

13 地下洞室的工程地质研究

1、**地下洞室**：指人工开挖或天然存在于岩土体中作为各种用途的构筑物。

2、地下洞室的分类

按用途分：矿山巷道（井）、交通隧道、水工隧道、地下厂房（仓库）、地下军事工程

按洞壁受压情况分：有压洞室、无压洞室

按断面形状分：圆形、矩形、城门洞形、椭圆形

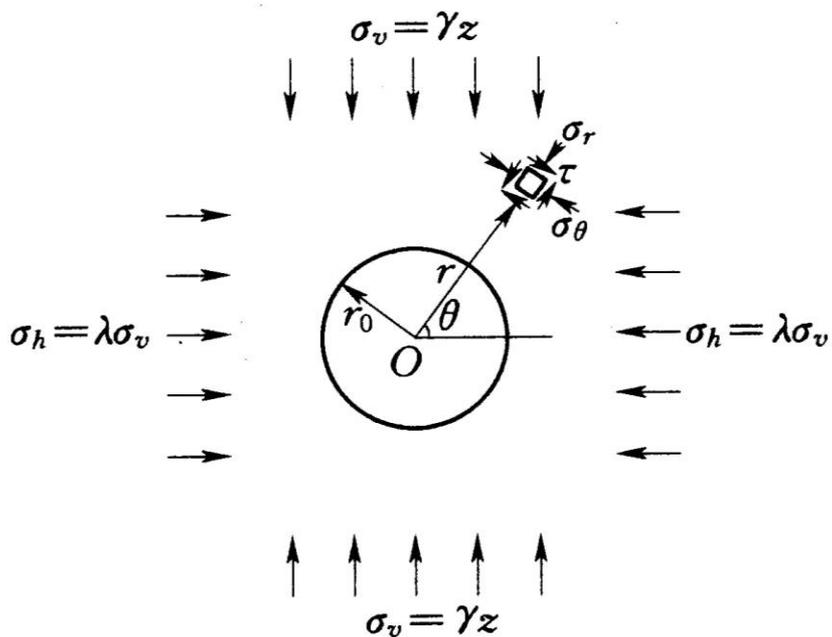
按介质类型分：岩石洞室、土洞

按应力情况分：单式洞室、群洞

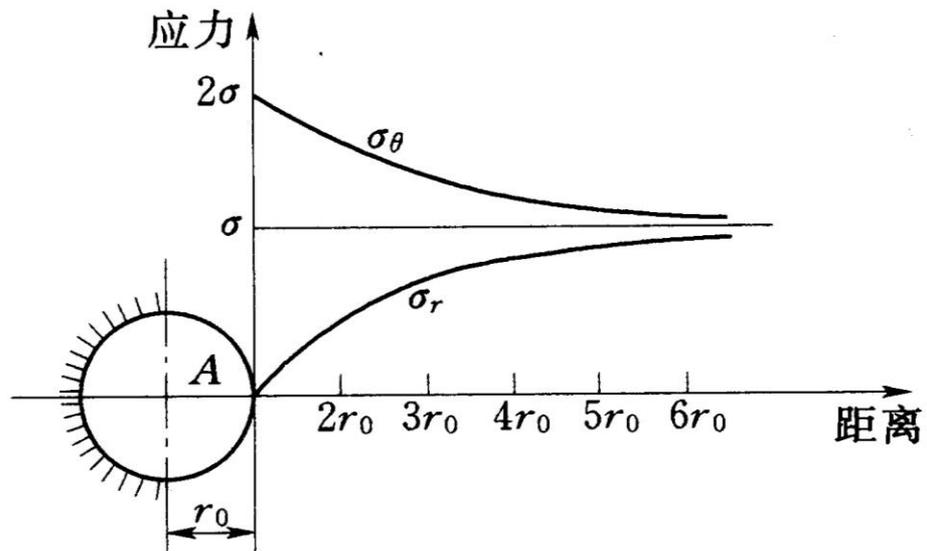
❖ 13.1 地下洞室围岩应力的重分布及变形破坏特征

1、应力重分布特征

- ❖ **初始应力状态**：地下洞室开挖前岩体内的应力状态。
- ❖ **重分布应力**：地下开挖扰动后在围岩中形成的新的应力。（围岩应力）
- ❖ **围岩**：洞室周围发生应力重分布的一部分岩体。
- ❖ 重分布应力与围岩性质、洞形、岩体的初始应力状态有关。
- ❖ 洞室开挖后围岩的稳定性，取决于二次应力与围岩强度的关系。如洞室周边应力小于岩体的强度，则围岩稳定，否则，围岩将产生破坏或较大的塑性变形。

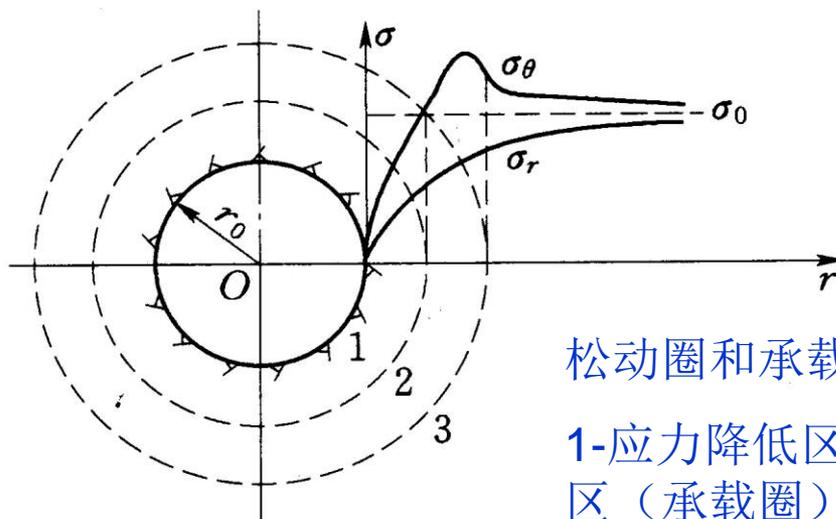


(a)



(b)

圆形洞室围岩应力状态



松动圈和承载圈

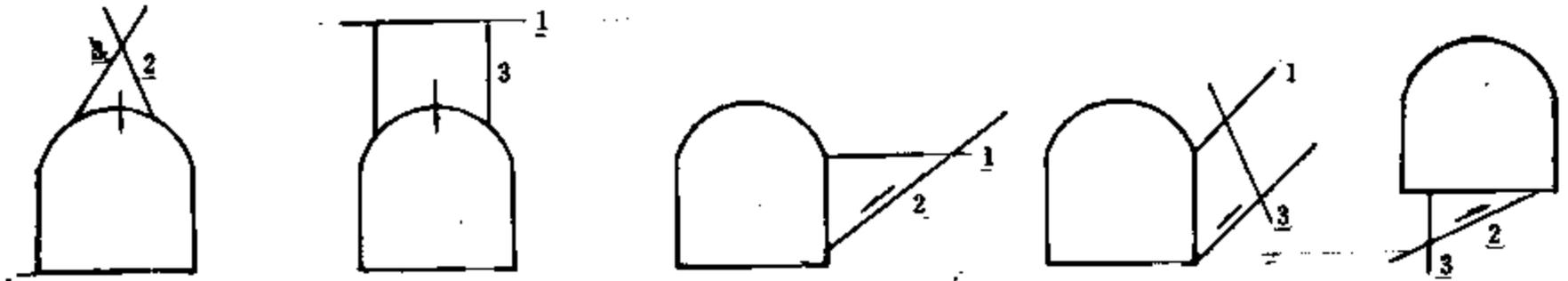
1-应力降低区（松动圈）；2-应力增高区（承载圈）；3-原始应力区

2、洞室围岩变形破坏的类型和特点

- ❖ 地下开挖后，岩体中形成一个自由变形空间，使原来处于挤压状态的围岩，由于失去了支撑而发生向洞内的松胀变形；如果这种变形超过了围岩本身所能承受的能力，则围岩就要发生破坏，并从母岩中脱落形成坍塌、滑动或岩爆。
- ❖ 坚硬完整岩体的脆性破裂和岩爆
脆性开裂出现在拉应力集中部位。
岩爆是高地应力地区，由于洞壁围岩中应力高度集中，使围岩产生突发性变形破坏的现象。

• 块状结构岩体的滑移掉块

块体滑移是块状岩体常见的破坏形成。它是
以结构面切割而成的不稳定块体滑出的形式出
现。其破坏规模与形态受结构面的分布、组合
形式及其与开挖面的相对关系控制。

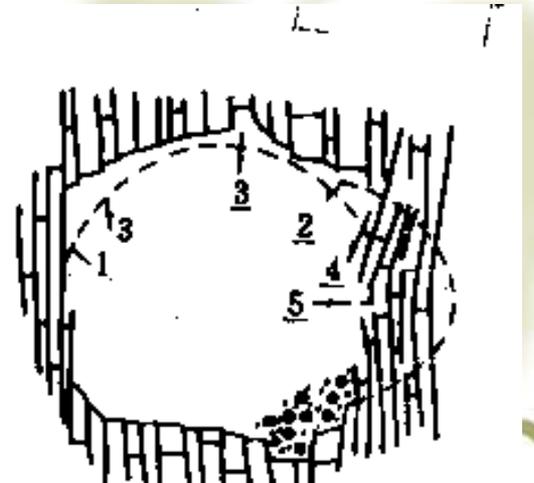
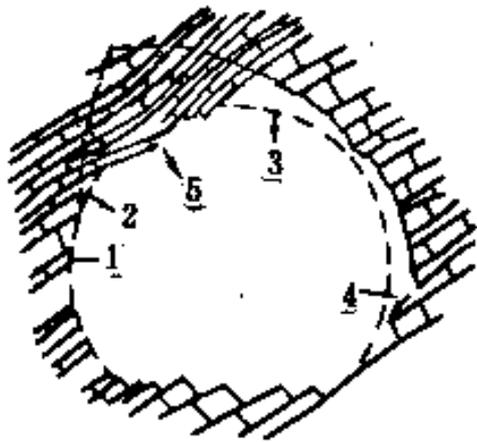


1.层面； 2.断裂； 3.裂隙

❖ 层状结构岩体的弯折和拱曲

软硬岩层相间互层出现。其变形破坏主要受岩层产状及岩层组合等因素控制。形式主要有：沿层面张裂、折断塌落、弯曲内鼓等。

- ❖ 在水平层状围岩中，洞顶岩层可视为两端固定的板梁，在顶板压力下，将产生下沉弯曲、开裂。
- ❖ 在倾斜层状围岩中，常表现为沿倾斜方向一侧岩层弯曲塌落。另一侧边墙岩块滑动等破坏形式，形成不对称的塌落拱。将出现偏压现象。
- ❖ 在直立层状围岩中，洞顶常发生沿层面的纵向拉裂，易拉断塌落。侧墙则因压力平行于层面，常发生纵向弯折内鼓，进而危及洞顶安全。



❖ 碎裂结构岩体的松动解脱

碎裂岩体是指断层、褶曲、岩脉穿插挤压和风化破碎加次生夹泥的岩体。

变形破坏形式常表现为**塌方**和**滑动**。

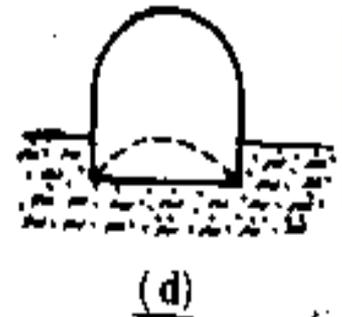
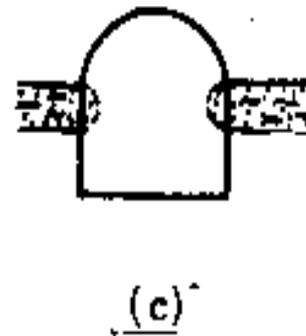
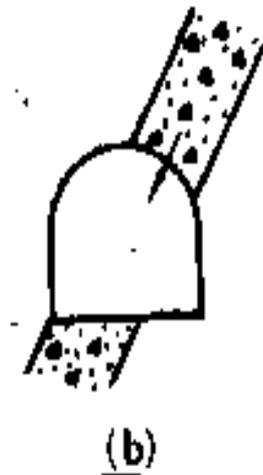
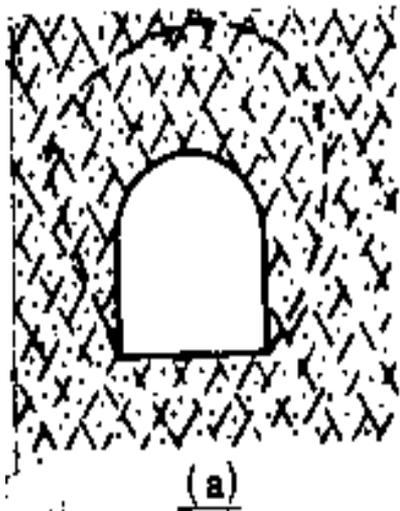
在夹泥少、以岩块刚性接触为主的碎裂围岩中，不易大规模塌方。

围岩中含泥量很高时，由于岩块间不是刚性接触，易产生大规模塌方或塑性挤入。

❖ 散体结构岩体的塑性变形和破坏

散体状岩体是指强烈构造破碎、强烈风化的岩体。常表现为弹塑性、塑性或流变性。

围岩结构均匀时，以拱顶冒落为主。当围岩结构不均匀或松动岩体仅构成局部围岩时，常表现为局部塌方、塑性挤入及滑动等变形破坏形式。



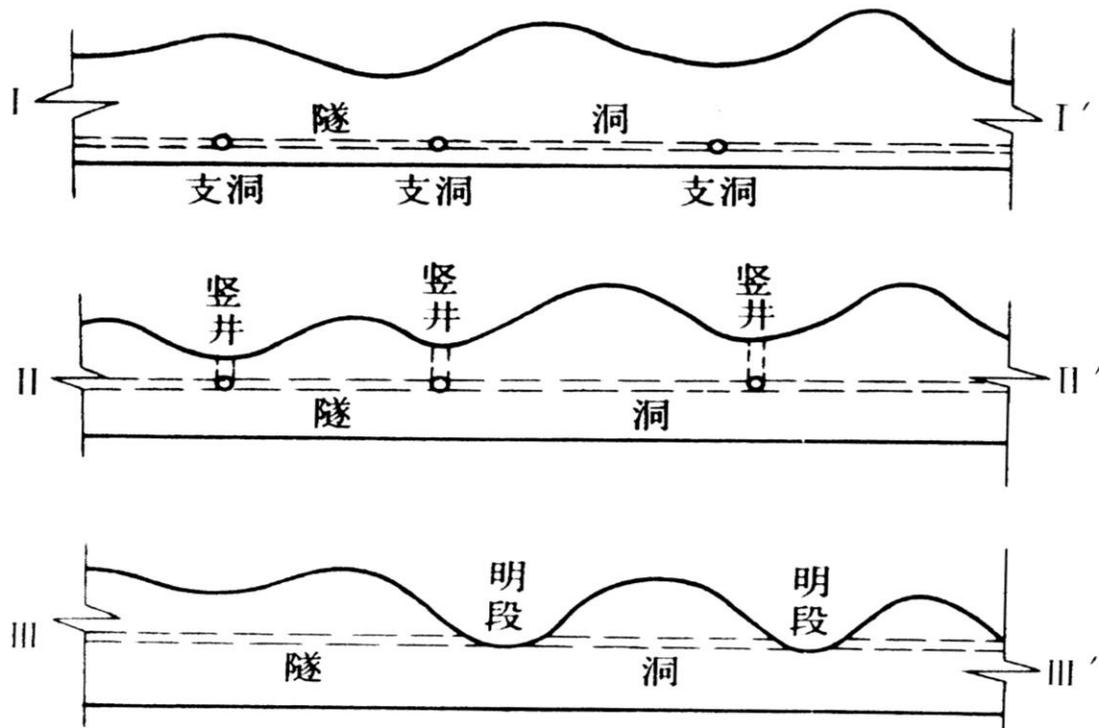
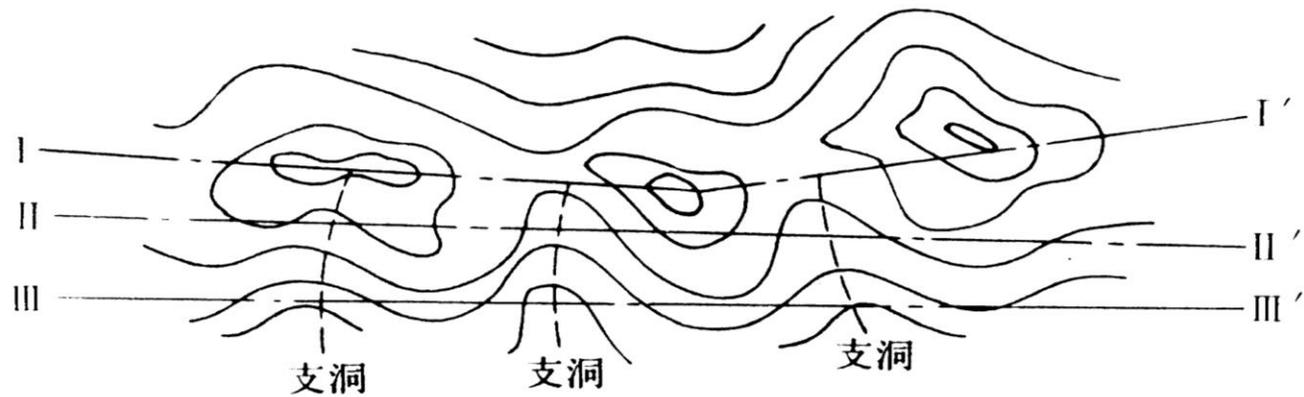
13.2 地下洞室位置选择的工程地质评价

地下建筑位置的选择，除取决于工程目的的要求外，首先要考虑区域、山体稳定，其次为地形、岩性、地质构造、地下水及地应力等因素的影响。

区域稳定性及山体的稳定:一般要求建洞地区区域地质构造稳定，无区域性大断裂通过，附近没有发震构造，地震基本烈度应小于8度。

❖ 地形地貌条件

- 山体完整，洞室周围应有足够的山体厚度。
- 隧洞进出口地段的边坡应下陡上缓，无滑坡、崩塌。
- 洞口岩石直接出露或坡积层薄，岩层最好倾向山里。
- 洞口开挖在高边坡时，应不削坡或少削坡即进洞，必要时可做人工洞口先行进洞，以保证边坡的稳定性。
- 隧洞进出口排水方便且不易受水流冲刷。



❖ 地层与岩性条件

坚硬岩石中开挖隧洞-----围岩稳定，日进尺快、造价便宜。

软弱岩层、破碎岩层和松散岩层中掘进-----顶板容易坍塌、侧壁和底板容易产生鼓胀变形，常需支护或衬砌后掘进，日进尺慢，造价高。

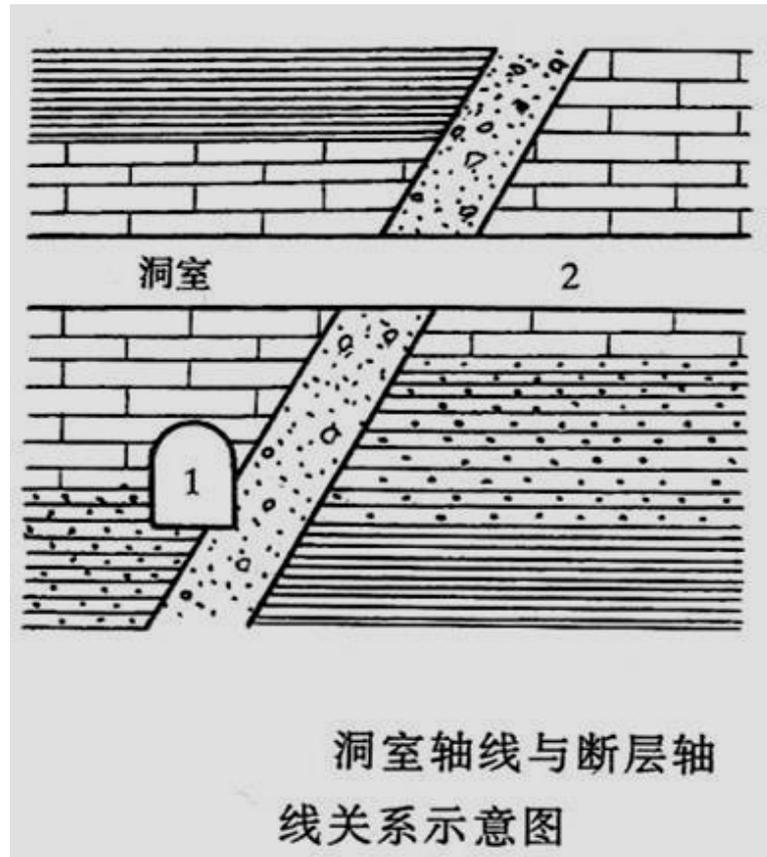
尽量避免不良围岩，使洞室置于坚硬岩层中。

❖ 地质构造条件

尽量使轴线与地区构造线的方向相垂直或成大角度相交。

尽量避免大的断层破碎带或呈小角度相交。

倾斜岩层地区，注意洞轴线与岩层产状的关系。



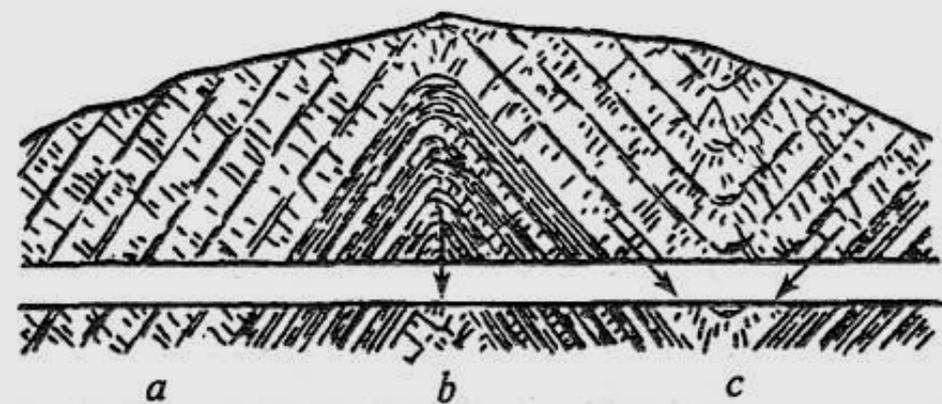
- 1)对断裂构造: 隧洞所遇断裂破碎带宽度愈大, 走向与洞轴线交角愈小, 在洞内出露面积也愈大, 对围岩的稳定影响就愈大, 特别是平行于洞轴线的断层更应尽量避免。

2) 褶皱剧烈地区，断裂也发育，尤其褶皱核部岩层完整性最差。

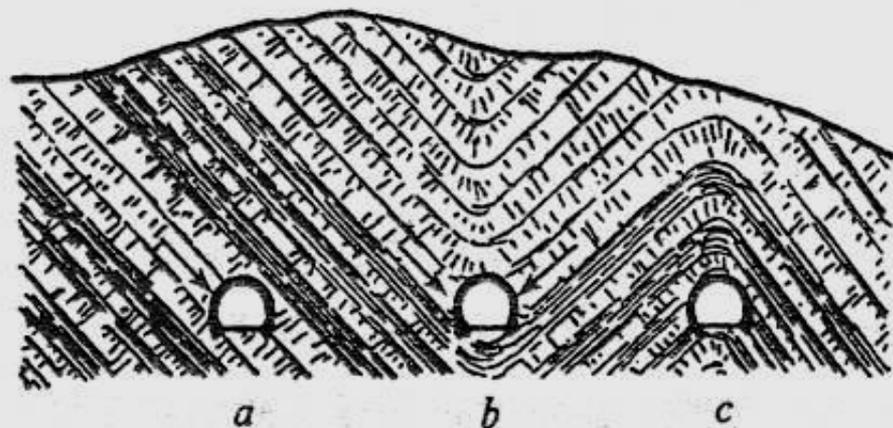
背斜核部，虽岩层破碎，然犹如石砌的拱形结构，能将上覆岩层的荷重传递至两侧岩体中去，所以有利于洞顶的稳定。洞顶虽张裂隙发育，然岩块呈上宽下窄形，不易掉块。

向斜核部岩层呈倒拱形，顶部被张裂隙切割的岩块上窄下宽易坍塌。

向斜核部往往是承压水储存的场所，地下洞室开挖时地下水会突然涌入洞室。因此，在向斜核部不宜修建地下洞室。



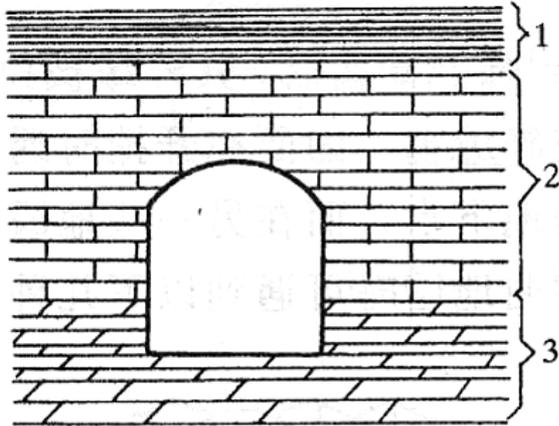
垂直岩层走向穿过褶皱地区的隧道
a—岩层向开挖面倾斜 *b*—洞室穿过背斜轴部
c—洞室穿过向斜轴部



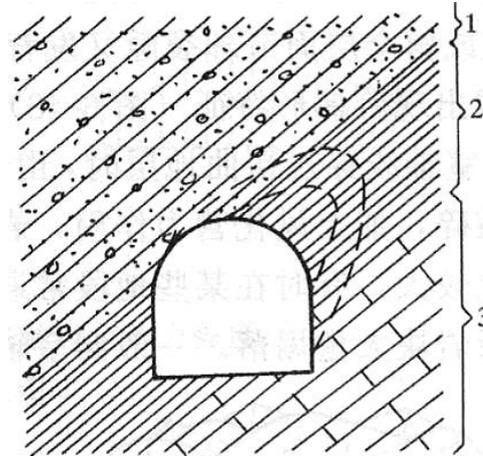
褶皱地区平行岩层走向的隧洞
a—洞室位于翼部 *b*—洞室沿向斜轴；
c—洞室沿背斜轴

3) 岩层产状的影响

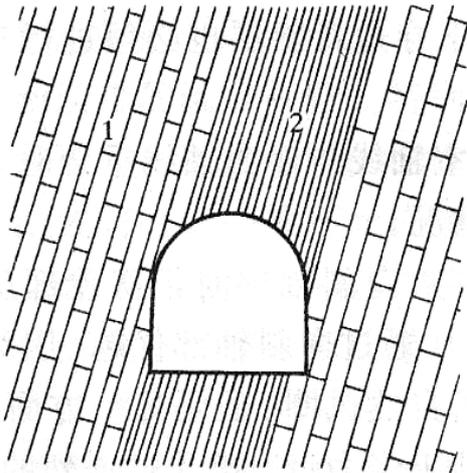
A. 洞室轴线平行于岩层走向



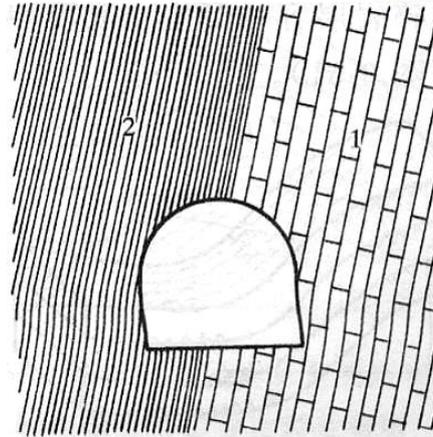
水平岩层中洞址—厚层有利稳定



倾斜岩层—偏压

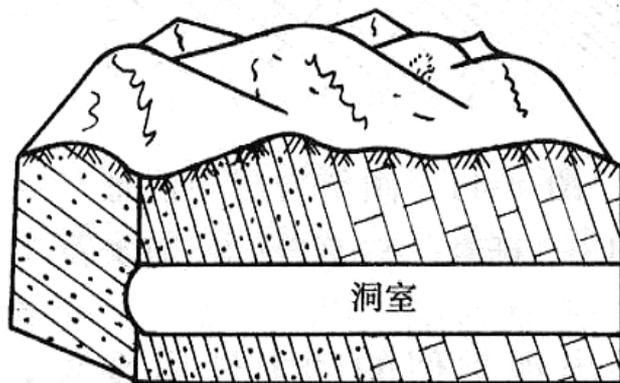


岩层岩性分界面处—
软硬岩不利稳定

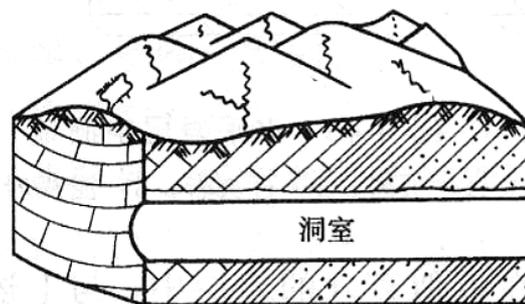


陡立岩层—软硬岩不利稳定

B. 洞室轴线垂直于岩层走向



陡倾立单斜—有利稳定



缓倾斜单斜—洞顶容易坍塌

❖ 水文地质条件

选址时最好选在地下水位以上的干燥岩体内，地下水量不大、无高压含水层的岩体内。

调查分析地下水的埋藏条件、类型及泉水出露情况。

水量方面：对易透水的岩层和构造，特别是喀斯特地区，应注意其分布规律和发育程度，并结合隧洞设计高程，分析评价地下水涌水的可能性及涌水量。

水质方面：资料分析，对 $\text{PH} < 7$ 的酸性地下水，应分析水中侵蚀性 CO_2 和硫酸盐侵蚀性对混凝土衬砌的影响。

13.3 地下洞室围岩稳定性的工程地质分析

围岩应力、岩体抗力、外水压力。

1、山岩压力：由于围岩变形、破坏所形成的松动岩体施加于隧洞支护或衬砌上的压力。

2、弹性抗力（岩体抗力）

弹性抗力：指有压隧洞充水后，衬砌部分或整体（如压力隧洞衬砌的周边）发生向围岩方向变形时，在围岩中产生的抵抗力。大小取决于围岩的承载力和衬砌设计的类型和厚度。与围岩性质、断面形状和尺寸、衬砌和围岩接触的紧密程度等有关。

弹性抗力常用弹性抗力系数来表示，即：
$$K = \frac{P}{y}$$

P ——岩石承受的压力（内水压力）

y ——洞壁的径向变形。

隧洞半径愈大，岩体的弹性抗力系数越小。工程上常采用隧洞半径为1m时的弹性抗力系数作为单位抗力系数。

3、外水压力：作用在隧洞衬砌上的地下水静水压力。

$$P_{\text{外}}=r_w hA$$

其大小是由两方面因素所决定的：

①决定于隧洞围岩的水文地质条件，如地下水位的高低、岩石的透水性以及地下水的埋藏条件；

②决定于隧洞设计和施工情况，如排水设置、衬砌本身的透水性、衬砌与岩石的结合程度以及灌浆效果等。

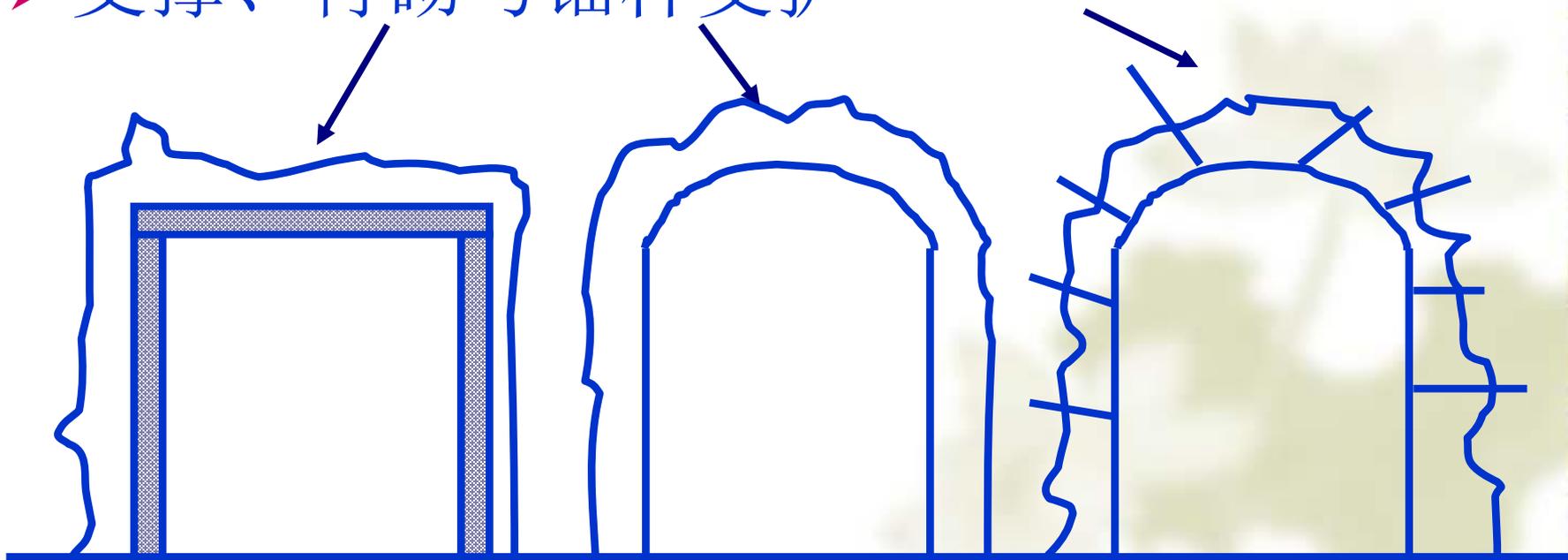
13.4 隧洞施工的工程地质问题

- ❖ 施工监控、信息反馈和超前预报：变形监测
- ❖ 隧洞施工的工程地质问题：除塌方和岩爆外，还有突水、突泥，高温、有害气体。
- ❖ 隧道合理施工：
开挖方式：全断面开挖、导洞开挖（分部开挖和全面开挖）
支衬工作：支撑和衬砌。

❖ 提高围岩稳定性的措施

常用的支衬结构有支撑、衬砌、锚杆支护
喷锚支护。

➤ 支撑、衬砌与锚杆支护



➤ 锚杆喷射混凝土联合支护

锚喷支护，是把喷射混凝土支护与锚杆结合起来，加强岩体本身的整体性和力学强度，同时迅速有效地控制与防止围岩表层岩体的松动坍塌，从而使一定厚度的围岩与喷射混凝土层形成承载拱，起到有效支护作用的方法。

➤ 固结灌浆

用于裂隙严重和稳定性极差的第四纪堆积型围岩。