

## 地质灾害监测

—— 滑坡·崩塌·泥石流·地裂缝·地面塌陷



网 址： [www.smartbow.net](http://www.smartbow.net)

产品专线： 400-6266-208

邮 箱： [contact@smartbow.net](mailto:contact@smartbow.net)

中国·北京

北京市海淀区西小口路 18 号新华创新大厦 3 层

电话： 010-53520959

中国·西安

陕西西安市高新区科技二路清华科技园 G 座 704

电话： 029-88215298

中国·无锡

江苏省无锡市滨湖区建筑西路 777 号 A3 号楼 4 层

电话： 0510-81801997





## 全球最值得信赖的基础设施 安全运营服务商



## 以智能感知赋能基础设施安全运营

北京源清慧虹信息科技有限公司成立于2013年，专注于基础设施安全监测领域，是拥有自主可控核心技术的国家级高新技术企业。依托清华大学电子系团队在10余年内完成的多项国家自然科学基金、863计划和科技部重大专项等关键技术成果，在清华控股多个基金及国家财政部中小企业创新基金的支持下快速发展。

源清慧虹目前拥有相关自主知识产权70余项，掌握无线传感器网络、云服务、可视化等核心技术，提供包含先进智能传感器、行业级云服务在内的基础设施监测整体解决方案，整体技术走在了全球领先行列。已经广泛应用于交通、市政、轨道、电力、水利等行业数百个项目，成功斩获教育部科学技术一等奖、中国公路学会一等奖、纽伦堡国际发明展金奖、国家发明协会“发明创业奖·项目奖”金奖等荣誉，并入选交通运输部科技司2020年度交通运输重大科技创新成果库（科技成果推广项目），被列为住建部科技示范工程项目。





# 目录

## CONTENTS

- 01 ● 一、地质灾害概述
- 04 ● 二、系统架构优势
- 08 ● 三、多种类型地质灾害的监测
- 08 ○ 滑坡
- 11 ○ 崩塌
- 12 ○ 泥石流
- 13 ○ 地裂缝
- 14 ○ 地面塌陷
- 14 ○ 地面沉降
- 15 ● 四、数据云服务

## 一、地质灾害概述

我国地质环境多样，灾害频发且复杂，其类型主要包括崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷、地面沉降、地裂缝等，以地质动力活动或地质环境异常变化为主要成因，具备自然演化和人为诱发的双重性。

显著的地貌差异、复杂的地质环境和频繁的危害性天气，使我国成为世界上地质灾害发生广泛、致灾严重的国家之一，各种类型的地质灾害，每年给人民的生命及财产安全带来极大威胁，防范形势十分严峻。同时，以人工巡查、观测为主的传统监测手段，难以及时发现灾害症候，缺乏早期预警能力，因此应用现代信息化、智能化技术，建立起智能化的地质灾害监测网络是预防地质灾害、减少地质灾害损失的必要措施和有效手段。



体积小、重量轻 IP68 4G 超低功耗 沉降监测 地质灾害 泥石流  
自主知识产权 物联网 10微秒级时间同步 世界先进水平  
总线环网 AIoT 智能前端算法 无线 崩塌、滑坡 5G 地裂缝  
铁路边坡 按需配置 公路边坡 快速安装 灵活组网



类别	灾情		险情	
	死亡人数 n/人	直接经济损失 S/万元	直接威胁人数 n/人	潜在经济损失 S/万元
特大型	n≥30	S≥1000	n≥1000	S≥10000
大型	10≤n<30	500≤n<1000	500≤n<1000	5000≤n<10000
中型	3≤n<10	100≤S<500	100≤n<500	500≤S<5000
小型	n<3	S<100	n<100	S<500

注1: 灾情: 指已发生的地质灾害, 采用“因灾死亡人数”和“直接经济损失”指标评价  
 注2: 险情: 指可能发生的地质灾害, 采用“直接威胁人数”“潜在经济损失”指标评价  
 注3: 根据《地质灾害危险性评估规范》T/CAGHP 001—2018和国务院《地质灾害防治条例》

自动化、智能化的地质灾害监测系统, 应以隐患识别和风险评估为重点, 以实施地灾风险管控、减轻灾害风险为目标, 充分利用先进适用技术手段和高精度定位服务网、数字高程模型等地理信息资源, 开展普适型预警监测站建设。

北京源清慧虹信息科技有限公司历经20余年技术沉淀, 利用具有自主知识产权的超低功耗无线传感网和智能前端算法技术, 并可结合5G和窄带物联网(NB-IoT), 依托历经上百个项目实际考验的云服务系统, 为您提供从基础数据采集、传输、计算、可视化展示到监控和预警的完整的智能化地质灾害监测解决方案。

**行业应用**

- 公路铁路边坡监测
- 水库库区边坡监测
- 自然地灾

**数据管理&分析**

- 业务中台
- 数据中台
- 数据管理: 质量、安全、模型、资产、储存
- 数据分析: 专用算法、模型、流计算、并行计算
- 数据可视化: BIM、GIS

**数据传输**

- 无线协议栈
- 时间同步
- 多协议支持
- 加密传输
- 低功耗
- 海量连接
- 窄带
- 无线
- LoRa
- NB-IoT
- B-Stack

**数据采集**

- 智能传感
- 低功耗
- 智能传感器: 时序监测数据采集
- 智能传感网: 状态信息采集
- 智能巡检终端: 非结构化数据采集

## 二、系统架构优势

### 1 高性价比的低功耗智能无线传感网

采用自备电池供电、无线通信、超高防护等级（IP67及以上），依托独有的低功耗技术可实现8~12年免维运行。采用该技术综合运维成本降低50%以上，建设时间减少70%，传感器寿命延长200%-300%。

### 2 独具特色的触发联动采样功能

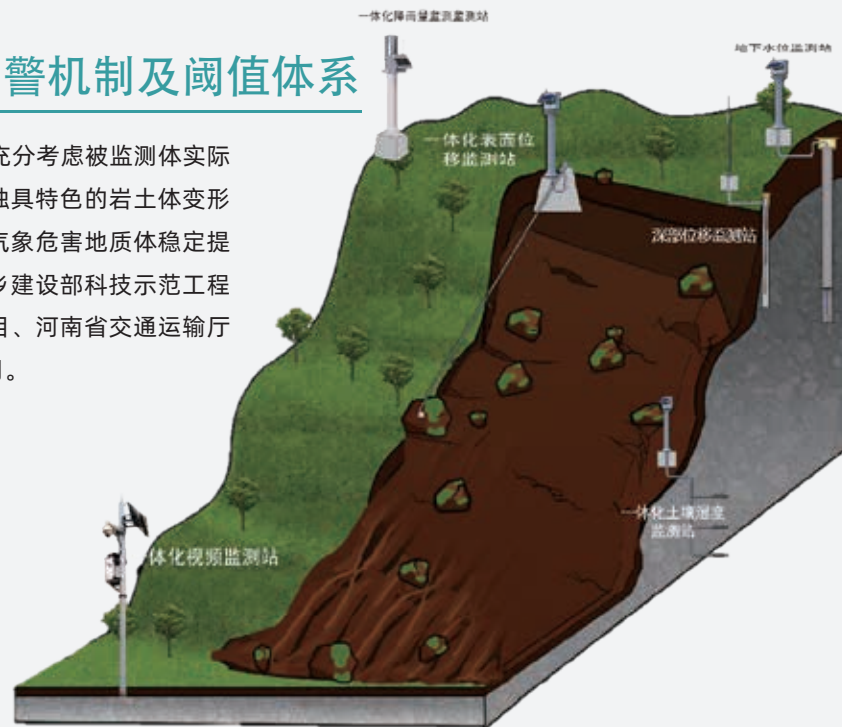
设备支持触发联动采样与变频采样功能，能够同时兼顾正常状态下设备的极低功耗运行与异常状态下设备的连续高频工作，在低功耗的基础上实现对关键事件的精确捕捉，充分发挥低功耗与无线传输的技术优势。

### 2 功能强大的可视化云端平台

平台依托独具的轻量化BIM+GIS引擎，以多种形式对监测数据进行展示，并有机融合可视化的数据分析工具（包括但不限于数据清洗、效应分离、频谱分析、相关性分析），能够极大地减轻数据分析工作的压力，让系统使用者能够运用强大的工具对监测数据进行深入挖掘，从中获取有价值的信息，便于业主单位或代维单位通过GIS地图实现区域地灾的“一张图”式管理。

### 4 合理可行的预警机制及阈值体系

依托10年专业监测经验及海量数据，充分考虑被监测体实际状态与设计蓝图的客观差异，形成了独具特色的岩土体变形预警阈值评测体系，为有效预防极端气象危害地质体稳定提供了有效支撑。该技术先后在住房城乡建设部科技示范工程项目、江苏省交通运输厅科技计划项目、河南省交通运输厅科技计划项目等多个项目取得成功应用。



### 5 专业的数据分析与结构分析

系统具备异常数据自动识别与清洗、动态数据的长期效应剥离、数据相关性分析等功能。能够快速从云平台调用数据，从影响地质体稳定的外在因素和自身效应两个方面自动开展分析。同时开发了独具的异常事件（短时强降雨、冻融、地震）评测功能，通过地质体的真实动力响应+事件前后监测数据统计特征量、变化趋势等多方面多维度进行分析评测。

### 6 智能自动化报告报表系统

针对传统地灾项目监测报告编制困难，耗费人力巨大的问题，研发智能自动化报告报表系统，通过内置的模板及丰富的数据分析工具、可视化图形工具，自动提取指定时间段的监测数据，快速生成形式丰富的报告报表。大幅减轻运维工作负担，提升分析能力与报告报表标准化、专业化水平。

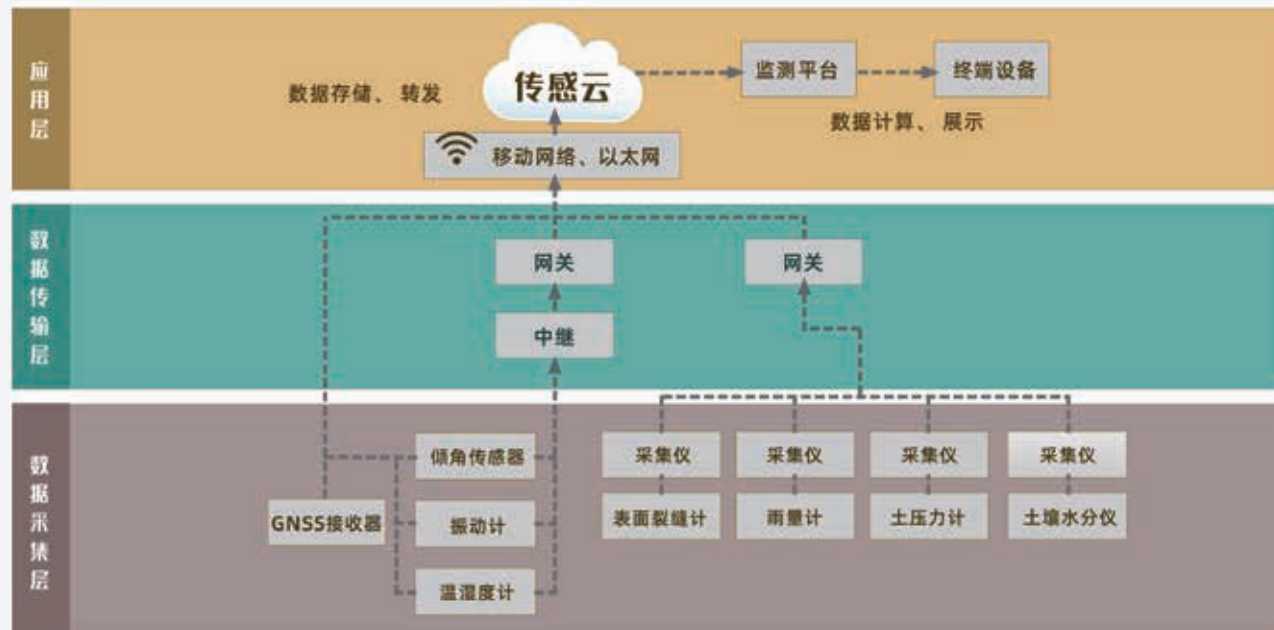
### 7 监测与人工巡定检智慧融合

系统将物联网自动监测与人工地质巡查有机融合，共同为地质安全服务。提供地灾隐患点档案管理、系统预警、定期评估、应急评估等功能模块，通过与管理养护单位地质工程师的联动，在监测趋势分析、数据与巡定检信息融合、隐患溯源、突发预警方面形成对地质体状况有效、快捷、灵活的信息交互机制，进而指导疏导、治理决策。

### 8 独具特色的“面域”地灾监测雷达

基于太赫兹解决方案，独立研发了全球首款针对地灾场景的低频低功耗、内置电源长周期免维的面域监控毫米波雷达。该产品可有效取代当前地灾监测中的传统传感器（拉线式位移计、GNSS），将传统的特征点单点位移量监测转变为多点面域监测。由一个或多个雷达组合形成监控面域，相对于传统的监测设备形成显著的升维优势。具备极为广泛的应用场景和可观的性价比优势。





自动化边坡安全监测系统架构图



贵州省地质灾害试点工程（安顺市猫洞乡）



贵州省地质灾害试点工程



四川长河坝水电站边坡



四川长河坝水电站边坡



四川长河坝水电站边坡项目



广东连州国道及农村公路沿线地质灾害风险隐患监测



两河口水电站边坡监测（边坡锚索测力监测）



两河口水电站边坡监测



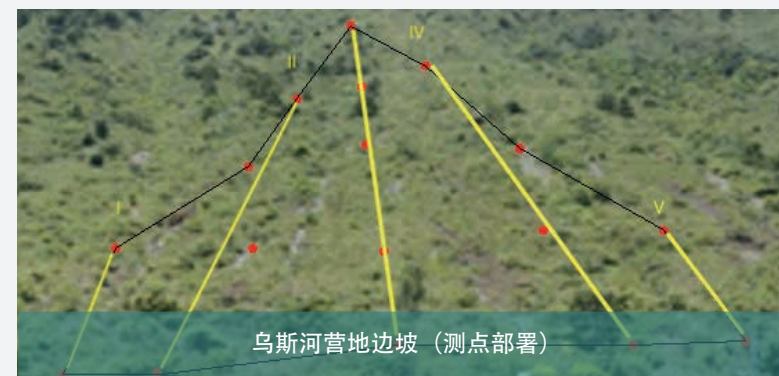
两河口水电站边坡监测



国道及农村公路沿线地质灾害监测



乌斯河营地边坡



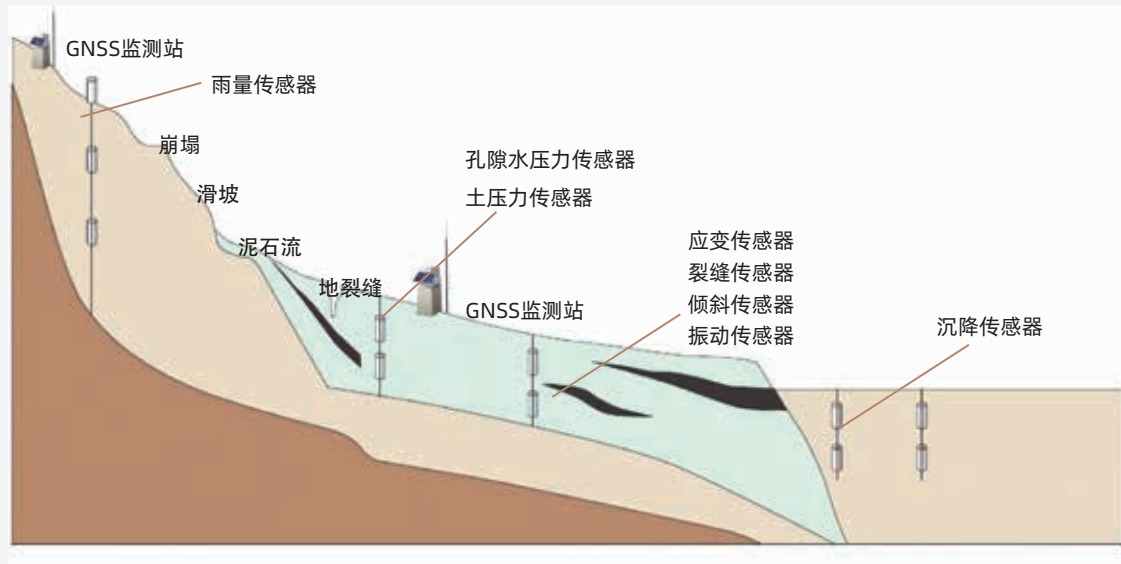
乌斯河营地边坡（测点部署）



乌斯河营地边坡



### 三、多种类型地质灾害的监测



#### 滑坡

公路/铁路沿线、水库库区两岸和城镇建设区周边分布有大量的边坡，是滑坡的潜在高发区。一旦发生灾害，会对社会生产生活造成严重破坏。这些地质灾害前兆不明显、突发性强，如遇降雨、地质条件等不利组合，易出现群发性灾害。

一般边坡发生滑坡灾害前，会有明显前兆，边坡变形就是最突出、最直接、最容易捕捉到的特征，所以边坡变形监测是进行滑坡预报的可靠办法之一。

基于3D-GIS+BIM的智慧边坡系统，从宏观和微观、时间和空间等多个维度进行智能化综合监测。通过运用超低

功耗物联网、北斗/GPS、无线传输等技术实现边坡的变形、受力、挡土墙的变形、土压力和孔隙水压力等的自动监测，实时采集边坡变形趋势和水文地质等监测数据，评价边坡（设计和施工）的稳定性，并预测边坡灾害的发生；根据地质资料和边坡发展趋势，改进边坡支护方案；能更有针对性地完善边坡治理措施，制定相应的防灾避灾对策；为数值模拟反演提供参数和依据，与数值模拟结果相互验证，从而更准确地判断整体边坡的稳定情况。

### 测点部署方案

为避免边坡工程在施工开挖时期发生安全事故，采取以下监测部署方案。

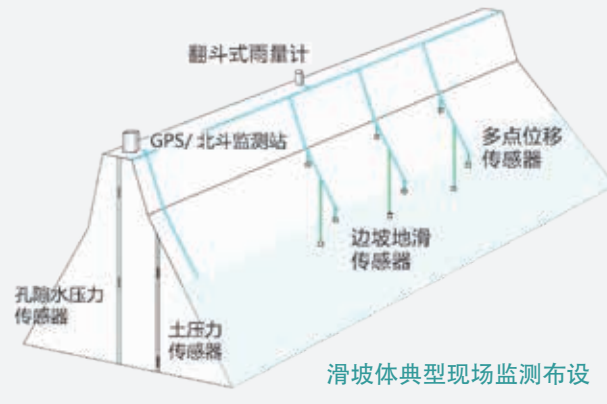
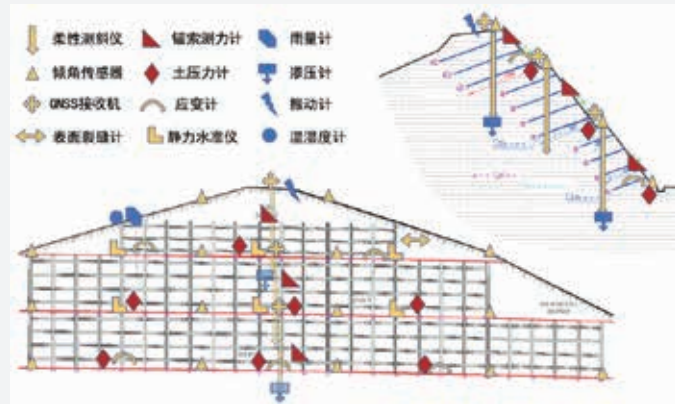
监测项目	传感器	部署方案（在开挖前部署）
降水量	雨量计	在空旷、背风处部署，多个边坡距离较近时可共用
坡面倾角	倾角传感器	沿开挖红线部署，距红线0.5~1m，每个间隔5~20m
内部位移	柔性测斜仪	在主要监测剖面顶部红线处钻孔部署，钻孔深度视边坡实际情况而定
地下水位	渗压计	开挖红线钻孔，分散分布，部署个数和钻孔深度视具体情况而定
裂缝	表面裂缝计	随施工进度，在产生变形裂缝处部署
温湿度	温湿度计	非封闭条件下避光部署

边坡工程施工期安全监测测点部署方案

为避免边坡工程在运营期中发生滑坡灾害而导致周边或过往的人员生命财产损失，采取以下监测部署方案。

监测项目	传感器	部署方案
内部位移	柔性测斜仪	沿主要监测纵剖面线性间隔部署，测点个数和钻孔深度视边坡实际情况而定
坡面倾角	倾角传感器	高边坡网格化部署，低边坡层状部署，横向纵向间隔5~20m布设
表面位移	GNSS接收机	沿主要监测纵剖面线性间隔部署，测点个数视边坡实际情况而定
	静力水准计	沿横断面部署，布设间隔5~20m，基准点设于GNSS位移观测墩上
地表裂缝	表面裂缝计	边坡表面和加固结构上的变形裂缝处部署
结构变形	应变计	支护结构上关键位置部署
边坡应力	土压力计	底层坡脚处和主要监测断面上的坡脚处的支护结构内部部署，具体个数视情况而定
锚杆（索）应力	锚索测力计	支护结构锚杆（索）上部部署
温湿度	温湿度计	非封闭条件下避光部署
降水量	雨量计	在空旷、背风处部署，多个距离较近的边坡可共用
地震	振动计	坡顶匀质土体上部部署
地下水位	渗压计	分散部署，钻孔至边坡底部，可在柔性测斜仪最底端部署

边坡工程运营期安全监测测点部署方案



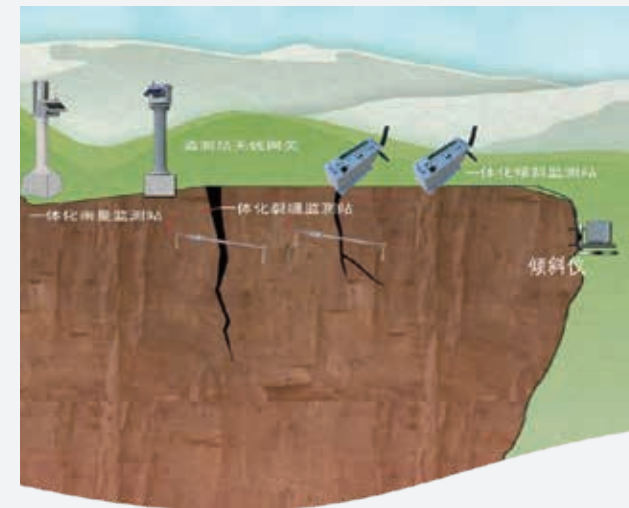
滑坡体典型现场监测布设

### 监测频率设定

项目类型	监测项目	传感器	采样间隔
必测项目	降水量	雨量计	2h
	坡面倾角	倾角传感器	施工时 10min
	内部位移	柔性测斜仪	2h
选测项目	地下水位	渗压计	2h
	裂缝	表面裂缝计	施工时10min
	温湿度	温湿度计	2h
变形监测	内部位移	柔性测斜仪	2h
	坡面倾角	倾角传感器	2h (异常情况10min)
	表面位移	GNSS接收机	1h
		静力水准计	2h
	地表裂缝	表面裂缝计	2h
结构变形	应变计	2h	
应力应变监测	边坡应力	土压力计	2h
	锚杆(索)应力	锚索测力计	2h
环境水文	温湿度	温湿度计	2h
	降水量	雨量计	触发采样
	地震	振动计	触发采样
	地下水位	渗压计	2h

### 崩塌

综合运用无线传感网、全球卫星定位系统(GNSS)、云计算等技术,对变形监测(地表变形、裂缝监测)、应力监测、降雨量监测等内容,对孕育危岩体的陡崖带开展地质巡查,并将数据采集、传输、展示等融合为一整套信息化系统,提供全方位的监测解决方案,实现对危岩(带)监测指标的实时采集、实时传输、实时预警。



崩塌现场监测布设

监测内容		监测等级			
		一级	二级	三级	四级
变形监测	地表绝对位移	●	●	○	○
	裂缝相对位移	●	●	●	●
	地面倾斜	●	○	○	
	建筑物变形	○	○	○	○
应力监测	岩土体应力	●	○		
	防治工程受力	○	○		
影响因素监测	降水量	○	○		
	地下水位	○	○		

倾倒式崩塌监测内容

注: ●表示宜选; ○表示可选 T/CAGHP 007-2018《崩塌监测规范(试行)》

监测内容		监测等级			
		一级	二级	三级	四级
变形监测	地表绝对位移	●	●	○	
	裂缝相对位移	●	○	●	
	地面倾斜	●	●	●	●
	建筑物变形	○	○	○	○
应力监测	岩土体应力	○			
	防治工程受力	○	○		
影响因素监测	降水量	●	○		
	地下水位	●	○		

滑移式、膨胀式崩塌监测内容

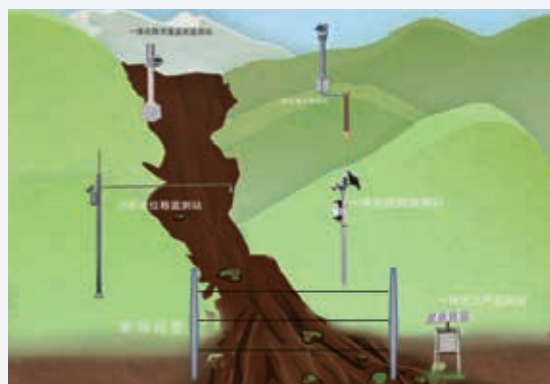
监测内容		监测等级			
		一级	二级	三级	四级
变形监测	地表绝对位移	●	●	○	
	裂缝相对位移	●	●	●	●
	地面倾斜	○	○		
	建筑物变形	○	○	○	○
应力监测	岩土体应力	○			
	防治工程受力	○	○		
影响因素监测	降水量	○	○		
	地下水位	○			

拉裂式、错断式崩塌监测内容



监测内容		宜采用的监测方法	各监测等级精度要求			
			一级	二级	三级	四级
变形监测	地表绝对位移	全站仪法	3mm	5mm	10mm	—
		卫星定位法	水平方向3mm 垂直方向6mm	水平方向5mm 垂直方向10mm	水平方向10mm 垂直方向20mm	—
	深部位移	钻孔测斜法	0.2mm/m	0.3mm/m	0.5mm/m	—
	裂缝相对位移	位移计法	0.1mm	0.5mm	1mm	1mm
		简易观测法	1mm	1mm	2mm	2mm
地面倾斜	地面测斜法	0.1°	0.5°	1.0°	—	
应力监测	岩土体应力	应力计法	5kPa	10kPa	—	—
	防治工程受力	压力计法、锚索测力法	5kPa	10kPa	—	—
影响因素监测	降水量	雨量计法	0.2mm	0.5mm	—	—
	地下水位	水位计法	10mm	20mm	—	—
	开挖、爆破等工程活动	巡视检查并记录				

## 泥石流



泥石流是斜坡上或沟谷中含有大量泥沙、石块的固液相混合的特殊洪流，是地质条件不良的山区常见的地质灾害现象，它常在暴雨（或融雪、冰川、水体溃决）激发下产生。泥石流具有暴发突然、来势凶猛、运动快速、能量巨大、破坏性大和过程短暂等特点。

泥石流监测预警系统主要通过野外监测站对降雨量、土壤含水率、流速、泥水位、泥石流断线等要素进行实时监测，为防灾减灾提供实时信息服务。

通过无线传感器网络对泥石流进行监测不仅可以在恶劣野外环境中进行长期连续测量，不需要派遣大量的值守人员，同时数据采集量大且部署方便。通过利用多种不同的测量传感器，采集土壤质地、含水量、植被覆盖度、地层岩性和边坡坡度等监测指标数据，经前端处理后，传输至数据云平台，最大程度保障人员财产安全。

## 地裂缝

通过水准测量、三维变形测量仪测量、全球卫星定位系统（GNSS）测量等测量方法，对因自然或人为因素作用下产生的地表岩土裂缝活动变化情况，进行实时测量，监测、记录、分析和预警，从而获取地裂缝活动变形造成的地面及建（构）筑物变形量，为预警、防治决策和科学研究提供基础数据。



监测内容		监测等级		
		一级	二级	三级
变形监测	裂缝相对位移	●	●	●
	建筑物变形	●	○	○
	地面沉降监测	●	●	●
影响因素监测	降雨量	●	○	○

地裂缝规模分级标准

规模等级	巨型	大型	中型	小型
累计长度L/m	L≥10000	1000≤L<10000	100≤L<1000	L<100
影响范围A/km <sup>2</sup>	A≥10	5≤A<10	1≤A<5	A<1

### 监测指标

地面变形监测	地裂缝影响带宽度	地裂缝两盘的垂直活动量	水平拉张活动量	水平扭动活动量
建筑物变形监测	裂缝两侧水平拉张 水平扭动或垂直活动量			
地下水动态监测	地下水位、水量、水质、水温			

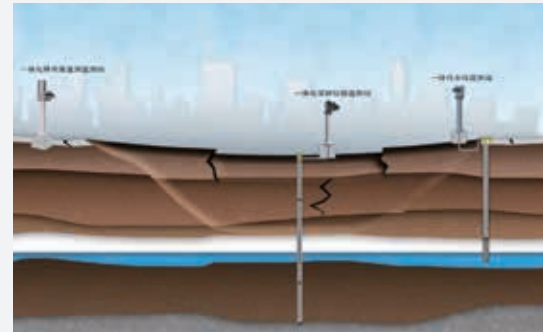
### 地裂缝现场监测布设

注：●表示宜选；○表示可选 T/CAGHP 007-2018《崩塌监测规范（试行）》

## 地面塌陷

根据采空或岩溶塌陷区的地质环境特征、岩土体变形特征、建（构）筑物变形特征以及监测目的等因素，地面塌陷监测宜采用专用技术监测和简易监测相结合的方式。

地面塌陷应监测垂直位移、水平位移、建（构）筑物倾斜、裂缝张合，必要时可监测地下水水位、降水量和土壤含水率等。



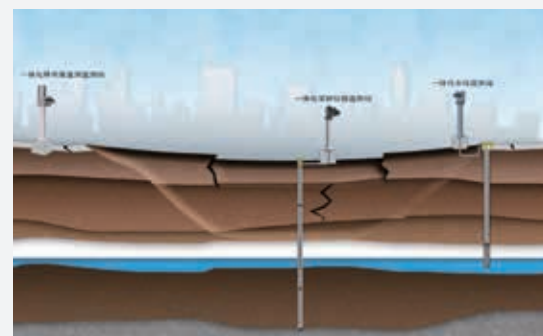
监测内容		监测等级			监测项目	监测方法
		一级	二级	三级		
变形监测	裂缝相对位移	●	●	●	垂直位移	水准测量法、三角高程测量法、CR-InSAR等
	建筑物变形	○	○	○	水平位移	大地测量法、GNSS等
	地面沉降监测	●	●	●	建筑物倾斜	经纬仪投点法、差异沉降法、激光准直法等
影响因素监测	降雨量	●	○	○	裂缝	精密测距仪、伸缩仪、测缝计、位移计、简易监测等
	地下水水位	●	●	○	地下水水位	水位计
	土壤含水率	●	●	○	降雨量	雨量计
					土壤含水率	土壤含水率监测仪

注：●表示宜选；○表示可选  
T/CAGHP 007-2018《崩塌监测规范（试行）》

## 地面沉降

根据采空或岩溶塌陷区的地质环境特征、岩土体变形特征、建（构）筑物变形特征以及监测目的等因素，地面塌陷监测宜采用专用技术监测和简易监测相结合的方式。

地面塌陷应监测垂直位移、水平位移、建（构）筑物倾斜、裂缝张合，必要时可监测地下水水位、降水量和土壤含水率等。



## 四、数据云服务

“地质灾害在线数据服务系统”可为您提供监测数据采集、可视化展示、数据监控预警、信息管理、巡查监管、人员与工程管理等在内的完整在线云服务，为各种类型的地质灾害监测系统提供简单易用的项目级数据云平台。

- 云端汇聚数据，突破传感器及硬件平台兼容性限制。
- 各种实时图表展示，快速掌握监测动态。
- 可设置多级预警值，实现预警监测和多级报警。
- 多种专业分析自动完成，快速提供分析结论。
- 公有云与私有云部署方案结合，满足多种安全级别要求。

