

物探电法在地质灾害隐患排查中的作用

杨 晋

山西省煤炭地质一一五勘查院有限公司 山西 大同 037003

摘 要：地质灾害隐患大多具备隐蔽性强、发育周期长、突发风险高的特点，表层可视病害出现时间普遍滞后于地下结构劣化进程，传统人工巡查与常规钻探的排查模式，难以实现早期隐患的精准识别与全域覆盖。为解决传统排查手段识别精度不足、作业效率低、场地适配性差且易扰动原始地层的工程短板，本文以物探电法技术为核心研究对象，系统探究其在地质灾害隐患排查中的应用作用与技术优势。

关键词：物探电法；地质灾害；隐患排查；作用

引言

长期以来，国内地质灾害隐患排查多依赖人工现场踏勘与常规钻探相结合的方式。但随着地质灾害防控工作向精细化、前置化、全域化转型，传统排查技术已经无法满足现代化防灾减灾的工作需求。物探电法作为一种新型无损探测技术，依托不同岩土体的电性差异实现地下结构成像，具备无破损、高效率、连续性强、场地适配性广的突出优势，能够精准识别地下隐蔽灾害隐患，契合现阶段地质灾害早期排查的工作需求。

1 传统地质灾害隐患排查方式及缺陷分析

1.1 传统人工地质排查方法

（1）人工排查的核心工作内容集中在地表可视隐患识别。工作人员通过观察坡面岩体完整状态、土体开裂情况、地面沉降痕迹以及植被异常变化等表观特征，判断场地是否存在潜在灾害风险。同时结合现场水文条件、地形地貌变化和岩土体表层风化程度，对边坡稳定性、岩体完整性和土体密实状态进行经验化判定。通过阶段性重复巡查，记录场地的变形发展趋势，初步掌握隐患的发育动态，为基础防灾工作提供参考依据。（2）虽然人工排查具备灵活便捷的优势，但整体作业模式存在明显的技术短板。该排查方式过度依赖从业人员的专业经验和主观判断，不同人员的认知水平和工作经验存在差异，容易导致隐患判定标准无法统一，出现同等场地条件下评价结果不一致的问题^[1]。排查结果主观性较强，数据量化程度不足，很难形成标准化、可对比的灾害评价体系。（3）更为突出的问题是人工排查仅能识别地表裸露的显性隐患，无法穿透地层探查地下隐蔽缺陷。多数地质灾害在发育初期，地下结构已经出现松散、裂隙扩展、软弱夹层软化等问题，但地表不会出现明显变化。人工巡查无法捕捉这类早期隐蔽隐患，往往只能在灾害特征明显发育后才能发现问题，导致排查工

作存在严重的滞后性。此外人工排查受地形环境和作业范围限制较大，复杂地貌区域的巡查难度高、覆盖范围有限，整体排查效率偏低，难以满足现阶段高精度、全覆盖、早预警的地质灾害隐患排查工作要求。

1.2 常规钻探排查技术特点

（1）常规钻探排查技术具备自身独特的技术优势，也是其能够长期沿用的核心原因。该技术最大的特点是探测真实性强，钻探取芯可以直接展现地下地层的实际分布情况，能够清晰区分完整岩层、破碎岩体、松散土层以及软弱夹层的分布位置和厚度参数。相比于依靠经验判断的人工排查，钻探技术可以实现数据量化采集，能够精准记录地层埋深、结构厚度、岩土物理状态等具体参数。获取的地层数据可以直接用于地质稳定性分析和灾害风险评价，为地质灾害治理方案设计提供真实可靠的基础数据支撑。（2）在地质灾害隐患排查工作中，钻探技术能够针对性识别各类地下结构性隐患。通过连续取芯观测，可以有效发现地下隐蔽的破碎带、空洞裂隙、软弱滑动层以及土体淘空松散区域。这些深层隐蔽隐患无法通过地表巡查识别，却是诱发滑坡、崩塌、地面塌陷等地质灾害的核心诱因^[2]。钻探作业可以精准锁定隐患层位的具体深度和分布范围，明确地下结构的破损程度，为灾害隐患等级划分和风险评估提供实质性依据，在重点区域精准核查工作中具备不可替代的作用。

（3）尽管常规钻探技术精度可靠，但在实际地质灾害大范围排查工作中，依旧存在诸多无法规避的技术短板。钻探作业属于点状探测模式，单孔钻探仅能反映钻孔点位附近的地层情况，无法实现区域连续性探测。地下地层结构往往具备不均匀分布的特点，破碎带和空洞大多呈现局部发育的特征，单纯依靠离散钻孔很难全面掌握整体区域的隐患分布，容易出现漏判和误判的情况。

（4）常规钻探整体作业流程繁琐，施工周期较长。整套

作业需要经历场地平整、设备安装、机械钻进、芯样采集、编录整理等多个工序,单点位作业耗时久。面对大面积的地质灾害隐患排查区域,钻探技术的工作效率相对低下,很难满足大范围快速普查的工作需求。

1.3 传统排查手段存在的局限性

(1) 传统排查方式整体探测深度与识别维度较为单一,对地表以下发育的浅层隐蔽隐患识别能力较弱。人工巡查只能捕捉地表出现的变形、开裂等显性病害,无法感知地下土体松散、裂隙发育、夹层软化等前期隐性变化。常规钻探仅能获取少量点位的地质数据,无法连续探明浅层大范围的隐患分布。很多地质灾害在萌芽阶段,地表形态保持相对完整,仅存在地下结构弱化和应力异常问题,传统手段难以有效识别这类早期隐患,导致灾害预警存在明显滞后性。(2) 传统排查模式的作业特性决定其无法实现大面积、全覆盖的快速排查工作。人工巡查需要逐段踏勘行进,大范围区域排查需要投入大量人力与时间。常规钻探为单点取样探测方式,单孔作业工序繁琐、耗时较长,只能选取局部重点位置开展探测。两种方式都难以形成连续的地层探测数据,区域探测覆盖率较低,容易遗漏零散分布的小型隐患区域,整体排查效率无法适配规模化、常态化的地质灾害排查工作要求。(3) 钻探属于典型的破坏性探测方式,作业过程会直接打破原有地层的结构完整性与应力平衡状态^[3]。机械钻进会扰动周边岩土体,造成局部岩体松动和土体结构破损,人为新增裂隙通道。若钻孔封堵施工处理不规范,还会形成长期的渗水通道,改变地下水运移规律,进一步弱化地层稳定性。(4) 传统排查手段对场地地形地貌和作业环境要求较高,在复杂地形区域的作业难度极大。地势起伏较大、坡面陡峭、植被密集的区域,人工踏勘通行难度高,巡查作业存在较大安全风险。钻探设备体型较大,场地平整和设备搭设条件难以满足,无法开展常态化探测作业。复杂地形区域往往也是地质灾害高发区域,传统排查手段的适配短板,会直接造成重点灾害区域排查空白,严重制约地质灾害隐患排查的全面性与准确性。

2 物探电法在典型地质灾害隐患中的排查作用分析

2.1 滑坡隐患探测识别作用

(1) 滑坡失稳的核心诱因是地层内部存在力学性质薄弱的结构层,也就是软弱夹层和潜在滑动面。这类结构层土体胶结程度较差,孔隙发育且含水率偏高,与上下层完整密实岩土体存在明显的电性差异。完整致密的岩体和干燥土层电阻率数值相对较高,而软弱夹层、软化泥层和潜在滑动带普遍呈现低电阻率特征。物探电法

通过采集坡体内部电性分布数据,能够清晰圈定低阻异常层的埋藏深度、厚度以及空间延展形态。根据电性剖面的连续变化规律,可以精准区分稳定地层与软弱结构层的分布范围,有效识别潜在滑动面的发育位置。相较于钻探仅能获取单点数据的局限,电法探测可以形成连续剖面,完整反映滑动带的整体延展特征,为判断滑坡滑动规模和失稳风险提供可靠依据。(2) 坡体土体松散破碎和局部积水富集,是加速滑坡发育的重要条件。土体松散区域孔隙空间较大,结构整体性差,内部容易蓄积地下水,形成连片低阻异常区域。而密实完整的稳定坡体电性分布均匀,不存在明显异常反应。物探电法可以根据电阻率数值的差异,有效区分坡体密实区域、松散破碎区域和地下水富集区域。

2.2 崩塌危岩体隐患排查作用

(1) 岩体裂隙是诱发危岩体崩塌的基础性缺陷,裂隙持续发育会逐步切割完整岩体,破坏结构整体性,大幅降低岩体整体稳定性。裂隙发育区域的岩体整体性被破坏,内部孔隙增多,极易富集空气和地下水,导致岩体电阻率出现明显异常变化。完整致密的岩体电性参数均匀稳定,而裂隙密集区域会呈现明显的电性异常特征。物探电法可以通过连续采集岩体表面电性数据,结合反演成像技术,清晰勾勒出岩体内部裂隙的发育范围、分布密度和延展深度。工作人员可以根据电性异常分布规律,区分轻微裂隙发育区域和重度破碎区域,精准判断危岩体的破损程度^[4]。这种全域连续探测的方式,能够有效避免人工排查漏判局部细微裂隙的问题,实现危岩体裂隙隐患的全方位排查。(2) 危岩体长期受风化作用和地质应力作用,内部容易形成隐蔽空洞和深层破碎带,这类隐蔽隐患是突发性崩塌灾害的主要诱因。岩体内部空洞区域无介质填充,会呈现明显的高电阻率异常。破碎带岩土结构松散,孔隙含水条件复杂,会形成连片的电性异常区域。物探电法可以精准捕捉这类特殊电性差异信号,清晰圈定岩体内部空洞的空间位置、尺寸规模以及破碎带的分布范围与发育深度。内部空洞和深层破碎带不会在岩体表面产生明显变形特征,常规巡查和少量钻探很难精准定位。依托电法探测成果,可以准确掌握危岩体内部结构缺陷的分布情况,明确危岩体的高危破损区域,为崩塌隐患等级评定、风险预判和后期整治加固提供精准、全面的基础探测数据。

2.3 地面塌陷隐患探测作用

(1) 地下空洞与空腔是诱发地面塌陷最为直接的地质条件,空洞内部缺少岩土介质填充,和周边密实土体岩层会形成十分明显的电性差异。空腔内部多被空气占

据,整体电阻率数值会显著高于周边地层,在电法反演剖面上会形成特征明显的高阻异常区域。物探电法通过测线连续采集电性数据,可以捕捉地下空洞带来的异常响应信号,进一步确定空洞的埋藏深度、平面分布边界以及空间规模。这类地下空腔埋藏于地表之下,不会对外输出直观的地表信号,依靠目视巡查完全无法发现。钻探如果没有恰好布设在空洞位置,也会出现漏判问题。物探电法的连续探测模式可以有效规避点状探测的局限性,完成大面积范围内的空洞筛查,提前锁定具备塌陷风险的空腔位置,实现塌陷隐患的早期预警。(2)土体疏松以及地下淘空区域属于塌陷灾害的前期过渡形态,地层内部土体颗粒流失,原有密实结构被破坏,孔隙占比增大。这类区域内部孔隙容易储存地下水,电性表现会出现明显变化,和周边压实状态良好的土体形成区分。物探电法可以根据电阻率的变化特征,区分密实土体与疏松淘空土体的分布边界。土体淘空区域属于渐进式发育的隐患,会随着地下水持续运移不断向外扩展,逐步演化为规模更大的地下空腔。电法探测能够划定疏松土体的平面延展范围和埋深区间,掌握隐患的发育规模。结合电性异常的强弱变化,还可以大致区分土体疏松的严重程度,划分不同风险等级的隐患区域。探测成果可以帮助工作人员把握塌陷隐患的发育阶段,区分潜在危险区和相对稳定区域,为后续的监测管控和治理工作提供参考依据。

2.4 泥石流物源区隐患排查作用

(1)物源区内部松散堆积土体的孔隙占比更高,颗粒之间胶结程度弱,孔隙空间容易储存地下水,和下部完整基岩存在显著的电性区别。完整基岩结构致密,电性参数整体稳定。上部松散堆积层受含水率变化影响,会出现大范围的电性异常。物探电法通过测线连续采集数据,经过反演处理之后,可以清晰划分松散堆积层与下部基岩的分界面,获取堆积层的实际厚度分布情况^[5]。通过电性剖面的连续变化,能够识别堆积层厚度较大的

重点物源地段,掌握物源物质的空间分布规模。(2)除堆积厚度之外,物源区内部的含水条件也是影响泥石流启动的关键因素。松散堆积体内部的地下水会持续弱化土体颗粒之间的粘结力,降雨之后水体进一步富集,会大幅提升土体的流动运移能力。物探电法可以根据电阻率的变化特征,识别物源区内地下水富集的区段。这类含水区域是泥石流灾害的高危启动部位,水体的持续浸润会不断扩大可参与运动的松散物源体量。电法探测可以圈定含水异常的分布范围,区分干燥松散堆积体与饱水松散堆积体,为物源危险性分级提供依据。

结束语

综上所述,相较于人工巡查和常规钻探,物探电法摆脱了点状探测和表层识别的局限,可实现大范围、连续性的地下结构探测,能够精准捕捉地质灾害萌芽阶段的隐性隐患。同时该技术采用无损作业模式,不会扰动原始地质地层,适配复杂地形作业场景,有效解决了传统排查效率低、覆盖不全、易漏判、破坏性强等诸多问题,显著提升了地质灾害隐患排查的精细化与科学化水平。

参考文献

- [1]莫子奋.综合物探技术在地质灾害隐患排查中的应用[J].中国金属通报,2021,(22):162-163.
- [2]庞丽娟.物探技术在地质灾害应急中的应用[J].华北自然资源,2025,(5):54-57.
- [3]陈军弟.综合物探方法在岩溶塌陷地质灾害勘察中的应用研究[J/OL].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2024,(6):0029-0032.
- [4]贺帅,曹玉鑫,刁希杰,等.煤矿资源勘察及开采过程中的物探技术研究[J].内蒙古煤炭经济,2026,(8):178-180.
- [5]邹勇,鲁锦,马建博.高密度电法在水库大坝勘察中的应用[J/OL].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2025,(3):186-1902.