

# 深部矿产资源勘探技术进展与挑战

程晓艳

汉中西北有色711总队有限公司 陕西 汉中 723000

**摘要:** 本文旨在综述深部矿产资源勘探技术的最新进展及其面临的挑战。随着地表矿产资源的逐渐枯竭,深部矿产资源勘探成为保障资源安全的重要途径。本文将从技术进展、面临的挑战及未来发展方向三个方面进行详细阐述,以期为相关领域的研究和实践提供参考。

**关键词:** 深部矿产资源; 勘探技术; 进展; 挑战; 未来发展方向

## 引言

深部矿产资源勘探是地质矿产工作的前沿领域,对于保障国家资源安全具有重要意义。随着勘探深度的增加,传统勘探技术已逐渐达到瓶颈,深部矿产资源勘探技术的突破成为当前研究的热点。本文将围绕深部矿产资源勘探技术的最新进展、面临的挑战及未来发展方向展开详细论述。

## 1 深部矿产资源勘探技术的最新进展

### 1.1 地球物理勘探技术的精细化发展

#### 1.1.1 重磁勘探技术的精度与深度双重飞跃

近年来,重磁勘探技术经历了前所未有的革新。在仪器研发方面,高精度重力仪与超导磁力仪的涌现,使得对地球重力场与磁场的测量精度达到了前所未有的水平。这些仪器能够捕捉到更为微弱的重力与磁异常信号,从而揭示深部矿体存在的蛛丝马迹。同时,随着数据处理技术的不断进步,如三维重磁异常反演技术的广泛应用,重磁勘探的探测深度与解析精度均实现了显著提升。如今,重磁勘探技术已能够深入地下数千米,为深部矿产资源勘探提供有力支撑。

#### 1.1.2 电磁勘探技术的多元化与高精度发展

电磁勘探技术在深部矿产资源勘探中的应用日益广泛,其多元化与高精度的发展趋势尤为显著。在频率域电磁法方面,可控源音频大地电磁测深法(CSAMT)凭借其深度大、分辨率高的特点,已成为金属矿床勘探的首选方法之一。而在时域电磁法领域,瞬变电磁法(TEM)通过测量地下介质对电磁脉冲的响应,能够快速识别导电层与矿体位置<sup>[1]</sup>。此外,随着电磁勘探仪器性能的不提升与数据处理算法的日益优化,电磁勘探的精度与效率均得到了显著提升,为深部矿产资源勘探提供了更为可靠的技术手段。

#### 1.1.3 地震勘探技术的深度拓展与高分辨率成像

地震勘探技术在深部地质结构研究中发挥着举足轻

重的作用。近年来,随着反射波法和折射波法的不断完善与创新,地震勘探的探测深度与分辨率均实现了显著提升。在反射波法方面,宽频带地震勘探技术的引入使得地震波能够携带更多地下信息,从而提高了地层划分的精度。而在折射波法领域,地震层析成像技术的广泛应用则使得地下地质结构的三维可视化成为可能。这些技术的进步不仅为深部矿产资源勘探提供了更为详细的地质信息,还为后续的矿产开发提供了科学依据。

### 1.2 钻探技术的深度革新与装备升级

#### 1.2.1 新型钻探技术的精细化与高效化应用

随着深部矿产资源勘探需求的不断增长,传统钻探技术已难以满足日益复杂的地质条件和勘探要求。在此背景下,一系列新型钻探技术应运而生,并展现出强大的生命力。定向钻探技术,通过高精度的导向系统和先进的测控技术,实现了钻孔方向的精确控制。这使得钻探作业能够穿越复杂的地质构造,如断层、褶皱等,直接抵达目标矿体,大大提高了勘探的精准度和效率。水平钻探技术,则特别适用于地层平缓、矿体延伸方向复杂或地表条件限制的情况。该技术通过水平或近似水平的钻孔路径,有效规避了地层倾斜、地表障碍物等不利因素,为深部矿产资源的勘探开辟了新途径。而高精度岩心取样钻探技术,则通过优化钻具设计、改进取样方法以及加强样品保护措施,确保了岩心样品的完整性、代表性和真实性。这不仅为地质分析提供了可靠依据,也为矿产资源的评估与开发提供了有力支持。

#### 1.2.2 钻探装备的智能化升级与耐用性增强

钻探装备的升级换代是推动深部矿产资源勘探技术进步的关键因素之一。近年来,智能化钻机已成为钻探领域的主流趋势。这类钻机集成了先进的传感器技术、自动化控制技术、数据处理与传输技术等,能够实时监测地质条件、钻探参数和钻具状态,并根据这些信息自动调整钻探策略。例如,当遇到坚硬地层时,智能化钻

机可以自动增加钻压和转速,以提高钻探效率;当遇到软弱地层或异常地质情况时,则可以及时调整钻探参数,确保钻探作业的安全与稳定。此外,钻具的耐用性也得到了显著提升。通过采用高性能的耐磨材料、优化钻具结构设计以及加强表面处理技术等措施,钻具的使用寿命得到了大幅延长。这不仅降低了钻探成本,还使得钻井深度得以进一步拓展,为深部矿产资源的勘探与开发提供了更加有力的技术支撑。同时,智能化钻机的远程监控与故障诊断功能也极大地提高了钻探作业的便捷性和安全性,为深部矿产资源勘探的可持续发展奠定了坚实基础。

### 1.3 遥感技术在深部矿产资源勘探中的深度应用

#### 1.3.1 航拍遥感技术的多光谱与高光谱融合应用

航拍遥感技术,作为深部矿产资源勘探的“空中之眼”,正经历着从单一光谱到多光谱、高光谱的深度整合与革新。多光谱遥感技术,通过搭载在卫星或无人机上的多光谱相机,能够同时捕获地表在多个特定波段的光谱反射信息。这些信息经过专业处理,可以揭示出不同矿物质在特定波段下的独特光谱特征,如铁矿物的红色波段吸收特性、铜矿物的短波红外波段反射特性等,从而为矿产资源的初步识别提供科学依据。而高光谱遥感技术,则进一步将光谱分辨率提升至纳米级别,使得地表物质之间微小的光谱差异得以显现。这种技术能够捕捉到地表植被、土壤、岩石等覆盖物下的矿化异常信息,甚至能够区分出不同矿物成分之间的细微差别。通过多光谱与高光谱数据的深度整合与智能解译,航拍遥感技术能够构建出地表矿化特征的三维空间分布图,为深部矿产资源的勘探提供精准的空间定位与矿化异常区域划分。

#### 1.3.2 激光雷达技术的高精度三维建模与地表特征提取

激光雷达技术,以其高精度、高效率的特点,在深部矿产资源勘探中发挥着越来越重要的作用。通过激光脉冲的发射与接收,激光雷达能够精确测量地表各点到激光发射器的距离,进而构建出地表的高精度三维模型。这种模型不仅包含了地表的地形起伏、坡度变化等宏观特征,还能够精细地刻画地表微小的地貌特征,如沟壑、裂隙、植被分布等。在深部矿产资源勘探中,这些微地貌特征往往与地质构造、矿化作用等密切相关<sup>[2]</sup>。激光雷达技术的高精度三维建模能力,使得研究人员能够直观地分析地表特征与深部地质结构之间的关系,为矿产资源的勘探提供更为详尽的地质背景信息。同时,结合先进的图像处理与数据分析技术,激光雷达还能够从

三维模型中自动提取出地表微地貌特征的参数化描述,如沟壑的深度、宽度、走向等,为后续的勘探作业提供更为精确的空间数据与决策支持。

## 2 深部矿产资源勘探技术面临的挑战与困境

### 2.1 技术层面的复杂性与极端环境的严峻考验

深部矿产资源勘探过程中,技术难题的复杂性和极端环境的严峻性构成了双重挑战。首先,在技术层面,随着钻探深度的不断增加,地下环境变得愈发复杂多变。高温、高压、高湿度以及可能伴生的有毒有害气体和放射性物质,对钻探设备、钻具材料以及作业人员的安全防护都提出了极高的要求。例如,高温环境下,钻探设备的电机、液压系统容易过热失效,而高压则可能导致钻杆、钻头等部件的损坏。此外,深部岩体的非均质性、裂隙发育以及地下水的动态变化,都增加了勘探过程中的不确定性和风险。这些技术难题需要科研人员通过深入研究,开发出适应极端环境的新型钻探技术和高性能材料,以提高勘探效率和作业安全性。

### 2.2 装备依赖问题的深层次原因与国际供应链风险

我国在深部矿产资源勘探技术和装备方面的依赖问题,其深层次原因在于自主研发能力不足和产业链不完善。尽管近年来我国在钻探设备、传感器和电子元器件等方面取得了一定进展,但部分高端技术和产品仍依赖进口。这种依赖不仅增加了勘探成本,还可能因国际政治经济环境的变化而面临供应链中断的风险。特别是某些关键技术和产品受到国际出口管制,对我国实施禁运或限制出口,严重制约了我国深部矿产资源勘探技术的发展和自主创新能力的提升。因此,加强自主研发、突破关键技术瓶颈、完善产业链布局,已成为我国深部矿产资源勘探领域亟待解决的重要问题。

### 2.3 产业化与商品化进程的滞后及其影响

与国外相比,我国在深部矿产资源勘探技术与装备的产业化、商品化进程方面存在明显滞后。这主要体现在技术转化效率低、产品配套不完善、市场推广力度不够以及产业规模较小等方面。首先,技术转化效率低导致科研成果难以快速转化为实际生产力,影响了勘探效率和成本的控制。其次,产品配套不完善使得我国在勘探过程中需要依赖进口设备和服务,增加了勘探成本和时间成本。再者,市场推广力度不够导致国内用户对国产技术和装备的认知度不高,影响了国产产品的市场占有率<sup>[3]</sup>。最后,产业规模较小使得我国在深部矿产资源勘探领域的国际竞争力不足,难以在国际市场上占据有利地位。因此,加快推动我国深部矿产资源勘探技术和装备的产业化、商品化进程,提升国际竞争力,已成为当

前亟待解决的重要任务。这需要政府、企业、科研机构等多方共同努力,形成产学研用紧密结合的创新体系,推动深部矿产资源勘探技术的快速发展和广泛应用。

### 3 未来深部矿产资源勘探技术的发展路径与策略

#### 3.1 深化技术创新,引领勘探技术新突破

在未来的深部矿产资源勘探领域,技术创新将是推动行业发展的核心动力。应聚焦于钻探技术的全面革新,不仅致力于研发能够适应极端环境条件的超深钻探技术与装备,包括研发出耐高温、高压、高磨损且具备高强度的新型钻具材料,还将集成智能化、自动化以及远程监控等先进技术,打造高效、安全的钻探系统。同时,地球物理勘探技术也将迎来重大突破,应利用新型高精度仪器,结合大数据处理、云计算以及机器学习等前沿技术,对深部地质构造进行更为精确、全面的解析,为矿产资源的精准定位提供强有力的科学依据。此外,遥感技术与信息技术的融合应用也将得到进一步深化,应开发更加智能的遥感解译系统,快速、准确地识别地表覆盖下的矿产资源特征,为深部勘探提供高效、精准的先导信息,助力勘探工作的高效开展。

#### 3.2 加速产业化进程,构建完整产业链

为了推动深部矿产资源勘探技术与装备的产业化进程,应致力于构建一个协同、开放、共赢的创新生态系统。通过加强高校、科研机构与企业之间的深度合作与资源共享,形成产学研用紧密结合的协同创新机制,加速科技成果向实际应用转化。应积极推动产业链整合与优化,促进勘探技术、装备制造、数据处理、勘探服务等各个环节的协同发展,形成上下游紧密衔接、高效协同的产业链体系。同时,我们还将注重技术标准的制定与国际化推广,提升我国深部矿产资源勘探技术与装备的国际竞争力,为走向世界奠定坚实基础。此外,我们还将积极搭建交流平台,促进国内外企业、科研机构之间的合作与交流,共同推动深部矿产资源勘探产业的繁荣发展。

#### 3.3 拓宽国际合作渠道,共享全球资源

面对全球性的深部矿产资源勘探挑战,应积极拓宽国际合作视野,以开放、包容、共赢的态度,加强与国外科研机构、企业和政府部门的交流与合作。应积极参与国际深部矿产资源勘探合作项目,与国际顶尖科研机构共享资源、数据和经验,共同攻克技术难题,推动行业技术进步。同时,应注重技术引进与二次创新,结合我国地质条件和市场需求,对引进的国外先进技术进行消化吸收和再创新,形成具有自主知识产权的核心技术体系,提升我国在全球深部矿产资源勘探领域的竞争力<sup>[4]</sup>。此外,还应加强人才培养与交流,通过派遣学者、专家参与国际会议、访问学者项目等方式,提升我国科研人员的国际视野和创新能力,同时吸引国际顶尖人才参与我国深部矿产资源勘探事业,为全球勘探合作网络的构建贡献中国智慧和力量,共同推动全球深部矿产资源勘探事业的繁荣发展。

#### 结语

深部矿产资源勘探技术的进展与挑战并存。随着地表矿产资源的逐渐枯竭,深部矿产资源勘探成为保障资源安全的重要途径。通过加强技术创新、推动产业化进程和加强国际合作等措施,将进一步提高我国深部矿产资源勘探技术的能力和水平。未来,深部矿产资源勘探技术将继续向着更高效、更智能、更环保的方向发展。

#### 参考文献

- [1]吴永志,吴昊.深部矿产资源勘探技术研究[J].冶金与材料,2023,43(12):85-87.
- [2]余林冰.深部矿产资源勘查技术与方法的研究与应用[J].中国金属通报,2024,(05):137-139.
- [3]李炳武.金属矿产资源的深部找矿及其勘探技术研究[J].世界有色金属,2022,(11):79-81.
- [4]吴中丽.金属矿产资源的深部找矿及其勘探技术[J].中国金属通报,2022,(03):40-42.