

岩土工程地质灾害防治技术措施应用研究

郭建波

中南勘察基础工程有限公司 湖北 武汉 430081

摘要：地质灾害防治技术分为工程治理、生态修复与监测预警三类。工程治理包括支挡结构、排水与加固技术，通过力学干预控制坡体稳定。生态修复利用植被根系与生物材料增强表层抗剪能力。监测预警依靠变形与孔隙水压力观测获取动态数据。技术适用性需依据灾害类型、岩土体特性与环境条件进行匹配，优化支挡与排水协同、桩体设计与锚固参数。实施流程涵盖前期勘察、方案比选、施工质量控制及后期维护，通过参数测试、数值模拟与动态调整保障防治效果。

关键词：岩土工程；地质灾害；防治技术；工程治理

引言：地质灾害对工程设施与人员安全构成持续威胁，其防治技术的系统分类与适用性匹配是工程实践的核心问题。不同灾害类型如滑坡、泥石流与地面沉降，其成灾机制差异显著，所需的支挡、排水或加固手段也各不相同。岩土体本身的软土、破碎岩体或高渗透地层特性，进一步限制了技术选择范围。降雨量大小与地形陡缓程度同样影响排水系统容量与支挡结构形式。从前期勘察到后期维护的全流程质量控制，决定了防治措施能否长期发挥作用。有必要对上述技术原理、匹配原则与实施流程进行系统梳理。

1 地质灾害防治技术分类与核心原理

1.1 工程治理类技术

支挡结构技术通过抗滑桩与挡土墙提供直接抗力以阻止坡体滑动。抗滑桩主要依靠桩身与周围岩土体的相互嵌固作用，将滑坡推力传递至下部稳定地层，其力学设计需重点考虑桩身截面刚度、嵌固深度及桩间距与滑坡推力分布的关系。挡土墙则利用墙体重力或锚固力平衡下滑力，其适用条件取决于墙背土压力大小、地基承载力及墙身材料强度，尤其适用于滑面较浅且坡体厚度不大的情形。排水技术旨在降低坡体内部孔隙水压力与动水压力。地表排水系统通过截水沟与排水沟拦截和疏导坡面径流，布局原则包括分级截流与就近排出。地下排水孔则通过钻孔布设排水管，主动引导深层地下水外流，其布置应依据地下水等势线及渗透系数确定主渗流方向。加固技术通过注浆或土钉改善岩土体力学参数。注浆加固将胶结材料注入裂隙或孔隙，待凝固后提升岩土体整体性与抗剪强度。土钉支护依靠密集钉体与表层喷混凝土形成复合结构，施工中需控制钻孔角度、注浆压力及钉体与坡面的连接质量。

1.2 生态修复类技术

植被护坡技术利用植物根系在土层中的穿插与缠绕作用增强表层土体的抗剪能力。根系通过垂直锚固与水平加筋两种机制改善土体力学行为，主根可穿过潜在滑裂面提供锚固力，侧根与须根则在土中形成网状结构约束土颗粒位移。物种选择需综合考虑根系形态特征、生长速度、耐旱耐涝能力及与当地气候土壤条件的适配性，优先选用深根性且冠层适中的乡土物种以保证长期固土效果。土壤生物工程采用可降解或半永久性材料与活体植物相结合的方式构建坡面防护结构。生态袋由抗老化土工布制成，袋内填充种植土并封口后分层堆叠，依靠袋间摩擦与植物根系穿透后的整体性稳定坡面，其应用原理在于通过柔性结构适应坡体微小变形同时为植被提供生长基质^[1]。椰纤维毯以天然椰丝加工而成，铺设在坡表后能减少雨水溅蚀与地表径流冲刷，同时为种子发芽与幼苗扎根创造稳定的微环境，施工要点包括毯面与坡面的紧密贴合及搭接长度的控制。

1.3 监测预警类技术

变形监测技术通过连续或周期性的位移测量获取坡体运动状态。全球定位系统利用空间卫星信号测定地表测点的三维坐标变化，监测精度可达毫米级，数据解析需结合基准点稳定性分析与时间序列处理以剔除环境噪声。测斜仪安装在预埋导管内，用于测量坡体内部不同深度的水平位移，其监测精度取决于传感器标定质量与温度补偿措施，数据解析时通过绘制位移随深度变化曲线确定潜在滑面位置及滑动速率。孔隙水压力监测通过在坡体关键部位埋设传感器获取地下水压力的动态变化。传感器布置应依据地质剖面中的透水层与隔水层分布，重点关注滑带附近及地下水汇流区。数据动态分析采用压力随时间的变化曲线识别异常上升或下降趋势，当压力快速升高超过设定阈值时表明坡体可能进入不稳

定状态,分析逻辑还包括结合降雨量与地下水位数据判断压力响应的滞后时间及幅值关系,从而为预警阈值设定提供依据。

2 防治技术措施的适用性匹配

2.1 基于灾害类型的匹配原则

滑坡防治要求支挡结构与排水系统形成协同工作关系。支挡结构直接抵抗下滑力,排水系统则通过降低孔隙水压力减少下滑力的来源,两者缺一不可。抗滑桩或挡土墙的设置位置应与地下排水孔的布置深度相互协调,排水孔应优先布设在支挡结构上游侧,以提前疏干滑带附近的地下水。地表排水系统则负责拦截坡面径流,防止雨水大量渗入滑体。协同设计的核心在于使排水系统降低的下滑力与支挡结构提供的抗力在时间与空间上相匹配,避免出现排水滞后导致支挡结构承受超设计荷载的情况。泥石流防治中拦挡坝高度与排导槽断面需进行优化计算。拦挡坝高度决定了上游库容及对泥石流峰值流量的削减幅度,过高则增加坝体自重与基础应力,过低则无法有效拦截固体物质。排导槽断面尺寸取决于泥石流流量、流速及沟床纵坡,断面过小容易产生漫溢淤积,断面过大则造成工程浪费。优化计算应基于泥石流流量过程线与固体物质级配曲线,使拦挡坝调蓄后的出流与排导槽输导能力相互衔接。地面沉降防治采用注浆加固深度与生态补偿的组合策略。注浆加固用于封堵深层承压水开采引起的地层压密区,加固深度应达到主要压缩层位以下^[2]。生态补偿指通过地表水回灌或限制开采量维持地层孔隙水压力,两者组合可在控制沉降速率的同时减少注浆对地下环境的扰动。

2.2 基于岩土体特性的匹配原则

软土地区采用深层搅拌桩进行地基加固时,加固效果与沉降控制能力取决于桩体置换率与桩长设计。深层搅拌桩通过机械搅拌将水泥浆与软土充分混合形成水泥土桩体,桩体抗压强度及变形模量显著高于原状软土。加固效果表现为复合地基承载力提升与总沉降量减小,但沉降控制的关键在于桩端是否进入持力层以及桩间软土的排水固结条件。当软土层厚度较大时,仅靠搅拌桩无法完全消除次固结沉降,需结合预压措施或调整桩间距以满足长期沉降控制要求。破碎岩体中锚杆支护的锚固力设计与施工安全间距紧密相关。破碎岩体节理裂隙发育,锚杆锚固力主要依靠注浆体与破碎岩块之间的粘结强度及机械互锁作用,而非完整的岩体抗拉强度。锚固力设计需考虑锚固段长度、注浆压力及孔径大小对粘结应力的影响。施工安全间距指相邻锚杆之间的最小距离,间距过小时会因应力叠加导致破碎岩体局部坍塌或

锚固力相互削弱,间距过大则无法形成有效的支护拱圈,需根据破碎岩体的内摩擦角与粘聚力确定合理间距。高渗透地层中排水孔间距与地下水位的动态调控构成反馈关系。排水孔的作用是形成人工降深漏斗以降低作用在支护结构上的孔隙水压力^[3]。当地层渗透系数较高时,地下水流动迅速,较小间距即可实现快速降深,但排水量显著增大。动态调控要求在施工期与运行期分别设定水位控制阈值,当实测水位超过上限时加密排水孔或增加排水流量,低于下限时减少排水或临时封堵部分孔位,以维持水位在安全波动范围内。

2.3 基于环境条件的匹配原则

降雨量影响决定了排水系统容量与暴雨重现期之间的对应关系。排水系统容量指地表截水沟、排水沟及地下排水孔在单位时间内的最大排水能力。暴雨重现期反映了不同强度降雨事件的发生概率,重现期越长对应的设计雨强越大。匹配原则要求根据防治对象的破坏后果严重程度选择适当的设计重现期,对于后果严重的区域应采用较高的重现期标准。排水系统容量不足时,强降雨导致坡面径流漫溢或地下水位快速抬升,引发超孔隙水压力从而降低坡体稳定性。地形坡度影响支挡结构类型与坡面稳定性的关联分析。缓倾坡面下滑力较小,可采用重力式挡土墙或浅层抗滑桩,结构形式以抵抗土压力为主。陡倾坡面下滑力大且滑面形态复杂,需采用大截面抗滑桩或多排锚索挡墙,结构设计同时考虑抗弯与抗剪能力^[4]。坡面稳定性分析中,坡度变化还会改变坡体内应力分布,陡倾坡脚处易出现拉应力区,支挡结构类型的选择必须与该区域的应力特征相匹配,避免在受拉区设置抗压为主的构件。

3 防治技术措施的实施流程优化

3.1 前期勘察与参数确定

岩土体物理力学参数的现场测试方法主要包括标准贯入试验、静力触探试验及现场直剪试验。标准贯入试验通过测定锤击数评估砂土与粘性土的密实度及抗剪强度,适用于多种土层条件。静力触探试验可连续记录锥尖阻力与侧壁摩阻力,据此划分土层并估算承载力,具有快速与可重复的优点。现场直剪试验直接在原位岩土体上施加法向应力与剪切应力,获得粘聚力与内摩擦角,其结果最能代表天然状态下的岩土强度。地下水动态监测数据的长期采集需在钻孔中埋设自动记录水位计,按固定时间间隔连续测量水位变化。数据分析包括绘制水位等值线图以识别地下水流向、识别季节性波动规律判断补给与排泄关系以及计算水力梯度方向,为排水系统设计提供准确的边界条件与水文参数。

3.2 设计方案的比选与验证

数值模拟在方案稳定性评价中通过建立地质模型与结构模型,计算不同工况下的应力场与位移场。输入参数包括岩土体本构模型参数、初始地应力及边界荷载条件。模拟结果可显示潜在滑面位置、支挡结构内力分布及坡体变形量值,用于比较不同方案的稳定性储备,从而筛选出安全裕度最高的设计。多方案经济性对比从材料成本、施工周期与维护费用三个维度展开。材料成本包括钢筋、水泥、砂石及添加剂的采购与运输费用,不同方案因材料用量差异导致成本波动。施工周期涉及钻孔、浇筑、养护等工序的时间累加,周期长短直接影响工程总投入。维护费用涵盖排水系统清理、注浆补强及监测设备校准的长期支出,通过全生命周期成本分析确定最优方案,兼顾短期投入与长期运营效益。

3.3 施工过程的质量控制

注浆压力与扩散半径的实时监测通过在注浆管路上安装压力传感器与流量计实现。压力值反映浆液克服岩土体阻力的能力,压力过低表明注浆不足以填充裂隙,压力过高则可能引起地层劈裂或地表隆起。扩散半径由注浆量与地层孔隙率反算,当实测半径小于设计值时需调整浆液配比或延长注浆时间。支挡结构钢筋绑扎与混凝土浇筑的验收标准包括钢筋间距、保护层厚度及混凝土坍落度与强度等级。钢筋绑扎后应逐根检查焊缝质量与绑扎牢固度,确保骨架整体性。混凝土浇筑前需确认模板支撑刚度及振捣设备就位,浇筑过程中控制分层厚度与振捣时间,成型后通过回弹仪或取芯检测实际强度,保证结构承载能力满足设计要求。

3.4 后期维护与动态调整

监测数据的定期分析通过设定变形速率阈值实现预警功能。将实测位移量与时间的关系绘制成曲线,计算单位时间内的位移增量。当变形速率连续多日超过阈值

时,表明坡体进入加速蠕变阶段,需启动应急预案并增加监测频次,同时排查变形加速的原因。排水系统堵塞的预防措施包括在排水孔入口处设置过滤层以拦截细颗粒土,以及定期采用高压水清洗管内沉积物^[5]。疏通周期规划依据排水流量衰减曲线确定,当实测流量降至初始流量的某一比例时即安排疏通作业。对于地下排水孔,还需检查孔口出砂情况,若出砂量增大表明反滤层失效,需及时补设或更换滤层材料,防止细颗粒流失导致坡体内空洞扩展。

结束语:地质灾害防治是一项系统性工程,技术分类与核心原理是基础,适用性匹配是保障,实施流程优化是关键。工程治理、生态修复与监测预警三类技术各有侧重,需根据灾害类型、岩土体特性及环境条件综合选用。前期勘察获取准确参数,设计方案经过数值模拟与经济对比验证,施工过程严格控制注浆与结构质量,后期通过变形速率分析与排水系统维护实现动态调控。只有将技术原理与现场条件紧密结合,并在全流程中落实质量控制,才能有效降低地质灾害风险,确保防治工程的长期安全运行。

参考文献

- [1]牛延森,黄兴久.探析岩土工程在矿山地质灾害防治方面的应用[J].科技与创新,2025,(06):222-225.
- [2]丁宇.岩土工程地质灾害防治技术措施应用研究[J].工程建设与设计,2025,(04):34-36.
- [3]吴丽玲.岩土工程在地质灾害防治中的应用[J].中国住宅设施,2024,(12):47-49.
- [4]董坤,陈东海.分析地质灾害防治技术在岩土工程中的运用[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(12):166-168.
- [5]王云.岩土工程地质灾害防治技术及防治措施[J].四川建材,2024,50(03):57-59.