

# 水工环地质技术在地质灾害防治中的应用

李 力

山西省地质工程勘察院有限公司 山西 太原 030024

**摘 要：**地质灾害频发严重威胁区域生态安全与工程建设，水工环地质技术是地质灾害科学防控的核心支撑。本文阐释水工环地质核心内涵、灾害成灾机理及二者关联，梳理勘查、监测预警、评估、治理四大核心技术体系，分析其在斜坡类、地面变形类灾害中的具体应用，指出当前技术精细化不足、融合度低等问题，并提出智能化升级、一体化体系构建等优化策略，为地质灾害高效防治提供技术参考。

**关键词：**水工环；地质技术；地质灾害防治；应用

引言：我国山地丘陵区域广阔，地质环境复杂，叠加各类工程活动扰动，滑坡、崩塌、地面沉降等地质灾害多发频发，严重制约区域发展。传统灾害防治模式存在隐患排查不精准、预警滞后、治理针对性不足等短板。水工环地质技术可精准揭示水文、工程、环境地质条件与灾害的关联机制，贯穿灾害防控全流程。基于此，本文系统探究其技术应用与现存问题，探索优化路径，助力提升地质灾害综合防治能力。

## 1 水工环地质与地质灾害防治基础理论

### 1.1 水工环地质核心内涵

(1) 水文地质内涵。水文地质是水工环地质的核心基础，主要研究地下水的空间分布、运移径流规律、补给与排泄循环特征。同时重点探究地下水动态变化、水文条件演化对边坡、地基等各类岩土体的侵蚀、软化作用，明确水文环境变化对岩土体整体稳定性的影响机制，为地质灾害预判提供水文依据。(2) 工程地质内涵。以工程建设场地地质条件为核心研究对象，聚焦岩土体内部结构、物理力学性质、岩层风化程度及区域地质构造等关键基础要素。系统分析断层、节理、褶皱等地质构造的分布特征，研判岩土体承载能力、抗剪强度等工程特性，判定场地地质条件的工程适用性。(3) 环境地质内涵。围绕区域地质环境长期演化规律展开研究，重点剖析矿山开发、道路施工、城镇建设等人类工程活动与天然地质环境的相互作用、相互制约关系，探究工程扰动引发的地质环境变异特征，实现地质环境评价与生态保护的有机结合。

### 1.2 常见地质灾害类型与成灾机理

(1) 斜坡类灾害。主要包含滑坡、崩塌、泥石流三类典型灾害，此类灾害多发育于山地丘陵斜坡地带。其发育特征具有突发性、群发性特点，降雨入渗、地下径流、岩土体弱化是主要水工环诱因，地形高差、岩

体松散程度则是灾害发生的基础条件，极端天气与工程扰动为核心触发条件。(2) 地面变形类灾害。涵盖地面沉降、地裂缝、地面塌陷等灾害，多发生于平原、岩溶及松散堆积区域。主要由地下水超采、岩溶空洞发育、松散土层压缩等地质环境问题引发，地质结构松散、地下水失衡是其核心成灾机制，与区域水文地质、工程地质条件高度关联。(3) 其他次生地质灾害。多为人类工程活动扰动诱发的复合型灾害，单一工程扰动往往打破原有地质平衡，引发多类型灾害叠加发育，整体呈现隐蔽性强、复发率高、影响范围广的发育规律，是现阶段地质灾害防控的重点难点<sup>[1]</sup>。

### 1.3 水工环与地质灾害的关联性

(1) 水文条件致灾机制。地下水持续渗流、水位升降波动，会不断冲刷、软化岩土体，降低岩土体黏聚力与抗剪强度，破坏岩土体内部结构平衡，大幅降低边坡、地基的整体稳定性，是绝大多数地质灾害发生的直接诱因。(2) 工程地质条件控灾作用。区域地质构造格局、岩土体物理力学性质，直接决定地质灾害的发育规模、分布范围和易发程度，是地质灾害发育的基础性控制因素，主导灾害的发育规律和破坏强度。(3) 环境地质变化诱灾效应。自然生态破坏、各类工程扰动会持续改变原有地质环境平衡，加剧岩土体破损、水文紊乱问题，大幅提升地质灾害的发育概率和复发风险，形成持续性的地质安全隐患。

## 2 地质灾害防治中核心水工环地质技术类型及原理

### 2.1 水工环地质勘查技术

(1) 地面地质勘查技术。该技术是地质灾害勘查的基础手段，依托野外踏勘、现场测绘、隐患排查等方式作业，核心是查明勘查区域地层分布、地质构造、岩土体特性等基础地质条件，精准排查滑坡、崩塌、地裂缝等灾害隐患点的位置、规模及发育特征，为后续地质

灾害监测、评估与治理工作提供基础资料支撑。(2) 水文地质钻探技术。这是获取地下水文核心数据的关键技术,借助专业钻探设备成孔作业,直观探明区域含水层、隔水层的空间结构、厚度及分布情况。可精准采集地下水埋深、径流通道、水位变化等数据,长期监测地下水动态变化,明确地下水特征对地质灾害的影响,为水文致灾分析提供精准数据支撑<sup>[2]</sup>。(3) 岩土试样检测技术。该技术以现场采集的岩土试样为检测对象,通过室内专业试验,测定岩土体密度、抗压、抗剪、渗透性等物理力学参数。可客观反映岩土体稳定性与工程特性,精准判定岩土体破损、失稳风险,为地质灾害风险评估及治理方案设计提供可靠量化依据。

## 2.2 水工环地质监测预警技术

(1) 遥感(RS)监测技术。依托遥感卫星实现大范围、远距离的宏观地质监测,可快速覆盖山区、矿区等复杂区域,动态排查隐蔽性、区域性地质灾害隐患。通过对比不同时段遥感影像变化特征,识别地表形变、植被破坏、土体裸露等异常情况,实现地质灾害早期风险识别与动态监测。(2) GNSS/GPS定位监测技术。该技术具备高精度、全天候、实时监测的优势,通过布设监测点位,持续采集数据,精准捕捉边坡位移、地面沉降、土体滑移等微小地表变形数据,实时掌握地质体动态变化规律,为灾害变形预警提供核心数据支撑。(3) 地质雷达监测技术。属于无损地下探测技术,可精准探测地下隐伏断层、滑动面、岩溶空洞、松散夹层等隐蔽地质隐患,清晰呈现地下地质结构分布特征,弥补地表勘查的局限性,精准排查地下潜在致灾隐患。(4) 地下水动态监测技术。通过布设监测设备,实时监控地下水水位、水压、渗流速度及水质的动态变化,及时捕捉水文异常波动情况,预判地下水软化岩土体、渗流冲刷引发的滑坡、塌陷等致灾风险,实现水文致灾隐患的提前预警<sup>[3]</sup>。

## 2.3 水工环地质灾害评估技术

(1) 灾害危险性评估技术。依托勘查与监测获取的水工环基础参数,结合区域地质条件、气候特征,通过量化分析方式测算地质灾害的发生概率、发育规模及破坏强度,科学划分灾害危险等级,为灾害分级防控提供依据。(2) 地质环境承载力评估技术。聚焦区域地质环境承载上限,系统研判地质结构、水文条件、岩土体特性对工程建设、人类生产活动的耐受能力,识别人类活动引发的地质环境破坏风险,规范区域开发建设活动,从源头规避地质灾害。(3) 灾害风险综合评估技术。整合地形地质、水文环境、气象条件等自然因素,以及工

程扰动、资源开发等人为因素,构建全方位、多层次的风险评估体系,综合判定区域整体灾害风险水平,为区域防灾减灾规划提供科学支撑。

## 2.4 水工环地质灾害治理技术

(1) 水文治理技术。针对地下水渗流、水位波动引发的地质隐患,通过修建排水沟、截水沟、疏水廊道等工程设施,疏导、拦截、排出边坡及地基内部积水,降低地下水对岩土体的软化与冲刷作用,从根源消除水文致灾隐患。(2) 岩土体加固技术。针对松散、破碎、失稳的岩土体,采用锚杆锚索支护、挡土墙砌筑、土体换填夯实、注浆加固等工程技术,强化岩土体整体性与抗变形能力,提升地质体结构稳定性,有效防控滑坡、崩塌等灾害。(3) 生态修复治理技术。秉持生态治理理念,通过人工植被种植、水土保持治理、边坡生态修复等方式,恢复受损的地质生态环境,稳固表层土体、减少雨水冲刷与水土流失,改善区域地质环境,实现地质灾害长效防控与生态修复协同发展。

## 3 水工环地质技术在地质灾害防治中的具体应用与优化

### 3.1 在斜坡类地质灾害防治中的应用

(1) 滑坡灾害防治应用。滑坡治理中,依托地面勘查、地质钻探等水工环技术,可精准探明边坡地层结构、软弱夹层与滑动面位置,厘清地下水渗流规律及岩土体稳定状况。搭配自动化监测设备,实时采集边坡位移、水位动态数据,实现灾害风险及时预警。同步配套地表与地下排水、锚杆支护、坡面加固等工程举措,构建勘查、预警、治理一体化的滑坡综合治理体系,显著增强边坡整体稳定性。(2) 崩塌灾害防治应用。针对危岩崩塌突发性强、破坏力大的特征,采用地质雷达、现场勘查技术,精准排查山体危岩体、破碎岩层及结构裂隙等隐患,科学判定危岩稳定状态与坠落风险。通过布设GNSS监测点位,动态捕捉岩体微变形变化规律,掌握岩体实时动态。结合现场隐患实际,采取危岩清除、挂网支护、挡土墙加固等措施,抑制岩体松动变形,全面防控崩塌灾害风险<sup>[4]</sup>。(3) 泥石流灾害防治应用。借助水工环勘查技术,系统查明区域泥石流物源分布、松散堆积体量、地形坡度及降雨汇水条件,明确灾害启动的水文与地质诱因。治理阶段通过修建拦砂坝、排导槽等工程,阻断泥石流运动通道,同时搭配植被恢复、水土保持等生态手段稳固坡面土体,减少松散物源补给,从源头实现泥石流灾害有效防控。

### 3.2 在地面变形类灾害防治中的应用

(1) 地面沉降防治应用。依托地下水动态监测与

GNSS地表变形监测技术,长期追踪区域地下水位变化规律与地表沉降变形特征,明确地下水超采、土层压缩是地面沉降的主要诱因。基于监测数据科学优化地下水开采方案,严控超采行为,同时对软弱地层实施注浆加固、土层改良等工程手段,改善地层力学性能,遏制地面沉降持续发展。(2)地面塌陷防治应用。利用地质雷达、钻探探测技术精准探明地下岩溶空洞、采空区、地质缺陷等隐蔽隐患,划定塌陷高危区域。针对不同规模的地下空洞,采取土石方回填、注浆充填、岩体加固等治理技术,修复破损地质结构,同时设置风险隔离带与警示监测点位,实现隐患治理与动态防控相结合,杜绝塌陷灾害突发危害。(3)地裂缝防治应用。通过水工环综合勘查手段,分析地下水波动、地层沉降、岩土体受力失衡等地裂缝诱发因素,明确地裂缝分布规律与发育成因。根据灾害发育特征开展针对性地质修复工作,对裂缝土体进行回填夯实、注浆固结,同时统筹区域地下水调控与地层养护,实施分区防控治理,抑制地裂缝延展扩张<sup>[5]</sup>。

### 3.3 当前技术应用存在的问题

(1)技术应用精细化不足。部分复杂山区、隐蔽区域的勘查监测手段较为传统,探测精度有限,难以识别微小地质隐患与细微地层变形,容易遗漏潜在灾害风险,导致前期隐患排查不彻底,影响后续治理方案的科学性与精准度。(2)技术融合度较低。现阶段勘查、监测、评估、治理各环节技术相对独立,技术衔接不够顺畅,数据资源无法共享互通,尚未形成闭环式一体化技术体系,容易出现勘查数据与治理需求脱节、风险评估与现场实际不符的问题。(3)动态预警能力薄弱。多数区域仍以传统人工监测、阶段性数据采集为主,数据实时分析、智能研判能力不足,难以快速捕捉地质环境动态变化,风险预判智能化水平偏低,无法实现灾害超前预警。(4)基层技术落地难度大。高精度监测设备运维成本较高,基层运维体系不完善,同时专业技术人才储备不足,导致先进水工环技术难以全面落地,基层灾害防治工作的专业性与时效性难以保障。

### 3.4 技术应用优化策略

(1)提升技术精细化水平。全面推广数字化勘查、高精度雷达探测、自动化动态监测等先进技术,细化地质参数采集标准,精准捕捉微小地质隐患与地层变形数据,夯实地质灾害防治的数据基础,提升隐患排查与风险研判的精准度。(2)构建一体化技术应用体系。打通勘查、监测、评估、治理全流程技术链条,建立数据共享机制,实现各环节技术衔接、数据互通、成果联动,形成系统化、闭环式的地质灾害防治技术应用体系,提升整体防治效能。(3)推进智能化技术融合。依托大数据、物联网技术搭建智能监测预警平台,实现监测数据实时传输、自动分析、智能研判,精准预判地质灾害发展趋势,推动地质灾害防治从被动治理向主动智能防控转变。(4)完善技术保障体系。加强基层专业技术人才培养与队伍建设,定期开展技术培训,同时及时更新老旧设备、完善设备常态化运维机制,强化工程落地全过程监管,保障各类水工环技术高效落地应用。

### 结束语

水工环地质技术贯穿地质灾害勘查、预警、评估、治理全链条,是实现灾害科学防控的关键手段。本文明确各类水工环技术的应用原理与实践价值,总结当下技术应用的短板与不足,并针对性提出精细化、智能化、体系化优化方案。未来需持续推进多技术创新,完善基层技术保障体系,构建闭环防控模式,充分发挥水工环地质技术优势,筑牢区域地质安全屏障。

### 参考文献

- [1]胡声普,钟英鹏.水工环地质勘测工作中的技术应用研究[J].中国金属通报,2021,21(12):164-166.
- [2]邓也丹.水工环技术在地质灾害防治中的具体应用方式[J].流体测量与控制,2024,5(5):91-94.
- [3]张健.水工环地质监测技术在地质灾害治理中的应用[J].现代盐化工,2024,51(2):82-86.
- [4]杨显珍,孟飞,毛学红.水工环技术在地质灾害防治中的应用[J].冶金管理,2023,30(22):85-89.
- [5]王首东.水工环地质技术在地质灾害治理工程中的应用分析[J].西部探矿工程,2023,35(8):71-73.