

山岭公路隧道绿色施工信息化监测 技术规程

Technical code of practice for information monitoring of green construction of
mountain highway tunnel

2024 - 12 - 24 发布

2025 - 03 - 24 实施

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 总体要求 1

 4.1 监测设备 1

 4.2 监测人员 2

 4.3 数据管理 2

 4.4 保障方案 2

 4.5 通信网络 2

5 监测对象 2

6 人员监测 2

 6.1 人员进出监测 2

 6.2 人员定位监测 3

7 施工现场监测 5

 7.1 远程监测 5

 7.2 移动端巡检 6

 7.3 无人机巡检 6

 7.4 安全步距监测 7

8 施工环境监测 7

 8.1 超前预报监测 7

 8.2 气体监测 8

 8.3 水环境监测 9

 8.4 山体滑坡监测 10

 8.5 爆破振动监测 11

 8.6 生态修复监测 12

9 废弃物监测 13

 9.1 废气监测 13

 9.2 废水监测 13

 9.3 粉尘监测 14

 9.4 运输监测 14

10 监测管理与应用 15

 10.1 信息化值班室 15

 10.2 应急电话及广播系统 16

 10.3 LED 信息显示终端 16

 10.4 统一管理平台 16

参考文献 18

前 言

本文件按照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》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由南平武沙高速公路有限责任公司提出。

本文件由福建省交通运输厅归口。

本文件起草单位：南平武沙高速公路有限责任公司、中铁十七局集团第六工程有限公司、福建省高速公路建设总指挥部、福建数博讯信息科技有限公司、福建省标准化研究院、南平武夷发展集团有限公司、福建船政交通职业学院、中铁二十四局集团福建铁路建设有限公司、厦门捷航工程检测技术有限公司、新疆北新路桥集团股份有限公司、中交一公局厦门工程有限公司、中铁十四局集团第三工程有限公司、福建省海盛交通投资有限公司。

本文件主要起草人：牟宏霖、李金勇、马文华、高登、金星、吴燕飞、黄明炜、林进浔、柯毅、陈丽辉、沈佳坤、江训强、胡宗浩、黄圣瑞、金国平、李育昕、范自盛、许贵贤、潘瑜、陈国栋、黄文义、吴兰昌、刘德化、陈思强、黄章文、何静、刘德标、杨航、田木芳、张铠、李勇、张朝元、侯毓山、董宝生、夏广钊、李欣、郭宗勇、陶化弟、杨世红、唐灼贵、丁少玮、陆响伟、熊海宁、杨帆。

山岭公路隧道绿色施工信息化监测技术规程

1 范围

本文件明确了山岭公路隧道绿色施工信息化监测的总体要求、监测对象、人员监测、施工现场监测、施工环境监测、废弃物监测、监测管理与应用等内容。

本文件适用于福建省山岭公路隧道绿色施工信息化监测与管理。

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文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 26944（所有部分） 隧道环境检测设备
- JTG H30 公路养护安全作业规程
- JT/T 1515 公路隧道工程施工应急抢险救援技术指南

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

山岭公路隧道 mountain highway tunnel
穿越山地或丘陵时修建的、供机动车辆通行的道路。

3.2

绿色施工 green construction
在工程建设中，在保证质量、安全等基本要求的前提下，通过科学管理、技术进步和信息化手段，最大限度地节约资源和能源，减少对环境造成不利影响的公路工程施工活动。

3.3

危险区域 danger zone
在施工隧道内部和周围，对人员、设备及环境可能造成伤害和损害的范围。

4 总体要求

4.1 监测设备

满足下列要求：

- a) 应符合 GB/T 26944（所有部分）的规定；
- b) 应建立使用管理制度，由专人使用、专人检验和专人管理；
- c) 使用前均宜经检验校准合格。

4.2 监测人员

宜相对固定；监测前应开展相关培训，培训内容应包括：

- a) 安全生产基本知识；
- b) 安全生产方针、政策及法律法规等；
- c) 监测设备的使用、维护和监测工作的操作规程等；
- d) 事故应急救援预案的演练等；
- e) 隧道施工安全技术交底。

4.3 数据管理

监测数据的计算、存贮与上报均应在计算机系统同步进行。

4.4 保障方案

应按照JTG H30和JT/T 1515的规定编制监测现场安全保障方案。

4.5 通信网络

施工现场宜满足通信及网络信号全覆盖要求。

5 监测对象

监测对象应包括：

- a) 人员监测：包括人员进出监测和人员定位监测；
- b) 施工现场监测：分为远程监测、移动端巡检、无人机巡检和安全步距监测；
- c) 施工环境监测：包括超前预报监测、气体监测、水环境监测、山体滑坡监测、爆破振动监测和生态修复监测；
- d) 废弃物监测：包括废气监测、废水监测、粉尘监测和运输监测。

6 人员监测

6.1 人员进出监测

6.1.1 监测内容

隧道洞口人员出入情况。

6.1.2 监测设备

6.1.2.1 设备功能

采用人行通道通行设备、动态人脸识别考勤设备和考勤基站设备，应具有以下功能：

- a) 人行通道通行设备：具有人车分流、人员进出数量与速度控制功能；
- b) 动态人脸识别考勤设备：具有身份识别认证、进出权限控制和实名制考勤管理功能；
- c) 考勤基站设备：具有考勤数据采集与传输、人员信息管理和系统管理功能。

6.1.2.2 设备安装

6.1.2.2.1 人行通道通行设备

宜采用三辊闸、翼闸或摆闸，宜为双向通道，搭配人脸识别认证开门。

6.1.2.2.2 动态人脸识别考勤设备

满足下列要求：

- a) 应安装在通行方向的右侧人行闸机上盖处，固定牢固；
- b) 通道两侧和前后应做遮阳处理，不应有阳光或灯光直射；夜晚弱光环境应增加补光灯，识别镜头应保持干净；
- c) 使用的电源适配器供电应符合相关标准规定。

6.1.2.2.3 考勤基站设备

满足下列要求：

- a) 每孔隧洞口应安装两台考勤基站；
- b) 考勤出场基站应安装在洞外距洞口 3 m~5 m 位置，基站应面向洞内方向 45°，高度为 3 m~4 m；
- c) 考勤入场基站应安装在洞内距洞口 20 m~25 m 位置，基站应面向洞外方向 45°，高度为 3 m~4 m；
- d) 考勤基站间距离宜为 15 m~20 m，考勤出场基站上应安装一只发射端网桥，为洞内提供无线信号；
- e) 基站及网桥设备内置电源适配器，其供电应符合相关标准规定；
- f) 所有线路均应穿管保护，地面部分应开槽，穿线完成后应混凝土回填。

6.1.3 监测方法

采用6.1.2.1规定的设备，识别和记录人员佩戴安全帽及劳动防护用品穿戴情况和进出隧道的时间等；阻止无权限和无佩戴定位卡的人员随意进出隧道。

6.2 人员定位监测

6.2.1 监测内容

进入隧道人员的分布状况及每位人员的运动轨迹。

6.2.2 监测设备

6.2.2.1 设备功能

采用人员定位报警终端和人员定位基站，应具有下列功能。

- a) 人员定位报警终端：
 - 1) 具备唯一标识码；
 - 2) 支持在隧道内的实时定位；
 - 3) 支持基于大地坐标系、隧道内自定义坐标系等；
 - 4) 隧道内常用定位方式为 2.4 GHz 频段无线传输技术、无线通信技术、超宽带技术（UWB）；
 - 5) 针对隧道内的高空作业具有高空坠落监测报警功能；
 - 6) 具有紧急求助报警（SOS）功能。

b) 人员定位基站:

- 1) 能主动识别人员定位报警终端的信号并获取位置信息;
- 2) 支持高空坠落、SOS、危险区域闯入和重点区域脱岗等报警信号的上行传输,具有文字、语音、图片和视频等多媒体业务的传输能力;
- 3) 具有隧道内外通信功能,以有线或无线方式同隧道外通信;
- 4) 具有下行广播功能,可向覆盖范围内的人员定位报警终端下发广播消息;
- 5) 具有链路自检测功能。

6.2.2.2 设备安装

宜从2.4GHz频段无线传输技术、无线通信技术、超宽带技术(UWB)中任选一种设备进行安装。

a) 2.4GHz 频段无线传输设备:

- 1) 应分别安装在二衬台车和防水台车两个点位;
- 2) 二衬台车上应安装一台定位基站和一对无线网桥,一个接收端用来接收隧道洞口网桥信号,一个发射端为隧道洞内发射信号;定位基站和中继网桥之间采用网线连接,应穿管固定,基站应正面朝向洞外方向;
- 3) 防水台车上应安装一台定位基站和一个接收端网桥;定位基站应面向开挖面,网桥做接收端,接收二衬台车的网桥信号;
- 4) 采用区域定位方式,覆盖范围应满足 0 m~180 m。

b) 无线通信设备:

- 1) 设备信号在两侧无遮挡的情况下应至少覆盖左右各 400 m;
- 2) 安装在距离二衬台车洞口方向 5 m~20 m 的洞壁上,安装高度为 3 m~4 m,全线定位间隔 600 m 安装一台基站,应远离金属 30 cm 以上;
- 3) 定位精度应满足 3 m~5 m;
- 4) 定位基站内置的电源适配器供电应符合相关标准规定,所有线路均应穿管固定牢靠,网络使用无线网桥或有线接入。

c) 超宽带技术(UWB)设备:

- 1) 设备信号两侧无遮挡的情况下应至少覆盖左右各 300 m;
- 2) 第一台基站安装在距离洞口 200 m 左右的洞壁上,安装高度为 3 m~4 m,全线定位间隔 600 m 安装一台基站,注意区分天线方向,应远离金属 30 cm 以上;
- 3) 防水台车宜安装一台精确定位基站跟随台车移动,用于定位开挖面及二衬施工区域;
- 4) 定位精度应满足 0.1 m~0.5 m;
- 5) 定位基站采用 AC 220 V 供电,所有线路均应穿管固定牢靠,网络使用无线网桥或有线接入。

6.2.3 监测方法

6.2.3.1 实时地图

6.2.3.1.1 人员定位实时显示:查询人员身份、实际位置、人员数量和人员分布等情况。

6.2.3.1.2 人员定位地图展示:展示人员以及相关设备实时定位的地图。

6.2.3.1.3 人员定位轨迹回放:查询任意时段人员定位轨迹,支持轨迹快进播放;轨迹记录信息的保存时间可根据施工单位的需求灵活设置。

6.2.3.1.4 定位卡电量统计(可选):统计定位卡在册人车总数,正常电量、电量不足、电量未知和电量异常等情况。

6.2.3.2 监测报警

6.2.3.2.1 连续工作超时报警：当施工人员在—个区域内连续工作超过设定时间，系统应自动报警提醒。

6.2.3.2.2 SOS报警：施工人员佩戴的定位卡应具有—键呼救功能，如遇到意外情况可通过按下定位卡上的—键呼救按钮求救，统—管理平台能于第—时间收到求救报警信息，定位求救人员位置。

6.2.3.2.3 危险区域闯入报警：设置电子围栏，当人员进入危险区域时能触发报警，同时定位卡也能振动提醒当事人员注意。

6.2.3.2.4 重点区域脱岗报警：监测到施工人员擅自脱离岗位时，应立即自动报警。

7 施工现场监测

7.1 远程监测

7.1.1 监测内容

隧道出入口和隧道洞内等位置的施工情况。

7.1.2 监测设备

7.1.2.1 设备功能

采用视频监控设备，应具有下列功能：

- a) 实时监控：能实时监控隧道洞口和洞内施工现场；
- b) 记录回放：支持实时存储、回放、检索和查询功能；
- c) 视频上墙：支持LED屏拼接解码上墙功能；
- d) 人工智能（AI）分析识别：支持智能识别和实时预警功能；
- e) 远程喊话：支持远程喊话功能；
- f) 手机远程访问：支持手机远程访问功能。

7.1.2.2 设备安装

应分别在洞口和洞内安装视频监控设备，具体安装要求如下。

- a) 洞口视频监控点：
 - 1) 应安装两台摄像机，分别监控进洞和出洞情况；
 - 2) 摄像机宜安装在基站监控—体支架上，也可单独安装；
 - 3) 摄像头的电源适配器供电应符合相关标准规定；
 - 4) 所有线路均应穿管保护。
- b) 洞内视频监控点：
 - 1) 宜在二衬台车和防水台车上分别安装两台摄像机；
 - 2) 二衬台车上的摄像头宜设置在高处，无遮挡；
 - 3) 防水台车上的摄像头宜选择可变倍、变焦的防爆球型带云台摄像机。

7.1.3 监测方法

7.1.3.1 获取包括违规行为、路面异物、行人闯入、火焰检测、车辆违停、路面积水、路面坑洼、隧道壁渗水、隧道壁裂缝、隧道形变和灯具损坏等数据，并自动进行风险识别监测。

7.1.3.2 在线查看摄像头覆盖范围下的工地现场实况直播，并能通过回放功能查看过去视频历史记录情况。

7.1.3.3 将监测不合格的问题项直接生成整改任务单。

7.2 移动端巡检

7.2.1 监测内容

隧道施工现场情况，涵盖隧道内外部及周边环境。

7.2.2 监测设备

采用智能手机、智慧安全帽等移动设备。

7.2.3 监测方法

巡检人员按照预定路线进行巡检，对隧道内外部及周边进行全面检查，发现安全隐患或质量问题时，进行拍照并生成整改任务单。

7.3 无人机巡检

7.3.1 监测内容

在隧道外部及难以到达的高空或狭窄区域进行巡检，如隧道口上方、边坡和仰坡等。

7.3.2 监测设备

采用无人机巡检系统，具有下列功能：

- 应基于三维地理信息系统（3D-GIS）或二维地图选择目标地点、巡逻区域或工作区域，能自动规划无人机飞行航线；
- 宜搭载高分辨率相机和喊话器，巡逻过程中可对人员进行管理（如提醒施工人员佩戴安全帽，无关人员不应进入施工危险区域等），同时可随时掌握工程进展情况；
- 宜具有无人机测绘技术和热成像技术，能检测基坑位移及地形变化，实时热成像检测混凝土底板裂缝和渗漏；
- 宜具有 AI 控制、无人机全自动机场和多个应用程序编程接口（API 接口），实现无人值守，远程常规化高频自动巡逻作业。

7.3.3 监测方法

具体步骤如下。

- 准备工作：确定巡检目标，包括隧道的长度、高度和形状等信息；选择适合的无人机，确保电池处于充满状态，并配备相应的传感器和摄像设备。
- 飞行计划：规划飞行路径、巡航高度和巡检时间，确保无人机可以全面覆盖隧道外部的每个相关施工区域。
- 开展巡检：启动无人机并使其处于监控状态；根据计划的飞行路径进行巡检，记录施工现场状况。
- 数据分析：将收集到的数据传输到地面控制站，由专业单位进行分析；利用图像处理技术检测结构问题，如裂缝和腐蚀等；对传感器数据进行分析，识别异常情况。
- 报告和维护：根据分析结果生成巡检报告。

7.4 安全步距监测

7.4.1 监测内容

仰拱距离掌子面的距离和二次衬砌距离掌子面的距离。

7.4.2 监测设备

7.4.2.1 设备功能

采用安全步距监测系统，应具有下列功能：

- a) 实时监测安全步距长度信息，并将信息传送到统一管理平台；
- b) 根据隧道围岩类型，对安全步距长度进行实时预警；
- c) 通过数据统计分析，实时展示步距历史变化趋势；
- d) 支持隧道安全步距在线监测数据综合查询。

7.4.2.2 设备安装

安全步距监测系统由安全步距采集终端、主站和辅站构成，具体安装要求如下。

- a) 在二衬台车、防水台车（仰拱方向）和开挖台车位置分别安装基于毫米波雷达的安全步距采集终端，由采集终端将各台车之间的测距数据通过信号传输设备发送至统一管理平台。
- b) 二衬台车洞内一侧安装 1 个主站，外接 AC 220 V 电源供电并联网。
- c) 防水台车、开挖台车各装 1 台辅站，设备内置的电源适配器供电符合相关标准规定，能自动和主站联网；二者安装于同一高度水平面，设备之间无遮挡。
- d) 所有线路均应穿管保护。

7.4.3 监测方法

7.4.3.1 通过主站和辅站之间的相互测距，计算仰拱距离掌子面的距离以及二衬与掌子面的距离，记录结果并报送至统一管理平台。

7.4.3.2 与登记的安全步距比对，若计算结果超出安全步距的要求，应实施告警，并推送结果至管理人员。

8 施工环境监测

8.1 超前预报监测

8.1.1 监测内容

隧道开挖工作面前方的地层岩性、地质构造、不良地质现象和地下水。

8.1.2 监测设备

8.1.2.1 设备功能

采用能满足不同场合超前预报监测需求的隧道地震波预报系统、地质雷达、超前水平钻机等。

8.1.2.2 设备安装

设备安装应牢固可靠，便于操作和维护。移动式监测设备应安装在防水台车或专用支架上；固定式监测设备应选择适宜的位置进行安装，确保设备稳定。

8.1.3 监测方法

8.1.3.1 在地质条件允许的情况下，可采用多种技术手段相结合的方法进行超前预报监测；常用的方法包括地质调查法、物理勘探法、超前钻探法和超前导洞法等。

8.1.3.2 超前预报监测的通讯传输及信息管理满足下列要求：

- a) 所有监测数据应在获取后 24 h 内上传至统一管理平台；
- b) 上传的数据应包含原始数据、处理后的数据、分析报告及必要的图表和照片等辅助材料；
- c) 加强数据审核和复核机制，避免误传和漏传等情况发生；
- d) 采取数据加密传输等安全措施，确保上传过程中的数据安全；
- e) 宜将常用的信息采集工具（如数码相机、录音设备、数字化记录仪等）与统一管理平台进行集成；通过 API 接口或插件等方式，实现数据的自动采集和上传。

8.2 气体监测

8.2.1 监测内容

拱顶、两侧拱腰、两侧墙脚和掌子面附近。

8.2.2 监测设备

8.2.2.1 设备功能

采用气体监测设备箱或便携式气体检测仪，应具有下列功能。

- a) 实时监测数据：
 - 1) 检测气体：硫化氢（ H_2S ）、一氧化碳（ CO ）、氧气（ O_2 ）和甲烷（ CH_4 ）；
 - 2) 检测范围： H_2S 0 ppm ~100 ppm， CO 0 ppm~1 000 ppm， O_2 0%VOL~30%VOL， CH_4 0%LEL~100%LEL；
 - 3) 分辨率： H_2S 0.01 ppm， CO 1ppm， O_2 0.01%VOL， CH_4 0.1%LEL；
 - 4) 检测精度： $\leq \pm 3\%$ （F.S）。
- b) 应在统一管理平台和LED屏上显示实时监测数据。
- c) 气体监测异常时自动声光报警；采用网络联动声光报警，工业级声光报警器，声音不应低于110 dB。

8.2.2.2 设备安装

满足下列要求。

- a) 宜安装固定在防水台车拱架上端，安装高度根据实际情况确定；应将下方检测口位置裸露出来，不应直接放置于横梁上，安装应固定牢靠。
- b) 网络线连接到防水台车网络交换设备接口处；设备内置电源适配器，其供电应符合相关标准规定。
- c) 应定期清理进气口滤网。
- d) 所有线路均应穿管固定牢靠。

8.2.3 监测方法

重点监测开挖面回风流、放炮地点附近20 m以内的风流、局部坍方冒顶处、各种作业台车和机械附近20 m处、地质破碎带处以及隧道顶部局部凹陷有害气体易于聚集处等。

8.3 水环境监测

8.3.1 监测内容

隧道穿越山体时，受施工影响的地表水及地下水系。

8.3.2 监测设备

8.3.2.1 设备功能

采用水位计、流量计、水质监测仪和自动监测站等，应具有下列功能：

- a) 实时监测：能实时采集和传输监测的水位和水质等数据，为施工管理和环境保护提供及时、准确的信息；
- b) 数据分析：部分监测设备具有数据分析功能，能对监测数据进行处理和分析，评估水体污染程度和生态健康状况；
- c) 预警报警：当监测数据超过预设的阈值时，监测设备能自动发出预警或报警信号，提醒相关人员及时采取措施。

8.3.2.2 设备安装

8.3.2.2.1 安装位置。

- a) 对于地下水监测，宜在隧道周边或地下水流向的下游设置监测井，将水位计、水质监测仪等设备安装在井内。
- b) 对于施工排水监测，流量计等设备宜安装在排水口处。
- c) 在隧道施工可能对水体造成较大影响的区域，如隧道穿越河流、湖泊等水域时，宜设置额外的监测点。

8.3.2.2.2 安装要求：

- a) 水位计应确保监测水面与传感器之间无遮挡；
- b) 水质监测仪应距离水面 1 m 左右；
- c) 流量计传感器与管道连接时，应保证满管运行，宜垂直安装，流量计应安装在远离振动源的位置，如无法完全避开，应采取适当的减振措施；
- d) 自动监测站的站房至取水点铺设管路的长度不大于 100 m，采样头应在水面下 0.5 m~1.0 m，并距水体底部有足够的距离（枯水期>0.5 m），由站房至取水点管路的铺设应有不小于 5° 的坡降，排水口应在取水口下游，距离大于 10 m。

8.3.3 监测方法

8.3.3.1 现场踏勘：了解隧道工程所在区域地形地貌、地层岩性、水文地质条件等。

8.3.3.2 现场巡查：监测人员应定期或不定期对监测点位进行巡查，观察水位变化和水质状况等。

8.3.3.3 设备自动监测：监测设备自动采集水位、水质和流量等参数的数据，并实时传输至统一管理平台；统一管理平台对接收到的数据进行处理和分析，生成监测报告和预警信息。

8.4 山体滑坡监测

8.4.1 监测内容

隧道周边地质体的裂缝、变形、大气降水和水位变化等。

8.4.2 监测设备

8.4.2.1 设备功能

采用全球导航卫星系统（GNSS）位移监测站、雨量监测设备、渗流渗压监测系统、裂缝计等，应具有下列功能。

- a) GNSS 位移监测站：能准确捕捉滑坡体的位移变化。
- b) 雨量监测设备：能监测降雨量变化。
- c) 渗流渗压监测系统：能监测地下水位变化。
- d) 裂缝计：能在已发现的裂缝上或可能产生裂缝的区域，监测裂缝变化。

上述设备均能将监测数据传输到统一管理平台，进行实时分析；数据异常时实施报警，并推送结果至管理人员。

8.4.2.2 设备安装

满足下列要求。

- a) GNSS 位移监测站：宜安装在滑坡体上或滑坡体边缘的稳定区域，具体位置应根据滑坡体的形态、规模及监测需求确定；安装时应确保监测站视野开阔、无遮挡物。
- b) 雨量监测设备：宜安装在隧道口附近或滑坡体上方的开阔地带，安装位置宜根据现场勘查情况确定。
- c) 渗流渗压监测系统：宜安装在滑坡体内部或周边地下水丰富的区域。
- d) 裂缝计：应安装在滑坡体表面已有的裂缝上或预测可能出现裂缝的关键位置；安装时应确保裂缝计能够牢固固定在裂缝两侧，并准确测量裂缝的变化。

8.4.3 监测方法

8.4.3.1 裂缝监测

8.4.3.1.1 观测点应设置在滑坡体上未直接与地表接触的地方，宜选用建筑物的角部或上部结构的转角处，观测的频率宜根据隧道施工周期而定，同时做好观测记录。

8.4.3.1.2 在滑坡后缘和跛脚附近应增设观测点，并做好观测记录。通常情况下，若宏观裂缝监测不能满足滑坡灾害预报预警要求，应加强微观裂缝监测。

8.4.3.2 地面变形监测

地面地形观测站应选择在地表移动最大或滑坡发生最频繁的地区或地质构造复杂、滑坡发育、植被覆盖度低、地形地貌复杂、受人类工程活动影响较大的地段。监测点应选择在地形地貌和岩土性质基本稳定的区域。

8.4.3.3 地下水监测

地下水监测宜采用电渗法和渗压法等，可与裂缝监测结合进行。

8.4.3.4 水位变化监测

8.4.3.4.1 观测井水位监测：应在滑坡体一定深度处钻设水位观测孔，并埋设地下水尺进行水位测量。

8.4.3.4.2 库岸水位监测：库岸地下水位的观测点应选择在滑坡体附近的河滩内，并确保在一定深度处进行水位测量。

8.4.3.5 大气降水监测

8.4.3.5.1 在山体滑坡危险区和危险区外选择适当地点设置一定数量的气象站，对大气降水的强度、总量以及空间分布特征进行监测，并与雨量监测数据进行比较，分析山体滑坡发生的可能性。

8.4.3.5.2 根据大气降水观测数据和雨量资料，确定滑坡危险区和危险区范围。

8.4.3.5.3 大气降水观测设备宜布置在山体滑坡的滑坡体上，也可布置在滑坡体周围，宜每隔一定距离设置一处；及时了解大气降水对山体滑坡的影响程度和发展趋势。

8.5 爆破振动监测

8.5.1 监测内容

实时监测爆破振动数据，评估爆破作业对隧道本身、地质结构以及周边环境安全的影响。

8.5.2 监测设备

8.5.2.1 设备功能

采用爆破测振仪和加速度传感器等，应具有下列功能：

- a) 实时监测和记录爆破振动数据，包括振动速度、振动加速度和振动频率等参数；
- b) 实时将监测数据传输到统一管理平台；
- c) 智能分析（可选）：部分设备具有智能分析功能，可自动计算振动强度和频率分布等关键指标，评估爆破振动对周围环境的影响。

8.5.2.2 设备安装

满足下列要求：

- a) 振动监测设备应安装在专用防护箱内，防护箱应固定于隧道壁高度 1.5 m 位置处；
- b) 传感器应与被测介质形成刚性连接或紧密连接；
- c) 信号线及电源线等线缆应沿隧道墙角布置，每隔一定距离使用金属卡打膨胀螺钉固定。

注：根据墙面条件、线缆规格、环境温湿度等现场条件具体情况确定距离。

8.5.3 监测方法

8.5.3.1 测点布置

8.5.3.1.1 隧道开挖掘进与硐室开挖爆破应布置 1~2 个监测断面，每个监测断面应不少于 3 个监测点；监测点应布置在边墙或顶板上，最近测点宜布置在距爆破区域边缘 10 m 范围内。

8.5.3.1.2 隧道或硐室间距小于 1.5 倍平均洞径的相邻洞爆破时，应在非爆破的邻洞布置 2~3 个监测断面，每个监测断面不应少于 3 个监测点；最近监测点宜布置在距爆区最近的洞壁上且距底板 1/3 洞高处。

8.5.3.1.3 当地质条件有较大变化时应增加监测断面及频率；特殊的或有病害的隧道或硐室，监测点的布置应根据地质变化情况而定，监测方案应经专家论证后确定。

8.5.3.1.4 浅埋隧道掘进除满足上述要求外，还应在地表一定范围内，根据爆破设计参数和地质条件合理布设测点，进行实测场地爆破振动衰减规律的监测与分析。

8.5.3.2 监测频次

根据爆破作业的频率和强度确定监测频次；对于关键区域和重要时段，应增加监测频次。

8.6 生态修复监测

8.6.1 监测内容

隧道口及周边区域、施工便道及临时设施区域、隧道施工穿越或邻近关键生态敏感区（如自然保护区、水源保护区等）的植被恢复情况、水土流失情况、土壤质量变化和生物多样性等；应确保隧道口边坡刷坡、生态修复和生态监测同步进行，做到“开挖一级、防护一级、绿化一级、监测一级”。

8.6.2 监测设备

8.6.2.1 设备功能

采用无人机、植被指数监测仪、生态监测相机和土壤质量监测设备（土壤湿度计、土壤pH计和土壤养分检测仪）等，应具有下列功能。

- a) 无人机：通过遥感影像获取隧道施工区域及周边生态环境的整体图像。
- b) 植被指数监测仪：监测植被覆盖度的变化 NDVI 值（归一化植被指数），评估施工活动对植被的破坏程度和恢复效果。
- c) 生态监测相机：记录野生动物活动情况和植被生长状况等，评估施工对生态系统的影响。
- d) 土壤质量监测设备：监测土壤湿度、pH 值和养分含量等指标，评估施工活动对土壤质量的影响。

8.6.2.2 设备安装

满足下列要求。

- a) 无人机：宜选择自动巡航的无人机机场；应保证信号覆盖畅通无遮挡，如无法避免信号遮挡，宜设立信号中继。
- b) 植被指数监测仪：宜安装在隧道口周边、施工便道两侧以及生态敏感区域等关键位置，根据植被的高度和分布特点，调整监测仪的高度和角度。

注：高度角度参考：灌木林安装高度2 m，监测角度45°；混交林安装高度3 m，监测角度30°；针叶林安装高度4 m，监测角度60°。

- c) 生态监测相机：安装在关键生态敏感区或野生动物活动区域，如隧道上方、侧方，隧道口附近的树木、岩石等隐蔽位置，确保视野内无遮挡物，高度宜为3 m~5 m。
- d) 土壤质量监测设备：在隧道施工区域及周边影响范围内选择具有代表性的土壤样品采集点进行布点监测。采用便携式或手持式设备时，应在不同监测点间移动使用；采用固定设备时，应将其安装在监测点的不同土壤深度（如表层、中层、深层），以获取不同层次的土壤质量数据。

注：根据施工影响范围及土壤类型具体布置监测点，参考距离为隧道50 m处黄壤监测深度为10 cm、30 cm、50 cm，距离隧道100 m处红壤监测深度为20 cm、40 cm、60 cm。

8.6.3 监测方法

8.6.3.1 现场勘察：采集隧道施工以及周边区域生态状况、地质灾害等与生态修复相关的基础调查评估信息，作为修复项目监管和评估等的统一基础数据。

8.6.3.2 定期巡查监测：

- a) 定期操作无人机航拍，获取隧道施工区域及周边生态环境的整体图像，利用图像处理软件对无人机采集的图像和视频进行分析，识别植被覆盖情况、土壤侵蚀状况及野生动物栖息地变化情况，结合无人机倾斜摄影技术，生成三维实景模型，展示生态修复效果；
- b) 定期前往土壤监测点位，采集土壤样品，进行土壤湿度、pH 值和养分含量等指标的测定，记录土壤质量数据。

8.6.3.3 定期自动监测：采用植被指数监测仪、生态监测相机和自动巡航的无人机等设备，自动采集相关的 NDVI 值、生态照片和巡航照片等生态数据，并将监测数据实时传输到统一管理平台。

8.6.3.4 对比分析评估：汇集各监测数据，建立监测数据库，通过对比不同时间点的 NDVI 值、土壤质量、生态环境等数据，运用统计学、生态学等方法对监测数据进行分析，评估施工活动对生态环境的影响程度，根据分析结果，评估生态修复效果，提出改进措施和建议。

8.6.3.5 数据动态展示：对生态监测数据进行统计展示，建立生态修复项目库，对项目进行信息化动态管理，综合评价项目成果，以可视化图表的形式直观展示生态修复总体情况。

9 废弃物监测

9.1 废气监测

9.1.1 监测内容

隧道施工区域及可能受施工影响的环境区域内施工过程中产生的有害气体，如一氧化碳（CO）、二氧化碳（CO₂）、二氧化硫（SO₂）、甲烷（CH₄）、硫化氢（H₂S）、氨气（NH₃）以及氮氧化物（NO_x）等。

9.1.2 监测设备

9.1.2.1 设备功能

采用便携式或固定式的有害气体检测仪，应具有精度高、稳定性好、实时数据显示、自动声光报警等功能。

9.1.2.2 设备安装

安装高度应大于30 cm；比重大于空气的有害气体探头应装于贴近地面处，比重小于空气的有害气体探头应安装于房屋或设备的上方。

9.1.3 监测方法

9.1.3.1 在线监测

在隧道口、隧道中间、隧道分叉口、隧道挖掘处和爆破处附近等容易产生气体泄漏的危险地方安装有害气体检测仪，实时监测有害气体浓度。

9.1.3.2 定期检测

定期对隧道内空气成分进行取样分析，评估空气质量。

9.2 废水监测

9.2.1 监测内容

隧道施工区域及可能受施工影响的环境区域内，在施工过程中产生的废水，包括施工设备废水、爆破降尘废水、混凝土浇筑废水等；监测指标包括pH值、悬浮物、氨氮和石油类等污染物含量。

9.2.2 监测设备

9.2.2.1 设备功能

采用具有多参数全自动监测功能的水质监测仪。

9.2.2.2 设备安装

将水质监测仪安装在排水口处。

9.2.3 监测方法

9.2.3.1 在线监测

在隧道施工排水口安装水质监测仪，实时监测废水水质。

9.2.3.2 定期检测

定期对隧道周边水体进行取样分析，评估废水排放对环境的影响。

9.3 粉尘监测

9.3.1 监测内容

隧道施工区域及可能受施工影响的环境区域内，在施工过程中产生的粉尘浓度，包括施工机械作业、爆破作业及物料运输等过程中产生的粉尘。

9.3.2 监测设备

9.3.2.1 设备功能

采用能够实时监测粉尘浓度的全自动粉尘监测仪。

9.3.2.2 设备安装

安装位置应能反映整个施工区域的粉尘污染情况。

9.3.3 监测方法

9.3.3.1 在线监测

在隧道内安装粉尘监测仪，实时监测粉尘浓度。

9.3.3.2 定期检测

定期对隧道内空气进行取样分析，评估粉尘污染程度。

9.4 运输监测

9.4.1 监测内容

进出隧道运输施工废弃物的车辆。

9.4.2 监测设备

9.4.2.1 设备功能

采用车辆道闸系统、高清监控球机、蓝牙远距离读卡器（可选）、雷达地感设备（可选）、电源适配器及供电系统、登记卡或相关通行设备、台式登记器（或手持机登记器）、LED显示屏或手机查询终端等，应具有以下功能。

- a) 车辆进出管理：在山体隧道掘进出入口，安装人车分离通道和车行通道闸机，自动采集出入车辆图片信息，采用全景高清监控球机记录车辆入场、车辆出场情况，实现车辆进出可视化管理。
- b) 车辆运输监测：对工地车辆实现静态登记、动态管理、智能采集车辆数据，识别车辆装载情况及废弃物运输及卸载情况，实时定位，车辆跟踪，轨迹回放，实时视频监控。

9.4.2.2 设备安装

满足以下要求。

- a) 洞口场地应硬化，方可进行车辆道闸设备的安装。
- b) 车辆道闸采用栅栏栏杆，左右两台对开式安装，单台闸机宽度宜为 5 m；根据使用需求，可搭配蓝牙远距离读卡器，雷达地感设备等，实现车辆通行前自动开门、车辆通过后自动关门。
- c) 人行道闸、车辆道闸应安装于一条线上，所有线路均应穿管保护，地面部分应开槽，穿线完成后应混凝土回填。
- d) 设备内置电源适配器，外接 AC 220 V 电源供电。

9.4.3 监测方法

9.4.3.1 每位司机均应配置登记卡或相关通行设备，登记点应设有台式登记器(或手持机登记器)或其他相关设备，系统将记录数据并即时显示在 LED 显示屏或手机上。

9.4.3.2 通过联网将刷卡记录即时传入系统；项目负责人、工程负责人、车队负责人等能随时随地查询相关数据。

9.4.3.3 系统应详细记录车辆运载数量和时间；司机刷卡的同时，系统抓拍摄像头的图片，保存备查；系统应对图片进行加密处理，杜绝作弊。

9.4.3.4 应采用多点采集模式（如：挖方点、填方点等）对记录的合理性进行验证。

10 监测管理与应用

10.1 信息化值班室

10.1.1 部署设置

值班室宜距离洞口10 m，面积宜大于15 m²，室内净高宜不小于2.5 m。值班室内线路整齐，电源插头连接稳定，预留线材整理固定好，桌面设备摆放整洁。

10.1.2 日常管理

应设有值班人员与负责人员：

- a) 值班人员管理进出车辆与人员、现场人员信息录入、门禁管理，查看监控视频等工作；
- b) 负责人员负责管理系统，进行实时数据监测与分析、现场管理及应急指挥。

10.2 应急电话及广播系统

10.2.1 设备安装

符合下列要求：

- a) 固定式应急电话通过现场制作支架固定在防水台车上，安装高度距离地面 1.2 m~1.5 m 内，报警灯和扩音器固定在防水箱顶上，安装固定牢靠；
- b) 网络连接到防水台车网络交换设备接口处，设备采用的适配器供电应符合相关标准规定，线路应穿管保护。

10.2.2 设备功能

应具有以下功能：

- a) 一键拨号：对隧道内随时可能发生的紧急危急情况，支持一键拨号，同时支持自主拨号；
- b) 自动接听：无人接听时，能自动接听，支持高音喇叭广播喊话；
- c) 网络广播：支持管理人员在值班室通过网络广播话筒对隧道各个区域进行广播喊话；
- d) 声光报警：可以对覆盖范围内的隧道分机发送声光报警信号和广播信号；
- e) 呼叫管理：可以呼叫对应的各个分机，能进行单个呼叫、片呼或全呼。

10.3 LED 显示屏

10.3.1 设备安装

满足下列要求：

- a) LED 显示屏一般宜安装在隧道入口附近，根据现场地形选择合适的安装位置，不应影响现场施工，安装固定应牢靠；
- b) 显示屏边框选用方钢制作，背面采用彩钢铁皮密封；LED 显示屏用 LED 显示模组，防护等级正面不应低于 IP65，背面不应低于 IP43；使用防腐玻璃胶，做好接缝防水处理；
- c) 彩色屏宜加装百叶窗或排气风扇散热；
- d) 使用的电源适配器供电应符合相关标准规定，应根据显示屏规格选择合适的电源线供电。

10.3.2 设备功能

10.3.2.1 实时显示隧道内施工人员的统计信息、施工工序、定位显示、安全公告及洞内各参数信息。

10.3.2.2 播放公益视频或安全施工视频等。

10.4 统一管理平台

10.4.1 部署设置

通过3D/2D建模提供平台的综合业务展现，包括平台管理模块、隧道设施状态展现、通风监控模块、照明监控模块、视频分析模块、紧急电话广播模块、交通信息模块、预案与联动控制模块、智能运维模块、采集数据呈现及实时预警信息等。

10.4.2 设备功能

应具有以下功能：

- a) 实现隧道工程施工信息化系统各子系统的有机集成；
- b) 实现门禁管控、人员实时定位、监视监测及控制、报表统计、感知数据、安全步距、人车识别、车辆管理、公告管理、用户管理、数据管理、LED 设计器、定位设备及设备管理；

- c) 实现统计报表及统计分析功能，包括场内车辆统计、场内人员统计、场外人员统计和人员考勤报表等，并支持报表生成及打印；
- d) 实现权限管理、系统组态和档案管理；
- e) 实现监控与报警；
- f) 实现各组成系统之间跨系统联动的综合处理；
- g) 实现与相关管理部门信息平台之间的信息互通；
- h) 实现与隧道工程施工信息化系统各组成系统的通信。

参 考 文 献

- [1] GB 3095—2012 环境空气质量标准
 - [2] GB 50174—2017 数据中心设计规范
 - [3] GB 50394—2019 入侵报警系统工程设计规范
 - [4] GB 50396—2007 出入口控制系统工程设计规范
 - [5] GA/T 75—1994 安全防范工程程序与要求
 - [6] JTG F90—2015 公路工程施工安全技术规范
 - [7] JJG 846—2015 粉尘浓度测量仪检定规程
 - [8] YD/T 1666—2007 远程视频监控系统的技术要求
 - [9] DB63/T 2218—2023 公路工程绿色施工技术规范
-