

DB53

云 南 省 地 方 标 准

DB53/T 1033—2021

公路隧道监控量测技术规程

2021 - 05 - 25 发布

2021 - 08 - 25 实施

云南省市场监督管理局 发 布

目 次

前 言.....	III
引 言.....	IV
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 基本要求.....	3
5 监测项目、频率及精度.....	3
5.1 一般规定.....	3
5.2 必测项目.....	3
5.3 选测项目.....	4
5.4 监控量测频率.....	4
5.5 测试精度.....	6
6 监测方法及断面布置.....	6
6.1 一般规定.....	6
6.2 洞内、外观察.....	7
6.3 拱顶下沉监测.....	7
6.4 周边位移监测.....	8
6.5 地表下沉监测.....	9
6.6 拱脚位移监测.....	10
6.7 边（仰）坡位移监测.....	10
6.8 隧底隆起监测.....	10
6.9 爆破振动监测.....	11
6.10 结构内力监测.....	11
6.11 接触压力监测.....	12
6.12 锚杆轴力、锚索拉力监测.....	12
6.13 围岩内部位移监测.....	12
6.14 孔隙水压力、水流量监测.....	13
6.15 小净距、连拱隧道监测.....	13
7 控制基准及数据分析反馈.....	13
7.1 一般规定.....	13
7.2 控制基准.....	13
7.3 数据分析.....	14
7.4 监控量测预警.....	14
7.5 信息反馈.....	16

8 监测成果..... 17

附录 A（资料性附录） 监测记录表 18

附录 B（资料性附录） 监控量测数据回归分析方法 27

参 考 文 献..... 29

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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由云南省交通运输厅工程质量监督局提出。

本文件由云南省交通运输标准化技术委员会(YNTC13)归口。

本文件主要起草单位：云南省交通运输厅工程质量监督局、中铁开发投资集团有限公司、中铁西南科学研究院有限公司、云南玉楚高速公路投资开发有限公司、云南省公路科学技术研究院、昭通市都香高速公路投资开发有限公司、中国公路工程咨询集团有限公司、云南航天工程物探检测股份有限公司、昭通市交通运输局、长安大学。

主要起草人员：陈跃、吴华金、王萍、李俊锋、张卓、吴剑、刘庆丰、刘志强、刘庆志、邓平、张润文、史金洪、宁锐、夏国邦、王若俊、汤斌、苏建坤、李万宝、曾健、朱向荣、范明坤、李文龙、蓝斌、李斌、吴勇木、肖涛、李士兵、冯红耀、王宪伟、丁勇、白志帅、钟安然、任志华、文竞舟、吴兴孝、彭余华、叶飞、保雨含。

引 言

根据交通运输部办公厅《关于印发〈品质工程攻关行动试点方案（2018-2020年）〉的通知》（交办安监[2018]18号），以及重庆市交委代交通运输部制定的《隧道施工质量安全管控能力提升攻关行动实施方案》（渝交委路[2018]94号）的分工安排，由云南省交通运输厅工程质量监督局联合相关单位重点攻关隧道监控量测方法。

编写组在总结行业现有技术和科研成果的基础上，通过联合攻关编制了《公路隧道监控量测技术规程》，本规程旨在提升隧道施工质量安全管控能力，规范隧道监控量测方法。

公路隧道监控量测技术规程

1 范围

本文件确立了公路隧道监控量测基本要求、监测项目、频率及精度、监测方法及断面布置、控制基准及数据分析反馈、监测成果等。

本文件适用于采用钻爆法新建和改扩建的公路隧道，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 50007 建筑地基基础设计规范
GB 50026 工程测量规范
GB 50157 地铁设计规范
CJJ 99 城市桥梁养护技术标准
JTJ 073.1 公路水泥混凝土路面养护技术规范
JTG/T 3660 公路隧道施工技术规范
JTG H11 公路桥涵养护规范
JTG 5142 公路沥青路面养护技术规范
TB 10413 铁路轨道工程施工质量验收标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

监控量测 monitoring measurement

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

注：改写Q/CR 9218-2015，术语定义2.0.1。

3.2

基准点 basic benchmark

建在稳定的岩土层或建（构）筑物上的经确认固定不动的点。

3.3

必测项目 important monitoring items

为掌握隧道周边环境、围岩及支护工作状态，同时反映施工状态而进行的监控量测项目，分为常规必测项目和特定条件下的必测项目。

3.4

选测项目 optional monitoring items

为深入掌握围岩稳定状态与支护效果，满足隧道科研、设计和施工等的特殊需求，在局部地段进行的监控量测项目。

3.5

拱顶下沉 crown settlement

隧道拱顶测点的绝对沉降（量）。

[Q/CR 9218-2015，术语定义2.0.5]

3.6

周边位移 convergence monitoring

隧道周边上两点间相对位置的变化，亦称净空收敛。

3.7

地表下沉 surface settlement

隧道开挖引起的地面高程变化。

3.8

隧底隆起 floor heave

隧道底板向上隆起的现象，亦称底鼓。

3.9

接触压力 contact pressure

围岩与初期支护间、两层支护间的压力。

3.10

控制基准 controlled value

针对各监测项目的监测数据变化量所设定的限值。

3.11

预警值 early warning value

针对监测项目以控制基准的一定比例计算或直接给定的警示值。

3.12

自动化监测 Automatic monitoring

利用自动化监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。

4 基本要求

4.1 现场监控量测工作主要包括以下内容：

- a) 现场情况调查；
- b) 编制实施方案；

- c) 断面选择、测点布置；
- d) 数据采集、分析与反馈；
- e) 提交监控量测成果。

4.2 监控量测方案应包括以下内容：

- a) 工程概况；
- b) 监测目的和依据；
- c) 监测项目；
- d) 监测方法和精度；
- e) 监测仪器设备、元器件及人员的配备；
- f) 监测断面、基准点和监测点布设方法与保护要求，监测点布置示意图；
- g) 监测频率；
- h) 监测控制基准、预警等级、预警标准及异常情况下的监测措施；
- i) 监测信息采集、分析和处理要求；
- j) 监测信息报送制度；
- k) 质量管理、安全管理、报告审核、应急预案及其他管理制度；
- l) 附件。

4.3 监控量测方案及变更应按项目管理程序审批后实施。

4.4 应根据量测项目及测试精度选择量测仪器，宜选择简单适用、稳定可靠、操作方便、量程合理的测试仪器。仪器设备应按规定进行检定和校准。

4.5 监控量测应建立严格的数据复核、审查制度，如有数据缺失或异常，应及时采取补救措施，并做出详细记录。

4.6 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，及时反馈，为信息化设计或变更设计提供依据，施工方应予以密切配合。

4.7 监控量测人员应经培训后上岗，掌握现场测试、数据处理与分析技术。

4.8 监控量测资料应整理归档，并纳入竣工文件。

4.9 监控量测应积极推广新技术、新设备、新方法。

5 监测项目、频率及精度

5.1 一般规定

5.1.1 监控量测项目应根据围岩条件、支护参数、施工方法、周围环境及监控量测目的等确定，分为必测项目、选测项目。

5.1.2 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。

5.1.3 小净距、连拱隧道的监测项目应根据相关规范、设计要求、现场需求等综合确定。

5.2 必测项目

监控量测必测项目详见表1。

表1 监控量测必测项目

序号	项目		常用量测仪器	备注
1	常规必测	洞内外观察	现场观察、数码设备、罗盘仪	

2	项目	拱顶下沉	水准仪、全站仪、激光测距仪	
3		周边位移	全站仪、收敛计、激光测距仪	
4		地表下沉	全站仪、水准仪	浅埋段
5	特定条件下必测项目	拱脚位移	全站仪、水准仪、激光测距仪	偏压、特殊地质段
6		边（仰）坡位移	全站仪、GNSS	洞口段
7		隧底隆起	全站仪、水准仪	高地应力、富水、膨胀岩地段
8		爆破振动	振动传感器、记录仪	小净距、连拱、接近地表建筑物地段
9		周边建（构）筑物监测	全站仪、水准仪、测缝计、倾角仪等	具体监测项目根据实际情况确定

5.3 选测项目

选测项目应根据设计要求，以及隧道断面形状、大小、埋深、围岩条件、周边环境条件、支护类型和参数、施工方法等综合确定。选测项目参见表2。

表2 监控量测选测项目

序号	项目		常用量测仪器
1	结构内力	钢架内力	钢筋计、应变计
2		喷射混凝土应力	混凝土应变计
3		二次衬砌内力	钢筋计、混凝土应变计
4	接触压力		压力盒
5	锚杆轴力		钢筋计
6	锚索拉力		锚索测力计
7	围岩内部位移		单点、多点位移计
8	孔隙水压力		渗压计
9	水流量		三角堰、流量计

5.4 监控量测频率

5.4.1 洞内、外观察中，影像资料、支护状态、影响范围内的地表建（构）筑物的描述每天应不少于一次，出现以下情况时应加大观察频率：

- a) 断层破碎带、富水段、软弱围岩段等复杂地质区段；
- b) 出现异常情况的地段。

5.4.2 拱顶下沉、周边位移和拱脚位移监控量测频率应根据测点距掌子面的距离、位移速率及监测历时分别按表 3、表 4 和表 5 的要求确定，原则上采用较高的频率值。

表3 按距掌子面距离确定的监控量测频率

监测断面距掌子面水平距离 L (m)	监控量测频率
$L \leq 1B$	(1 次~2 次) /d

$1B < L \leq 2B$	1 次/d
$2B < L \leq 5B$	1 次/ (2d~3d)
$L > 5B$	1 次/ (3d~7d)
注: L 为监测断面距掌子面水平距离, B 为隧道开挖宽度, 下同。	

表4 按位移速率确定的监控量测频率

位移速率 v (mm/d)	监控量测频率
$v \geq 5$	(2 次~3 次) /d
$1 \leq v < 5$	(1 次~2 次) /d
$0.5 \leq v < 1$	1 次/ (2d~3d)
$0.2 \leq v < 0.5$	1 次/ (3d)
$v < 0.2$	1 次/ (3d~7d)

表5 按监测历时确定的监控量测频率

监测断面历时 (d)	监控量测频率
1 ~ 15	(1 次~2 次) /d
16 ~ 30	1 次/2d
31 ~ 90	(1 次~2 次) /7d
> 90	(1 次~3 次) /30d
注: 监测历时从监测断面第一次监测时开始计算。	

5.4.3 出现下列情况时, 应调整洞内监控量测频率:

- 围岩状态变化或遇到不良地质;
- 支护状态明显变化;
- 施工关键工序变化;
- 监测数据异常或超过预警值。

5.4.4 地表下沉和边(仰)坡位移监控量测频率按表 6 的要求确定。

表6 地表下沉和边(仰)坡位移监控量测频率

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

5.4.5 隧底隆起监测频率参考表 4 确定。

5.4.6 爆破振动监测频率参考 JTG/T 3660 执行。

5.4.7 选测项目监控量测频率应根据设计、施工要求以及必测项目反馈信息结果调整。

5.4.8 各项监测作业持续时间应符合以下规定:

- 各项监测作业均应持续到变形基本稳定后 15 d~20 d 结束;
- 对于膨胀性和挤压性围岩, 位移速率没有减小趋势时, 持续监测;
- 在变形未稳定时施做二次衬砌, 根据设计要求确定监测时间;

- d) 洞内爆破振动监测，洞外地表建（构）筑物爆破振动、变形、裂缝监测的结束时间根据实际情况确定；
- e) 孔隙水压力、水流量监测时间根据实际需要确定，必要时进行长期监测。

5.5 测试精度

5.5.1 监控量测测试精度应满足规范要求。拱顶下沉、周边位移、拱脚位移、地表下沉、隧底隆起测试精度可为 1 mm，围岩内部位移测试精度可为 0.1 mm，爆破振动速度测试精度可为 1 mm/s。其他项目测试精度应结合传感器的精度确定。

5.5.2 传感器的精度应满足表 7 的要求，量程应满足监测要求，并具有良好的防震、防水、防腐蚀性能。

表7 传感器的精度

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 $\leq 1.0\% F.S.$
4	锚索计	$\leq 0.5\% F.S.$
5	渗压计	$\leq 0.5\% F.S.$
注：F.S. 为传感器满量程。		

6 监测方法及断面布置

6.1 一般规定

- 6.1.1 监测方法应与地质条件、施工方法相匹配，当地质条件或施工方法发生变化时，应根据需要及时调整监测方法并做好变更记录。
- 6.1.2 监测断面的布设应符合设计要求，并考虑围岩级别、施工方法及支护参数，遵循以下原则：
 - a) 洞口、洞身浅埋段以及地质条件复杂段落，监测断面适当加密；
 - b) 施工方法出现变化时，应在变化里程前后布置 1~2 个监测断面；
 - c) 选测项目量测断面宜与必测项目布置在同一断面。
- 6.1.3 测点应及时埋设并读取初始值，初始值的读取应在测点埋设稳定后，至少独立进行 3 次观测，并取其稳定值的平均值作为初始值。
- 6.1.4 测点应牢固可靠、易于识别，施工过程中，应做好测点和传感器的保护工作。
- 6.1.5 监测传感器应进行稳定性检验，检验记录应齐全。
- 6.1.6 对同一监测项目，宜在基本相同的条件下，采用固定专人、固定仪器、固定方法进行监测。
- 6.1.7 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。
- 6.1.8 现场监测宜采用自动化监测技术。

6.2 洞内、外观察

- 6.2.1 施工过程中应进行洞内、外观察，记录表参见附录 A 中的表 A.1。
- 6.2.2 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、钢架变形和二次衬砌等的工作状态。

6.2.3 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。

6.2.4 应保留洞内、外观察获取的影像资料。

6.3 拱顶下沉监测

6.3.1 拱顶下沉可采用水准仪、全站仪或激光测距仪进行监测。

6.3.2 采用水准仪时，应在隧道拱顶中线附近布置测点，预埋件宜与洞壁垂直，且不应固定在钢架上，外露部分应采取有效的保护措施，监测记录表参见附录 A 中的表 A.2。

6.3.3 采用全站仪时，测点可采用反射片作为靶标，靶标粘附在预埋件上，预埋件埋设见 6.3.2，监测记录表参见附录 A 中的表 A.3。

6.3.4 采用激光测距仪监测时应符合以下规定：

- a) 测距仪的标称精度优于 ± 2 mm；
- b) 测距仪固定在基座上，反射端设置反射片或靶标等，进行实测精度符合性检查，并进行 3 次独立观测，且 3 次独立观测较差应小于标称精度的 2 倍；
- c) 观测结果取 3 次独立观测读数的平均值。

6.3.5 拱顶下沉监测断面间距应符合表 8 的规定。

表8 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
II	50 ~ 100
注：不良地质和特殊岩土地段、大跨和特殊结构段取小值。	

6.3.6 拱顶下沉测点布置应符合以下规定：

- a) 双车道及以下隧道每个断面拱顶布置 1 个~2 个测点、三车道及以上隧道每个断面拱顶布置 2 个~3 个测点，中间点宜位于拱顶中线上，在拱顶中线两侧 2 m~3 m 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) 拱顶下沉监测断面测点布置参见图 1。

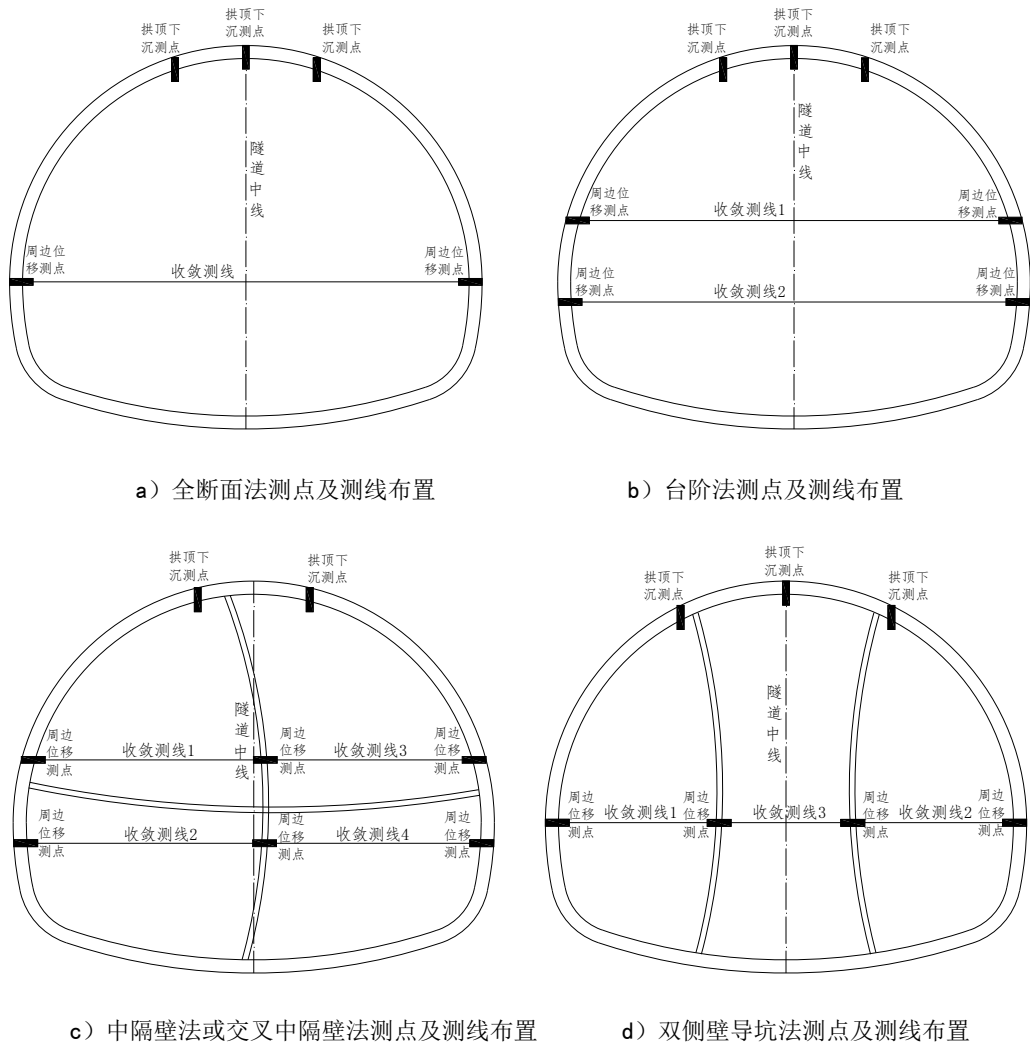


图1 拱顶下沉和周边位移量测的测点及测线布置示意图

6.4 周边位移监测

- 6.4.1 周边位移可采用收敛计、全站仪或激光测距仪进行监测。
- 6.4.2 采用收敛计监测时应符合以下规定：
- a) 测点安装后应进行测点与收敛尺接触点的符合性检查，并应进行 3 次独立观测，且 3 次独立观测较差应小于标称精度的 2 倍；
 - b) 观测时施加收敛尺标定时拉力，观测结果取 3 次独立观测读数的平均值；
 - c) 观测结果进行温度修正，监测记录表参见附录 A 中的表 A. 4。
- 6.4.3 采用全站仪监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) 按盘左、盘右两个盘位观测，监测记录表参见附录 A 中的表 A. 3。
- 6.4.4 采用激光测距仪监测时，应符合 6.3.4 的规定。
- 6.4.5 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 8 的规定。
- 6.4.6 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 9 和图 1 布置。

表9 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。	

6.5 地表下沉监测

- 6.5.1 地表下沉监测可采用水准仪或全站仪进行监测。
- 6.5.2 地表下沉监测可采用相对高程系统。
- 6.5.3 地表下沉监测网的技术要求应符合 GB 50026 的规定。
- 6.5.4 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 10 的要求布置。

表10 地表下沉断面纵向间距

隧道埋深	测点间距 (m)
$H_0 > 2B$	20 ~ 50
$B < H_0 \leq 2B$	10 ~ 20
$H_0 \leq B$	5 ~ 10
注： H_0 - 隧道埋深，下同。	

- 6.5.5 当隧道为长距离浅埋时，地表下沉监测纵向范围为掌子面前方 $(H+H_0)$ 范围，监测纵向范围如图 2 所示。

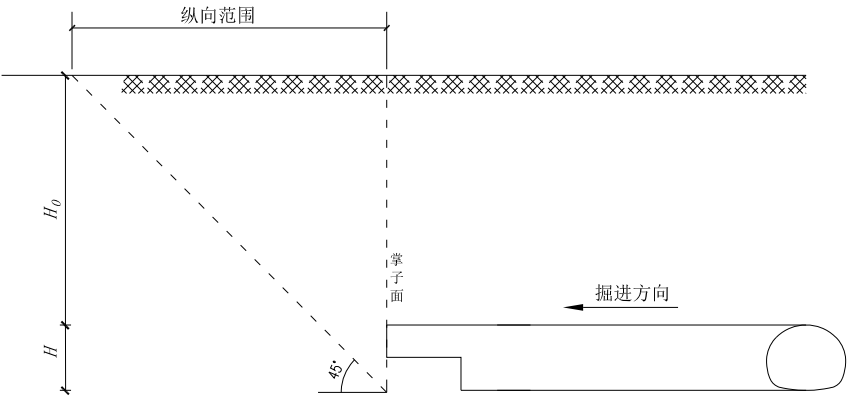
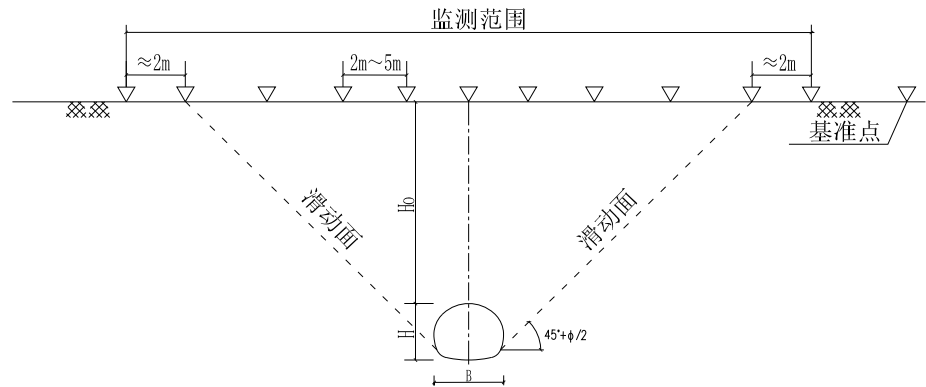


图2 地表下沉纵向监测范围

- 6.5.6 地表下沉测点横向布置应符合以下规定：
 - a) 隧道中线两侧测量范围及测点布置如图 3 所示；
 - b) 间距宜为 2~5m，远离隧道中线的测点间距可逐渐增大，并根据地质条件 and 环境条件进行调整；
 - 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；

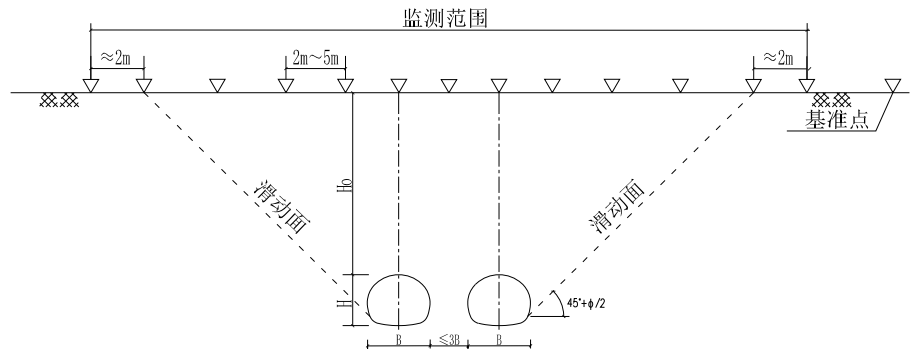
d) 连拱、分离式隧道轴线上应各设一个测点。



说明:

ϕ —为围岩内摩擦角。

a) 独立隧道



b) 分离式隧道 (净距 $\leq 3B$)

图3 地表下沉横向测点布置示意图

6.6 拱脚位移监测

6.6.1 拱脚位移监测包括拱脚下沉和拱脚水平位移。

6.6.2 拱脚下沉可采用水准仪或全站仪进行监测。

6.6.3 拱脚两点相对水平位移可采用全站仪或激光测距仪进行监测,拱脚单点水平位移可采用全站仪进行监测。

6.6.4 拱脚位移宜与拱顶下沉测点布置在同一断面,断面间距应符合表 8 的规定。

6.7 边(仰)坡位移监测

6.7.1 隧道洞口边(仰)坡位移监测宜采用全站仪,也可采用 GNSS 等进行监测。

6.7.2 边(仰)坡位移监测可采用绝对坐标系统,也可采用相对坐标系统。当采用相对坐标系统时应设置不少于两个基准点,全站仪宜采用固定设站。

6.7.3 边(仰)坡位移监测断面间距可按表 10 选择,测点间距宜为 2 m~5 m;当边(仰)坡分台阶放坡施工时,每级台阶均应布设监测点。

6.8 隧底隆起监测

6.8.1 隧底隆起可采用水准仪或全站仪进行监测。

6.8.2 隧底隆起应根据隆起部位、长度、范围等布置测点。

6.9 爆破振动监测

6.9.1 爆破振动监测可采用速度或加速度传感器。

6.9.2 振动监测传感器的安装应与被测对象之间刚性粘结,并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、石膏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。

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

6.10 结构内力监测

6.10.1 结构内力监测包括钢架内力、喷射混凝土应力、二次衬砌内力等,其中二次衬砌内力监测分为二次衬砌钢筋应力、二次衬砌混凝土应力等,监测记录表参见附录 A 中的表 A.5。

6.10.2 钢架内力监测可采用钢筋计、应变计进行量测,并应符合以下规定:

- a) 钢筋计、应变计成对埋设在钢架的内、外侧;
- b) 型钢钢架内力量测时,应变计焊接在型钢钢架翼缘位置;
- c) 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。

6.10.3 喷射混凝土应力、二次衬砌混凝土应力监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内、外侧;
- 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。

6.10.4 二次衬砌钢筋应力监测宜采用钢筋计进行量测,并应符合以下规定:

- a) 钢筋计环向安装;
- b) 钢筋计沿内、外侧主筋成对布设;
- c) 钢筋计置换截断的主筋,钢筋计直径与主筋直径相匹配。

6.10.5 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。

6.10.6 选测项目断面选择及测点布置可按表 11 的要求确定,并根据现场需求调整。

表11 选测项目断面选择及测点布置

序号	监控量测项目	断面选择	测点布置	
			两车道	三车道及以上
1	钢架内力	每代表性地段 1 个~2 个断面	每断面 3 个~5 个测点	每断面 5 个~7 个测点
2	喷射混凝土应力			
3	二次衬砌内力			

表 11（续）

序号	监控量测项目	断面选择	测点布置	
			两车道	三车道及以上
4	接触压力	每代表性地段 1 个~2 个断面	每断面 3 个~5 个测点	每断面 5 个~7 个测点
5	锚杆轴力	每代表性地段 1 个~2 个断面	每断面 3 根~5 根锚杆（索），每根锚杆 3 个~6 个测点	每断面 5 根~7 根锚杆（索），每根锚杆 3 个~6 个测点
6	锚索拉力			
7	围岩内部位移	每代表性地段 1 个~2 个断面	每断面 2 个~5 个孔	每断面 3 个~5 个孔
8	孔隙水压力	根据需要设置断面数量	每断面 1 个~2 个测点	
9	水流量	根据需要设置断面数量，通常 1 个~3 个断面	每断面 1 个~2 个测点	

6.11 接触压力监测

- 6.11.1 接触压力监测宜采用压力盒，监测记录表参见附录 A 中的表 A. 6。
- 6.11.2 压力盒的测试量程可根据预测的压力最大值确定，其上限可取设计压力的 2 倍。
- 6.11.3 压力盒埋设时应符合以下规定：
 - a) 受力面垂直于压力方向，平整密贴；
 - b) 采用钻孔法埋设时，回填应均匀密实。
- 6.11.4 接触压力监测断面及测点布置应符合 6.10.6 的规定。

6.12 锚杆轴力、锚索拉力监测

- 6.12.1 锚杆轴力宜采用钢筋计进行监测，锚索拉力可采用锚索测力计进行监测，监测记录表参见附录 A 中的表 A. 7。
- 6.12.2 锚杆、锚索测试传感器的量程宜为设计值的 2 倍。
- 6.12.3 锚杆、锚索应在注浆浆液凝固后测取初始值。
- 6.12.4 预应力锚杆、锚索可对预应力施加过程进行连续监测。
- 6.12.5 锚杆轴力、锚索拉力监测断面及测点布置应符合 6.10.6 的规定，单根锚杆测点可按图 4 进行布置。

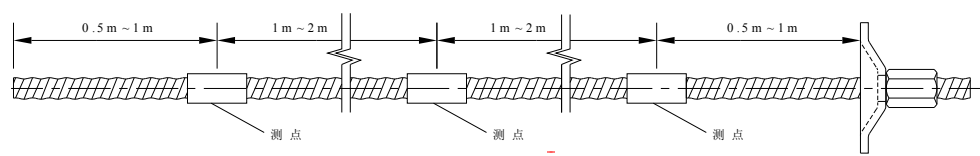


图4 单根锚杆测点布置示意图

6.13 围岩内部位移监测

- 6.13.1 围岩内部位移可采用单点位移计、多点位移计进行监测。
- 6.13.2 洞口及浅埋段可采用地表埋设的方法，并应在洞内开挖影响前布置测点，及时获取初始读数。
- 6.13.3 深埋地段可采用洞内埋设的方法，并尽可能靠近掌子面布置测点，及时获取初始读数。
- 6.13.4 围岩内部位移监测断面布置应符合 6.10.6 的规定。

6.14 孔隙水压力、水流量监测

- 6.14.1 孔隙水压力可采用渗压计进行监测，监测记录表参见附录 A 中的表 A.8。
- 6.14.2 渗压计的量程应满足被测孔隙水压力范围的要求，可取静水压力与超孔隙水压力之和的 2 倍。
- 6.14.3 渗压计埋设前，传感器透水石应在清水中浸泡饱和，并排除透水石中的气泡；埋设时渗压计应直接与水接触。
- 6.14.4 水流量可采用三角堰或流量计进行监测，监测记录表参见附录 A 中的表 A.9。
- 6.14.5 孔隙水压力、水流量监测断面布置应符合 6.10.6 的规定。

6.15 小净距、连拱隧道监测

- 6.15.1 小净距、连拱隧道根据监测项目选择本章对应监测方法。
- 6.15.2 小净距隧道后行洞开挖时，对先行洞相应断面前后 1 倍隧道开挖宽度范围进行重点监测，同时加强对中夹岩的监测。
- 6.15.3 连拱隧道应对先行洞掌子面至后行洞二次衬砌范围进行重点监测，同时加强对中墙顶部和底部水平位移的监测。

7 控制基准及数据分析反馈

7.1 一般规定

- 7.1.1 监控量测项目控制基准应根据地质条件、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，且应满足相应规范要求。
- 7.1.2 监控量测应建立预警管理制度，包括监测预警等级、预警标准、警情报送对象、时间和方式等。
- 7.1.3 监控量测预警等级和预警标准应根据工程特点、监测项目控制基准、施工经验等综合确定。
- 7.1.4 监控量测数据应及时校对和整理，信息传递渠道通畅，反馈及时有效。
- 7.1.5 宜采用信息化手段进行监控量测数据分析和反馈。

7.2 控制基准

- 7.2.1 隧道周边位移、拱顶下沉、拱脚位移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 12 选用，并在施工过程中通过现场实测数据的积累进行修正。

表12 隧道变形控制基准

围岩 级别	双车道		三车道	
	埋深 <50 m	埋深 ≥50 m	埋深 <50 m	埋深 ≥50 m
III	≤ 0.001 <i>B</i>	≤ 0.002 <i>B</i>	—	—
IV	≤ 0.01 <i>B</i>	≤ 0.015 <i>B</i>	—	≤ 0.0135 <i>B</i>
V	≤ 0.02 <i>B</i>	≤ 0.03 <i>B</i>	≤ 0.01 <i>B</i>	≤ 0.025 <i>B</i>

注：拱脚单点位移控制基准根据实际情况确定。

- 7.2.2 地表下沉及边（仰）坡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) 放坡施工地段边（仰）坡水平及竖向位移控制基准可按边（仰）坡开挖高度的 1/500 或 20 mm，以及速率连续 3d 大于 2 mm/d 确定。
- 7.2.3 隧底隆起控制基准应根据设计文件，并结合隆起原因、施工方法等综合确定。
- 7.2.4 爆破振动控制基准应符合表 13 的规定。

表13 爆破振动安全允许振速

序号	保护对象类别	安全允许振速 V (cm/s)		
		$f \leq 10\text{Hz}$	$10\text{Hz} < f \leq 50\text{Hz}$	$f > 50\text{Hz}$
1	土窑洞、土坯房、毛石房屋	0.15~0.45	0.45~0.9	0.9~1.5
2	一般民用建筑物	1.5~2.0	2.0~2.5	2.5~3.0
3	工业和商用建筑物	2.5~3.5	3.5~4.5	4.2~5.0
4	一般古建筑与古迹	0.1~0.2	0.2~0.3	0.3~0.5
5	运行中的水电站及发电厂中心控制室设备	0.5~0.6	0.6~0.7	0.7~0.9
6	水工隧洞	7~8	8~10	10~15
7	交通隧道	10~12	12~15	15~20
8	矿山巷道	15~18	18~25	20~30
9	永久性岩石高边坡	5~9	8~12	10~15
10	新浇大体积混凝土（C20）			
	龄期：初凝~3d	1.5~2.0	2.0~2.5	2.5~3.0
	龄期：3d~7d	3.0~4.0	4.0~5.0	5.0~7.0
	龄期：7d~28d	7.0~8.0	8.0~10.0	10.0~12.0

注：表列频率为主振频率，频率范围可根据类似工程或现场实测波形确定，亦可参考下列数据选取：洞室爆破<20 Hz；地下深孔爆破30 Hz~100 Hz；地下浅孔爆破60 Hz~300 Hz。

- 7.2.5 隧道周边建（构）筑物监测项目控制基准应符合以下要求：
- a) 建筑物监测项目控制基准应符合 GB 50007 的有关规定；
- b) 桥梁监测项目控制基准应符合 JTG H 11 和 CJJ 99 的有关规定；
- c) 高速公路监测项目控制基准应符合 JTJ 073.1 和 JTG 5142 的有关规定；
- d) 既有铁路线路结构及轨道几何形位的监测项目控制基准应符合 TB 10413 的有关规定，并应满足线路维修的要求；
- e) 城市轨道交通既有线路结构及轨道几何形位的监测项目控制基准应符合 GB 50157 的有关规定，并应满足线路维修的要求。
- 7.2.6 选测项目控制基准应满足设计文件要求及 JTG/T 3660 相关规定。

7.3 数据分析

- 7.3.1 监控量测数据分析主要包括以下内容：
- a) 根据量测值绘制量测数据—时间（空间）曲线图；
- b) 选择回归曲线，预测最终值，并与控制基准进行比较；
- c) 对支护及围岩状态、工法、工序进行评价。
- 7.3.2 监控量测数据分析可采用散点图和回归分析方法，回归分析公式可参考附录 B。

7.4 监控量测预警

7.4.1 监控量测数据处理分析结果可用于围岩稳定性评价和预警管理,根据结果判断稳定性和安全性,并给出应对措施建议。

7.4.2 洞内外观察结果预警等级及应对措施宜按表 14 的要求执行。

表14 洞内外观察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	1 初期支护、二次衬砌结构出现变形、位移、沉降和裂缝,渗漏水,隧底隆起等,发展缓慢。 2 隧道掌子面出现喷水现象或水体颜色及浑浊程度发生变化。 3 地表出现裂缝。 4 周边建(构)筑物出现轻微开裂、变形或不均匀沉降。	加强监控量测,必要时采取相应工程措施
红色	1 初期支护、二次衬砌结构物出现明显变形、位移、沉降且发展较快;裂缝密集;剪切性裂缝;混凝土出现压裂、起层和剥落,混凝土块有可能掉落。 2 掌子面或隧道周围岩土体出现突水、突泥、坍塌迹象,或出现异常的响声,出水量有明显增大的趋势。 3 地表出现突然明显沉降或较严重的突发裂缝、坍塌,树木或电杆明显倾斜。 4 周边建(构)筑物出现危及正常使用功能或结构安全的过大沉降、倾斜、裂缝等。	暂停施工,立即采取相应工程措施

7.4.3 位移监控量测结果预警等级及应对措施应符合表 15 的要求。

表15 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
	累计值和速率	趋势	
黄色	变形监测累计值大于等于控制基准的 50%,或速率值大于等于 3 mm/d~5 mm/d	位移速率变化保持基本不变,变形曲线呈线性增长	加强监控量测,必要时采取相应工程措施
红色	变形监测累计值大于控制基准的 70%,或速率值连续 3 天大于等于 3 mm/d~5 mm/d	变形异常加速,变形曲线上扬,无收敛迹象	暂停施工,立即采取相应工程措施
注:速率控制值硬岩取 3 mm/d,软岩取 5 mm/d。			

7.4.4 典型变形时态曲线与围岩稳定性趋势关系宜按表 16 判断。

表16 变形时态曲线与围岩稳定性趋势关系

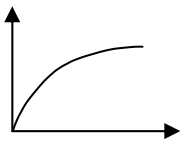
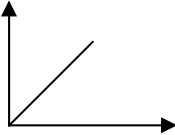
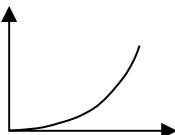
时态曲线形态	变形加速度	围岩稳定状态及趋势
	$\frac{d^2u}{dt^2} < 0$	基本稳定 趋于收敛

表 16（续）

时态曲线形态	变形加速度	围岩稳定状态及趋势
	$\frac{d^2u}{dt^2} \approx 0$	变化发展 线性增长
	$\frac{d^2u}{dt^2} > 0$	变形异常加速 坍塌预警
注：根据时态曲线判别围岩稳定性趋势时，应结合施工工序综合分析。		

7.4.5 选测项目的预警等级应根据设计文件要求及监测控制基准等综合确定。

7.5 信息反馈

7.5.1 信息反馈应以变形反馈为主，主要依据监测值和时态曲线对围岩的稳定性、支护结构的工作状态、周围环境的影响程度进行判定，验证和优化设计参数，提出对策建议。

7.5.2 接触压力、结构内力等项目监测值反馈可指导施工，调整设计参数。

7.5.3 监控量测信息反馈可按图 5 规定的流程进行。

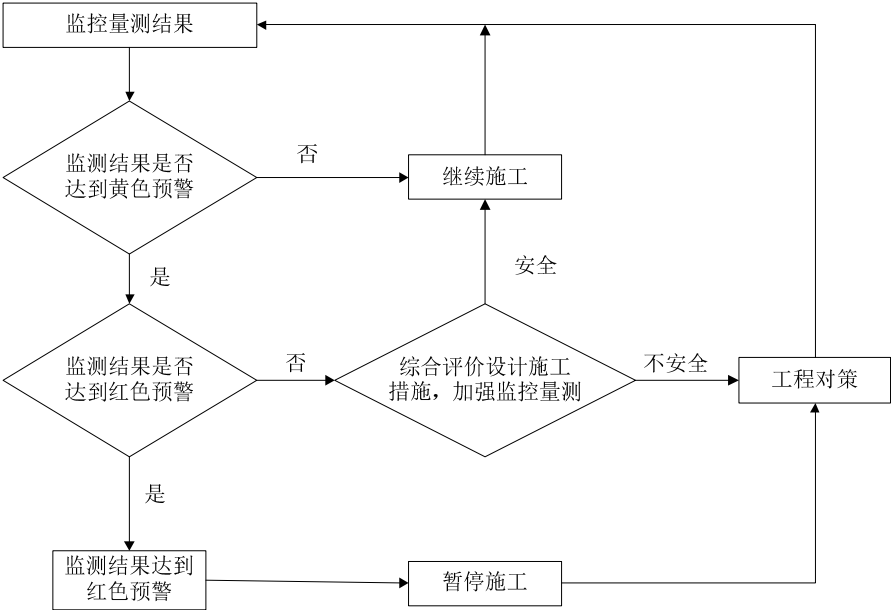


图5 监控量测反馈流程框图

7.5.4 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，发现安全隐患应分析原因并提交报告，日报应在当日监测工作完成后 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。

8 监测成果

- 8.1.1 监测成果应包括现场监测资料、计算分析资料、照片、文字报告等。
- 8.1.2 监测报告可分为日报、预警报告、阶段性报告和总结报告。
- 8.1.3 监测日报宜包括下列内容：
 - a) 现场巡查情况；
 - b) 监测数据。
- 8.1.4 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) 监测数据图表：监测项目累计变化值、变化速率值、监测点平面位置图；
 - d) 原因初步分析；
 - e) 处理措施建议。
- 8.1.5 阶段报告（周报、月报）宜包括下列内容：
 - a) 施工进度；
 - b) 现场巡查信息：巡查照片、记录等；
 - c) 监测完成工作量，实际断面布置情况；
 - d) 监测数据图表：监测项目累计变化值、变化速率值、时程曲线、监测点平面位置图等；
 - e) 监测数据、巡查信息的分析与说明；
 - f) 结论与建议。
- 8.1.6 总报告宜包括下列内容：
 - a) 工程概况及施工、监测总体情况；
 - b) 监测目的、监测项目和监测依据；
 - c) 监测采用的仪器型号、规格和传感器标定资料；
 - d) 监测数据采集和观测方法；
 - e) 现场巡查信息：巡查照片、记录等；
 - f) 监测数据图表：监测值、累计变化值、变化速率值、时程曲线、监测点平面位置图等；
 - g) 监测数据、巡查信息的分析与说明；
 - h) 结论与建议。

附 录 A
(资料性附录)
监测记录表

洞内外观察记录见表A. 1。

表A. 1 洞内外观察记录表

第 页 共 页

工程名称		里程/桩号	
监测依据		设备名称/管理号	
监测日期		环境条件	
掌子面 观察	岩石种类和风化特征		掌子面素描图
	岩性特征		
	结构面发育程度及产状		
	断层及破碎带宽度、特征		
	地下水情况		
	掌子面稳定状态		
开挖状态	开挖方法及工况		
已支护段 观察	渗漏水情况		
	喷层裂缝状况		
	有无钢架被压屈现象		
	锚杆端头及垫板状况		
	衬砌表面裂缝状况		
	是否有底鼓现象		
洞外观察	地表的变形、开裂的分布等	-	
	植被、水系状况		
	地表建（构）筑物状况		
备注：			

监测人员：

复核人员：

隧道拱顶下沉监测记录见表A. 2。

表A. 2 隧道拱顶下沉监测记录表（水准仪）

第 页 共 页

工程名称										监测依据									
里程			施工方法					施工部位				仪器型号				仪器编号			
测点 编号	测量时间		观测值					测点 编号	测量时间		观测值								
	年/月/日	时	温度	第一次	第二次	第三次	平均值		年/月/日	时	温度	第一次	第二次	第三次	平均值				
			℃	m	m	m	m				℃	m	m	m	m				

监测人员：

复核人员：

位移监测记录见表A. 3。

表A. 3 位移监测记录表（全站仪）

第 页 共 页

工点名称					测点里程		
监测依据					环境条件		
施工方法		施工部位		仪器型号/编号		设备管理号	
/	X (m)	Y (m)	Z (m)	/	X (m)	Y (m)	Z (m)
后视点 1				后视点 2			
测点	I （盘左）			II （盘右）			备注
	X (m)	Y (m)	Z (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	

监测人员：

复核人员：

隧道周边位移监测记录见表A. 4。

表A. 4 隧道周边位移监测记录表（收敛计）

第 页 共 页

工程名称										监测依据									
里程			施工方法					施工部位				仪器型号				仪器编号			
测线 编号	测量时间		观测值					测线 编号	测量时间		观测值								
	年/月/日	时	温度	第一次	第二次	第三次	平均值		年/月/日	时	温度	第一次	第二次	第三次	平均值				
			℃	mm	mm	mm	mm				℃	mm	mm	mm	mm				

监测人员：

复核人员：

内力监测记录见表A. 5。

表A. 5 内力监测记录表

第 页 共 页														
工程名称							仪器设备/编号				设备管理号			
监测依据							环境条件							
埋设里程							埋设日期							
编号 日期		频率（Hz）									传感器埋设位置图			
备注														

监测人员：

复核人员：

接触压力监测记录见表A. 6。

表A. 6 接触压力监测记录表

第 页 共 页

工程名称							仪器设备/编号			设备管理号	
监测依据							环境条件				
埋设里程							埋设日期				
编号	频率（Hz）										传感器埋设位置图
日期											
备注											

监测人员：复核人员：

锚杆轴力、锚索拉力监测记录见表A. 7。

表A. 7 锚杆轴力、锚索拉力监测记录表

第 页 共 页

工程名称							仪器设备/编号			设备管理号	
监测依据							环境条件				
埋设里程							埋设日期				
编号	频率（Hz）										传感器埋设位置图
日期											
备注											

监测人员：

复核人员：

孔隙水压力监测记录见表A. 8。

表A. 8 孔隙水压力监测记录表

第 页 共 页

工程名称						环境条件					
监测依据						埋设日期					
测点里程				仪器型号/编号					设备管理号		
编号 日期	频率（Hz）										备注

监测人员：

复核人员：

附 录 B
(资料性附录)
监控量测数据回归分析方法

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(构)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. 拱顶下沉、周边位移回归分析一般采用如下模型:

指数模型:

$$U = Ae^{\frac{-B}{t}} \dots\dots\dots (B.1)$$

$$U = A(e^{-B/t} - e^{-B/t_0}) \dots\dots\dots (B.2)$$

对数模型:

$$U = A \lg[(B+t)/(B+t_0)] \dots\dots\dots (B.3)$$

$$U = A \lg(1+t) + B \dots\dots\dots (B.4)$$

双曲线模型:

$$U = t/(A+Bt) \dots\dots\dots (B.5)$$

式中:

U —变形值(或应力值);

A, B —回归参数;

t_0 —初次观测时间(d);

t —观测时间(d)。

2. 地表纵向沉降回归分析:由于隧道开挖过程中地表纵向沉降受开挖工作面的时空效应的影响,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函数进行回归分析。

$$S = A[1 - e^{-B(x-x_0)}] + U_0 \quad (x > x_0) \dots\dots\dots (B.6)$$

$$S = -A[1 - e^{-B(x-x_0)}] + U_0 \quad (x \leq x_0) \dots\dots\dots (B.7)$$

式中:

A, B —回归参数;

x —距开挖面的距离;

S —距开挖面 x 处的地表下沉;

x_0, U_0 —拐点 x_0 处的沉降值 U_0 。

3. 地表下沉横向分布规律采用Peck公式:

$$S(x) = S_{\max} e^{-\frac{x^2}{2i^2}} \dots\dots\dots (B.8)$$

$$S_{\max} = \frac{V_1}{\sqrt{2\pi}i} \dots\dots\dots (B.9)$$

$$i = \frac{H_0}{\sqrt{2\pi} \tan\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)} \dots\dots\dots (B.10)$$

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；
 V_1 —地下工程单位长度地层损失（m³/m）；
 i —沉降曲线变曲点；
 H_0 —隧道埋深（m）；
 φ —围岩内摩擦角（°）。

一般而言，当建（构）筑物处于沉降槽影响范围外时（相对安全区），较安全；当处于沉降槽影响范围内时（影响区），此时应提前注意，并提前采取措施；当建（构）筑物处于沉降槽曲线下凹段时（危险区），距离沉降最大点越近所处空间位置越不利、越危险。

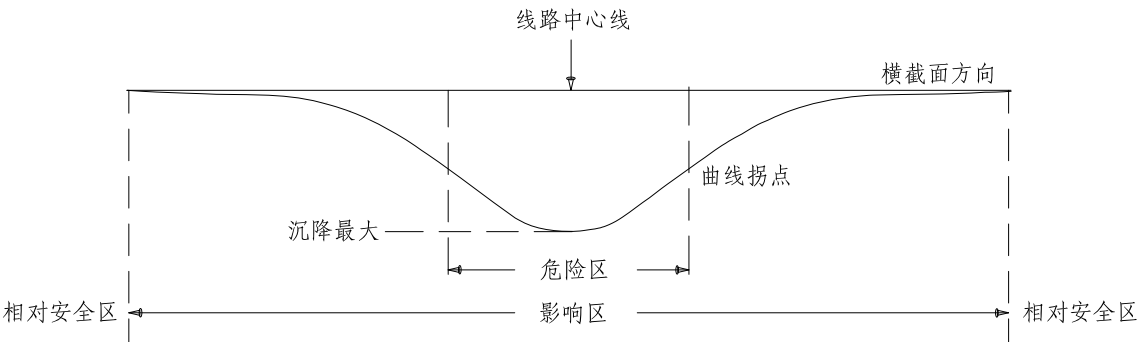


图 B.1 地表横向沉降槽

当采用信息化平台时，可将上述公式编入计算机程序，进行数据的自动拟合分析，对监测结果进行预测和预警。

参 考 文 献

- GB 50086-2015 岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范
GB 50497-2019 建筑基坑工程监测技术标准
GB 50911-2013 城市轨道交通工程监测技术规范
GB/T 50218-2014 工程岩体分级标准
JTG 3370.1-2018 公路隧道设计规范 第一册 土建工程
JTG H12-2015 公路隧道养护技术规范
Q/CR 9218-2015 铁路隧道监控量测技术规程
-