

CECS

CECS×××

中国工程建设标准化协会标准

公路边坡智能监测技术规程

Technical specification for intelligent monitoring of highway slope

(征求意见稿)

2022 年 5 月

中国工程建设标准化协会标准

公路边坡智能监测技术规程

Technical specification for intelligent monitoring of highway slope

T/CECS *** -20XX

主编单位：招商局重庆交通科研设计院有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：20XX 年××月××日

20XX 年 X 月

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2020 年第一批工程建设协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字〔2020〕014）的要求，本规程在编制过程中，规程编制组经广泛调查研究，认真总结科研成果和工程实践经验，参考了国内外相关标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程共分 11 章和 2 个附录，主要内容包括：总则、术语和符号、基本规定、智能监测系统设计、位移监测、应力监测、地下水监测、环境监测、图像与视频监控、数据采集与传输、数据分析与预警。

本规程由中国工程建设标准化协会公路专业委员会归口管理，由招商局重庆交通科研设计院有限公司负责具体技术内容的解释。本规程在执行过程中如要修改或补充之处，请将有关意见和建议寄送至招商局重庆交通科研设计院有限公司（地址：重庆市南岸区学府大道 33 号，邮政编码：400067；邮箱：64210818@qq.com），以供今后修订时参考。

主编单位：招商局重庆交通科研设计院有限公司

参编单位：参编单位：中交第二公路勘察设计研究院有限公司、贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司、云南省交通规划设计研究院有限公司、上海华测导航技术股份有限公司、福建省高速技术咨询有限公司、云南建设基础设施投资股份有限公司、招商局重庆公路工程检测中心有限公司、广东交通实业投资有限公司、中国十九冶集团有限公司、广州市北二环交通科技有限公司

主要起草人：阎宗岭、黄河、付伟、龙万学、李果、李宏祥、徐峰、周泽林、龙翔、曾耀、张晶、刘中帅、田英杰、韩坤林、苗德山、刘光东、吴伟、谭玲、叶咸、湛兵、项彦茂、陈晶、温辉波

主要审查人：吴万平

目 次

1 总 则	1
2 术语和符号	2
2.1 术 语	2
2.2 符 号	3
3 基本规定	4
4 智能监测系统设计	5
4.1 一般规定	5
4.2 监测等级与项目	6
4.3 监测系统设计内容	9
4.4 监测网点布设	12
4.5 监测方法选择	13
4.6 监测周期与频率	14
5 位移监测	16
5.1 一般规定	16
5.2 监测方法	16
5.3 监测设备选型	18
5.4 监测设备安装	19
6 应力监测	22
6.1 一般规定	22
6.2 监测方法	22
6.3 监测设备选型	23
6.4 监测设备安装	25

7 地下水监测	27
7.1 一般规定	27
7.2 监测方法	27
7.3 监测设备选型	28
7.4 监测设备安装	28
8 环境监测	31
8.1 一般规定	31
8.2 监测方法	31
8.3 监测设备选型	32
8.4 监测设备安装	32
9 图像与视频监控	34
9.1 一般规定	34
9.2 监测方法	34
9.3 监测设备选型	35
9.4 监测设备安装	36
10 数据采集与传输	38
10.1 一般规定	38
10.2 数据感知与转换	39
10.3 数据采集与汇聚	39
10.4 远程数据传输	43
10.5 现场供电系统	45
10.6 系统安装与调试	46
11 数据处理分析与预警	47
11.1 一般规定	47
11.2 基础数据库	47
11.3 系统 API 接口	49
11.4 监测数据分析	50
11.5 预测预警	51

11.6 监测报告	52
11.7 监测数据及预警信息发布	53
附录 A 边坡智能监测系统设计方案编制大纲	54
附录 B 常规数据库定义	55
附录 C 监测项目预警值设定建议表	60
本规范用词用语说明	错误！未定义书签。

征求意见稿

Contents

1 General	(1)
2 Terms and symbols	(1)
2.1 Terminology	(1)
2.2 Symbols	(3)
3 Basic provisions	(4)
4 Design of intelligent monitoring system	(5)
4.1 General Provisions	(5)
4.2 Monitoring level and items	(6)
4.3 Design content of monitoring system	(9)
4.4 Layout of monitoring network	(12)
4.5 Selection of monitoring methods	(13)
4.6 Monitoring cycle and frequency	(14)
5 Displacement monitoring	(16)
5.1 General provisions	(16)
5.2 Monitoring methods	(16)
5.3 Selection of monitoring equipment	(18)
5.4 Installation of monitoring equipment	(19)
6 Stress monitoring	(22)
6.1 General provisions	(22)
6.2 Monitoring methods	(22)

6.3 Selection of monitoring equipment	(23)
6.4 Installation of monitoring equipment	(25)
7 Groundwater monitoring	(27)
7.1 General provisions	(27)
7.2 Monitoring method	(27)
7.3 Selection of monitoring equipment	(28)
7.4 Installation of monitoring equipment	(28)
8 Environmental monitoring	(31)
8.1 General provisions	(31)
8.2 Monitoring method	(31)
8.3 Selection of monitoring equipment	(32)
8.4 Installation of monitoring equipment	(32)
9 Image and video monitoring	(34)
9.1 General provisions	(34)
9.2 Monitoring method	(34)
9.3 Selection of monitoring equipment	(35)
9.4 Installation of monitoring equipment	(36)
10 Data acquisition and transmission	(38)
10.1 General provisions	(38)
10.2 Data perception and conversion	(39)
10.3 Data acquisition and aggregation	(39)
10.4 Remote data transmission	(43)
10.5 Site power supply system	(45)
10.6 System installation and commissioning	(45)

11 Data processing analysis and early warning	(47)
11.1 General provisions	(47)
11.2 Basic database	(47)
11.3 System API interface	(49)
11.4 Analysis of monitoring data	(50)
11.5 Prediction and early warning	(51)
11.6 Monitoring Report	(52)
11.7 Release of monitoring data and early warning information	(53)
Appendix a preparation outline of design scheme of slope intelligent monitoring system	(54)
Appendix B general database definitions	(55)
Appendix C suggestion table for setting early warning value of monitoring items	(60)
Description of words and expressions in this specification	(61)

1 总 则

1.0.1 为规范公路边坡智能安全监测，满足成熟可靠、经济合理、安全实用的要求，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于各等公路工程边坡安全监测。

1.0.3 应综合考虑边坡工程地质和水文地质条件、加固与防护方案、周边环境、施工运营管理条件等，确定公路边坡智能监测技术方案。

1.0.4 公路边坡智能监测，应符合国家和行业安全生产相关规定，采取有效的安全生产措施，保证人员和设施的安全。

1.0.5 公路边坡智能监测的方案设计与施工应贯彻国家技术经济政策，积极推广新技术、新方法、新设备。

1.0.6 公路边坡智能监测除应符合本规范的规定外，尚应符合现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 智能监测系统 intelligent monitoring system

采用自动化传感技术、计算机系统控制传感设备对监测点定时进行连续的监测与监测数据分析计算，快速识别并预警边坡异常状态的全自动、全天候、实时安全监测系统。

2.1.2 监测等级 grade of monitoring

根据边坡工程失稳破坏危害程度、地质条件和周边环境等风险阶大小，对边坡工程监测的等级划分

2.1.2 位移监测 deformation monitoring

对边坡坡体、加固与防护、周边环境等监测对象的竖向、水平、倾斜等位移变化所进行的量测工作。

2.1.3 应力监测 stress monitoring

对边坡坡体、加固与防护、周边环境等监测对象所承受的拉力、压力等变化所进行的量测工作。

2.1.4 环境监测 environmental monitoring

对边坡所在区域的温度、湿度、降雨等自然环境参数的监测。

2.1.5 倾斜监测 tilt monitoring

对边坡发生变形时表面或深部土体产生扭转的监测。

2.1.6 监测预警值 precaution value for monitoring

对边坡可能发生异常或危险状态的监测量所设定的警戒值。

2.1.7 施工安全监测 monitoring for construction safety

施工期量测边坡变形、应力、地下水及环境等参数的变化规律，为施工期建设安全

管理服务的监测。

2.1.8 工程效果监测 monitoring for engineering effect

公路试运营期量测高边坡或滑坡有关变形、应力、地下水及环境等参数的动态变化与发展规律，以检验工程效果的监测。

2.1.9 运营安全监测 monitoring for transportation safety

运营期量测边坡变形、应力、地下水及环境等参数的动态变化与发展规律，以保障运营安全的监测。

2.1.10 智能监控平台 intelligent monitoring platform

提供多类型监测设备的接入与管理，并为上层多种监测应用提供数据与服务的支撑能力，基于数据管理与应用实现对城市交通基础设施的管理与养护。

2.1.11 预测预报 predication and forecast

根据基础设施的结构特性，利用经验的或系统模拟的方法估计一定时限之后的结构状态，并进行该数据的发布。

2.2 符 号

ppm—每公里的最大比例误差（mm）；

%FS—传感器监测精度与全量程的百分比；

F—锚索（杆）所受的荷载（kN）。

3 基本规定

3.0.1 公路边坡监测分为施工监测、处治效果监测和运营监测，施工间监测宜与工程控制量测结合，运营监测宜采用自动化监测系统。

3.0.2 公路边坡智能监测内容与仪器设备布设方案应根据公路等级、边坡类型、地质条件、加固方案、危害程度、周边环境等因素，并综合考虑监测目的、要求确定。

3.0.3 公路边坡智能监测宜采用可靠、稳定、耐久的监测仪器。

3.0.4 边坡智能监测系统应具有边坡状态信息感知、采集、传输、存储、数据处理、监控设备控制、安全评估与预警等功能。

3.0.5 边坡智能监测应按设计或运营安全管理控制要求设定安全监测预警值。

3.0.6 智能监测数据应采用多重灾备或异地灾备。

3.0.7 宜将人工巡查和监测信息纳入智能安全监测系统数据库。

3.0.8 应及时对边坡监测数据进行综合分析，评估边坡的变形趋势和稳定状态，并进行安全预警。

3.0.9 对边坡智能监测的各个环节、监测设备，应采取避免人为误差、降低系统误差的措施。

3.1.10 在监测实施过程中，公路边坡设计、施工方案或边坡稳定状态发生重大变更时，应及时调整监测等级和监测方案。

3.0.11 边坡监测期间，应加强对监测设施的维护和保护。

3.0.12 边坡智能监测宜设置专用监控中心，可将边坡智能监测系统接入公路建设或运营管理监控中心。

3.0.13 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。

4 智能监测系统设计

4.1 一般规定

4.1.1 应综合考虑公路边坡监测等级、监测阶段、边坡类型、加固结构类型、变形控制要求、地质环境条件等进行公路边坡智能监测系统设计，监测系统应稳定可靠、操作方便、易于维护及扩展升级。

4.1.2 公路边坡智能监测系统建设应通过设计并采取安全措施，防止数据遭到破坏、泄露和非法更改，数据传输、存贮应符合《信息安全技术-信息系统通用安全技术要求》（GB/T 20271-2006）的相关规定。

4.1.3 制定边坡智能监测系统方案前，应收集下列资料：

- 1 边坡工程地质勘察资料；
- 2 边坡加固设计资料；
- 3 边坡施工和养护资料；
- 4 边坡影响范围内建筑物、结构物、管线等资料；
- 5 其他相关资料。

4.1.4 公路边坡智能监测系统应包括监测仪器设备、数据自动采集系统、传输系统、智能监控管理平台等主要模块。

4.1.5 公路边坡智能监测系统应具备下列基本功能：

- 1 现场网络数据通信和远程通信；
- 2 数据自动采集、上传；
- 3 防雷接地和抗干扰；
- 4 数据存储、管理；
- 5 数据备份、自检、自诊断、断电保护和故障显示；
- 6 数据智能分析及处理；
- 7 统计、报表和图表分析；
- 8 智能预警；
- 9 数据共享、查询，图形数据展示、报警状态显示等；

- 10 人工监测信息接入接口；
- 11 项目管理、设备管理；
- 12 用户权限分级管理。
- 13 系统参数配置；
- 14 运行维护记录与管理；
- 15 监测资料（合同、大纲方案及监测报告等）管理。

4.1.6 智能监控管理平台应具有监测数据自动存储、处理、智能分析、预警、展示与发布等模块。

4.1.7 应定期对公路边坡智能监测系统进行检查、维护，保证系统正常运行。

条文说明

智能监测设备被偷盗、破坏、出现故障，或因某些因素引起的监测精度变化等问题往往不可避免的，需制定完善的管理制度。规程提出对监测系统及监测设备的日常维护的要求，以保障自动化监测设施的可靠运行。

4.2 监测等级与项目

4.2.1 公路边坡安全监测等级，应根据边坡失稳破坏危害程度、公路等级、周围环境及其工程重要性，按表 4.2.1 确定。

表 4.2.1 边坡安全监测等级

边坡高度（m）			边坡失稳危害程度		
土质边坡	岩质边坡	路堤边坡	轻	中等	严重
$H < 20$	$H < 30$	$H < 10$	三级	三级	二级
$20 \leq H < 30$	$30 \leq H < 40$	$10 \leq H < 20$	三级	二级	一级
$30 \leq H < 40$	$40 \leq H < 50$	$20 \leq H < 40$	二级	二级	一级
$H \geq 40$	$H \geq 50$	$H \geq 40$	二级	一级	一级

注：1. 边坡安全监测等级从高到低依次为一级、二级、三级。

2. 边坡影响区有桥梁、隧道、高压输电塔、油气管道等重要建筑或结构，以及村庄、学校等的二、三、四级公路，安全监测等级宜提高一级。

条文说明

边坡安全监测等级是边坡监测方案制定的重要依据，目前不同行业对监测等级的划分方法较多。边坡安全监测等级主要考虑边坡规模、岩土体结构、周边环境条件、失稳

危害程度、公路等级等因素。福建省地方标准《高速公路边坡工程监测技术规程》（DB35_T1844-2019）主要考虑了边坡类型、高度和公路等级进行划分，如表 4-1。湖北省地方标准《公路边坡监测技术规程》（DB42/T 1496-2019）主要按照公路边坡安全等级和周边环境复杂程度划分，边坡安全等级主要考虑边坡类型、高度和地质条件复杂程度等因素，如表 4-2。本标准主要考虑边坡类型、规模和危害程度。

表 4-1 高边坡监测设计安全等级

高边坡规模					安全等级		
类别	路堑边坡高度			路堤边坡高度	高速公路、一级公路	二级公路	三、四级公路
	土质（类土质）边坡	二元结构边坡	岩质边坡				
高边坡	20 m~40 m	25 m~50 m	30 m~60 m	20(10)m~30(15)m	I	III	III
高大边坡	40 m~60 m	50 m~70 m	60 m~80 m	30(15)m~40(20)m	I	II	III
超高边坡	≥60 m	>70 m	≥80 m	≥40(20)m	I	I	II
已发生边坡滑坡的高边坡，高边坡监测设计安全等级宜提高一级；已发生山体滑坡的高边坡，高边坡监测设计要求按滑坡监测设计；边坡稳定影响范围内，存在高压铁塔、重要构筑物、其他等级道路等，安全等级应高一级。区域内唯一通道的二、三、四级公路的公路，高边坡监测设计安全等级宜提高一级；高边坡建设范围内存在其他等级道路需要监测时，按此等级划分进行监测工作。 注1：高边坡监测设计安全等级由高到低依次为 I 级、II 级、III 级。 注2：路堤边坡高度括符内为中心填高。							

表 4-2 公路边坡安全等级

边坡类型		边坡高度（m）	地质条件复杂程度	安全等级
挖方边坡	岩质边坡	$H \geq 40$	复杂、一般、简单	一级
		$30 \leq H < 40$	复杂	一级
			一般或简单	二级
		$H < 30$	复杂	一级
			一般	二级
		简单	三级	
	土质边坡	$H \geq 30$	复杂、一般、简单	一级
		$20 \leq H < 30$	复杂	一级
			一般或简单	二级
		$H < 20$	复杂	一级
一般	二级			
简单	三级			
填方边坡	$H \geq 20$	复杂、一般、简单	一级	
		复杂	一级	
			一般或简单	二级
	$H < 10$	复杂	一级	
		一般	二级	
		简单	三级	

注：1、位于滑坡、崩塌、泥石流等不良地质路段的公路边坡，安全等级应提高一级；
2、处于欠稳定状态、不稳定状态的公路边坡和营运期的公路边坡，安全等级应提高一级；
3、位于膨胀土、高液限土、软土等特殊岩土路段的公路边坡，安全等级应提高一级。

4.2.2 公路边坡监测项目包括下列内容：

1 位移监测宜包括地表水平位移、地表垂直位移、深部水平位移、深部垂直位移、墙（桩）顶水平位移、墙（桩）顶垂直位移，当边坡出现明显变形迹象时，变形监测应包括地表裂缝及地表隆起监测；

2 应力监测宜包括岩土应力、支挡结构应力、锚杆（索）应力等；

3 地下水监测宜包括地下水位、孔隙水压力等；

4.2.3 对建筑物与结构物影响监测包括下列内容：

1 邻近建（构）筑物监测的位移、倾斜、裂缝等；

2 邻近地下管网（线）的位移。

4.2.4 环境监测包括降雨量监测、温度、湿度等。

4.2.5 公路边坡监测项目应按表 4.2.5 确定，并可根据设计要求、边坡稳定状态及施工进度进行动态调整。

4.2.6 有特殊要求的建（构）筑物，监测项目应与有关管理部门或单位协商确定。

表 4.2.5 公路边坡监测项目

监测阶段 监测项目		施工安全监测			防治效果监测			运营期长期监测		
		一级	二级	三级	一级	二级	三级	一级	二级	三级
变形监测	地表位移	√	√	√	√	√	√	√	√	√
	支挡结构位移	√	√	△	√	△	△	√	√	○
	深部位移	√	△	○	△	△	○	△	△	○
	构筑物监测	√	△	○	√	√	○	√	△	○
应力监测	挡墙、抗滑桩土压力	△	○	○	△	○	○	○	○	○
	支挡结构应力	△	○	○	△	○	○	○	○	○
	预应力锚索应力	√	△	○	√	△	○	√	△	○
地下水位监测	地下水位	√	△	○	√	△	○	△	○	○
	孔隙水压力	○	○	○	○	○	○	○	○	○
环境监测	降雨量	√	√	○	√	△	○	√	○	○
	温度、湿度	○	○	○	○	○	○	○	○	○
宏观图像	图像与视频	△	○	○	△	○	○	△	○	○

注：1. √-应做；△-宜做；○-视具体情况选做。

2. 公路边坡范围内有重要建（构）筑物，且破坏后果严重时，应加强应力监测。

条文说明

边坡智能监测包括施工安全监测、防治效果监测和运营期长期监测，以施工安全监测和防治效果监测为主。施工安全监测结果是判断边坡变形范围、潜在滑动面位置及稳定状态，指导施工和优化调整设计的重要依据。防治效果监测要结合施工安全监测进行，监测结论用于检验边坡支护效果，评判支护工程实施后边坡稳定状态和工程安全性。

4.3 监测系统设计内容

4.3.1 公路边坡智能监测系统设计包括下列内容：

- 1 自动化监测仪器的技术指标、设备选型、安装调试及仪器现场保护方案；
- 2 数据自动采集装置的布设、通信方式及网络结构设计；
- 3 数据自动采集频率及数据发布方式；
- 4 智能预警方案；
- 5 独立的人工比测方案；
- 6 智能监测系统供电、防雷及防护方案；
- 7 智能监测系统测试与验收方案；
- 8 智能监测系统正常使用的维护要求。

条文说明：有别于人工监测项目设计，为更好体现智能监测的优势，结合现代信息技术，本条针对智能监测系统的特点，明确系统设计内容包括仪器设备的选择和性能指标、数据采集装置的设置、数据通信方式和网络结构、智能预警方案、人工比测要求、供电及防护、系统维护要求等相关规定。

4.3.2 边坡智能监测实施前，应根据边坡设计文件及智能监测系统设计要求编制边坡监测方案，边坡监测方案编制大纲可参见附录 A。

4.3.3 边坡监测网点设置应符合下列原则：

- 1 公路边坡智能监测网点应根据公路边坡类型与规模、监测等级、地质条件、地形地貌、变形特征、影响范围、通视条件和监测要求等确定布设位置及数量；
- 2 监测点宜布设在如坡顶、平台、截（排）水沟、挡墙等能表征边坡和周边环境安全状态的关键部位。
- 3 GNSS 监测点应选择信号较好且无强电磁干扰的位置进行布设；
- 4 监测点宜布设在主监测线上，变形监测点的布设应首先考虑勘察点的利用与对

应；

- 5 监测点设置不应影响被监测对象的结构安全，并应减少对施工作业的不利影响；
- 6 监测标志应稳固、明显合理，监测点位置应避开障碍物，便于识别、观测。

4.3.4 监测仪器、设备和传感器应根据边坡监测目的、内容进行选择，并应满足下列要求：

- 1 应选用结构简单、稳定可靠的产品，品种、类型、规格宜统一；
- 2 应满足监测精度、量程等要求；
- 3 监测传感器应适应监测区域环境条件，具有防风、防雨、防潮、防震、防雷、防腐等对环境的适应性和抗干扰能力；
- 4 监测仪器设备宜具有自检、自校功能及较低的功耗。
- 5 监测仪器应具有检定合格证和相应的标定资料；

4.3.5 数据自动采集系统设计应符合下列要求：

- 1 应具有电源管理、电池供电和掉电保护功能；
- 2 应具有自动巡测、选测和数据暂存功能；
- 3 监测数据定时与加密采集、上传周期可调功能
- 4 应配置人工比测接口，人工比测时不应影响自动化系统的正常运行和接线配置；
- 5 应具有现场设置主机有关参数功能；
- 6 宜具有支持远程固件升级、远程重启功能。
- 7 宜具有阈值触发，加密采集功能；
- 8 宜具有接收采集服务器的命令设定测控参数功能；

4.3.6 智能监测数据传输系统设计应符合下列规定：

- 1 局域数据传输采用开放的通信协议和标准数据传输方式，数据传输宜采用有线传输方式，有线传输难以实现时，可采用无线传输方式；
- 2 远程数据传输应采用具有校验功能的通信协议，能及时纠正传输错误的数据包；
- 3 对信号不稳定区域或重点监测区域，宜采用具有支持智能切换功能的 2 种及以上通信方式；
- 4 支持 2 路及以上地址发送含不同登录信息及不同协议格式的数据功能。

4.3.7 智能监控管理平台应具有下列功能：

- 1 原始监测数据的存贮功能；
- 2 数据存储应具有足够的数据库容量、可扩充性和快速的检索功能；

- 3 监测数据定期备份功能；
- 4 数据采集、分析功能；
- 5 工程项目、工点、监测点管理功能；
- 6 设备管理、设备配置、设备在离线分析功能；
- 7 人工监测数据录入功能，实现人工监测数据与自动化监测数据综合分析功能；
- 8 数据可靠性的判断、异常数据处理功能；
- 9 不同监测类型监测数据的图表分析、报表统计功能；
- 10 数据查询、图形数据展示功能；
- 11 不同监测类型监测数据的预警规则配置功能；
- 12 触发报警，监测频率自动调整、加密监测功能；
- 13 人工预警、自动预警（阈值预警、综合模型预警）等功能，宜具有智能预警功能；
- 14 报警信息推送功能，报警信息宜包括工程名称、报警工点、测点编号、监测类型、报警值、报警等级、报警时间等；
- 15 数据实时共享、报警状态显示等功能；
- 16 预警解除、重置功能；
- 17 地图展示功能；
- 18 用户、角色、权限、日志、平台配置管理功能；
- 19 监测方案、监测报告的管理功能；
- 20 运行维护记录管理功能；
- 21 宜具有项目工点三维实景可视化功能；
- 22 宜具有监测数据多维度分析功能。

4.3.8 电源及其防护设计应符合下列要求：

- 1 采用电网电源或太阳能电源时，应配置免维护蓄电池组，外部电源故障时，蓄电池的容量应满足连续 15 天阴雨天气情况下的监测设备正常运行；
- 2 可采用避雷针、避雷带和接地系统对监测系统中设备集中位置进行直击雷防护；
- 3 可采取避雷器、隔离装置和过载装置等对监测系统的电源、传感器、采集装置及通信介质的雷电感应进行过压防护
- 4 防雷、接地设计应符合《建筑物电子信息系统防雷技术规范》（GB50343-2012）、

《建筑物防雷设计规范》（GB50057-2010）和《通信局（站）防雷与接地工程设计规范》（GB50689-2011）的有关规定。

4.4 监测网点布置

4.4.1 公路边坡安全监测网点布置应以变形监测网为核心，应力、地下水、环境监测点宜结合变形监测网进行布置。

4.4.2 位移监测网应覆盖边坡坡面区域和边坡失稳可能影响的区域。

4.4.3 公路边坡变形监测网应包括基准点、工作基点及监测点等。边坡监测网形可根据边坡规模、形状和变形特征和监测环境等因素确定，当边坡潜在滑动方向和边界明确时，监测网可布设成十字形或方格形；当潜在滑动方向和边界不明确时，监测网宜布设呈放射网形或采用多种网形。

4.4.4 变形监测网基准点及工作基点布置应符合下列规定：

1 基准点应设置在边坡变形影响区域之外，选择稳固、可靠、易于保存、使用方便的位置，基准点不应少于 3 个；

2 工作基点应设置在监测区域稳定且方便使用的位置，对于通视条件较好或监测项目较少的边坡工程，可不设立工作基点，在基准点上直接测定变形观测点。

4.4.4 公路边坡位移监测点布置应符合下列规定：

1 变形监测线、监测点数量应根据边坡监测等级、边坡规模及现场条件等进行布置，按表 4.4.4 确定；

表 4.4.4 位移监测点布置要求

监测等级 监测方法	一级	二级	三级
控制性监测线	≥3条，线间距≤50m	≥1条，线间距≤100m	视具体情况布置，线间距≤150m
每条监测线的变形监测点	监测点水平间距20～30m，且监测点不少于3点	监测点水平间距30～40m，且监测点不少于3点	监测点水平间距40～50m，且监测点不少于2个
每条控制性监测线深部变形监测点	点间距30～40m，且不应少于2点	点间距40～50m，且不应少于2点	视具体情况布置，点间距不宜大于60m

2 控制性监测线应沿着边坡潜在滑动方向或垂直于边坡走向布置，宜与勘察剖面重合或平行；

- 3 支挡结构顶部位移应沿支挡结构走向布设，监测点间距不宜大于 30m；
- 4 深部水平位移监测孔深度应达边坡最下层潜在滑动面以下不小于 5m；
- 5 利用固定物作为绝对变形监测点位时，应避免在边坡变形体、临空陡崖和被深大裂缝切割的岩块上选点。

4.4.5 公路边坡应力监测点布设应符合下列规定：

- 1 土压力监测点宜布设在每层土中部，可预设于迎土面的支挡结构侧面；
- 2 支挡结构应力监测点宜布设在支挡结构设计计算弯矩最大处；
- 3 预应力锚索应力监测点数量不宜少于锚索总数的 5%，且不应少于 3 根。

4.4.6 公路边坡地下水监测点布设应符合下列规定：

1 地下水监测点布设应与水文地质单元相结合，宜沿边坡倾向或潜在滑动方向对应的监测线布设，宜与深部变形监测点同点布设，每个监测断面上观测孔的设置不应少于 2 个；

2 孔隙水压力测试孔宜垂直边坡走向布置，孔隙水压力监测点宜在水压力变化影响深度范围内按土层分布情况布设。

4.4.7 公路边坡环境监测点布设应符合下列规定：

- 1 降雨量监测点应布设在边坡外围地势相对开阔位置；
- 2 土壤温湿度监测应根据地层岩性、地层结构和物理力学性质等确定传感器的埋设位置和深度，数量不应少于 3 个。

4.4.8 公路边坡环境图像与视频监控点宜选取垂直于边坡走向方向，且能够清晰拍摄到整个边坡区域的位置进行布设。

4.5 监测方法选择

4.5.1 公路边坡监测方法应根据监测等级、监测内容及监测环境条件等因素综合制定。

4.5.2 应根据监测对象和监测项目的特点、监测等级、现场条件、设计要求和测试方法的经济性、适用性等综合确定自动化监测方法。

4.5.3 应根据传感器、数据自动采集设备的稳定性、采集精度、供电条件及通讯状况等选取边坡监测方法，监测仪器设备选取原则应符合本规范第 4.2.4 条的有关规定。

4.5.4 裂缝、水位、应力及水土压力类传感器应通过数据自动采集传输模块实现自动化监测。

4.5.5 边坡智能监测宜采用常规的人工监测方法进行校核。

4.5.6 在满足监测精度的前提下，宜选用可靠耐久、功能简约、经济、安装便捷、易于维护、可实现智能预警的自动化监测设备。

4.5.7 监测设备应具有良好的稳定性和可靠性，适应监测点的地质环境条件，具备防雷、防水、防尘及耐高低温等基本性能。

4.5.8 设备应具有防风、防雨、防潮、防震、防雷、防腐等性能，能够适应复杂环境。

4.5.9 应急位移监测设备的选择应考虑其复用性。

4.6 监测周期与频率

4.6.1 公路边坡智能监测可分为按施工期、试运营期（即交工后2年或至竣工验收）和运营期等3阶段，并应符合下列规定：

1 施工期安全监测周期应与施工期一致，起于工程开工建设，止于防治工程交工验收；

2 试运营期安全监测（防治效果监测）周期应与边坡施工安全监测阶段相衔接，起于边坡工程交工验收，止于公路运营后不少于一个水文年；

3 运营期安全监测周期应根据边坡风险等级确定，监测工作周期可贯穿公路运营全过程。

4 施工期安全监测宜与运营期安全监测统筹考虑。

4.6.2 边坡自动化监测设备的数据采样频率不应低于1次/10min，数据上传频率应根据边坡监测等级设置，并应符合下列规定：

1 一级监测数据上传频率不应低于1次/h；

2 二级监测数据上传频率不应低于1次/2h；

3 三级监测数据上传频率不应低于1次/4h。

4.6.3 当出现下列情况之一时，监测数据上传频率不应低于1次/30min：

1 监测数据变化速率达到报警值；

2 监测数据累计值达到报警值；

3 监测数据变化较大或者速率加快；

4 暴雨或长时间连续降雨期；

5 支护结构、施工工况、岩土体或周边环境存在异常现象；

- 6 存在勘察未发现的不良地质条件；
- 7 边坡施工未执行设计“逐级开挖、逐级防护”的要求；
- 8 工程险情或事故后重新组织施工。

4.6.4 公路边坡智能监测应遵循以下工作流程：

- 1 边坡基础资料收集；
- 2 现场踏勘；
- 3 制定智能监测方案；
- 4 监测设备安装；
- 5 数据采集传输系统与供电系统安装；
- 6 监测系统联调测试；
- 7 监测数据处理、分析及预警信息发布。

4.6.5 监测期间应结合巡视检查对系统进行维护。

征求意见稿

5 位移监测

5.1 一般规定

5.1.1 位移监测主要包括坡体变形监测、防护与加固护结构变形监测、边坡影响范围内建筑物和结构物的变形监测。

5.1.2 结合边坡潜在风险、监测目的及影响范围，选择适合的位移监测项目与方法。

5.1.3 位移监测宜选用经济实用、耐久性好的自动化监测方法和设备，实行数据自动化采集。

5.1.4 边坡应急监测可以采用便携式位移监测设备、近景摄影测量、三维激光扫描、地基合成孔径雷达等快速、易于实施的非接触式监测方法。

5.1.5 公路勘察设计阶段路线区域边坡变形隐患点早期筛查宜采用光学遥感卫星、InSAR等方法。

5.1.6 在保证监测精度的条件下，位移监测可使用本标准规定以外的新方法。

5.2 监测方法

5.2.1 边坡位移监测主要项目包括地表位移、深部位移、裂缝等。地表位移监测包括水平位移监测、竖向位移监测、倾斜监测、宏观位移监测等。

5.2.2 防护与加固结构的变形监测主要包括位移、裂缝、倾斜等。

5.2.3 边坡影响范围内建筑物和结构物变形监测主要包括位移、裂缝、倾斜等。

5.2.4 边坡坡体、防护与加固结构、影响范围内建筑物和结构物表面位移监测可采用GNSS、全站仪、视频 AI、三维激光扫描仪、地基合成孔径干涉雷达（InSAR）、静力水准仪、位移计等方法，可根据监测目的、现场条件按表 5.2.4 选择。

表 5.2.4 地表位移监测项目及方法

监测项目	监测目的	监测方法
地表水平位移	监测地表位移、变形发展情况	智能型全站仪（测量机器人）、GNSS 测量、近景摄影测量、三维激光扫描、地基合成孔径干涉雷达（InSAR）

地表竖向位移		静力水准仪、智能型全站仪（测量机器人）、GNSS、水准仪
防护与加固结构位移	监测防护与加固结构变形发展情况	倾角计、智能型全站仪（测量机器人）、GNSS
建筑物与结构物位移	监测建筑物与结构物变形发展情况	倾角计、静力水准仪、智能型全站仪（测量机器人）、GNSS
深层位移	监测深层岩土体水平位移，确定滑动面位置，判断滑方动向	测斜仪、钻孔位移计、阵列式位移计等
防护与加固结构裂缝	监测防护与加固结构裂缝产生及发展情况	裂缝计、伸缩仪
地表裂缝	监测坡体变形产生的岩土开裂及裂缝发展情况	位移传感器、伸缩仪、错位计或裂缝计等、TDR、OTDR、位移计等
建筑物与结构物裂缝	监测防护与加固结构裂缝产生及发展情况	裂缝计、伸缩仪
地表倾斜	监测边坡滑动变形时地表岩土体扭转	一体式倾斜计、智能型全站仪
建筑物与结构物倾斜	监测建筑物与结构物变形发展情况	一体式倾斜计
边坡宏观图像	无人机图像	无人机，视频

条文说明

目前采用于边坡位移监测的技术方法较多，根据公路边坡分布范围、边坡规模等，综合可靠、耐久、经济等因素推荐了位移监测方法。视频 AI 设备是指能利用视频影像，通过分析地表特征信息识别识别出地表位移变化。三维激光扫描仪是由激光射器、接收器、时间计数器、马达控制可旋转的滤光镜、控制电路板、微电脑、CCD 机以及软件等组成，突破了传统的单点测量方法，能够提供扫描物体表面的三维点云数据，因此可以用于获取高精度高分辨率的数字地形模型，通过分析两期或多期的数字地形模型变化，从而获取地表位移、变形发展情况。地基合成孔径干涉雷达（GB-InSAR）：架设在地面上到合成孔径干涉雷达，通过分析两幅或多幅雷达图像，从而识别出地表位移、变形发展情况。阵列式位移计是一种新型的、智能的、适应多种行业应用的三维变形监测传感器，主要用于在三维空间内进行位移(变形)、角度、加速度、振动、温度测量。

5.2.5 深部位移监测可采用钻孔固定式测斜仪、阵列式位移计进行监测。

5.2.6 地表裂缝监测可采用裂缝计、拉线式位移计、光纤位移计等方法监测，主要监测裂缝的宽度。

5.2.7 地表倾斜宜采用测斜仪、倾角计等方法监测。

5.2.8 边坡影响区域建筑物和结构物倾斜宜采用倾角计进行监测。

5.2.9 边坡宏观位移监测可采用拉绳式位移计、光纤、视频、无人机进行监测。

5.2.10 边坡及加固结构宏观变形迹象监测可采用视频、无人机等。

5.2.11 防护与加固结构的变形监测方法可参照边坡的表面位移、裂缝和倾斜监测。

5.2.12 边坡影响范围内建筑物、结构物的变形监测方法可参照边坡的表面位移、裂缝和倾斜监测。

5.3 监测设备选型

5.3.1 位移监测根据监测目的、精度要求，结合技术、经济条件，参照表 5.3.1 进行选取监测量程、精度满足设计需求的自动化监测设备。

表 5.3.1 典型位移监测设备

监测设备	设备精度	适用范围
智能型全站仪（光学监测机器人）	测角精度：0.5" 或 1" 测距精度：1.0mm+1.0ppm	地表三维位移，大型地质灾害隐患体监测短期应急监测
GNSS	平面：2.5mm+0.5ppm 高程：5.0mm+0.5ppm	地表三维位移，应急监测，短期监测、长期监测，大范围监测
三维激光扫描	±5.0mm	大型地质灾害隐患体监测短期应急监测及调查
地基合成孔径雷达	测程：5000m 精度：0.1mm@1000m	大型地质灾害隐患体监测短期应急监测
遥感（InSAR）	±50mm	大范围灾害普查
激光测距	量程：30m，精度：1mm	地表变形监测
位移计	量程：0~200mm，精度：±0.1%F.S	边坡宏观变形，长期监测
测斜计、测斜仪	±0.1%F.S	内部倾斜监测
静力水准仪	±0.1%F.S	路基沉降监测
视频 AI	±10mm@100m	地表位移监测

注：1、ppm 是一个比例单位，为百万分之一，即 10⁻⁶ 次方，如 1.0ppm，表示每公里的最大比例误差为 1mm；

2、%FS 中的 FS 指的就是 Full Scale，即全量程的意思；

3、以上典型监测设备宜采用高集成度、多参数设备，如 GNSS 融合 MEMS 触发设备、高集成倾角计、裂缝计等设备，能够输出位移、角度、加速度、裂缝等数值，并具有工作模式自适应切换功能。

5.3.2 地表倾斜宜采用测斜仪、倾角计等方法监测，测量范围：±90°、精度不低于 0.1°。土质边坡、类土质边坡、软岩边坡、滑坡宜采用灵敏度较低、量程大的仪器。硬岩边坡宜采用灵敏度高、量程小的仪器。

5.3.3 用于抗滑桩、挡墙和结构物倾斜监测的测斜仪测量范围不小于±30°，精度不低于 0.1%F.S。

5.3.4 裂缝计、拉线式位移计、光纤位移计监测精度不应低于 1mm。

5.3.5 深部位移监测设备的测斜仪测量范围不小于 $\pm 30^\circ$ ，精度不低于 0.1%F.S。

5.3.6 地表监测设备的工作环境温度范围宜为 $-30^\circ\text{C} \sim 60^\circ\text{C}$ 。

5.3.7 监测设备应具有良好的稳定性和可靠性，适应监测点的地质环境条件，具备防水、防尘等基本性能。

5.3.8 监测设备应经过具有法定计量测试资质的机构校准或标定合格，且校准记录和标定资料齐全，并应在规定的校准有效期内使用。

5.3.9 采用地基合成孔径雷达进行边坡监测时，雷达波测量范围应覆盖整个滑坡监测区域，监测距离满足应用需要。设备的监测距离不低于 3000m，水平监测范围不低于 90° ，垂直监测范围不低于 45° 。

5.4 监测设备安装

5.4.1 设备的安装应保证监测设备的稳定、安全，安装方法应符合位移监测设备的测量原理及测量条件。

5.4.2 设备安装应考虑监测设备的复用性。

5.4.3 GNSS 监测点位应布设在灾害体位移量较大、稳定性状态差处，按间距 50~150m 依次向两侧布置。

5.4.4 GNSS 基准站和监测点选址应满足下列要求：

- 1 视野开阔，具备 15° 以上地平高度角的卫星通视条件，能够可靠接收卫星信号。
- 2 监测点和基准站距离大面积水体、易积水地带和树木等易产生多影响效应的地物不宜小于 200m。
- 3 距电视台、电台、微波站等大功率无线电发射源的距离不应宜小于 200m。
- 4 离高压输电线、微波无线电信号传输通道的距离不宜小于 50m。

5.4.5 位移监测设备选址应距离大型振动源距离不宜小于 200m。

5.4.6 采用非接触监测方法时，仪器的监测范围应覆盖整个边坡，对于无法覆盖区域，应根据实际情况采用其他监测方法补充监测点。

5.4.7 采用智能全站仪监测时，监测点应与基准站保持通视，并对监测点棱镜进行防护措施。

5.4.8 基准站（监测点）观测墩宜采用钢筋混凝土结构，混凝土强度等级 C15。按监测条

件可采用基岩观测墩、土层观测墩和屋顶观测墩，观测墩建设应符合下列要求：

- 1 观测墩基坑不宜小于 $0.6\text{m}\times 0.6\text{m}\times 0.6\text{m}$ ，采用 C15 以上混凝土浇注，浇注后混凝土底座表面应保持水平；
- 2 观测墩主筋不低于 M16，配筋不低于 M10，主筋长度不小于相应观测墩高；
- 3 基岩观测墩宜采用钢筋与基岩连接后浇筑，可以采用膨胀螺栓连接浇筑深度不小于 0.5m ；
- 4 土层观测墩的钢筋混凝土墩体埋深不小于 1m ，冻土区的墩体应位于冻土层以下不小于 0.2m ；
- 5 浇筑前要在基础内合适位置预埋直径不小于 25mm 的 PVC 管，用于后期布设电源线铺设。

5.4.9 采用静力水准仪进行地表竖向位移监测时，设备安装应满足下列要求：

- 1 监测点传感器宜采用膨胀螺栓固定，液体接口处螺丝锁死固定要求无漏液。
- 2 冻区应采用添加防冻液，防冻液与水按比例 1:1 混合，防止结冰。
- 3 排放并检查连通管、传感器内的气泡，气泡的直径不超过 2mm 。

条文说明

对于边坡安全监测基准点的选取，基准点是远离变形区域，稳定可靠的点，基准点应选在地基稳固、便于监测和不受影响的地点。监测点是位于形变区域的特征点，其应选择能反映变形体变形特征又便于监测的位置。

5.4.10 地表裂缝监测设备安装应满足下列要求：

- 1 无明显裂缝的边坡根据勘察报告确定的边坡潜在滑动周界均匀布设拉线式位移计。
- 2 拉线式位移计一端应固定于边坡后缘稳定区域，一端固定于边坡坡体上。
- 3 裂缝计宜布设在裂缝较宽或位错速率较大或转折部位，应跨越裂缝两侧。
- 4 裂缝应分条进行编号，编号宜依据边坡平台位置、滑坡位置、条数进行条理性编号。

5.4.11 深部位移监测设备安装应满足下列要求：

- 1 深部位移宜与地表位移监测点相对应。
- 2 深部位移监测线的数量，应根据地下变形区的走向长度确定，但不应少于 2 条，每条线上不应少于 3 个监测点。

3 深部位移监测孔深应达到边坡潜在最深滑动面以下 5m，钻孔孔径宜为 110～130mm，

4 钻孔中测斜管预埋，测斜管直径宜为 40～90mm。测斜管宜选择 PVC、ABS 塑料、玻璃纤维、铝合金等材质，管内壁须有双向互成 90 度的导槽。

5 测斜管安装前要检查导槽是否平滑，按设计长度逐根连接，导槽准确对接后套上管接头并固定。

6 将测斜管其中一对导槽方向朝向预计的边坡主位移方向下放到设计深度，在地下水丰富的地区，可采用铝合金测斜管或增加配重等措施，防止测斜管上浮

7 测斜管与钻孔之间的空隙，应采用底部返浆法注浆填充密实。

8 测斜管安装好后采用盖子封盖测斜孔，防止岩土碎屑掉入和雨水渗入。

5.4.12 倾斜仪安装应满足下列要求：

1 宜沿边坡滑动方向或潜在滑动方向布设地表倾斜仪。

2 土质边坡地表倾斜监测设备应设置大于 0.5m 的基础，岩质边坡的地表倾斜监测设应牢固固定于岩体表面。

3 抗滑桩、挡墙及结构物上的倾角计应水平安装。

5.4.13 需要立杆架高的观测设备安装应符合下列要求：

1 架高立杆宜采用热镀锌钢管，高度需不宜低于 1.5m，底部与基础连接根据需求选用预埋 L 型支架或法兰盘连接。

2 采用法兰盘连接时基础浇注时应预留连接螺栓，并做防锈处理。

3 立柱浇筑结束时应强制对中。

5.4.14 需配备太阳能电池板的仪器设备，应将太阳能支架固定在立杆上，并确保太阳能板受力均匀，朝向为南向。

5.4.15 采用外置传输天线的设备应通过机箱预留开孔固定在机箱外侧，天线高度不低于 2 米。

5.4.16 地基合成孔径雷达安装时应满足以下条件：

1 雷达扫描时应能够全面监测待扫描区域，不存在监测位置缺失；

2 雷达与待监测区域两者之间应无遮挡，周围无干扰雷达运行的结构或者干扰物及干扰信号。

3 架设点应平坦稳固，方便雷达迅速调平。

4 雷达视线方向应与与边坡潜在滑动方向保持一致。

6 应力监测

6.1 一般规定

6.1.1 应力监测项目应根据边坡的特点，监测等级、设计施工要求等综合确定。

6.1.2 应力监测实施过程中，边坡监测等级分级、设计施工等发生变化的，应进行动态调整。

6.1.3 边坡监测以预警为目的时，不宜单独使用应力监测项目，应和其他规范规定的监测项目综合印证分析。

6.1.4 应力监测可采用直接测量的应力数据或采用其他监测物理量转换得到的应力数据。

6.2 监测方法

6.2.1 公路边坡应力监测项目与方法可以按表 6.2.1 选择。

表 6.2.1 边坡应力监测项目及方法

监测项目	监测目的	监测方法
土压力	监测边坡岩土体内部、抗滑桩或挡墙等支挡结构物背部土压力变化情况	振弦式、电阻式、光纤光栅式土压力计
钢筋应力	监测抗滑桩、框架梁等钢筋混凝土结构应力，监测锚杆应力	振弦式、电阻式、光纤光栅式钢筋应力计
混凝土结构应力	监测抗滑桩、框架梁、挡墙等混凝土结构应力	振弦式、电阻式、光纤光栅式土压力计、应变计
锚索（杆）应力	监测锚索（杆）工程锚索张拉应力	振弦式、电阻式、光纤光栅式锚索（杆）应力计、锚索（杆）测力计

6.2.2 应力监测仪器主要有钢筋（索）计、土压力计（盒）、锚索测力计、应变计（片）等。

6.2.3 土质边坡内部应力可采用埋入式土压力盒进行监测，抗滑桩桩前土压力、挡土墙等支挡结构物土压力可采用界面式土压力计进行监测，土压力计埋设于土压力变化的部位，土压力计的埋设间距不宜小于 0.6m。

条文说明

为了解土体对结构物的作用力，或结构物对地基土体的正压力，应在结构物或地基上选择几个断面进行测点的布设。断面应选择结构物与土体承受的压力最大处，同时也是最需要了解结构物与土体受力状态的地方。

6.2.4 抗滑桩、挡墙等支挡结构物内部应力可采用应变计进行监测。应变计长轴方向宜与待测体测算的最大应力方向一致，应变计标距和端部尺寸由生产厂家给出，标距的允许变差为 $\pm 1\text{mm}$ 。

6.2.5 锚索（杆）应力宜采用锚索（杆）测力计进行监测。

6.2.6 锚杆、结构钢筋应力可采用钢筋计进行监测。抗滑桩、梁结构中钢筋计应安装于受拉钢筋上，以便监测结构物整体受力情况。钢筋计安装于钢筋应力变化的部位，同一钢筋上安装间距不宜小于 1m 。

6.3 监测设备选型

6.3.1 监测设备应结合监测项目的特点，依据量程规格、精度要求、运行环境、屏蔽与阻隔等技术要求进行选型。

6.3.2 采集装置宜具有巡检传感器件工作状态的功能，并进行报警。

条文说明

传感器件在现场监测过程中，受到水、力等环境影响，监测数据持续变化，当数据超出量程范围、接触不良等问题出现时，通过人工巡视手段不易发现，因此采集装置应内嵌有相应的程序，对传感器工作状态及数据进行检查，并能够实时反馈到数据管理中心。

6.3.3 监测设备与数据采集器之间的距离不应超过设备的标称传输距离，超出设备传输距离时，应增加数据中继设备。

条文说明

部分监测设备采用有线方式进行数据传输，数据信号受到屏蔽、阻抗等影响，不宜进行远距离传输，因此宜尽量缩小传感器到采集器之间的距离。而工程现场环境复杂，为了提高数据传输距离，增加数据中继设备，可较好的进行数据归集，提高数据传输效率。

6.3.4 岩土体应力监测应根据边坡岩土体类型、监测部位，选择相应的设备类型。按照

6.3.4 选取合适测量范围的监测设备，土压力计、应变计可根据监测要求按表 6.3-1~2 选取。

表 6.3-1 土压力计测量范围类型

仪器类型		测量范围（MPa）						
振弦式	埋入式	0~0.1	0~0.16	0~0.2	0~0.25	0~0.4		
	边界式	0~0.6	0~1.0	0~1.6	0~2.0	0~2.5	0~4.0	0~6.0
差动电阻式		0~0.2	0~0.4	0~0.8	0~1.6			
光纤光栅式		0~0.35	0~0.7	0~1.0	0~2.0	0~3.0	0~5.0	

表 6.3-2 应变计测量范围类型

仪器名称	标距/mm	应变测量范围(10 ⁻⁶)	
		拉伸 (+)	压缩 (-)
振弦式应变计	50	1500	1000
		1250	1250
		1000	1500
		2000	1000
		1500	1500
		1000	2000
差动电阻式应变计	100	1000	1500
	150	400	2000
		4000	1000
		1200	1200
		600	1000
光纤光栅式应变计	150	1500	1500
	250	1500	1500

6.3.5 混凝土构件应力监测装置选型参照 6.3.4 条进行。

6.3.6 对锚杆、结构钢筋进行应力监测，宜选用合适监测范围的钢筋计，钢筋计的连接杆应与监测对象相应匹配。钢筋计可根据监测要求按表 6.3-6 选取。

表 6.3-6 钢筋计测量范围类型

仪器名称	测量范围类型（MPa）	
	拉伸（+）	压缩（-）
振弦式钢筋计	0~200	0~100
差动电阻式钢筋计	0~200, 0~300	
光纤光栅式钢筋计	0~200, 0~300	

6.3.7 锚索应力监测应选用合适监测范围的锚索测力计，锚索测力计应跟据监测要求按表 6.3-7 选择。

表 6.3-7 锚索测力计测量范围类型

仪器类型	测量范围类型（kN）
------	------------

振弦式 差动电阻式 光纤光栅式	钢绞线数量 ≤ 6 束	6束 $<$ 钢绞线数量 < 10 束	钢绞线数量 ≥ 10 束
	0~2000	2000~3000	3000~5000

6.4 监测设备安装

6.4.1 除单点监测外，应力监测点布置宜成组（体系）布置，满足测线（监测断面）体系，应设置 1~2 个监测断面，重要监测项目应分别设置纵横断面，必要时补充其他监测点形成立体监测体系。

6.4.2 土压力计安装应符合下列要求：

- 1 压力计安装前应对传感器、信号电缆进行测试，确保设备正常。
- 2 压力计安装至指定位置后，应进行严格固定，并小心捣实、回填，确保压力计与岩土体紧密接触。
- 3 压力计安装时应敷设散料，确保压力计受力均匀。
- 4 土压力计组的埋设应采用分散埋设方式，测点间距应小于 1.0m。
- 5 压力计埋设高程的允许偏差为 $\pm 50\text{mm}$ ；埋设时有方向要求的压力计安装角度的允许偏差为 $\pm 2^\circ$ 。

6.4.3 应变计安装应符合下列要求：

- 1 应变计安装前应对传感器、信号电缆进行测试，确保设备正常。
- 2 应变计埋设时应保持仪器正确位置和方向。单向应变计的埋设，宜在混凝土振捣后及时于设计位置人工造孔或槽埋设。
- 3 双向应变计的安装时两应变计的方位按设计确定，其轴线应保持垂直，相距 80~100mm。
- 4 岩体应变计组的埋设，可按设计要求，采用硬质联杆连接后，将各应变计串接后埋孔内相应的监测层位上。
- 5 钢结构应变计的安装，当采用焊接方法固定时，应在冷却至常温后安装应变计；应变计安装后，宜加保护罩保护。
- 6 应变计安装层位或坐标与设计值的允许偏差为 $\pm 50\text{mm}$ 。应变计或应变计组安装角度允许偏差为 $\pm 1^\circ$ 。

6.4.4 钢筋计安装应符合下列要求：

- 1 钢筋计安装前应对传感器、信号电缆进行测试，确保设备正常。

2 采用螺纹链接方式安装时，应在安装前进行螺纹清洗，并旋紧螺纹，确保钢筋计能够与钢筋可靠连接。

3 采用坡口焊法安装时，钢筋计在钢筋加工厂预先焊接，焊接时应将钢筋与钢筋计连接杆对中正，与钢筋计配接的钢筋长度不宜小于 1m。

4 采用对焊机焊接安装时，将钢筋计与钢筋对中对正后进行焊接。焊接过程中用接收仪表量测仪器温度，并控制低于传感器的温度使用范围上限。

5 当所选择的钢筋计连接杆的直径与钢筋直径差异较大时，应考虑截面面积的换算。

6 钢筋计的安装高程允许误差为 $\pm 100\text{mm}$ 。钢筋计连接杆与钢筋对正错位允许偏差为 $\pm 1\text{mm}$ 。钢筋计安装平面位置允许偏差为 $\pm 50\text{mm}$ ，角度允许偏差为 $\pm 1^\circ$ 。

6.4.5 锚索（杆）测力计安装应符合下列要求：

1 测力计安装前应对传感器、信号电缆进行监测测试，确保设备正常。测力计在安装前应与油压千斤顶及其压力表进行联合抽样校准标定，抽样数量不小于 10%，如遇有不合格的应增加抽样率。测力计和油压千斤顶及其压力表的标定系数应与压力计校准，如有偏差，测力计原系数应修正。

2 测力计安装过程中，应使与测力计承载面接触的表面与受力索（杆）轴线垂直。

3 测力计在安装张拉机具和锚具时，应检查并确保每股钢索均衡受力。

4 锚索（杆）测力计安装时，测力计承载面与锚索（杆）垂直度允许偏差为 $\pm 0.5^\circ$ 。测力计承载孔与锚索（杆）同心度允许偏差为 $\pm 5\text{mm}$ 。

7 地下水监测

7.1 一般规定

7.1.1 边坡稳定受地下水影响显著时，应进行地下水监测。

条文说明

水是边坡失稳的主要因素之一，边坡存在地下水时，雨季地下水位升高，向坡外渗流会使边坡受到渗透力的作用，增加下滑力；另外地下水位上升，边坡浸水范围变大，岩土体湿化软化，强度降低；并且，地下水位的升高，会导致孔隙水压力增加，有效应力变小，抗滑力降低。因此地下水位上升，会导致边坡稳定性降低，反之，稳定性增高。因此，存在地下水位影响的边坡，应对其进行地下水监测。

7.1.2 地下水监测主要包括地下水位监测、孔隙水压力监测，应根据边坡重要程度、监测目的、水文地质和工程地质条件、工程方案等确定地下水监测内容。

7.1.3 地下水监测应根据监测内容采用相应的传感器进行监测，宜采用具有设定采集频率、自动采集、本地存储、无线传输功能的智能监测设备。

7.1.4 地下水的监测周期应与公路边坡的监测周期一致。

7.1.5 传感器埋设工作应详细记录各传感器实际埋设位置、深度、编号等信息，并绘制平面和剖面布置图。

7.2 监测方法

7.2.1 地下水监测项目和方法按表 7.2.1 选取。

表 7.2.1 地下水监测项目及方法

监测项目	监测目的	监测方法
地下水位	地下水位的变化	水位计
孔隙水压力	孔隙水压力变化	水压力计

7.2.2 地下水位应采用水位孔和水位计进行监测，一个边坡工程不宜少于 2 个，布置间距宜为 20~50m。

7.2.3 孔隙水压力应采用孔隙水压力测试孔和孔隙水压力计进行监测，一般竖向间距宜为 2m-5m，且每个测试孔每土层不应少于 1 个测点，监测点总数量不应少于 3 个。

7.3 监测设备选型

7.3.1 地下水监测应根据水文地质条件、地下水渗流特征，选择相应的设备类型，按照表 7.3.1 选取合适的监测设备。

表 7.3.1 地下水监测设备

监测项目	传感器名称	典型传感器
地下水位	水位计	钢弦式、电阻式、光纤光栅式
孔隙水压	孔隙水压	钢弦式、光纤光栅式、压阻式

7.3.2 地下水位计宜选用投入式水位计，水位计量测精度不应低于 10mm。

条文说明

经调研对地下水监测精度，边坡时一般为 10-20mm，滑坡为 3-5mm。鉴于本规范适用于边坡，因此适当放宽为 10mm。

7.3.3 孔隙水压力计可选用钢弦式孔隙水压力计、压阻式孔隙水压力计等类型。孔隙水压力计量程上限宜取静水压力和预估的超静孔隙水压力之和的 2 倍，精度不宜低于 0.5%FS，分辨率不宜低于 0.2%FS。

7.3.4 地下水监测应根据监测内容、量程、精度和频率要求确定，应具有良好的稳定性、可靠性、抗腐蚀性、环境适应性，防水等级应达到 IP68。

条文说明

地下水监测仪器长期浸没在水中，天然地下水成分复杂，常含有腐蚀性成分，因此要保证仪器的精度和性能稳定，必须具有最高的防水级别。IP68 为《外壳防护等级 (IP 代码)》(GB/T 4208-2017) 中，防尘防水等级标准的最高级别。

7.4 监测设备安装

7.4.1 地下水监测设备安装前检查传感器外观有无损坏，核查标定资料，记录传感器编号和安装位置，测读并记录初始读数。

7.4.2 地下水监测设备安装前应模拟参数变化进行准确度测试，若准确度达不到要求，应检查原因加以排除，否则不得安装使用。

7.4.3 水位管的安装应符合下列规定：

- 1 钻孔直径不应小于 110mm，潜水水位管直径不宜小于 70mm。
- 2 水位管钻孔完成后应进行清洗，不得使用泥浆护壁。

- 3 水位管应顺直，内壁光滑，底部应设置沉淀管。
- 4 水位孔内水位应与测量地层水位一致，且连通良好。
- 5 水位管管底埋置深度应在最低设计水位或允许地下水位之下 3m~5m。
- 6 水位管管口应高出地面 100 mm 以上并加盖保护。
- 7 水位管与孔壁缝隙，滤管段应灌砂填实，滤管段之上用膨润土球封至孔口。

7.4.4 水位计的安装应符合下列规定：

- 1 水位管埋设稳定后，应测定水位管管口高程，管口高程应定期检核。
- 2 水位计投入前应检查传感器的导线和测量用导线连接是否可靠，连接处应采用绝缘胶带包扎，并检查电源、灯显装置是否正常，测量用导线应做好长度尺寸标记，导线长度不应超过 50m。
- 3 水位监测时应测定管内水位面至管口的深度，并根据管口绝对高程计算水位高程。
- 4 安装完成之后，连续测量 3 天，以稳定的读数作为初始读数。

条文说明

导线长度过长，会造成电信号的衰减和损失，影响仪器工作或者精度，根据常规电缆的电阻测算 50m 以内传感器均能正常工作。

7.4.5 孔隙水压力计的安装应符合下列规定：

- 1 孔隙水压力计埋设方法可采用钻孔埋设、压入法和直接填埋法。
- 2 安装前孔隙水压力计应浸泡饱和，排除透水石中的气泡。

7.4.6 钻孔埋设孔隙水压力计应符合下列规定：

- 1 钻孔直径宜为 110~130mm，不宜使用泥浆护壁成孔，钻孔应圆直、干净。
- 2 孔隙水压力计的连接电缆，应以软管套护，并铺以铅丝与测头相连。
- 3 埋设时，应自下而上依次进行，孔隙水压力计周围应回填中粗砂封埋，上部再以干膨润土球封孔。中粗砂层高度宜为 0.6~1.0m，回填料、封孔料应分段捣实。
- 4 当孔内埋设多个孔隙水压力计时，其间隔不应小于 1m，并回填干膨润土球将相邻传感器封闭隔离。
- 5 孔隙水压力计埋设与封孔过程中，应随时进行检测，发现仪器测头与连接电缆损坏，应及时处理或重新埋设。
- 6 测试孔口应用隔水填料填实封严，防止地表水渗入。

7 测试孔口部应设置有效的防护装置，并设立明显的标志。

7.4.7 在软弱土层中埋设单个孔隙水压力计时，宜采用压入埋设法。应根据埋设深度和压入难易程度，或直接将孔隙水压力计缓慢压入预定深度，或钻进成孔到埋设预定深度以上 0.5~1m 处，再将孔隙水压力计压到预定深度，其上孔段用隔水填料全部填实封严。

7.4.8 施工期路堤边坡宜采用填埋法，在填筑过程中将孔隙水压力计埋入预定深度，埋设应符合下列规定：

1 孔隙水压力计周围应先覆盖不小于 100mm 的中粗砂后再整体摊铺原设计填料，小型机械夯实后方可碾压。中粗砂顶面以上 0.3m 范围内填料颗粒粒径不应大于 20mm。

2 孔隙水压力计的连接电缆宜开挖沟槽敷设，留有裕度，禁止缠绕，以 PVC 管套护。

条文说明

孔隙水压力计周边应覆盖小粒径填料，防止碾压时填料棱角挤压损坏仪器。电缆应用 PVC 管等套护，并且留有裕度，不能拉紧，防止土体变形拉断。

8 环境监测

8.1 一般规定

8.1.1 环境监测项目应根据公路边坡监测等级、施工现场情况、经济条件等进行综合确定。

8.1.2 环境监测项目包括降水量、温湿度，监测成果作为公路路基边坡变形监测、应力应变监测等的数据支撑。

8.1.3 多年平均降雨量大于 900mm 地区的边坡、易受降雨影响（膨胀土、黄土等）边坡或勘察报告分析为存在受降雨诱发滑坡可能的边坡等，宜进行降雨量监测。

8.1.4 冻土区的边坡，应进行温度监测。

8.2 监测方法

8.2.1 环境监测项目和方法按表 8.2.1 选取。

表 8.2.1 环境监测项目及方法

监测项目	监测目的	监测方法
降水量	监测降水量变化情况	翻斗式、称重式、轮盘式雨量计、虹吸式雨量计
温湿度	监测边坡土体温湿度变化情况	土壤温湿度传感器

8.2.2 降水量监测设备布设应符合下列要求：

- 1 结合公路边坡特征，降水量监测宜设置杆式监测场。
- 2 雨量器应设置在边坡所在地雨期常年盛行风向的障碍物的侧风区。
- 3 应避开强风区、周围应空旷，不受突变地形、树木及其他建筑物的影响。在多风的高山、出山口、近海岸地区的雨量器，不宜设置杆式雨量器，可根据现场情况布设监测场。
- 4 安装位置至障碍物边缘的距离应大于障碍物高度 1.5 倍，并应避开电力线路。

8.2.3 降水量监测设备精度符合下列规定：

- 1 降水量监测包括测记降雨、降雪、降雹的水量，根据需要可测记雪深等。
- 2 降水量以 mm 为单位，其记录精度应记至 0.2mm。

3 雨量站选用的仪器，其分辨力应符合记录精度的要求。监测记录和资料整理的记录精度应与仪器分辨力一致。

8.2.4 温湿度监测设备布设原则如下：

1 选择长期固定的地段进行监测，该地段对所监测边坡的自然土壤水分状况应具有代表性，监测点边坡排水设施距离大于 1.5m。

2 监测点选择应对边坡土壤类型、水文条件具有代表性点位。

3 监测点避开周围障碍物对监测点附近的降雨、光照等产生影响区域。

8.2.5 温湿度监测设备精度规定：

1 温湿度监测包括测记边坡坡面土壤层温度和湿度。

2 温度以℃为单位，其记录精度应记至 0.5℃；湿度以百分数表示，其记录精度应小于±3%。

8.3 监测设备选型

8.3.1 降水量、温湿度监测设备应能方便、可靠、牢固地进行安装，具有防锈、防腐蚀等野外工作性能。

8.3.2 降水量监测设备应选用自动雨量计，包括翻斗式、称重式、轮盘式、虹吸式等类型。

8.3.3 雨量器应能准确测记降雨量过程，测量误差不大于±4%。

8.3.4 温湿度传感器的测量性能应满足：土壤体积含水量测量范围 0~50%、分辨力 0.1%、采样频率 1 次/min、计算平均时间 10min、重复性误差小于 0.5%，最大绝对误差小于 3%。温度测量范围-30℃~100℃、分辨力 0.1℃、精度±0.5℃。

8.3.4 可靠性、重复性等其他技术要求应符合《降雨量观测仪器》（GB/T 21978-2014）、《水文仪器可靠性技术要求》（GB/T 18185-2014）的规定。

8.4 监测设备安装

8.4.1 仪器安装前，应检查确认仪器各部分完整无损，暂时不用的仪器备件，应妥善保管。

8.4.2 仪器安装高度宜为 2.5~3m，多年平均降雪量占年降水量达 20%以上的地区，观测

降雪量的雨量器安装高度宜为 2.0m，积雪深的地区可适当提高，不应超过 3.0m。

8.4.3 安装仪器的基座和杆式雨量计的基础、立杆应稳固，基座顶部应平整。

8.4.4 雨量器底座与基座连接应牢固，有水准气泡的仪器应调节水准气泡居中。

8.4.5 记录存储传输装置应安装稳固，信号线和电源线按正确方式连接，有防水要求的插头和插座应进行密封处理，设备应采取防雷措施。

8.4.7 雨量器防风圈安装应便于监测，并能减弱器口处气流对降水的影响，雨水不应溅入承雨器口。

8.4.8 雨量仪器安装完毕后就地调试和注水试验。

条文说明

边坡工程现场环境复杂，具有扬尘、大风等环境下，承雨器可能发生堵塞，因此在监测期间，应定时进行雨量计检查，发现承雨器堵塞的，应及时进行清理，并重新进行线下调试和注水试验。

8.4.9 监测边坡表面附近土壤温湿度时温湿度传感器应采用垂直安装法。在待测区域用土壤采样器挖直径与传感器相同大小的土洞，将事先准备的采用周边土壤制备的泥浆贯入土洞中，然后插入传感器，确保土壤与传感器紧密接触，传感器上部采用泥土封填，阻止上部水进入。

8.4.10 监测边坡断面不同深度处土壤温湿度时温湿度传感器应采用垂直安装法。根据需要监测的深度，在边坡断面开挖一条深度足够的沟槽，然后根据设计的水平距离和垂直间隔水平插入传感器。传感器垂直间隔不宜小于 200mm，传感器应静压法插入。

8.4.11 温湿度通信电缆宜布置成 S 型，避免由于填土沉降将电缆线拉断。

8.4.12 将温湿度传感器接入数据采集设备，联机检查正常后再进行泥土回填。

8.4.13 做好安装区域的保护，应在传感器安装区域、数据采集器安装区域以及通信电缆敷设区域做明显的标识和围栏，避免观测设施遭受破坏。

9 图像与视频监测

9.1 一般规定

9.1.1 图像与视频监测应获取边坡变形过程中的形态变化，为预警、防治决策研究提供直观可视化视频监测图像或影像数据。

9.1.2 图像与视频监测系统应包括视频采集、传输、切换调度、远程控制、视频显示、存储/回放/检索、视频图像质量诊断、视频分析、实时浏览、多摄像机协同、抓图等。

9.1.3 边坡图像与视频监测系统时钟应能与标准时间同步，时间设置应采用公历，最低精度为秒。

9.1.4 边坡图像与视频监测系统兼容性应满足设备互换性要求，系统可扩展性应满足简单扩容和集成的要求。

9.1.5 公路边坡图像与视频监控宜配备图像识别、AI 智能分析模块，当监控摄像机抓拍到边坡出现异常状态时，应触发联动报警。

9.2 监测方法

9.2.1 图像与视频监测设备主要采用网络摄像机。

9.2.2 图像与视频监测图像质量应符合下列要求：

- 1 标清图像分辨率应大于或等于 704×576 ，高清图像分辨率应大于或等于 1280×720 ；
- 2 最低照度要求应满足：彩色模式小于或等于 0.1 lx ，黑白模式小于或等于 0.01 lx ；
- 3 摄像机的宽动态能力应大于 100dB 。

9.2.3 边坡视频监测 IP 网络的性能参数指标应符合下列规定：

- 1 端到端通信的网络时延上限应小于 100ms ；
- 2 端到端通信的时延抖动上限应小于 20ms ；
- 3 端到端通信的丢包率上限应小于 1×10^{-5} ；
- 4 端到端通信的包误差率上限值为 1×10^{-4} 。

9.2.4 本地录像时可支持的视频帧率不应低于 25 帧/s ；图像格式为 CIF 时，网络传输的

视频帧率不应低于 25 帧/s；图像格式为 4CIF 以上时，网络传输的视频帧率不应低于 15 帧/s。

9.3 监测设备选型

9.3.1 应综合考虑监视目标的环境照度、安装条件、数据传输和安全管理需求等进行设备选型，边坡图像与视频监测的网络摄像机应符合下列要求：

- 1 应具备夜视功能，可提供白天和夜间实时视频数据；
- 2 变焦镜头应满足最大距离的特写与最大视场角观察需求，并宜选用具有自动光圈、自动聚焦功能的变焦镜头。变焦镜头的变焦和聚焦响应速度应与移动目标的活动速度和云台的移动速度相适应；
- 3 摄像机的自动光圈调节应提供视频驱动或直流驱动模式，光圈自动调节后应保证画面的亮度、灰度均不低于 10 级；

9.3.2 摄像机的云台/支架应符合下列要求：

- 1 边坡监视场景范围较大时，应配置电动遥控云台，云台的负荷能力不低于实际负荷的 1.2 倍。
- 2 云台的工作温度、湿度范围应满足现场环境要求。
- 3 云台水平和垂直转角回差小于 1° 。
- 4 云台解码器应支持 PELCO-D 协议和 PELCO-P 协议等协议。
- 5 球型摄像机应支持水平调控速度不小于 $30^{\circ}/s$ ，垂直调控速度不小于 $10^{\circ}/s$ ，水平旋转范围为 360° ，垂直选装范围为 $-5^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 。
- 6 球型摄像机应支持不少于 10 个预置位。
- 7 支持编程预置位功能。

条文说明

云台是承载摄像机及附属物的支持物。云台的选择根据摄像机的安装角度以及承载物的重量等来决定，由于公路边坡图像及视频监测主要应用场景在室外现场，通过对云台的转动性能（转动速度、稳定性和制动性能）有要求，进一步增强摄像机的现场适应性。

9.3.3 摄像机防护罩防护等级不低于 IP66 标准，根据现场需求加配加热器、风扇、除霜器、雨刷、遮阳罩等辅助设备。

9.3.4 图像与视频监测系统显示设备应支持 VGA、HDMI 等接口，支持网络源直接接入

显示。

9.3.5 图像与视频监测系统存储设备应符合下列要求：

- 1 应支持 MPEG-4、H.264、H.265 编码格式的前端接入并录像。
- 2 应支持 iSCSI、CIFS、NFS、FTP、HTTP、AFP、RSYNC 等存储协议。
- 3 系统存储数据的单位应采用国际单位制，视频信息资料保存时间不应小于 30 天；
- 4 符合《公共安全视频监控联网系统信息传输、交换、控制技术要求》（GB/T 28181-2016）相关要求。

9.3.6 边坡图像与视频监测系统供电、防雷设备应符合下列要求：

- 1 前端设备、视频分析处理与逻辑控制设备、视频传输设备可采用交流供电或直流供电。
- 2 采用直流供电时，宜采用 12V 或 24V，-15%~+20%，蓄电池容量不低于 100AH。
- 3 应采取相应隔离措施，防止地电位不等引起图像干扰。
- 4 视频监测系统应有防雷击措施，安装的摄像机连接电缆宜采取防雷措施，宜设置电源与信号避雷装置。
- 5 应符合《安全防范工程技术规范》（GB50348）相关要求。

9.4 监测设备安装

9.4.1 边坡图像与视频监测位置选择应符合下列要求：

- 1 应选取垂直边坡走向或平行边坡主滑方向进行布设，监控范围应覆盖边坡整个坡面。
- 2 应保证目标边坡在视频监测最远距离范围内，若单一设备无法满足监测需求，应增加监控点和设备数量。
- 3 前端设备选址应在边坡失稳影响范围以外空旷、平坦且风力影响小的区域。
- 4 视频摄像头的安装位置要避开高压电线、电缆，尽量减少电磁干扰。

条文说明

一般监控摄像机信号传输线必须与高压设备或高压电缆之间保持一定的距离，最好的在 50 米以上的距离。

9.4.2 摄像机安装应符合下列要求：

- 1 摄像机可根据现场情况采用立杆、水平支架等安装方式。

2 摄像机安装应在监测目标不易受环境影响的地方。

3 安装立杆宜选用镀锌不锈钢管，立杆管径不应小于 140mm，摄像头在水平状态下离地高度不低于 3m。

4 摄像机镜头避免强光直射。

5 云台及云台解码器与摄像机的接线连接方式应严格按照云台解码器的产品说明书。

6 摄像机在安装时每个进线孔应采用专业防水胶或热熔胶防止水和水蒸气渗入，以保护摄像机电路。

9.4.3 边坡图像与视频监测设备安装准备工作如下：

- 1 将摄像机通电进行检测和粗调，检测摄像机工作状态是否正常；
- 2 检查云台的水平、垂直转动角度，并根据设计要求定准云台转动起点方向；
- 3 检查摄像机防护套的雨刷动作；
- 4 检查摄像机在防护套内的筋骨情况；
- 5 检查摄像机座与支架或云台的安装尺寸；
- 6 安装前需按要求设置网络、管理参数；
- 7 检查云台控制解码器的设置是否正确，是否能够正确传送与接收控制信号。

9.4.4 边坡图像与视频监测采集设备基础应符合下列要求：

- 1 采集设备基础应稳固、牢靠，以保证仪器及附属设备正常安装；
- 2 采集设备基础施工应根据实际布设位置情况，合理制定施工方案，确定施工时间、安装方式、施工材料、支架尺寸、保护措施；
- 3 采用地埋件安装立杆的监测设备，宜采用钢筋混凝土基础、预埋箱、地插胀杆等安装方式，基础混凝土等级不低于 C20，地脚连接螺栓钢筋直径不小于 16mm。

9.4.5 监测杆安装应符合下列要求：

- 1 应使用镀锌螺丝将立杆法兰盘与地笼进行可靠固定，螺母和螺杆之间要加垫圈和弹簧垫，固定完后需涂刷防锈漆；
- 2 监测杆上方应用镀锌螺丝固定摄像机及摄像机支架，摄像机与监测杆之间的裸线应采用具有防护措施的塑料管保护；

9.4.6 视频监测系统摄像机等设备宜采用集中供电，供电设备、防雷及接地设施的安

装应符合《安全防范工程技术规范》（GB50348）相关要求。

10 数据采集与传输

10.1 一般规定

- 10.1.1 应根据公路边坡特点及监测需求选择数据采集设备，并制定数据采集、传感器与数据采集设备接口等架构方案。
- 10.1.2 数据采集与传输应提供可靠的数据传输机制，具有丢包重传、数据完整性校验等功能。
- 10.1.3 数据采集与传输系统的软硬件应与传感器数据采集与传输相协调。
- 10.1.4 数据采集与传输系统应减少非必要的功能模组，并具有兼容性的可拓展性。
- 10.1.5 数据采集与传输包括数据感知与转换、数据采集与汇聚、远程数据传输三个过程。
- 10.1.6 数据采集与传输可采用一体化设备或多个设备组合，基于 HTTP、MQTT、COAP 等协议传输至智能监测平台。总体架构如图 10.1.6 所示。

条文说明

数据感知与转换过程实现数据感知和对模拟信号的转换过程；数据采集与汇聚过程实现对现场多种传感器数据的汇集；远程数据传输过程实现现场与智能监测平台之间的通信。

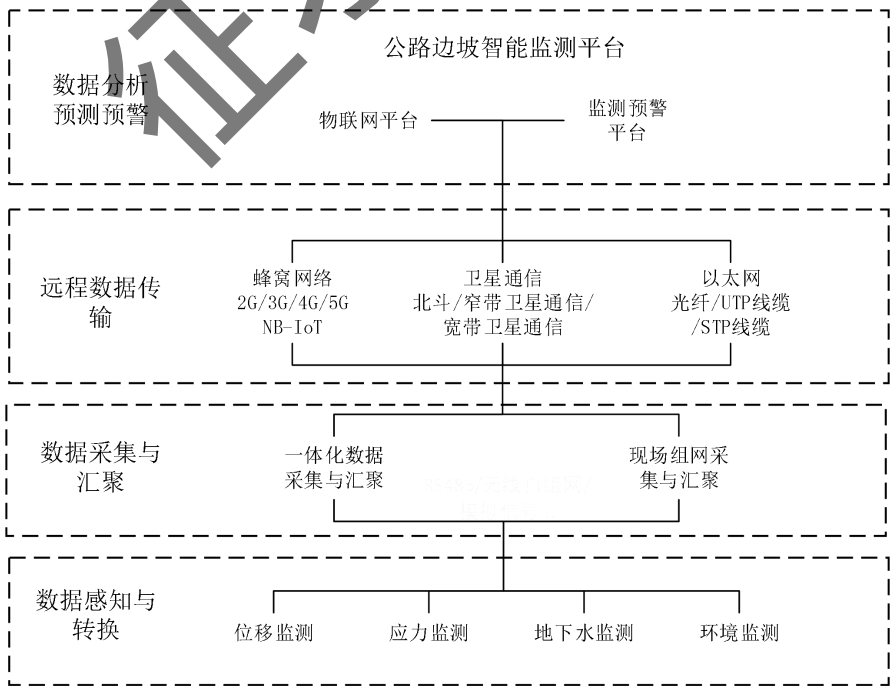


图 10.1.6 边坡智能监测采集传输总体架构

10.1.7 当公路边坡遭受地震、滑坡、泥石流、周边工程扰动事件后，应具备智能加密采集频率功能。

10.2 数据感知与转换

10.2.1 感知数据与转换包括对振弦频率信号、光信号、模拟电压、模拟电流、数字脉冲等信号的感知与转换。

条文说明

感知数据与转换是将传感器感知的信号转换为系统可直接识别和远传的数字信号，组成一定的协议帧通过数据通信模块或者组网采集实现远传。

10.2.2 振弦信号感知与转换应满足下列规定：

- 1 频率测量范围：400Hz~6000Hz
- 2 温度测量范围：-20℃~70℃
- 3 频率分辨率应小于或等于 0.1Hz
- 4 工作温度-10℃~50℃

10.2.3 光信号感知与转换适用于光纤光栅温度、应变、应力、位移等多种类型的光纤光栅传感器的信号解调和传感数据采集，测量波长范围应为 1525~1565nm，最小可探测光功率应满足-70dB。

10.2.4 模拟信号感知与转换适用于对模拟电压/电流输出类型的传感器进行数据转换，输入电压范围宜为 0-5v，电流范围宜为 0-20mA，设备内部应具有 12bit 及以上 ADC 转换能力并进行电源和通信隔离。

10.2.5 数字信号感知与转换适用于将数字脉冲、I/O 接口以及数字总线等类型信号进行转换，应包含多路相互独立的数字输入输出采集接口。

10.3 数据采集与汇聚

10.3.1 数据采集与汇聚主应采用一体化和现场组网等数据采集与汇聚方式。

条文说明

数据采集与汇聚过程实现将多种不同类型的感知数据进行预处理、分类、组包封装

等汇聚过程，便于进一步实现数据边缘处理和远程传输。

10.3.2 监测点分布距离远，较分散时宜采用一体化数据采集与汇聚方式，监测点相距较近且分布较集中时宜选用现场组网采集与汇聚方式，或采用两者相结合方式。

10.3.3 一体化数据采集与汇聚应满足下列要求：

1 一体化数据采集与汇聚应采用高度集成化方式构成一体化数据采集传输设备，通过单个设备实现数据感知与转换、采集与汇聚和远程传输。

2 一体化数据采集与汇聚设备包含感知传感模块、感知数据转换模块、通信模块和供电与低功耗管理模块。

3 一体化数据采集传输设备应具有较宽的工作温度范围，工作温度范围应为 $-20^{\circ}\text{C}\sim+85^{\circ}\text{C}$ 。

4 一体化数据采集传输设备应进行防水防护处理，防护等级不应小于 IP67。

5 一体化数据采集传输设备应采用低功耗设计，电池更换频率不应小于 1 年。

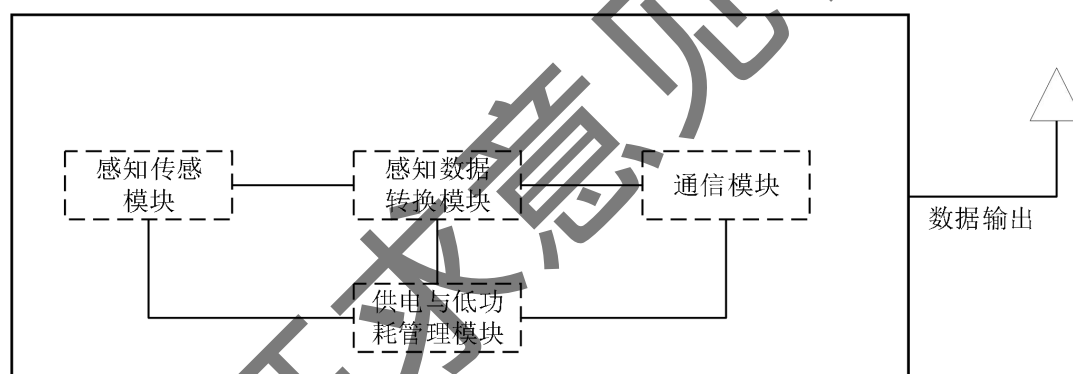


图 10.3.3 一体化数据采集传输设备内部模块示意图

10.3.4 现场组网采集与汇聚应满足下列要求：

1 现场组网采集与汇聚通过有线或无线组网技术进行现场组网通信，由多个设备构成一个现场组网采集传输系统实现数据集中采集、汇聚及传输。

2 现场组网采集与汇聚系统应包含数据感知与转换设备、数据采集传输设备和远程数据通信设备。

3 现场组网采集与汇聚系统组网方式可采用有线网、窄带无线自组网和宽带无线自组网。

4 现场组网采集与汇聚应采用标准化现场通信协议，满足多种不同类型传感器组网接入与数据汇聚，实现现场自组网，具备纠错容错等机制。

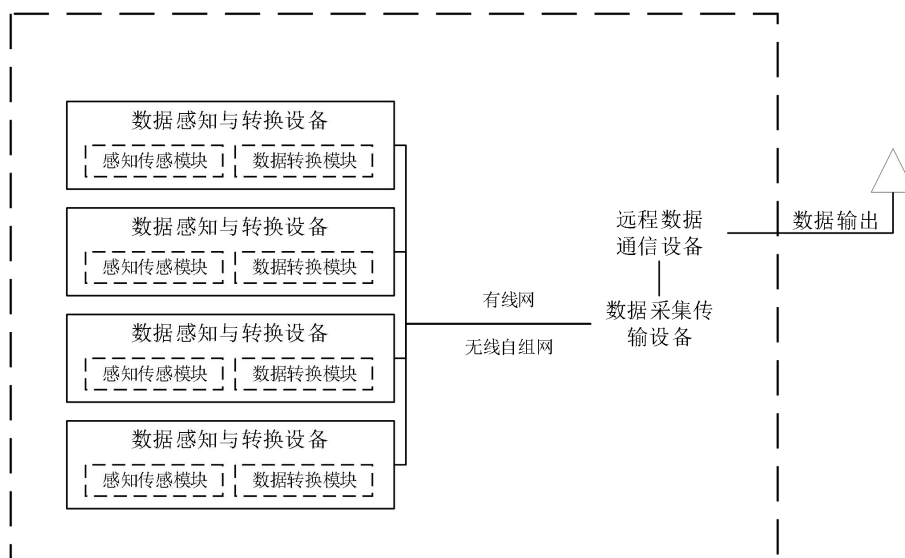


图 10.3.4 现场组网采集传输系统架构

10.3.5 有线网通应满足下列要求：

- 1 传感设备与数据采集传输设备应采用带屏蔽的双绞线构成 RS485 等数字总线连接组网。
- 2 通信线缆应采用单独的线缆或独立屏蔽的线缆与电源线分开铺设。
- 3 数据感知与转换设备和数据采集传输设备之间应采用“A 接 A，B 接 B”的方式连接后并联。
- 4 总线在数据采集传输设备处统一接地，如图 10.3.6 所示。

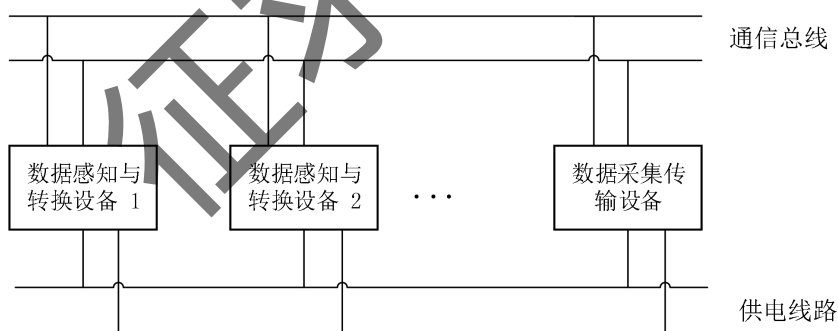


图 10.3.5 传感器与数据采集传输设备接口示意图

条文说明

有线网通过线缆将系统中各设备连接起来，应采用集中供电的方式，线缆包括通信线缆和供电线缆；有线网具有通信稳定、连接可靠的优点，适用于采集频率较高、数据感知与转换设备功耗较高的采集传输系统。

10.3.6 窄带无线自组网应满足下列要求：

1 窄带无线自组网数据传输应采用星形组网、多跳组网等数据传输方式。

2 窄带无线自组网工作频段应满足国家无线电频段管理的相关规定的底噪低、干扰少的频段，设备大功率瞬态工作时不应相互干扰。

3 窄带无线自组网典型单次发射应小于 1 秒，正常工作模式（非紧急预警）下应减少发射行为。

4 宽带无线自组网由网关、中继与节点设备组成，具有频段高、带宽大、功耗较高、传输距离较近的特点，视频监控设备等较大数据通信量的设备应采用宽带无线自组网数据传输。

条文说明

窄带无线自组网具有频段低、带宽低、传输距离远、功耗低的特点，雨量计、位移计等低更新频次的传感器采集设备宜采用窄带网络数据传输。

10.3.7 宽带无线自组网应工作在 2.4G/5.8G 频段，并符合工信部相关规定。

1 宽带无线自组网的连接应支持全向或定向天线，支持 3 公里以上长距离数据传输，传输速度大于 7Mbps。

2 宽带无线自组网节点应支持独立智能自动跳频，基站实时扫频，无线信道和发送功率具有自适应调节、支持非对称数据传输能力。

3 宽带无线自组网应支持双向鉴权，支持国密标准算法，具有对传输数据进行加密能力。

10.3.8 数据采集传输设备应具备通讯中断时数据缓存能力，保存不小于 7 天的传感数据，通讯恢复以后能补传历史数据。

10.3.9 数据采集传输设备应具备远程控制能力，具有远程配置采集频率、获取历史数据、查看工作日志、查看配置信息等功能。

10.3.10 数据采集传输设备宜具备边缘计算能力，具有监测数据分析，智能判断与设备参数调控能力；在预警等级发生变化时，可自动调节数据上传频率等参数。

条文说明

边缘计算能力，在发生边坡灾害紧急情况时，高频上报数据和本地触发报警（如：声光报警）等功能。

10.3.11 数据采集传输设备应支持远程固件升级，在系统部署后可通过管理平台进行远程管理和固件升级。

10.3.12 数据采集传输设备宜具备自识别自组网设备接入、现场扫码接入、远程配置接入等传感器设备接入机制和功能。

10.4 远程数据传输

10.4.1 远程数据传输应采用移动通信、以太网通信等通信网络实现远程数据传输，必要时可采用卫星通信。

10.4.2 采用移动通信网络构成的设备或系统所选用的通信模组应至少满足表 10.4.2 一种通讯能力，并支持对应的频段。

表 10.4.1 移动通信网络设备频段

通信技术	频段	备注
2G	900M/1800M	2 个频段应同时满足
3G	TD-SCDMA/WCDMA/CDMA2000	
4G	LTE-TDD:B34/B38/B39/B40/B41 LTE-FDD:B1/B3/B5/B8	9 个频段应同时满足
5G	NB-IoT:B2/B3/B5/B8 5G 管理部门授权的其他频段	

10.4.3 卫星通信远程数据传输可采用北斗卫星短报文数据传输、窄带卫星通信传输和宽带卫星通信传输等方式。

10.4.4 北斗卫星短报文数据传输应符合下列要求：

- 1 北斗卫星短报文数据传输应采用 RNSS 定位或 RDSS 短报文形式。
- 2 北斗卫星短报文数据传输平均时延应不大于 5s。
- 3 北斗卫星短报文数据传输成功率应不低于 95%。
- 4 北斗卫星短报文发送周期不低于 1 分钟。

条文说明

北斗卫星短报文数据传输采用 RNSS 定位或 RDSS 短报文形式，在无地面通讯信号地区通讯定位，实现短报文发送和接收，解决监测设备的数据上报问题，为边远地区边坡监测系统提供数据传输通道。

10.4.5 窄带卫星通信数据传输应满足下列要求：

1 监测终端到低轨窄带卫星之间相互通信工作应采用 L 频段，低轨卫星和地面站之间工作应采用 C 频段，地面站与行业应用平台之间的业务连接和交换应采用基于 IP 的网络。

- 2 窄带卫星通信端到站单次数据包长度不大于 200Bytes。
- 3 窄带卫星通信模组灵敏度不小于-130dBm。
- 4 窄带卫星通信报文发送周期不低于 5s。

条文说明

窄带卫星通信系统是基于低轨窄带卫星传输的端到站的通信系统，由监测终端、卫星、卫星地面站和应用中心组成。监测终端到低轨窄带卫星之间相互通信工作于 L 频段；低轨卫星和地面站之间工作于 C 频段；地面站与行业应用平台之间的业务连接和交换基于 IP 的网络交换。

10.4.6 宽带卫星通信数据传输应满足下列要求：

- 1 关口站到终端的前向链路为 Ka 上行， Ku 下行，关口站工作采用 Ka 频段，终端工作采用 Ku 频段，；
- 2 终端到关口站的反向链路为 Ku 上行， Ka 下行，由 IP 卫星完成 Ka-Ku 频段的交链；
- 3 端站与地面宽带网络以及相互之间的业务连接和交换由关口站完成。
- 4 卫星终端下载速度应大于 1Mbps，上传速度应大于 512kbps。
- 5 卫星终端双向时延应小于 500ms。
- 6 卫星宽带通信系统应采用 Ka+Ku 频段空间交链技术和跳频技术。

条文说明

卫星宽带通信系统是完全基于 IP 技术的宽带卫星通信广播系统，由卫星、业务关口站和小口径天线地面监测终端组成。关口站工作于 Ka 频段，端站工作于 Ku 频段，即关口站到终端的前向链路为 Ka 上行，Ku 下行；终端到关口站的反向链路为 Ku 上行，Ka 下行；由 IP 卫星完成 Ka-Ku 频段的交链；端站与地面宽带网络以及相互之间的业务连接和交换由关口站完成。

10.4.7 以太网数据传输应采用光纤、五类或六类 UTP/ STP 线缆，并支持 10/100/1000Mbps 传输技术标准。

10.4.8 远程数据通信设备应支持物联网平台的接入，通过 HTTP、MQTT、COAP 等数据协议与监测平台进行数据交互和远程管理。

10.4.9 远程数据通信设备应支持远程固件升级功能。

条文说明

通过智能监测平台实现指定设备、指定区域或指定软硬件版本的远程固件升级。

10.4.10 远程数据通信设备应支持远程配置设备的参数、远程查看工作日志等基本远程控制功能。

10.4.11 远程数据通信设备应具备系统电压、电流、温湿度等参数采集功能，当故障产生时可用于故障诊断。

10.4.12 远程数据通信设备应具备缓存数据、补传数据等数据传输保障功能，数据缓存时间不小于 7 天。

条文说明

当网络出现阻塞或其他故障时，可缓存数据，网络恢复之后重传。设备应具备至少缓存 7 天的数据并进行补传。

10.4.13 采用北斗短报文进行远程数据通信的设备应具备数据协议转换、数据分包处理及数据压缩处理等功能，采用精简的报文协议格式与监测平台进行数据交互。

10.5 现场供电系统

10.5.1 现场供电系统应采用太阳能供电系统或市电供电系统。

10.5.2 现场供电系统方案设计应满足系统的功耗需求、

10.5.3 太阳能供电系统应包含太阳能板、电池、太阳能控制器及机械支架，并具有电源管理、电池供电和掉电保护功能

10.5.4 电池容量应满足监测设备在无日照条件下工作不小于 15 天。

10.5.5 在久雾久雨及日照率小于 30%的地区应增大电池容量，太阳能电池板功率应与电池容量匹配。

10.5.6 采用一次性电池供电的一体化数据采集传输设备，在 1 小时采集传输一次的工作频率下，供电时间不应小于 1 年。

10.5.7 市电供电系统应包含漏电保护开关和稳压开关电源。

10.5.8 供电模式、供电功率和系统组成应根据边坡监测方案及边坡环境确定。

10.5.9 供电系统应采取防雷及接地措施，防雷、接地设计应符合《建筑物电子信息系统防雷技术规范》（GB50343-2012）和《通信局(站)防雷与接地工程设计规范》（GB50689-2011）的相关规定。

10.6 系统安装与调试

10.6.1 数据采集传输系统支架的安装应符合下列要求：

- 1 数据采集传输系统支架应采用钢筋混凝土基础、预埋箱、地插胀杆等地埋件安装方式，地埋件应保持水平，并与监测立杆连接牢固。
- 2 采用混凝土浇筑安装立杆的数据采集传输系统基站，立杆高度长小于等于 3m 时混凝土底座的长×宽×深尺寸不应小于 0.5m×0.5m×0.6m，立杆高度大于 3m 时混凝土底座的长×宽×深不应小于 0.6m×0.6m×0.8m。
- 3 太阳能支架固定在立杆上，应朝向南。
- 4 采用外置传输天线的设备应通过机箱预留开孔固定在机箱外侧，机箱应做防水处理。
- 5 支架进行接地电阻应满足《高速公路设施防雷设计规范》(QX/T 190)相关要求。
- 6 应在仪器外壳明显处仪器刻蚀、印刷或粘贴设备的二维码。

10.6.2 数据采集传输系统的调试流程如下：

- 1 检查外接连电源线、数据线，确认电源线正负极正确连接。
- 2 连接太阳能电池板与太阳能控制器线缆，检测太阳能控制器负载端输出电压。
- 3 检查系统各设备间数据通信情况，查看监测预警平台是否收到测试数据及收到测试数据的时间、数据量，并进行测试数据的合理性分析。
- 4 如数据异常，依次检查数据感知与转换设备、供电电源、数据采集传输设备、远程数据通信设备、传输天线，排除故障直至传输正常。
- 5 预警信息下发测试、现场仪器远程升级、采集频率动态调整测试等信息送达调试。

10.6.3 安装调试记录主要内容如下：

- 1 施工日志记录及现场设备记录。
- 2 监测点位信息、设备信息及参数、安装视频或图像记录等。

11 数据处理分析与预警

11.1 一般规定

11.1.1 数据处理分析与预测预警系统应采用松耦合、标准化、高复用的软件架构。

11.1.2 数据处理分析与预测预警系统应具有可扩展性，并选用成熟可靠、兼容性强的基础构件和应用中间件。

11.1.3 数据处理分析与预测预警系统应具备数据开放接口，并兼顾数据结构化、安全性、可扩展性和便捷性。

11.1.4 数据处理分析与预测预警系统宜采用分布式弹性架构，宜采用分布式处理技术、流数据处理技术等进行数据资源管理和数据挖掘分析。

11.1.5 数据处理分析与预测预警系统应具备数据校验、清洗功能，以保证数据质量。

11.1.6 数据处理分析与预测预警系统宜具备自动生成监测数据报告功能。

11.1.7 智能监测预警阈值可根据不同监测内容进行设置。

条文说明

松耦合有助于降低客户端和远程服务之间的依赖性。分布式处理技术与流数据处理技术是为了解决海量数据、高速数据进行实时数据处理的技术。

11.2 基础数据库

11.2.1 基础数据库设计应符合下列要求：

- 1 数据表命名应具有统一前缀，功能相近的表应当使用相同前缀。
- 2 数据表命名应采用小写英文单词，不宜使用长单词和生僻词，如果有多个单词则使用下划线隔开。
- 3 数据表应具有备注说明，描述表中存放的数据内容。
- 4 数据表应具有主键。
- 5 数据表主键宜定义为 id，自增类型。
- 6 数据表宜使用 utf8 字符集。

条文说明

acl_xxx, monitor_xxx, ppc_xxx 等称号，其前缀通常为这个表的模块或依赖主实体对象的名字，通常来讲表名为：业务_动作_类型，或是业务_类型。

11.2.2 数据字段设计应符合下列要求：

- 1 数据字段命名应与数据表命名相统一。
- 2 数据字段命名应采用小写英文单词，不宜使用长单词和生僻词，如果有多个单词则使用下划线隔开。
- 3 数据字段应有描述该字段的用途及存储内容的注释，枚举值应将该字段中使用的内容全部进行定义。
- 4 外键字段宜使用 xxx_id 的方式。
- 5 数据字段为日期字段时，应采用日期类型存储，格式为 yyyy-MM-dd。
- 6 数据字段为日期时间字段时，应采用时间类型存储，格式为 yyyy-MM-dd HH:mm:ss。

11.2.3 数据库的性能应满足下列要求：

- 1 数据库应具备高并发请求处理能力。
- 2 数据库应具备数据库日常监控与管理控制功能。
- 3 数据库应具备资源阈值告警能力。
- 4 数据库应采用分布式存储、大容量多样化数据组织与存储管理技术，可实现海量数据的检索、分析、等数据服务。
- 5 数据库应具备关键数据的完全备份、基础数据的差异备份、运行数据的增量备份等数据灾备系统。
- 6 数据库应具备自动备份能力，备份周期不大于 7 天，备份文件存储时间不小于 90 天。
- 7 数据库应具备回档能力，可回档时间不小于 3 天，颗粒度不小于 1 小时。

条文说明

数据备份常用的方式有完全备份和差异备份 2 种。完全备份是指把所有需要备份的数据全部备份。差异备份需要先进行一次完全备份，每次差异备份都备份和原始的完全备份不同的数据。增量备份是指先进行一次完全备份，服务器运行一段时间之后，比较当前系统和完全备份的备份数据之间的差异，只备份有差异

的数据。

11.2.4 常规数据库应参照附录 B 进行定义。

11.3 系统 API 接口

11.3.1 系统构建应采用前后端分离方式，数据的输入、输出应采用统一的系统 API 实现，系统数据应具有—致性、安全性、扩展性。

条文说明

API 接口指的是应用程序编程接口 (Application Programming Interface)，是一些预先定义的函数，或指软件系统不同组成部分衔接的约定。用来提供应用程序与开发人员基于某软件或硬件得以访问的一组例程，而又无需访问原码，或理解内部工作机制的细节。通过 API 接口可以实现特定的功能，而不需要了解其内部实现细节，目的是把监测系统某一个功能封装起来提供他人直接调用而不需要从新开发。

11.3.2 接口形式应适合不同交换主体，系统之间接口应采用 HTTPS、HTTP 等形式，系统与监测设备之间接口宜采用 HTTPS、HTTP、Socket 等形式。

条文说明

Socket 是一种较底层的网络通信接口，提供了网络通信的能力，HTTP (超文本传输协议) 是基于 Socket 提供了封装或者显示数据的具体形式，通过客户端和服务端进行数据交互，进行超文本 (文本、图片、视频等) 传输的规定。HTTPS 是 HTTP 的基础上通过传输加密和身份认证保证了传输过程的安全性。

11.3.3 接口传输数据协议格式应适应传输的数据内容，业务数据宜采用 JSON、Stream 等格式，空间数据宜采用 GML、GeoJSON 等格式。

条文说明

JSON、Stream、GML、GeoJSON 等是一种数据交换格式。

11.3.4 数据服务接口应按照不同安全管理等级制定安全传输管理措施。

11.3.5 请求参数定义应符合下列要求：

1 请求参数应分为公共参数与私有参数。

2 公共参数应包含协议版本号、本次请求签名、平台 Key、请求时间戳、请求接口名称、登录令牌等。

3 私有参数应包含各个请求接口对应所需的参数集合。

4 应采用小驼峰命名法进行请求参数命名，第一个单词以小写字母开始，其后单词的首字母大写，使用常见短单词。

11.3.6 响应参数应包含 `code`、`msg`、`data` 三个字段，`code` 表示请求状态、`msg` 表示描述信息、`data` 表示数据。

11.3.7 接口文档格式应符合下列要求：

- 1 所有接口应按照同一规范格式进行文档化。
- 2 接口文档应进行权限化管理。
- 3 文档应包含每个接口的请求参数、返回参数等的注释。
- 4 接口参数不同值应具有不同意义的，宜在注释中列举，或使用单独文档进行列举。
- 5 新增、修改、删除接口后应及时更新文档并备注修改记录及版本号。

11.4 监测数据分析

11.4.1 数据处理模块应具备数据的预处理和后处理能力，预处理应对监测数据进行去噪、滤波、异常剔除等处理，后处理应根据数据分析需求确定。

条文说明

数据预处理是指通过一些算法或操作得到高质量数据的过程。数据后处理是指根据业务需要，结合相关人工智能或深度学习等算法挖掘出隐藏在其中的，事先不知道的、但潜在有用的信息的过程。

11.4.2 监测数据分析处理包括边坡变形量、变形速率、应力、应变变化等，生成变形时程曲线、运动时程曲线等，并进行时序和相关分析，主要包含下列内容：

- 1 地表位移监测数据分析应包含水平位移或垂直位移历时曲线图等。
- 2 深部位移监测数据分析应包含深部位移累计变形量与深度关系曲线图、深部位移变化率与深度关系曲线图等。
- 3 应力应变监测数据分析应包含应力应变历时曲线图等。
- 4 地下水监测数据分析应包含地下水位历时曲线图、土体含水率历时曲线图、孔隙水压力历时曲线图等。
- 5 环境监测数据分析应包含降雨量历时曲线图、温湿度历时曲线图等。

11.4.3 监测数据分析与处理应符合下列要求：

- 1 实时分析变形量、变形速率等监测数据；
- 2 结合基础资料和监测数据实时分析结果进行综合分析，判断边坡变形区域、主滑方向、滑动面位置、变形阶段等，预测边坡稳定性发展趋势。

11.4.4 监测数据智能分析应利用历史监测数据，结合数据挖掘、深度学习等人工智能算法建立边坡监测数据预测模型，判断监测数据变化趋势。

11.5 预测预警

11.5.1 根据监测技术要求、边坡失稳灾害紧急程度及危害程度，公路边坡安全预警分为蓝色、黄色、橙色和红色四级，红色为最高级别。

表 11.5.1 预警状态分级

预警级别	现象	建议应对策略
蓝色	地质灾害体变形初期，地表无明显变形迹象，灾害体整体暂时处于稳定状态，近期发生失稳的可能性小	持续开展监测，注意观察监测数据或进行现场巡查。
黄色	地质灾害体变形进入加速阶段初期，有明显的变形特征，在数月内或一年内发生大规模地质灾害的概率较大，定为黄色预警	持续开展监测，提高数据采集频率。
橙色	地质灾害体变形进入加速阶段中后期，有一定的宏观前兆特征，在几天内或数周内发生大规模地质灾害的概率大，定为橙色预警	提醒公路边坡管养单位加强关注，调整自动监测采集频率，加强人工巡查。
红色	地质灾害体变形进入加加速阶段，各种短临前兆特征显著，在数小时或数周内发生大规模地质灾害的概率很大，定为红色预警	向边坡管养单位发送预警，采取应急避险措施，如临时交通管制、限制通行等。

条文说明

根据各个行业已有的关于预警值设定的相关规范和大量监测预警数据进行综合分析。

11.5.2 根据边坡稳定性、安全等级进行综合分析，确定变形、应力（压力）的预警阈值，参照附录 C。

11.5.3 预警级别应根据监测数据分析动态调整，并符合下列规定：

- 1 监测数据分析显示边坡变形加速，变形失稳前兆明显，宜提高边坡预警级别。
- 2 监测数据分析显示边坡变形趋于平稳，无新增明显变形迹象，或处治后变

形趋于平稳，宜降低边坡预警级别或者解除预警。

11.6 监测报告

11.6.1 公路边坡智能监测报告包括月报、季报、年报和总报告，有特殊情况时可增加日报、周报等监测简报。

11.6.2 监测月报、季报、年报应包括以下内容：

- 1 工程概况
- 2 监测指标
- 3 监测方案
 - 3.1 监测工作目的
 - 3.2 监测方案编制依据
 - 3.3 监测实施方案
- 4 监测数据分析
 - 4.1 监测数据成果
 - 4.2 成果分析
- 5 监测结论及建议

条文说明

监测报告主要说明监测周期内监测工作量、监测数据采集量、监测数据累计变化量、变化速率等，根据各项监测指标数据分析，对监测区域内坡体稳定性状态进行定性分析描述。

11.6.3 日报、周报等监测简报应包括以下内容：

- 1 监测工作概况
- 2 监测数据成果及分析
- 3 监测结论及建议

条文说明

一般在应急抢险监测或突发情况下进行提供，主要说明短期内监测指标数据变化情况，变化趋势等。

11.6.4 监测总报告应包括以下内容：

- 1 前言

- 1.1 项目背景
- 1.2 工程概况
- 2 监测工作概述
- 3 监测指标
- 4 监测方案
 - 4.1 监测工作目的
 - 4.2 监测方案编制依据
 - 4.3 监测实施方案
- 5 监测数据分析
 - 5.1 监测数据成果
 - 5.2 成果分析
- 6 监测结论及发展变化趋势预测
- 7 后期工作建议
- 条文说明

监测项目完成之后，一般需要提供监测总报告，监测数据从安装设备起，到监测工作结束为止，通过对整个监测周期内监测数据累计变化量、最大变化速率等数据进行分析，中间段出现明显变形趋势时，应进行分段分析坡体变形趋势，最终给出坡体稳定性状态变化趋势，并提出建议。

11.7 监测数据及预警信息发布

11.7.1 监测数据发布渠道包括网站、APP、微信公众号等，宜具备预警监测点醒目提示、历史数据及图像查询、实时数据及图像展示、监测点及传感器基本信息展示、监测点及传感器状态展示及传感器安装布设情况展示等功能。

11.7.2 预警信息宜先通过短信、APP 通知、自动语音电话等快捷方式进行预警信息的报送给主管部门，再报送纸质预警函件。

11.7.3 预警信息应包括预警级别、预警传感器类型及位置、当前监测值、预警阈值等。

附录 A 边坡智能监测系统设计方案编制大纲

- 1 工程概况
 - 1.1 项目概况
 - 1.2 监测对象与范围
 - 1.3 场地工程地质、水文地质及周边环境条件
- 2 监测目的和依据
- 3 监测等级、监测内容、监测项目及监测方法
- 4 智能监测系统
 - 4.1 监测仪器设备
 - 4.2 数据采集、传输与发布
 - 4.3 智能预警方案
 - 4.4 供电、防雷及防护方案
 - 4.5 系统维护
- 5 监测工作布置
 - 5.1 监测布置
 - 5.2 监测精度
 - 5.3 监测周期
 - 5.4 监测频率
 - 5.5 监测工作量
- 6 监测预警方案及应急措施
 - 6.1 监测预警方案（人工预警、阈值预警、智能预警）
 - 6.2 应急措施
- 7 监测人员及组织
- 8 安全生产措施
- 9 监测资料整理与信息反馈

附录 B 常规数据库定义

1 公路边坡基础信息数据库。

应包含路段基本信息表，用于存放边坡边坡所属的路段基本信息，如表 1-1。

表 1-1 路段基本信息表 (way_info)

字段名	描述	类型	主键	外键
id	id	int	√	
idcard	唯一标识	string		
dept_id	主管机构ID	int		√
create_by_uid	创建人	int		√
way_name	路段名称	double		
way_number	路段编号	string		
mileage	路段里程	double		
region	区域	string		
begin_point	路段起点坐标	string		
end_point	路段终点坐标	string		
remark	备注信息	string		√
create_by_dt	创建数据	datetime		

应包含边坡基本信息表：用于存放边坡基本信息，见表 1-2。

表 1-2 边坡基本信息表 (highwall_info)

字段名	描述	类型	主键	外键
id	id	int	√	
idcard	唯一标识	string		
dept_id	主管机构ID	int		√
create_by_uid	创建人	int		√
way_id	路段ID	int		√
mileage_station	桩号	string		
latitude	纬度	double		
longitude	经度	double		
highwall_number	边坡编号	string		
highwall_aspect	坡向	int		√
highwall_length	坡长	double		

highwall_height	坡高	double		
highwall_angle	坡角	double		
highwall_type	边坡类型ID	int		√
remark	备注	string		
create_by_dt	创建时间	datetime		
province	省	string		
city	市	string		
county	县	string		
contact_person	联系人	string		
contact_phone	联系电话	string		
highwall_overview	边坡概况	string		
maintaining_roadway	有无检修道	bool		
highwall_files	边坡相关文件	string		
highwall_imgs	边坡相关图片	string		

2 监测系统数据库。

应包含监测点信息表：用于存放监测点基本信息。见表 2-1。

表 2-1 监测点信息表 (monitor_info)

字段名	描述	类型	主键	外键
id	id	int	√	
project_tile	项目名称	string		
contact_person	联系人	string		
contact_phone	联系电话	string		
monitor_stat	监测状态	int		
warn_phone1	一级预警号码	string		
warn_phone2	二级预警号码	string		
warn_phone3	三级预警号码	string		
warn_phone4	四级预警号码	string		
switch_warn1	启用一级预警	bool		
switch_warn2	启用二级预警	bool		
switch_warn3	启用三级预警	bool		
switch_warn4	启用四级预警	bool		
sensor_count	传感器数量	int		
data_count	数据数量	int		
technicist	相关技术员	string		
monitor_start_time	开始监测时间	string		
monitor_end_time	结束监测时间	string		
construction	建设单位	string		
builder	施工单位	string		
supervisor	监理单位	string		

designer	设计单位	string		
monitor	监测单位	string		
highwall_id	边坡ID	int		√
remark	备注	string		

应包含传感器基本信息表，用于存放传感器基本信息，见表 2-2。

表 2-2 传感器基本信息表 (sensor_info)

字段名	描述	类型	主键	外键
id	id	int	√	
idcard	传感器唯一标识	string		
img_url	传感器安装图片url	string		
location	安装位置	string		
lifetime	传感器生命期（0：未激活，1：运行中，2：已停止，3：维护中）	int		
voltage	电压（单位：v）	double		
data	最新数据	string		
date	最新数据时间	string		
sim	通信卡号	string		
stat	数据状态（0:正常、1:一级预警、2:二级预警、3:三级预警、4:四级预警）	int		
sensor_type	传感器类型	int		√
mac	MAC（十进制）	int		
lte_info	Lte信息	string		
board_info	固件信息	string		
extra_params	额外参数	string		
data_count	数据量	int		
remark	备注	string		

应包含第三方物联网平台设备接入表,用于存放接入至第三方物联网平台的设备基本信息，见表 2-3。

表 2-3 第三方物联网平台设备接入表 (iot_device)

字段名	描述	类型	主键	外键
id	id	int	√	
idcard		string		
device_id	设备ID（用于唯一标识一个设备，在注册设备时由物联网平台分配获得）	string		√
create_time	创建设备的时间	string		
node_id	设备唯一标识码	string		√
name	设备名称	string		
description	设备的描述信息	string		
manufacturer_id	厂商ID	string		√
manufacturer_name	厂商名称	string		

mac	设备的MAC地址（十进制）	int		
location	设备的位置信息	string		
device_type	设备类型	string		
model	设备的型号	string		
sw_version	设备的软件版本	string		
fw_version	设备的固件版本	string		
hw_version	设备的硬件版本	string		
protocol_type	设备使用的协议类型	string		
bridge_id	Bridge标识	string		
status	设备的状态（表示设备是否在线，取值范围：ONLINE、OFFLINE、ABNORMAL。若设备超过25（默认值）小时未向平台上报数据或发送消息，则设备状态为ABNORMAL（默认值）；若设备超过49小时未向平台上报数据或发送消息，则设备状态为OFFLINE。）	string		
status_detail	设备的状态详情（跟status取值对应status为ONLINE时，取值NONE COMMUNICATION_ERROR CONFIGURATION_ERROR BRIDGE_OFFLINE或 FIRMWARE_UPDATING DUTY_CYCLE NOT_ACTIVE，status为OFFLINE时，取值NONE CONFIGURATION_PENDING）	string		
mute	是否处于冻结状态（即设备上报数据时，平台是否会管理和保存，TRUE：冻结状态、FALSE：非冻结状态）	string		
supported_security	是否支持安全模式（TRUE：支持安全模式FALSE：不支持安全模式）	string		
is_security	是否启用安全模式（TRUE：启用FALSE：未启用）	string		
signal_strength	设备的信号强度	string		
sig_version	设备的sig版本	string		
serial_number	设备的序列号	string		
battery_level	设备的电池电量	double		

voltage	设备的电压	double		
internal_temperature	内部温度	double		
hardware_version	硬件版本	double		
software_version	软件版本	double		
bd_satellite_number	北斗卫星数	int		
gps_satellites_number	GPS卫星数	int		
galileo_satellites_number	伽利略卫星数	int		
glonass_satellites_number	GLONASS卫星数	int		
longitude	经度	double		
latitude	纬度	double		
rsrp	信号质量	double		
enter_net_time	入网时间	double		
sleep_percent		double		
imsi	卡号	string		
basic_info_time	基础信息更新时间	string		
data_time	数据更新时间	string		

3 实时监测数据库。

应包含传感器数据表，用于存放传感器实时上传的监测数据，见表 2-4。

表 2-4 传感器数据表 (sensor_data)

字段名	描述	类型	主键	外键
id	id	int	√	
sensor_id	传感器ID	int		√
data	数据对象 (json)	string		
data_stat	数据状态	int		
data_time	数据时间	string		
temp	温度	double		
voltage	电压	double		
remark	备注信息	string		
extra	额外信息	string		

附录 C 监测项目预警值设定建议表

序号	监测项目	监测级别					
		一级		二级		三级	
		变形量 (mm)	变形速率 (mm/d)	变形量 (mm)	变形速率 (mm/d)	变形量 (mm)	变形速率 (mm/d)
1	地表水平位移	40~50	5~10	50~60	10~15	60~70	15~20
2	地表竖向位移	50~60	5~10	60~70	10~15	70~80	15~20
3	深部水平位移	40~50	3~5	50~60	5~8	60~70	8~10
4	桩(墙)顶水平位移	40~50	3~5	50~60	5~8	60~70	8~10
5	锚杆(索)应力	(10-20) % f	(5-10) % f	(20-30) % f	(5-10) % f	(30-40) % f	(5-10) % f

注：1 本表预警值是参照《建筑基坑工程监测技术规范》、《城市轨道交通工程监测技术规范》等相关监测规范给出的预警值，并结合多年监测数据总结分析，给出的预警建议值。监测预警值设定跟边坡所在的地形地貌、岩土体性质、变形破坏机制等因素相关，监测单位在选择使用时，可根据实际情况进行调整。

2 f 表示锚杆(索)设计值，单位 kN；锚杆(索)应力变形量是指锚杆(索)应力损失量。

3 表中未给出的其他监测项目预警值，可参照当地工程经验选择设定。

4 当监测项目的变化速率连续 3 天超过预警值的 50%，应进行预警。

征求意见稿