

《公路边坡安全监测技术规程》

编制说明

2026年5月

目 次

一、工作概况	1
(一) 任务来源	1
(二) 起草单位	1
(三) 主要起草人及分工	1
二、制定标准的必要性和意义	2
三、主要起草过程	4
四、编制原则和依据，与现行法律、法规、标准的关系	6
(一) 编制原则	6
(二) 编制依据	6
(三) 与现行法律法规、标准的关系	7
五、主要条款的说明，主要技术指标、参数、实验验证的论述	8
(一) 主要条款说明	8
(二) 主要技术指标、参数、试验验证的论述	11
六、重大意见分歧的处理依据和结果	31
七、实施标准的措施及建议	31
八、知识产权说明	31
九、其他应说明的事项	31

《公路边坡安全监测技术规程》 地方标准编制说明

一、工作概况

（一）任务来源

2025年6月17日，宁夏回族自治区市场监督管理局下达的2025年宁夏地方标准制（修）订计划，批准了《公路边坡安全监测技术规程》（以下简称技术规范）地方标准的编制。

（二）起草单位

该地方标准主要承担单位：宁夏交通投资集团有限公司

协作单位：宁夏公路工程质量检测中心（有限公司）

宁夏交通科学研究所有限公司

宁夏交投高速公路管理有限公司

宁夏公路管理中心

宁夏交投工程建设管理有限公司

宁夏交投科技发展有限公司

四川伟儒建筑工程有限公司

（三）主要起草人及分工

1.3.1 起草人

陈晓炜、刘桂灵、陈瑾、李建国、杨昊、黄建云、白玉宁、毛鑫、岳通、孔旭阳、张立鹏、何涛、李阳、杨华、黄福华、吴彦泽、贾利军、杜洋、袁雷、李志勇、杜学培、虎正旺、路旭、王晓明、彭丽群、何梅芳、王杰、路彦青、刘林伟、马铭、杨凯凯、段培培。

1.3.2 分工

陈晓炜负责标准的总体组织、策划、协调、编制等工作。

刘桂灵、陈瑾、李建国、杨昊、黄建云、白玉宁、毛鑫：前言、范围、规范性引用文件和术语及定义部分的编写以及对本文件的整体文本把控与格式规范；

岳通、孔旭阳、张立鹏、何涛、李阳、杨华、黄福华、吴彦泽：负责基本规定、监测等级划分、监测项目设置、监测基准点等章节的编制工作；

贾利军、杜洋、袁雷、李志勇、杜学培、虎正旺、路旭：负责监测设备及要求、监测点布设、监测系统建设等章节的编制工作；

王晓明、彭丽群、何梅芳、王杰、路彦青、刘林伟、马铭：负责监测预警与响应、监测报告编制及所有附录的编制工作；

杨凯凯、段培培：负责对文稿进行修改整理工作。

以上人员均参与标准内容的编写，负责协调、组织、研讨、撰写、征求意见、修订、送审等工作。

二、制定（修订）标准的必要性和意义

近年来，随着宁夏地区社会经济的快速发展，交通运输基础设施建设取得了显著成就，全区公路总里程已超过 3.8 万公里，路网密度超过全国平均水平，形成了覆盖城乡、四通八达的公路网络。随着公路网规模的不断扩大和运营年限的增长，公路边坡安全问题日益突出。宁夏地区地质条件复杂，黄土区边坡分布广泛，同时存在季节性冻融、风沙侵蚀等特殊地质环境问题，公路边坡易发生滑坡、崩塌、溜塌、石块滚落等灾害，严重威胁公路通行安全和人民生命财产安全。目前，我国公路行业正逐步从大规模建设期转向高质量

养护期，公路基础设施的安全保障能力成为行业发展的核心任务之一；因此，建立科学、规范、统一的公路边坡安全监测技术体系，提升边坡灾害预警与防控能力，成为宁夏公路养护管理工作亟待解决的重要问题。

各级政府先后颁布了《交通强国建设纲要》、《“十四五”现代综合交通运输体系发展规划》、《宁夏回族自治区综合交通运输体系“十四五”发展规划》等政策文件，明确要求加强公路基础设施安全监测与预警体系建设，提升交通运输领域安全生产保障能力和防灾减灾救灾水平，推动交通运输行业向安全、智慧、绿色方向发展。这些政策的导向，为公路边坡安全监测技术的创新升级和标准化建设提供了明确指引和有力支撑。其中，智能化、自动化监测技术以其实时性强、数据连续、预警及时等显著优势，成为提升公路边坡安全保障能力的关键技术手段，有助于推动我区公路养护工程向智慧化、精细化方向发展，对保障公路交通基础设施安全稳定运行具有重要意义。

然而，当前宁夏地区公路边坡安全监测工作存在诸多亟待解决的问题：一是传统监测手段以人工巡查和简易测量为主，存在监测频次不足、数据离散、预警滞后等问题，难以及时发现边坡早期变形征兆；二是缺乏统一的技术标准和规范，不同项目在监测等级划分、设备选型、点位布设、数据采集与处理、预警阈值设定等方面技术要求不统一，导致监测数据可比性差、成果应用水平低；三是智能化监测技术应用不够广泛，现有监测系统集成度低、数据共享

不畅，未能形成有效的分级预警与应急联动机制；四是针对宁夏湿陷性黄土、季节性冻融、风沙区等特殊地质条件的边坡监测技术要求不够明确，难以满足本地实际工程需求。因此，亟需制定一部符合宁夏地区实际情况的公路边坡安全监测技术规程，为全区公路边坡监测工作提供科学、统一的技术指导。

本标准在充分借鉴国内外先进技术经验和工程实践成果的基础上，立足宁夏公路边坡地质特征和管养实际需求，全面规定了公路边坡安全监测的术语和定义、基本要求、监测设备及要求、监测点布设、监测系统、监测预警与响应、监测报告等关键技术内容，构建了覆盖监测全流程的标准化技术体系。本标准的制定，将有效规范宁夏地区公路边坡安全监测工作，统一技术要求，提高监测数据的准确性和可靠性，提升边坡灾害早期识别和预警能力，最大限度减少边坡灾害造成的人员伤亡和财产损失；同时，将推动自动化、智能化监测技术在宁夏公路边坡监测中的广泛应用，促进公路养护管理的现代化和智慧化转型，为公路交通基础设施安全稳定运行提供坚实的技术保障。

本地方标准的制定，积极响应国家和地方关于加强安全生产和防灾减灾工作的政策要求，契合宁夏公路行业高质量发展的实际需求，有助于填补宁夏地区公路边坡安全监测技术标准的空白，推动全区公路边坡监测工作的标准化、规范化和智慧化发展，全面提升公路基础设施安全保障能力，为建设安全、畅通、智慧、绿色的现代化综合交通运输体系提供有力支撑。

三、主要起草过程

2025年3月13日交通运输部办公厅印发了关于《公路自然灾害监测预警系统技术指南（试行）》的通知，明确了公路自然灾害监测预警系统建设和运行方向，为响应文件要求，宁夏公路工程质量检测中心（有限公司）于2024年6月开始筹备宁夏边坡监测预警项目及系统研究。

2024年12月~2025年1月，确定宁夏高速公路灾害高风险路段监测预警工程项目，并将其纳入2025年重点养护工程项目，2025年1月完成了项目招投标工作。

2025年2月~3月，监测设备安装调试完成并验收合格，智能数据平台搭建完成。

2025年4月~5月，对8处路段边坡的监测数据与平台的联动性进行了优化，形成了技术报告资料。

2025年6月《公路边坡安全监测技术规程》标准获得宁夏回族自治区市场监管厅批准立项。本技术规程编制任务下达后，宁夏交通科学有限公司积极组织，由宁夏公路工程质量检测中心（有限公司）成立标准编写小组，明确标准编写任务，制定了编制计划。

2025年6月~12月，编写组在对国家政策文件及国内相关技术标准充分调研的基础上，结合公司数智监测一体化平台数据分析与智能监测设备，充分参考了依托工程项目的施工应用情况，于对所收集的资料进行梳理、分析，编写标准内容，形成工作组讨论稿，2026年2月完成公司内部征求意见稿，3月4日集团内部组织专家评审对征求意见稿及编制说明进行评审、讨论，在对

专家意见和建议认真分析、充分理解的基础上，经编制组讨论修改后形成标准征求意见稿。

四、编制原则和依据，与现行法律、法规、标准的关系

（一）编制原则

本标准依据现行相关规范、规程、技术标准、指南等文件参考编制。遵循中华人民共和国国家标准 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原则，重点突出宁夏公路边坡安全监测的基本要求、监测设备、监测点布设、监测系统、监测预警与响应、监测报告等的技术要求。

（二）编制依据

本标准依据 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》的要求进行编制。并参考依据了如下标准规范：

GB/T 18314 全球导航卫星系统（GNSS）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 12898 国家三、四等水准测量规范

JGJ 8 建筑变形测量规范

JTG D30 公路路基设计规范

JTG 3363 公路桥涵地基与基础设计规范

JTG/T 3334 公路滑坡防治设计规范

JTG/T D31-05 黄土地区公路路基设计与施工技术规范

DB64/T 1835 宁夏回族自治区公路工程湿陷性黄土地基处理技

术规范

(三) 与现行法律法规、标准的关系

本标准的制定严格按照《中华人民共和国标准化法》《标准出版发行管理办法》《中华人民共和国安全生产法》《中华人民共和国公路法》《建设工程安全生产管理条例》等相关法律法规要求实施；并系统参考了《全球导航卫星系统 (GNSS) 测量规范》《工程测量标准》《建筑边坡工程技术规范》《建筑变形测量规范》《公路路基设计规范》《公路滑坡防治设计规范》《黄土地区公路路基设计与施工技术规范》等多项国家及行业标准，以及《宁夏回族自治区公路工程湿陷性黄土地基处理技术规范》等地方标准。

调研发现，目前国内尚未发布专门针对公路边坡安全监测的国家标准，相关技术要求散见于建筑边坡、公路路基、滑坡防治等领域的规范中。已发布的地方标准多针对特定区域或特定类型边坡，各标准在监测等级划分依据、监测项目设置、预警阈值体系、智能化监测技术要求等方面存在差异，施工与运维的标准化程度不高，质量控制与评价体系不够完善；尤其缺乏针对湿陷性黄土、季节性冻融等特殊地质条件下公路边坡监测的系统性技术规定，难以满足不同地区公路边坡安全监测的差异化需求。

本地方标准的先进之处在于：充分考虑宁夏地区湿陷性黄土分布广泛、季节性冻融明显等独特气候环境与地质特征，结合宁夏公路网管养实际需求，在监测等级划分方法、特殊性岩土边坡专项监测技术、智能化监测设备选型与精度要求、本地化预警阈

值设定、分级预警与应急联动机制等多方面进行创新，提出一套完整的覆盖术语定义、基本规定、监测设备及要求、监测点布设、监测系统建设、监测预警与响应、监测报告编制等内容的公路边坡安全监测技术体系，填补了宁夏地区公路边坡安全监测地方标准的空白，为全区公路边坡监测工作提供科学的技术指导。

五、主要条款的说明，主要技术指标、参数、实验验证的论述

（一）主要条款说明

本规程共设 8 章及 6 个资料性附录，主要涵盖范围、规范性引用文件、术语和定义、基本规定、监测设备及要求、监测点布设、监测系统、监测预警与响应等内容，附录规定了边坡及监测点编号规则、监测报告及成果总结报告提纲。核心内容如下：

1. 范围与规范性引用文件

明确本规程适用于宁夏回族自治区各级公路在役期边坡的安全监测，界定了规程的技术应用边界；规范引用了 GNSS 测量、工程测量、建筑边坡、公路滑坡防治、黄土地区公路路基设计、宁夏湿陷性黄土地基处理等 10 项国家、行业及地方现行标准，为规程技术条款提供合规性支撑。

2. 术语和定义

统一规范了公路边坡、公路边坡监测、智能监测、监测等级、预警阈值、边坡灾害等 18 项核心术语和定义，覆盖监测全流程核心概念，为规程的全区推广实施提供统一的术语。

3. 基本规定

确立了边坡监测工作的总体准则，明确监测实施前需完成现场调查、地质勘察与风险评价，编制专项监测方案并审批后实施；核心构建了公路边坡监测等级划分体系，依据边坡类型、高度、破坏后果、地质条件，划分 I、II、III 级三个监测等级，配套岩质边坡岩体分类、土质边坡地质分类判定标准，明确不良地质、特殊岩土路段边坡的安全等级提升规则；对应不同监测等级，划定了位移监测、诱发因素监测、防护设施监测、短临监控四大类监测项目的应测、宜测范围；同时规范了监测基准点的布设数量、选址要求与年度校核规则，为监测工作奠定基础框架。

4. 监测设备及要求

明确了监测设备选型的基本原则，细化了不同监测内容对应的常用仪器设备、采集频率、正常上传频率与监测精度等核心指标；规范了监测设备调试、验收、运维的全流程管理要求，配套标准化记录表单，确保监测设备稳定运行、监测数据精准可靠。

5. 监测点布设

明确了监测点唯一性编号、标识设置的通用规则，规范了“十”字型、“丰”字型、方格型、放射型等监测网型的布设特征与适用边坡范围；针对变形监测、诱发因素监测、支护设施监测、短临监控四大类监测项目，细化了监测断面数量、测点间距、埋设深度、布设位置等核心技术要求；建立了不同监测等级边坡监测点的常态化巡查制度，明确了正常工况、汛期 / 极端降雨后、预警状态下的巡查频次，以及异常处置、定期校验维护的硬性要求。

6. 监测系统

明确了智能监测系统的构建原则与核心架构，规定系统应包含传感器子系统、供电子系统、数据采集传输子系统、数据处理与管理子系统四大核心模块；细化了系统设计要求和核心功能指标，明确了数据采集传输、处理管理、自动化采集站、管理站的功能规范，同时对系统信息安全、运维管理、数据备份留存周期提出了明确要求，保障监测系统全生命周期稳定、安全运行。

7. 监测预警与响应

构建了完整的监测预警与应急处置闭环体系，明确了边坡安全状态综合研判规则；设定了各类监测项目的预警阈值参考标准，依据《中华人民共和国突发事件应对法》，建立了红、橙、黄、蓝四级预警体系，明确了各级预警的判定标准；差异化规定了不同监测等级、不同工况下的自动化监测与人工监测频次，规范了监测数据预处理、存储管理要求；明确了各级预警的信息发布流程、分级响应措施，建立了与路政、公安交通管理部门的应急联动处置机制；同时统一了监测报告的分类、编制要求与核心内容，规范了监测成果的归档管理。

8. 资料性附录

配套 6 个资料性附录，为规程落地实施提供全流程实操支撑。其中附录 A 规定了边坡、监测点的唯一性编码规则；附录 B 明确了边坡监测方案的编制要求与内容框架；附录 C-E 分别制定了监测设备材料验收、安装、巡查维护的标准化记录表；附录 F 规范了监测月报、年报的编制提纲，实现全区公路边坡监测资

料的标准化、可追溯管理。

(二) 主要技术指标、参数、试验验证的论述

1. 宁夏土体调查

我国黄土分布于地面中下层，平原地区（西安、山西）和高海拔地区（宁夏、甘肃）具有明显区别，平原地区黄土在 4~8m 之间，而宁夏、甘肃地区黄土深度在 5~13m 之间，同时深层黄土的含水率、塑性指数相较于浅层黄土明显降低。

宁夏地区黄土反复经历潮湿、干燥状态，加剧了黄土的湿陷性趋势，特殊的气候与地势决定了宁夏黄土以湿陷性黄土为主。相较于我国其他黄土地区，宁夏高原较多，黄土堆积厚度高，我国学者勘探结果表明，宁夏富含湿陷性和非湿陷性黄土，在开挖深度为 6~12m 以湿陷性黄土为主，12m 以下以堆积黄土为主。

土样编号	取土深度	含水量	重度	孔隙比	饱和度	液限	塑限	塑性指数	液限指数	湿陷系数	自重湿陷系数	千重度	土体颗粒	
		ω	γ	e	S_r	W_L	W_p	I_p	I_L	δ_s	288	γ_d		
		%	kN/m		%	%	%			200kPa		kN/m		
宁夏	KL1	6	10.7	13.9	1.142	25	26.1	17.1	9.1	-0.69	0.069	0.03	12.6	粉或黏
	KL2	13	10.5	15.3	0.943	30	26.7	17	9.7	-0.67	0.021	0.041	13.8	
	KL3	5	6.7	14	1.05	17	26.4	17	9.4	-1.1	0	0	13.1	
	KL4	7	10.3	14.5	1.046	26	25.5	16.6	8.9	-0.71	0.06	0.045	13.1	
	KL5	3	5	14.5	0.948	14	25.3	16.6	8.7	-1.33	0.038	0.014	13.8	
	KL6	7	10	14.6	1.027	26	26.9	17	9.9	-0.71	0.036	0.018	13.3	
	KL7	10	10.6	14	1.125	25	27.2	17.6	9.6	-0.73	0.059	0.054	12.7	
	KL8	13	13.9	14.8	1.078	35	28.2	18	10.2	-0.4	0.014	0.026	13	

图 1 土壤的物理指标汇总表

固原市位于宁夏南部，东与甘肃庆阳市、平凉市为邻，南与平凉市相连，西与白银市分界，北与宁夏中卫市、吴忠市接壤。固原地处黄土高原暖温半干旱气候区，是典型的大陆性气候，形

成冬季漫长寒冷、春季气温多变、夏季短暂凉爽、秋季降温迅速，昼夜温差大，春季和夏初雨量偏少，灾害性天气多，区域降水差异大等气候特征。年平均日照时数 2518.2 小时，年平均气温 6.1℃，年平均降水量 492.2mm，年蒸发量 1753.2mm，大于 10℃ 的活动积温 2000-2700℃，无霜期 152 天，绝对无霜期 83 天。固原主要气象灾害有干旱、大风、沙尘、低温冻害、高温、局地冰雹、暴雨雷电等，春季大风、扬沙天气频繁发生，干旱、低温冻害等气象灾害等相继发生，夏季局地冰雹等强对流天气较多，秋季干暖降水偏少，冬季干暖现象十分明显。

中卫市位于宁夏回族自治区中西部，东临吴忠市，南与固原市及甘肃省靖远县相连，西与甘肃省景泰县接壤，北与内蒙古自治区阿拉善左旗毗邻。地形由西向东、由南向北倾斜。境内海拔高度在 2955 米~1100 米之间。市政府所在地沙坡头区，东“锁扼青铜”，南“对峙香岩”，西“爽邑沙山”，北“控制边陲”。地貌类型分为沙漠、黄河冲积平原、台地、山地和盆地五个较大的地貌单元。其中西北部腾格里沙漠边缘卫宁北山面积 12 万公顷，占全市土地总面积的 7%；中部卫宁黄河冲积平原 10 万公顷，占全市土地总面积的 5.9%；位于山区与黄河南岸之间的台地 6 万公顷，占全市土地面积的 3.5%；南部陇中山地与黄土丘陵面积 142.45 万公顷，占全市土地面积的 83.6%。中卫市深居内陆，远离海洋，靠近沙漠，属半干旱气候，具有典型的大陆性季风气

候和沙漠气候的特点，春暖迟、秋凉早、夏热短、冬寒长，风大沙多，干旱少雨，年平均气温在 $8.2 \sim 10^{\circ}\text{C}$ 之间，年均无霜期 159 ~ 169 天，年均降水量 138 ~ 353.5 毫米，年蒸发量 1729.6 ~ 1852.2 毫米，全年日照时数 3796.1 小时。

近年来，宁夏南部山区的年降水量逐年增加，尤其是在泾源、隆德等地区，年降水量已超过 1000 毫米。这一现象导致了区域边坡滑坡、黄土崩塌、黄土湿陷沉降以及水毁等自然灾害的频发、高发和易发趋势。特别是公路沿线的自然灾害，对公路的安全运营构成了严重威胁。

2. 土体取样分析

试验所用黄土主要采集自 S70 固彭高速 K8+348-K8+718 段临河路基边坡处，采集气温 $10^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$ ，开挖深度为土层表面向下 5m，分析结果表明宁夏低液限黏土矿物组成以石英和斜长石为主，石英即为 SiO_2 ，斜长石分为钠长石与钙长石。（1）大部分矿物元素组成以硅铝酸盐和碳酸盐为主，钠钾钙等作为金属元素，土体 PH 值在 $6.8 \sim 7.9$ ，呈弱碱性，土体成分对其物理力学性质影响较大；（2）石英的化学性质稳定，具有较强的抗水性和抗风化能力；钾长石、斜长石、黏土矿物属于具有层状结构的含水铝硅酸盐、方解石为碳酸盐矿物；（3）土质整体由硅铝酸盐、碳酸盐组成，元素组成相对常规，土体化学结构稳定。

宁夏地区湿陷性黄土样品，液限 34.7，塑限 16.9，塑性指

数 17.8，击实最大干密度 1.96g/cm，最佳含水量 11.5%。

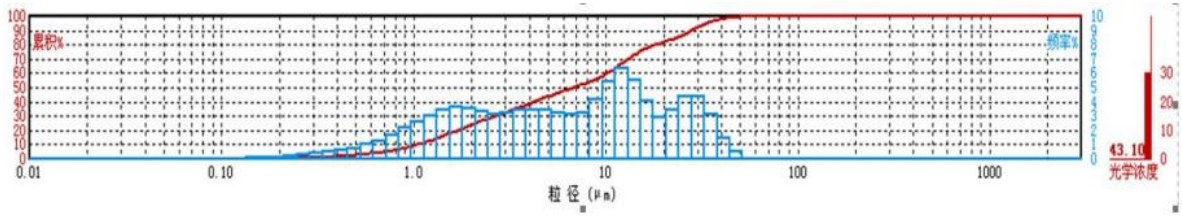


图2 取样黄土的粒度分析

表1 黄土全矿物分析结果（占比：%）

组成	石英	钾长石	斜长石	方解石	白云石	石膏	菱铁矿	闪石	黏土矿物
黄土	44	6	19	15	3	-	1	1	11

3. 试验准确度分析

结合宁夏黄土分布广泛、公路黄土边坡占比高、土体湿陷性与水敏性突出、边坡失稳多以浅层溜塌、湿陷沉降、节理裂隙扩展为主的区域特征，选取 3 处代表性公路黄土边坡，开展为期 8 个月的专项试验验证，重点对黄土边坡特有监测项目适配性、本地化预警阈值、监测网布设优化、黄土区域环境适应性及自动化监测有效性进行验证，新增黄土湿陷变形、土体含水率、降雨入渗深度、节理裂缝等针对性监测项目并明确适配仪器与精度指标，建立湿陷变形、降雨入渗与裂缝扩展相结合的复合预警判据并形成适配宁夏本地的四级预警阈值。

（1）监测设备精度：经与全站仪人工测量、人工巡检读数等传统监测方式开展多轮比对验证，GNSS 监测一体机、裂缝计、雨量计、水位计振动检测仪等监测设备及 AI 视频监控系统的各

项核心精度、性能指标均完全满足规程中的对应条款要求，其中GNSS一体机静态测量水平与垂直精度满足规程 5.2.1 条的强制要求，可实现 24 小时连续自动化监测，视频监控设备分辨率、帧率均满足规程 5.5.2 条的硬性指标，可实现边坡现场的实时影像监控与短临异常识别。



图 3 GNSS 一体机与传统监测对比

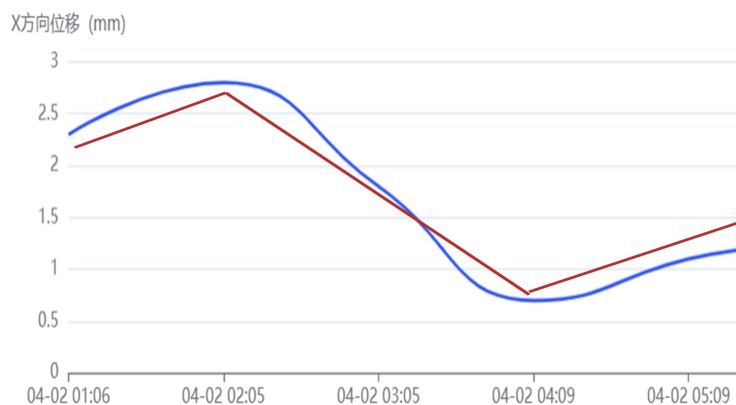


图 4 GNSS 一体机与传统监测实测数据对比

(2) 采集与传输频率指标：按照规程规定的不同监测等级、不同工况下的采集与上传频率开展连续测试，自动化设备可稳定实现正常工况下 10 分钟-2 小时的采集频率，汛期、极端降雨工况下可无缝切换至加密采集频率，预警状态下可实现最低 10 分钟/次的采集频率，数据上传成功率 100%，符合规程对监测频率

的控制要求。

4. 试验可靠性分析

(1) 诱发因素监测验证：通过监测数据关联分析，可明确强降雨发生后，边坡地表位移速率同步加快、裂缝宽度加速扩展的正相关规律，直接验证了规程核心前提——降雨是宁夏地区公路边坡滑坡、崩塌灾害的核心诱发因素，证明了规程要求“同步开展变形监测与诱发因素监测”的必要性，不仅证明了我们的监测系统合规有效，更从实际工程数据层面，验证了标准的科学性、地域适配性和可落地性。

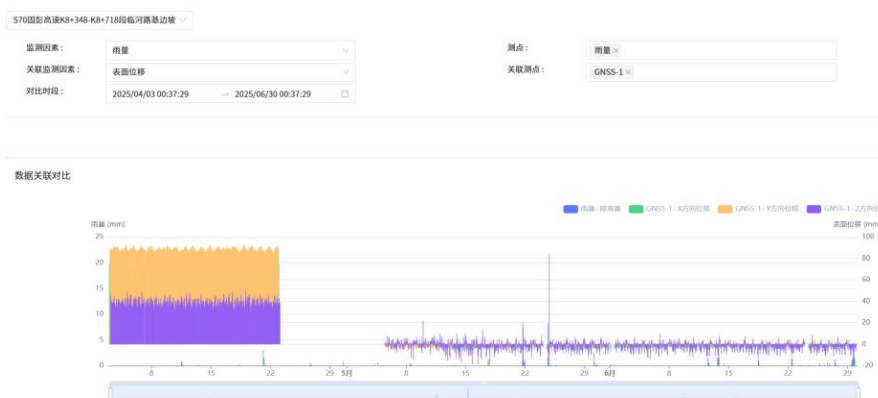


图5 降雨量与表面位移关联性分析

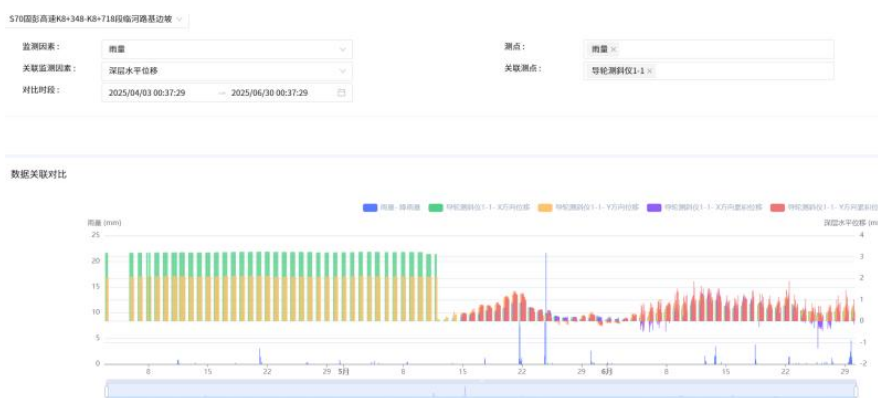


图6 降雨量与深层水平位移关联性分析

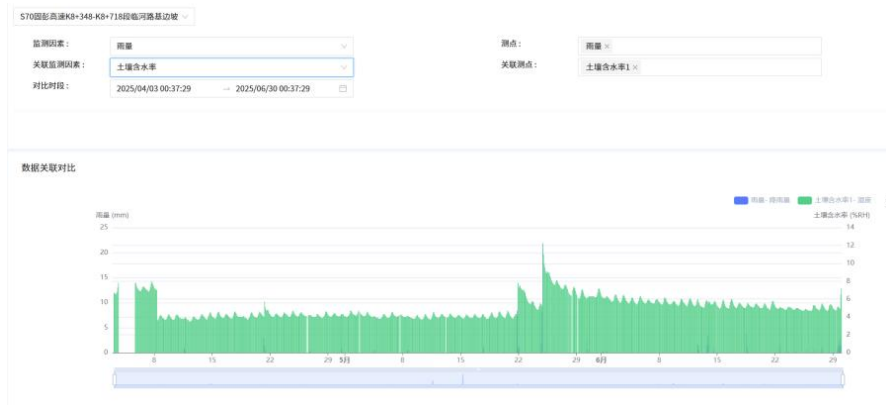


图7 雨量与土壤含水率关联性分析

(2) 预警阈值可靠性验证：基于3处实验边坡连续6个月的监测数据，对规程设定的预警阈值进行验证。经验证，从前端设备实时数据采集、稳定传输，到规范设定的四级预警阈值精准触发、多渠道预警信息同步提示，再到预警工单闭环派单、现场处置反馈的全流程贯通，数据传输实时可靠、预警响应合规高效、处置流程完整闭环，可全面支撑公路边坡全周期安全监测与应急响应工作。

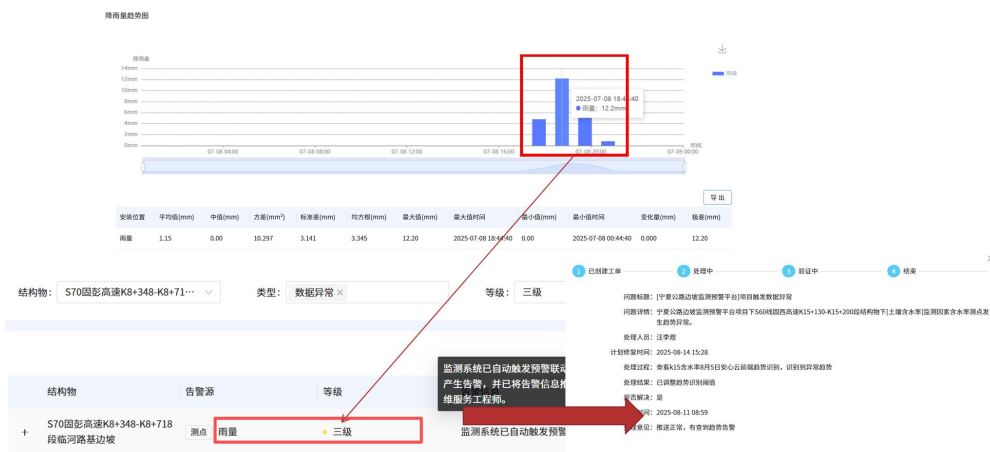


图8 预警响应系统验证

(3) 监测网布设可靠性验证：选取典型边坡进行验证，完成十字形、方格形、放射形三类监测网的系统性验证。经验证，

三类方案布设完全符合规程基准点选址、监测线设置、点位布置的强制要求，无监测盲区；可分别适配不同类型边坡的差异化监测需求，场景适用性强；监测数据经交叉比对精准可靠，可稳定捕捉边坡真实变形，三类布设方案均合规有效，可为边坡变形研判、分级预警及应急处置提供符合规程要求的核心数据支撑。



图 9 放射形监测网布设

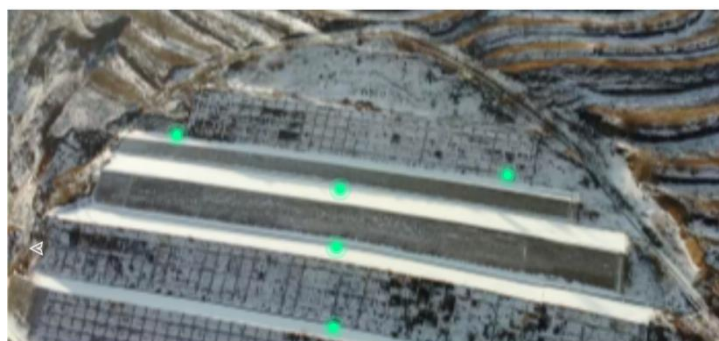


图 10 十字形监测网布设

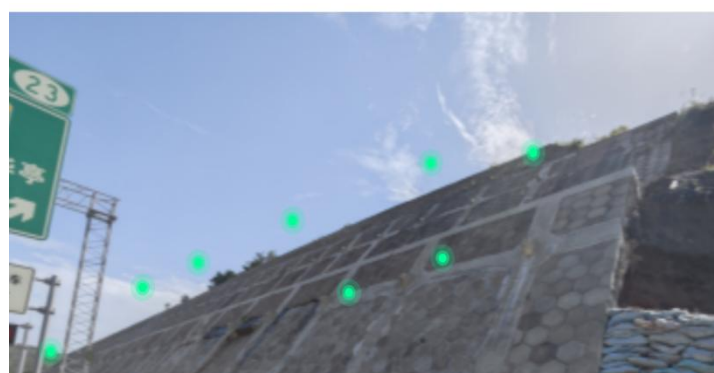


图 11 方格型监测网布设

5. 实验稳定性分析

经对边坡监测仪器及系统开展长期稳定性验证，选取施工典型路段对各类监测仪器进行连续运行测试，各类设备可适应宁夏地区沙尘、高低温等复杂环境条件，供电保障能力满足野外长期监测需求，各项性能指标均符合规程中对应仪器设备的相关技术要求。同时对“传感器-采集-传输-分析”全流程监测系统开展连续运行测试，系统具备可靠的数据缓存与断点续传能力，数据传输稳定可靠；在模拟设备异常、通讯中断等工况下，系统预警响应及时准确，整体兼容性与稳定性满足规程相关规定要求。



图 12 表面位移监测 (GNSS 一体机)



图 14 雨量监测 (雨量计)

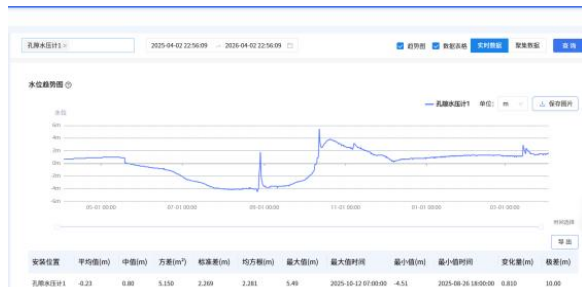


图 13 地下水位监测 (孔隙水压力)



图 15 裂缝监测 (裂缝计)

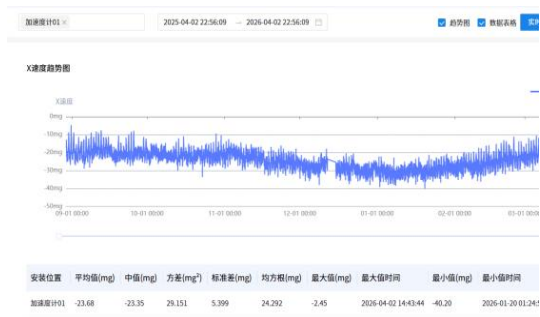


图 16 震动崩塌监测（加速度计）



图 17 视频监控

6. 试验结果综述

本次实验验证覆盖宁夏地区典型边坡建设期与在役期两种工况，为期 6 个月围绕五大核心技术环节开展系统验证，结果表明核心监测仪器精度优于规程要求且适配本地户外环境，监测方法科学高效、监测网布设合理针对性强、预警阈值贴合本地失稳规律、监测系统功能完整兼容，同时针对特殊岩土边坡监测细节提出优化建议并纳入规程修订。综上，本规程核心技术环节具备科学性、实用性与可操作性，完全贴合宁夏地区公路边坡地质条件与运维管理需求，为其在全区公路边坡安全监测工作中的落地实施提供了坚实支撑。

7. 典型高风险路段边坡监测预警项目

7.1 S70 固彭高速K8+348 至K8+718 段

该路段无照明及爆闪警示装置等设备，行车安全存在较大隐患，根据《交通运输部办公厅关于进一步加强监测预警提升公路防灾抗灾能力的通知》“在全国高速重点桥梁和隧道等路段，按照 1 公里不少于 1 处的标准，以及全路段实施视频监测分析、自动识别路面状态的目标，加密增设高清微光摄像机等设备”。该点位于高速公路临河高路堤段，故该点位新增照明设施和爆闪警

示装置等设备，新增车载移动标志。

S70 固彭高速 K8+348-K8+718 段该段边坡长度共计 370m，坡高 15 米，一级边坡、坡度 70 度；该路段临近水库，坡面设置有预制菱形骨架防护，边坡整体稳定，边坡底部设有浆砌片石挡墙，高度约 2~3m，但混凝土劣化严重，部分砌块已经掉落；在持续降雨或冻融循环作用下，在路桥结合段可能发生局部滑塌，对公路安全运营造成风险隐患。



图 18 S70 固彭高速 K8+348-K8+718 段现场照片



图 19 固彭高速 K8+348-K8+718 段现场照片

监测方案：对该区域边坡采用“边坡深部位移+地表位移监测+降雨量监测+地下水动态监测+土壤含水率监测+视频监控”的综合监测方案，结合数据分析预警系统，建立滑坡安全立体监测

平台，监测点数量详见下表。

表 1 S70 线固彭高速 K8+348-K8+718 段上行线临河路基监测方案一览表

序号	监测内容	监测方法	监测设备	监测点数量
1	深部位移监测	测斜法	串联式固定测斜仪	1 个
2	地表变形监测	北斗定位测量	GNSS 接收机	3 个
3	地下水动态监测	地下水监测	孔隙水压计	2 个
4	降雨量监测	气象监测	雨量计	1 个
5	土壤含水率监测	土壤环境监测	管式含水率仪	2 个
6	视频监控	视频监测	4G 球机	2 个

边坡坡面设置有预制菱形骨架，坡面排水设施良好，整体情况相对稳定，故在边坡两端部与高速桥梁交界应力集中区域进行重点监测，分别在交界处应力集中区域中部布置 1 台 GNSS 接收机，与深部位移监测点形成监测横断面，进行数据补充和印证。

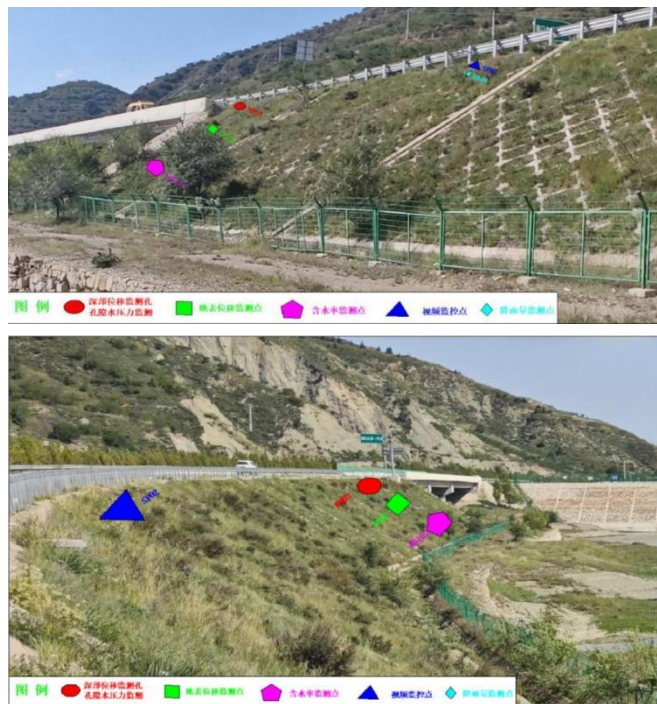


图 20 S70 线固彭高速 K8+348-K8+718 段边坡滑坡监测点平面布置图

表 2 S70 线固彭高速 K8+348-K8+718 段边坡滑坡地表位移监测传感器布置一览表

序号	监测点数量	监测点位置	监测点编号
1	1	小里程桥梁边坡交界处 1 台	JC01
2	1	大里程桥梁边坡交界处 1 台	JC02
3	1	基准站 1 台	JD01
合计	3	3 台 GNSS 接收机	/

考虑到滑坡土体含水量较大，降雨期间坡面渗水情况较为明显，推测滑坡可能存在地下水活动，在深部位移测斜孔中埋设孔隙水压力计，以监测可能出现的地下水位及其变动情况。地下水动态监测点与深部位移监测孔共用，分别在 NB01 和 NB02 孔底埋设孔隙水压力计各 1 个，共计 2 个孔隙水压力计。降雨量监测点布置在视频立杆上，与视频设备共用一套供电系统和机箱设备。视频监控点（2 处）布设在边坡小里程、大里程与桥梁交界处合适位置，重点对桥梁部位进行监控。土壤含水率监测点布置在 GNSS 接收机与固定测斜仪设备组成的监测横断面下部。

监测方案：拟对该边坡侧边排水沟水位进行监测，该点位设有摄像机及悬臂情报板，该点位高速公路临河高路堤段，故该点位新增照明设施和爆闪警示装置等设备；新增车载移动标志。

表 3 G1816 高速 K421+150 下行段路基监测方案一览表

序号	监测内容	监测方法	监测设备	监测点数量	备注
1	水位监测	雷达方式	雷达水位计	1 个	SW01
2	视频监控	视频监控	4G 球机	1 个	SP01



图 20 G1816 高速 K421+150 下行段路基监测项目监测点平面布置图

7.2 S60 固西高速 K15+130 至 K15+200 段

S60 线固西高速 K15+130-K15+200 段临河路基该段边坡长度共计 70m，坡高 32 米，一级边坡、坡度 45 度；填方部分有预制拱形骨架支档，填筑材料为土石混填，整体结构稳定，坡脚设置浆砌片石挡墙，挡墙高度 1.0m，墙顶宽度 0.5m，但部分砌块已经开裂，暴雨天气，河水水位到底部挡墙处；对高速公路运营带来一定安全隐患。

拟对该区域边坡采用“边坡深部位移+地表位移监测+降雨量监测+地下水动态监测+土壤含水率监测+视频监控”的综合监测方案，结合数据分析预警系统，建立滑坡安全立体监测平台，为公路安全运营提供监测数据依据，监测点数量详见下表。

表 4 S60 线固西高速 K15+130-K15+200 段临河路基监测方案一览表

序号	监测内容	监测方法	监测设备	监测点数量
1	深部位移监测	测斜法	串联式固定测斜仪	1 个
2	地表变形监测	北斗定位测量	GNSS 接收机	2 个
3	地下水动态监测	地下水监测	孔隙水压计	1 个
4	降雨量监测	气象监测	雨量计	1 个

5	土壤含水率监测	土壤环境监测	管式含水率仪	1 个
6	视频监控	视频监控	4G 球机	1 个



图 21 S60 线固西高速 K15+130-K15+200 段临河路基边坡监测点布置平面图

7.3 S60 固西高速 K31+500 段高边坡

S60 固西高速 K31+500 段高边坡位于下行线田家梁隧道入口处右侧 K31+420-K31+630 段，为黄土-岩挖方边坡，边坡横向宽度约 210m，纵向长度约 65m，边坡高度约 60m，坡率 1: 0.75，边坡共分 5 级，分级高度 6-10 米，平台宽度 2-5m，其中，坡脚设置浆砌片石挡墙，挡墙高度 4.0m，墙顶宽度 2.5 米，一级、二级、五级坡面采用锚杆框架+六棱砖护面，三级、四级坡面采用浆砌片石护面墙。各级平台及边坡两侧、后缘设置截排水沟。



图 22 S60 固西高速 K31+500 段高边坡现场照片

现状边坡整体较为稳定，但三级平台出现明显的挤压、断裂和隆起，造成截排水沟挤压变形较为明显，平台多处开裂，表现出明显的滑移变形迹象，在长期的降雨入渗和冻融循环作用下，

可能进一步发生滑移变形，引起坡面局部滑塌的可能性较大，对公路安全运营造成风险隐患。



图 23 S60 固西高速 K31+500 段高边坡三级平台变形破坏情况现场照片

2.4 S60 固西高速 K32+500 段

S60 固西高速 K32+500 段高边坡位于下行线 K32+400-K32+580 段右侧，为黄土-泥岩挖方边坡，边坡横向宽度约 180m，纵向长度约 36m，边坡高度约 20m，坡率 1:0.1，边坡共分 2 级，分级高度 10 米，平台宽度 2m，其中，坡脚设置浆砌片石挡墙，挡墙高度 3.0m，墙顶宽度 1.5 米，一级坡面采用锚杆框架+六棱砖护面，平台及边坡两侧、后缘设置截排水沟。现状边坡坡脚浆砌片石挡墙出现横向剪切破坏而开裂，裂缝长度 12m，宽度 2-5cm，裂缝两侧呈现明显的错台，同时，挡墙顶面的混凝土截排水沟同样出现开裂，边沟内侧翼墙（锚杆框架底部基础）有明显的鼓胀和开裂，呈现出边坡滑移变形的迹象，在持续降雨或冻融循环作用下，可能发生局部滑塌，对公路安全运营造成风险隐患。



图 24 S60 固西高速 K31+500 段高边坡三级平台变形破坏情况现场



图 25 S60 固西高速 K31+500 段高边坡三级平台变形破坏情况现场照片

7.5 S60 固西高速偏城隧道

S60 固西高速偏城隧道出上行线入口顶部处缺少支挡防护，存在落石风险；中部 6 级边坡设置有框格梁支挡防护，坡脚底部设置有浆砌片石挡墙，高度约 3m，但挡墙及框格梁却存在剪切裂缝，缝宽约 2~3cm，裂缝两侧存在明显的错台，挡墙顶面的混凝土同样出现开裂，底部边沟亦存在的鼓胀和开裂，框格梁存在明显脱空，部分六边形砌块已经完全掉落；对公路安全运营造成风险隐患。

该隧道上下行隧道入口前设置有固定式高清摄像机、引道路

灯、雾灯、悬臂式可变情报板。根据《交通运输部办公厅关于进一步加强监测预警提升公路防灾抗灾能力的通知》，该点位需要新增爆闪警示装置、车载移动标志、遥控高清微光摄像机、立柱式可变情报板等。



图 26 S60 线固西高速偏城隧道洞口现场照片

7.6 S25 泾华高速 K41+700 段

S25 泾华高速 K41+700 段滑坡位于固原市泾源县泾河源镇双疙瘩梁隧道下行线出口右侧 K41+630-K41+770 段，滑坡横向宽度约 140m，纵向长度 70m，高度约 18m，主滑方向约 192° （与路线基本垂直），综合坡比约 1: 2.5，滑面深度 6-10m，滑坡体积约 $11.5 \times 104\text{m}^3$ ，滑体主要为第三系黏土，滑床为全风化泥质砂岩，为中型中层推移式滑坡。该滑坡建设期发生多次滑动，并导致边坡顶部 G344 线路基发生滑移变形，后通过“坡脚锚拉桩+挡墙支挡+边坡中部抗滑桩支挡+坡顶抗滑桩支挡”的综合方案进行治理，对滑坡整体进行加固和支挡，增强稳定性。

现状滑坡坡脚锚拉桩和挡墙较为稳定，无明显变形破坏迹象，表面该滑坡整体较为稳定，但坡体中部积水较为明显，且边坡中部农耕活动活跃，边坡整体含水率较高，局部存在明显的蠕滑变

形，因此，在暴雨、连续降雨或地下水位持续升高等情况下，仍有复活或发生浅层滑移的可能性，对公路安全运营造成风险隐患。



图 27 S25 泾华高速 K41+700 段滑坡现状



图 28 S25 泾华高速 K41+700 段滑坡局部蠕滑变形现场照片

7.7 S40 萌海高速 K114+500 至 K114+750 段

该路段为高速公路沿线二级风险点路段 S40 高速 K114+500 至 K114+750 段。S40 萌海高速 K114+500~K114+750 段路基边坡高度约 12m；坡度 45 度，底部波纹管涵洞存在泥沙堵塞现象，并伴有结构变形，导致顶部路基发生沉降；边坡邻水水库，附近山体植被覆盖较少，暴雨、连续降雨天气下很容易造成水流冲击，导致边坡失稳，对公路安全运营造成风险隐患。



图 29 S40 萌海高速 K114+500~K114+750 段现场照片

7.8 G1816 乌玛高速 K421+150（下行）

该路段为高速公路沿线二级风险点路段 G1816 高速 K421+150（下行）。G1816 乌玛高速 K421+150 段位于中卫市沙坡头区迎水桥镇营盘水村，该路段土壤沙化的现象尤为显著，导致土地变得干燥，由于缺乏足够的有机质和粘土成分，土壤的涵水能力大大降低，无法有效地保持水分，也对道路的安全性构成了威胁，沟渠内堆积的泥沙和杂物使得水流不畅，排部分水系统已经丧失排水功能，在暴雨、连续降雨等情况下，存在降水裹挟泥沙冲到路面的情况，对公路安全运营造成风险隐患。



图 30 G1816 乌玛高速 K421+150 段现场照片

六、重大意见分歧的处理依据和结果

无

七、实施标准的措施及建议

本规程立足宁夏公路边坡监测预警需求，内容涵盖规范监测方案、项目、系统、预警及报告全流程，明确监测等级划分、仪器选型与精度要求，构建四级预警机制，指导全区公路建设期与在役期边坡安全监测，建议本规程作为推荐性地方标准发布实施。

八、知识产权说明

本标准无涉及的专利等相关知识产权。

九、其他应说明的事项

无