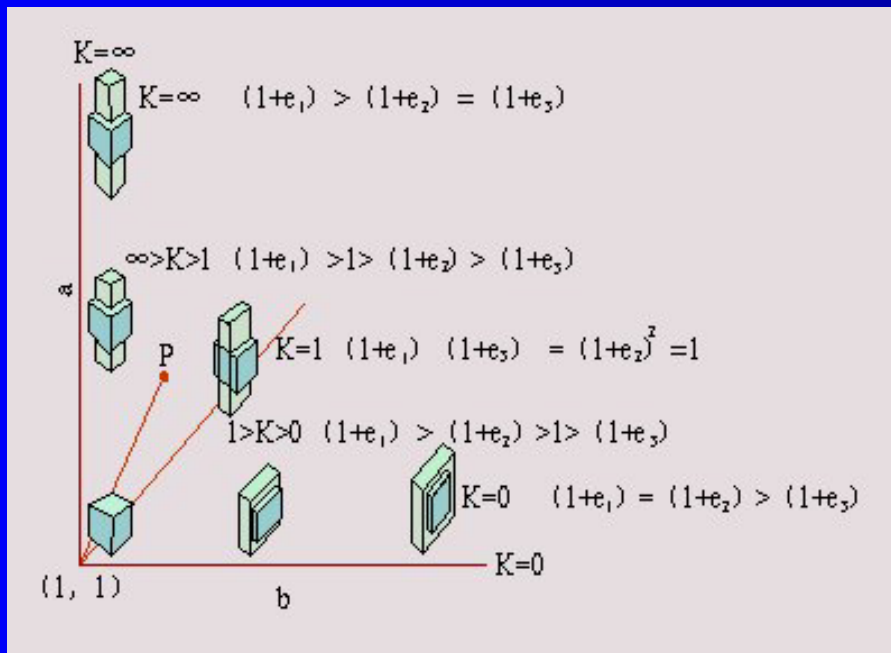
应变——问题

- 什么是线应变，剪应变？挤压/拉张力或剪切力与线应变和剪应变是怎样联系的？
- 应变椭球体中的主应变面（XY，YZ，XZ）面与主应力有什么关系？*
- 递进变形的概念对构造分析有什么意义？*
- 在Flinn图解中，三种形态的应变椭球体分别反映岩石受到何种变形？其可能的受力方式是什么？

附录

应变椭球体类型和几何表示法
Flinn Diagram

应变椭球体类型和几何表示法



- $a = X/Y$
 $= (1+e_1)/(1+e_2)$
- $b = Y/Z$
 $= (1+e_2)/(1+e_3)$
- $K = \tan \alpha$
 $= (a-1)/(b-1)$
- 圆点座标为 (1 , 1)
- 原始单元体 $K = 0$
- 变形后, 当 $K = 1$ 时, 沿 B 方向无伸长和缩短

Flinn Diagram

Flinn Diagram

- 在体积不变条件下，据K值分为五种形态类型
 - (1) $K = 0$ 单轴旋轴扁球体（轴对称缩短）
 $(1 + e_1) = (1 + e_2) > (1 + e_3)$
 - (2) $1 > K > 0$, 扁型椭球体（压扁型）
 $(1 + e_1) > (1 + e_2) > 1 > (1 + e_3)$
 - (3) $K = 1$ 平面应变椭球体
 $(1 + e_1)(1 + e_3) = (1 + e_2)^2 = 1$, $e_2 = 0$
或 $(1 + e_1) = 1/(1 + e_3)$
 - (4) $\infty > K > 1$ 长型椭球体（收缩型）
 $(1 + e_1) > 1 > (1 + e_2) > (1 + e_3)$
 - (5) $K = \infty$ $(1 + e_1) > (1 + e_2) = (1 + e_3)$ 单轴旋转长球体、棒状

