



T/CECS G XXXX: 20XX

中国工程建设标准化协会标准
Standard of China Association for Engineering Construction
Standardization

公路危岩崩塌自动化监测标准

Standard for Automatic Monitoring Technology of Unstable
Rock Mass Collapse of Highways
(征求意见稿)

2025 年 5 月

中国工程建设标准化协会标准

公路危岩崩塌自动化监测标准

Standard for Automatic Monitoring Technology of
Unstable Rock Mass Collapse of Highways

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

202X 年 X 月

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2023 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〔2023〕10）的要求，本标准在编制过程中，标准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，制定本标准。

本标准共分 9 章，主要内容包括：总则、术语、基本规定、监测方案设计、位移监测、应力监测、其他监测、数据采集传输与分析、监测报告。

本标准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。本标准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：

主 编：

主要参编人员：

主 审：

参与审查人员：

参 加 人 员：

目 次

1 总则	1
2 术语	2
3 基本规定	4
4 监测方案设计	5
4.1 一般规定	5
4.2 监测等级	5
4.3 监测点布设与内容	7
4.4 监测周期与频率	7
4.5 仪器设备	8
4.6 监测预警	9
5 位移监测	11
5.1 一般规定	11
5.2 监测方法与仪器设备	11
5.3 设备选型	11
5.4 设备安装	12
6 应力监测	14
6.1 一般规定	14
6.2 监测方法与仪器设备	14
6.3 设备选型	15
6.4 设备安装	16
7 其他监测	18
7.1 一般规定	18
7.2 监测方法与仪器设备	18
7.3 设备选型	18
7.4 设备安装	20

8 数据采集与分析	22
8.1 一般规定.....	22
8.2 数据采集与传输.....	22
8.3 数据分析.....	24
8.4 预警.....	25
9 监测报告	26
本标准用词用语说明	27

征求意见稿

1 总则

1.0.1 为规范和指导公路危岩崩塌自动化监测，提升公路危岩崩塌监测技术水平，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于各等级公路的危岩崩塌自动化监测。

1.0.3 公路危岩崩塌自动化监测应采用高精度、高灵敏性、高准确度的仪器监测，监测系统具备快速数据传输和处理能力，能够实时、全天候运行。

1.0.4 公路危岩崩塌自动化监测应采取有效的措施，保障仪器设备的可靠、耐久。

1.0.5 公路危岩崩塌自动化监测应积极推广新技术、新方法、新设备。

1.0.6 公路危岩崩塌自动化监测除应符合本标准的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

2 术语

2.0.1 危岩 perilous rock

被多组结构面切割分离，稳定性差，可能以崩塌或落石形式发生失稳破坏的地质体。

2.0.2 崩塌 collapse

较陡斜坡上的岩土体，在重力等因素作用下，突然脱离母体发生崩落、倒塌、跳跃、滚动等运动，并堆积在坡脚的地质现象。

2.0.3 施工期监测 construction monitoring

在工程施工过程中，采用监测仪器对关键部位各项控制指标进行监测的技术手段。

2.0.4 运营期监测 operational monitoring

在工程或项目运营期间进行的监测活动，是确保工程或项目的正常、安全和高效运行，以及及时识别可能出现的问题。

2.0.5 监测点 monitoring point

直接或间接设置在监测对象上并能反映其变化特征的观测点。

2.0.6 工作基点 working reference point

用于直接对形变观测点联测的相对稳定的测量控制点。

2.0.7 监测频率 monitoring frequency

单位时间内的监测次数。

2.0.8 位移监测 displacement monitoring

对危岩、防护与加固结构、周边结构物等监测对象的竖向、水平空间变化所进行的量测工作。

2.0.9 应力监测 stress monitor

对危岩、防护与加固结构、周边结构物等监测对象所承受的拉应力、压应力变化所进行的量测工作。

2.0.10 降雨量监测 rainfall monitoring

在时间和空间上所进行的对降雨量和降雨强度的观测，包括年均、月均、日均降雨量，最大日降雨量、最大小时降雨量等。

2.0.11 预警 warning alert

通过人工或自动方式,对即将发生或已经发生的险情向特定人群或组织发送警报信息的过程。

征求意见稿

3 基本规定

3.0.1 公路危岩崩塌自动化监测阶段应分为施工期监测、工程效果监测和运营期监测。

3.0.2 公路危岩崩塌自动化监测应遵循以下工作流程：

- 1 收集危岩基础资料；
- 2 踏勘现场；
- 3 制定自动化监测方案；
- 4 安装传感器、数据采集设备与供电系统；
- 5 联调测试监测系统；
- 6 处理分析监测数据及发布预警信息。

3.0.3 公路危岩崩塌自动化监测方案应根据公路等级、危岩类型、地质条件、危害程度、周边环境等因素综合确定，结合危岩加固方案，确定监测等级与监测项目，选择监测方法和仪器设备。

3.0.4 施工期监测方案宜兼顾工程效果监测和运营期监测。公路危岩设计、施工方案或稳定状态发生变化时，应及时调整监测方案。

3.0.5 危岩崩塌自动化监测系统应具有危岩状态信息感知、采集、传输、存储、数据处理与预警等功能。

3.0.6 危岩崩塌自动化监测系统应具备危岩监测仪器设备远程控制、监测数据综合分析、安全状态评估、安全趋势预测、异常状态预警等功能。

3.0.7 应根据公路施工、运营要求和环境条件，选择可靠、稳定、耐久的智能监测仪器设备，数据采集设备宜具有自动巡检传感器工作状态的功能。

3.0.8 危岩自动化监测预警值应根据设计、施工或运营安全的要求，结合危岩监测等级设定。

3.0.9 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，绘制平面和剖面布置图。

3.0.10 应对现场监测仪器设备进行保护，定期对自动化监测系统进行检查、维护，保证系统正常运行。

4 监测方案设计

4.1 一般规定

4.1.1 制定危岩崩塌自动化监测系统方案前，应开展现场踏勘并收集下列资料：

- 1 水文、气象资料；
- 2 工程地质资料；
- 3 设计资料；
- 4 施工、养护资料；
- 5 历史变形资料；
- 6 周边建筑物、结构物、管线、输电线等资料；
- 7 其他相关资料。

4.1.2 危岩崩塌自动化监测系统设计应综合考虑危岩的加固处治、养护、变形历史、周边环境、监测等级等因素，易于扩展升级及维护。

4.1.3 危岩崩塌自动化监测系统应具备下列功能：

- 1 监测传感器与设备的远程管理；
- 2 监测数据的实时采集与传输；
- 3 监测数据的存储与管理；
- 4 异常状态自动预警。
- 5 数据自动化分析及处理；
- 6 自动化分级预警；
- 7 统计和图表分析；
- 8 数据共享、查询，图形数据展示、预警状态显示；
- 9 监测资料管理；
- 10 运行维护记录。

4.2 监测等级

4.2.1 危岩崩塌监测等级应根据其规模、危害程度、周边环境和工程重要性按表 4.2.1 确定。

表 4.2.1 危岩崩塌监测等级

监测等级		危害程度等级			
		特严重	严重	中等	轻
规模等级	特大型	I 级	I 级	I 级	II 级
	大型	I 级	I 级	II 级	III 级
	中型	I 级	II 级	III 级	IV 级
	小型	II 级	III 级	IV 级	IV 级

注：

- 1.危岩崩塌监测等级由高到低依次为一级、二级、三级和四级；
- 2.危岩崩塌影响区有桥梁、隧道、高压输电塔、油气管道等重要建筑，以及村庄、学校等的公路，安全等级宜提高一级；
- 3.区域内唯一通道的公路通道，监测等级宜提高一级。
- 4.在地质环境特别复杂，或危岩防治工程施工期间、应急处置期间，可将监测等级提高一级。

条文说明

危岩崩塌监测等级是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不同。公路危岩崩塌监测等级主要依据危岩失稳破坏后对公路结构安全和交通通行影响，考虑公路等级、危岩崩塌规模、地形复杂程度、周边环境条件等因素综合确定。

4.2.2 危岩崩塌危害程度应根据公路等级、危岩体顶部距公路高度差进行分类，按表 4.2.2 确定。

表 4.2.2 危岩崩塌危害程度分级

危岩体顶部距公路高度差 (m)	高速公路	一、二级公路	三、四级公路
$H < 15$ (低位)	☆	○	○
$15 \leq H < 50$ (中位)	★	☆	☆
$50 \leq H < 100$ (高位)	▲	★	★
$H \geq 100$ (特高位)	▲	▲	★

注：危岩崩塌危害程度等级符号：○—轻；☆—中等；★—严重；▲—特严重。

4.2.3 公路危岩崩塌体的规模应根据危岩带及单体危岩的体积进行分类，按

表 4.2.3 确定。

表 4.2.3 公路危岩崩塌体的规模分类

规模等级	特大型	大型	中型	小型
危岩带体积 V ($\times 10^4 \text{m}^3$)	$V \geq 100$	$100 > V \geq 10$	$10 > V \geq 1$	$V < 1$
危岩单体体积 V (m^3)	$V \geq 50\,000$	$50\,000 > V \geq 5\,000$	$5\,000 > V \geq 500$	$V < 500$

4.3 监测点布设与内容

4.3.1 危岩崩塌监测宜分为施工期监测、工程效果监测和运营期监测。

4.3.2 一级监测应选择位移、应力、影响因素等综合监测内容，布置多条监测剖面；二级监测宜选择位移、应力、影响因素等综合监测内容，至少布置一条监测剖面；三、四监测宜以位移监测为主。

4.3.3 公路危岩崩塌监测项目应包括位移、应力、对周边结构物影响、环境、宏观表象等，应以位移和应力监测为主，按表 4.3.1 确定。

表 4.3.1 危岩崩塌监测项目

监测项目		施工期监测				工程效果监测				运营期监测			
		I 级	II 级	III 级	IV 级	I 级	II 级	III 级	IV 级	I 级	II 级	III 级	IV 级
位移	地表位移	√	√	√	△	√	√	√	△	√	√	√	△
	深部位移	√	△	○	○	√	△	○	○	△	△	○	○
	支挡结构位移	√	√	△	○	√	△	△	○	√	√	○	○
应力	支挡结构土压力	△	○	○	○	△	○	○	○	△	○	○	○
	结构应力	△	○	○	○	△	○	○	○	△	○	○	○
	锚索（杆）拉力	√	√	○	○	√	√	○	○	△	△	○	○
环境	降雨量	√	√	○	○	√	△	○	○	√	○	○	○
宏观表象	图像、视频	△	○	○	○	△	○	○	○	△	○	○	○

注：√-应做；△-宜做；○-视具体情况选做；

条文说明

图像与视频已经成功用来观察危岩体节理裂缝发展、危岩块松动、支撑加固结构、渗水、植被生长等反映危岩稳定性变化的迹象。

4.4 监测周期与频率

4.4.1 监测周期应符合下列规定：

- 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，止于公路或危岩崩塌处治工程交工验收；
- 2 工程效果监测周期应与施工期安全监测阶段相衔接，起于危岩崩塌处治工程或公路交工验收，止于交工不少于一年；
- 3 运营安全监测周期应根据危岩崩塌安全巡查技术状况评价结果确定，监测工作周期可贯穿公路运营全过程。

4.4.2 危岩自动化监测数据采集频率不宜低于 1 次/5min，数据上传频率不宜低于 1 次/30min；当出现下列情况之一时，应动态加密数据采集频率、上传频率均，数据采集频率不宜低 1 次/min，上传频率不应低于 1 次/10min：

- 1 危岩体及支护结构出现变形、裂缝等现象；
- 2 监测数据变化较大或监测数据达到预警值；
- 3 监测数据变化速率加快或达到预警值；
- 4 危岩影响范围内构筑物及地表出现异常；
- 5 暴雨或长时间连续降雨。

条文说明

危岩监测传感器采样频率可以达到 1 次/min 以上，数据可同步上传到监控管理平台。危岩监测供电主要是太阳能、风能+蓄电池为主，为节约电能消耗，保证全天候危岩安全监测，提出了数据采集频率推荐值。

4.5 仪器设备

4.5.1 仪器设备的适用范围、使用条件和使用年限等应满足监测工作关于质量、精度、量程、安全性、实时性、耐久性、稳定性和可靠性等方面要求。

4.5.2 仪器设备应具备野外环境条件下长期正常工作的防腐、防潮、防震、防磁、防雷和耐大温差等能力。

4.5.3 监测仪器设备应符合国家及行业标准。监测仪器的使用应符合相关使用说明，严格按照操作规程进行。

4.5.4 监测前应对仪器设备进行必要的检查、校正，确认状态正常、精度满足要求后方可使用。

4.5.5 监测仪器设备安装点位的选择应遵循监测有效性、环境适宜性、施工可行性等原则。

4.5.6 监测仪器设备埋设工作应详细记录各传感器实际埋设位置、编号等信息，并绘制平面布置图。

4.5.7 监测过程中应对仪器设备定期进行检验、校准及保养，确保系统正常运行。

4.5.8 监测点布设后应对周边居民进行宣贯，做好监测点保护工作。

4.5.9 监测系统中不同厂家的仪器设备应具有一致的数据格式标准。

4.5.10 自动化监测仪器设备宜有自检、自校功能。没有自检、自校功能的，宜每年进行不少于一次的人工检查、校正，确保数据可靠。

4.5.11 监测仪器应具备实时监测能力，应保证监测点供电及网络信号的连续性，及时捕捉危岩体变化的动态过程。

4.5.12 自动化监测应采取完整、稳定、安全的数据传输方式，可采用不少于两种数据传输方式，及保证在自动化监测仪器发生故障时观测数据不中断。

4.6 监测预警

4.6.1 公路危岩崩塌自动化监测方案应根据危岩监测等级，结合处治、加固方案，确定监测项目，选择监测方法和仪器设备，施工期监测方案宜兼顾运营期的长期监测。

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

4.6.3 公路危岩崩塌自动化监测仪器设备应满足公路建设、运营和现场复杂环境的可靠、稳定、耐久等要求。

4.6.4 公路危岩崩塌处治设计方案、施工方案或其稳定状态发生变化时，应及时调整监测方案。

4.6.5 危岩崩塌自动化监测系统应具有状态信息感知、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，并预留人工巡查和监测信息录入接口。

4.6.6 危岩崩塌自动化监测应根据设计、施工或运营安全的要求，考虑公路

等级、危岩规模、地质条件等设定预警阈值。

征求意见稿

5 位移监测

5.1 一般规定

5.1.1 位移监测内容应包括危岩体表面位移、支挡与加固结构位移、周边建筑物与结构物位移等。

5.1.2 位移监测宜采用接触式和非接触式传感相结合，接触式位移监测应包括危岩体表面水平位移、垂直位移、倾斜和裂缝监测等。非接触式位移监测应包括近景摄影测量、三维激光扫描、地基合成孔径雷达（GBSAR）等。

5.1.3 支挡加固结构位移监测项目应包括墙（桩）顶水平位移、墙（桩）顶垂直位移、裂缝和倾斜等。

5.1.4 周边结构物位移监测项目应包括水平位移、竖向位移、裂缝、倾斜等。

5.1.5 位移监测应结合危岩破坏方式、支挡与加固结构类型、周围环境等，选择适宜的位移监测方法与仪器设备。

5.2 监测方法与仪器设备

5.2.1 危岩体、支挡与加固结构、影响范围内结构物表面位移监测宜采用位移计、全球导航卫星系统（GNSS）、智能型全站仪、三维激光扫描仪、地基合成孔径干涉雷达（GBSAR）和静力水准仪等仪器进行监测。

5.2.2 裂缝监测宜采用裂缝计、拉线式位移计、光纤位移计等仪器进行监测。

5.2.3 倾斜监测宜采用测斜仪、倾角计等仪器进行监测。

5.2.4 支挡与加固结构及危岩崩塌影响范围内结构物的位移监测可参照危岩崩塌的表面位移、裂缝和倾斜监测。

5.2.5 危岩崩塌及其影响区域内结构的位移监测仪器设备，可根据监测目的、现场条件，进行综合选取。

5.3 设备选型

5.3.1 位移监测设备应根据适用范围、精度，结合技术、现场监测条件、数据采集与传输方式选取。

5.3.2 危岩、支挡与加固结构、周围结构物的倾斜宜采用测斜仪、倾角计等

设备监测，测量范围为 $\pm 30^\circ$ 、精度不应低于 0.01° 。

5.3.3 裂缝计、拉线式位移计、光纤位移计监测精度不应低于 1mm。

5.3.4 位移监测设备的工作环境温度范围宜为 $-20^\circ\text{C} \sim 60^\circ\text{C}$ 。

5.3.5 地基合成孔径雷达测量范围应覆盖整个危岩崩塌监测区域，设备的监测距离不宜小于 300m，水平监测范围不小于 60° ，垂直监测范围不小于 30° ，监测精度应满足毫米级。

5.3.6 全球导航卫星系统（GNSS）监测设备应小型化、轻量化，水平精度应满足 $\pm (2.5\text{mm}+1\text{ppm})$ ，高程精度应满足 $\pm (5\text{mm}+1\text{ppm})$ 。

5.4 设备安装

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

5.4.2 非接触监测仪器的监测范围宜覆盖整个危岩体，对于无法覆盖的区域，应根据实际情况采用其他监测方法补充。

5.4.3 裂缝监测设备安装应符合下列规定：

- 1 拉线式位移计应一端应固定于危岩体附近稳定区域，另一端固定于危岩体上；
- 2 裂缝计宜布设在裂缝较宽、位错速率较大或转折部位，应跨越裂缝两侧；
- 3 无明显裂缝的危岩体应根据潜在破坏面周界均匀布设拉线式位移计。

5.4.4 倾斜监测设备安装应符合下列规定：

- 1 宜沿危岩体潜在滑动或倾倒方向布设地表倾斜仪；
- 2 支挡与加固结构、周围结构物上的倾角计应水平安装；
- 3 地表倾斜监测设备应牢固固定于岩体表面。

5.4.5 采用静力水准仪进行地表竖向位移监测时，设备安装应符合下列规定：

- 1 监测点传感器宜采用膨胀螺栓固定，液体接口处无漏液；
- 2 冻区应采用添加防冻液，防冻液与水按比例 1:1 混合；
- 3 连通管、传感器内的气泡应排空。

5.4.6 GNSS 基准站和测点选址应符合下列规定：

- 1 GNSS 监测点位宜布设在危岩体位移较大处；

2 视野开阔，具备 15° 以上地平高度角的卫星通视条件，且能够可靠接收卫星信号；

3 距离湖泊、河流、水库等大面积水体的距离不宜小于 200m；

4 距离电视台、电台、微波站等大功率无线电发射源的距离不宜小于 200m；

5 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；

5.4.7 采用智能全站仪进行位移监测，监测点应与基准站保持通视，并对监测点棱镜进行防护。

5.4.8 地基合成孔径雷达安装应符合下列规定：

1 雷达扫描时应能够全面监测待扫描区域；

2 雷达与待监测区域两者之间应无遮挡，且周围无干扰雷达运行的干扰物及干扰信号；

3 雷达架设点应平坦稳固，方便雷达迅速调平；

4 雷达视线方向应与危岩潜在主位移方向保持一致。

5.4.9 需要立杆架高的监测设备安装应符合下列规定：

1 架高立杆宜采用热镀锌钢管，高度不宜低于 1.5m，底部与基础连接可采用预埋 L 型支架或法兰盘连接；

2 采用法兰盘连接基础浇注时应预留连接螺栓，螺栓应做防锈处理；

3 立柱浇筑结束时应强制对中。

6 应力监测

6.1 一般规定

6.1.1 应力监测项目应根据危岩崩塌的支挡加固方式、设计施工要求、监测等级等综合确定。

6.1.2 应力监测内容应包括崩塌岩土体应力、支挡结构承受的土压力、支挡加固结构应力和锚索（杆）拉力等。

6.1.3 应力监测点应布设在能反映监测主体应力应变特征显著的位置，如布设在预计监测主体应力最大或应力变化最大的位置。

6.1.4 压力计、应力计、锚索（杆）测力计等监测仪器设备在安装前应进行校准与标定。

6.1.5 应力监测仪器设备安装完后，应立即进行调试，调试完成后方可进行最终封装保护。

6.2 监测方法与仪器设备

6.2.1 崩塌岩土体应力宜采用埋入式土压力盒，支挡结构承受的土压力宜采用界面式土压力计。

6.2.2 锚索（杆）拉力宜采用锚索（杆）测力计。

6.2.3 支挡结构物内部应力宜采用应变计。

6.2.4 结构钢筋应力宜采用钢筋应力计，安装于受拉钢筋上。

6.2.5 应力监测内容及仪器设备应按表 6.2.5 选择。

表 6.2.5 应力监测内容及仪器设备

监测项目	监测目的	监测方法
土压力	监测崩塌岩土体内部、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（盒）
钢筋应力	监测抗滑桩、框架梁等钢筋混凝土结构应力及其变化情况	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及其变化情况	振弦式、电阻式、光纤光栅式土应变计
锚索（杆）应力	监测锚索（杆）工程锚索受力及其变化情况	振弦式、电阻式、光纤光栅式锚索（杆）应力计

6.2.6 岩土体应力监测点应充分利用平硐等勘探工程，布置在崩塌底座与崩塌接触面、下伏软弱岩层、软弱夹层、采空区等应力相对集中或变化较大部位。

6.2.7 支挡结构受力监测点应结合支挡工程分布情况进行布置,监测点应能控制整个防护区,形成纵、横监测剖面。

6.3 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、精度要求、现场环境等技术要求进行选型。

6.3.2 岩土体土压力及抗滑桩、挡土墙受到的土压力监测,应根据边坡岩土体土压力估算、监测部位,按表 6.3.2 选取土压力监测仪器,量程宜取设计值或推算值的 2 倍,监测精度不应低于 1%FS,工作温度宜为-20~60℃。

表 6.3.2 土压力监测仪器

仪器类型	测量范围 (MPa)	精度 (MPa)	主要尺寸规格 (mm)
振弦式土压力计 (盒)	0.1~6.0	0.2%FS	Φ 120, Φ 160, Φ 200, Φ 300
差动电阻式土压力计 (盒)	0.2~1.6	0.5%FS	Φ 120, Φ 200
应变式土压力计 (盒)	0.1~5.0	0.5%FS	Φ 30, Φ 60, Φ 80, Φ 100, Φ 120
光纤光栅式土压力计 (盒)	0.35~5.0	0.15%FS	Φ 120, Φ 230

6.3.3 支挡结构物内部应力监测,应根据监测要求按表 6.3.3 选取结构应力监测仪器,量程宜取设计值或推算值的 2 倍。

表 6.3.3 结构应力监测仪器

仪器类型	标距 (mm)	应变测量范围 $\mu \varepsilon$ (10^{-6})	
		拉伸	压缩
振弦式应变计	50, 100, 150, 250	1000~2000	1000~2000
差动电阻式应变计	100, 150, 250	400~1200	1000~2000
光纤光栅式应变计	150, 250	1500	1500

6.3.4 锚杆、结构钢筋等应力监测,可根据监测钢筋计的连接要求,按表 6.3.4 选取钢筋计,量程宜取设计值的 2 倍,监测精度不应低于 1%FS,工作温度宜为-20~60℃。

表 6.3.4 钢筋应力监测仪器

仪器类型	测量范围 (MPa)
振弦式钢筋计	0~200
差动电阻式钢筋计	0~300
光纤光栅式钢筋计	0~300

6.3.5 锚索(杆)应力监测,应根据监测量程、钢绞线束数,按表 6.3.5 选择,量程宜取设计值的 2 倍,监测精度不应低于 1%FS,工作温度宜为-20~60℃。

表 6.3.5 锚索（杆）应力监测仪器

仪器类型	标距（mm）	测量范围类型（kN）		
振弦式 差动电阻式	锚杆	锚索		
		钢绞线数量 ≤ 6 束	6束 $<$ 钢绞线数量 < 10 束	钢绞线数量 ≥ 10 束
光纤光栅式 应变计	0~200	0~2000	2000~3000	3000~5000

6.4 设备安装

6.4.1 应力监测仪器设备安装前，应对传感器、信号电缆测试，正常后方可进行现场安装。

6.4.2 土压力计埋设与安装应符合下列规定：

- 1 应采用分散埋设方式，测点最小间距不应小于土压力计直径的 3 倍；
- 2 采用土压力计监测岩土体压力时，土压力计等应水平安装在崩塌底部，并采用混凝土等刚性结构与崩塌底座稳定岩土体连接，安装方法可参考图 6.4.2；
- 3 埋设高程偏差不应大于 50mm；
- 4 有埋设方向要求的土压力计，安装角度偏差不应大于 2° 。

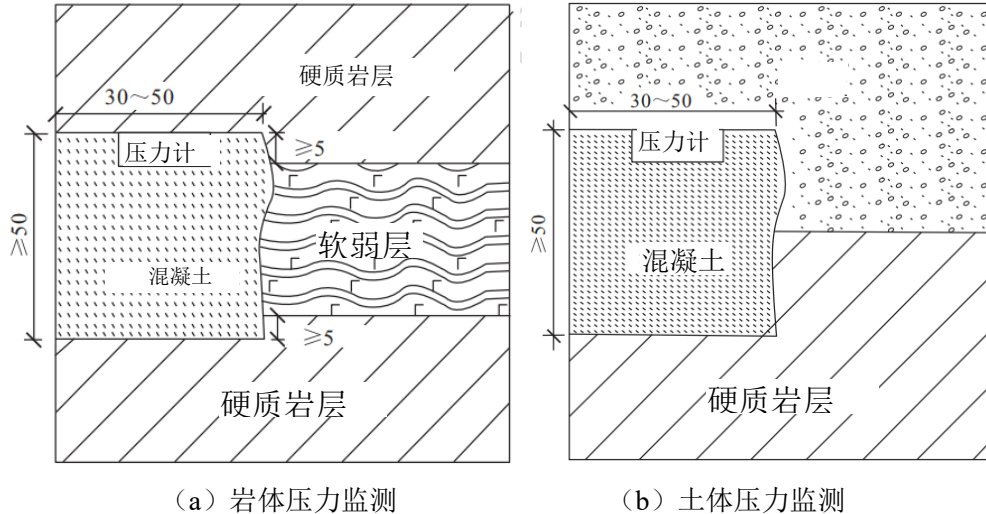


图 6.4.2 压力监测点安装示意图（单位：cm）

6.4.3 应变计安装应符合下列规定：

- 1 应变计组宜采用硬质联杆串接后埋入监测孔内相应的监测层位；
- 2 采用焊接方法固定的钢结构应变计，应在焊接部位冷却至常温后安装应变计；
- 3 应变计安装层位或位置偏差不应大于 50mm；

4 应变计与应变计组的安装角度偏差不应大于 1° 。

6.4.4 钢筋应力计安装应符合下列规定：

- 1 宜安装于钢筋应力变化明显的部位，同一钢筋上安装间距不宜小于 1m；
- 2 安装高程偏差不应大于 100mm，平面位置偏差不应大于 50mm，角度偏差不应大于 1° ；
- 3 连接杆与钢筋对正错位偏差不应大于 1mm。

6.4.5 锚索（杆）测力计安装应符合下列规定：

- 1 承载面应与受力索（杆）轴线垂直；
- 2 承载面与锚索（杆）垂直度偏不应大于 0.5° ；
- 3 承载孔与锚索（杆）同心度偏差不应大于 5mm。

6.4.6 光纤光栅传感器安装应符合下列规定：

- 1 光纤光栅土压力传感器可采用预埋模盒或开槽安装，模盒、坑槽尺寸应为光纤光栅土压力传感器直径尺寸的 1.1 倍；
- 2 光纤光栅应变传感器宜采用表贴法安装，安装方向应与预判应变走向垂直；
- 3 传输光纤续接时，光纤接头应相互匹配，每单点接头的续接损耗应小于 0.5dB，接头保护后抗拉强度不小于 100N。内埋引线光缆应全程套管保护，过弯半径应大于 50mm。

7 其他监测

7.1 一般规定

7.1.1 危岩崩塌自动化监测内容除位移、应力外，宜根据危岩加固防护措施、地区气候特征、地质条件、工程扰动、设计施工要求等进行降雨、崩塌落石、防护网监测。

7.1.2 崩塌落石宜采用图像与视频、雷达系统进行综合监测。

7.1.3 降雨监测内容应包括降雨量、降雨强度、降雨频率、降雨时长等。

7.1.4 被动防护网监测宜包括应变和振动监测。

7.1.5 图像、视频及雷达监测应根据危岩加固处治施工和运营管理要求等综合确定，应能提供可视化视频监测图像、影像数据和滚石信息。

7.1.6 图像与视频监测系统兼容性应满足设备互换性要求。

7.1.7 危岩崩塌监测以预警为目的时，不宜单独使用图像与视频监测或雷达监测，应综合或结合其他手段进行监测。

7.2 监测方法与仪器设备

7.2.1 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。

7.2.2 雷达监测可采用便携式监测雷达和固定式监测雷达，应根据监测周期、现场条件进行综合选取。

7.2.3 被动防护网监测宜采用应变计和振动传感器。

7.2.4 降雨量监测宜采用翻斗式、压电式等雨量传感器。

7.2.5 被动防护网、降雨量监测设备可根据监测目的、现场条件，工程设计需求综合确定和调整监测方法与仪器设备。

7.3 设备选型

7.3.1 危岩图像与视频监测的网络摄像机应监视目标的环境照度、安装条件、数据传输需求等进行选型，并符合下列规定：

- 1 应具备夜间红外补光功能；
- 2 变焦镜头应选用具有自动光圈、自动聚焦功能；

3 变焦镜头的变焦和聚焦响应速度应与崩塌落石的活动速度、云台的移动速度相适应；

4 摄像机的自动光圈调节应具备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。

7.3.2 图像与视频监控图像质量应符合下列规定：

1 标清图像分辨率应大于或等于 704×576 ，高清图像分辨率不应低于 1920×1080 ；

2 彩色模式最低照度应小于或等于 0.1 照度，黑白模式最低照度小于或等于 0.01 照度。

7.3.3 图像与视频监测系统存储设备应符合下列规定：

1 应支持于 MPEG-4、H.264、H.265 等主流编码格式；

2 应支持 iSCSI、CIFS、NFS、FTP、HTTP、AFP、RSYNC 等主流存储协议；

3 视频信息资料保存时间不应小于 30 天。

7.3.4 雷达监测系统应根据危岩区域大小、安装距离综合选型，并符合以下规定：

1 监测作用距离应大于 500 米，监测范围应覆盖整个危岩崩塌落石滚落区域；

2 危岩有效监测直径应小于 0.5 米；

3 危岩滚落速度监测范围应满足 $0 \sim 20\text{m/s}$ ；

4 同时跟踪危岩落石数量宜大于 20 个。

7.3.5 危岩图像与视频监测系统、雷达监测系统的供电、防雷应符合下列规定：

1 设备宜采用交流供电或直流供电，采用直流供电时，宜采用 12V 或 24V，蓄电池容量不低于 100AH；

2 应设置防止地电位不等引起图像干扰的隔离措施；

3 系统应有防雷击措施，设备连接电缆宜采取防雷措施，宜设置电源与信号避雷装置。

7.3.6 采用应变计进行被动防护网监测时，应变计应满足本标准 6.3.3 要求。采用振动传感器监测被动防护网加速度、位移时，其采样频率不低于 1000Hz，频率范围宜为 10Hz~5000Hz。

7.3.7 降雨量监测设备测量范围宜为 0~4mm/min，传感器精度不宜低于±0.5mm，分辨率不宜低于 0.1mm。

7.4 设备安装

7.4.1 崩塌落石监测系统设备安装位置选择应符合下列规定：

- 1 设备安装位置在危岩崩塌影响范围以外，空旷、平坦且风力影响小的区域；
- 2 安装位置应避开高压电线、电缆；
- 3 视频摄像头、雷达照射方向应与危岩体走向垂直布设，监控范围应覆盖整个危岩体；
- 4 若单一设备无法覆盖危岩崩塌监测范围时，应增加监控设备数量。

7.4.2 摄像机及雷达安装应符合下列规定：

- 1 宜采用立杆、水平支架等安装方式；
- 2 立杆与支架宜选用镀锌不锈钢管，立杆管径不应小于 140mm，监测设备离地高度不宜小于 3m；
- 3 摄像机镜头应避免强光直射，设备进线孔应采用防止水和水蒸气渗入的防水胶或热熔胶密封。

7.4.3 立杆应采用钢筋混凝土基础、预埋箱、地插胀杆等安装方式，基础混凝土强度等级不低于 C20，地脚连接螺栓钢筋直径不小于 16mm。

7.4.4 视频监测系统摄像机、雷达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。

7.4.5 防护网应变计在安装前应对安装表面进行清理，确保表面干净、干燥、平整。

7.4.6 防护网应变计应安装在防护网的应力集中区域或潜在风险区域，如节点区域、网格区域、连接部位、支撑结构等。

7.4.7 在防护网应变计安装完成后，应对线路连接、测量范围、输出信号进行调试和测试。

7.4.8 防护网振动监测传感器应选择在防护网的关键部位或易发生振动的位置进行安装，具备振动触发预警功能。

7.4.9 雨量计位置应避开强风区、周围应空旷，不受突变地形、树木及其他

建筑物的影响。雨量计应设置在危岩所在地雨期盛行风向的障碍物的侧风区，安装位置至周围障碍物边缘的距离应大于障碍物高度 1.5 倍。

7.4.10 雨量计宜采用立杆式安装，在多风的高山、出山口地区的雨量计，不宜采用立杆式安装，可采用固定水泥墩式安装，安装完毕后需进行现场调试和注水试验。

7.4.11 雨量计安装高度宜为 2.5~3.0m，雨量计承雨器口在水平状态下至观测场地面的高度应为 0.7m，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。

征求意见稿

8 数据采集与分析

8.1 一般规定

8.1.1 系统应具备丢包重传、数据完整性校验等数据传输可靠性保障功能。

8.1.2 系统应具有兼容性和可拓展性。

8.1.3 系统宜采用一体化设备或多个设备组合，基于 HTTP、MQTT、COAP 等协议传输监测数据。

8.1.4 数据采集应具有危岩受地震、滑坡、泥石流或周边工程扰动时自动提高监测数据采集频率功能。

8.1.5 系统的软硬件应与传感器数据采集与传输功能匹配。

8.1.6 系统应采用松耦合、标准化、高复用的分布式弹性架构，宜采用分布式、流数据处理技术等进行数据资源管理和数据挖掘分析。

8.1.7 数据采集设备应根据公路危岩特点及监测需求，采用适宜的数据采集架构、设备接口等方案。

8.1.8 系统应采用开放式数据接口，并兼顾数据结构化、安全性、可扩展性和便捷性。

8.1.9 系统应具备数据校验、预处理功能。

8.1.10 系统宜具备监测数据报告生成功能。

8.2 数据采集与传输

8.2.1 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。

8.2.2 数据采集与传输应采用一体化、现场组网等数据采集与汇聚方式，监测点分布较分散时宜采用一体化采集与汇聚方式，监测点分布较集中时宜选用现场组网采集与汇聚方式，或采用二者相结合方式。

8.2.3 一体化采集与汇聚应采用高度集成化方式构成一体化采集传输设备，通过单个设备实现数据感知与转换、采集与汇聚以及远程传输功能，并符合下列规定：

- 1 应具备感知传感、感知数据转换、通信和供电与低功耗管理等核心功能；

2 工作温度范围应为-20℃~+85℃；

3 防护等级不应小于 IP67；

4 应采用低功耗设计，蓄电池供电连续工作时间不少于 1 年。

8.2.4 现场组网采集与汇聚系统应包含数据感知与转换、数据采集传输和远程数据通信等设备，并符合下列规定：

1 组网可采用有线网、窄带无线自组网和宽带无线自组网等方式；

2 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。

8.2.5 有线网络现场组网应符合下列规定：

1 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布设；

3 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。

8.2.6 窄带无线自组网应符合下列规定：

1 数据传输应采用星形组网、多跳组网等数据传输方式；

2 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 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。

8.2.7 宽带无线自组网应符合下列规定：

1 应工作在 2.4G/5.8GHz 频段；

2 连接应支持全向或定向天线；

3 节点应支持独立智能跳频，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；

4 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。

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

8.2.9 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。

8.2.10 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智能调节数据上传频率等参数。

8.2.11 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系统进行监测仪器设备远程管理和固件升级。

8.2.12 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。

8.2.13 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，无移动通讯的地区可采用卫星通信或其他自建数据传输系统。

8.2.14 采用移动通信网络构成的设备或系统应符合下列规定：

1 移动通信网络构成的设备宜采用贴片 SIM 卡及自动 PIN 码加密管理，保障设备用卡和网络接入安全性；

2 移动通信网络构成的设备宜采用双卡单待及多运营商可自动切换管理，保障设备在野外及紧急情况下通信能力。

8.2.15 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。

8.2.16 远程数据传输设备应支持物联网平台的接入，通过 HTTP、MQTT、COAP 等数据协议与监测系统进行数据交互和远程管理。

8.2.17 远程数据传输设备应支持远程固件升级功能。

8.2.18 远程数据传输设备宜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。

8.2.19 远程数据传输设备宜具备系统电压、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。

8.2.20 远程数据传输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。

8.3 数据分析

8.3.1 数据分析系统应具备数据预处理和后处理能力，预处理功能应具备监测数据的去噪、滤波、异常剔除等能力，后处理功能宜具备监测数据的分析、预测、校准、输出等能力。

8.3.2 数据分析系统包括危岩位移量、位移速率、应力、应变变化等，生成位移时程曲线、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 应力应变监测数据分析应包含应力应变历时曲线图等；
 - 3 降雨量监测数据分析应包含降水量历时曲线图等。

8.3.3 数据分析系统应符合下列规定：

- 1 实时分析位移量、位移速率等监测数据；
- 2 结合基础资料和监测数据实时分析结果进行综合分析，判断危岩变形区域、位移方向、变形阶段等，预测危岩稳定性发展趋势。

8.3.4 数据分析系统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危岩监测数据预测模型，判断监测数据变化趋势。

8.4 预警

8.4.1 预警系统应包含现场声光预警和信息推送预警。现场声光预警应安装在工程现场，通过监控系统触发现场声光预警。信息推送预警应通过消息通知、短信等方式将预警信息报送至相关人员。

8.4.2 预警系统应根据监测数据及变化情况、危岩稳定状态、危岩变形破坏特征的发展程度，将危岩稳定性状态监测预警分为蓝色、黄色、橙色和红色四级，红色为最高级别。

8.4.3 危岩稳定性预警分级阈值应根据危岩工点具体情况，通过监测数据变化量、累计变化量或变化速率确定。

8.4.4 预警信息发送应包含预警级别、预警传感器类型及位置、当前监测值、预警阈值等。

8.4.5 橙色与红色预警信息应通过自动语音电话、短信等方式将预警信息报送至相关人员，蓝色与黄色预警信息可通过短信、APP 通知等方式将预警信息报送至相关人员。

8.4.6 预警级别应根据监测数据分析结果动态调整，监测数据分析显示危岩变形趋于平稳，无新增明显变形迹象，或处治后变形趋于平稳状态时，应及时调整预警级别，预警级别调整信息应通过短信、APP 通知等方式将预警信息报送给相关人员。

9 监测报告

9.0.1 监测过程中应及时采集、记录、分析整理监测数据，针对不同监测阶段和监测目的，分别编制并提交监测报告。监测报告可分为监测简报、阶段报告、预警专报和监测工作总结报告。

9.0.2 在每个监测工作周期结束前，应编制并提交本阶段监测报告，监测阶段报告可分为月报、季报、年报。

9.0.23 监测期间出现临灾险情、应急处置或遇突发极端条件时，应编制并提交监测简报。监测简报应以日报和周报为主。

9.0.4 当监测期间出现变形达到不同等级的预警控制值时，应及时编制并提交预警专报。预警专报应根据不同的预警等级分别报送。

9.0.5 公路危岩崩塌监测工作结束后，应编制并提交监测工作总结报告。

9.0.6 监测报告应采用文字、图表、变形历时曲线等形式表达，直观反映公路危岩体变形规律及发展趋势预测。

9.5.2 监测总报告应包括工程概况、监测工作概述、监测方案、监测指标、监测数据分析、监测结论、后期工作建议等内容。

本标准用词用语说明

1 本标准执行严格程度的用词，采用下列写法：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词，正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词，正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词，正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 引用标准的用语采用下列写法：

1) 在标准总则中表述与相关标准的关系时，采用“除应符合本标准的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定”。

2) 在标准条文及其他规定中，当引用的标准为国家标准和行业标准时，表述为“应符合《××××××》(×××)的有关规定”。

3) 当引用本标准中的其他规定时，表述为“应符合本规程第×章的有关规定”、“应符合本标准第×.×节的有关规定”、“应符合本标准第×.×.×条的有关规定”或“应按本标准第×.×.×条的有关规定执行”。