

团 体 标 准

T/CSPSTC 40—2019

软岩隧道监控量测技术规范

Technical code for monitoring and measurement of soft rock tunnel

2019-12-26 发布

2020-04-01 实施

中国科技产业化促进会 发布

目 次

前言	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本规定	3
5 监控量测技术及要求	5
6 监控量测方法	11
7 数据分析及信息反馈	13
8 成果资料	14
附录 A (资料性附录) 软岩隧道监控量测技术规范相关资料	15

qejc.cn, jcvba.cn, 微信qejc21

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由铁正检测科技有限公司提出。

本标准由中国科技产业化促进会归口。

本标准起草单位：铁正检测科技有限公司、中铁建科检测有限公司、湖南省交通规划勘察设计院有限公司、深圳市市政工程总公司、中铁十四局集团第三工程有限公司、中交三公局(北京)工程试验检测有限公司、福建省交通建设工程试验检测有限公司、上海市市政公路工程检测有限公司、陕西省建筑工程质量检测中心有限公司、北方测盟科技有限公司、陕西海嵘工程试验检测股份有限公司、长沙理工大学公路工程试验检测中心、武汉中岩科技股份有限公司、河南省交通规划设计研究院股份有限公司、中国水利水电第三工程局有限公司、中铁二院工程集团有限责任公司、中铁上海设计院集团有限公司、中铁十五局集团有限公司、中铁四局集团第四工程有限公司、中铁一局集团第五工程有限公司、深圳市水务工程检测有限公司、广东冠粤路桥有限公司、中铁上海工程局集团有限公司、国投工程检验检测有限公司、济南城建集团有限公司、中铁工程设计咨询集团有限公司、广西祥明工程检测咨询有限责任公司、中国铁道科学研究院集团有限公司铁道建筑研究所、中国矿业大学(北京)、河北地质职工大学、中国标准化研究院、标准联合咨询中心股份公司。

本标准主要起草人：聂军委、苏磊、矫恒信、左智刚、袁立群、谢守东、池毓伟、吴建新、彭立、柏署、林鸿麟、阮麟、唐海军、刘全青、张宇、胡仲春、龙桂华、杨浩亮、王舜、王文宾、许奎、刘少平、王旭华、甘先永、李喜念、庄严、史宏海、周军海、赵旭伟、杨国强、王凯、李勃、杨晓军、潘荣国、武林涛、董栋、南大伟、陶伟明、李奎、周艳坤、熊兵、陈平、赵继平、杨锋、陈冬梅、蒋小锐、刘建友、付海、郭鑫、李松勤、朱善美、黄昌富、孙杰、徐万鹏、戴悦、门柏宇、黄新、寇卫国、康桂亮、廖朝晖、滕冰、廖有芳、马伟斌、安哲立、王婷、乔旭、李晓元、武晓静、高昂、郝宇花、卢成绪。

软岩隧道监控量测技术规范

1 范围

本标准规定了软岩隧道监控技术要求、监控量测方法、数据分析及信息反馈等内容。

本规范适用于新建、改建扩建的铁路、公路以及城市道路中,实际围岩级别Ⅳ级及以下且实际监测变形超过原设计预留变形量 1.5 倍的隧道。

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—2014 爆破安全规程

TB 10003—2016 铁路隧道设计规范

TB 10313—2019 铁路工程爆破振动安全技术规程

Q/CR 9218—2015 铁路隧道监控量测技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

工程软岩 soft rock

在工程力作用下能产生显著塑性变形的复杂岩石力学介质。根据软岩特性的差异及产生显著塑性变形的机理,软岩可分为膨胀性软岩、高应力软岩、节理化软岩和复合型软岩 4 大类。

3.2

监控量测 monitoring measurement

隧道施工中对围岩、地表、支护结构以及周边环境状态进行的经常性观察和量测工作。

3.3

隧道净空变化 peripheral displacement convergence of tunnel

隧道周边上两点间相对位置的变化。

3.4

隧道拱顶下沉 vault crown settlement of tunnel

隧道拱顶位置的测点的绝对下沉量。

3.5

周边单点位移 peripheral single point displacement

隧道周边处单测点的绝对位移量。

3.6

地表沉降 surface subsidence

隧道施工影响范围内地表测点的竖向位移量。

3.7

基准点 deformation datum

建立在稳定岩层或岩土层或(构)建筑物上的经确认固定不动的点。

3.8

测点 measuring point

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

3.9

仰拱隆起(或沉降) inverted uplift, invert settlement

隧道仰拱施做后发生的垂直方向的位移。

3.10

测线 survey line

隧道净空变化或拱顶下沉量测时,设在洞壁上两测点之间的连线。

3.11

洞内外观察 observation inside and outside the cave

隧道施工或停工状态下,洞内工作面的地质情况,初支及衬砌表面状况、地表沉降及裂缝等洞内、外环境的描述。

3.12

监测周期 monitoring cycle

监测断面自开始监测至达到稳定状态所经历的时间。

3.13

围岩压力 surrounding rock pressure

隧道开挖后,因围岩变形或松弛等原因,作用在支护或衬砌结构上的压力。

3.14

钢架内力 internal force of steel frame

在围岩压力作用下,钢拱架变形所产生的内力。

3.15

衬砌内力 lining internal force

隧道衬砌所承受的初支传来的围岩压力,包括轴力和弯矩。

3.16

锚杆轴力 axial force of bolt

用于支护隧道围岩的锚杆其杆体所承受的应力。

3.17

围岩内部位移 internal displacement of surrounding rock

围岩内部距开挖临空面不同深度的岩体所产生的位移量,用位移计进行量测。

3.18

极限变形量 limit displacement

隧道开挖后,支护结构的强度和刚度所能允许围岩或支护结构的最大变形量。

3.19

变形阈值 deformation threshold

为满足工程需要或保证围岩和支护结构稳定所规定的变形值。

3.20

分级预警 classified early warning

按隧道施工影响程度,对速率和累积变形预警级别进行划分,分为黄色预警和红色预警。

3.21

预警值 warning value

变形、应力和应变超过规定的临界值,包括变形速率、累计变化量的控制标准。

3.22

消警 alarm elimination

对预警事件进行识别、评价、响应后,将预警事件控制在可控范围并取消预警的过程。

3.23

管理等级 management level

受不同因素影响,围岩变形量值和变形速率量值达到允许变形指标的区间,划分的三个等级。

4 基本规定

4.1 软岩工程分类与分级

软岩工程分类与分级如表 1 所示。

表 1 软岩工程分类与分级表

软岩分类	分类指标			软岩分级	分级指标		
	抗压强度 MPa	泥质含量 %	结构面		$\omega_0/\%$	σ_c/MPa	膨胀矿物组合
膨胀性软岩	<25	>25	少	弱膨胀软岩	<10	15~25	S I
				中膨胀软岩	10~50	5~15	I K
				强膨胀软岩	>50	<5	M M/I
高应力软岩	>25	<25	少	围岩强度应力比/MPa			
				一般地应力软岩	>7.0		
				高应力软岩	4.0~7.0		
				极高应力软岩	≤ 4		
节理化软岩	低等~中等	不含	多组		节理组数/(条/m ²)	节理间距/m	完整指数/ K_r
				较破碎软岩	1~3	0.2~0.4	0.55~0.35
				破碎软岩	≥ 3	0.1~0.2	0.35~0.15
				极破碎软岩	无序 ≥ 3	<0.1	<0.15
复合型软岩	低等~高等	含	少~多组	根据具体条件进行分类和分级			

注 1: ω_0 为干燥饱和吸收率; σ_c 为单轴抗压强度,单位为兆帕(MPa)。
注 2: S 为绿泥石; I 为伊利石; K 为高岭石; M 为蒙脱石; M/I 为伊/蒙混层物。

4.2 隧道施工前,建设或施工单位委托具有相应资质的第三方监测单位进场开展工作,监控量测资料应作为关键工序纳入现场施工组织。

4.3 隧道监控量测应科学合理,监测单位应编制监控量测方案及实施细则,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。

4.4 监测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。

4.5 监测单位应成立现场监控量测小组,监控量测人员应相对稳定,确保监控量测工作的连续性。

4.6 现场隧道监控量测应包括下列主要工作内容:

- a) 现场情况的初始调查;
- b) 编制监控量测方案及实施细则;
- c) 布设测点并取得初始检测值;
- d) 现场监控量测及分析;
- e) 提交监控量测成果。

4.7 监控监测实施细则应包括下列内容:

- a) 监控量测项目;
- b) 人员组织;
- c) 元器件及设备;
- d) 监控量测断面、测点布置、监控量测频率及监控量测基准;
- e) 数据处理及预测方法;
- f) 信息反馈及对策。

4.8 监控量测方案应包括下列内容:

- a) 工程概况;
- b) 软岩地质条件概况;
- c) 监控量测目的;
- d) 监控量测质量保证措施;
- e) 监控量测项目和频率;
- f) 监控量测报警及异常情况下的应急预案;
- g) 监控量测仪器和精度;
- h) 监控量测人员岗位资格和组织形式;
- i) 监控量测数据分析和处理;
- j) 监控量测成果形式;
- k) 作业安全管理制度和事故应急预案。

4.9 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。

4.10 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查、校对和率定,并出具相关证明。

4.11 基准点和测点应牢固可靠,易于识别,并注意保护,严防损坏。基准点应定期进行检查校对。

4.12 施工单位应配合现场埋设监控测点和传感器等元器件,并负责保护好测点不被破坏,每个施工循环应安排兼职人员负责查看测点的完整性,保证测点牢靠稳固。

4.13 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。监控量测应根据精度要求,减小系统误差,控制偶然误差,避免过失误差,定期对误差进行分析。

4.14 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。

5 监控量测技术及要求

5.1 一般规定

5.1.1 具体隧道的监控量测应采用相同的观测网形、观测线路和观测方法,并宜使用相同的观测设备,固定的监测人员,选择最佳的观测时段,在环境相近的条件下快速实施。

5.1.2 监控量测工作应紧跟现场施工进度,按照监测断面布距及时规范埋设测点,并在初支完成后及时采集初读数。

5.1.3 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 2h 内读取初始数据,并应根据现场情况及时调整监控量测项目和内容。

5.1.4 监控量测应实现下列目的:

- a) 掌握围岩和支护结构的变形规律,评定施工的安全管理等级;
- b) 揭示支护结构的受力特性,为优化支护方案提供数据支撑;
- c) 对二次衬砌的施作时间提供依据;
- d) 监控隧道施工对周边环境的影响;
- e) 积累原始数据,为信息化设计和施工提供依据。

5.2 隧道监控量测项目

5.2.1 隧道监控量测项目可分为必测项目和选测项目。

5.2.2 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 2 的规定。

表 2 监控量测必测项目

序号	监控量测项目	常用量测仪器	精度要求
1	洞内、外观察	数码相机、地质罗盘	800 万像素
2	拱顶下沉	全站仪、水准仪、摄影测量法、SAA 阵列式位移计、激光位移计	1 mm
3	净空变化	全站仪、收敛计、摄影测量法、SAA 阵列式位移计、激光位移计	1 mm
4	地表沉降	全站仪、水准仪 SAA 阵列式位移计	1 mm
5	拱脚下沉	全站仪、水准仪	1 mm
6	拱脚位移	全站仪、水准仪	1 mm
<p>注 1: 地表沉降观测位置在洞口段及浅埋段;拱脚下沉观测位置选择在不良地质及特殊岩土隧道浅埋段;拱脚位移观测位置选择在不良地质及特殊岩土隧道深埋段。</p> <p>注 2: 表中所列为监控仪器的最低精度要求。</p>			

5.2.3 隧道监控量测选测项目应按表 3 的规定。

表 3 软岩隧道监控量测选测项目

序号	监控量测项目	监控仪器	精度要求
1	喷射混凝土内力	混凝土应变计	$\pm 0.1\%F.S.$
2	二次衬砌内力	钢筋计、混凝土应变计	$\pm 0.1\%F.S.$

表 3 (续)

序号	监控量测项目	监控仪器	精度要求
3	围岩内部位移	多点位移计、位移计	0.1 mm
4	爆破震动	爆破测震仪、震动传感器	1 mm/s
5	孔隙水压力	水压计	1.6% F.S.
6	涌水量	三角堰、流量计	0.5% F.S.
7	纵向位移	全站仪、多点位移计、摄影测量法	1 mm
8	围岩压力	综合测试仪、土压力盒	0.5% F.S.
9	拱架内力	综合测试仪、应变计、钢筋计	0.5% F.S.
10	初期支护结构与二次衬砌结构间接触压力	综合测试仪、土压力盒	0.5% F.S.
11	锚杆轴力	综合测试仪、钢筋计	0.5% F.S.
12	隧底隆起	全站仪、水准仪	1 mm
注 1: F.S.为元器件的量程。			
注 2: 表中所列为监控仪器的最低精度要求。			

5.2.4 隧道开挖后应及时进行地质素描及数码成像,必要时应进行物理力学实验。

5.2.5 初期支护完成后应对喷层表面裂缝及其发展、渗水进行观察和记录。

5.2.6 隧道开挖应对开挖面围岩进行观察,在围岩性状变化明显地段,应进行围岩物理力学试验和全断面围岩压力监测,在此基础上,确定支护结构类型,并对不同的支护类型应进行支护结构(连接成型后)受力模型试验,确定结构的失稳临界变形量 U ,并由此确定监测的极限位移值 U_0 为 $90\%U$ 。

5.3 隧道在洞口和洞身浅埋段、地表有建筑物地段应布设地表位移监测断面,断面间距和断面测点布设按表 4 的规定。地表无建筑物时,断面位置应与洞内断面在统一断面里程,地表有建筑物时,应布置在建筑物的转角位置。

表 4 地表位移断面间距

隧道埋深与洞身尺寸	断面间距/m
$2B < H_0 \leq 5B$	10~15
$B < H_0 \leq 2B$	5~10
$H_0 \leq B$	2~5
注: H_0 为隧道埋深; B 为隧道开挖高度与隧道开挖宽度中的较大值。	

地表监测断面测点横向间距宜为 2 m~5 m,在洞身上方应适当加密,向两边对称且逐渐增大间距布设,监测范围应不小于 $6B$ 和地表破裂角范围的较大值,其测点布置如图 1 所示。对地表沉降有特殊要求时,应加密测点间距,加宽断面长度。

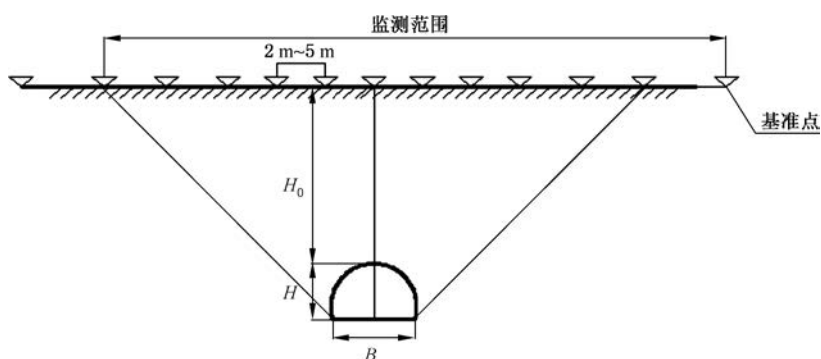


图 1 地表沉降横向测点布置示意图

5.4 隧道洞内监测断面布设原则

5.4.1 隧道监测断面应考虑隧道围岩级别,洞身开挖尺寸,围岩强度综合确定。其布置要求可按表 5~表 7 的规定。

表 5 按围岩级别确定的监控量测断面间距

围岩级别	断面间距/m
IV	12~15
V	8~12
VI	5~8

表 6 按隧道洞身开挖尺寸确定的监控量测断面间距

隧道跨度/m	断面间距/m
$b \leq 5$	≤ 15
$5 < b \leq 8$	10~12
$8 < b \leq 10$	8~10
$10 < b \leq 12$	5~8
$12 < b$	≤ 5

表 7 按隧道围岩强度确定的监控量测断面间距

围岩抗压强度/MPa	断面间距/m
$f \leq 10$	≤ 5
$10 < f \leq 15$	5~8
$15 < f \leq 20$	8~10
$20 < f \leq 25$	10~12
$25 < f$	≤ 15

注 1: 综合各项指标,选取间距较小的情况布置断面;

注 2: 在遇到断层、破碎带等特殊地质地段,按 3 m 间距布置断面;

注 3: 在遇到断层、破碎带等特殊地质地段,按表中减小一级间距布置断面。

5.4.2 隧道变形监测断面的测点及测线布设数量应按表 8、图 2 的规定。不同断面的测点应尽量布置在相同部位,收敛测点应位于同一水平。

表 8 监控量测测点及测线布设原则

开挖工法	一般地段	特殊地段
全断面	一条周边收敛测线,一个拱顶下沉测点	两条周边收敛测线,垂直间距不小于 1.5 m;三个拱顶下沉测点水平间距不小于 1.5 m
台阶法	两条周边收敛测线,一个拱顶下沉测点	两条周边收敛测线;三个拱顶下沉测点,水平间距不小于 1.5 m
环形开挖预留核心土法	两条周边收敛测线,三个拱顶下沉测点,水平间距不小于 1.5 m	断面间距减小一级
双侧壁导坑法	三条周边收敛测线,三个拱顶下沉测点	断面间距减小一级
中隔壁法	六条周边收敛测线,两个拱顶下沉测点	断面间距减小一级
交叉中隔壁法	六条周边收敛测线,两个拱顶下沉测点	断面间距减小一级

注:特殊地段是指隧道加宽带、富水、断层、破碎带以及发生坍塌的地段。

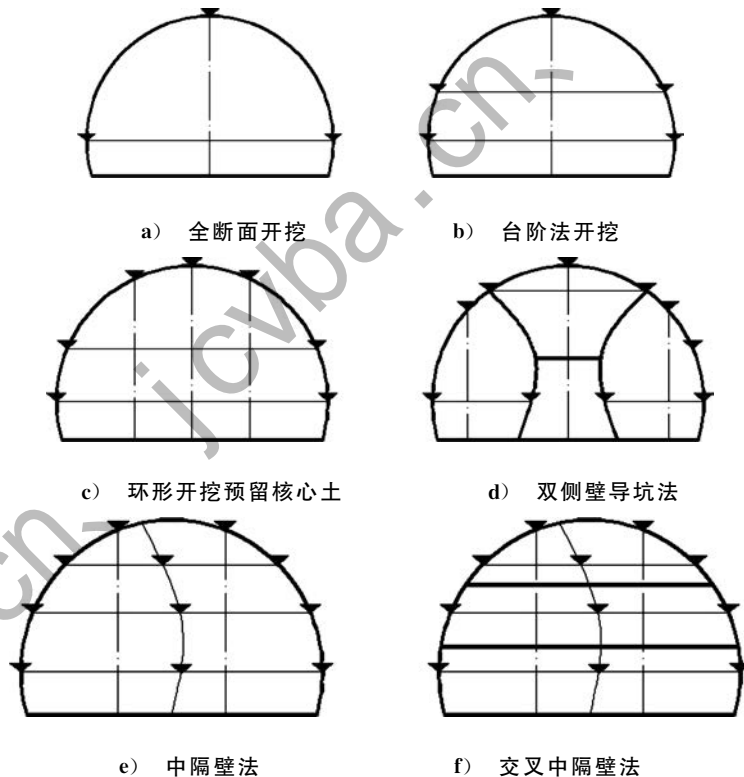


图 2 隧道变形监测断面测点布置示意图

5.4.3 仰拱隆起监测断面在仰拱施做完完毕后布置,一般地段按 50 m 间距,特殊地段按 15 m 间距,宜选择与变形监测断面重合,测点不少于 3 点。

5.4.4 洞内收敛及拱顶测桩应在初支施工过后及时埋设,对应不同的监测部位,确定测桩的埋设位置和钻孔深度。围岩变形测桩应至少入岩 100 mm,初支喷层变形测桩钻孔深度不少于喷层厚度的 2/3,钢拱架变形测桩应采用焊接与拱架连接,测桩的外露长度不少于 100 mm。

5.4.5 地表位移点埋设测桩采用不小于 $\phi 25$ 钢筋,埋设深度 500 mm,混凝土强度不低于 C20;设置在建筑物上的测点,可采用粘贴反光膜法或钢钉固定法。

5.4.6 支护结构应力传感器应牢固固定在支护结构上,严禁直接焊接,应采用安装底座辅助固定,且有传感器保护装置。

5.4.7 围岩压力传感器应牢固固定在支护结构上,并采取措施保证与围岩密贴,严禁与围岩单点接触。

5.4.8 洞内仰拱隆起测点采用不小于 $\phi 25$ 钢筋埋设在施做完成的调平层上,尽量避开施工轮迹带,钢筋端头刻有十字花形,点位避免突出隧底,并做好标志。

5.4.9 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,并及时采集数据。

5.5 监控量测频率

5.5.1 变形监控量测断面监测频率应根据测点距离开挖面的距离及位移速率分别应按表 9 和表 10 的规定。测量频率采用由测点距离开挖面的距离确定的监控量测频率和由位移速率决定的监控量测频率之中的较大值。

表 9 按距离开挖面距离确定的监控量测频率

距离开挖面距离/m	频率
<10	2次/d
10~30	1次/d
30~60	1次/2d
>60	1次/5d

表 10 按位移速率确定的监控量测频率

变形速率/(mm/d)	频率
≥ 15	2次/d
5~15	1次/d
1~5	1次/(1~2)d
<1	1次/3d
<0.5	1次/5d

5.5.2 支护结构受力监测频率应按应力变化速率应按表 11 的规定。

表 11 支护结构受力监测频率

应力变化速率/(kPa/d)	频率
$b \leq 2$	1次/(3~5)d
2~5	1次/(2~3)d
5~10	1次/(1~2)d
>10	1~2次/1d

注:当支护结构受力超过极限承载力的 70%时,应按照应力变化速率大于 10 kPa/d 时的监测频率进行。

5.5.3 当隧道洞内出现下列情形,监测频率为次/(1~2)h,必要时应执行实时监测。

- a) 变形速率连续三次超过红色预警值;
- b) 累计变形超过极限位移值,且变形速率连续两次超过红色预警值;
- c) 隧道初支出现宽度 1 cm 的裂缝,单缝长度超过 50 cm 或累计长度超过 100 cm,且变形速率超过黄色预警值;
- d) 隧道出现塌方,现场具备监控量测条件;
- e) 隧道开挖面遇不良地质体,现场具备监控量测条件;
- f) 支护结构受力超过其极限承载能力 90%,且有继续增大的趋势。

注:除 c)外,当变形速率在红色预警值以下,监测频率回归正常;当在 c)情形监测期间,裂缝未出现开展,且断面变形速率未达到黄色预警,经各单位现场商定确定监测频率。

5.5.4 地表沉降、拱脚下沉和拱脚位移和选测项目的监测频率按照对应断面的监测频率较大频率确定。

5.6 监控量测预警值及管理等级

5.6.1 变形速率预警

隧道净空变化和拱顶下沉预警指标应按表 12 的规定。

表 12 软岩隧道变形速率预警指标

周边收敛和拱顶下沉				
施工环节	黄色预警速率/ (mm/d)	持续时间/d	红色预警速率/ (mm/d)	持续时间/d
上台阶开挖	10	≤5	15	≤3
下台阶开挖	15	≤2	20	≤3
拱架连接后仰 拱施做前	10	≤3	15	≤3
仰拱施做以后	5	≤3	10	≤3
注 1: 本表给定的变形阈值可适用于台阶法开挖、复合式衬砌软岩隧道的初期支护,其他开挖工法下的预警指标可以在施工中通过实测资料积累在本表基础上作适当修正,修正方法可采用数理统计方法进行门值分析。 注 2: 监测黄色预警值超过表中的持续时间,应定为红色预警,监测红色预警值超过表中的持续时间,应执行 5.4.4 条。				

5.6.2 监控量测累计变形量预警

根据软岩隧道不同施工过程对支护结构和围岩的扰动效应不同,结合围岩变形过程发展规律,确定不同工序的总位移量预警值应按表 13 的规定。

表 13 软岩隧道监控量测变形总位移量预警指标

施工环节	黄色预警	红色预警
上台阶开挖	$U_0/10$	$U_0/5$
下台阶开挖	$2U_0/5$	$U_0/2$

表 13 (续)

施工环节	黄色预警	红色预警
拱架连接后 仰拱施做前	$3U_0/5$	$7U_0/10$
仰拱施做以后	$4U_0/5$	$9U_0/10$
<p>注 1: 本表适用于台阶法开挖、复合式衬砌软岩隧道的初期支护。其他开挖工法下的预警指标可以在施工中通过实测资料积累在本表基础上作适当修正。</p> <p>注 2: U_0 为围岩预留变形量和支护结构的极限位移的较小值的 90%, 也可按建立在已有数据的基础上根据概率统计确定门值。</p>		

5.6.3 钢架内力、喷射混凝土内力、二次衬砌内力、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符合 TB10003—2016 相关规定。

5.6.4 安全管理等级分为三级,黄色预警级别以下为Ⅲ级,黄色预警和红色预警之间为Ⅱ级,红色预警以上为Ⅰ级,预警级别根据上述监控项目的危险预警级别确定。

5.6.5 爆破振动安全允许振速应符合 GB 6722—2014 和 TB 10313—2019 的规定。

5.6.6 满足下列要求之一时,可认为围岩与支护结构达到稳定状态,可施做二次衬砌:

- 监控变形速率达到稳定,且变化量值达到 1 mm/d 以下,净空未出现侵限情况;
- 监控变形速率达到稳定,且变化量值在 1 mm/d~1.5 mm/d,但距离掌子面达到规定的安全步距;
- 监控变形速率呈现明显的减小或趋于稳定趋势,变化量值在 1.5 mm/d~2 mm/d,距离掌子面达到规定的安全步距。

5.6.7 出现下列情形之一时,不得施做二衬,应现场查明原因或停工采取相应措施。

- 监控变形速率明显不稳定,且变化量值在 1.5 mm/d 以上;
- 满足 5.6.6 条之一的情况,但初支有开裂,且开裂有发展趋势;
- 满足 5.6.6 条之一的情况,但初支侵限;
- 参建单位认为现场不宜施做二衬的其他情形。

6 监控量测方法

6.1 一般规定

6.1.1 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。

6.1.2 监控量测方法应简单、可靠、经济、实用。

6.2 洞、内外观察

6.2.1 施工过程中应进行洞内、外观察。洞内观察可分开挖面观察和已施工段观察两部分。

6.2.2 开挖面观察应在每次开挖后进行,及时进行开挖面地质素描、数码成像,填写开挖工作面地质状况记录表(见附录 A),并与勘察资料进行对比;分部开挖各部位的间距,以及距离二衬的距离。已施工地段观察,应记录喷射混凝土、锚杆、拱架变形和二衬表观状态。

6.2.3 洞外观察重点应在洞口段和洞身浅埋段,应记录地表开裂、地表变形、边坡及仰坡稳定状态、地表水渗漏等情况,同时还应对地表建(构)筑物进行观察,测量记录表见附录 A.1。

6.3 变形监控量测

6.3.1 变形监控量测可采用接触法量测或非接触法量测。

6.3.2 隧道净空变化量测可根据表 3 选择仪器。测点埋设根据表 8 规定,测量记录表见附录 A.2,量测应符合下列规定:

- a) 采用收敛计时,测点采用收敛测钩,可焊接或钻孔预埋,量测结果应进行温度修正;
- b) 采用非接触法量测时,反光膜应粘贴在钢片上,钢片与钢筋焊接,钢筋才用焊接或钻孔预埋;
- c) 测桩凸出初支表面不小于 100 mm;
- d) 其他设备应根据具体情况埋设测点。

6.3.3 拱顶下沉量测可根据表 2 选择仪器。测点埋设根据表 8 规定。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。采用全站仪设备等其他设备时,可按照 6.3.2 条有关规定进行,测量记录表见附录 A.3。

6.3.4 地表沉降量测方法同拱顶下沉。基准点应设置在地表沉降影响区以外,测点布设按照 5.3 条进行,测量记录表见附录 A.4。

6.3.5 围岩内部位移量测可采用位移计和多点位移计钻孔埋设,通过综合测试仪进行量测读数,测量记录表见附录 A。

6.4 应力、应变监控量测

6.4.1 应力、应变量测宜采用振弦式传感器、光纤光栅传感器。其中振弦式传感器可通过综合测试仪接受频率并换算相应的参量值,光纤光栅传感器可通过光纤光栅解调仪获得频率读数,依据频率-量测参数率定曲线换算出相应量测参量值。

6.4.2 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,并应符合下列要求:

- a) 采用振弦式钢筋计或应变计进行型钢应力量测时,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拱架应力测量时,应将格栅主筋截断并把钢筋计对焊在阶段部位;
- c) 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或粘贴在相应测点位置。

6.4.3 混凝土、喷射混凝土应变量测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。

6.5 接触压力监控量测

6.5.1 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。

6.5.2 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,测量记录表见附录 A.5。

6.6 爆破振动监控量测

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

6.6.2 传感器固定在预埋件或建筑物上,并通过爆破振动记录仪自动记录爆破振动速度和加速度,分析振动波形衰减规律。

6.7 孔隙水压和水量监控量测

6.7.1 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。

6.7.2 水量监控量测可采用三角堰、流量计进行。

7 数据分析及信息反馈

7.1 一般规定

7.1.1 监控量测数据采集后及时进行统计,并备注相应的施工方法和工序,以及断面与开挖面之间的距离等信息。

7.1.2 监控数据分析可采用折线图和回归分析方法。

7.1.3 信息反馈以监控位移为主,主要依据时态曲线对围岩稳定性、支护结构工作性、洞内外的安全性进行判定、验证支护参数的有效性并进行优化设计。

7.1.4 监控量测应确保信息传递渠道畅通、反馈及时有效。

7.2 数据分析处理

7.2.1 监控量测数据的分析处理应包括数据校核、数据整理和数据分析。

7.2.2 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。

7.2.3 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。

7.2.4 监控量测分析应包括以下内容:

- a) 根据量测值绘制断面时态曲线:
 - 1) 位移-时间曲线;
 - 2) 速率-时间曲线;
 - 3) 围岩压力-时间曲线;
 - 4) 支护结构内力-时间曲线。
- b) 根据监控量测值绘制隧道空间曲线:
 - 1) 位移-开挖面距离曲线;
 - 2) 速率-开挖面距离曲线;
 - 3) 围岩压力-里程曲线;
 - 4) 支护结构内力-里程曲线;
 - 5) 速率极值-里程曲线;
 - 6) 位移极值-里程曲线。
- c) 根据量测值绘制统计曲线:
 - 1) 速率区间频率分布曲线;
 - 2) 位移区间频率分布曲线。
- d) 选择回归曲线,预测最终值,并与控制基准进行比较。
- e) 对支护及围岩状态、工法、工序进行评价。
- f) 及时反馈评价结论,并提出相应工程对策建议。

7.2.5 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。

7.3 监测信息反馈及工程对策

7.3.1 监测完毕后,应及时出具日报并报送相关单位。

7.3.2 预警报告发出后,监控单位应监督闭合。

7.3.3 监控量测信息反馈程序如图 3 所示。

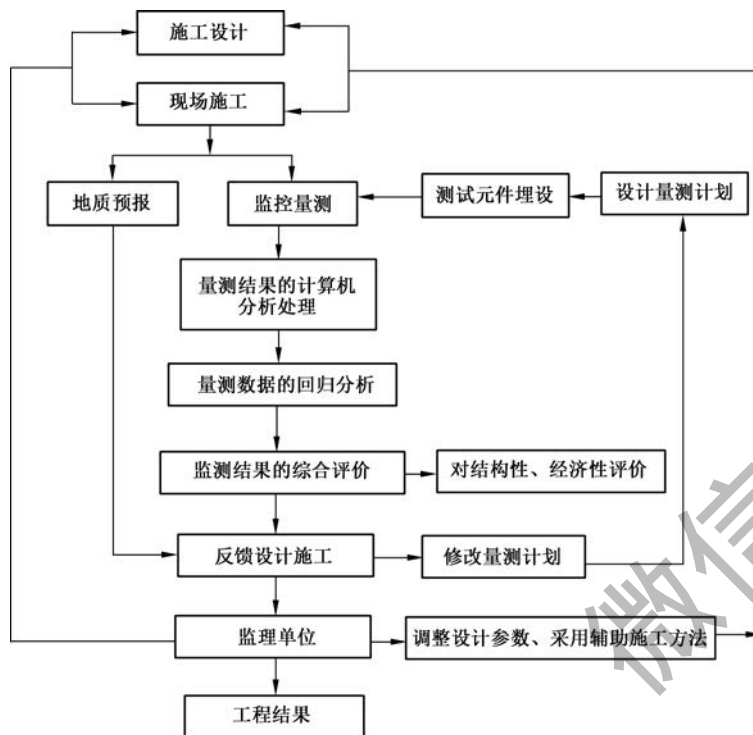


图 3 监控量测反馈程序框图

7.3.4 工程安全性评价分级和流程应根据 5.6.4,按照 Q/CR 9218—2015 的规定。

7.3.5 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。

7.3.6 施工建议可包括下列内容:

- a) 一般措施:
 - 1) 稳定开挖面;
 - 2) 优化施工工序;
 - 3) 优化支护方案;
 - 4) 采用弱爆破,降低爆破振动。
- 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、超前管棚、超前插板、水平高压旋喷法、预切槽法等。

8 成果资料

隧道监控量测成果资料应包括下列内容:

- a) 监控量测设计方案;
- b) 监控量测实施细则及批复;
- 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。

附 录 A
(资料性附录)

软岩隧道监控量测技术规范相关资料

软岩隧道监控量测技术规范相关记录表见表 A.1~表 A.5。

表 A.1 隧道洞内外观察记录表

基本 信息	工程名称		施工单位	
	监理单位		设计单位	
	仪器设备		检测日期	
	围岩等级		开挖方法	
检测依据:				
洞内 观察	岩石种类			
	岩性特征			
	节理裂隙发育程度	<input type="checkbox"/> 节理不发育 <input type="checkbox"/> 节理较发育 <input type="checkbox"/> 节理发育		
	断层及破碎带宽度、特征			
	掌子面稳定状态	<input type="checkbox"/> 稳定 <input type="checkbox"/> 正面掉块 <input type="checkbox"/> 正面挤出 <input type="checkbox"/> 正面不能自稳		
	渗漏水情况	<input type="checkbox"/> 无水 <input type="checkbox"/> 渗水或滴水 <input type="checkbox"/> 整体湿润 <input type="checkbox"/> 线流 <input type="checkbox"/> 股流		
	喷层与围岩接触情况	<input type="checkbox"/> 局部不密实 <input type="checkbox"/> 密实		
	有无钢拱架被压屈现象	<input type="checkbox"/> 无 <input type="checkbox"/> 有		
	二衬表面裂缝状况	<input checked="" type="checkbox"/> 无裂缝 <input type="checkbox"/> 龟裂 <input type="checkbox"/> 纵向裂缝 <input type="checkbox"/> 环向裂缝 <input type="checkbox"/> 斜向裂缝		
是否有底鼓现象	<input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 是			
洞外 观察	地表开裂情况	<input type="checkbox"/> 无开裂 <input type="checkbox"/> 纵向开裂 <input type="checkbox"/> 横向开裂		
	植被状况	<input type="checkbox"/> 完好 <input type="checkbox"/> 破坏		
	边仰坡稳定状态	<input type="checkbox"/> 稳定 <input type="checkbox"/> 正面掉块 <input type="checkbox"/> 正面挤出 <input type="checkbox"/> 正面不能自稳		
施工 建议				

记录:

复核:

日期: 年 月 日

表 A.2 拱顶下沉量测记录表

施工单位：
设计单位：

监理单位：
监测单位：

隧道名称				测点埋设桩号				测点埋设日期			
量测断面编号				距洞口距离				围岩设计等级			
量测时间				观测值				相对第一次变化量	相对上次变化量	变形速率	距开挖面距离
				I	II	III	平均值				
年	月	日	时	m	m	m	m	mm	mm	mm/d	m

记录：

计算：

复核：

表 A.3 周边位移量测记录表

施工单位:

监理单位:

设计单位:

监测单位:

隧道名称					测点埋设桩号					测点埋设日期			
量测断面编号					距洞口距离					围岩设计等级			
量测时间					观测值					相对第一次变化量	相对上次变化量	变形速率	距开挖面距离
					I	II	III	平均值	温度修正值				
年	月	日	时	m	m	m	m	m	mm	mm	mm/d	m	

记录:

计算:

复核:

表 A.4 地表下沉量测记录表

施工单位：
设计单位：

监理单位：
监测单位：

隧道名称				测点埋设桩号					测点埋设日期			
量测断面编号				距洞口距离					围岩设计等级			
量测时间				观测值					相对第一次变化量	相对上次变化量	变形速率	备注
				I	II	III	平均值	温度修正值				
年	月	日	时	m	m	m	m	m	mm	mm	mm/d	

记录：

计算：

复核：

表 A.5 接触压力量测记录表

施工单位： 监理单位：
 设计单位： 监测单位：

施工方法				测点埋设桩号	测点埋设日期							
监测部位				传感器编号	围岩设计等级							
量测时间				观测值			平均值	相对第一次变化量	相对上次变化量	变形速率	距开挖面距离	
年	月	日	时	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa/d	m	

记录： 计算： 复核：
