第二章思考讨论题

- 用侧伏向和侧伏角能否独立表示线状构造产状？
- 在“V”字型法则中，假设岩层以位于层面上的水平轴旋转，那么，当岩层由水平旋转至倾斜，再旋转至直立，岩层的出露界线将会发生怎样的变化？
- 能否用计算机可视化技术实现“V”字形法则的数字模拟？如果可以，实现的途径是什么？
- 确定二套岩层是否为不整合关系，研究区是否需要一定的面积？为什么？不整合类型的变化反映下伏岩层可能经历了怎样的地质过程？*

提示一

- 侧伏角：线理在包含它的倾斜平面上与该平面走向线间的锐夹角
- 侧伏向：构成锐角的走向线端的方位（一般用象限方位表示）
- 24°N

提示二

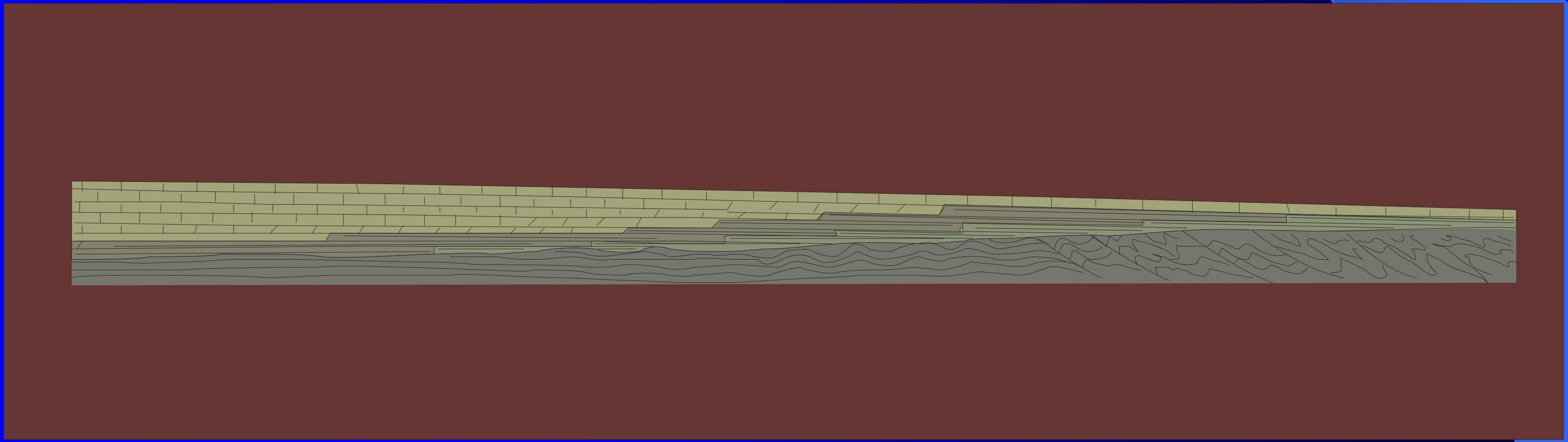
- 假设地形不变，把地层的倾向、倾角设想为可以任意旋转的几何平面
- 当缓倾斜岩层的倾角逐渐变化、逼近水平岩层产状时，岩层出露界线逼近地形等高线。此时若岩层继续旋转，地层出露界线？
- 当陡倾斜岩层逼近直立岩层产状时，岩层出露界线逼近直立岩层出露线（直线）。此时若岩层继续旋转，地层出露界线？

计算机真是很有用！

怎样才能搞定“V”字型法则呢？

提示三

- 不整合的类型在较大区域内是可以发生变化的




站得高，看得远
既有角度不整合，
也有平行不整合，
还有……
真是有点奇怪？

第三章
地质构造分析的力学基础

地质构造是岩石变形的产物。岩石变形是在外力作用下，内部质点发生位移的结果。要深入研究构造发生、发展的规律及其形成机制，需要学习和了解有关岩石变形的力学基础知识。

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

3.1　应　力

- 应力概念
- 应力分析
- 应力场、应力轨迹、应力集中

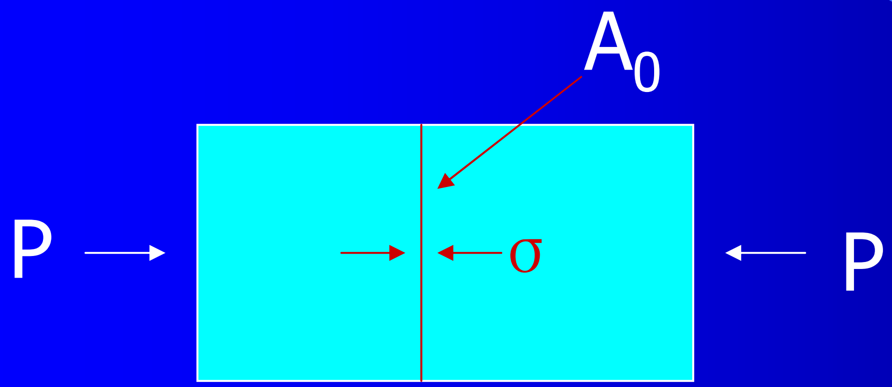
3.1.1
应力：概念

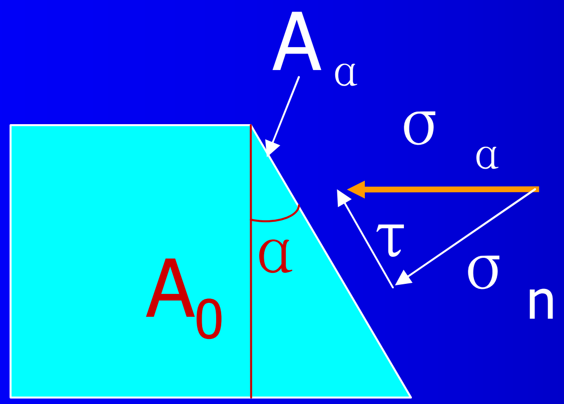
- 面力——通过物体接触面传递的力，也称作表面力
- 体力——作用于物体内部所有质点的力，如重力，吸引力
- 应力——是在面力或体力作用下，物体内部假想的面上单位面积上的一队大小相等、方向相反的力，是作用在该面上的力的大小的度量。

3.1.1 应力：概念

- 应力的方向与作用力的方向一致
- 应力的大小
  - σ = P(作用力) / A(面积)
  - 或dP / dA（当应力分布不均匀时）
- 对应力概念其它方式的理解
  - 力的强度
  - 类似的表达：压强，密度 …

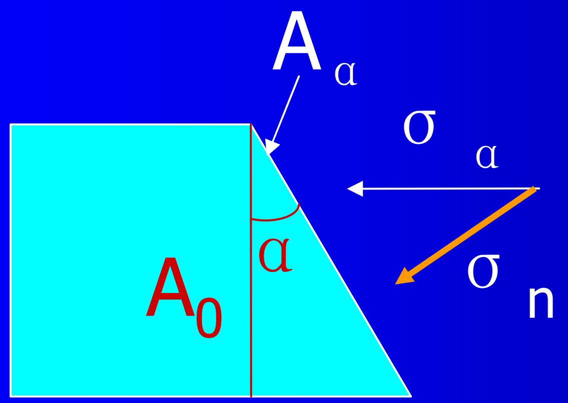
3.1.1 应力的分解





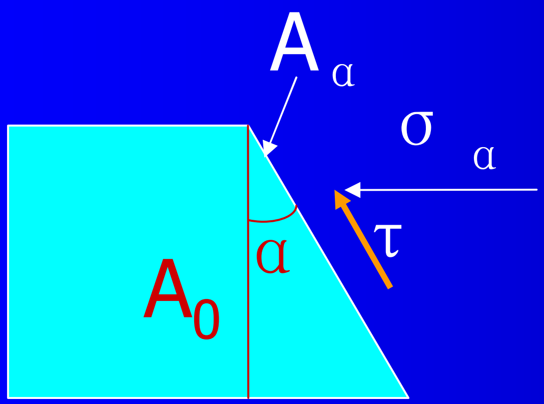
- 当截面与应力方向不垂直时，作用在该斜截面上的合应力可分解为垂直于作用面的正应力和平行于作用面的剪应力
- 特别注意：应力与作用面密切相关

3.1.1 正应力



- 正应力亦称作直应力，以 σ 或 σ_n 表示。
- 正应力可以是压应力，也可以是张应力。
- 正应力符号规定：
  - 压应力为正
  - 张应力为负
  - 与材料力学中的规定相反

3.1.1 剪应力



- 剪应力亦称作切应力，以 τ 或 σ_s 表示。
- 剪应力符号规定：
  - 使物体沿逆时针方向旋转的剪应力为正
  - 使物体沿顺时针方向旋转的剪应力为负
  - 与材料力学中的规定相反

3.1.1 主应力

- 弹性力学证明，平衡力系中，可以找到三个互相垂直的面，其上只有正应力，而没有剪应力。这种面称作主平面（或主应力面），其上的正应力称作主应力。
  - 最大主应力是空间一点上量值最大的正应力。
- 一点的应力状态可以用三个主应力的大小和方向表示，从大到小依次为σ_1，σ_2，σ_3。$\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$。
- 主应力的方向称作主应力轴方向或主方向。

3.1.1 应力状态

- 单轴应力状态

  $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3 = 0$，　单轴压缩

  $\sigma_1 = \sigma_2 = 0 > \sigma_3$，　单轴拉伸

- 双轴应力状态

  $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3 = 0$，　双轴压缩

  $\sigma_1 > \sigma_2 = 0 > \sigma_3$，　压缩-拉伸

  （平面应力状态）

  $\sigma_1 = 0 > \sigma_2 > \sigma_3$，　双轴拉伸

3.1.1
应力状态

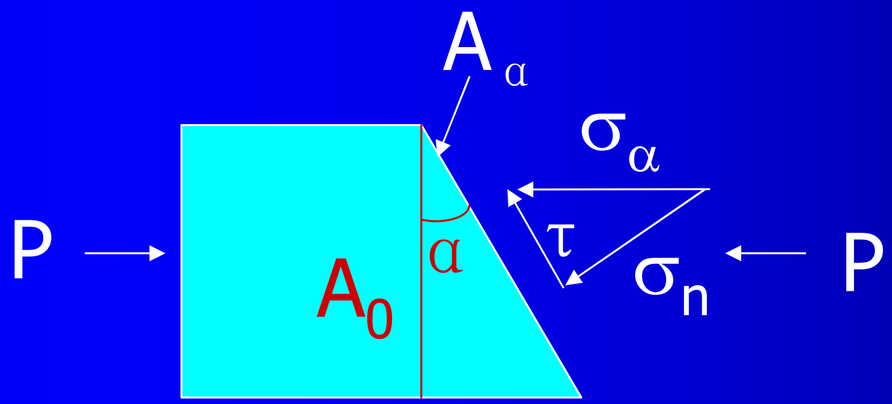
- 三轴应力状态 —— 三个主应力都不等于0

  $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$，　一般应力状态

  当$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$时，为均压，称作静水压力或流体静压力。这种状态只引起物体体积变化，不改变其形状。

3.1.2.1

二维应力分析—— 单轴压缩



$$\sigma_\alpha = P / A_\alpha$$

$$= P / A_0 \cos\alpha$$

$$= \sigma_1 \cos\alpha$$

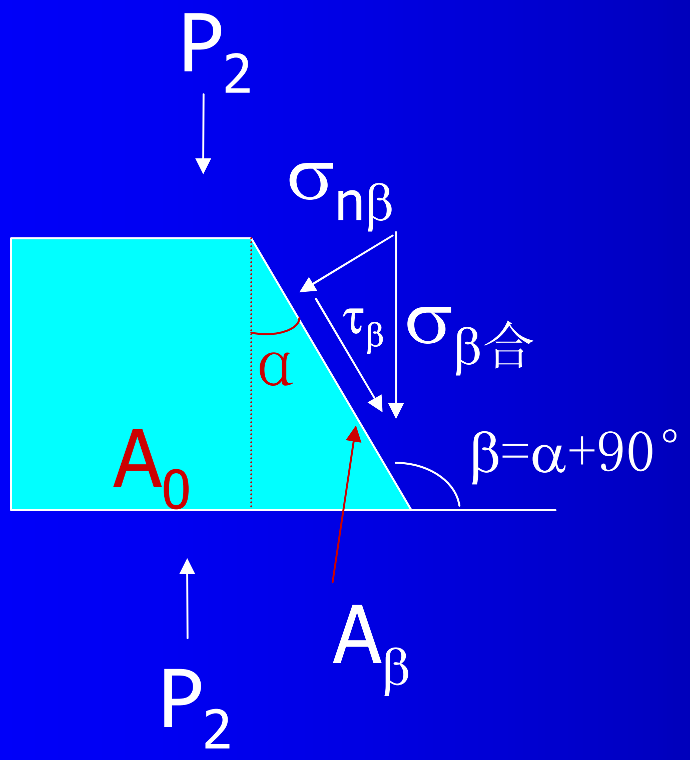
$$\sigma_n = \sigma_\alpha \cos\alpha$$

$$= \sigma_1 \cos^2\alpha$$

$$\tau = \sigma_\alpha \sin\alpha$$

$$= \sigma_1 \sin\alpha\cos\alpha$$

3.1.2.2
二维应力分析—— 双轴压缩



$$\sigma_{\beta合} = P_2/A_\beta$$
$$= P_2/A_0 \cos\beta$$
$$= \sigma_2 \cos\beta$$
$$\sigma_{n\beta} = \sigma_{\beta合} \cos\beta$$
$$= \sigma_2 \cos^2\beta$$
$$\tau \quad = \sigma_{\beta合} \sin\beta$$
$$= \sigma_2 \sin\beta \cos\beta$$

3.1.2.2 二维应力分析——双轴压缩

$$\sigma = \sigma_\alpha + \sigma_\beta$$

$$= \sigma_1 \cos^2\alpha + \sigma_2 \cos^2\beta$$

$$= \sigma_1 \cos^2\alpha + \sigma_2 \cos^2(\alpha + 90^0)$$

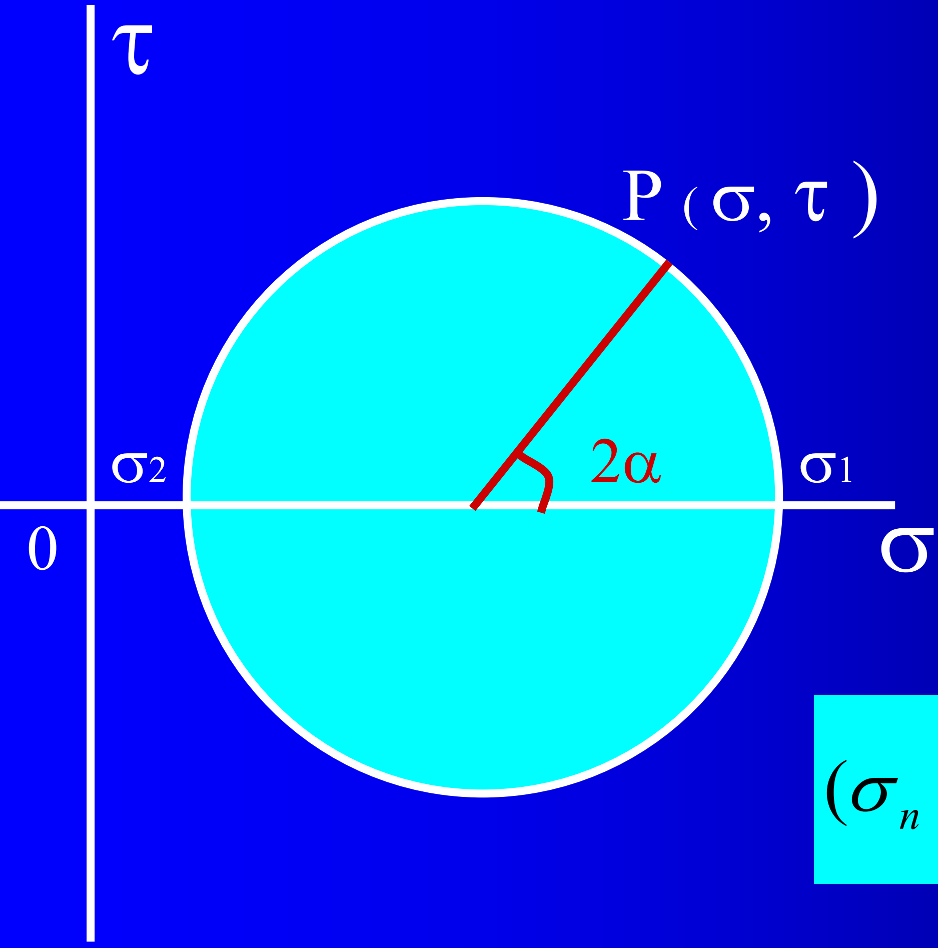
$$= \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} Cos 2\alpha$$

$$\tau = \tau_\alpha + \tau_\beta$$

$$= \frac{\sigma_1}{2} Sin 2\alpha - \frac{\sigma_2}{2} Sin 2\alpha$$

$$= \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} Sin 2\alpha$$

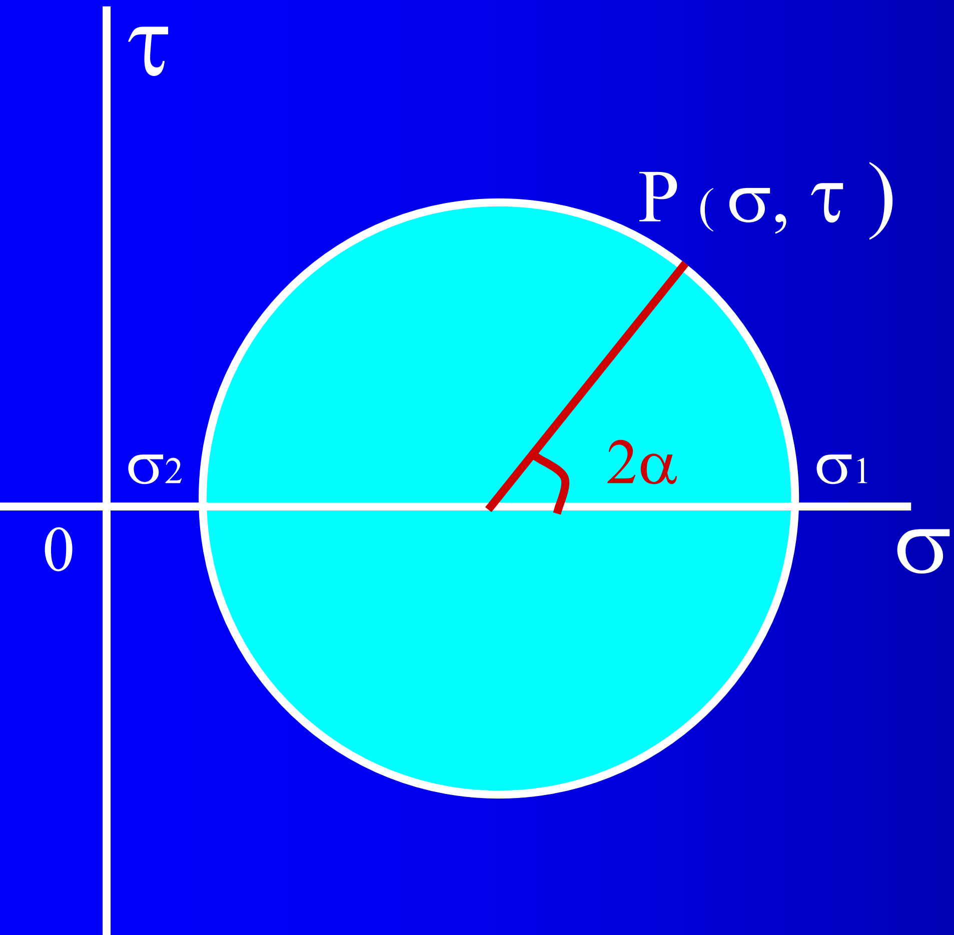
3.1.2.2
二维应力分析——双轴压缩应力圆



前二式平方后
相加，整理后
得一圆方程

$$(\sigma_n - \frac{\sigma_1+\sigma_2}{2})^2 + \tau^2 = (\frac{\sigma_1-\sigma_2}{2})^2$$

3.1.2.2
有关应力圆



- 圆周上一点(P)的物理意义*
  - 坐标表示与主应力成a角的斜截面上的正应力和剪应力
- 第一不变量
  - 直交两平面上的正应力之和为一常数
- 纯剪应力状态*
  - 与主应力成45°或其倍数的截面上只有剪应力，没有正应力
- 剪应力互等定律
  - 直交两平面上的剪应力大小相等，方向相反（符号相反）

3.1.2.2
三维应力分析

- 六种特殊情况

单压 $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3 = 0$

静水 $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$

静岩 $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3 > 0$

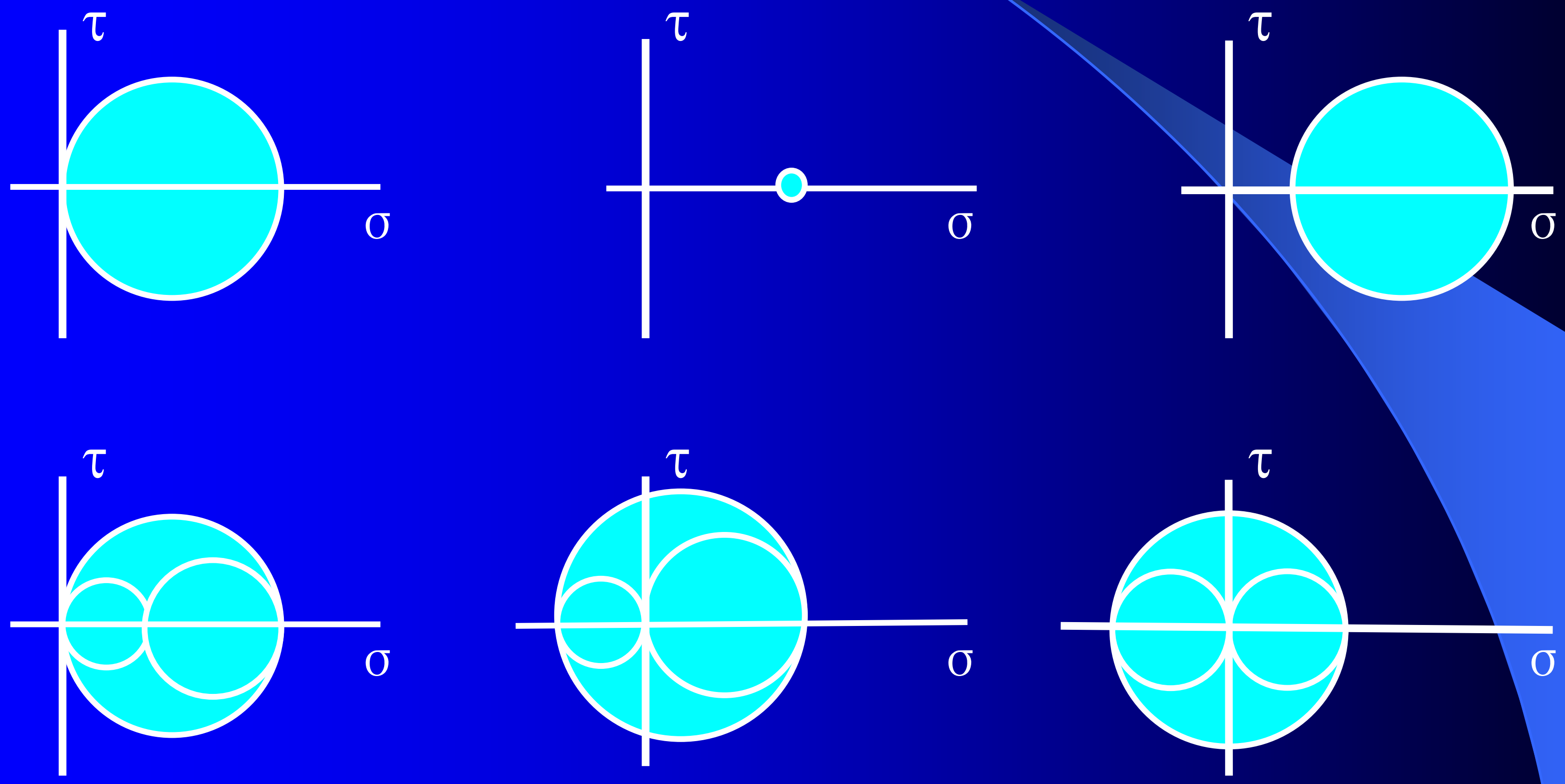
双轴压缩 $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3 = 0$

平面应力 $\sigma_1 > \sigma_2 = 0 > \sigma_3$

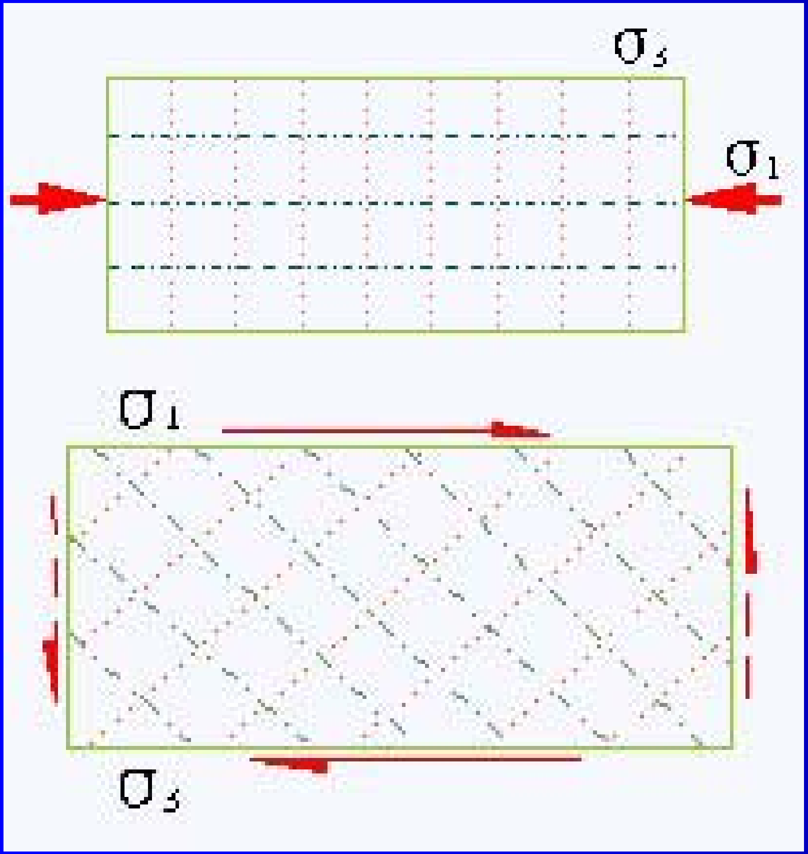
纯剪 $\sigma_1 = -\sigma_3$，$\sigma_2 = 0$

3.1.2.2

三维应力圆（六种特殊情况）

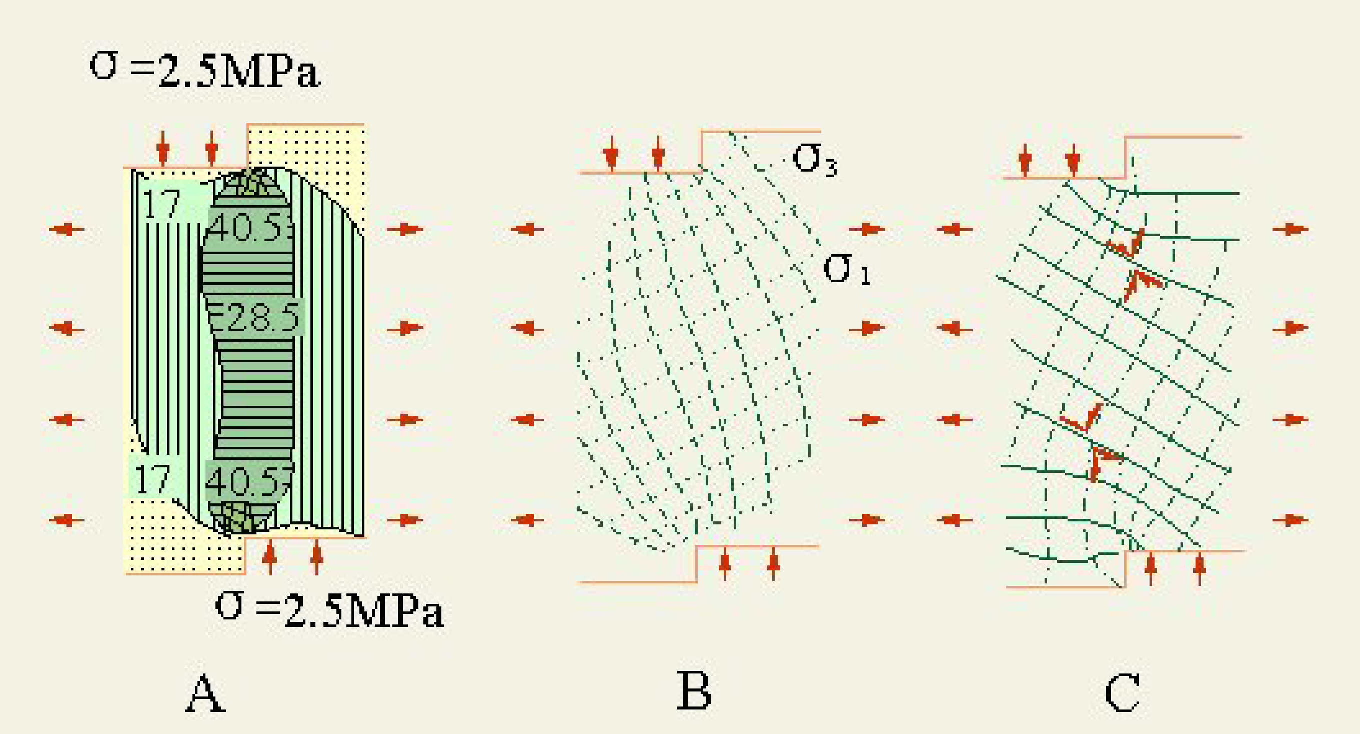


3.1.3
应力场



- 场——点的集合
- 应力场——点应力状态的集合
- 应力场的简洁表示 ——应力迹线网络

3.1.3 应力轨迹



简单剪切的光弹模拟实验

3.1.3 应力集中

- 构造地震——岩石脆性断裂
- 地震预报的基本任务之一是确定地壳中应力集中的区域
- 断层端点、拐点、交叉点比较容易造成应力集中

本节要点

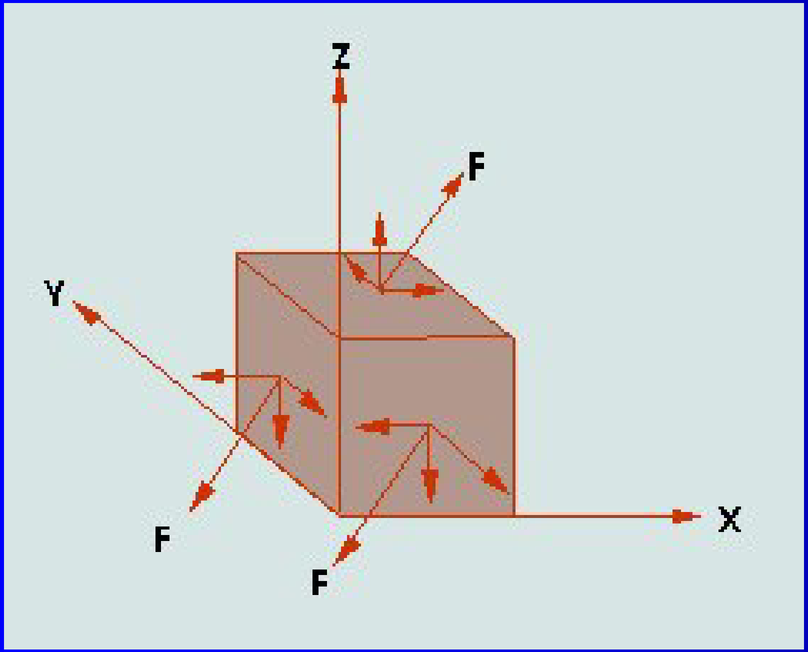
- 应力类型
  - 合应力，正应力，剪应力，主应力，差异应力（应力差），平均应力，偏应力，静岩压力
- 应力圆的推导，圆上一点的含义
- 应力状态（6种应力圆，纯剪状态）
- 应力性质
  - 与作用面密切相关，具有矢量性质，张量，应力分解

思考讨论题

- 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？

附　　录

点应力状态



- 平衡力系中的无限小立方体
- 每个面上分解为三个平行于空间直角坐标系三个坐标轴的分量
- 由于是平衡力系，<u>三个面</u>上的九个分量完全规定了这一点的应力状态

点应力状态

$$\begin{matrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{YZ} \\ \sigma_{ZX} & \sigma_{ZY} & \sigma_{ZZ} \end{matrix}$$

- 应力矩阵
- 下标规定：
  - 第一个下标——作用面法线的方向
  - 第二个下标——坐标轴的方向
- 二个下标相同者为正应力
- 二个下标不同者为剪应力

点应力状态

$$
\begin{array}{ccc}
\sigma_X & \tau_{XY} & \tau_{XZ} \\
\tau_{YX} & \sigma_Y & \tau_{YZ} \\
\tau_{ZX} & \tau_{ZY} & \sigma_Z
\end{array}
$$

- 由于是平衡力系，没有旋转，因此，

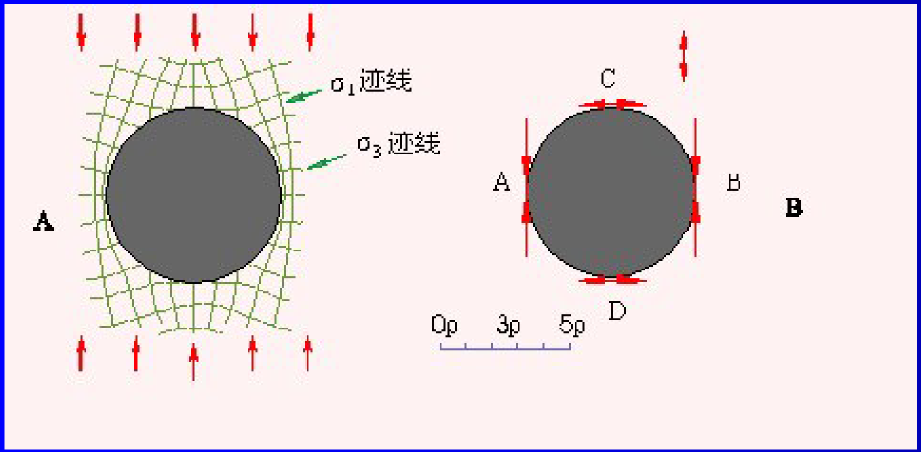
  $\tau_{xy} = - \tau_{yx}$

  $\tau_{xz} = - \tau_{zx}$

  $\tau_{yz} = - \tau_{zx}$

- 是对称矩阵
- 所以，空间一点的应力状态可以由 6 个独立的分量完全限定。

应力集中



- 圆孔表面的切线应力为：
  $\sigma = P_1 (1 - 2\cos 2\theta)$
  P —无穷远处主应力（平均主应力）
  θ —切点处半径线与P_1的夹角
  A、B点， Q＝90， $\sigma = 3P_1$;
  C、D点， Q＝ 0 ， $\sigma = P_1$
- 椭圆孔，当长轴平行于AB时
  $\sigma = P_1 (1 + 2a/b)$

•说明椭圆孔周边方向应力≥3 P_1，椭圆率越大，则应力越为集中

•岩石中的微裂隙可近似看作椭圆形孔洞，易于发生应力集中，导致破裂

•材料力学要计算应力集中的量值，应小于材料强度，材料方可使用。