

GDJT

广东省交通运输厅指导性技术文件

GDJT 003-09-2025

广东省公路隧道结构监测技术指南 (试行)

Technical Guidelines for Structural Monitoring of Highway Tunnels in
Guangdong Province

2025-1-20 发布

2025-2-1 实施

广东省交通运输厅发布

目 次

前 言	III
引 言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 基本规定	3
5 监测对象和范围	5
5.1 监测对象	5
5.2 监测范围	5
6 监测内容和方法	6
6.1 监测内容	6
6.2 监测方法	6
7 监测方案设计	9
7.1 一般规定	9
7.2 专项调查	9
7.3 安全风险评估	9
7.4 监测点设计	9
8 监测系统	11
8.1 一般规定	11
8.2 系统设计	11
8.3 系统实施	12
8.4 系统验收	13
8.5 系统运维	13
9 数据管理	15
9.1 一般规定	15
9.2 数据编码	15
9.3 数据预处理	15
9.4 数据存储	15
9.5 数据交互与共享	16
9.6 数据安全	16
10 监测应用	17
10.1 一般规定	17
10.2 监测数据分析	17
10.3 监测报警阈值与等级	17
10.4 检查指引	18
10.5 结构健康度评定	18
10.6 应急响应	19
附 录 A (规范性) 监测点布设位置及代号	20
附 录 B (规范性) 隧道风险评估方法	26

附录 C（规范性）数据接口	34
---------------------	----

前 言

本指南参照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规则起草。

本指南为推荐性文件，不涉及专利。

本指南由广东省交通运输厅提出并归口管理。

主 编 单 位：广东省交通运输厅

广东交科检测有限公司

参 编 单 位：广州诚安路桥检测有限公司

广东盛翔交通工程检测有限公司

主要编写人员：彭伟强、杨慧光、吴益林、黄震东、祝志恒、许肇峰、刘浩、林海山、李佩峻、陈文山、

陈囡、李真真、张杰、黄波

主要审查人员：刘永忠、胡利平、曾波波、周智勇、郭明泉、朱鹏、罗秀锋、冷猛、张二猛、罗霆

引 言

为指导广东省公路隧道结构监测与预警，切实做好当前和今后一段时期公路隧道结构监测工作，进一步提升公路隧道结构安全耐久水平，根据《交通运输部办公厅关于印发〈进一步推进公路桥梁隧道结构监测工作实施方案（2024-2030年）〉的通知》（交办公路〔2024〕26号）、《广东省交通运输厅关于印发〈广东省进一步推进公路桥梁隧道结构监测工作实施方案（2024-2030年）〉的通知》（粤交基建字〔2024〕382号），广东省交通运输厅组织编制了《广东省公路隧道结构监测技术指南（试行）》。

本指南以贯彻落实“安全第一、预防为主，统一标准”的原则，确保公路结构监测系统的整体性、协同性、有效性，提升公路基础设施防灾抗灾能力，为全省公路隧道结构监测工作提供指引。

本指南将适时修订，请各有关单位在执行过程中，将发现的问题和意见，反馈广东省交通运输厅工程质量管理处（地址：广州市越秀区白云路27号，邮编：510101，电话：02083701214，邮箱：yanghui Guang@gd.gov.cn），或技术支持单位广东交科检测有限公司，联系人：黄震东，电话：19379587395，邮箱：819693877@qq.com，以便修订时参考。

广东省公路隧道结构监测技术指南（试行）

1 范围

1.0.1 为规范和指导广东省公路隧道结构安全监测工作，明确隧道结构监测技术和方案要求，加强隧道监测系统的建设、运维管理、数据管理和监测应用，提升隧道结构安全风险防治能力，制定本指南。

1.0.2 本指南适用于广东省在役公路山岭隧道结构监测方案设计，系统设计、实施、验收与运维，以及数据管理和监测应用，其他类型隧道及在建隧道可参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本指南必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本指南；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本指南。

GB/T 22239 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求

GB/T 22240 信息安全技术 网络安全等级保护定级指南

GB 50311 综合布线系统工程设计规范

GB 50343 建筑物电子信息系统防雷技术规范

GB/T 8567 计算机软件编制规范

GB 50343 建筑物电子信息系统防雷技术规范

GB 50218 工程岩体分级标准

GB/T 50138 水位观测标准

JTG H12 公路隧道养护技术规范

JTG 3370.1 公路隧道设计规范 第一册 土建工程

JTG/T 3660 公路隧道施工技术规范

JT/T 1037 公路桥梁结构监测技术规范

JT/T 132 公路数据库编目编码规则

交通运输部 公路长大隧道结构监测系统试点建设技术指南

T/CHTS 10021 在役公路隧道长期监测技术指南

T/CECS 765 结构健康监测系统施工及验收标准

T/CECS 652 结构健康监测系统运行维护与管理标准

T/GDHS 014 公路隧道交通事件视频检测系统测试规范

3 术语和定义

3.1

隧道结构监测 tunnel structural monitoring

一种可以对隧道的设定参数进行连续、自动测量和记录，获取隧道环境、病害特征、结构受力和变形等数据，实现监测数据超限报警，评估隧道结构健康度的多学科交叉融合技术。

3.2

隧道结构监测系统 tunnel structural monitoring system

一种通过物联网技术将分布在隧道现场和监控中心的各类传感器、数据采集与传输、数据处理与管理、数据分析与应用的硬件设备、软件模块及配套设施连接在一起，具有对隧道设定参数连续监测、自动记录、数据显示、报警评估的功能，辅助隧道管理和养护决策的电子信息系统。

3.3

特殊地质地段 particular geology zone

隧道穿越的岩溶发育区、断裂破碎带、高压富水区、软岩和偏压等地质地段。

3.4

监测等级 monitoring grade

根据隧道土建结构技术状况值、隐患程度、地质条件，划分不同的监测级别，实施差异化的监测项目、方法与频率。

3.5

病害特征监测 disease characteristic monitoring

对影响隧道结构安全的病害特征及其变化进行的量测与分析。

3.6

变形监测 deformation monitoring

对隧道结构、周围岩土体等变形进行的持续量测与分析。

3.7

受力监测 mechanical monitoring

对隧道结构应力及外荷载进行的持续量测与分析。

3.8

环境监测 environmental monitoring

对影响隧道结构安全的环境因素进行的观测与分析。

3.9

计量测试抽样评价 metrological test sampling evaluation

从批量监测仪器中抽取样本进行计量测试，利用样本特性值数据计算评价相应批次监测仪器设备准确性的行为。

3.10

报警阈值 alarm threshold values

对隧道运营过程中可能出现的异常、风险或养护需求，各监测点数据特征指标所设定的临界状态警戒值。

3.11

隧道结构健康度 tunnel structural health level

相对于设计规定的结构安全和功能要求或隧道成隧时状态，当前隧道结构安全和功能所处的水平。

4 基本规定

4.1.1 宜根据土建结构技术状况值、隐患和特殊地质地段，逐洞、逐段划分监测等级，分级标准宜按表 1 执行。

表 1 监测等级划分标准

特殊地质地段	隐患或重大结构病害	土建结构技术状况值			
		1	2	3	4
无	无	一级	一级	二级	三级
	有	一级	二级	三级	三级
有	无	一级	二级	三级	三级
	有	二级	三级	三级	三级

注：特殊地质地段指隧道穿越的大中型断裂带、岩溶发育区、岩、严重偏压的地质地段。隐患指施工期出现塌方、大变形、突涌水的地质地段或二次衬砌厚度、强度，背后空洞等存在的可能影响结构安全现象。重大结构病害指隧道洞口、洞门，衬砌，路面等土建结构存在的可能影响，已影响或已危及行人行车安全的裂缝、渗漏水、衬砌起层剥落、路面和仰拱隆沉等现象。

4.1.2 应按现行《公路隧道养护技术规范》(JTG H12) 评定土建结构技术状况值，取部位或段落内的最大值作为其土建结构技术状况值。

4.1.3 不同监测等级的监测内容和方法宜按表 2 执行。

表 2 不同监测等级监测内容和方法

监测等级	监测内容	监测方法
一级	病害特征为主，结构变形、受力监测为辅	人工监测为主
二级	病害特征、结构变形、受力监测为主，围岩或周边环境监测为辅	重要监测项目实施自动化监测
三级	同时开展病害特征、结构变形、受力以及围岩或周边环境监测	病害的关键参数及结构变形、受力等监测项目实施自动化监测

4.1.4 隧道结构监测内容应充分考虑地域气候、地质条件、技术标准、隧道结构类型和技术状况等因素综合确定。

4.1.5 隧道结构监测方法根据监测对象特点、监测内容、现场条件和精度要求等因素综合确定。

4.1.6 隧道结构监测方法应合理易行，满足对病害特征、土建结构受力和变形分析的要求，且不应影响结构正常受力和使用。

4.1.7 监测方案设计前应开展隧道结构安全风险状况分析，明确隧道结构主要风险类型与特征，隧道结构监测方案设计工作宜按以下流程开展：

- 1 工程资料收集。
- 2 隧道专项调查。
- 3 隧道结构安全风险状况分析。
- 4 确定风险类型与分布区段，确定监测范围。
- 5 确定监测内容，选择监测方法与监测设备。

6 明确监测指标，确定测点、测线布设方案。

4.1.8 隧道结构监测传感器应选取质量可靠、数据传输稳定、耐久性良好的设备。预埋在结构内部的埋入式传感器设计使用寿命不宜低于 20 年；附着安装在结构上的非埋入式传感器设计使用寿命不宜低于 5 年，且易于更换。

4.1.9 隧道监测传感器、采集设备宜选择具备资质的计量机构抽样校准合格的产品，安装前按不低于 10% 开展计量测试抽样评价。

4.1.10 隧道施工期预埋的监测仪器和传感器符合监测要求的，宜继续使用。

4.1.11 隧道结构监测系统应稳定可靠、经济实用、安全网联，便于维护和升级扩容。

4.1.12 隧道结构监测系统宜具备与外部系统互联互通、数据共享，实时展示监测结果等功能。

4.1.13 新建隧道的监测系统应与隧道土建、机电工程同步设计、实施、验收；在役隧道的监测系统应结合养护管理需求独立设计、实施、验收。

4.1.14 隧道结构监测鼓励采用自主可控、先进适用的新技术和新设备。

4.1.15 隧道结构监测除应符合本指南的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

5 监测对象和范围

5.1 监测对象

5.1.1 公路隧道符合下列条件之一时，实施结构监测：

- 1 列入广东省公路长大桥隧目录名单中的隧道应实施结构监测。
- 2 按表 1 划分的含监测等级为三级的隧道应实施监测，监测等级为二级的隧道宜实施监测。
- 3 按现行《公路隧道养护技术规范》(JTG H12)评定隧道土建结构技术状况分类为 3 类以上，且需要跟踪观测的在役隧道应实施监测。
- 4 运营安全风险较大，对结构安全性保障要求高的在役隧道宜实施监测。
条文说明：运营安全风险较大如车流量大的隧道，客观存在交通事故引发火灾及次生灾害风险，一旦发生此类事故，极易给隧道结构造成损伤，危及结构本身安全。
- 5 经评估需要进行结构监测的隧道应实施监测。

5.2 监测范围

5.2.1 隧道结构监测宜围绕风险段落和部位开展，按表 1 划分的监测等级大于一级的段落和部位宜纳入监测范围。

5.2.2 土建结构技术状况值大于 2 的隧道段落和部位宜根据病害发育频率、养护需求、影响程度开展病害特征监测。隧道病害经处治后仍反复发生，病害成因不明确，对隧道结构安全影响显著时，应纳入监测范围。

6 监测内容和方法

6.1 监测内容

6.1.1 公路隧道结构监测内容主要包含隧址区气候环境监测、隧道洞口段监测、隧道衬砌结构监测、隧道洞内环境监测等。

6.1.2 隧址区气候环境宜开展降雨量监测，其他监测内容可根据实际需求增设。

6.1.3 隧道洞口段监测包括洞口边（仰）坡、洞门，监测内容应符合下列规定：

- 1 宜采用具有智能识别功能的视频监控，并满足夜间监测需要。
- 2 隧道洞口临近冲沟时，宜对冲沟设置视频监控。
- 3 隧道洞门为端墙式洞门结构时，宜监测洞门水平位移、竖向位移和倾斜度。
- 4 隧道洞口存在高边仰坡时，对边仰坡增设地表水平位移监测；边仰坡冲刷滑移风险较高时，应增设地层水平位移、竖向位移监测。

6.1.4 隧道洞身段衬砌结构监测宜以高风险段落和部位作为主要监测对象，特殊地质导致高风险地段的监测内容可参照表 3 规定选取。

表 3 隧道衬砌结构监测内容

监测类别	监测内容	特殊地质地段				
		岩溶发育区	断裂破碎带	高压富水区	软岩	偏压
变形监测	周边位移	●	●	●	●	●
	拱顶下沉	●	●	●	●	●
	墙脚沉降	◎	◎	◎	◎	◎
	纵向差异沉降	◎	◎	◎	◎	◎
	隧道竖向位移	◎	◎	◎	◎	◎
	隧道水平位移	◎	◎	◎	◎	◎
	地层水平位移	◎	○	◎	◎	○
	地层竖向位移	◎	◎	◎	◎	◎
受力监测	衬砌外水压力	○	○	○	◎	◎
	衬砌表面应力	◎	◎	◎	◎	◎
病害特征监测	裂缝宽度	○	○	○	○	○

注：●为应选监测项，○为宜选监测项，◎为可选监测项

6.1.5 隧道洞内环境监测宜以影响隧道结构安全的关键性诱因为主要监测对象，并根据隧道地质条件、气候条件及风险类型选测，监测内容宜按下列规定选取：

- 1 岩溶隧道、富水隧道宜监测排水量、地下水压力等指标项目。
- 2 寒冷地区如粤北隧道可监测隧道内温湿度及围岩温度。
- 3 排水系统存在堵塞时，可对易堵塞的风险段落开展监测。

6.1.6 隧道洞内环境监测宜实施全隧视频监控且应与既有隧道运营视频监控系统联动，视频监控设备若要支持实现对隧道结构突发性风险事件识别与报警，应满足《公路隧道交通事件视频检测系统测试规范》（T/GDHS 014）要求，如果既有隧道运营系统不能满足全域视频监控时宜增设。

6.1.7 隧道监测内容可根据隧道现场实施条件、养护工程开展情况及养护需求动态调整与增补。

6.2 监测方法和设备

6.2.1 应根据监测项目类型及监测环境选择自动化程度高、稳定可靠、易于远程传输与控制的监测方法。

6.2.2 应根据监测项目类型、监测数量、监测环境和监测指标重要程度，选取适宜的监测设备，且同一监测项目宜选用同一类型的监测设备，如振弦式、光纤式、电阻式或电容式等类型。

6.2.3 监测设备符合下列规定：

- 1 应满足监测精度和量程要求。
 - 2 性能应稳定可靠，重复性好，漂移、滞后误差小。
 - 3 监测设备应具备双向通信和远程调试功能，能远程调整监测频率。
 - 4 监测设备应适应监测区域环境条件，具有防水防潮防尘、防风防雨、耐高低温、防雷防震、防腐等对环境的适应性和抗干扰能力。必要时，应设置专门的防雷设施。
 - 5 监测设备宜采用市电供电应保证用电安全，采用太阳能供电的，太阳能电池板功率应与蓄电池容量匹配。
 - 6 地面公用网络信号覆盖不佳地区，宜采用地面公用网络与卫星通信相结合的双模通信方式，支持无线网络环境下前端解算、触发现场报警；对于高速公路可利用自有光纤网络进行传输。
- 6.2.4 变形、受力、病害特征、隧址区气候环境、洞内环境等监测项目可参照表 4 选用监测方法或设备。监测频率可参照表 4 要求设置，同时可根据隧道结构状态、病害发展及变化速率、周边工程活动、工程环境条件和管理单位需求等因素动态调整。

表 4 变形、受力、病害特征和环境监测设备

监测类型	监测项目	监测设备	监测频率
变形监测	周边位移	阵列式位移计、激光测距仪、激光断面仪、视觉位移计、全站仪	≤1 次/d
	拱顶下沉	阵列式位移计、激光测距仪、激光断面仪、视觉位移计、全站仪	≤1 次/d
	墙脚沉降	静力水准仪、全站仪	≤1 次/d
	纵向差异沉降	静力水准仪、全站仪	≤1 次/d
	隧道竖向位移	静力水准仪、全站仪	≤1 次/d
	隧道水平位移	静力水准仪、全站仪	≤1 次/d
	地层水平位移	柔性测斜仪、固定式测斜仪	≤1 次/d
	地层竖向位移	分层沉降仪、沉降计	≤1 次/d
	洞门水平位移	视觉位移计、全站仪	≤1 次/d
	洞门竖向位移	视觉位移计、沉降计	≤1 次/d
	洞门倾斜度	倾角仪	≤1次/d
受力监测	衬砌外水压力	渗压计、水压力表	≤1 次/d
	衬砌结构表面应力	应变计	≤1 次/d
病害特征监测	裂缝宽度	测缝计	≤1次/d
隧址区环境监测	降雨量	雨量计	≤1次/h
	地表水位	水位计	≤1次/h
洞内环境监测	排水量	流量计	≤1次/h
	温度	温度计	≤1次/h
	视频监控	视频摄像头	实时监测

6.2.5 隧道监测设备精度应不低于监测指标分析所需精度，监测设备精度及数据采集精度按下列要求制定：

- 1 常规视频监控像素应不小于 400 万，帧率应不小于 25FPS。
- 2 变形、受力监测、病害特征及环境类监测项目监测精度应符合表 5 的要求。

表 5 隧道监测项目精度要求

监测类型	监测项目	精度要求
变形监测	周边位移、拱顶下沉、隧道竖向位移、隧道水平位移、墙脚沉降、地层水平位移、洞门水平位移、洞门竖向位移	0.5~1mm
	洞门倾斜度	0.01°
	地层竖向位移、洞口边仰坡地表位移	5mm
受力监测	衬砌外水压力	0.01MPa
	衬砌表面应力	±0.5%F. S.
病害特征监测	裂缝宽度	0.2mm
隧址区环境监测	降雨量	±4%F. S.
	地表水位	±0.1%F. S.
洞内环境监测	排水量	±1%F. S.
	温度	0.1℃

7 监测方案设计

7.1 一般规定

- 7.1.1 隧道监测方案应包括但不限于隧道专项调查报告、隧道结构安全风险状况分析报告、隧道结构监测方案、隧道监测工程预算文件。
- 7.1.2 隧道结构监测内容应根据隧道专项调查、安全风险状况及运营需求综合确定。
- 7.1.3 隧道专项调查应以获取隧址区气候、隧道结构基础信息、工程地质与水文地质信息、隧道病害发育信息及技术状况等信息，以支撑隧道结构安全风险状况分析为目的。
- 7.1.4 隧道结构安全风险状况分析宜采用隧道结构安全风险评估方法，评估方法见附录 B。
- 7.1.5 隧道结构安全风险评估应识别隧道结构可能面临的安全风险类型、确定安全风险等级及分布范围，评估结果应能为隧道结构监测方案设计提供依据。
- 7.1.6 隧道结构监测断面间距应按照隧道结构安全风险等级选取，监测断面测点应能满足安全分析需求。
- 7.1.7 隧道监测宜采用点、线、面相结合的多种监测手段。

7.2 专项调查

- 7.2.1 隧道专项调查包括隧址区气候、工程勘察设计资料、施工资料、运营养护资料及定期检查资料等。
- 7.2.2 隧址区气候调查应调查近 10 年的降雨、气温等敏感气候环境的变化规律、极值等。
- 7.2.3 隧道工程勘察设计资料与施工资料调查，应统计分析隧道衬砌结构类型、支护参数，分析隧道工程地质特性、施工期异常与薄弱部位等信息。
- 7.2.4 运营期养护资料调查，应统计分析隧道技术状况历年变化、维修加固、交通流量及组成等情况。
- 7.2.5 定期检查资料调查应对隧道衬砌结构病害发育与分布状况、隧道周边环境等进行分析，若定期检查资料不满足时，应开展隧道专项检查。
- 7.2.6 隧道专项调查应对隧道衬砌质量缺陷类型、分布范围进行统计分析。

7.3 安全风险评估

- 7.3.1 隧道结构安全风险评估应在隧道专项调查基础上开展，且按照“逐洞、逐段”原则评估。
- 7.3.2 隧道结构安全风险事件应按照设施功能实现性或事故对社会经济稳定发展影响划分等级，隧道各区段各类型风险等级划分参照表 6。

表 6 风险等级划分表

风险等级	设施功能实现性	社会经济稳定发展影响
重大风险	整体垮塌或功能完全丧失	灾难性影响
较大风险	部分垮塌或功能部分丧失	严重影响
一般风险	构件损伤或附属设施损坏	不良影响
低风险	构件轻微损伤或附属设施轻微损坏	轻微或无影响

- 7.3.3 隧道结构安全风险状况分析应明确隧道主要风险类型、分布区段、分布部位及隧道主要的潜在风险源或风险控制对象。

7.4 监测点设计

- 7.4.1 监测点位置和数量应依据监测内容、监测方法、监测环境和结构特点等综合确定。
- 7.4.2 监测点布设符合下列规定：
 - 1 应明确传感器的类型、数量，安装位置和方向。
 - 2 同一监测范围内不同监测项目的测点，宜布置在同一断面。
 - 3 同一监测断面，受力、变形测点宜对称布置。
 - 4 易损坏测点应加设保护装置。
 - 5 测点应布设牢固、标识清楚。
 - 6 布点位置宜便于维护；对于无法维护的测点，宜做冗余设计。
- 7.4.3 隧道洞口段视频监测进出口宜各不少于 2 个，冲沟视频监测宜不少于 2 个，洞口段变形监测宜符合

下列要求:

- 1 隧道洞门水平位移、竖向位移和倾斜度,宜在洞门立面不同高程处布设监测断面,监测断面不少于 2 个,每个监测断面布设不少于 2 个监测点。
 - 2 洞口边仰坡地表水平位移、竖向位移,监测断面不少于 3 个,每处仰坡不少于 4 个监测点,仰坡中心监测点应布设在隧道轴线正上方地表位置,监测点间距由中心监测点至距离中心监测点最远点由密至疏布置,间距 8~15m。
- 7.4.4 洞身段结构监测断面间距宜根据风险评估的区段等级确定,并符合下列要求:
- 1 同类监测条件段落,监测断面数量宜不少于 3 个。
 - 2 高风险区段应向低风险区段延伸 10m,或 1 个二次衬砌模板长。
 - 3 隧道衬砌结构监测断面间距宜不大于表 7 规定。

表 7 监测断面间距取值

区段风险等级	变形监测 (m)	受力监测 (m)
重大风险	10	10
较大风险	20	20
一般风险	40	40
低风险	100	100

- 7.4.5 隧道衬砌结构变形监测断面测点宜布设在拱顶、拱腰与边墙部位,并满足下列要求:
- 1 周边位移、拱顶下沉测点布设,宜布设在拱顶、拱腰和边墙处,两侧拱腰和边墙对称布设;每个监测断面应不少于 3 个监测点、3 条测线。
 - 2 墙脚沉降测点宜在两侧墙脚对称布设。
 - 3 纵向差异沉降测点可在隧道路面两侧边墙布设。
 - 4 竖向位移、水平位移测点宜在两侧墙脚布设不少于 2 个监测点。
 - 5 地层水平位移、竖向位移监测点应钻孔埋设;对处于断裂带、滑坡带或采空区的隧道监测时,测孔布设在隧道外侧 2~5m 处;每测孔不少于 5 个监测点,监测点竖向间距不大于 2m。
 - 6 隧道监测断面测点位置宜参考附录 A,可根据隧道技术状况、地质条件、衬砌结构类型状况进行加密。
- 7.4.6 隧道衬砌结构受力监测断面测点宜布设在拱顶、拱腰与边墙部位,单洞三车道隧道应在拱部增加测点,并满足下列要求:
- 1 衬砌表面应力监测每个监测断面不少于 3 个监测点,且应避免施工缝、沉降缝等接缝。
 - 2 衬砌外水压力监测每个监测断面不少于 2 个监测点且应在墙脚布设至少 1 个监测点,水压测孔应与变形、受力监测点布设在同一监测断面;钻孔应延伸至防水板外侧,钻孔安装后应及时封孔;高水压引起衬砌裂缝,经评估后如需进行水压力监测,可在病害中心位置附近墙脚处钻孔埋设,钻孔时应设置防突水装置。
- 7.4.7 隧道洞内外环境及其他类监测项目测点布设应根据养护及监测需求确定,并满足下列要求:
- 1 地表水位站监测点布设应符合现行《水位观测标准》(GB/T 50138)的有关规定。
 - 2 温度监测点应根据隧址区气候特点和通风状况布设,应能反映隧道内常年温度变化。
 - 3 其他自行增设监测项目应按需布设。
- 7.4.8 隧道结构监测选用连续线形、面域型监测等新型监测方式时,布设方案可根据监测需要自行设置。
- 7.4.9 隧道结构监测内容与方法参照第 6 章执行,并根据隧道实际需求确定监测设计方案。

8 监测系统

8.1 一般规定

- 8.1.1 监测系统的构建遵循“先进、适用、稳定、安全、经济”的原则，兼顾扩展性、兼容性与便利性，确保系统稳定工作。
- 8.1.2 监测系统采用模块化结构与感知设备，各模块或子系统之间相对独立、有序融合，应方便维护、更换、扩展和升级，设备安装、拆卸便利。
- 8.1.3 监测系统主要分为系统硬件和系统软件。
- 8.1.4 部、省各级系统平台应采用统一数据交换传输标准、数据存储及数据管理标准，实现数据分级管理、归集与同步。
- 8.1.5 系统应采用交通运输行业统一的安全认证体系，实现系统身份鉴别、接入认证、访问控制和数据完整性、保密性管理。系统宜按照 GB/T 22239、GB/T 25070 的相关规定构建系统信息安全保护体系。

8.2 系统设计

- 8.2.1 系统设计文件应明确设计方案、功能要求、工程界面、预留预埋（如有）、维护升级要求。
- 8.2.2 系统平台数据应包含监测隧道基本信息、监测点位基本信息、实时数据查看、监测数据特征值、异常报警信息等。
- 8.2.3 单体隧道监测系统应在系统通用功能基础上再结合每座隧道特点按照“一隧一策”独立开发。
- 8.2.4 系统设计应基于实际使用需求和管理要求进行，包括下列内容：
 - 1 系统功能要求与总体方案设计；
 - 2 系统各模块的工作流程、功能设计及集成方案；
 - 3 系统数据采集、传输、处理与管理方案；
 - 4 系统供配电、通信、防雷、防护方案；
 - 5 系统及其附属设施的预埋件和预留孔洞方案（如有）；
 - 6 系统数据分析和超限管理方案；
 - 7 系统与主体结构、供配电、通信、监控中心等工程界面划分；
 - 8 针对系统维护的检修通道设计需求（如有）。
- 8.2.5 系统硬件设计应结合监测方案和隧道现场条件进行，包括下列内容：
 - 1 系统硬件应主要包括：传感器、数据采集设备、通信设备、供电设备及机柜。
 - 2 传感器选型应与监测内容、测点布设、监测方法和软件系统相适配，并满足量程、分辨率、精度、灵敏度、动态频响特性、环境适应性等要求，考虑安装、维护的便易性和易保护性。
 - 3 数据采集设备应与传感器和数据采集与传输软件功能相适配，采集模式可分为基于微处理器的一体化采集和基于边缘网关的汇聚化采集，应满足数据同步采集、实时传输要求。
 - 4 传感器及数据采集设备应明确“防尘、防水、防雷”指标要求
 - 5 应结合隧道现场环境采取有效措施保护监测设备，能够保障系统连续稳定运行。
 - 6 通信、供电、网络传输的设计宜预留冗余，监测系统计算资源、存储资源及网络传输带宽应根据测点数量、采样频率、数据分析计算量、业务功能复杂度、并发访问量等确定。
 - 7 数据采集设备宜根据元器件的环境温度工作适宜性配置温控机柜。机柜位于结构内部防护级别应不低于 GB/T 4208 规定的 IP55，置于结构外部防护等级应不低于 GB/T 4208 规定的 IP65，其他参数宜符合 GB/T 15395 的相关规定。
- 8.2.6 系统软件应基于开放性、人性化要求、人机交互友好、操作便捷流畅的原则设计，各模块之间应相对独立、有序融合、方便维修、扩容和升级。
- 8.2.7 系统软件应主要包括数据采集、数据传输、数据处理与管理、用户界面模块。
- 8.2.8 数据采集与传输模块应实现自动采集和远程传输功能，并可通过配套软件对数据采集和传输功能的关键参数进行远程配置和调整。
- 8.2.9 数据采集模块的功能设计应满足以下要求：
 - 1 支持数据实时采集；
 - 2 数据采集程序具有自动缓存和断点续传功能；
 - 3 具有故障自诊断和重启功能；

4 具备完善日志记录功能，能够记录常见系统运行故障。

8.2.10 数据传输模块的功能设计应满足以下要求：

- 1 应保障数据传输的一致性、完整性、可靠性和安全性；
- 2 由传感器到智能网关的局域网络数据传输，可采用有线、无线或者两者相结合的方式；上传至平台的数据传输可选用 4G、5G、窄带物联网（NB-IoT）等无线传输网络；
- 3 宜采用物联网传输协议进行数据传输，参见附录 C；
- 4 对于触发采集的设备，为确保设备正常在线运行，应定时发送设备状态信息。

8.2.11 数据处理与管理模块的功能设计应满足以下要求：

- 1 原始数据及数据分析成果宜定期存储、备份存档，且应遵循完整性、一致性、连续性和可追溯性的原则。
- 2 系统平台应具备异常报警功能，可单独对各监测点设置报警阈值，当监测点实时数据达到或超过设定的报警阈值时，宜通过颜色变化、界面闪烁、短信提示等多种方式提醒相关人员。
- 3 应设计完善的数据查询统计功能，查询条件可灵活设置和自由组合，查询结果宜采用数据曲线和数据列表相结合的展示方式。

8.2.12 用户界面模块的功能设计布局应清晰合理，功能设计应直观反映隧道状态变化，可采用丰富的可视化展示方式。

8.2.13 系统安全应满足以下要求：

- 1 应建立网络安全应急工作机制，对系统信息安全实行分级管理。
- 2 宜明确系统安全保护等级要求，可从物理层、网络层、应用层、系统层等方面构建多层次网络安全防护体系。
- 3 监控中心应建立物理安全保障措施，宜配备消防设施、防雷击和电磁干扰设备、视频安防和门禁系统，并配备恒温和 UPS 设备。
- 4 监控中心网络应按照功能划分安全域，宜分为数据存储域、数据处理域、应用服务域和工作域，且各安全域之间能够进行隔离。
- 5 应采用防火墙技术实现核心应用层与互联网之间的安全阻断与隔离，各应用服务器应采取安全防护措施以阻断木马程序、病毒的传播。
- 6 各应用服务器、工作站应安装防病毒软件、日志系统、安全审计模块等。
- 7 系统数据库应采用用户标识和鉴定、数据存取控制、数据库审计、异地备份等技术保证数据存取安全。

8.2.14 系统软件应具备下列安全功能：

- 1 用户角色管理、权限控制功能；
- 2 用户登录密码复杂性校验功能，并定期提示用户更换密码；
- 3 安全加密和分级授权功能；
- 4 日志记录功能，能够对用户登录、页面操作、配置修改、恶意攻击、系统故障等信息进行自动记录保存，能够事后统计和追查用户的访问操作。

8.2.15 采用云服务技术的监测系统应符合 GB/T 31167、GB/T 31168 的相关规定。

8.3 系统实施

8.3.1 系统实施前应进行硬件检查、检验，包括设备出厂检验、现场开箱检验和安装检验等，硬件技术性能应符合设计要求及产品技术文件的规定。

8.3.2 硬件安装前应开展质量抽检、计量测试抽样评价等检验工作，保障数据安全可靠。

8.3.3 硬件安装完成后应按照相关技术规定做好防水、防潮、防雷、防干扰等措施，确保系统硬件的正常运行。

8.3.4 隧道监测点布设应满足下列原则要求：

- 1 隧道监测点应不得侵入隧道建筑限界，且不影响正常行车安全。
- 2 监测点安装、更换、维护不应影响结构的正常受力和使用。测点布设对隧道衬砌结构产生破损时，应予以修复，且修复后承载能力不低于破损前。
- 3 表层监测点应能反映监测对象变形特征，埋入监测点不应削弱结构刚度和强度，且防水可靠。
- 4 隧道监测点布设应明确传感器的数量、安装要求，宜可更换，对于不可更换的测点，宜做冗余设计。

8.3.5 软件应严格按照说明书进行安装，并在安装完成后进行检验调试，检测相应参数是否达到设计要求

和相关软件产品检验检测标准的要求。对于未达到相应标准及要求的软件系统，应及时联系系统部署实施单位进行处理，并进行复检。

8.3.6 软件的不同模块安装完成后，应由系统部署实施单位进行联调和试运行，并对故障情况进行记录。

8.3.7 系统试运行期应检验系统的可靠性和耐久性，试运行期间出现的问题，系统部署实施单位应负责进行处理，处理结果以书面的形式存档。

8.3.8 单体隧道监测系统与省、部级隧道监测平台数据交互与共享时，应满足省、部级平台统一的链路、传输、安全技术要求。

8.4 系统验收

8.4.1 系统交付前应进行不低于3个月试运行，试运行期内应开展系统使用培训、功能完善、设备基准值校正、超限阈值设置等工作。

8.4.2 监测系统试运行期结束后，应开展系统验收工作。

8.4.3 系统验收采用交（竣）工一次验收，由建设单位组织实施，隧道结构监测系统交工后系统缺陷责任期宜为1年。

8.4.4 系统验收前，应对输入和输出的监测数据进行逻辑性、相关性和匹配性检验。

8.4.5 系统验收应包含系统硬件验收、系统软件验收和资料验收。

8.4.6 系统硬件验收应满足下列要求：

1 安装设备材料的数量、规格型号、技术参数等应与合同文件、设计文件一致，合格证、质保卡、说明书、计量证书及出厂检验报告等应齐全。

2 传感器安装位置应正确、牢固、端正，表面平整，与结构物接触面紧密，应采取必要的防腐防护措施，信号线按要求连接到位。

3 数据采集设备应处于正常工作状态，机柜内电力线、信号线、元器件等应布线平直、整齐、固定可靠，插头牢固，标识清晰；出线管与箱体连接应密封良好，机柜内应无积水、尘土、霉变；机柜接地应连接可靠，接地引出线无锈蚀。

4 光电缆线路敷设与监控中心设备安装应符合 JTG 2182 的相关规定。

8.4.7 系统软件验收应满足下列要求：

1 进行数据采集与传输软件功能完整性和一致性检查，正常采集、存储、转发监测数据，各项功能指标满足设计文件技术要求。

2 进行数据处理与管理软件功能完整性和一致性检查，正常接收、处理、存储、转发监测数据，各项功能指标满足设计文件技术要求。

3 进行用户界面软件功能完整性和一致性检查，各软件模块功能满足设计文件技术要求，静态基础数据、实时监测数据、历史统计数据等各类数据显示准确、齐全。

4 软件整体请求响应速度、数据刷新率等性能指标满足设计文件技术要求。

5 进行系统整体安全性检查，确保满足设计文件中对于网络信息安全相关技术要求。

8.4.8 系统交（竣）工验收应检查验收资料的齐全性、规范性和一致性，验收资料宜包含下列内容：

1 合同相关资料：合同协议书、合同谈判纪要等。

2 实施过程资料：系统设计文件、系统变更资料、设备进场报验资料、监测设备设施安装记录、设备设施检验资料、监理资料（质量控制资料）及有关会议纪要等。

3 技术成果资料：系统竣工图、实施成果报告、系统试运行报告、硬件维护手册、软件操作手册等。

8.4.9 验收不合格的项目应在1个月内完成整改并再次组织验收，未通过验收的工程不得交付使用。

8.5 系统运维

8.5.1 隧道监测系统部署后应加强管理与维护，应合理制订系统运维计划，建立设备维护台账、备品备件清单、列支系统年度维护（含备品备件）费用。

8.5.2 系统运维内容包含硬件设施和软件系统的日常检查、定期（专项）维护和应急维护等。

8.5.3 硬件设施日常检查应符合下列规定：

1 日常检查应结合隧道日常巡查工作开展。

2 系统的日常检查对巡查路线上监测设备的表观完好性及稳固性进行检查，并对巡查情况进行记录。

3 对监控中心用户界面展示的监测数据以及设备运行状态进行检查，并进行记录。

4 对巡查中发现的问题或系统软件反馈的问题，应及时处置或通知专业单位进行处置，并对处置结果

进行记录。

8.5.4 软件系统日常检查应符合下列规定：

- 1 不低于每周次日常检查。
- 2 日常检查内容包括各软件模块功能工作状态检查、实时数据及历史数据检查、超限数据检查确认等。
- 3 在系统不停机状态下进行软件日常检查，确需停机维护操作的，在系统访问低谷时间段开展。

8.5.5 硬件设施定期（专项）维护应符合下列规定：

- 1 不低于每半年进行次定期维护。
- 2 对监测传感器、采集设备等表观完好性进行检查；对设备及防护罩的固定情况以及传感器、采集设备与传输线路的接头紧固情况进行检查。
- 3 对现场采集站、监控中心内等易受灰尘影响的设备及机柜进行除尘处理。
- 4 对基于连通管原理设备的液位情况进行检查，定期补充连通管内液体至设计液位。

8.5.6 软件系统定期（专项）维护应符合下列规定：

- 1 不低于每月次定期维护。
- 2 软件定期维护内容包括软件系统时间同步检查、磁盘存储空间检查及清理、数据库异地备份及软件运行日志检查等。
- 3 对于有配置参数修改、更正的维护操作，应提前做好备份，并在维护完成后做好日志记录。

8.5.7 硬件设施应急维护应涵盖定期（专项）维护内容，并符合下列规定：

- 1 对强（台）风、强降雨等可预见的特殊事件发生前应对系统进行专项应急维护。
- 2 对维护发现的问题应快速响应并及时处置。

8.5.8 软件系统应急维护应符合下列规定：

- 1 软件应急维护内容宜包括软件模块崩溃恢复、功能异常修复和数据异常更正等。
- 2 当发现软件功能故障时，应及时进行确认和处治。
- 3 对于非软件因素造成的数据异常或中断等，应联合硬件维护人员进行排查、修复并做好维护记录。

9 数据管理

9.1 一般规定

- 9.1.1 隧道结构监测系统数据管理应包含数据编码、数据预处理、数据存储、数据交互与共享、数据安全。
- 9.1.2 监测数据管理应实现数据的完整性、准确性、一致性、时效性、可访问性。数据质量评估应符合 GB/T 36344 的相关规定。
- 9.1.3 监测系统的结构化数据应包括隧道基础数据、监测数据、特征值数据、超限值数据，非结构化数据可包括图像、音视频及文本。
- 9.1.3 数据管理应具备存储展示、搜索查询、报表生成等功能。

9.2 数据编码

- 9.2.1 隧道监测数据宜定义数据字典进行编码管理。
- 9.2.2 隧道监测数据宜包括隧道基础信息数据和监测信息数据。隧道基础信息数据编码应符合 JT/T 132 编目编码规则。
- 9.2.3 隧道监测测点编码应在 JT/T 132 隧道编号及扩充位的基础上按固定规则编码。
隧道监测数据应包含测点编号、数据采集时间及数值、数据状态等信息。
- 9.2.4 隧道实时监测数据应分隔为一定时长的样本，计算数据特征值，包含最大值、最小值、平均值等统计值，统计时长宜根据监测内容的特征确定。
- 9.2.5 隧道超限报警数据应记录测点编号、超限级别、超限值、超限时间等信息，超限级别划分应与超限管理级别一致。
- 9.2.6 隧道视频信息数据应以视频媒体文件形式压缩存储，视频文件应存储其属性信息，视频格式与编码宜符合 GB/T 28059.2 的规定。
- 9.2.7 隧道文本以文档格式分类分级别存储。

9.3 数据预处理

- 9.3.1 数据采集设备内置的数据预处理功能应与传感器的分辨力、精度、抗电磁干扰等性能相匹配，应剔除错误数据并将原始数据换算成反映隧道环境、病害、结构受力和变形的特征数据，并宜符合 GB/T 38637.2 的相关规定。
- 9.3.2 传感器感知的信号宜进行调理、预处理，原始监测数据信号选择对应的处理算法，宜采用阈值法、平均值法或其他滤波算法。
- 9.3.3 数据异构转换应支持感知控制设备或系统通信协议，支持解析指定的感知数据包和控制数据包，支持通过协议转换模块进行数据结构转换，实现感知控制设备与网关或系统之间数据互通。
- 9.3.4 从数据源中提取数据应支持全量抽取、增量抽取、基于日志抽取等抽取模式，可支持地理空间信息数据的抽取，支持数据抽取格式和流程的自定义配置。
- 9.3.5 对图像、音频、视频及文本非结构数据特征抽取应符合 GB/T 32630 的相关规定。

9.4 数据存储

- 9.4.1 隧道结构监测系统数据存储宜分为隧道现场采集站存储、监控中心计算机机房存储和云存储，宜在线存储，也可离线存储。
- 9.4.2 隧道现场数据采集站内宜安装采集计算机，采用循环更新存储方式。
- 9.4.3 应采用数据库技术存储监测系统数据，应提供存储调度、存储监控及存储管理可视化功能。数据库宜采用模块化架构，可按功能对隧道结构信息、监测系统信息和监测数据进行分层、分类存储和管理。宜包括隧道结构信息子数据库、监测系统信息子数据库、实时数据子数据库、数据分析子数据库、监测应用子数据库等。
- 9.4.4 隧道结构信息子数据库宜对隧道设计、竣工图纸以及专项资料进行存储和管理，数据库的表格宜按照隧道设计、竣工图纸、专项资料等分类。
- 9.4.5 监测系统信息子数据库应存储和管理传感器、数据采集和传输设备、数据管理和设备软件等信息，包括设备厂商、安装位置、品牌和规格等。
- 9.4.6 实时数据子数据库应存储和管理监测系统所有监测内容的原始数据。
- 9.4.7 数据分析子数据库应存储和管理采用统计方法、相关性分析、趋势性分析、比对性分析、机器学习

等分析的数据。

9.4.8 监测应用子数据库应存储和管理超限报警、评估、分析结果等数据。

- 1 监控中心计算机机房实时监测数据存储时间宜大于 5 年。经处理后的特征数据、超限报警、评估结果等结构化数据存储时间宜大于 20 年。
- 2 监控中心计算机机房非结构化视频数据存储宜大于 90 天，特殊事件视频数据应转移备份并永久保存。
- 3 监测系统宜采用容灾备份机制，可具备各类数据压缩存储和异地备份功能。

9.5 数据交互与共享

9.5.1 监测系统应具备与外部系统进行数据交互与共享功能。

9.5.2 监测系统与外部系统数据交互方式可采用数据交换接口、中间存储介质或数据库同步等方式。

9.5.3 数据交互应采取权限验证和安全管理措施，数据通过互联网传输时应进行传输加密和身份认证。

9.5.4 监测系统与省、部级隧道监测平台数据交互与共享时，应满足省、部级平台统一的链路、传输、安全技术要求。

9.6 数据安全

9.6.1 数据安全应包含数据完整性、数据加密、数据访问权限控制和数据可审计性。

9.6.2 数据完整性应包含数据传输完整性和数据存储完整性，并符合下列规定：

- 1 数据传输完整性应符合 GB/T 37025 的相关规定；
- 2 应采用封装签名、测试字验证、引用约束等方式保证数据存储完整性，并提供非完整数据的解决措施。

9.6.3 对监测系统敏感字段或业务数据应加密存储。

9.6.4 通过公网传输监测数据时，应根据管理要求进行加密传输，加密过程应使用国家密码管理部门批准使用的算法。

9.6.5 数据审计应具备监测记录外部用户访问监测数据行为的功能。

9.6.6 监测系统应具备数据访问权限控制功能，能够对用户访问权限进行分级管理。

10 监测应用

10.1 一般规定

- 10.1.1 系统应用应包括但不限于：监测数据分析、异常报警与阈值、检查指引、结构健康度评定、应急响应。
- 10.1.2 监测数据分析应支撑监测应用，可结合养护管理等系统的数据开展，并应定期形成数据分析报告，展现形式宜包括月报、季报和年报。
- 10.1.3 监测系统应满足数据交互与共享的要求，并可按需提供给相关部门进行联动。
- 10.1.4 应根据监测内容，积极拓展监测数据应用场景与应用方法。

10.2 监测数据分析

- 10.2.1 应分析隧址区气候环境、隧道洞口段、隧道衬砌结构与洞内环境及其他监测数据，并结合隧道养护经常检查、定期检查等数据。
- 10.2.2 监测数据分析应剔除错误数据，数据分析可采用特征值统计分析、相关性分析比较法、趋势性分析、机器学习等方法。
- 10.2.3 监测数据分析样例时长，根据监测内容的特征确定。
- 10.2.4 隧址区气候环境与隧道洞内环境监测数据分析符合下列规定：
 - 1 温度监测数据应分析最高温度、最低温度、最大温差，温度沿隧道纵向分布规律。
 - 2 雨量监测数据宜分析 1h 平均降雨量。
 - 3 其他应根据监测内容确定分析需求。
- 10.2.5 变形监测数据分析符合下列规定：
 - 1 监测数据应分析监测数据日变化量和累计变化量时程曲线、各测点监测数据平面分布图等。
 - 2 监测数据分析结果应与隧道病害监测数据进行关联分析。
- 10.2.6 受力监测数据分析符合下列规定：
 - 1 水压力、衬砌应力监测数据需分析监测数据日变化量和累计变化量时程曲线、各测点监测数据平面分布图等。
 - 2 水压力监测数据宜采用比较法、特征值统计法、相关性分析比较法，并结合隧址区水文地质及历年气象资料，进行趋势预测。
 - 3 衬砌应力监测数据可采用数值分析法、特征值统计法，建立衬砌应力应变、变形与外荷载、环境作用之间的关系。
 - 4 受力监测数据分析结果应与隧道病害监测数据进行关联分析。
- 10.2.7 数据分析报告应在数据预处理的基础上，剔除错误数据后形成，能够准确地反应监测对象的真实状态，反映包括但不限于异常信息统计和异常事件记录，并符合下列要求：
 - 1 异常信息统计应包括异常场景、异常设备、报警次数、异常极值及报警阈值。异常事件记录应包括异常事件、起止日期、事件描述及处治措施。
 - 2 季报和年报应包括但不限于异常信息统计及异常事件记录，并应定期汇总上报至省级隧道监测系统平台。
 - 3 其它报告频次可根据管养单位需求确定。

10.3 监测报警阈值与等级

- 10.3.1 异常报警设定三级报警阈值，当监测数据达到或超过报警阈值时，宜同步报警。当监测数据提示异常报警时，应深入分析监测数据，关注异常状态的影响程度和发展趋势。
- 10.3.2 报警阈值宜基于监测内容历史统计值、设计值和规范容许值确定，并宜考虑隧道管养、车辆安全通行等监测应用需求。
- 10.3.3 报警阈值应由结构监测指标为主，环境类型监测数据为辅确定，并由系统设计单位结合隧道监测场景和隧道管养需求提出，无法提出时可参考表 8 设置。

表 8 阈值设定表

监测项目	报警阈值	报警级别
竖向位移/墙脚沉降	达到设计0.6倍设计值	一级
	达到0.8倍的设计值	二级
	达到设计值或一天内出现10次以上二级报警	三级
水平位移	达到0.6倍的设计允许值	一级
	达到0.8倍的设计允许值	二级
	达到设计值或一天内出现10次以上二级报警	三级
周边位移	达到0.6倍的设计富余值	一级
	达到0.8倍的设计富余值	二级
	达到设计值或一天内出现10次以上二级报警	三级
拱顶下沉	达到0.6倍的设计允许值	一级
	达到0.8倍的设计值	二级
	达到设计值或一天内出现10次以上二级报警	三级
衬砌表面应力	达到0.6倍的设计允许值	一级
	达到0.8倍的设计允许值	二级
	达到设计值或一天内出现10次以上二级报警	三级
纵向差异沉降	达到0.6倍的设计允许值	一级
	达到0.8倍的设计允许值	二级
	达到设计值或一天内出现10次以上二级报警	三级

10.3.4 监测数据触发异常报警时，宜基于隧道特点、报警频次、异常极值等采取养护措施。报警级别达到二级时，异常情况应上报至省级监测平台；报警级别达到三级时，异常情况应上报至部级数据平台。

10.3.5 应在表 8 基础上，提出并制定适用阈值确定方法及标准。

10.4 检查指引

10.4.1 检查指引应围绕由监测数据指导、调整隧道检查工作。

10.4.2 监测数据和分析结果按表 9 给出建议。

表 9 阈值设定及养护建议表

监测项目	报警级别	养护建议
竖向位移/墙脚沉降	一级	密切关注隧道表观病害发展情况
	二级	对隧道开展专项检查，对成因进行分析评估
	三级	对隧道进行全面检查和结构安全评估
水平位移	一级	密切关注隧道表观病害发展情况
	二级	对隧道开展专项检查，对成因进行分析评估
	三级	隧道进行全面检查和结构安全评估
周边位移	一级	密切关注隧道表观病害发展情况
	二级	对隧道开展专项检查，对成因进行分析评估
	三级	隧道进行全面检查和结构安全评估
拱顶下沉	一级	密切关注隧道表观病害发展情况

监测项目	报警级别	养护建议
	二级	对隧道开展专项检查，对成因进行分析评估
	三级	隧道进行全面检查和结构安全评估
衬砌表面应力	一级	密切关注隧道表观病害发展情况
	二级	对隧道开展专项检查，对成因进行分析评估
	三级	隧道进行全面检查和结构安全评估
纵向差异沉降	一级	密切关注隧道表观病害发展情况
	二级	对隧道开展专项检查，对成因进行分析评估
	三级	隧道进行全面检查和结构安全评估

10.4.3 管养单位应在表 9 基础上，提出并制定检查指引具体内容。

10.5 结构健康度评定

10.5.1 健康度评定目的为评估确定当前隧道结构安全和功能相对初始状态或设计规定的水平。

10.5.2 健康度等级划分为 I 基本完好、II 轻微异常、III 中等异常、IV 严重异常四级，评定标准见表 10。

表 10 隧道结构健康度等级评定依据

健康度等级	隧道结构
I 基本完好	结构安全可靠或轻微损伤和功能完备
II 轻微异常	结构损伤和功能完备
III 中等异常	结构损伤和功能部分丧失
IV 严重异常	结构损伤严重和功能丧失

10.6 应急响应

10.6.1 隧道在强降水、地质灾害、地震等自然灾害时，应进行特殊事件数据分析辅助应急管理措施决策，并评估结构健康度，必要时组织专家研判。

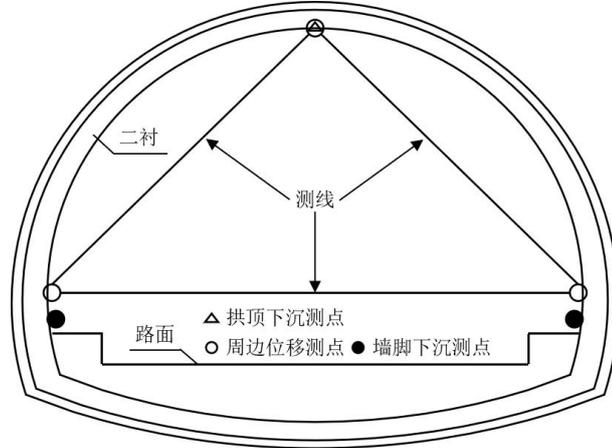
10.6.2 隧道管养单位在接收到监测系统异常报警后，应及时核实异常报警的影响范围。

10.6.3 隧道管养单位应做好必要的应急响应工作记录。

附录 A
(规范性)
监测点布置位置及代号

A.1 测点布置位置

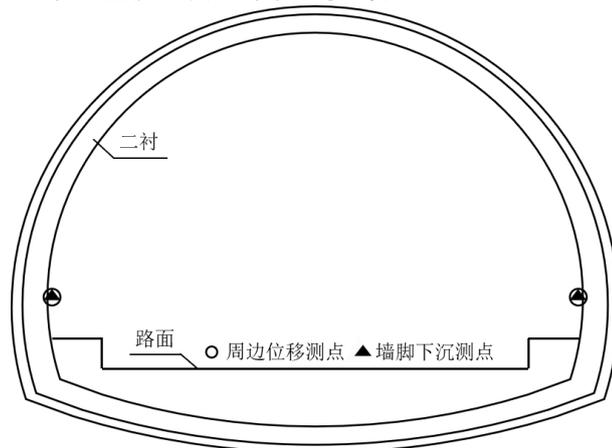
A.1.1 周边位移、拱顶下沉、墙脚下沉监测点布置可参考图 A.1。



○ 周边位移监测点 ▲ 拱顶下沉监测点 ● 墙脚下沉监测点

图 A.1 周边位移、拱顶下沉、墙脚下沉监测点布置示意图

A.1.2 隧道竖向位移、隧道水平位移监测点布置可参考图 A.2。



▲ 隧道竖向位移监测点 ○ 隧道水平位移监测点

图 A.2 隧道竖向位移、隧道水平位移监测点布置示意图

A.1.3 端墙式洞门位移监测点布置图可参考图 A.3。



图 A.3 端墙式洞门位移监测点布置示意图

A. 1. 4 洞口边仰坡变形监测点布设可参考图 A. 4。

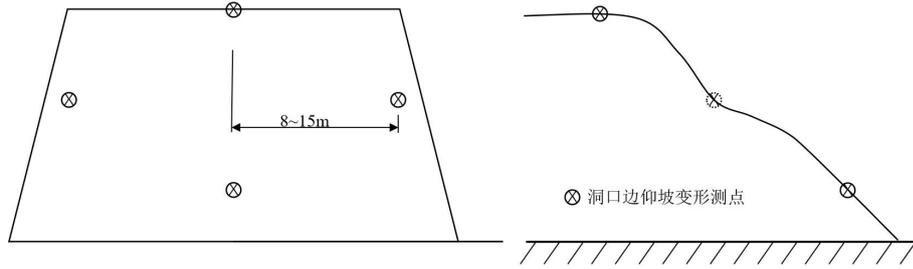


图 A. 4 洞口边仰坡变形监测点布设示意图

A. 1. 5 地层水平位移监测点布设可参考图 A. 5。

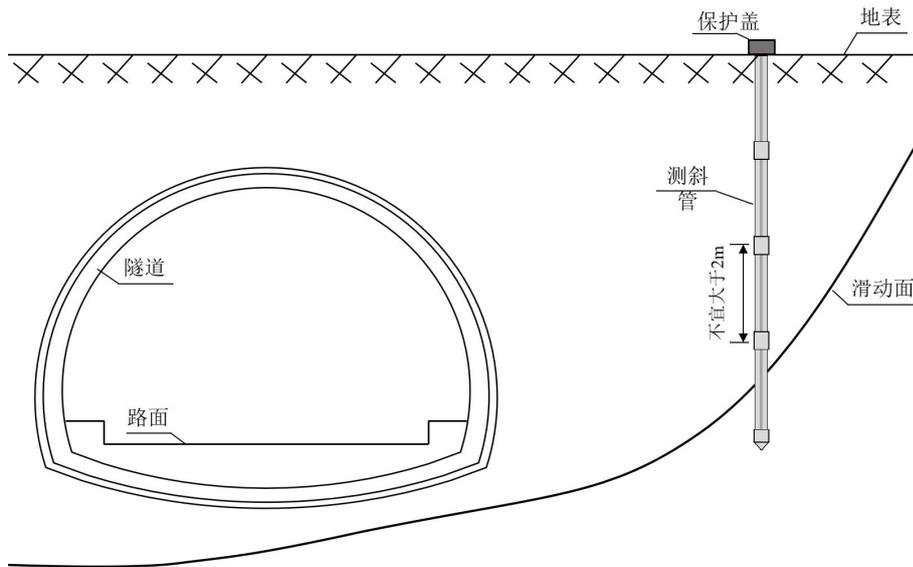


图 A. 5 地层水平位移监测点布设示意图

A. 1. 6 衬砌表面应力监测点布设可参考图 A. 6。

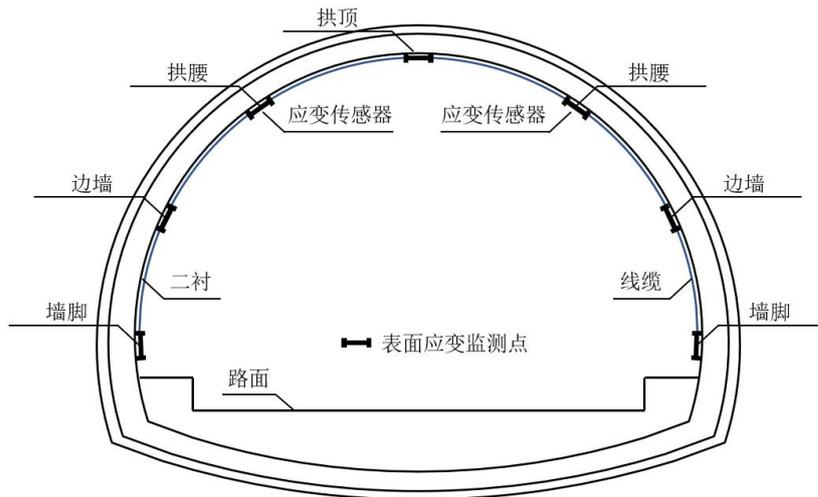
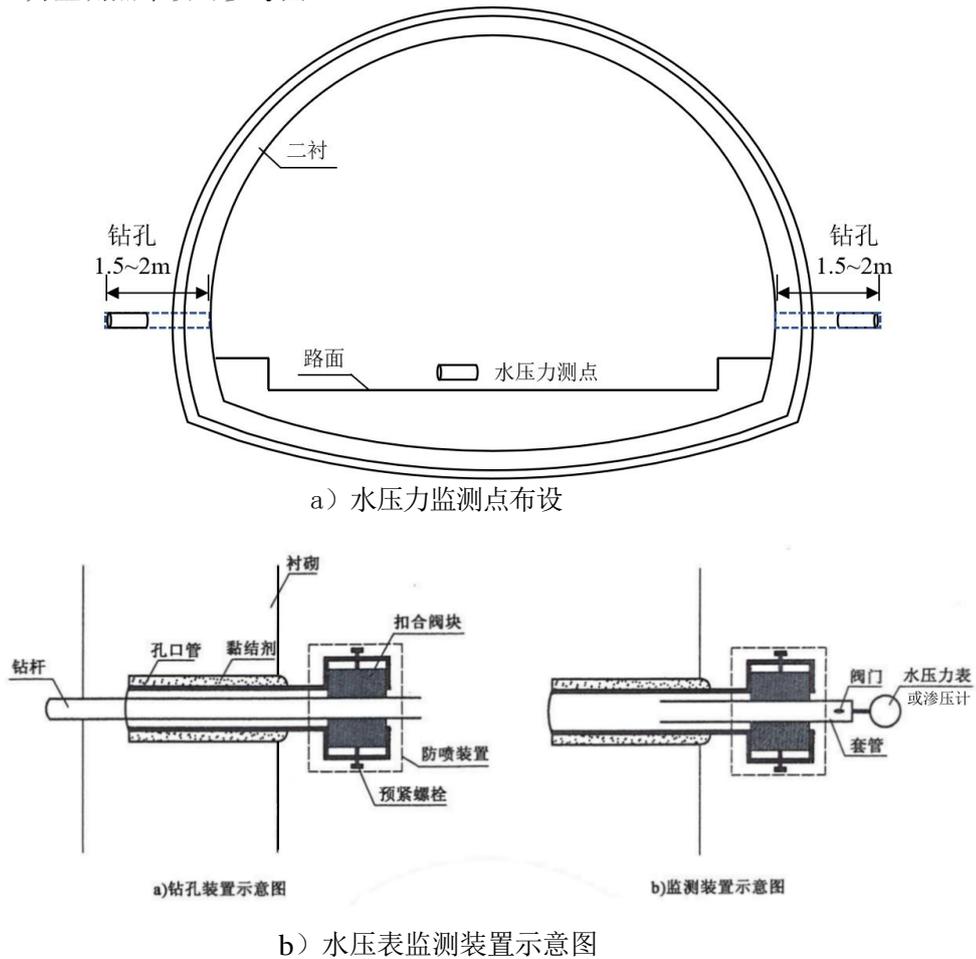


图 A. 6 衬砌表面应力监测点布设示意图

A. 1. 7 水压力监测点布设可参考图 A. 7。



注：水压计安装基本流程为钻孔→套管引流→黏结剂锚固孔口管→待黏结牢固后安装水压力表或渗压计监测水压力。

图 A. 7 水压力监测点布设及监测装置

A. 1. 8 衬砌裂缝宽度或错台监测点布设可参考图 A. 8。

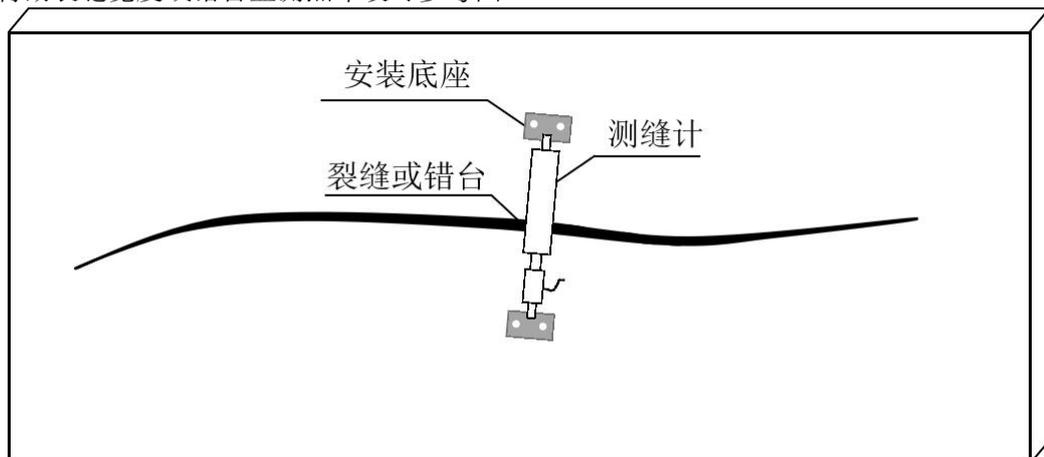


图 A. 8 衬砌裂缝宽度或错台监测点布设示意图

A.1.9 纵向沉降监测点布设可参考图 A.9。

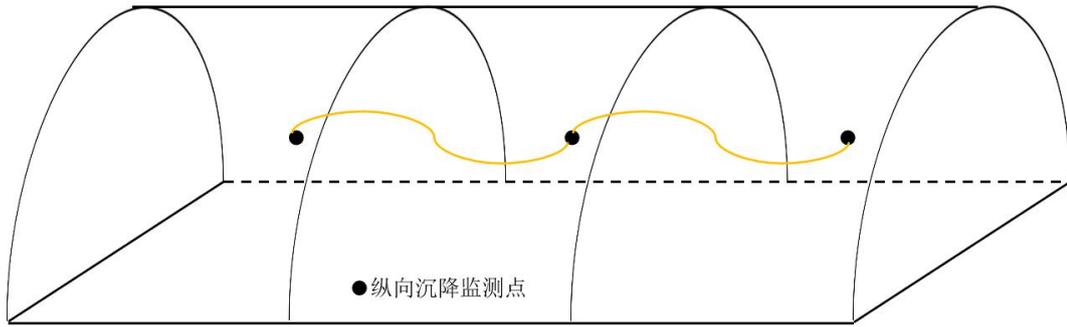


图 A.9 纵向沉降监测点布设示意图

A.2 监测项目代号

A.2.1 监测点编号可按图 A.9 所示规则编制，监测项目代号、监测点位置代号宜分别符合表 A.1、表 A.2、表 A.3 的规定，监测断面编号可取里程桩号。

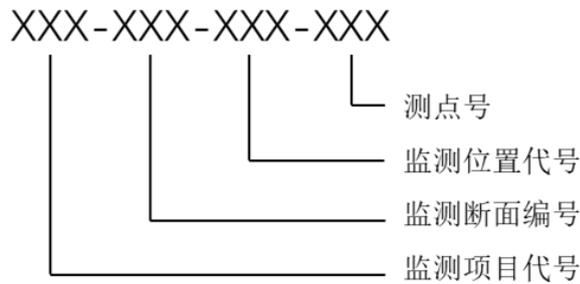


图 A.10 监测点编号组成

表 A.1 监测项目代号表

序号	监测项目名称	项目代号
1	错台	CT
2	周边位移	ZBW
3	拱顶下沉	GDC
4	墙脚沉降	QJJ
5	隧道竖向位移	SXW
6	隧道水平位移	SPW
7	纵向差异沉降	ZCY
8	衬砌应力	CQL
9	衬砌（结构）表面应力	BML
10	围岩压力	WYL
11	水压力	SYL
12	隧道内环境温度	DNW
13	洞口边仰坡地表位移	DYW

表 A.2 监测点位置代号表

监测点位置	代号	监测点位置	代号
拱顶	GD	拱底	GDI
左拱腰	ZGY	左侧墙	ZCQ
右拱腰	YGY	右侧墙	YCQ
左边墙	ZBQ	左墙脚	ZQJ
右边墙	YBQ	右墙脚	YQJ
仰拱	YG		

表 A.3 隧道监测系统数据字段表

模块	功能定位	数据目录	单位
隧道信息	工程概况		
	地理位置		
	隧道名称		
	隧道长度	特长隧道	m
	开挖工法	钻爆法隧道	
		...	
		...	
	围岩级别	Ⅰ级	
		Ⅱ级	
		Ⅲ级	
		Ⅳ级	
		Ⅴ级	
	设计标准		
设计时速	设计时速	km/h	
通车时间			
养护等级	一级		
	二级		
	三级		
健康监测	监测项目		
	监测断面		
	监测点位		
	监测断面信息	断面编号	
		里程桩号	
		埋深	m
		穿越围岩	
	监测数据	监测数据	
		本次变化量	
累计变化量			
变化速率			

模块	功能定位	数据目录	单位
数据分析	日常运营监测数据分析	异常数据分析	
		趋势预测	
		数据对比分析	
		相关性分析	
	突发事件监测数据分析	异常数据分析	
		趋势预测	
		数据对比分析	
		相关性分析	
数据应用	结构安全预警	监测数据超限	
	结构状态综合评估	监测项目	
	结构病害成因分析	监测项目	
	设备故障警情	设备存活率	

附录 B
(规范性)
隧道风险评估方法

山岭隧道洞口滑塌风险、衬砌崩落风险、隧道突涌水风险评估方法及内容如下所述。

B.1 隧道洞口滑塌风险

B.1.1 隧道洞口滑塌风险调查与辨识应包括下列内容：

- (1) 隧址区近 10 年降雨分布情况，单次最大降雨量、中雨以上者单次连续时长最大值。
- (2) 隧道洞口岩体构造。
- (3) 隧道洞口地表状况。
- (4) 隧道洞口排水设施功能。
- (5) 隧道洞口边仰坡防护体状况。

B.1.2 隧道洞口滑塌风险评估应按外部环境作用强度和隧道洞口易损性两类风险致因进行风险辨识。

B.1.3 隧道洞口滑塌风险外部环境作用强度应辨识下列因素：

- (1) 隧址区降水强度，隧址区降水强度宜根据年降水总量与单次最大降水量按表 B.1 划分为强、中、弱三类。

表 B.1 隧址区降水强度划分标准

年降水总量 (mm)	单次最大降水量 (mm)	隧址区降水强度
>800	-	强
400-800	>500	强
	-	中
<400	>90	中
	-	弱

注：当近 10 年年降水量呈明显增加趋势时，隧址区降水强度中或弱时宜提高一级。

- (2) 隧道洞口岩体构造，应按岩层与边坡坡向关系分为：顺层、逆层及其他。
- (3) 隧道洞口地表状况，应按表 B.2 进行分类识别。

表 B.2 隧道洞口地表类型划分

隧道洞口地表状况类别	裂缝或沉陷	无裂缝或沉陷
地表存在积水或汇水或/迎水面	极差	差
地表不存在积水、汇水、迎水面	差	正常

- (4) 隧道洞口排水设施匹配性，可按表 B.3 划分。

表 B.3 排水设施匹配性等级划分

排水设施匹配性等级		排水需求程度		
		强	中等	一般
洞口排水设施	完备且功能良好	一般	良	良
	有但部分功能失效	差	一般	良
	无	差	差	一般

B.1.4 隧道洞口滑塌风险外部环境作用强度应按照下列要求判断：

- (1) 隧道洞口外部环境作用强度控制因素按照不能等级或类型进行赋值，赋值要求按照表 B.4 所示。

表 B.4 隧道洞口外部环境控制性风险致因分值

控制性风险致因			分值
1	隧址区降水强度	强	3
		中	2
		弱	1
2	隧道洞口地表状况类别	极差	3
		差	2
		正常	1
3	洞口岩体构造	顺层	3
		其他	2
		逆层	1
4	隧道洞口排水设施匹配性	差	3
		一般	2
		良	1

(2) 隧道洞口滑塌风险外部环境作用强度按照 4 个控制性风险致因的分值和确定，划分如表 B.5。

表 B.5 隧道洞口外部环境作用强度划分

隧道洞口外部环境作用强度	总分值
严重	>8
中等	>6, ≤8
轻度	4-6

B.1.5 隧道洞口设施易损性应按表 B.6 划分。

表 B.6 隧道洞口设施易损性划分标准

隧道洞口设施状况			易损性等级
无防护设施			易损性强烈
有防护设施	设施齐全	技术状况良好	易损性弱
		技术状况较差	易损性中等
	部分设施缺失	功能失效	易损性强烈
		既有设施技术状况良好	易损性中等
		既有设施技术状况较差	易损性强烈
		既有设施功能失效	易损性强烈

B.1.6 隧道洞口滑塌风险宜按隧道外部环境作用强度和隧道设施易损性两者按矩阵法评估，评估标准可按照表 B.7 确定评估等级。

表 B.7 隧道洞口滑塌风险等级划分

风险致因		隧道外部环境作用强度		
		严重	中等	轻度
设施易损性	易损性强烈	较大风险	较大风险	一般风险
	易损性中等	较大风险	一般风险	低风险
	易损性弱	一般风险	低风险	低风险

B. 1. 7 隧道洞口滑塌风险外部环境作用强度对应分值大于 11 时，隧道洞口滑塌风险应提高一级；隧道洞口滑塌风险等级为较大风险、一般风险，隧道洞口无防护措施或防护措施失效时，风险等级应提高一级为重大风险、较大风险。

B. 2 隧道衬砌崩落风险

B. 2. 1 公路隧道存在下列情况时，应开展隧道衬砌突发性崩落风险评估：

- (1) 隧道赋存高地应力或软岩地层
- (2) 围岩冻胀显著
- (3) 围岩具有遇水膨胀属性
- (4) 混凝土存在腐蚀
- (5) 项目沿线隧道出现崩落事件

B. 2. 2 隧道衬砌崩落风险主要诱因为地下水时，可按隧道突涌水风险开展评估。

B. 2. 3 风险调查与辨识应包括下列内容：

- (1) 隧道最大埋深及围岩属性。
- (2) 隧道围岩地下水赋存及季节性变化。
- (3) 隧道内部或岩体温湿度变化。
- (4) 隧道地下水腐蚀性。
- (5) 隧道工程地质构造。
- (6) 隧道衬砌结构病害类型及特征。
- (7) 隧道服役时间。

B. 2. 4 隧道衬砌崩落风险评估应按外部环境作用强度和隧道设施崩落易损性两类风险致因进行风险辨识。

B. 2. 5 高地应力软岩隧道应按下列因素及规定进行判别：

- (1) 隧道地应力类型，应按围岩强度应力比值划分为：极高地应力、高地应力、一般地应力三类。
- (2) 隧道地下水赋存状态，应分为一般、富水两类，可按隧道排水系统与隧道渗漏水病害状况进行定。

表 B. 8 隧道地应力类型划分

围岩强度应力比	<4	4-7	>7
地应力类型	极高地应力	高地应力	一般地应力

表 B. 9 隧道地下水赋存状况划分

地下水赋存状况	一般状态	富水状态
定性描述	排水系统常年无水，隧道且无渗漏水现象	排水系统经常有水流动，或隧道有渗漏水现象

(3) 外部环境作用强度划分标准应符合表B. 10要求。

表 B. 10 高地应力软岩隧道外部环境作用强度划分

外部环境作用强度		地应力类型		
		极高地应力	高地应力	一般地应力
地下水赋存状况	一般状态	严重	中等	轻度
	富水状态	严重	严重	轻度

B. 2. 6 冻胀隧道应按下列因素及规定进行判别：

- (1) 隧道地下水赋存状态，应按表 B. 11 划分。
- (2) 隧道围岩完整程度，应按照《工程岩体分级标准》(GB 50218) 分为完整、较完整、较破碎、破碎、极破碎。
- (3) 隧道排水系统状态，应分为通畅、堵塞两类。
- (4) 隧道衬砌保温措施，应按保温效果划分为有效、无效两类。
- (5) 冻胀隧道外部环境作用强度宜按表 B. 11 划分。

表 B. 11 冻胀隧道外部环境作用强度划分

控制因素		衬砌保温措施	隧道排水系统状态	隧道围岩完整程度	外部环境作用强度
隧道地下水赋存状态	一般	—	—	—	轻度
	富水	有效	通畅	—	轻度
			堵塞	完整/较完整	轻度
		较破碎/破碎/极破碎		中等	
		无效	/	完整/较完整	轻度
	较破碎			中等	
			破碎/极破碎	严重	

B. 2. 7 膨胀岩隧道应按下列因素及规定进行判别：

- (1) 隧道地下水赋存状态及周期变化情况，应分为周期性富水、常态富水和一般。
- (2) 隧道围岩膨胀类型，应分为化学膨胀型、物理膨胀型。
- (3) 膨胀岩隧道外部环境作用强度宜按表 B. 12 划分。

表 B. 12 膨胀岩隧道外部环境作用强度划分

控制因素		围岩膨胀类型	外部环境作用强度
隧道地下水赋存状态及周期变化	一般	—	轻度
	常态富水	化学膨胀型	轻度
		物理膨胀型	中等
	周期性富水	化学膨胀型	中等
物理膨胀型		严重	

B. 2. 8 混凝土腐蚀类隧道应按下列因素及规定进行判别：

- (1) 混凝土腐蚀类型：碳硫硅钙石型硫酸盐腐蚀、钙矾石型硫酸盐腐蚀、氯离子腐蚀。
- (2) 混凝土腐蚀最大厚度。
- (3) 混凝土腐蚀类隧道外部环境作用强度宜按表 B. 13 划分。

表 B. 13 混凝土腐蚀类隧道外部环境作用强度划分

外部环境作用强度		混凝土腐蚀类型		
		碳硫硅钙石型硫酸盐腐蚀	钙矾石型硫酸盐腐蚀	氯离子腐蚀
混凝土腐蚀最大厚度	<0. 1h	中等	轻度	轻度
	0. 1h-0. 2h	严重	中等	中等
	>0. 2h	严重	严重	严重

B. 2.9 隧道设施崩落易损性应考虑下列受控因素：

- (1) 隧道服役时长，划分标准见表 B. 14。
- (2) 隧道衬砌结构病害及缺陷状况，应以裂缝、厚度不足、背后空洞为主，并依据发育情况分为三类：L 类为含三者之一；T 类含三者之二及以上时；V 类不存在三者之一。
- (3) 隧道衬砌混凝土类型，应按是否配筋分为素混凝土、钢筋混凝土两类。
- (4) 隧道设施崩落易损性应按表 B. 15 划分。

表 B. 14 隧道服役时长类型划分标准

序号	服役时长（年）	表征符号
1	<10	G
2	10-20	H
3	>20	K

表 B. 15 隧道衬砌结构易损性划分标准

衬砌混凝土类型	衬砌结构病害及缺陷状况	隧道服役时长	易损性等级
素混凝土结构	V	G	易损性弱
		H/K	易损性中等
	L	G	易损性中等
		H/K	易损性强烈
	T	--	易损性强烈
钢筋混凝土结构	V	--	易损性弱
	L	G	易损性弱
		H/K	易损性中等
	T	G	易损性中等
H/K		易损性强烈	

B. 2.10 隧道衬砌崩落风险宜按隧道外部环境作用强度和隧道设施易损性两者按矩阵法评估，评估标准可按照表 B. 16 确定评估等级。

表 B. 16 隧道衬砌崩落风险等级划分

风险致因		隧道外部环境作用强度		
		严重	中等	轻度
设施易损性	易损性强烈	较大风险	较大风险	一般风险
	易损性中等	较大风险	一般风险	低风险
	易损性弱	一般风险	低风险	低风险

B. 2.11 公路隧道崩落风险诱因高地应力软岩、围岩膨胀、围岩冻胀及围岩腐蚀，存在两种及以上共同存在时，隧道衬砌崩落风险等级最高为一般风险时应提升一级为较大风险。

B. 3 隧道突涌水风险

B. 3.1 隧道穿越岩溶、断层破碎带、采空区等不良地质，且年降雨量 400mm 及以上时，应开展隧道突涌水风险评估。

B. 3.2 隧道突涌水按照部位可划分为：隧道施工缝、衬砌裂缝、电缆沟和路面，四种类型。

B. 3.3 风险调查与辨识应包括下列内容：

- (1) 隧址区近 10 年降雨分布情况，单次最大降雨量、中雨以上者单次连续时长最大值。
- (2) 隧道围岩埋深及岩体透水特征。
- (3) 隧道不良地质发育情况及其与隧道空间关系。

- (4) 隧道设施病害类型及程度。
- (5) 隧道防排水系统功能状况。
- (6) 隧道服役时间。

B. 3. 4 隧道突涌水风险评估应按隧道水环境作用强度和隧道设施水毁敏感性两类风险致因进行风险辨识。

B. 3. 5 隧道水环境作用强度识别应考虑隧址区降水强度、岩溶发育状态、地质构造发育情况及地层透水性特征及与隧道高程关系，并符合下列规定：

- (1) 隧址区降水强度宜根据年降水总量与单次最大降水量按表 B. 17 划分为强、中、弱三类。

表 B. 17 隧址区降水强度划分标准

年降水总量 (mm)	单次最大降水量 (mm)	隧址区降水强度
>800	---	强
400~800	>500	强
	---	中
<400	>90	中
	---	弱

注：当近 10 年年降水量呈明显增加趋势时，隧址区降水强度中或弱时宜提高一级。

- (2) 地层透水性特征及与隧道空间关系宜分为隧道上覆围岩均为非透水性岩层 (A)、隧道上覆围岩均为透水性岩层 (B)、隧道上覆岩层为隔水地层与含水地层互层 (C)。
- (3) 地层岩溶发育状态可分为强发育、中等发育、弱发育，当隧道影响范围内存在采空区时，地层按岩溶强发育考虑。
- (4) 地质构造发育应考虑向斜、断层破碎带；

B. 3. 6 隧道水环境作用强度可按表 B. 18 划分。

表 B. 18 隧道水环境作用强度划分标准

控制要素		地层透水性特征 及与隧道关系	地层岩溶 发育状态	地质构造 发育情况	隧道水环境 作用强度	
隧址区 年降水 强度	强	--	强发育	--	严重	
			中等发育	向斜	严重	
			弱发育	--	中等	
	中	-- A、B -- C	强发育	向斜	严重	
				--	中等	
			中等发育	向斜	中等	
				--	轻度	
			弱发育	--	向斜+断层破碎带	严重
				--	断层破碎带	中等
	弱	---	---	---	轻度	

B. 3. 7 隧道土建设施水损敏感性辨识应考虑下列受控因素：

- (1) 隧道服役时长，应根据服役时长划分为 3 类，划分标准见表 B. 14。
- (2) 隧道衬砌结构病害及缺陷状况，应以裂缝、厚度不足、背后空洞为主，并依据发育情况分为两类：W 类含三者之一及以上时；V 类不存在三者之一。
- (3) 隧道排水系统状态，应分为通畅、堵塞两类。
- (4) 隧道衬砌混凝土类型，应按是否配筋分为素混凝土、钢筋混凝土两类。
- (5) 隧道衬砌接缝防水构造，应安全功能是否完整分为构造完好、构造失效两类。
- (6) 隧道电缆沟，应根据内壁劣损情况分为完整、破损两类。
- (7) 隧道路面，应根据路面病害发育情况分为完整、隆起/开裂两类。

B. 3.8 隧道土建设施水损敏感性辨识应根据受控因素组合情况分为易损性强烈、易损性中等、易损性弱三个等级，划分标准可参照表 B. 19 至表 B. 22。

表 B. 19 隧道衬砌结构水损敏感性划分标准

隧道排水系统状态	隧道衬砌混凝土类型	隧道衬砌结构病害及缺陷状况	隧道服役时长	水损敏感性等级
畅通	素混凝土结构	V	---	易损性弱
		W	G	易损性中等
			HK	易损性强烈
	钢筋混凝土结构	V	---	易损性弱
		W	G	易损性弱
			HK	易损性中等
堵塞	素混凝土结构	V	---	易损性中等
		W	---	易损性强烈
	钢筋混凝土结构	V	---	易损性弱
		W	G	易损性中等
			HK	易损性中等
				易损性强烈

表 B. 20 隧道衬砌接缝水损敏感性划分标准

隧道排水系统状态	畅通				堵塞		
	构造完好		构造失效		构造完好		构造失效
衬砌接缝防水构造							
隧道服役时长	G	H/K	G	H/K	G	H/K	---
水损敏感性等级	易损性弱	易损中等	易损中等	易损强烈	易损中等	易损强烈	易损强烈

表 B. 21 隧道路面水损敏感性划分标准

隧道排水系统状态	畅通			堵塞		
	完好	隆起开裂		完好	隆起开裂	
隧道路面						
隧道服役时长	--	G	H/K	--	G	H/K
水损敏感性	易损性弱	易损性弱	易损性中等	易损性中等	易损性中等	易损性强烈

表 B. 22 隧道电缆沟水损敏感性划分标准

隧道排水系统状态	畅通			堵塞		
	完好	破损		完好	破损	
隧道电缆沟						
隧道服役时长	--	G	H/K	--	G	H/K
水损敏感性	易损性弱	易损性弱	易损性中等	易损性中等	易损性中等	易损性强烈

B. 3.9 隧道突涌水风险宜按隧道水环境作用强度和隧道设施水毁敏感性两者按矩阵法评估，评估标准可按照表 B. 23 确定评估等级。

表 B. 23 隧道突涌水风险等级划分

风险致因		长期降水对隧道设施影响程度		
		严重	中等	轻度
设施水损敏感性	易损性强烈	较大风险	较大风险	一般风险
	易损性中等	较大风险	一般风险	低风险
	易损性弱	一般风险	低风险	低风险

附录 C
(规范性)
数据接口

C.1 数据协议及签名

单结构物监测系统与省级平台数据交换将使用 http 协议进行传输，通过调用省级平台提供的接口进行数据上传，省级平台根据需要可以通过该协议调用单结构物监测系统接口及单点登录访问等。省级技术支持单位将提供开发者平台以便单结构物监测系统开展数据对接事宜，开发者平台地址及开发账号请联系技术支持单位获取。单结构物监测系统数据在接入前，需在开发者平台先补充完善相关基础数据（如结构物基础信息、监测测点相关信息等），并获取开发密钥（包括 AppKey 及 AppSecret，AppSecret 不能对外暴露）及在线接口文档等。基于对接口的统一约束，方便开发，对数据接口及参数签名作以下要求：

(1) http 请求必要参数

单结构物监测系统与省级平台的每个数据接口必须提供以下必要 header 参数，用于对数据进行签名及验签，默认提供数据接口都用 Post 请求，Content-Type 为 application/json，http 请求的 Header 应包括以下必要参数：

表 C.1 Header 参数说明

参数名	类型	说明	示例值	
Header 参数	appKey	string	省级平台提供的 AppKey	923527d01230467a
	rnd	long	时间戳，精确到秒。允许与北京时间有 5 分钟的误差（单结构物系统要保证系统时间的正确性）	1736218470
	sign	string	发送方计算出待发送数据的签名，需要转为大写形式， 计算方式为： $sign=Sha1(post \text{ 请求字符串} + rnd + AppKey + AppSecret)$ ，各参数的含义见“签名计算”相关内容	04A4ACB9602804D26 EE6E8CB8A2AC9642C 511BAF

(2) 签名计算及验签

为了保证数据安全，无论是省平台或单结构监测系统提供的接口都需要进行签名验证，数据签名使用 Sha1 摘要算法。发送方把待发送数据结合当前时间戳及持有的密钥对待发送数据进行签名得到数据签名串 sign，随后把签名串 sign 及待发送数据发送给接收方，接收方在接收数据时用同样的方式结合自己持有 AppSecret 重新计算一次数据签名串得到 sign1，通过比较 sign 与 sign1 是否相同来验证数据的合法性及完整性，保证数据在传输过程中没有被篡改过，以便完成请求验证及处理。其中相关密钥由省级平台提供，双方共同持有，其中签名 sign 的计算方式如下： $sign=Sha1(post \text{ 请求字符串} + rnd + AppKey + AppSecret)$

表 C.2 签名计算参数说明

参数	类型	说明	示例值
post 请求字符串	string	http 请求 body 的内容，如 json 数据	{"key1": "string", "key2": 1}
rnd	long	时间戳，精确到秒	1736218470
appKey	string	由省级平台提供	923527d01230467a
appSecret	string	由省级平台提供，不能对外暴露	b2817c8412264da3879a5d54112ebac6

(3) 对接流程

单结构物监测系统与省级平台对接流程如下图 C.1 所示。



图 C.1 单结构物监测系统与省级平台对接流程示意图

C.2 监测数据接口

表 C.3 GNSS 位移监测实时数据接入

参数名	必选	类型	说明	示例
Code	是	string	测点唯一编号	略
DataTime	是	long	时间戳，精确到秒，表示哪一秒采集到的数据	1668386275300
Data	是	对象数组	该秒内采集到多个数据	略
X	是	float	数组对象中的 X 向变化值	略
Y	是	float	数组对象中的 Y 向变化值	略
Z	是	float	数组对象中的 Z 向变化值	略

表 C.4 应变监测实时数据接入

参数名	必选	类型	说明	示例
Code	是	string	测点唯一编号	略
DataTime	是	long	时间戳，精确到秒，表示哪一秒采集到的数据	1668386275300
Data	是	对象数组	该秒内采集到多个数据	略
Temperature	否	float	数组对象中的温度值	略
data	是	float	数组对象中的应变值	略

表 C.5 应力监测实时数据接入

参数名	必选	类型	说明	示例
Code	是	string	测点唯一编号	略
DataTime	是	long	时间戳，精确到秒，表示哪一秒采集到的数据	1668386275300
Data	是	对象数组	该秒内采集到多个数据	略
Temperature	否	float	数组对象中的温度值	略
data	是	float	数组对象中的应力值	略

表 C. 6 倾角监测实时数据接入

参数名	必选	类型	说明	示例
Code	是	string	测点唯一编号	略
DateTime	是	long	时间戳，精确到秒，表示哪一秒采集到的数据	1668386275300
Data	是	对象数组	该秒内采集到多个数据	略
X	是	float	数组对象中的 X 向倾角值	略
Y	是	float	数组对象中的 Y 向倾角值	略

表 C. 7 孔压监测实时数据接入

参数名	必选	类型	说明	示例
Code	是	string	测点唯一编号	略
DateTime	是	long	时间戳，精确到秒，表示哪一秒采集到的数据	1668386275300
Data	是	对象数组	该秒内采集到多个数据	略
Temperature	否	float	数组对象中的温度值	略
data	是	float	数组对象中的孔隙水压力值	略

表 C. 8 含水率监测实时数据接入

参数名	必选	类型	说明	示例
Code	是	string	测点唯一编号	略
DateTime	是	long	时间戳，精确到秒，表示哪一秒采集到的数据	1668386275300
Data	是	对象数组	该秒内采集到多个数据	略
Temperature	否	float	数组对象中的温度值	略
data	是	float	数组对象中的体积含水率值	略

表 C. 9 降雨量监测实时数据接入

参数名	必选	类型	说明	示例
Code	是	string	测点唯一编号	略
DateTime	是	long	时间戳，精确到秒，表示哪一秒采集到的数据	1668386275300
Data	是	对象数组	该秒内采集到多个数据	略
Temperature	否	float	数组对象中的温度值	略
data	是	float	数组对象中的降雨量值	略

表 C. 10 裂缝监测实时数据接入

参数名	必选	类型	说明	示例
Code	是	string	测点唯一编号	略
DateTime	是	long	时间戳，精确到秒，表示哪一秒采集到的数据	1668386275300
Data	是	对象数组	该秒内采集到多个数据	略
Temperature	否	float	数组对象中的温度值	略
data	是	float	数组对象中的裂缝宽度值	略

表 C. 11 深层水平位移监测实时数据接入

参数名	必选	类型	说明	示例
Code	是	string	测点唯一编号	略
DateTime	是	long	时间戳，精确到秒，表示哪一秒采集到的数据	1668386275300
Data	是	对象数组	该秒内采集到多个数据	略
depth	是	float	数组对象中的沿孔深高程值	略
X	是	float	数组对象中的 X 向变化值	略
Y	是	float	数组对象中的 Y 向变化值	略
Z	是	float	数组对象中的 Z 向变化值	略

表 C. 12 机器视觉表面位移监测实时数据接入

参数名	必选	类型	说明	示例
Code	是	string	测点唯一编号	略
DateTime	是	long	时间戳，精确到秒，表示哪一秒采集到的数据	1668386275300
Data	是	对象数组	该秒内采集到多个数据	略
pointX	否	float	数组对象中的测点在图像的横坐标中心位置	略
pointY	否	float	数组对象中的测点在图像的纵坐标中心位置	略
X	是	float	数组对象中的横向变化值	略
Y	是	float	数组对象中的纵向变化值	略

表 C. 13 视频文件上传数据接入

参数名	必选	类型	说明	示例
ProjectId	是	string	测点唯一编号	略
DateTime	是	long	时间戳，精确到秒，表示哪一秒采集到的数据	1668386275300
Data	是	对象数组	该秒内采集到多个数据	略
data	是	float	视频文件片段 BASE64 序列化值	略

表 C. 14 图片文件上传数据接入

参数名	必选	类型	说明	示例
ProjectId	是	string	测点唯一编号	略
DataTime	是	long	时间戳, 精确到秒, 表示哪一秒采集到的数据	1668386275300
Data	是	对象数组	该秒内采集到多个数据	略
data	是	float	图片文件片段 BASE64 序列化值	略

表 C. 15 预警信息接入

参数名称	类型	必须	描述	示例值
WarningInfoClientId	string	是	单隧系统数据的预警 Id, 确保唯一, 不能重复调用	略
TunnelCode	string	是	隧道编码	略
ThirdChannelCode	string	是	测点编码	略
WarningLevel	int	是	1=一级, 2=二级, 3=三级	略
WarningValue	double	是	超限值	略
DataUnit	string	是	单位	略
WarningTimeUnix	long	是	报警时间时间戳毫秒	1668059716965
CheckTimeUnix	long	是	报警确认时间时间戳毫秒	1668059716965
CheckUser	string	是	报警确认人	略
CheckTelephone	string	是	报警确认人电话	略
WarningDescription	string	否	预警原因的描述	最大位移达到预警值
RedWarningMax	float	否	阈值上限 (三级), 超限当时配置的阈值	1
RedWarningMin	float	否	阈值下限 (三级), 超限当时配置的阈值	1
OrangeWarningMax	float	否	阈值上限 (二级), 超限当时配置的阈值	1
OrangeWarningMin	float	否	阈值下限 (二级), 超限当时配置的阈值	1
YelloWarningMax	float	否	阈值上限 (一级), 超限当时配置的阈值	1
YelloWarningMin	float	否	阈值下限 (一级), 超限当时配置的阈值	1

表 C. 16 预警信息处理结果接入

参数名称	类型	必须	描述	示例值
WarningHandleClientId	string	是	单隧系统预警处置 Id, 确保唯一, 不能重复调用	略
WarningInfoClientId	string	是	单隧系统预警 Id	略
TunnelCode	string	是	隧道编码	略
HandleTimeUnix	long	是	处理时间时间戳毫秒	1668059716965
HandleUser	string	是	处理人	略

参数名称	类型	必须	描述	示例值
HandleTelephone	string	是	处理人电话	略
HandleMeasures	string	是	处理措施	略

表 C. 17 上传原始数据压缩包

参数名称	类型	必须	描述	示例值
TunnelCode	string	是	隧道编码	略
File	文件	是	文件,文件的文件名称确保唯一,不能重复调用	略

表 C. 18 上传报告

参数名称	类型	必须	描述	示例值
ReportFileClientId	string	是	主键	客户端数据 id,最大长度 36, 确保唯一,不能重复调用
TunnelCode	string	是	隧道编码	略
File	文件	是	文件	略
ReportType	string	是	文件类型	QuarterlyReport 季报; AnnualReport 年报; SpecialEvent 特殊事件专项报告;
EmergencyEventClientId	string	否	应急事件客户端 id, SpecialEvent 特殊事件专项报告需要传关联上应急事件	略
ReportName	string	是	报告名称	季报: XXX 隧道监测系统季度数据分析报告 (XX 年 X 季); 年报: XXX 隧道监测系统年度数据分析报告 (XX 年); 特殊事件专项报告: XXX 隧道监测系统 XXX 特殊事件专项分析报告 (XXX 特殊事件);
ReportTimeUnix	long	是	报告的时间时间戳毫秒。如年报, 报告时间为改年的 1 月 1 日 0 点时间戳。如季报, 报告时间为该季度第一个月 1 日的 0 点时间戳	1666679260817
ReportUser	string	是	上传者	略

C. 3 应急监测数据接口

表 C. 19 上传应急预案

参数名称	类型	必须	描述	示例值
EmergencyPlanClientId	string	是	客户端数据 id,最大长度 36,如果已经存在值,更新操作	略
TunnelCode	string	是	隧道编码	略
Name	string	是	应急预案名称	
CreateUser	string	是	上传者	略
EmergencyEventType	string	是	事件类型	略
File	文件	是	文件	略

表 C. 20 上传应急联系人

参数名称	类型	必须	描述	示例值
EmergencyContactClientId	string	是	客户端数据 id,最大长度 36,如果已经存在值,更新操作	略
TunnelCode	string	是	隧道编码	略
Name	string	是	姓名	略
Phone	string	是	电话	略
Company	string	是	公司	略
Address	string	是	详细地址	略
Gender	string	是	性别	男, 女
Age	int	是	年龄	略
Position	string	是	职位	略
CreateUser	string	是	创建人	略
Remark	string	否	备注	略

表 C. 21 上传应急事件

参数名称	类型	必须	描述	示例值
EmergencyEventClientId	string	是	客户端数据 id,最大长度 36,如果已经存在值,更新操作	略
EmergencyPlanClientId	string	否	应急事件启动的应急预案客户端数据 id,最大长度 36	略
TunnelCode	string	是	隧道编码	略
Title	string	是	标题	略
Content	string	是	内容	略
HappenTimeUnix	long	是	发生时间时间戳毫秒	1668059716965
EmergencyEventType	string	是	事件类型	Fire
CreateUser	string	是	报送人	略
Phone	string	是	报送人电话	略

表 G. 22 提交应急处理结果

参数名称	类型	必须	描述	示例值
TunnelCode	string	是	隧道编码	略
EmergencyEventHandleClientId	string	是	客户端应急事件处置数据 id,最大长度 36, 确保唯一, 不能重复调用	略
EmergencyEventClientId	string	是	客户端应急事件数据 id,最大长度 36	略
ReplyOpinion	string	是	处理措施及内容	略
ReplyUser	string	是	处理人	略
Phone	string	是	处理人电话	12345678909
Files	多文件列表	是	多个附件文件	略