

DB 43

湖 南 省 地 方 标 准

DB 43/T XXXX—XXXX

公路边坡地质灾害智能监测技术规程

Technical Specification For Remote Automatic Monitoring
Of Geological Hazards On Highway Slope

(报批稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

湖南省市场监督管理局 发布

目 次

前 言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义、符号	1
3.1 术语和定义	1
3.2 符号	2
4 总体要求	2
4.1 一般规定	2
4.2 监测系统及设备	3
4.3 施工期监测	4
4.4 运营期监测	4
5 监测测项与布置	4
5.1 一般规定	4
5.2 监测测项	4
5.3 监测布置	5
6 传感器	6
6.1 一般规定	6
6.2 智能监测传感器	6
7 设备安装与运行维护	7
7.1 一般规定	7
7.2 设备安装	7
7.3 联机调试	8
7.4 运行维护	8
8 数据采集、传输与存储	9
8.1 一般规定	9
8.2 数据采集	9
8.3 数据传输	9
8.4 数据存储	9
9 数据分析、处理与预警	10
9.1 一般规定	10
9.2 数据分析与处理	10
9.3 监测预警	10
10 成果资料	11
附 录 A （资料性） 边（滑）坡稳定性野外评价	12
附 录 B （资料性） 边（滑）坡变形阶段划分	14

附录 C	(资料性) 边坡地质灾害定量预警模型和方法	15
附录 D	(资料性) 爆破振动监测	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。

本文件由湖南致力工程科技有限公司提出。

本文件由湖南省交通运输厅归口。

本文件起草单位：湖南致力工程科技有限公司、湖南省交通建设质量安全监督管理局、长沙市公路桥梁建设有限责任公司、中南大学、长沙理工大学、湖南省高速公路集团有限公司、湖南省交通规划勘察设计院有限公司、中交第三公路工程局有限公司

本文件主要起草人：刘山健、朱自强、鲁光银、冯雄辉、张升彪、蒋召杰、胡红波、贺杰军、邓小钊、樊华明、杨龙、何琴、曹全胜、车立刚、刘怡、曾明、曾智力、白冬鑫、彭德明、陈鹏、侯俊敏、朱红军、黄利芒、樊华明、杨龙、罗永杰、梅卫锋、胡涛

公路边坡地质灾害智能监测技术规程

1 范围

1.1 本文件规定了公路边坡施工期以及运营期的路堑、路堤等边坡地质灾害智能监测的基本原则、监测内容、设备安装、数据采集与传输、数据分析与信息反馈等技术要求，其它类型的边坡地质灾害监测亦可参照执行。

1.2 公路边坡地质灾害智能监测，除应符合本文件的规定外，尚应符合国家现行有关标准。

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 18314 全球定位系统(GPS)测量规范
- GB 50167 工程摄影测量规范
- GB 50026 工程测量标准
- GB 50330 建筑边坡工程技术规范
- GB/T 32864 滑坡防治工程勘查规范
- GB 50497 建筑基坑工程监测技术标准
- GB 6722 爆破安全规程
- GB 50343 建筑物电子信息系统防雷技术标准
- GB/T 21978.2 降雨量观测仪器 第2部分：翻斗式雨量传感器

3 术语和定义、符号

下列术语和定义、符号适用于本文件。

3.1 术语和定义

3.1.1 公路边坡 highway slope

在公路沿线两侧分布的，危及公路建设或运营的人工和自然边坡。

3.1.2 地质灾害 geological hazard

自然因素或者人为活动引发的危害人民生命财产安全的山体滑坡、崩塌、泥石流、地面塌陷等与地质作用有关的灾害。

3.1.3 边坡智能监测 continuous monitoring of slope geological hazards

综合计算机技术、通信技术及传感技术等构建的边坡地质灾害监测系统，实现监测数据的智能采集、传输、处理、查询及浏览、预警及信息反馈等工作

3.1.4 监测网 monitoring network

为监测边坡地质灾害及周边环境的变形，由基准点和监测点组成的专用测量控制网。

3.1.5 监测网点 point of monitoring network

安装或布置在监测网中的点位，包括基准点和工作基点。

3.1.6 监测点 monitoring point

设置在边坡上能反映其灾害体变化特征的测量点。

3.1.7 监测测项 monitoring observation item

指以某种物理变量为监测对象的具体项目，即监测内容和监测指标。

3.1.8 监测预警阈值 alarm level value

为保障边坡及其周边环境的安全，针对所监测的项目与被监测边坡稳定性、支护结构工作状况、周边环境变形限制等之间的关系，对监测测项所设定的控制性数值。

3.2 符号

$F \cdot S$ ——传感器的最大测量值；

α ——监测点时间—位移曲线切线角；

β ——岩层或软弱层倾角；

Φ ——变形岩体内软弱面内摩擦角；

ω ——变形岩体倾倒临界角；

K ——边坡稳定系数；

t_0 、 t_r ——滑坡失稳时间；

t_1 、 t_2 、 t_3 ——滑坡加速变形阶段监测点时间—位移曲线上的时间；

v_{cr} ——临界破坏速率，用类比或相似模拟试验确定；

α_1 、 α_2 ——回归系数；

GNSS——全球导航卫星系统 (global navigation satellite system)；

PDOP——位置精度因子 (position dilution of precision)；

PCI——外部设备互连标准 (peripheral component interconnect)；

PXI——面向仪器系统的PCI扩展 (PCI extensions for instrumentation)；

RS485——一个定义平衡数字多点系统中的驱动器和接收器的电气特性的标准；

CAN——控制器域网 (controller area network)；

Modbus——串行通信协议；

UDP——用户数据包协议 (user datagram protocol)。

4 总体要求

4.1 一般规定

4.1.1 边坡地质灾害智能监测宜分为施工期和运营期的监测。

4.1.2 在边坡地质灾害监测中，符合以下情况时，宜实施智能监测：

- a) 监测频率较高的边坡；
- b) 人工监测实施困难的边坡；
- c) 监测周期较长的边坡；
- d) 运营期安全专项评估风险等级较高的边坡；
- e) 有特殊要求的边坡。

4.1.3 施工期的边坡监测方法选择及监测点的布置应兼顾运营期的长期监测。

4.1.4 智能监测机构应具备相应专业资质，配备专业持证人员和满足要求的设备，监测实施前根据委托方及设计文件要求，制定详细的监测方案，经批准后实施。

4.1.5 智能监测的监测精度要求，应符合表 1 的规定。

表1 监测精度要求

监测精度	垂直位移监测		水平位移监测
	变形监测点 高程中误差 (mm)	相邻变形监测点 高程中误差 (mm)	变形监测点 点位中误差 (mm)
一等	±0.3	±0.1	±1.5
二等	±0.5	±0.3	±3.0
三等	±1.0	±0.5	±6.0
四等	±2.0	±1.0	±12.0

注1：监测点的高程中误差和点位中误差指相对于临近基准点的中误差；
注2：特定方向的水平位移中误差可取表中相应监测等级点位中误差的 $1/\sqrt{2}$ 作为限值；
注3：垂直位移监测应按变监测点的高程中误差或相邻监测点的高程中误差确定监测等级。

4.1.6 智能监测信息应及时处理、分析和反馈。

4.1.7 智能监测应根据边坡地质灾害类型及地形地貌条件、岩性条件等因素设定相应的监测预警阈值，阈值应满足施工安全及边坡稳定要求。

4.1.8 监测期应对监测设施采取保护、维护措施，并进行巡查和系统维护。

4.2 监测系统及设备

4.2.1 智能监测宜根据现场情况、监测测项等对边坡的整体或局部建立监控系统。

4.2.2 智能监测系统应具有感应、采集、控制、传输、处理、存储、状态评估及预警等功能。

4.2.3 智能监测系统应符合下列规定：

- a) 监测正常运行前，应对各类传感器进行校零处理或初始状态设置；
- b) 应对异常数据或干扰信号来源进行检查，采取有效措施进行处理；
- c) 监测数据保持连续，在监测系统进行数据对比、处理与分析。

4.2.4 智能监测系统采集单元的采样频率及精度应满足监测要求。

4.2.5 智能监测设备应符合下列基本规定：

- a) 选择相匹配的监测设备，并具有经济性、稳定性、耐久性、兼容性和可扩展性，在投入使用前应进行校准；
- b) 监测信号的信噪比应符合实际工程分析需求；
- c) 宜根据监测方法及功能的要求选择合理的安装方式，安装应牢固、可靠；
- d) 应具备不间断采集数据能力，根据预警等级动态调整采样频率等参数。

4.3 施工期监测

4.3.1 施工期智能监测包括但不限于外观巡视和变形监测。

4.3.2 施工期的监测频率应根据边坡安全等级及施工进度，参考现行 GB 50497 相关规定确定。

4.3.3 当出现下列情况时，应根据需要提高监测频率：

- a) 边坡支（挡）护结构、周边建（构）筑物及周边环境出现发展的变形裂缝或较严重的突发裂缝等可能影响工程安全的异常情况时；
- b) 受洪水、台风、地震、爆破等自然灾害以及交通事故等异常情况影响时；
- c) 受连续降雨、短时集中强降雨等不利影响时；
- d) 监测数据将要达到或超过预警阈值时。

4.3.4 智能监测数据应及时分析处理，出现异常数据应及时核查确认。

4.3.5 施工期智能监测应根据施工进度对监测设备及周边环境进行巡视检查。

4.4 运营期监测

4.4.1 运营期的智能监测应为边坡安全使用提供技术支持。

4.4.2 运营期监测内容包括但不限于边坡变形、裂缝、倾斜、降雨量及地下水位监测等。

4.4.3 运营期的监测宜为长期实时监测，监测系统应不间断连续工作，应具备自动生成监测报表及自动预警功能。

4.4.4 当监测数据异常或报警时，应及时进行核查确认。

5 监测测项与布置

5.1 一般规定

5.1.1 监测应根据监测测项的精度要求和现场作业条件明确相应的监测测项及方法。

5.1.2 监测网的布置应能满足边坡变形量和变形方向的测量要求。

5.2 监测测项

5.2.1 边坡工程安全等级的确定应符合现行 GB 50330 的有关规定，滑坡防治工程等级的划分应符合现行 GB/T 32864 的有关规定。

5.2.2 监测精度与监测测项，应根据边坡工程安全等级或滑坡防治工程等级，按表 2 确定。

表2 边坡地质灾害监测精度及测项

边坡工程安全等级或滑坡防治工程等级	应测测项	宜测测项	选测测项	监测精度
一级	水平位移和垂直位移、深层水平位移、支护结构应力、锚杆（索）内力、地下水位、坡顶建（构）筑物变形、裂缝、巡视检查	土体或岩土体应力、孔隙水压力、土壤含水率、降雨量	质点振动、视频监控、声光报警	二等
二级	水平位移和垂直位移、支护结构应力、地下水位、坡顶建（构）筑物变形、裂缝、巡视检查	深层水平位移、孔隙水压力	土壤含水率、视频监控、声光报警	三等
三级	水平位移和垂直位移、裂缝、巡视检查	深层水平位移、地下水位	视频监控、声光报警	四等
<p>注1：应测-为正常情况下应进行监测的测项，宜测-为宜进行监测的测项，选测-为有条件进行选测的测项；</p> <p>注2：边坡滑塌区内有重要建（构）筑物，且破坏后果严重时，应加强对支护结构的应力监测；</p> <p>注3：滑坡或潜在不稳定斜坡、崩塌等高危边坡地质灾害点附近有爆破时，宜进行质点振动监测，爆破振动安全允许距离计算参考附录D。</p>				

5.3 监测布置

5.3.1 监测网的布置应符合下列规定：

- 监测网应根据边坡的规模、地形地质条件、变形特征、致灾条件、影响范围、周边环境、监测级别、通视条件和施测要求进行布置和确定；
- 采用 GNSS 方法进行测量时，点位的布置应符合现行 GB/T 18314 相关规定执行。

5.3.2 测线的布置应符合下列规定：

- 测线的平面布置，应覆盖边坡地质灾害的不同变形地段或块体，进入岩体稳定区，间距控制在 20~50m 为宜；
- 纵向测线与主要变形方向相一致，有两个及或多个变形方向时，每方向均应布置相应的纵向测线；
- 当边坡呈旋转变形时，纵向测线可呈扇形或放射状布置。横向测线一般与纵向测线相垂直。

5.3.3 监测点的布置应符合下列规定：

- 监测点应根据测线建立的变形地段、块体及其组合特征进行选择，宜布置在测线上或测线两侧 5m 范围内；
- 监测点的位置和数量应能反映边坡的实际状态及变化趋势，且宜布置在边坡体主要变形区域、发展趋势不稳定的重点区块和关键点位；
- 监测点的布置应便于监测设备的安装、测试、维护和更换，并应不妨碍边坡的施工和正常使用；
- 在满足视线开阔、便于区域联测要求的基础上，宜缩短信号的传输距离。

5.3.4 监测基准点和工作基点的布置应符合下列规定：

- a) 基准点应布置在边坡变形体以外稳定的岩土体上，且视线开阔、便于区域联测；对于规模较大、监测条件较复杂或重要地区宜增设基准点；
- b) 工作基点应安设稳定、便于与监测点联测，且与基准点构成合理的满足精度要求的网形。

6 传感器

6.1 一般规定

6.1.1 传感器应满足监测量程、测量精度、分辨率、灵敏度、动态响应特性、长期稳定性、环境适应性等要求。

6.1.2 应选用技术成熟、抗干扰性强、便于安装、维护和更换的传感器，且便于系统集成。

6.2 智能监测传感器

6.2.1 采用卫星导航定位（GNSS）系统静态测量时，设备应符合下列规定：

- a) 卫星导航定位设备宜选用双频、标称静态水平精度不低于 $5\text{mm}+1\text{ppm}$ 的定位系统；
- b) 监测点有效观测卫星数不宜少于 5 个，卫星截至高度角 $\geq 15^\circ$ ，PDOP 值应小于 6，观测时段长度 $\geq 20\text{min}$ ，数据采样间隔 $10\text{min}\sim 30\text{min}$ 。

6.2.2 采用工程摄影测量，监测设备应符合现行 GB 50167 相关条文规定。

6.2.3 深层水平位移监测传感器系统精度不宜低于 $0.25\text{mm}/\text{m}$ ，分辨率不宜低于 $0.02\text{mm}/500\text{mm}$ 。

6.2.4 坡顶建（构）筑物及地表、支（挡）护结构倾斜宜采用倾斜、加速度传感器，其量程宜为设计值的 2 倍，精度不宜低于 $0.5\%F \cdot S$ ，分辨率不宜低于 $0.2\%F \cdot S$ ，采集系统精度不宜低于 $0.25\text{mm}/\text{m}$ ，分辨率不宜低于 $0.02\text{mm}/500\text{mm}$ 。

6.2.5 裂缝监测传感器最大量程应满足监测对象的变化要求，设备安装时应综合考虑裂缝收缩与扩张两种情况，裂缝宽度测量精度不宜低于 0.1mm 。

6.2.6 支护结构内力监测宜采用应力应变传感器，应力应变传感器的量程宜为设计值的 2 倍，精度不宜低于 $0.5\%F \cdot S$ ，分辨率不宜低于 $0.2\%F \cdot S$ 。

6.2.7 土压力传感器量程应满足被测压力的要求，其上限宜取设计压力的 2 倍，精度不宜低于 $0.5\%F \cdot S$ ，分辨率不宜低于 $0.2\%F \cdot S$ ，传感器应能自动进行温度修正。

6.2.8 锚杆（索）轴力计、钢筋应变计和应力计量程宜为锚杆极限抗拔承载力的 1.5 倍，测量精度不宜低于 $0.5\%F \cdot S$ ，分辨率不宜低于 $0.2\%F \cdot S$ 。

6.2.9 质点振动传感器应符合下列规定：

- a) 测量幅值范围应满足测振项目的要求；
- b) 加速度或速度传感器的灵敏度非线性度不宜大于 $\pm 5\%$ ，采样频率宜大于 100 倍被测量物理量的主振频率。

6.2.10 降雨量监测宜采用翻斗式或压电式雨量传感器监测，应符合下列规定：

- a) 监测频率：降雨时不低于 1 次/5min；无雨时不低于 1 次/2h；
- b) 传感器精度不宜低于 $\pm 0.5\text{mm}$ ，分辨率不宜低于 0.1mm；
- c) 仪器的技术参数、仪器与安装环境应符合现行 GB/T 21978.2 的要求。

6.2.11 土壤含水率监测传感器，应符合下列规定：

- a) 直接测量时测量误差为 $\pm 2\%$ ，以被测土壤进行校正时测量误差为 $\pm 0.5\%$ ；
- b) 当达到设定土壤含水率阈值后，数据采集频率不少于 1 次/5min，其它情况下不少于 1 次/h。

6.2.12 地下水位监测宜采用钻孔内设置水位管或设置观测井进行量测，量测精度不宜低于 10mm。

6.2.13 孔隙水压力传感器量程应满足被测压力范围的要求，可取静水压力与超孔隙水压力之和的 2 倍；精度不宜低于 $0.5\%F \cdot S$ ，分辨率不宜低于 $0.2\%F \cdot S$ ；传感器应能自动进行温度修正。

7 设备安装与运行维护

7.1 一般规定

7.1.1 设备安装应满足稳定性、可测性和可实施性等要求，并设置监测点标识。

7.1.2 监测系统及附属设施等应采取防盗、防碰撞、防雷等保护措施，并进行检查与维护。

7.2 设备安装

7.2.1 基础施工应满足变形及稳定性要求，需要时采取避雷措施。

7.2.2 卫星导航定位（GNSS）立杆直径宜大于 90mm，管壁厚度宜大于 3mm，并应加装防雷设施。

7.2.3 工程摄影测量安装应符合现行 GB 50167 的规定。

7.2.4 深部位移监测的埋设与安装应符合下列规定：

- a) 监测孔应采用地质钻孔成孔，测斜管埋深宜在预计滑动面以下 5m~10m，或管底进入稳定基岩深度不小于 2m；
- b) 测斜管埋设时应保持竖直，测斜管一对导槽方向应与所需测量位移方向保持一致；
- c) 将测斜管固定在钻孔中，不能出现晃动和转动，测斜管与孔壁之间的空隙宜用细砂或膨润土填充密实，使测斜管与边坡岩土体固连为整体；
- d) 传感器宜按不大于 2m 的等间距布置，在滑动（潜在）面、土岩交界面、岩体破碎带应适当加密；
- e) 安装完毕后孔口宜采用混凝土墩进行保护，并应满足监测设备安装与接线的要求。

7.2.5 倾角计、加速度计应固定在边坡或支护结构及建（构）筑物表面上，安装方向应能反映监测对象变化。

7.2.6 裂缝计应垂直穿过裂缝，安装在主裂缝位置，拉绳应采用保护管进行保护；激光式裂缝计标靶应牢固稳定，且标靶面积不应小于 $500\text{mm} \times 500\text{mm}$ ，并应符合下列规定：

- a) 应牢固稳定的安装在基础上;
- b) 应设置初始值, 并保证拉伸和压缩方向的变形量程。

7.2.7 支护结构应力计应安装在有代表性的工程部位, 并考虑温度变化、混凝土收缩徐变的影响。

7.2.8 土压力计安装应符合下列规定:

- a) 受力面与所监测的压力方向垂直并紧贴被监测对象;
- b) 埋设过程应采取措施保护土压力计;
- c) 采用钻孔法埋设时, 回填应均匀密实。

7.2.9 锚杆(索)测力计与垫板之间应平整光滑, 且测力计与垫板面垂直。

7.2.10 雨量计应保持承水器口、压敏(电)感应区水平安装, 安装高度选定后, 不得随意变动。

7.2.11 土壤含水率计安装应符合下列规定:

- a) 埋设前应获取监测点的初始含水率, 埋设过程中应避免传感器折损;
- b) 宜采用 3~5 个传感器一组, 传感器间距宜 $\geq 400\text{mm}$, 安装完成后采用原状土回填。

7.2.12 地下水位观测管的管底应埋置于最低水位或最低允许水位之下 3~5m, 承压水水位监测管的滤管应埋置在所测含水层中。

7.2.13 孔隙水压力计可采用钻孔法或压入法埋设, 埋设前应浸泡饱和, 排除透水石中的气泡; 封口材料宜采用直径 10mm~20mm 的干燥膨润土球, 在进行孔隙水压力监测的同时应量测孔隙水压力计埋设位置附近的地下水位。

7.2.14 质点振动传感器安装应确保与被测介质有效耦合, 并应严格控制不同方向的安装角度, 布置在爆破警戒区内的振动传感器应进行必要的安全防护。

7.2.15 供电系统应优先考虑采用宽电压工作设备, 也可采用太阳能、太阳能--风能联合供电。

7.2.16 防雷与接地装置的安装应符合现行国家标准 GB 50343 的规定。

7.3 联机调试

7.3.1 监测设备及其连接状态应进行检查, 确保安装牢固、连接可靠。

7.3.2 应对监测系统进行分析, 异常时排除故障直至运行正常。

7.3.3 联机调试完成后应进行试运行, 运行 72h 后系统稳定且无异常时, 方可投入使用。

7.4 运行维护

7.4.1 应指派专人负责监测系统的运行、管理与维护。

7.4.2 应利用监测系统进行设备故障诊断, 及时发现问题并进行维护。

8 数据采集、传输与存储

8.1 一般规定

8.1.1 数据采集与传输应确保数据精度、不失真，满足监测要求。

8.1.2 数据存储应具有网络安全防护、自动备份等功能。

8.2 数据采集

8.2.1 数据采集设备应考虑后续数据传输与管理的接口兼容性，并应符合下列规定：

- a) 模拟信号宜选用 4mA~20mA 和 -5V~5V 等标准工业信号，可选用基于 PCI、PXI 等技术的集中式数据采集设备，并确定输入范围、分辨率、精度传输带宽和速率；也可选用在传感器端进行模数转换，可按 8.2.2 b) 款规定确定技术参数；
- b) 数字信号可选用基于 RS485、CAN、Modbus TCP 或 UDP 等的分布式数据采集设备，并确定传输距离、传输带宽和速率；
- c) 光信号数据采集应采用专用的光纤解调设备，应根据波长范围、采样通道与采样频率进行选型；静态模拟信号可选用多路模拟开关和采样保持器进行多路信号依次采集；动态信号应选用抗混滤波器进行滤波和降噪；
- d) 采集模数转换分辨率应满足传感器分辨率和监测要求，不宜低于 16 位；
- e) 电阻应变传感器的电信号应进行光电隔离，以增强抗干扰能力；电荷信号应选用电荷放大器进行信号调理和采集；
- f) 数据采集设备应考虑抗干扰措施，提高信噪比；
- g) 数据采集站布置应根据监测要求和信号传输距离要求确定；数据采集站之间应考虑时间同步性要求，同步精度应符合 8.2.3 条的规定。

8.2.2 数据采集应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。

8.2.3 相同类型监测变量的数据采集时间同步误差宜小于 0.1ms；不同类型监测变量的数据采集时间同步误差宜小于 1ms。

8.2.4 数据采集站布置应根据监测要求和信号传输距离要求确定；数据采集站之间应考虑时间同步性要求，同步精度应符合 8.2.3 条的规定。

8.3 数据传输

8.3.1 数据传输应确保系统各模块之间有效集成，数据和指令在各模块间传输高效可靠。

8.3.2 数据传输系统应具有对各种数据接收、交换处理和传输能力。

8.3.3 电信号的数据传输应采用屏蔽电缆，数据传输线缆衰减损失应小于 1db/30m；前置放大器与采集设备之间的信号电缆长度宜小于 150m，超过 150m 应加设中继放大器。

8.4 数据存储

8.4.1 数据存储模块应能实现数据归档、快速显示、自动生成报告等功能。

8.4.2 原始监测数据应定期存储和备份，后处理数据应不少于 3 个月在线，统计分析数据应专项存储。

8.4.3 监测数据或图像应能进行回溯。

9 数据分析、处理与预警

9.1 一般规定

9.1.1 数据分析包括数据处理、安全预警和评估。

9.1.2 预警阈值宜根据不同类型的边坡设定。

9.1.3 预警应综合巡视检查、监测数据和边坡地质情况等分析判断，发现可辨识的灾害前兆时，应及时进行临灾预警。

9.2 数据分析与处理

9.2.1 数据分析应综合监测资料和自然环境、施工工况等，对发展趋势做出预测。

9.2.2 应依据变形及相关影响因素等关键指标，采取单参数或多参数综合进行数据分析。

9.2.3 数据处理应能实现数据预处理和数据后处理功能，数据预处理功能应包括数字滤波、去噪、截取和异常点处理等，数据后处理方式宜根据数据专项分析要求确定。

9.3 监测预警

9.3.1 预警判据应依据变形、内力、环境等数据分析结果，并综合考虑施工工况、临灾前兆等因素。

9.3.2 预警级别可按照边坡地质灾害发生的发展阶段、紧急程度、不稳定因素的发展趋势和可能造成的危害程度进行划分。

表3 预警级别划分及应急响应措施

预警级别	颜色标示	风险等级	应急响应措施
一级	红色	灾害发生的可能性很大，各种短临前兆特征显著，在数小时或数天内大规模发生的概率很大	可能整体失稳，报警；加强宏观变形监测及短临前兆监测，开展短临预警，相关人员及机械设备全部撤离，禁止车辆通行
二级	橙色	灾害发生的可能性大，有一定的宏观前兆特征，在几天内或数周内大规模发生的概率大	可能局部失稳，加强监测数据分析，开展短期预警，预测发展趋势，人员撤离，警示过往车辆
三级	黄色	灾害发生的可能性较大，有明显的变形特征，在数周内或数月内大规模发生的概率较大	警戒，加强监测数据分析，开展中期预警，预测发展趋势，加强巡视
四级	蓝色	灾害发生的可能性小，有一定的变形特征，一年内发生地质灾害的可能性不大	常规巡视
<p>注1：预警级别提高：监测数据显示的宏观及短临前兆更加明显，短期内大规模发生的概率及灾害风险进一步增大，经专家认定后，可以提高预警级别；</p> <p>注2：预警级别降低与解除：灾害风险降低，发生概率变小，短临前兆监测趋缓，经专家认定后，可以降低预警等级或解除预警。</p>			

9.3.3 报警信息应包括工程名称、报警项目、测点编号、当前监测状态及分析结果、报警时间、预警级别等，应及时调整监测参数，立即发送至相关单位。

10 成果资料

10.1 监测报告分为专项报告、阶段报告与总结报告。

10.2 专项报告应包括以下内容：

- a) 特殊事件发生前后的工程、气象及周边环境概况；
- b) 各监测点的单次变化值、变化速率及累计变化值，必要时绘制有关曲线图；
- c) 对监测测项应有正常、异常、危险的判断性结论；
- d) 对达到或超过监测预警阈值的监测点应有报警标识，并应通过多种渠道发出预警信息，并有分析和建议。

10.3 阶段报告应包括以下内容：

- a) 该监测阶段相应的工程、气象及周边环境概况；
- b) 该监测阶段的监测测项及测点布置图；
- c) 各项监测数据的整理、统计及监测成果的过程曲线；
- d) 各监测测项监测值的变化分析、评价及发展预测；
- e) 监测结论和建议。

10.4 总结报告应包括以下内容：

- a) 工程概况、监测依据、目的；
- b) 监测点布置、监测的设备和监测方法；
- c) 监测成果分析及变形异常情况；
- d) 监测结论和建议；
- e) 附图及附表。

附录 A
(资料性)
边(滑)坡稳定性野外评价

在边坡地质灾害智能监测实施前,应对边坡进行地质测绘与调查,宏观性地评价其稳定性,选取潜在不稳定或不稳定的边坡进行监测。经查阅相关规范及手册后,特整理下列评价指标和条件,供野外调查时参考。

A.1 评价方法

采用定性的地质分析方法,根据边坡的地形地貌、形态特征、底层条件、地下水活动和出露位置等各种因素,选择影响稳定性的主要地质环境因素、内外动力地质作用等,结合宏观变形性状,建立稳定性地质判别指标,进行定性评价。

A.2 评价内容

- a) 主要地质环境因素:包括地形地貌、边坡类型及形态特征、坡面坡度、前缘临空状况、沟谷切割程度、地层条件、岩土性质、结构和结构面特征;
- b) 主要动力因素:包括风化作用、地下水作用、地表水作用、气候作用(降水、暴雨强度、冻融等)、地震等自然因素及坡体加载、爆破、工程活动等人为因素;
- c) 宏观变形迹象:包括裂缝、位错、陷落、鼓胀、隆起等。

A.3 评价标准

表A.1 边(滑)坡稳定性野外评价

稳定性状态	状态描述	判别依据
稳定	在设计工况和特殊工况条件下均为稳定	外貌特征后期改造很大,边坡洼地基本难于辨认,滑体地面坡度平缓坡度小于 10° ,前缘临空面低缓(一般 $<5\text{m}$,坡度 $<15^{\circ}$),坡体内冲沟切割已至滑床;滑面起伏较大,且倾角平缓($\leq 10^{\circ}$),滑面饱和阻抗比 >0.8 ;边坡残体透水性良好,剪出口附近泉群分布且流量较大;滑距较远,能量已充分释放,残积体处于稳定状态;滑坡周边没有新的堆积物及其它加载来源,前缘已形成河流侵蚀的稳定坡型或有河流堆积。经实地调查和分析,无可导致整体复活的主要动力因素,人为动力因素很弱或不存在。
基本稳定	在现状条件下是稳定的,但安全储备不高,在特殊工况条件下有可能失稳	外貌特征后期改变较大,滑坡洼地能辨认但不明显或略有封闭,滑体地面平均坡度较缓($10^{\circ} \sim 20^{\circ}$),滑坡前缘临空面比较低缓(高度 $15\text{m} \sim 30\text{m}$,坡度 $15^{\circ} \sim 20^{\circ}$),滑体内沟谷已切至滑床;滑面形态起伏,滑面平均倾角 $\leq 20^{\circ}$,滑面阻抗比 $0.6 \sim 0.8$;滑坡残体透水性良好;滑距较远,能量已充分释放;滑坡周围无新的堆积物加载来源,滑坡前缘已形成河流侵蚀的稳定坡型。经实地调查和分析,在特殊工况条件下其整体稳定性有所降低,仅可能产生局部变形破坏。
欠稳定(潜在不稳定)	在现状条件下是稳定的,但安全储备不足,略高于临界状态。在设计工况条件	外貌特征后期改造不大,后缘滑坡洼地封闭或半封闭;滑体平均坡度中等($20^{\circ} \sim 30^{\circ}$),滑坡前缘临空面较陡(高度 $30\text{m} \sim 50\text{m}$,坡度 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$),滑体内沟谷切割中等;滑面形态为靠椅状或平面状,滑面平均倾角 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$,滑面阻抗比 $0.4 \sim 0.6$;滑坡残体透水性一般,滑距不太远,能量释放不充分;滑坡后缘有加载

稳定性状态	状态描述	判别依据
	下其向不稳定方向发展，在特殊工况条件下有可能失稳	堆积或有一定数量的危岩体为加载来源，滑坡前缘受冲刷尚未形成稳定坡型，且有局部坍塌产生，整体尚无明显变形迹象。经实地调查和定性分析，在一般工况条件下是稳定的，但安全储备不高，在特殊工况条件下有可能整体失稳。
不稳定	在现状条件下处于临界状态，且向不稳定方向发展。在设计工况条件下将部分失稳	外貌特征明显，滑坡洼地一般封闭明显；滑体坡面平均坡度较陡（ $>30^{\circ}$ ），滑坡前缘临空面较陡（高度 $>50\text{m}$ ，坡度 $>30^{\circ}$ ），滑体内沟谷切割较浅。滑面呈靠椅状或平面状，滑面平均倾角大于 30° ，滑面阻抗比小于0.4；滑体结构松散，透水性差；滑距短，滑坡残体保留较多，剪出口以下脱离滑床的体积较少；滑坡有加载来源；滑坡前缘受冲刷，有坍塌产生；滑体上近期有明显变形破坏迹象。变形迹象为滑坡变形配套产物；后缘弧形裂缝或塌陷，两侧羽状开裂，前缘膨胀、鼓丘等。经实地调查和分析，滑体目前处于临界状态，且正在向不稳定方向发展，在特殊工况条件下有可能大规模失稳。

附录 B

(资料性)

边(滑)坡变形阶段划分

B.1 蠕动变形阶段

在潜在滑动面或软弱面(层)上,岩土体逐渐产生沿剪切方向的定向排列,并具有一定的粘结强度和密实度,已在局部位置产生剪切滑移面。坡体开始产生裂缝,位移一时间过程曲线出现相对较大的斜率,但随着时间的延续,曲线斜率有所减小,表现出减速变形的特征。此变形阶段内其变形速率不稳定,具有随时间逐渐减小的特征,也称为减速变形或缓慢变形阶段。

B.2 等速变形阶段

在潜在滑动面或软弱面(层)上,产生不连续的剪切滑移面并逐步扩展的剪切滑移现象。该阶段斜坡体在初始变形阶段的基础上,在重力的作用下,斜坡岩土体基本上以相同(近)速率在继续滑移。因不时受到外界因素的影响,其位移一时间过程曲线可能会有所波动,但此阶段变形曲线总体趋势为一倾斜直线。此变形阶段内其剪切变形速率表现为均匀缓慢递增的特征,也称为稳定变形阶段。

B.3 加速变形阶段

沿着潜在剪切面或软弱面(层),前阶段产生的不连续剪切滑移面迅速扩展,剪断剪切滑移面间的岩土联系,逐渐形成贯通性剪切滑移面。当坡体变形发展到一定的阶段后,变形速率会呈现出不断加速增长的趋势。此变形阶段表现出剪切变形速率明显增大的特征,也称为不稳定变形阶段。

B.4 临滑阶段

沿着潜在剪切面或软弱面(层)的剪切滑移面贯通,形成统一的剪切滑移面,上覆岩土体沿着这一较低残余强度的统一剪切滑移面滑动。变形急剧发展,直至斜坡体整体失稳(滑坡)之前,其位移一时间过程曲线近于陡立。此变形阶段其剪切变形速率呈陡直线上升,也称为急剧变形或不稳定破裂变形阶段。

附录 C
(资料性)
边坡地质灾害定量预警模型和方法

位移—时间曲线示意图						预报适宜性	
变形破坏阶段		I 蠕变变形	II 等速变形	III 加速变形	IV 临滑		
1	变形速率判据	减速变形, 切线角 α 由大变, 甚至曲线下弯	等速变形 α 角近恒定, 曲线向上呈微斜直线	变形加速, α 角由恒定变陡, 曲线上弯	变形急剧, α 角陡立, 曲线近陡直	临滑预报, 长、中、短期趋势预报	
	监测位移曲线跟踪法						
2	蠕变曲线切线角度 α 和矢量角判据	位移矢量角 α 渐小至 0	位移矢量角 α 等值增大	位移矢量角 α 由等值增大到非线性等值(加速)增大	$\alpha = \tan^{-1} dx/dt = 70^\circ \sim 90^\circ$ 位移矢量角突然增大或减小		
	指数平滑法, 卡尔曼滤波法, 多元非线性相关分析法等						
3	变形速率判据				$t_0 = \frac{V_{cr} - \alpha_2}{2\alpha_3}$		
	指数平滑法与非线性回归法相结合						
4	斋藤迪孝法				$t_r - t_1 = \frac{\frac{1}{2}(t_2 - t_1)^2}{(t_2 - t_1) - \frac{1}{2}(t_3 - t_1)}$		临滑预报, 中、短期趋势预报
5	稳定系数 K 判据		$1.05 \geq K \geq 1.0$	$1.0 > K \geq 0.96$	$K < 0.96$		临滑预报, 长、中、短期趋势预报
	极限分析法						
6	0.618 比例判据		T1	T2=0.618T1		临滑预报, 中、短期趋势预报	
	黄金分割数法						
7	力学图解法	$\beta < \omega, \beta > \Phi$ 时滑移; $\beta > \omega, \beta < \Phi$ 时倾倒; $\beta > \omega, \beta > \Phi$ 时滑移、倾倒				临滑预报	
8	变形痕迹判据	后缘断续拉张裂缝	后缘不连续拉张裂缝, 两侧羽状裂缝, 后缘微错落下沉	后缘与两侧纵向剪张裂缝趋于连接, 后缘错落下沉, 前缘微鼓胀	后缘弧形拉裂圈与两侧纵向剪张裂缝贯通, 后缘壁和前缘鼓胀形成, 前端滑床岩层倾角变陡, 并呈现挤压褶皱、裂缝和压碎	临滑预报, 长、中、短期趋势预报	
	宏观地质调查法						
9	宏观先兆判据				局部小崩小滑日趋频繁, 地下水变化异常, 地声、地热现象, 动物行为异常, 超常降雨和地震		
	宏观调查法						

附录 D
(资料性)
爆破振动监测

爆破地点与人员和其他保护对象之间的安全允许距离，应按各种爆破有害效应（地震波、冲击波、个别飞散物）分别核定，并取最大值。

确定爆破安全允许距离时，应考虑爆破可能诱发的滑坡、滚石、雪崩、浪涌、爆堆滑移等次生灾害的影响，适当扩大安全允许距离或针对具体情况划定附加的危险区。

D.1 爆破振动安全允许距离

爆破振动安全允许距离，按式（D.1）计算。

$$R = \left(\frac{K}{V}\right)^{\frac{1}{\alpha}} \cdot Q^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots (D.1)$$

式中：

R ——爆破振动安全允许距离，单位为米（m）；

Q ——炸药量，齐发爆破为总药量，延时爆破为最大单段药量，单位为千克（Kg）；

V ——保护对象所在地安全允许质点振速，单位为厘米每秒（cm/s）；

K, α ——与爆破点至保护对象间的地形、地质条件有关的系数和衰减指数，应通过现场试验确定，在无试验数据的条件下，可参考表 D.1

表D.1 爆区不同岩性的K, α 值

岩性	K	α
坚硬岩石	50~150	1.3~1.5
中硬岩石	150~250	1.5~1.8
软岩石	250~350	1.8~2.0

D.2 现场监测原则

D.2.1 每一监测点均应布置垂直向、水平径向和水平切向的传感器，同时监测三个方向的质点振动值。

D.2.2 在地质条件发生突跃变化的地方（如断层等），应在突跃变化的两边分别布置传感器，被测对象为边坡时，最近监测点宜在距爆破区最近的马道内侧坡脚。

D.2.3 当需分析爆破振动传播规律时，应先选择代表性监测断面，并使每一监测点至爆破源的距离按近密远疏的对数规律布置，每一次监测取得的有效数据应不少于5个。监测点布置范围应大于最近一个监测点到爆心距离1个数量级。

D.3 测振传感器

测振设备防尘防潮应满足 IP65 防护等级，抗高低温应满足-30℃~+50℃的监测环境要求，传感器频带线性范围可参考相关工程被测物理量的频率范围。

表D.2 被测物理量的频率范围

监测项目				
	深孔爆破		地下开挖及浅孔爆破	拆除爆破及其他
质点振动速度	近区	30~300Hz	20~300Hz	2~300Hz
	中区	10~100Hz		
	远区	2~50Hz		
质点振动加速度	1~1200Hz		1~3000Hz	1~1200Hz

参 考 文 献

- [1] GB/T 20270 信息安全技术网络基础安全技术要求[S].
- [2] DZ/T 0221 崩塌、滑坡、泥石流监测规范[S].
- [3] YS/T 5229 岩土工程监测规范[S].
- [4] JTG D30 公路路基设计规范[S].
- [5] DZ/T 0309 地质环境监测标志[S].
- [6] TC93/SC2 地质灾害通讯技术要求[S].
- [7] 地质灾害专群结合监测预警技术指南（试行）[S].
- [8] 朱自强、鲁光银等. 山区高速公路运营期边坡稳定性衰变及灾变防控技术研究[R]. 长沙：中南大学、湖南省交通规划勘察设计院有限公司，2019年9月.