

半岩半土质边坡地质灾害工程项目勘察设计及施工防治策略的研究

秦宇

山西省地质勘查局二一四地质队有限公司 山西 运城 044000

摘要: 半岩半土质边坡广泛分布于公路、矿山、水利等工程领域,因岩性混杂、结构不均,易发生滑坡、崩塌等地质灾害,严重威胁工程安全与周边环境。本文围绕半岩半土质边坡地质灾害治理,系统梳理边坡地质特征与灾害类型,深入分析勘察设计关键环节,提出针对性施工防治策略。通过明确勘察方法、优化稳定性分析模型、制定分阶段施工方案,解决边坡岩土界面力学参数差异大、灾害预警难等问题。研究表明,科学的勘察设计与精细化施工管控结合,可显著提升半岩半土质边坡稳定性,降低灾害发生风险,为同类工程项目提供技术参考与实践依据。

关键词: 半岩半土质边坡; 地质灾害; 勘察设计; 施工防治策略

引言

半岩半土质边坡因岩土结构不均、界面力学性能差异大,在工程建设中极易诱发滑坡、崩塌等地质灾害,安全隐患突出。本文结合工程实践,系统研究该类边坡的地质特征、勘察要点与设计方法,提出科学可行的施工防治策略,为同类地质灾害治理工程提供技术支持。

1 半岩半土质边坡地质特征与灾害类型

1.1 半岩半土质边坡的定义

半岩半土质边坡是指由岩石与土体混合组成,且两者在空间分布上具有一定占比(通常岩石含量30%-70%)的边坡体,常见于山区工程开挖、矿山排土场及河道整治区域。其形成既包括自然地质作用(如岩层风化剥落、山体侵蚀),也涉及人工扰动(如道路边坡开挖、工程弃渣堆积)。与纯岩质边坡或纯土质边坡相比,半岩半土质边坡岩土界面分明但过渡带脆弱,岩块与土体力学性质差异显著(岩石抗压强度通常 $>30\text{MPa}$,土体压缩模量多 $<10\text{MPa}$),受力变形时易出现不均匀沉降或滑动,是地质灾害高发的特殊边坡类型,在多雨、地震等外部环境影响下,灾害发生概率显著高于其他边坡。

1.2 地质特征分析

半岩半土质边坡地质特征呈现显著复杂性与不均一性,核心特征体现在岩性组成、结构形态与水文条件三方面。岩性组成上,岩石部分多为风化程度不同的碎屑岩、碳酸盐岩,常以块状、碎块状分布,土体部分则为残坡积土、崩积土,颗粒级配不均,含较多岩屑杂质。结构形态上,边坡坡角多在 25° - 45° ,岩土界面多呈倾斜状,部分区域存在软弱夹层(如泥质粉土层),厚度通

常 $0.5\text{-}2\text{m}$,该夹层抗剪强度低(黏聚力 $<15\text{kPa}$,内摩擦角 $<20^{\circ}$),易成为滑动面。水文条件上,边坡渗透性差异大,岩石裂隙与土体孔隙构成双重渗流通道,雨水入渗后易在岩土界面积聚,降低界面抗剪强度,加剧边坡失稳风险^[1]。

1.3 常见地质灾害类型

半岩半土质边坡常见地质灾害以滑坡、崩塌为主,局部伴随泥石流等次生灾害。滑坡多为顺层滑坡或沿岩土界面滑动,因岩土界面抗剪强度低,在雨水渗透、荷载增加等因素触发下,边坡体沿界面缓慢滑动,滑动速度通常 $0.1\text{-}1\text{m}/\text{天}$,滑动范围从几十立方米到数千立方米不等,如公路边坡开挖后,常因岩土界面积水引发中小型滑坡。崩塌多发生于边坡上部岩块密集区,风化岩块在重力作用下突然脱落,坠落速度快、冲击力强,易砸毁下方工程设施。此外,当边坡表层土体与岩块混合堆积,在强降雨激发下,易形成泥石流,裹挟岩块沿坡体快速流动,对下游区域造成大范围破坏,此类灾害在矿山排土场半岩半土质边坡中尤为常见。

2 半岩半土质边坡地质灾害工程项目勘察

2.1 勘察目的与任务

半岩半土质边坡地质灾害勘察的核心目的是查清边坡地质条件,评估灾害风险,为后续设计与施工提供精准地质资料。主要任务包括三方面:一是查明边坡岩土组成与分布,明确岩石风化程度、土体颗粒级配及岩土界面位置与形态,确定软弱夹层分布范围与力学参数;二是分析边坡水文地质条件,查清地下水类型、水位埋深、渗透系数及渗流路径,评估雨水入渗对边坡稳定性的影响;三是划分边坡灾害风险等级,预测潜在灾害类

型、规模与影响范围,提出初步防治方向。此外,勘察还需收集工程区域气象、地震资料,为边坡抗震、抗雨水冲刷设计提供依据,确保勘察成果能直接支撑后续工程决策。

2.2 勘察方法与技术

半岩半土质边坡勘察采用“地表调查+地下勘探+室内试验”相结合的方法体系。地表调查通过无人机航拍、地质罗盘测量,查清边坡坡形、岩土露头分布及现有裂缝、崩塌痕迹,圈定灾害隐患区域;地下勘探以钻探为主,辅以坑探、物探,钻探采用回转钻进,按50-100m间距布设钻孔,查明岩土分层厚度与界面埋深,对软弱夹层单独取样;物探选用地震折射波法、高密度电法,探测岩土界面起伏与地下水富集区,分辨率可达0.5-1m。室内试验重点测定岩土力学参数,岩石进行单轴抗压、抗剪试验,土体进行直剪、压缩试验,同时测试渗透系数与含水量,确保获取的黏聚力、内摩擦角等参数能真实反映边坡受力特性,为稳定性分析提供可靠数据支撑^[2]。

2.3 勘察资料整理与分析

勘察资料整理需按“分层归类、系统校验”原则开展,先对地表调查记录、钻探岩芯编录、物探剖面图等原始资料进行核对,剔除异常数据,确保资料完整性与准确性。随后进行数据整合,编制边坡工程地质剖面图、岩土分区图、水文地质图等成果图件,明确岩土界面、软弱夹层、地下水分布的空间位置。分析阶段采用定性定量相结合方法,定性分析岩土组成、水文条件对边坡稳定性的影响,识别关键致灾因素;定量分析通过计算岩土力学参数平均值、变异系数,评估参数可靠性,结合极限平衡法初步判断边坡稳定系数,划分稳定、基本稳定、不稳定三个等级。最后形成勘察报告,详细阐述勘察成果、灾害风险评估结论及初步防治建议,为设计工作奠定基础。

3 半岩半土质边坡地质灾害工程设计

3.1 设计原则与依据

半岩半土质边坡设计遵循“安全优先、因地制宜、经济合理”三大原则,安全上确保边坡稳定系数满足规范要求(一般工况 ≥ 1.25 ,地震工况 ≥ 1.15),同时考虑灾害发生后的应急逃生空间;因地制宜要求结合边坡岩土特征、水文条件选择适配防治方案,避免盲目套用同类工程设计;经济合理需在保障安全的前提下,优化设计参数,控制工程成本。设计依据主要包括国家规范(如《建筑边坡工程技术规范》GB50330-2013、《地质灾害防治工程设计规范》GB51297-2018)、勘察报告、

工程区域气象地震资料,同时参考类似工程成功案例,确保设计方案科学合规、切实可行。

3.2 边坡稳定性分析

半岩半土质边坡稳定性分析以极限平衡法为主,结合数值模拟法验证。极限平衡法选用简化毕肖普法、摩根斯顿-普赖斯法,考虑岩土界面、软弱夹层作为潜在滑动面,输入勘察获取的力学参数,计算不同工况(天然、暴雨、地震)下的稳定系数,判断边坡失稳风险;对存在多层软弱夹层的边坡,需分别计算各界面滑动可能性,确定最危险滑动面。数值模拟采用FLAC3D、GeoStudio等软件,构建边坡三维地质模型,模拟岩土应力分布、位移变化及地下水渗流场,分析雨水入渗、施工荷载对边坡稳定性的动态影响,预测边坡变形趋势,为设计方案优化提供更精细的力学分析依据,确保稳定性分析结果全面可靠。

3.3 防治工程设计方案

半岩半土质边坡防治设计采用“主动加固+被动防护+排水防渗”组合方案。主动加固针对边坡中上部岩块密集区,采用锚杆(长度5-10m,直径20-30mm)或锚索(拉力200-500kN)支护,锚杆间距2-3m,深入稳定岩层1-2m,增强岩块整体性;对土体为主区域,采用格构梁(梁宽0.3-0.5m,高度0.4-0.6m)结合喷播植草,提升土体抗剪能力。被动防护在边坡下部设置拦石网(网孔50-100mm)、抗滑桩(直径1-1.5m,深度8-15m),拦截可能坠落的岩块或滑动土体^[3]。排水防渗设计包括地表排水(布设截水沟、排水沟,坡度0.5%-1%)与地下排水(设置盲沟、排水孔,孔径100-150mm),阻断雨水入渗路径,降低岩土界面含水率,提升边坡稳定性。

3.4 设计优化与评估

设计优化需结合稳定性分析结果与工程实际条件,对初步方案进行调整完善。若计算发现边坡局部稳定系数偏低,可增加锚杆长度或加密抗滑桩间距;若水文分析显示地下水影响显著,可增设排水孔数量或加深盲沟深度。同时,对比不同设计方案的工程量、成本与施工难度,选择性价比最优方案,如在岩块破碎区域,优先选用锚杆支护而非抗滑桩,减少开挖量。设计评估采用专家评审与数值验证结合方式,邀请地质、结构工程专家对方案安全性、可行性进行评审,通过再次模拟优化后的边坡应力与位移,确认稳定系数达标,同时评估方案对周边生态环境的影响,确保设计既满足工程安全要求,又符合生态保护需求。

4 半岩半土质边坡地质灾害工程施工防治策略

4.1 施工工艺与方法

半岩半土质边坡地质灾害工程施工,需严格遵循“分区分段、自上而下”的施工顺序,以确保施工安全与质量。针对不同防治措施,要精心优化适配核心工艺。在锚杆/锚索施工中,采用干钻成孔方式至关重要,这可有效避免钻孔积水导致土体软化,影响锚固效果。成孔后,需及时安装锚杆,并精准控制注浆压力在0.5-1MPa,保证浆液充分填充孔隙,达到饱满状态。格构梁施工时,先精准开挖槽体,再使用C25混凝土现场浇筑,浇筑过程中要充分振捣密实,防止出现蜂窝麻面等质量问题;拦石网安装需先稳固固定基座,再仔细铺设网体,确保网体张紧度均匀一致,与边坡紧密贴合,以有效拦截落石。抗滑桩施工可采用人工挖孔或机械钻孔,挖孔过程中要设置可靠的护壁,防止孔壁坍塌引发安全事故。混凝土浇筑时采用导管法,避免混凝土出现离析现象。排水工程施工时,截水沟采用浆砌片石砌筑,严格控制砂浆饱满度 $\geq 85\%$;排水孔安装透水管,外包土工布,防止土体堵塞,保障排水系统畅通无阻。

4.2 施工质量控制

施工质量控制是保障半岩半土质边坡地质灾害防治工程质量的核⼼,紧紧围绕“参数管控、过程检验、成品验收”三个关键环节有序推进。在参数管控方面,严格依照设计要求精准把控各项关键指标。例如,锚杆钻孔深度偏差必须控制在 $\leq 50\text{mm}$,注浆压力波动范围严格限定在 $\pm 0.1\text{MPa}$;格构梁混凝土配合比偏差不得超过2%,坍落度要精准控制在120-160mm。过程检验采用“班组自检+监理抽检”的双模式。锚杆施工完成后,需立即进行拉拔试验,抽检比例不低于3%,且拉力值必须达到设计值的90%以上;抗滑桩浇筑过程中,每100m³要留置1组混凝土试块,用于检测其抗压强度。成品验收阶段,对各防治工程进行全面细致的外观检查与功能测试^[4]。截水沟需做通水试验,确保无渗漏现象;拦石网要进行荷载试验,验证其抗冲击能力;所有验收数据必须详细记录存档,不合格部位要及时整改,直至完全满足设计要求。

4.3 施工安全保障措施

半岩半土质边坡施工安全至关重要,需构建“预防为主、应急为辅”的全方位保障体系。预防措施涵盖多个方面,施工前要对所有作业人员进行系统的安全培训,经考核合格后方可上岗作业。在边坡上部设置坚固的防护栏与醒目的警示标志,严禁非施工人员进入危险区域。钻孔、开挖作业时,安排专人实时监测边坡动

态,一旦发现裂缝、掉块等异常情况,立即停工并组织人员撤离。针对可能发生的崩塌、滑坡等灾害,制定详细的应急方案,储备充足的沙袋、铁锹、应急照明等物资,并在边坡下部设置应急避难平台。同时,密切关注天气变化,遇到暴雨、大风等恶劣天气,暂停露天作业;雨后对边坡进行全面细致的检查,确认安全后方可复工。施工用电严格采用三级配电、两级保护,避免触电事故的发生,确保整个施工过程无安全隐患。

4.4 施工监测与预警

施工监测采用“自动化监测+人工巡查”相结合的综合方式,全面监测边坡位移、应力与地下水水位等关键指标。自动化监测方面,精心布设GNSS位移监测点(间距50-100m)、锚索应力传感器、渗压计等设备,数据实时传输至监控平台。位移监测精度高达 $\pm 2\text{mm}$,当位移速率超过5mm/天或应力出现突变时,系统自动发出预警。人工巡查每天进行1-2次,重点检查边坡裂缝变化、支护结构完整性等情况,并详细记录巡查结果。监测数据需定期进行深入分析,绘制位移-时间曲线,准确预测边坡变形趋势。若发现监测值接近预警阈值,立即启动预警响应机制,采取临时加固措施,如堆填沙袋、增设临时锚杆等。必要时,迅速组织人员撤离,确保施工期间边坡安全稳定,为工程的顺利推进提供坚实保障。

结束语

半岩半土质边坡地质灾害治理是工程建设领域的重点与难点,其勘察设计与施工防治需紧密结合边坡独特地质特征,实现技术方案与实际条件的精准匹配。未来需进一步探索智能化勘察技术(如无人机载探地雷达)与新型支护材料的应用,提升治理效率与工程耐久性,为更多半岩半土质边坡地质灾害治理项目提供更先进、更可靠的技术支撑。

参考文献

- [1]张志磊.关于半岩半土质边坡地质灾害勘察及防治对策[J].黑龙江交通科技,2021,44(05):31-32.
- [2]王兴亮.浅谈土质边坡地质灾害勘察思路[J].四川建材,2023,49(02):42-43+54.
- [3]蔡汉武.半岩半土质边坡地质灾害工程项目勘察设计及施工防治策略的研究[J].江西建材,2022(09):134-135+138.
- [4]梁瀚元.基于半岩半土质边坡地质灾害勘察及防治对策研究[J].城市建设理论研究(电子版),2022,(32):106-108.