****

铁路隧道支护变形自动化监控量测标准

Technical Standard for Automatic Monitoring Measurement

of Railway Tunnel

**（征求意见稿）**

**（在提交反馈意见时，请将知道的相关专利和支持性文件一并附上）**

**T/CECS XXX—20XX**

**中 国 工 程 建 设 标 准 化 协 会 标 准**

Xxxx出版社

**中国工程建设标准化协会标准**

铁路隧道支护变形自动化监控量测标准

Technical standard for automatic Monitoring Measurement

of Railway Tunnel

**（征求意见稿）**

**T/CECS XXX—20XX**

主编单位：中铁二院工程集团有限责任公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：xx年xx月xx日

Xxxx出版社

2021年·北京

中国工程建设标准化协会公告

第XXX号

关于公布《铁路隧道支护变形自动化监控量测标准》的公告

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，由中铁二院工程集团有限责任公司等单位编制的《铁路隧道支护变形自动化监控量测标准》，经本协会铁道分会组织审查，现批准发布，编号为T/CECS\*\*-2021，自2023年\*月\*日起施行。

中国工程建设标准化协会

XXX年XX月XX日

前 言

本标准是在贯彻落实“ 交通强国建设纲要”的发展奋斗目标，努力实现交通强国、铁路先行，更好的为铁路建设和运营提供基础支撑的背景下，为推动快速发展的物联网信息技术在铁路工程建设领域规范应用，进一步提高铁路隧道监控量测工作中的智能化、信息化水平，推广少人、无人的隧道监控量测技术方法，提高铁路隧道监控量测工作环节的经济性和可靠性，为保障铁路隧道施工质量安全提供技术支撑。

本标准共分为8章，主要包括：总则，术语，基本规定，自动化监控系统、自动化监测技术要求，自动化监控量测方法，数据分析及信息反馈、成果资料，另有4个附录。

请注意本标准的某些内容可能直接或间接涉及专利，本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国工程建设标准化协会铁道分会归口管理，由中铁二院工程集团有限责任公司负责具体技术内容的解释。本标准在使用过程中如有需要修改或补充之处，请将有关资料和建议寄送解释单位（地址：四川省成都市通锦路3号，邮政编码：610031），并抄送中国工程建设标准化协会铁道分会（北京市海淀区三里河路9号，邮政编码：100038），以供修订时参考。

**主编单位**：中铁二院工程集团有限责任公司

**参编单位：**中国铁路经济规划研究院有限公司

西南交通大学

中铁二局集团有限公司

中国铁道科学研究院集团有限公司

四川交奥科技有限责任公司。

**主要起草人：**杨昌宇、霍建勋、张慧玲、卿伟宸、王建捷、陈昂、王健宏

**主要审查人**（按章节顺序排序）**：**

**目录**

[1 总 则 1](#_Toc143759392)

[2 术语 2](#_Toc143759393)

[3 基本规定 6](#_Toc143759394)

[4 自动化监测系统 8](#_Toc143759395)

[4.1 一般规定 8](#_Toc143759396)

[4.2 系统功能要求 9](#_Toc143759397)

[4.3 系统性能要求 11](#_Toc143759398)

[4.4 系统维护和管理 12](#_Toc143759399)

[5 自动化监测技术要求 14](#_Toc143759400)

[5.1 一般规定 14](#_Toc143759401)

[5.2 自动化监控量测项目 14](#_Toc143759402)

[5.3 自动化监控量测断面、测点布置、频率、控制值、精度 16](#_Toc143759403)

[6 自动化监控量测方法 17](#_Toc143759404)

[6.1 一般规定 17](#_Toc143759405)

[6.2 洞内、外观察 17](#_Toc143759406)

[6.3 变形监控量测 17](#_Toc143759407)

[6.4 应力、应变监控量测 18](#_Toc143759408)

[6.5 围岩压力、接触压力量测 18](#_Toc143759409)

[6.6 爆破振动量测 19](#_Toc143759410)

[6.7 水压和水量量测 19](#_Toc143759411)

[6.8 裂缝量测 19](#_Toc143759412)

[6.9 气体浓度检测及风速、温（湿）度量测 20](#_Toc143759413)

[6.10 远程视频监视 20](#_Toc143759414)

[7 数据分析及信息反馈 22](#_Toc143759415)

[8 成果资料 23](#_Toc143759416)

[附录 24](#_Toc143759417)

**Contents**

[1 General Provisions 1](#_Toc143759392)

[2 Terms 2](#_Toc143759393)

[3 Basic Requirements 6](#_Toc143759394)

[4 Automatic Monitoring and Measurement System 8](#_Toc143759395)

[4.1 General Requirements 8](#_Toc143759396)

[4.2 System Functional Requirements 9](#_Toc143759397)

[4.3 System Performance Requirements 11](#_Toc143759398)

[4.4 System Management and Maintenance Requirements 12](#_Toc143759399)

[5 Technical Requirements of Automatic Monitoring and Measurement 14](#_Toc143759400)

[5.1 General Requirements 14](#_Toc143759401)

[5.2 Items of Automatic Monitoring and Measurement 14](#_Toc143759402)

[5.3 Cross-section, Measurement point layout, Frequency, Controlled value, Accuracy of Automatic Monitoring and Measurement 16](#_Toc143759403)

[6 Methods of Automatic Monitoring and Measurement 17](#_Toc143759404)

[6.1 General Requirements 17](#_Toc143759405)

[6.2 Observation inside and outside the Tunnel 17](#_Toc143759406)

[6.3 Monitoring and Measurement of Deformation 17](#_Toc143759407)

[6.4 Monitoring and Measurement of Stress and Strain 18](#_Toc143759408)

[6.5 Monitoring and Measurement of Surrounding Rock Pressure and Contact Pressure 18](#_Toc143759409)

[6.6 Monitoring and Measurement of Blasting Vibration 19](#_Toc143759410)

[6.7 Monitoring and Measurement of Water Pressure and Discharge 19](#_Toc143759411)

[6.8 Monitoring and Measurement of Cracks 19](#_Toc143759412)

[6.9 Monitoring and Measurement of Gas Concentration, Wind Speed, Temperature, Humidity 20](#_Toc143759413)

[6.10 Remote Video Monitoring 20](#_Toc143759414)

[7 Data Processing and Information Feedback 22](#_Toc143759415)

[8 Results 23](#_Toc143759416)

[Appendix 24](#_Toc143759417)

**1 总 则**

1.0.1 为规范铁路隧道工程自动化监控量测工作，推动自动化技术在铁路隧道监控量测领域的发展，做到安全适用、技术先进、经济合理、成果可靠，制定本技术标准。

1.0.2 本规范适用于采用矿山法施工的新建铁路隧道。

1.0.3 采用自动化监控量测的项目，应进行监控量测设计，施工阶段应编制监控量测实施方案，并将监控量测作为关键工序纳入现场施工组织。

1.0.4 铁路隧道自动化监控量测应积极采用新技术、新材料、新设备、新方法。

1.0.5 铁路隧道自动化监控量测除应符合本规范的规定外，尚应符合国家、行业现行有关标准的规定。

**2 术语**

2.0.1 自动化监控量测 automatic monitoring measurement

在隧道施工中，对围岩、地表、支护结构的变形和稳定状态，以及周边环境动态进行自动数据采集、信息处理、分析判断，实现隧道安全状态自动报告和即时预警。

2.0.2 必测项目 important 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、施工状态而需进行的日常监控量测项目。

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 比对测量 comparison measurement

为保证测量结果的有效性，在满足规范及监测项目测量精度要求前提下，采取不同测量方法或不同测量设备对同一监测点进行量测并比较其测量结果的过程。

2.0.5 自动化监测系统 automatic monitoring system

综合计算机技术、通信技术及传感器技术等构建的监测系统，实现监测数据的自动化采集、传输、处理和预警。

2.0.6 拱顶下沉 crown settlement

隧道拱顶测点的绝对沉降（量）。

2.0.7 隧道净空变化 convergence of tunnel inner perimeter

隧道周边上两点间相对位置的变化。

2.0.8 地表沉降（或地表隆起） settlement，subsidence

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（或地表隆起）。

2.0.9 隧底隆起 tunnel floor heave

隧道开挖后，由于围岩本身的性质以及围岩应力、水理作用和支护强度等因素引起的隧道底部向上隆起的现象。

2.0.10 水平位移 horizontal displacement

变形体沿水平方向的位移值。

2.0.11 垂直位移 vertical displacement

变形体沿竖直方向的位移值。

2.0.12 变形监控量测 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。

2.0.13 围压压力 surrounding rock pressure

隧道开挖后，因围岩变形或松弛等原因，作用于支护或衬砌结构上的压力。

2.0.14 基准点 basic benchmark

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。

2.0.15 测点 object points （survey points）

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

2.0.16 测线 survey lines

隧道净空变化或拱顶下沉量测时，设在洞周壁上两测点之间的连线。

2.0.17 相对位移 relative displacement

指位移与两测点间的距离之比。

2.0.18 控制值 controlled value

为满足隧道支护结构安全或周边环境保护要求，针对各监测项目的监测数据变化量所设定的限值。

2.0.19 非接触量测 non-contact measurement

指在不接触被测目标点的情况下，获取被测点的空间位移信息的方法。

2.0.20 智能型全站仪robotic total station

在全站仪的基础上，仪器安装自动目标识别与照准的新功能，在相关软件的控制下，可在无人干预的条件下自动完成多个目标的识别、照准与测量。

2.0.21 激光位移计laser displacement meter

利用激光技术进行位移测量的设备。

2.0.22 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。

2.0.23 三维激光扫描 3D laser scanning

利用激光测距的原理，通过记录被测物体表面大量密集点的三维坐标、反射率和纹理等信息，从而快速复建出被测目标的三维模型及线、面、体等各种图件数据的方法。

2.0.24 机器视觉 machine vision

通过图像摄取装置将被摄取目标转换成图像信号，并进行运算来抽取目标特征信息，进而根据判别结果实现监测、检测的方法。

2.0.25 隧道智能监测 tunnel intelligent monitoring

在计算机网络、大数据、物联网和人工智能等技术的支持下，隧道施工监测所具有的自动报告施工安全状态、自动预警、自动调整监测方案并提出应对技术措施的方法。

**3 基本规定**

3.0.1 铁路隧道应积极采用自动化监控量测。当符合下列情况时，应优先采用自动化监测。

1 监控量测频率要求较高的工程

2 监测周期较长的工程

3 现场实施人工监测难度较大的工程

4 其他有特殊要求的隧道工程

3.0.2 设计单位应进行监控量测设计，自动化监控量测设计应包括以下内容：

1 确定自动化监控量测项目；

2 确定测点布置原则、监控量测断面及监控量测频率；

3 确定监控量测控制值；

4 提出自动化监测系统基本要求。

3.0.3 施工单位应编制监控量测实施方案，施工监控量测方案应包括以下主要内容：

1 工程概况

2 监测目的和依据

3 监测内容、监测项目及测点布置

4 监测方法、精度、频率、控制基准

5 数据传输设备（导线）布置方案及使用期间保护措施

6 监测人员及仪器设备的配备

7 设备检验方案

8 比对测量的方法；

9 监测数据处理与信息反馈。

3.0.4 施工监控量测方案应经监理单位、建设单位批准后实施，并作为现场作业、检查验收的依据。

3.0.5 施工单位应成立现场监控量测小组，并纳入施工安全质量保证体系，负责及时将监控量测信息反馈于施工和设计。监控量测人员应经培训合格后上岗，并相对稳定，确保监控量测工作的连续性。

3.0.6 实施自动化监测的项目，应具备比对测量的条件，满足对现有数据的校验。

3.0.7 监测数据处理、监测信息反馈应满足相关规范要求。

3.0.8 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。监控量测数据应由专人负责管理，如有监控量测数据缺失或异常，应及时采取补救措施，并详细记录。

3.0.9 自动化监测系统应定期检查、维护，保证系统正常运行。

**4 自动化监测系统**

**4.1 一般规定**

4.1.1自动化监测系统应包含监测设备、数据通信设备、传输网络和软件平台。

4.1.2自动化监测系统的关键技术和设备，应根据铁路隧道工程的实际需要和系统运行环境，采用成熟、可靠的技术和满足国家或行业标准且易维护的产品。

4.1.3 监测设备应满足下列要求：

1 技术指标应满足相应的国家或行业标准的要求；

2 应优先选用经过长期测试稳定可靠的产品，产品应结构简单，维护方便，并能在铁路隧道监测过程中正常工作，主要性能满足相应的规范要求；

4.1.4 数据采集装置应满足下列要求：

1 技术指标应满足相应的国家或行业标准的要求；

2 应具有支持比对测量的功能及装置，在不影响自动化监测系统稳定运行条件下可实现比对测量数据采集。

4.1.5 通信介质应满足下列要求：

1 通信介质的选择应和系统网络结构相适应；

2 现场网络介质根据工程实际需要选定有线或无线形式，必要时应具备能够支持多种有线、无线通信组网方式和主备信道自动切换的功能；

3 网络通信速率宜综合考虑构建现场网络的通信方式、现场的网络环境状况等因素，以通信稳定可靠为原则选定。

4.1.6 系统电源、系统防雷设计应满足工程需要。数据自动采集装置、网络通信、系统电源等宜独立设置防雷装置，并可靠接地。

**4.2 系统功能要求**

4.2.1 数据采集及处理应具备以下功能：

1 应具有自动定时测量、远程控制测量、现场控制测量的功能；

2 能够在数据采集装置与系统平台之间进行双向数据通信；

3 能兼容并处理各种监测设备输出的信号，并将其转换为监测结果物理量；

4 具有人工监测数据录入的功能，实现对人工监测数据的处理。

4.2.3 监测系统运行状态判别及报警应具备以下功能：

1 具有对数据采集设备、电源、通信等硬件的工作状态进行自动监控和诊断，对异常状态自动报警的功能；

2 具有自动检验监测结果是否超过报警值，并进行报警的功能。

4.2.4 系统管理和维护应具备以下功能：

1 可对系统硬件进行维修和更换。

2 软件系统有明确的权限分级管理，具备可增减用户、更改口令和变更权限等功能；

3 软件平台中应包含监测项目测点布置示意图，并可进行修改操作；

4 可进行监测模块参数扩充和删减，可调整相应计算公式；

5 可对监测设备进行必要的设置和调整；

6 可对监测项目进行增、删、改、查操作；

7 可增、删测点，更改测点属性，包括监测点初始化、监测频次及报警值等；

8 可对系统通信设备进行增、删、改、查操作。

4.2.5 信息交换应具备以下功能：

1 可按铁路隧道监控量测技术管理要求进行监测信息反馈；

2 应在系统中预留相应的接口，以便与其他系统进行信息交换。

4.2.6 数据使用及维护应具备以下功能：

1 可对自动采集的数据进行筛选，排除异常数据干扰；

2 查询数据、查询结果，可用图表显示和导出；

3 可根据用户需要，生成各类监测报表，并输出相应监测成果曲线图，曲线图能清楚分辨监测点变化量；

4 应具备数据定期自动备份和手动备份的功能。

4.2.7 系统数据安全保护应具备以下功能：

1 可自建专用服务器或采用云服务；

2 有容灾保护与数据恢复功能，确保数据安全性、连续性；

3 具有SSL 证书，防止数据遭窃取和篡改；

4 能解析数据库通信流量，细粒度审计数据库访问行为，精准识别、记录数据安全威胁；

5 能兼容通用网络安全防护软件，确保系统自动化安全运行。

4.2.8 电源管理保护应具备以下功能：

1 系统电源可采用普通电源、不间断电源、移动电源等供电方式；

2 电源能自动切换，具备断电保护功能，并具有异常情况提醒功能。在外部电源突然中断时，后备电源供电时间不宜小于72h；

3 系统应设置过载保护。

4.2.9 根据隧道工程监控量测需要，可适时对自动化监测系统进行完善、升级。

**4.3 系统性能要求**

4.3.1 监测系统应具有较好的长期稳定性、可靠性、可扩展性。

4.3.2 平台软件需经测试，软件运行稳定，更新及时，软件开发和用户界面规范，软件使用便捷，并需根据铁路隧道工程特点预留相应的扩展空间。

4.3.3 硬件设施设备满足以下要求

1 设施设备维护便捷，接入到数据采集装置上的数据线等接口应方便现场检修或更换。

2 设备的温度、湿度适应能力应满足工作环境需要。

3 安装于户外的设备应具有良好的防雷、防潮、防锈和防侵入性能，具有抗振、抗电磁干扰等性能；

4、安装于隧道内的设备应具备防潮、防尘、防飞石能力。

4.3.4数据采集应符合以下要求

1 数据采集精度应满足测量精度要求；

2 数据反馈响应时间应满足工程需求；

3在被测物理量基本不变的条件下，采集数据的中误差应与设备标称精度相符。

4 采集的数据能反映监测对象的变化规律，具有良好的连续性、周期性，无系统性偏移；

**4.4 系统维护和管理**

4.4.1 应在工程施工前完成自动化监测系统建设，并进行系统调试及试运行，稳定运行72h 后方可投入使用。系统调试应包括下列内容：

1 监测设备的参数标定；

2 监测项目的初始值确定；

3 数据采集、传输、处理等软硬件设备的功能测试；

4 监测项目、监测频率及报警值的设定；

5 系统运行的稳定性和可靠性测试。

4.4.2 自动化监控量测实施单位应制定日常运行维护方案，按计划开展系统日常运行维护工作，并形成日常维护日志。

4.4.3 应加强自动化监测系统的维护和管理，并备有备品、备件。自动化监测设备使用期间，应每日对监测系统运行情况进行人工检查。隧道外设备在强台风、暴雨等特殊天气后宜进行1 次全面检查、维护。

4.4.4 自动化监测系统运行期间，应定期对监测设备进行检验，具体如下：

1 在自动化监测设备投入使用前，应进行一次检验工作

2 隧道施工期间检测周期不宜大于3月/次。

3 当发现监测数据异常或监测设备可能发生故障时，应立即进行设备检验。

4 在通过重要施工节点或采用特殊施工方法施工之前，应进行一次设备检验。

4.4.5 采用自动化监测应制定系统发生故障时保证不间断监测的应急预案。

4.4.6 施工完成后，对不纳入运营期间监测的外置设施设备应进行拆除。

**5 自动化监测技术要求**

**5.1 一般规定**

5.1.1 自动化监控量测应达到以下目的：

1 确保施工安全及结构的长期稳定性；

2 验证支护结构效果，确认支护参数和施工方法的合理性，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，为设计与施工提供依据。

5.1.2 正洞和辅助坑道监控量测设计应根据地质条件、开挖断面、支护参数、施工方法、周围环境及监控量测目的进行，综合确定监测项目、断面间距、监测频率等。

5.1.3 需开展长期监测的地段应做好监测元器件的保护和整体移交。

**5.2 自动化监控量测项目**

5.2.1 隧道自动化监控量测项目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5.2.2确定

表5.2.2 监控量测必测项目

| 序号 | 监控量测项目 | 监控量测方法 | 适用条件 |
| --- | --- | --- | --- |
| 1 | 洞内、外观察 | 视频监控、数码摄像、机器视觉 | 一般隧道 |
| 2 | 拱顶下沉 | 三维激光扫描、水准-测距联合测量、自动全站仪测量、机器视觉 | 一般隧道 |
| 3 | 净空变化 | 三维激光扫描、水准-测距联合测量、激光测距、自动全站仪测量、机器视觉 | 一般隧道 |
| 4 | 地表沉降、变形 | 水准-测距联合测量、自动全站仪测量、静力水准仪测量、机器视觉 | 隧道浅埋段 |
| 5 | 拱（墙）脚位移 | 水准-测距联合测量、自动全站仪测量、机器视觉 | 不良地质和特殊岩土隧道段 |
| 6 | 地表水平位移 | 全站仪、高精度卫星定位监测、三维激光扫描、地面SAR、机器视觉 | 洞口边仰坡 |
| 7 | 气体浓度 | 自动化气体浓度检测 | 有害气体隧道 |
| 8 | 温湿度（作业环境WBGT指数、相对湿度） | 自动化温、湿度检测 | 高地温隧道 |
| 9 | 超前探孔孔内温度 | 温度传感器 |

5.2.3 隧道工程可将满足隧道设计与施工特殊要求的监测项目作为选测项目，选测项目可按表5.2.3选择。

表5.2.3 监控量测选测项目

| 序号 | 监控量测项目 | 监控量测方法 |
| --- | --- | --- |
| 1 | 围岩压力 | 压力计 |
| 2 | 接触压力 | 压力计 |
| 3 | 锚杆轴力 | 锚杆轴力计 |
| 4 | 钢架内力 | 钢筋计、应变计 |
| 5 | 喷混凝土内力 | 混凝土应变计 |
| 6 | 二次衬砌内力 | 混凝土应变计、钢筋计 |
| 7 | 围岩内部位移 | 多点位移计 |
| 8 | 地中水平位移 | 自动化测斜 |
| 9 | 纵向位移 | 全站仪、三维激光扫描仪、多点位移计、滑动测位计 |
| 10 | 隧底隆起 | 自动全站仪测量、三维激光扫描仪、机器视觉 |
| 11 | 二次衬砌位移变化 | 自动全站仪测量、自动激光测距、三维激光扫描、机器视觉 |
| 12 | 开挖及支护断面扫描 | 三维激光扫描仪 |
| 13 | 爆破振动 | 振动仪 |
| 14 | 孔隙水压力 | 渗压计 |
| 15 | 水量 | 流量计 |
| 16 | 裂缝 | 成像设备、裂缝深度测试仪 |
| 17 | 风速 | 风速仪 |
| 18 | 炮孔温度 | 温度传感器 |
| 19 | 水温 | 测温仪 |
| 20 | 风管出风口温度 | 测温仪 |
| 21 | 洞口外环境温度 | 测温仪 |
| 22 | 围岩表面温度 | 热敏电阻温度计 |
| 23 | 围岩内部温度 | 温度传感器 |
| 24 | 初期支护表面温度 | 热敏电阻温度计 |
| 25 | 二次衬砌表面温度 | 热敏电阻温度计 |
| 26 | 二次衬砌内部温度 | 温度传感器 |
| 27 | 远程视频监控 | 视频监控设备 |

5.2.3 高地应力软岩大变形、高地温等不良地质隧道监控量测项目应符合《铁路隧道监控量测技术规程》Q/CR 9218相关技术要求。

**5.3 自动化监控量测断面、测点布置、频率、控制值、精度**

5.3.1 采用矿山法修建的新建铁路隧道自动化监控量测的断面及测点布置原则、读数频率、控制基准应符合铁路隧道监控量测相关标准要求。

5.3.2. 自动化监控量测系统的测试精度应满足工程技术需要，并满足铁路隧道监控量测相关标准要求。

**6 自动化监控量测方法**

**6.1 一般规定**

6.1.1 隧道工程实施自动化监测时，应根据监测项目的精度要求和现场作业条件明确相应的自动化监测方法，监测方法应简单、可靠、经济、实用。

6.1.2 除使用本规范所述的各种监测方法外，亦可采用能达到现行有关标准规定要求精度的新技术、新方法。

**6.2 洞内、外观察**

6.2.1 施工过程中应进行洞内、外观察。洞内观察可分开挖工作面观察和已施工地段观察两部分。

6.2.2 开挖工作面观察可在掌子面后方适宜位置设置高清数码成像或视频监控设备进行数据采集

1每次开挖后，对掌子面进行数码图像采集，及时绘制地质素描，并与勘察资料进行对比。

2通过视频监控设备，实时观察喷射混凝土、锚杆、钢架、二次衬砌及仰拱填充等的工作状态。

6.2.3 洞外观察重点应在洞口段、偏压段和洞身浅埋段，可设置视频监控设备实时观察地表开裂、地表变形、地表塌陷、边坡及仰坡稳定状态、地表洼地、地表水渗漏、地表建（构）筑物等情况。

**6.3 变形监控量测**

6.3.1 变形监控量测可采用接触量测或非接触量测方法。非接触量测可采用三维激光扫描、水准-测距联合测量、自动全站仪测量、机器视觉等进行，接触测量可采用静力水准仪等进行。

6.3.2 隧道洞内变形监测基准点和工作基点应设置在受影响范围外的稳定区域，并与隧道外监控量测基准点进行联测。

**6.4 应力、应变监控量测**

6.4.1 应力、应变监控量测可采用光纤光栅传感器、振弦式传感器。

6.4.2光纤光栅传感器可通过调制解调仪获得读数，振弦式传感器可通过频率计获得频率读数，并换算出相应量测值。

6.4.3 钢架应力量测时，传感器应成对埋设在钢架的内、外侧，并应符合下列要求：

1采用光纤光栅传感器进行钢架应力量测时，应把光纤光栅传感器焊接（氧弧焊）或粘贴在相应测点位置。

2采用振弦式传感器进行型钢应力量测时，应把传感器焊接在钢架冀缘内测点位置；采用振弦式传感器进行格栅拱架应力量测时，应将格栅主筋截断并把传感器对焊在截断部位。

6.4.4 混凝土、喷混凝土内力量测时，传感器固定于混凝土结构内的相应测点位置。

**6.5 围岩压力、接触压力量测**

6.5.1 围岩压力与接触压力监测可采用光纤光栅传感器、振弦式传感器。

6.5.2 传感器埋设应符合下列规定：

1 传感器应根据监测要求布设在围岩与初期支护、初期支护与二次衬砌之间。

2 传感器埋设时受力面应与所监测的压力方向垂直，并紧密接触。

6.5.3 传感器的量程宜为设计压力的2 倍。

**6.6 爆破振动量测**

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

6.6.2 传感器的安装应与被测对象刚性粘接，并使传感器的定位方向与所测量的振动方向一致。

**6.7 水压和水量量测**

6.7.1 隧道集中出水点静水压力监控量测可采用压力表进行。量测时应对监测点周边其余较大出水点进行临时封堵。

6.7.2 衬砌背后孔隙水压监控量测可采用渗压计进行，渗压计的埋设应符合下列规定：

1 埋设前，渗压计透水石应在清水中浸泡饱和，并应排除透水石中的气泡。

2 埋设渗压计的钻孔应圆直、干净，水压力监测段应回填透水材料。

6.7.3 渗压计和压力表的量程宜为静水压力和超孔隙水压力之和的2 倍。

6.7.4 水量监控量测可采用流量计进行。

**6.8 裂缝量测**

6.8.1 裂缝监测包括裂缝走向、长度、宽度、深度等，可采用下列监测仪器：

1 裂缝走向、长度、深度监测可采用成像设备。

2裂缝深度监测可采用裂缝深度测试仪。

6.8.2 裂缝监测采用成像设备时，应设置具有标定功能的参照物。

**6.9 气体浓度检测及风速、温（湿）度量测**

6.9.1 气体浓度检测应根据瓦斯、H2S、CO、SO2、CO2、NO2、NH3、H2、O2 等气体类型配备相应的气体浓度检测仪。

6.9.2 气体浓度检测应符合下列规定：

1 自动监测可采用固定式、实时在线检测仪。

2 自动监测传感器悬挂位置应能反映风流中瓦斯及有害气体的最高浓度。

3 瓦斯监测应符合现行《铁路瓦斯隧道技术规范》 TB 10120 的规定。

6.9.3 隧道内风速自动连续监测时可采用固定式风速仪。监测点宜在监测断面内均匀布置。

6.9.4 隧道内环境温湿度监测应符合《铁路隧道监控量测技术规程》Q/CR 9218相关技术要求。

**6.10 远程视频监视**

6.10.1 远程视频监视系统应包括前端采集、数据传输、视频显示等三个部分。

6.10.2 远程视频监控现场应有适当的照明条件，当无照明条件时可采用红外设备进行监控。

6.10.3 远程视频监视系统的前端采集摄像头应覆盖隧道开挖面等重点工作区域。

**7 数据分析及信息反馈**

7.0.1 数据的采集、预处理由系统自动进行，数据的分析应由具备岩土工程、结构工程、工程测量的综合知识和工程实践经验并具有较强综合分析能力的人员承担。

7.0.2 软件平台应具备对数据可靠性的判断方法，包括以下内容：

1 原始数据过滤方法；

2 基准网点的稳定性分析方法；

3 异常数据的标识。

7.0.3监控量测数据分析可采用指数函数、对数函数、双曲线函数、分段函数、经验公式等进行。

7.0.4 监测过程中的成果资料提交及相关情况通知宜采用信息化方式进行反馈。

7.0.5 监测结果一旦触发报警，宜立即自动调整监测频率，进行加密监测。同时应立即发送报警信息至相关单位，报警信息宜包括工程名称、报警项目、测点编号、当前值及报警值、报警时间。

7.0.6 监测成果报表、变化曲线图应自动生成，并包含完善的信息。内容应符合《铁路隧道监控量测技术规程》Q/CR 9218相关技术要求。

7.0.7 监控量测信息反馈应根据监控量测数据分析结果，对工程安全性进行评价，并提出相应工程对策与建议。监控量测信息反馈流程、工程安全性评价及工程对策应符合《铁路隧道监控量测技术规程》Q/CR 9218相关技术要求。

**8 成果资料**

8.0.1 监控量测成果资料应包括以下内容：

1 监控量测设计；

2 监控量测实施方案及批复；

3 监控量测结果及周（月）报；

4 监控量测数据汇总表及观察资料；

5 监控量测工作总结报告。

**附录**

附表A 隧道净空变化量测记录表（激光测距）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 桩号 |  | | | | 施工方法 |  | | | 施工部位 |  | | 埋设日期 |  | | | |
| 测线编号 | 量测时间 | | | | 观测值 | | | | 平均值 | 温度修正值 | 修正后观测值 | 相对初次变化值（Δu） | 相对上次变化值 | 时间间隔 | 变化速率 | 备注 |
| 年 | 月 | 日 | 时 | 温度 | 第一次 | 第二次 | 第三次 |
| ℃ | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | d | mm/d |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

附表B 隧道净空变化量测记录表（自动全站仪测量）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 桩号 |  | | | | 施工方法 | |  | | 施工部位 |  | | 埋设  日期 |  | | |
| 测线编号 | 量测时间 | | | | 量测坐标值 | | | | 测线长度 | 相对初次变化值(△U) | 相对上次变化值 | | 时间间隔 | 变化速率 | 备注 |
| 测点： | | 测点： | |
| 年 | 月 | 日 | 时 | X | Y | X | Y | m | mm | mm | | d | mm/d |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |

附表C 拱顶下沉量测记录表（水准-测距联合测量）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 桩号 |  | | | | 施工方法 | |  | | 施工部位 |  | | 埋设  日期 |  | | |
| 测线编号 | 量测时间 | | | | 第一次 | 第二次 | 第三次 | 平均值 | 温度修正值 | 修正后测点高程 | 相对初次下沉值（Δu） | 相对上次下沉值 | 时间间隔 | 下沉速率 | 备注 |
| 年 | 月 | 日 | 时 | m | m | m | m | mm | m | mm | mm | d | mm/d |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

附表D 拱顶下沉量测记录表（自动全站仪测量）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 桩号 |  | | | | 施工方法 |  | 施工部位 |  | 埋设  日期 |  | |
| 测线编号 | 量测时间 | | | | 测量标高 | 原始标高 | 本次下沉量 | 累计下沉量 | | 下沉速率 | 备注 |
| 年 | 月 | 日 | 时 | m | m | mm | mm | | mm/d |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |

**本技术规程用词说明**

执行本技术规程条文时，对于要求严格程度的用词说明如下，以便在执行中区别对待。

（1）表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；

反面词采用“严禁”。

（2）表示严格，在正常情况均应这样做的用词：

正面词采用“应”；

反面词采用“不应”或“不得”。

（3）表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”；

反面词采用“不宜”。

（4）表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

**中国工程建设标准化协会标准**

铁路隧道支护变形自动化监控量测标准

Technical standard for automatic Monitoring Measurement

of Railway Tunnel

**T/CECS XXX—20XX**

（条文说明）

**目录**

[**1 总则** 1](#_Toc143763249)

[**3 基本规定** 3](#_Toc143763250)

[**4 自动化监测系统** 5](#_Toc143763251)

[**5 自动化监测技术要求** 8](#_Toc143763252)

[**6 自动化监控量测方法** 10](#_Toc143763253)

[**7 数据分析及信息反馈** 15](#_Toc143763254)

**Contents**

[1 General Provisions 1](#_Toc143759419)

[3 Basic Requirements 3](#_Toc143759420)

[4 Automatic Monitoring and Measurement System 5](#_Toc143759421)

[5 Technical Requirements of Automatic Monitoring and Measurement 8](#_Toc143759422)

[6 Methods of Automatic Monitoring and Measurement 10](#_Toc143759423)

[7 Data Processing and Information Feedback 15](#_Toc143759424)

（本条文说明系对重点条文的编制依据、存在的问题以及在执行中应注意的事项等予以说明，不具备与规范正文同等的效力，仅供使用者作为理解和把握暂行规范的参考。为了减少篇幅，只列条文号，未抄录原条文。）

**1 总则**

1.0.1 本标准编制过程中总结了自动化监测技术在我国建设工程领域中的应用情况，特别是自动化监测技术在隧道及地下工程中的应用成果与经验，体现了我国自动化监测技术的发展水平。编制的目的在于推动自动化监测技术在铁路隧道施工过程中的规范化、标准化应用，以此促进铁路工程建设水平、提高建设管控效率、降低施工风险、保证施工安全。

1.0.2 本技术标准主要适用于采用暗挖法施工的铁路隧道，隧道采用明挖施工的基坑工程、洞口边仰坡工程、隧道周边建筑环境等采用自动化技术手段进行监控量测时，可在执行《建筑基坑工程监测技术标准》GB 50497、《建筑边坡工程技术规范》GB 50330 、《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911等规范相关技术要求基础上 ，参照本技术标准执行。

1.0.4 铁路隧道，采用自动化监控量测设计、施工中，积极采用新技术、新材料、新设备、新工艺等，重视少人化、无人化技术发展，提高监测精度、降低工程投资，这是贯彻国家相关法规的体现，也是社会发展和技术进步的需要。但是，对于隧道监控量测而言，采用新技术、新材料、新设备、新工艺时，首先要保证其监测成果可靠性与实用性以确保施工安全。新技术、新工艺原则上不要求测量精度高于原技术要求且在安全措施的控制下，在隧道内完成试验验证；新材料应用的关键性能不低于已有技术，其施作环境要求不高于原有材料的要求；新设备的安全性能不低于已有设备。

**3 基本规定**

3.0.1 考虑到自动化监测技术目前处于逐步推广使用的阶段，本条对于何种条件下采用自动化监测技术进行了推荐性说明。主要建议以下几种情况下优先采用自动化监测技术：

1 监测频率要求较高的监测工程，即监测频率不低于一天一次；

2 监测周期较长的工程，即在常规监测频率要求下，对同一测点（线）监测周期超过2个月；

3 现场实施人工监测难度较大的工程，即人工方式监测难度较大的监测项目，此处“难度较大”也包含第一条频率过高导致的难度较大，另外也包含虽监测频率不高但项目地段偏僻或周边环境过于复杂的情况；

4 有特殊要求的隧道工程，如隧道周边存在对隧道变形极为敏感的道路、管线、建（构）筑物、保护文物设施等情况，需要即时根据隧道变形情况判断周边环境安全状态，或经经济技术比较认为自动化实施更加简便、经济的情况。

3.0.2 自动化监控量测设计需结合具体隧道工程、水文地质条件、支护参数、施工方法和监控量测目，现场的技术支持条等进行，其内容一般包括以下几个方面：

（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它相应规范、法规的要求选取。

（4）自动化监测系统的基本要求，根据项目的特点以及工程管理的需要，提出自动化监测系统应满足的功能、性能要求。

3.0.3 自动化监测实施方案是监测实施单位开展自动化监测的重要技术依据和文件。为规范自动化监测实施方案、保证质量，本条概括出了监测实施方案所包括的9 个主要内容。

3.0.6 目前，自动化监测技术在我国铁路隧道工程领域尚处于探索阶段，其技术理念、设备条件发展极为迅速，比对测量是确保自动化监测体系能够安全、有效服务工程建设的有效手段，为确保工程安全，在采用自动化监测技术时，应采用比对测量手段确保自动化设备的可靠性。

**4 自动化监测系统**

4.1.1 本条指定自动化监测系统所包含的内容。

4.1.2监测单位应对所用的设备进行校验，根据工程实际，采用可靠、成熟并经 过检验的仪器、设备、传感器进行监测工作。

4.1.3 本条对于传感器的选择原则做出基本要求。传感器要求有较好的耐久性，采用常用的标准化接口。

4.1.4 本条对采集装置的选择原则做出基本要求。采集装置应满足比对测量数据采集和自动化采集同时进行的要求。

4.1.5 本条对通信介质的选择原则做出基本要求。要求通信介质应根据工程现场需要，采用适合的通信介质合理布置，满足现场监测工作要求。

4.1.6 系统电源作为整个监测系统的支撑，必须进行可靠的设计；根据实施经验，雷击对监测系统破坏威胁性较大，因此系统的防雷设计也十分重要。

4.2.1 “自动巡测”指的是系统按照预先设定的监测频率、监测范围进行自动监测采集各个传感器数据，该采集行为具有周期性的特点；“人工选测”指的是系统按照人工发布的监测指令按照人工选择的范围和要求进行指定性的监测行为，该采集行为具有临时性的特点。

为满足各个系统平台之间的数据传输，不人为造成数据孤岛，系统平台应具备数据对接接口。

对监测仪器及传感器的信号采集和处理，主要针对传感器的振弦信号、电压信号等原始信号的采集，并应具有将采集到信号转换为模数、频率或直接是角度、力等形式的物理量。

某些监测参数无法实现自动化监测时，应有人工监测输入录入功能，保证数据分析的完整性。

4.2.3 监测系统应具备对自身系统状态的判断以及对超过报警值监测结果进行报警提示的功能。

4.2.4 系统平台应有清晰的权限分级分层管理机制，能对使用人员、监测参数、传感器、监测项目等进行有效管理。能满足新的监测技术及监测手段的调整要求，实现技术更替。

4.2.5 能实现在既定规则情况下的信息自动反馈，能实现平台间的数据共享。

4.2.6 工程现场对监测数据的影响较大，监测平台应设立数据筛选策略，对数据 的有效性进行校检，防止误报警发生。根据工程项目需要，生成各时间段的报表， 曲线图的曲线数量不宜过多，能清晰反映监测测点变化情况。数据备份应及时进行。

4.2.7监测系统有可能涉及区域安全性的敏感资料，应设有数据保护措施，目前云端服务器对数据保护力量较弱，有条件的监测机构应设立专用的监测数据服务器，对监测数据进行保护。

4.2.8供电设施作为整个系统运作的保障，应有专门的保护方案。恶劣天气雷击以及传感器短路会对监测系统造成严重破坏。建设供电系统时，作业人员应具有相应的专业资格许可证。

4.3.2本条侧重从系统的软件平台考虑，软件平台最初设计时对接入平台的数据量必定有一定的上限，相关指标参数可能会有所遗漏。当数据量达到设计上限要求时，系统运行稳定性和流畅性就会受到影响。因此应根据实际平台的使用情况，及时予以完善和升级。

4.3.3对各类设备需要具备的基本性能进行解释。

4.3.4数据采集设备单元或元器件需经过生产企业所在地计量产品监督单位的检定；

4.4.1本条提出监测系统试运行应不少于 72h（3 天），并应进行比对测量以保证数据有效性和准确性。

4.4.2本条规定自动化监测系统的维护和管理工作应由监测单位派专人负责，保障监测系统的运行稳定。

4.4.3本条对自动化监测系统检查频率提出具体要求。

4.4.4本条对自动化监测系统设备检验提出具体要求。

4.4.5本条提出系统故障时应有应急措施。

**5 自动化监测技术要求**

5.1.1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。

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

5.1.3 铁路隧道不良地质地段监控量测需统筹考虑长期监测项目的需要，运营期需开展长期监测的设备及元器件需移交运营管理单位。

5.2.1 隧道施工监控量测旨在现场采集可反映施工过程中围岩动态的实际信息，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。

5.2.2 必测项目是为了在设计、施工中确保围岩的稳定，并通过判断围岩的稳定性来指导设计、施工的经常性量测，是所有隧道进行的项目。这类量测通常测试方法简单，可靠性高，费用少，而且对监视围岩稳定、指导设计施工有巨大的作用。

围岩变形乃是围岩力学形态变化最直观的表现，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。因此必测项目以位移量测为首选量测项目。

不同于一般隧道主要进行净空变化量测，不良地质和特殊岩土铁路隧道尤其是大断面铁路隧道需重视拱部下沉的监测，特别是浅埋地段。大断面黄土隧道台阶法拱脚下沉显著，如说明图4.2.2所示，该图给出郑西客运专线秦东、潼洛川和高桥隧道台阶法试验段拱部下沉特征值（拱脚与拱顶下沉之比）随埋深变化的情况，显示出十分显著的拱脚下沉的特征。

高陡土质边仰坡、堆积体（层）、全风化土层、膨胀土、砂层洞口边仰坡存在的滑坡风险可能性较大，通过地表沉降、地表水平位移与地中水平位移监测，能够有效掌握洞口边坡稳定性状况，确保施工安全。

高地温隧道施工对人员健康、施工安全影响大，出现高温伤害事故后其后果往往较为严重。根据拉林线桑珠岭隧道、大瑞线高黎贡山隧道以及拉日线吉沃希嘎隧道等高地温隧道工程经验，在设计、施工中掌握作业环境WBGT指数、相对湿度、超前探孔孔内温度等温湿度指标，并通过温湿度情况来指导设计、施工，是所有高地温隧道确保施工安全进行的项目。

5.2.3 选测项目不是每座隧道都开展的工作，是对一些有特殊意义和具有代表性意义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，一般只根据需要选择其部分项目。

隧道纵向位移主要包括隧道掌子面与支护结构的纵向变化。

隧道裂缝监测包括裂缝走向、长度、宽度、深度等，裂缝走向监测可采用成像设备进行，裂缝长度监测可采用成像设备进行，裂缝宽度监测可采用成像设备进行进行，裂缝深度监测可采用裂缝测试仪。

**6 自动化监控量测方法**

6.1.1 隧道监测方法的选择应综合考虑各种因素，简便易行及有利于适应施工现场条件的变化和施工进度的要求。根据隧道具体情况，明确监测项目，在满足监测精度要求的前提下，兼顾经济及技术可行性，选择合理的监测方法。

6.1.2 目前传感器及物联网技术发展日新月异，监测仪器及监测传感器均有高度智能化、网络化，如光纤传感器、摄影测量等高新技术的监测手段均已有投入使用。本规范对新技术、新方法的采用持积极的态度，只要能满足精度要求，运行稳定可靠，均可纳入本规范的使用范围。

6.2.1、6.2.2在隧道工程中，开挖前的地质勘探工作很难提供准确的地质资料，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。开挖工作面观察在每次开挖后进行。观察中发现围岩条件恶化时，立即采取相应处理措施；观察后及时对开挖工作面进行数码成像，并与勘查资料进行对比。

（1）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；

③地层时代归属及产状；

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。

（2）对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钢拱架有无被压屈、压弯现象；

④是否有底鼓现象。

观察到的有关情况和现象，要详细记录，同时进行数码成像，要求每个断面至少绘制1张，同时进行数码成像。

观察中如果发现异常现象，要详细记录发现时间、距开挖工作面的距离等。

6.3.1 传统的接触量测方法具有成本低、简便可靠、能适应恶劣环境等优点，但对施工干扰大，测量速度慢，越来越难以满足要求。非接触量测具有对施工干扰小、测量速度快，特别是对于大跨度隧道更能显示出其方便、快速、灵活、适应性强的优点，克服了传统的接触量测方法的缺点，并可以进行隧道变化位移量测和隧道内测点三维位移量测。对于大跨隧道，优先考虑非接触量测。

6.3.2 对于长大隧道，随开挖面逐渐向前推进，监测点与洞外基准点之间的距离会越来越远，每次监测均联测隧道外基准点会影响工作效率，在对隧道先期施工段落施工控制点的稳定性进行分析后，将隧道内已稳定段落的施工控制点作为工作基点进行监测，按一定时间间隔将监测点、工作基点与隧道外监测点进行联测。

6.4.1应力、应变监控量测是属于选测项目，具体监控量测内容根据监控量测设计而定，目前应力、应变监控量测主要采用光纤光栅、振弦式等传感器。在一般施工监控量测中主要以振弦式传感器为主。但如果要对重大隧道进行长期监控量测（如海底隧道）或隧道所处地下水腐蚀性较强，则采用光纤传感器进行现场监控量测，光纤传感器相对于传统的振弦传感器具有抗腐蚀性强、无源量测等优点。

6.4.4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。

当用光纤光栅传感器进行混凝土应变量测时，则将传感器成对的埋入混凝土内，通过光纤光栅解调仪获得不同时刻的波长，然后再把波长转换为混凝土的应变值，求出应力。

测定混凝土应力时，不论采用哪一种量测法，均根据具体情况和要求，定期进行测量，每次每个测点的测量不小于三次，力求测量数据可靠、稳定，并做好原始记录。

6.5.2为了了解围岩压力的量值及分布状态，判断围岩稳定性，分析二次衬砌安全性，有必要对围岩与初期支护之间接触压力以及初期支护与二次衬砌之间接触压力进行监控量测。目前使用最为普遍的是振弦式压力盒，属电测式测力计。在埋设压力盒时，压力盒的受力面与所监测的压力方向垂直，要求接触紧密，防止接触不良。埋设好压力盒后应将其电缆统一编号，并集中放置于事先设计好的铁箱内，以免在施工过程中被压断、拉断。安装完成、喷射混凝土或二次衬砌混凝土施作后立即进行检查测试，并读取初值。观测时，根据具体情况及要求，定期进行测量，每次每个压力盒的读数不少于三次，力求测量数值可靠、稳定，并做好原始记录。

6.6.1一般量测测点三个方向的振动速度或加速度分量，采用爆破振动记录仪自动记录。

6.6.2爆破振动记录仪的速度传感器或加速度传感器采用垂直、水平单向传感器或三矢量一体传感器；传感器的安装与被测对象之间刚性粘结，并使传感器的定位方向与所测量的振动方向一致，通过爆破振动记录仪自动记录爆破振动速度或加速度。仪器安装和连接后进行监测系统的测试，在监测期内将整个监测系统处于良好工作状态。

6.7.2孔隙水压监控量测一般采用渗压计，其埋设方法与土压力盒基本相同，可采用挂布法、顶入法、弹入法、埋置法和钻孔法。

在初期支护施作前埋设渗压计，采用钻孔法埋设渗压计时，钻孔直径为110~130mm，一般不使用泥浆护壁成孔；渗压计的观测段用干燥膨润土球或注浆封孔。当孔内埋设多个渗压计，监测不同含水层的水压力时，做好相邻水压力计的隔水措施。在隧道超前或探孔的钻孔出水时，根据需要及时安装孔口管、高压球阀及压力表等测试水压力。渗压计或压力表安装完成后立即进行检查测试，并适时读取初值。

6.8.2工程施工前对已有裂缝的分布位置和数量进行记录，并对监测裂缝进行统一编号，记录各裂缝的走向、长度、宽度、深度，以及初测日期等；裂缝监测标志需便于量测，长期观测时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；需要测岀裂缝纵横向变化值时，采用坐标方格网板标志。

6.10.3采用无线发送设备或通过有线网络传送视频信号和音频信号到管理部门的监视器中，同时采用硬盘机或其他大容量的媒介记录图像和声音。

**7 数据分析及信息反馈**

7.0.1隧道工程监测工作事关隧道及周边环境的安全，是一项技术性非常强的工作，只有保证参与的监测人员素质，才能及时提供有效准确的数据，并进行高质量的综合分析，为信息化施工和优化设计提供可靠依据，避免事故的发生。根据铁路隧道工程特点，参与人员不但要具备工程测量知识，还要具备岩土工程、结构工程的综合知识和工程实践经验。

7.0.2自动化监测系统所采集的数据，必须是真实的完整记录，由于采集元件多 是各种传感器组成，传感器采集的数据本身具有一定的出错率，这些传感器的自 身出错和真实异常变化应同时被记录，在处理过程中要加以甄别，通过这些甄别方法来提高监测数据的可靠性，防止误报警的出现。本节列举的3项基本甄别方法如下：

1 原始数据的过滤，主要针对数据丢包、缺失等异常情况的识别过滤；

2 监测基准的稳定性分析方法，主要利用现有采集到的基准数据，根据他们之间的相对关系，进行稳定性的校验；

3 异常数据的标识，主要是对突变数据、缺失数据的异常情况进行存储和展示时的标记处理，便于后续分析。

7.0.3对位移监控量测结果进行回归分析，预测该测点可能出现的最终值及影响范围，以评估结构或建筑物的安全状况，必要时据此优化施工方法。常用的回归函数有以下几类：

（1）位移历时回归分析一般采用如下模型：

指数模型：

**** （说明 7.0.3-1）

****  （说明 7.0.3-2）

对数模型：

**** （说明 7.0.3-3）

****  （说明 7.0.3-4）

双曲线模型：

**** （说明 7.0.3-5）

式中：U —— 变形值（或应力值）；

A，B —— 回归系数；

t，t0 —— 测点的观测时间（d）。

通常情况，需对位移历时曲线采用上述三种模型分别进行回归分析，并以相关性系数来判别曲线的模型拟合精度，以此确定最优的回归分析模型。相关性系数值越大，说明模型拟合精度越高，反之则越低。

（2）由于地下工程（隧道）开挖过程中地表纵向沉降、拱顶下沉及净空变化等位移受开挖工作面的时空效应的影响，多采用指数函数进行回归分析。多数情况下，单个曲线进行回归时不能全面反映沉降历程，通常采用以拐点为分界的两条分段指数函数进行回归分析。

**** （说明 7.0.3-6）

 （说明 7.0.3-7）

式中：A，B——回归参数；

x——距开挖面的距离；

S——距开挖面x处的地表沉降；

x0，u0——拐点x0处的沉降值u0。

根据经验，对于地表纵向沉降回归分析一般采用式（说明 7.2.5-6）；拱顶下沉、净空变化一般采用式（说明 7.2.5-7）。对式（说明 7.2.5-7），理论上讲，当x较小时，S趋于0；若S不趋于0，需考虑监控量测结果的可靠性。

（3）地表沉降横向分布规律通常可采用Peck公式：

**** （说明 7.0.3-8）

 （说明 7.0.3-9）

 （说明 7.0.3-10）

式中：S（x）——距隧道中线x处的沉降值（mm）；

Smax——隧道中线处最大沉降值；

V1——地下工程单位长度地层损失（m3/m）；

i——沉降曲线变曲点；

H——隧道埋深。

7.0.4监测过程中成果资料包含当日报表、阶段性报告、总结报告、异常情况通 知等，依托先进的网络平台，成果资料采用信息化方式进行报送可大大提高报送 的效率和覆盖范围。

7.0.5监测数据出现异常时，软件平台应当有机制自动触发加密监测，该机制的 触发应当是软件平台自动触发，不应是有人工干预情况下由人工触发。