

讨论：褶皱成因分析

- 自然界大部分褶皱是由纵弯褶皱作用形成的。从地壳变形的角度分析，这种现象反映了什么问题？
- 对于柔流褶皱作用，应该采用什么方法和手段对其进行描述和研究？

第六章 节理

- 节理分类
- 雁列节理
- 节理的岩脉充填机制和压溶作用
- 区域性节理



第六章 节理 (Joint)

- 节理定义要点
 - ◆ 无明显位移的断裂，成群成组发育。
- 节理研究意义
 - ◆ 脉状矿体的储集空间
 - ◆ 油、气、水运移储集的通道和空间
 - ◆ 工程地质：岩体强度、稳定性
 - ◆ 地质构造分析：应力场分析

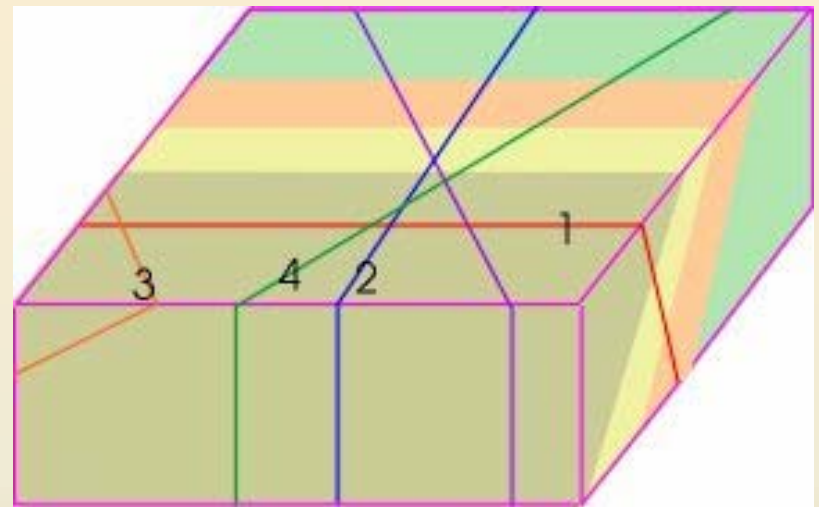
6.1 节理分类

- 节理分类的依据
 - ◆ 根据节理与相关构造的几何关系
 - ◆ 根据节理的力学性质

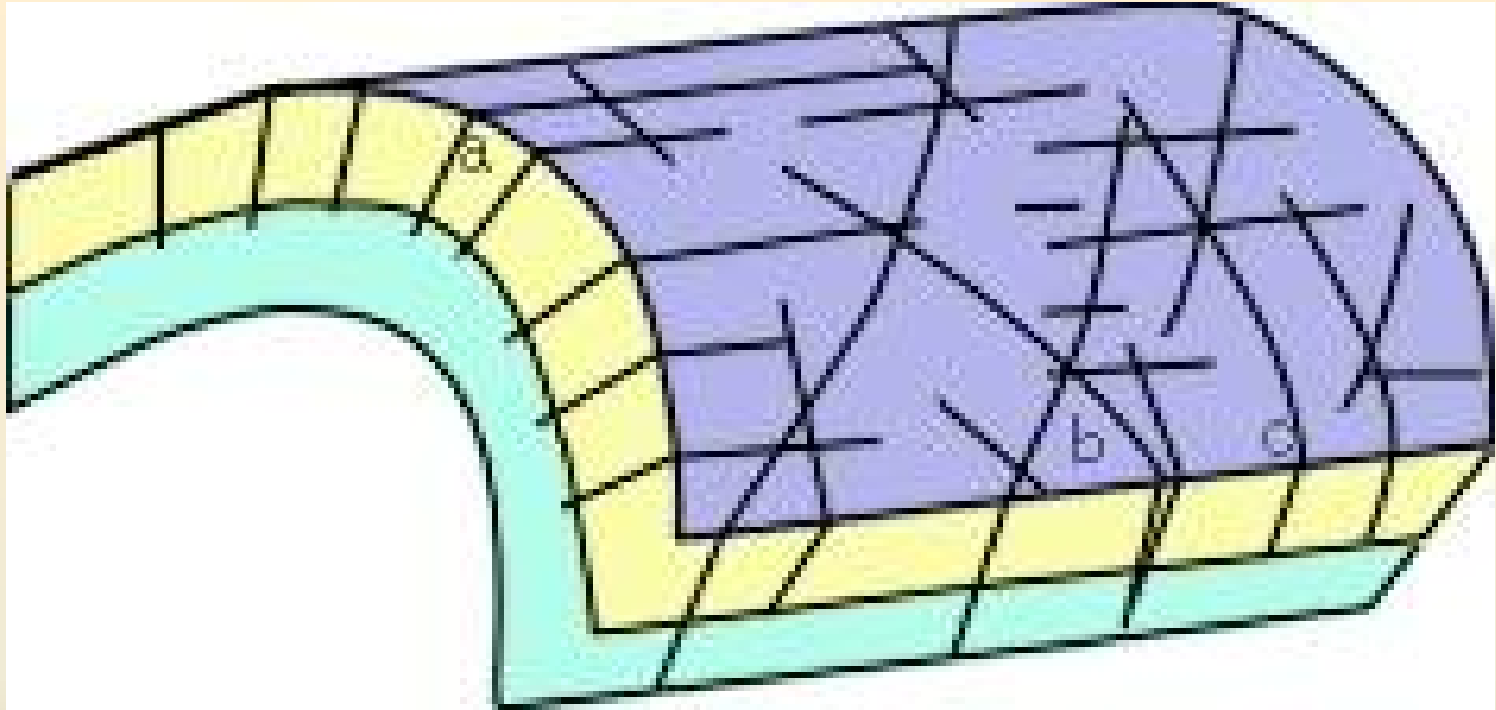
6.1.1.1 根据节理与相关构造的几何关系

根据节理与岩层产状关系分类

- 发育在水平岩层中的节理以方位表示
- 倾斜岩层中的节理
 - ◆ 走向节理 (1)
 - ◆ 倾向节理 (2)
 - ◆ 斜向节理 (3, 4)
- 顺层节理



6.1.1.2 根据节理与相关构造的几何关系 根据节理与褶皱轴关系分类



A-纵节理； B-斜节理； C-横节理

6.1.2 根据节理力学性质分类

- 剪节理
- 张节理



6.1.2.1 根据节理力学性质分类

剪节理

- 产状稳定，延伸远
- 平直光滑，节理面上常见擦痕
- 切过砾石和胶结物
- 常构成共轭节理系——棋盘格构造
- 单组节理等间距出现



6.1.2.1 根据节理力学性质分类

共轭剪节理角平分线与主应力方向

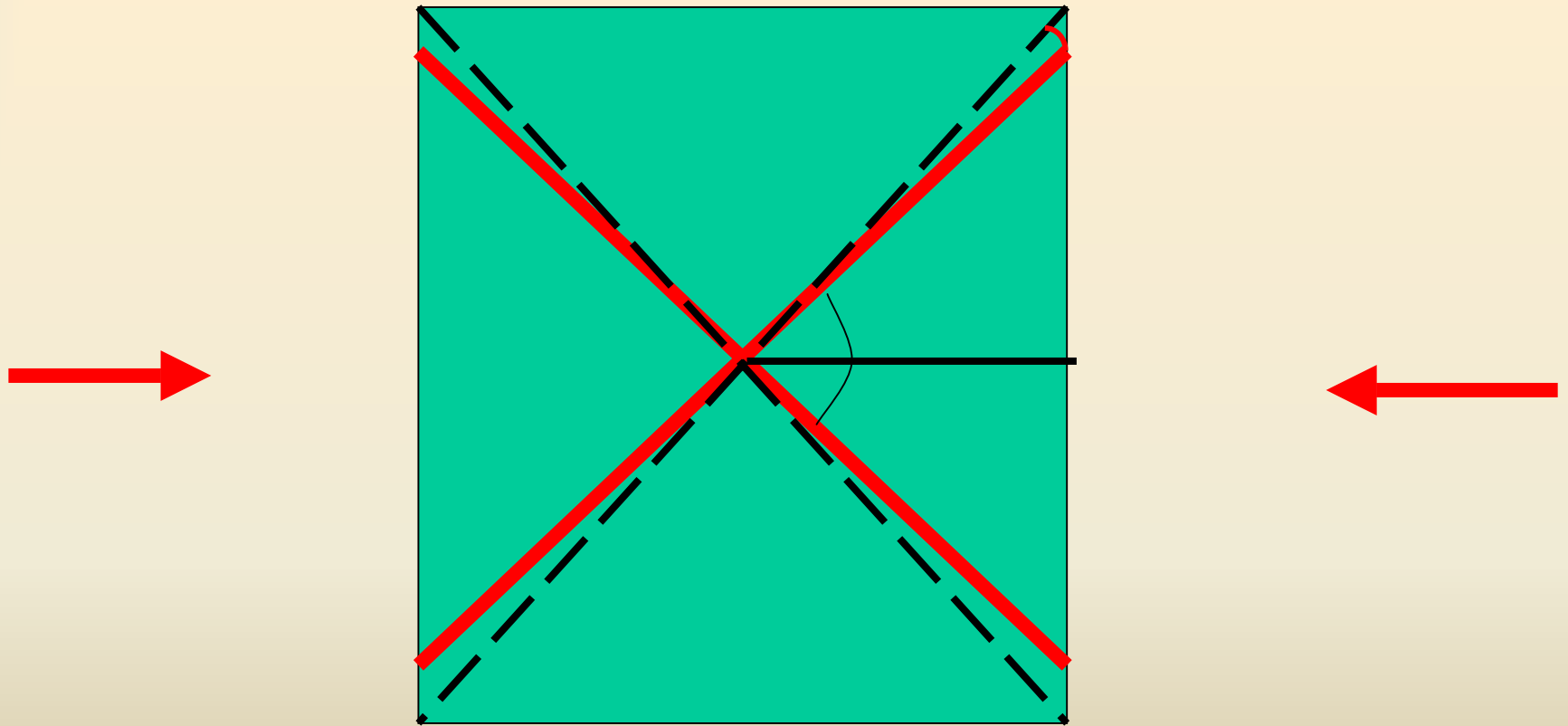
- 在没有递进变形和后期构造叠加的情况下，节理锐角等分线指向最大主应力 σ_1 的方向
- 如果是韧性岩层，经过压扁作用，节理发生旋转，锐角等分线可以变为钝角等分线。

σ_1 在哪里?



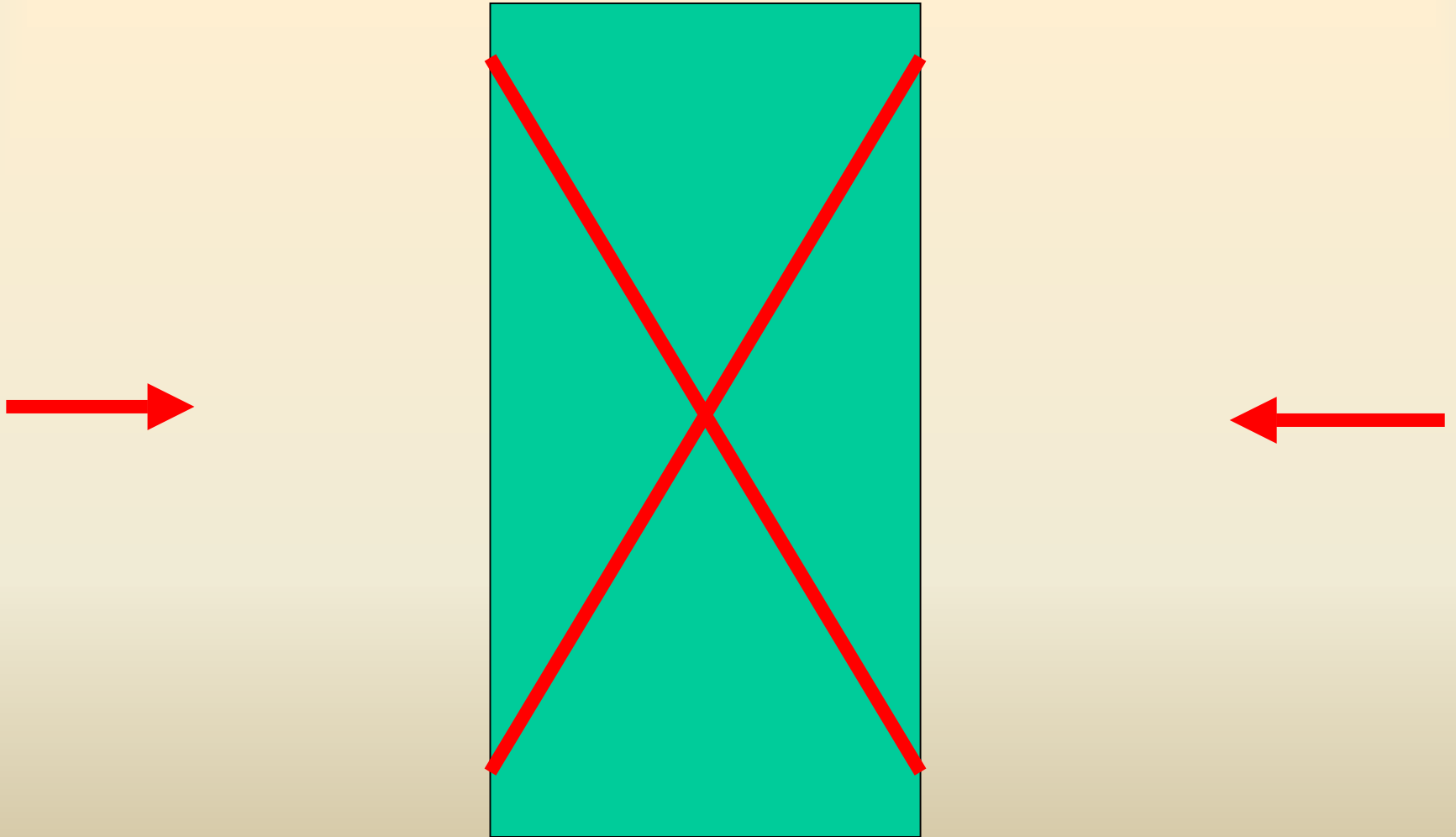
6.1.2.1 根据节理力学性质分类

压扁作用：剪节理方位与夹角变化

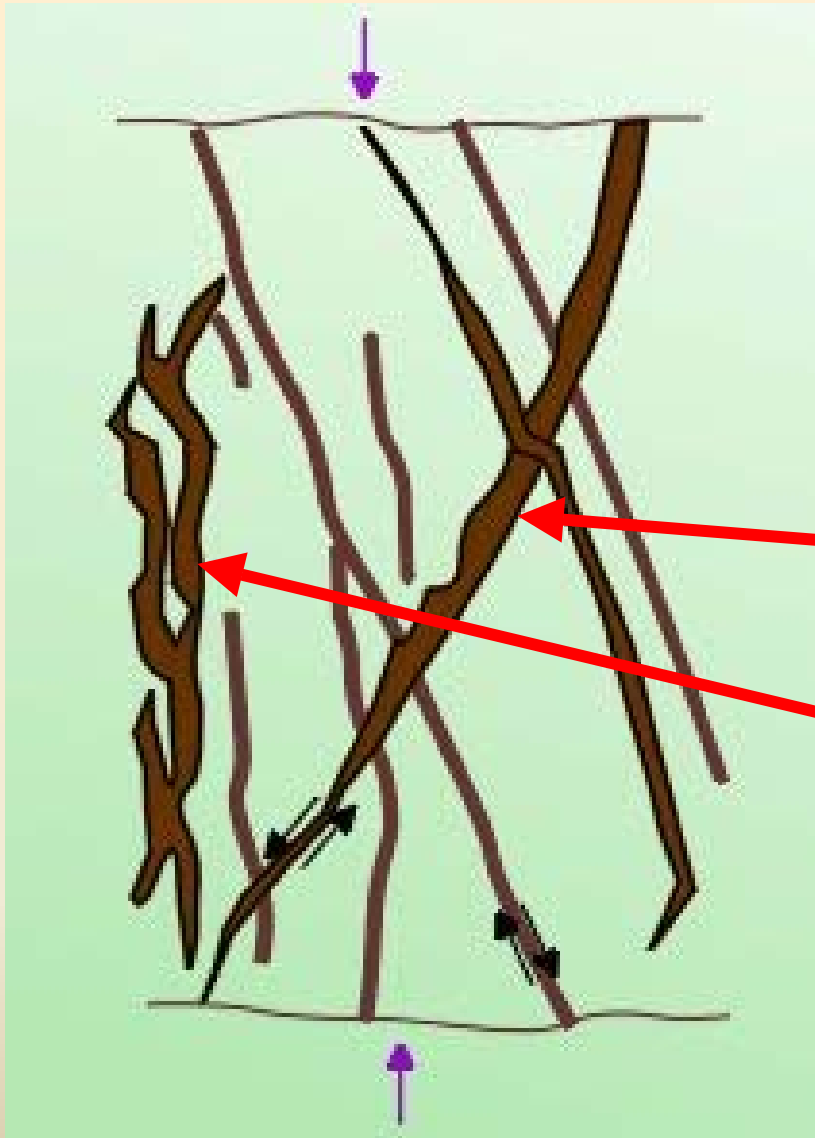


6.1.2.1 根据节理力学性质分类

压扁作用：剪节理方位与夹角变化



剪节理

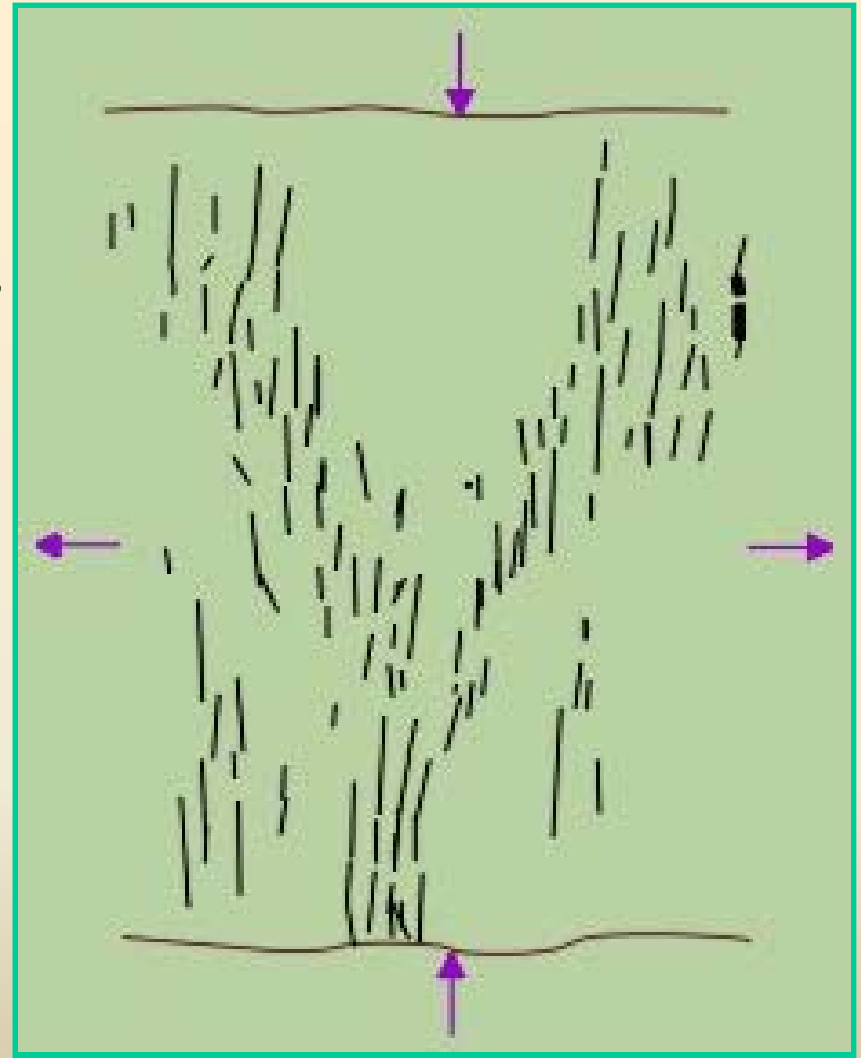


- 西山灰岩中的共轭剪节理
- 先剪切后张开
- 左侧为追踪形成的锯齿状张节理

6.1.2.2 根据节理力学性质分类

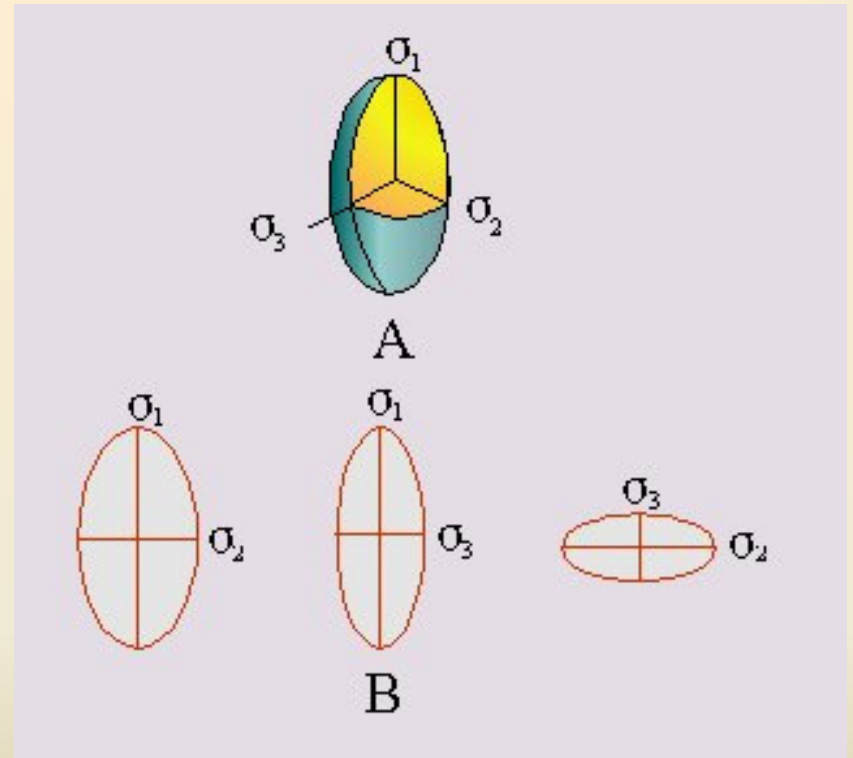
张节理

- 张性破裂面
- 产状不稳定，延伸不远，常侧列产出
- 粗糙不平，无擦痕，常绕过砾石
- 多脉体充填，脉的宽度变化大
- 追踪共轭剪节理，呈锯齿状，成单列或组合成共轭雁列张节理



张节理与应力/应变轴的关系

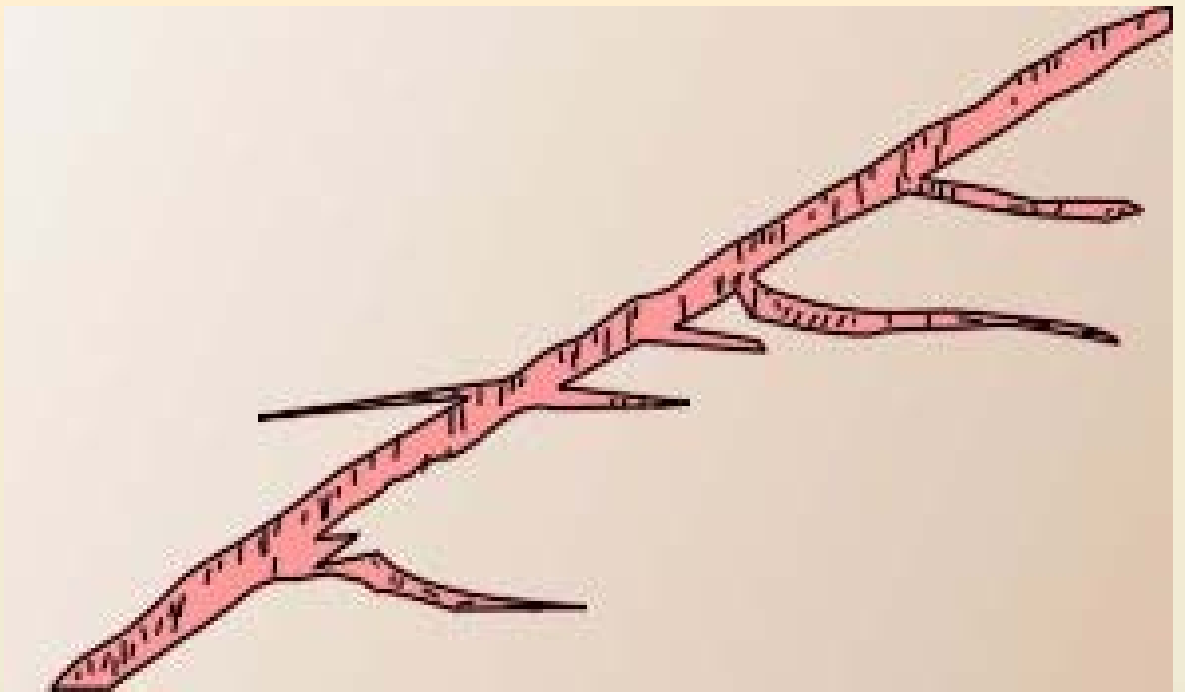
- 张节理法线 // σ_3 方向
- 张节理法线 // 应变椭球X轴
- 与底劈或上拱作用有关的张节理常成放射状或同心圆状



6.1.2.3 根据节理力学性质分类

节理力学性质转化

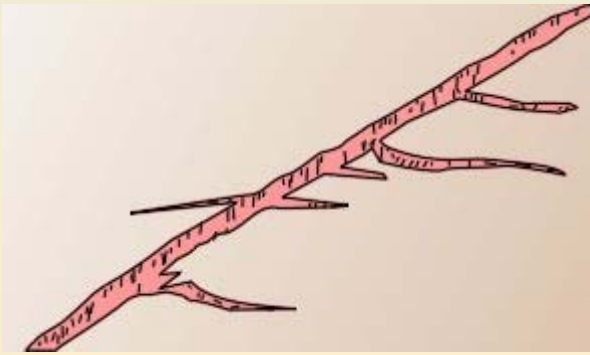
由于递进变形和构造作用的影响，节理力学性质可以表现出张节理和剪节理的特点。



北京西山一条张剪性节理

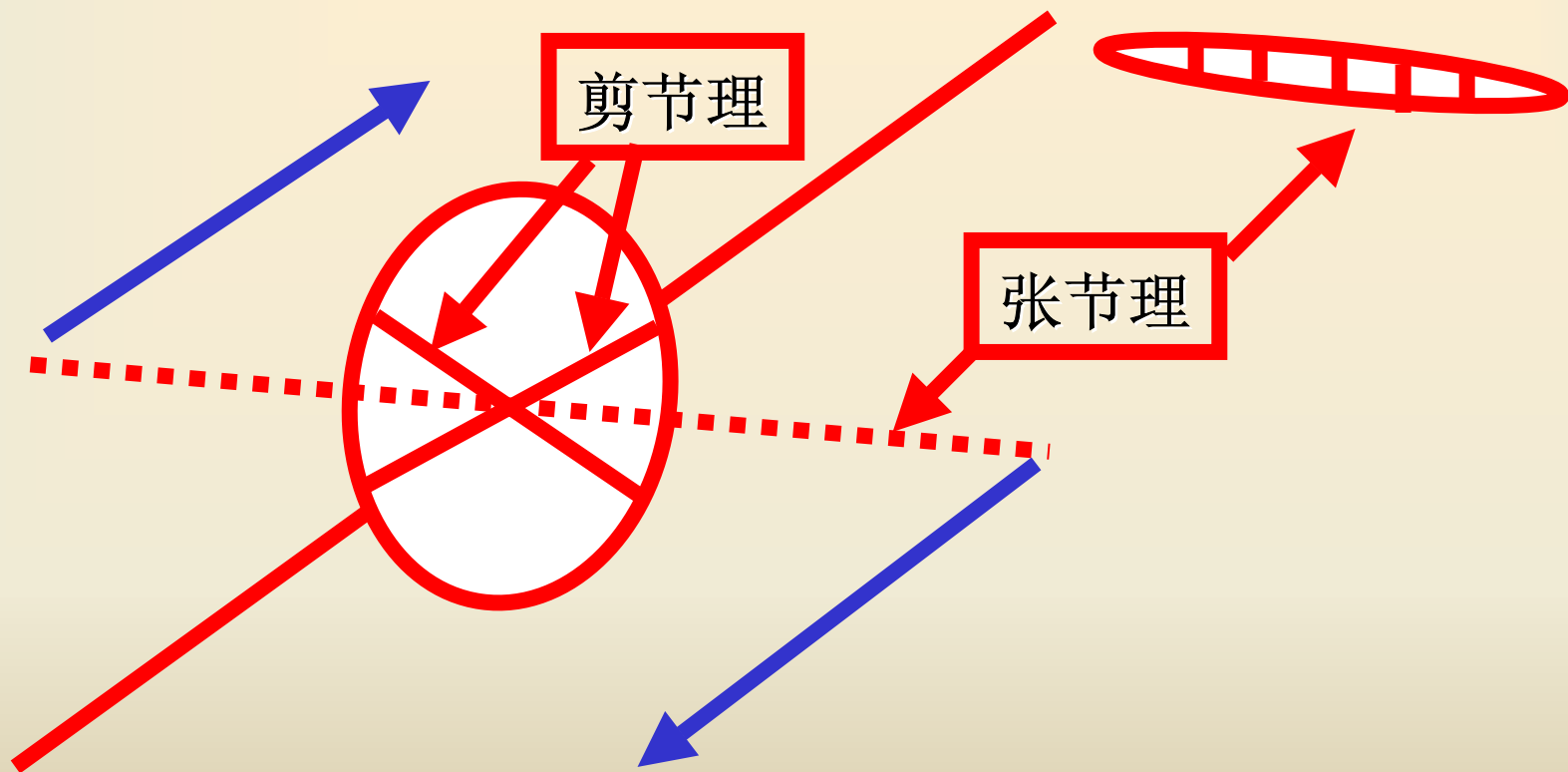
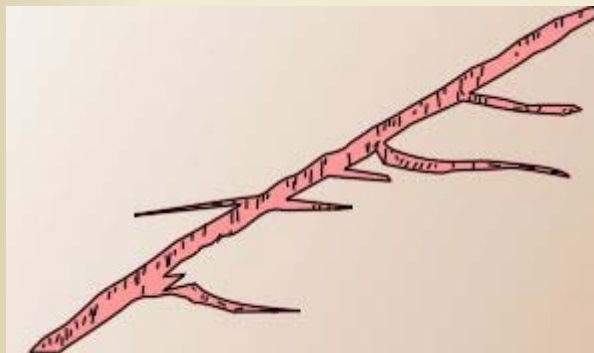
(据宋鸿林)

节理力学性质转化



- 主干节理特征
 - ◆ 形态（平直），与派生节理的关系表明具有右旋剪切性质
 - ◆ 主干节理中石英纤晶延伸方向与节理壁夹 50° 角，该方向为拉伸方向，说明其又具有拉张性质
- 派生节理特征
 - ◆ 石英纤晶在末端垂直于节理，在与主干节理汇合部位与节理壁夹 60° 角
- 结论：剪应力与张应力同时作用的产物

利用应变椭球体分析派生节理和纤晶生长方向

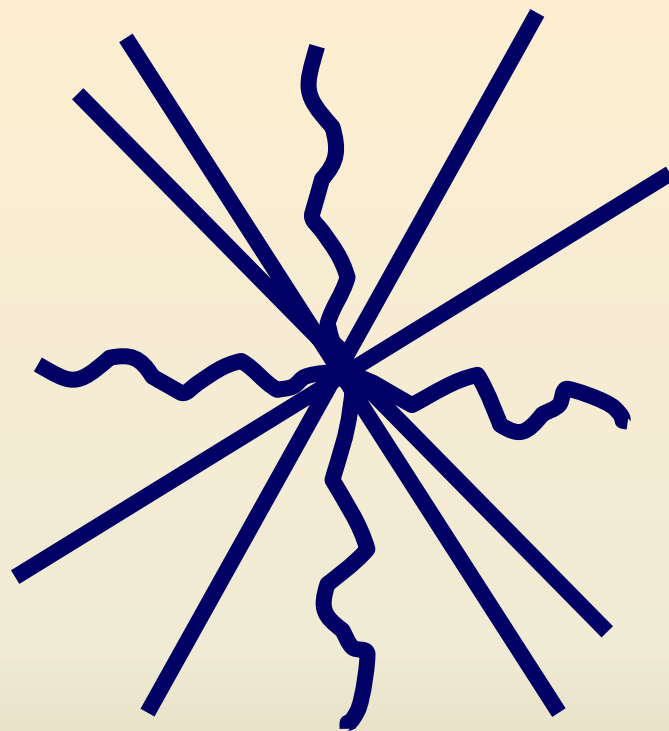


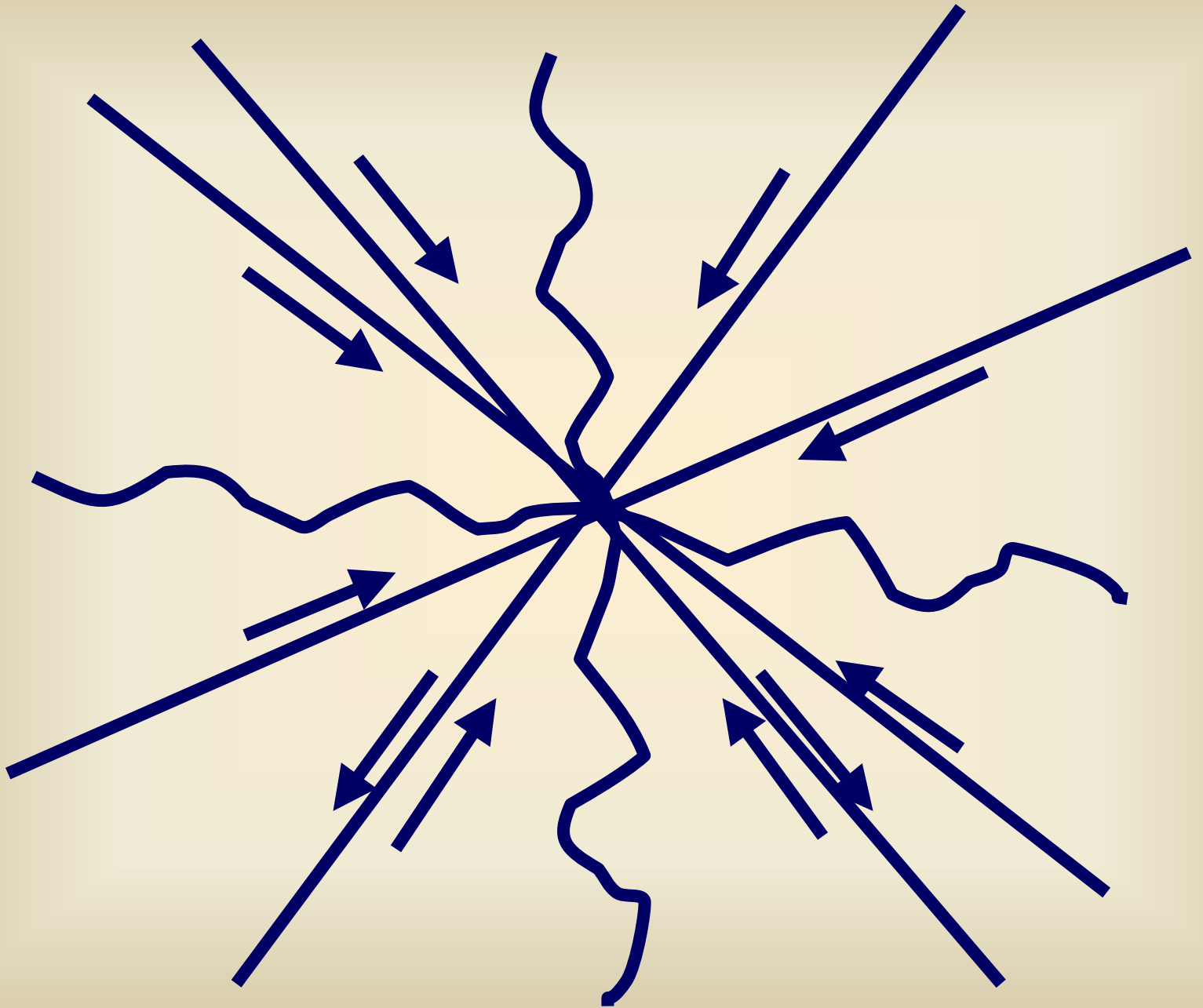
6.1.2.4 节理组和节理系

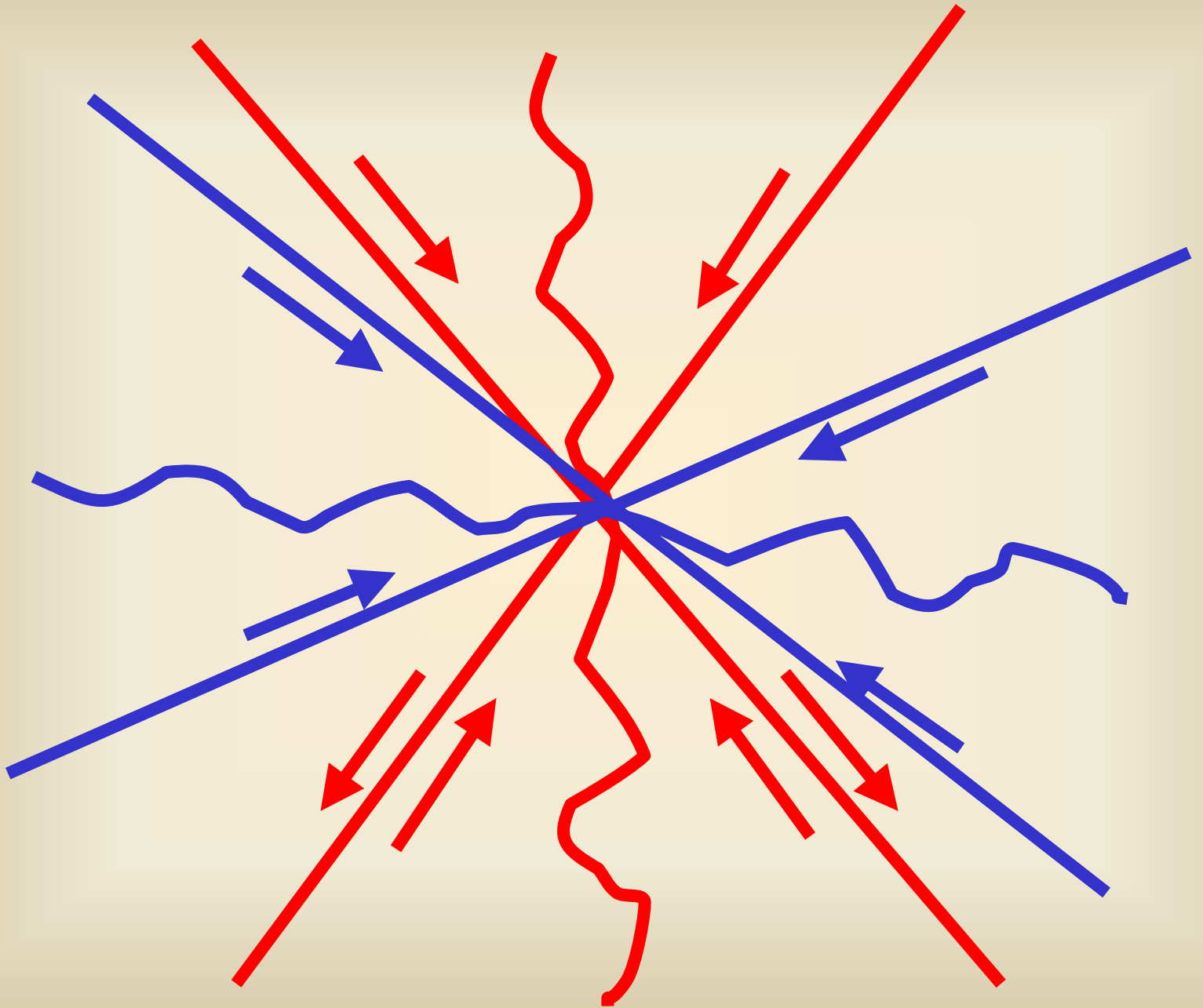
- 节理组——同一构造作用中形成（在同一应力场中）的产状、力性基本相同的节理群
- 节理系——由两个或两个以上同期形成的节理组构成。例如 X 共轭节理系；放射（同心圆）状节理系

6.1.2.5 节理的分期

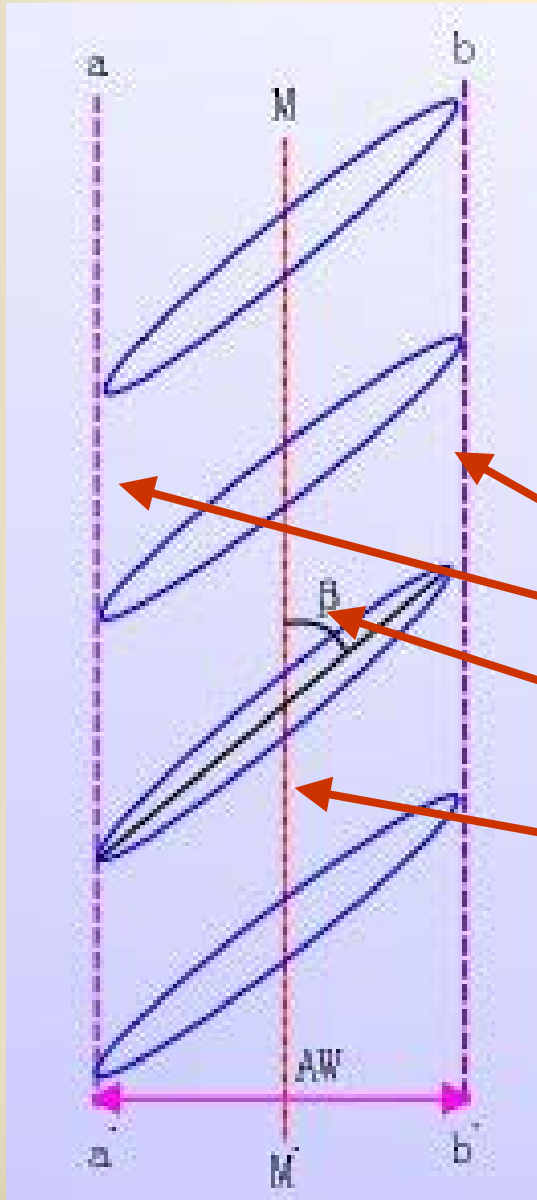
- 节理分期：从时间、空间和力学成因上研究构造发育史、构造分布规律，为构造分析和古应力场恢复提供依据
- 节理分期的依据
 - ◆ 节理组的交切关系
 - ◆ 各期节理的配套关系
- 节理分期配套要结合地质背景（所在的构造和地质体）在野外进行





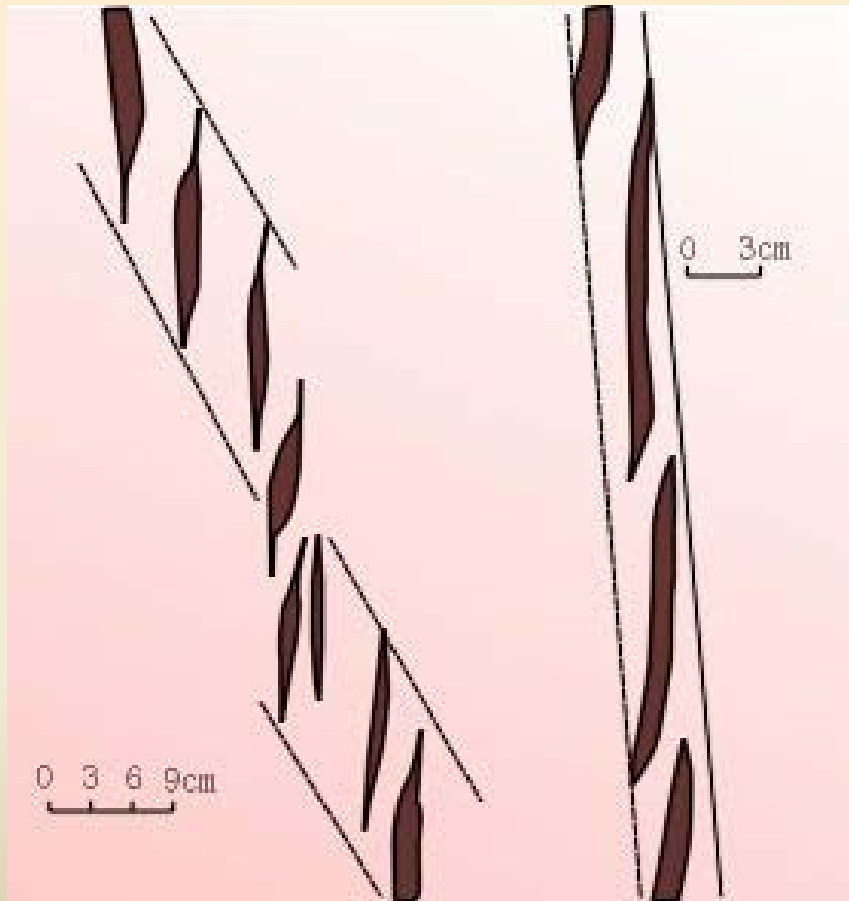


6.2 雁列节理



- 雁列——斜列
- 雁列带要素
 - ◆ 雁列带
 - ◆ 雁列角
 - ◆ 雁列轴

6.2 雁列节理：形态



- 平直型：窄而长，多属剪裂形成，变形较轻微（右）
- S型：中段宽，两端窄——尖灭，多属张裂形成（左），与递进变形有关
- S型与反S型共同组成共轭雁列脉

雁列脉

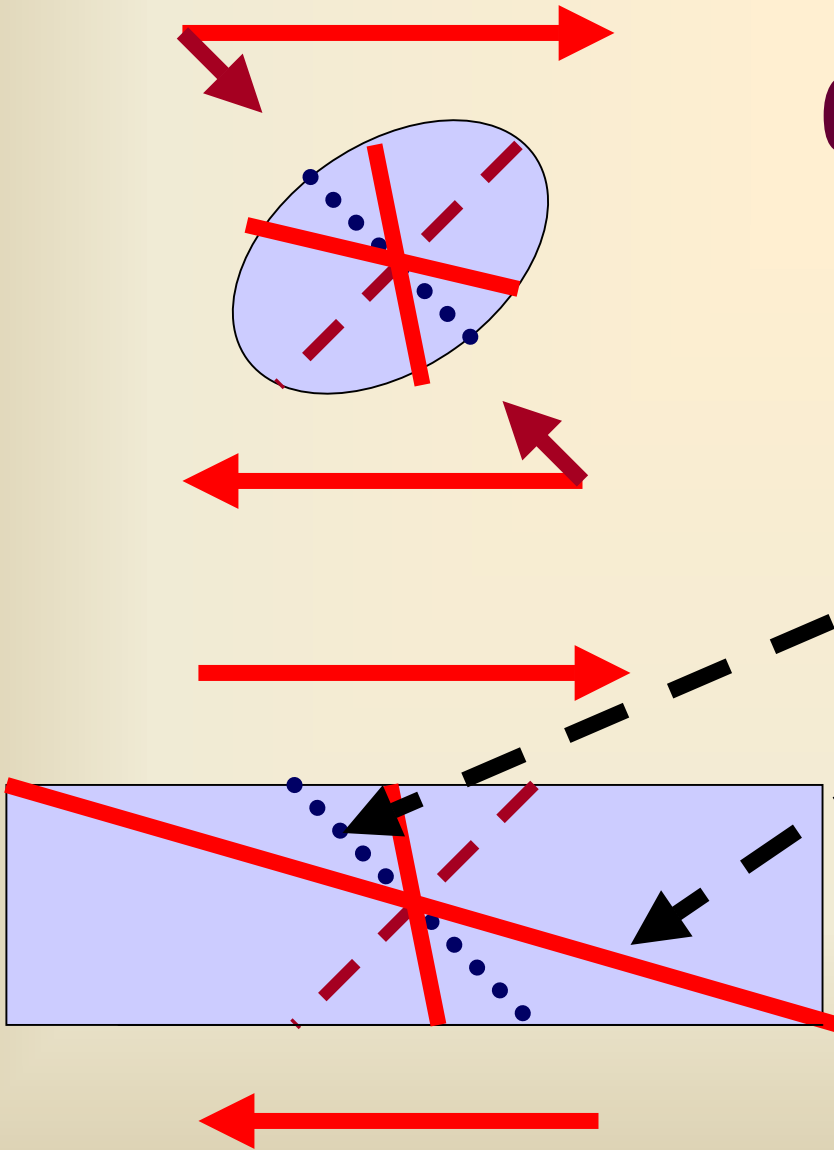


6.2 雁列节理

- 雁列角有2个峰值

◆ 45° (张裂型)

◆ 10° (剪裂型)

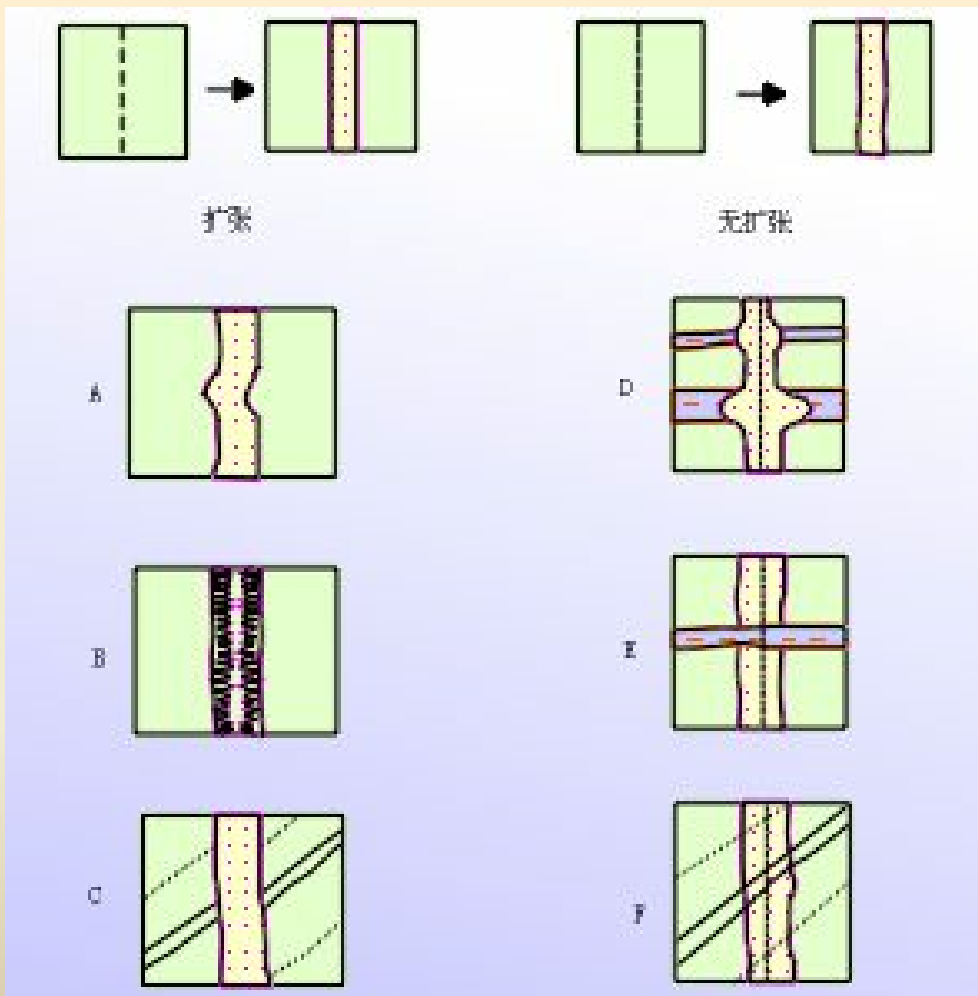


6.3 节理的岩脉充填机制和压溶作用

- 节理常被石英、方解石充填
- 充填岩脉的类型
 - ◆ 根据岩脉有无扩张
 - 扩张性脉；非扩张性
 - ◆ 根据纤晶与脉壁关系
 - 同向型；反向型

6.3.1

扩张性与非扩张性岩脉



- 扩张性脉
 - ◆ A-节理两壁张开互相对应
 - ◆ B-梳状晶簇
 - ◆ C-标志层拉开
- 非扩张性脉
 - ◆ D-利于交代层中脉加宽
 - ◆ E-不利于交代层穿切脉
 - ◆ F-被交代面的交代残余

6.3.2 节理的岩脉充填机制和压溶作用

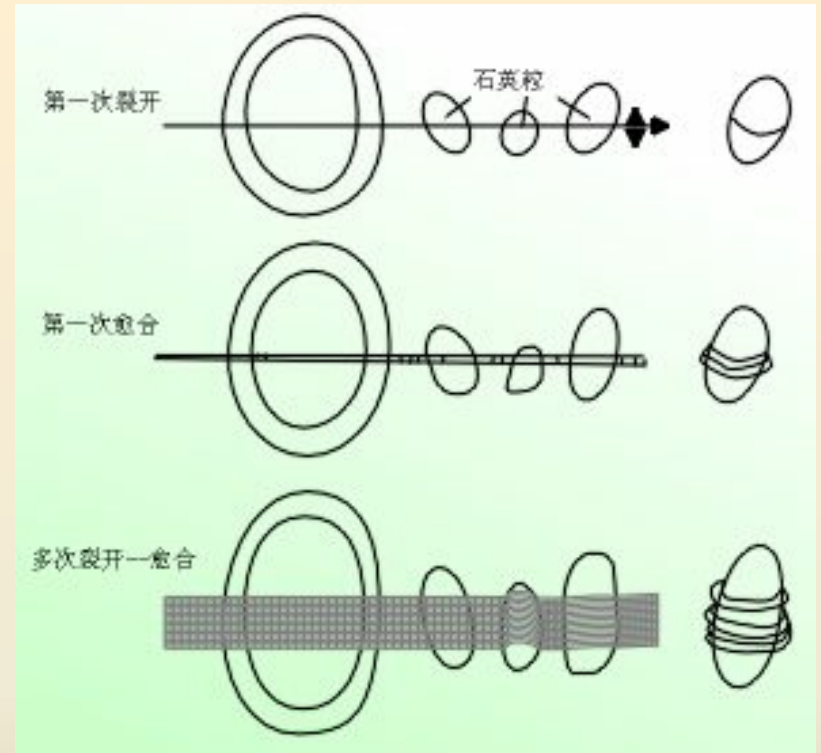
充填岩脉的类型

- 根据纤晶与脉壁关系
 - ◆ 同向型
 - 自两壁向中间生长（中心有一锯齿状缝合线/带）
 - ◆ 反向型
 - 自中心向两壁生长（中心常有包裹体带）

6.3.2.1

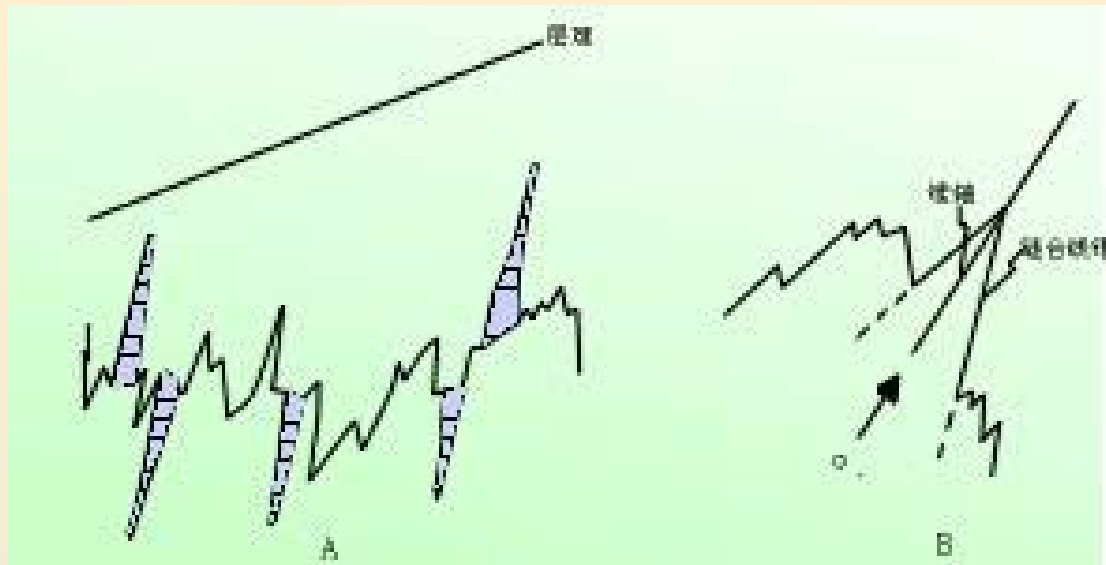
裂开—愈合脉（Crack-sealed Vein）

- 岩脉充填往往经历了持续反复的增生过程
- 充填的愈合物来自脉壁，是压溶作用所致
- Q、Cc、Feldspar etc.，垂直于脉壁，反向生长



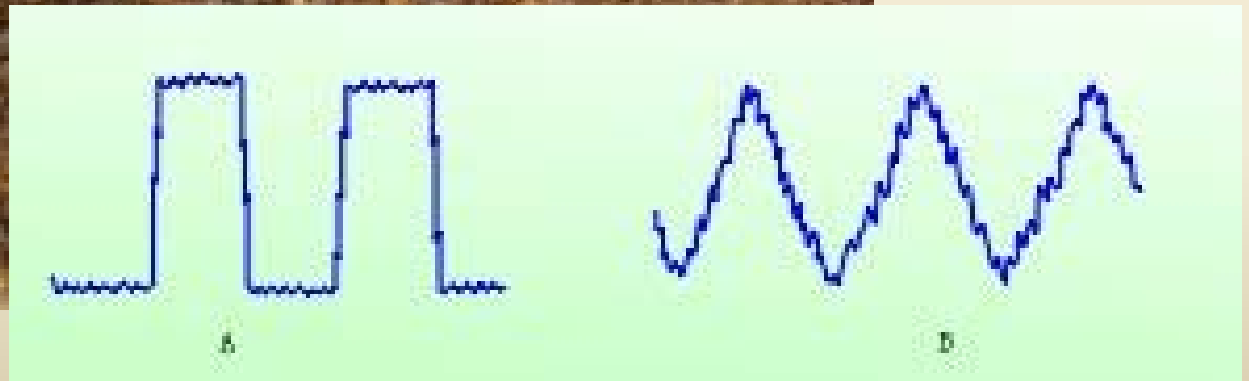
据J.Ramsay研究，瑞士温德格来仑鲷状压岩中宽7.5mm的脉，经历了500次以上的开合作用。

6.3.2.2 缝合线构造



- 细小尖峰状缝合面的组合，难溶组分聚集
- 缝合线既有顺层发育的，也有斜交层面发育的
- 斜交者多是在构造作用下先裂开，后经压溶作用形成

6.3.2.2 缝合线构造



6.4 区域性节理

- 主要见于地台上、分布范围可达上千km²，在造山带中不易识别
- 分布范围广，产状稳定
- 规模大，间距宽，延伸长，切过不同层位
- 构成一定几何形式（菱形格子，放射状）
- 不受局部构造控制
- 岩脉充填后可形成岩墙群（东格陵兰、苏格兰、武当）

6.4 区域性节理

- 主节理：较其它节理组更为醒目，延伸数十至上百米，有时控制形成峰林地貌
- 系统性节理
 - 规律性反映与构造的成生联系
- 非系统性节理
 - 非构造或构造成因
- 节理下延深度，估计 $<10\text{km}$ （可能更深）

6.4 区域性节理

利用节理分析区域构造

- 作用：可以用来研究大型构造和应力场
- 问题：在构造复杂地区节理资料复杂，较难用于构造及应力—应变分析
 - ◆ 原因
 - 形成时期难确定
 - 运动方向及规模不易把握
 - 成因复杂（包括非构造成因）
 - 多期叠加改造

6.4 区域性节理

利用节理分析区域构造

- 注意事项

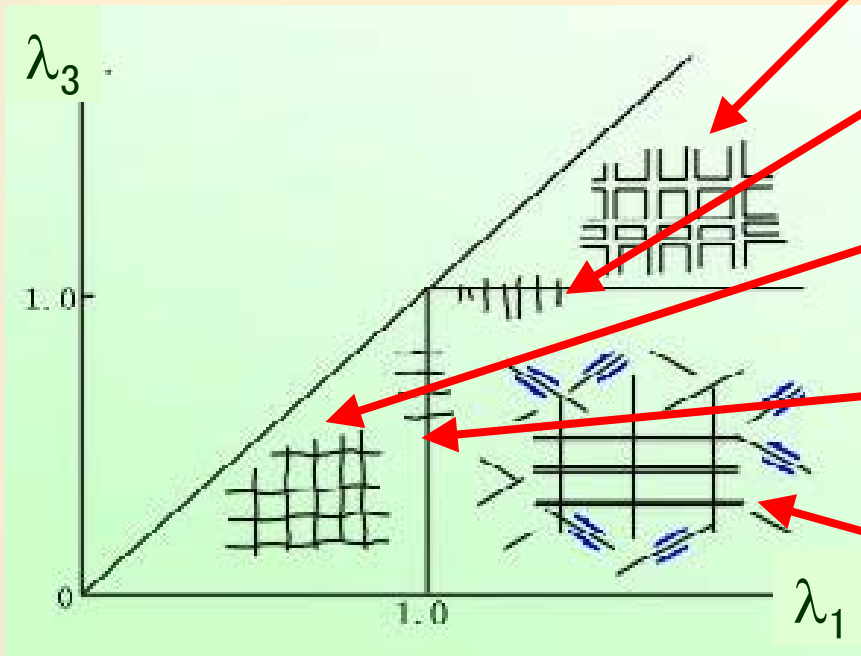
- ◆ 选择构造相对简单地区进行
- ◆ 注意结合所在构造及背景
- ◆ 建立组合型式，分析空间展布及变化趋势
- ◆ 节理分期必须与区域变形史分析相结合
- ◆ 重视节理脉研究——结构、相应构造。分析动力学、运动学过程、形成层次
- ◆ 注意萌生节理——岩层展平

6.4 区域性节理

利用节理探讨构造应力场

- 在弱变形或一次变形地区进行效果较好
- 一般具有定性意义（因 σ_2 通常不直立）
- 节理的应变场图解
 - ◆ 用以反映节理及其构造的应变意义

节理应变场



- 双向伸展应变场 ($\lambda_1 > 1, \lambda_3 > 1$)
二组张节理表示
- 线性伸展应变场 ($\lambda_1 > 1, \lambda_3 = 1$)
一组张节理表示
- 双向缩短应变场 ($\lambda_1 < 1, \lambda_3 < 1$)
二组缝合线表示
- 线性压缩应变场 ($\lambda_1 = 1, \lambda_3 < 1$)
一组缝合线表示
- 补偿应变场: ($\lambda_1 > 1 > \lambda_3$) 伸长-缩短, 平面应变情况下体积无变化

节理和相关构造的应变场图解

由于 $\lambda_1 > \lambda_3$, 所以上半区空白



“双向伸展应变场”？

本节要点

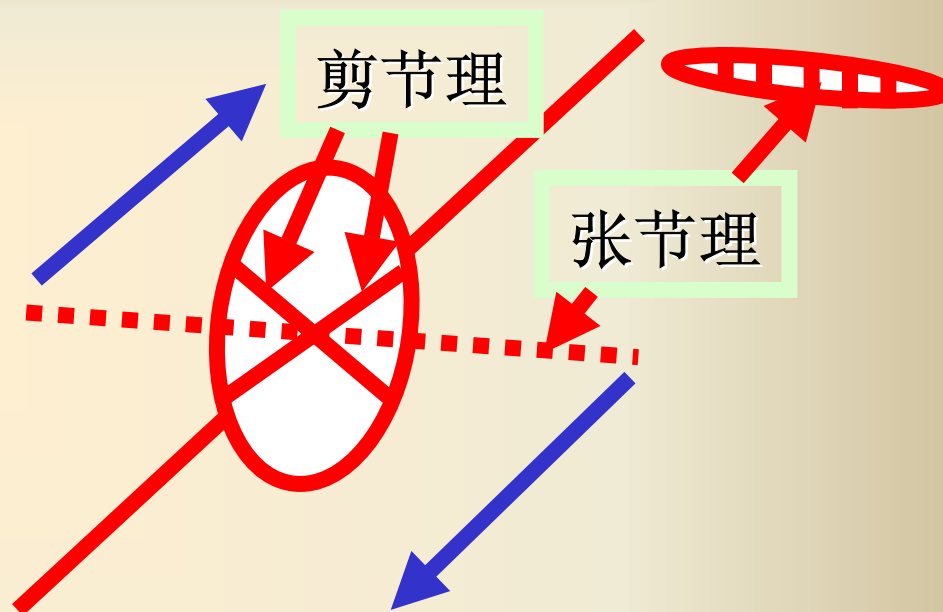
- 张节理、剪节理的鉴别
- 雁列节理的形成机制
 - ◆ 剪切带中次级应力场及应变场
 - ◆ 递进变形
- Crack-sealed Vein: 特征和启示

五、思考、讨论题

- 为什么雁列节理局限发育在剪切带中？
挤压或拉张环境中能否形成雁列节理？

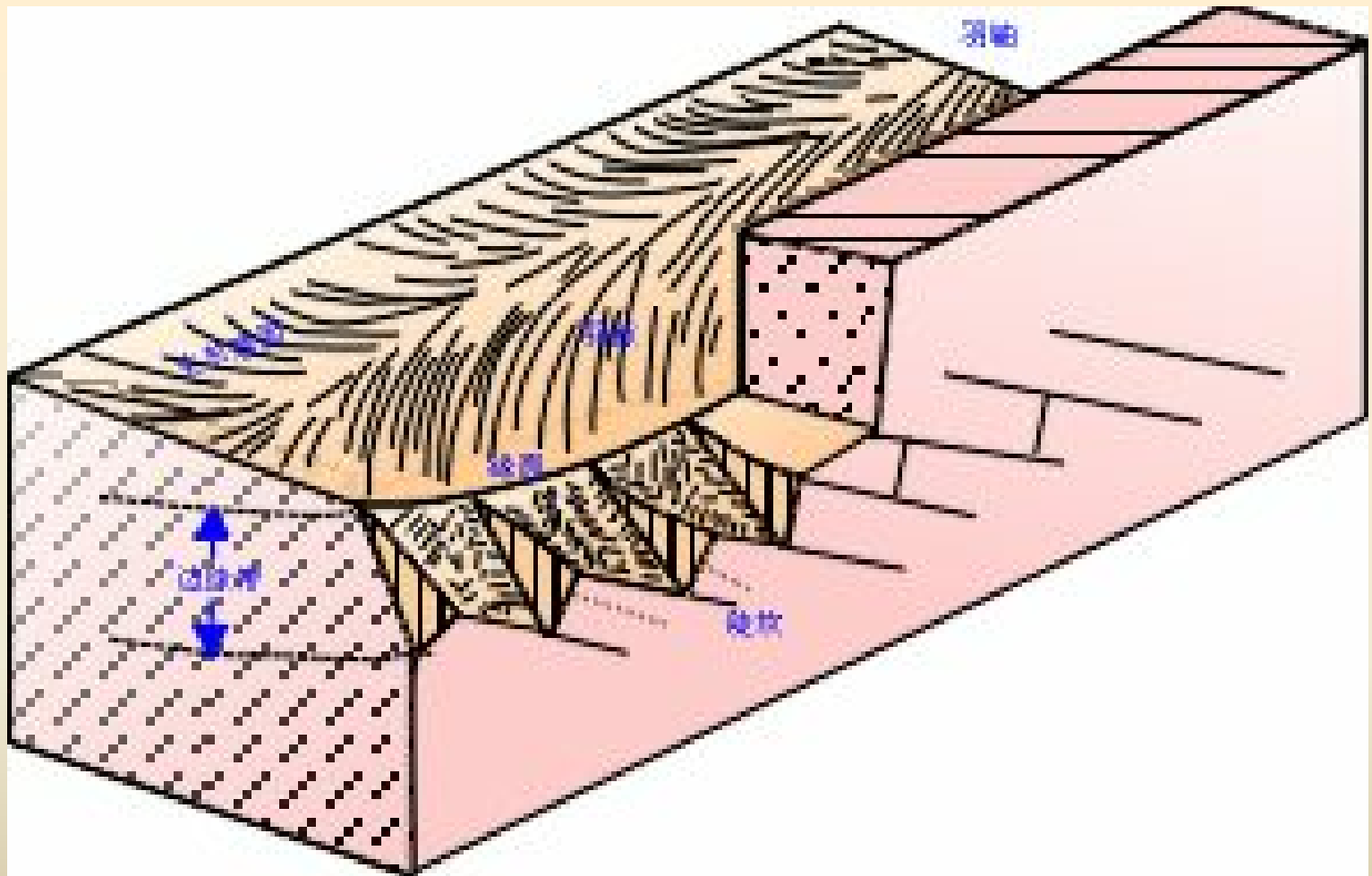
附 录

复习 剪切带中有限应变椭圆 和派生构造方位



- 解释1
 - ◆ 主干节理沿着先存软弱面发育
- 解释2
 - ◆ 主干节理形成后发生旋转，继之拉开
- 解释3
 - ◆ 主干节理形成后，应力场方向发生变化

羽 饰



羽 饰

