

工程地质勘察中地球物理勘探的应用研究

刘沛岩

河北省水利水电勘测设计研究院集团有限公司 天津 300221

摘要: 工程地质勘察是各类工程建设的重要前期工作,其准确性和全面性直接关系到工程的安全性、稳定性与经济效益。本文探讨了地球物理勘探在工程地质勘察中的应用及其重要性。通过详细介绍地震波CT技术、TSP法、高密度电法、地质雷达和地震折射波法等多种地球物理勘探方法的基本原理与特点,并分析了这些技术在工程地质勘察中的具体应用案例。同时,文章还讨论了地球物理勘探数据的采集、质量控制、处理技术和解释方法。针对在工程地质勘察中地球物理勘探面临的挑战,提出了相应的对策与建议。研究表明,地球物理勘探为工程地质勘察提供了有效的技术手段,对于提高勘察效率和准确性具有重要意义。

关键词: 工程地质勘察;地球物理勘探;应用研究

引言:工程地质勘察是工程建设的重要环节,对于确保工程安全、提高工程质量具有重要意义。在工程地质勘察中,地球物理勘探作为一种非侵入性的探测方法,因其高效、准确的特点而备受关注。地球物理勘探利用地球物理场(如重力场、磁场、电场、地震波场等)的变化和分布规律,通过测量和分析这些物理场的数据,推断地下地质结构和岩石性质。旨在探讨地球物理勘探在工程地质勘察中的应用,分析其基本原理与方法,并讨论在实际应用中所面临的挑战与对策,以期工程地质勘察提供有益的参考。

1 地球物理勘探基本原理与方法概述

1.1 地球物理勘探基本原理

地球物理勘探是基于地质体之间存在的物理性质差异来开展工作的。不同的地质体,如岩石、土壤、矿体等,在密度、磁性、电性、弹性和放射性等物理属性方面各不相同。这些物理性质的差异会引起地球物理场的变化,例如重力场、地磁场、电场、弹性波场和放射性场等。通过专门的仪器设备对这些物理场进行测量和分析,就可以推断地下地质体的分布、形态和性质。例如,密度较大的地质体在重力场中会产生明显的重力异常;具有磁性的地质体则会引起地磁场的局部变化。利用这些物理场与地质体的内在联系,地球物理勘探能够在不进行大量钻探等直接接触式勘察的情况下,获取地下地质结构的信息,为工程地质勘察提供重要依据。

1.2 常用地球物理勘探方法分类与介绍

1.2.1 地震勘探

通过人工激发地震波,利用地震波在不同地层中的传播速度、反射和折射特性差异来探测地质结构。它能精准确定地层界面、断层位置等,适用于油气勘探、工

程场地勘查等,可提供详细地下构造信息,为工程建设及资源开发提供关键依据。

1.2.2 电法勘探

依据岩土体电学性质差异开展工作。电阻率法通过测量不同部位电阻率了解地质体;电位法关注电位变化。可有效探测地下水分布、地质分层及寻找金属矿等,在水文地质勘察和矿产普查中广泛应用,经济且高效地获取地下电性结构信息。

1.2.3 重力勘探

基于地球重力场变化原理,测量地球表面重力值的微小差异。地下物质密度不均会导致重力异常,借此可探测地质构造,如大型褶皱、断层,还能用于寻找盐丘、金属矿等。在大面积区域地质调查、深部地质构造研究中作用显著,能宏观把握地下地质体分布格局。

1.2.4 磁法勘探

利用岩石磁性差异,测量地球磁场变化。地下磁性体的存在会使磁场发生畸变,从而确定磁性地质体的分布范围与深度,像磁铁矿勘查、地质构造填图等。在寻找磁性矿产、研究岩浆岩分布以及探测地下古遗址等方面有独特优势,能快速圈定目标区域。

1.2.5 放射性勘探

主要探测岩石或矿石中的放射性元素含量及分布。不同放射性元素衰变时会释放特征射线,通过检测射线强度和类型来判断地质体性质。常用于铀矿勘查、地质填图中确定地层年代等,对特定放射性矿产资源勘探和地质研究有着不可或缺的作用,能为相关领域提供重要数据支持^[1]。

2 地球物理勘探在工程地质勘察中的应用

2.1 地震波CT技术的应用

地震波 CT 技术在工程地质勘察中展现出卓越的应用效能。其核心原理是利用地震波在不同地质体中的传播速度差异,通过在目标区域的多个点位布置震源与接收器,形成密集观测网络。在水利水电工程的大坝选址勘察中,地震波 CT 技术能够清晰地揭示坝基岩体的内部结构。它可以精准地探测到基岩中的断层、裂隙密集带以及软弱夹层等不良地质构造,为大坝设计提供关键的地质参数,以便确定合理的坝型和基础处理方案,保障大坝的长期稳定性和安全性。在城市轨道交通工程的地质勘察中,该技术可对沿线地层进行高分辨率成像。准确判断地下土层的分层情况、砂土层与黏土层的分布范围以及是否存在孤石等障碍物,帮助工程师提前规划施工方案,选择合适的盾构机类型及施工参数,避免施工过程中出现刀具磨损、盾构机卡壳等工程事故,有效提高施工效率,降低施工成本。

2.2 TSP法的应用

在隧道施工过程中,TSP 法通过在隧道掌子面后方的钻孔中布置地震波传感器,然后人工激发地震波。地震波在隧道前方的岩体中传播时,会因不同地质体的弹性差异而产生反射波。这些反射波被传感器接收后,经过数据处理与分析,能够准确地预测隧道前方一定范围内的地质情况。例如,它可以清晰地探测到前方岩体中的断层、节理裂隙密集带、软弱夹层以及岩溶洞穴等不良地质体的位置、规模和产状。在穿越复杂地质区域的高铁隧道建设中,TSP 法提前预警了多处岩溶发育地段,使得施工方能够及时调整施工工艺,采取超前支护、预注浆等措施,有效地避免了涌水、塌方等重大事故的发生,保障了施工安全与进度。在山区公路隧道工程里,TSP 法为隧道的设计变更提供了关键依据,如根据其探测结果对隧道的支护参数进行优化,合理增加衬砌厚度或调整锚杆长度与间距等,从而降低了工程成本,提高了隧道的耐久性。

2.3 高密度电法的应用

它基于岩土体电学性质差异,通过在测线上布置大量电极,采用多种电极排列方式进行测量。在水利工程中,可用于堤坝隐患探测。能快速查明堤坝内部是否存在渗漏通道、疏松层或软弱夹层等问题,确定其位置和范围,为堤坝加固维修提供精准依据,保障水利设施安全运行,防止因渗漏引发溃坝等严重灾害。在城市建设方面,对于探测地下空洞极为有效。例如在地铁施工前,利用高密度电法可以清晰地发现地下溶洞、采空区等空洞情况,以便提前制定应对措施,避免施工过程中出现地面塌陷等危险,保障施工人员安全和工程顺利推

进。在考古勘探领域,高密度电法也大显身手。

2.4 地质雷达的应用

地质雷达在工程地质勘察中有着广泛的应用,其原理是利用高频电磁波在地下介质中的传播特性,通过发射天线向地下发射电磁波,当电磁波遇到不同电性介质界面时会发生反射,接收天线接收反射波并进行分析处理。在道路工程中,地质雷达可用于检测路面结构层厚度、路基病害等。它能够快速且非侵入性地确定沥青层、水泥稳定层的厚度是否达标,以及路基中是否存在空洞、疏松区域或含水量异常区域,为道路养护和新建道路质量把控提供重要依据。在建筑工程方面,地质雷达可对建筑物基础进行检测,清晰地探测基础底部的持力层状况、是否存在软弱夹层以及基础周边土体的稳定性,有助于及时发现潜在的基础安全隐患,确保建筑物的安全稳定。

2.5 地震折射波法的应用

它基于地震波在不同地层中传播速度不同的原理,当激发的地震波从高速地层向低速地层传播时,会产生折射现象。在石油勘探工程里,地震折射波法能够探测地下不同沉积岩层的分布与结构特征,帮助确定储油层的位置、厚度及埋深等关键信息,为油井的精准定位与开采方案设计提供重要依据,极大提高了石油勘探的成功率与效率。在大型桥梁工程地质勘察中,可用于测定桥基持力层的深度与起伏状况。通过分析折射波数据,明确基岩顶面的形态以及其上方覆盖层的性质,以便合理设计桥基类型、深度与规模,确保桥梁在漫长使用周期内的稳定性与安全性,抵御水流冲刷、地震等自然灾害的影响。在铁路工程选线方面,地震折射波法可快速了解沿线地层的大致分层情况,发现如软弱土层、断层破碎带等不良地质构造,为线路规划提供参考,避免在地质条件复杂区域建设铁路,减少后期因地质问题引发的轨道变形、路基下沉等工程病害,保障铁路运营的顺畅与安全^[2]。

3 地球物理勘探数据处理与解释

3.1 数据采集与质量控制

不同地球物理方法有其特定的数据采集系统与流程。如地震勘探需在合适的激发点激发地震波,并在接收点用检波器记录反射或折射波信号,要注意震源能量、激发频率等参数的选择。电法勘探要合理布置电极,确定供电电流大小和测量电位差的精度。质量控制至关重要。影响数据质量的因素众多,环境噪声会干扰信号,如地震勘探中周边的交通、工业活动产生的振动,采集时要选择合适的时间或采取屏蔽措施。仪器误

差不可忽视,需定期校准仪器,保证测量精度。测量方法不当也会导致问题,如电极排列不合理影响电法数据。

3.2 数据处理技术

首先是预处理,针对不同地球物理方法有不同的预处理方式。在 seismic 勘探数据中,滤波可去除高频噪声和低频面波干扰,使有效信号更清晰;对电法勘探数据,需要进行去噪和校正,去除因电极极化等因素产生的虚假异常。数据反演技术是核心,包括线性反演和非线性反演。线性反演在假设模型和数据关系为线性的基础上求解地下地质体参数,计算速度快但在复杂地质条件下可能有偏差。非线性反演则更适用于复杂地质情况,通过迭代优化的方式不断调整模型参数,使其更符合实测数据,但计算成本较高,通过这些数据处理技术能将采集的数据转化为有价值的地质模型。

3.3 数据解释方法

根据地球物理异常特征结合地质知识进行解释。在重力勘探中,若出现负重力异常,结合当地地质情况,可能推断存在地下空洞或低密度地质体;磁法勘探中,特定的磁异常模式可能代表磁性矿体或地质构造边界。地质解释存在多解性问题。由于地球物理场的复杂性,一种异常可能由多种地质原因导致。解决多解性需要综合地质资料分析,比如将地球物理数据与已有的地质图、钻探资料相结合,多种方法对比验证也很重要,如同时利用地震和电法勘探结果相互印证,减少解释的不确定性,从而准确推断地下地质结构和性质,为工程地质勘探提供可靠依据。

4 地球物理勘探在工程地质勘察中的挑战与对策

4.1 地球物理勘探面临的挑战

地球物理勘探在工程地质勘察中虽成效显著,但也面临诸多挑战。地质条件的极端复杂性是首要难题,如在喀斯特地貌区,溶洞、地下河纵横交错,强烈的地质不均匀性致使地球物理场变化剧烈且无规律,大大增加了数据解释的难度与多解性。其次,地球物理勘探的探测深度和精度受多种因素制约,在深部地质勘察中,信号衰减严重,难以获取清晰、准确的深部地质信息,对于一些微小地质异常体的探测精度也有待提高。再者,特殊地质体或地质现象的探测存在局限性,像某些弱磁性或无磁性的金属矿,磁力勘探效果不佳;高阻屏蔽层会阻碍电法勘探深入探测。此外,地球物理勘探要求操作人员具备较高的专业素养和丰富经验,数据处理与解释也需要强大的计算资源和先进的软件算法,而目前相

关专业人才短缺、技术配套不完善的情况也在一定程度上限制了其更广泛、高效的应用。

4.2 应对挑战的策略与建议

为有效应对地球物理勘探在工程地质勘察中的挑战,可采取以下策略与建议。(1)加强多方法综合运用,将地震勘探、电法勘探、重力勘探等多种方法有机结合,依据不同地质条件和勘察目标,制定最优组合方案,使各种方法相互补充、相互验证,从而降低数据解释的多解性,提高勘察结果的准确性与可靠性。例如在复杂山区,联合地震波 CT 技术与高密度电法,全面探测地质结构与地下水文情况。(2)大力推进技术创新研发,投入更多资源开发新型地球物理勘探仪器设备,提高其灵敏度、分辨率以及抗干扰能力,以增强对深部地质体和微小异常体的探测能力。如研制新型超低频电磁探测仪,突破高阻屏蔽难题。(3)注重跨学科人才培养,鼓励地质学、物理学、计算机科学等多学科交叉融合,高校与科研机构应设立相关交叉学科课程与研究项目,培养既懂地质原理又精通地球物理勘探技术与数据处理分析的复合型人才,为行业发展提供智力支持,确保地球物理勘探在工程地质勘察中发挥更大效能,推动工程建设顺利开展^[3]。

结束语

在工程地质勘察领域,地球物理勘探无疑是一把锐利的“地质探针”。通过对多种地球物理勘探方法的深入探究与应用实践,我们清晰地看到其在精准揭示地质构造、高效评估岩土体特性、有效探测地下水文以及精准定位地下空洞与掩埋物等多方面发挥的不可替代的作用。尽管当前仍面临数据解译多解性等挑战,但随着技术的持续创新与学科交叉融合的深入推进,地球物理勘探必将在工程地质勘察中绽放更为绚烂的光彩,为各类工程项目的顺利开展筑牢坚实的地质根基,助力工程建设迈向新的高度。

参考文献

- [1]李星,亢会明,吴有亮,等.物探综合成像技术在工程勘察中的应用研究[J].物探化探计算技术,2019,35(3):360-368.
- [2]王建飞.高密度电法在工程地质勘察中的应用-以云南曲靖危险废物集中处置区为例[J].云南大学学报,2019,39(S2):317-321.
- [3]尹德强,张宏兵,燕柯.高高密度电法在工程勘察中实测效果分析[J].科学技术与工程,2019,12(19):4737-4741.