CECS

T/CECS XXX-XXXX

中国工程建设标准化协会标准

公路隧道监控量测技术规程

Technical specification for monitoring and measurement of highway tunnel

(征求意见稿)

征求意见稿

中国工程建设标准化协会标准

公路隧道监控量测技术规程

Technical specification for monitoring and measurement of highway tunnel

T/CECS XXX-XXXX

征求意见稿

主编单位：中国公路工程咨询集团有限公司

批准部门：中国工程建设标准化协会

实施日期：202*年**月**日

前　言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2020年第一批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字〔2020〕14号）的要求，制定本规程。

本规程共分7章，主要内容包括：总则、术语、基本规定、技术要求、监控量测方法、数据分析、反馈及管理、成果资料。

本规程由中国工程建设标准化协会公路分会归口管理，由中国公路工程咨询集团有限公司负责具体技术内容的解释。在执行过程中，如发现需要修改和补充之处，请将意见和有关资料寄送解释单位（地址：北京市海淀区西三环北路北京市政大厦202室；邮政编码：100089）。

征求意见稿

主 编 单 位： 中国公路工程咨询集团有限公司

参 编 单 位： 中咨公路养护检测技术有限公司
中交基础设施养护集团有限公司
苏交科集团检测认证有限公司
中交路桥建设有限公司
中航勘察设计研究院有限公司

主　　编： 朱光仪

主要参编人员：

主　　审： 易亚滨

参与审查人员：

参 加 人 员：

目　录

1　总则.....1
2　术语.....2
3　基本规定.....4
4　技术要求.....7
4.1 一般规定.....7
4.2 监控量测项目.....9
4.3 监控量测断面及测点布置.....14
4.4 监控量测频率.....23
4.5 监控量测控制基准.....27
4.6 监控量测系统及元器件技术要求.....35
5　监控量测方法.....38
5.1 一般规定.....38
5.2 洞内、外观察.....38
5.3 变形监控量测.....39
5.4 应力、应变监控量测.....42
5.5 接触压力监测.....43
5.6 锚杆轴力、锚索拉力监测.....44
5.7 爆破振动监测.....44
5.8 隧道裂缝监测.....45
5.9 水压力、水流量、水位监测.....46
5.10 自动监测技术.....48
6　数据分析、反馈及管理.....51
6.1 一般规定.....51
6.2 数据分析处理.....52
6.3 信息反馈.....53
6.4 隧道监控量测安全性分级.....54
7　成果资料.....58
附录.....59

征求意见稿

1 总则

1.0.1 为规范和指导公路隧道设计和施工过程中的监控量测，使公路隧道监控量测工作满足安全适用、经济合理、技术先进的要求，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于以钻爆法施工的各等级新建和改扩建公路山岭隧道。

1.0.3 公路隧道应进行监控量测设计，其设计内容应纳入施工图设计文件，并作为关键工序纳入现场施工组织。

1.0.4 公路隧道监控量测方案宜考虑项目运营期需求，在断面布置、监测项目、监测设备、数据终端采集软件、数据接口标准、数据上传内容、数据存储及应用等方面满足运营期的需要。

1.0.5 公路隧道监控量测应贯彻国家有关技术经济政策，积极稳妥采用新技术、新材料、新工艺和新设备。

1.0.6 公路隧道监控量测工作除应符合本规程的规定外，尚应符合有关法律、法规及国家、行业有关现行标准的规定。

征求意见稿

2 术语

2.0.1 隧道监控量测 monitoring measurement

通过使用各种量测仪器和工具，在隧道内或地表，对围岩、地层的变形和支护结构的受力与变形进行观察、量测、分析与评价的活动。

2.0.2 必测项目 necessary monitoring items

为保证隧道围岩稳定及施工安全，同时反映设计、施工状态而必须进行的日常监控量测项目。

2.0.3 选测项目 optional monitoring items

为深入掌握围岩稳定状态及支护效果，在局部具有特殊要求和代表性意义的区段进行补充测试，并根据不同地质条件、工程措施等具体条件选择的测试项目。

2.0.4 专项监测项目 special monitoring items

隧道开挖对周边环境如重要的建（构）筑物、地下水环境等产生影响或穿越滑坡、岩溶区、断裂带、膨胀岩等特殊地质地段时，为保证周边环境及隧道施工的安全而增设的监控量测项目。

2.0.5 隧道净空收敛 convergence of tunnel inner perimeter

隧道周边上两点间相对位置的变化。

2.0.6 拱顶下沉 crown settlement

隧道拱顶测点的绝对沉降值。

2.0.7 地表下沉 settlement/subsidence

隧道开挖后地层中的扰动区延伸至地表而引起的地表沉降。

2.0.8 变形监控量测 deformation measurement

对建筑物及其地基或一定范围内的岩土体的位移、沉降等项目所进行的监控

征求意见稿

量测工作。

2.0.9 基准点 basic benchmark

设在稳定岩土体或建筑物上的经确认固定不动的点。

2.0.10 非接触量测 non-contact measurement

指在不接触被测目标点的情况下，获取被测点的位移、应力等信息的方法。

2.0.11 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。

2.0.12 控制基准 control benchmark

为保证隧道工程安全，对监控量测对象变化是否出现异常、危险所设定的限值。

2.0.13 反分析法 anti-analysis method

以现场监控量测的位移（或应力、应变等）参数为基础信息，对数据进行回归分析，反求实际岩（土）体的力学参数、地层初始地应力以及支护结构的边界荷载等，预测施工阶段岩土体及支护结构的力学状态响应，并将其作为调整支护措施、支护时机或施工方法等的依据的一种分析方法。

2.0.14 长期监测 long-term monitoring

对运营期公路隧道重大结构病害或隐患、严重不良地质地段进行较长时间的多次或连续性观测与分析。

2.0.15 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。

征求意见稿

3　基本规定

3.0.1　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，监控量测实施单位应编制实施大纲，施工中应按大纲实施并将监控量测资料纳入竣工文件中归档。

3.0.2　监控量测应达到以下目的：

1　监控隧道施工安全，验证地质资料的准确性及支护结构的作用效果；

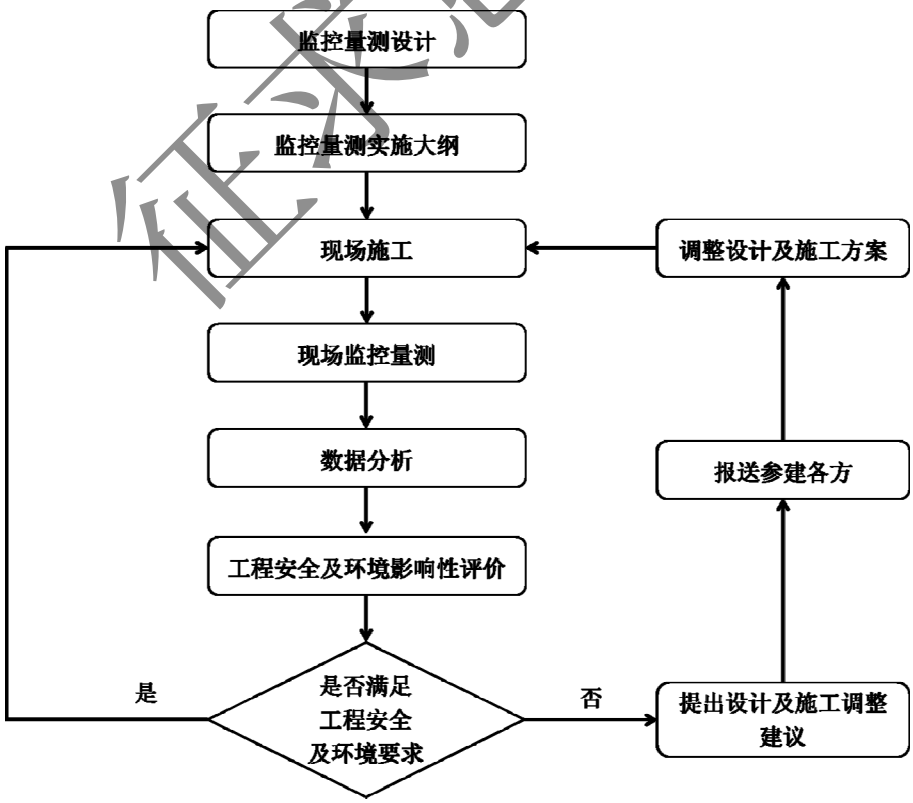
2　监控隧道工程与周边环境的相互影响；

3　对施工过程中可能出现的大变形、塌方及其他地质灾害做出预警；

4　为二次衬砌施作时间提供指导意见；

5　积累监控量测数据，为隧道动态设计和信息化施工提供依据。

3.0.3　现场监控量测及信息反馈工作流程可按图 3.0.3 的程序进行。



征求意见稿

图 3.0.3　现场监控量测及信息反馈工作流程图

3.0.4　编写监控量测实施大纲前，监控量测单位应现场踏勘，复核相关资料，了解工程目前的建设情况，确定监控量测项目现场实施的可操作性。

3.0.5　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；监控量测人员应相对稳定，保持监控量测工作的连续性。

条文说明

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，达到应有的精度，施工单位需成立现场监控量测小组或委托专业机构。

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。

监控量测应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。

3.0.6　监控量测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或校准。

3.0.7　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，为动态设计和信息化施工提供依据。

3.0.8　监控量测应建立严格的数据复核、审查制度，减小系统误差，控制偶然误差，避免人为错误。如有数据缺失或异常，及时采取补救措施，并做出详细记录。

条文说明

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

征求意见稿

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。因此，对不同的监控量测项目，具体分析产生偶然误差的原因，并通过加强管理，提高操作人员的技术水平来控制偶然误差。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。避免人为误差的措施主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。

3.0.9　施工、监理、设计、业主等单位应配合监控量测实施，共同研究、分析各项量测信息，确认或修正设计参数或施工方法。

3.0.10　监控量测数据采集、分析、存储、反馈等工作宜积极采用信息化、智能化等新技术。

征求意见稿

4 技术要求

4.1 一般规定

4.1.1 监控量测设计应根据围岩条件、支护参数、施工方法、周边环境及监测目的进行，同时考虑量测的经济性，并注意与施工的进程相适应。

4.1.2 监控量测设计应包括以下内容：

1 工程概况。

2 监控量测目的、原则。

3 监控量测项目。

4 测点布置、断面布置、监测频率、控制基准值、监测数据整理内容等。

条文说明：

本次明确了隧道设计阶段监控量测包含的内容，设计阶段应根据现有的隧道勘察资料、测量资料以及当地的工程经验、测量队伍技术能力等在相应的设计与施工规范的前提下制定必测项目和选测项目等，并且要明确测点布设原则、数据整理分析基本方法等。

4.1.3 监控量测实施大纲应根据设计方案和工程特点编制，应包括以下内容：

1 工程概况。

2 编制依据。

3 监控量测人员组织及分工、仪器设备及标定。

4 监控量测内容及方法，监控量测断面、测点布置、量测频率及控制基准。

5 量测数据记录格式、数据分析方法。

6 信息反馈及成果提交。

7 现场安全管理及质量保证措施。

4.1.4 在隧道开挖影响范围内遇到下列情况时，应开展专项监测：

1 穿越或邻近既有隧道及附属设施。

2 隧道穿越村庄密集区、环境保护区等敏感性区域。

征求意见稿

3　穿越重要的建（构）筑物、高速公路、国省干线道路及重要的县乡道、地下石油管线、光缆、通信电缆、电力电塔、机场跑道等。

4　穿越富水区或穿越河流、湖泊、水库等地表水体。

5　穿越滑坡、岩溶、断裂带、地裂缝、高地应力等不良地质地段。

6　采用新工艺、新工法或有其他特殊要求时。

4.1.5　隧道下穿或邻近既有隧道等重要的建（构）筑物时，监测项目及方案应与有关管理部门或单位共同确定。

4.1.6　隧道设置辅助通道如斜井、竖井、平行导洞、横洞或设置地下风机房、联络风道等永久结构时，应开展辅助通道监控量测。

4.1.7　隧道二次衬砌出现裂缝时，应开展裂缝监测。

条文说明：

隧道二次衬砌出现裂缝的原因有很多，如二衬背后回填不密实、混凝土干缩、掌子面爆破扰动、强降雨等，因此，当二次衬砌出现裂缝时，应及时监测裂缝的部位，裂缝数量、长度、发展趋势等，根据这些信息判断裂缝产生的原因以便制定及时合理的处治方案。

4.1.8　应急抢险监测应在原有监测工作的基础上有针对性地加密监测点、提高监测频率或增加监测项目，并宜优先采用自动化监测手段。

条文说明：

公路隧道在施工过程中出现风险事件时，为监测、分析、处理、控制风险事件时应展开应急抢险监测工作以提供及时、全面的监测数据，突发事件时的应急抢险监测应根据现场突发事件的情况，针对风险事件的要求在原有监测方案的基础上补充监测项目或增加监测频率；当采用人工监测方案不能满足实际情况要求或存在人身安全风险时，需采用远程自动化监测。

4.1.9　自动化监测宜按以下规定执行：

1　宜选用同一类型的监测仪器和传感器；

2　供电应稳定可靠，并具备断电报警功能；

3　数据管理系统应具备数据存储、异常数据剔除、统计分析、曲线图表生成、趋势预测、预警反馈、报告报表自动生成等功能；

征求意见稿

4　监测过程中应定期进行数据校准。

条文说明：

目前市场上的监控量测仪器及传感器种类众多，仪器和传感器的选择宜选择同一类型，保证两者互相匹配：

1　仪器的精度应与传感器的精度相匹配。

2　仪器的量程应足够，并与传感器量程相匹配。

3　仪器的数据处理格式及数据端口应与传感器相匹配。

4.1.10　监控量测工作应随施工工序及时进行，测点应及时埋设，初期支护后2小时内读取数据。

4.1.11　各项监测作业持续时间应符合以下规定：

1　各项监测作业均应持续到变形基本稳定后15 d～20 d结束；

2　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；

3　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；

4　孔隙水压力、水流量、水位、水质监测时间根据实际需要确定，必要时进行长期监测。

4.2　监控量测项目

4.2.1　监控量测项目可分为必测项目、选测项目和专项监测项目等。

条文说明：

本条监控量测项目在必测项目、选测项目的基础上增设了专项监测项目。专项监测项目主要分为三类：第一类是隧道开挖影响范围内对周边环境如邻近隧道、村庄、重要的建（构）筑物、高速公路、国省干线道路及重要的县乡道、地下石油管线、光缆、通信电缆、机场跑道及周边地下水环境等造成影响时，应增设的周边环境监测项目；第二类是隧道开挖范围内穿越滑坡、岩溶、断裂带、地裂缝、膨胀岩、高地应力等特殊地质环境时根据需要新增设的特殊地质条件下的监测项目。

征求意见稿

4.2.2 公路隧道监控量测应将必测项目纳入日常监控量测。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	常用仪器设备	备注
1	洞内、外观察	钢卷尺、数码相机、地质罗盘、地质锤	
2	拱顶下沉	水准仪、钢挂尺、全站仪	
3	净空收敛	收敛计、全站仪	
4	拱脚下沉	水准仪、全站仪	土质隧道、软弱破碎围岩段
5	地表下沉	水准仪、全站仪	洞口段

4.2.3 公路隧道监控量测可将满足隧道设计和施工特殊要求进行监控量测的内容纳入选测项目，选测项目按表4.2.3确定。

表 4.2.3 监控量测选测项目

序号	监控量测项目	常用仪器设备	备注
1	钢架内力及外力	支柱压力计、钢筋计读数仪或其他压力计	
2	围岩内部位移（洞内设点）	洞内钻孔中安设单点、多点杆式或钢丝式位移计	
3	围岩内部位移（地表设点）	地面钻孔中安设各类位移计	
4	围岩压力	各种类型岩土压力盒	
5	两层支护间压力	压力盒	
6	锚杆轴力	钢筋计、锚杆测力计	
7	支护衬砌内应力	各类混凝土内应变计及表面应力解除法	
8	围岩弹性波速度	各种声波仪及配套探头	
9	爆破振动	测振及配套传感器	
10	渗水压力、水流量	渗压计、流量计	
11	地表下沉	水准仪、全站仪	

4.2.4 小净距隧道应增设后行洞爆破振动速度、中夹岩弹性波速测试并根据需要纳入必测项目；连拱隧道应增设中隔墙顶部位移、顶部应力监测并根据需要纳入必测项目。

征求意见稿

条文说明：

近年来随着公路隧道建设里程增加，由于受地形、地质条件、总体布设方案、占地要求、桥隧相接等方面的限制，双洞间距无法满足分离式隧道的要求，往往选用小净距形式或连拱隧道形式，

小净距隧道中夹岩厚度较小，是施工的薄弱段落，容易发生失稳，特殊情况下中夹岩强度较低或过薄的时候还会设置对拉锚索等；通过总结相关的文献及工程实例，小净距隧道施工有以下特点：

1. 左右洞开挖相互影响，先行洞开挖支护完成后，后行洞开挖过早可能会影响先行洞初期支护强度。

2. 后行洞开挖爆破振动速度掌握不当，容易对先行洞初期支护及中夹岩产生扰动，进而影响隧道施工稳定性；

3. 后行洞采用不同的开挖方法对中夹岩扰动较大；

4. 先行洞的二次衬砌施作时机，不仅要考虑先行洞本身围岩变形稳定性，且应该考虑后行洞围岩变形稳定性。

5. 当中夹岩需加固时，常用的方法为水平预应力对拉锚杆，其锚杆轴力大小对中夹岩稳定性影响较大。

综上，在施工开挖过程中需要对后行洞的爆破振动、中夹岩的围岩强度等进行监测，以保证隧道的施工安全。

通过对连拱隧道的工程案例的分析也可以发现，中隔墙的稳定性对连拱隧道施工稳定性非常重要，由于顶部的岩土体反复扰动，左右侧开挖工序不同，掌子面距离不同，断面大小、地形偏压严重程度等因素导致中隔墙承受压、拉、弯、剪、扭等复杂应力，因此通过对中隔墙的顶部位移、顶端压力、内部压力及裂缝监测等能够较好地反映施工过程中左右洞开挖工序对岩体的扰动，岩土压力的变化等，也能一定程度反映隧道结构的质量，通过对监测数据的分析能够及时调整掌子面的间距大小，开挖工法及回填土体的密实度等，由此需要在连拱隧道增加专项监测项目，以保证工程安全。

4.2.5 公路隧道监控量测可根据隧道开挖对周边地下水位、水质的影响程度开展地下水环境专项监测，专项监测项目按表 4.2.5 确定。

征求意见稿

表 4.2.5　隧址区地下水环境专项监测项目

序号	监控量测项目	常用仪器设备	备注
1	水体流量监测	流量计、三角堰	隧址区周边居民生产生活用水区域、泉、井、河流、湖泊、水库
2	水体水位监测	水位计	
3	水质分析	水采样设备	

条文说明：

隧道防排水设计遵循“防、排、堵、截”相结合，因地制宜，综合治理的基本原则，但是长期以来，在工程实践过程中，因技术和经济条件的限制，往往只能被动采取排水降压的治水措施，隧道长期排水往往不可避免破坏隧址区渗流场平衡，影响地下水的正常循环，恶化隧址区自然生态环境，给人类生产生活带来不便，严重时甚至可能引发社会纠纷，因此为准确地判断隧道施工对隧址区周边地下水的影响，应对周边水体进行定量监测，尤其是对周边水库、居民生活用水设施如泉、井等进行动态监测可以较为准确的判断隧道排水的大致影响范围，为工程建设提供数据支撑，最大程度地减小对环境的影响；以往工程项目中多以水量、水位监测为主，本次增加了水质监测，能够定量确定隧道排水对周边水体的影响程度。在隧道施工之前，应首先进场对隧址区影响范围内的地表水体井、泉、河流、湖泊、水库等的初始状态进行调查，在此基础上根据监测目的和要求，确定合适的监测项目和监测点。

4.2.6　公路隧道监控量测可根据隧道开挖对周边环境如重要的建（构）筑物、既有道路、地下管线、既有隧道等既有结构的影响程度开展周边环境专项监测，监测项目按表 4.2.6 确定。

表 4.2.6　隧道周边环境专项监测项目

序号	监控量测项目	常用仪器设备	备注
1	建（构）筑物竖向位移	水准仪、全站仪等	重要建（构）筑物、高层、高耸建（构）筑物、附近居民区等
2	建（构）筑物水平位移	经纬仪、全站仪等	
3	建（构）筑物倾斜	全站仪、激光垂准测量或正、倒垂线	
4	建（构）筑物裂缝	游标卡尺、裂缝测量仪	
5	爆破振动	振动传感器、记录仪	
6	路面沉降	水准仪、全站仪等	高速公路、国省干线道路及重要的县乡道
7	挡墙竖向位移	水准仪、全站仪等	

征求意见稿

8	挡墙水平位移	经纬仪、全站仪等	
9	挡墙倾斜	全站仪、激光垂准测量或正、倒垂线	
10	竖向位移	水准仪、全站仪等	地下管线（电缆、通信光缆、输油管道等）
11	隧道结构竖向位移	水准仪、全站仪等	既有隧道
12	隧道结构水平位移	经纬仪、全站仪等	
13	隧道结构净空收敛	收敛计、全站仪	
14	隧道结构变形缝差异沉降	水准仪、全站仪等	
14	隧道结构裂缝	游标卡尺、裂缝测量仪	

4.2.7 隧道开挖过程中针对穿越浅埋偏压地形、滑坡、膨胀岩、软弱围岩等特殊地形或不良地质段落增设的专项监测项目按表 4.2.7 确定。

表 4.2.7 隧道特殊地质地段专项监测项目

序号	监控量测项目	常用仪器设备	备注
1	拱脚位移	全站仪、水准仪、激光测距仪	偏压、特殊地质段落
2	边、仰坡位移	全站仪、GNSS	洞口段
3	隧道底鼓监测	全站仪、水准仪	高地应力、富水、膨胀岩地段
4	滑坡深层水平位移	测斜仪	隧道穿越滑坡或邻近滑坡段

条文说明：

隧道遇到浅埋偏压地形，拱脚两侧受力差异较大时，拱脚容易发生平移错动等方向的位移，洞口段土质边仰坡由于受到施工扰动容易发生滑坡等问题，高地应力、富水、膨胀岩地段容易发生软岩变形等工程问题，因此在特殊地质段落应根据可能产生的施工风险，增设专项监测项目。

4.2.8 公路隧道设置斜井、平行导洞等辅助通道时增设的监控量测项目宜与主洞一致，设置竖井时增设的监控量测项目宜按表 4.2.8 确定。

表 4.2.8 隧道竖井监测项目

序号	监控量测项目	常用仪器设备	备注
1	竖井井壁支护结构净空收敛	收敛计、全站仪	
2	竖井锁口圈沉降	水准仪、钢挂尺、全站仪	

征求意见稿

3	竖井锁口圈水平位移	全站仪	竖井
4	竖井井斜	全站仪、激光垂准测量或正、倒垂线	
5	竖井井口周边地表沉降	水准仪、钢挂尺、全站仪	
6	施工期竖井周边地下水位	水位计	

条文说明：

特长隧道竖井施工与正洞、平行导洞、斜井的施工工序不同，竖井施工过程中关注的是侧壁稳定性、井斜、井口边沉降、地下水位变化等，因此施工过程中监控量测项目应根据其施工特点进行调整，在城市轨道交通设计及施工过程中，竖井施工较为广泛，因此本次竖井监控量测项目参照《城市轨道交通工程监测技术规范》（GB50911-2013）的相关规定。

平行导洞、斜井施工与主洞施工方法相同，监控量测项目也相同。

4.2.9 隧道二次衬砌裂缝监测项目包括裂缝数量、长度、宽度、深度等。

4.3 监控量测断面及测点布置

4.3.1 监控量测断面的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，并遵循以下原则：

1 不同围岩级别段落，各段落应至少布置 1 个监测断面。

2 在洞口、洞身浅埋段及特殊地质段落，应适当加密监测断面。

3 隧道施工方案发生变化时，应在变化断面前后加密监测断面。

4 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，同时加强对中夹岩墙的监测。

5 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，同时加强对中隔墙偏移的监测。

4.3.2 测点及基准点的布置应遵循以下原则：

1 不同断面测点宜布置在相同部位，测点应对称布置；选测项目量测断面宜与必测项目布置在同一断面。

2 测点布置应牢固可靠、易于识别、并注意保护，严防损坏，满足长期监测要求，应能真实反映围岩、支护的动态变化信息。

征求意见稿

条文说明：

洞内必测项目各测点应埋入结构或围岩中， 深度不应小于 0. 2m, 不应焊接在钢架上，外露部分应有保护装置。

3　测点埋设稳定后应及时读取初读数，并取 3 次观测值的平均值作为初始值。

4　基准点与监测断面距离较远时，宜在隧道内稳定区域埋设新的基准点，并采取保护措施。

4.3.3　隧道洞口及洞身浅埋段地表下沉测点应在隧道开挖前布设；地表下沉测点和洞内变形测点宜布置在同一断面里程；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_o+B，连拱、分离式隧道轴线上方应各设一个测点，其测点布置如图 4.3.3 所示。地表建（构）筑物对沉降有特殊要求时，量测断面间距应适当加密，范围适当加宽。

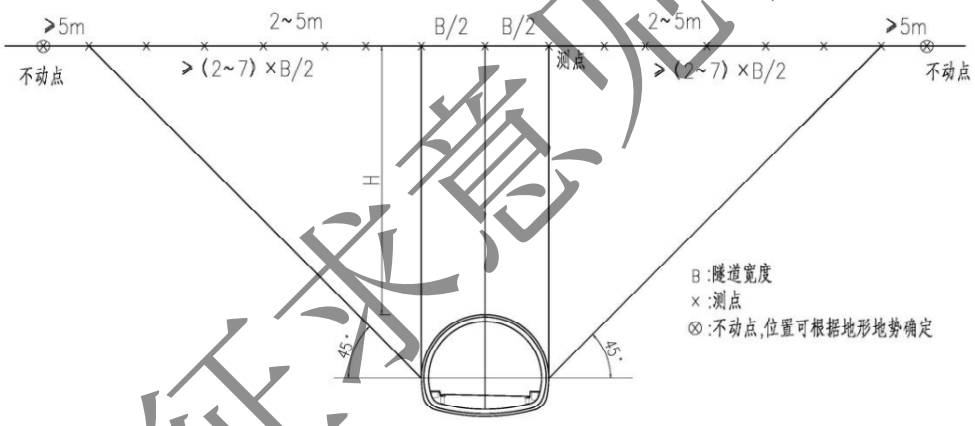


图 4.3.3　地表下沉监测点横向布置示意图

条文说明：

图 4.3.3 地表沉降监测范围是基于工程实践及借鉴其他规程总结出来的经验成果，在无数据异常和事故征兆的情况下，基本能够满足现场监控的要求。对于浅埋或超浅埋隧道，隧道横断面方向的地表沉降量测边界在隧道开挖影响范围之外，并在开挖影响范围之外设置基准点。

4.3.4　连拱隧道、小净距隧道应综合考虑左右洞情况联合布设地表下沉测点，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。

条文说明：

征求意见稿

小净距隧道开挖过程中，地表沉降曲线一般呈“双峰”形态，即双洞洞顶为两个地表下沉极值点，当双洞距离接近时，双峰会越来越接近，则意味着双洞之间的地表沉降会产生叠加效应较单洞增加，因此需要进一步将左右洞之间的区域作为监测重点。

4.3.5 隧道地表下沉纵向观测点间距采用表 4.3.5 中的数值。

表 4.3.5 隧道地表下沉观测点纵向间距

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

4.3.6 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_0+H 范围，监测纵向范围如图 4.3.6 所示，在隧道中线纵向至少布置一个纵向断面。

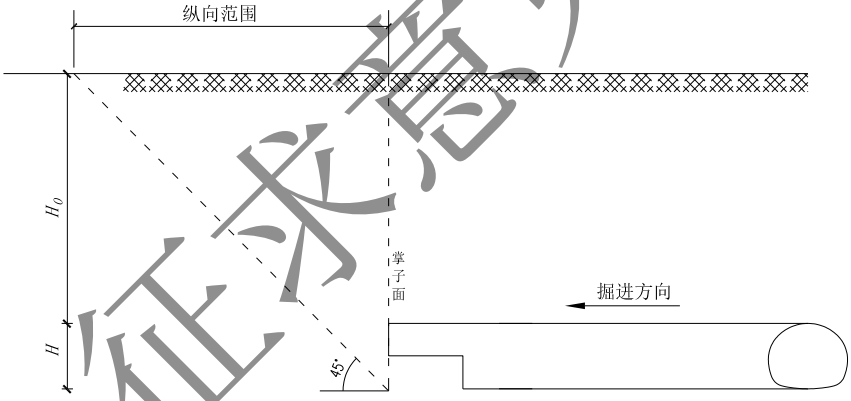


图 4.3.6 地表下沉纵向监测范围

条文说明：

根据地铁隧道浅埋暗挖段落的地表沉降数据的统计分析，隧道埋深小于 3 倍的开挖宽度时，地表下沉会成为判断隧道地层稳定性的重要标志，隧道监控量测的重要性随隧道埋深变浅而增大，如下表所示：

表 4.3.6 地表下沉量测的重要性分段范围

埋深	重要性	测量与否
$3B<H_0$	小	不必要
$2B<H_0<3B$	一般	最好量测
$B<H_0<2B$	重要	必须量测

征求意见稿

$H_0<B$	非常重要	必须列为主要量测项目
注：B 为隧道开挖宽度；H_0 为隧道埋深		

以往隧道施工监测重点为浅埋段地表横向变形，但是根据施工监测的数据统计分析可以判断，长距离浅埋段隧道施工，随着掌子面的开挖推进，掌子面前后一定范围内地表沉降会明显增加，对于判断施工安全至关重要，因此需增加地表纵向观测点，纵向观测点的范围，可以借鉴地铁隧道的沉降监测数据结果，掌子面前方范围内为 1.5B 范围内，掌子面后方范围为 3B，后方范围较大的主要原因是，地表沉降有一定的滞后性，初期支护施作完成之后，地表沉降速率逐渐减缓，但是地表沉降还在增加，这部分沉降观测可根据需要进行选测。

根据公路隧道监控量测多年工程实践及借鉴其他规程总结出来的经验成果，在无数据异常和事故征兆的情况下，浅埋隧道掌子面前方 H_0+H 范围内基本能够满足现场监控的要求，因此本规程按照此值设置建议范围。

4.3.7 拱顶下沉测点及断面布设应遵循以下原则：

1 拱顶下沉测点原则上布置在隧道拱顶轴线附近，当隧道跨度较大时，应结合施工工法在拱部增设测点。

2 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；

3 采用分部开挖法时，每开挖分部拱部应至少布置 1 个测点。断面布设间距按表 4.3.7 确定，测点布设按图 4.3.7 所示。

表 4.3.7 拱顶下沉、净空收敛等的断面间距

围岩等级	断面间距（m）	备注
Ⅴ、Ⅵ	5～10	洞口、浅埋段取小值
Ⅳ	10～20	
Ⅲ	20～50	
Ⅱ	50～100	
注： 1 不同围岩都应有代表性断面，地质条件较好的取大值，反之取小值； 2 三车道及以上取小值。		

征求意见稿

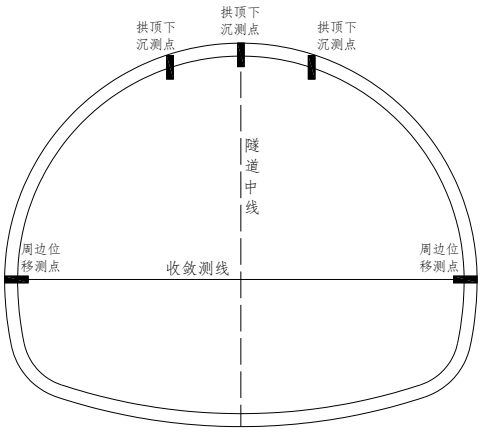


图4.3.7-1 全断面法测点及测线布置

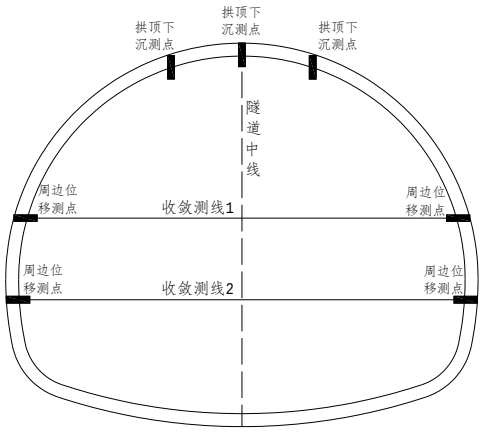
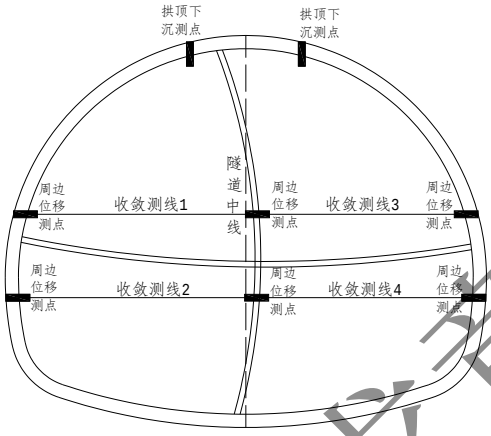


图4.3.7-2 台阶法测点及测线布置



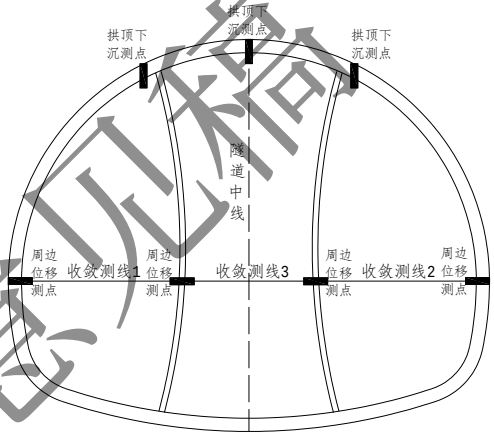


图4.3.7-3 中隔壁法或交叉中隔壁法测点及测线布置 图4.3.7-4 双侧壁导坑法测点及测线布置

征求意见稿

4.3.8 净空收敛测点与拱顶下沉测点宜布置在同一断面上。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形、地质段落，应增加布设斜测线。

条文说明：

净空收敛量测、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。周边位移量测以水平测线量测为主，必要时设置斜测线（如偏压或膨胀性围岩地段、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、斜向偏压的位移变化情况。分部开挖法临时支护拆除后，继续进行拱顶下沉和周

边位移变化量测时，测线按全断面开挖法布置。

4.3.9 拱脚下沉监测断面宜布置在富水软弱破碎围岩、流沙、软岩大变形、含水黄土、膨胀岩土等不良地质和特殊岩土段。

4.3.10 部分选测项目断面选择及测点布置可按表 4.3.10 的要求确定，并根据现场需求调整。

表 4.3.10 部分选测项目监测断面布设及测点布置

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	钢架内力及外力	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	围岩内部位移（洞内设点）	每代表性地段 1 个～2 个断面	每断面 3 个～7 个钻孔	
3	围岩内部位移（地表设点）	每代表性地段 1 个～2 个断面	每断面 3 个～5 个测点	
4	围岩压力	每代表性地段 1 个～2 个断面	每断面 3 个～7 个测点	
5	两层支护间压力	每代表性地段 1 个～2 个断面	每断面 3 个～7 个测点	
6	锚杆轴力	每代表性地段 1 个～2 个断面	每断面 3 个～7 根锚杆，每根锚杆 2-4 个测点	
7	支护衬砌内应力	每代表性地段 1 个～2 个断面	每断面 3 个～7 个测点	
8	围岩弹性波速	有代表性地段设置		
9	爆破振动	邻近建（构）筑物	随爆破进行	
10	孔隙水压力	根据需要设置断面数量	每断面 1 个~2 个测点	
11	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	
12	地表下沉	临近建（构）筑物	随爆破进行	
13	地表水平位移	有可能发生滑移的洞口段高边坡		

4.3.11 隧道洞内开挖爆破时，爆破振动测点布置应符合下列规定：

1 洞内应设置 1～2 个监测断面，每个监测断面不少于 3 个监测点，监测点布置在边墙或顶板上，最近的监测点布置在距爆区边缘 10m 范围内。

2 浅埋隧道除满足上述基本要求外，还应在地表一定范围内布设不小于 5 个监测点，以确定爆破振动传播衰减规律。

3 隧道间距小于 1.5 倍开挖宽度时，应在相邻未爆破隧道内布设 1～2 个监测断面，每个断面不少于 3 个测点。

4 小净距隧道应在后行洞内增设 1～2 个监测断面，每个断面不少于 3 个测

征求意见稿

点。

4.3.12 小净距隧道施工监测时，测点布置应符合下列规定：

1 小净距隧道中夹岩弹性波波速，宜布设 1 条测线，每条测线设置至少 2 个测点，岩性变化剧烈或局部不良地质发育段落应加密。

条文说明：

根据《公路工程施工安全技术规范》（JTG 90-2015）9.15.2 ，小净距隧道先行洞与后行洞掌子面错开距离应大于 2 倍洞径；按本条规范执行，结合通常的公路隧道开挖断面，后行洞掌子面一般滞后先行洞 30m 左右，而超前地质预报距离也在 20m ~ 30m，因此，可在距先行洞掌子面 30m 范围内沿揭露的岩体主要结构面设置一条测线，每条测线上的测点数量及间距可根据采用的声波测试方法确定（至少 2 个，一个发射点，一个接收点）。采用换能器发射时，间距宜为 1 ~ 3m，采用电火花激发声波时，测距宜为 10m ~ 80m。

2 小净距隧道中夹岩如设置水平对拉锚杆，锚杆轴力测点宜布置在受力较大的位置，监测锚杆数量宜为 1%～3%，且不少于 3 根。

4.3.13 连拱隧道中隔墙宜在后行洞墙顶、墙底各布设一个位移监测点，墙体中部布设 1 个应力监测点。

4.3.14 隧道专项监测项目测点布置应符合下列规定：

1 隧址区周边地下水环境专项监测测点宜在隧道排水影响范围内的井、泉、堰塘、河流、湖泊、水库等水体布设。

条文说明

隧址区内如存在居民区，宜在居民区外围布设地下水位观测孔，孔数不少于 3 个，孔位呈三角形分布，测点间距按岩土的渗透性、水力梯度和地形坡度确定，宜为 50m ~ 100m。

2 隧道周边环境重要的建（构）筑物、高耸建筑等专项监测点布设应根据建（构）筑物的重要性、类型、与新建隧道的相对位置关系等确定，并应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》（GB50007）的相关规定。

征求意见稿

条文说明

无当地工程经验时可按照下列原则布设测点:

1　重要的建（构）筑物竖向位移监测点应布设在外墙或承重柱上，监测点沿外墙间距宜为 10m～30m。

2　对烟囱、水塔、高压电塔等高耸建筑，应在其基础轴线上对称布设监测点，且每栋构筑物监测点不应少于 3 个。

3　建筑物倾斜监测点应沿主体工程顶部、底部上下对称按组布设，且中部可增加监测点；每栋建筑物的倾斜监测点数量不宜少于 2 组，每组监测点不应少于 2 个。

4　建筑物裂缝宽度监测宜在裂缝的最宽处及裂缝首、末端按组布设，每组应布设 2 个监测点，并应分别布设在裂缝两侧，其连线应垂直于裂缝走向。

5　受爆破振动影响时，应在建（构）筑物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。

3　隧址区周边地下管线专项监测点布置位置应根据地下管线的重要性、修建年代、类型、材质、管径、接口形式、埋设方式、使用状况以及与工程的空间位置关系等综合确定。

条文说明

隧道周边地下管线布设测点在无当地工程经验时可按照下列原则布设:

1 地下管线位于主要影响区内时，竖向位移监测点的间距宜为 5m～15m；位于次要影响区内时，竖向位移监测点间距宜为 15m～30m。

2 竖向位移监测点宜布设在地下管线的节点、转角点位移变化敏感或预测变形较大的部位。

3 地下管线位于主要影响区时，宜采用位移杆法在管体上布设直接竖向监测点；地下管线位于次要影响区且无法布设直接竖向位移监测点时，可在地表或土层中布设间接位移监测点。

4 隧道下穿重要的国防光缆、输油、输气、输水管道且风险很大时，应铺设管线结构直接竖向位移监测点及管侧土体竖向位移监测点。

5 地下管线水平位移监测点的布置应根据地下管线的特点和工程需要确定。

征求意见稿

4　隧道下穿或邻近既有高速公路、国省干线道路及重要的县乡道等需进行专项监测时，对于既有道路的监测点的布设应符合下列规定：

1）隧道下穿或邻近道路区段，应根据影响区段范围布设路基竖向位移监测点，路肩或绿化带上应布设地表监测点。

2）路基挡墙等支挡结构宜沿挡墙走向布设，挡墙位于主要影响区时，监测点间距不宜大于 5m～10m；位于次要影响区时，监测点间距宜为 10m～15m。

3）道路挡墙倾斜监测点应根据挡墙的结构形式选择监测断面布设，每段挡墙监测断面不应少于 1 个，每个监测断面上、下监测点应布设在同一竖向面上。

5　隧道下穿或邻近既有隧道需进行专项监测时，既有隧道位于强影响区的监测断面间距不宜大于 5m；弱影响区的监测断面间距不宜大于 10m。每个监测断面宜在隧道结构顶部或底部、两边侧墙布设监测点。

条文说明

根据中铁二院近接工程研究成果及国外相关规范指南等文件，交叉隧道的影响区的范围划分如下：

图 4.3.20-1 根据近接理论划定的隧道影响分区

序号	隧道交叉方式	隧道影响分区	范围
1	新建隧道在既有隧道上方	强影响区	5m～1.5B
2		弱影响区	1.5B～3B
3		可能影响区	＞3B
4	新建隧道在既有隧道下方	强影响区	5m～2B
5		弱影响区	2B～3.5B
6		可能影响区	＞3.5B

土质隧道也可根据城市轨道交通工程监测相关规范规程及常用的 Peck 沉降曲线确定影响区范围如下：

图 4.3.20-2 根据城市轨道交通工程监测划定的土质隧道影响分区

序号	隧道影响分区	范围
1	强影响区	隧道正上方及沉降曲线反弯点范围内
2	弱影响区	隧道沉降曲线反弯点至沉降曲线边缘 2.5i 处
3	可能影响区	隧道沉降曲线边缘 2.5i 范围外
注：i 为 Peck 公式中沉降槽计算宽度系数，其相关解释及计算方法参见本规程 4.5.3 节条文说明		

征求意见稿

6　隧道洞口边（仰）坡位移专项监测时，监测断面宜与地表下沉布置在同一断面上，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。

7　隧道穿越膨胀性围岩需进行底鼓专项时，监测断面宜与拱顶下沉、净空收敛布置在同一断面内，每个断面不少于 3 个测点。

4.3.15　隧道设置斜井、平行导洞等辅助通道的监控量测断面及测点布置宜根据通道重要性、通道形式、断面大小、地质条件等确定并应符合本规范 4.3 节隧道主洞的布设规定。

4.3.16　隧道设置竖井时，监控量测断面及测点布设应符合下列规定：

1　圆形竖井结构监测断面间距宜根据围岩变化、竖井直径等综合确定，Ⅴ级、Ⅳ级围岩段宜沿竖向每 5m～10m 布设一个监测断面，Ⅲ级围岩段宜沿竖向每 10m～20m 布设一个监测断面；监测点宜均匀对称布设 4 个；每个监测断面测线不应少于 2 条；

2 地质条件较差的矩形竖井结构监测断面及测点布设宜符合现行国家标准《城市轨道交通工程监测技术规范》（GB50911）的相关规定；

3　竖井联络通道断面纵向布设间距宜小于 20m；

4　竖井锁口圈沉降观测点布设在锁口圈梁上，不少于 2 个测点；

5　竖井周边地下水位测点距离竖井轴线 1.5m～2m。

4.3.17　隧道裂缝监测点布设应符合下列规定：

1　每条裂缝应布设两组观测标志，一组应在裂缝最宽处，另一组应在裂缝的末端；

2　观测标志应具有可供量测的明晰端面或中心。

4.4　监控量测频率

4.4.1　必测项目监测频率应分别根据监测断面距掌子面距离、变形速率以及监测断面开挖历时确定。出现异常情况或不良地质时，应增大监控量测频率。

4.4.2　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。

征求意见稿

4.4.3 施工期地质灾害发生后，监控量测频率应根据灾害类型、规模、处治方案来确定。

4.4.4 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：

1 断层破碎带、富水段、软弱围岩段等复杂地质区段。

2 出现异常情况的地段。

3 洞口段、洞身浅埋段。

条文说明

隧道施工期间洞内观察是非常重要的一项工作，隧道工程开挖后，通过对掌子面地质条件（地下水发育、断层、岩层产状、洞内岩性等）、支护措施（喷层锚杆的状态、钢拱架的形变、喷混的平整度等）的观察可以初步判断掌子面的稳定状况。对于即将发生的危险可迅速反馈；因此监控量测人员应该每个施工循环就记录一次，且在地质条件复杂地区、出现异常情况地区以及洞口段、洞身浅埋段地区均应增加洞内观察频率，做到早发现、早记录、早报告、早应对。

4.4.5 拱顶下沉、净空收敛和拱脚下沉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 4.4.5-1、表 4.4.5-2 和表 4.4.5-3 确定，原则上采用较高的频率值。出现下列情况时，应增大监控量测频率：

1 围岩状态变化或遇到不良地质；

2 支护状态明显变化；

3 施工关键工序变化；

4 监测数据异常或超过预警值。

表 4.4.5-1 按测点至掌子面距离确定的监控量测频率

测点至掌子面距离 L（m）	监测频率	备注
$L \leqslant 1B$	1～2 次/d	
$1B < L \leqslant 2B$	1 次/d	
$2B < L \leqslant 5B$	1 次/（2～3）d	
$L > 5B$	1 次/（3～7）d	
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。		

征求意见稿

表 4.4.5-2 按位移速率确定的监控量测频率

位移速率 *v*（*mm/d*）	监测频率	备注
≥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	

表 4.4.5-3 按监测历时确定的监控量测频率

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

条文说明：

拱顶下沉、周边位移和拱脚位移监控量测频率一般根据测点距开挖面的距离及位移速度、监测历时分别确定，然后取三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）不能稳定时，量测要继续到每月位移 1mm 为止。

4.4.6 地表下沉监控量测频率按表 4.4.6 确定。

表 4.4.6 地表下沉监控量测频率

监测断面距离掌子面距离（*m*）	监测频率	备注
L≤*2.5B*	1～2 次/d	
2.5B＜*L*≤*5B*	1 次/（2～3）d	

征求意见稿

5B＜*L*	1 次/（3～7）d	

4.4.7 部分选测项目的监控量测频率应根据相关要求及必测项目的反馈信息进行确定，也可按照表 4.4.7 确定。

表 4.4.7 部分选测项目监控量测频率

监测历时（*d*）	监测频率	备注
1d～15d	（1～2）次/d	
16d～30d	1 次/2d	
30d～90d	（1～2）次/周	
＞90d	（1～3）次/月	
出现异常时应增加监测频率		

4.4.8 围岩内部位移（地表设点）监控量测频率可按照表 4.4.6 确定。

4.4.9 爆破振动监测频率应符合现行规范《公路隧道施工技术规范》（JTG /T3660）的相关规定。

4.4.10 隧址区地下水专项监测中各水文点的监测频率应结合工程所在区域的水文地质条件、环境特征和隧道施工进度等因素综合确定，也可按表 4.4.10 确定。

表 4.4.10 隧址区地下水环境专项监控量测频率

监测项目	水量（水位）	水化学	降雨量/蒸发量/气温/水温
隧道洞身涌水	≥1 次/（1～3）*d*,涌水量增加时加密	≥1 次/（1～2）月	
隧道口排水	≥1 次/*d*,变化大时加密	≥1 次/（1～2）月	每 100m 不少于 1 个
地表井、泉	≥1 次/*d*,变化大时加密，有困难时可适当减少频率	≥1 次/（1～2）月	
地表河流、水库、湖泊	≥1 次/（1～3）*d*,变化大时加密，有困难时可适当减少频率	≥1 次/（1～2）月	

4.4.11 隧道周边环境专项监测中的变形监测、沉降观测、裂缝监测频率等宜与地表下沉监测频率一致，应符合本规程 4.4.6 的规定。

征求意见稿

4.4.12 隧道洞口边仰坡位移专项监测频率等宜与地表下沉监测频率一致，应符合本规程 4.4.6 的规定。

4.4.13 隧道底鼓专项监测频率宜与拱顶下沉一致，并符合本规程 4.4.5 的规定。

4.4.14 隧道辅助通道监控量测频率宜根据辅助通道类型、断面大小、地质情况、重要性程度、安全性等并结合当地的工程经验综合确定。

条文说明

1 斜井各项监测项目的监控量测频率宜与主洞一致。

2 平行导洞各项监测项目的监控量测频率宜与主洞一致。

3 对于竖井井壁支护结构净空收敛监控量测频率，在开挖及井壁支护结构施工期间不低于一天 1 次，竖井井壁支护结构完成 7 天后，监测频率不低于 1 周一次，经数据分析确认井壁稳定之后可降低频率，但不应低于 1 月 1 次；竖井其他监测项目频率宜参照主洞要求。

4.4.15 隧道结构裂缝观测频率应根据裂缝变化速度确定。

4.5 监控量测控制基准

4.5.1 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筑物特点和重要性等因素制定。

条文说明

隧道监控量测控制基准值应按照以下原则确定:

1 应满足现行相关设计和施工的规程、规范和指南等的要求。

2 有关隧道邻近结构物监测控制基准值应保证其安全和正常使用，并考虑邻近结构物主管部门所提出的要求。

3 对一些目前尚未明确规定控制基准值的监测项目，可参照国内外类似工程的监测资料确定。

4 应根据具体工程现场监测结果和工程经验，分析围岩及支护结构的稳定状态及周边环境的安全状况，对预先确定位移允许值进行修正。

征求意见稿

4.5.2 隧道工程的拱顶下沉、拱脚下沉、净空收敛的控制基准，可根据设计要求及现场实测数据资料，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；也可按照表 4.5.2-1、4.5.2-2 中数值确定。

表 4.5.2-1 隧道拱顶下沉、拱脚下沉控制基准

围岩级别	双车道	
	埋深 ＜50 m	埋深 ≥50 m
Ⅲ	≤ 0.001*B*	≤ 0.002*B*
Ⅳ	≤ 0.004*B*	≤ 0.006*B*
Ⅴ	≤ 0.008*B*	≤ 0.010*B*
注：1 *B* 为开挖宽度； 2 拱脚单点位移控制基准根据实际情况确定。		

表 4.5.2-2 隧道净空收敛控制基准（%）

围岩级别	隧道埋深 *H*（*m*）		
	埋深 ＜50 m	50m≤埋深 ＜300 m	埋深 ≥300 m
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 净空收敛值指收敛位移累计值与两测点间距离之比或拱顶位移实测值与隧道宽度之比。 2 硬质围岩隧道取表中较小值，软质围岩取表中较大值。 3 本表所列数值在施工过程中可通过实测和资料积累做适当修正。			

条文说明

表 4.5.2-2 隧道净空收敛值主要适用于高跨比 0.8-1.2，埋深小于 500m，且跨度分别不大于 20m（Ⅲ级围岩）、15m（Ⅳ级围岩）和 10m（Ⅴ级围岩）的隧道工程，如果不满足上述条件，应根据工程类比，对隧道、洞室周边允许相对收敛值进行修正。

我国公路隧道，两车道隧道高跨比一般在 0.8 左右，而三车道公路隧道，高跨比一般在 0.65 左右，三车道隧道不满足上述净空收敛控制值的要求，通常情况下需要考虑开挖方法、地质条件等因素进行修正。

征求意见稿

4.5.3 地表下沉控制基准应依据岩土性质、地层稳定性、周边建筑物的安全要求分别确定，并取最小值。

条文说明

隧道地表下沉控制标准确定方法有两种：从围岩稳定角度进行分析；根据经验公式推算沉降变形标准。

1 从隧道围岩稳定角度，隧道上方和侧壁土体不发生坍塌时且地层处于力学平衡状态时允许产生的最大地表沉降量作为控制基准（整体失稳，而非局部失稳）；

隧道地表下沉观测的重点在洞口浅埋段、软弱围岩段，这类岩土体可作为连续介质进行分析，通过软弱围岩发生坍塌失稳的工程实例可知，坍塌形式大致有两种：第一种情况为“漏斗形”，以破裂面剪应力达到或超过地层极限剪应力时的地层破坏结果加以解释，以库伦准则为破坏依据，破裂面与水平面夹角为 θ（$45°+\phi/2$，ϕ 为岩土体内摩擦角），第二种情况，以洞周为边界的垂直柱体，破裂面与水平面夹角 90°，这种情况较为少见，也可作为第一种情况的特例进行分析。

根据地层位移的实测结果可知，地层位移是自洞内临空面向地表逐渐延伸的，这也就意味着破裂面的形成也是由隧道周围向地表逐渐扩展的。

国内外研究结果表明浅埋软弱隧道地表沉降曲线可用 Peck 公式表示：

$$S = S_{\max}\exp\left(-\frac{x^2}{2i^2}\right) \tag{1}$$

式中，s 为地面任一点的沉降值；s_{max} 为地面沉降最大值，位于沉降曲线的对称中心线上（对应于隧道洞轴线的位置）；x 为沉降曲线中心到所计算点的距离；i 为从沉降曲线中心到曲线拐点的距离，也叫沉降槽宽度；

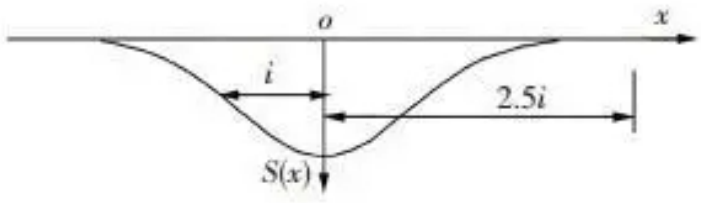


图 4.5.3 地表横向沉降曲线

根据弹性力学基本理论，采用该拐点达到剪应变极限值时当做地层极限剪应变条件进行推导，即可得到最大允许地表沉降，公式如下：

$$[S_{\max}] = \frac{i}{0.61}K\tan(\varphi) \tag{2}$$

征求意见稿

其中，$[S_{max}]$为地表允许最大沉降值，K 为经验系数，软岩：（1.1-1.3）×10^{-3}；硬岩：1×10^{-3}；i 与隧道埋深 z 之间存在一个简单的线性关系：$i=kz$；k 为沉降槽宽度参数，主要取决于岩土性质，软弱围岩：0.1-0.2，无粘性土：0.2-0.3；硬黏土：0.4-0.5；软黏土：0.7；也可以根据现场观测数据进行确定，如果现场观测数据符合高斯曲线，则对公式（1）两边取对数，绘制$\ln\left[\frac{S}{S_{max}}\right]-\frac{1}{2i^2}x^2$直线，确定斜率 m，进而确定$i=\sqrt{\frac{-1}{2m}}$。

2 根据经验公式推算变形标准；基本思路是隧道开挖引起地应力释放，地层发生变形，地层变形从拱顶向上传递造成地表沉降，一般规律应为拱顶沉降值大于地表沉降值（富水含砂地层中地表沉降大于拱顶沉降），拱顶沉降与地表沉降比值多介于 0.5-1.5 之间。

法国工业部制定的隧道拱顶及地表位移基准值(隧道断面 50-100m^2)见下表：

表 4.5.3 隧道拱顶及地表位移控制基准

隧道埋深/*m*	隧道洞内拱顶允许下沉值（*mm*）		隧道地表允许下沉值（*mm*）	
	硬岩	软岩	硬岩	软岩
10～50	10～20	20～50	10～20	20～50
50～100	20～60	100～200	20～60	150～300
100～500	50～100		50～100	200～400
500～750	40～120	200～400	40～120	300～600

该基准可作为设计阶段初选位移基准值的参考，在施工过程中可根据地表监测数据及拱顶沉降的位移数据确定沉降基准值。

4.5.4 钢架内力、喷射混凝土内力、二次衬砌内力、钢筋应力的控制基准值应满足现行规范《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》（JTG 3370.1）的相关规定。

4.5.5 爆破振动控制基准应符合表 4.5.5 的规定。如有特殊规定时，应按设计指标进行控制。

表 4.5.5 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 ≤ 10Hz	10Hz ＜ f ≤ 50Hz	f ＞ 50Hz
1	土窑洞、土坯房、毛石房屋	0.15～0.45	0.45～0.9	0.9～1.5

征求意见稿

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。				

条文说明

本条爆破振速控制基准值是按照现行规范《爆破安全规程》（GB6722）中爆破振动安全允许标准进行确定。

4.5.6 隧道周边地下水环境监测基准值应符合现行规范《地下水质量标准》（GB/T 14848）的要求。

4.5.7 隧道洞内地下水环境监测基准值按照表 4.5.7 中数值确定。

表 4.5.7 隧道洞内水环境控制基准

项目	允许值
涌水量 Q（m^3/h）	＜22.5
水压力变化量 P（Mpa）	P＜0.5 且$\triangle P \leqslant 0$
水位变化值$\triangle H$（m）	△H≤5
注：$\triangle P$ 为水压增加值	

征求意见稿

条文说明

涌水量基准值的确定，是根据《工程岩体分级标准》（GB50218-2014）5.2.2节对涌流状出水的定义，Q=125L/(min×10m)，根据目前超前地质预报的预报距离及超前钻孔的长度，掌子面前方涌水计算长度取超前钻孔长度30m，从而得出可能发生涌流状出水的临界值为：$Q=125\times60\times3\times10^{-3}\ m^3/(h\times30m)=22.5m^3/h$。

水压力基准值的确定，是根据《工程岩体分级标准》（GB50218-2014）5.2.2节对涌流状出水的定义，P≤0.5MPa。

隧道水位变化值是指地下水位与隧道底板高差的变化值。

上述隧道洞内水环境控制基准适用于水文地质条件较简单的常规隧道，对于富水区段、岩溶区等水文地质条件复杂的隧道，涌水量及水压等控制基准宜结合水文地质条件，现场实测资料及相似工程的统计分析成果进行确定。

4.5.8 隧道周边建筑物的监测项目基准值，应在建筑物的使用功能、建筑规模、建筑年代、结构形式、基础类型、地质条件等的基础上，结合其与工程的空间位置关系、已有沉降和倾斜以及当地工程经验确定，并应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》（GB 50007）的相关规定。

条文说明

1 隧道周边重要建筑控制基准值无特殊要求时可参照《建筑地基基础设计规范》（GB 50007）确定：

表 4.5.8 隧道周边建筑物监控量测基准值

序号	变形特征		地基土类别	
			中、低压缩性土	高压缩性土
1	砌体承重结构基础的局部倾斜		0.002	0.003
2	工业与民用建筑相邻柱基的沉降差	框架结构	0.002*l*	0.003*l*
		砌体墙填筑的边排柱	0.0007*l*	0.001*l*
		当基础产生不均匀沉降时不产生附加应力的结构	0.005*l*	0.005*l*
3	单层排架结构（柱距为6m）柱基的沉降量（mm）		（120）	200
4	桥式吊车轨道的倾斜（按不调整轨道考虑）	纵向	0.004	
		横向	0.003	

征求意见稿

5	多层和高层建筑的整体倾斜	Hg≤24	0.004
		24<Hg≤60	0.003
		60<Hg≤100	0.0025
		Hg>100	0.002
6	体型简单的高层建筑基础的平均沉降量（mm）		200
7	高耸结构基础的倾斜	Hg≤20	0.008
		20<Hg≤50	0.006
		50<Hg≤100	0.005
		100<Hg≤150	0.004
		150<Hg≤200	0.003
		200<Hg≤250	0.002
8	高耸结构基础的沉降量（mm）	Hg≤100	400
		100<Hg≤200	300
		200<Hg≤250	200
9	注： 1 本表数值为建筑物地基实际最终变化允许值 2 有括号者仅适用于中压缩性土 3 *l* 为相邻柱基的中心距离 4 倾斜是指基础倾斜方向两端点的沉降差与其距离的比值 5 局部倾斜指砌体承重结构沿纵向 6-10m 内基础两点的沉降差与其距离的比值		

2 对于风险等级较低且无特殊要求的建筑物，沉降控制差宜为 10mm～30mm，变化速率控制宜为 1mm～3mm/d，差异沉降控制值宜为 0.001*l*～0.002*l*，*L* 为相邻基础的中心间距。

4.5.9 隧道周边地下管线的监测项目的控制基准值应在调查分析管线功能、材质、工作压力、管径、接口形式、埋置深度、铺设方法、铺设年代等的基础上，结合与隧道的空间位置关系和当地工程经验确定。

条文说明

1 对于等级风险较高的地下管线，宜通过专项调查、计算分析和安全性评估确定其沉降和差异沉降的控制基准值；

2 当无地方工程经验时，对于风险等级较低且无特殊要求的地下管线沉降及差异沉降控制值可参照下表确定：

征求意见稿

表 4.5.10 地下管线沉降及差异沉降控制基准值

管线类型	沉降		差异沉降
	累计值（mm）	变化速率（mm/d）	
燃气管道	10～30	2	0.3%Lg
输油、污水管道	10～20	2	0.25%Lg
供水管道	10～30	2	0.25%Lg
注： 1 燃气管道的变形控制值适用于 100mm～400mm 的管径 2 Lg——管节长度			

4.5.10 隧道下穿或邻近既有道路的监控量测项目控制基准值的确定应在调查分析道路等级、路基路面材料、道路现状情况和养护周期的基础上，结合其与隧道的空间位置关系和当地工程经验确定。

条文说明

1 对于等级风险较高或有特殊要求的高速公路与城市道路，宜通过现场勘察和安全性评估确定其沉降控制基准值；

2 当无地方工程经验时，对于风险等级较低且无特殊要求的高速公路及其他道路沉降控制值可按照下表确定：

表 4.5.11 隧道下穿或邻近既有道路控制基准值

监测项目	道路类型	累计值（mm）	变化速率（mm/d）
路基沉降	高速公路、一级公路	10～30	3
	其他道路	20～40	3

4.5.11 隧道下穿或邻近既有隧道的监控量测项目控制基准值的确定应在调查分析既有隧道结构状况、重要性和养护周期的基础上，结合其与拟建隧道的空间位置关系和当地工程经验确定。

条文说明

1 当无地方工程经验时，既有隧道的监测项目控制基准值可参照下表确定：

表 4.5.12 隧道下穿或邻近既有隧道控制基准值

道路类型	累计值（mm）	变化速率（mm/d）
隧道结构沉降	3～10	1

征求意见稿

隧道结构上浮	5	1
隧道结构水平位移	3～5	1
隧道差异沉降	0.04%Ls	~
隧道结构变形缝差异沉降	2～4	1
注：Ls 为沿隧道轴线两监测点间距		

4.5.12 隧道二次衬砌裂缝宽度控制基准值应符合现行规范《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》（JTG 3370.1）相关规定。

条文说明

根据《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》（JTG 3370.1-2018）8.6.10:隧道钢筋混凝土构件的表面裂缝最大宽度计算值不应大于 0.2mm，腐蚀环境较严重时不应大于 0.15mm。

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。必测项目及选测项目的测试精度选应符合《公路隧道施工技术规范》（JTG/T 3660）的相关规定；其他监控量测项目的精度应结合元器件的测试精度确定。

4.6.2 隧道地下水环境水位监测精度允许偏差为±20mm；地下水体的流量监测精度、地下水化学监测精度可根据测量仪器精度确定。

4.6.3 隧道周边环境各监控量测项目的测试精度应根据周边建（构）筑物重要性、与拟建隧道的空间位置关系、设计要求、测试仪器的精度及当地的工程经验综合确定，且应符合相关规范规定。

条文说明

无当地工程经验时，周边环境监测项目的精度要求可按照下表确定:

表 4.6.5 隧道周边环境监测项目

序号	监控量测项目	精度要求	备注
1	建（构）筑物竖向位移	0.5mm	重要建（构）筑物、高层、高耸建(构)筑物、
2	建（构）筑物水平位移	不宜低于二等测量精度	

征求意见稿

3	建（构）筑物倾斜	1、根据测斜仪精度确定； 2、采用差异沉降差法时，按竖向位移精度控制	附近居民区等
4	建（构）筑物裂缝	深度：1.0mm；长度：1.0mm；宽度 0.1mm	
5	爆破振动	±1mm	
6	路基路面竖向位移	0.5mm	高速公路、国省干线道路及重要的县乡道
7	挡墙竖向位移	不宜低于二等测量精度	
8	挡墙倾斜	根据测斜仪精度确定	
9	竖向位移	0.5mm	地下管线（电缆、通信光缆、输油管道等）
10	水平位移	不宜低于二等测量精度	
11	差异沉降	0.5mm	
12	隧道结构竖向位移	0.5mm	既有隧道
13	隧道结构水平位移	0.5mm	
14	隧道结构净空收敛	0.5mm	
15	隧道结构变形缝差异沉降	0.5mm	
16	隧道结构裂缝	深度：1.0mm；长度：1.0mm；宽度 0.1mm	

4.6.4 元器件的精度要求应符合表 4.6.4 的规定。

表 4.6.7 元器件精度要求

序号	元器件	精度要求
1	压力盒	≤±0.5%*F.S*
2	应变计	±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	±0.05%*F.S*
5	流量计	0.5 级～1 级
6	钢尺	10mm
7	全站仪	测角：1″ 测距：1mm+1ppm
8	收敛计	0.01mm
9	精密水准仪	0.01mm
10	测斜仪	±0.1%*F.S*
11	激光测距仪	±2mm
12	锚杆（索）轴力计	±2%*F.S*
注：*F.S* 为元器件满量程		

征求意见稿

4.6.5 隧道洞内爆破振动采用的测振仪的精度要求应符合现行规范《爆破安全规程》（GB 6722）及《测振仪 检定规程》（JJG 676）的相关规定。

征求意见稿

5 监控量测方法

5.1 一般规定

5.1.1 现场监控量测方法应简单、可靠、经济、实用。

5.1.2 拱顶下沉、拱脚下沉、净空收敛、底鼓及围岩内部变形等应在开挖结束24h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；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读取初读数。

5.1.3 每次量测均应测读不少于3次，然后取其平均值作为当次量测值，应及时处理数据，预测围岩和支护结构远期变形趋势。

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支护地段观察两部分。

5.2.2 洞内对开挖工作面观察包括：围岩产状、风化程度、节理、裂隙、软弱结构面、断层破碎带、地下水、地应力现象等地质情况。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，填写洞内、外观察记录表格，并与勘察资料、超前地质预报结论进行对比。对比结论可用于修正隧道支护参数和提高超前地质预报精度。洞内、外观察记录表见附录A。

5.2.3 洞内对初期支护效果观察包括：观察围岩、喷射混凝土、锚杆和钢架等的工作状态，记录喷射混凝土表面起鼓、剥落、开裂、渗漏水、钢架变形及发展状况等内容。

征求意见稿

5.2.4 洞外观察应记录洞口段、偏压段和浅埋段及特殊地质地段的地表开裂，沉降、塌陷、边坡及仰坡稳定状态，地表水渗漏情况、地表植被变化等。

5.3 变形监控量测

5.3.1 变形监控量测包括拱顶下沉、净空收敛、地表下沉、拱脚下沉等。

5.3.2 变形监控量测可采用接触量测和非接触量测方法进行。

条文说明

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计进行量测，非接触量则主要用全站仪、激光测距仪进行。

用收敛计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）△L，即为此处净空变化值。

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。与传统的接触量测方法的主要区别在于，非接触量测的测点采用一种膜片式回复反射器作为测点靶标，以取代价格昂贵的圆棱镜反射器。具有回复反射性能的膜片形如塑料胶片，其正面由均匀分布的微型棱镜和透明薄膜组成，反面涂有亚敏不干胶，他可以牢固地粘附在构件表面上，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或碰掉。通过对比不同时刻测点的三维坐标，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，与传统接触式测量方法相比，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的特点。

5.3.3 拱顶下沉和拱脚下沉量测可采用精密水准仪和钢钢尺、全站仪、激光测距仪进行；测点可在隧道拱部轴线附近通过焊接或钻孔埋设；测点应与隧道洞外监控量测基准点进行联测。拱顶下沉、拱脚下沉记录表见附录 B、C。

条文说明

征求意见稿

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采用精密水准仪和铟钢挂尺等，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（为了保证测量精度，常常在左右各增加一个测点，即埋设三个测点），吊挂铟钢尺，用精密水准仪量测隧道拱顶绝对下沉量。可用 ϕ6 钢筋弯成三角钩，用砂浆固定在围岩或者混凝土表层。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△h，即为该点的下沉值。

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量测方法类似。

对隧道拱顶下沉监测可采用激光测距仪，测距仪固定在隧道边墙，另一侧设置反光片，同时在拱顶位移也固定一枚反光片，将固定支座标高与测距仪度数相加得出拱顶沉降值。

5.3.4 隧道净空收敛量测可采用收敛计或全站仪进行。采用收敛计量测时，测点采用焊接或钻孔埋设。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，净空收敛记录表见附录 D。

5.3.5 地表下沉量测可采用精密水准仪和铟钢尺或全站仪进行。基准点应设置在地表下沉影响范围以外。测点应采用地表钻孔埋设，测点四周采用水泥砂浆固定。当采用常规水准测量手段出现困难时，可采用全站仪量测；地表下沉记录表见附录 E。

条文说明

地表下沉量测一般用精密水准仪和铟钢尺进行量测，量测结果能反映浅埋隧道开挖过程中地表变形的全过程，地表下沉量测一般与洞内周边位移和拱顶下沉量测设置在同一个断面，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。

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△h，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外，以确保参考点（不下沉），并在工程开挖前对每一个测点读取初始值。

当所测地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

征求意见稿

作为测点靶标，然后用全站仪进行非接触测量。

5.3.6 围岩变形量测宜采用多点位移计。在深埋段，位移计应靠近洞内开挖面布设；在浅埋段应在地表开挖影响范围内布设。围岩变形量测记录表见附录 F。

条文说明

围岩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φ40-50mm），安装及时；

4 锚头抗震，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。

位移计按照测试装置的工作原理可分为电测试位移计和机械式位移计。电测试位移计施测方便，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，位移计可分为单点式位移计和多点式位移计，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，查插稳之后即可读数，每个测孔测量三次，最大差值小于 0.01mm 时取其平均值计入表中。

5.3.7 连拱隧道中隔墙偏移量测宜采用全站仪量测，并在两侧主洞分别设站联测。

条文说明

在左右洞洞内适当位置选择站点架设仪器，在洞外选择基准点确定坐标系（左右洞共用），然后在中隔墙上被测位置固定一量测专用反光膜片。每次在该固定坐标系下量测该测点的平面坐标即可算得被测点的位移量，双洞进行联测即可获得中隔墙偏移量。

征求意见稿

5.3.8 使用全站仪进行非接触变形量测时，应满足下述规定：

1 测站距离反射膜片距离应控制在 100m 以内，同时还应不小于断面的开挖跨度 ***B***。

2 一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。

3 测量时，应采取有效措施降低洞内粉尘浓度。

4 反射膜片尺寸可采用 20mm×20mm 或 40mm×40mm，条件允许情况下宜增加反射膜片尺寸。

5.3.9 使用收敛计进行洞周收敛变形量测时，应满足下述要求：

1 收敛计测点采用钻孔打眼预埋固定杆，并在外露杆头设置挂钩；

2 收敛计应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；

3 第 N 次测量与首次测量温度差异较大时，收敛计测量值应进行温度修正。

5.3.10 使用多点位移计进行隧道围岩变形量测时，应满足下述要求：

1 在钻孔之前，先校核钻孔位置、方向和孔深，钻孔孔径和孔深根据多点位移计的要求进行设置；钻孔结束后用清水将孔冲洗干净，检查钻孔通畅情况，测量孔深、方位角和孔角；

2 灌浆套管口周围用水泥砂浆或环氧锚固剂锚固，套管外侧与孔口平齐；

3 全部锚头和传递杆安装完毕后，经检验确定无误，用水泥砂浆进行封孔灌浆，注浆材料其弹性模量接近或小于其周围介质；

4 以水泥砂浆终凝后或水化热稳定后的稳定测值作为基准值；

征求意见稿

5.4 应力、应变监控量测

5.4.1 应力、应变监测包括支护结构应力、应变监测，钢架、喷射混凝土、二次衬砌的应力、应变监测。应力、应变量测记录表见附录 G。

5.4.2 应力、应变监控量测可采用振弦式、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。

5.4.3 钢架应力量测可采用振弦式传感器、光纤光栅传感器，钢架应力应按附录 F 进行记录。传感器应成对埋设在钢架的内、外侧，并应符合下列要求：

1 采用振弦式钢筋计进行型钢应力或应变量测时，应把传感器固定在钢架翼缘内测点位置。

2 采用振弦式钢筋计进行格栅钢架应力量测时，应将钢筋计固定在格栅主筋相应部位。

3 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固定在测点表面。

5.4.4 喷射混凝土、二次衬砌混凝土应力、应变量测可采用混凝土应变计，并符合下列规定：

1 应变计沿环向受力方向安装。

2 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。

3 外贴式应变计宜采用安装基座固定在混凝土表面。

4 内嵌式应变计宜将仪器预先埋置在混凝土预制块中，随后再将预制块浇筑到结构中。当采用直接浇筑时在仪器半径 1m 范围内禁止使用机器振捣。

5.5 接触压力监测

5.5.1 接触压力量测包括围岩压力、初期支护与二次衬砌之间接触压力的量测。接触压力量测记录表见附录 H。

5.5.2 接触压力量测宜采用振弦式传感器，其类型与围岩和支护结构相适应。传感器与接触面应紧密接触。

5.5.3 振弦式传感器埋设时，应符合下列规定：

1 受力面垂直于压力方向，平整密贴。

2 采用钻孔法埋设时，回填应均匀密实。

5.5.4 围岩压力测试时，宜在测点处的围岩中开挖深度 40cm、直径略大于压力盒直径的埋设孔，孔底应先用砂浆找平，根据压力盒的结构形式采用射钉枪固定或螺栓固定，压力盒应接触紧密和平稳，防止滑移，不损伤压力盒及引线，安装好压力盒后，孔内应用砂浆填塞密实。

征求意见稿

5.5.5 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程度后方可在初支表面安装固定压力盒。

5.6 锚杆轴力、锚索拉力监测

5.6.1 锚杆轴力宜采用锚杆测力计进行监测，锚索拉力宜采用锚索测力计进行监测。锚杆轴力记录表见附录 J。

条文说明

锚杆测力计常用的为钢弦式锚杆测力计，其基本参数、技术要求、试验方法等参照 DL/T 269-2012 相关规范条文选用和确定。

5.6.2 应在注浆浆液凝固后测取锚杆、锚索测力计初始值。

5.6.3 预应力锚杆、锚索可对预应力施加过程进行连续监测。

5.6.4 单根锚杆的测点可参照图 5.6.4 进行布置。

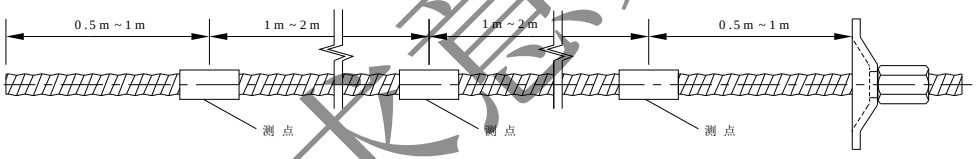


图 5.6.4 单根锚杆测点布置示意图

条文说明

测量锚杆的具体部位可根据岩性及现场有关情况调整，锚杆轴力监测重点一般为隧道拱部、连拱隧道中隔墙顶部及小净距隧道中夹岩的锚杆及对拉锚杆的钢筋应力等。

5.7 爆破振动监测

5.7.1 爆破振动速度和加速度监控量测可采用速度或加速度传感器，以及相应的数据采集设备；速度传感器、加速度传感器可采用垂直、水平单向传感器或三分量一体传感器。

征求意见稿

5.7.2 传感器应固定在待评估的建筑物或围岩的牢固位置上，测点布置在振速最大，构造物最薄弱，距离震源最近的部位。

5.7.3 传感器应与被监测对象之间刚性粘接，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：

1 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。

2 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。

条文说明

爆破振动传感器与测点的固定方式是影响振动速度测量的重要因素，粘合剂的选择应遵循以下几个原则：

1 能够较快速凝结；

2 有足够的凝固强度；

3 能够合理控制粘合剂的平整度，以保证传感器定位方向与测量方向保持一致；

因此，基于以上原则，粘合剂应选用环氧砂浆、环氧树脂胶、石膏或其他高强度粘合剂，不宜使用橡皮泥等普通粘合剂，有条件情况下应优先选用螺栓固定。

每次爆破完成之后均应检查振动传感器粘接情况，如发现松动等应及时加固调整。

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

5.8 隧道裂缝监测

5.8.1 隧道裂缝监测宜采用下列方法：

1 裂缝宽度监测宜采用裂缝观测仪进行测读，也可在裂缝两侧贴、埋标志，采用千分尺或游标卡尺等直接测量，或采用裂缝针、粘贴安装千分表及摄影测量等方法监测裂缝宽度变化；

2 裂缝长度监测宜采用直接量测法；

3 裂缝深度监测宜采用超声波法、凿出法等。

征求意见稿

5.8.2 裂缝监测标志应便于量测，长期观测可采用镶嵌或埋入墙面的金属标志、金属杆标志或楔形板标志；需要测出裂缝纵横向变化值时，可采用坐标方格网板标志；隧道裂缝监测记录表见附录 K。

条文说明

1 石膏板标志

用厚 10mm，宽 50mm～80mm 的石膏板（长度视裂缝而定），在裂缝两边固定牢固。当裂缝发展时，石膏板也随之开裂，从而观察裂缝发展情况。

2 白铁片标志

用两块铁皮，一片取 150mm×150mm 的正方形，固定在裂缝的一侧，并使其一边和裂缝的边缘对齐，另一片为 50mm×200mm 的矩形固定在裂缝的另一侧，使两块白铁皮的边缘相互平行，并使其中的一部分重叠；当两块铁皮固定好以后，表面涂上红色油漆；如果裂缝发展两块铁皮逐渐分开，露出正方形白铁皮未涂油漆的部分，其宽度即为裂缝加大的宽度，可用尺子量出。

3 金属标志

在裂缝两边凿孔，将长 10cm 直径 10mm 的钢筋头插入，使其露出墙外约 2cm 左右，用水泥砂浆填灌牢固；在两钢筋头埋设之前，先把钢筋一段锉平，在上面刻画十字线或中心点，作为量取其间距的依据。待水泥砂浆凝固后，量出两金属棒之间的距离，并记录；裂隙发展，金属棒间距也会变化，定期测量其间距即可掌握裂缝开展情况。金属标志是最常用的长期测量的裂缝监测标志。

5.8.3 当采用裂缝传感器自动标记时，应与人工监测数据比对，且数据的观测、传输、保存应可靠。

5.9 水压力、水流量、水位监测

5.9.1 孔隙水压力监测可采用孔隙水压计进行，孔隙水压力计的类型，应根据工程测试的目的、岩土层的渗透性质、测试周期以及仪器的精度、灵敏度、量测要求确定。

5.9.2 孔隙水压力计在安装前应在测点处钻孔和刻槽，钻孔孔径高宽宜为 110mm～130mm；在浅埋段或其他松散不稳定土层中，应下套管护孔，钻孔完成后应将孔内沉淤和稠浆清理干净。

征求意见稿

5.9.3 孔隙水压力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。

5.9.4 孔口保护装置宜简单、牢靠、操作方便，且适用于有压、无压的情况，并具有自动化监测的功能。

5.9.5 应采取措施确保水压计与水接触，通过数据采集设备获得各测点读数，并换算出相应的孔隙水压力值。

5.9.6 水流量监测可采用三角堰法、量筒法、流量计进行。

5.9.7 隧道涌水量较大时宜采用三角堰进行水量估算，采用三角堰进行水量估算时，将隧道涌水引入排水沟内，选择沟底和沟壁较平直、沟内水流无急流、断面无变化的沟段，测量排水沟中流速及流量，在排水沟尽头固定薄壁三角堰，三角堰估算流量方法见附录 L；三角堰设置应满足以下要求：

1 薄壁三角堰应竖直放置，顶部与沟顶齐平，沟壁与沟底平整；

2 沟底土质软弱易被水流冲走时，可在沟底垫上塑料薄膜。

5.9.8 隧道多点渗水时可采用量筒法进行水量估算，单位时间内，使用一个或多个水桶、蓄水池等，将渗水全部收集，再用量筒量测渗水量，然后计算单位时间内渗水量。

5.9.9 隧址区水环境监测中水位观察可采用水位计法、手工法。

5.9.10 监测工作开展时，应首先对隧址区水环境的初始水位、流量、水质等进行监测记录。

5.9.11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：

1 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；

2 观测孔孔底宜设置沉淀管；

3 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，连通良好。

征求意见稿

5.9.12 水位量测可采用万用电表、水位计、测钟；对重大隧道工程，可建立水位监测系统，实现实时自动监测。

5.9.13 手工法测水位时，用钢卷尺、布卷尺、测绳等测具测量井口固定点至地下水水面垂直距离，当连续两次静水位测量值数值之差在±1cm/10m 以内时，测量合格，否则应重新测量。

5.10 自动监测技术

5.10.1 隧道监控量测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。

5.10.2 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特殊段落宜采用自动监测技术。

5.10.3 地质灾害专项监测宜优先采用自动化监测系统，对地质灾害进行 24h 持续性监测。

5.10.4 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。

5.10.5 自动监测系统应具有可扩展性。

条文说明

自动监测系统可扩展性体现在两个方面：

1 监测项目的可扩展性

传统意义上的自动监测系统，主要是有测量机器人、监测棱镜、数据传输系统及终端计算机设备组成，监测的主要项目是变形监测，功能较为单一，因此为使监控量测系统效率更高，提高系统的利用率，在设计监测系统时应能根据现场实际情况增设如温度、气体浓度、气压、裂缝监测、倾斜监测等多种监测项目的扩展功能。

2 由单点定期监测向多点定期监测的可扩展性

自动监测系统应具有根据现场需要便捷地增加测站、测点等扩展功能；能够

征求意见稿

进一步控制成本，提高效益。

5.10.6 施工期自动化监测系统选择宜考虑运营期需求。

条文说明

隧道施工期的自动化监测平台在建立过程中应与建设单位进行提前协商，在选用平台类型、埋设监测仪器设备、数据存储结构、传输接口等方面与运营单位充分沟通，以保证运营期能最大程度利用施工期的监测数据和监测设备。

5.10.7 洞内变形监测可采用测量机器人，并应符合下列规定：

1 测量机器人由智能全站仪、目标棱镜、PC 计算机和通讯设备等组成。

条文说明

上述测量机器人组成模式是目前常见的组成结构，其可根据现场施工量测的需要进行选择和研究。

2 应及时对测量系统进行校准，并定期进行维修保养，确保监控量测系统的准确性。

条文说明

自动测量系统在使用过程中，由于仪器自身精度问题、长期测量过程中积累的误差及数据记录处理软件故障等问题容易产生数据异常，因此，需进行人工定期核验采集处理的数据，如发现数据异常或误差较大，应进行校准，确保测量结果的准确性。

5.10.8 监测系统安装

1 采用固定位置监测设备时，应根据隧道建筑限界及内轮廓形状，专用的托架安装，且不得侵入建筑限界。

2 监测设备安装完成之后应结合基准点及监测点进行系统检查，确保视线良好。

3 自动化测量设备箱、配电箱、供电电缆等安装应符合隧道机电系统安装相关规定。

4 监测设备安装时应注意保护原有隧道结构及附属设施。

5 监测设备安装完成之后，应采取适当的保护措施保护设备，埋设设备标志等。

征求意见稿

5.10.9 测点布置

自动化监测的量测断面和测点布置原则与传统监测方法一致。

条文说明

自动化监测除与测量仪器、设备等与人工监测方式不同以外，监测点及监测断面布置等与传统监测方式基本相同。监测频率根据仪器功能可酌情增加。

5.10.10 数据管理、自动分析及预警

1 监控量测数据管理、自动分析和预警系统包括数据录入及存贮、数据分析和预警三部分。

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。

3 数据分析阶段利用系统预设定的回归方程实现动态地回归分析和远期值预测。

4 监测数据远期值不收敛、急剧扩大或超过预警值时，可及时预警。

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

征求意见稿

6　数据分析、反馈及管理

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　监控量测数据分析宜采用回归分析方法。

条文说明

现场监控量测所得的数据（包括监控量测日期、时刻、温度等）应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。

6.1.3　监控量测应根据数据分析结果进行分级预警。

6.1.4　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。

6.1.5　监控量测应确保信息传递渠道畅通、反馈及时有效。

条文说明

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把险情漏掉造成严重后果，因此施工过程中应保证信息反馈渠道畅通，确保信息反馈的及时性及有效性。

征求意见稿

6.2 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。

条文说明

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，剔除和识别各种误差和异常值，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，包括各种物理计算、图表制作，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，分析各监控量测值大小、变化规律、发展趋势等。

6.2.2 数据分析结果应包含各监测项目的日变化量、累计变化量、时程曲线、发展趋势及不同监测项目的相关性等。

6.2.3 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，查明原因。

6.2.4 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。

6.2.5 量测数据的计算分析应进行多项目的综合分析。

6.2.6 监控量测数据的分析应包括以下主要内容：

1 根据量测值绘制变形（应力）-时间（距离）散点图。

2 选择回归曲线，预测最终值，并与控制基准进行比较。

3 对围岩及支护状态、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。

条文说明

监控量测资料数据分析是监控量测信息反馈的核心。首先应及时绘制位移-时间散点图，根据位移时间散点图可进一步绘制速度-时间曲线、加速度-时间曲线，根据散点图的特点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，再结合当前隧道施工工况综合分析围岩和支护结构的工作状态。如果位移曲线或速度曲线、加速度曲线正常，说明围岩处于稳

征求意见稿

定状态，支护措施稳定可靠，如果位移出现反常增长，或速度、加速度存在反常增长，表明围岩和支护已呈不稳定状态，需及时提交异常报告并通知施工单位，进行综合研判采用相应的工程措施。

6.2.7 拱顶下沉、拱脚下沉、净空收敛、中隔墙偏移、钢架应力、喷射混凝土应力、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；常用的回归分析方法见附录 M。

6.2.8 拱顶下沉、拱脚下沉、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。

6.2.9 地表下沉横向分布规律宜采用 Peck 公式进行分析。

条文说明

地表沉降横向分布回归方程参照本规程 4.5.3 及条文说明。

6.3 信息反馈

6.3.1 监控量测信息反馈应根据监测数据分析结果，对隧道施工安全、二衬施作时机、支护参数优化等进行信息反馈修正。

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

1 实时分析：每次应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。

条文说明

施工过程中进行监控量测分析分为实时分析和阶段分析，均以报告的形式进行反馈。

实时分析：根据每天的监控量测数据，分析隧道施工现场的情况，发现异常可及时上报，实时分析报告可以较为简单，主要包含此时数据，监测日志，及异常原因分析等；

征求意见稿

阶段分析: 是在实时监测数据的基础上对一定监测周期内的数据进行的阶段性分析和总结，分析数据变化规律，对下一阶段的监测量测数据进行预估，以指导下一阶段的施工、超前预报、监控量测方案等，阶段分析报告应详尽，数据完整，分为周报、旬报、月报或特殊段落不定期报告。

6.3.3 信息反馈应包含以下内容：

1 围岩分级及物理力学参数的修正；
2 初期支护及二次衬砌参数的调整；
3 施工开挖方法及施工工序的调整；
4 辅助施工措施及施工工艺的调整；
5 临时支护的形式、强度及施作时机的调整；
6 预留变形量的调整；
7 监控量测内容与控制基准的调整；
8 超前地质预报的内容、方法的调整。

6.4 隧道监控量测安全性分级

6.4.1 隧道工程建设期应根据监控量测工作的阶段性成果对隧道结构稳定性、施工安全性及施工对周边环境的影响进行分级评价，针对不同的管理等级采取适当的处治措施。分级评价参考流程详见图 6.4.1。

征求意见稿

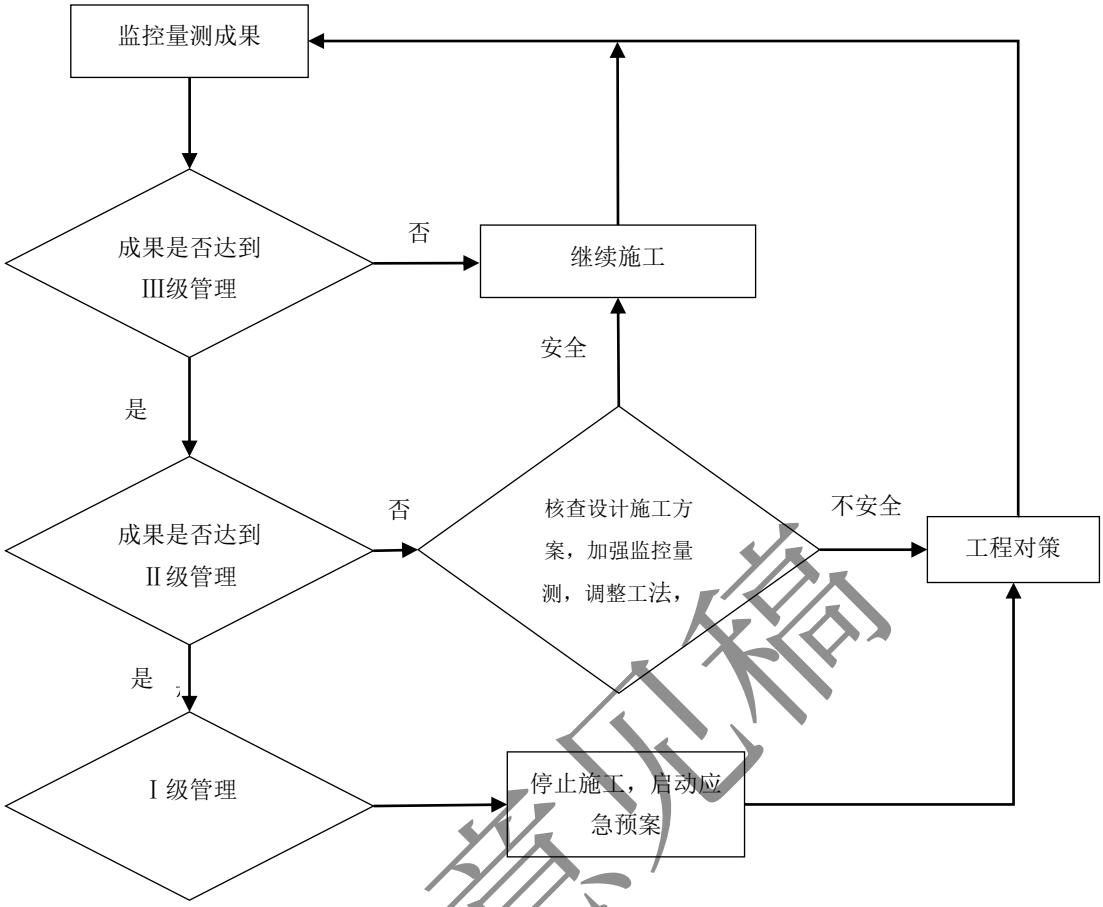


图 6.4.1 隧道工程分级管理评价流程图

表 6.4.2 分级管理等级及对应的处治措施

管理等级	结构稳定性、安全性及环境影响	处治措施
III	变形、结构受力正常； 地表建（构）筑物基本无变形；	正常施工
II	结构受力较大，变形出现异常； 地表建（构）筑物出现细微裂缝；	核查设计及施工方案，加强监控量测，必要时改变施工方案、地表人员疏散及调整防排水设计方案
I	结构变形速率加大，可能出现险情； 地表建（构）筑物裂缝持续发展未收敛；	停止施工，疏散现场施工及地表人员，启动对应的应急预案，补充设计及施工专项处治方案

6.4.2 根据实测累计变形量和当前实测变形速率，可分为变形正常、变形异常、可能发生险情共三个级别，进行隧道工程安全性分级。

征求意见稿

表 6.4.3-1 按照实测变形量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	$U \leqslant 1/3U_k$
II	变形异常	$1/3U_k < U \leqslant 2/3U_k$
I	可能发生险情	$U > 2/3U_k$
注：U_k 为变形控制基准值		

表 6.4.3-2 按照实测变形速率划分的隧道工程安全性分级

管理等级	风险等级	实测累计变形速率 V（mm/d）
III	变形正常	$V < 0.2mm/d$
II	变形异常	$0.2mm/d \leqslant V \leqslant 1.0mm/d$
I	可能发生险情	$V > 1.0mm/d$
注：在高地应力软岩、膨胀岩土、流变蠕变岩土和挤压地层等不良地质和特殊性岩土中，应根据具体情况制定判别标准		

6.4.3 初期支护承受的应力、应变、压力实测值与允许值之比大于等于 0.8 时，围岩不稳定，应加强初期支护；初期支护承受的应力、应变、压力实测值与允许值小于 0.8 时，围岩处于稳定状态。

6.4.4 根据爆破振速、二次衬砌裂缝宽度等监测结果，可分为变形正常、变形异常、可能发生险情共三个级别，进行隧道工程安全性分级。

表 6.4.4 按照洞内爆破振速和二次衬砌裂缝宽度量测结果划分的隧道工程安全性分级

管理等级	风险等级	二次衬砌状态
III	变形正常	爆破振速不超过规范允许值，二衬裂缝宽度不超过规范允许值且宽度未变化
II	变形异常	爆破振速不超过规范允许值，二衬裂缝宽度持续增大但未超过规范允许值
I	可能出现险情	爆破振速超过规范允许值，二衬裂缝宽度超过规范允许值且宽度持续增大

6.4.5 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，可分为变形正常、变形异常、可能发生险情共三个级别，进行隧道工程环境影响分级。

征求意见稿

表 6.4.5 按照地表建（构）筑物状态监测结果划分的隧道工程周边环境安全性分级

管理等级	地表建（构）筑物状态	质点振速/变形（U）量测成果
III	变形正常	爆破振速不超过规范允许值，$U<U_0/3$， 裂缝宽度不超过规范允许值且宽度未变化
II	变形异常	爆破振速不超过规范允许值，$U_0/3\leqslant U\leqslant 2U_0/3$， 裂缝宽度持续增大但未超过规范允许值
I	可能出现险情	爆破振速超过规范允许值，$2U_0/3<U$， 裂缝宽度超过规范允许值且宽度持续增大
注：U_0 为地表建（构）筑物变形控制基准值		

6.4.6 隧道按不同监控量测成果进行的分级管理结果不一致时，应立即核查各监控量测成果的有效性和准确性。监控量测成果确认无误时，应以最高级别进行管理，并采取相对应的处治措施。

征求意见稿

7　成果资料

7.0.1　监控量测成果资料应包含以下内容：

1　监控量测设计。

2　监控量测实施大纲及批复。

3　监控量测结果及月（周）表。

4　监控量测数据汇总表及观察资料。

5　监控量测阶段性报告。

6　监控量测工作总结报告。

7.0.2　监控量测阶段性报告应简明扼要，数据详实可靠，分析深入，能为下一阶段施工提供指导作用，报告内容宜包含以下部分：

1 监测工作概况

1.1 隧道施工概况及进展

1.2 监测工作量统计

1.3 监测的主要异常

2　测量资料整理与分析

1.1 洞内外观察结果及分析

1.2 地表下沉测量结果及分析

1.3 净空收敛测量结果及分析

1.4 拱顶下沉测量结果及分析

1.5 拱脚下沉测量结果及分析

1.6 部分选测项目测量结果及分析

1.7 部分专项监测项目测量结果及分析

3 下阶段监测工作计划

4 结论与建议

征求意见稿

附录

附录 A：洞内、外观察记录表

<table>
<tr><td colspan="3">监测单位：</td><td colspan="2">施工单位：</td><td colspan="2">监理单位：</td></tr>
<tr><td colspan="3">隧道名称：</td><td colspan="2">开挖桩号：</td><td colspan="2">表格编号：</td></tr>
<tr><td colspan="3">监测日期：</td><td colspan="2">环境条件：</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>编号</td><td>编录项目</td><td colspan="5">状态描述</td></tr>
<tr><td>1</td><td>掌子面状态</td><td>稳定</td><td>正面掉块</td><td>正面挤出</td><td>正面不稳</td><td>其他：</td></tr>
<tr><td>2</td><td>洞内未支护地段状态</td><td>自稳</td><td>拱部松弛掉块或侧墙挤出</td><td>自稳困难，需及时支护</td><td>需超前支护</td><td>其他：</td></tr>
<tr><td>3</td><td>开挖方法及状态</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>4</td><td>地层岩性及产状</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>5</td><td>风化程度</td><td>微风化</td><td>中风化</td><td>强风化</td><td>全风化</td><td>其他：</td></tr>
<tr><td>6</td><td>节理密度（条/m）</td><td>1～2</td><td>2～3</td><td>3～5</td><td>＞5</td><td>其他：</td></tr>
<tr><td>7</td><td>节理状态</td><td>紧闭</td><td>微张</td><td>张开</td><td>宽张</td><td>其他：</td></tr>
<tr><td rowspan="2">8</td><td rowspan="2">断层状态及产状</td><td>破碎带岩性及胶结程度</td><td></td><td>产状</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>破碎带宽度</td><td></td><td>与洞轴线夹角</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">9</td><td rowspan="2">地下水</td><td>出水状态</td><td>干燥</td><td>潮湿</td><td>渗水或滴水</td><td>涌流或喷</td></tr>
<tr><td>出水位置</td><td></td><td>出水量</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td rowspan="3">10</td><td rowspan="3">洞内已支护地段外观状态</td><td>渗漏水情况</td><td></td><td>喷层裂缝情况</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>钢架受力变形情况</td><td></td><td>锚杆端头及垫板情况</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>衬砌表面裂缝情况</td><td></td><td>底鼓情况</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">11</td><td rowspan="2">洞外观察</td><td>地表下沉开裂情况</td><td></td><td>植被水系情况</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>地表建（构）筑物</td><td></td><td></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>掌子面素描</td><td colspan="3"></td><td colspan="3"></td></tr>
</table>

记录：　　复核：

征求意见稿

附录 B：隧道拱顶下沉量测记录表

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

测量者：　　记录者：　　复核者：

征求意见稿

附录 C：隧道拱脚下沉量测记录表

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

测量者：　　记录者：　　复核者：

征求意见稿

附录 D：隧道净空收敛量测记录表

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	

测量者：　　记录者：　　复核者：

征求意见稿

附录 E：隧道地表下沉量测记录表

里程				施工方法			施工部位				埋设日期			
初始量测时间				初始观测值			初始温度值				隧道埋深			
测点编号	1			2			3			4			5		
测量时间	测值（m）	相对上一次差值（mm）	相对第一次差值（mm）	测值（m）	相对上一次差值（mm）	相对第一次差值（mm）	测值（m）	相对上一次差值（mm）	相对第一次差值（mm）	测值（m）	相对上一次差值（mm）	相对第一次差值（mm）	测值（m）	相对上一次差值（mm）	相对第一次差值（mm）

测量者：　　记录者：　　复核者：

征求意见稿

附录 F：围岩内变形量测记录表

监测单位：			施工单位：			监理单位：	
隧道名称：			埋设日期：			温度：	
桩号	测点编号	量测时间	仪器系数	初始读数	当前读数	位移（mm）	备注
	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						
	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						
	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						

测量者：　　记录者：　　复核者：

注：

1 同一断面仪器按照顺时针方向编导，单孔测点按距离孔口从小到大编号；

2 表中仪器系数按照顺时针方向编导，单孔测点按距离孔口距离从小到大编号；

3 如传感器带测温功能，可在表格中增加“量测时温度”；

征求意见稿

附录 G：应力、应变量测记录表

监测单位：			施工单位：			监理单位：		
隧道名称：			埋设日期：			温度：		
桩号	测点编号	量测温度（℃）	频率值 f（Hz）	初测频率值 f_0（Hz）	标定系数	温度修正系数	应变值（ $\mu\ \varepsilon$ ）	备注
	1							
	2							
	3							
	4							
	5							
	6							
	1							
	2							
	3							
	4							
	5							
	6							
	1							
	2							
	3							
	4							
	5							
	6							

测量者：　　记录者：　　复核者：

注：

1 同一断面仪器按照顺时针方向编号；

2 表中标定系数和温度修正系数根据所选仪器确定；

3 上表为原始记录表，需要内力时可根据后期计算获取；

征求意见稿

附录 H：接触压力量测记录表

监测单位：		施工单位：		监理单位：	
隧道名称：		桩号：		埋设日期：	温度：
埋设位置	拱顶	左拱腰	右拱腰	左边墙	右边墙
标定系数					
压力盒编号					
初始读数					
监测时间	读数	接触压力	监测时间	读数	接触压力

测量者：　　记录者：　　复核者：

征求意见稿

附录 J：锚杆轴力量测记录表

监测单位：			施工单位：			监理单位：		
隧道名称：			埋设日期：			温度： 桩号：		
锚杆编号	测点编号	量测温度（℃）	频率值 f（Hz）	初测频率值 f_0（Hz）	标定系数（KN/KHz²）	温度修正系数（KN/℃）	轴力值（KN）	备注
	1							
	2							
	3							
	4							
	5							
	6							
	1							
	2							
	3							
	4							
	5							
	6							
	1							
	2							
	3							
	4							
	5							
	6							

测量者： 记录者： 复核者：

征求意见稿

附录 K：隧道裂缝监测记录表

监测单位：			施工单位：				监理单位：			
隧道名称							温度	℃	温度	%
序号	桩号	部位	倾角（°）	长度（m）	宽度（mm）	深度（mm）	形态	照片编号	新裂缝/既有裂缝	

测量者：　　记录者：　　复核者：

征求意见稿

附录 L：现场三角堰估算水量方法

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

1　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；

2　当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。

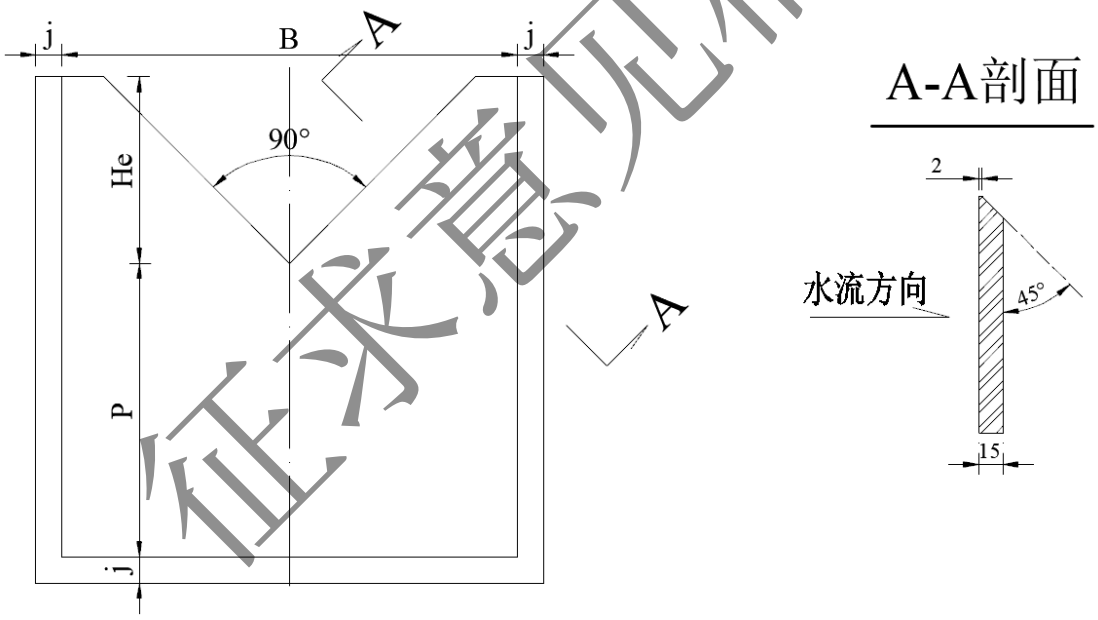


图 L.1 薄壁直角三角堰示意图

3　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水流量大小 Q。

$$Q = 0.014h^{2.5} \qquad \text{（K-1）}$$

征求意见稿

附录 M：监控量测数据处理及回归分析方法

M.0.1 对位移监控量测数据处理主要采用回归分析方法，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；数据处理的基本流程如下：

1 现场量测数据及时绘制位移-时间曲线或变形-时间曲线，纵坐标表示相对位移，横坐标表示量测时间。

2 根据初步绘制的位移-时间曲线，初步判断是否趋于稳定，若趋于稳定则开始进行数据分析，推算位移值和分析位移变化规律，先选用某一个回归分析曲线函数，如对数、指数、双曲函数等。

3 将选定的曲线函数进行变换和取代，使其变成线性函数的形式。

4 可用一元线性回归的方法求得该变换后的系数，将该系数带入取代后的线形函数，求得原曲线函数的系数，进而求得最终的回归分析曲线函数。

5 如果选用的曲线函数剩余标准差不理想，则可改成另一曲线函数，再按照上述步骤进行回归分析。

6 当位移-时间曲线出现反弯点，即位移出现反常的急剧增长情况，表明现有的岩土体及支护结构已出现不稳定状态，应当加密监测，并适当加强支护，必要时应立即反馈施工单位、建设单位进行施工处理。

M.0.2 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：

$$U = Ae^{\frac{-B}{t}} \tag{M.1}$$

$$U = A\left(e^{-B/t} - e^{-B/t_0}\right) \tag{M.2}$$

$$U = A\left(1 - e^{-B/t}\right) \tag{M.3}$$

对数模型：

$$U = A\lg\left[\left(B + t\right)/\left(B + t_0\right)\right] \tag{M.4}$$

$$U = A\lg\left(1 + t\right) + B \tag{M.5}$$

双曲线模型：

$$U = t/\left(A + Bt\right) \tag{M.6}$$

式中：

征求意见稿

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。

$$S = A\left[1 - e^{-B(x - x_0)}\right] + U_0 \qquad (x > x_0) \tag{M.7}$$

$$S = -A\left[1 - e^{-B(x - x_0)}\right] + U_0 \qquad (x \le x_0) \tag{M.8}$$

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：

$$S(x) = S_{max} e^{-\frac{x^2}{2i^2}} \tag{M.9}$$

$$S_{max} = \frac{V_1}{\sqrt{2\pi i}} \tag{M.10}$$

$$i = \frac{H_0}{\sqrt{2\pi}\tan\left(45° - \frac{\varphi}{2}\right)} \tag{M.11}$$

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（m^3/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；

征求意见稿

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。

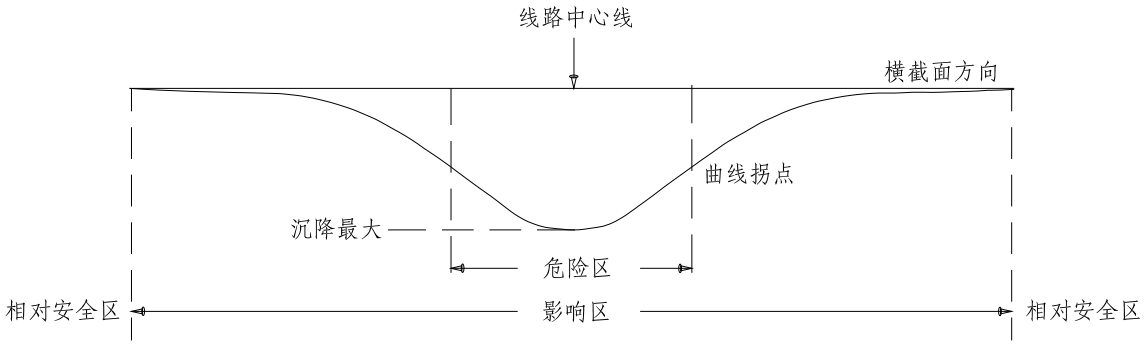


图 M.1　地表横向沉降槽

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。

M.0.3　当采用位移速率进行安全性评定时，可按照下式计算：

$$v = \frac{u_i - u_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} \tag{M.10}$$

式中：

u_i \ u_{i-1} 分别是 t_i、t_{i-1} 时刻测点位移。

M.0.4　当采用加速度进行安全性评定时，可按照下式计算：

$$a = \frac{v_i - v_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} \tag{M.11}$$

式中：

v_i \ v_{i-1} 分别是 t_i、t_{i-1} 时刻测点速度。

征求意见稿

附录 N：传感器档案表

序号	传感器类型	传感器量程	传感器精度	安装日期	安装部位	数量	使用人

征求意见稿

附录 P：监控量测预警告知单

项目名称：_____

施工单位：_____合同号：_____

监测单位：_____编　号：_____

致（施工单位）：_____ 监控量测机构（章）： 监控量测负责人：　　年　月　日
施工单位收件人： 年　月　日

注：

1、此单一式四份，建设单位、施工单位、监理单位、监控量测单位各一份。

2、表中应简要说明如下内容：监测项目异常发生的时间、地点、经过、发生的原因，问题的严重性及可能造成的风险，初步处理建议以及附件：监测数据

征求意见稿

附录 Q：监控量测日志

项目名称：_____

施工单位：_____ 合同号：_____

监测单位：_____ 编　号：_____

工作内容		日期	年　月　日
天气情况	晴　多云　阴　雨	记录人	
当日完成主要工作量：			
人员情况：			
当日工作概况：			
监测结论及建议： 监控量测人员：　　年　月　日			

征求意见稿