

中国铁路总公司企业标准

Q/CR

P

Q/CR9218-2015

铁路隧道监控量测技术规程

Technical Specification for monitoring measurement
of Railway Tunnel

2015-02-26 发布

2015-06-01

实施

中国铁路总公司 发布

中国铁路总公司关于印发 《高速铁路路基工程施工技术规程》 等 16 项建设标准的通知

铁总建设 [2015]80 号

现将《高速铁路路基工程施工技术规程》（Q/CR9602—2015）、《铁路路基填筑工程连续压实控制技术规程》（Q/CR9210—2015）、《铁路路基工程施工机械配置技术规程》（Q/CR 9224—2015）、《铁路混凝土拌合站机械配置技术规程》（Q/CR 9223—2015）、《铁路桥梁工程施工机械配置技术规程》（Q/CR9225—2015）、《铁路钢桥制造规范》（Q/CR9211—2015）、《铁路桥梁钻孔桩施工技术规程》（Q/CR9212—2015）、《高速铁路桥涵工程施工技术规程》（Q/CR9603—2015）、《高速铁路隧道工程施工技术规程》（Q/CR9604—2015）、《铁路隧道超前地质预报技术规程》（Q/CR9217—2015）、《铁路隧道监控量测技术规程》（Q/CR9218—2015）、《铁路隧道施工抢险救援指南》（Q/CR 9219—2015）、《铁路隧道工程施工机械配置技术规程》（Q/CR9226—2015）、《铁路建设项目现场管理规程》（Q/CR9202—2015）、《铁路建设项目工程试验室管理标准》（Q/CR9204—2015）、《铁路工程试验表格》（Q/CR9205—2015）等 16 项建设标准印发给你们，自 2015 年 6 月 1 日起施行。

原铁道部印发的《高速铁路路基工程施工技术指南》（铁建设 [2010]241 号）、《铁路路基填筑工程连续压实控制技术规程》（TB10108—2011）、《铁路路基工程施工机械配置指导意见》（铁建设 [2012]113 号）、《铁路混凝土拌合站机械配置指导意见》（铁建设 [2012]113 号）、《铁路桥梁施工机械配置指导意见》（铁建设 [2010]125 号）、《铁路钢桥制造规范》（TB10212—2009）、《铁路桥梁钻孔桩施工技术指南》（TZ322—2010）、《高速铁路桥涵工程施工技术指南》（铁建设 [2010]241 号）、《高速铁路隧道工程施工技术指南》（铁建设 [2010]241 号）、《铁路隧道超前地质预报技术指南》（铁建设 [2008]105 号）、《铁路隧道监控量测技术规程》（TB10121—2007）、《铁路隧道施工抢险救援指导意见》（铁建设 [2010]88 号）、《铁路隧道施工机械配置的指导意见》（铁建

设函[2008]777号)、《铁路建设项目现场管理规范》(TB10441—2008)、《铁路建设项目工程实验室管理标准》(TB10442—2009)、《铁路工程试验表格》(铁建设函[2009]27号)等16项标准同时停止执行。

16项建设标准由中国铁路总公司建设管理部负责解释,单行本由经规院、中国铁道出版社组织出版发行

中国铁路总公司

2015

年2月16日

目 录

前 言	1
1 总 则	2
2 术 语	2
3 基 本 规 定	3
4 技 术 要 求	4
4.1 一 般 规 定	5
4.2 监 控 量 测 项 目	5
4.3 监 控 量 测 断 面 及 测 点 布 置 原 则	7
4.4 监 控 量 测 频 率	9
4.5 监 控 量 测 控 制 基 准	10
4.6 监 控 量 测 系 统 及 元 器 件 技 术 要 求	14
5 监 控 量 测 方 法	14
5.1 一 般 规 定	14
5.2 洞 内、外 观 察	14
5.3 变 形 监 控 量 测	15
5.4 应 力、应 变 监 控 量 测	15
5.5 接 触 压 力 量 测	16
5.6 爆 破 振 动 监 控 量 测	16
5.7 孔 隙 水 压 和 水 量 监 控 量 测	16
6 数 据 分 析 及 信 息 反 馈	17
6.1 一 般 规 定	17
6.2 监 控 量 测 数 据 分 析 处 理	17
6.3 监 控 量 测 信 息 反 馈 及 工 程 对 策	18
7 成 果 资 料	21
本 技 术 规 程 用 词 说 明	26
《 铁 路 隧 道 监 控 量 测 技 术 规 程 》 条 文 说 明	27

前 言

本技术规程是根据构建中国铁路总公司铁路工程建设标准体系要求，在原铁道部《铁路隧道监控量测技术规程》TB 10121—2007的基础上修编而成。

本技术规程在编制过程中，与现行国家、行业标准和中國铁路总公司相关标准进行了协调；调整了原规程中不符合总公司铁路建设项目特点和要求的有关内容；吸纳了总公司铁路隧道工程建设和运营中的实践经验；配套修改了标准动态管理工作中对相关标准已作的局部修订内容，为总公司铁路工程建设施工质量和安全提供技术支持。

本技术规程共分为7章，主要包括：总则，术语，基本规定，技术要求，监控量测方法，数据分析及信息反馈，成果资料，另有3个附录。

本技术规程主要修订明确了对周边建筑物可能产生影响的铁路隧道应实施第三方监测、监控量测人员应经培训后上岗等规定，提出了测点应及时埋设，支护后2h内读取初始数据以及不良地质和特殊岩土隧道加强拱脚变形监控量测等要求，修订了地表沉降点纵向间距要求，规定了大、特大跨度黄土隧道初期支护相对位移。

在本技术规程执行过程中，希望各有关单位结合工程实际，认真总结经验，积累资料。如发现有需要修改和补充之处，请及时将意见及有关资料寄交中铁二院工程集团有限责任公司（四川省成都市通锦路3号，邮政编码：610031），并抄送中国铁路经济规划研究院（北京市海淀区北蜂窝路乙29号，邮政编码：100038），供今后修订时参考。

本技术规程由中国铁路总公司建设管理部负责解释。

本技术规程主编单位：中铁二院工程集团有限责任公司。

本技术规程参编单位：中国铁路经济规划研究院、西南交通大学、中铁隧道集团有限公司。

本技术规程主要起草人：喻渝、倪光斌、刘招伟、赵万强、王明年、郑长青、赵运臣、陈赤坤、曹磊、

本技术规程主要审查人：林传年、钱征宇、黄鸿键、张民庆、唐国荣、韩福忠、张松岩、关宝树、陈绍华、高杨、王立暖、龚彦峰、李汶京、苏新民、张金夫、陈德斌、杨世武、霍玉华、苏庆国。

1 总 则

1.0.1 为规范铁路隧道设计和施工的监控量测工作，使铁路隧道施工监控量测符合安全使用、技术先进、经济合理的要求，制定本技术规程。

1.0.2 本技术规程适用于采用矿山法修建的铁路隧道。

1.0.3 隧道工程应进行监控量测设计，其费用应列入概算。

1.0.4 监控量测应作为关键工序纳入现场施工组织。对周边建筑物可能产生影响的铁路隧道应实施第三方监测。

1.0.5 铁路隧道监控量测工作除应符合本技术规程要求外，尚应符合国家、行业及中国铁路总公司现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 监控量测 monitoring measurement

隧道施工中对围岩、地表、支护结构的变形和稳定状态，以及周边环境动态进行的经常性观察和量测工作。

2.0.2 必测项目 important monitoring items

保证隧道周边环境和围岩的稳定以及施工安全，同时反映设计、施工状态而需进行的日常监控量测项目。

2.0.3 选测项目 optional monitoring items

为了满足隧道设计和施工的特殊需要，有设计文件规定的在局部地段进行的监控量测项目。

2.0.4 隧道净空变化 convergence of tunnel inner perimeter

隧道周边上两点间相对位置的变化。

2.0.5 拱顶下沉 crown settlement

隧道拱顶测点的绝对沉降（量）。

2.0.6 地表沉降（或隆起） settlement , subsidence

隧道开挖后底层中的（应力）扰动区延伸至地表而引起地表沉降（或隆起）。

2.0.7 水平位移 horizontal displacement

变形体沿水平方向的位移值。

2.0.8 垂直位移 vertical displacement

变形体沿竖直方向的位移值。

2.0.9 变形监控量测 deformation measurement

对建（构）筑物及其地基或一定范围内岩体及土体的位移、沉降等项目所进行的监控量测工作。

2.0.10 基准点 basic benchmark

建在稳定的岩层或原土层或构（建）筑物上的经确认固定不动的点。

2.0.11 测点 object points(survey points)

设置在观测体上（或内部），能反映其特征，作为变形、位移、应力或应变测量用的固定标志。

2.0.12 测线 survey lines

隧道净空变化或拱顶下沉量测时，设在洞周壁上两测点之间的连线。

2.0.13 底鼓 floor heave

隧道开挖后，由于围岩本身的性质以及围岩应力、水理作用和支护强度等因素引起的隧道底板向上隆起的现象。

2.0.14 非接触量测 non-contact measurement

指在不接触被测目标点的情况下，获取被测点的空间位移信息的方法。

2.0.15 极限相对位移 limit relative displacement

指极限位移与两测点间的距离之比。极限位移为全位移，即指考虑隧道净空开挖前期变形量、开挖中变形量和开挖后变形量的总位移。

2.0.16 数码成像 digital imaging

利用数码成像设备对前方目标物体进行拍摄，以获取目标物体的数字图像。

3 基本规定

3.0.1 铁路隧道监控量测应科学合理，设计单位应进行监控量测设计，施工单位应编制监控量测实施细则，施工中应按细则实施，工程竣工后将监控量测资料整理归档并纳入竣工文件中。

3.0.2 监控量测设计应包括以下内容：

- 1 确定监控量测项目。
- 2 确定测点布置原则、监控量测断面及监控量测频率。
- 3 确定监控量测控制基准。

3.0.3 施工单位应配置专业的监控量测人员和设备，监控量测人员应经培训后上岗，掌握成熟、可靠的测试数据处理与分析技术。

3.0.4 施工单位应成立现场监控量测小组，并纳入施工质量保证体系，负责及时将监控量测信息反馈与施工和设计。 监控量测人员应相对稳定， 确保监控量测工作的连续性。

3.0.5 现场监控量测工作应包括以下主要内容：

- 1 现场情况的初始调查。
- 2 编制实施细则。
- 3 布设测点并取得初始监测值。
- 4 现场监控量测及分析。
- 5 提交监控量测成果。

3.0.6 监控量测实施细则应经监理单位、建设单位批准后实施，并作为现场作业、检查验收的依据。监控量测变更应经监理工程师批准。

3.0.7 监控量测系统应可靠、稳定、耐久，在服务期内运转正常。仪器设备应按规定进行检查、校对和率定，并出具相关证明。

3.0.8 测点应牢固可靠、易于识别，并注意保护，严防损坏。

3.0.9 施工现场应建立严格的监控量测数据复核、审查制度，保证数据的准确性。监控量测数据应利用计算机系统进行管理，由专人负责。如有监控量测数据缺失或异常，应及时采取补救措施，并做出详细记录。

3.0.10 监控量测应根据精度要求，减小系统误差，控制偶然误差，避免人为错误，并应经常采用相关方法对误差进行检验分析。

3.0.11 施工和监控量测方应密切配合， 监控量测元件的埋设与监控量测应列入工程施工进度控制计划中，监控量测工作应尽量减少对施工工序的影响。

4 技术要求

4.1 一般规定

4.1.1 监控量测应达到以下目的：

- 1 确保施工安全及结构的长期稳定性。
- 2 验证支护结构效果，确认支护参数和施工方法的合理性，为调整支护参数和施工方法提供影响。
- 3 确定二次衬砌施作时间。
- 4 监控工程对周围环境影响。
- 5 积累量测数据，为信息化设计与施工提供依据。

4.1.2 监控量测设计应根据围岩条件、支护参数、施工方法、周围环境及监控量测目的进行。

4.1.3 监控量测实施细则应根据设计要求及工程特点编制，内容应包括：

- 1 监控量测项目。
- 2 人员组织。
- 3 元器件及设备。
- 4 监控量测断面、测点布置。监控量测频率及监控量测基准。
- 5 数据记录格式。
- 6 数据处理及预测方法。
- 7 信息反馈及对策等。

4.1.4 监控量测工作应随施工工序及时进行，测点应及时埋设，支护后 2 小时内读取初始数据，并应依据现场情况及时调整监控项目和内容。

4.2 监控量测项目

4.2.1 监控量测项目可分为必测项目和选测项目。

4.2.2 隧道工程应将日常监控量测项目纳入必测项目。必测项目应按表 4.2.2 确定。

表 4.2.2 监控量测必测项目

序号	监控量测项目	常用量测仪器	备注
1	洞内、外观察	现场观察、数码相机、罗盘仪	
2	拱顶下沉	水准仪、刚挂尺或全站仪	
3	净空变化	收敛计、全站仪	
4	地表沉降	水准仪、铟钢尺或全站仪	隧道浅埋段
5	拱脚下沉	水准仪或全站仪	不良地质和特殊岩土隧道浅埋段
6	拱脚位移	水准仪或全站仪	不良地质和特殊岩土隧道深埋段

4.2.3 隧道工程可将满足隧道设计与施工特殊要求进行的监控量测项目纳入选测项目。选测项目可按表 4.2.3 选择。

表 4.2.3 监控量测选测项目

序号	监控量测项目	常用量测仪器
1	围岩压力	压力盒
2	钢架内力	钢筋计、应变计
3	喷混凝土内力	混凝土应变计
4	二次衬砌内力	混凝土应变计、钢筋计
5	初期支护与二次衬砌间接触压力	压力盒
6	锚杆轴力	钢筋计
7	围岩内部位移	多点位移计
8	隧底隆起	水准仪、铟钢尺或全站仪
9	爆破震动	振动传感器、记录仪
10	孔隙水压力	水压计
11	水量	三角堰、流量计
12	纵向位移	多点位移计、全站仪

4.2.4 隧道开挖后应及时进行地质素描及数码成像，必要时进行物理力学试验。

4.2.5 初期支护完成后应进行喷层表面裂缝及其发展、渗水、变形观察和记录。

4.3 监控量测断面及测点布置原则

4.3.1 隧道浅埋、下穿建筑物地段应在隧道开挖前布设地表沉降观测点。地表沉降测点和隧道内测点应布置在同一断面里程。地表沉降测点纵向间距可按表 4.3.1 的要求布置。

表 4.3.1 地表沉降测点纵向间距

隧道埋深与开挖宽度、高度	纵向测点间距 (m)
$2B < H_0$ $2(B+H)$	15 ~ 30
$B < H_0$ $2B$	10 ~ 15
$H_0 > B$	5 ~ 10

注： H_0 为隧道埋深； H 为隧道开挖高度； B 为隧道开挖宽度。

4.3.2 地表沉降测点横向间距宜为 2m~ 5m 在隧道中线附近测点应适当加密，隧道中线两侧测量范围应不小于 H_0+B , 其测点布置如图 4.3.2 所示。建（构）筑物对地表沉降有特殊要求时，量测间距应适当加密，范围应适当加宽。

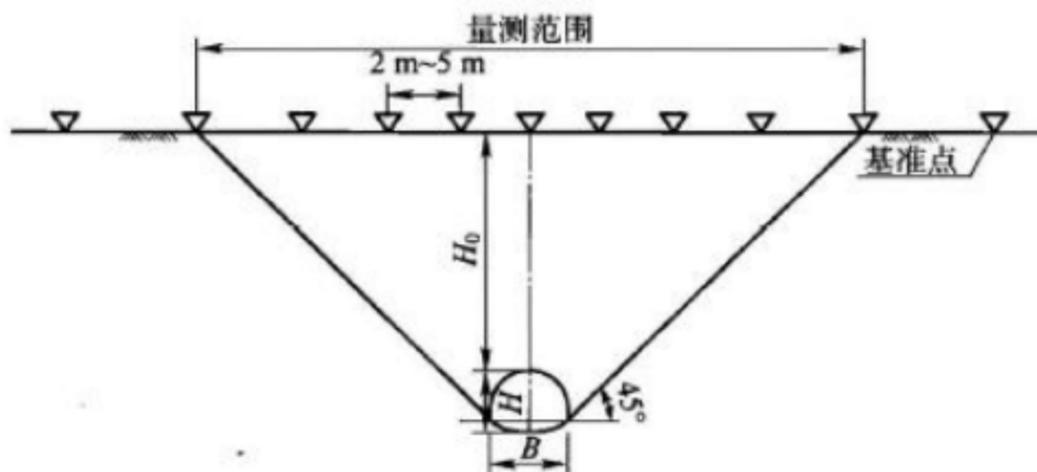


图 4.3.2 地表沉降横向测点布置示意图

4.3.3 拱顶下沉测点和净空变化测点应布置在同一断面上，监控量测断面可按表 4.3.3 的要求布置。拱顶下沉测点原则上应设置在拱顶轴线附近，当隧道跨度较大时，应结合施工方法在拱部增设测点，并可按图 4.3.3 布置。

表 4.3.3 必测项目监控量测断面间距

围岩级别	断面间距 (m)
V~IV	5~10
IV	10~30
III	30~50

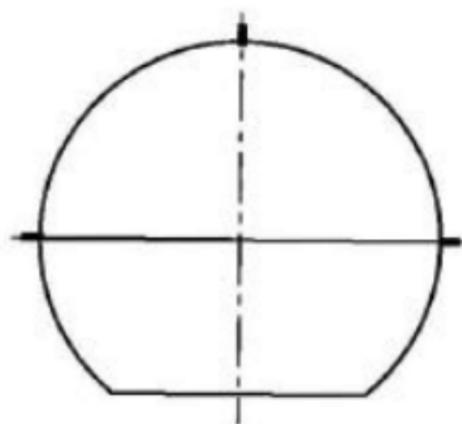
注：1 II 级围岩视具体情况确定间距。

2 不良地质和特殊岩土地段应取小值。

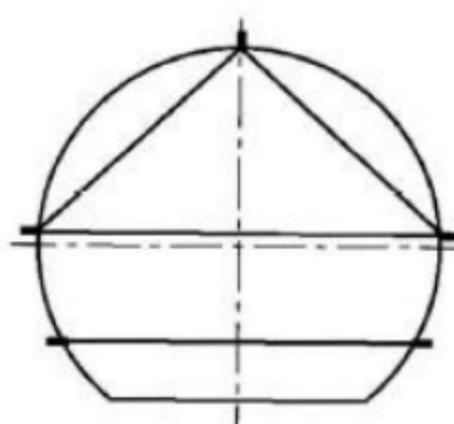
4.3.4 净空变化量测测线数可按照表 4.3.4 、图 4.3.3 布置。

表 4.3.4 净空变化量测测线数

地段	一般地段	特殊地段
开挖方法		
全断面法	一条水平测线	—
台阶法	每台阶一条水平测线	每台阶一条水平测线，两条斜测线
分部开挖法	每部分一条水平测线	CD或CRD法上部、双侧壁导坑法左右侧部，每分部一条水平测线，两条斜测线其余部分一条水平测线



(a) 拱顶测点和1条水平测线



(b) 拱顶测点和2条水平测线、2条斜测线

图 4.3.3

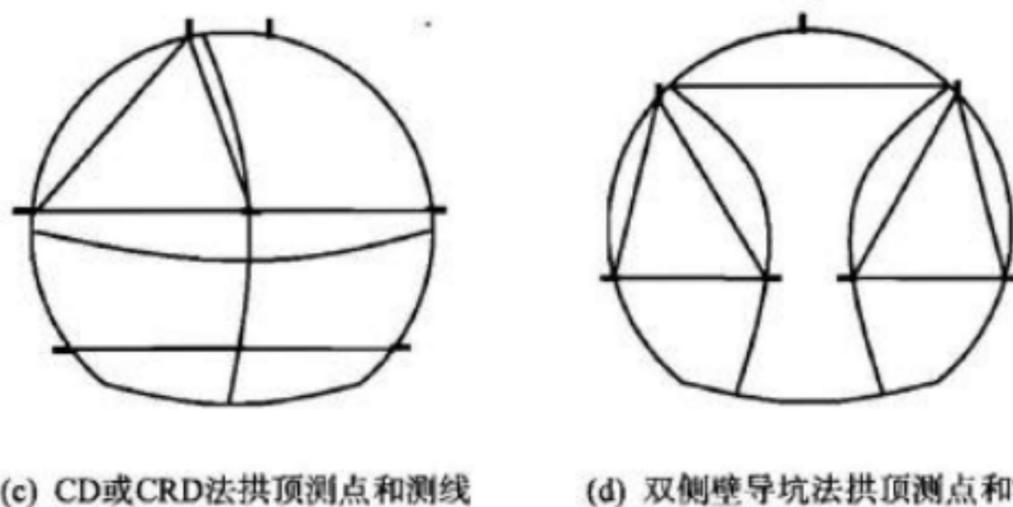


图 4.3.3 拱顶下沉量测和净空变化量测的测线布置示意图

4.3.5 选测项目量测断面及测点布置应考虑围岩代表性、围岩变化、施工方法及支护参数的变化。监控量测断面应在相应段落施工初期优先设置，并及时开展量测工作。

4.3.6 不同断面的测点应布置在相同部位，测点应尽量对称布置。

4.4 监控量测频率

4.4.1 必测项目监控量测频率应根据测点距开挖面的距离及位移速度分别按表

4.4.1—1 和表 4.4.1—2 确定。由测点距开挖面的距离决定的监控量测频率和又位移速度决定的监控量测频率之中，原则上采用较高的频率值。出现异常情况或不良地质时，应增大监控量测频率。

表 4.4.1—1 按距开挖面距离确定的监控量测频率

监控量测断面距开挖面距离 (m)	监控量测频率
(0 ~ 1) B	2 次 /d
(1 ~ 2) B	1 次 /d
(2 ~ 5) B	1 次 / (2d ~ 3d)
>5B	1 次 / (7d)

注：B 为隧道开挖宽度。

表 4.4.1—2 按位移速度确定的监控量测频率

位移速度 (mm/d)	监控量测频率
5	2 次 /d
1 ~ 5	1 次 /d
0.5 ~ 1	1 次 / (2d ~ 3d)
0.2 ~ 0.5	1 次 / (3d)
<0.2	1 次 / (7d)

4.4.2 开挖面地质素描、支护状态、影响范围内的建（构）筑物的描述应每施工循

环记录一次。必要时，影响范围内的建（构）筑物的描述频率应加大。

4.4.3 选测项目监控量测频率应根据设计和施工要求以及必测项目反馈信息结果确定。

4.5 监控量测控制基准

4.5.1 监控量测控制基准包括隧道内位移、地表沉降、爆破震动等，应根据地质条件、隧道施工安全性、隧道结构的长期稳定性，以及周围建（构）筑物特点和重要性等因素制定。

4.5.2 隧道初期支护极限相对位移可按照表 4.5.2 —1 和表 4.5.2 —2 选用。大、特大跨度黄土隧道初期支护相对位移可按照表 4.5.2 —3 选用。

表 4.5.2 —1 跨度 $B \leq 7m$ 隧道初期支护极限相对位移

围岩级别	隧道埋深 h (m)		
	$H \leq 50$	$50 < h \leq 300$	$300 < h \leq 500$
拱脚水平相对净空变化 (%)			
II	-	-	0.2 ~ 0.60
III	0.10 ~ 0.50	0.40 ~ 0.70	0.60 ~ 1.50
围岩级别	隧道埋深 h (m)		
	$H \leq 50$	$50 < h \leq 300$	$300 < h \leq 500$
IV	0.20 ~ 0.70	0.50 ~ 2.60	2.40 ~ 3.50
V	0.30 ~ 1.00	0.80 ~ 3.50	3.00 ~ 5.00
拱顶相对下沉 (%)			
II	-	0.01 ~ 0.05	0.04 ~ 0.08
III	0.01 ~ 0.04	0.03 ~ 0.11	0.10 ~ 0.25
IV	0.03 ~ 0.07	0.06 ~ 0.15	0.10 ~ 0.60
V	0.06 ~ 0.12	0.10 ~ 0.60	0.50 ~ 1.20

注：1 本表适用于复合式衬砌的初期支护，硬质围岩隧道取表中较小值，软弱围岩隧道取表中较大值。表列数值可以在施工中通过实测资料积累作适当的修正。

2 拱脚水平相对净空变化指两拱脚测点间净空水平变化值与其距离之比，拱顶相对下沉指拱顶下沉值减去隧道下沉值后与原拱顶指隧底高度之比。

3 墙腰水平相对净空变化极限值可按拱脚水平相对净空变化极限值乘以 1.2 ~ 1.3 后采用。

表 4.5.2 —2 跨度 $7m < B < 12m$ 隧道初期支护极限相对位移

围岩级别	隧道埋深 h (m)		
	$H < 50$	$50 < h < 300$	$300 < h < 500$
拱脚水平相对净空变化 (%)			
II	-	0.01 ~ 0.03	0.01 ~ 0.08
III	0.03 ~ 0.10	0.08 ~ 0.40	0.30 ~ 0.60
IV	0.10 ~ 0.30	0.20 ~ 0.80	0.70 ~ 1.20
V	0.20 ~ 0.50	0.40 ~ 2.00	1.80 ~ 3.00
拱顶相对下沉 (%)			
II	-	0.03 ~ 0.06	0.05 ~ 0.12
III	0.03 ~ 0.06	0.04 ~ 0.15	0.12 ~ 0.30
IV	0.06 ~ 0.10	0.08 ~ 0.40	0.30 ~ 0.80
V	0.08 ~ 0.16	0.14 ~ 1.10	0.80 ~ 1.40

注：1 本表适用于复合式衬砌的初期支护，硬质围岩隧道取表中较小值，软质围岩隧道取表中较大值。表列数值可以在施工中通过实测资料积累作适当的修正。

- 2 拱脚水平相对净空变化指拱脚测点间净空水平变化值与其距离之比，拱顶相对下沉指拱顶下沉值减去隧道下沉值后与原拱顶至隧底高度之比。
- 3 初期支护墙腰水平相对净空变化极限值可按拱脚水平相对净空变化极限值乘以 1.1 ~ 1.2 后采用。

表 4.5.2 —3 跨度 $12m < B < 16m$ 黄土隧道初期支护极限相对位移

围岩等级	$H < B$	$B < H < 2(B+H)$	$2(B+H) < H$
拱部相对下沉 (%)			
Iva	—	0.55 ~ 0.80	0.90 ~ 1.30
Ivb	—	0.70 ~ 0.95	1.15 ~ 1.55
Va	0.40 ~ 0.60	0.80 ~ 1.15	1.35 ~ 1.90
Vb	0.55 ~ 0.80	1.10 ~ 1.50	
墙腰水平相对净空变化 (%)			
Iva	—	1 台阶法施工时不作为控制指标。 2 侧壁导坑法施工时取 倍拱部下 沉	倍拱部下 沉
Ivb	—		
Va	不作为监控要求		
Vb			

注：1 本表按断面相对值给出，其中拱部下 沉 (%) 为相对于隧底的拱部下 沉值与断面开挖高度之比的百分数，适用于开挖面积 $100 m^2 \sim 180 m^2$ 、非钻爆开挖、非饱和黄土的大断面黄土隧道，黏质黄土取较小值，砂质黄土取较大值。

- 2 $\lambda = H/B$ ，隧道宽度比系数。
- 3 拱部下 沉：台阶法包括拱脚和拱顶下 沉，侧壁导坑法为导坑拱顶下 沉。
- 4 水平净空变化：全断面指标，双侧壁导坑法中可作为两侧导坑指标（中洞未开挖时）。
- 5 台阶法施工时，拱脚水平净空变化基准值按表中墙腰水平净空变化的 $1/1.3 \sim 1/1.8$ 采用，老黄土取前者，新黄土取后者。
- 6 拱脚和拱顶下 沉以及拱脚净空变化要求在距上台阶掌子面 $1.5m$ 以内开始初

测，三台阶开挖时墙腰净空变化应在中台阶开挖时开始初测。

4.5.3 位移控制基准应根据测点距开挖面的距离，由初期支护极限相对位移按表 4.5.3 要求确定。

表 4.5.3 位移控制基准

类别	距开挖面 1B(U_{1B})	距开挖面 2B(U_{2B})	距开挖面较远
允许值	65% U_0	90% U_0	100% U_0

注： B 为隧道开挖宽度， U_0 为极限相对位移值。

4.5.4 根据位移控制基准，可按表 4.5.4 分为三个管理等级。

4.5.4 位移管理等级

管理等级	跟开挖面 1B	跟开挖面 2B
	$U < U_{1B}/3$	$U < U_{2B}/3$
	$U_{1B}/3 \leq U \leq 2U_{1B}/3$	$U_{2B}/3 \leq U \leq 2U_{2B}/3$
	$U > 2U_{1B}/3$	$U > 2U_{2B}/3$

注： U 为实测位移值。

4.5.5 地表沉降控制基准应根据底层稳定性、周围建（构）筑物的安全要求分别确定，并取最小值。

4.5.6 钢架内力、喷混凝土内力、二衬衬砌内力、围岩压力（换算成内力）、初期支护与二次衬砌间接触压力（换算成内力）、锚杆轴力控制基准应满足《铁路隧道设计规范》TB10003相关规定。

4.5.7 爆破振动控制基准应按表 4.5.7 的要求确定。

表 4.5.7 爆破振动安全允许振速

序号	保护对象类别	安全允许振速(cm/s)		
		<10 Hz	10 Hz~50 Hz	50 Hz~100 Hz
1	土窑洞、土坯房、毛石房屋	0.5~1.0	0.7~1.2	1.1~1.5
2	一般砖房、非抗震的大型砌块建筑物	2.0~2.5	2.3~2.8	2.7~3.0
3	钢筋混凝土结构房屋	3.0~4.0	3.5~4.5	4.2~5.0
4	一般古建筑与古迹	0.1~0.3	0.2~0.4	0.3~0.5

续表

4.5.7

序号	保护对象类别	安全允许振速(cm/s)		
		<10 Hz	10 Hz~50 Hz	50 Hz~100 Hz
5	水工隧道	7~15		
6	交通隧道	10~20		
7	矿山巷道	15~30		
8	水电站及发电厂中心控制室设备	0.5		
9	新浇大体积混凝土			
	龄期:初凝~3 d	2.0~3.0		
	龄期:3 d~7 d	3.0~7.0		
	龄期:7 d~28 d	7.0~12		

- 注：1 表列频率为主振频率，系指最大振幅所对应波的频率。
2 频率范围可根据类似工程或现场实测波形选取。选取频率时亦可参考下列数据：深孔爆破 10Hz~60Hz;浅孔爆破 40Hz~100Hz
3 有特殊要求的根据现场具体情况确定。

4.5.8 采用分部开挖法施工的隧道应每分部分别建立位移控制基准，同时应考虑各分部的相互影响。

4.5.9 围岩与支护结构的稳定性应根据控制基准，结合时态曲线形态判别。

4.5.10 一般情况下，二次衬砌的施作应在满足下列要求时进行：

- 1 隧道水平净空变化速度与拱顶或地板垂直位移速度明显下降。
- 2 隧道位移相对值已达到总相对位移量的 90%以上。

对浅埋、软弱围岩等特殊地段，应视现场具体情况确定二次衬砌施作时间。

4.6 监控量测系统及元器件技术要求

4.6.1 监控量测系统的测试精度应满足设计要求。拱顶下沉、净空变化、地表沉降、纵向位移、隧底隆起测试精度可为 0.5mm~ 1mm，围岩内部位移测试精度可为 0.1mm，爆破振动速度测试精度可为 1mm/s。其他监控量测项目的测试精度应结合元器件的精度确定。

4.6.2 元器件的精度应满足表 4.6.2 的要求，元器件的量程应满足设计要求，并具有良好的防震、防水、防腐性能。

表 4.6.2 元器件的精度

序号	元器件	测试精度
1	压力盒	$\leq 0.5\%F.S$
2	应变计	$\pm 0.1\%F.S$
3	钢筋计	拉伸 $\leq 0.5\%F.S$ ，压缩 $\leq 1.0\%F.S$

注：F.S.为元器件满量程。

5 监控量测方法

5.1 一般规定

5.1.1 现场监控量测应由施工单位负责组织实施。

5.1.2 现场监控量测应根据已批准的监控量测实施细则进行测点埋设、日常量测和数据处理，及时反馈信息，并根据地质条件的变化和施工异常情况，及时调整监控量测计划。

5.1.3 现场量测方法应简单、可靠、经济、实用。

5.2 洞内、外观察

5.2.1 施工过程中应进行洞内、外观察。洞内观察可分开挖工作面观察和已施工地段观察两部分。

5.2.2 开挖工作面观察应在每次开挖后进行，及时绘制开挖工作面地质素描图、数码成像，填写开挖工作面地质状况记录表，并与勘查资料进行对比。已施工地段观察，应记录喷射混凝土、锚杆、钢架变形和二次衬砌等的工作状态。

5.2.3 洞外观察重点应在洞口段和洞身浅埋段，并应记录地表开裂、地表变形、边坡及仰坡稳定状态、地表水渗漏情况，同时还应对地表建（构）筑物进行观察

5.3 变形监控量测

5.3.1 变形监控量测可采用接触量测或非接触量测方法。

5.3.2 隧道净空变化量测可采用收敛计或全站仪进行。测点应埋设在表 4.3.4 规定的测线两端。

1 采用收敛计量测时，测点采用焊接或钻孔预埋。

2 采用全站仪量测时，测点应采用膜片式回复反射器作为测点靶标，靶标粘附在预埋件上。量测方法包括自由设站和固定设站两种

5.3.3 拱顶下沉量测可采用精密水准仪和铟钢挂尺或全站仪进行。测点应与隧道外监控量测基准点进行联测。测点可在隧道拱顶轴线附近通过焊接或钻孔预埋。采用全站仪量测时，测点设置及量测方法可按照第 5.3.2 条有关规定进行。

5.3.4 地表沉降监控量测可采用精密水准仪、铟钢尺或全站仪进行。基准点应设置在地表沉降影响范围之外。测点应采用地表钻孔埋设，测点四周用水泥砂浆固定。当采用常规水准测量手段出现困难时，可采用全站仪测量。

5.3.5 围岩内变形量测可采用多点位移计。多点位移计应钻孔埋设，通过专用设备读数。

5.4 应力、应变监控量测

5.4.1 应力、应变监控量测宜采用振弦式传感器、光纤光栅传感器。

5.4.2 振弦式传感器可通过频率接收仪获得频率读数，依据频率 - 量测参数率定曲线换算出相应量测参量值。

5.4.3 光纤光栅传感器可通过光纤光栅解调仪获得读数，换算出相应量测参量值。

5.4.4 钢架应力量测可采用振弦式传感器、光纤光栅传感器。传感器成对埋设在钢架的内、外侧，并应符合下列要求：

1 采用振弦式钢筋计或应变计进行型钢应力或应变测量时，应把传感器焊接在钢架翼缘内测点位置。

2 采用振弦式钢筋计进行格栅拱架应力量测时，应将格栅主筋截断并把钢筋计对焊在截断部位。

3 采用光纤光栅传感器进行型钢或格栅拱架应力量测时，应把光纤光栅传感器焊接（氩弧焊）或粘贴在相应测点位置。

5.4.5 混凝土、喷混凝土应变测量可采用振弦式传感器、光纤光栅传感器，传感器固定于混凝土结构内的相应测点位置。

5.5 接触压力量测

5.5.1 接触压力量测可包括围岩与初期支护之间接触压力、初期支护与二次衬砌之间接触压力的量测。

5.5.2 接触压力量测可采用振弦式传感器。传感器与接触面应紧密接触，传感器类型的选择应与围岩和支护相适应。

5.6 爆破振动监控量测

5.6.1 爆破振动速度和加速度监控量测可采用振动速度和加速度传感器，以及相应的数据采集设备。

5.6.2 传感器应固定在预埋件上，并应通过爆破振动记录仪自动记录爆破振动速度和加速度，分析振动波形和振动衰减规律。

5.7 孔隙水压和水量监控量测

5.7.1 孔隙水压监控量测可采用孔隙水压计进行。水压计应埋入带刻槽的测点

位置，并应采取措施确保水压计直接与水接触，通过数据采集设备获得各测点读数，并换算出相应孔隙水压力值。

5.7.2 水量监控量测可采用三角堰、流量计进行。

6 数据分析及信息反馈

6.1 一般规定

6.1.1 监控量测数据取得后应及时进行校对和整理，同时应注明开挖方法和施工工序以及开挖面距监控量测点距离等信息。

6.1.2 监控量测数据分析可采用散点图和回归分析方法。

6.1.3 信息反馈应以位移反馈为主，主要依据时态曲线的形态对围岩稳定性、支护结构的工作状态、对周围环境的影响程度进行判定，验证和优化设计参数，指导施工。

6.1.4 监控量测应确保信息传递渠道通畅、反馈及时有效。

6.2 监控量测数据分析处理

6.2.1 监控量测数据的分析处理应包括数据校核、数据整理及数据分析。

6.2.2 每次观测后应立即对观测数据进行校核，如有异常应及时补测。

6.2.3 每次观测后应及时对观测数据进行整理，包括观测数据计算、调表制图、误差处理等。

6.2.4 监控量测数据的分析应包括以下主要内容：

- 1 根据量测值绘制时态曲线。
- 2 选择回归曲线，预测最终值，并与控制基准进行比较。
- 3 对支护及围岩状态、工法、工序进行评价。
- 4 及时反馈评价结论，并提出相应工程对策建议。

6.2.5 监控量测数据可采用指数模型、对数模型、双曲线模型、分段函数、经验公式等进行分析，并预测最终值。

6.2.6 爆破振动安全允许炸药量可根据爆破振动速度按式（ 6.2.6 ）计算。

$$Q=R^3 \cdot \left(\frac{V}{K}\right)^{\frac{3}{\alpha}} \quad (6.2.6)$$

式中 Q ——安全允许炸药量，齐发爆破为总药量，延时爆破为最大一段药量 (kg)；

R ——爆破振动距离 (m)；

V ——保护对象所在地质振动安全允许速度 (cm/s)；

K, a ——与爆破点至计算保护对象间的地形、地质条件有关的系数和衰减指数，可按表 6.2.6 选取，或通过现场试验确定。

表 6.2.6 爆破区不同岩性的 K, a 值

岩 性	K	a
坚硬岩石	50~150	1.3~1.5
中硬岩石	150~250	1.5~1.8
软岩石	250~350	1.8~2.0

6.3 监控量测信息反馈及工程对策

6.3.1 监控量测信息反馈应根据监控量测数据分析结果，对工程安全性进行评价，并提出相应工程对策与建议。

6.3.2 监控量测信息反馈可按图 6.3.2 规定的程序进行。

6.3.3 施工过程中应进行监控量测数据的实时分析和阶段分析，并应符合下列要求：

1 实时分析：每天根据监控量测数据及时进行分析，发现安全隐患应分析原因并提交异常报告。

2 阶段分析：按周、月进行阶段分析，总结监控量测数据的变化规律，对施工情况进行评价，提交阶段分析报告，指导后续施工。

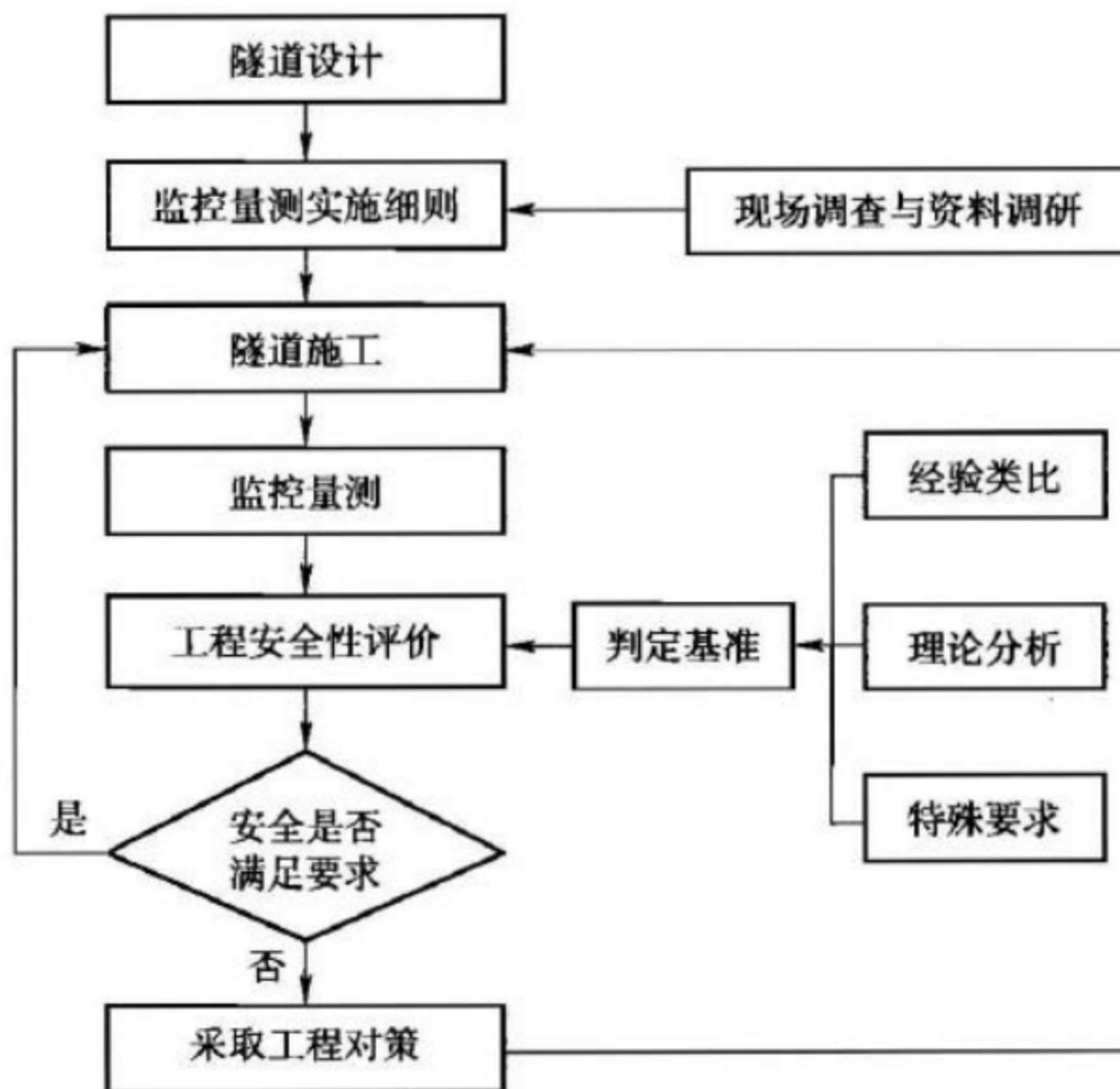


图 6.3.2 监控量测反馈程序框图

6.3.4 工程安全性评价应根据第 4.5.4 条分三级进行，并采用表 6.3.4 相应的应对措施。工程安全性评价流程见图 6.3.4。

表 6.3.4 工程安全性评价分级应对措施

管理等级	应对措施
III	正常施工
II	综合评价设计施工措施，加强监控量测，必要时采取相应工程措施
I	暂停施工，采取相应工程措施

6.3.5 根据工程安全性评价的结果，需要变更设计时，应根据有关铁路工程变更

管理办法及时进行设计变更。

6.3.6 工程对策可包括下列内容：

1 一般措施

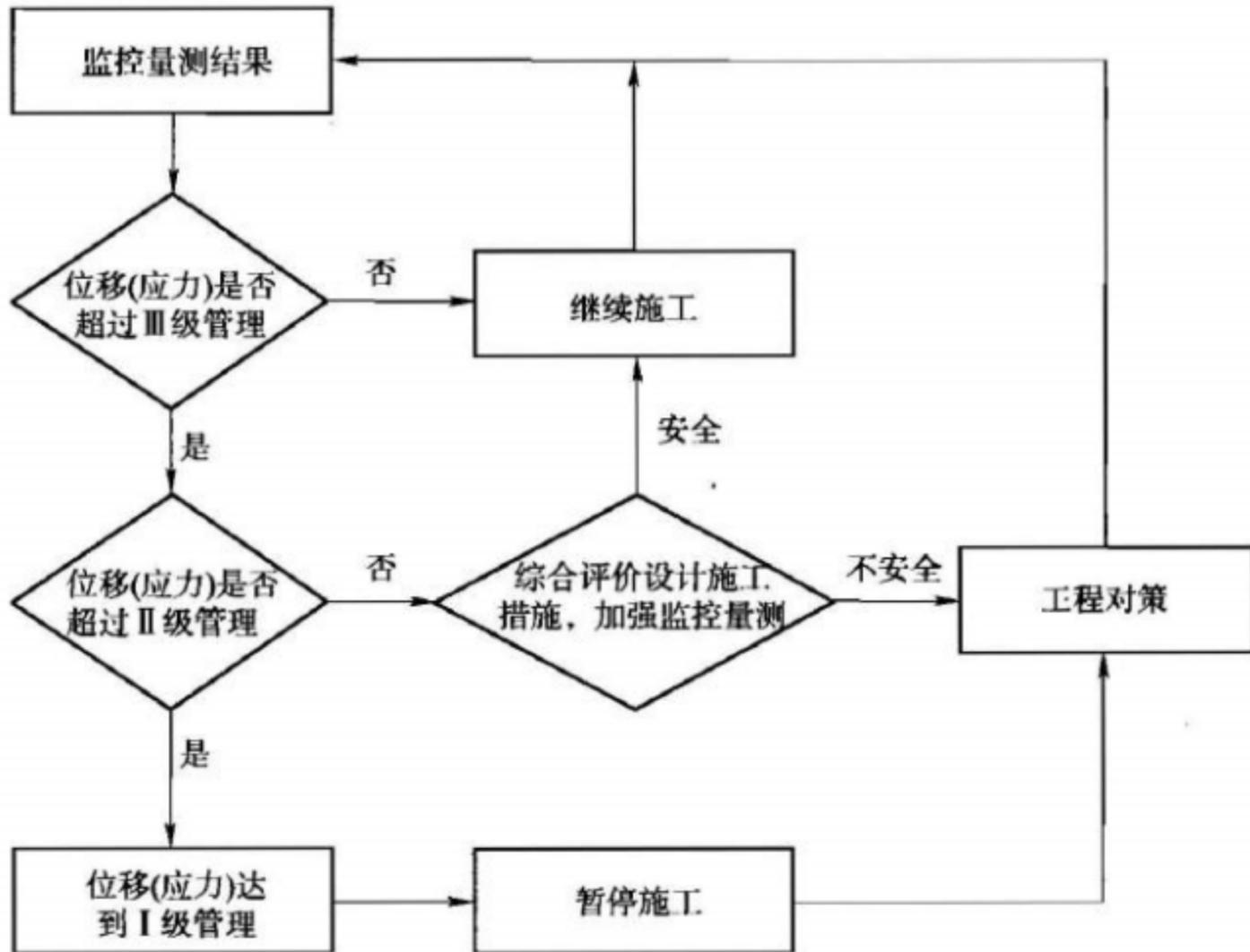


图 6.3.4 工程安全性评价流程

- 1) 稳定工作面。
- 2) 调整开挖方法。
- 3) 调整初期支护强度和刚度并及时支护。
- 4) 降低爆破振动影响。
- 5) 围岩与支护结构间回填注浆。

2 辅助施工措施

- 1) 底层预处理，包括注浆加固、降水、冻结等方法。
- 2) 超前支护，包括超前锚杆（管）、管棚、超前插板、水平高压旋喷法、预切槽法等。

7 成果资料

7.0.1 监控量测成果资料应包括以下内容：

- 1 监控量测设计。
- 2 监控量测实施细则及批复。
- 3 监控量测结果及周（月）报。
- 4 监控量测数据汇总表及观察资料。
- 5 监控量测工作总结报告。

附录 A 开挖工作面地质状况记录表

XXXXX隧道

编号:

开挖工作面里程		埋深(m)		与隧轴夹角							
地层岩性	围岩类别	设计	实际施工	饱和极限抗压强度 R_b (MPa)	板硬岩	硬岩	较软岩	软岩	极软岩	取件编号	试验编号
开挖工作面上围岩岩体结构特征		层理产状	节理裂隙	层理特征	与隧轴夹角	间距 (m)	长度 (m)	缝宽 (mm)	充填物		
		组织	产状								
		1									
		2									
		3									
		4									

结构面与隧轴轴关系图

左侧壁										右侧壁											
层理	产状	单层厚度 (m)	层面特征	与隧轴夹角	层理	产状	单层厚度 (m)	层面特征	与隧轴夹角	层理	产状	单层厚度 (m)	层面特征	与隧轴夹角	层理	产状	单层厚度 (m)	层面特征	与隧轴夹角		
侧壁围岩岩体结构特征					节理裂隙					断层					含泥砂情况						
组次	产状	间距 (m)	长度 (m)	缝宽 (mm)	充填物	与隧轴夹角	组次	产状	间距 (m)	长度 (m)	缝宽 (mm)	充填物	与隧轴夹角	组次	产状	间距 (m)	长度 (m)	缝宽 (mm)	充填物	与隧轴夹角	
1							1														
2							2														
3							3														
4							4														
断层	产状	破碎带宽度 (m)	破碎带特征	与隧轴夹角	断层	产状	破碎带宽度 (m)	破碎带特征	与隧轴夹角	断层	产状	破碎带宽度 (m)	破碎带特征	与隧轴夹角	断层	产状	破碎带宽度 (m)	破碎带特征	与隧轴夹角		
地下水	涌水位置	涌水量 [L/(min·10m)]	滴水	线状	股状	涌水位置	涌水量 [L/(min·10m)]	滴水	线状	股状	涌水位置	涌水量 [L/(min·10m)]	滴水	线状	股状	涌水位置	涌水量 [L/(min·10m)]	滴水	线状	股状	
		<10	10~25	25~125	>125																
稳定性	洞周	稳定	拱部掉块	边墙掉块	边墙坍塌	洞周 <td>稳定</td> <td>拱部掉块</td> <td>拱部坍塌</td> <td>边墙坍塌</td> <td>洞周 <td>稳定</td> <td>拱部掉块</td> <td>拱部坍塌</td> <td>边墙坍塌</td> <td>洞周 <td>稳定</td> <td>拱部掉块</td> <td>拱部坍塌</td> <td>边墙坍塌</td> </td></td>	稳定	拱部掉块	拱部坍塌	边墙坍塌	洞周 <td>稳定</td> <td>拱部掉块</td> <td>拱部坍塌</td> <td>边墙坍塌</td> <td>洞周 <td>稳定</td> <td>拱部掉块</td> <td>拱部坍塌</td> <td>边墙坍塌</td> </td>	稳定	拱部掉块	拱部坍塌	边墙坍塌	洞周 <td>稳定</td> <td>拱部掉块</td> <td>拱部坍塌</td> <td>边墙坍塌</td>	稳定	拱部掉块	拱部坍塌	边墙坍塌	
	掌子面	稳定			开挖工作面挤出	掌子面 <td>稳定</td> <td></td> <td></td> <td>开挖工作面挤出</td> <td>掌子面 <td>稳定</td> <td></td> <td></td> <td>开挖工作面挤出</td> <td>掌子面 <td>稳定</td> <td></td> <td></td> <td>开挖工作面挤出</td> </td></td>	稳定			开挖工作面挤出	掌子面 <td>稳定</td> <td></td> <td></td> <td>开挖工作面挤出</td> <td>掌子面 <td>稳定</td> <td></td> <td></td> <td>开挖工作面挤出</td> </td>	稳定			开挖工作面挤出	掌子面 <td>稳定</td> <td></td> <td></td> <td>开挖工作面挤出</td>	稳定			开挖工作面挤出	
侧壁素描										工程措施及有关参数											
										开挖工作面素描											
左侧壁					右侧壁					开挖工作面					工程措施及有关参数						

本技术规程用词说明

执行本技术规程条文时，对于要求严格程度的用词说明如下，以便在执行中区别对待

(1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；

负面词采用“严禁”。

(2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”；

负面词采用“不应”或“不得”。

(3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”；

负面词采用“不宜”。

(4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

《铁路隧道监控量测技术规程》条文说明

本条文说明系对重点条文的编制依据、存在的问题以及在执行中应注意的事项等予以说明。本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。为了减少篇幅，只列条文号，未抄录原条文。

1.0.1 监控量测即是铁路隧道设计文件的重要组成部分，也是铁路隧道施工作业中关键的重要作业环节。在铁路隧道工程中，监控量测技术获得了广泛的应用，并取得了明显的技术经济效果。但是，由于缺乏完整的、统一的技术规程，铁路隧道工程的监控量测工作，在不同程度上还存在着采用技术标准依据不足、数据处理方法选择不当、量测数据反馈不及时、记录不完整以及量测设备陈旧等问题。制定本技术规程，是为了使铁路隧道工程的监控量测设计、施工和验收有一个统一的标准，达到符合安全使用、技术先进、经济合理的要求。

1.0.2 本监控量测技术规程主要适用于采用矿上法施工的铁路隧道，采用其他工法施工的地下工程进行监控量测时尚需参照有关标准。

3.0.1 在隧道施工过程中，使用专用的仪器、设备，对围岩和支护结构的受力、变形进行观测，并对其稳定性、安全性进行评价，统称为监控量测。

在设计阶段，由设计单位对监控量测目的、监控量测项目以及测点的布置等进行设计；在施工阶段，作为施工组织设计的一个重要组成部分，纳入施工工序。制定合理而周密的现场量测细则，是保证监控量测工作有效开展的关键。隧道开工之前，施工单位根据环境条件、地质条件、设计要求、施工方法及施工进度安排等编制监控量测实施细则，确定量测项目、仪器、测点布置、量测频率、数据处理、反馈方法、组织机构及管理体系，并在施工的全过程中认真实施。

3.0.2 监控量测设计需结合具体隧道工程、水文地质条件、支护参数、施工方法和监控量测目的等进行，其内容一般包括以下几个方面：

1 监控量测项目，包括必测项目与选测项目，根据隧道特点和监控量测要求确定。

2 测点的布置原则，根据地质条件确定，并初步选取监控量测断面及测试频

率。

3 各监控量测项目的控制基准，根据隧道结构安全性和周边环境的要求以及其他相应规范、法规的要求选取。

3.0.3、3.0.4 监控量测工作是专业化较强的工作，为了确保监控量测数据的准确可靠，达到应由的精度，施工单位需成立现场监控量测小组。

现场监控量测小组由熟悉监控量测工作的人员组成，且要求人员相对固定，避免人员频繁交接，确保数据资料的连续性，现场配置专门的人员进行埋点、测试数据处理、信息反馈及仪器维修、保养工作并及时向相关部门报告监控量测结果。

监控量测纳入施工质量保证体系，确保监控量测的有效实施，做到组织管理清晰、责任明确。

3.0.5 现场监控量测工作一般按照下面的程序进行：

1 现场情况的初始调查

施工前对隧道工程的地质条件、地下水状况及施工影响区域内的周边环境进行初始调查，掌握工程特点和难点，为监控量测工作的顺利开展做好准备。

2 编制实施细则

现场监控量测小组按照监控量测设计的要求，结合初始调查结果编制实施细则，经业主、监理审查批准后实施。

3 布设测点并取得初始监测值

基准点、测点的埋设严格按照相应规范进行，以确保监控量测数据可靠。测点埋设后及时取得初始监测值。

4 现场监控量测及分析

现场监控量测工作由现场监控量测小组实施，本根据监控量测数据对隧道施工安全及结构的稳定性做出分析评价。

5 提交监控量测成果

监控量测小组一般以周报（特殊情况要形成日报）的形式提交监控量测成果（包括纸质和电子文件）。当出现异常现象时，及时反馈，以便采取相应的对策。

全隧道现场监控量测工作结束后，一般在一个月内编写出该工程的施工监控量测

总结报告。

3.0.6 现场监控量测实施细则是工程施工组织设计的重要组成部分，需上报监理、业主，经批准后正式实施，并且作为现场作业、检查、验收的依据之一，相关资料要认真保存。当现场监控量测工作由于地质条件、施工方法等因素的影响需要调整时，需报项目技术负责人审核，并经现场监理工程师批准后实施。

监控量测实施细则一般综合考虑工程特点、设计要求、施工方法、地质条件及周边环境等因素进行编制，并满足下列要求：

- (1) 确保隧道工程安全；
- (2) 对工程周围环境进行有效的保护；
- (3) 尽量降低监控量测费用；
- (4) 尽量减少对工程施工的干扰。

3.0.7 隧道监控量测工作一般在地下进行，环境条件恶劣，因而监控量测系统需具有较高的可靠性、稳定性及耐久性。监控量测仪器设备在使用前及使用过程中进行定期的检查、校对和率定，一般包括外观检验、精度检验、防水检验、应力（应变）及温度率定等。

3.0.8 现场施工过程中经常发生测点破坏的现象，使监控量测数据不连续，影响监控量测结果的准确分析。如果测点被破坏，一般在被破坏测点附近补埋。如果测点出现松动，则需及时加固，当天的量测数据无效，带测点加固后重新读取初读数。

3.0.9 监控量测数据经现场检查复核，发现异常及时进行重测。

数据的整理和维护工作由专人负责，数据在输入、处理过程中复核审查，避免出现错误。监控量测的记录、图标及文字报告要连续和完整。如有缺失，按国家、行业有关标准和本技术规程要求及时采取补救措施，并详细进行书面记录。

3.0.10 现场监控量测数据误差会影响对围岩和支护系统的安全评判，工作中需对误差进行科学分析，减小系统误差，剔除偶然误差，避免人为错误。具体方法如下：

- (1) 减小系统误差的方法

根据监控量测精度要求选择稳定性好、耐久性好的仪器。如果监控量测仪器产生的系统误差不能满足监控量测精度要求，需根据系统误差产生的原因进行修正。

(2) 控制偶然误差的方法

引起偶然误差的原因较多，如电源电压波动、仪表末位读数估读不准。环境因素干扰等，并通过加强管理，提高操作人员的技术水平控制偶然误差。偶然误差一般服从正态分布，在数据处理过程中，需进行数据统计检验。

(3) 避免人为误差（错误）的方法

由于测试人员的工作过失所引起的误差，如读错仪表刻度（位数、正负号）、测点与测读数据混淆、记录错误等，都要避免。避免人为误差措施只要有加强监控量测管理，规范监控量测工作，提高人员素质。

在数据处理时，此类误差数值一般很大，需从测量数据中剔除。

3.0.11 现场监控量测与施工作业易发生干扰，因此两者要紧密配合，妥善协调好施工和监控量测的关系。将监控量测元件的埋设计划列入工程施工进度控制计划中，施工现场及时提供工作面，创造条件保证监控量测埋设工作的正常进行；监控量测工作也要尽量减少对施工工序的影响。

此外，在施工过程中高度重视并采取有效措施，防止一切观测设备、观测测点和电缆等受到机械和人为的破坏。

4.1.1 监控量测的主要目的在于了解围岩稳定状态和支护、衬砌可靠程度，确保施工安全及结构的长期稳定性。为围岩级别变更、初期支护和二次衬砌的参数调整提供依据，是实现信息化施工不可缺少的工序，是直接为设计和施工决策服务的。

4.1.2 隧道及地下工程的客观条件千变万化，因此，每一工程有与其条件相应的监控量测设计文件。

4.1.3 对于所有应进行现场监控量测的工程，本条所列内容都包含在实施细则中，凡是设计文件设计的监控量测项目都需进行量测。

4.1.4 隧道开挖后最初一段时间的变形及应力变化很快，而且这段时间的监控量测数据对后期的最终位移及应力的预测至关重要，所以尽快读取初始读数掌握围岩及结构的最初动态是非常必要的。当现场情况与设计不符时，及时调整监控量测项目及内容。

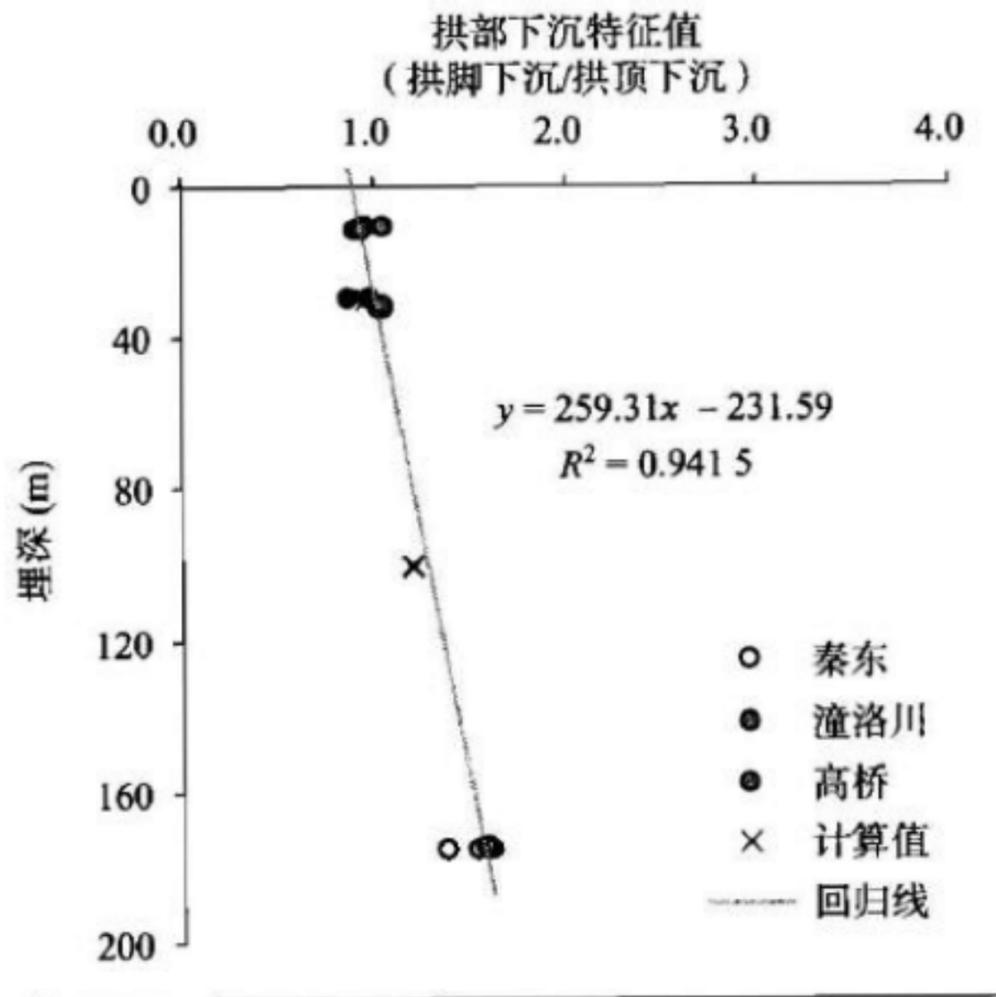
4.2.1 隧道施工监控量测旨在现场采集可反映施工过程中围岩动态的实际信息，

以判定隧道围岩和初期支护的稳定状态，分析支护结构参数和施工的合理性，为设计和施工提供依据。因此，设计文件根据隧道的特点和难点确定必测项目和选测项目的具体内容。

4.2.2 必测项目是为了在设计、施工中确保围岩的稳定，并通过判断围岩的稳定性来指导设计、施工的经常性量测，是所有隧道进行的项目。这类量测通常测试方法简单，可靠性高，费用少，而且对监视围岩稳定、指导设计施工有巨大的作用。

围岩变形乃是围岩力学形态变化最直观的表现，变形量测具有量测结果直观、测试数据可靠、量测仪表长期稳定性好、抗外界干扰性强，同时测试费用低廉的优点。因此必测项目以位移量测为首选量测项目。

不同于一般隧道主要进行净空变化量测，不良地质和特殊岩土铁路隧道尤其是大断面铁路隧道需重视拱部下沉的监测，特别是浅埋地段。大断面黄土隧道台阶法拱脚下沉显著，如说明图 4.2.2 所示，该图给出郑西客运专线秦东、潼洛川和高桥隧道台阶法试验段拱部下沉特征值（拱脚下沉/拱顶下沉）随埋深变化的情况，显示出十分显著的拱脚下沉的特征。



说明图 4.2.2 郑西客运专线三座隧道台阶法试验段拱部下沉随埋深变化特性

4.2.3 选测项目不是每座隧道都开展的工作，是对一些有特殊意义和具有代表性意义的区段进行补充测试，以求更深地掌握围岩的稳定状态与锚喷支护的效果以及工程对周围环境影响状况，指导未开挖区段的设计与施工。这类量测项目测试较为麻烦，量测项目较多，花费较大，一般只根据需要选择部分项目。

4.2.4 实践证明，开挖工作面的地质素描和数码成像对于判断围岩稳定性和预测开挖面前方的地质条件是十分重要的，必要时进行物理力学试验，获得围岩的具体力学参数，为施工阶段围岩分级和科学的信息化施工提供有效的参考依据。在进行地质素描及数码成像的时候，工作面需有良好的照明和通风条件，以保证地质素描及数码成像的效果。

4.2.5 初期支护状态的观察和裂缝描述，对直接判断围岩的稳定性和支护参数的检验是不可缺少的。注意观测初期支护的变形以及渗水情况，及时发现及时治理，避免工程事故的发生。

4.3.1、4.3.2 对于浅埋或超浅埋隧道，隧道横断面方向的地表下沉量测边界在隧道开挖影响范围以外，并在开挖影响范围以外设置基准点。

地表下沉量测的测点布设在由设计确定的特别重要的施工地段，包括地表有建（构）筑物地段。对施工中地表发生塌陷并经修补过的地段，以及预先探测到地中存在构筑物或空洞的施工地段，测点应尽量接近构筑物或空洞上方。

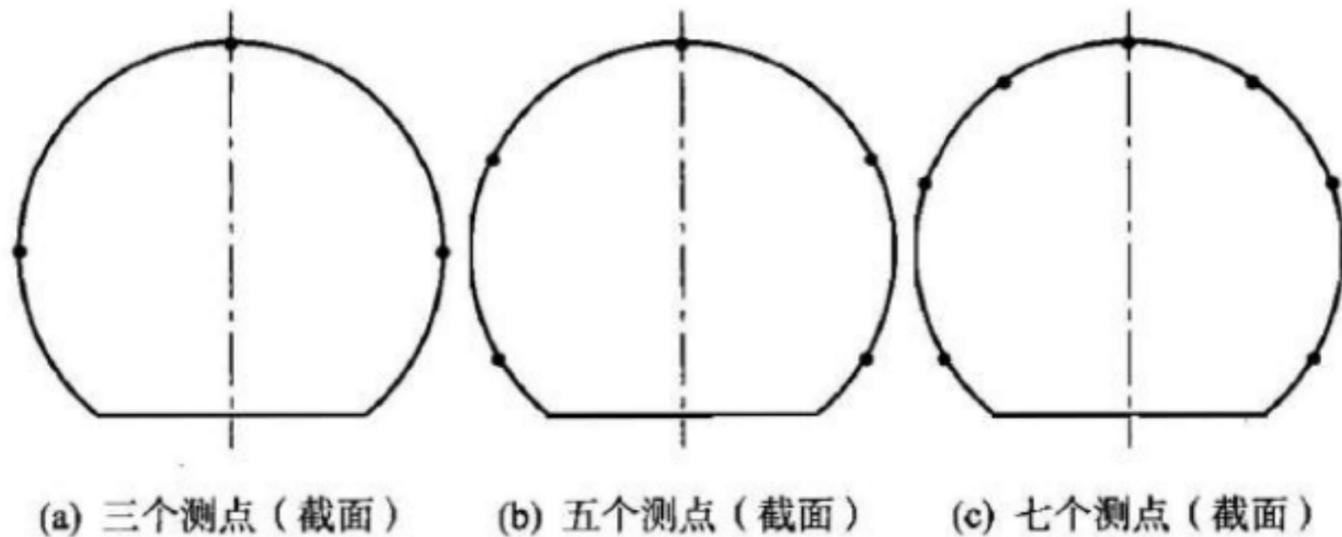
4.3.3、4.3.4 净空位移量测、拱顶下沉量测原则上是在同一断面上进行，而且其他量测项目也设置在同一断面上。但因围岩及开挖方法、隧道内管线位置等原因，可以适当调整。净空变化量测以水平测线量测为主，必要时设置斜测线（如洞口附近、浅埋区段、偏压或膨胀性围岩区段、拱顶下沉位移量大的区段），斜测线的设置有助于了解垂直方向的位移变化情况；当与解析法一起综合判断时，最好也布置斜测线。

部分开挖法临时支护拆除后，继续进行拱顶下沉和净空变化量测时，测线按全断面开挖法布置。

4.3.5 选测项目的断面间距视需要而定，或在有代表性的地段选取若干测试断面。凡是地质条件差、隧道开挖断面积大、施工工序复杂的重要工程，布点适当加密。为了尽早对隧道设计参数、施工方法、制定的监控基准等进行评价，在设置有选测项目

的隧道区段尽早进行布点。

4.3.6 选测项目表 4.2.3 中 1~5 项的测点布置实例参见说明图 4.3.6。喷混凝土内力、钢架内力、二次衬砌内力、围岩压力、初期支护与二次衬砌间接触压力量测每断面一般设置 3~7 个测点(截面),如有需要可增加测点(截面)。测点(截面)布



置在拱顶、拱腰及边墙等部位。围岩内部位移每断面一般采用 3~5 个钻孔,分布在边墙和拱部。锚杆轴力量测在实际锚杆位置布置测点。围岩内部位移量测位置靠近净空位移测点,以便数据互相验证。

采用分部施工的隧道,如有需要可在临时支护上布置测点。

说明图 4.3.6 选测项目的测点布置示例

测点如果被破坏,在被破坏测点附近补埋。如果测点出现松动,则及时加固,加固当天的量测数据无效,待测点加固后重新读取初读数。

4.4.1 必测项目量测频率一般根据测点距开挖面的距离及位移速度分别确定,然后取两者中较高者作为实际量测频率。在塑性流变岩体中,位移长期(开挖后 2 个月以上)不能变化 2,量测要继续要每月为 1mm 为止。

4.4.3 没有特殊要求的情况下,选测项目可以采用和必测项目相同的量测频率。

4.5.1 监控量测的主要目的是确保隧道施工安全性和结构的长期稳定性,根基这一目的,同时考虑周围建(构)筑物特点和重要性,综合隧道所处的地质条件和施工方法等多方面因素,制定监控量测基准。该基准根基隧道施工情况,不断完善。

4.5.2 关于隧道初期支护极限相对位移说明如下:

(1)条文中表 4.5.2 —1 和表 4.5.2 —2 摘自《铁路隧道设计规范》 TB10003—2005 表 F.0.2 和表 F.0.3 。

(2)对于跨度大于 12m铁路隧道，目前还没有统一的位移判定基准。说明表 4.5.2 取自《锚杆喷射混凝土支护技术规范》 GB50086—2001 对隧道周边允许位移相对值得规定。

说明表 4.5.2 隧道周边允许位移相对值 (%)

围岩级别	埋深 $h(m)$		
	$h < 50$	$50 \leq h \leq 300$	> 300
Ⅲ	0.10~0.30	0.20~0.50	0.40~1.20
Ⅳ	0.15~0.50	0.40~1.20	0.80~2.00
Ⅴ	0.20~0.80	0.60~1.60	1.00~3.00

- 注：1 周边位移相对值系指两测点间实测位移累计值与两侧点距离之比，两测点间的位移值也称为变化值
- 2 脆性围岩取表中较小值，塑性围岩取表中较大值。
- 3 本表适用于搞垮比 0.8~1.2 的下列地下工程：
 Ⅲ 级围岩跨度不大于 20m；
 Ⅳ 级围岩跨度不大于 15m；
 Ⅴ 级围岩跨度不大于 10m。
- 4 I、II 级围岩中进行量测的地下工程，以及 Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ 级围岩在表注 3 范围之外的地下工程应根据实测数据的综合分析或工程类比方法确定允许值。

三车道公路隧道模型试验表明，当隧道埋深在 250m左右时，隧洞周边允许位移相对值为：对于 Ⅲ 级围岩，拱顶为 0.27%，水平为 0.13%；对于 Ⅳ 级围岩，拱顶为 0.46%，水平为 0.12%；对于 Ⅴ 级围岩，拱顶为 0.60%，水平为 0.10%。

(3)条文中表 4.5.2 —3 摘自《铁路黄土隧道技术规范》 Q/CR9511—2014 表 8.5.2 。黄土隧道围岩分级是在《铁路隧道设计规范》 TB10003—2005 围岩分级基础上，结合黄土的塑性状态、均匀程度和完整程度等指标，对大、特大跨度黄土隧道围岩分级中的 Ⅳ、Ⅴ 级围岩再细分到亚级，分别为 Iva、Ivb 和 Va、Vb。说明表 4.5.3 取自《铁路黄土隧道技术规范》 Q/CR 9511—2014 第 3.6 节。

说明表 4.5.3 黄土隧道围岩分级表

围岩分级		黄土类型	围岩主要工程地质特征	围岩开挖后的稳定状态 (跨度≤12 m)	围岩剪切波速 Vs(m/s)
IV	IV _a	老黄土 (Q ₁ 、Q ₂)	坚硬为主;钙质含量高,局部成层,土质紧密;节理不发育—较发育	拱部无支护时掉块、坍塌;侧壁有时失稳	>250
	IV _b		硬塑为主;钙质结核零星分布,土质较紧密;节理不发育—较发育		
V	V _a	新黄土 (Q ₃ 、Q ₄)	坚硬—硬塑;土质较疏松;陷穴及节理不发育	拱部和侧壁易坍塌,处理不当会出现大坍塌;浅埋时易出现地表下沉(陷)或塌至地表	150~250
		老黄土 (Q ₁ 、Q ₂)	硬塑—软塑;钙质含量少,土质较疏松;节理较发育—发育		
	V _b	新黄土 (Q ₃ 、Q ₄)	硬塑—软塑;土质疏松;陷穴及节理较发育—发育		
VI			软塑—流塑;多呈易蠕动的松软结构	极易坍塌、变形;易出现地表下沉(陷)或塌至地表	≤150

注：1 大、特大跨度黄土隧道当黄土塑性指数 $I_p \leq 10$ 时，可视情况降低 1 个亚级

2 当洞身位于地下水位以下时，可视情况降低 1 级或 1 个亚级；

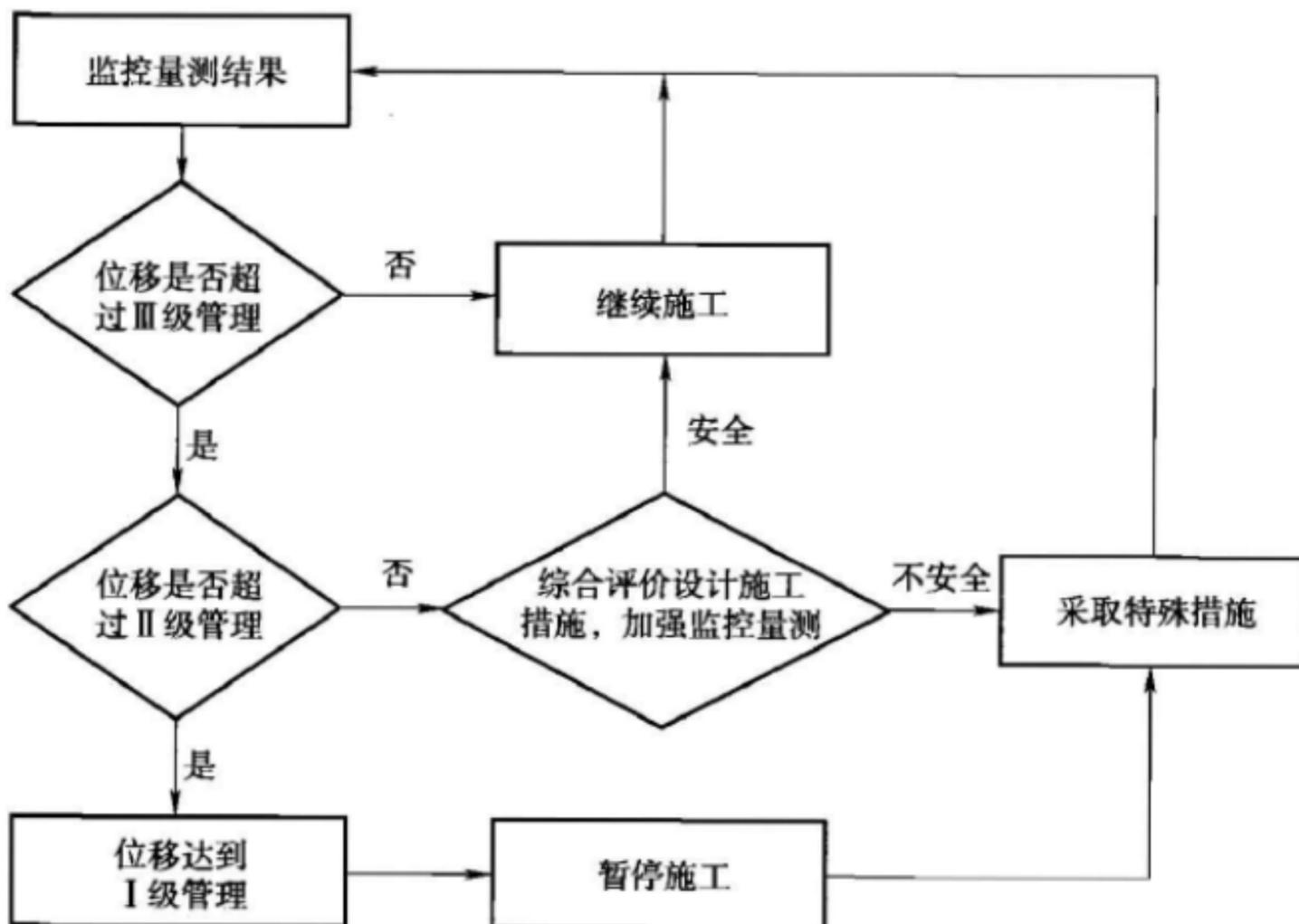
3 浅埋地段围岩级别可视情况降低 1 级或 1 个亚级；

4 当有 2 个以上符合上述款项规定的因素时，不应简单叠加，需结合地质条件经综合分析后视情况对隧道围岩进行修正；

5 黄土塑性状态的划分：坚硬 $I_L \leq 0$ ；硬塑 $0 < I_L \leq 0.5$ ；软塑 $0.5 < I_L \leq 1$ ；流塑 $I_L > 1$ 。

4.5.3 研究表明，在距工作面 1B 和 2B 处的位移值分别占规定的允许位移量的 65%和 90%左右，距开挖面较远时围岩和初期支护变形基本稳定。按表 4.5.3 所确定的控制基准使隧道开挖的每个阶段都有相应的位移控制基准与之相适应。

4.5.4 位移管理等级的应用实例参见说明图 4.5.4。



说明图 4.5.4 根据位移管理等级进行反馈管理框图

4.5.5 地表沉降控制基准根据隧道施工安全性和隧道周围建（构）筑物的安全要求（见说明表 4.5.5，摘自《基坑工程手册》）分别确定，取两者中的最小值。

说明表 4.5.5 建筑物在不同沉降差下的反应

建筑结构类型	δ/L (L 为建筑物长度, δ 为差异沉降)	建筑物反应
1. 一般砖墙承重结构, 包括有内框架的结构, 建筑物长高比小于 10; 有圈梁; 天然地基	达 1/150	分隔墙及承重砖墙发生相当多的裂缝, 可能发生结构性破坏

续说明表 4.5.5

建筑结构类型	δ/L (L 为建筑物长度, δ 为差异沉降)	建筑物反应
2. 一般钢筋混凝土框架结构	达 1/150	发生严重变形
	达 1/500	开始出现裂缝
3. 高层刚性建筑(箱形基础、桩基)	达 1/250	可观察到建筑物倾斜
4. 有桥式行车的单层排架结构的厂房天然地基或桩基	达 1/300	桥式行车运转困难, 不调整轨面水平难运行, 分隔墙有裂缝
5. 有斜撑的框架结构	达 1/600	处于安全极限状态
6. 一般对沉降差反应敏感的机器基础	达 1/850	机器使用可能会发生困难, 处于可运行的极限状态

注：1 框架结构有多种基础形式，包括现浇单独基础、现浇片筏基础、现浇箱型基础、装配式单独基础、装配式条形基础以及桩基、不同基础形式的框架对沉降差得反应也不同，上表只提出了一般框架结构对差异沉降的反应，因此对重要框架结构在差异沉降下的反应，还要仔细调研其基础形式和使用要求，以确定允许的差异沉降量。

2 各种基础形式的高耸烟囱、化工塔罐、气柜、高炉、塔桅结构（如电视塔）、剧院、会场空旷结构等特别重要的建筑设施要作专门调研，以明确允许差异沉降值。

3 内框架（特别是单排内框架）和底层框架（条形或单独基础）的多层砌体建筑结构，对不均匀沉降很敏感，亦应当专门调研。

4.5.6 钢架应力不大于钢材的容许应力；喷混凝土内力和二次衬砌内力按《铁路隧道设计规范》TB 10003—2005 第 11.1.1 条规定的安全系数进行判定；围岩压力及初期支护与二次衬砌间接触压力，应先换算成内力，再按《铁路隧道设计规范》TB10003—2005 第 11.1.1 条规定的安全系数进行判定；锚杆应力小于钢材的容许应力。

4.5.7 参见《爆破安全规程》GB 6722—2003 有关规定。

4.5.8 大断面隧道采用 CD法、CRD法、双侧壁导坑法等分部开挖法时，分别设立全断面位移监控基准和管理水平以及各施工部位位移监控基准和管理水平，要充分考虑各个施工部之间的相互影响。

4.5.9 根据日常监控量测所收集到的数据，绘制位移时态曲线。当位移曲线出现急剧增长或数据上下波动较大时，说明围岩与支护结构处于不稳定状态，需加强监

控量测。当曲线趋与平缓，数据变化不大，且位移总量没有超过控制基准时，说明围岩与支护结构处于稳定状态。

4.5.10 二次衬砌和仰拱的施作时间直接影响到衬砌结构的受力状态和安全稳定性，过早施作会使二次衬砌承受较大的围岩压力，过晚又不利于初期支护的稳定。因此，在施工中进行监控量测，及时掌握围岩和支护的变化规律，确定二次衬砌和仰拱的施作时间，使衬砌结构安全可靠。对浅埋、软弱围岩等特殊地段，单靠工程类比法进行设计时，不能保证设计的可靠性和合理性，所以根基工程现场的实际具体情况，依据现场监控量测提供的有效资料，确定二次衬砌的施作时间，以保证二次衬砌受力合理、安全、可靠、耐久。

4.6.1 由于采用的测试仪器不同，量测精度也不同。本条文规定的测试精度为测试的最低精度。

4.6.2 元器件除了要满足表 4.6.2 的精度要求外，还要根据隧道实际情况，确定其量测。由于元器件埋设于隧道内，施工影响大，环境条件差，因此要求元器件具有良好的防震、防水、防腐性能。

5.1.3 现场监控量测的方法和手段，根据隧道的重要性等级、规模大小，同时还考虑国内外量测仪器的现状来选用。一般尽量选择简单可靠、耐久、经济、稳定性能好，被测量的物理量概念明确，有足够大的量程，便于进行分析和反馈的测试仪器。

5.2.1、5.2.2 在隧道工程中，开挖前的地质勘探工作有很难提供准确的地质资料，所以有必要再隧道每次开挖后进行细致的管擦，通过观察可获得与围岩稳定有关的直观信息，可以预测开挖面前方的地质条件，根据喷层表面状态及锚杆的工作状态，分析支护结构的可靠程度。开挖工作面观察在每次开挖后进行。观察中发现围岩条件恶化时，立即采取相应处理措施；观察后及时绘制开挖工作面地质素描图，同时进行数码成像，填写开挖工作面地质状况记录表（附录 A），并与勘查资料进行对比。

（1）对开挖后没有支护的围岩进行观察，主要是为了解开挖工作面下列的工程地质和水文地质条件：

岩质种类和分布状态，结构面位置的状态；

岩石的颜色、成分、结构、构造；

地层时代归属及产状；

节理性质、组数、间距、规模、节理裂隙的发育程度和方向性，结构面状态特征，充填物的类型和产状等；

断层的性质、产状、破碎带宽度、特征等；

地下水类型，涌水量大小，涌水位置，涌水压力，湿度等；

开挖工作面的稳定状态，有无剥落现象。

(2) 对已施工地段的观察每天至少应进行一次，其目测内容如下：

初期支护完成后对喷层表面的观察以及裂缝状况的描述和记录，要特别注意喷混凝土是否发生剪切破坏；

有无锚杆脱落或垫板陷入围岩内部的现象；

钢拱架有无被压屈。压弯现象；

是否有底鼓现象。

观察到的有关情况 and 现象，要详细记录，并绘制隧道开挖工作面积两侧素描图，要求每个断面至少绘制 1 张，同时进行数码成像。

观察中如果发现异常现象，要详细记录发现时间、距开挖工作面的距离等。

5.3.1 传统的接触量测方法具有成本低、简便可靠、能适应恶劣环境等优点，但对施工干扰大，测量速度慢，越来越难以满足要求。非接触量测具有对施工干扰小、测量速度快，特别是对于大跨度隧道更能显示出其方便、快速、灵活、适应性强的优点，克服了传统的接触量测方法的缺点，并可以进行隧道变化位移量测和隧道内测点三维位移量测。对于大跨隧道，优先考虑非接触量测。

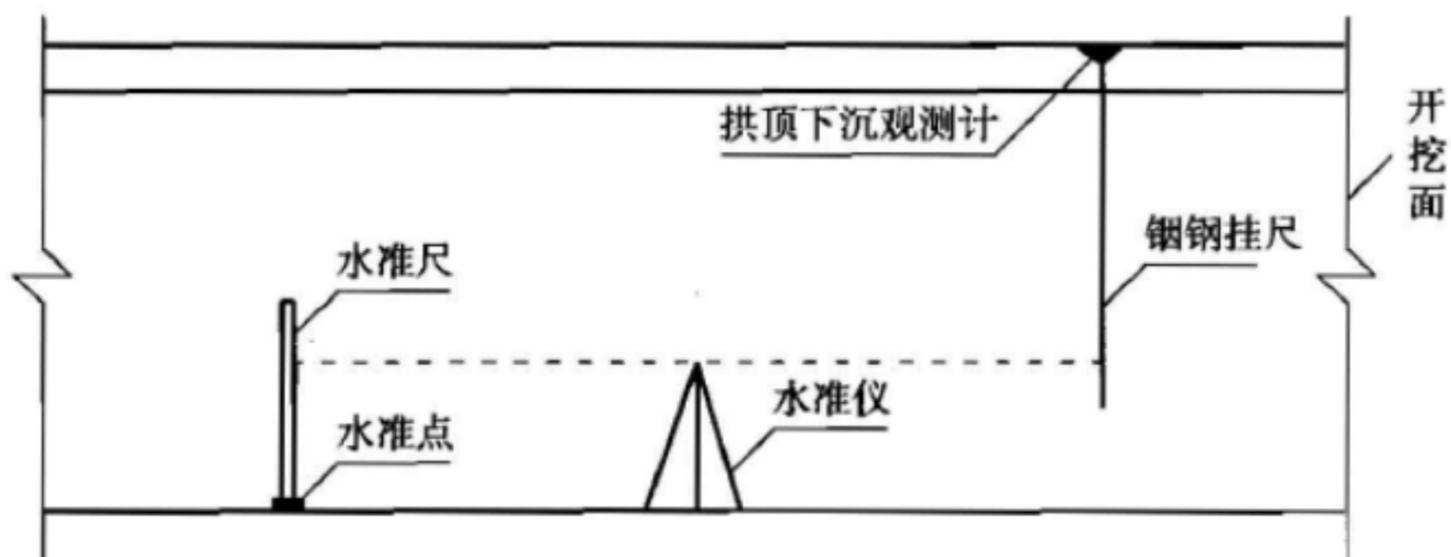
5.3.2 目前隧道变化量测可采用接触量测和非接触量测两种方法，其中接触量测主要用收敛剂进行量测，非接触量测则主要用全站仪进行。

用收敛剂进行隧道净空变化量测方法相对比较简单，即通过布设于洞室周边上两固定点，每次测出两点的净长 L ，求出两次量测的增量（或减量） ΔL ，即为此处净空变化值。读数时读三次，然后取其平均值，具体记录表格见附录 B。

用全站仪进行隧道净空变化量测方法包括自由设站和固定设站两种。与传统的接触量测的主要区别在于，非接触量测的测点采用一种膜片式回复反射器为测点靶

标，以取代价格昂贵的圆棱镜反射器。具有回复反射性能膜片形如塑料胶片，其正面由均匀分布的微型棱镜和透明塑料薄膜构成，反面涂有压敏不干胶，它可以牢固地粘附在构建表面上，这种反射膜片，大小可以任意剪裁，价格低廉。反射膜片贴在隧道测点处的预埋件上，在开挖面附近的反射膜片，需采取一定的措施对其进行保护，以免施工时反射膜片表面被覆盖或污染，同时施工单位和监控量测单位加强协调工作，保证预埋件不被碰歪和碰掉。通过对比不同时刻测点的三维坐标 $[x(t), y(t), z(t)]$ ，可获得该测点在该时段的三维位移变化量（相对于某一初始状态），在三维位移矢量监控量测时，保证后视基准点位置固定不动，并定期校核，以保证测量精度。与传统接触式监控量测方法相比，该方法能够获取测点更全面的三维位移数据，有利于结合现行的数值计算方法进行监控量测信息的反馈，同时具有快速、省力、数据处理自动化程度高等特点。

5.3.3 拱顶下沉量测同位移变化量测一样，都是隧道监控量测的必测项目，最能直接反映围岩和初期支护的工作状态。目前拱顶下沉量测大多数采用精密水准仪和钢筋挂尺等。拱顶下沉监控量测测点的埋设，一般在隧道拱顶轴线处设 1 个带钩的测桩（为了保证量测精度，常常在左右各增加一个测点，即埋设三个测点），吊挂钢筋挂尺，用精密水准仪量测隧道拱顶绝对下沉量。可用 $\phi 6$ 钢筋弯成三角形钩，用砂浆固定在围岩或混凝土表层。测点的大小要适中，过小，测量时不易找到；过大，爆破易被破坏。支护结构施工时要注意保护测点，一旦发现测点被埋掉，要尽快重新设置，以保证数据不中断。拱顶下沉量测示意图如说明图 5.3.3 所示。



说明图 5.3.3 拱顶下沉量测示意图

拱顶下沉量的确定比较简单，即通过测点不同时刻相对标高 h ，求出两次量测的差值 Δh ，即为该点的下沉值。读数时读三次，然后取其平均值。具体记录表格见附录 C。

拱顶下沉量测也可以用全站仪进行非接触量测，特别对于断面高度比较高的隧道，非接触量测更方便，其具体量测方法跟三维位移量测方法类似。

5.3.4 地表下沉量测一般用精密水准仪和钢钢尺进行测量，量测结果能反映浅埋隧道开挖过程中地表变形的全过程，其量测精度一般为 $\pm 1\text{mm}$ 。浅埋隧道地表下沉量测的重要性，随隧道埋深变浅而增大，如说明表 5.3.4 所示。

说明表 5.3.4 地表沉降量测的重要性

埋深	重要性	测量与否
$3B < H$	小	不必要
$2B < H < 3B$	一般	最好量测
$B < H < 2B$	重要	必须量测
$H < B$	非常重要	必须列为主要量测项目

注： B 为隧道直径， H 为隧道埋深。

地表下沉量测断面一般与洞内周边位移和拱顶下沉量测设置在同一断面，当地表有建筑物时，在建筑物周围增设地表下沉观测点。在隧道纵向（隧道中线方向）至少布置一个纵向断面。在横断面上至少布置 11 个测点，两测点的距离为 2m~5m。在隧道中线附近测点布置密些，远离隧道中线疏些。

地表下沉量测方法和拱顶下沉量测方法相似，即通过测点不同时刻标高 h ，求出两次量测的差值 Δh ，即为该点的下沉值。需要注意的是，参考点（基准点）设置在工程施工影响范围以外，以确保参考点（基准点）不下沉，并在工程开挖前对每一个测点读取初始值。一般在距离开挖面方向 $H+h$ 处（ H 为隧道埋深， h 为隧道开挖高度）就对相应测点进行超前监控量测，然后随着工程的进展按一定的频率进行监控量测。在读数时各项限差严格控制，每个测点读数误差不超过 0.3mm，对不在水准路线上的观测点，一个测站不超过 3 个，超过时重读后视点读数，以作核对。首次观测时，对测点进行连续三次观测，三次高程之差小于 $\pm 1.0\text{mm}$ ，取平均值作为初始值。

当所测底层表面立尺比较困难时，可以在预埋的测点表面粘贴膜片式反射器作

为测点靶标，然后用全站仪进行非接触量测。

5.3.5 为了判断开挖后围岩的松动区、强度下降区以及弹性区的范围，确定围岩位移随深度变化的关系和判断锚杆长度是否适宜，以便确定合理的锚杆长度，有必要对围岩内变形进行监控量测。

围岩内变形量测的设备主要使用位移计，它可量测隧道不同深度处围岩位移量，近几年位移计被广泛应用于地下空间围岩稳定性监控量测中。在位移计的选择上，注意以下几点：

- (1) 安装、量测方便，性能稳定可靠；
- (2) 能较长期进行监控量测；
- (3) 造孔方便（孔径 $\phi 40 \sim 50 \text{ mm}$ ），安装及时；
- (4) 锚头抗振，能适应各类围岩，也可在土层中锚固；
- (5) 精度能够满足生产、科研的要求；
- (6) 价格合理。

位移计按测试装置的工作原理可分为电测式位移计和机械式位移计。电测式位移计实测方便，操作安全，能够遥控，适应性强，灵敏度高；但受外界干扰较大，读数易受多种因素的综合影响，稳定性较差且费用较高。目前较多采用机械式位移计。

按位移计可以测取位移量的个数多少，位移计可分为单点位移计和多点位移计，单点位移计只能量测围岩内某一深度处的位移量，而多点位移计可在围岩内部不同深度处埋设多个测点，同时量测围岩内不同深度处的位移量，在工程实践中多点位移计应用较广。每个位移测点均由锚头、位移传递杆和测量端头组成。基准面板上有几个位移测点的锥形测孔，测量时将专用百分表插入基准面板的锥形孔内，插稳之后即可读数，每个测孔测量三次，最大差值小于 0.01 mm 时取其平均值记入表中。

5.4.1 应力、应变监控量测是属于选测项目，具体监控量测内容根据监控量测设计而定，目前应力、应变监控量测主要采用振弦式、光纤光栅等传感器。在一般施工监控量测中主要以振弦式传感器为主。但如果要对重大隧道进行长期监控量测（如海底隧道）或隧道所处地下水腐蚀性较强，则采用光纤传感器进行现场监控量测，光纤传感器相对于传统的振弦传感器具有抗腐蚀性强、无源量测等优点。

5.4.5 为了解二次衬砌混凝土的应力状态，掌握喷射混凝土受力状况，有必要对喷射混凝土和二次衬砌模筑混凝土进行应力量测。

混凝土应变计是量测混凝土应力的常用仪器，量测时将应变计埋入混凝土内，通过频率测定仪测出应变计振动频率，然后从事先标定出的频率 - 应变曲线上求出应变，再转求应力。

当用光纤光栅传感器进行混凝土应变量测时，则将传感器成对的埋入混凝土内，通过光纤光栅解调仪获得不同时刻的波长，然后再把波长转换为混凝土的应变值，求出应力。

测定混凝土应力时，不论采用哪一种量测法，均根据具体情况和要求，定期进行测量，每次每个测点的测量不小于三次，力求测量数据可靠、稳定，并做好原始记录。

5.5.1 、 5.5.2 为了了解围岩压力的量值及分布状态，判断围岩稳定性，分析二次衬砌安全性，有必要对围岩与初期支护之间接触压力以及初期支护与二次衬砌之间接触压力进行监控量测。接触压力量测仪器根据测试原理和结构分为液压式测力计和电测式测力计。液压式测力计的优点是结构简单、可靠，现场直接读数，使用比较方便；电测式测力计的优点是测量精度高，可远距离和长期观测。目前使用最为普遍的是振弦式压力盒，属电测式测力计。在埋设压力和时，要求解除紧密，防止接触不良。埋设好压力盒后应将其电缆统一编号，并集中放置于事先设计好的铁箱内，以免在施工过程中被压断、拉断。观测时，根据具体情况及要求，定期进行测量，每次每个压力盒的读数不少于三次，力求测量数值可靠、稳定，并做好原始记录。

5.6.1 一般量测测点三个方向的振动速度或加速度分量，采用爆破振动记录仪自动记录。

5.7.1 孔隙水压监控量测一般采用孔隙水压计，其埋设方法与土压力盒基本相同，可采用挂布法、顶入法、弹入法、埋置法和钻孔法。

6.1.1 在资料整理过程中，注明监控量测时工作面施工工序和开挖工作面距监控量测断面的距离，以及工程的具体条件（如埋深、地质条件、支护参数等），以便分析不同埋深、地质条件、支护参数等条件下各施工工序、时间、空间与监控量测数据的关系。

6.1.2 现场监控量测所得的数据（包括监控量测日期、时刻、温度等）及时绘制成位移时态曲线图（或散点图），以便于分析监控量测数据的变化规律及变化趋势。图中纵坐标表示位移量，横坐标表示时间。

由于偶然误差的影响使监控量测数据具有离散性，根据实测数据绘制的位移随时间而变化的散点图出现上下波动，很不规则，难以据此进行分析，需应用数学方法对监控量测所得的数据进行回归分析，找出位移随时间变化的规律，以判断围岩和支护结构的稳定，为优化设计并指导施工提供科学依据。

6.1.4 由于现场开挖、支护的过程是连续、循环进行的，所以信息反馈需及时，否则容易影响施工进度或者把险情漏掉造成严重后果，因此施工过程保证信息反馈传递渠道畅通，确保信息反馈的及时性及有效性。

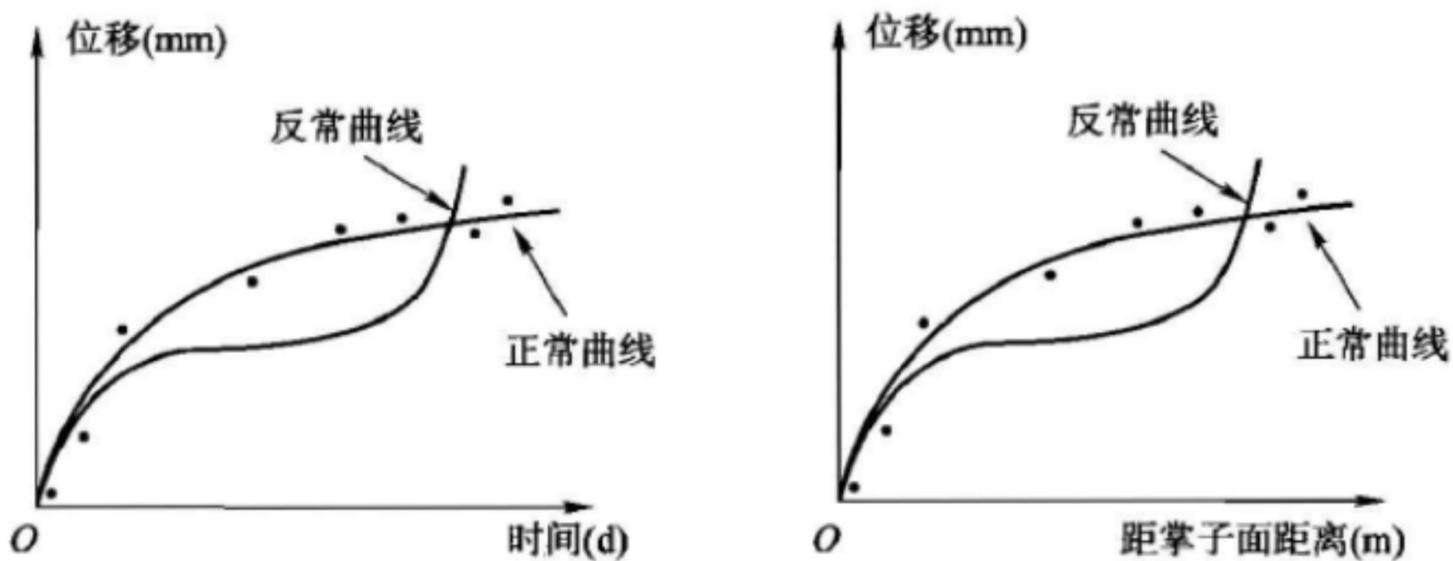
6.2.1 监控量测资料的分析处理是信息反馈的基本工作。首先对监控量测数据进行校核，对监控量测数据需进行可靠性分析，排除仪器、读数等操作过程中的误差，剔除和识别各种粗大、偶然和系统性误差，避免漏测和误测，切实保证监控量测数据的可靠性和完整性；其次，要对监控量测数据进行整理，包括各种物理量计算、图标制作，如物理量的时间速率曲线与空间分布图的绘制等；最后是数据分析，分析通常采用比较法、作图法和数值计算等，分析各监控量测物理量值大小、变化规律、发展趋势。

6.2.2 在现场的监控量测过程中，加强数据的准确性，观测后在现场及时计算、校核，如果有异常现象，需重新进行观测、校核，直至取得可靠数据。

6.2.3 每次观测后立即对数据进行计算、整理，打印相关监控量测报表，并根据数据绘制散点图，在这些图表中在对应位置标出相应的施工工况，以便分析时间效应和空间效应的影响。

6.2.4 首先根据监控量测数据绘制时间 - 位移散点图和距离 - 位移散点图，如说明图 6.2.4 所示。然后根据散点图的数据分布状况，选择合适的函数进行回归分析，对最大值（最终值）进行预测，并与控制基准值进行比较，结合施工工况综合分析围岩和支护结构的工作状态。如果位移曲线正常，说明围岩处于稳定状态，支护系统是有效、可靠的；如果位移反常的急骤增长现象（出现了反弯点），表明围岩和支护已呈

不稳定状态，需立即采取相应的工程措施。



说明图 6.2.4 时间 -位移曲线和距离 -位移曲线

6.2.5 对位移监控量测结果进行回归分析，预测该测点可能出现的最终值及影响范围，以评估结构或建筑物的安全状况，必要时据此优化施工方法。常用的回归函数有以下几类：

(1) 位移历时回归分析一般采用如下模型：

指数模型：

$$U = Ae^{-B/t} \quad (\text{说明 } 6.2.5-1)$$

$$U = A(e^{-B/t} - e^{-Bt_0}) \quad (\text{说明 } 6.2.5-2)$$

对数模型：

$$U = A \lg[(B+t)/(B+t_0)] \quad (\text{说明 } 6.2.5-3)$$

$$U = A \lg(1+t) + B \quad (\text{说明 } 6.2.5-4)$$

双曲线模型：

$$U = t/(A+Bt) \quad (\text{说明 } 6.2.5-5)$$

式中 U ——变形值（或应力值）；

A, B ——回归系数；

t, t_0 ——测点的观测时间（d）。

(2) 由于地下工程（隧道）开挖过程中地表纵向沉降、拱顶下沉及净空变化等

位移受开挖工作面的时空效应的影响，多采用指数函数进行回归分析。多数情况下，单个曲线进行回归时不能全面反映沉降历程，通常采用以拐点为对称的两条分段数函数进行回归分析。

$$\left. \begin{aligned} S &= A[1 - e^{-B(x-x_0)}] + U_0 & (x > x_0) \\ S &= -A[1 - e^{-B(x-x_0)}] + U_0 & (x \leq x_0) \end{aligned} \right\} \quad (\text{说明 } 6.2.5-6)$$

$$S = A(1 - e^{-Bx}) \quad (x \geq 0) \quad (\text{说明 } 6.2.5-7)$$

式中 **A, B**——回归参数；

x——距开挖面的距离；

S——距开挖面 **x** 处的地表沉降；

x₀, U₀——拐点 **x₀** 处的沉降值 **U₀**。

根据经验，对于地表纵向沉降回归分析一般采用式（说明 6.2.5—6）；拱顶下沉、净空变化一般采用式（说明 6.2.5—7）。对式（说明 6.2.5—7），理论上讲，当 **x** 较小时，**S** 趋于 0；若 **S** 不趋于 0，需考虑监控量测结果的可靠性。

（3）地表沉降横向分布规律采用 Peck 公式：

$$S(x) = S_{\max} e^{-\frac{x^2}{2i^2}} \quad (\text{说明 } 6.2.5-8)$$

$$S_{\max} = \frac{V_1}{\sqrt{2\pi} i} \quad (\text{说明 } 6.2.5-9)$$

$$i = \frac{H}{\sqrt{2\pi} \tan\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)} \quad (\text{说明 } 6.2.5-10)$$

式中 **S(x)**——距隧道中线 **x** 处的沉降值（mm）

S_{max}——隧道中线处最大沉降值；

V₁——地下工程单位长度地层损失（m³/m）；

i——沉降曲线变曲点；

H——隧道埋深。

6.3.1 信息反馈有理论方法和经验方法，目前仍以经验方法为主，其主要目的是：

(1) 判定围岩是否稳定，支护措施是否安全，施工方法是否恰当；

(2) 在保证安全的前提下，支护是否经济，必要时调整支护设计。

6.3.2 监控量测反馈程序贯穿于整个施工全过程。

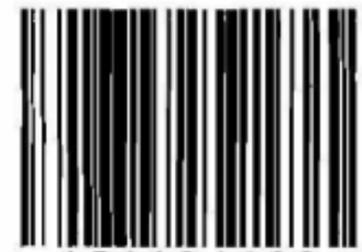
6.3.3 在施工过程中进行监控量测数据的分析分为实时分析和阶段分析，均以报告形式反馈。

1 实时分析：每天根据监控量测数据，分析施工对结构和周边环境的影响，发现安全隐患及时采取措施；实时分析一般采用日报表形式。

2 阶段分析：经过一段时间后，根据大量的监控量测数据及相关资料等进行综合分析，总结施工对周围底层影响的一般规律，指导下一阶段施工。阶段分析一般采用周报、月报形式，或根据工程施工需要不定期进行，提出指导施工和优化设计的建议。

7.0.1 监控量测资料从一个侧面反映了施工实际情况，是竣工文件中不可缺少的部分，可为其他类似隧道工程设计和施工提供类比依据，并为建成后运营管理服务。因此，监控量测设计（说明、布置图）、监控量测实施细则及批复、监控量测结果及周（月）报、监控量测数据汇总表及观察资料、监控量测工作总结报告均纳入竣工文件。

铁路隧道监控量测技术规程



151134402

定 价：12.00 元