

地质矿产勘查技术与物探技术创新研究

徐思成

山西省地质勘查局二一四地质队有限公司 山西 运城 044000

摘要: 本文围绕地质矿产勘查技术基础理论、物探技术创新方向, 及当前瓶颈与未来趋势展开研究。先阐述地质勘查技术体系、物探技术原理分类及传统技术局限性, 再聚焦高精度、深部探测、智能化自动化及绿色勘查等创新技术。分析当前探测分辨率不足、多源数据融合难、极端环境装备可靠性差等瓶颈, 预判量子传感、全空间一体化勘查、数字地球智能平台等发展趋势。研究表明, 物探技术创新是突破资源勘探困境、实现绿色高效勘查的关键, 可为矿产资源可持续开发与国家资源安全提供技术支撑。

关键词: 地质矿产勘查; 物探技术; 地球物理勘探; 技术创新

引言: 随着浅部矿产资源枯竭与生态保护要求提升, 地质矿产勘查面临精准化、深部化、绿色化转型挑战。物探技术作为非破坏性、高效能的勘探核心手段, 其创新发展对突破传统勘查局限、拓展资源勘探空间至关重要。当前, 传统技术难以适配复杂地质场景与新时代发展需求, 亟需通过技术革新破解难题。本文结合现有研究成果, 系统梳理勘查技术基础理论, 剖析物探技术创新路径, 探讨现存瓶颈与未来方向, 为推动地质矿产勘查行业高质量发展、提升资源勘探综合效能提供理论参考。

1 地质矿产勘查技术基础理论

1.1 地质勘查技术体系

地质勘查技术体系是矿产资源勘探、评价与开发的核心支撑, 由多学科技术融合构建而成, 涵盖基础地质调查、地球物理勘查、地球化学勘查、遥感勘查及钻探工程等关键模块, 形成“宏观探测-中观定位-微观验证”的完整技术链条。该体系以地质理论为指导, 通过各类技术手段协同作业, 实现对地下矿产资源的空间分布、储量规模、矿石质量及开采条件的系统研判^[1]。在实际应用中, 需根据勘查区域的地质背景、矿产类型及勘查阶段需求, 科学搭配技术方法, 兼顾勘查精度与效率。同时技术体系需适配不同矿产资源的勘查特性, 如金属矿、非金属矿、能源矿产的勘查技术侧重点存在差异, 其完整性与实用性直接决定矿产勘查工作的成败, 是保障资源开发科学性与合理性的重要基础。

1.2 物探技术原理与分类

物探技术基于地球物理场的差异特性, 通过探测地壳内岩石、矿石的物理性质(如密度、磁性、电性、弹性等)变化, 反演地下地质构造与矿产分布规律, 具有非破坏性、覆盖面广、效率高的核心优势。根据探测原理与物理场类型, 物探技术可分为磁法勘查、电法勘查、重

力勘查、地震勘查、放射性勘查等主要类别。磁法勘查利用岩石磁性差异定位磁性矿产, 广泛应用于铁矿、铬矿勘探; 电法勘查通过地层导电性变化识别含矿构造, 适用于有色金属矿勘查; 地震勘查借助弹性波传播规律探测深部地质结构, 多用于能源矿产勘探。各类技术各具适用场景与局限性, 实际勘查中需结合地质条件组合应用, 实现优势互补, 为矿产资源勘探提供精准的地球物理依据。

1.3 传统技术的局限性

传统地质矿产勘查技术在长期应用中积累了成熟经验, 但受技术理念、装备水平限制, 在当前复杂勘查场景下暴露出明显局限性。传统物探技术分辨率较低, 难以精准识别浅部薄层矿产及深部低品位矿产, 对复杂地质构造的分辨能力不足, 易导致矿产储量估算偏差。在数据处理方面, 传统技术多依赖人工分析, 处理效率低下, 且难以实现多源数据的有效整合, 无法充分挖掘数据背后的地质信息。此外, 传统勘查技术对勘查环境适应性较弱, 在高山、深海、荒漠等极端区域作业时, 装备便携性与稳定性不足, 勘查范围与深度受限。传统技术往往忽视生态环境保护, 勘查过程中易产生植被破坏、土壤污染等问题, 不符合绿色发展理念, 难以满足新时代矿产资源勘探的高质量需求。

2 物探技术创新研究

2.1 高精度物探技术

高精度物探技术是物探领域创新发展的核心方向之一, 通过优化探测装备、改进数据处理算法, 大幅提升对矿产资源的探测精度与识别能力, 有效弥补传统技术的短板。该技术聚焦岩石、矿石物理性质的微小差异, 采用高灵敏度传感器、精准数据采集系统, 实现对微弱地球物理场信号的捕捉与解析, 可精准定位浅部隐伏矿产、

薄层矿体及边界模糊的矿产资源^[2]。在数据处理环节,结合大数据分析技术,对采集的高精度数据进行去噪、校正与反演,构建更贴合实际地质情况的三维模型,为矿产储量估算与开采规划提供精准数据支撑。目前,高精度磁法、高精度电法等技术已广泛应用于有色金属矿、贵金属矿勘探,显著提高了矿产资源的勘探成功率,为保障矿产资源供给提供了技术保障。

2.2 深部资源探测技术

随着浅部易开采矿产资源日益枯竭,深部资源探测成为矿产勘查领域的重要课题,深部资源探测技术应运而生,旨在突破传统技术的探测深度限制,实现对地下千米级乃至更深层矿产资源的勘探。该技术通过研发耐高温、高压、抗干扰的深部探测装备,优化地球物理场信号传输与接收技术,克服深部地质构造复杂、信号衰减快等难题,精准捕捉深部矿体的物理场异常。同时结合深部钻探技术与三维地震成像技术,构建深部地质结构模型,明确深部矿产资源的分布规律、埋藏深度及赋存条件。目前,深部资源探测技术已在深部煤炭、金属矿及油气资源勘探中得到应用,其发展不仅拓展了矿产资源勘探空间,更为缓解资源短缺压力、保障国家资源安全提供了关键技术支撑,推动矿产勘查向深部化方向转型。

2.3 智能化与自动化技术

智能化与自动化技术的融入的是地质矿产勘查领域的重要变革,通过整合人工智能、物联网、自动化控制等技术,实现勘查全流程的智能化升级,大幅提升勘查效率与可靠性。在数据采集环节,自动化勘查装备可实现无人化、连续化数据采集,减少人工干预带来的误差,通过物联网技术实现装备状态实时监控与数据同步传输。在数据处理与解释阶段,人工智能算法可快速完成海量数据的分析、建模与反演,自动识别矿产异常信号,精准预判矿产分布范围,替代传统人工繁琐的数据分析工作。另外,智能化勘查系统可实现勘查流程的动态优化,根据实时勘查数据调整勘查方案,提升勘查工作的针对性与科学性。该技术的应用,不仅降低了勘查人员的劳动强度与作业风险,更推动矿产勘查从“经验驱动”向“数据驱动”转型。

2.4 绿色勘查技术

绿色勘查技术以“生态优先、绿色发展”为核心理念,在保障勘查效果的前提下,通过技术创新减少勘查过程对生态环境的扰动,实现矿产勘查与生态保护的协同发展。该技术涵盖绿色勘查装备、环保型勘查方法及生态修复技术三大核心板块,采用低扰动、低污染的勘

查装备与工艺,替代传统高能耗、高污染的勘查手段。例如,无人机遥感勘查、便携式物探装备可减少地面开挖与植被破坏;环保型钻井液、废弃物无害化处理技术可降低勘查过程中的环境污染。同时,绿色勘查技术注重勘查后生态修复,通过植被恢复、土壤改良等措施,将勘查对生态环境的影响降至最低^[3]。其发展契合新时代生态文明建设要求,既满足矿产资源勘探需求,又守护生态环境安全,为矿产资源可持续开发提供了重要技术支撑。

3 地质矿产勘查与物探技术创新的挑战与未来发展方向

3.1 当前技术瓶颈

3.1.1 探测分辨率不足

探测分辨率不足是当前地质矿产勘查技术面临的核心瓶颈之一,直接影响矿产资源勘探的精准度与有效性。尽管高精度物探技术已取得一定突破,但在复杂地质条件下,如断裂构造发育区、岩性交互频繁区及深部矿体勘探中,仍难以实现对矿体边界、厚度、品位变化的精准识别。传统探测技术对微弱地球物理场信号的捕捉能力有限,信号易受干扰,导致数据反演结果与实际地质情况存在偏差,难以区分矿与非矿异常。同时对于薄层矿体、隐伏矿体及低品位矿产资源,现有技术的分辨率难以满足勘探需求,易造成矿产资源漏判或误判。探测分辨率的提升往往伴随勘查成本增加,如何在控制成本的前提下突破分辨率瓶颈,实现精准探测,成为当前技术研发的重要难题。

3.1.2 多源数据融合难度大

多源数据融合难度大制约着地质矿产勘查技术的综合应用效果,当前勘查过程中会产生海量多类型数据,涵盖地球物理、地球化学、遥感、地质调查及钻探等多个维度,不同数据的来源、格式、精度及表征意义存在显著差异,给数据融合带来极大挑战。一方面,各类数据的坐标系、计量单位不统一,需进行复杂的标准化处理,处理过程中易造成数据信息丢失或失真。另一方面,不同数据反映的地质信息存在互补性与关联性,但现有融合算法难以充分挖掘数据间的内在联系,无法实现数据信息的深度整合,导致多源数据难以形成协同效应,影响地质解释的科学性与准确性。另外,海量数据的存储、管理与运算对硬件设备及软件系统提出较高要求,进一步增加了多源数据融合的难度,限制了勘查技术的综合应用效能。

3.1.3 极端环境下的装备可靠性

极端环境下的装备可靠性不足,严重限制了地质矿

产勘查范围的拓展,当前矿产勘查逐渐向高山、深海、荒漠、高寒缺氧等极端区域延伸,此类区域的恶劣环境对勘查装备的性能与稳定性提出极高要求。在高山区域,复杂地形与强烈振动易导致装备故障;深海环境的高压、高腐蚀特性会损坏装备元器件;高寒缺氧环境则会影响装备的动力系统与电子元件正常运行。现有勘查装备多针对常规环境设计,在极端环境下易出现信号中断、数据采集误差增大、装备故障频发等问题,不仅影响勘查工作的顺利开展,还可能造成装备损坏与经济损。同时,极端环境下装备维修与保养难度大,进一步降低了勘查工作的连续性与可靠性,成为制约极端区域矿产资源勘探的关键瓶颈。

3.2 未来发展趋势

3.2.1 量子传感与超导物探技术

量子传感与超导物探技术是未来地质矿产勘查领域的前沿发展方向,凭借其超高灵敏度与精准探测能力,有望突破现有技术瓶颈,实现矿产勘查的革命性升级。量子传感技术基于量子力学原理,可捕捉到极其微弱的物理场变化,相较于传统传感技术,探测精度提升数个数量级,能精准识别深部隐伏矿体、低品位矿产及微小地质构造。超导物探技术则利用超导材料的特殊物理特性,研发高灵敏度超导传感器,大幅提升对地球物理场信号的接收与解析能力,有效克服深部信号衰减、干扰等问题。目前,两项技术已进入实验室研发与小规模试验阶段,未来随着技术成熟与成本降低,将广泛应用于深部资源勘探、隐伏矿产定位等场景,为矿产资源勘探提供全新技术路径,推动勘查精度与深度实现跨越式发展。

3.2.2 全空间一体化勘查体系构建

构建全空间一体化勘查体系是未来矿产勘查技术的重要发展趋势,旨在打破传统勘查技术在空间维度上的割裂,实现地表、地下、空中、海洋等全空间勘查的协同联动。该体系整合无人机遥感、卫星监测、地面物探、深部钻探、海洋勘查等多维度技术手段,构建“空-天-地-深”一体化探测网络,实现对矿产资源全空间分布的系统勘探。通过各空间维度勘查数据的实时共享与深度融合,构建完整的三维地质模型,精准呈现矿产资源的赋存状态与分布规律^[4]。同时,全空间一体化勘查体系注重勘查流程的协同优化,实现不同空间勘查技术的优势

互补,提升勘查工作的整体性与高效性。其构建将彻底改变传统分散式勘查模式,推动矿产勘查向全方位、立体化方向发展,为复杂区域矿产资源勘探提供系统性解决方案。

3.2.3 基于“数字地球”的智能勘查平台

基于“数字地球”的智能勘查平台,是信息技术与地质矿产勘查技术深度融合的产物,将成为未来矿产勘查工作的核心载体。该平台以“数字地球”为基础框架,整合海量地质、物探、化探、遥感等多源数据,构建覆盖全球的矿产资源数字数据库,实现勘查数据的集中管理、共享与高效调用。依托人工智能、大数据、云计算等技术,平台可完成数据的自动分析、建模、反演与地质解释,智能生成勘查方案、预判矿产分布、评估资源储量,实现勘查全流程的智能化决策。同时,平台支持实时数据更新与动态监测,可根据勘查进展与新数据不断优化勘查方案,提升勘查工作的针对性与科学性。该平台的构建将打破勘查数据壁垒,实现勘查资源的高效整合,推动矿产勘查向数字化、智能化、集约化方向转型,大幅提升矿产资源勘探效率与保障能力。

结束语

地质矿产勘查与物探技术创新是保障资源供给、践行绿色发展理念的重要支撑。本文全面分析了技术基础、创新成果、现存瓶颈及发展趋势,彰显了多学科融合与技术迭代的核心价值。未来,需聚焦核心瓶颈攻坚,加速量子传感等前沿技术落地,构建全空间、智能化勘查体系。同时,兼顾技术创新与生态保护,推动勘查行业向数字化、绿色化转型。后续可进一步深化多源数据融合算法研究,提升极端环境装备性能,为矿产资源勘探事业发展注入持续动力。

参考文献

- [1]王茜.地质找矿与资源勘查中物探技术的应用研究[J].中国金属通报,2024(14):59-61.
- [2]朱文阳.地质矿产勘查技术与采矿技术[J].中国金属通报,2025(6):46-48.
- [3]丁雅鑫,谢少航,李克亚.新时期地质矿产勘查技术发展趋势分析[J].世界有色金属,2024(24):159-161.
- [4]路通.浅析新时期地质矿产勘查技术发展趋势[J].世界有色金属,2024(15):160-162.