

地质研究与矿产勘查新技术探讨

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：本文聚焦地质研究与矿产勘查新技术，阐述地质过程数值模拟、多尺度地质信息集成等同位素地球化学新理论方法，以及深部资源探测、高精度物探装备创新等勘查前沿技术。通过深部铜矿勘查、斑岩型金矿AI靶区预测等案例分析技术实效，并展望量子传感、数字孪生、深空深海勘查等未来趋势，为地质研究与矿产勘查技术发展提供参考。

关键词：地质研究；矿产勘查；深部探测

引言：地质研究与矿产勘查对资源保障与经济发展意义重大。传统技术受限于精度、深度及环境影响等因素，难以满足当下需求。随着科技飞速发展，诸多新技术应运而生，为地质研究与矿产勘查带来新契机。本文将深入探讨地质研究新理论与矿产勘查前沿技术，结合实际案例分析其应用成效，并展望未来发展趋势，助力行业进步。

1 地质研究新理论与方法

1.1 地质过程数值模拟技术

地质过程数值模拟技术是依托计算机技术与地球科学理论，将复杂地质现象转化为可量化、可预测数学模型的前沿方法。该技术突破传统野外观测的时空局限，通过耦合岩石力学、流体动力学、热力学等多学科原理，精准复现沉积演化、构造运动、岩浆活动等漫长地质过程。借助高性能计算设备，可实现对地质体内部应力分布、物质迁移规律、成矿作用机制的动态模拟，为地质现象成因分析提供量化支撑^[1]。目前，该技术已广泛应用于盆地演化模拟、断层活动规律预测等场景，不仅提升了地质研究的科学性与精准度，还为矿产资源勘查、地质灾害预警等实际工作提供了可靠的理论依据，推动地质研究从定性描述向定量预测转型。

1.2 多尺度地质信息集成

多尺度地质信息集成是解决地质研究中“宏观把控不足、微观精度欠缺”矛盾的核心方法，旨在整合从微观岩芯到宏观区域的多维度地质数据，构建全域统一的地质信息体系。其核心是通过数据标准化处理、尺度转换算法与空间关联分析，打破不同观测尺度、不同数据来源之间的壁垒，实现微观矿物特征、中观岩体构造、宏观区域地质背景的有机融合。该方法整合了遥感影像、地质填图、钻孔数据、岩芯测试等多类型信息，通过地理信息系统（GIS）构建三维地质模型，清晰呈现地质体

的空间展布与内在关联。应用该方法可有效提升地质解释的完整性与准确性，为矿产资源潜力评价、地质灾害风险评估等工作提供全面的数据支撑，推动地质研究向精细化、系统化方向发展。

1.3 同位素地球化学新进展

同位素地球化学作为地质研究的重要分支，近年来在分析技术与应用领域取得多项突破，为地质过程定年、物质来源追溯提供了更精准的手段。随着高精度质谱分析技术的发展，同位素检测精度大幅提升，可实现对微量同位素组成的精准测定，拓展了其在微观地质过程研究中的应用。在理论与应用层面，新型同位素体系（如锂、镁、铬同位素）的研究不断深入，不仅丰富了同位素地球化学的理论体系，还为成矿作用、古环境演化、岩石圈物质循环等研究提供了新的视角。例如，通过同位素比值分析，可精准追溯成矿物质来源、确定成矿时代，为矿产资源勘查提供关键线索；同时，在古气候重建、地质灾害成因分析等领域也发挥着重要作用，推动地球科学研究向更深层次发展。

2 矿产勘查前沿技术

2.1 深部资源探测技术

深部资源探测技术是应对浅部矿产资源枯竭、拓展矿产勘查空间的核心技术体系，聚焦于地下千米级深度矿产资源的精准探测。该技术整合了深部地震勘探、电磁探测、重力勘探等多类地球物理方法，通过优化观测系统、提升数据采集精度，突破深部地质条件复杂、信号衰减严重等技术瓶颈。其中，深部地震反射技术通过精准捕捉地震波反射信号，可清晰成像深部地质构造与矿体分布；可控源音频大地电磁测深技术则能有效识别深部导电地质体，为硫化物矿体探测提供重要依据。结合钻孔测井、岩芯测试等技术，实现对深部矿体的定位、定性与定量评价。该技术发展的不仅拓展矿产资

源勘查的深度边界，还为我国深部矿产资源开发利用提供了关键技术支撑，助力缓解资源供需矛盾。

2.2 高精度物探装备创新

高精度物探装备创新是提升矿产勘查精度、推动勘查技术升级的核心支撑，聚焦于物探装备的小型化、智能化、高精度化发展。近年来，我国在高精度物探装备研发领域取得显著突破，自主研发了一系列具有国际先进水平的装备，打破了国外技术垄断。在地震勘探装备方面，高灵敏度检波器、多通道地震仪的研发与应用，大幅提升了地震信号的采集精度与数据传输效率；在电磁勘探装备领域，高精度电磁传感器、便携式电磁仪的推出，实现复杂地形条件下的高效勘查。同时，装备的智能化水平不断提升，集成自动数据采集、实时数据处理、远程操控等功能，降低野外勘查的劳动强度，提升作业效率^[2]。高精度物探装备的创新与应用，为矿产资源的精准勘查提供硬件保障，推动矿产勘查向高效化、精准化方向转型。

2.3 多源数据融合与智能解释

多源数据融合与智能解释技术是整合矿产勘查全流程数据、提升解释精度的关键技术，通过融合物探、化探、遥感、地质填图等多类型数据，构建智能解释模型。该技术首先对多源数据进行标准化预处理，消除数据格式、精度差异带来的影响，再通过数据融合算法实现不同维度数据的互补融合，强化矿体相关地质信息。结合人工智能、机器学习技术，构建智能解释模型，自动挖掘数据中的关联规律，识别矿体异常信息，实现从数据到勘查成果的高效转化。相较于传统解释方法，该技术可有效整合多源数据优势，减少单一数据解释的局限性，提升矿体预测的精准度与可靠性。目前，该技术已广泛应用于矿产资源潜力评价、靶区圈定等场景，大幅缩短了勘查周期，降低了勘查成本，成为矿产勘查智能化发展的核心方向。

2.4 绿色勘查技术体系

绿色勘查技术体系是践行“绿水青山就是金山银山”理念、实现矿产勘查与生态保护协同发展的重要技术支撑，以“最小生态扰动、最大资源效益”为核心目标，涵盖勘查全流程的环保技术与方法。该体系包括低扰动勘查装备、生态友好型勘查工艺、废弃物无害化处理、植被恢复技术等多个方面。在野外勘查中，采用便携式勘查装备、无人机遥感等技术，减少对地表植被、土壤的破坏；在钻孔施工中，推广环保钻井液、废弃泥浆固化处理等技术，降低对地下水与土壤环境的污染。建立勘查后生态修复机制，通过植被重建、土壤改良等措

施，实现勘查区域生态环境的快速恢复。绿色勘查技术体系的构建与应用，打破传统勘查“先破坏、后治理”的模式，实现矿产资源勘查与生态环境保护的协同发展，为绿色矿业发展奠定坚实基础。

3 新技术应用案例分析

3.1 案例1：深部铜矿勘查中的地震-电磁联合技术

深部铜矿勘查项目位于华北克拉通边缘，区内地质构造复杂，浅部矿体已基本开采殆尽，深部找矿难度极大。为突破找矿瓶颈，项目采用地震-电磁联合探测技术，实现对深部地质构造与矿体的精准定位。地震探测技术通过发射地震波，精准捕捉深部地层反射信号，清晰成像断裂构造、岩体分布等地质特征，为矿体赋存空间提供宏观依据；电磁探测技术则利用不同地质体导电性能差异，精准识别深部硫化物矿体（铜矿主要赋存载体），弥补了地震探测对矿体直接识别能力不足的缺陷。通过数据融合处理，构建三维地质-矿体模型，精准圈定3处深部铜矿靶区，深度均在1200-1800米之间。后续钻孔验证显示，靶区矿体厚度稳定、品位较高，累计探明铜资源量超50万吨。该案例证明，地震-电磁联合技术可有效突破深部复杂地质条件限制，为深部铜矿勘查提供可靠技术手段^[3]。

3.2 案例2：斑岩型金矿的AI靶区预测实践

斑岩型金矿勘查区位于西南三江成矿带，区内矿化蚀变类型复杂，传统人工圈定靶区效率低、精度差，找矿效果不佳。项目引入人工智能技术，开展斑岩型金矿AI靶区预测实践。首先，收集区内遥感影像、物探化探数据、地质填图数据、钻孔数据等多源信息，构建标准化数据库；然后，选取已知金矿体作为训练样本，基于卷积神经网络算法，训练AI预测模型，自主学习斑岩型金矿的矿化蚀变特征、构造控制条件、地球化学异常组合等关键信息。模型训练完成后，对整个勘查区进行全域扫描，自动识别成矿有利区域，圈定12处预测靶区。经野外验证，其中6处靶区发现明显矿化线索，3处靶区通过钻孔验证获得工业矿体，金矿品位达3.5-8.2克/吨，新增金资源量超20吨。该案例表明，AI技术可高效挖掘多源数据中的成矿规律，大幅提升斑岩型金矿靶区预测的精度与效率。

3.3 案例3：绿色勘查在页岩气开发中的应用

页岩气开发项目位于长江经济带，区域生态环境敏感，传统勘查技术易对地表植被、地下水造成破坏，环保压力极大。项目全面推行绿色勘查技术体系，实现页岩气勘查与生态保护协同推进。在勘查前期，采用无人机遥感、卫星定位等技术开展区域地质调查，减少野外

人工勘查对地表的扰动；在钻井施工中，使用环保型水基钻井液，替代传统油基钻井液，降低对地下水与土壤的污染，同时对钻井废弃物进行固化处理，实现无害化利用。勘查过程中，同步开展植被恢复工作，采用乡土物种进行生态重建，减少水土流失。项目实施后，勘查区域地表植被覆盖率保持在90%以上，地下水水质未受影响，各项环保指标均达标。通过绿色勘查技术优化，大幅缩短了勘查周期，降低了勘查成本，最终实现页岩气探明储量超1000亿立方米。该案例为生态敏感区页岩气及其他矿产资源的绿色勘查提供了可复制、可推广的模式。

4 未来发展趋势

4.1 量子传感技术与量子计算在地球物理中的应用

量子传感技术与量子计算凭借超高精度、超强算力的优势，将成为未来地球物理研究与矿产勘查的核心发展方向。量子传感技术突破传统传感技术的精度极限，可实现对微弱地球物理信号（如重力场、磁场、电场）的精准捕捉，大幅提升深部矿产资源、隐伏矿体的探测能力，尤其适用于复杂地质条件下的深部找矿。量子计算则能解决传统计算机难以处理的复杂地质过程模拟、海量多源数据处理等难题，通过量子算法快速构建高精度地质模型，实现对成矿过程、地质灾害演化等复杂系统的精准预测。目前，该领域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，将逐步应用于地球物理勘探、矿产资源勘查、地质灾害预警等领域，彻底改变传统地质研究与勘查的技术模式，推动行业向量子化、高精度方向跨越式发展。

4.2 “数字孪生”技术驱动的勘查全流程智能化

“数字孪生”技术将构建物理勘查场景与数字虚拟场景的实时映射，驱动矿产勘查全流程智能化发展，成为未来勘查技术的核心发展趋势。该技术通过整合勘查全流程数据，构建与实体勘查区域完全一致的数字孪生模型，实现勘查过程的可视化、可追溯、可预测。在勘查前期，通过数字孪生模型进行勘查方案模拟优化，提升方案的科学性与可行性；在勘查实施阶段，实时采集野外勘查数据，同步更新数字孪生模型，实现对勘查过程的动态监控与精准调控；在勘查后期，基于数字孪生模型开展矿体预测、资源评价，为矿产开发提供精准数据支撑。同时，结合人工智能、物联网、大数据等技术，

数字孪生模型可自主学习勘查规律，实现勘查方案的智能优化、靶区的自动更新，大幅提升勘查效率与精度。未来，数字孪生技术将贯穿矿产勘查全流程，推动勘查行业从“碎片化”向“全流程智能化”转型。

4.3 深空与深海极端环境矿产勘查技术预研

随着地球表面矿产资源日益枯竭，深空与深海极端环境成为未来矿产资源勘查的重要方向，相关技术预研已成为全球地质矿产领域的研究热点。在深空勘查方面，重点预研月球、火星等天体的矿产资源探测技术，包括深空遥感探测、天体表面采样分析、原位资源利用等技术，旨在探明天体表面稀有金属、能源资源的分布特征，为未来深空资源开发奠定基础^[4]。在深海勘查方面，聚焦深海热液区、海山、洋中脊等极端环境，预研深水高精度物探装备、深海机器人勘查技术、深海矿产资源开采技术等，突破深海高压、低温、黑暗等环境带来的技术瓶颈，探明深海多金属结核、富钴结壳、热液硫化物等矿产资源的分布与储量。目前，各国均在加大该领域技术研发投入，未来随着技术突破，深空与深海矿产资源将逐步从“预研探索”向“开发利用”转型，成为全球矿产资源供给的新增长点。

结束语

地质研究与矿产勘查新技术不断涌现，从理论方法创新到勘查技术升级，再到绿色勘查理念践行，均取得显著进展。实际应用案例充分验证了新技术的有效性与可靠性。展望未来，量子传感、数字孪生等技术将推动行业迈向新高度，深空与深海勘查也将拓展资源新空间。持续探索创新，才能更好地应对资源挑战，实现地质研究与矿产勘查的可持续发展。

参考文献

- [1]郭建勇.矿产地质勘查与矿产资源储量评估方法研究[J].中国金属通报, 2025(9):175-177.
- [2]孙峰.探讨如何提高地质金属矿产勘查及找矿技术[J].中国金属通报, 2020(6): 38,40.
- [3]莫钧.地质矿产勘查深部找矿方法探析[J].中国金属通报,2025(1):58-60.
- [4]泽群,张承楠.固体矿产勘查中的地质找矿技术的应用分析[J].世界有色金属,2025(16):79-81.