

地质矿产调查的技术应用策略

曹永贵

中国地质调查局军民融合地质调查中心, 四川 成都 610036

DOI:10.61369/ERA.2025120011

摘要 : 本文聚焦地质矿产调查的技术应用策略, 旨在为矿产资源勘探开发提供科学、高效的技术指导, 保障经济社会发展所需矿产品的稳定供应。文章构建了“空 – 天 – 地 – 井”一体化的关键技术体系, 并提出分阶段技术应用策略, 同时强调数据融合与智能解译技术的核心转化作用。通过系统梳理各技术的应用逻辑与阶段适配性, 形成了覆盖地质矿产调查全流程的技术应用框架, 为提升矿产资源勘探效率与精度、推动勘查 – 开发无缝衔接提供了理论与实践参考。

关键词 : 地质矿产调查; 技术应用策略; 对地观测技术; 地面探测技术

Technical Application Strategies for Geological and Mineral Resources Surveys

Cao Yonggui

Military-Civilian Integration Geological Survey Center, China Geological Survey, Chengdu, Sichuan 610036

Abstract : This paper focuses on the technical application strategies for geological and mineral resources surveys, aiming to provide scientific and efficient technical guidance for the exploration and development of mineral resources and ensure a stable supply of mineral products required for economic and social development. The article constructs a key technical system integrating "space-air-ground-well" technologies and proposes a phased technical application strategy, while emphasizing the core transformative role of data fusion and intelligent interpretation technologies. By systematically reviewing the application logic and stage adaptability of each technology, a technical application framework covering the entire process of geological and mineral resources surveys has been formed, offering theoretical and practical references for enhancing the efficiency and accuracy of mineral resource exploration and promoting seamless integration between exploration and development.

Keywords : geological and mineral resources surveys; technical application strategies; earth observation technologies; ground detection technologies

引言

矿产资源作为支撑国民经济与社会发展的关键物质基础, 其战略地位在新能源、新材料等新兴产业快速发展的背景下愈发凸显。然而随着地表易发现矿体的日益减少, 地质矿产调查工作正面临着勘查目标从“浅表”转向“深部”、勘查环境从“简单”转向“复杂”、勘查成本与风险持续增高等严峻挑战。鉴于此, 本文立足于现代地质矿产调查的全流程需求, 构建从宏观到微观、从推測到验证、从数据到决策的“空 – 天 – 地 – 井”一体化技术应用策略框架。研究旨在为新时代地质矿产调查工作提供一套系统化、可操作的技术应用指南, 推动矿产勘查向更精准、更高效、更智能的方向发展。

一、关键技术体系与应用策略

(一) “空 – 天” 对地观测技术应用策略

“矿产资源是重要的自然资源, 是经济社会健康发展的物质基础。新能源、现代通讯、现代办公设备等新材料离不开矿产资源勘探开发的最终产品——矿产品^[1]。空 – 天”技术作为区域地质矿产调查的顶层感知系统, 核心目标是识别区域地质构造、岩性分布及矿产异常, 凭借其宏观、快速、大范围的优势, 为后续地面工作划定重点范围, 其应用遵循“卫星宏观控全局、航空中

观提精度”的分层策略。卫星遥感通过组合多光谱、高光谱及高空间分辨率数据, 对调查区进行全景式扫描, 是区域成矿背景分析的核心手段, 技术选型需根据调查目标组合数据。航空地球物理与遥感技术则作为连接卫星与地面的桥梁, 通过低空飞行对地表以下浅部地质体进行物性探测, 有效解决植被覆盖区、复杂地形区的勘查难题, 其技术选型需针对目标矿产的物性特征。

(二) “地”面探测与地球化学技术应用策略

地面技术是地质矿产调查的核心验证层, 聚焦中微观尺度的异常验证与靶区圈定, 通过地面物探、地球化学测量与地质填图

的协同,将“空-天”技术发现的宏观异常转化为具体的矿化线索,核心目标是“去伪存真、精准定位”。地面地球物理探测通过近距离接触式探测精细刻画地下地质体结构与物性差异,解决航空异常的验证问题,其技术选型遵循针对性匹配原则^[2]。地球化学测量则通过分析土壤、岩石等介质中的元素含量识别化学异常,解决矿体是否存在及矿化强度的问题,其方法根据地表介质类型选择^[3]。地面地质填图通过野外路线调查与地质点测量,融合手持GPS、便携式XRF和无人机航测等现代技术,将抽象数据转化为具象的地质信息,旨在建立调查区的地质框架,为所有异常解释提供依据,同时详细记录矿化体与蚀变特征,并将数据与物探、化探成果实时关联,形成综合解释,最终实现靶区的精准圈定与矿化线索的确认。

(三)“井”下勘查与深度探测技术应用策略

井下技术是地质矿产调查的最终验证层,通过钻探、井中物探与坑道工程直接接触地下深部地质体与矿体,核心目标是验证深部异常是否为矿体、圈定矿体形态与储量、获取开发所需数据,是实现从推測到证实的关键环节^[4]。钻探工程通过直接获取岩心、岩屑样品,是验证深部异常、控制矿体、计算储量的唯一直接手段,其技术选型根据探测深度、岩性与勘查目标确定。井中物探技术则通过井中磁测、激电等方法探测钻孔周边的隐伏矿体,应用于钻探发现矿体后的横向拓展与深部钻探方案优化,实施时需与地面物探联动解释,并结合岩心数据校准,确保异常解释的准确性^[5]。坑道勘查技术实现了对矿体的近距离观察与采样,通过平硐、斜井或竖井直接揭露矿体,获取详尽的地质信息与高质量样品,在详查与勘探阶段近距离观察矿体与围岩关系,在开发阶段可转化为矿山开拓系统的一部分,实施时需兼顾勘查与开发需求,同步开展地质编录与数字化建模,确保矿体信息精准记录。

(四)数据融合与智能解译技术应用策略

数据融合与智能解译是实现地质矿产调查“数据-信息-矿靶”转化的核心环节,旨在处理“空-天-地-井”技术产生的海量多源异构数据,通过整合与智能分析,提升异常识别与矿体预测的精度和效率^[6]。多源数据融合技术通过整合不同类型、不同尺度的数据,构建统一的地质信息模型,其技术选型涵盖空间、属性及多尺度融合,并采用数据同化、小波变换、神经网络等方法,应用于从区域到勘探的全阶段数据整合,实施时需遵循“数据标准化-数据匹配-数据融合-模型构建”的流程,最终构建出可视化的三维地质信息模型^[7]。智能解译技术则借助机器学习与深度学习算法,实现异常自动提取、矿体预测与储量估算,其实施需遵循“数据驱动+地质约束”原则,以地质理论为基础避免纯数据拟合,并通过交叉验证优化模型,同时智能解译结果必须结合野外地质观察与钻探验证形成闭环,以确保最终成果的可靠性与实用性。

二、分阶段技术应用策略

(一)区域选区与远景评价阶段

本阶段以大面积区域为调查范围,核心目标是基于成矿地质

背景筛选具有成矿潜力的远景区,初步判断区域成矿可能性,为后续调查划定重点方向。技术应用以“空-天”宏观技术为主导,搭配少量地面宏观调查技术,构建“大范围扫描-初步线索提取”的技术链条^[8]。卫星遥感技术作为本阶段的核心手段,优先组合高空间分辨率与高光谱分辨率卫星数据,完成区域地质填图与遥感异常初筛,通过解译地层分布、岩体展布及断裂构造格局,识别“地层-岩体-构造”匹配的成矿有利区,同时利用高光谱数据提取铁氧化物、羟基矿物等与矿产相关的光谱异常,初步圈定数百至数千平方公里的异常集中区;航空地球物理技术则针对卫星遥感圈定的成矿有利区,开展中尺度航空磁测与航空重力测量,进一步揭示区域深部构造与物性异常分布,缩小远景区范围至数百平方公里^[9]。地面调查技术仅作为辅助,主要开展大范围水系沉积物测量,通过采集水系底泥样品分析成矿元素含量,圈定区域地球化学异常带,验证“空-天”技术提取的异常线索;同时辅以少量路线地质调查,重点观察区域标志性岩性、构造与矿化现象,为成矿背景分析提供基础地质依据。本阶段技术应用需注重多源线索叠加”,将卫星遥感异常、航空物探异常与地球化学异常进行空间匹配,优先选择三类异常叠加区域作为重点远景区,确保远景区筛选的科学性与可靠性。

(二)靶区优选与普查阶段

本阶段以区域选区阶段划定的远景区为调查范围,核心目标是在远景区内进一步缩小范围,圈定具有直接矿化线索的靶区,初步验证异常与矿化的关联性^[10]。技术应用从“空-天”宏观主导转向“空-天-地”协同,以地面技术为核心开展异常验证,构建“中尺度精细探测-地面验证-靶区锁定”的技术链条。航空地球物理技术在本阶段进一步升级,针对远景区开展高精度航空电磁与航空高光谱测量,前者探测浅部电性异常,锁定硫化物矿化相关线索,后者精准识别地表矿物组合,区分矿化蚀变与非矿化蚀变;同时结合航空磁测数据细化磁性异常边界,为地面调查提供精准异常位置。地面技术成为本阶段的核心验证手段,地面地球物理探测优先选择高精度磁测、重力测量与时间域激电法,对航空物探异常进行加密验证,通过小比例尺面状测量与剖面测量,判断异常是否由矿化引起,排除人工干扰与非矿地质体导致的假异常;地球化学测量则从水系沉积物测量转向土壤测量,在异常核心区采集土壤样品,圈定元素浓集中心,结合元素组合特征判断矿化类型;地面地质填图同步开展1:5万比例尺调查,详细划分岩性单元、追踪构造走向,记录区域性热液蚀变与矿化痕迹,为异常解释提供地质框架。本阶段技术应用需突出验证与筛选,通过地面技术对“空-天”异常逐一验证,剔除假异常,为下一阶段矿体发现奠定基础。

(三)矿体发现与详查阶段

本阶段以靶区优选阶段确定的重点靶区为调查范围,核心目标是发现具体矿体,初步查明矿体的规模、形态、产状与品位,评估矿体的开发潜力。技术应用进入“地-井”协同主导阶段,地面技术聚焦精细探测,井下技术开展初步验证,构建“地面精细定位-井下验证-矿体圈定”的技术链条。地面技术需实现“精细化”升级,地面地球物理探测采用高密度电法、可控源

音频大地电磁法与地震反射波法等高精度方法，在靶区核心区布设密集剖面，通过 2D/3D 反演精细刻画地下地质体结构，明确矿体可能的埋深、走向与形态；地球化学测量采用土壤测量加密采样与岩石测量结合的方式，在异常浓集中心采集新鲜岩石样品，分析原生晕元素分布，追踪矿体延伸方向；地面地质填图则开展 1:1 万~1:2 千大比例尺调查，通过加密地质点与详细观察，圈定热液蚀变带、矿化体露头，记录矿石结构构造与矿物组成，结合便携式 X 射线荧光光谱仪现场分析元素含量，初步判断矿化强度。井下技术作为本阶段矿体发现的关键，主要开展浅孔钻探，在地面技术圈定的矿体预测位置布设验证孔，通过获取岩心样品直接验证是否存在矿体，若见矿则进一步加密钻探，初步控制矿体走向、倾向与厚度；同时在钻孔中开展井中磁测与井中激电测量，探测钻孔周边 50~100m 范围内的矿体延伸情况，指导相邻钻孔布置，扩大矿体发现范围。本阶段技术应用需注重“地面引导井下、井下修正地面”，通过地面技术精准定位矿体预测区，井下技术验证并补充矿体信息，动态修正矿体模型，确保矿体圈定的准确性与完整性。

（四）勘探与开发阶段

本阶段聚焦矿体及周边区域，核心目标是详细查明矿体的各项参数并计算储量，为矿山开发提供精准数据支撑。技术应用以井下深部技术为主导，地面与数据融合技术协同，构建深部控制—精细建模—开发适配的技术链条。钻探工程从浅孔转向深孔与定向钻探，通过系统布孔全面控制矿体空间分布与品位变化，并采用岩心数字化技术永久保存信息。井中物探技术全面应用，通过磁测、激电、声波及雷达测量，不仅探测矿体延伸，还评估围

岩稳定性与识别内部破碎带、含水构造，为开采条件分析提供依据。坑道勘查则针对复杂矿体直接揭露，近距离观察并采集高质量样品用于选矿试验。地面技术用于补充验证与开采条件调查，通过高精度物探、化探及大比例尺填图，探测矿体浅部延伸、水体分布及伴生矿化。数据融合与智能解译技术在此阶段发挥关键作用，整合空—天—地—井全流程数据，构建三维矿体与地质结构模型，采用机器学习优化储量估算，精准计算不同级别储量，并结合开采技术条件模拟开采方案，为矿山设计、采矿方法与选矿工艺提供支撑，实现勘查—开发的无缝衔接。

三、结束语

本文系统性地探讨了现代地质矿产调查的技术应用策略，构建了一套从宏观到微观、从空中到地下的“空—天—地—井”一体化协同勘查技术体系。研究明确指出，面对日益复杂的勘查环境和“攻深找盲”的艰巨任务，单一技术的孤立应用已难以为继，唯有通过多技术、多尺度、多信息的深度融合与协同，才能有效提升矿产勘查的科学性、精准性和经济性。随着人工智能、大数据、物联网等前沿技术的飞速发展，地质矿产调查正迈向一个全新的智慧勘查时代。因此，我们必须持续推动技术创新与学科交叉，不断完善和深化“空—天—地—井”一体化智能勘查技术体系，为保障国家能源资源安全、推动经济社会可持续发展提供更加坚实、有力的科技支撑。

参考文献

- [1] 李恒波. 地质矿产施工中勘查与找矿技术的应用分析 [J]. 中国金属通报, 2022(20):35~37. DOI:10.3969/j.issn.1672-1667.2022.20.012.
- [2] 许兵, 刘德彬. 地质调查在矿产资源勘查中的应用与策略 [J]. 地质研究与环境保护, 2024, 3(8). DOI:10.37155/2811-0595-0308-13.
- [3] 闫小举, 王西良. 固体矿产地质勘查技术的应用研究 [J]. 科技创新导报, 2022, 19(23):61~63. DOI:10.16660/j.cnki.1674-098X.2203-5640-6847.
- [4] 伍考云. 测绘地理信息技术在地质调查中的应用策略 [J]. 数码—移动生活, 2021(11):216. DOI:10.12277/j.issn.1673-0909.2021.11.124.
- [5] 黎彪. 地质调查数据整合与矿产勘查优化策略分析 [J]. 世界有色金属, 2024(19):139~141. DOI:10.3969/j.issn.1002-5065.2024.19.047.
- [6] 许常善. 遥感技术在矿产资源调查中的应用研究 [J]. 世界有色金属, 2022(7):208~210. DOI:10.3969/j.issn.1002-5065.2022.07.069.
- [7] 丁文利. 地质勘探中测绘测量技术的应用策略 [J]. 中国金属通报, 2020(15):187~188. DOI:10.3969/j.issn.1672-1667.2020.15.094.
- [8] 郎建刚, 张正旭. 遥感技术在绿色矿山调查与监测中的应用研究 [J]. 中国金属通报, 2024(15):92~94. DOI:10.3969/j.issn.1672-1667.2024.15.031.
- [9] 王艺儒, 姚鱼, 郭士恩. 提高地质矿产勘查及找矿技术的思考 [J]. 世界有色金属, 2023(19):64~66. DOI:10.3969/j.issn.1002-5065.2023.19.022.
- [10] 隋真龙, 李彦成, 张琦, 等. 遥感变异常在地质矿产勘查中的应用策略 [J]. 奥秘, 2024(34):13~15.