

滑坡易发地段综合物探结合钻探岩土工程勘察技术研究

马 飞

云南省城乡规划设计研究院 云南 昆明 650228

摘 要：滑坡易发地段地质环境复杂多变，单一勘察手段难以精准探明隐蔽地质结构，无法满足精细化岩土探测需求。本文结合物探与钻探两类主流勘察技术，分析两类技术的场地适配特征与互补优势，搭建一体化联合勘察技术体系。内容围绕现场作业流程、数据采集处理、地层辨识方法开展多维度工艺优化，配套建立标准化作业规范与全流程质量管控体系，完善复杂滑坡场地岩土勘察的技术实施路径，可为同类地质勘察工作提供技术参考。

关键词：滑坡易发地段；岩土工程勘察；物探技术；钻探工艺；质控体系

引言：滑坡灾害多发区域普遍存在地层破碎、结构隐蔽、地质条件不均等特点，复杂的场地环境对岩土勘察工作提出更高的技术标准。传统单一钻探或物探作业存在明显探测短板，勘察精度与覆盖范围存在局限，难以精准刻画滑坡场地真实地层状态。依托综合勘察技术的融合应用，弥补单一技术的应用缺陷，优化野外施工工艺与数据处理模式，规范现场作业标准与质控流程，能够有效提升滑坡地段岩土勘察工作的精细化与规范化水平。

1 滑坡易发地段岩土勘察技术适配性分析

1.1 滑坡易发地段场地地质特征分析

滑坡易发地段的地质结构普遍存在不稳定性，地层分布存在明显的不均匀性。区域内岩土体风化程度差异较大，软弱夹层、裂隙与破碎带广泛发育，地层分层界限模糊不清。地形起伏带来的应力分布差异，会进一步改变岩土体原始赋存状态。浅表层土体松散破碎，固结程度较低，深部岩体完整性交替变化，整体地质构造复杂多变。这类场地的地质结构具备较强的隐蔽性，浅层缺陷易被表层覆土覆盖，深部隐蔽构造难以通过常规表层观测识别，对勘察技术的精细化、全面性有着更高的专属要求^[1]。

1.2 单一钻探勘察技术应用特性

钻探技术依托钻孔施工获取深部地层的岩土试样，能够精准判定钻孔点位处的地层岩性、土层厚度与岩体完整程度。该技术可以直接完成原状岩土样本采集，为岩土属性甄别、地层结构划分提供直观的实体依据。施工模式的局限性较为突出，作业仅能获取离散钻孔点位的地质数据，无法覆盖钻孔间隙的地层信息。稀疏的

钻孔布设模式，难以连续刻画大范围地层的空间变化规律，对隐蔽性裂隙、小型破碎带的识别存在明显盲区，空间探测覆盖范围存在明显短板。

1.3 单一物探勘察技术应用特性

物探技术依托岩土体物理参数差异开展探测工作，可实现大范围、连续性的地层结构探测。探测过程无需大规模钻孔施工，作业流程便捷高效，能够快速梳理测区内地层结构的整体分布规律。技术应用存在固有短板，探测数据属于间接性地质信息，依靠物理信号反推地层特征。不同岩土体的物理参数存在重叠区间，复杂地质环境下易出现信号混淆问题，无法精准区分岩土介质类型，难以独立完成地层属性的精准判定，探测精度会受场地复杂地质条件干扰。

1.4 物探与钻探联合勘察技术适配优势

联合勘察模式可以弥补两类单一技术的固有缺陷，重塑滑坡场地地质探测的完整体系。钻探可为物探数据反推解析提供精准的地层参照标准，校准物探信号的识别偏差，消除复杂地层带来的探测干扰。物探可依托连续探测优势，填补钻孔点位之间的地质信息空白，完善地层空间分布的整体数据。两类技术的搭配使用，能够细化浅表松散土层与深部破碎岩体的结构特征，清晰呈现隐蔽地质缺陷的空间分布形态，适配滑坡易发地段复杂多变的地质勘察需求^[2]。

2 滑坡易发地段综合物探与钻探勘察技术体系构建

2.1 联合勘察技术总体设计思路

滑坡易发地段地质结构隐蔽且复杂，勘察工作需要匹配专属的技术架构，结合物探与钻探两种勘察手段的自身特点完成整体方案设计。整体方案围绕场地地质

探测的核心诉求展开,精准摸排地层结构、识别各类地质缺陷,搭建分层分域的标准化勘察作业框架。勘察流程先通过物探手段完成全域地层初步摸排,圈定场地内结构异常的地质区段。再针对重点异常区域布置钻探作业,完成地层精准核验与岩土样本采集。整套设计思路能够有效应对滑坡场地的复杂地质条件,弥补单一勘察方式的固有不足,形成覆盖全面、精度稳定的勘察作业体系。

2.2 综合物探技术选型与参数设定

物探技术的选型以滑坡场地的地层结构与岩土介质特性为依据,筛选适配隐蔽地质构造探测的成熟技术纳入勘察体系。滑坡地段普遍存在浅层土体松散、深部岩体破碎的结构特征,可搭配多种物探方式,分别完成浅层全域普查与深部精准探测工作。设备参数根据场地地形起伏状态、各地层实际埋深情况灵活调整,规范探测间距、采集频率、信号增益等关键参数。合理的参数设置可以降低复杂地质环境对探测信号的干扰,提升软弱夹层、岩体破碎带等特殊结构的信号识别度,保证采集的探测数据具备可靠的参考意义。

2.3 钻探勘察工艺方案设计

钻探工艺方案依托前期物探摸排成果制定,针对地质异常集中区域开展精细化钻探作业。结合不同地层的固结程度与实际埋深情况,选用适配的钻孔施工工艺,明确钻孔孔径、钻进深度等基础施工参数。作业过程严格遵循地层探测规范,逐层开展岩土样本采集,同步记录各项原位地质数据。针对滑坡地段稳定性较差的地层,优化钻进防护工艺,减少施工扰动对原有地层结构的破坏。定制化的钻探工艺可以强化深部地层的探测精度,解决物探间接探测存在的信息偏差问题。

2.4 物探与钻探工序协同布设模式

物探与钻探的工序布设遵循先全域摸排、后定点核验的作业逻辑,形成衔接顺畅的勘察作业流程。先通过全域物探作业摸清测区地层整体分布规律,标记场地内的地质异常点位和重点区段。以物探探明的地质线索为依据,科学规划钻孔位置和作业范围,让钻探作业精准聚焦核心探测区域。利用钻探获取的直观地层数据,完成物探信号与实际地层信息的对应校准。这套布设方式可以精简无效作业环节,提升勘察工作的针对性,充分适配滑坡易发地段复杂的地质勘察场景。

3 滑坡易发地段联合勘察关键技术工艺优化

3.1 复杂地质条件下物探数据采集工艺优化

滑坡易发地段普遍存在地形起伏剧烈、地层构造紊

乱的特点,岩土体风化程度不均、破碎结构穿插分布,常规物探采集工艺难以适配这类复杂场地环境。野外探测过程中,地表起伏形态与松散覆盖层会干扰信号传播路径,引发波形畸变、有效信号衰减等问题,导致原始探测数据混杂大量无效干扰信息。针对性的采集工艺优化聚焦野外作业全流程开展细节调整,调整测线布设形式以适配起伏地形,弱化地形高差对探测信号的负面影响。针对浅表松散层、深部破碎岩体造成的信号损耗问题,调整采集间距与信号接收模式,提升深埋弱异常地质信号的捕捉效率^[3]。加大野外施工各环节管控力度,筛选有效探测波段,削减环境杂波带来的信号干扰,完成原始探测数据降噪处理。

3.2 滑坡破碎地层钻探成孔与取样工艺优化

滑坡核心区域的岩土体整体性较差,破碎地层胶结强度低,松散堆积土体结构疏松,常规钻探作业极易引发孔壁坍塌、钻孔缩径等施工病害。粗放的钻进作业模式会破坏地层原始结构,采集的岩土试样易出现挤压变形、结构破损等缺陷,无法客观反映地层真实状态。成孔工艺优化结合破碎地层的力学特性调整钻进参数,放缓钻进速率、优化钻进压力,选用适配松散破碎地层的专属钻进工艺,提升钻孔成型的规整度与稳定性。取样环节革新传统采集模式,选用低扰动专用取样设备,采用分段渐进式取样方式,弱化机械震动、钻进挤压对原状岩土体的损伤。规范孔内防护操作,维持钻孔孔壁稳定性。

3.3 多源勘察数据融合处理工艺优化

联合勘察施工会生成两种属性不同的勘察资料,物探产出连续剖面数据,钻探得到离散点位数据,两类资料在采集尺度、数据维度、精度等级上存在显著区别,原始资料不能直接用于统一研判和地质判释。零散无序的数据组合会降低地层判别的准确程度,削弱综合勘察模式的实际使用价值。多源数据融合处理工艺优化搭建标准化处置流程,完成整体数据清洗作业,剔除野外作业阶段环境扰动、设备偏差生成的异常数值。统一全部勘察数据的统计口径与精度阈值,搭建适配滑坡场地使用的数据分析架构,实现钻孔点位离散资料和剖面连续资料的深度整合,消除不同勘察手段之间的数据隔阂。

3.4 岩土体分层与地质结构辨识技术优化

滑坡场地地层更迭频次高,土层与岩体交替分布,薄层软弱夹层、隐伏裂隙和破碎带多隐匿于完整地层之间。传统地质辨识手段划分精度有限,难以识别厚度较小的过渡地层与隐蔽缺陷结构,容易造成地层划分粗

糙、地质结构判定模糊等问题。技术优化依托融合后的高精度勘察数据,重构岩土体分层判定标准,细化不同岩土介质的物理参数阈值,提升薄层夹层、软弱过渡地层的识别精度。针对裂隙密集带、岩体破碎区等特殊地质单元,优化结构辨识逻辑与判别标准,强化隐蔽不良地质结构的识别能力。

4 滑坡易发地段联合勘察技术应用规范与质控方法

4.1 联合勘察现场标准化应用规范

滑坡易发地段地形变化复杂,地表覆盖层杂乱,内部地质结构存在明显的不均匀性。野外勘察作业自由度较高,传统施工模式多依靠操作人员经验开展,缺乏统一的执行标准。不统一的作业模式容易造成探测范围不均、施工流程混乱,让勘察作业出现细节漏洞。联合勘察现场标准化应用规范针对滑坡场地独有作业特点,梳理完整的野外作业流程体系。规范内容覆盖前期场地踏勘、设备调试布设、野外数据采集、现场资料归档等关键环节。物探作业明确测线布设密度、设备调试标准、信号采集模式等硬性要求,统一野外探测执行尺度。钻探作业细化孔位标定方式、分级钻进要求、试样封存防护及成孔收尾处置流程,约束各类不规范施工行为^[4]。结合滑坡地层抗扰动能力弱的特点,划定施工操作边界,减少人为因素带来的数据偏差与作业疏漏,全面提升野外勘察作业的规整程度。

4.2 勘察现场应用过程质量控制方法

滑坡场地野外勘察受自然环境与施工条件影响显著,场地地形、气候波动、设备运行状态及人工操作细节都会改变勘察作业质量状态。单一末端核查方式无法覆盖全过程隐患,难以把控整体勘察精度。过程质量控制围绕作业全周期建立分段管控模式。施工筹备阶段完成设备精度校验、场地隐患排查、作业方案复核,消除前期准备阶段的质量隐患。施工推进阶段落实常态化现场巡检,重点核查测线布设精度、钻进参数稳定性、数据采集完整度,及时纠正不规范操作。单段作业结束后,针对原始探测数据、现场岩土试样、纸质记录资料开展全面复核,及时补全缺失内容、修正错误信息。分段管控模式可以细化质量管控颗粒度,

降低外界环境与人为操作带来的质量风险,维持勘察作业的稳定输出状态。

4.3 联合勘察规范化应用质控体系构建

零散的现场规范与阶段性质控手段缺乏联动性,管控内容较为碎片化,无法形成闭环管理模式,难以适配复杂滑坡地段联合勘察的作业需求。质控体系构建以标准化作业流程为基础,整合全过程质量管控手段,搭建适配多技术融合勘察模式的完整管理架构。体系划分野外采集、数据处理、地质解译多个管控模块,明确不同作业模块的质控重点与判定标准。梳理层级化的核查流程,清晰划分各作业环节的管控重点,形成覆盖勘察全流程的管理机制。体系建设充分考虑滑坡地层破碎、隐蔽构造多发的勘察难点,补齐传统质控模式的短板。成型的质控体系能够固化勘察作业标准,规范各环节作业行为,提升联合勘察技术的现场应用稳定性,保障滑坡地段岩土勘察成果的整体质量。

结束语

滑坡区域地质构造错综复杂,地层发育形式多样,传统单一勘察模式存在明显的技术短板。优化后的岩土勘察作业框架实现了物探探测与钻探施工的深度融合,对野外数据采集、多源数据整合、地质结构辨识等核心环节完成系统性升级改造。多元技术相互补充的作业模式,有效弥补单一探测方式的不足,提升复杂地层识别精度与地质数据完整度。完善的现场作业标准与全过程质控机制,可规范勘察施工流程,保障勘察成果严谨可靠,为滑坡区域复杂场地的岩土勘察工作提供成熟完善的技术实施范式。

参考文献

- [1] 黄彬,张昌欢. 滑坡勘察中岩土工程综合勘察技术[J]. 科学与信息化,2024(20):112-114.
- [2] 李炜,张占荣,李时亮,等. 孔内电视技术在岩质滑坡勘察中的应用研究[J]. 工程勘察,2025,53(7):22-27,35.
- [3] 孙红林,化希瑞,赵晋乾. 巨型深层岩质滑坡综合物探勘察模式探讨[J]. 铁道工程学报,2022,39(8):6-11.
- [4] 邓海荣. 岩溶地区滑坡勘察中综合勘察方法的应用[J]. 价值工程,2022,41(22):91-93.