

ICS 93.060
U 456.3

DB45

广西壮族自治区地方标准

DB 45/T 1958—2019

公路隧道监控量测技术规程

Technical code for monitoring measurement of highway tunnel

2019 - 05 - 31 发布

2019 - 06 - 30 实施

广西壮族自治区市场监督管理局

发布

8.1	一般规定	23
8.2	数据分析	23
8.3	工程安全性及环境影响评价	23
8.4	信息反馈及工程对策	26
9	成果资料	27
附录 A (资料性附录)	隧道拱顶下沉量测记录表	29
附录 B (资料性附录)	隧道净空收敛量测记录表	30
附录 C (资料性附录)	现场三角堰估算水量方法	31
附录 D (资料性附录)	监控量测数据处理及回归分析方法	32

前 言

本标准按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本标准由广西壮族自治区交通运输厅提出。

本标准由广西交通运输标准化技术委员会归口。

本标准起草单位：广西交通设计集团有限公司。

本标准主要执笔人：李洋溢、吴秋军。

本标准其他起草人：林增海、赵继新、米德才、熊劲松、李敦仁、唐国军、虞杨、袁通、徐龙旺、宾海峰、曹斌、陈梅、周祥、秦鲜卓、封炎、陈人豪、吴庆全。

引 言

由于岩土复杂性，在岩土中修建隧道及地下工程，理论分析和计算存在很大的不确定性，因此实际的隧道施工过程中，常常需要借助现场的监控量测工作对围岩进行动态监测，并通过信息反馈来指导施工和修正设计，因此监控量测是隧道安全施工的必要保障之一，也是隧道工程动态设计的前提条件和基础依据之一。

本技术规程在编制过程中，认真总结了我国及广西地区隧道监控量测的经验，同时借鉴了国内外隧道监控量测的案例和数据，在广泛征求意见的基础上，经反复审查定稿。

公路隧道监控量测技术规程

1 范围

本标准规定了公路隧道监控量测技术的术语和定义、符号、基本规定、技术要求、监控量测方法、数据分析和信息反馈、成果资料等。

本标准适用于广西地区采用钻爆法施工的新建、改扩建双车道公路隧道，广西地区境内采用钻爆法施工的市政隧道及其它山岭隧道，亦可参考本标准使用。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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 50007 建筑地基基础设计规范
- GB 50021 岩土工程勘察规范
- GB 50026 工程测量规范
- GB 50086 岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范
- GB 50497 建筑基坑工程监测技术规范
- GB 50911 城市轨道交通工程监测技术规范
- GB 50982 建筑与桥梁结构监测技术规范
- JGJ 8 建筑变形测量规范
- JTG C10 公路勘测规范
- JTG 3370.1 公路隧道设计规范 第一册 土建工程
- JTG/T D70 公路隧道设计细则
- JTG F60 公路隧道施工技术规范
- JTG/T F60 公路隧道施工技术细则
- SL 183 地下水监测规范
- Q/CR 9218 铁路隧道监控量测技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义用于本文件。

3.1

监控量测 monitoring measurement

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

3.2

接触量测 contact measurement

是指量测时接触被测目标直接获取被测点的量测信息的方法。

3.3

非接触量测 non-contact measurement

是指量测时不接触被测目标的情况下,获取被测点的量测信息的方法。

3.4

必测项目 necessary monitoring items

为保证隧道周边环境和围岩的稳定以及施工安全,同时为反映设计施工、状态而应进行的观测围岩和支护变形、地表沉降等的日常监控量测项目。

3.5

选测项目 selected monitoring items

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

3.6

专项监测项目 special monitoring items

当存在某些特殊的地形、地质条件,或预判可能遭遇施工地质灾害或已经遭遇了地质灾害时,或围岩及支护结构出现了特殊工作状况,为保证隧道周边环境和围岩的稳定以及施工安全而应进行的监控量测项目。

3.7

测点 observation point

设置在观测体上或内部,能反映其特征,作为变形、位移、应力或应变量测用的固定标志。

3.8

测线 survey lines

隧道净空收敛和拱顶下沉量测时,设置在洞周壁上两测点之间的连线。

3.9

变形 deformation

隧道围岩、结构、基础等受到各种作用力而产生的形状或位置变化。

3.10

位移 displacement

本技术规程中特指非竖向的变形。

3.11

沉降 settlement

隧道围岩、结构、基础、地面等在荷载作用下产生的竖向变形,包括下沉和隆起,下沉值和隆起值统称为沉降量。

3.12

拱顶下沉 crown settlement
隧道拱顶测点的绝对沉降量。

3.13

净空收敛 convergence of tunnel inner perimeter
隧道周边两测点间距离的变化。

3.14

地表变形 ground deformation
隧道开挖后地层中的（应力）扰动区延伸至地表而引起的地表沉降、隆起及位移。

3.15

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

3.16

极限变形 limit deformation
极限变形为全变形量，即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变形量。

3.17

极限相对变形 limit relative deformation
基线极限变形与两测点间的距离之比。

3.18

变形监测 deformation monitoring
对建（构）筑物及其地基或一定范围内岩土体及土体位移、沉降等项目所进行的监控量测工作。

3.19

自动化监测 automatic monitoring
利用智能监测设备实现自动获取被测点的量测信息，并传输至智能处理设备进行数据自动化分析及预警的监控量测工作。

4 符号

下列规定的符号适用于本文件。

B ——隧道开挖断面跨度（m）；

H ——隧道开挖断面高度（m）；

U ——当前实测累计变形量（mm）；

V ——当前实测变形速率 (mm/d) ;

U_k ——变形控制基准值 (mm) ;

U_k' ——相对变形控制基准值 (%) ;

H_0 ——隧道埋深 (m) ;

U_0 ——初期支护极限相对变形 (%) ;

$F.S.$ ——仪器元件量程。

5 基本规定

5.1 监控量测应达到以下目的:

- a) 监控施工安全, 验证支护结构效果;
- b) 监控隧道工程与周边环境的相互影响;
- c) 对可能出现的大变形、塌方及其它地质灾害作出预警;
- d) 为二次衬砌施作时间提供指导意见;
- e) 积累量测数据, 为动态设计与信息化施工提供依据。

5.2 现场监控量测及信息反馈工作可按图 1 的程序进行。

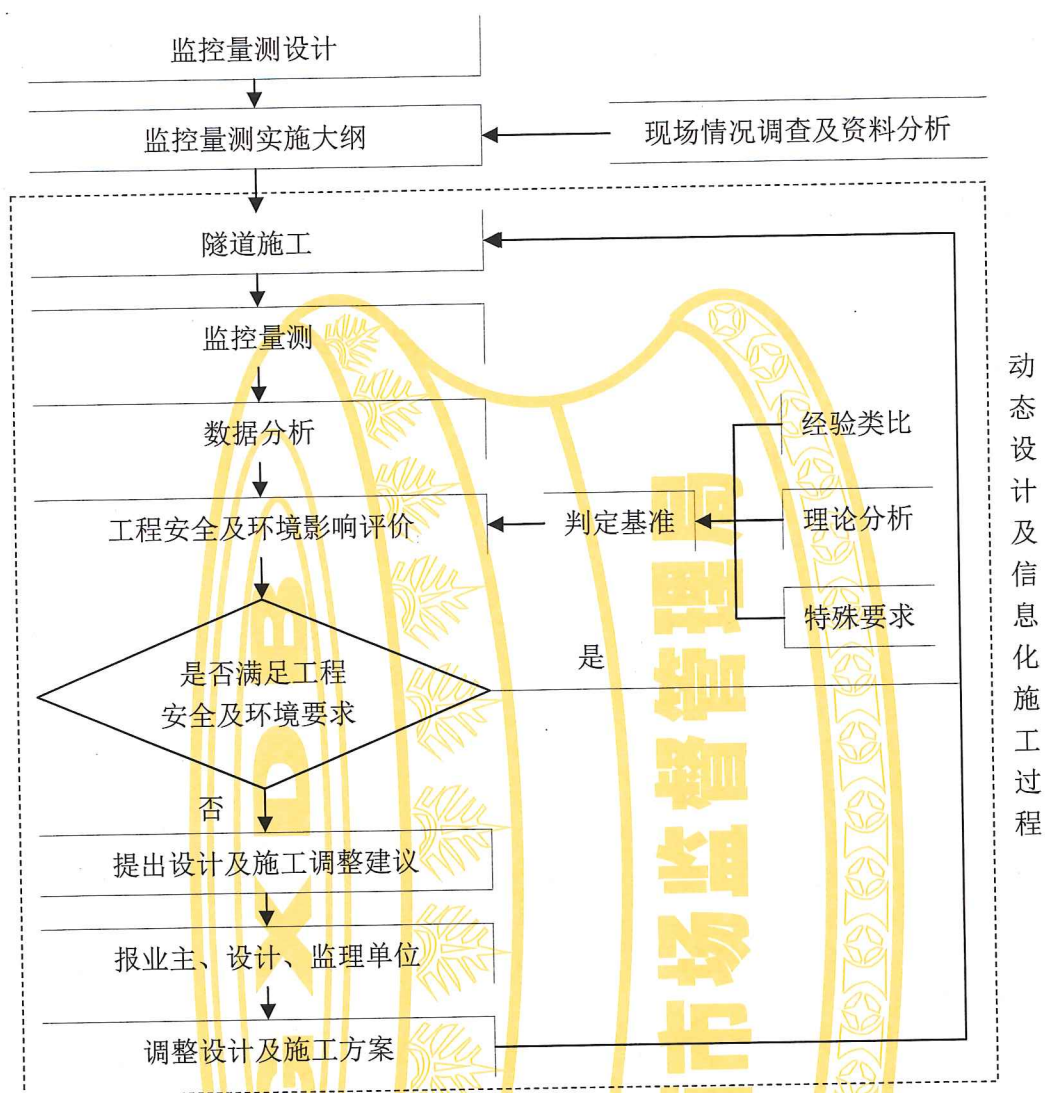


图1 现场监控量测及信息反馈工作流程

5.3 监控量测的管理应科学合理，设计单位应进行监控量测设计，监控量测实施单位在施工前应编制监控量测实施大纲，并在施工中按照大纲认真实施，工程竣工后应将监控量测资料整理归档纳入竣工文件中。

5.4 隧道工程应进行监控量测设计。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，应包括以下内容：

- a) 工程特点分析；
- b) 确定监控量测项目；
- c) 确定监控量测断面、测点布设原则及监测频率；
- d) 确定监控量测控制基准；
- e) 数据分析及信息反馈方法。

5.5 监控量测实施单位应具备相应的资质，拥有专业的监控量测人员和设备，掌握成熟、可靠的测试数据处理与分析技术。

5.6 监控量测实施单位应成立现场监控量测小组，建立相应的质量保证体系，负责及时将监控量测信息反馈于施工和设计。监控量测人员应相对稳定，确保监控量测工作的连续性。

5.7 现场监控量测工作主要包括以下内容:

- a) 收集勘察设计资料、施工风险评估资料及施工组织设计方案,明确监控量测要求;
- b) 现场情况的初始调查;
- c) 编制实施大纲;
- d) 现场施工情况记录;
- e) 布设测点并取得初始监测值;
- f) 现场监控量测及分析反馈;
- g) 提交监控量测成果。

5.8 监测量测实施大纲应根据设计要求及工程特点编制,内容应包括:

- a) 工程概况;
- b) 监控量测项目;
- c) 监控量测体系人员组织及分工;
- d) 监控量测方法;
- e) 元器件、设备及其标定情况;
- f) 监控量测断面、测点布置,监测频率及控制基准;
- g) 有专项监测项目时,应对专项监测项目的内容、方法、断面及测点布置、监测频率及控制基准进行详细规划;
- h) 数据记录格式、分析方法;
- i) 信息反馈及成果提交方法;
- j) 现场安全管理及质量保证措施。

5.9 监控量测实施大纲及其变更应按项目管理程序审批后实施,并作为现场管理的依据。

5.10 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定和校准,并出具相关证明。测点应牢固可靠、易于识别、并注意保护,严防损坏。

5.11 施工现场应建立严格的监控量测数据审查制度,保证数据的准确性。如有监控量测数据缺失或异常,应及时采取补救措施并记录。

5.12 监控量测过程中应避免人为错误,并应根据精度要求经常采用相关方法对误差检验分析,减少系统误差,控制偶然误差。

5.13 监控量测工作应随施工工序及时进行,在满足相关要求的条件下尽快读取初始读数。

5.14 监控量测工作应贯穿隧道施工的全过程,并应作为关键工序列入现场施工组织中,施工过程中认真实施。监控量测工作应与施工密切配合,并宜减少对施工工序的影响。

5.15 隧道监控量测工作应在满足精度要求的条件下,积极慎重地推广新技术、新设备和自动化方法。

5.16 广西地区公路隧道的设计、施工过程中的监控量测工作除符合本技术规程的规定外,尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

6 技术要求

6.1 监控量测项目

6.1.1 监控量测项目分为必测项目、选测项目和专项监测项目。

6.1.2 必测项目详见表 1。

6.1.3 选测项目详见表 2。

6.1.4 专项监测项目详见表 3。

表1 必测项目一览表

序号	监控量测项目	常用量测仪器	备注
1	洞内洞外观察	现场观察、数码相机	
2	拱顶下沉	铟钢尺、水准仪、全站仪	
3	拱脚变形	收敛仪、全站仪	包括拱脚下沉及拱脚处水平收敛
4	净空收敛	收敛仪、全站仪	
5	地表变形	铟钢尺、水准仪、全站仪	包括地表沉降及位移, 仅适用于洞口及洞身浅埋段
6	中隔墙变形	铟钢尺、水准仪、全站仪	包括中隔墙下沉、倾斜, 仅适用于连拱隧道

表2 选测项目一览表

序号	监控量测项目	常用量测仪器	备注
1	钢架应力	钢筋应力计、应变计	
2	喷混凝土应力	混凝土应变计	
3	二次衬砌应力	钢筋应力计、混凝土应变计	包括二次衬砌混凝土、钢筋的应力
4	锚杆应力	钢筋应力计	
5	围岩压力	压力盒	围岩与初期支护之间的接触压力
6	初支与二衬接触压力	压力盒	
7	围岩内部变形	多点位移计、单点位移计	包括围岩内部的切径向变形
8	爆破振动	振动传感器、记录仪	
9	孔隙水压力	孔隙水水压计	
10	水量	三角堰、流量计	

表3 专项监测项目一览表

序号	监控量测项目	常用量测仪器	备注
1	地下水环境监测	水位观测孔、测钟、水位计; 水质分析仪器	包括地下水位, 必要时应进行水质分析
2	地表建(构)筑物监测	振动传感器、记录仪; 铟钢尺、水准仪、全站仪; 钢尺、裂缝宽度检验卡、电子裂缝观察仪、结构裂缝监测传感器	包括地表建(构)筑物的振动速度、变形及裂缝监测
3	施工地质灾害监测	视频监测设备、三角堰、流量计、水压计等	主要为塌方、突水涌泥地质灾害, 不同的灾害类型采用不同的设备
4	二次衬砌裂缝	钢尺、裂缝宽度检验卡、电子裂缝观察仪、结构裂缝监测传感器	包括裂缝长度、宽度、深度
5	底鼓	铟钢尺、水准仪、全站仪	

6.1.5 隧道洞身地表存在居民区, 预期隧道施工出现地质灾害时可能会引起居民区地下水位、水质出现较大变化时, 应进行地下水环境监测。

6.1.6 洞口及洞身浅埋段存在房屋、电塔、水利设施等建(构)筑物时, 应对建(构)筑物进行振动爆破影响、变形、裂缝监测。受影响的建(构)筑物的范围可按 GB 6722 及相关行业规范中爆破振动安全允许距离进行计算, 当缺乏相关资料, 可按隧道两侧 100 m 范围进行估算。

6.1.7 当预判隧道施工可能遭遇地质灾害，或者已经遭遇了地质灾害时，应针对地质灾害的类型和处治方式的不同，制定专项监测方案。

6.1.8 隧道二次衬砌出现裂缝时，应进行裂缝专项监测；隧道底板出现底鼓时，应进行底鼓专项监测。

6.2 监测断面及测点布设原则

6.2.1 监测断面的布设应考虑围岩代表性、围岩变化、施工方法及支护参数的变化，并遵循以下基本原则：

- a) 在不同的围岩分级区域，应各布置最少 1 个监测断面；
- b) 洞口、洞身浅埋段以及地质条件复杂段落，应加密监测断面；
- c) 当施工方案出现变化时，应在变化断面附近增加监测断面；
- d) 当预判隧道可能遭遇大变形、塌方、涌水突泥等不良地质时，应在临近可能出现灾害区域的附近增设监测断面。

6.2.2 监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。不同断面的测点宜布置在相同部位，测点对称布置。

6.2.3 洞口及洞身浅埋隧道地表变形测点应在隧道开挖前布设。地表变形测点和隧道内变形测点应布置在同一断面里程。一般条件下，地表变形测点纵向间距应按表 4 的要求布置。

表4 地表变形测点纵向间距

隧道埋深与开挖宽度	纵向测点间距 (m)
$H_0 > 2B$	20~50
$B < H_0 \leq 2B$	10~20
$H_0 \leq B$	5~10

- a) 地表变形点横向间距宜为 2 m~5 m，在隧道中线附近测点应适当加密。地表有控制性建（构）筑物时，量测范围还应适当加宽。地表变形横向测点布置如图 2 所示；
- b) 地表变形的纵向量测区间应根据隧道埋深按表 5 确定，隧道中线量测范围不应小于 $H_0 + B/2 + H$ ；

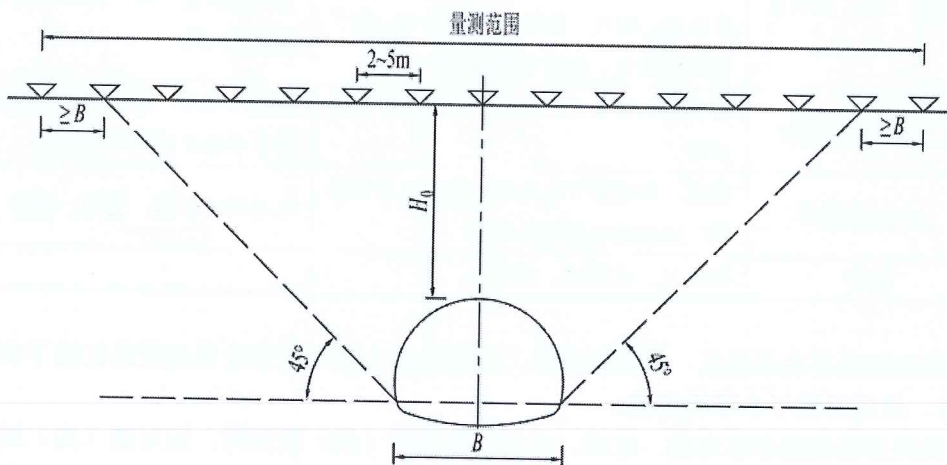


图2 地表变形横向测点布置示意

表5 地表变形量测与埋深的关系

埋深	重要性	量测与否
$H_0 > 3B$	小	不必量测
$2B < H_0 \leq 3B$	一般	宜量测
$B < H_0 \leq 2B$	重要	应量测
$H_0 \leq B$	非要重要	必须量测

c) 对小净距隧道和连拱隧道,应综合考虑左右洞情况联合布设地表变形测点,并将左右洞中线及左右洞之间的区域作为重点区域适当加密测点。

6.2.4 地表变形基准点应确保有足够的稳定性,应布设在开挖影响范围外稳固的基岩、构筑物上,或基础稳定、易于长期保存的地点。地表变形基准点可与路基段或隧道总体的控制测量网统一,其布设应符合 JTG C10 和 GB 50026 的相关要求。

6.2.5 拱顶下沉、拱脚变形和净空收敛测点应布置在同一断面上。监控量测断面按表 6 的要求布置。

表6 拱顶下沉、拱脚变形和净空收敛断面间距

围岩级别	断面间距 (m)	备注
V~VI	5~10	洞口、浅埋段取小值
IV	10~30	
III	30~50	
II	视具体情况确定	

6.2.6 拱顶下沉只需在拱顶中央布设 1 个测点;采用台阶法、CD 法或 CRD 法施工时,应在拱顶两侧各补设 1 个备份测点,与拱顶测点水平间距约 2 m;采用侧壁导坑法施工时,应在各侧壁导坑顶部补设 1 个测点;对连拱隧道,除主洞外,中导洞拱顶应补设 1 个测点。

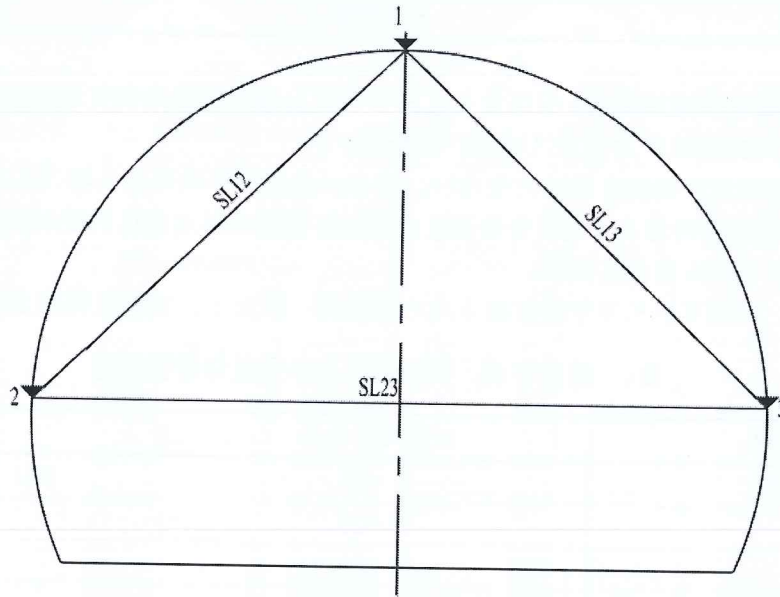
6.2.7 净空收敛量测以水平基线量测为主,在一般地段,按每一台阶或每一个分部布设一条水平测线。在洞口附近、浅埋区段、有严重偏压、膨胀性岩土、断层破碎带及拱顶下沉很大的特殊地段,还应布设斜测线。

表7 净空收敛量测收敛线

施工开挖方法	地段	
	一般地段	特殊地段
全断面法	1条水平测线	—
台阶法	每台阶1条水平测线	每台阶1条水平测线、2条斜测线
分部开挖法	每分部1条水平测线	CD或CRD法上部、双侧壁导坑法左右侧部,每分部1条水平测线,2条斜测线,其余分部1条水平测线
连拱隧道	每分部1条水平测线	侧导坑和中导洞每分部1条水平测线,2条斜测线,其它分部一条水平测线

各施工方法净空收敛测点与测线布置的一般方式如下:

- a) 全断面法，测点在断面开挖完成后一次布设完毕。如图 3 所示，利用拱顶下沉测点 1，在两侧边墙各设一个测点 2 和 3。一般地段，只需布设水平测线 SL23；特殊地段，应在一般地段测线布设方法的基础上增设 2 条斜测线 SL12、SL13；
- b) 台阶法，各测点及测线随台阶开挖顺序而布设。如图 4 所示，上下台阶开挖时，利用拱顶下沉测点 1，上台阶在两侧拱肩附近各设一个测点 2 和 3，下台阶在两侧边墙各设一个测点 4 和 5。一般地段，只需在各台阶布设 1 条水平测线 SL23、SL45；特殊地段，应在一般地段测线布设方法的基础上在上台阶增设 2 条斜测线 SL12、SL13；



注：图中净空收敛及拱脚变形量测基线 SL12 表示测线两端测点编号分别为 1、2，其它测线意义相同。

图3 全断面法测点及测线布置

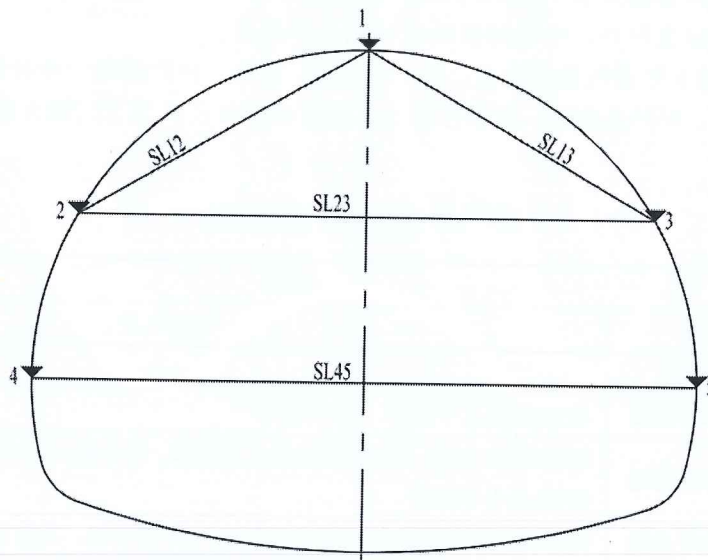


图4 台阶法测点及测线布置

- c) CD法或CRD法,各测点及测线随分部开挖顺序而布设。如图5所示,利用拱顶下沉测点1、2,左右边墙应布设测点3、5、7、8,中隔壁也应在各分部布设测点4、6。一般地段,只需在各分部布设1条水平测线SL34、SL56、SL47、SL68;特殊地段,应在一般地段测线布设方法的基础上在各上分部增设2条斜测线SL23、SL24及SL14、SL17;
- d) 双侧壁导坑法,各测点及测线随分部开挖顺序而布设。如图6所示,利用拱顶下沉测点1、2,7,左右边墙应布设测点3、5、9、11,中隔壁也应在各分部布设测点4、6、8、10。一般地段,在各侧导坑各分部署设1条水平测线SL34、SL56、SL89、SL1011;特殊地段,应在一般地段测线布设方法的基础上在各侧导坑各上分部增设2条斜测线SL23、SL24及SL78、SL79。中导坑可不布设净空收敛量测测线;

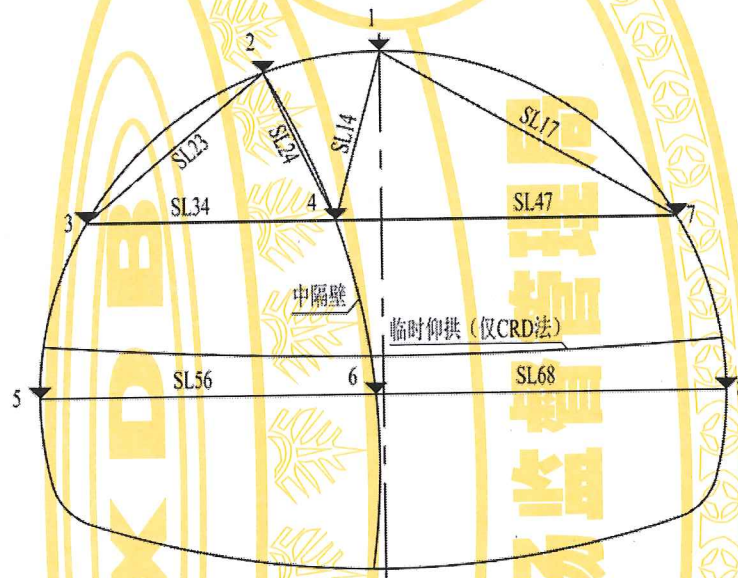


图5 CD法或CRD法测点及测线布置

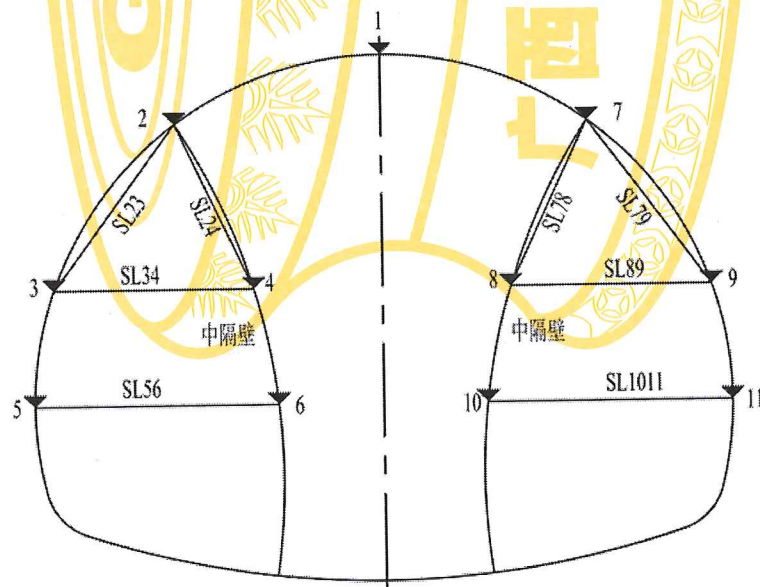


图6 双侧壁导坑法测点及测线布置

- e) 连拱隧道，各测点及测线随分部开挖顺序而布置。如图 7 所示，利用拱顶下沉测点 1、2、3、4、5，左右边墙应布置测点 6、11、9、12，中隔壁也应在各分部布置测点 7、8，中导洞边墙应布置测点 10、13。一般地段，中导洞布置 1 条水平测线 SL1013，左洞左、右导坑各布置 1 条水平测线 SL67、SL711，右洞左、右导坑各布置 1 条水平测线 SL89、SL1718；特殊地段，应一般地段测线布置的基础上，在左洞左导坑、右洞右导坑各布置 2 条斜测线 SL46、SL47、SL58、SL59。中导洞可不布置斜测线。

6.2.8 拱脚变形量测测点应与净空收敛量测一同布置。对全断面开挖，测点布置在断面钢拱架拱脚处，水平收敛测线为左右拱脚测点连线；对台阶法和分部开挖开挖法，测点布置在各台阶或分部开挖钢拱架接头或拱脚处，水平收敛测线为左右接头或拱脚测点连线。

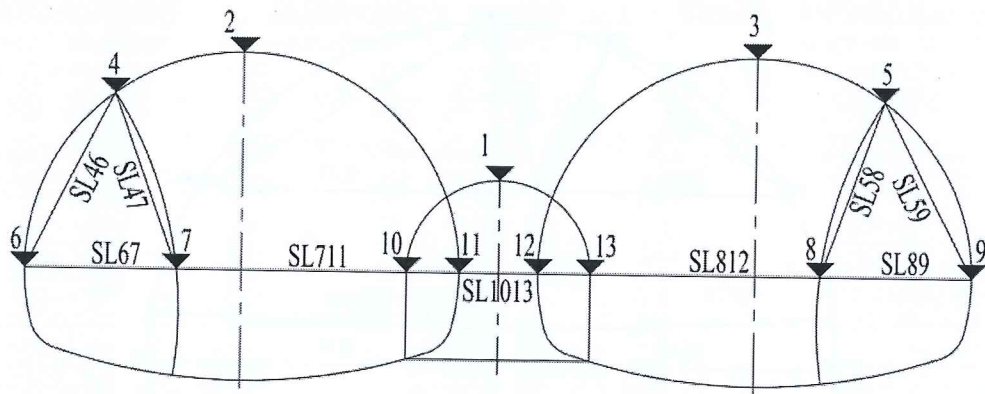


图7 连拱隧道测点及测线布置

6.2.9 隧道采用台阶法或分部施工时，各台阶或分部净空变形量测测点及测线的布置应根据断面各施工部开挖先后顺序进行合理布置。有临时支撑时，临时支撑拆除时及拆除后，应对初期支护断面进行拱顶下沉及净空变形的变形监测以确保临时支撑拆除后初期支护的稳定性，测点布置方法同全断面法。

6.2.10 隧道加宽地段（如紧急停车带）、人行横洞、车行横洞的变形量测测点及测线的布置应根据隧道施工情况确定。

6.2.11 连拱隧道除主洞、中导洞变形量测外，还应在中隔壁浇筑完毕后，在中隔壁顶部布置测点量测变形用于监控中隔壁的下沉、倾斜状况，如图 8，在中隔壁布置测点 1、2 及水平测线 SL12。

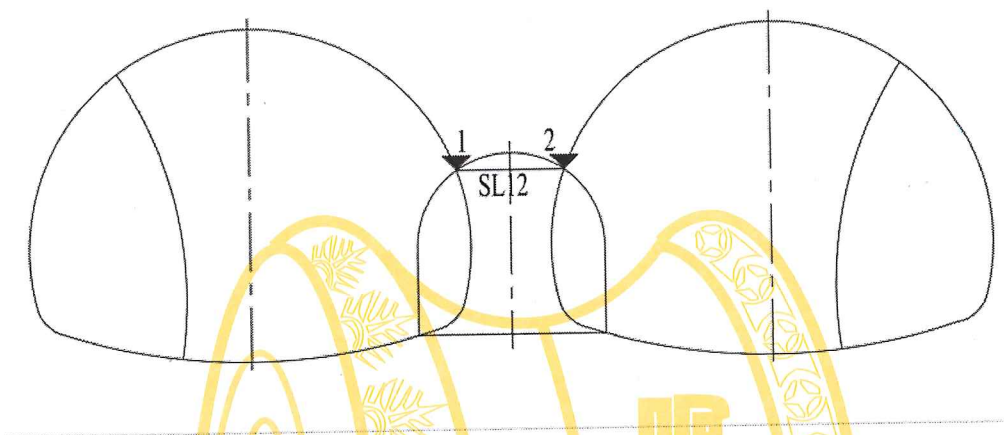


图8 连拱隧道中隔墙变形量测测点及测线布置

6.2.12 采用全站仪非接触量测洞内相对变形时，可以后视点作为基准点获得测点的坐标。后视点应根据现场施工实际情况埋设于已经相对稳定的物体上：

- a) 当测点与二次衬砌距离较近且满足精度要求时，应将后视点埋设于二次衬砌上；
- b) 当测点距离二次衬砌较远而无法测量时，后视点可埋设于已经相对稳定的初期支护上；
- c) 对于 CD 法、CRD 法和双侧壁导坑法等分部开挖的隧道，当进行各分部监测断面量测时，应在所在各分部分别单独设立后视点，不得在中隔墙上设置后视点。

6.2.13 选测项目断面的选择，应综合考虑隧道的类型、规模、围岩代表性、围岩变化、施工方法、支护参数的变化以及工程研究的需要等因素，并宜与必测项目布设在同一断面；选测项目断面上测点布设可根据其测量项目的方法以及测量设备和元器件要求进行设置，一般可按表 8 的要求确定。

6.2.14 对隧道洞身地表受影响居民区内的地下水环境监测，应在居民区外围布设地下水位观测孔，对居民区范围内的水位状况形成全面监控，地下水位观测孔的设置应满足 GB 50021 的相关要求，一般应布设不少于 3 个地下水位观测孔，呈三角形分布，测点间距按岩土的渗透性、水力梯度和地形坡度确定，宜为 50 m~100 m。

表8 选测项目断面选择及测点布置原则

序号	监控量测项目	断面选择及测点布置原则
1	钢架应力	每代表性地段 1~2 个断面，每个断面 3~7 个测点
2	喷射混凝土应力	
3	二次衬砌应力	
4	锚杆应力	每代表性地段 1~2 个断面，每个断面 3~7 个锚杆，每根锚杆 2~4 个测点
5	围岩压力	每代表性地段 1~2 个断面，每个断面 3~7 个测点
6	初支与二衬接触压力	
7	围岩内部变形	采用多点位移计时，每代表性地段 1~2 个断面，每个断面 3~7 个钻孔
8	爆破振动	在先行洞每 50 m~100 m 设置一个监测断面，在二衬上拱腰部位及底板中央设置不少于 3 个测点
9	孔隙水压力	在需要的断面设置，每个断面不少于 3 个孔
10	水量	在需要的断面量测

6.2.15 地表建（构）筑物监测的测点布设应满足下列要求：

- a) 受爆破振动影响时，应在代表性建（构）筑物结构振动敏感点部位设置测点，测点数量根据建（构）筑物体型特点确定，每个转角位置应设置不少于 1 个，且总数不应少于 3 个；
- b) 代表性地表建（构）筑物变形测点应布设在结构变形敏感部位，测点数量根据建（构）筑物体型特点确定，每个转角位置应设置 1 个，且总数不应少于 3 个。变形量测基准点可与地表变形基准点一致，或采用相同的方法单独布设；
- c) 地表建（构）筑物上出现裂缝时，应在裂缝最宽或转折部位布设裂缝标志，并拍摄照片作为裂缝监测初期照片。

6.2.16 施工地质灾害专项监测的断面、测点及测线布设应满足下列要求：

- a) 根据地质资料、超前地质预报及开挖揭露情况，预期前方可能出现施工地质灾害时，宜在距离掌子面一定部位布设视频设备、辅助照明设备及非接触变形量测测点。视频设备安装部位宜不受施工地质灾害影响的安全地段，同时还可对掌子面形成监控；视频设备和辅助照明设备的信号传输线路及电源线宜在施工地质灾害出现时不受影响。有条件进行非接触变形量测时，测点布设可参照拱顶下沉、净空收敛及拱脚变形测点布设方法；
- b) 施工地质灾害影响到地表时，应在地表相应部位布设地表变形测点，布设方式同一般地表变形测点；
- c) 为验证施工地质灾害处治措施效果而进行的变形及应力应变监测，其断面、测点及测线布设方法同洞内其它段落。

6.2.17 洞内爆破振动监测时，在先行洞内布设拱腰测点 1、2 及底板测点 3，详见图 9 所示。

6.3 监测频率

6.3.1 必测项目中变形监测的监测频率应分别根据监测断面距开挖面距离、变形速率以及监测断面开挖历时分别按表 9、表 10 及表 11 确定，且应采用三者之间较高的频率值。出现异常情况或不良地质时，还应增大监控量测频率。采用台阶法或分部开挖时，应以最后监测断面最后开挖的台阶或分部开挖面确定监测断面开挖历时。

6.3.2 洞内洞外观察中，影像资料、支护状态、地表建（构）筑物状态的描述应每施工循环记录 1 次且应保证每天不少于 1 次，出现异常时应加大监测频率。

6.3.3 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的结果确定，宜与同一影响范围内的必测项目监测频率相同。

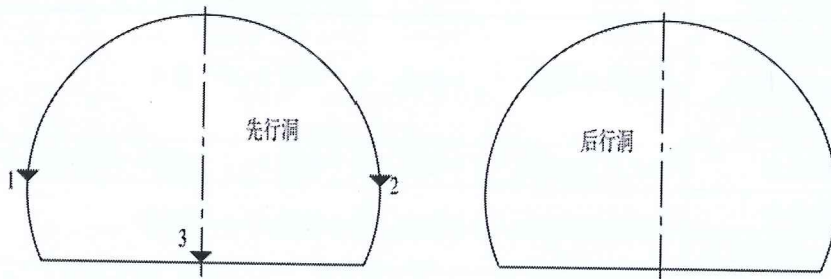


图9 洞内爆破振动测点布置

表9 按监测断面距开挖面距离确定的监控量测频率

监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 d~3 d)
>5B	1次/7 d

表10 按变形速率确定的监控量测频率

变形速率 (mm/d)	监控量测频率
≥ 5	2次/d
1~5	1次/d
0.5~1	1次/ (2 d~3 d)
0.2~0.5	1次/3 d
<0.2	1次/7 d

表11 按监测断面开挖历时确定的监控量测频率

监测断面开挖历时 (d)	监控量测频率
1~5	1次/d~2次/d
16~30	1次/2 d
30~90	1次/d~2次/7 d
>90	1次/30 d~3次/30 d

6.3.4 对隧道洞身地表受影响居民区内的地下水环境监测,施工期应按每天不少于1~2次的频率进行监测,必要时应加大监测频率。

6.3.5 地表建(构)筑物爆破振动监测应与洞内二次衬砌爆破振动监测频率一致,每施工循环监测1次;地表建(构)筑物的变形监测、裂缝监测频率可与地表变形监测频率一致,即按表9~表11确定的最高值来进行监测。

6.3.6 施工地质灾害专项监控频率应根据灾害类型、规模、处治方式、监测方式来确定:

- 施工地质灾害发生初期,可采用视频监控设备时24h实时监控;
- 施工地质灾害发生初期,有条件进行非接触变形量测时,量测频率应按不低于按2次/d进行。必要时,还应加大监测频率;
- 施工地质灾害处治措施实施后进行的变形、应力应变、接触压力等监测工作,监测频率宜与同一地段的必测、选测项目相同。

6.3.7 必测项目、选测项目以及施工地质灾害处治措施实施后的各项监测工作应在各项量测指标基本稳定15 d~20 d后结束。对于存在膨胀性、挤压性的围岩,应根据实际情况适当延长监测时间。

6.3.8 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,地下水环境监测的结束时间应根据实际需要确定。

6.4 控制基准

6.4.1 监控量测控制基准应根据结构重要性、地质条件、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。

6.4.2 隧道工程的变形控制基准，可根据现场实测数据资料，通过回归分析与数值分析及监测断面变形统计分析方法确立，建立适合于本工程的变形控制基准。有测前损失时，应考虑在控制基准中核减相关项。

6.4.3 双车道公路隧道初期支护极限相对变形可参考表 12 选用。

表12 双车道公路隧道初期支护极限相对变形 U_0 (%)

围岩级别	隧道埋深 H_0 (m)		
	$H_0 \leq 50$	$50 < H_0 \leq 300$	$300 < H_0 \leq 500$
拱腰水平相对净空收敛			
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：本表适用于开挖跨度 $7\text{m} < B \leq 12\text{m}$ 的双车道公路隧道复合式衬砌的初期支护结构，硬质围岩隧道取表中较小值，软质围岩隧道取表中较大值，表列数值可在施工中通过实测资料积累作适当修正。 注2：拱腰水平相对净空收敛指两拱腰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整体下沉值后与原拱顶至隧底高度之比。 注3：拱脚水平相对净空收敛极限值可按拱腰水平相对净空收敛极限值乘以1.2~1.3后采用。 注4：开挖跨度大于 $B > 12\text{m}$ 及埋深 $H_0 > 500\text{m}$ 的公路隧道，可根据实际量测情况及施工力学分析结果综合确定隧道初期支护极限相对变形值。			

6.4.4 洞内拱顶下沉、拱脚变形、净空收敛的相对变形控制基准应根据测点距开挖面的距离，可由初期支护极限相对变形 U_0 按表 13 要求确定。

表13 相对变形控制基准 U_k' (%)

类别	测点距开挖面 $\leq B$	测点距开挖面 $(1 \sim 2) B$	测点距开挖面 $> 2B$
允许值	$65\% U_0$	$90\% U_0$	$100\% U_0$

6.4.5 地表变形控制基准应根据地层稳定性、周围建（构）筑物的安全要求按照 GB 50007 的相关规定分别确定，取最小值。地表变形控制基准应考虑测前损失，制定符合本工程的控制基准。

6.4.6 连拱隧道中隔墙下沉控制基准应按照洞内拱顶下沉控制标准确定。连拱隧道中隔墙倾斜（即中隔墙两侧墙顶测点沉降差与两测点间距的比值）控制基准应按照 GB 50007 中建筑物地基变形允许局部倾斜值及现场实际情况综合确定，一般情况下可按 0.2% 控制。

6.4.7 采用分部开挖法施工的隧道应分阶段评估阶段变形对总变形结果的影响，并提出指导意见。

6.4.8 钢架应力、喷混凝土应力、二次衬砌应力、锚杆应力、围岩压力、初支与二衬接触压力控制基准应满足 JTG 3370.1 的相关规定。

6.4.9 洞内二次衬砌及地表建（构）筑物的爆破振动控制基准应按表 14 的要求确定。

表14 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)		
		$f \leq 10\text{Hz}$	$10 < f \leq 50\text{Hz}$	$f > 50\text{Hz}$
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	工业与商业建筑物	2.5~3.5	3.5~4.5	4.5~5.0
4	一般建筑与古迹	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	水工隧道	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~3 d	1.5~2.0	2.0~2.5	2.5~3.0
	龄期: 3 d~7 d	3.0~4.0	4.0~5.0	5.0~7.0
	龄期: 7 d~28 d	7.0~8.0	8.0~10.0	10.0~12.0

注1: 爆破振动应同时监测质点振动相互垂直的三个分量。
注2: 表列频率为主振频率, 振速为监测的质点振动速度三个分量中的最大值。
注3: 频率范围可根据现场实测波形选取, 缺乏资料时可参考下列数据: 硇石爆破 $<20\text{Hz}$, 露天深孔爆破 $10\text{Hz} \sim 60\text{Hz}$; 露天浅孔爆破 $40\text{Hz} \sim 100\text{Hz}$; 地下深孔爆破 $30\text{Hz} \sim 100\text{Hz}$; 地下浅孔爆破 $60\text{Hz} \sim 300\text{Hz}$ 。
注4: 有特殊要求的根据现场具体情况确定。

6.4.10 洞口及洞身浅埋段地表建(构)筑物的变形、裂缝控制基准应按 GB 50982 及 JGJ 8 的相关规范按照建(构)筑物类型的不同取值, 取最小值。洞身浅埋段地表建(构)筑物的变形、裂缝控制基准应考虑测前损失, 制定符合本工程的控制基准。

6.4.11 施工地质灾害处治措施施作后进行的变形、应力应变、接触压力等监测工作的控制基准应参考相邻段落的情况确定。

6.4.12 洞内二次衬砌裂缝宽度控制基准应满足 JTG 3370.1 的相关规定取值, 隧道底鼓控制基准可按洞内拱顶下沉变形基准值进行控制, 详见 6.4.4。

6.5 监测系统精度

6.5.1 监控量测系统的测试精度应满足设计要求。必测项目的测设精度要求如表 15 所示, 部分选测项目的测设精度要求如表 16 所示, 其他选测项目的测试精度应结合元器件的精度确定。

表15 必测项目的测设精度要求

序号	监控量测项目	精度要求
1	拱顶下沉	0.5 mm
2	拱脚变形	0.5 mm
3	净空收敛	0.5 mm
4	地表变形	0.5 mm
5	中隔墙变形	0.5 mm

表16 部分选测项目的测设精度要求

序号	监控量测项目	精度要求
1	围岩内部位移	0.1 mm
2	爆破振动	$\pm 1 \text{ mm/s}$
3	底鼓	0.5 mm

6.5.2 元器件的精度应满足表 17 的要求，元器件的量程应满足设计要求，应大于 2 倍的设计值或预测值，并具有良好的防震、防水、防腐性能。

表17 元器件的精度要求

序号	元器件	精度要求
1	压力盒	$\leq \pm 0.5\% F.S.$
2	应变计	$\pm 0.1\% F.S.$
3	钢筋计	拉伸： $0.5\% F.S.$ ，压缩： $1.0\% F.S.$
4	孔隙水压计	$\pm 0.1\% F.S.$
5	流量计	1%~5%

6.5.3 对隧道洞身地表受影响居民区内的地下水环境监测，水位监测精度应不低于 $\pm 2 \text{ cm}$ 。

6.5.4 对地表建（构）筑物监测爆破振动监测的测设精度同洞内爆破振动监测，详见 6.5.1 表 16；变形监测同洞内必测项目，详见 6.5.1 表 15；裂缝长度、宽度监测的测设精度要求同洞内二次衬砌裂缝监测，如表 18 所示。

表18 洞内二次衬砌裂缝监测

序号	监控量测项目	精度要求
1	裂缝长度	1 mm
2	裂缝宽度	0.1 mm
3	裂缝深度	1 mm

6.5.5 施工地质灾害专项监测应根据地质灾害类型、处治措施等综合确定各监测项目的精度。

6.5.6 洞内二次衬砌裂缝监测的测设精度要求如表 18 所示。

6.5.7 隧道底鼓监测的测设精度与洞内必测项目，详见表 15。

7 监控量测方法

7.1 一般规定

7.1.1 现场监控量测应根据已批准的监控量测实施大纲进行测点埋设、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。

7.1.2 现场监控量测方法应简单、可靠、经济、实用。

7.1.3 现场监控量测实施，应保证监控量测人员的安全，在判定存在如突水涌泥中重大安全隐患地段，应编制专项方案，组织专家评审通过后实施。

7.2 必测项目

7.2.1 洞内洞外观察

7.2.1.1 施工过程中应进行洞内、外观察。

7.2.1.2 洞内观察可分开挖工作面观察和已施工地段观察两部分：

- a) 开挖工作面观察应在每次开挖后进行，及时记录开挖工作面的桩号、施工方法、支护参数、稳定状况等，并保留开挖工作面的影像资料；
- b) 已施工地段观察，应记录初期支护、二次衬砌的状态。

7.2.1.3 对初期支护效果观察包括：喷层的平整度、喷层有无裂缝，裂缝的位置、走向、长度、宽度、深度，喷层是否把钢支撑全部覆盖，是否存在底鼓，是否有渗漏水等。

7.2.1.4 对二次衬砌状态观察包括：二次衬砌是否有裂缝、裂缝的位置、走向、长度、宽度、深度，是否有钢筋外露等。

7.2.1.5 洞外观察重点在洞口段和洞身浅埋段，记录地表开裂、地表变形、地面建（构）筑物变形开裂情况、地表水分布情况等。

7.2.2 变形监测

7.2.2.1 变形监控量测包括拱顶下沉、拱脚变形、净空收敛、地表变形、中隔墙变形、底鼓及围岩内部变形等。拱顶下沉、净空收敛量测数据可参照附录 A、B 进行记录。

7.2.2.2 围岩外部变形（包括拱顶下沉、拱脚变形、净空收敛、地表变形、中隔墙变形、底鼓）可采用接触量测和非接触量测方法。接触量测主要使用铟钢尺和水准仪、收敛计等进行量测，非接触量测方法主要使用全站仪等进行量测。

7.2.2.3 拱顶下沉可采用铟钢尺和精密水准仪或全站仪进行量测：

- a) 采用铟钢尺和精密水准仪时，应在隧道拱顶中线附近通过钻孔预埋测点，测点应与隧道外量测基准点进行联测。预埋件深入围岩不应小于 20 cm，并与洞壁垂直，不应焊接在钢支撑上，预埋件外露部分应采用有效的保护措施；
- b) 采用全站仪时，测点应采用发射膜作为靶标，靶标粘附在预埋件上；预埋件应采用钻孔埋设，设置方法同采用铟钢尺和精密水准仪时。量测方法包括自由设站和固定设站两种方式。

7.2.2.4 隧道净空收敛量测可采用收敛计或全站仪进行：

- a) 采用收敛计量测时，测点应采用钻孔预埋，设置方法同拱顶下沉，各分部或各台阶在边墙处的净空收敛测点宜设置在开挖面上 1.5 m~2.0 m 高度处；
- b) 采用全站仪时，测点设置及量测方法同拱顶下沉量测。

7.2.2.5 拱脚变形包括拱脚下沉和拱脚水平收敛量测。拱脚变形测点应焊接在拱脚钢架的架立钢板上。拱脚下沉量测方法同拱顶下沉量测，拱脚水平收敛量测方法同净空收敛量测；无拱架段可不测。

7.2.2.6 地表变形中地表沉降监控量测可采用精密水准仪和铟钢尺进行，测点和基准点采用地表钻孔埋设，测点四周用水泥砂浆固定。地表位移或地表沉降采用常规水准测量手段出现困难时，可采用全站仪量测。

7.2.2.7 连拱隧道中隔墙变形量测宜采用全站仪量测，并在两侧主洞分别设站联测。

7.2.2.8 使用全站仪进行非接触变形量测时，应满足下述要求：

- a) 测站距离反射膜片距离应控制在 100 m 以内，同时还应不小于断面的开挖跨度 B ；
- b) 1 次设站无法满足要求时，可进行转站，但转站次数不宜超过 3 次；同一断面的变形监测设站次数应控制在 2 次以内；
- c) 测量时，应采取有效措施降低洞内粉尘浓度；
- d) 反射膜片尺寸可采用 20 mm×20 mm 或 40 mm×40 mm，条件允许情况下宜增加反射膜片尺寸。

7.2.2.9 围岩内变形量测可采用多点位移计、单点位移计。多点位移计、单点位移计应钻孔埋设，通过专用设备读数。根据埋设方式的不同分为洞内埋设或地表埋设两种方式：

- a) 洞内埋设方式用于深埋地段，应靠近开挖工作面布设测点并测读初读数；

b) 地表埋设方式用于洞口及浅埋段,应在受洞内开挖影响前布设测点测读初读数。

7.2.2.10 拱顶下沉、拱脚变形、净空收敛、底鼓及围岩内部变形等应靠近开挖工作面布设测点,应在开挖结束 24 h 及下次开挖前完成安装并读取初读数,宜在工作面开挖后 12 h 以内完成测点布设、测读初读数的相关工作。

7.2.2.11 变形量测时,每次测试均应测读不少于 3 次,然后取其平均值作为当次变形量测值,应及时处理数据,绘制变形—时间曲线图和变形—与距开挖面距离的曲线图,预测围岩和支护结构远期变形趋势。

7.3 选测项目

7.3.1 应力应变监测

7.3.1.1 当隧道结构形式较为特殊、受力较为复杂、或有研究价值的地段,宜对支护结构进行应力、应变监测。包括钢架、喷射混凝土、二次衬砌及锚杆的应力、应变监测。

7.3.1.2 应力、应变监控量测宜采用振弦式、电阻式及光纤光栅传感器。监测元器件在埋设前应进行标定,埋设后应及时进行检测。

7.3.1.3 振弦式传感器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。

7.3.1.4 电阻式传感器通过测量电路获得电阻变化参数,依据电阻变化—量测参数率定曲线换算出相应量测参量值。

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

7.3.1.6 钢架应力量测可采用振弦式传感器、光纤光栅传感器。传感器应成对埋设在钢架的内、外侧:

- a) 采用振弦式钢筋计进行型钢应力或应变量测时,应把传感器焊接在钢架翼缘内测点位置;
- b) 采用振弦式钢筋计进行格栅钢架应力量测时,应将格栅钢筋截断并把钢筋计对焊在截断部位;
- c) 采用光纤光栅传感器进行型钢或格栅钢架应力量测时,应把光纤光栅传感器焊接(氩弧焊)或粘贴在相应测点位置。

7.3.1.7 喷砼、二次衬砌混凝土应力、应变量测可采用振弦式传感器、光纤光栅传感器。传感器应固定于混凝土结构内的相应测点位置,应在拱、墙衬砌内、外两侧进行布置;必要时,在仰拱上布置测点:

- a) 喷砼、二次衬砌混凝土应变量测可采用埋入式应变计;
- b) 二次衬砌钢筋应力量测可采用振弦式钢筋计或光纤光栅传感器,采用振弦式钢筋计时,应把二次衬砌钢筋主筋截断并把钢筋计对焊在截断部位,采用光纤光栅传感器时,应把光纤光栅传感器焊接(氩弧焊)或粘贴在二次衬砌钢筋相应测点位置。

7.3.1.8 锚杆应力量测可采用电阻式传感器和振弦式传感器:

- a) 采用电阻法进行锚杆应力量测时,应将电阻应变片粘贴在锚杆轴线测点上作为应变传感元件;
- b) 采用机械法进行锚杆应力量测时,可将钢管内固定长度不等的细长变形传递杆或锚杆应力计固定在锚杆的测点位置作为应变传感元件。

7.3.1.9 将振弦式传感器焊接到结构上进行应力、应变监测时,应采取有效措施避免仪器温度过高而损坏。

7.3.1.10 初期支护内力监测元器件应靠近开挖工作面安设,应在开挖结束 24 h 及下次开挖前完成安装并读取初读数,宜在工作面开挖后 12 h 以内完成安装、测读初读数的相关工作。二次衬砌内力监测元器件应在混凝土浇筑前埋设,并宜在混凝土降至常温状态后测取初读数。

7.3.1.11 在量测过程中,每次测试均应测读不少于 3 次,然后取其平均值作为当次应力量测值,应及时处理数据,绘制应力—时间曲线图,预测支护结构远期内力发展趋势。

7.3.2 接触压力监测

7.3.2.1 接触压力量测包括围岩压力、初支与二衬接触压力的量测。

7.3.2.2 接触压力量测可采用振弦式传感器，传感器类型的选择应与围岩和支护相适应，宜采用振弦式压力盒，传感器应与接触面要求紧密接触。

7.3.2.3 围岩压力量测时，宜在测点处的围岩中开挖深度 40 cm、直径略大于压力盒直径的埋设孔，孔底应先用砂浆找平，安装好压力盒后，孔内应用砂浆填塞密实。

7.3.2.4 初支与二衬接触压力量测时，应先将测点处初期支护表面锤平并用砂浆抹平，待砂浆凝固达到一定强度后方可在初支表面安装固定压力盒。

7.3.2.5 围岩压力量测压力盒应在靠近开挖工作面安设，应在开挖结束 24 h 及下次开挖前完成安装并读取初读数，宜在工作面开挖后 12 h 以内完成安装、测读初读数的相关工作。初支与二衬接触压力量测压力盒应在二次衬砌混凝土浇筑前埋设，并宜在混凝土降至常温状态后测取初读数。

7.3.2.6 在量测过程中，每次测试均应测读不少于 3 次，取其平均值作为当次接触压力量测值，应及时处理数据，应及时处理数据，绘制接触压力—时间曲线图和接触压力—与开挖面距离曲线图，预测支护结构所承受的远期接触压力发展趋势。

7.3.3 爆破振动监测

7.3.3.1 洞内爆破振动监测宜采用振动速度传感器以及相应的数据采集设备。

7.3.3.2 振动速度传感器宜固定在预埋件上，通过爆破振动记录仪自动记录爆破振动速度，分析振动波形和振动衰减规律。

7.3.3.3 每次测读时应量测测点处三个方向的振动速度和加速度，以其最大振动速度分量作为评估结构安全性的依据。

7.3.4 孔隙水压力监测

7.3.4.1 孔隙水压力监测可采用孔隙水压计进行。孔隙水压计的类型，应根据工程测试的目的、岩土层的渗透性质和测试期的长短以及仪器的精度、灵敏度、量测要求确定。

7.3.4.2 孔隙水压计安装前应在测点处钻孔和刻槽，钻孔孔径或刻槽高宽宜为 110 mm~130 mm；在浅埋段或其它松散不稳定土层中，应下套管护孔，钻孔完成后应将孔内沉淤和稠浆清理干净。

7.3.4.3 孔隙水压计安放前应先排除孔隙水压力计内及管路内的空气，安放好后其四周应回填透水填料，透水填料宜选择干净的中粗砂，孔口应用隔水填料封严以防止地表水渗入。

7.3.4.4 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。

7.3.4.5 每次测读时应测读不少于 3 次，取其平均值作为当次孔隙水压力量测值。

7.3.5 水量监测

7.3.5.1 水量监测可采用三角堰、流量计进行。现场三角堰水量估测可参照附录 C 的方法进行。

7.3.5.2 采用三角堰进行水量估算时，可根据水流速度和水量大小在洞内地板上做出一条平流水道与出水处相接，在水道尽头固定薄壁三角堰，并应满足以下要求：

- a) 平流水道宜做到两侧保持平行，顶部应平齐，沟壁和沟底平整；
- b) 薄壁三角堰应竖直放置，顶部与沟顶平齐，使水流方向与三角堰竖直面垂直；
- c) 沟底土质软弱易被水流冲走时，可在沟底垫上塑料薄膜。

7.3.5.3 采用流量计进行水量量测时，应根据水流量大小、是否具有腐蚀性、是否含污泥杂质等因素选择合适的流量计类型。

7.4 专项监测项目

7.4.1 地下水环境监测

7.4.1.1 地下水环境监测应采用长期水位观测孔，稳定水位初次观测应在本工程开工前进行并读取初读数。

7.4.1.2 水位量测可采用万用电表、水位计、测钟；对重大隧道工程，必要时可建立地下水位监测系统，实现实时自动监测。

7.4.1.3 采用万用电表、水位计、测钟人工量测时，初见水位和稳定水位可在水位观测孔中直接量测，稳定水位的间隔时间应按地层渗透性确定，对砂土和碎石土不得小于 0.5 h，对粉土和粘性土不得低于 8 h。

7.4.1.4 采用水位计观测时，宜在地下水位观测孔中设置水位观测管，水位观测管的安装应符合以下规定：

- a) 水位观测管的导管段应顺直，内壁应光滑无阻，接头应采用外箍接头；
- b) 观测孔孔底宜设置沉淀管；
- c) 观测孔完成后应进行清洗，观测孔内水位应与地层水位一致，且连通良好。

7.4.1.5 地下水环境监测除水位监测外，必要时还应进行水质分析。

7.4.2 地表建（构）筑物监测

7.4.2.1 地表建（构）筑物监测包括爆破振动速度、变形、裂缝监测。

7.4.2.2 地表建（构）筑物监测变形、裂缝测点应在本工程开工前布设，并测读初读数。

7.4.2.3 地表建（构）筑物爆破振动速度监测方法同洞内爆破振动监测，详见 7.3.3。

7.4.2.4 地表建（构）筑物监测包括建筑物的水平位移、垂直位移及倾斜，其监测方法同洞内变形监测，详见 7.2.2。

7.4.2.5 地表建（构）筑物裂缝监测包括裂缝的长度、宽度，必要时还要量测裂缝的深度，裂缝监测同洞内二次衬砌裂缝监测，详见 7.4.4。

7.4.2.6 对重要建筑物的变形进行监测时，推荐采用自动化监测系统实时监测。

7.4.3 地质灾害监测

7.4.3.1 地质灾害专项监测主要包括洞内塌方监测、突水涌泥监测等。

7.4.3.2 根据设计阶段地质资料、超前地质预报成果及开挖面揭露围岩状况，预判洞内可能出现大塌方或突水涌泥风险前，宜在靠近可能出现塌方或突水涌泥位置的安全地段及时布设视频监控设备，对可能出现的塌方或突水涌泥位置处的围岩岩性、节理裂隙发育情况、地下水状态以及塌方或突水涌泥的规模、形式、发展趋势进行实时监测。

7.4.3.3 洞内出现突水涌泥后，可采用三角堰法估算涌水量的流量大小，可用孔隙水压力计测量水压，量测方法分别详见 7.3.5 和 7.3.4。

7.4.3.4 地质灾害处治措施实施后，应对处治后的围岩和支护结构状态进行监测，包括拱顶下沉、拱脚变形、净空收敛、地表变形等，必要时，还应进行支护结构应力、应变监测，验证地质灾害处治措施的有效性。

7.4.4 二次衬砌裂缝监测

7.4.4.1 洞内二次衬砌裂缝监测包括裂缝的长度、宽度，必要时还应量测裂缝的深度。

7.4.4.2 裂缝长度监测可用钢尺或其它机械式测试仪器直接量测。

7.4.4.3 裂缝宽度较大时，可用千分尺、游标卡尺、裂缝宽度检验卡等直接量测；裂缝宽度小于 1 mm 时，应使用电测仪器法观测。

7.4.4.4 需监测裂缝两侧两点位移的变化时可用结构裂缝监测传感器，传感器包括振弦式测缝计、应变式测缝计或光纤类位移计，传感器的量程应大于裂缝的预警宽度，传感器测量方向应与裂缝走向垂直。

7.4.4.5 裂缝深度量测可采用超声波法、凿出法。

7.4.4.6 每次监测宜测读不少3次，取其平均值作为当次裂缝量测长度、宽度值。

7.5 自动监测技术

7.5.1 一般规定

7.5.1.1 隧道施工监控量测工作应积极慎重地推行自动监测技术，安全、高效地获取监测数据，减少对施工的干扰，并自动化分析数据及预报隧道施工可能出现的险情。

7.5.1.2 在地质条件复杂、施工安全风险高、现场监测工作量大及对监控量测要求高的隧道或地段宜采用自动监测技术。

7.5.1.3 变形监测可采用测量机器人，实现快速获取变形监测数据。

7.5.1.4 地质灾害专项监测项目宜优先采用自动化监测系统，对地质灾害进行24h常态化监测。

7.5.1.5 监控量测数据分析宜优先采用自动化分析和预警软件，快速、准确地进行监测数据获取、分析及预警操作。

7.5.2 测量机器人

7.5.2.1 测量机器人一般由智能全站仪、目标棱镜、PC计算机和通讯设备等组成，核心部件智能全站仪由坐标系统、操纵器、换能器、计算机和控制器、闭路控制传感器、图像分析系统、目标捕获系统以及集成传感器等八大部分组成。

7.5.2.2 根据操纵器的位置，可分为固定位置测量机器人和车载测量机器人两类。

7.5.2.3 采用测量机器人进行变形监测时，宜定时对监测成果进行人工审查，一旦发现异常，应及时对测量系统进行校准，确保监控量测系统的准确性。

7.5.3 监测数据自动分析和预警系统

7.5.3.1 监控量测数据自动分析和预警系统包括数据录入、数据分析和预警三部分。

7.5.3.2 数据录入阶段可与智能全站仪或其它自动测量设备实现无缝对接，实现数据的高效录入。

7.5.3.3 数据分析阶段利用内置的回归方程实现动态地回归分析和远期值预测。

7.5.3.4 监测数据远期值不收敛、急剧扩大或超过预警值时，可及时地发出预警。

7.5.3.5 监测数据预警值设置应根据各隧道的围岩条件、施工方法、支护参数等综合确定。

8 数据分析及信息反馈

8.1 一般规定

8.1.1 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。

8.1.2 监控量测数据分析宜采用散点图和回归分析方法。

8.1.3 信息反馈应以变形反馈为主，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。

8.1.4 应确保监控量测信息传递渠道畅通、反馈及时有效。

8.2 数据分析

- 8.2.1 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。
- 8.2.2 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。
- 8.2.3 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、填表制图、误差处理等。
- 8.2.4 监控量测数据的分析处理工作应包括以下主要内容：
- 根据量测值绘制变形（应力）—时间（距离）散点图；
 - 选择回归曲线，预测最终值，并与控制基准进行比较；
 - 对围岩及支护状态、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。
- 8.2.5 必测项目中拱顶下沉、拱脚变形、净空收敛、中隔墙变形，选测项目中、钢架应力、喷砼应力、二衬应力、锚杆应力、围岩压力、初支与二衬接触压力等监控量测数据可采用指数模型、对数模型、双曲线模型公式等进行变形（应力）—时间回归分析，并预测最终值，回归分析方法参见附录 D。
- 8.2.6 拱顶下沉、拱脚变形、净空收敛、地表变形可采用指数模型或分段指数模型进行变形—与开挖面距离回归分析，回归分析方法参见附录 D。
- 8.2.7 地表沉降横向分布规律回归方程采用 Peck 公式进行分析，回归分析方法参见附录 D。

8.3 工程安全性及环境影响评价

8.3.1 隧道工程可根据监控量测成果对工程结构及施工安全性进行安全性评价，隧道工程安全性评价流程如图 10 所示。

8.3.2 隧道工程可根据监控量测实测累计变形量、变形速率、实测支护结构内力大小以及爆破振动振速、地表建（构）筑物的变形及裂缝、隧道洞身地表地下水水位变动等监测参数大小进行安全性及环境影响分级管理，并针对各级情况采取相应的应对措施，如表 19 所示。

表19 隧道工程安全性及环境影响分级及其相应的应对措施

管理等级	隧道工程安全性及环境影响	应对措施
III	变形、结构受力正常或对环境的影响较小	正常施工
II	变形出现异常或结构受力较大	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对策
I	结构可能出现险情或对环境的影响较大	暂停施工，采取相应工程对策

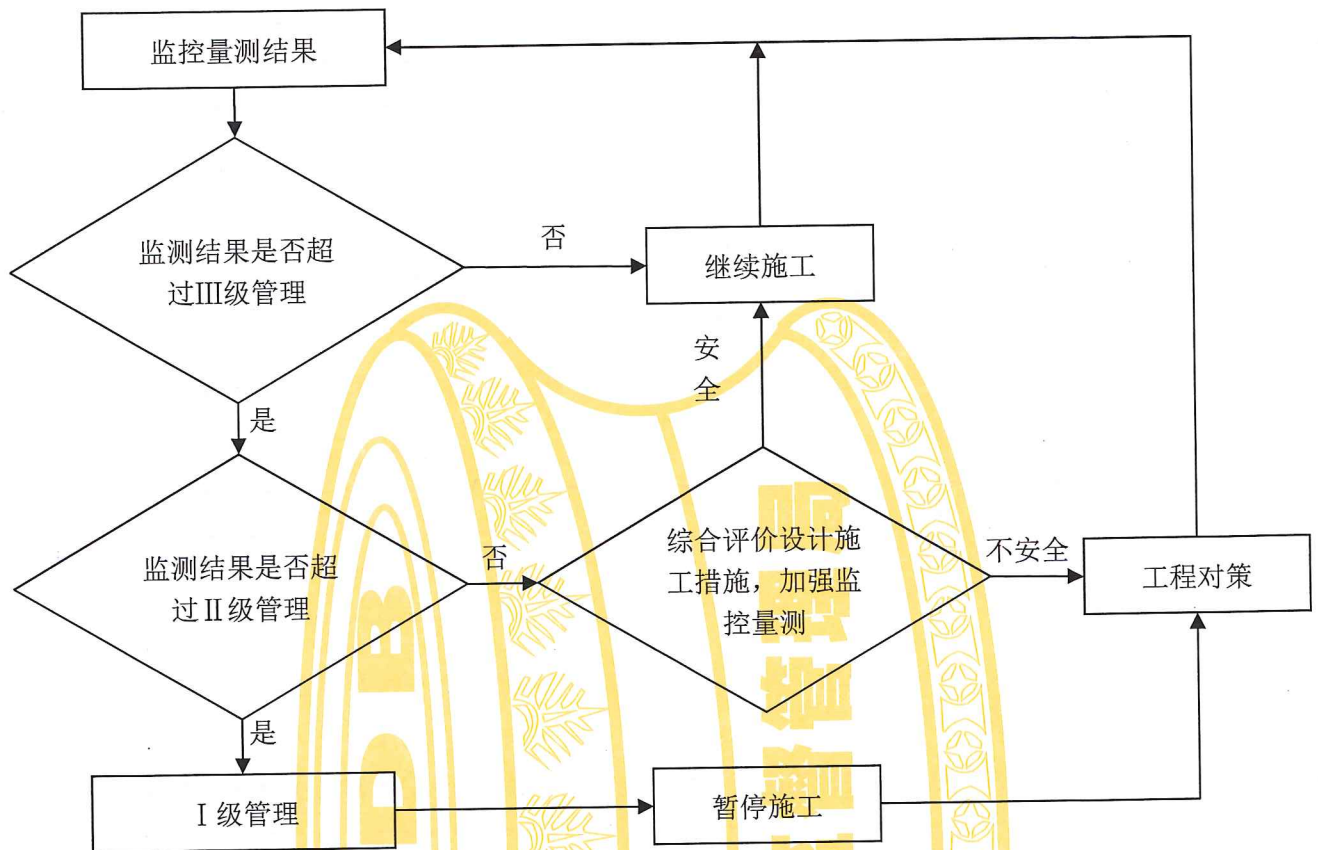


图10 隧道工程安全及环境影响评价流程

8.3.3 根据实测累计变形量和当前实测变形速率，可分别按表 20 和表 21 进行隧道工程安全性分级。

表20 按实测累计变形量 U 划分的隧道工程安全性分级

管理等级	危险等级	实测累计变形量 U (mm)
III	变形正常	$U < U_k/3$
II	变形异常	$U_k/3 \leq U \leq 2U_k/3$
I	可能发生险情	$U > 2U_k/3$

注： U_k 为按表13确定的相对变形控制基准 U_k' （%）乘以测点所在测线距离（对净空收敛）或断面开挖高度（对拱顶下沉）获得的变形控制基准值（mm）。

表21 按当前实测变形速率 V 划分的隧道工程安全性分级

管理等级	危险等级	当前实测变形速率 V (mm/d)
III	变形正常	$V < U_k/15 - U/5$
II	变形异常	$U_k/15 - U/5 \leq V \leq 2U_k/15 - U/5$
I	可能发生险情	$V > 2U_k/15 - U/5$

8.3.4 根据钢架应力、喷混凝土应力、二次衬砌应力、锚杆应力等支护结构内力量测结果，可按表 22 进行隧道工程安全性分级。

表22 按支护结构内力量测结果划分的隧道工程安全性分级

管理等级	危险等级	支护结构内力量测结果
III	结构受力正常	所有测点的支护结构内力量测结果均 $<(60\% \sim 70\%) f$
II	结构受力较大	有测点支护结构内力量测结果 $\geq(60\% \sim 70\%) f$, 但所有测点的支护结构内力量测结果均 $<f$
I	可能发生险情	有测点的支护结构内力量测结果 $\geq f$

注： f 为按照JTG 3370.1确定的钢架、喷射混凝土、二次衬砌混凝土和钢架、锚杆的承载力设计值或容许值。

8.3.5 根据爆破振速、二次衬砌裂缝宽度等监测结果，可按表 23 进行隧道工程安全性分级。

表23 按洞内爆破振速和二次衬砌裂缝宽度监测结果划分的隧道工程安全管理分级

管理等级	危险等级	二次衬砌状态
III	结构受力变形正常	爆破振速不超过安全允许振速且二次衬砌裂缝宽度不超过规范允许值
I	可能发生险情	爆破振速超过安全允许振速或二次衬砌裂缝宽度超过规范允许值

8.3.6 对洞口及洞身浅埋段地表建（构）筑物，根据其爆破振动、变形及裂缝等监测结果可按表 24 进行隧道工程环境影响分级。

表24 按洞口及洞身浅埋段地表建（构）筑物状态监测结果划分的隧道工程环境影响分级

管理等级	危险等级	地表建（构）筑物状态
III	结构受力变形正常	地表建（构）筑物的爆破振速不超过安全允许振速且变形、裂缝宽度均不超过规范允许值
I	可能发生险情	地表建（构）筑物的爆破振速超过安全允许振速，或变形，或裂缝宽度超过规范允许值

8.3.7 对隧道洞身地表存在居民区的地下水环境监测，可按由于洞内施工导致的地下水位变动速率进行隧道工程环境影响分级，详见表 25。

表25 按洞内施工导致的地下水位变动划分的隧道工程环境影响分级

管理等级	危险等级	由洞内施工导致的地下水位变动速率（mm/d）
III	对周边环境影响较小	<500
I	对周边环境影响较大	≥ 500

8.3.8 当按照各监控量测数据进行的隧道工程安全性及环境影响分级结果不一致时，应立即核查各监控量测数据的有效性和准确性；确认各监控量测数据的有效性和准确性不存在问题时，应以最高标准进行隧道工程安全性及环境影响分级，并采取相对应的应对措施。

8.4 信息反馈及工程对策

8.4.1 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。

8.4.2 施工过程中应进行监控量测数据的实时分析和阶段分析：

- a) 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紧急报告；

- b) 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。
- 8.4.3 各级工程安全性及环境影响评价对应的应对措施详见表 19 所示。可采取的工程对策主要有：
- a) 一般措施：
- 1) 稳定开挖工作面措施；
 - 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。
- b) 辅助施工措施：
- 1) 地层预处理，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。

8.4.4 监控量测结果可为二次衬砌施作时间提供指导意见：

- a) 对一般围岩，在下列条件下不宜施作二次衬砌：
- 1) 隧道拱顶下沉、拱脚变形、净空收敛及底鼓等变形速率等没有明显的趋缓态势，如图 15 所示，变形仍处于变形-时间（距开挖面距离）曲线正常曲线的加速变形段或处于反常曲线上；

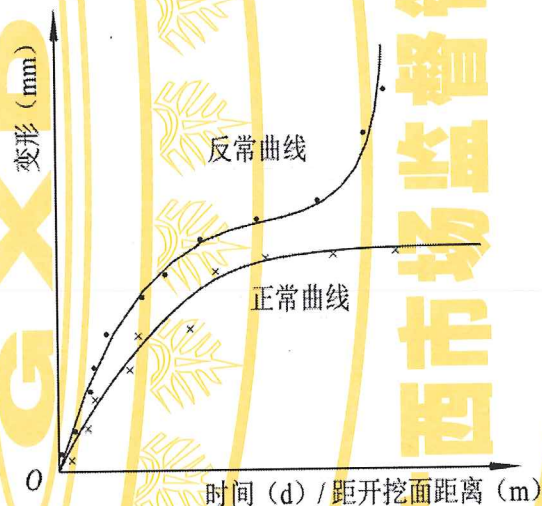


图11 变形-时间（距开挖面距离）曲线形态

- 2) 支护结构接触压力和应力应变值超过预警值而未处理到位；
 - 3) 初期支护检测发现的问题未处理到位；
 - 4) 初支背后、初期与二次衬砌之间的防排水措施未施作完成。
- b) 对浅埋、软弱、大变形围岩等特殊地段，应视现场具体情况确定二次衬砌施作时间。

9 成果资料

9.1 当监控量测发现异常时，应口头汇报并提供紧急报告，应包括但不限于以下内容：

- a) 当日施工情况；
- b) 洞内、洞外观察情况；
- c) 仪器检测项目各监测点本次测试值、单次变化值、变化速率及累计值等，必要时绘制有关曲线；

- d) 与位移控制基准对比评价情况;
- e) 对监测项目出现异常或危险情况应有报警标示, 并有分析和工程措施建议;
- f) 其它相关说明。

9.2 监控量测阶段性分析报告应包括以下内容:

- a) 该监测阶段施工情况分析;
- b) 该监测阶段的监测项目及测点布置;
- c) 各项监测数据的整理、统计及监测成果的过程曲线;
- d) 各监测项目监测值的变化分析、评价及发展趋势预测;
- e) 相关的设计及施工建议。

9.3 监控量测工作完成后一个月内, 应提交监控量测总结报告, 应包括但不限于以下内容:

- a) 工程概况;
- b) 监测依据;
- c) 监测项目;
- d) 监测断面设置及测点布置;
- e) 监测频率;
- f) 监测控制基准;
- g) 现场监控量测管理;
- h) 各监测项目全过程的发展变化分析及整体评价;
- i) 监测工作结论与建议。

9.4 监控量测验收材料应包括以下内容:

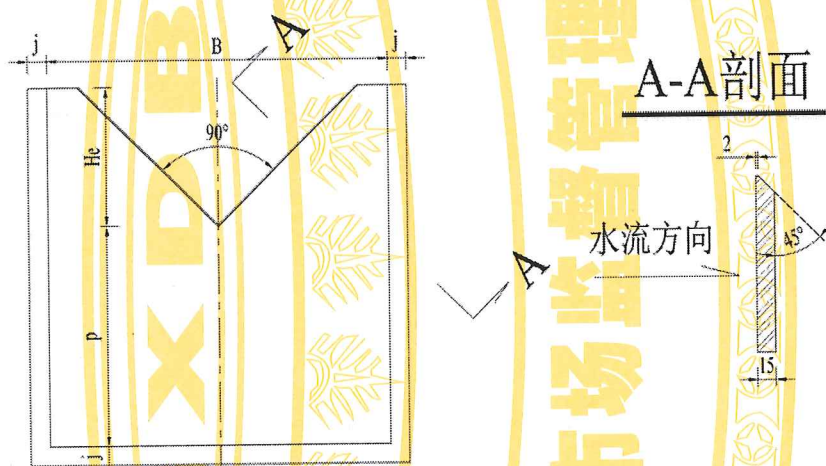
- a) 监控量测设计;
- b) 监控量测实施大纲及批复;
- c) 监控量测结果及周(月)报;
- d) 监控量测数据汇总表及观察资料;
- e) 监控量测工作总结报告。

9.5 监控量测验收资料应整理归档并纳入竣工文件中。

附录 C
(资料性附录)
现场三角堰估算水量方法

隧道发生涌水地质灾害后，常常需要对涌水量的大小进行量测，以便针对性地采取应对措施。在对涌水量量测精度要求不是非常高时，可在施工现场可利用现有条件，采用下列的三角堰法对涌水量大小进行估算：

- a) 根据水流速度和水量大小在涌水位置前方的洞内地面上做出一个平行水道。平行水道沟壁和沟底可利用现场土石砌筑，高度应略大于薄壁三角堰直角高度，并尽可能使沟内平整。当沟内壁土体较为软弱时，为防止沟壁土体被水流带走，可用塑料薄膜垫在沟底和沟壁上；
- b) 在平行水道靠近尽头位置放上薄壁直角三角堰并固定好，三角堰要求竖直放置，使水流方向与三角堰竖直面垂直，并使三角堰水沟位置基本处于直角位置上；



薄壁直角三角堰示意图

- c) 待水流清澈，水流基本稳定后，测量直角位置处的最大水流高度 h ，即可按照下述公式估算流量大小 Q 。

$$Q = 1.347h^{2.47} \dots\dots\dots (C-1)$$

附录 D
(资料性附录)

监控量测数据处理及回归分析方法

监控量测数据获取后,应及时对数据进行处理和分析。主要针对变形及应力监测结果,应绘制成散点图,然后根据散点图中的数据分布规律,进行回归分析。回归分析主要包括两类,一类是变形(应力)一时间的回归分析,一类是变形(应力)一距开挖面距离的回归分析。

D.1.1 对必测项目中拱顶下沉、拱脚变形、净空收敛、中隔墙位移,选测项目中围岩压力、初支与二衬接触压力、钢架应力、喷混凝土应力、二次衬砌应力、锚杆应力等监控量测数据可采用对数模型、指数模型、双曲线模型公式等进行变形(应力)一时间回归分析,并预测最终值。

a) 整体回归模型

1) 对数函数
$$U(t) = A \lg(1+t) \quad (D-1)$$

式中:

$$U(t) = A + \frac{B}{\lg(1+t)} \dots\dots\dots (D-2)$$

2) 指数函数

$$U(t) = Ae^{-B/t} \dots\dots\dots (D-3)$$

$$U(t) = A(1 - e^{-Bt}) \dots\dots\dots (D-4)$$

3) 双曲函数

$$U(t) = \frac{t}{A+Bt} \dots\dots\dots (D-5)$$

$$U(t) = A \left(1 - \frac{1}{(1+bt)^2} \right) \dots\dots\dots (D-6)$$

b) 分段回归模型

1) 第 1 阶段,即(0,t₁)量测时间段回归分析时,测设数据散点分布规律可采用以下函数形式:

- 对数函数

$$U^{(1)}(t) = A \lg(1+t) \dots\dots\dots (D-7)$$

$$U^{(1)}(t) = A + \frac{B}{\lg(1+t)} \dots\dots\dots (D-8)$$

- 指数函数

$$U^{(1)}(t) = Ae^{-B/t} \dots\dots\dots (D-9)$$

$$U^{(1)}(t) = A(1 - e^{-Bt}) \dots\dots\dots (D-10)$$

- 双曲函数

$$U^{(1)}(t) = \frac{t}{A + Bt} \dots\dots\dots (D-11)$$

$$U^{(1)}(t) = A \left(1 - \frac{1}{(1 + bt)^2} \right) \dots\dots\dots (D-12)$$

- 2) 第 $i+1$ 阶段, 即 (t_i, t_{i+1}) 量测时间段回归分析时, 测设数据散点分布规律可采用以下函数形式:

- 对数函数

$$U^{(i+1)}(t) = U^{(i)}(t_i) + A \left[1 - e^{-B(t-t_i)} \right] \quad (i=1, 2, 3 \dots) \dots\dots\dots (D-13)$$

或

$$\begin{cases} U^{(i+1)}(t) = U^{(i)}(t_i) + Ae^{-B(t-t_i)} & t > t_i \\ U^{(i+1)}(t) = U^{(i)}(t_i) & t = t_i \end{cases} \dots\dots\dots (D-14)$$

- 指数函数

$$U^{(i+1)}(t) = U^{(i)}(t_i) + A \ln(t - t_i + 1) \dots\dots\dots (D-15)$$

式中:

$U(t)$ ——累计变形 (mm) 或应力 (MPa) 拟合函数值;

A 、 B ——回归常数;

t 、 t_1 、 t_i 、 t_{i+1} ——观测时间 (d)。

式 (D-7) ~ (D-12) 中, $U^{(1)}(t)$ 为第1阶段 $(0, t_1)$ 量测时间段的累计变形或应力拟合函数值; 式 (D-13) ~ (D-15) 中, $U^{(i)}(t_i)$ 为第 i 阶段, 即 (t_{i-1}, t_i) 量测时间段的拟合函数在 t_i 时刻的累计变形或应力拟合函数值, 当 $t = t_i$ 时, 此时对应的累计变形或应力值既是第 i 阶段拟合曲线的末值, 同时也是第 $i+1$ 阶段的初值。

分段拟合函数 $U(t)$ 确定后, 由于它们均属于非线性拟合函数, 这将导致求解下述非线性方程组:

$$\begin{cases} \frac{\partial U(t)}{\partial A} = 0 \\ \frac{\partial U(t)}{\partial B} = 0 \end{cases} \dots\dots\dots (D-16)$$

可采用迭代法求解上述问题。

D.1.2 拱顶下沉、拱脚变形、净空收敛、地表变形可进行变形一与开挖面距离回归分析:

a) 拱顶下沉、拱脚变形、净空收敛可采用指数函数模型。

$$U(x) = A(1 - e^{-Bx}) \quad (x \geq 0) \dots\dots\dots (D-17)$$

b) 地表变形可采用以拐点为对称的两条分段指数函数模型

$$\begin{cases} U(x) = A[1 - e^{-B(x-x_0)}] + U_0 & (x > x_0) \\ U(x) = -A[1 - e^{-B(x-x_0)}] + U_0 & (x \leq x_0) \end{cases} \dots\dots\dots (D-18)$$

式中：

$U(x)$ ——变形值 (mm) 或应力值 (MPa)；

A 、 B ——回归系数；

x ——距开挖面的距离；

x_0 、 u_0 ——拐点 x_0 处的沉降值 u_0 。

拐点 x_0 通过散点图的分布规律确定。

D. 1. 3 地表沉降横向分布规律回归方程采用Peck公式：

$$S(x) = S_{\max} e^{-\frac{x^2}{2i^2}} \dots\dots\dots (D-19)$$

$$S_{\max} = \frac{V_1}{\sqrt{2\pi}i} \dots\dots\dots (D-20)$$

$$i = \frac{H_0}{\sqrt{2\pi} \tan\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)} \dots\dots\dots (D-21)$$

式中：

$S(x)$ ——距隧道中线 x 处的地表沉降值 (mm)；

S_{\max} ——隧道中线处最大地表沉降值 (mm)；

V_1 ——隧道单位长度的地层损失 (m^3/m)；

i ——地表沉降曲线变曲点；

H_0 ——隧道埋深 (m)。

中华人民共和国广西地方标准

公路隧道监控量测技术规程

DB45/T 1958—2019

广西壮族自治区市场监督管理局统一印刷

版权专有 侵权必究