

科技赋能物探方法在工程地质勘察中的应用探索

周鑫

中石化石油工程设计有限公司，山东省东营市，257000；

摘要：工程地质勘察是工程建设的关键环节，传统物探方法存在效率低、精度不足等局限，科技赋能物探方法融合地球物理探测、遥感、大数据与人工智能等技术，通过多源数据采集与智能分析，显著提升勘察效率与精准度。在岩土工程、地下水水资源勘探、地质灾害监测等领域应用广泛，有效解决复杂地质条件下的勘察难题，为工程规划设计提供可靠数据支撑，对推动工程地质勘察行业技术革新意义重大。

关键词：科技赋能；物探方法；工程地质勘察；应用

DOI：10.69979/3029-2727.25.04.037

工程地质勘察是工程建设的基石，其结果直接影响项目的规划、设计与施工安全。然而，传统物探方法在面对复杂地质条件时，常因效率低、数据处理滞后等问题，难以满足现代工程建设需求。随着地球物理探测、遥感、大数据与人工智能等技术的发展，科技赋能物探方法应运而生，为工程地质勘察带来新突破，深入研究其应用，对提升勘察质量、推动行业发展具有重要现实意义。

1 物探方法在工程地质勘察中的重要性

工程地质勘察是各类工程建设项目开展的重要前提，而物探方法在其中扮演着无可替代的关键角色，对工程建设的全流程起着支撑作用。在项目规划阶段，物探方法能通过地球物理探测、遥感等技术，快速且大范围地获取地质信息，帮助工程师掌握场地的地层结构、岩性分布等情况，从而为工程选址提供科学依据。例如在大型水利枢纽工程选址时，借助物探技术可探测潜在坝址区域的断层分布、基岩埋深，有效规避地质条件复杂区域，降低工程建设风险。

进入设计阶段，物探方法获取的高精度数据，为工程设计参数的确定提供有力支撑。通过对岩土体物理力学性质的探测分析，能够准确计算地基承载力，优化基础设计方案，避免因设计不合理导致的工程事故或资源浪费。以高层建筑为例，利用物探方法精准探测地下土层特性，有助于设计出安全且经济的桩基方案。

在工程施工过程中，物探方法同样不可或缺，实时的地质监测能够及时发现施工过程中遇到的不良地质体，如溶洞、软弱夹层等，便于施工方及时调整施工工艺，保障施工安全与进度。此外，在地质灾害频发区域，物探技术

可用于监测山体滑坡、地面塌陷等灾害隐患，通过对地质体变形数据的持续收集与分析，实现灾害预警，最大限度减少人员伤亡和财产损失。

从宏观层面看，物探方法助力工程地质勘察，推动工程建设行业的技术进步，提升工程质量与安全性，对区域经济发展和社会稳定具有重要意义，是工程建设领域持续发展的重要技术保障^[1]。

2 物探方法的原理和特点

物探方法，即地球物理勘探方法，其核心原理是基于地质体间存在的物理性质差异，通过专门仪器观测和研究天然或人工物理场变化，进而推断地下地质结构与矿产分布。不同类型的物探方法对应不同物理性质，如电阻率法利用岩石和矿石导电性差异，通过测量地下介质电阻率变化，来识别含水层、断层破碎带等；地震勘探则基于不同地层弹性波传播速度和波阻抗差异，向地下激发人工地震波，接收反射或折射波信号，经处理后绘制地下地质构造剖面，常用于油气资源勘探与大型工程地勘。

物探方法具有显著特点，首先是高效性，无需大规模挖掘即可快速获取大范围地下地质信息，相比传统勘探方式，能大幅缩短勘察周期，提高工作效率；其次是综合性，可综合运用多种物探手段，从不同角度获取地质体信息，相互验证补充，提升勘察结果准确性；再者是无损性，通过非侵入式探测，不破坏地质体原有结构，对生态环境影响小；此外，物探方法还具备经济性，在初步勘察阶段，能以较低成本锁定重点区域，减少不必要的钻探工作量，降低勘探成本。但需注意，物探结果受地质条件复杂性、干扰因素及解释人员经验水平等影响，存在多解性，实际应

用中需与地质、钻探等方法结合，以获取更可靠结论^[2]。

3 工程地质勘察中常应用的物探方法

3.1 电法勘探

电法勘探是工程地质勘察中应用广泛且极具价值的物探方法，其核心原理基于不同地质体的电学性质差异，通过向地下供入人工电流建立电场，测量地下介质的电阻率、极化率等电学参数，进而推断地质结构与目标体分布。在实际操作中，根据不同的工作方式与测量参数，电法勘探衍生出多种技术手段。

电阻率法是最基础的电法勘探方法之一，包括剖面法和测深法。剖面法通过固定电极间距沿测线移动，获取不同位置的视电阻率剖面，常用于探测地下断层、破碎带以及基岩起伏；测深法则保持电极相对位置不变，逐渐加大电极距，探测不同深度的电阻率变化，能够有效确定基岩埋深和含水层分布。高密度电法作为电阻率法的升级，采用多电极阵列自动采集数据，配合专业软件进行反演成像，可获得高精度的地下电阻率断面图，在岩溶地区探测溶洞、空洞等不良地质体方面表现出色，能清晰呈现其形态、规模与位置。

电法勘探具有诸多优势，它能够快速获取大面积的地下地质信息，工作效率高；对地下含水构造、空洞等目标体反应敏感，探测效果显著。然而，该方法也存在局限性，易受地形起伏、地表水体以及人文设施产生的电磁干扰影响；在地质条件复杂区域，由于多种因素叠加导致的电阻率变化，解释结果可能存在多解性。因此在实际工程地质勘察中，电法勘探常与其他物探方法如地震勘探、地质雷达等相结合，相互验证补充，以提高勘察结果的准确性和可靠性，为工程建设提供详实、可靠的地质资料。

3.2 地震勘探

地震勘探是利用人工激发的弹性波在不同地层中的传播特性来研究地下地质构造的一种方法。当震源激发地震波后，弹性波在地下介质中传播，遇到波阻抗不同的地层界面时，会发生反射、折射等现象。通过布置在地表的检波器接收这些反射波和折射波信号，并进行数据采集、处理和分析，可绘制出地下地质结构的剖面图。在工程地质勘察中，地震勘探常用于确定覆盖层厚度、探测断层位置、分析基岩起伏形态等。它能够获取较深地层的信息，探测深度可达数百米甚至数千米，且分辨率较高，尤其适用于大型工程建设场地的勘察，但地震勘探对地形条件要求较高，在山区、城区等复杂地形区域，信号采集和处理

难度较大，同时勘探成本相对较高。

3.3 重力勘探

重力勘探以地壳中不同岩石之间的密度差异为基础，由于不同地质体密度不同，会引起地球重力场局部变化，即重力异常。通过高精度重力仪在地表测量重力异常值，并对其进行校正和分析，可推断地下地质体的分布情况。例如，当存在密度较大的金属矿体或密度较小的溶洞、空洞时，会产生明显的重力异常。在工程地质勘察中，重力勘探可用于探测隐伏断裂、确定松散沉积物厚度、寻找地下空洞等。该方法具有探测范围广、效率高的特点，且不受高阻屏蔽层影响。不过，重力异常的解释较为复杂，异常的产生可能由多种因素叠加引起，需要结合地质资料和其他物探方法综合分析，以提高解释的准确性。

3.4 磁法勘探

磁法勘探基于岩石和矿石的磁性差异，地球本身存在天然磁场，不同地质体因磁性不同，会使地磁场发生局部变化，形成磁异常。利用磁力仪在地表测量磁异常，经过数据处理和分析，可推断地下磁性地质体的分布、产状和性质。例如，含铁磁性矿物的岩石或矿体，会产生明显的磁异常。在工程地质勘察中，磁法勘探常用于寻找隐伏的含铁磁性岩体、探测断裂构造、研究古地磁特征等。它具有操作简便、工作效率高的优点，能够快速获取大面积区域的磁异常信息。但磁法勘探易受地表磁性干扰物影响，且磁异常的解释存在多解性，需结合地质、其他物探等资料进行综合判读^[3]。

4 科技赋能物探方法在工程地质勘察中的应用

4.1 岩土工程勘察

在岩土工程勘察领域，科技深度赋能物探方法，为工程建设筑牢地质信息根基。探地雷达凭借高频电磁波对岩土体的穿透能力，可快速识别地层分层、空洞及裂隙分布。在市政道路路基勘察中，其能精准探测路面以下数米范围内的软弱夹层，避免因地基不稳导致的路面沉降问题。高密度电法借助岩土体导电性差异，通过多电极阵列采集数据，经专业软件处理后形成地下电阻率断面图，直观呈现岩性变化与地下水分布，助力判断地基持力层的稳定性。

三维地震勘探与计算机建模技术的融合是一大突破，通过模拟地震波在岩土体中的传播，可构建高精度三维地质模型，对大型建筑地基的动力学特性进行深入分析，为桩基设计提供可靠参数。无人机航磁测量技术搭载高灵敏度磁力仪，能快速获取大面积地磁数据，结合 GIS 系统，

可高效识别区域断裂构造与岩性分界线，辅助宏观选址规划。此外，分布式光纤传感技术可实时监测岩土体应变与温度变化，在深基坑工程中，能够及时捕捉土体变形趋势，为施工安全预警提供数据支撑。尽管这些技术显著提升勘察效率与精度，但在复杂地质条件下，数据的精准解读与多解性问题仍需通过优化算法、结合钻探验证等方式加以解决，以确保岩土工程勘察结果的可靠性。

4.2 地下水资源勘察

科技赋能为地下水资源勘察带来新的突破，卫星遥感技术利用多光谱、高光谱数据，能够大范围监测地表植被、水体等信息，通过分析植被指数和热红外特征，间接推断地下水资源的分布范围和补给条件。例如，在干旱地区，通过卫星遥感可识别潜在的地下水富水区。地面核磁共振技术则直接探测地下水中的氢核，是目前唯一能直接探测地下水的地球物理方法，它可以准确确定含水层的位置、厚度和含水量，为水资源评价提供关键数据。

分布式光纤传感技术的应用，实现对地下水流场的实时监测，该技术通过检测光纤中光信号的变化，获取地下水温度、流速等信息，从而动态掌握地下水的运移规律。在岩溶地区，结合地质雷达和瞬变电磁法，能够有效探测岩溶管道和落水洞的分布，避免因地下水突涌对工程造成危害。此外，大数据和机器学习算法的引入，可对海量的地下水勘察数据进行深度挖掘，建立地下水动态预测模型，提高水资源勘察的精准度和效率^[4]。

4.3 地质灾害勘察与监测

在地质灾害勘察与监测领域，科技赋能的物探方法成为防灾减灾的重要手段，InSAR 技术通过卫星或无人机搭载雷达设备，对地表进行高精度的形变监测。即使在偏远山区，也能实时获取大面积区域的地表位移数据，提前发现滑坡、地面沉降等地质灾害隐患。例如，在三峡库区，InSAR 技术对库岸滑坡进行长期监测，为灾害预警提供可靠依据。

光纤光栅传感技术具有高精度、分布式测量的特点，可安装在潜在地质灾害区域的岩土体中，实时监测应变、温度等物理量的变化。一旦发生微小变形，传感器能够迅速捕捉信号并传输数据，实现灾害的早期预警。微震监测系统通过布置在地质体中的传感器，接收岩体破裂产生的微震信号，利用定位算法确定破裂位置和规模，可有效监测山体滑坡、矿山岩爆等灾害的发生过程。此外，物联网技术与物探设备的结合，构建智能化的地质灾害监测网络，

实现数据的自动采集、传输和分析，大大提高灾害预警的及时性和准确性。

4.4 城市地下空间开发勘察

随着城市地下空间开发规模的扩大，科技赋能的物探方法为其提供有力保障，三维激光扫描技术能够快速获取地下空间的三维点云数据，精确重建地下建筑物、管线和地质结构的三维模型，为地下空间的规划和设计提供直观、准确的资料。例如，在地铁隧道施工前，利用三维激光扫描可详细解既有地下管线的分布情况，避免施工破坏。

地质雷达与超声波探测技术相结合，在隧道施工中实现对掌子面前方地质情况的超前预报，通过分析雷达反射波和超声波的传播特性，可判断前方是否存在断层、破碎带和富水区，为施工安全提供预警。同时，高精度磁力仪和电磁感应探测设备在城市地下空洞探测中发挥重要作用，能够快速定位因地下管道渗漏、采空区等原因形成的空洞，避免地面塌陷事故的发生。此外，BIM 技术与物探数据的融合，实现城市地下空间开发的全生命周期管理，从勘察设计到施工运维，提供一体化的信息管理平台。但城市环境中复杂的电磁干扰和人文设施影响，给物探数据的采集和解释带来较大挑战，需要不断创新技术和方法应对^[5]。

5 结语

科技赋能物探方法在工程地质勘察领域已取得显著成效，凭借高效、精准的技术优势，为各类工程建设提供可靠的数据保障。但当前仍面临技术瓶颈、成本控制及行业标准完善等挑战。未来，随着 5G、人工智能等前沿技术的深度融合，物探方法将更智能、更高效，持续推动工程地质勘察行业迈向新高度，为工程建设高质量发展筑牢根基。

参考文献

- [1] 张庆辉. 科技赋能物探方法在工程地质勘察中的应用探索[J]. 中国战略新兴产业, 2025, (11): 174-176.
- [2] 娄前波. 物探方法在水库工程地质勘查中的应用[J]. 水利科技与经济, 2025, 31(03): 40-43+49.
- [3] 邓文光. 综合物探方法在地质工程勘察中的应用效果对比分析[J]. 中国金属通报, 2024, (12): 137-139.
- [4] 房大智, 王元梦. 综合物探方法在电力架空线入地工程中的应用[J]. 电力设备管理, 2024, (23): 216-218.
- [5] 吕旭. 物探方法在岩土工程滑坡勘察中的应用及研究[J]. 西部探矿工程, 2024, 36(11): 55-58.