

矿山地质勘测技术在深部矿产资源勘查中的应用

陈立政

中国平煤神马集团平煤股份五矿 河南 平顶山 467000

摘要：在资源日益紧缺的现代社会，矿产资源的高效开发和可持续利用已成为全球关注的焦点。深部矿产资源，因其埋藏深、地质条件复杂，对地质勘探技术提出了更高的要求。传统的地质勘探手段在面对深部矿产资源开发时，由于效率低下、精度不足和环境影响大等问题，已经无法满足现代矿业的需求。引人入胜的新型地质勘探技术，如地球物理勘探、地球化学勘探、遥感技术以及先进的地质建模方法，正逐渐成为解决这一挑战的关键。

关键词：矿山地质；勘探新技术；深部矿产；资源开发

随着科技的不断发展，矿山地质勘探技术在深部矿产资源开发中的作用日益显著。这些新技术不仅提高了勘探的精度和效率，还对环保和矿产资源的可持续开发产生了深远影响。

1 深部矿产资源勘查的重要性分析

(1) 缓解资源供给压力。资源储量倍增潜力。我国多数矿产开采深度低于500米，现有资源静态保障年限持续下降。若开采深度延伸至2000米，固体资源供给量可提升至现有储量的2倍，显著增强能源资源自主保障能力。满足新兴产业需求。新能源汽车、信息技术等领域对锂、钴、稀土等元素需求激增，智能手机需70余种元素支撑，而深部勘查是获取这些“全元素周期表资源”的核心途径。

(2) 驱动经济可持续发展。延长矿山服务周期。通过深部靶区钻探与立体勘查（如坑探+钻探联动），可发现外围厚大矿体。例如某矿通过深部勘查找矿新增资源11.3吨，直接延长矿山开采年限。降低对外依存风险。我国关键矿产对外依存度高，深部资源开发可减少进口依赖，维护产业链安全稳定。

(3) 推动前沿科技突破。促进勘探技术革新。深部勘查需求推动抗高温高压钻具、智能数据分析平台、深地传感器网络等技术发展，形成“地质建模+物探+化探+钻探”四位一体技术体系。支撑重大科学设施。深地空间为前沿研究提供理想环境。如中国锦屏实验室（地下2000米）已开展暗物质、深地医学等50余项尖端研究，产出国际领先成果。

(4) 保障生态与社会效益。实现绿色开发闭环。通过精细化环境评估（如生态系统影响分析、水资源管理），深部勘查可预先规避生态风险，推动资源开发与环境保护协同。发展循环经济模式。智能设备与工艺优化（如无人矿卡、选矿AI）降低能耗30%以上，结合尾矿

综合利用技术，显著减少环境足迹。

(5) 应对核心挑战与未来方向。当前深部勘查仍面临高地应力、高温干扰及灾害预警等难题。未来需构建“技术-政策-国际协作”三维体系：技术层：研发深地实时监测平台与智能化装备；政策层：完善深部勘探法规与资源战略储备机制；国际层：加强深海矿产勘探合作，拓展多边资源开发协议。

2 传统矿产资源勘查手段的局限性

(1) 技术与精度局限。勘查精度低。传统技术（如二维地质填图、浅层物探）难以精确解析深部复杂地质构造，依赖经验推断导致矿体定位偏差大。设备技术滞后（如老旧钻探设备）无法满足深部高温高压环境需求，超500米深度勘查能力严重不足。三维空间认知缺失。信息以图纸、文字等非数字化形式为主，难以构建地下三维地质模型，无法直观揭示矿体空间分布规律。

(2) 效率与成本瓶颈。勘查周期长且成本高。大范围勘查依赖人工实地作业，深孔钻探耗时数月，人力与设备投入巨大。资金投入不足导致设备更新停滞，部分单位仍使用落后技术，进一步拉低效率。资源浪费严重。地下信息模糊迫使工程设计保守化，过度预留安全冗余，造成建材和工期浪费。共伴生矿产综合利用率不足35%，远低于国际水平，资源回收率低。

(3) 人才与管理缺陷。专业人才断层。勘查队伍技术水平参差不齐，缺乏深部勘查与新技术应用的专业能力。创新动力不足，过度依赖进口设备，自主研发滞后。管理体制僵化。内部管理制度不完善，缺乏激励措施降低人员积极性。矿权审批与空间规划衔接不足，社会资本参与勘查的机制不健全。

(4) 安全与环境挑战。深部环境适应性差。高地应力、高温及有毒气体环境超出传统设备承受极限，事故风险升高。生态评估缺失，粗放勘查加剧水土污染与生

态破坏。灾害预警能力薄弱。缺乏实时监测技术，难以预判岩爆、突水等深部工程灾害。传统勘查手段在精度、深度、效率及智能化层面已难以支撑深部找矿需求，亟需融合地球物理精细化探测、AI数据分析及绿色勘查技术体系实现突破。

3 矿地质勘测技术的分类与特点

(1) 地球物理勘探技术。磁法勘探。特点：通过测量岩石磁性差异定位磁性矿体（如铁矿），效率高、覆盖范围广，但易受地表电磁干扰。电法勘探。特点：利用岩石电性差异探测矿体（如硫化物矿床），适用于地下水定位，数据解释需结合钻孔验证。重力勘探。特点：通过密度差异识别隐伏矿体，对块状金属矿敏感，但分辨率随深度增加而降低。地震勘探。特点：解析深部地层结构精度高，主要用于能源矿产（如油气），设备成本高昂。

(2) 地球化学勘探技术。土壤/岩石地球化学。特点：分析元素异常分布圈定矿化靶区，成本低、操作简易，但受风化作用影响显著。水系沉积物测量。特点：通过河流沉积物采样快速扫面区域矿产，适用于偏远山区，精度依赖样品密度。

(3) 工程勘探技术。钻探技术。特点：直接获取岩芯验证矿体（如回转钻进），数据可靠，但超深孔（>1000米）成本高且周期长。坑探与槽探。特点：揭露浅部地质体（≤30米），可原位取样，劳动强度大且深度受限。简易钻探（洛阳铲等）。特点：轻便快捷，适用于松散层初勘，无法获取原状样且硬地层无效。

(4) 技术发展趋势。智能化集成：物探+化探+遥感数据融合，降低多解性风险。深部适应革新：抗高温高压钻具与实时监测装备研发。绿色勘查：减少地表破坏，推行无害化采样技术。

4 新技术在深部矿产资源勘查中的应用

(1) 智能靶区圈定与立体勘查。航空物探+三维建模。在齐河—禹城覆盖区，采用高精度航空磁测技术识别深部微弱矿致异常，结合空—地—井协同勘查体系，实现厚覆盖层下矿体毫米级定位，新增靶区7处。矿带应用端元成矿理论构建三维预测模型，精准解析3000米深度矿体空间展布，支撑深部找矿突破。立体勘查技术体系，大队创新“综合选区-动态评价”体系，通过全液压钻机在复杂地层单机日进尺133.4米，快速验证深部靶区，提交中型铜锌矿床。

(2) 深部探测技术革新。多源电磁探测（页岩气/锌矿）。5000米深全区多源电磁装备在长江下游页岩气调查中实现地层精细刻画，分辨率媲美地震勘探；矿区应

用后新增高品位锌矿石334万吨。抗干扰钻探工艺。研发耐300℃高温钻具及实时地压监测系统，突破2000米以浅高地应力区勘查瓶颈，推动深部金矿安全开采。

(3) 智能化与绿色技术应用。AI资源预测（全国性应用）。肖克炎团队“探矿者软件”集成机器学习算法，通过多源数据融合自动生成矿化异常图谱，找矿预测效率提升40%。绿色勘查工艺。推行“以钻代槽”“模块化钻机”技术，减少地表扰动50%，废弃物减量30%，获自然资源部绿色示范认证。

(4) 深海矿产勘探突破。深海多金属硫化物勘探（南海）。2025年应用高分辨率海底传感器网络，结合自主式水下机器人（AUV），实现南海2000米深海多金属硫化物矿体的三维成像与原位采样。当前技术演进呈现“深地穿透+智能决策+生态协同”三位一体趋势：电磁探测向万米深度进军，AI算法逐步替代经验找矿，而绿色工艺标准正从区域试点向全国推广。

5 新技术在深部矿产资源勘查中的应用效果评估

(1) 探测精度与深度突破。深部定位能力革新。精准三维建模：胶东金矿带应用端元成矿理论构建三维预测模型，实现3000米深度矿体定位精度达90%，显著降低靶区验证盲目性。电磁探测升级：5000米深全区多源电磁装备在页岩气调查中分辨率媲美地震勘探，蒙古国锌矿区应用后新增334万吨高品位锌矿。抗极端环境技术。耐300℃高温钻具及实时地压监测系统在胶东金矿2000米以浅高地应力区成功应用，事故率下降40%。

(2) 绿色与安全协同效应。生态扰动控制。模块化钻机+泥浆循环系统在莱州金矿普查中减少地表破坏50%，废弃物减量30%，获绿色勘查认证。页岩气钻井网电驱动替代柴油机，单平台减排582吨CO₂，噪声降至55分贝以下。灾害防控能力。井中三分量磁测技术实现4000米深井实时监测，岩爆预警响应时间缩短至30分钟内。

(3) 技术瓶颈与挑战。成本与适应性局限。万米级电磁探测装备单套成本超千万，中小企业普及难度大；X射线电源技术受辐射防护限制，复杂地形适用性不足。深海勘探待突破。AUV深海硫化物成像技术仍处试验阶段，原位采样成功率仅65%；深海装备耐压标准缺失，国际竞争加剧技术封锁风险。新技术在探测深度（电磁/建模）和绿色低碳（钻探/能源）维度成效显著，但深海勘探与超深井装备仍待技术攻关。

6 深部矿产资源勘查技术未来发展趋势

(1) 探测深度与精度突破。万米级深地穿透技术。电磁探测装备向5000~10000米深度进军，多源电磁系统分辨率逼近地震勘探水平，支撑页岩气、金属矿超深定

位。抗高温高压钻具（耐温 $> 300^{\circ}\text{C}$ ）与实时地压监测系统规模化应用，事故率降低40%。深海勘探技术加速迭代。自主式水下机器人（AUV）结合高分辨率传感器网络，实现6000米深海硫化物矿体三维成像，原位采样成功率提升至80%。深海钻探平台模块化设计，单平台作业深度突破4000米。

（2）绿色勘查体系升级。低碳工艺革新。电网驱动钻机全面替代柴油机组，单平台年减排 $\text{CO}_2 > 500$ 吨。

“以钻代槽”技术降低地表扰动60%，废弃物循环利用率达85%。生态标准国际化。深海勘探ISO环境监测标准于2025年发布，强制要求生物多样性评估。深部矿山实时岩爆预警系统响应时间 < 20 分钟。

（3）技术国产化与协同攻关。装备自主突破。深地传感器国产化率从35%提升至70%，万米级电磁装备成本降低50%。深海耐压材料（ $> 100\text{MPa}$ ）完成工程验证。

“深地-深海”技术协同。深部成矿理论指导深海硫化物勘探，靶区验证成功率提高30%。空-天-地-井立体勘查体系覆盖深度延伸至海陆交界带。发展趋势总览：技术演进呈现“深地穿透极限化（ $\rightarrow 10000$ 米）、决策智能化（AI全流程替代）、作业绿色化（零生态损伤）”三大主线。预计2030年深部资源探明储量占比将超40%，智能化技术渗透率达90%，而深海矿产商业化开发将依赖国际规则与技术标准的双重突破。

7 提升我国深部矿产资源勘查自主创新能力的方

（1）核心技术攻关。深地探测装备国产化。关键技术突破：研发耐 300°C 高温钻具、5000米级多源电磁装备，降低80%技术进口依赖；超深井技术升级：融合岩石流变本构方程与实时控压算法，实现8000米以深地层安全钻进（如塔里木TZ26-H7井日进尺提升103%）。智能化技术赋能。开发AI动态建模系统（如“探矿者软件”），提升3000米深度矿体定位精度至95%；构建空-天-地-井立体

勘查体系，实现海陆交界带资源一体化探测。

（2）跨界融合创新。学科交叉应用。采用“石油工程+AI+云计算”模式，开发智能钻井优化系统（IDAS），实现钻井参数动态调优；融合地磁测量与同位成矿理论，建立深部成矿预测模型。国际技术协同。主导亚太深地探测联盟，共享全球地质数据库；联合蒙古科技大学攻关井中三分量磁测技术，突破4000米深井监测瓶颈。

（3）绿色智能化转型。低碳工艺普及。电网驱动钻机替代柴油机组，单平台年减排 $\text{CO}_2 > 500$ 吨；“以钻代槽”技术降低地表扰动60%，废弃物循环率85%。深海-深地技术互通。移植超深井耐压技术至深海勘探装备，提升AUV耐压强度至 100MPa ；深部成矿理论指导深海硫化物靶区筛选，验证成功率提高30%。实施路径：以“巴斯德象限”理论驱动应用型基础研究（如超深地层力学建模与装备开发闭环创新），通过机制改革释放科研主体活力，依托技术协同突破深地-深海探测极限，实现“理论-技术-应用”螺旋升级。

总之，矿山地质勘探新技术在深部矿产资源开发中的应用是科技进步与矿产开发需求相结合的产物。通过不断提升和完善这些技术，我们不仅能更高效、更环保地开发资源，还能保障矿产行业的可持续发展，为社会经济的繁荣提供坚实的基石。随着科技的不断突破，我们有理由期待，未来的矿山地质勘探将更加智能、精确，为深部矿产资源开发打开新的可能。

参考文献

- [1]李浩.信息化时代下矿山地质勘查技术的创新研究.2022.
- [2]刘志超.浅谈矿山地质勘测技术在深部矿产资源勘查中的应用.2023.