

科研为本，创新为魂，服务为策，奉献交通

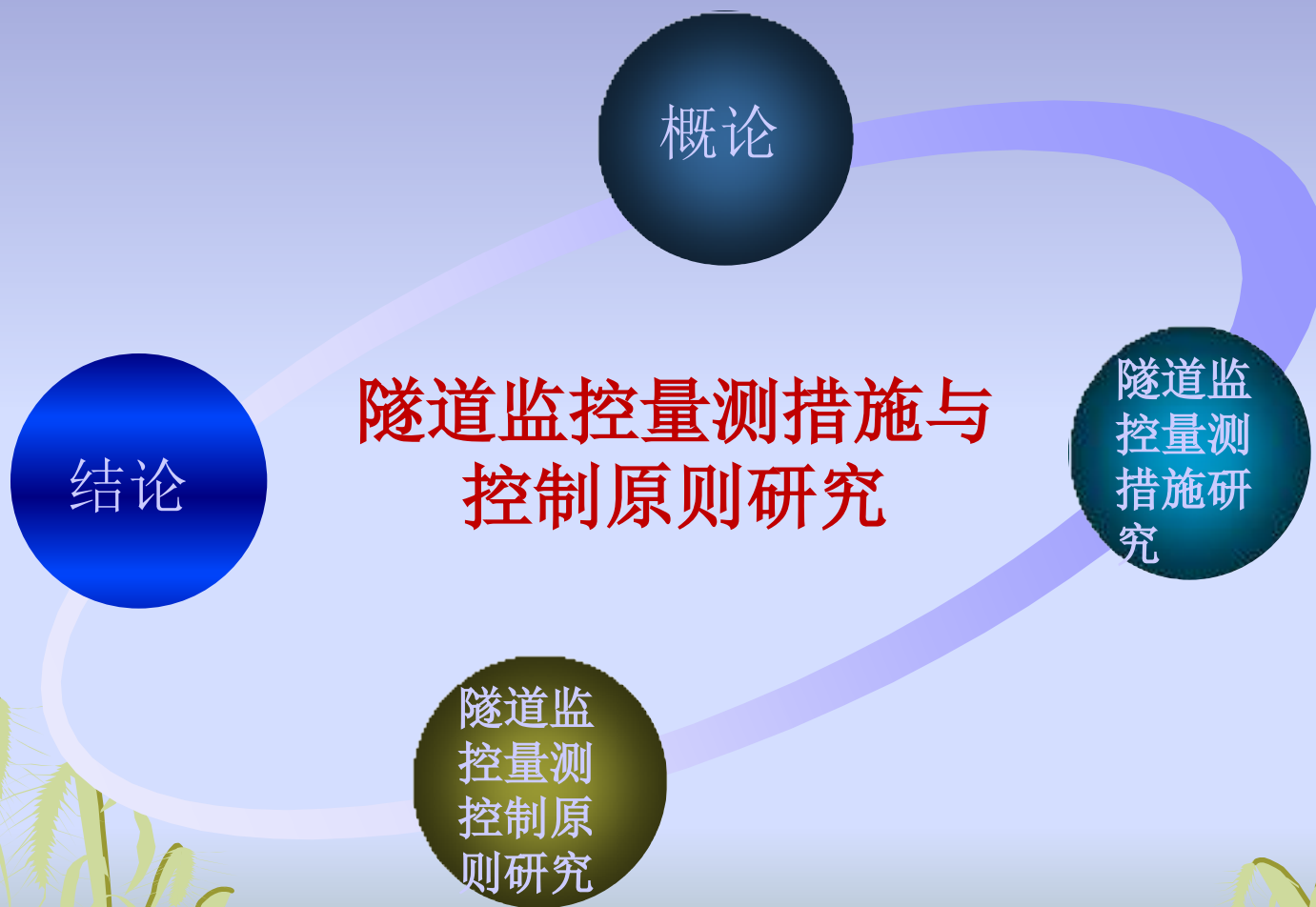
隧道监控量测措施 与控制原则研究



福建省交通科学技术研究所

FUJIAN RESEARCH INSTITUTE OF COMMUNICATIONS SCIENCE AND TECHNOLOGY

研究内容



概论——新奥法隧道施工

- 隧道及其发展过程
- 隧道工程的关键问题，归结到开挖和支护两个关键工序上
- 松弛荷载理论：稳定的岩体有自稳能力，不产生荷载；不稳定的岩体则也许产生坍塌，需要支护构造予以支撑。这样，作用在支护构造上的荷载就是围岩在一定范围内由于松弛并也许塌落的岩体重力。

概论——新奥法隧道施工

- 岩承理论：围岩稳定是由于岩体自身有承载自稳能力；不稳定围岩丧失稳定是有一种过程的，假如在这个过程中提供必要的协助或限制，则围岩仍然可以进入稳定状态。———新奥法工法
- “松弛荷载理论”注意成果和对成果的处理；“岩承理论”更注意过程和对过程的控制，即对围岩自承能力的充足运用

新奥法隧道施工

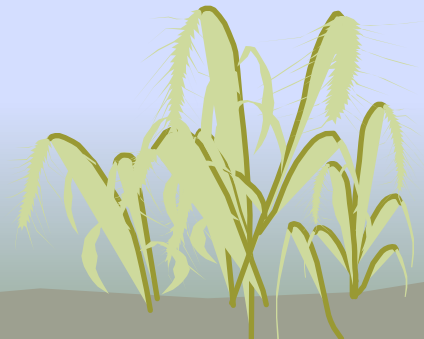
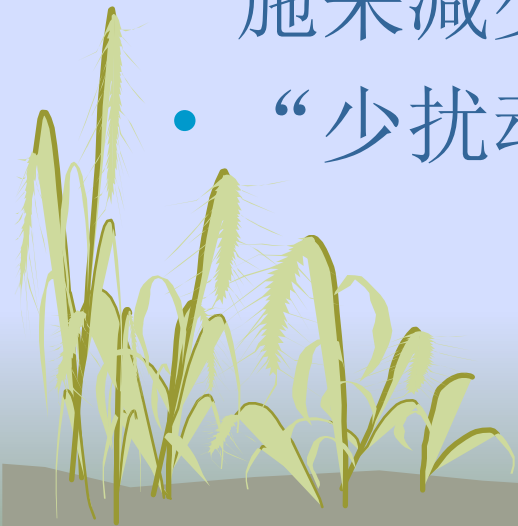
- 奥地利学者拉布西维兹（L. V. RABCEWICZ）专家于二十世纪50年代提出，60年代获得专利权并正式命名。
- 我国从60年代初开始推广喷锚支护新技术，到1981年终，采用喷锚支护的地下工程和井巷的总长度已靠近7500公里。
- 1991年，福建省初次在国道205线南平五显岭隧道建设中应用新奥法原理进行设计施工，历经三年贯穿1318m。

新奥法的基本要点

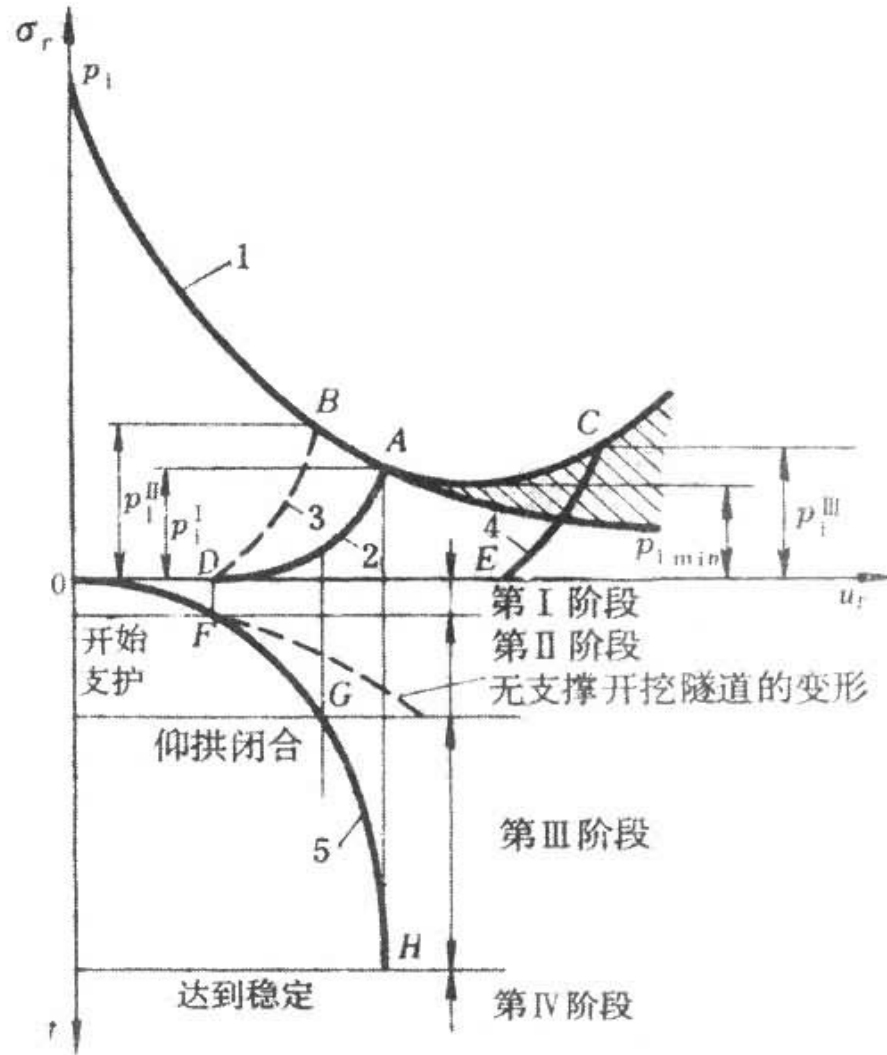
- 开挖采用光面爆破、预裂爆破或机械掘进，减少对围岩的扰动；
- 充足发挥岩体的承载能力，应容许并控制岩体的变形；
- 改善支护构造的受力性能，施工中应尽快闭合成环；
- 通过监控量测，合理安排施工次序，调整支护参数；

新奥法的基本要点

- 采用复合式衬砌；
- 二次衬砌原则上是在围岩和初期支护变形基本稳定的状况下浇注；
- 岩层内的渗透水压力，必须采用排水措施来减少。
- “少扰动、早喷锚、勤量测、紧封闭”



新奥法原理



新奥法原理--弹簧

- (1) 洞室边缘某一点A在开挖前具有原始应力（自重应力和构造应力）处在一种平衡状态，如同一根弹性刚度为K的弹簧，在 P_0 作用下处在压缩平衡状态。
- (2) 洞室开挖后，A点在临空面失去约束，原始应力状态要调整，假如围岩的强度足够大，那么通过应力调整，洞室可处在稳定状态（不需支护）。然而大多数的地质状况是较差的，即洞室通过应力调整后，如不支护，就会产生收敛变形，甚至失稳（塌方），因此必须提供支护力 P_E ，才能防止塌方失稳。等同于弹簧产生了变形 u 后，在 P_E 作用又处在平衡状态。

新奥法原理--弹簧

- (3) 弹簧在 P_0 作用时处在平衡状态，在发生变形 u 后，在 P_E 的作用下又处在平衡状态，假设弹簧的弹性系数为 K ，由力学平衡方程可知，则有：

$$P_0 = P_E + Ku$$

- 那么：
- ①当 $u=0$ 时， $P_0 = P_E$ 即不容许围岩变形，采用刚性支护，不经济；

②当 u 变大时， P_E 减小；当 u 减小时， P_E 增大。即围岩发生变形，可释放一定的荷载（卸荷作用），因此要容许围岩产生一定的变形，以充足发挥围岩的自承能力。是一种经济的支护措施，围岩的自稳能力

$$P = P_0 - P_E = Ku;$$

- ③当 $u = u_{max}$ 时，发生塌方，产生松弛荷载，不安

概论—监控量测

- 新奥法三要素及监控量测重要性
- 监控量测项目及措施：《公路隧道施工技术规范》（JTJ 042-94）
- 监控量测现实状况：60年代初开始推广喷锚支护技术，但弱化了监控量测；福建第一座新奥法施工1991年开始建设的国道205线南平浦城五显岭隧道，未开展施工过程的现场监控量测；直到1994年泉厦高速公路大坪山隧道开始才真正实行新奥法。

概论—监控量测

- 相称部分的监控量测造假，流于形式；
- 90年代以来各高校、科研院所参与监控量测工作，参与该项现场工作的多为在校就读的大学生，未能真正处理监控量测工作的困境。
- 起，交通运输部加强了试验检测工作的管理力度，开展检测机构等级评估与资质认证。包括综合资质和桥隧专题资质。

概论—风险预警与稳定预测

- 风险预警：① 《公路隧道施工技术规范》（JTJ 042-94）规定的公路隧道周围容许相对位移值；② 《铁路隧道监控量测技术规程》（TB10121-）则根据隧道跨度不一样规定铁路隧道初期支护极限相对位移值；③位移控制基准与位移管理等级；④ 《福建省高速公路隧道施工原则化指南》规定了变形管理等级。

概论—风险预警与稳定预测

- 稳定预测：
 - (1) 各测试项目的位移速率明显收敛，围岩基本稳定；
 - (2) 已产生的各项位移已达估计总位移量的80%~90%；
 - (3) 周围位移速率不不小于 (0.1~0.2) mm/d，或拱顶下沉速率不不小于 (0.07~0.15) mm/d。
- 反馈机制：实时分析与阶段分析。

隧道监控量测措施研究—监控量测项目

- 必测项目
- (1) 地质和支护状况观测；
- (2) 周围位移；
- (3) 拱顶下沉；

序号	监控量测项目	备注
1	地质和支护状况观察	包括洞外观察
2	拱顶下沉	
3	周边收敛	仅水平向周边收敛
4	地表沉降	隧道浅埋段

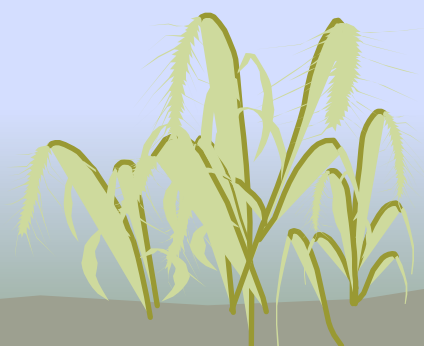
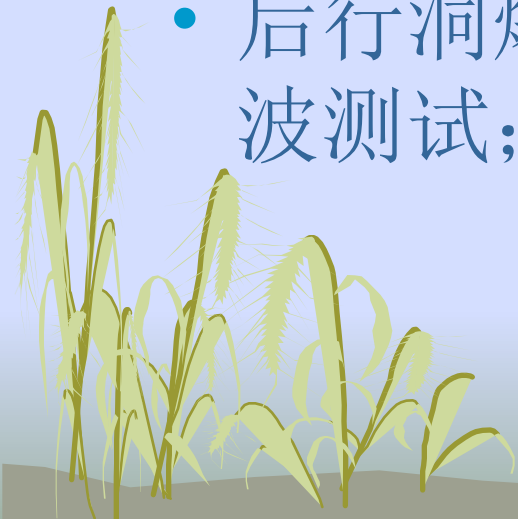
• 地

监控量测项目

- 选测项目
- 变形类：围岩体内的位移、支护与衬砌的裂缝、边（仰）坡测斜、隧道底部隆起量等
- 受力类：围岩压力、锚杆（索）内力、钢支撑内力、喷射混凝土内力、二次衬砌内力、初期支护与二衬之间压力、连拱隧道的中墙内力等
- 爆破振动：小净距隧道后行洞爆破振动速度测试、扩建隧道旧隧道衬砌振动速

监控量测项目

- 连拱隧道
- 中墙应力及其水平位移； 后行洞爆破振动速度； 围岩体内位移
- 小净距隧道
- 后行洞爆破振动速度测试； 中夹岩弹性波测试； 水平对拉锚杆轴力测试

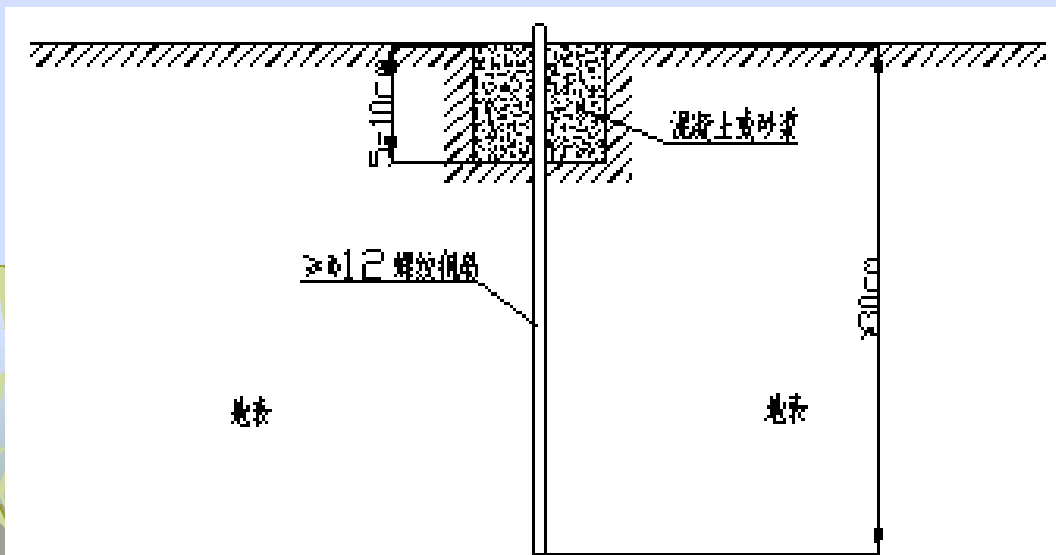
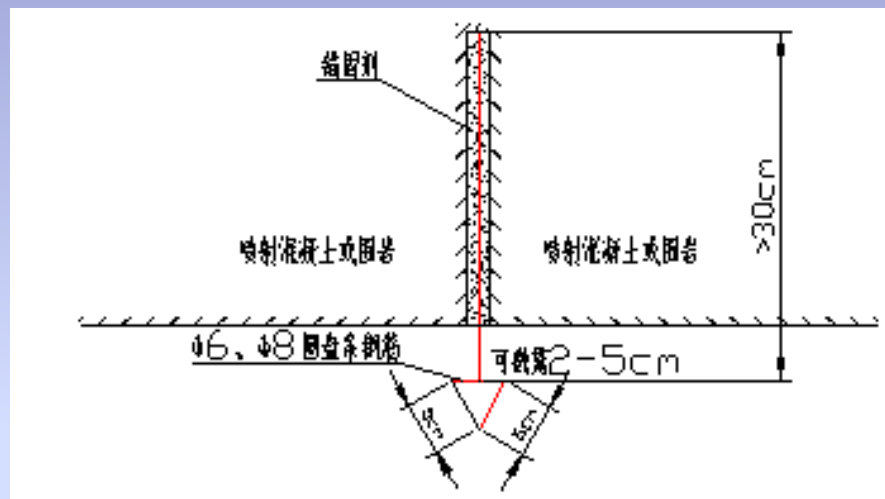


监控量测项目

- 监控量测项目选择：IV~VI级围岩差，应以监测变形为主，I~III级围岩好，应以监测围岩压力为主；
- 变形监测必测项目中，至少要有一项进行，防止围岩变形而不知晓现象发生；
- 选测项目根据工程实际需要选定；
- 锚杆抗拔力试验宜做为质量控制项目，锚杆或锚索内力宜做为选测项目；对浅埋隧道，地表沉降应做为必测项目；
- 周围收敛量测项目中水平测线应做为必测项目，斜边测线可做为选测项目

隧道监控量测措施研究—技术规定

- 测点埋设及规定
- 及时埋设测点
- 测点制作
- 测点埋设



水准测量项目不确定度

来源	误差限 (mm)	分布	$u(x)$ (mm)	$u(y)$ (mm)
1	水准仪	均匀	0.29	0.29
2	被测对象（水准尺、测点）	均匀	1.15	1.15
3	人员读数	均匀	0.58	0.58
4	重复测量	正态	4.29×10^{-6}	4.29×10^{-6}

该点的相对高程 $h = (1623.85 \pm 2.64)$ mm。其中扩展不确定度=2.64mm是由原则不确定度 $u(y) = 1.32$ mm乘以包括因子 $k=2$ 得到。

分析：最大误差来源于被测对象——水准尺及测点，同步隧道环境恶劣，光线局限性，立尺很难铅直，读数亦受很大的影响；

从工程经验上来看，水准测量变形量测精度可按 ± 1 mm控制；从不确定度分析来看， ± 3 mm以内的数据变化是也许的，工程经验也证明 ± 3 mm的变化比较常见。

监测频率

- 地质和支护状况观测频率：按每施工循环记录一次，当地质条件变化不大时，可把相似或类似、持续的地质和支护状况记录在一起。
- 必测项目变形类监测频率：考虑变形速率和与掌子面的距离

位移速率 (mm/d)	监测频率	备注
≥ 10	≥ 3 次/日	相当于每8h 变形 ≥ 3 mm
3~10	2次/日	变形中
≤ 3	1次/日	稳定

与掌子面距离 (m)	监测频率	备注
(0~1) B	2次/日	
(1~2) B	1次/日	
(2~5) B	1次/2日	
$> 5B$	1次/周	

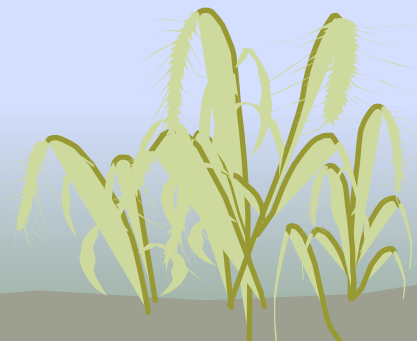
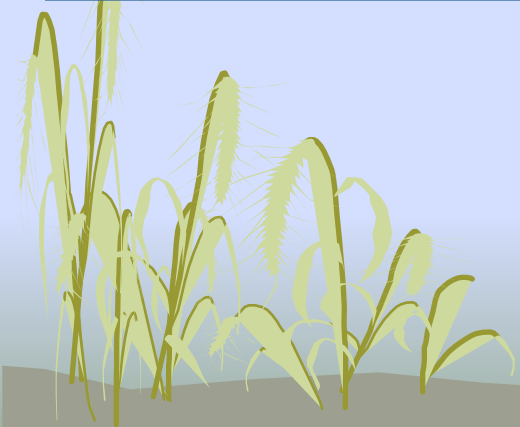
监测断面

• 洞内断面间距

围岩级别	断面间距 (m)	备注
V~VI	5~10	洞口、浅埋段 取小值
IV	10~50	
III	50~100	
II~I	>100	

地表观测断面

隧道埋深H与开挖宽度B	断面间距 (m)	备注
$H \leq B$	5~10	V~VI级围岩取 小值
$(1 \sim 2) B$	10~20	
$(2 \sim 2.5) B$	20~50	

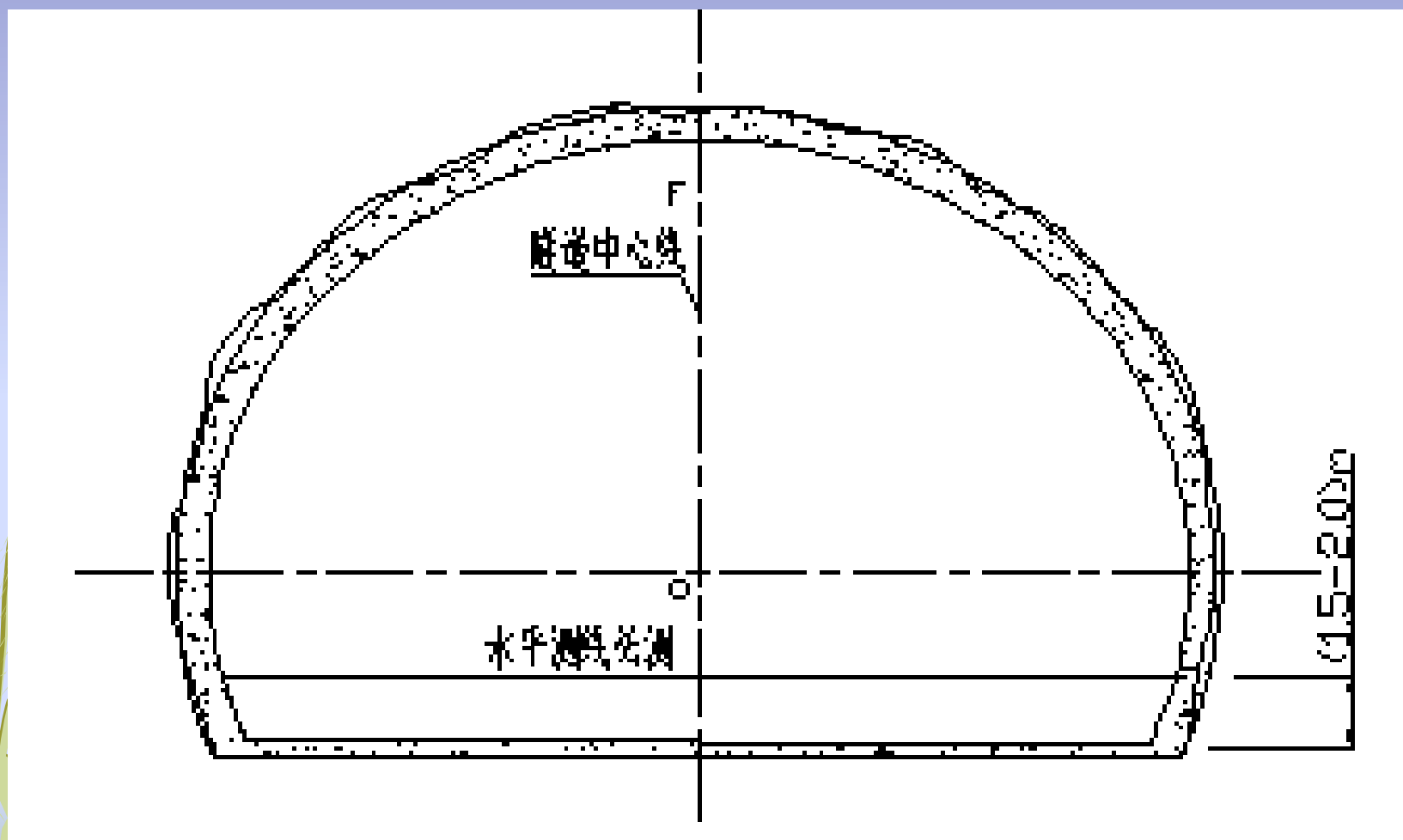


断面内测点布设

- 拱顶下沉
- 周围收敛

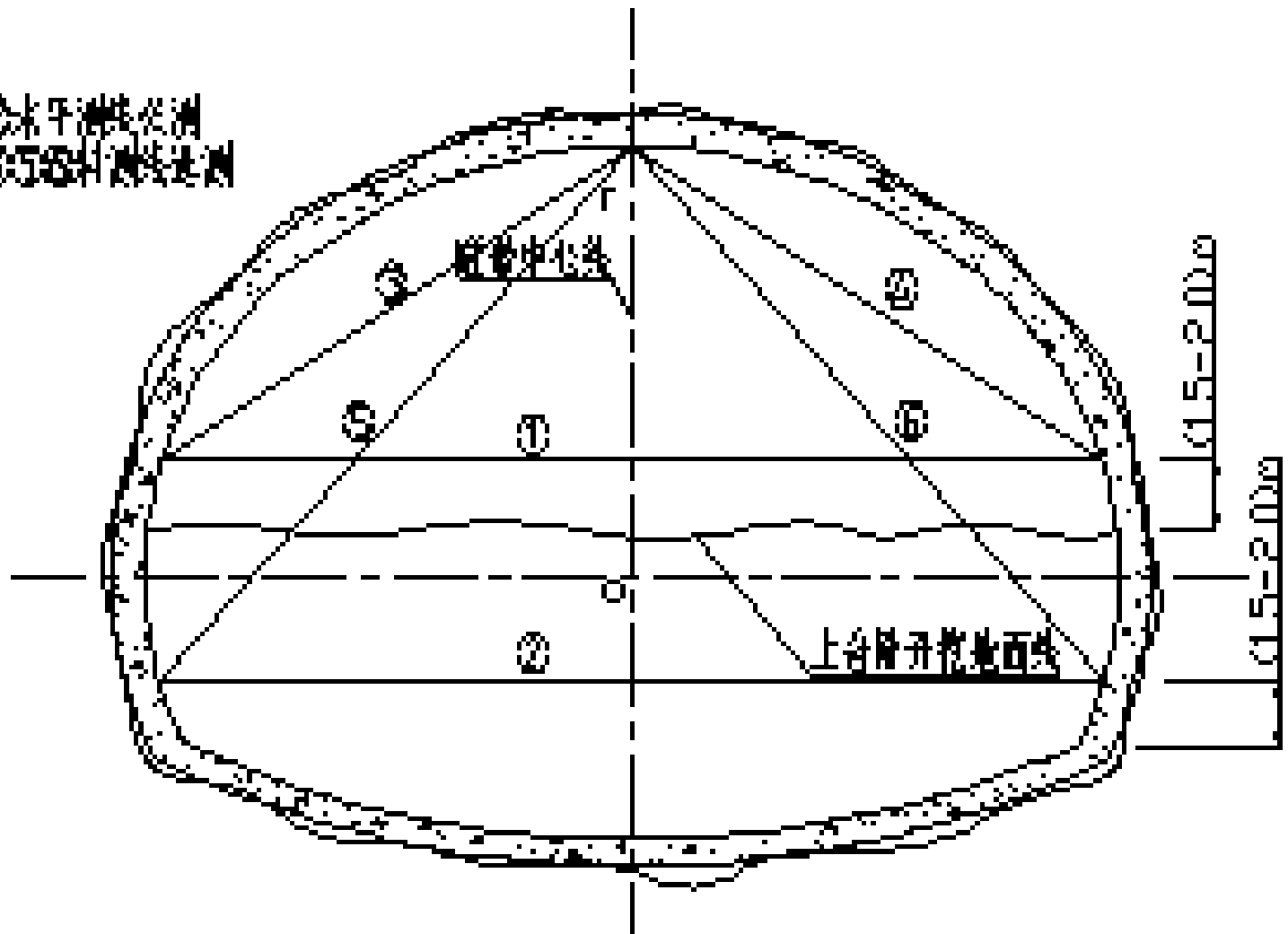
开挖方式	必测测线	选测测线	布设示意图号
全断面开挖	一条水平测线	/	图2-2-3
台阶法开挖	每台阶一条水平测线	每台阶两条斜测线	图2-2-4
分部开挖	每分部一条水平测线	CD或CRD法上部、双侧壁导坑法左右侧部，每分部两条斜测线，其余分部一条水平测线	图2-2-5 图2-2-6

全断面开挖周围收敛测线布置图



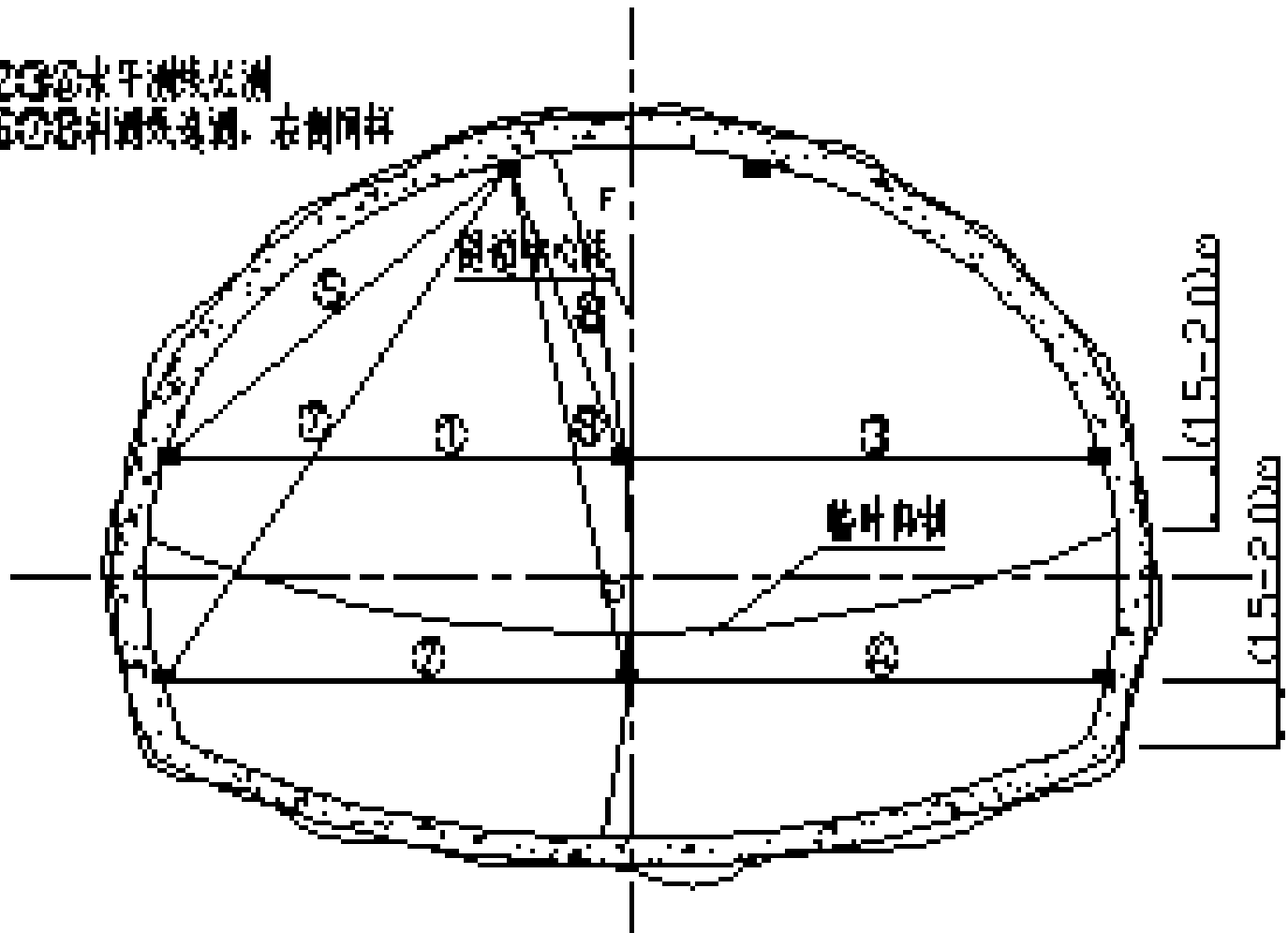
台阶法开挖周围收敛测线布置图

① 水平测线
② 垂直测线



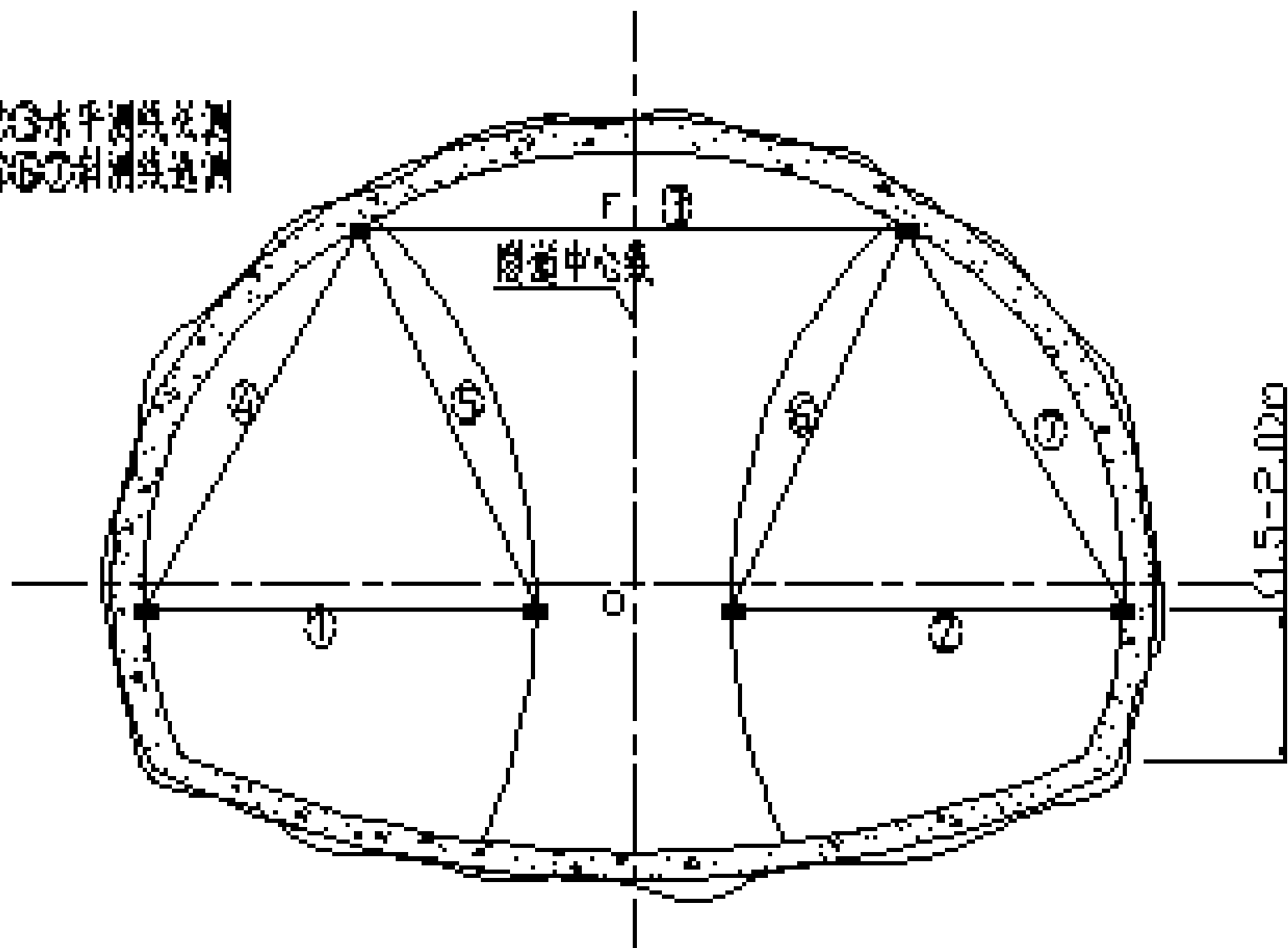
CD或CRD法周围收敛测线布设图

①②③④水平测线观测
⑤⑥⑦⑧斜测线观测，右侧同样



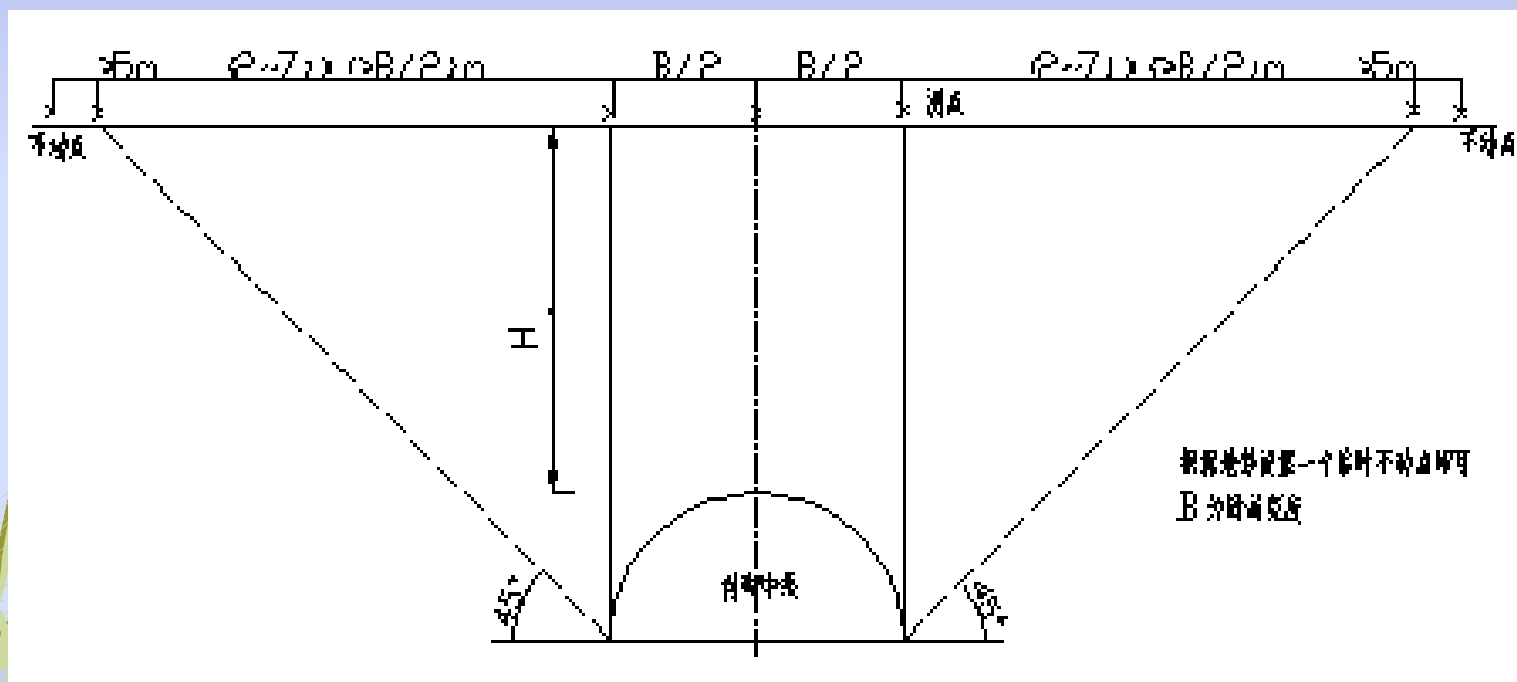
双侧壁导坑法周围收敛测线布设图

①②③水平测线观测
④⑤⑥⑦斜测线观测



地表沉降

- 布设范围在隧道中线两侧 $(H+B)$ 之间，可根据隧道顶部地表地形合适调整，横向间距一般控制在 $(2\sim 5)$ m，在隧道中线附近应合适加密，总测点数一般不少于7个。

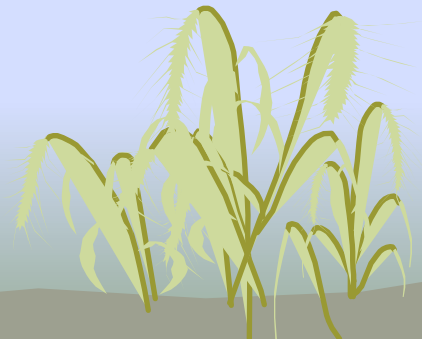
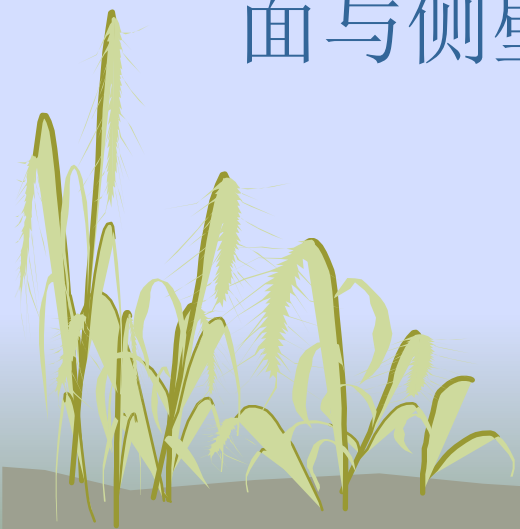


测试精度规定

- 水准测量变形： $\leq \pm 1\text{mm}$
- 周围收敛： $\leq \pm 1\text{mm}$
- 爆破振动： $\leq \pm 1\text{mm/s}$
- 预埋元器件： $\leq \pm 0.1\%F.S$ （F.S为元器件满量程）
- 隧道环境测试项目：结合仪器精度和有关规范规定进行

隧道监控量测措施研究—监控量测措施

- 简朴、实效、经济原则
- 地质和支护状况观测
- 仪器设备：罗盘、地质锤、数码相机
- 措施与环节：(1) 洞外观测；(2) 洞内掌子面与侧壁观测；(3) 支护观测

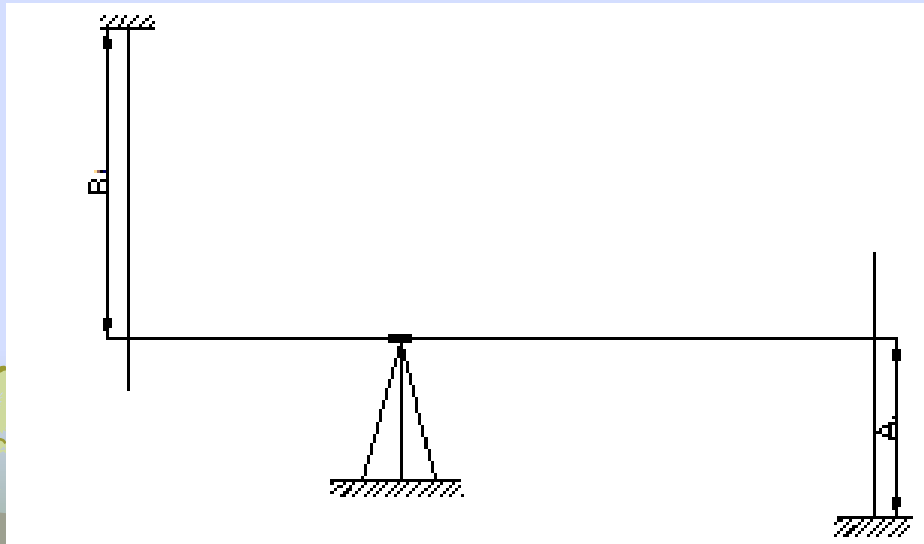


监控量测措施-洞内掌子面与侧壁观测

- (1) 围岩分级:根据《公路隧道设计规范》(JTG-D 70-) a、确定岩石坚硬程度; b、岩体完整性; c、 $BQ=90+3Rc+250Kv$; d、 $[BQ]=BQ-100(K1+K2+K3)$; e、确定围岩级别
 - (2) 软弱夹层
 - (3) 地下水
 - (4) 高初始应力
 - (5) 其他: 掉块、镜化、铁染、挤压扰
- 曲等地质现象

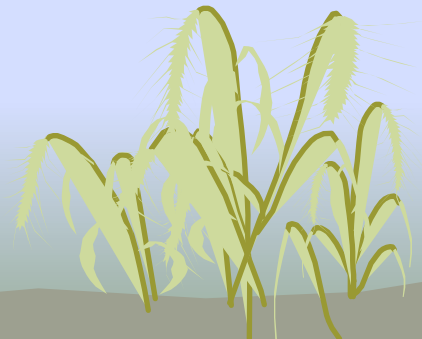
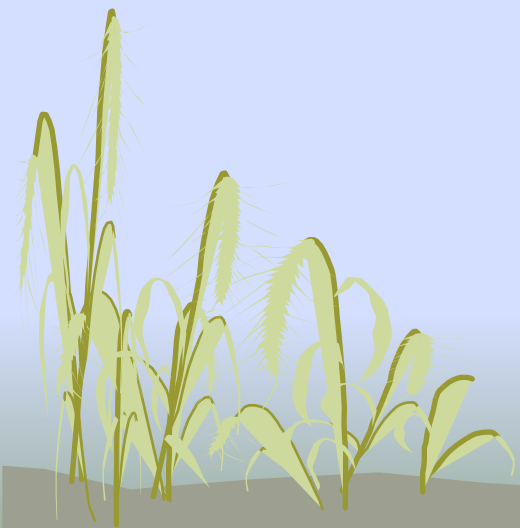
监控量测措施-水准测量变形

- 基准点
- 地表沉降、仰拱隆起量观测：《工程测量规范》（GB50026-）
- 拱顶下沉



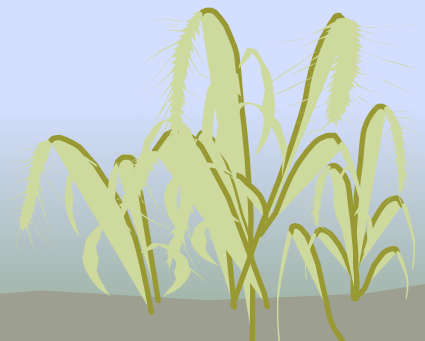
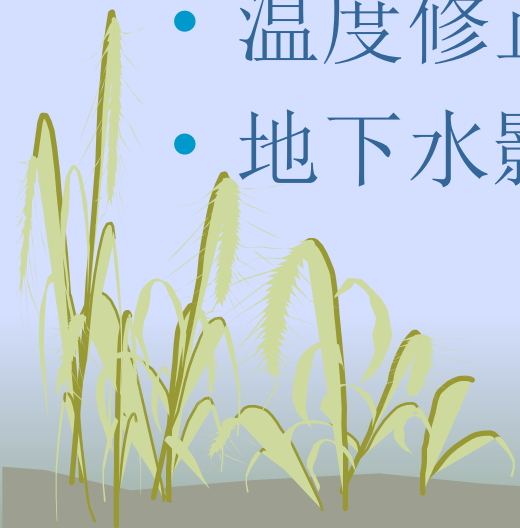
监控量测措施-周围收敛

- 精度
- 埋设测点
- 温差超过 5°C ，应进行温度修正



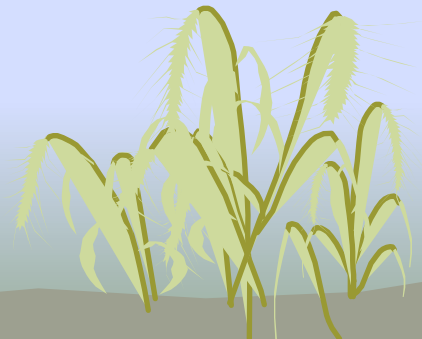
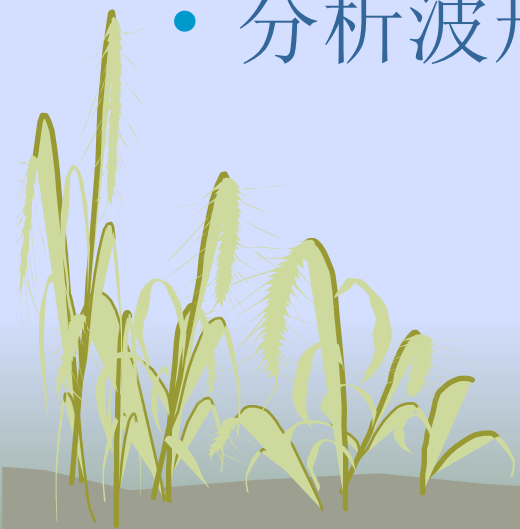
监控量测措施-应力、应变、压力

- 应变计、钢筋计、水位计、多点位移计等振弦式传感器、频率接受仪
- 埋设
- 频率测读及换算
- 温度修正
- 地下水影响



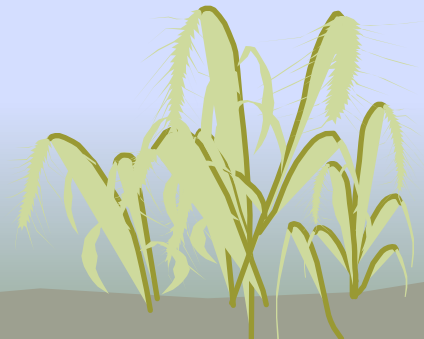
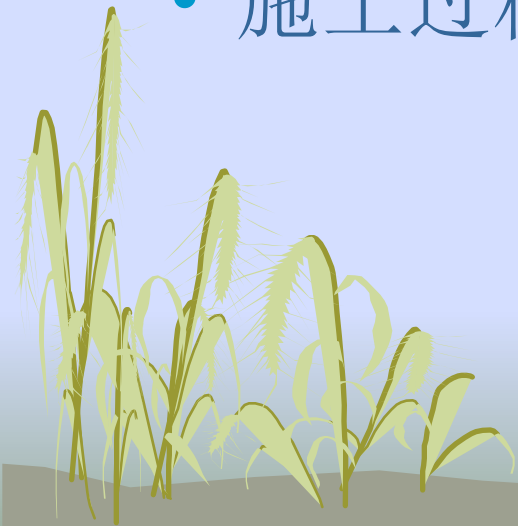
监控量测措施-爆破振动

- 振动速度、或加速度传感器、爆破振动采集仪
- 传感器固定，与仪器连接
- 采集数据
- 分析波形与特性值



监控量测措施-隧道环境

- 项目：CO浓度、粉尘浓度、瓦斯浓度、风速、烟雾浓度、照度、噪声等
- 一般避开通风口，离洞壁距离不小于0.5m，距离地面0.5-1.5m
- 施工过程与运行过程不一样样



隧道环境监（检）测措施及评判原则

序号	项目	检测依据	评判标准	备注
1	CO浓度	《公共场所空气中一氧化碳测定方法》 (GB/T 18204.23-2000)	《公路隧道施工技术规范》(JTJ 042-94) 《公路隧道通风照明设计规范》 (JTJ026.1-2019)	
2	粉尘浓度	《工作场所空气中粉尘测定第1部分：总粉尘浓度》(GBZ/T 192.1-2019)	《公路隧道施工技术规范》(JTJ 042-94)	
3	瓦斯浓度	《公路隧道施工技术规范》(JTJ 042-94)	《公路隧道施工技术规范》(JTJ 042-94) 《煤矿安全规程》(2019)	
4	风速	《公共场所风速测定方法》(GB/T 18204.15-2000)	《公路隧道施工技术规范》(JTJ 042-94) 《公路隧道设计规范》(JTJ D70-2019)	
5	照度	《公共场所照度测定方法》(GB/T 18204.21-2000)	《公路隧道通风照明设计规范》 (JTJ026.1-2019)	
6	噪声	《公共场所噪声测定方法》(GB/T 18204.22-2000)	《公路隧道施工技术规范》(JTJ 042-94)	
7	烟雾浓度K	《公共场所照度测定方法》(GB/T 18204.21-2000)	《公路隧道通风照明设计规范》 (JTJ026.1-2019)	透过率为同一光源通过污染空气和洁净空气后的照度比值，

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/587024052004006133>