

地质勘察中综合物探方法的应用

康辰凯 周 敬

河北省区域地质调查院（河北省地学旅游研究中心） 河北 廊坊 065000

摘 要：综合物探方法通过整合多种地球物理探测技术，利用地质体间物理性质差异获取地下信息，已成为地质勘察不可或缺的技术手段。在岩土工程、水文地质、矿产资源勘查及地质灾害勘察等领域，其凭借高效、无损、多信息获取的优势，实现地质结构精细探测与异常体精准识别。然而，数据解释多解性、仪器设备局限及专业人才短缺等问题制约其发展。通过技术创新与人才培养，可进一步提升综合物探方法在地质勘察中的应用效能与精度。

关键词：地质勘察；综合物探方法；应用

引言

随着地质勘察需求向高精度、复杂化方向发展，单一物探方法的局限性日益凸显。综合物探方法通过集成重力、磁力、电法、地震等多种探测技术，实现不同物性参数互补，显著提高地质信息解译可靠性与准确性。本文聚焦综合物探方法在岩土工程、水文地质、矿产资源勘查及地质灾害勘察等场景的应用实践，剖析其应用中存在的数据解释、设备技术及人才培养等问题，并针对性提出改进策略，为提升地质勘察工作质量提供理论与实践参考。

1 综合物探方法概述

综合物探方法是基于地球物理场的理论，通过对多种地球物理异常信息的采集、分析与处理，探测地下地质体或目标体的空间分布、物性特征及变化规律的一系列技术手段的集成应用。地球介质存在明显的物性差异，如密度、磁性、电性、弹性波速度等，这些差异会导致相应地球物理场的局部变化，形成可观测的物理异常，综合物探方法正是利用这些物理异常来反演地下结构。在实际工作中，单一物探方法常受地质条件、探测目标特性、场地环境等因素限制，存在多解性与局限性。例如，电阻率法受地下水分布、岩性变化影响大，仅依靠该方法难以精准区分不同岩性体；磁法勘探在磁性干扰复杂区域，易出现异常误判。综合物探方法整合了多种物探手段，如重力勘探、磁力勘探、电法勘探、地震勘探等，各方法依据不同物理性质对地质体进行探测。重力勘探通过测量地下物质密度差异引起的重力异常，揭示构造形态与隐伏岩体分布；磁力勘探利用地质体磁性差异，圈定磁性地质体边界；电法勘探基于岩石和矿石的电学性质差异，研究地下地质体的电性结构；地震勘探则根据地震波在不同介质中的传播速度与反射特性，获取地层结构信息。通过多种物探方法的联合应

用，从不同角度获取地质体信息，可实现数据相互补充验证。对多种物探数据进行综合分析与解释，能够有效降低单一方法的多解性，提高探测结果的可靠性与准确性，更全面、深入地揭示地下地质结构特征与目标体分布规律，在矿产资源勘查、工程地质勘察、水文地质调查、环境地质监测等领域发挥重要作用。

2 综合物探方法在不同地质勘察场景中的应用

2.1 岩土工程勘察

（1）在岩土工程勘察中，高密度电法凭借对地下介质电阻率差异的敏锐捕捉能力，可有效划分地层结构。其通过在地表布设密集电极，采集不同位置的电位数据，构建地下电阻率分布模型，清晰呈现基岩面起伏、软弱夹层及破碎带分布情况，为地基基础设计提供关键依据。例如在高层建筑地基勘察中，利用高密度电法能精准定位基岩埋深及岩性变化，判断是否存在溶洞等不良地质体，保障建筑基础稳定性。（2）地震折射波法与地震反射波法协同应用，可深入探测地下深部地层构造。地震折射波法利用地震波在不同地层界面的折射特性，确定浅层地层速度结构；地震反射波法则通过接收地下反射波信号，获取更详细的地层分层信息，二者结合能精确划分出不同岩土体的分布范围与埋藏深度，对于大型桥梁、隧道等工程的地质条件评估意义重大。（3）探地雷达以高频电磁波作为探测媒介，对地下浅层目标体的探测具有较高分辨率。在场地回填土密实度检测、地下管线探测等工作中，探地雷达通过发射电磁波并接收反射回波，依据波形特征和时间差异，快速确定目标体的位置、埋深及几何形态，极大提高了岩土工程勘察的效率与精度^[1]。

2.2 水文地质勘察

（1）自然电场法和激发极化法在水文地质勘察中，对寻找地下水具有独特优势。自然电场法基于地下水流

经岩石颗粒时产生的过滤电场原理,可识别地下水的径流方向和可能的富水区;激发极化法则通过向地下供入电流,观测二次电位衰减特征,区分含水岩石与不含水岩石,从而确定含水层的分布范围和富水性,为水源地选址提供重要参考。(2)电磁法能够有效探测地下含水层的分布与变化情况。其中,大地电磁测深法利用天然电磁场作为场源,可探测深部地层的电性结构,确定不同深度含水层的位置与厚度;可控源音频大地电磁法通过人工控制场源,对浅层含水层的分辨率更高,二者结合可实现对地下水系统的立体探测,清晰呈现地下水的赋存状态和水力联系。(3)放射性测量法针对地下水中放射性元素含量的差异进行探测。某些地下水在形成和运移过程中会富集放射性物质,通过测量土壤或水中放射性强度的变化,能够推断地下水的流动路径和富集区域,尤其在寻找深层承压水和热水资源方面具有重要的应用价值,为地下水资源开发利用提供科学依据。

2.3 矿产资源勘查

(1)重力勘探依据不同地质体的密度差异,通过精确测量重力异常来探寻隐伏矿体。地球内部不同地质构造及物质成分致使密度各不相同,当矿体与围岩存在明显密度差时,便会打破原有重力场的平衡,引发局部重力场变化。利用高精度重力仪细致采集数据,再经过专业的处理分析,就能圈定潜在的含矿构造和矿化富集区,为后续钻探验证提供明确目标区域,在寻找金属矿和盐类矿产等方面发挥重要作用。(2)磁法勘探基于岩石和矿石的磁性差异,利用磁力仪测量地磁场的异常变化。磁性矿体或与成矿有关的磁性地质体往往会产生磁异常,通过对磁异常的分析解释,能够确定磁性地质体的空间位置、形态和规模,在寻找磁铁矿、铜镍硫化物矿床等磁性矿种勘查中是重要的技术手段。(3)高精度电阻率法结合激电测深法,可有效识别金属硫化物矿体。金属硫化物矿体具有低电阻率和高极化率的特性,通过测量地下介质的电阻率和极化率参数,构建地下电性结构模型,能够准确圈定矿体的赋存位置和范围,在多金属矿勘查中为钻探工程布置提供精准的靶区定位,提高矿产资源勘查的成功率^[2]。

2.4 工程地质灾害勘察

(1)地质雷达在滑坡体探测中,可快速查明滑坡体内部的结构特征。其发射的高频电磁波在遇到不同介质界面时产生反射,通过对反射信号的分析,能够清晰显示滑坡体的滑动面位置、厚度以及内部裂隙发育情况,为滑坡稳定性评价和治理方案设计提供直观的地质资料,及时预警滑坡灾害的发生。(2)微动探测技术基

于地球表面的天然微振动信号,通过分析不同频率成分的瑞雷波特性和,获取地下介质的剪切波速度结构。在岩溶塌陷、地面沉降等地质灾害勘察中,微动探测可有效识别地下空洞、松散地层等不良地质体的分布范围和埋深,为灾害预防和治理提供准确的地质依据,保障工程建设和人民生命财产安全。(3)高密度电法联合地震映像法在泥石流灾害勘察中,能够全面了解泥石流形成区、流通区和堆积区的地质条件。高密度电法可探测松散堆积体的厚度和物质组成,地震映像法则通过分析地震波反射特征,查明基岩面起伏和断裂构造分布,二者结合有助于评估泥石流的形成机制和潜在危险性,为制定科学合理的防灾减灾措施提供重要支撑。

3 综合物探方法在地质勘察应用中存在的问题与改进策略

3.1 存在的问题

3.1.1 数据解释多解性问题

地质体复杂的物理性质与空间分布特性,致使综合物探方法获取的数据存在多解性。不同地质体可能具有相似的物性参数,例如某些砂岩与灰岩的电阻率相近,这使得基于电阻率法的物探数据难以精准区分二者边界。地球物理场的叠加效应加剧了数据解释难度,同一异常可能由多种地质因素共同引发,如地下空洞与断裂构造在重力异常图上可能呈现相似的特征。物探数据的反演过程本身就具有非唯一性,即便采用先进的算法,在缺乏足够先验信息的情况下,也难以获得唯一且准确的地质模型。这种多解性问题极大地影响了地质勘察结果的可靠性与准确性,容易导致对地质构造、地层分布等关键信息的误判,为后续工程设计与施工埋下隐患。

3.1.2 仪器设备及技术局限性

当前物探仪器设备及技术在地质勘察应用中存在诸多局限。部分仪器的探测精度与分辨率难以满足复杂地质条件下的勘察需求,在深部地质结构探测时,受电磁波衰减、干扰信号等因素影响,仪器获取的数据信噪比低,导致深部地质体的成像模糊不清。不同类型的物探仪器在数据采集频率、采样间隔等参数设置上存在差异,使得多方法联合探测时数据难以有效匹配融合。一些仪器设备对使用环境要求苛刻,在高温、高湿、强电磁干扰等特殊环境下,仪器性能会出现明显下降,甚至无法正常工作。现有的物探技术在面对复杂地质体接触带、隐蔽型地质灾害体等特殊地质目标时,探测能力不足,难以准确获取其空间形态与物理特性参数^[3]。

3.1.3 专业人才短缺与综合应用能力不足

地质勘察领域中,专业从事综合物探方法应用的人

才数量短缺,且综合应用能力不足。综合物探涉及地球物理学、地质学、计算机科学等多学科知识,要求技术人员不仅要精通各类物探方法原理与数据处理技术,还需具备扎实的地质专业知识,能够将物探结果与地质现象紧密结合。实际情况是,多数技术人员仅擅长单一物探方法的操作与数据处理,对多种物探方法的联合应用缺乏深入理解,无法充分发挥综合物探的优势。在面对复杂地质勘察任务时,难以合理选择物探方法组合,对多源数据的综合分析能力薄弱,无法从海量数据中提取出关键地质信息,导致勘察成果质量不高,难以满足工程建设对地质勘察的高精度要求。

3.2 改进策略

3.2.1 加强多源数据融合与综合分析

为有效解决数据解释多解性问题,需加强多源数据融合与综合分析。在地质勘察过程中,充分利用多种物探方法获取的不同类型数据,如重力、磁力、电法、地震等数据,结合地质调查、钻探等其他手段获取的信息,构建多源数据融合模型。运用先进的数据处理算法与软件,对不同来源的数据进行标准化处理与空间配准,挖掘数据间的内在联系与互补信息。通过建立地质-地球物理联合反演模型,将地质约束条件引入物探数据反演过程,利用地质先验知识对反演结果进行约束与优化,减少数据解释的多解性。采用可视化技术对融合后的多源数据进行展示,从多个角度直观呈现地质体的空间分布与物理特性,提高地质勘察结果的准确性与可靠性。

3.2.2 推动仪器设备研发与技术创新

针对仪器设备及技术局限性,应积极推动仪器设备研发与技术创新。科研机构与企业需加大研发投入,聚焦物探仪器的探测精度、分辨率、环境适应性等关键性能指标,研发新型传感器与探测技术。例如,开发高灵敏度、宽频带的地震检波器,提高深部地质结构的探测能力;研制抗干扰能力强的电磁探测仪器,适应复杂电磁环境下的勘察需求。优化仪器设备的数据采集与处理系统,实现多类型物探仪器数据的同步采集与无缝对接,提高数据采集效率与质量。探索将人工智能、大数

据等新兴技术应用于物探数据处理与解释,开发智能化的数据处理软件,实现物探数据的快速分析与异常自动识别,提升物探技术的智能化水平与应用效能^[4]。

3.2.3 加强专业人才培养与技术培训

为解决专业人才短缺与综合应用能力不足的问题,需加强专业人才培养与技术培训。在高校相关专业课程设置中,增加综合物探方法的教学内容,注重多学科知识的交叉融合,培养学生的综合应用能力。企业与行业协会应定期组织专业技术培训与学术交流活动,邀请行业专家分享综合物探方法的应用案例与前沿技术,为技术人员提供学习与交流的平台。鼓励技术人员参与实际地质勘察项目,在实践中积累经验,提高对多种物探方法的操作技能与数据处理能力。通过建立完善的人才激励机制,吸引更多优秀人才投身于综合物探领域,打造一支专业素质高、综合应用能力强的人才队伍,为地质勘察行业的发展提供有力的人才支撑。

结语

综上所述,综合物探方法在地质勘察各领域发挥着关键作用,有效弥补单一方法的不足,推动地质勘察向高效、精准方向发展。尽管当前面临数据解释复杂、技术设备受限及人才短缺等挑战,但通过多源数据深度融合、仪器设备创新研发与专业人才体系化培养,能够不断优化综合物探方法的应用效果。未来,随着技术进步与应用拓展,综合物探方法将在地质资源勘探、工程建设安全保障等方面展现更大潜力与价值。

参考文献

- [1]蒋向东.综合物探方法在工程地质勘察中的应用[J].中国战略新兴产业,2021(32):103-105.
- [2]邱凯强.综合物探方法在工程地质勘察中的应用[J].建筑工程技术与设计,2020(16):4305.
- [3]侯秋平,方超.物探方法在工程地质勘察中的应用探析[J].建筑工程技术与设计,2020(36):4297.
- [4]刘鹏程.综合物探方法在工程地质勘察中的应用[J].四川水泥,2020(1):134.