

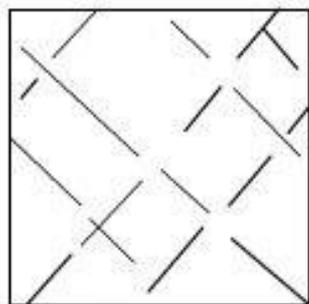
9 岩体结构的工程地质研究

岩体：工程影响范围内的岩石综合体 (自然地质体)。

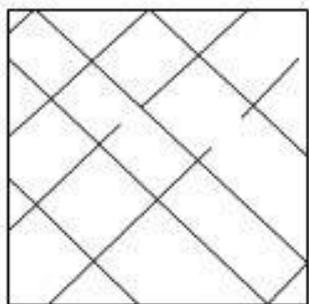
工程岩体：地基岩体，边坡岩体，地下洞室围岩。

9.1 岩体的结构特征

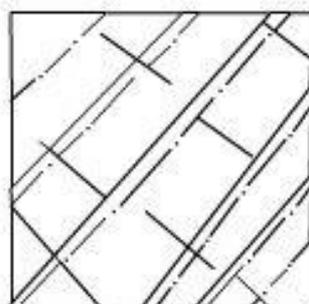
- 结构面的成因类型
- 结构面特征
- 软弱夹层
- 岩体的结构类型



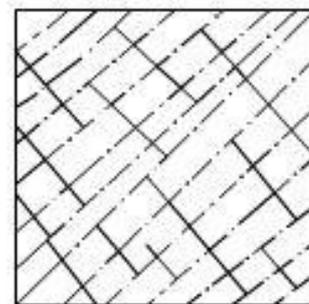
(a)



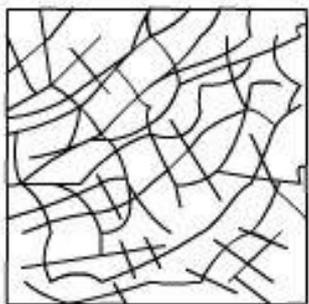
(b)



(c)



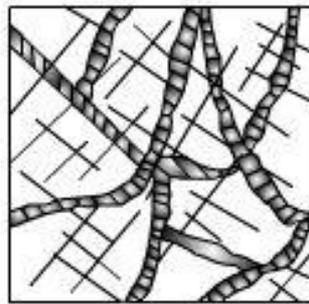
(d)



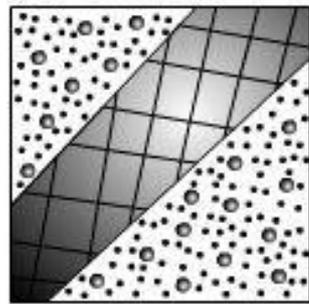
(e)



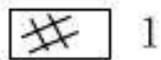
(f)



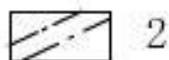
(g)



(h)



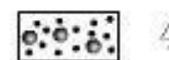
1



2



3



4

- 整体结构； 块状结构； 层状结构； 薄层状结构； 镶嵌结构； 层状破坏结构； 破裂结构； 散裂结构

岩体的工程地质性质首先取决于岩体结构类型与特征，其次才是组成岩体的岩石的性质（或结构体本身的性质）。

- **整体块状结构岩体：**结构面稀疏、延展性差、结构体块度大且常为硬质岩石，故整体强度高、变形特征接近于各向同性的均质弹性体，变形模量、承载能力与抗滑能力均较高，抗风化能力一般也较强，故这类岩体具有良好的工程地质性质，是较理想的各类工程建筑地基、边坡岩体及洞室围岩。

- **层状结构岩体：**结构面以层面与不密集的节理为主，结构面多闭合~微张状、一般风化微弱、结合力一般不强，结构体块度较大且保持着母岩岩块性质，故这类岩体总体变形模量和承载能力均较高，可作为工程建筑地基，但应注意结构面结合力不强的情况。

- **碎裂结构岩体：**节理、裂隙发育、常有泥质充填物质，结合力不强，其中层状岩体常有平行层面的软弱结构面发育，结构体块度不大，岩体完整性破坏较大，其中镶嵌结构岩体因其结构体为硬质岩石，尚具较高的变形模量和承载能力，工程地质性能尚好；而层状碎裂结构和碎裂结构岩体则变形模量、承载能力均不高，工程地质性质较差。

- **散体结构岩体：**节理、裂隙很发育，岩体十分破碎，岩石手捏即碎，属于碎石土类，可按碎石土类研究。

9.2 岩体的主要力学特性

- 岩体的变形特征及指标:包括结构面变形和结构体变形。

岩体在外力作用下，其力学属性往往表现出非均质、非连续、各向异性和非弹性，由于岩体中包含有大量的结构面，结构面中还往往有各种充填物存在。因此岩体在外力作用下的变形是岩石变形、结构面闭合和充填物变形三者的总和，且在一般情况下，结构面和充填物变形常起控制作用。

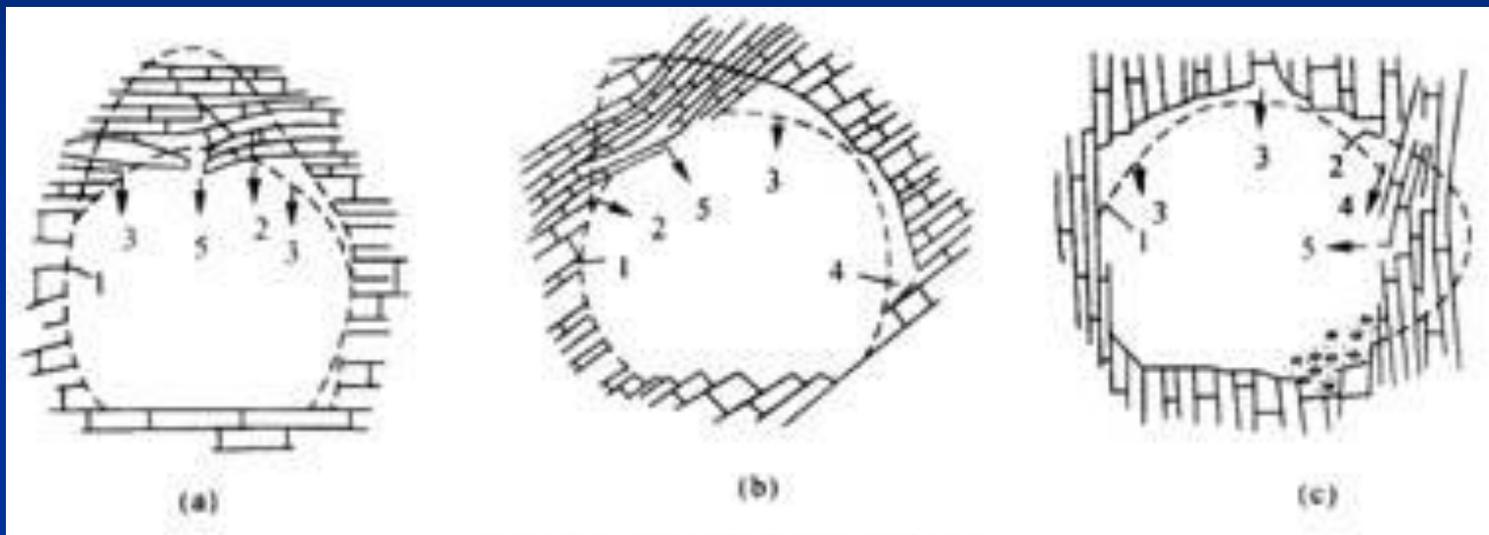
- 岩体的流变特性
- 岩体的破坏方式与机制
- 岩体的强度性质

■ 岩体的水力学特性

地下水位上升对边坡、岸边岩土体等稳定性的影响。

岩土被水饱和、软化，降低了抗剪强度；水位下降时，地下水向坡外渗流，可能产生潜蚀作用及流砂、管涌等现象，破坏了岩土体的结构和强度。地下水的升降变化还可能增大动水压力。

■ 岩体的破坏方式：脆性破裂、块体滑移、层状弯折、追踪破裂和塑性流动。



■ 层状岩体破坏方式

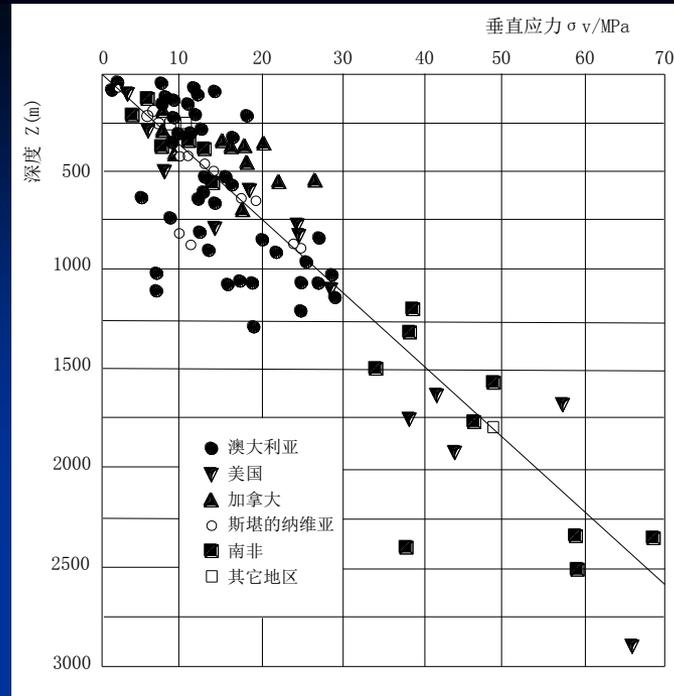
9.3 地应力的工程地质研究

- 地应力的起源及组成:自重应力;构造应力
- 地应力的分布规律
- 影响地应力分布的主要因素:地形,地质构造.
- 地应力量测方法

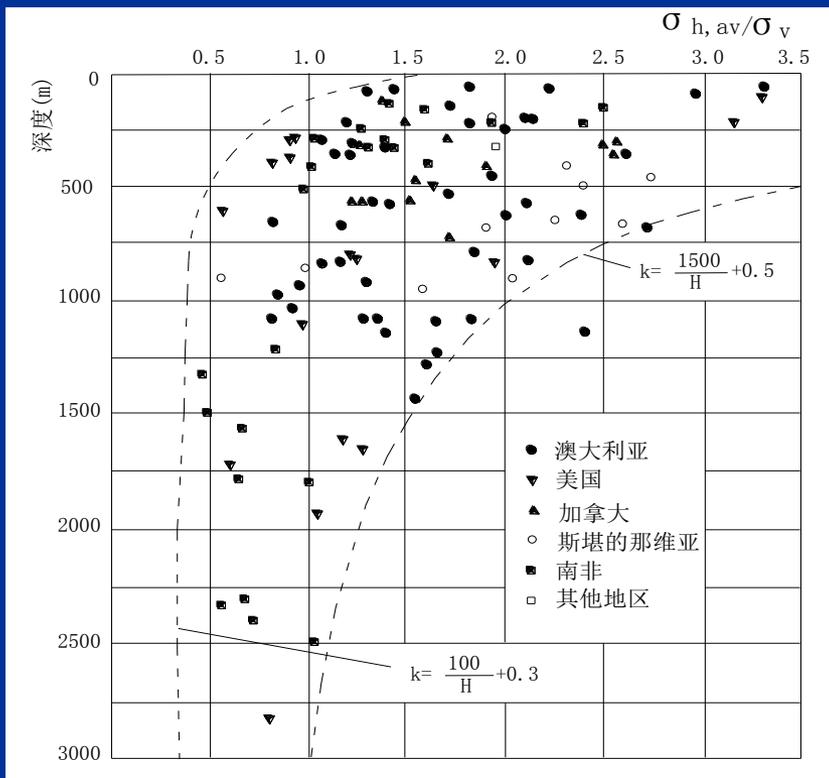
- 地应力是指存在于地层中的未受工程扰动的天然应力，也称为原岩应力或岩体的天然应力。
- 研究表明，重力和构造应力是地应力的主要组成因素。另外，地应力场还受到其它如地形条件、地质结构、区域性剥蚀、岩浆岩侵入作用等多种因素的影响，因而造成了地应力场的复杂性和多变性。

地应力分布的基本规律

在深度25~2700m的范围内， σ_v 随深度Z的增大近似呈线性增加，相当于按平均重度为27kN/m³计算出的重力 γZ 。但某些地区的测量结果有一定的偏差，特别是地表附近的偏差较大，这和构造应力、地形起伏、地面剥蚀等因素有关。



世界各国实测垂直应力 σ_v 值随深度Z变化



世界各国实测平均水平地应力与垂直地应力比值随深度Z变化

地应力测量结果揭示出地壳内水平应力随深度增加呈线性增大是普遍规律。在绝大多数地区均有两个主应力位于水平或接近水平的平面内，其与水平面的夹角一般不大于30°，最大水平主应力 $\sigma_{h,max}$ 普遍大于垂直应力 σ_v 。

- 天然应力场的计算：当前地应力场计算的主要方法是建立在实测的基础上，以实测点的地应力或变形资料为参照，采用数值模拟反演分析，来确定研究区的地应力场。
- 对于地面水平且没有承受荷载的地区：

$$\left. \begin{aligned} \sigma_z &= \gamma \cdot z \\ \sigma_x &= \frac{\mu}{1-\mu} \sigma_z = N \cdot \sigma_z \\ \tau_{xz} &= 0 \end{aligned} \right\}$$

式中： μ 为岩石的泊松比， N 为侧压力系数， Z 为研究点离地表的深度。

- 构造应力场：构造应力场是指地壳运动在岩体内引起的应力，它是空间和时间的函数，是随构造形迹的发生发展而变化的非稳定应力场。但就人类工程活动的时间与构造形迹的形成时间相比，可近似地、相对地把构造应力场看成是不随时间变化、只随空间变化的应力场。
- 如果假设构造应力主要来源于水平的X轴方向上的压缩应力 σ_x ，则其它方向的构造应力是 σ_x 的作用派生的。对于地壳表层较深部位，认为 $\epsilon_x = \epsilon_y = 0$ ，则

- 而接近地表附近，可认为 $\sigma_y = \sigma_z = \mu\sigma_x$ 。目前 σ_x 只能由实测获得。

$$\sigma_y = \sigma_z = \frac{\mu}{1 - \mu} \sigma_x$$

9.4 岩体的工程地质分类

- RQD分类：大于10cm的岩芯累计长度与钻孔进尺总长度之比的百分率。

$$RQD = \frac{\sum L_i}{L} \times 100\%$$

RQD分类表

RQD值 (%)	岩体质量评价
0—25	很差
25—50	差
50—75	一般
75—90	好
90—100	很好

- 巴顿岩体质量分类（Q分类）：

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF}$$

式中：RQD为岩石质量指标； J_n 为节理组数； J_r 为节理粗糙系数； J_a 为节理蚀变系数； J_w 为节理折减系数；SRF为应力折减系数。6个参数的组合，反映了岩体质量的3个方面，即：

RQD/J_n 为岩体的完整性；

J_r/J_a 表示结构面（节理）的形态、充填物特征及其次生变化程度，即表示了块体间的强度特征；

J_w / SRF 表示水与其它应力存在时对岩体质量的影响。

- 岩体基本质量指标（BQ）分级：岩体基本质量指标分级简称（BQ）法，是我国首个岩体分级的国家标准。由水利部主编，会同有关部门共同制订，于1995年7月1日开始施行。

$$BQ = 90 + 3R_c + 250K_v$$

- 式中： R_c —岩石单轴饱和抗压强度，是岩石坚硬程度的指标，当 $R_c > 90K_v + 30$ 时，应以 $R_c = 90K_v + 30$ 代入计算BQ值； K_v —岩体完整性系数，当 $K_v > 0.04R_c + 0.4$ 时，应以 $K_v = 0.04R_c + 0.4$ 。

$$K_v = \left(\frac{V_{Pm}}{V_P} \right)^2$$

- 岩体完整性系数 K_v 为：

V_{pm} —为岩体的纵波速度； V_P —岩块的纵波速度。

表 3-4 按 BQ 值的岩体基本质量分级

基本质量 级别	岩体基本质量的定性特征	岩体基本质量指 标 (BQ)
I	坚硬岩、岩体完整	> 550
II	坚硬岩、岩体较完整；较坚硬岩、岩体完整	550—451
III	坚硬岩、岩体较破碎； 较坚硬岩或软硬互层，岩体较完整； 较软岩，岩体完整	450—351
IV	坚硬岩、岩体破碎； 较坚硬岩、岩体较破碎—破碎； 较软岩或软硬岩互层，以软岩为主， 岩体较完整—较破碎； 软岩，岩体完整—较完整	350—251
V	坚软岩，岩体破碎； 软岩，岩体较破碎—破碎； 全部极软岩及全部极破碎岩	< 250

其他还有按岩体的坚硬程度分类、岩体完整程度分类及岩体基本质量等级分类等。

岩体完整程度划分

岩体完整程度	结构面发育		结构类型	完整性系数 K_V	岩体体积结构面数
	组数	平均间距 (m)			
完整	1~2	>1.0	整体状	>0.75	<3
较完整	2~3	1.0~0.3	厚层状结构、块状结构、层状结构和镶嵌碎裂结构	0.75~0.35	3~20
不完整	>3	<0.3	裂隙块状结构、碎裂结构、散体结构	<0.35	>20

岩体结构类型

岩体结构分类（国标分类）：

- 整体状结构
- 块状结构
- 层状结构
- 碎裂状结构
- 散体状结构

岩体破坏情况：

- 硬岩：主要沿结构面剪切破坏
- 软岩：主要是整体强度不足而破坏

岩体结构是指岩体中结构面与结构体的排列组合特征。

岩体结构类型	岩体地质类型	结构体形状	结构面发育情况	岩土工程特征	可能发生的岩土工程问题
整体状结构	巨块状岩浆岩和变质岩, 巨厚层沉积岩	巨块状	以层面和原生、构造节理为主, 多呈闭合型, 间距大于1.5m, 一般为1~2组, 无危险结构	岩体稳定, 可视为均质弹性各向同性体	局部滑动或坍塌, 深埋洞室的岩爆
块状结构	厚层状沉积岩, 块状岩浆岩和变质岩	块状柱状	有少量贯穿性节理裂隙, 结构面间距0.7~1.5m。一般为2~3组, 有少量分离体	结构面互相牵制, 岩体基本稳定, 接近弹性各向同性体	
层状结构	多韵律的薄层、中厚层状沉积岩, 副变质岩	层状板状	有层理、片理、节理, 常有层间错动	变形和强度受层面控制, 可视为各向异性弹塑性体, 稳定性较差	可沿结构面滑塌, 软岩可产生塑性变形
碎裂状结构	构造影响严重的破碎岩层	碎块状	断层、节理、片理、层理发育, 结构面间距0.25~0.5m, 一般在3组以上, 有许多分离体	整体强度很低, 并受软弱结构面控制, 呈弹塑性介质, 稳定性很差	易引起规模较大的岩体失稳, 地下水加剧失稳
散体状结构	断层破碎带, 强风化及全风化带	碎屑状	构造和风化裂隙密集, 结构面及组合错综复杂, 多充填粘性土, 形成无序小块和碎屑	完整性遭极大破坏, 稳定性极差, 接近松散体介质	易发生规模较大的岩体失稳, 地下水加剧失稳