

ICS
CCS

团 体 标 准

T/CHTS XXXXX -202X

公路隧道施工监控量测技术规范

Technical Specifications for Construction Monitoring
and Measurement of Highway Tunnel

（征求意见稿）

202xx-xx-xx 发布

202x-xx-xx 实施

中国公路学会 发布

公路隧道施工监控量测技术规范

1 总则

1.0.1 为规范和统一公路隧道（以下简称“隧道”）设计和施工中的监控量测工作及相关的技术标准，使隧道施工期间监控量测符合安全适用、技术先进、经济合理的要求，制定本技术规范。

条文说明

监控量测既是公路隧道设计文件的重要组成部分，也是公路隧道施工作业中的关键环节。在公路隧道工程中，监控量测技术获得了广泛的应用，并取得了明显的技术经济效果。但是，由于缺乏完整的、统一的技术规范，公路隧道工程的监控量测工作，在不同程度上还存在着采用技术标准依据不足、数据处理方法选择不当、量测数据反馈不及时、记录不完整以及量测设备陈旧等问题。制定本技术规范，是为了使公路隧道工程的监控量测设计、施工和验收有一个统一的标准，达到符合安全适用、技术先进、经济合理的要求。

1.0.2 本技术规范适用于采用钻爆法施工的各等级新建和改扩建公路隧道工程，采用其他工法施工的隧道工程监控量测可参照执行。

1.0.3 隧道监控量测应根据隧道周边的自然环境、工程地质条件、支护类型及施工方法等，遵循科学合理、项目齐全、因地制宜、便于施工的原则，做好综合设计，其费用应列入概预算。

1.0.4 监控量测应根据设计编制实施细则，作为关键工序列入现场施工组织，按程序报批和归档备案。量测设备和元器件应先进可靠、轻便适用、稳定耐久，应标定校准。监控量测应精心组织，数据详实，认真分析，及时反馈，指导施工。

1.0.5 隧道监控量测工作除应符合本技术规范要求外，尚应符合国家现行的有关强制性标准的规定。

2 术语

2.0.1 监控量测 monitoring measurement

隧道施工中对围岩、地表、支护结构稳定状态及周边环境动态进行的经常性观察和量测工作。

2.0.2 必测项目 essential monitoring items

保证隧道周边环境和围岩的稳定以及施工安全，同时反映设计、施工状态而必须进行的监控量测项目。

2.0.3 选测项目 optional monitoring items

为了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。

2.0.4 净空收敛 clearance convergence

隧道周边两点间空间位置的相对距离变化。

2.0.5 拱部下沉 arch settlement

隧道拱部测点的绝对沉降（量）。

2.0.6 地表沉降（或隆起） surface subsidence (heave)

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（或隆起）。

2.0.7 变形量测 deformation measurement

对建（构）筑物及其地基或一定范围内岩体及土体的位移、沉降等项目所进行的监控量测工作。

2.0.8 基准点 datum point

建在稳定的岩层或原土层或构（建）筑物上的经确认固定不动的点。

2.0.9 测点 measuring point

设置在观测体上（或内部）能反映其特征，作为变形、位移、应变测量用的固定标志。

2.0.10 测线 survey lines

测量隧道净空收敛和拱部下沉时，设在隧道周边两测点之间的连线。

2.0.11 监控量测控制基准 control benchmark for monitoring measurement

监控量测工作实施前，由建设、设计、监理、施工等部门共同确定，满足隧道设计计

算中对强度、刚度及稳定性要求，保证其施工安全和长期稳定的结构位移、应力、振速等控制标准。

2.0.12 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 and 支护强度等因素引起的隧道底板向上隆起。

2.0.13 非接触量测方法 non-contact measurement method

指在不接触被测目标点的情况下，获取被测点的空间位移信息的方法。

2.0.14 智能监控量测方法 intelligent monitoring and measurement method

利用智能监控量测系统对隧道支护结构、围岩和地表沉降等进行的持续性观察和自动量测的方法。

2.0.15 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。

2.0.16 时态曲线 temporal curve

指反映隧道监控量测（位移、应力等）数据变化的时间过程曲线。

2.0.17 数据融合 data fusion

指对隧道多个信息源的监控量测数据进行自动检测、关联、相关、估计及组合等的多级、多层面数据处理过程。

3 一般规定

3.1.1 监控量测的管理必须科学合理，设计单位应进行监控量测设计，施工单位应编制监控量测实施细则，施工中应按细则实施，工程竣工后应将监控量测资料整理归档并纳入竣工文件中。

条文说明

在隧道施工过程中，使用专用的仪器、设备，对围岩和支护结构的受力、变形进行观测，并对其稳定性、安全性进行评价，统称为监控量测。

在设计阶段，应由设计单位对监控量测目的、监控量测项目以及测点的布置等进行设计；在施工阶段，作为施工组织设计的一个重要组成部分，纳入施工工序。制定合理而周密的现场量测细则，是保证监控量测工作有效开展的关键。隧道开工之前，施工单位根据环境条件、地质条件、设计要求、施工方法及施工进度安排等编制监控量测实施细则，确定量测项目、仪器、测点布置、量测频率、数据处理、反馈方法、组织机构及管理体系，并在施工的全过程中认真实施。

3.1.2 监控量测设计应包括以下内容：

- 1 确定监控量测项目；
- 2 确定测点布置原则、监控量测断面及监控量测频率；
- 3 确定监控量测控制基准。

条文说明

监控量测设计结合具体隧道工程、水文地质条件、支护参数、施工方法和监控量测目的等进行，其内容包括以下几个方面：

- 1 监控量测项目包括必测项目与选测项目，根据隧道特点和监控量测要求确定；
- 2 测点的布置原则根据地质条件确定，并初步选取监控量测断面及测试频率。
- 3 各监控量测项目的控制基准根据隧道结构安全性和周边环境的要求以及其他相应规范、法规的要求选取。

3.1.3 施工单位应拥有专业的监控量测人员和设备，采用成熟、可靠的测试数据处理与分析技术。

3.1.4 施工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。监控量测小组人员应相对稳定，以确保监控量测工作的连续性和量测质量。

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，施工单位应成立现场监控量测小组。

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，现场应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。

监控量测现场建立相应的质量保证体系，确保监控量测的有效实施，做到组织管理清晰、责任明确。

3.1.5 现场监控量测工作应包括以下内容：

- 1 现场情况的初始调查；
- 2 编制监控量测实施细则；
- 3 布设测点并取得初始监测值；
- 4 现场监控量测及分析；
- 5 提交监控量测成果。

条文说明

现场监控量测工作一般按照下面的程序进行：

1 现场情况的初始调查

施工前对隧道工程的地质条件、地下水状况及施工影响区域内的周边环境进行初始调查，掌握工程特点和难点，为监控量测工作的顺利开展做好准备。

2 编制实施细则

现场监控量测小组按照监控量测设计的要求，结合初始调查结果编制实施细则，经业主、监理审查批准后实施。

3 布设测点并取得初始监测值

基准点、测点的埋设须严格按照相应规范进行，以确保监控量测数据可靠。测点埋设后应及时取得初始监测值。

4 现场监控量测及分析

现场监控量测工作由现场监控量测小组实施，并根据监控量测数据对隧道施工安全及结构的稳定性做出分析评价。

5 提交监控量测成果

监控量测小组一般以周报（特殊情况要形成日报）的形式提交监控量测成果（包括纸质和电子文件）。当出现异常现象时，应及时反馈，以便采取相应的对策。

现场监控量测工作停止后，应在一个月内编写出该工程的施工监控量测总结报告。

3.1.6 监控量测实施细则应报监理、业主，经批准后实施，并作为现场作业、检查验收的依据。监控量测变更必须经项目技术负责人审核，报监理工程师批准。

条文说明

现场监控量测实施细则是工程施工组织设计的重要组成部分，需上报监理、业主，经批准后方可正式实施，并且作为现场作业、检查、验收的依据之一，相关资料必须认真保存。当现场监控量测工作由于地质条件、施工方法等因素的影响需要调整时，报项目技术负责人审核，并经现场监理工程师批准后方可实施。

监控量测实施细则应综合考虑工程特点、设计要求、施工方法、地质条件及周边环境等因素进行编制，并满足下列要求：

- 1 确保隧道工程安全；
- 2 对工程周围环境进行有效的保护；
- 3 尽量降低监控量测费用；
- 4 尽量减少对工程施工的干扰。

3.1.7 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。

条文说明

隧道监控量测工作一般在地下进行，环境条件恶劣，因而监控量测系统应具有较高的可靠性、稳定性及耐久性。监控量测仪器设备在使用前及使用过程中必须进行定期的检查、校对和率定，一般包括外观检验、精度检验、防水性检验、应力（应变）及温度率定等。

3.1.8 监控量测测点应牢固可靠、易于识别，并注意保护，严防损坏。

条文说明

现场施工过程中经常发生测点破坏的现象，使监控量测数据不连续，影响监控量测结果的准确分析。如果测点被破坏，应在被破坏测点附近补埋。如果测点出现松动，则应及时加固，当天的量测数据无效，待测点加固后重新读取初读数。

3.1.9 施工现场必须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。监控量测数据应利用计算机系统进行管理，由专人负责，如有监控量测数据缺失或异常，应及时采取补救措施，并详细做出记录。

条文说明

监控量测数据必须经现场检查复核，发现异常及时进行重测。

数据的整理和维护工作应由专人负责，数据在输入、处理过程中应复核审查，避免出现错误。监控量测的记录、图表及文字报告应连续和完整。如有缺失，应按国家规范、标

准和本技术规范要求及时采取补救措施，并详细进行书面记录。

3.1.10 根据监控量测精度要求，应减小系统误差，控制偶然误差，避免人为错误，应经常采用相关方法对误差进行检验分析。

条文说明

现场监控量测数据误差会影响对围岩和支护系统的安全评判，工作中应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，应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

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，应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，应进行数据统计检验。

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，都应避免。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，必须从测量数据中剔除。

3.1.11 施工与监控量测应密切配合，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。

条文说明

现场监控量测与施工作业易发生干扰，因此两者必须紧密配合，妥善协调好施工和监控量测的关系，将监控量测元件的埋设计划列入工程施工进度控制计划中，施工现场应及时提供工作面，创造条件保证监控量测埋设工作的正常进行；监控量测工作也要尽量减少对施工工序的影响。

此外，在施工过程中应高度重视并采取有效措施，防止一切观测设备、观测测点和电缆等受到机械和人为的破坏。

3.1.12 监控量测单位应派专人负责信息管理工作，确保监控量测信息传递渠道畅通、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，所以信息反馈必须及时，否则容易

影响施工进度或者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传递渠道畅通，确保信息反馈的及时性及有效性。

4 监控量测项目与方法

4.1 一般规定

4.1.1 监控量测应达到下列目的:

- 1 确保施工安全及支护结构的长期稳定性;
- 2 验证支护结构效果, 确认支护参数和施工方法的准确性或为调整支护参数和施工方法提供依据;
- 3 确定二次衬砌施作时间;
- 4 监控工程对周围环境影响;
- 5 积累量测数据, 为信息化设计与安全快速施工提供依据。

条文说明

监控量测的主要目的在于了解围岩稳定状态和支护、衬砌可靠程度, 确保施工安全及结构的长期稳定性。为围岩级别变更、初期支护和二次衬砌的参数调整提供依据, 是实现信息化施工不可缺少的工序, 是直接为设计和施工决策服务的。

4.1.2 监控量测方案应根据地质情况、围岩条件、隧道埋深、支护参数、施工方法及周围环境等条件综合确定。

条文说明

隧道及地下工程的客观条件千变万化, 因此, 每一工程应有与其条件相应的监控量测设计文件。

4.1.3 监控量测实施细则应根据设计要求及工程特点编制, 内容应包括:

- 1 监控量测项目;
- 2 人员组织;
- 3 元器件及设备;
- 4 监控量测断面、测点布置、监控量测频率及监控量测基准;
- 5 数据记录格式;
- 6 数据处理及预测方法;
- 7 信息反馈及对策等。

条文说明

对于所有应进行现场监控量测的工程，本条所列内容都必须包含在实施细则中，凡是设计文件设计的监控量测项目都必须进行量测。

4.1.4 监控量测工作必须随施工工序及时进行，尽快读取初始读数，并根据现场情况及时调整监控量测的项目和内容。

条文说明

隧道开挖后最初一段时间的变形及应力变化很快，而且这段时间的监控量测数据对后期的最终位移及应力的预测至关重要，所以尽快读取初始读数掌握围岩及支护结构的最新动态是非常必要的。当现场情况与设计不符时，应及时调整监控量测项目及内容。

4.1.5 现场监控量测应由施工单位负责组织实施，量测信息应及时向参建各方进行反馈。

4.1.6 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。

4.1.7 现场监控量测方法应简单，可靠、经济、实用。

4.1.8 特殊地质或特殊要求隧道宜采用智能监控量测技术、数据自动采集技术、远程数据传输技术及分析管理系统进行长期或高频监测。

4.2 监控量测项目

4.2.1 监控量测项目分为必测项目、选测项目。

条文说明

隧道施工监控量测旨在现场采集可反映施工过程中围岩的动态信息，以判定隧道围岩和初期支护的稳定状态，分析支护结构参数和施工的合理性，为设计和施工提供依据。因此,设计文件应根据隧道的特点和难点确定必测项目和选测项目的具体内容。

4.2.2 必测项目是为保障隧道施工安全与邻近建（构）筑物稳定性进行的日常监控量测项目。具体监控量测项目见表 4.2.2。

表 4.2.2 监控量测必测项目

序号	监控量测项目	常用量测仪器	备注
1	洞内、外观察	现场观察、数码相机、罗盘仪	
2	拱部下沉	精密水准仪、钢挂尺或全站仪	
3	净空收敛	收敛计、全站仪	

4	地表沉降	精密水准仪、钢钢尺、全站仪或柔性测斜仪	隧道浅埋段
5	拱脚下沉	精密水准仪、钢钢尺或全站仪	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性岩土段，或分部开挖法施工时支护未闭合成环段。

条文说明

必测项目是为了在隧道施工中确保围岩与支护结构的稳定，并通过判断围岩与支护结构的稳定性来指导设计，施工中的经常性量测，是所有隧道必须进行的项目。这类量测通常测试方法简单，可靠性高，费用少，而且对判断围岩与支护结构稳定，指导设计施工有巨大的作用。

变形是隧道围岩和支护系统力学形态最直接、最明显的反映，变形量测具有量测结果直观、测试数据可靠、量测仪表长期稳定性好、抗外界干扰性强，同时测试费用低廉的优点。因此必测项目以变形（位移）量测为首选量测项目。

4.2.3 选测项目是为满足隧道设计与施工的特殊要求进行的监控量测项目。具体监控量测项目按表 4.2.3 选择。

表 4.2.3 监控量测选测项目

序号	监控量测项目		常用量测仪器
1	围岩压力		振弦式土压力盒
2	钢架内外侧应力	格栅钢架	振弦式钢筋应力计
		型钢钢架	振弦式表面应变计
3	喷射混凝土应力		振弦式混凝土应变计
4	初期支护与二次衬砌间接触压力		振弦式土压力盒
5	二次衬砌内外侧混凝土应力		振弦式混凝土应变计
6	二次衬砌内外侧钢筋应力		振弦式钢筋应力计
7	纵向连接筋应力		振弦式钢筋应力计
8	锚杆轴力/锚管应力		振弦式锚杆测力计/光纤光栅测力锚管
9	围岩内部位移	隧道上覆岩土体	分层沉降磁环
		隧道内围岩	机械式多点位移计
10	隧底隆起		精密水准仪、钢钢尺或全站仪
11	爆破振动		振动传感器、记录仪
12	水压计		水压计
13	水量		三角堰、流量计

条文说明

选测项目不是每座隧道都必须开展的工作，是对一些特殊地质条件和有特殊意义、要求的区段进行补充测试，以求更深入地掌握围岩的稳定状态与锚喷支护的效果以及工程对周围环境的影响状况，指导未开挖区段的设计与施工。这类量测项目测试较为麻烦，量测项目较多，花费较大，一般只根据需要进行选择其部分项目。

4.2.4 隧道施工期间宜对洞内环境和空气质量进行监测。监测项目见表 4.2.4 所列。

表 4.2.4 隧道洞内环境监测项目

序号	洞内环境监测项目		常用量测仪器	备注
1	长期监测	风速	风速计	——
2		照度	照度计	——
3		CO 浓度	CO 浓度测定仪	——
4		烟尘浓度	烟雾浓度检测仪或光透过率仪	——
5		粉尘浓度	粉尘浓度测定仪	——
6		噪声	噪声计	——
7	抽样监测	温度	温度计	高海拔、高地温、高寒地区隧道
8		O ₂ 含量	气体检测分析仪	高海拔地区隧道与长、特长、超长隧道
9		CO ₂ 含量	气体检测分析仪	高海拔地区隧道与长、特长、超长隧道
10		CH ₄ （瓦斯）浓度	瓦斯浓度测定仪	煤系地层隧道
11		NH ₃ 浓度	NH ₃ 气体检测分析仪	——
12		NO 浓度	NO _x 气体检测分析仪	高海拔、高寒地区隧道与长、特长、超长隧道
13		NO ₂ 浓度	NO _x 气体检测分析仪	高海拔、高寒地区隧道与长、特长、超长隧道
14		H ₂ S 浓度	H ₂ S 浓度测定仪	高海拔、高寒地区隧道与长、特长、超长隧道
15		SO ₂ 浓度	SO ₂ 浓度测定仪	高海拔、高寒地区隧道与长、特长、超长隧道

条文说明

隧道施工期间洞内环境和空气质量监测项目是为了掌握隧道内含氧量、粉尘浓度及有害气体浓度的时空分布规律，评估隧道施工通风对隧道施工环境改善的效果，确保隧道内空气质量满足施工安全和健康要求。

隧道施工工序十分复杂,钻孔、爆破、装渣、运输、喷锚支护、二次衬砌等施工作业过程中，不仅会产生大量有害气体和粉尘等，装渣机和汽车等机械设备排放的污染物、烟雾等亦会严重污染隧道洞内环境和空气质量，威胁施工安全和人员健康。为创造良好的作

业环境，保障施工人员的健康和安全，维持机械设备的正常运行，保证工程进度，必须进行隧道施工通风，降低有害气体成分的浓度。

4.2.5 隧道开挖后应及时采用地质素描及数码成像进行洞内外观察，必要时应进行物理力学试验。

条文说明

实践证明，开挖工作面的地质素描和数码成像对于判断围岩稳定性和预测开挖面前方的地质条件是十分重要的，必要时进行物理力学实验，获得围岩的具体力学参数，为施工阶段围岩分级和科学的信息化施工提供有效的参考依据。在进行地质素描及数码成像的时候，工作面应有良好的照明和通风条件，以保证地质素描及数码成像的效果。

4.2.6 初期支护完成后应对喷层表面裂缝及其发展、渗水、变形等进行观察和记录。

条文说明

初期支护喷层表面状态的观察和裂缝描述，对直接判断围岩的稳定性和支护参数的检验是不可缺少的。应注意观测初期支护的变形以及渗水情况，及时发现并及时治理，避免工程事故的发生。

4.3 监控量测断面及测点布置原则

4.3.1 浅埋隧道地表沉降测点应在隧道开挖前布置。地表沉降测点和隧道内测点应布置在同一断面里程。一般条件下，地表沉降测点纵向间距应按表 4.3.1 的要求布置。

表 4.3.1 地表沉降测点纵向间距

隧道埋深与开挖宽度	纵向测点间距（m）
$2B < H_0 < 2(B + H_t)$	20~30
$B < H_0 \leq 2B$	10~20
$H_0 \leq B$	5~10

注：H₀为隧道埋深，B为隧道开挖宽度，H_t为隧道开挖高度。

地表沉降测点横向间距宜为 2~5m。在隧道中线附近测点应适当加密，隧道中线两侧量测范围不应小于 H₀+B，地表有控制性建（构）筑物时，量测范围应适当加宽。其测点布置如图 4.3.1 所示。

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应在隧道开挖影响范围以外，并在开挖影响范围以外设置基准点。

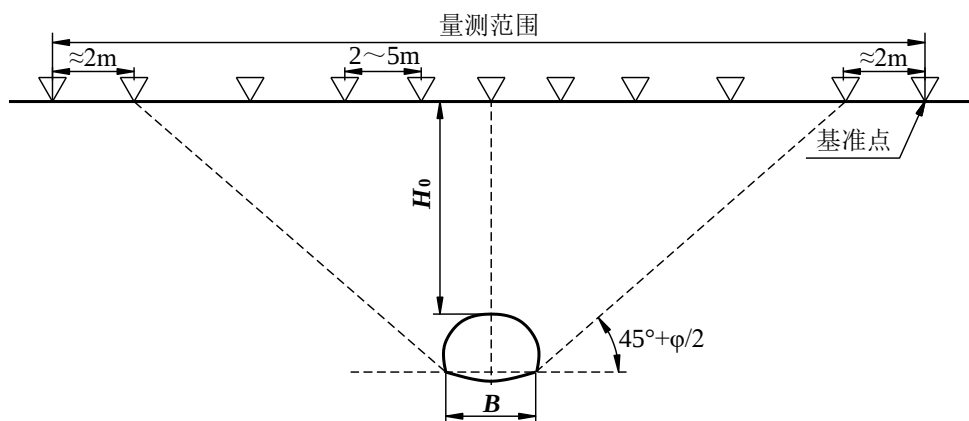


图 4.3.1 地表沉降横向测点布置示意

地表沉降量测的测点应布设在由设计确定的特别重要的施工地段，包括地表有建（构）筑物地段。对施工中地表发生塌陷并经修补的地段，以及预先探测到地下存在构筑物或空洞的施工地段，测点应尽量接近构筑物或空洞上方。

4.3.2 拱部下沉测点和净空收敛测点应布置在同一断面上。监控量测断面按表 4.3.2 的要求布置。对于有滑移倾向地层、软岩大变形段或超浅埋软土地层等特殊地段可适当增加量测断面。

表 4.3.2 必测项目监控量测断面间距

围岩级别	断面间距（m）
V~VI	5~10
IV	10~20
III	20~50
I~II	50~100

拱部下沉测点原则上设置在拱顶轴线附近。当隧道跨度较大时，应结合施工方法在拱部增设测点，参照图 4.3.3 布置。

高地应力、高水压、大变形、膨胀岩土等地段宜在仰拱设置底鼓测点，可与拱部下沉测点对应设置。

4.3.3 净空收敛量测测线数宜参照表 4.3.3 和图 4.3.3 布置。对浅埋、偏压、软弱围岩、富水破碎带等特殊岩土地段可适当增加斜测线。

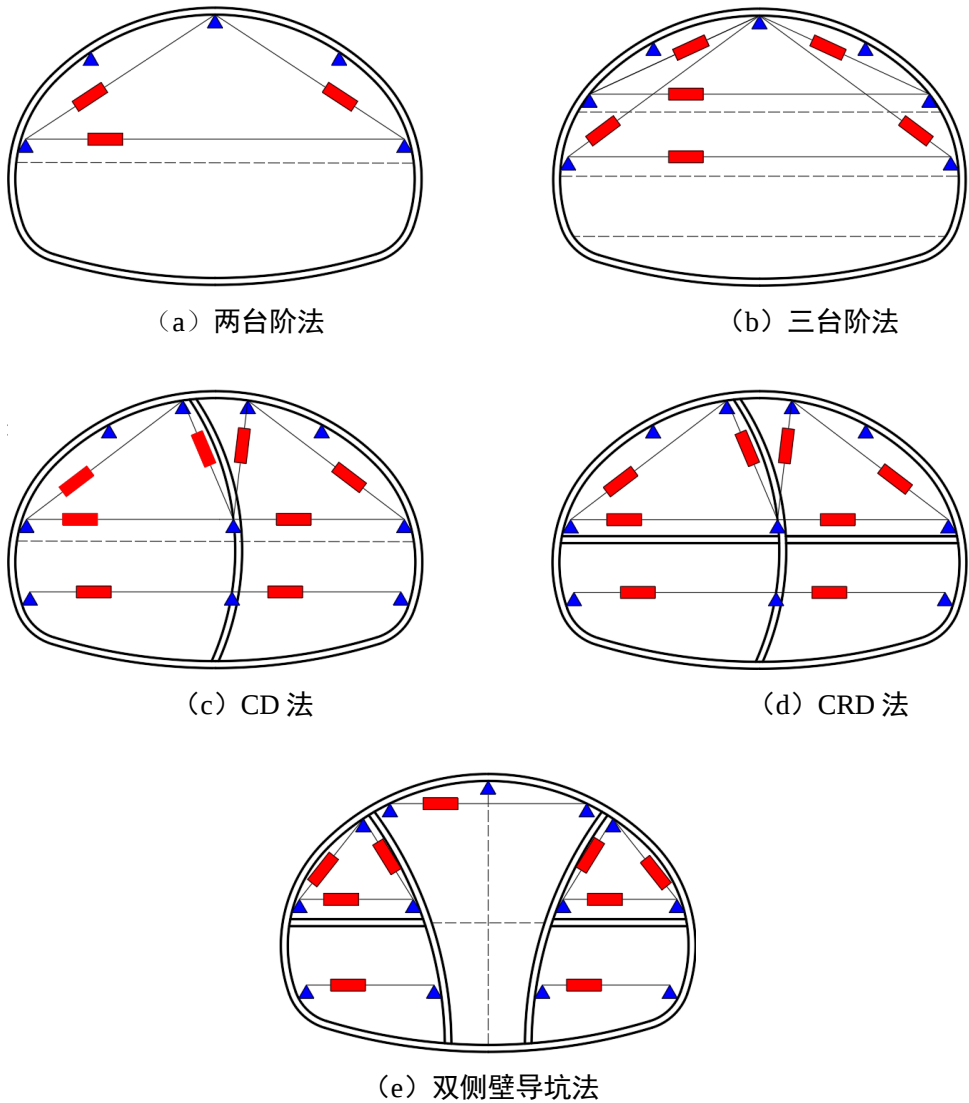
表 4.3.3 净空收敛量测测线数

开挖方法 \ 地段	一般地段	特殊地段
全断面法	一条水平测线	——

台阶法	每台阶一条水平测线	每台阶一条水平测线，两条斜测线
分部开挖法	每分部一条水平测线	CD 或 CRD 法上部、双侧壁导坑法左右侧部，每分部一条水平测线、两条斜测线，其余分部一条水平测线

条文说明

净空收敛量测、拱部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应设置在同一断面上。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。净空收敛量测以水平测线量测为主，必要时设置斜测线（如洞口附近、浅埋区段、偏压或膨胀性围岩区段、拱部下沉位移量大的区段），斜测线的设置有助于了解垂直方向的位移变化情况；当与解析法一起综合判断时，最好也布置斜测线。



▲为拱部下沉测点；——■——为净空收敛测线

图 4.3.3 非接触位移量测测点（线）布置示例

4.3.4 分部开挖法临时支护拆除后，应继续进行拱部下沉和净空收敛量测，测线按全断面开挖法布置。

4.3.5 选测项目量测断面及测点布置应综合考虑围岩性态、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尽早布置，并及时开展量测工作。

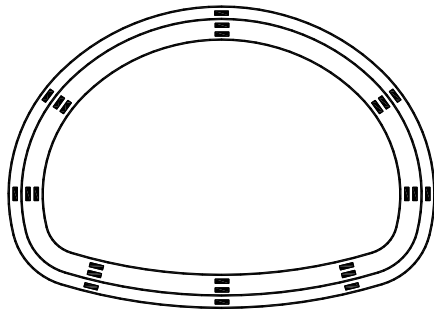
条文说明

选测项目的断面间距应视需要而定，或在有代表性的地段选取若干测试断面。对于地质条件差、隧道开挖断面积大、施工工序复杂的重要工程，断面应适当加密。为了尽早对隧道设计参数、施工方法、制定的监控基准等进行评价，应在设置有选测项目的隧道区段尽早进行布点。

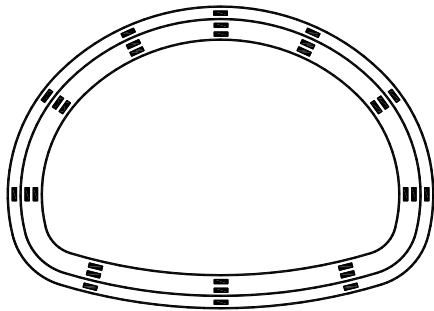
4.3.6 监控量测各断面测点的布置应保持位置相同，宜全断面 12 点对称布置，可根据情况选用 10 点、8 点布置，以便数据的相互验证。

条文说明

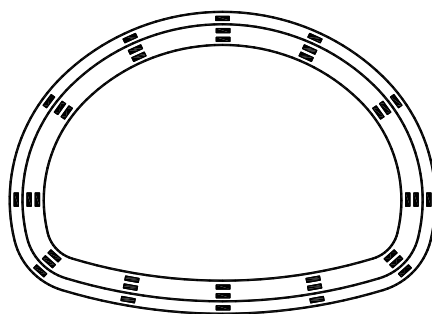
选测项目表 4.2.3 中第 1~7 项的测点布置见说明图 4.3.6-1。围岩压力、钢架内力、喷射混凝土内力、初期支护与二次衬砌间接触压力、二次衬砌内力量测每断面一般宜全断面对称布置 12 个测点（截面），也可根据情况适当减少测点。初期支护和二次衬砌全断面 12 点应力传感器布置方案见说明图 4.3.6-2。隧道某个部位应力传感器布置示意图 4.3.6-3。围岩内部位移每断面一般采用 3~5 个钻孔，应分布在边墙和拱部。锚杆轴力量测应在实际锚杆位置布置测点。围岩内部位移量测位置应靠近净空收敛测点，以便数据上互相验证。



(a) 八个测点（截面）

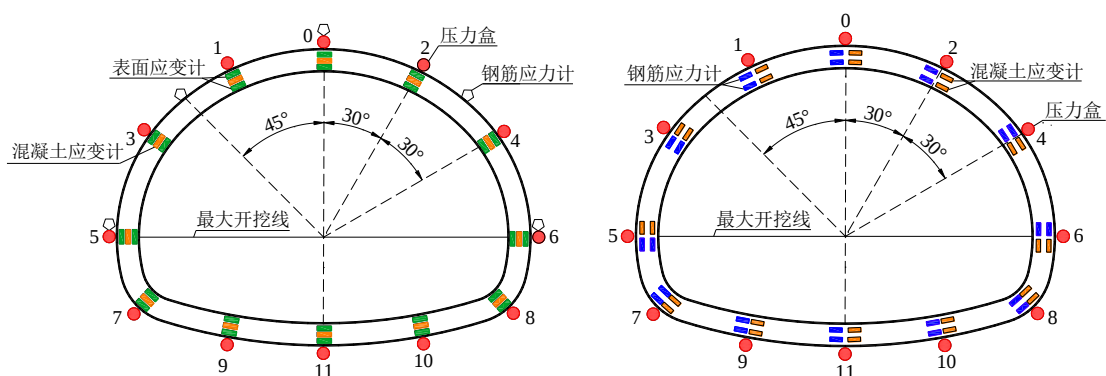


(b) 十个测点（截面）



(c) 十二个测点 (截面)

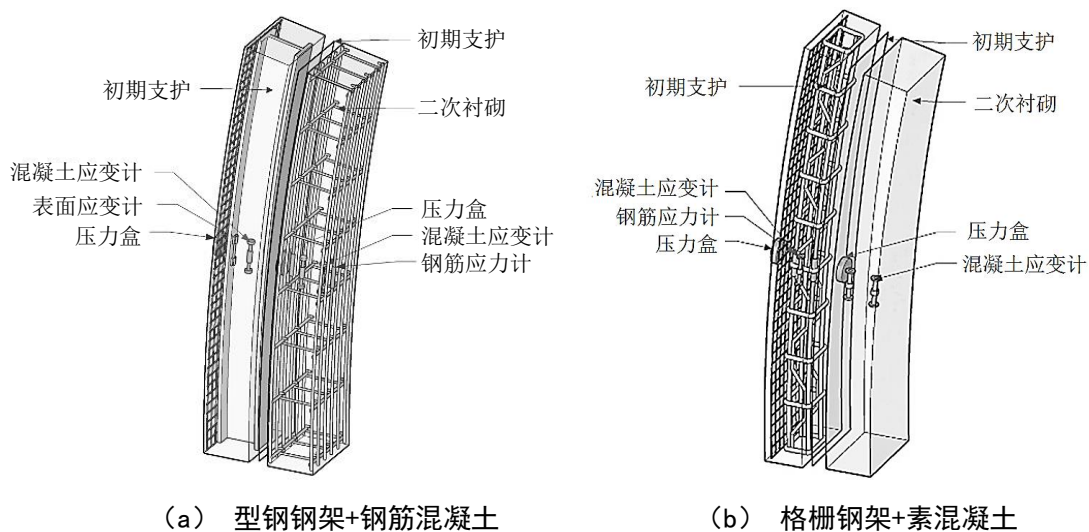
说明图 4.3.6-1 选测项目的测点布置示例



(a) 初期支护

(b) 二次衬砌

说明图 4.3.6-2 部分应力传感器布置方案



(a) 型钢钢架+钢筋混凝土

(b) 格栅钢架+素混凝土

图 4.3.6-3 隧道某个部位应力传感器布置示意

采用分部开挖法施工的隧道，如有需要可在临时支护上布置测点。

测点如果被破坏，应在被破坏测点附近补埋。如果测点出现松动，则应及时加固，加固当天的量测数据无效，待测点加固后重新读取初读数。

4.4 监控量测频率

4.4.1 必测项目的监控量测频率应根据测点距开挖面的距离及位移速率分别按表 4.4.1-1 和表 4.4.1-2 确定。由位移速率决定的监控量测频率和由距开挖面的距离决定的监控量测频率之中，原则上采用较高的频率值。当遭遇不良地质或施工状况发生变化（开挖台阶、仰拱或拆除临时支护等）及出现异常情况时，应增大量测频率。

表 4.4.1-1 按距开挖面距离确定的监控量测频率

监控量测断面距开挖面距离 (m)	监控量测频率
(0~1) B	2 次/d
(1~2) B	1 次/d
(2~5) B	1 次/ (2~3) d
>5B	1 次/ (3~7) d

注：B 为隧道开挖宽度，CRD 法、双侧壁导坑法开挖宽度指分部宽度。

表 4.4.1-2 按位移速率确定的监控量测频率

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

条文说明

必测项目量测频率一般根据测点距开挖面的距离及位移速率分别确定，然后取两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（开挖后两个月以上）不断变化时，量测要继续到每月为 1mm 为止。

4.4.2 开挖面地质素描、支护状态、影响范围内的建(构)筑物的描述应每施工循环记录一次。必要时，影响范围内的建（构）筑物的描述频率应加大。

4.4.3 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。

条文说明

在没有特殊要求的情况下，选测项目可以采用与必测项目相同的量测频率。

4.4.4 对于监控量测安全风险较高、监控量测工作量（量测频率和数据采集）较大的特殊地质或有特殊要求的隧道，宜采用智能监控量测方法，并通过数据自动采集与数据远程传输设备获取量测数据。

条文说明

随着隧道建造技术与信息化技术的发展，智能监控量测、数据自动采集、数据远程传输等技术和设备已逐渐成熟。对于监控量测安全风险较高、监控量测工作量（量测频率和数据采集）较大的特殊地质或有特殊要求的隧道，采用智能监测、数据自动采集、数据远程传输等技术和设备可保障监控量测人员人身安全，降低监控量测工作量和强度，实现特殊地质或特殊要求隧道的高频监测。

4.5 监控量测控制基准

4.5.1 监控量测控制基准应根据隧道围岩物理力学性质、施工方法、施工安全、隧道结构的长期稳定性，以及建（构）筑物特点和重要性等因素制定。

条文说明

监控量测的主要目的是确保隧道施工安全性和支护结构的长期稳定性，应根据这一目的，同时考虑周围建（构）筑物特点和重要性，综合隧道所处的地质条件和施工方法等多方面因素，制定监控量测基准。该基准应根据隧道施工情况不断完善调整。

4.5.2 隧道围岩与初期支护变形极限位移 U_0 宜参照表 4.5.2 选用，也可将隧道设计的预留变形量作为极限位移。

表 4.5.2 公路隧道围岩与初期支护极限位移 U_0

围岩级别	两车道	三车道	四车道
I	——	——	——
II	——	$\leq 0.005B$	$\leq 0.007B$
III	$\leq 0.007B$	$\leq 0.009B$	$\leq 0.011B$
IV	$\leq 0.011B$	$\leq 0.013B$	$\leq 0.017B$
V	$\leq 0.017B$	$\leq 0.022B$	$\leq 0.028B$

- 注：1 B 为隧道开挖宽度。
- 2 本表适用于复合式衬砌的初期支护，浅埋、硬质、完整围岩隧道取表中较小值，深埋、软质、破碎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。
- 3 拱部下沉和拱脚单点极限位移可按表中基准值乘以 0.5 后采用。
- 4 VI 级围岩或膨胀性、挤压性围岩隧道应根据监控量测信息反馈综合计算分析或工程类比方法确定。

条文说明

对于单洞三车道中等跨度（ $14m \leq B < 18m$ ）和单洞四车道大跨度（ $B \geq 18m$ ）公路隧道，目前还没有统一的位移判定基准。监控量测方案设计过程中可参考表 4.5.2 选用，并在施工过程中通过现场实测数据的积累进行修正。表 4.5.2 参照《公路隧道施工技术规范》（JTG/

T 3660—2020) 中第 7.3.1 条关于开挖轮廓预留变形量的规定, 并根据单洞两车道、三车道、四车道公路隧道开挖跨度推算得到。

4.5.3 位移控制基准应根据测点距开挖面的距离, 由初期支护极限位移按表 4.5.3 要求确定。

表 4.5.3 位移控制基准

类别	距开挖面 $1B$ (U_{1B})	距开挖面 $2B$ (U_{2B})	距开挖面较远
允许值	$65\%U_0$	$90\%U_0$	$100\%U_0$

注: B 为隧道开挖宽度, U_0 为设计极限位移值, 一般情况下将隧道预留变形量作为设计极限位移值。

条文说明

研究表明, 在距工作面 $1B$ 处和 $2B$ 处的位移值分别占规定的允许位移量的 65% 和 90% 左右, 距开挖面较远时围岩和初期支护变形基本稳定。按表 4.5.3 所确定的控制基准使隧道开挖的每个阶段都有相应的位移控制基准与之相适应。

4.5.4 施工过程中应根据监控量测反馈的信息情况, 进一步调整和完善控制基准值。分部开挖法施工的隧道每分部应分别建立位移控制基准值, 同时应考虑各分部之间的相互影响。

条文说明

大跨度隧道采用 CD 法、CRD 法、双侧壁导坑法等分部开挖法时, 应分别设立全断面位移监控基准和管理水平以及各施工部位位移监控基准和管理水平, 要充分考虑各个施工部之间的相互影响。

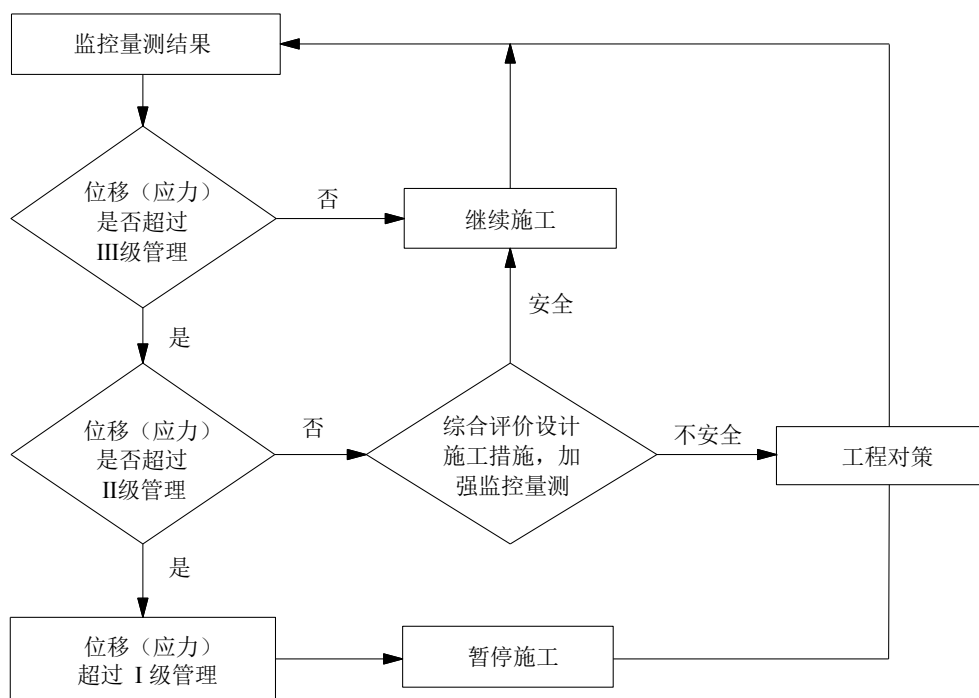
4.5.5 根据位移控制基准, 可按表 4.5.5 分为三个管理等级, 并根据等级采取相应的工程对策。

表 4.5.5 位移管理等级与工程对策

管理等级	距开挖面 $1B$	距开挖面 $2B$	工程对策
III	$U < U_{1B}/3$	$U < U_{2B}/3$	可正常施工
II	$U_{1B}/3 \leq U \leq 2U_{1B}/3$	$U_{2B}/3 \leq U \leq 2U_{2B}/3$	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措施
I	$U > 2U_{1B}/3$	$U > 2U_{2B}/3$	暂停施工, 采取相应工程措施

条文说明

位移管理等级的应用见说明图 4.5.5。



说明图 4.5.5 根据位移管理等级进行反馈管理框图

4.5.6 地表沉降控制基准应根据地层稳定性、周围建（构）筑物的安全要求分别确定，按表 4.5.6 取最小值。

4.5.7 量测的隧道围岩压力、初期支护与二次衬砌间接触压力应小于设计压力值，钢架、锚杆、混凝土等材料应力应小于材料容许应力，初期支护和二次衬砌结构安全系数应小于设计安全系数。

条文说明

通过隧道结构应力监测结果判断隧道承载状态和安全状态时，不仅需校核隧道支护材料强度，还需校核结构安全系数。

表 4.5.6 建筑物在不同沉降差下的反应

建筑结构类型	δ/L (L 为建筑物长度, δ 为差异沉降)	建筑物反应
1. 一般砖墙承重结构, 包括有内框架的结构, 建筑物长高比小于 10; 有圈梁; 天然地基	达 1/150	分隔墙及承重砖墙发生相当多的裂缝, 可能发生结构性破坏
2. 一般钢筋混凝土框架结构	达 1/150	发生严重变形
	达 1/500	开始出现裂缝
3. 高层刚性建筑 (箱型基础、桩基)	达 1/250	可观察到建筑物倾斜
4. 有桥式行车的单层排架结构的厂房天然地基或桩基	达 1/300	桥式行车运转困难, 不调整轨面水平难运行, 分隔墙有裂缝

5. 有斜撑的框架结构	达 1/600	处于安全极限状态
6. 一般对沉降差反应敏感的机器基础	达 1/850	机器使用可能会发生困难，处于可运行的极限状态

注：1 建筑物的长度，指建筑物各分段中线长度的总和。

2 框架结构有多种基础形式，包括现浇单独基础、现浇筏基础、现浇箱型基础、装配式单独基础、装配式条形基础以及桩基。不同基础形式的框架对沉降差的反应也不同，上表只提出了一般框架结构对差异沉降的反应，因此对重要框架结构在差异沉降下的反应，还要仔细调研其基础型式和使用要求，以确定允许的差异沉降量。

3 各种基础形式的高耸烟囱、化工塔罐、气柜、高炉、塔桅结构（如电视塔）、剧院、会场空旷结构等特别重要的建筑设施要作专门调研，以明确允许差异沉降值。

4 内框架（特别是单排内框架）和底层框架（条形或单独基础）的多层砌体建筑结构，对不均匀沉降很敏感，亦应当专门调研。

4.5.8 对初期支护结构安全系数进行计算和校核时，宜参考《公路隧道设计细则》（JTG/T D70—2010）第 10.4.4，并按照第 10.4.20 条进行判定，认为初期支护轴力由钢架和喷射混凝土共同承担，弯矩仅由钢架承担。

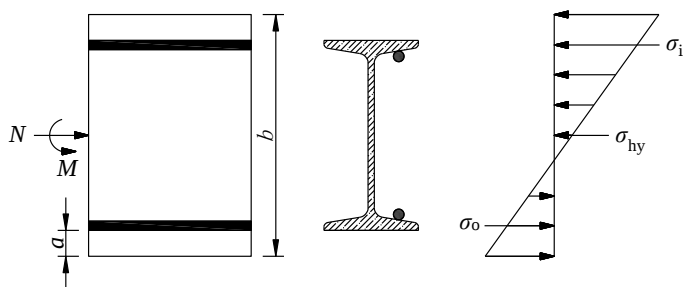


图 4.5.8 初期支护内力计算简图

则初期支护结构安全系数可按以下方法进行计算。

喷射混凝土截面受压强度：

$$K_{hy}\sigma_{hy} \leq \alpha R_{hy} \quad (4.5.8-1)$$

钢架受压强度：

$$\left. \begin{aligned} K_g \sigma_{g \max} &\leq R_{gy} \\ \sigma_{g \max} &= \max(\sigma_i, \sigma_o) \end{aligned} \right\} \quad (4.5.8-2)$$

钢架受拉强度：

$$\left. \begin{aligned} K_g \sigma_{g \min} &\leq R_{gl} \\ \sigma_{g \min} &= \min(\sigma_i, \sigma_o) \end{aligned} \right\} \quad (4.5.8-3)$$

式中： R_{hy} 为喷射混凝土的抗压极限强度（kPa）； R_{gy} 为钢架钢材的抗压极限强度（kPa）； R_{gl} 为钢架钢材的抗拉极限强度（kPa）； K_{hy} 为喷射混凝土的抗压强度综合安全系数； K_g 为钢

架的抗压抗拉强度综合安全系数； σ_{hy} 为喷射混凝土压应力（kPa）； σ_{gmax} 为钢架内外缘应力最大值（kPa）； σ_{gmin} 为钢架内外缘应力最小值（kPa）； σ_i 为钢架内缘（靠近围岩）一侧应力（kPa）； σ_o 为钢架外缘（靠近净空）一侧应力（kPa）； α 为偏心影响系数，按表4.5.8取值。

表 4.5.8 偏心影响系数

e_0/h	α	e_0/h	α	e_0/h	α	e_0/h	α	e_0/h	α
0	1.000	0.10	0.954	0.20	0.750	0.30	0.480	0.40	0.236
0.02	1.000	0.12	0.923	0.22	0.698	0.32	0.426	0.42	0.199
0.04	1.000	0.14	0.886	0.24	0.645	0.34	0.374	0.44	0.170
0.06	0.996	0.16	0.845	0.26	0.590	0.36	0.324	0.46	0.142
0.08	0.979	0.18	0.799	0.28	0.535	0.38	0.278	0.48	0.123

表中： h 为计算截面厚度（m）； e_0 为计算截面的偏心距（m），可按以下方法求得。

$$e_0 = \frac{M}{N} \quad (4.5.8-4)$$

$$\left. \begin{array}{l} M = M_g \\ N = N_g + N_h \end{array} \right\} \quad (4.5.8-5)$$

$$\left. \begin{array}{l} N_h = \sigma_{hy} A_h \\ N_g = \frac{\sigma_{gmax} + \sigma_{gmin}}{2} \cdot A_g \\ M_g = \frac{\sigma_{gmax} - \sigma_{gmin}}{2} \cdot W_g \end{array} \right\} \quad (4.5.8-6)$$

式中： N 、 M 为单位长度内检算截面的轴力（kN）及弯矩（kN·m）； A_h 、 A_g 为喷射混凝土及钢架计算截面面积（m²）； N_h 、 N_g 为喷射混凝土及钢架分别承担的轴力（kN）； M_g 为钢架承担的弯矩（kN·m）； W_g 为钢架弯曲截面系数（m³）。

4.5.9 对二次衬砌结构安全系数进行计算和校核时，宜参考《公路隧道设计细则》（JTG/T D70—2010）第 10.4.22～10.4.27 条，并按照《公路隧道设计规范》（JTG 3370.1—2018）第 9.2.4 条进行判定。实际工况中，二次衬砌多为偏心受压构件，其综合安全系数计算方法如下：

取二次衬砌一个微段，将该微段曲梁简化为矩形微段，建立矩形微段力学模型，结构环向受力可简化为偏心受压构件计算。假定混凝土和纵向钢筋承担压力，二次衬砌内力计算简图如图 4.5.9 所示。

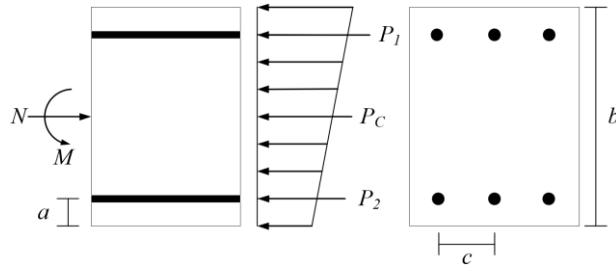


图 4.5.9 二次衬砌内力计算简图

图中 P_1 和 P_2 分别表示外侧、内侧钢筋集中力, P_C 为混凝土平均集中力, M 、 N 为截面弯矩和轴力, a 为钢筋保护层厚度、 b 为衬砌厚度、 c 为纵向钢筋间距。

在偏心压力作用下, 二次衬砌外侧钢筋应力为 σ_{s1} , 内侧钢筋应力为 σ_{s2} , 对应产生的钢筋应变分别为 ε_1 、 ε_2 , 衬砌纵截面面积为 A , 纵向钢筋截面面积为 A_s , 对应位置的外侧、内侧混凝土应力分别为 σ_{c1} 、 σ_{c2} 。

(1) 静力平衡条件:

$$N = \frac{1}{2}(\sigma_{c1} + \sigma_{c2})A + (\sigma_{s1} + \sigma_{s2})A_s \quad (4.5.9-1)$$

$$M = (P_1 - P_2)\left(\frac{b}{2} - a\right) + \frac{1}{12}b(\sigma_{c1} - \sigma_{c2})A \quad (4.5.9-2)$$

(2) 变形条件:

$$\varepsilon_s = \varepsilon_c = \varepsilon \quad (4.5.9-3)$$

式中: ε_s 为钢筋应变, ε_c 为混凝土应变, ε 为截面应变。

(3) 物理条件: 根据钢筋和混凝土受压应力应变本构关系, 将结构受力分为三个阶段即弹塑性阶段、屈服阶段和破坏阶段, 其公式如下:

1) 钢筋:

$$\sigma_s = E_s \cdot \varepsilon_s \quad (0 \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_y) \quad (4.5.9-4)$$

$$\sigma_s = \sigma_y \quad (\varepsilon_y \leq \varepsilon_s) \quad (4.5.9-5)$$

2) 混凝土:

$$\sigma_c = \sigma_0 \left[2 \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} - \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \right)^2 \right] \quad (\varepsilon \leq \varepsilon_0) \quad (4.5.9-6)$$

$$\sigma_c = \sigma_0 \quad (\varepsilon_0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{cu}) \quad (4.5.9-7)$$

式中: ε_y 为钢筋屈服应变, σ_y 为钢筋屈服应力, σ_0 为峰值应力, 取 $0.85f_{cu}$, f_{cu} 为混凝土标准抗压强度, ε_0 为峰值应变, 取 0.002, σ_{cu} 为极限应变, 取 0.0035。

弹塑性阶段: 将钢筋视为理想均质的弹性体, 考虑到混凝土材料非弹性性质, 分别将式 (4.5.9—4) 和式 (4.5.9—6) 代入式 (4.5.9—1) 和式 (4.5.9—2) 中得轴力和弯矩计算公式:

$$N = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_0 \left[2 \cdot \frac{\varepsilon_{c1}}{\varepsilon_0} - \left(\frac{\varepsilon_{c1}}{\varepsilon_0} \right)^2 \right] + \sigma_0 \left[2 \cdot \frac{\varepsilon_{c2}}{\varepsilon_0} - \left(\frac{\varepsilon_{c2}}{\varepsilon_0} \right)^2 \right] \right\} A + (E_s \varepsilon_{s1} + E_s \varepsilon_{s2}) A_s \quad (4.5.9-8)$$

$$M = \left(\frac{b}{2} - a \right) \cdot (E_s \varepsilon_{s1} - E_s \varepsilon_{s2}) + \frac{b}{12} \left\{ \sigma_0 \left[2 \cdot \frac{\varepsilon_{c1}}{\varepsilon_0} - \left(\frac{\varepsilon_{c1}}{\varepsilon_0} \right)^2 \right] - \sigma_0 \left[2 \cdot \frac{\varepsilon_{c2}}{\varepsilon_0} - \left(\frac{\varepsilon_{c2}}{\varepsilon_0} \right)^2 \right] \right\} A \quad (4.5.9-9)$$

屈服阶段：当钢筋达到屈服应变时，对应混凝土应变小于峰值应变时，分别将式（4.5.9—5）和式（4.5.9—7）代入式（4.5.9—1）和式（4.5.9—2）中得轴力和弯矩计算公式：

$$N = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_0 \left[2 \cdot \frac{\varepsilon_{c1}}{\varepsilon_0} - \left(\frac{\varepsilon_{c1}}{\varepsilon_0} \right)^2 \right] + \sigma_0 \left[2 \cdot \frac{\varepsilon_{c2}}{\varepsilon_0} - \left(\frac{\varepsilon_{c2}}{\varepsilon_0} \right)^2 \right] \right\} A + 2\sigma_y A_s \quad (4.5.9-10)$$

$$M = \frac{b}{12} \left\{ \sigma_0 \left[2 \cdot \frac{\varepsilon_{c1}}{\varepsilon_0} - \left(\frac{\varepsilon_{c1}}{\varepsilon_0} \right)^2 \right] - \sigma_0 \left[2 \cdot \frac{\varepsilon_{c2}}{\varepsilon_0} - \left(\frac{\varepsilon_{c2}}{\varepsilon_0} \right)^2 \right] \right\} A \quad (4.5.9-11)$$

破坏阶段：当结构应变超过混凝土峰值应变时，结构承受压力不变，产生不可逆的持续变形，直至破坏。

根据不同受力阶段，将结构轴力（式 4.5.9—1）和弯矩（式 4.5.9—2）代入到综合安全系数公式中，即可得到二次衬砌的安全系数。

$$KN \leq R_a b x + R'_g A'_g (h_0 - a'_g) \quad (4.5.9-12)$$

$$KM \leq f_{ck} b x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + R'_g A'_g (h_0 - a'_g) \quad (4.5.9-13)$$

式中：x 为混凝土受压区高度，R'_g 为纵向钢筋抗压标准强度，A'_g 为纵向受压钢筋截面面积，h_0 为截面有效高度，a'_g 为纵受压钢筋合力点至受压边缘的距离。

4.5.10 爆破振动控制基准应按表 4.5.10 的要求确定。

表 4.5.10 爆破振动安全允许振速

序号	保护对象类别	安全允许质点振动速度(cm/s)		
		$f \leq 10\text{Hz}$	$10\text{Hz} \leq f \leq 50\text{Hz}$	$f > 50\text{Hz}$
1	土窑洞、土坯房、毛石房屋	0.15~0.45	0.45~0.9	0.9~1.5
2	一般民用建筑物	1.5~2.0	2.0~2.5	2.5~3.0
3	工业和商用建筑物	2.5~3.5	3.5~4.5	4.5~5.0
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	龄期：初凝~3d	1.5~2.0	2.0~2.5	2.5~3.0
		龄期：3~7d	3.0~4.0	4.0~5.0	5.0~7.0
		龄期：7~28d	7.0~8.0	8.0~10.0	10~12.0

注：1 表列频率为主振频率，系指最大振幅所对应波的频率。

2 频率范围可根据类似工程或现场实测波形选取。选取频率时亦可参考下列数据：露天浅孔爆破在 40~100Hz 之间；地下深孔爆破在 30~100Hz 之间，地下浅孔爆破 60~300Hz。

3 有特殊要求的根据现场具体情况确定。

条文说明

参见《公路隧道施工技术规范》（JTG/T 3660—2020）的有关规定。

4.5.11 隧道洞内环境和空气质量控制标准应按表 4.5.11 的要求进行确定。

条文说明

参见《公路隧道施工技术规范》（JTG/T 3660—2020）、《黄土公路隧道工程监测技术规程》（DB 14/T 1720—2018）的有关规定。

采用白炽灯照明时，施工地段不宜小于 15W/m²，运输巷道未成洞地段每隔 6m、成洞地段每隔 10m 装设 100W 灯一盏，漏水地段采用防水灯头与灯罩，瓦斯地段采用防爆灯头与灯罩。

表 4.5.11 隧道洞内环境和空气质量控制标准

序号	洞内环境监测项目			控制标准/允许浓度		
				MAC	PC-TWA	PC-STEL
1	长期监测	风速 (m/s)	全断面开挖	0.15~6.0	——	——
			导洞内	0.25~6.0	——	——
2		照度（W/m ² ）		≥15	——	——
3	长期监测	CO 浓度 (mg/m ³)	非高原 (海拔<2000m)	——	≤20	≤30
			高原 (海拔 2000～3000m)	≤20	——	——
			高原 (海拔>3000m)	≤15	——	——
4		烟尘浓度（m ⁻¹ ）		≤0.012	——	——
5		粉尘（≥10%游离 SiO ₂ ）浓度 (mg/m ³)		≤2	——	——
6		噪声 (dB(A))	洞内	——	≤85	——
			洞口（位于居民区）	——	≤70	——

7	抽样监测	温度（℃）		≤28	——	——
8		O ₂ 含量（%）		——	>19.5	——
9		CO ₂ 含量（mg/m ³ ）		——	≤9000	≤18000
10		CH ₄ （瓦斯）浓 度（%）	开挖面	≤1.5	——	——
			爆破地点 20m 以内风流中	≤1.0	——	——
			总回风道风流中	≤0.75	——	——
11		NH ₃ 浓度（mg/m ³ ）		——	≤20	≤30
12		NO 浓度（mg/m ³ ）		——	≤15	——
13		NO ₂ 浓度（mg/m ³ ）		——	≤5	≤10
14		H ₂ S 浓度（mg/m ³ ）		≤10	——	——
15	SO ₂ 浓度（mg/m ³ ）		——	≤5	≤10	

注：1 MAC：最高允许浓度，指在施工作业期间任何时间都不应超过的浓度。

2 PC-TWA：时间加权平均容许浓度。

3 PC-STEL：短时间（15min）接触容许浓度。

4.6 围岩稳定性与支护效果判别标准

4.6.1 围岩与支护结构的稳定性应根据变形控制基准，结合位移时态曲线形态和位移速率变化趋势进行判别，必要时亦可结合支护结构应力时态曲线形态和应力增长速率变化趋势进行综合判别。

1 根据位移速率判断：

(1) 速率大于 1.0mm/d 时，围岩处于急剧变形状态，应加强初期支护；

(2) 速率变化在 0.2~1.0mm/d 时，应加强观测，做好加固的准备；

(3) 速率小于 0.2mm/d 时，围岩达到基本稳定。在黄土、软岩隧道中，当位移速率小于 0.3mm/d 时，亦可认为围岩达到基本稳定。

对于岩溶、膨胀岩土等不良地质和特殊岩土介质中，应根据具体情况，结合监控量测结果综合制定判别标准。

2 根据位移速率变化趋势判断：

(1) 当围岩位移速率不断下降时，即 $\frac{d^2u}{dt^2} < 0$ ，围岩趋于稳定状态；

(2) 当围岩位移速率保持不变时，即 $\frac{d^2u}{dt^2} = 0$ ，围岩尚不稳定，需发出预警，加强支护系统；

(3) 当围岩位移速率上升时, 即 $\frac{d^2u}{dt^2} > 0$, 围岩处于危险状态, 必须立即停止掘进, 采取应急措施, 控制变形。

3 根据结构应力、应变进行判断:

(1) 初期支护承受的应力、应变、压力实测值与允许值之比不小于 0.8 时, 围岩不稳定, 应加强初期支护;

(2) 初期支护承受的应力、应变、压力实测值与允许值之比小于 0.8 时, 围岩处于稳定状态。

条文说明

根据日常监控量测所收集到的数据, 绘制位移时态曲线。当位移曲线出现急剧增长或数据上下波动较大时, 说明围岩与支护结构处于不稳定状态, 应加强监控量测。当曲线趋于平缓, 数据变化不大, 且位移总量没有超过控制基准时, 说明围岩与支护结构处于稳定状态。

4.6.2 一般情况下, 二次衬砌的施作应在满足下列要求时进行:

- 1 隧道水平净空收敛速率及拱顶或底板垂直位移速率明显下降;
- 2 隧道位移相对值已达到总相对位移量的 90% 以上。

对浅埋、富水、软弱围岩、膨胀岩土等特殊地段, 应视现场具体情况, 结合监控量测数据综合确定二次衬砌施作时间。其中, 黄土隧道二次衬砌应及时施作仰拱及仰拱回填层, 结合监控量测结果, 在隧道围岩变形基本稳定后, 施作二次衬砌拱墙; 软岩大变形隧道二次衬砌应根据“适当释放、控制变形、适时封闭”的原则和设计要求确定施作时机。

条文说明

二次衬砌和仰拱的施作时间直接影响到衬砌结构的受力状态和安全稳定性, 过早施作会使二次衬砌承受较大的围岩压力, 过晚又不利于初期支护的稳定。因此, 在施工中应进行监控量测, 及时掌握围岩和支护结构的变化规律, 确定二次衬砌和仰拱的施作时间, 使衬砌结构安全可靠。对浅埋、软弱围岩等特殊地段, 单靠工程类比法进行设计时, 不能保证设计的可靠性和合理性, 所以应根据工程现场的实际具体情况, 依据现场监控量测提供的有效资料, 确定二次衬砌的施作时间, 以保证二次衬砌受力合理、安全、可靠、耐久。

4.7 仪器与传感器的技术要求

4.7.1 监控量测系统的测试精度应满足设计要求。拱部下沉、净空收敛、地表沉降、隧底隆起测试精度为 0.1~1.0mm, 围岩内部位移测试精度为 0.1mm, 爆破振动速度测试精度为 0.01cm/s。其它监控量测项目的测试精度结合元器件的精度确定。

条文说明

由于采用的测试仪器不同，量测精度也不同。本条规定的测试精度为测试的最低精度。

4.7.2 隧道初期支护变形监测采用全站仪自由设站时，应符合下列规定：

1 全站仪测距精度应不低于 $m_s=2+2\text{ppm}$ ，测角精度应不低于 $m_\alpha=2''$ 。

2 当全站仪精度为 $m_s=2+2\text{ppm}$ ， $m_\alpha=1''$ 时，后视基准点与监测断面的水平距离宜为 50~150m，测站点与监测断面的水平距离宜为 40~60m。

3 当全站仪精度为 $m_s=2+2\text{ppm}$ ， $m_\alpha=2''$ 时，后视基准点与监测断面的水平距离宜为 50~150m，测站点与监测断面的水平距离不宜大于 40m。

条文说明

在长安大学《大跨度黄土公路隧道结构稳定性及控制技术研究》等项目的研究中，对不同精度全站仪对边测量隧道变形的误差计算和分析表明，采用条文中规定的后视基准点与监测断面的水平距离、测站点与监测断面的水平距离时，全站仪对边测量隧道变形的精度较高。监控量测成果能够满足隧道工程建设的要求。

应用全站仪对边测量监测拱部沉降时，监测精度受测站位置和测角精度的影响较大。实际监测工作中，需尽量采用测角精度高的全站仪提高监测精度。研究表明：当后视基准点与监测断面的水平距离在 50~150m，且测站点与监测断面的水平距离为 40~60m 时，两车道公路隧道监测精度可达 0.43~0.65mm；三车道公路隧道监测精度可达 0.45~0.67 mm；四车道公路隧道监测精度可达 0.46~0.68mm。监测精度小于 1mm。

应用全站仪对边测量监测净空收敛时，根据监测精度的影响因素，可分为水平测线和斜测线。对上半断面水平测线监测精度的研究表明：当测站点与监测断面的水平距离为 40~60m 时，测站点在隧道中心线附近时的量测精度最高；两车道公路隧道监测精度可达 0.53~0.63mm；三车道公路隧道监测精度可达 0.61~0.66mm；四车道公路隧道监测精度可达 0.61~0.68mm。对最大开挖线水平测线监测精度的研究表明：当测站点与监测断面的水平距离为 40~60m 时，测站点在隧道中心线附近时的量测精度最高；两车道公路隧道监测精度可达 0.61~0.64mm；三车道公路隧道监测精度可达 0.61~0.68mm；四车道公路隧道监测精度可达 0.63~0.79mm。对拱腰和拱顶斜测线监测精度的研究表明：测站点与监测断面的水平距离为 40~60m 时，测站点在拱腰和拱顶水平投影中心时的量测精度最高；两车道公路隧道监测精度可达 0.53~0.61mm；三车道公路隧道监测精度可达 0.55~0.62mm；四车道公路隧道监测精度可达 0.61~0.65mm。对边墙和拱顶斜测线监测精度的研究表明：测站点与监测断面的水平距离为 40~60m 时，测站点在隧道中心线附近时的量测精度最高；两车道公路隧道监测精度可达 0.47~0.56mm；三车道公路隧道监测精度可达 0.51~0.57mm；四车道公路隧道监测精度可达 0.53~0.59mm。监测精度小于 1mm。

4.7.3 测量仪器和元器件的精度与量程应满足表 4.7.3 的要求，量测仪器和元器件的量程应满足设计要求，并具有良好的防震、防水、防腐及可靠、稳定、耐久性能。

表 4.7.3 量测仪器和元器件的精度

序号	项目名称	仪器和元器件	仪器和元器件量测精度	量程
1	洞内、外观察	现场观察、数码相机、罗盘仪	——	——
2	拱部下沉	精密水准仪	0.1mm	——
		全站仪	1mm	
3	净空收敛	收敛计	0.01mm	——
		全站仪	1mm	
4	地表沉降	精密水准仪	0.1mm	——
		全站仪	1mm	
		柔性测斜仪	0.1mm	
5	围岩压力	振弦式土压力盒	综合误差 $\leq 0.1\%$ F.S.	0~0.4MPa
6	钢架应力	格栅钢架 振弦式钢筋应力计	综合误差 $\leq 0.1\%$ F.S.	$\pm 2000\mu\epsilon$
		型钢钢架 振弦式表面应变计		$\pm 2000\mu\epsilon$
7	喷射混凝土应力	振弦式混凝土应变计	综合误差 $\leq 0.1\%$ F.S.	$\pm 1000\mu\epsilon$
8	初期支护与二次衬砌接触压力	振弦式土压力传感器	综合误差 $\leq 0.1\%$ F.S.	0~0.3MPa
9	二次衬砌混凝土应力	振弦式混凝土应变计	综合误差 $\leq 0.1\%$ F.S.	$\pm 1000\mu\epsilon$
10	二次衬砌钢筋应力	振弦式钢筋应力计	综合误差 $\leq 0.1\%$ F.S.	$\pm 1000\mu\epsilon$
11	纵向连接筋应力	振弦式钢筋应力计	综合误差 $\leq 0.1\%$ F.S.	$\pm 1000\mu\epsilon$
12	锚杆轴力	振弦式锚杆测力计	综合误差 $\leq 0.1\%$ F.S.	$\pm 2000\mu\epsilon$
13	锁脚锚管应力	光栅光纤测力锚管	光纤光栅的波长-应变灵敏度系数优于 0.673，应变测量误差小于 $5\mu\epsilon$ ，弯矩测量误差小于 10 N·m	波长解调频率 0~100Hz
14	围岩内部位移	机械式多点位移计	0.1mm	30~60mm
		分层沉降磁环	0.1mm	50~500mm
15	隧底隆起	精密水准仪	0.1mm	——
16	爆破振动	振动传感器	0.01cm/s	0~35cm/s
17	水压力	孔隙水压计	0.01MPa	0~0.6MPa
18	水量	流量计、三角堰	——	——

注：F.S 为元器件满量程。

条文说明

量测仪器和元器件除了要满足表 4.7.3 的精度要求外，还要根据隧道实际情况，确定其量程。由于元器件埋设于隧道内，施工影响大，环境条件差，因此要求量测仪器和元器件具有良好的防震、防水、防腐及可靠、稳定、耐久性能。

4.7.4 对于特殊地质、复杂结构等重大隧道工程，宜根据监控量测方案要求选择土压力盒、混凝土应变计、水压力计等埋入式元器件作为永久性元器件。

4.7.5 隧道洞内环境监测分析仪器的测试精度要求宜满足 $\leq \pm 0.1\%F.S$ （F.S 为元器件满量程），仪器量程应满足相关规范和设计要求，并具有良好的准确性和稳定性。

4.8 监控量测方法

4.8.1 隧道施工过程中应进行洞内、外观察。洞内观察应分为开挖工作面观察和已施工地段观察两部分。

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，填写开挖工作面地质状况记录表（附录 A），并与地勘资料进行对比。观察到的有关情况和现象，应详细记录，并绘制隧道开挖工作面及两侧素描图，要求每个断面至少绘制 1 张，同时进行数码成像。

开挖工作面观察是对开挖后没有支护的围岩进行观察，主要是了解开挖工作面下列的工程地质和水文地质条件：

- 1 岩质种类和分布状态，结构面位置的状态；
- 2 岩石的颜色、成分、结构、构造及风化情况；
- 3 地层时代及岩体产状；
- 4 节理性质、组数、间距、规模、节理裂隙的发育程度和方向性，结构面状态特征，充填物的类型和产状等；
- 5 断层的性质、产状、破碎带宽度、特征等；
- 6 地下水类型、涌水量大小、涌水位置、涌水压力、湿度等；
- 7 开挖工作面的稳定状态、有无剥落现象。

已施工地段的观察每天至少应进行一次，其目测内容如下：

- 1 初期支护完成后对喷层表面的观察以及裂缝状况的描述和记录，要特别注意喷射混凝土是否发生剪切破坏；
- 2 有无锚杆脱落或垫板陷入围岩内部的现象；
- 3 钢架有无被压屈、压弯现象；

4 是否有底鼓现象。

已施工地段观察应记录喷射混凝土、锚杆、钢架和二次衬砌等的变形和工作状态。观察中如果发现异常现象要详细记录，同时记录发现时间、距开挖工作面的距离等信息。

洞外观察重点应在洞口段和洞身浅埋段，记录地表开裂、地表变形、边坡及仰坡稳定状态、地表水渗漏情况等，同时还应对地面建（构）筑物进行观察。

条文说明

在隧道工程中，开挖前的地质勘探工作很难提供准确、详实的地质资料，所以有必要在隧道每次开挖后进行细致的观察，通过观察可获得与围岩稳定有关的直观信息，可以预测开挖面前方的地质条件，根据喷层表面状态及锚杆的工作状态，分析支护结构的可靠程度。开挖工作面观察应在每次开挖后进行，观察中发现围岩条件恶化时，应立即采取相应处理措施；观察后应及时绘制开挖工作面地质素描图，同时进行数码成像，填写开挖工作面地质状况记录表（附录 A），并与地勘资料进行对比。

4.8.2 隧道内变形监控量测宜采用全站仪自由设站非接触量测方法，净空收敛宜采用对边测量法。全站仪的测量原理和方法见附录 B。

条文说明

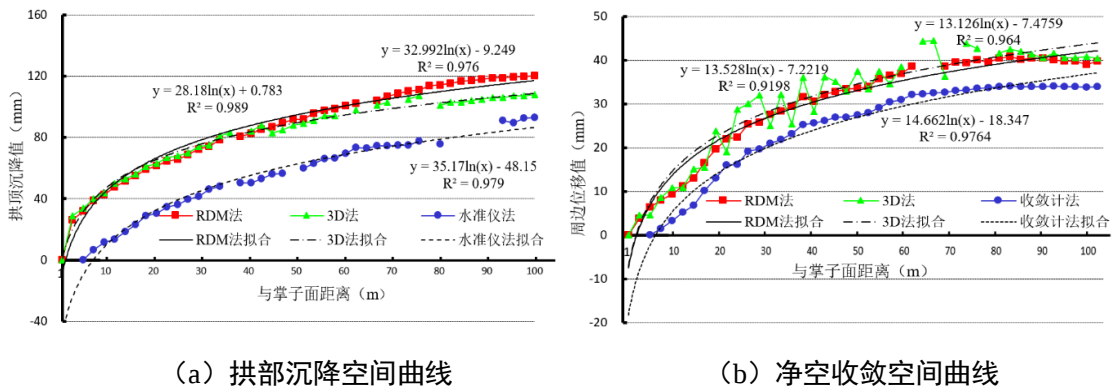
以往隧道工程施工中采用的变形量测方法为接触量测：拱部沉降采用精密水准仪量测，净空收敛采用收敛计量测。这种方法量测时劳动强度大、效率低，而且常与施工互相干扰。当采用环形开挖留核心土法时，在核心土未开挖前，由于核心土的阻挡，接触法将无法进行量测，这会造成初测滞后，从而丢失一部分甚至是一大部分前期隧道围岩变形信息，因而量测结果不能真实完整地反应隧道围岩变形。尤其是随着大断面隧道的日益增多，施工方法多变，传统的接触量测方法已经无法满足隧道施工的要求。

近些年来，全站仪在我国的工程测量中已经得到了广泛应用，普通全站仪的测距精度可以达到 $\pm(2\text{mm}+2\text{ppm})$ 甚至 $\pm(1\text{mm}+1\text{ppm})$ ，测角精度普遍可以达到 $1''\sim 0.5''$ 。随着测量仪器精度的逐步提高和计算机的发展，为隧道围岩变形采用全站仪非接触量测提供了必要的硬件条件。全站仪自由设站非接触量测监测隧道围岩变形的优点：

- (1) 测量时不需要接触测点，测量过程更加快速，降低劳动强度；
- (2) 测量过程中不干扰其它施工工序的正常有序进行；
- (3) 操作简单，监测结果直观，并可以及时反馈监测信息；
- (4) 每个断面可以监测多个部位的变形值，收敛测线的布设也更加灵活；
- (5) 克服接触量测的初测滞后性，确保数据的完整性。

在长安大学《大跨度黄土公路隧道结构稳定性及控制技术研究》等项目的研究中，通过在隧道施工现场对传统接触量测、全站仪自由设站三维坐标量测和对边测量（RDM）进

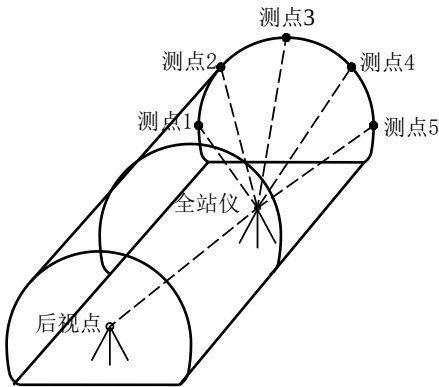
行对比试验，分析了三种方法的测量精度和优点，量测仪器采用拓普康全站仪 GTS-751（测距精度 2mm+2ppm，测角精度 1"），SWJ-IV 收敛计（最小读数 0.01mm），DSZ3 自动安平水准仪（1km 往返误差±1.0mm）。测试结果如说明图 4.8.2-1 所示。



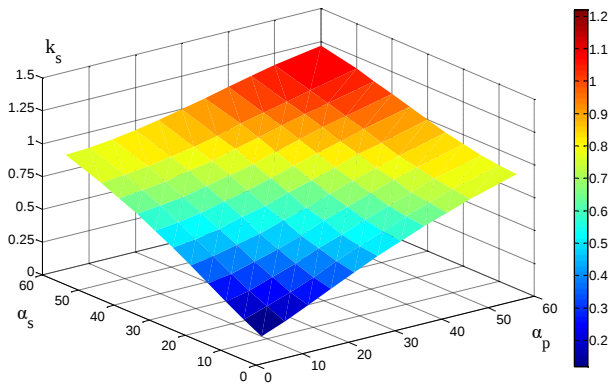
说明图 4.8.2-1 对比试验测试结果

对比测试结果表明，核心土开挖前隧道发生了 17.7%的拱部沉降量和 28.8%的收敛值，这部分量值是接触量测法测不到的；采用全站仪对边测量法量测隧道净空收敛比全站仪三维坐标法精度高，故推荐采用全站仪对边测量法量测隧道变形。

同时，依据误差传播定律，以单洞三车道公路隧道为例，对测角精度为 2"，测距精度为±（3mm+2ppm）与测距精度为±（2mm+2ppm）的全站仪对边量测法监测隧道变形进行误差计算和分析（说明图 4.8.2-2 和说明图 4.8.2-3），确定不同精度全站仪量测隧道变形的适用性。



说明图 4.8.2-2 全站仪对边量测隧道变形示意图



说明图 4.8.2-3 测距精度影响系数

4.8.3 隧道内变形测点应按规定进行布设，全站仪自由设站非接触量测宜采用膜片式回复反射器作为测点靶标，靶标应牢固粘附在预埋件上，并应采取保护措施。

条文说明

与传统的接触量测的主要区别在于，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塑料薄膜构成，反面涂有压敏不干胶，它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，应采取一定的措施对其进行保护，以避免施工时反射膜片表面被覆盖或污染，同时施工单位应和监控量测单位加强协调工作，保证预埋件不被碰歪和碰掉。与传统接触式监控量测方法相比，该方法能够快速获取测点的位移数据，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等特点。

4.8.4 隧道内变形速率小于 1mm/d 时，应采用收敛计进行净空收敛量测，采用精密水准仪进行拱部下沉量测。

采用收敛计量测时，测点应采用焊接或钻孔预埋。收敛计测量原理和方法见附录 C。

4.8.5 拱部下沉量测采用精密水准仪量测时，应采用铟钢挂尺进行，测点应与隧道外监控量测基准点进行联测。拱部下沉量测方法及相关记录表见附录 D。

4.8.6 地表沉降监控量测宜采用全站仪，沉降有严格控制要求时应采用精密水准仪或柔性测斜仪。

4.8.7 地表沉降采用全站仪或精密水准仪量测时，后视点应设置在地表沉降影响范围之外，测点采用地表钻孔埋设，测点四周用水泥砂浆固定。

4.8.8 地表沉降采用柔性测斜仪量测时，基准点应设置在地表沉降影响范围之外，测点应放置在地表沟槽中，并用覆土覆盖保护。柔性测斜仪测量原理和测量方法见附录 E。

条文说明

地表沉降一般用精密水准仪、铟钢尺、全站仪或柔性测斜仪进行测量，量测结果能反映浅埋隧道开挖过程中地表变形的全过程，其量测精度一般为 $\pm 0.1\sim 1.0\text{ mm}$ 。浅埋隧道地表沉降量测的重要性，随隧道埋深变浅而增大。

地表沉降量测断面宜与洞内净空收敛和拱部下沉量测设置在同一断面，当地表有建筑物时，应在建筑物周围增设地表沉降观测点。在隧道纵向（隧道中线方向）至少布置一个纵向断面。在横断面上至少应布置 11 个测点，两测点的距离为 $2\sim 5\text{m}$ 。在隧道中线附近测点应布置密一些，远离隧道中线应疏一些。

地表沉降量测方法和拱部下沉量测方法相似，即通过测点不同时刻标高 h ，求出两次量测的差值 Δh ，即为该点的下沉值。需要注意的是，参考点（基准点）必须设置在工程施工影响范围以外，以确保参考点（基准点）不下沉，并在工程开挖前对每一个测点读取初始值。一般在距离开挖面前方 H_0+H_t 处（ H_0 为隧道埋深， H_t 为隧道开挖高度）就应对相应测点进行超前监控量测，然后随着工程的进展按一定的频率进行监控量测。在读数时各项限差宜严格控制，每个测点读数误差不宜超过 0.3mm ，对不在水准路线上的观测点，一

个测站不宜超过 3 个, 超过时应重读后视点读数, 以作核对。首次观测时, 对测点进行连续三次观测, 三次高程之差应小于 $\pm 1.0\text{mm}$, 取平均值作为初始值。

4.8.9 对于具有显著偏压和非对称变形特性的地层, 隧道内变形可采用三维坐标法进行测量。

4.8.10 隧道浅埋段应加强对地表沉降和拱部下沉的监测。

4.8.11 围岩内部位移量测宜采用多点位移计, 浅埋隧道上覆岩土体内竖向变形量测宜采用分层沉降磁环。

多点位移计和分层沉降磁环应钻孔埋设和安装, 通过专用设备读数。多点位移计工作原理和量测方法见附录 F, 分层沉降磁环工作原理和量测方法见附录 G。

条文说明

为了判断开挖后围岩的松动区、强度下降区以及弹性区的范围, 确定围岩位移随深度变化的关系和判断锚杆长度是否适宜, 以便确定合理的锚杆长度, 有必要对围岩内部变形进行监控量测。

4.8.12 钢架和钢筋应力监控量测宜采用振弦式传感器。型钢钢架应采用表面应变计, 焊接在钢架内、外两侧翼缘。格栅钢架和钢筋应采用钢筋应力计, 焊接在格栅主筋或钢筋截断部位。

条文说明

钢架和钢筋应力监控量测属于选测项目, 具体监控量测内容应根据监控量测设计而定, 目前应力监控量测主要采用振弦式传感器。振弦式传感器通过频率接收仪获得读数, 依据频率—量测参数率定曲线换算出相应量测参量值。型钢钢架应力采用表面应变计进行量测, 应把传感器成对焊接在钢架两侧翼缘内测点位置。格栅钢架应力采用振弦式钢筋计进行量测, 应将格栅主筋截断并把钢筋计对焊在截断部位。

4.8.13 喷射混凝土和混凝土应力量测宜采用振弦式传感器, 传感器应固定于混凝土结构内的相应测点位置。

条文说明

为了解二次衬砌混凝土的应力状态, 掌握喷射混凝土受力状况, 有必要对喷射混凝土和二次衬砌模筑混凝土进行应力量测。

混凝土应变计是量测混凝土应力的常用仪器, 量测时将应变计埋入混凝土内, 通过频率测定仪测出应变计振动频率, 然后从事先标定出的频率—应变曲线上求出应变, 再转求应力。

测定混凝土应力时, 应根据具体情况和要求进行定期测量, 每次每个测点的测量应不小

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/907140060015006113>