

深部矿产资源探测技术进展与成矿规律研究

邓晓宁

内蒙古第八地质矿产勘查开发有限责任公司 内蒙古 乌海 016000

摘要：本文聚焦深部矿产资源探测技术与成矿规律研究。阐述深部矿产资源探测技术发展现状，包括地球物理、地球化学及钻探技术进展，分析其面临的挑战与趋势。探讨成矿规律研究方法及成果，如典型矿床成矿模式、区域成矿规律等。最后论述探测技术与成矿规律研究的协同作用及未来发展方向，旨在为深部矿产资源勘查提供理论支持与实践指导。

关键词：深部矿产资源；探测技术；成矿规律；协同作用

引言

随着全球经济的持续发展，对矿产资源的需求不断攀升，浅部矿产资源经过长期开采已逐渐枯竭，深部矿产资源勘查与开发成为保障资源安全供应的必然选择。深部矿产资源勘查面临着诸多挑战，如探测深度大、地质条件复杂、信号微弱等，这促使探测技术不断创新与发展。同时，深入研究成矿规律，能够为深部找矿提供科学依据，提高找矿效率与成功率。因此，开展深部矿产资源探测技术进展与成矿规律研究具有重要的现实意义。

1 深部矿产资源探测技术进展

1.1 地球物理探测技术

地球物理探测技术是深部矿产资源勘查的重要手段，通过测量地球物理场的变化来推断地下地质体的分布与性质。近年来，重力、磁法、电法、地震等多种地球物理方法取得了显著进展。在重力勘探方面，高精度重力仪的研发与应用，使得重力测量精度大幅提高，能够捕捉到更微弱的重力异常信号，从而更准确地圈定深部隐伏矿体的位置与规模。磁法勘探中，航空磁测技术的不断发展，实现了大面积快速测量，结合数据处理与解释技术的改进，可有效识别深部磁性地质体的特征。电法勘探领域，可控源音频大地电磁测深（CSAMT）和瞬变电磁法（TEM）等技术不断优化，具有探测深度大、抗干扰能力强等优点，在深部金属矿勘查中发挥了重要作用。地震勘探技术作为探测深部地质结构最有效的方法之一，三维地震勘探技术已广泛应用于油气勘探，并在深部矿产资源勘查中逐渐推广，能够提供高分辨率的地下地质结构图像，为深部找矿提供重要信息。

1.2 地球化学探测技术

地球化学探测技术通过分析岩石、土壤、水系沉积物等介质中的元素含量与分布特征，来寻找深部矿床的地球化学异常信息。传统的地球化学勘查方法在浅部找

矿中取得了良好效果，但在深部矿产资源勘查中面临一定局限性。近年来，深部地球化学探测技术不断发展，如气体地球化学测量、地气测量、活动态金属离子测量等。气体地球化学测量通过采集和分析地下气体中的成矿元素及其化合物，能够探测深部矿体释放的气体信号，具有探测深度大、灵敏度高的特点。地气测量技术利用地下气体携带的纳米级微粒来追踪深部矿源，可有效识别深部隐伏矿体的地球化学异常。活动态金属离子测量则通过提取介质中活动态的金属离子，来反映深部矿体的信息，提高了地球化学异常的识别能力^[1]。

1.3 钻探技术

钻探技术是获取深部地质样品和直接验证深部矿体存在与否的关键技术。随着深部矿产资源勘查的需求不断增加，钻探技术不断向深部、高效、环保方向发展。深部钻探设备不断更新换代，钻机的功率和扭矩不断提高，能够满足更深部钻探的需求。同时，钻探工艺也不断创新，如金刚石钻进技术、绳索取心钻进技术等的应用，提高了钻探效率与钻孔质量。此外，智能钻探技术逐渐兴起，通过在钻探过程中实时监测钻进参数、地层信息等，实现钻探过程的智能化控制，为深部钻探提供了更有力的技术支持。

2 深部矿产资源探测技术面临的挑战与发展趋势

2.1 面临的挑战

深部矿产资源探测技术虽然取得了显著进展，但仍面临诸多挑战。一方面，深部地质条件复杂，岩石物理性质变化大，地球物理信号微弱且干扰因素多，导致地球物理探测结果的解释难度增大。另一方面，深部钻探成本高、风险大，钻探过程中可能遇到高温、高压、岩爆等复杂地质条件，对钻探设备和技术人员的要求极高。此外，地球化学探测技术在深部应用中，元素的迁移机制和异常形成机理尚不完全清楚，影响了地球化学

异常的解释与评价。

2.2 发展趋势

为应对上述挑战，深部矿产资源探测技术将朝着多学科融合、智能化、绿色化方向发展。多学科融合将成为未来探测技术发展的重要趋势，通过将地球物理、地球化学、地质等多学科信息进行综合分析解释，提高深部矿产资源探测的准确性与可靠性。智能化技术在探测设备与数据处理中的应用将不断加强，实现探测过程的自动化与智能化控制，提高探测效率与质量。同时，绿色勘查理念将深入人心，研发环保型钻探技术与地球化学探测方法，减少对环境的影响，实现深部矿产资源勘查与环境保护的协调发展。

3 成矿规律研究

3.1 成矿规律研究方法

成矿规律研究作为深部找矿的关键基石，其涵盖的方法丰富多样且相互关联，为全面、深入地认识成矿过程提供了有力支撑。地质构造分析是成矿规律研究的重要手段之一。区域地质构造演化历史犹如一部记录地球发展变迁的史书，其中蕴含着构造对成矿控制的诸多线索。通过深入研究不同地质时期的构造运动，如板块碰撞、拉伸、褶皱等，分析这些构造活动如何改变岩石的物理化学性质，如何为成矿物质的运移提供通道以及为矿床的形成提供赋存空间。例如，在板块俯冲带，由于板块间的相互作用，会产生高温高压环境，促使地幔物质上涌，同时引发大规模的岩浆活动，这些岩浆在上升过程中会携带大量的成矿物质，当岩浆冷却结晶时，成矿物质便会在适宜的构造部位富集形成矿床。通过对区域构造格局的详细剖析，能够精准确定有利成矿构造部位，如断裂带、褶皱枢纽部等，为后续的找矿工作指明方向。矿床地球化学研究聚焦于矿床中元素的分配、迁移与富集规律。成矿物质的来源与成矿过程是矿床形成的核心问题，而元素在矿床中的分布特征正是解开这些谜题的关键线索。通过分析矿床中不同元素的含量、比值以及同位素组成等信息，可以追溯成矿物质的来源，判断其是来自地幔、地壳还是两者的混合^[2]。同时，研究元素在成矿过程中的迁移机制，包括元素的溶解、沉淀、吸附等作用，有助于揭示成矿环境的演变以及成矿作用的动态过程。例如，在一些热液型矿床中，通过对流体包裹体的研究，可以获取热液的成分、温度、压力等信息，进而了解热液在成矿过程中的演化路径以及元素在其中的迁移富集规律。成矿年代学测定则是利用同位素定年等先进技术，为矿床的形成时代进行精确“打卡”。确定矿床的形成时代对于研究区域成矿演化

具有重要意义，它能够帮助我们构建区域成矿的时间框架，了解不同地质时期成矿作用的强度、特点以及相互关系。例如，通过测定同一成矿区内不同矿床的形成时代，可以发现成矿作用存在多期次性，不同期次的成矿作用可能在空间上相互叠加，从而形成复杂的矿床类型。这有助于我们深入理解区域成矿的演化历程，为预测深部潜在矿床提供时间维度的依据。此外，数值模拟技术在成矿规律研究中的应用日益广泛。通过建立成矿动力学模型，将地质、地球物理、地球化学等多学科信息进行整合，模拟成矿过程中的物质运移、能量交换以及化学反应等复杂过程。数值模拟能够直观地展示成矿机制，帮助我们深入理解成矿过程中各种因素之间的相互作用关系，为成矿规律的总结和成矿模式的建立提供理论支持。

3.2 典型矿床成矿模式与区域成矿规律

通过对大量典型矿床的深入研究，科学家们总结出了不同类型矿床的成矿模式，这些模式犹如成矿过程的“标准模板”，为同类矿床的找矿预测提供了重要依据。

斑岩型铜矿是一种具有重要经济价值的矿床类型。其成矿模式通常与板块俯冲作用密切相关。在板块俯冲过程中，洋壳板块携带大量的水分和挥发性物质进入地幔，引发地幔部分熔融，形成富含铜等成矿元素的岩浆。这些岩浆上升并侵入位于地壳浅部，形成斑岩体。随着岩浆的冷却结晶，岩浆中的挥发性物质出溶，形成热液。热液在斑岩体及其围岩中循环，萃取围岩中的铜等元素，并在适宜的物理化学条件下，如温度、压力、氧化还原条件的变化，使铜元素沉淀富集，形成斑岩型铜矿。该成矿模式概括了斑岩型铜矿的形成条件，包括特定的构造背景、岩浆活动以及热液循环等；成矿过程，从岩浆形成到热液萃取、沉淀成矿；以及成矿机制，即各种地质因素如何相互作用导致铜元素的富集。矽卡岩型铁铜矿的成矿模式则与中酸性侵入岩与碳酸盐岩的接触交代作用有关。当中酸性岩浆侵入碳酸盐岩地层时，岩浆带来的热液与碳酸盐岩发生接触交代反应，形成矽卡岩。在接触交代过程中，铁、铜等成矿元素从岩浆和围岩中被萃取出来，并在矽卡岩中沉淀富集，形成矽卡岩型铁铜矿。这种成矿模式强调了岩浆活动、围岩性质以及接触交代作用在成矿过程中的重要性。热液脉型金矿的成矿模式主要涉及热液活动。热液可以来源于岩浆活动、变质作用或地下水循环等。在热液上升过程中，它会萃取周围岩石中的金等元素，并在沿断裂带等构造通道运移过程中，由于温度、压力等条件的变化，金元素沉淀富集，形成热液脉型金矿。该成矿模式突出了构

造对热液运移的控制作用以及热液性质对金矿形成的影响^[3]。

4 深部矿产资源探测技术与成矿规律研究的协同作用

4.1 探测技术为成矿规律研究提供数据支持

深部矿产资源探测技术如同“透视眼”，能获取地球深部信息，为成矿规律研究筑牢数据根基。地球物理探测技术通过测量重力场、磁场、电场等地球物理场，揭示深部地质结构与构造特征。不同岩石和地质体物理性质（如密度、磁性、电性）有别，会在物理场中体现差异。分析探测结果，可识别深部断裂带、褶皱、岩体等构造，为构造控矿分析提供直观依据。例如，重力异常能反映地下密度不均体分布，帮助我们了解地壳深部构造格局；磁法探测可识别具磁性的岩体，为寻找与岩体相关矿床提供线索。地球化学探测技术聚焦于发现地球化学异常信息。成矿物质运移和富集会在周围岩石留下化学痕迹，通过采集土壤、岩石、水系沉积物等样品，分析元素含量与分布特征，可发现地球化学异常区。这些异常区与矿床形成紧密相关，有助于追踪成矿物质迁移路径与富集部位。如寻找金矿时，分析土壤中金元素含量，圈定金异常区，指导后续找矿。钻探技术是获取深部地质样品的直接手段。钻探获取的岩芯样品，为研究矿床岩石学、矿物学和地球化学特征提供第一手资料。详细观察分析岩芯样品，能了解岩石类型、结构、构造以及矿物种类、含量、组合关系等，进而揭示矿床形成环境与成矿过程。例如研究斑岩型铜矿钻探岩芯，可观察到斑岩体特征、热液蚀变分带及矿物生成顺序等信息，为完善成矿模式提供实证。不同探测技术获取的数据相互印证、补充，助力深入理解成矿机制，完善成矿模式。

4.2 成矿规律研究指导探测技术部署

成矿规律研究成果似“明灯”，为深部矿产资源探测技术部署提供科学指引，提升探测工作效率与成功率。依据区域成矿规律，可确定有利成矿区带与靶区。不同地区因地质构造背景、岩浆活动历史等因素不同，成矿潜力与类型各异。深入研究区域成矿规律，能识别出成矿地质条件良好的地区，将其作为重点探测区域。在有利成矿区带内，结合地质、地球物理、地球化学等

信息，圈定具体找矿靶区。有针对性地开展地球物理、地球化学探测工作，可集中资源，提高探测效率，增加发现矿床的几率。如在已知斑岩型铜矿成矿区带，根据其成矿模式和地球物理、地球化学异常特征，圈定找矿靶区，再开展详细探测与采样分析，缩小找矿范围。在钻探工程部署中，成矿规律研究也至关重要^[4]。依据成矿模式与预测的矿体空间位置，合理设计钻孔位置与深度。研究成矿模式可了解矿体空间分布规律，如产状、延伸方向、埋藏深度等，结合地球物理探测结果，确定钻孔最佳位置与深度，使钻孔穿过或接近矿体，提高钻探见矿率。这既能减少钻探工作量、降低勘查成本，又能提高勘查效率，加快深部找矿进程。如在热液脉型金矿勘查中，根据其成矿模式和构造控矿特征，预测矿体沿断裂带分布，结合地球物理探测结果布置钻孔，可有效提高发现金矿体的概率。

结束语

深部矿产资源探测技术与成矿规律研究是深部找矿的两个关键方面，二者相互促进、相辅相成。近年来，探测技术不断创新发展，为深部矿产资源勘查提供了有力手段；成矿规律研究不断深入，为深部找矿提供了科学依据。然而，深部矿产资源勘查仍面临诸多挑战，需要进一步加强多学科交叉融合，不断创新探测技术与研究方法。未来，应继续加强深部矿产资源探测技术的研发与应用，提高探测精度与深度；深入开展成矿规律研究，完善成矿理论体系；加强探测技术与成矿规律研究的协同作用，实现深部矿产资源的高效勘查与开发，为保障国家资源安全做出更大贡献。

参考文献

- [1]滕吉文.强化开展地壳内部第二深度空间金属矿产资源地球物理找矿、勘探和开发[J].地质通报,2013,07:767-771.
- [2]张纫兰.重要大宗金属矿产资源战略接续区综合评价与区划[D].中国地质大学,2014.
- [3]孙迎新,戚爽,杜云龙.有色金属矿产资源勘探方法探讨[J].城市建设理论研究:电子版,2014(34).
- [4]陈海健.有色金属矿产资源勘探方法探讨[J].中国科技博览,2015(20):314-314.