ICS 93.060
CCS P 66

DB 14

山　西　省　地　方　标　准

DB 14/T 3510—2025

公路隧道监控量测技术规程

2025－07－10 发布　　2025－10－10 实施

山西省市场监督管理局　　发 布

目　　次

前言 II
1　范围 1
2　规范性引用文件 1
3　术语和定义 1
4　符号 2
5　一般规定 2
6　监控量测项目及监控量测频率 2
7　监控量测方法及断面布置 5
8　自动化监控量测 11
9　监控量测控制指标及预警管理 15
10　监控量测数据分析及信息反馈 17
11　监控量测成果资料 18
附录 A（资料性）　隧道洞内、外观察记录表 19
附录 B（资料性）　隧道拱顶下沉、拱脚下沉、底板隆起/沉降、二次衬砌位移监控量测记录表 20
附录 C（资料性）　隧道周边位移、二次衬砌位移监控量测记录表 21
附录 D（资料性）　隧道地表下沉监控量测记录表 22
附录 E（资料性）　隧道结构内力监控量测记录表 23
附录 F（资料性）　隧道接触压力监控量测记录表 24
附录 G（资料性）　隧道锚杆轴力监控量测记录表 25
附录 H（资料性）　隧道围岩内部位移监控量测记录表 26
附录 I（资料性）　隧道地表水平位移监控量测记录表 27
附录 J（资料性）　隧道爆破振动监控量测记录表 28
附录 K（资料性）　隧道围岩弹性波速度监控量测记录表 29
附录 L（资料性）　隧道裂缝监控量测记录表 30

前　言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则　第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由山西省交通运输厅提出、组织实施和监督检查。

山西省市场监督管理局对本文件的组织实施情况进行监督检查。

本文件由山西省交通运输标准化技术委员会（SXS/TC37）归口。

本文件起草单位：山西交控太旧高速公路改扩建项目有限公司、山西省交通建设工程质量检测中心（有限公司）。

本文件主要起草人：何志俊、陶云峰、刘伟、成城、赵艳辉、马一民、张晓、韩一峰、辛栋泽、于阳阳、毛成琦、何聪、王珏、张宏宇、王敏、李明博、刘俊瑞、张溪、高辉、彭小庆。

公路隧道监控量测技术规程

1 范围

本文件规定了公路隧道监控量测基本要求、监控量测项目、频率及精度、监控量测方法、断面布置、控制指标、数据分析及反馈、监控量测成果等。

本文件适用于以钻爆法为主要开挖手段的公路隧道，采用其他工法施工的隧道工程可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 6722 爆破安全规程

GB 55018 工程测量通用规范

GB/T 4208 外壳防护等级（IP代码）

JTG 3370.1 公路隧道设计规范 第一册 土建工程

JTG/T 3373 公路岩溶隧道设计与施工技术规范

JTG/T 3374 公路瓦斯隧道设计与施工技术规范

JTG/T 3660 公路隧道施工技术规范

DB14/T 1720 公路黄土隧道工程监测技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

控制指标

针对各监控量测项目的监控量测数据变化量所设定的限值。

3.2

预警值

针对监控量测项目以控制指标的一定比例计算或直接给定的警示值。

3.3

自动化监控量测

利用自动化监控量测设备获取测点的量测信息，并进行数据自动化分析及预警的监控量测工作。

3.4

贯通段

指隧道施工过程中，两端相向开挖的工作面即将相遇并最终打通的那一段隧道。

4 符号

下列符号适用于本文件。

B——隧道开挖宽度（m）；

H——隧道开挖高度（m）；

H_0——隧道埋深（m）；

L——监控量测断面距掌子面水平距离（m）；

φ——上覆土层综合内摩擦角（°）；

U——实测位移值（mm）；

U_0——允许位移值（mm）；

V——实测位移速率（mm/d）；

F——隧道受力实测值（MPa）；

F_0——隧道受力允许值（MPa）。

5 一般规定

5.1 监控量测仪器设备在使用前及使用过程中应进行定期检定和校准。

5.2 监控量测实施前应根据围岩条件、支护参数、施工方法、周围环境等编制监控量测实施方案。

5.3 监控量测仪器设备应稳定、可靠，使用寿命应与监控量测时限相适应，监控量测方法与仪器设备选择及测点布置应兼顾隧道运营期的长期监控量测。

5.4 监控量测应积极推广新技术、新设备、新方法，现场监控量测宜采用自动化监控量测技术。

5.5 在浅埋偏压、软弱破碎、工法转换、贯通段、对监控量测人员人身安全存在高风险的区域、运营期结构健康监控量测等特殊段落或环境宜采用自动化监控量测技术。

5.6 监控量测测点应牢固可靠、易于识别，并应注意保护，严防损坏。

5.7 监控量测数据应实时、连续、准确、可靠，监控量测信息应及时处理、分析和反馈。

5.8 监控量测应纳入施工工序管理并贯穿施工全过程，掌握围岩和支护的动态信息，为信息化设计或变更设计提供依据。

6 监控量测项目及监控量测频率

6.1 一般规定

6.1.1 监控量测项目分为必测项目、选测项目。

6.1.2 当现场地质情况或施工方法发生变化时，应及时调整监控量测项目和内容。

6.2 必测项目

必测项目及设备应按表1确定。

表 1 监控量测必测项目及设备

序号	监控量测项目	人工量测仪器	自动化量测仪器	测试精度	测点布置	备注
1	洞内、外观察	钢卷尺、影像设备、罗盘仪	—	—	—	开挖后进行

表 1（续）

序号	监控量测项目	人工量测仪器	自动化量测仪器	测试精度	测点布置	备注
2	拱顶下沉	水准仪、钢钢尺、全站仪	全站仪	0.5mm(预留变形量≤30mm)；1mm(预留变形量＞30mm)	符合7.3.4要求	开挖后进行
3	周边位移	收敛计、全站仪	全站仪		符合7.4.4要求	
4	地表下沉	水准仪、钢钢尺、全站仪	全站仪	0.5mm	符合7.5.4要求	洞口段、浅埋段(H_0≤2.5B)
5	拱脚下沉	全站仪	全站仪	0.5mm	符合7.6.3要求	软弱围岩、富水破碎带等特殊岩土地段
注：自动化监控量测的设备测试精度应不低于人工监控量测方法。						

6.2.1 采空区隧道除应按表 1 确定必测项目外，还应根据需要选择典型断面开展底板隆起/沉降等监控量测。

6.2.2 岩溶隧道必测项目应符合现行 JTG/T 3373 的规定。

6.2.3 煤系地层隧道应结合瓦斯危险性等级开展监控量测，必测项目应符合现行 JTG/T 3374 的规定。

6.2.4 黄土隧道必测项目应符合现行 DB14/T 1720 的规定。

6.3 选测项目

选测项目及设备应按表2确定。

表 2 监控量测选测项目及设备

序号	监控量测项目	人工量测仪器	自动化量测仪器	测试精度	测点布置	备注
1	钢架内力及外力	钢筋计、应变计	振弦式传感器（包含钢筋计、应变计等）	0.1MPa	每代表性地段1-2断面，每断面3-7对测点	
2	初期支护、二次衬砌内应力	应变计	振弦式传感器（应变计等）	0.01MPa	每代表性地段1-2断面，每断面3-7个测点	
3	围岩压力	压力盒	振弦式传感器（压力盒等）	0.01MPa	每代表性地段1-2断面，每断面3-7个测点	
4	两层支护间压力	压力盒	振弦式传感器（压力盒等）	0.01MPa	每代表性地段1-2断面，每断面3-7个测点	
5	锚杆轴力	钢筋计	振弦式传感器（锚杆应力计、钢筋计等）	0.01MPa	每代表性地段1-2断面，每断面3-7孔	
6	围岩内部位移	单点、多点位移计	振弦式传感器（位移计等）	0.1mm	每代表性地段1-2断面，每断面3-7孔	

表 2（续）

序号	监控量测项目	人工量测仪器	自动化量测仪器	测试精度	测点布置	备注
7	地表水平位移	全站仪	全站仪	0.5mm	—	洞口浅埋偏压段、有可能产生滑移的边仰坡
8	爆破振动	爆破测振仪	—	—	—	临近建(构)筑物、既有隧道
9	围岩弹性波速度	声波测井仪	—	—	每代表性地段1-2断面，每断面3-5孔	
10	底板隆起/沉降	水准仪、钢钢尺、全站仪	全站仪	0.5mm	每个断面每车道至少布置1个测点，宜沿隧道中心线对称布置	
11	裂缝	裂缝测试仪、影像设备、游标卡尺、取芯机	振弦式传感器（测缝计等）	长度：0.1m 宽度：0.01mm 深度：0.1mm	至少在裂缝最宽处、裂缝末端设置3处观测标志	运营期监测，存在发展的有害裂缝
12	二次衬砌位移	激光测距仪、激光断面仪、全站仪	全站仪测量、激光测距仪、分布式光纤传感测量	0.1mm	每代表性地段1-2断面，每断面5-7个测点	运营期监测

6.4 洞内、外观察

6.4.1 施工过程中应进行洞内、外观察，记录表参见附录 A。

6.4.2 洞内观察应记录掌子面的里程、围岩状况以及开挖工法及工况等，已支护地段应记录喷射混凝土、锚杆、钢架和二次衬砌等的工作状态。

6.4.3 洞外观察应记录洞口段和洞身浅埋段地表变形、地表开裂、边（仰）坡稳定状态、植被、水系状况，同时还应对地表建(构)筑物进行观察。

6.4.4 应保留洞内、外观察获取的数据、影像资料。

6.5 监控量测频率

6.5.1 洞内外观察应与施工同步开展，观察内容应包括开挖面、支护结构、洞门及洞口仰坡等，每天不少于一次。必要时，还应观察影响范围内的建(构)筑物的状态。

6.5.2 必测项目监控量测频率应根据测点埋设天数、距开挖面的距离及位移速度分别按表 3、表 4 和表 5 确定。由三个因素确定的频率不一致时，应采用最高的频率值。

表 3 按距埋设日期确定的监控量测频率

时间	监控量测频率
1d～15d	(1～2)次/d
16d～30d	1次/2d
30d～90d	(1～2)次/周
>90d	(1～3)次/月

表 4　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/(2 ~ 3)d
> 5B	1次/(3 ~ 7)d

表 5　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 ~ 3)次/d
1 ~ 5	1次/d
0.5 ~ 1	1次/(2 ~ 3)d
0.2 ~ 0.5	1次/3d
< 0.2	1次/(3 ~ 7)d

6.5.3　出现下列情况时，应加大洞内监控量测频率：

a)　围岩状态变化或遇到不良地质；
b)　支护状态明显变化；
c)　施工关键工序变化；
d)　监控量测数据异常或超过预警值。

6.5.4　地表下沉监控量测频率按表 6 的要求确定。

表 6　地表下沉监控量测频率

监控量测断面距掌子面水平距离L（m）	监控量测频率
(0 ~ 2.5)B	(1 ~ 2)次/d
(2.5 ~ 5)B	1次/2d
＞5B	1次/(3 ~ 7)d

6.5.5　选测项目监控量测频率应符合 JTG/T 3660，并根据设计和施工要求以及信息反馈结果综合确定。

6.5.6　监控量测作业均应持续到变形基本稳定后 15d ~ 30d 后结束，变形不收敛时，应分析原因，采取加固措施直至变形基本稳定后方可终止。

7　监控量测方法及断面布置

7.1　一般规定

7.1.1　现场监控量测应根据监控量测实施方案进行测点埋设、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情况，及时调整监控量测方案，并做好变更记录。

7.1.2　监控量测断面的布设应符合设计要求，考虑围岩级别、施工方法及支护参数，并遵循以下原则：

7.1.3　洞口、洞身浅埋段、岩性交界带以及地质条件复杂段落，监控量测断面适当加密；

7.1.4　隧道出现塌方、涌水突泥、采空区、岩溶等异常情况的区段加密监控量测断面；

7.1.5　施工方法出现变化时，应在变化里程前后布置加密监控量测断面；
7.1.6　选测项目量测断面宜与必测项目布置在同一断面，在预设位置开挖后并在后一个开挖工序前埋设，所有传感器的测量接头均应沿隧道壁敷设后埋入预留接头盒。
7.1.7　测点应在开挖后 12h 内布置并读取初始值，初读数应在每次开挖后 12h 内、下一循环开挖前取得，至少独立进行 3 次观测，并取其平均值作为初始值。
7.1.8　基准点应设置在稳固无变形的地层或结构物上。
7.1.9　对同一监控量测项目，宜在条件基本相同的情况下，采用固定专人、固定仪器、固定方法进行监控量测。
7.1.10　隧道分部施工时，各分部测线及测点的布置宜根据分部开挖断面变化进行合理调整。
7.1.11　隧道自动化监控量测系统宜与隧道主体结构、机电设施同步设计，并在施工阶段根据实际情况进行优化。

7.2　洞内、外观察

7.2.1　施工过程中应进行洞内、外观察，记录表参见附录 A。
7.2.2　洞内观察应记录掌子面的里程、围岩状况以及开挖工法及工况等，已支护地段应记录喷射混凝土、锚杆、钢架和二次衬砌等的工作状态。
7.2.3　洞外观察应记录洞口段和洞身浅埋段地表变形、地表开裂、边（仰）坡稳定状态、植被、水系状况，同时还应对地表建(构)筑物进行观察。
7.2.4　应保留洞内、外观察获取的数据、影像资料。

7.3　拱顶下沉监控量测

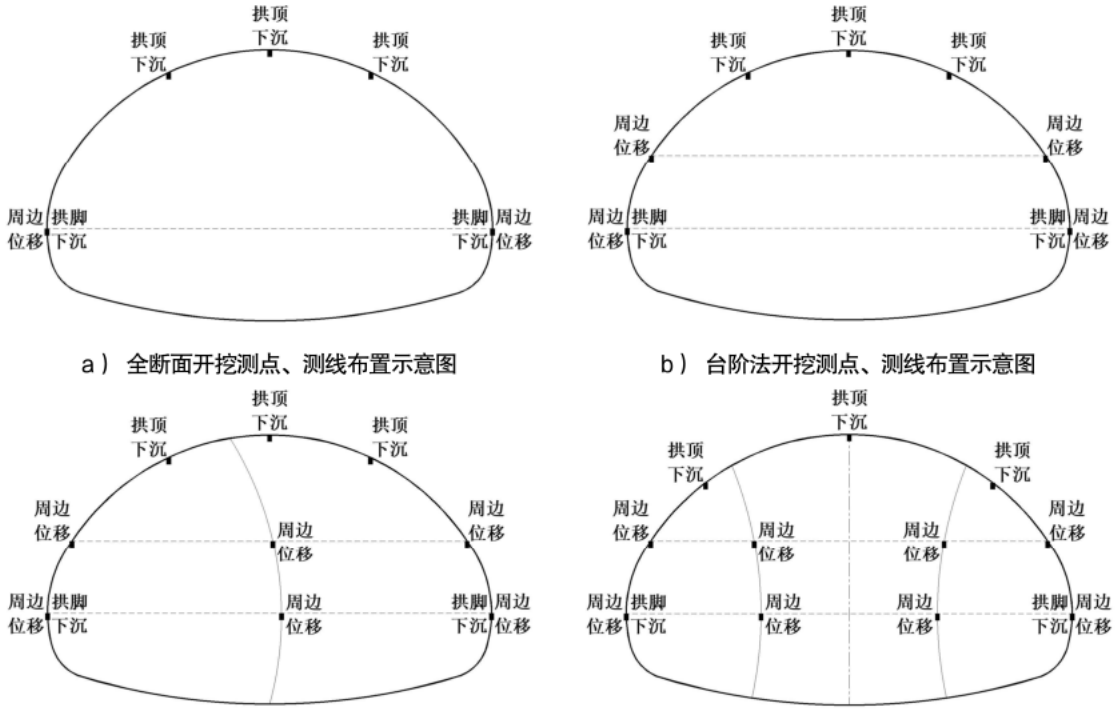
7.3.1　拱顶下沉可采用水准仪或全站仪进行监控量测，三车道以上隧道宜采用全站仪进行监控量测。
7.3.2　采用全站仪时，测点可采用小棱镜或反射片作为靶标，靶标粘附在预埋件上，宜采用后方交会测量模式，记录高程值与上次量测高程值对比即可获得竖向变化值，监控量测记录表参见附录 B。
7.3.3　拱顶下沉监控量测断面间距应符合表 7 的规定。

表 7　拱顶下沉监控量测断面间距

围岩级别	断面间距(m)
Ⅴ～Ⅵ	5～10
Ⅳ	10～20
Ⅲ	20～50
Ⅰ～Ⅱ	50～100
注：不良地质和特殊岩土地段应取小值。	

7.3.4　拱顶下沉测点布置应符合以下规定：

a)　两车道及以下隧道，每个量测断面拱顶布置 1～2 个测点，三车道隧道每个量测断面拱顶布置 2～3 个测点，四车道隧道每个量测断面拱顶布置 3 个以上测点，中间点宜位于拱顶中线上，在拱顶中线两侧 2m～3m 各布置 1 个测点；
b)　采用分部开挖法时，每开挖分部拱部应至少布置 1 个测点；
c)　拱顶下沉监控量测断面测点布置参见图 1。



a） 全断面开挖测点、测线布置示意图

b） 台阶法开挖测点、测线布置示意图

c） 中隔壁法或交叉中隔壁法开挖测点、测线布置示意图

d） 双侧壁导坑法开挖测点、测线布置示意图

图 1　拱顶下沉量测、周边位移量测和拱脚下沉量测的测点布置示意图

7.4　周边位移监控量测

7.4.1　周边位移可采用收敛计或全站仪进行监控量测，三车道及以上隧道宜采用全站仪监控量测。

7.4.2　采用全站仪监控量测时应符合以下规定：

a)　采用固定设站或自由设站，并在测线两端固定小棱镜或设置反射片；

b)　监控量测记录表参见附录 C；

c)　周边位移量测宜采用自由设站的对边测量模式，需要获得隧道整体三维位移变化量时可采用三维坐标测量。

7.4.3　周边位移测点宜与拱顶下沉测点布置在同一断面，断面间距应符合表 7 的规定。

7.4.4　周边位移以水平测线为主，同一断面测点宜对称布置，测线可按表 8 和图 1 布置。

表 8　周边位移量测测线数

开挖工法	测线布置
全断面法	一条水平测线
台阶法	每台阶一条水平测线
中隔壁法或交叉中隔壁法等分部开挖法	每分部一条水平测线
双侧壁导坑法	每分部一条水平测线
注：偏压隧道或小净距隧道可加设斜测线。	

7.5　地表下沉监控量测

7.5.1 地表下沉监控量测可采用水准仪或全站仪进行监控量测，和隧道内周边位移、拱顶下沉测点应布置在同一断面里程，每个隧道沿轴向至少应布置两个量测断面。监控量测记录表参见附录 D。

7.5.2 地表下沉监控量测可采用相对高程系统。

7.5.3 隧道洞口及洞身浅埋段应在隧道开挖前布设地表下沉测点。测点纵向间距可按表 9 的要求布置。

表 9 地表下沉断面测点纵向间距

隧道埋深(H_0)	断面纵向间距(m)
$H_0>2.5B$	视情况布设量测断面
$B<H_0\leqslant 2.5B$	10～20
$H_0\leqslant B$	5～10
注：H_0为隧道埋深；B为隧道开挖宽度，下同。	

7.5.4 地表下沉测点横向布设宜符合以下规定：

a) 隧道中线两侧测量范围及测点布置如图 2 所示；

b) 间距宜为 2m～5m，在隧道中线附近测点应适当加密，远离隧道中线的测点间距可逐渐增大，并根据地质条件和环境条件进行调整；隧道中线两侧测量范围应不小于 $2H_0+2H+B$，其测点布置如图 2 所示；

c) 建(构)筑物对地表下沉有特殊要求时，应根据要求加密测点间距，加宽量测范围；

d) 分离式隧道轴线上方应各设一个测点；

e) 洞口范围存在变形较大、灵敏性较高的土层时，测量范围应专门研究制定。

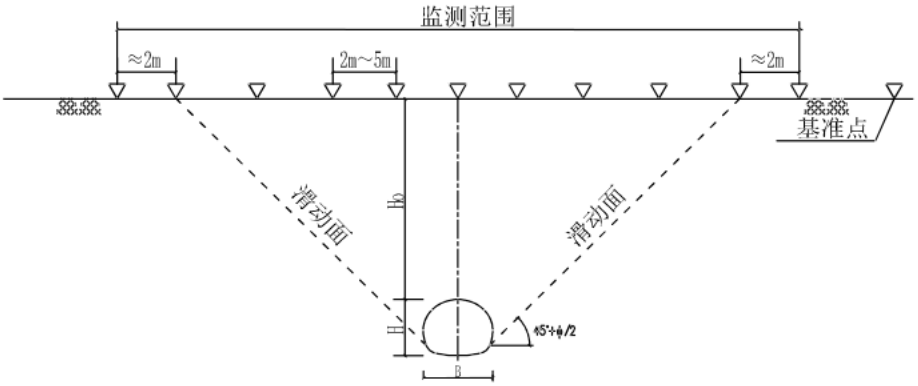


图 2 地表沉降断面横向测点布置示意图

7.6 拱脚下沉监控量测

7.6.1 拱脚下沉可采用全站仪进行监控量测。

7.6.2 采用全站仪量测时，应符合 7.3.2 的规定。

7.6.3 拱脚下沉断面布置应符合表 1 的规定，测线可按图 1 布置。

7.7 结构内力监控量测

7.7.1 结构内力监控量测包括钢架内力及外力，初期支护、二次衬砌内应力，监控量测记录表参见附录 E。

7.7.2 钢架内力及外力监控量测可采用钢筋计、应变计进行量测，并应符合以下规定：

a) 型钢钢架内力量测时，钢筋计、应变计成对安装在型钢钢架翼缘位置，应采取相应措施，防止热传导毁坏仪器；

b) 格栅拱架内力量测时，应采用钢筋计置换截断的主筋，钢筋计直径与主筋直径相匹配。

7.7.3 初期支护、二次衬砌内应力监控量测可采用混凝土应变计进行量测，并应符合以下规定：

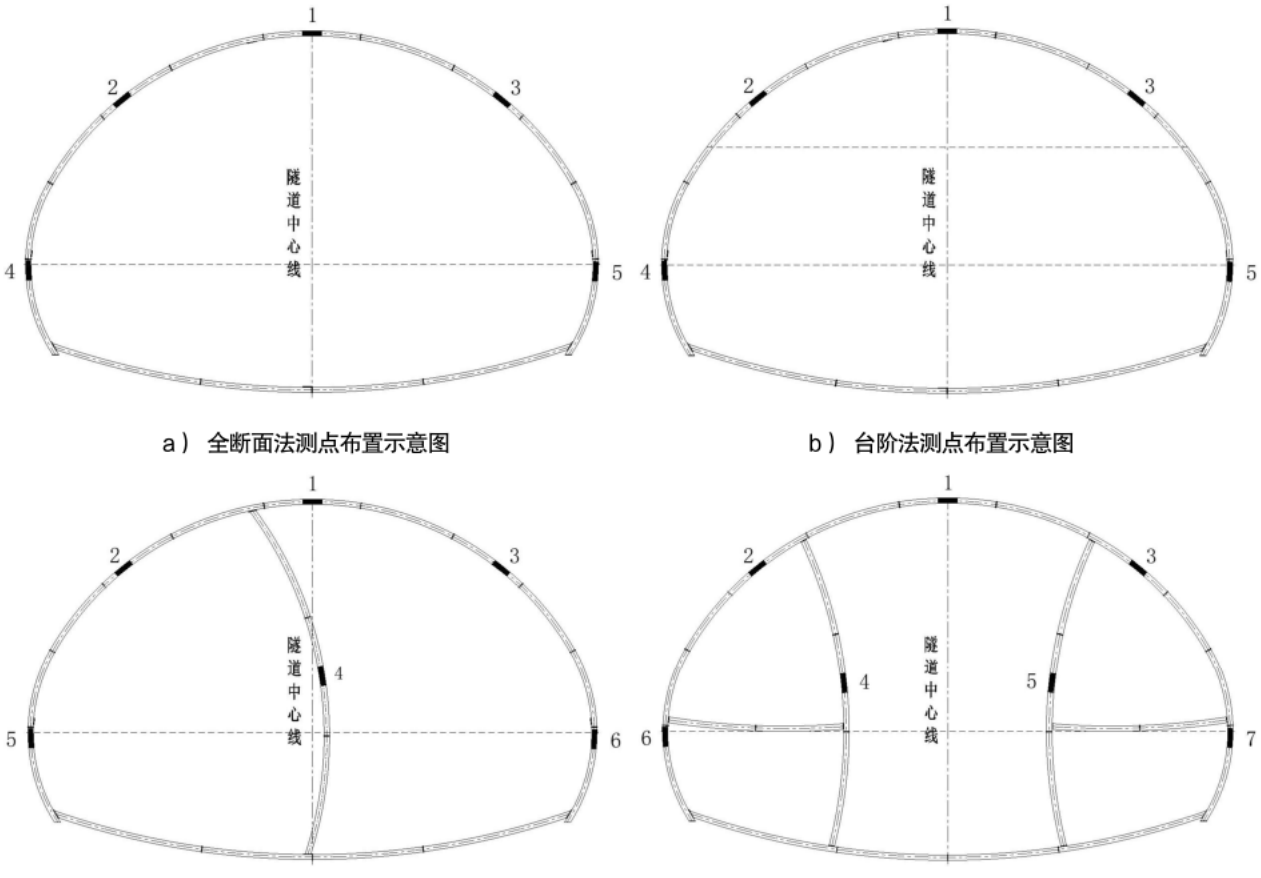
a) 应变计沿环向受力方向安装；

b) 喷射混凝土中应变计安装在喷层中间，二次衬砌中应变计安装在同一截面位置混凝土衬砌中间；

c) 内嵌式应变计宜采用安装基座固定，并被混凝土包裹；外贴式应变计宜采用安装基座固定在混凝土表面。

7.7.4 传感器安装过程中应采用降温冷却措施或采用间歇焊接法。

7.7.5 选测项目断面选择及测点布置可按表 2 及图 3 的要求确定，并根据现场需求调整。



a） 全断面法测点布置示意图　　b） 台阶法测点布置示意图

c） 中隔壁法或交叉中隔壁法测点布置示意图　　d） 双侧壁导坑法测点布置示意图

图 3　结构内力监控量测测点布置示意图

7.7.6 钢架内力及外力监控量测应在钢架安装前后分别读取仪器测得值，初期支护内应力监测元件应在掌子面 1m 范围内安装，并在开挖后 12h 内或下次开挖前测得初始读数。二次衬砌内应力监测元件应在浇筑混凝土前埋设，并在浇筑后及时测得初始读数。

7.12 爆破振动监控量测

7.12.1 爆破振动监控量测可采用速度或加速度传感器，爆破振动允许振速应符合 GB 6722 的相关规定，监控量测记录表参见附录 J。

7.12.2 振动监控量测传感器的安装应与被测对象之间刚性粘结，并应使传感器的定位方向与所测量的振动方向一致。传感器可采用以下方法固定：

a) 被测对象为混凝土或坚硬岩石时，宜采用环氧砂浆、环氧树脂胶或其他高强度粘合剂将传感器固定在混凝土或坚硬岩石表面，也可预埋固定螺栓，将传感器底面与预埋螺栓紧固相连；

b) 被测对象为土体时，可先将表面松土夯实，再将传感器直接埋入夯实土体中，并使传感器与土体紧密接触。

7.12.3 仪器安装和连接后应进行监控量测系统的测试，监控量测期内整个监控量测系统应处于良好工作状态。

7.13 围岩弹性波速度监控量测

7.13.1 围岩弹性波速度可采用声波测井仪进行监控量测，监控量测记录表参见附录 K。

7.13.2 在隧道断面上确定测试点，根据实际情况确定孔的长度；用清水对孔身进行清洗，去掉碎石和粉末，减少对测试的影响。

7.13.3 测试时将圆管状超声波探头置于钻孔内，再充满清水，使探头与围岩有良好的声耦合。

7.13.4 围岩弹性波速度监控量测断面及测点布置应符合表 2 的规定，并尽可能靠近掌子面。

7.14 底板隆起/沉降监控量测

7.14.1 底板隆起/沉降可采用水准仪、钢钢尺或全站仪进行监控量测，监控量测记录表参见附录 B。

7.14.2 沿隧道纵向每 10m ~ 20m 设一监控量测断面，高风险段加密至 5m ~ 10m。

7.14.3 测点横向布设应符合表 2 的规定。

7.14.4 对于分部开挖段，宜在不同分部设置测点，捕捉各分部应力释放导致的差异变形。

7.15 裂缝监控量测

7.15.1 裂缝可采用裂缝测试仪、成像设备或游标卡尺、取芯机进行监控量测，监控量测记录表参见附录 L。

7.15.2 裂缝监控量测至少应包含裂缝里程桩号、所在位置、走向、长度及宽度等信息，对一些较为宽大裂缝，或存在渗漏水情况的裂缝，还应量测裂缝深度。

7.15.3 应设置便于量测的裂缝观测标志，并定期记录，以便监控量测裂缝的发展情况。

7.15.4 应根据裂缝变化速度确定裂缝监控量测周期，当裂缝发展较快时应加大监控量测频率，必要时可采用测缝计或其他传感器进行自动化监控量测。

7.16 二次衬砌位移监控量测

7.16.1 二次衬砌位移可采用激光测距仪、激光断面仪、全站仪进行监控量测，监控量测记录表参见附录 B、附录 C。

7.16.2 优先布置在地质条件复杂段、渗漏水严重段、衬砌病害段、洞口浅埋段等代表性段落。

7.16.3 二次衬砌位移断面及测点布置应符合表 2 的规定。

8 自动化监控量测

c) 设备布设位置宜安装醒目的标志牌或警示设施，以降低设备损毁风险；
d) 设备应具有短路保护、过流保护、过压保护和脉冲、浪涌保护等电气保护措施；
e) 隧道瓦斯区域实施自动化监控量测时，应采用具有本安认证的一体化设备。

8.1.8 自动化监控量测系统系统软件设计应遵循以下原则：

a) 软件系统的构建应包括数据库设计、业务功能设计、系统底层逻辑设计等实现；
b) 软件系统数据库应满足种类繁多、复杂的监控量测数据提供集中存储的功能需求，并且存储的各类监控量测数据可以直接或间接为监控量测系统提供数据分析及决策依据；
c) 系统软件业务功能应采用模块化设计，各模块的功能宜相对独立，以便调试和后期维护。

8.1.9 自动化监控量测系统软件业务功能应具备以下功能：

a) 自动化实现数据采集、传输和存储功能；
b) 提供监控量测数据管理后台，为人工提供数据管理服务功能；
c) 数据显示、回放和统计功能；
d) 系统报警和预警功能；
e) 图表化数据分析与处理功能；
f) 运行状态自检功能；
g) 宜具备自动生成监控量测报表功能。

8.2 自动化监控量测施工

8.2.1 一般规定

a) 自动化监控量测量测施工包括仪器设备的安装埋设与组网调试。隧道土建施工应为监控量测设施设备安装、埋设、调试提供必要的时间和空间，设施设备的安装埋设应与隧道土建施工进度相匹配，并做好仪器设备保护；
b) 监控量测系统施工不得破坏隧道支护结构与防排水系统，施工过程中应采取措施保护人员与设备安全。

8.2.2 安装埋设

a) 自动化监控量测系统安装包括传感设备安装、数据采集设备安装、数据传输设备安装、线缆敷设、软件系统安装等；
b) 传感器设备安装应满足下列要求：
   1) 传感器设备的安装不应影响或妨碍监控量测对象的结构受力、正常使用；
   2) 传感器设备的感知部位应安装在反映结构物变形或受力特征的关键部位和影响敏感的部位；
   3) 布设于结构物上的监控量测点应在结构物施工中埋设，监控量测点布设并稳定后，应至少连续独立进行 3 次观测，并取其稳定值的平均值作为初始值。
c) 数据采集设备安装应满足下列技术要求：
   1) 数据采集设备安装位置宜便于操作、测读、维护和更换；
   2) 数据采集设备安装后不妨碍监控量测对象的正常施工和使用；不妨碍隧道其它施工工序的正常开展；
   3) 在满足上述 1 和 2 技术要求的基础上，宜缩短数据采集设备与传感器之间的信号传输距离，信号电缆应考虑损毁保护措施；

4) 在隧道初支区域安装设备时，宜采用嵌入式安装方式，设备箱体嵌入初支内部，设备箱开口处与初支表面平齐，以降低设备遭受撞击、爆破冲击而损毁的风险；
5) 设备布设位置宜安装醒目的标志牌或警示设施，以降低设备损毁风险；
6) 现场无线中继、无线转发设备的安装位置和数量，应根据监控量测断面距离洞口位置、无线通信信号质量等综合考虑。

d) 数据传输设备安装应满足下列技术要求:
1) 数据传输设备安装包括预埋槽、膨胀螺栓、化学螺栓等方式。在选择数据传输设备安装方式时，应综合考虑现场安装条件、环境条件、监测时间等因素；
2) 安装在现场的数据传输设备不得对现有结构体及设备的性能、安全可靠性、正常使用产生不利影响；
3) 安装应稳固、可靠，且便于日常调试和维护；
4) 当采用无线传输设备时，无线设备天线安装应满足无线信号传输质量要求；
5) 数据传输设备应有可靠的保护装置，并设置明显的警示标识。

e) 线缆敷设应满足下列技术要求：
1) 线缆线路应按设计要求和现场施工情况进行规划；
2) 线缆应防止遭受机械性外力、高温、腐蚀及接触尖角锋利物品等破坏，应做好牵引线路标志和记录；
3) 线缆跨缝时应采取措施使线缆有伸缩的余地；
4) 线缆敷设时应避免线缆承受过大拉力，线缆严禁裸线牵引；
5) 传感器线缆宜采用暗埋方式敷设，各传感器线缆应做好标记编号后接入数据采集设备箱内；
6) 对有抗干扰要求的线缆线路，应按设计要求采取抗干扰措施；
7) 监控量测线缆连接应符合工艺要求，连接前后应记录监控量测仪器测读数据，同时记录接长线缆的长度。

f) 系统软件现场部署应满足下列要求：
1) 监控量测系统现场部署的主机及系统联网主机必须双机或多机备份，并应 24h 不间断运行，当工作主机发生故障时，备份主机应在 5min 内投入工作；
2) 监控量测系统应双回路供电，并应配备不小于 2h 的不间断备用电源；
3) 监控量测系统必须配备数据存储设备，重要测点监控量测数据记录存储时间应保存 6 个月以上，其他数据记录应保存 3 个月以上。

g) 软件系统安装应满足下列技术要求：
1) 自动化监控量测专用服务器、工控机等硬件不得安装与监控量测系统无关的软件；
2) 操作系统、防毒软件宜设置为自动更新；
3) 软件部署后能正常启动；
4) 软件缺陷导致无法部署时，应修改软件并测试通过后方可重新安装；
5) 在软件安装后、系统调试未完成前，应采取临时措施防止未经培训人员操作软件。

8.2.3 系统组网调试

a) 自动化系统安装前，应对系统设备进行检查、测试，并做好详细记录；
b) 监控量测自动化系统调试时，采集软件的配置参数应与实际接入仪器正确对应，自动采集数据应与人工监控量测数据进行同步比测；

c) 对每个自动化监控量测点进行快速连续测试，以测试自动化测值稳定性；
d) 逐项检查监控量测自动化系统功能，系统功能应满足设计要求。

8.3 自动化监控量测系统运行与维护

8.3.1 一般规定

a) 监控量测运行工作的内容主要包括数据采集、传输、存储和管理以及系统管理和维护；
b) 数据采集可选用连续采集、定时采集、触发采集等方式，采集频率应满足及时预警、实时报警、数据分析及应用的要求；
c) 系统数据采集与传输应确保数据精准，满足监控量测要求；
d) 系统在无人值守条件下能够连续运行，并满足长期稳定工作的要求；
e) 系统运行过程发现数据异常时，应及时进行人工复测验证，同时巡视检查相关位置的支护结构变化、施工情况和环境影响情况，并分析处理。在特殊状态下应进行特殊采集或人工干预采集；
f) 实施自动化监控量测的项目，在满足人工监控量测的条件下，应定期进行人工比测及校核。

8.3.2 系统运行

a) 系统运行应按照规定的时间、频次、技术要求进行，并根据工程特点和实际运行情况，进行加密监控量测和调整；
b) 采集频率应满足监控量测要求，传感器可视具体情况选择相同或不同采集时间间隔；
c) 数据集成应采用标准化的数据接口，实现各类型监控量测数据的共享交换；
d) 数据存储应具备数据自动备份与异常恢复功能；
e) 发现数据异常应及时进行检查和复核。

8.3.3 系统维护

a) 系统运行阶段应进行监控量测设施的定期检查、鉴定和维护；
b) 自动化监控量测系统软件平台操作应设定管理权限，定期对系统进行检查维护，并记录、存档，检查周期不应超过 30 天。

9 监控量测控制指标及预警管理

9.1 一般规定

9.1.1 监控量测项目控制指标应根据工程地质及水文地质条件、隧道施工安全性、隧道结构的长期稳定性等因素选定。

9.1.2 监控量测应建立预警管理制度，包括监控量测预警等级、预警标准、警情报送对象、时间和方式等。

9.2 控制指标

9.2.1 施工期隧道拱顶下沉、周边位移、拱脚下沉等变形控制基准应根据设计要求确定，当设计未明确给定时，可参考表 10 选用，并在施工过程中通过现场实测数据的累积进行修正。

表 10　施工期隧道变形控制指标及预警等级

预警等级	累计位移（mm）	位移速率（mm/d）
黄色预警	$U_0/3 < U \leqslant U_0/2$	$1 < V \leqslant 3$
橙色预警	$U_0/2 < U \leqslant 2U_0/3$	$3 < V \leqslant 5$
红色预警	$U > 2U_0/3$	$V > 5$
注：岩溶隧道、瓦斯隧道、软岩大变形隧道等特殊地质隧道、四车道以上隧道、运营期隧道变形控制指标及预警等级应根据实际情况专门制定。		

9.2.2　地表下沉及水平位移控制基准应符合以下规定：

a)　隧道开挖影响范围内存在建（构）筑物时，地表下沉控制基准根据周围建（构）筑物的安全要求确定；

b)　地表下沉及水平位移控制值可为同监控量测断面周边位移及拱顶下沉控制值的 1.0 ~ 1.3 倍。

9.2.3　隧道结构内力、接触压力、锚杆轴力等受力控制基准应根据设计要求确定，当设计未明确给定时，可参考表 11 选用，并在施工过程中通过现场实测数据的累积进行修正。

表 11　隧道受力控制指标及预警级别

预警等级	黄色预警	橙色预警	红色预警
控制指标	$0.4F_0 < F \leqslant 0.6F_0$	$0.6 < F \leqslant 0.8F_0$	$F > 0.8F_0$

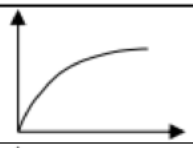
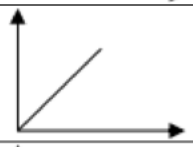
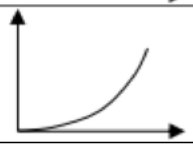
9.2.4　爆破振动控制基准应符合现行 JTG/T 3660 的规定。

9.3　预警管理

9.3.1　监控量测数据处理分析结果可用于围岩结构稳定性评价和预警管理，根据结果判断稳定性和安全性。

9.3.2　典型变形时程曲线与围岩稳定性趋势关系宜按表 12 判断。

表 12　变形时程曲线与围岩稳定性趋势关系

时程曲线形态	变形加速度	围岩稳定状态及趋势
	$\frac{d^2u}{dt^2} < 0$	基本稳定 趋于收敛
	$\frac{d^2u}{dt^2} = 0$	变化发展 线性增长
	$\frac{d^2u}{dt^2} > 0$	变形异常加速 变形预警
注：根据时程曲线判别围岩结构稳定性趋势时，应结合施工工序综合分析。		

9.3.3　位移监控量测结果预警等级及应对措施应符合表 13 的要求。

表 13　位移监控量测结果预警等级及应对措施

预警等级	判别标准	应对措施
黄色	位移或受力速率变化保持基本不变，变形或受力曲线呈线性增长	加强监控量测，必要时采取相应工程措施
橙色	变形或受力速率逐步加速，变形或受力曲线逐步上扬，无收敛迹象	加强监控量测和洞内巡查，采取应急工程措施
红色	变形或受力异常加速，变形或受力曲线急剧上扬，无收敛迹象	暂停施工，人员撤离，立即采取相应工程措施

10　监控量测数据分析及信息反馈

10.1　数据分析

10.1.1　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，每次观测后应及时对观测数据进行校核，如有异常应及时补测。

10.1.2　监控量测数据的分析应包括以下主要内容：

a)　采用有效的数学模型预测变形值，与累计变形量控制基准值比较，计算变形速率并与变形速率控制基准值进行比较，绘制时程曲线，判断时程曲线发展态势所处发展阶段；

b)　对支护及围岩状态、工法、工序进行评价，及时反馈评价结论，并提出相应工程对策建议。

10.2　信息反馈

10.2.1　信息反馈应以变形反馈为主，主要依据累计变形量、变形速率和变形时程曲线对安全等级进行综合判定，验证和优化设计参数，指导施工。

10.2.2　监控量测单位派专人负责信息管理工作，确保信息传递渠道通畅、反馈及时有效。

10.2.3　信息反馈应符合下列要求：

a)　每天根据监控量测数据及时进行分析，发现监控量测数据超预警值，应分析原因并提交报告，日报应在当日监控量测工作完成后 12h 内报送，预警信息应在发现警情后 2h 内报送；

b)　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，指导后续设计与施工。

10.2.4　监控量测信息反馈可按图 5 规定的程序进行。

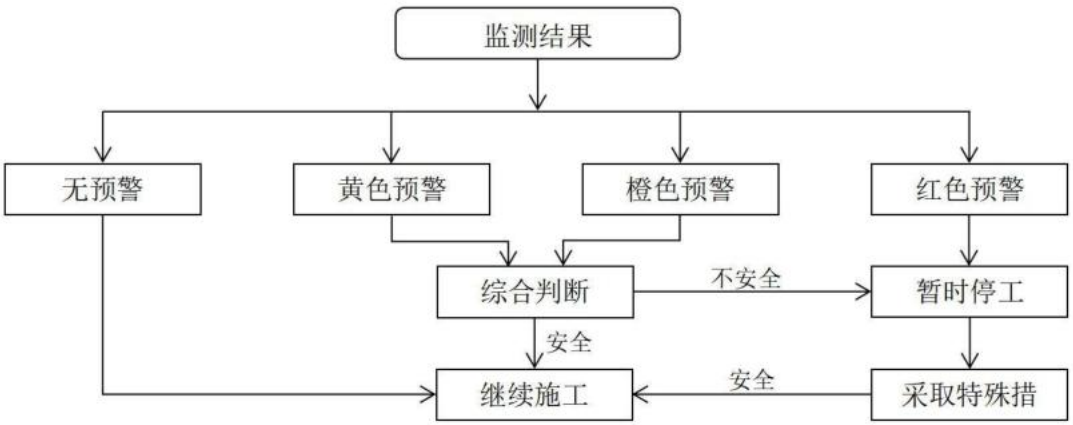


图 5　监控量测反馈程序框图

11 监控量测成果资料

11.1 监控量测成果应包括现场监控量测资料、计算分析资料、影像资料、文字报告、原始记录等。

11.2 监控量测报告可分为日报、预警报告、阶段性报告和总结报告。

11.3 监控量测日报宜包括下列内容：

a) 现场巡查情况；
b) 监控量测数据；
c) 结论与建议。

11.4 预警报告宜包括下列内容：

a) 警情发生的时间、地点、情况描述、严重程度、施工工况等；
b) 现场巡查信息：巡查照片、记录等；
c) 监控量测数据图表：监控量测项目累计变化值、变化速率值、监控量测点平面位置图；
d) 原因初步分析；
e) 处理措施建议。

11.5 阶段报告（周报、月报）宜包括下列内容：

a) 工程概况；
b) 工作量统计及工程进度；
c) 技术依据；
d) 实施方法；
e) 主要设备；
f) 监控量测结果；
g) 结论与建议；
h) 时程曲线图。

11.6 监控量测总结报告应包括以下内容：

a) 工程概况；
b) 工作量统计；
c) 技术依据；
d) 实施方法；
e) 主要设备；
f) 监控量测工作汇总；
g) 项目总结；
h) 时程曲线图。

附 录 A
（资料性）
隧道洞内、外观察记录表

第 页 共 页

<table>
<tr><td>项目名称</td><td colspan="4"></td><td>观察日期</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>检测依据</td><td colspan="4"></td><td>仪器及编号</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>隧道名称</td><td colspan="3"></td><td>施工里程</td><td colspan="2"></td><td rowspan="2">评 定</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="3"></td><td>距洞口距离(m)</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td rowspan="4">岩性指标</td><td colspan="2">岩石类型(名称)</td><td colspan="5"></td><td rowspan="4">极硬岩 ( )
硬岩 ( )
较软岩 ( )
软岩 ( )
极软岩 ( )
土 ( )</td></tr>
<tr><td colspan="2">岩石强度 R_c(MPa)</td><td>$R_c>60$</td><td>$60\geqslant R_c>30$</td><td>$30\geqslant R_c>15$</td><td>$15\geqslant R_c>5$</td><td>$R_c\leqslant 5$</td></tr>
<tr><td colspan="2">掌子面状态</td><td>稳定</td><td>稳定</td><td>随时间松弛、掉块</td><td>自稳困难需及时支护</td><td>正面不能自稳、需超前支护</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="7">岩体
完整状态</td><td colspan="3">地质构造影响程度</td><td>轻微</td><td>较重</td><td>严重</td><td>极严重</td><td rowspan="7">完整 ( )
较完整 ( )
较破碎 ( )
破碎 ( )
极破碎 ( )</td></tr>
<tr><td rowspan="4">地质结构面</td><td>间距(m)</td><td>>1.5</td><td>0.6~1.5</td><td>0.2~0.6</td><td>0.06~0.2</td><td><0.06</td></tr>
<tr><td>延伸性</td><td>极 差</td><td>差</td><td>中 等</td><td>好</td><td>极 好</td></tr>
<tr><td>粗糙度</td><td>明显台阶状</td><td>粗糙</td><td>波纹状</td><td>平整光滑有擦痕</td><td>平整光滑</td></tr>
<tr><td>张开性(mm)</td><td>密闭
<0.1</td><td>部分张开
0.1~0.5</td><td>张开
0.5~1.0</td><td>无充填
张开>1.0</td><td>黏土充填</td></tr>
<tr><td colspan="2">风化程度</td><td>未风化</td><td>微风化</td><td>弱风化</td><td>强风化</td><td>全风化</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td>地下水
状态</td><td colspan="2">渗水量
L/(min·10m)</td><td colspan="2"><10
干燥或湿润</td><td colspan="2">10~25
偶有渗水</td><td>25~15
经常渗水</td><td>干燥或湿润
偶有渗水
经常渗水</td></tr>
<tr><td>围岩级别</td><td colspan="2">设计围岩级别</td><td colspan="2"></td><td colspan="2">建议围岩级别</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">已施工区间
观察</td><td colspan="2">喷射混凝土裂缝情况</td><td>数量</td><td></td><td>最大长度(m)</td><td></td><td>最大宽度(mm)</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">钢拱架压屈情况</td><td>压屈</td><td colspan="2"></td><td>位置</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td rowspan="3">洞外观察</td><td colspan="2">地表的变异、开裂的分布等</td><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td colspan="2">植被状况</td><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td colspan="2">水系状况</td><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td>附图
及备注</td><td colspan="8"></td></tr>
</table>

试验： 记录： 校核：

附 录 B
（资料性）
隧道拱顶下沉、拱脚下沉、底板隆起/沉降、二次衬砌位移监控量测记录表

第 页 共 页

项目名称				断面桩号		
检测依据				布设日期		
仪器及编号						
测点编号						
量测日期	单次位移量（mm）	累计位移量（mm）	单次位移量（mm）	累计位移量（mm）	单次位移量（mm）	累计位移量（mm）
备注				测点布置图		

试验： 记录： 校核：

附 录 C
（资料性）
隧道周边位移、二次衬砌位移监控量测记录表

第 页 共 页

项目名称					断面桩号			
检测依据					布设日期			
仪器及编号								
测线编号								
量测日期	单次位移量（mm）	累计位移量（mm）	单次位移量（mm）	累计位移量（mm）	单次位移量（mm）	累计位移量（mm）	单次位移量（mm）	累计位移量（mm）
备注					测点布置图			

试验： 记录： 校核：

附 录 D
（资料性）
隧道地表下沉监控量测记录表

第 页 共 页

项目名称					断面桩号					
检测依据					布设日期					
仪器及编号										
测点编号										
量测日期	单次下沉量(mm)	累计下沉量(mm)	单次下沉量(mm)	累计下沉量(mm)	单次下沉量(mm)	累计下沉量(mm)	单次下沉量(mm)	累计下沉量(mm)	单次下沉量(mm)	累计下沉量(mm)
	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z
备注						测点布置图				

试验： 记录： 校核：

附 录 E
（资料性）
隧道结构内力监控量测记录表

第 页 共 页

项目名称					断面桩号					
检测依据					布设日期					
仪器及编号										
测点编号										
量测日期	频率值	内力(MPa)	频率值	内力(MPa)	频率值	内力(MPa)	频率值	内力(MPa)	频率值	内力(MPa)
备注					测点布置图					

试验： 记录： 校核：

附 录 F
（资料性）
隧道接触压力监控量测记录表

第 页 共 页

项目名称					断面桩号					
检测依据					布设日期					
仪器及编号										
测点编号										
量测日期	频率值	压力（MPa）	频率值	压力（MPa）	频率值	压力（MPa）	频率值	压力（MPa）	频率值	压力（MPa）
备注						测点布置图				

试验： 记录： 校核：

附 录 G
（资料性）
隧道锚杆轴力监控量测记录表

第 页 共 页

项目名称					断面桩号					
检测依据					布设日期					
仪器及编号										
测点编号										
量测日期	频率值	轴力（MPa）	频率值	轴力（MPa）	频率值	轴力（MPa）	频率值	轴力（MPa）	频率值	轴力（MPa）
备注						测点布置图				

试验： 记录： 校核：

附 录 H
（资料性）
隧道围岩内部位移监控量测记录表

第 页 共 页

项目名称					断面桩号		
检测依据					布设日期		
仪器及编号							
测孔编号	测点编号	量测时间	仪器系数	初始读数	当前读数	位移(mm)	温度(℃)
	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	1						
	2						
	3						
	4						
	5						

试验： 记录： 校核：

附 录 I
（资料性）
隧道地表水平位移监控量测记录表

第 页 共 页

项目名称					断面桩号							
检测依据					布设日期							
仪器及编号												
测点编号												
量测日期	单次位移量（mm）		累计位移量（mm）		单次位移量（mm）		累计位移量（mm）		单次位移量（mm）		累计位移量（mm）	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
备注							测点布置图					

试验： 记录： 校核：

附 录 J
（资料性）
隧道爆破振动监控量测记录表

第 页 共 页

项目名称					断面桩号			
检测依据					仪器及编号			
测试时间	测点编号	离爆点距离(m)	水平 X 方向		水平 Y 方向		垂直 Z 方向	
			最大振动速度（cm/s）	半波主频(Hz)	最大振动速度（cm/s）	半波主频(Hz)	最大振动速度(cm/s)	半波主频(Hz)

试验： 记录： 校核：

附 录 K
（资料性）
隧道围岩弹性波速度监控量测记录表

第 页 共 页

项目名称			布设日期				
检测依据			仪器及编号				
测孔桩号	测孔编号	量测时间	钻孔深度(m)	倾斜角度(°)	声波测试深度(m)	测试方法	温度(℃)
	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	1						
	2						
	3						
	4						
	5						

试验： 记录： 校核：

附 录 L
（资料性）
隧道裂缝监控量测记录表

第 页 共 页

项目名称					布设日期			
检测依据					仪器及编号			
断面桩号	点号	量测时间	第一次量测值(mm)	本次量测值(mm)	温度(℃)	温度修正值(mm)	单次变化值(mm)	累计变化值(mm)

试验： 记录： 校核：