

水工环地质技术在地质灾害防治中的应用

杨 青

山西省地质工程勘察院有限公司 山西 太原 030024

摘 要：本文围绕水工环地质技术在地质灾害防治中的应用展开研究，阐述了该技术中水文地质、工程地质、环境地质技术的内涵与关联，分析了滑坡、泥石流等主要地质灾害的类型及成因。通过探讨三者与灾害防治的关联性，系统研究了水工环地质技术在勘察、监测与预警、治理关键环节的具体应用，包括数据采集、参数测定、方案制定等实操内容。研究表明，水工环地质技术通过构建“识别—监测—治理”闭环，能为地质灾害防治提供全面技术支撑，对提升灾害防治效能具有重要意义。

关键词：水工环地质技术；地质灾害防治；应用

引言：地质灾害频发对人类生命财产和生态环境构成严重威胁，防治工作亟待高效技术支撑。水工环地质技术涵盖水文、工程、环境地质三大领域，其系统性与综合性为灾害防治提供了新思路。当前学界对该技术的应用研究尚需深化，本文旨在明确其内涵与范畴，分析与地质灾害的关联性，详解在勘察、监测、治理环节的应用，为完善灾害防治体系、提高防治水平提供理论与实践参考。

1 水工环地质技术的内涵与范畴

水工环地质技术是由以下水文地质、工程地质与环境地质三大技术领域的统称。（1）水文地质技术。聚焦地下水的形成、分布、运动规律及与地质体的相互作用，核心在于揭示地下水动力场对岩土体稳定性的影响机制；（2）工程地质技术。以岩土体物理力学性质为研究对象，通过勘察、测试与分析，评估地质体在工程荷载或自然力作用下的力学响应；（3）环境地质技术。侧重地质环境与人类活动的动态平衡，关注地质环境变化对生态系统及人类生存的潜在风险。三者的关联性体现在技术目标的统一性：水文地质为工程地质提供地下水作用的基础数据，工程地质为环境地质评估提供岩土体工程特性参数，而环境地质的区域尺度分析又为水文与工程地质技术的应用划定边界，形成“微观机理—中观响应—宏观调控”的递进式技术逻辑。水文地质技术通过对地下水系统的精细解析，为工程地质判断岩土体受力状态提供水动力背景；工程地质技术量化的岩土体参数，是环境地质评估人类活动影响程度的重要依据；环境地质划定的区域约束，又指导着水文与工程地质技术的应用范围和精度要求。这种相互支撑、层层递进的关系，让水工环地质技术形成有机整体，可全面应对地质问题^[1]。

2 地质灾害的主要类型与成因

地质灾害是由地质作用引发的，对人类生命财产或生态环境造成危害的地质现象，其以下主要类型的形成机制与地质体性质、动力条件密切相关。（1）滑坡的本质是斜坡岩土体在重力作用下，因内部抗剪强度不足以抵抗下滑力而发生的整体性位移，其诱因包括岩土体结构面发育、地下水浸润导致强度降低等；（2）泥石流则是松散固体物质在水体激发下形成的高速流动混合物，形成需满足物源（松散堆积物）、水源（暴雨或冰雪融水）及地形（陡峻坡降）三个基本条件；（3）地面塌陷多因地下空洞（如岩溶空洞、采空区）上方岩土体失去支撑，在自重或外部荷载作用下发生突发性塌落；（4）岩溶灾害的形成则与可溶性岩石（如石灰岩）的溶蚀作用直接相关，长期的水化学溶蚀会导致地下溶洞发育，进而引发地表变形或突水风险。各类地质灾害的成因可归结为地质体自身的脆弱性与外部动力（自然或人为）的耦合作用，其演化过程均伴随着岩土体结构、地下水系统或地质环境的异常变化^[2]。

3 水工环地质技术与地质灾害防治的关联性

水工环地质技术通过多维度介入地质灾害的全生命周期，构建起“识别—监测—治理”的闭环防治逻辑。在灾害识别阶段，水文地质技术通过分析地下水赋存状态与运移路径，可锁定因地下水渗透引发的灾害隐患区；工程地质技术通过岩土体力学参数测试，能判定斜坡、地基等地质体的失稳临界条件；环境地质技术则通过区域地质环境背景调查，识别人类活动（如采矿、工程建设）对地质体稳定性的扰动。在监测环节，三者协同构建动态监测网络：水文地质技术追踪地下水水位与水质变化，工程地质技术监测岩土体变形与应力状态，环境地质技术评估区域地质环境演化趋势。在治理阶

段,技术组合形成针对性方案:基于水文地质数据设计排水系统以降低孔隙水压力,依托工程地质参数优化支撑结构以提升岩土体抗滑能力,结合环境地质分析制定生态修复方案以维持地质环境平衡^[3]。

4 水工环地质技术在地质灾害防治关键环节的应用

4.1 地质灾害勘查中的水工环地质技术应用

地质灾害勘查要通过水工环地质技术构建多维度数据体系,为隐患识别提供全面支撑,具体应用如下:

(1)水文地质技术的应用以地下水系统解析为核心,通过系统性钻探工程获取不同深度地层的岩性、结构及含水性数据,结合电法、磁法等物探手段圈定含水层边界与富水区域。采用抽水试验测定单井出水量、水位降深等数据,计算渗透系数、导水系数等关键参数,以量化地下水的运移能力;通过渗水试验评估包气带岩土体的入渗性能,判断降雨入渗对地下水补给的强度。对地下水进行系统性采样分析,测定酸碱度、离子组成及溶解氧含量,评估水化学作用对岩土体的侵蚀速率,尤其在碳酸盐岩分布区,需通过长期监测追踪溶蚀裂隙的发育动态,为岩溶塌陷等隐患的勘查提供基础数据。(2)工程地质技术的应用聚焦岩土体特性的精细化勘查,通过1:5000至1:1000比例尺的地质测绘,厘清地形坡度、坡向及微地貌特征,标注节理、裂隙的产状与密度。采用原位测试技术时,静力触探需按一定间距布设测点,连续记录贯入阻力与侧壁摩阻力,划分土层界面与力学性质差异带;动力触探通过锤击能量与贯入度的关系,评估碎石土、砂土的密实度。室内试验需选取代表性岩土样,测定天然含水率、液塑限、压缩模量等指标,结合扫描电镜分析岩土体微观结构,明确软弱夹层的矿物组成与胶结状态。对断层破碎带进行专项勘查,通过钻孔岩芯编录确定破碎带宽度、物质组成及胶结程度,分析其对岩土体完整性的影响范围。(3)环境地质技术的应用从区域地质环境整体出发,通过遥感影像解译识别地形地貌单元,划分沟谷、斜坡、盆地等地貌类型,统计坡度分级与坡长数据。对地层岩性进行系统调查,确定不同岩性的分布范围、风化程度及抗侵蚀能力,尤其关注易风化岩层的出露特征。气象水文调查需收集长周期降雨数据,分析降雨强度、历时及季节分布规律,结合流域水系分布,评估地表径流对坡体的冲刷作用。针对人类活动,调查矿产开采的采空区范围、开采深度及废弃巷道分布,记录道路建设的切坡高度、边坡坡度及支护状况,量化人类活动对地质体的扰动强度。通过整合自然与人为因素数据,构建地质环境脆弱性评价矩阵,为灾害易发区的划定提供量化依据。

4.2 地质灾害监测与预警中的水工环地质技术应用

地质灾害监测与预警要依托水工环地质技术实现动态数据捕捉,构建全周期监测体系,主要应用如下:

(1)水文地质监测技术的应用以地下水动态追踪为核心,按网格状布设水位监测井,井深需穿透主要含水层,井底设置滤水装置避免泥沙淤积,井口安装自动记录设备,每小时采集一次水位数据,同步记录水温、水压等辅助参数。在滑坡、崩塌体周边布设渗压计,埋深根据岩土体厚度确定,通常位于潜在滑动面上下,实时监测孔隙水压力变化,捕捉降雨入渗引发的压力突增信号。地下水流速流向监测采用同位素示踪或电磁流速仪,在典型剖面设置监测点,每季度测定一次,分析水流方向与灾害体运动方向的关联性。水质监测系统需在关键节点设置自动采样装置,每日测定pH值、钙离子浓度等指标,通过数据趋势分析判断岩土体化学风化的加剧程度。(2)工程地质监测技术的应用聚焦岩土体变形与应力状态的实时捕捉,地表位移监测采用全站仪按二等精度布设监测网,监测点间距根据灾害体规模确定,小型滑坡约5-10米,大型滑坡约20-50米,每周观测一次,变形活跃期加密至每日一次,数据精度控制在±2mm以内。深部位移监测采用测斜仪,钻孔深度需达到稳定地层,每0.5米记录一个读数,分析不同深度的位移差异,识别滑动面位置。应力监测在岩土体内部植入光纤传感器或应力计,传感器布设沿潜在受力方向,间距1-3米,实时记录应力值变化,捕捉应力集中现象。声波测试技术每月对固定剖面进行一次检测,通过声波波速变化判断岩土体裂隙的发育程度,波速降低率超过10%时需发出警示。(3)环境地质监测技术的应用从宏观环境要素入手,在灾害隐患区及周边布设自动气象站,监测要素包括降雨量、风速、气温等,数据采集频率为每10分钟一次,降雨期间加密至每分钟一次,确保捕捉短历时强降雨过程。土壤湿度监测采用时域反射仪(TDR),传感器埋深分别为地表下10cm、30cm、50cm,每小时记录一次数据,分析不同深度土壤含水率与坡体稳定性的关系。遥感监测采用无人机航拍与卫星影像结合的方式,无人机每月飞行一次,获取0.1-0.5米分辨率影像,识别地表裂缝、植被枯萎等细微变化;卫星影像每季度更新一次,监测大范围地形变化。所有监测数据通过4G/5G无线传输至云端平台,经滤波、校正后导入预警模型,模型根据预设阈值自动生成预警等级,为防灾决策提供动态数据支撑。

4.3 地质灾害治理中的水工环地质技术应用

地质灾害治理要基于水工环地质条件制定精准方

案,通过以下技术组合实现风险控制。(1)基于水文地质条件的治理技术以地下水调控为核心,地表排水系统按汇水面积设计截排水沟,沟底纵坡不小于3%,采用浆砌石或混凝土浇筑,断面尺寸根据最大洪峰流量确定,沟壁设置反滤层防止土体流失。地下排水工程中,水平排水孔按梅花状布置,孔深穿透潜在滑动面1-2米,孔径100-150mm,孔内设置透水管并包裹滤网,确保排水通畅;井点降水系统根据地下水位埋深选择轻型或喷射井点,井点间距1.5-3米,通过真空泵形成负压降低水位,使地下水位控制在滑动面以下0.5-1米。岩溶地区治理中,帷幕注浆采用分段注浆工艺,注浆孔沿溶洞边界呈环形布置,孔距2-5米,注浆材料选用水泥-水玻璃双液浆,根据地层渗透性调整浆液浓度,注浆压力控制在0.5-2MPa,确保浆液充分填充溶洞及裂隙。(2)基于工程地质条件的治理技术聚焦岩土体强度强化,支护工程中抗滑桩采用钢筋混凝土结构,桩径1-2米,桩长嵌入稳定地层3-5米,桩间距5-8米,通过桩顶连梁增强整体刚度;挡土墙按重力式或悬臂式设计,墙高不超过8米,墙后设置排水盲沟,避免积水增大土压力。锚固技术中,锚杆长度根据岩土体厚度确定,锚固段嵌入稳定岩层不小于3米,采用预应力张拉工艺,张拉力控制在设计值的1.1倍;锚索由多根钢绞线组成,根据承载力计算钢绞线数量,锚固段采用注浆固结,确保抗拔力满足设计要求。松散堆积体加固采用高压喷射注浆技术,注浆管按1.5-2米间距呈网格状布置,喷射压力20-30MPa,通过旋转喷射形成直径0.5-1.5米的固结体,提升堆积体的密实度与内聚力。采空区治理中,矸石充填采用自溜或机械输送方式,充填率不低于90%;注浆填充选用水泥-粉煤灰浆液,注浆压力根据采空区埋深确定,确保浆液充满采空空间并形成稳定结构体。(3)基于环境地质协调的治理技术注重生态与工程的融合,植被恢复选取乡土树种及

草本植物,乔木选择根系发达的品种,株距2-3米,灌木按1-1.5米间距布设,草本植物采用混播方式,确保植被覆盖率半年内达到70%以上。柔性防护结构中,生态袋选用聚丙烯材料,袋内填充当地土与有机肥的混合物,按错缝堆叠方式砌筑,袋间采用连接扣固定;格宾网采用镀锌钢丝编织,网箱尺寸 $2\times 1\times 0.5$ 米,内填块石,表层覆土种植植被,兼顾防护与生态功能。人类活动管控方面,划定灾害易发区边界,严禁在区内新建住宅、厂房等建筑,对现有建筑制定搬迁计划;限制矿产开采强度,采用充填开采替代崩落法,控制地下采空区规模;道路建设避开陡坡地段,必须穿越时采用隧道或桥梁,减少切坡扰动。通过工程措施与生态修复的协同,构建“防护-稳定-修复”的复合治理体系,实现地质灾害的长期有效控制^[4]。

结束语:水工环地质技术凭借三大领域的协同作用,在地质灾害防治中展现出显著价值。从灾害识别到监测预警,再到治理方案实施,形成了完整技术链条。其应用能有效提升灾害防治的精准性与有效性,为保障社会安全和生态稳定奠定基础。未来需进一步推动技术创新与融合,完善应用体系,以应对更复杂的地质灾害挑战,助力构建更可靠的防灾减灾体系。

参考文献

- [1]王金宝.水工环地质技术在地质灾害防治中的应用[J].中国科技纵横,2024(7):113-115.
- [2]卢承鹏.水工环地质技术在地质灾害防治中的应用[J].世界有色金属,2022(24):123-125.
- [3]王韶霞.水工环地质技术在地质灾害防治中的应用[J].世界有色金属,2021(12):190-191.
- [4]马笛程,黄惠及,盆贵智.水工环地质技术在地质灾害防治中的应用研究[J].现代工程科技,2023,2(16):80-82.