

区域地质填图技术优化及矿产勘查实践

孙洪福, 胡玲云, 李超腾, 牟文斌, 石致君*

中国地质调查局哈尔滨自然资源综合调查中心, 黑龙江 哈尔滨 150081

DOI:10.61369/ERA.2026070041

摘 要 : 为提升复杂地质条件下区域地质调查精度与深部矿产找矿实效, 本文系统开展区域地质填图技术优化研究, 并结合多地勘查实例开展应用实践。构建天空地深多尺度立体化填图技术体系, 针对风沙覆盖、高寒冻土、岩溶、黄土覆盖等特殊景观区制定差异化填图方案, 优化三维地质建模全流程技术路径, 融合大数据、人工智能等数字化手段革新传统野外填图模式。深入剖析填图技术优化对构造控矿、层控矿床、内生金属矿床的支撑驱动机制, 建立地质-物化探异常多维耦合成矿评价模型。通过内生金属矿、外生沉积矿、深部隐伏矿体三类典型矿区勘查实践, 验证优化技术在边界厘定、靶区优选、深部找矿突破中的显著成效, 有效查明隐伏矿脉与深部成矿规律, 扩大矿产资源储量。研究形成一套适配覆盖区、深部矿区、复杂地貌区的高精度区域地质填图与综合矿产勘查技术模式, 可为同类地区基础地质调查、深地资源勘查评价提供技术参考与工程借鉴。

关 键 词 : 区域地质填图; 天空地深勘查; 三维地质建模; 大数据智能填图

Optimization of Regional Geological Mapping Techniques and Mineral Exploration Practices

Sun Hongfu, Hu Lingyun, Li Chaoteng, Mu Wenbin, Shi Zhijun*

Harbin Comprehensive Survey Center for Natural Resources, China Geological Survey, Harbin, Heilongjiang 150081

Abstract : To enhance the accuracy of regional geological surveys and the effectiveness of deep mineral prospecting under complex geological conditions, this paper systematically conducts research on optimizing regional geological mapping techniques and applies them through exploration examples in multiple regions. A multi-scale, three-dimensional integrated mapping technique system encompassing space, air, surface, and deep exploration is established. Differentiated mapping plans are formulated for special landscape areas such as those covered by sandstorms, permafrost, karst, and loess. The entire process of 3D geological modeling is optimized, integrating digital methods such as big data and artificial intelligence to innovate traditional field mapping modes. The paper delves into the supporting and driving mechanisms of optimized mapping techniques on structural ore control, stratabound deposits, and endogenic metal deposits, establishing a multi-dimensional coupled geological-geophysical-geochemical anomaly mineralization evaluation model. Through exploration practices in three typical mining areas—endogenic metal deposits, exogenous sedimentary deposits, and deep concealed ore bodies—the significant effectiveness of the optimized techniques in boundary determination, target area prioritization, and breakthroughs in deep prospecting is verified. This effectively identifies concealed ore veins and deep mineralization patterns, expanding mineral resource reserves. The research has developed a set of high-precision regional geological mapping and comprehensive mineral exploration techniques suitable for covered areas, deep mining areas, and complex topographic regions, providing technical references and engineering insights for basic geological surveys and deep resource exploration and evaluation in similar regions.

Keywords : regional geological mapping; space-air-surface-deep exploration; 3D geological modeling; big data intelligent mapping

引言

区域地质填图是基础地质工作的核心环节, 也是矿产资源勘查、地质灾害防控、生态环境保护与国土空间规划的重要前置依据。随着我国矿产勘查逐步由浅部地表矿转向深部隐伏矿、由基岩裸露区转向厚覆盖盖山结合区, 传统二维单一地面地质填图技术存在空间表达有限、地质界线精度偏低、深部信息缺失、野外效率不高等突出问题, 已难以适配新时期深地资源勘探与高质量地质调查工作需求。

通讯作者: 石致君 635361321@qq.com

当前航天遥感、无人机航测、深部钻探、三维地质建模、地质大数据与人工智能技术快速发展，为区域地质填图数字化、立体化、智能化升级提供了可靠技术支撑。构建天空地深一体化多尺度勘查体系、优化复杂特殊景观区填图方法、升级三维地质建模与智能解译技术，能够精准还原区域地质格架、构造演化规律与深部地质结构，深化构造、岩相、岩浆活动与成矿作用耦合关系研究。基于此，本文结合野外实际勘查工作，系统开展区域地质填图技术方法优化整合，梳理立体化填图对矿产成矿规律解析、找矿靶区圈定、深部资源评价的内在驱动机制，依托内生金属矿床、外生沉积矿床、深部隐伏矿体三类典型勘查实例开展实践验证，总结适配复杂地貌、深部地质条件的综合填图与矿产勘查技术模式，以期提升区域基础地质调查质量与深部找矿突破能力，为区域矿产资源潜力评价及同类地质勘查工程提供技术参考。

一、区域地质填图技术优化体系

（一）“天空地深”多尺度填图技术融合

为了更好地服务生态文明建设和经济社会高质量发展，区域地质填图工作亟需从基岩区向盆地结合带、盆地等覆盖区进行拓展^[1]。构建航天遥感、航空无人机航测、地面精细地质调查、深部钻探验证深度融合的天空地深四位一体立体化勘查技术体系，形成宏观区域格局、中观地质单元、微观岩矿特征、深部地质结构全尺度联动、多层级互补的综合地质研究模式^[2]。高空航天遥感立足全域视角，快速研判区域断裂构造、地层空间分布及地貌地质分界特征；低空无人机航测精准追踪浅表线性构造、岩性分界及矿化蚀变异常带，细化浅表地质细节；野外地面精细观测实地核验断层产状、岩层接触关系、地层层序演化，夯实基础地质数据精度；深部钻探直击地下隐伏构造、深部侵入岩体与隐伏盲矿体，厘清地下三维空间形态^[3]。依托多源异构数据时空精准匹配、多观测尺度归一化统一校正，突破传统单一地面地质填图工作短板，系统还原区域三维立体地质格架，显著优化地质边界划定精度，完善区域构造演化整体解析成果，全面提升区域地质调查综合成效与成果可靠性。

（二）特殊景观区填图技术定制与优化

针对厚层风砂覆盖、高寒冻土、岩溶裸露、森林密布、黄土巨厚覆盖等各类复杂特殊地貌景观区域，坚持因地制宜、分类施策，优化差异化地质填图技术方法^[4]。对于松散覆盖区域，综合运用浅钻揭露、地质剖面加密、矿化蚀变追索、物探化探联合辅助界线圈定等手段，有效削弱表层浮土遮挡造成的地质信息干扰，精准落实地层与构造边界。岩溶裸露区域重点开展构造裂隙发育规律、岩溶地层层序、岩性横向相变精细填图，精细查明层间滑脱构造与控矿断裂空间展布特征。高寒冻土山区科学优化野外观测路线规划与天然露头优选方案，最大限度降低季节冻融作用引发的地质界线判读偏差^[5]。同步构建分区统一技术准则、标准化野外实地核查流程、地质界线遥感解译规范，系统性破解特殊景观区地质信息隐蔽性强、填图边界精度不足、深部成矿指示线索不易识别等痛点难点，全面提升复杂地貌区区域地质填图质量与勘查实效。

（三）三维地质填图与建模技术优化

打破传统二维平面地质图信息单一、空间表达局限等短板，全面优化野外地质产状实地采集、区域地质格架构建、断裂构造空间拟合、三维岩体形态精细建模全流程工作^[6]。依托野外高精度实测地质数据，精细化搭建区域三维地质实体模型，不断完善地层接触拓扑约束规则，优化断裂构造空间组合建模逻辑，改进

深浅部地质界面联动校正相关算法，完整实现地层序列、构造形态、岩体分布、矿化蚀变带一体化三维空间可视化呈现。模型可实时动态更新深部地质成果数据，清晰直观反映断裂交错切关系、岩浆岩体侵位演化形态、地层延展变化规律，高精度还原地下深部真实地质结构格局。借助立体化、精细化三维地质成果，有效支撑深部成矿规律研究、控矿要素空间解析、成矿远景区立体综合圈定，为区域深部矿产勘查评价与地质综合研判提供可靠、直观、高效的三维可视化技术依据。

（四）智能化与大数据填图技术探索

依托地质大数据综合服务平台，全面汇聚遥感影像、物化探勘查成果、钻孔实测资料、往期地质成果、野外点位坐标等多源异构海量地质数据。综合运用智能影像解译、机器学习建模、空间聚类分析、地质异常智能提取等前沿技术，高效完成地层岩性智能分区、地质构造自动判别、矿化蚀变异常精准圈定等核心工作^[7]。同时持续升级野外数字化地质填图作业体系，统筹野外精准定点、现场影像留存、岩层产状采集、地质图件实时在线编制等全流程一体化作业，有效降低人工判读与手绘成图误差，提升野外工作精度与效率。借助大数据深度挖掘地层、构造、岩浆活动与矿产演化之间内在耦合关联规律，科学智能筛选成矿潜力优势靶区，全面革新区域地质调查工作模式，推动传统依赖人工经验研判的地质填图模式，加速迈向数字化管控、智能化研判、信息化协同的现代化高效勘查新格局^[8]。

二、填图优化对矿产勘查的支撑与驱动机制

（一）构造解析优化对控矿规律的精细刻画

依托高精度立体化地质填图工作，系统查明区域深大断裂、次级控矿断裂、褶皱构造及节理裂隙网络三维空间展布与组合形态，精细甄别不同构造期次演化序列，厘清各阶段构造运动时序特征与应力力学属性^[9]。深入剖析导矿、容矿、屏蔽三类构造配套耦合关系，精准锁定断裂交汇转折区段、岩层层间破碎带等关键成矿富集有利部位。全面归纳区域构造控矿规律、矿体空间分布特征及深部延展变化趋势，明晰构造控矿模式与成矿富集机制。以此进一步聚焦找矿靶区、压缩勘查范围，为深部矿产勘查工程合理布置、精准施工提供可靠地质依据，提升矿产勘查靶向性与找矿成效。

（二）岩相与沉积相填图优化对层控矿产的预测

开展精细化地层、岩相及沉积相综合填图工作，系统厘清地层沉积层序、岩性组合特征、沉积旋回演化规律，精细判别沉积

古环境变迁过程,精准识别岩相过渡界线、沉积相变界面及优势储集岩性层位^[10]。围绕砂岩型铀矿、铝土矿、页岩矿产、碳酸盐岩类层控沉积矿床,全面梳理矿体赋存层位时空展布规律,精细分析矿体厚度变化特征与岩性横向相变规律。结合区域古地理格局与古沉积环境演化特征,开展多维度层位成矿条件综合分析与成矿潜力综合评价,科学研判沉积矿产成矿有利区段,高效圈定矿产勘查远景靶区,为沉积型矿产勘探部署提供可靠地质依据。

(三) 岩体填图优化对内生金属矿产的追踪

优化区内侵入岩体形态特征、侵位时限、岩相空间分带及接触变质、热液蚀变地质填图精细程度,系统划分岩浆岩侵入期次,梳理完整岩浆演化序列,精准厘定岩体展布规模与空间形态。深入剖析区域岩浆活动规律与热液成矿作用内在耦合机制,精细圈定岩体内外接触变质带、多级热液蚀变分带及脉状矿化富集区段,有效追溯岩浆热液运移通道与演化路径。以此支撑金、银、铜、铅锌等内生热液型金属矿产地表地质追索查证,开展深部隐伏盲矿体综合研判与成矿潜力预测,提升区域找矿靶区优选与深部勘查评价精度。

(四) “地质填图—物化探异常”耦合评价模型

以高精度地质填图成果作为基础地质约束,系统整合重力、磁法、电法各类物探异常信息,结合岩石、土壤地球化学异常数据,构建地质构造、岩性建造、物化探异常多维耦合综合评价模型。研究过程中剔除单一异常虚假干扰,精准区分成矿地质异常与非矿干扰异常,综合叠加地层、岩浆岩体、断裂构造、围岩蚀变等关键控矿要素,建立规范化成矿潜力定量评价指标体系,分级划定找矿远景区并优选勘查靶区,有效提升深部矿产找矿预测精度与成果可靠性。

三、矿产勘查实践与找矿突破

(一) 实践区一(内生金属矿案例)

研究区内矿产类型以岩浆热液型内生金属矿产为主。本次工作采用天空地深一体化综合填图技术,结合精细构造解析、岩体与蚀变带精细化填图方法,系统厘清区域断裂构造空间展布格局,梳理岩浆侵入活动时序与演化规律。通过精细划分岩体接触蚀变带,精准识别断裂交汇复合控矿有利部位,综合整合地质、物探、化探多重异常信息开展耦合匹配分析,科学筛选优选找矿远景区与重点勘查靶区。后续依托深部钻探工程开展实地验证,区内新探明多条隐伏矿脉,有效延展矿体空间延伸范围,清晰查明矿区深部成矿条件与资源潜力,实现区域内生金属矿产找矿勘查重大突破。研究成果充分证实,精细化岩浆岩—构造综合填图技术在内生金属矿床深部勘查、隐伏矿体找矿预测工作中具备显著实用性与推广价值。

(二) 实践区二(外生沉积矿案例)

本区勘查工作以沉积层控型矿产为核心主攻类型。工作依托岩相古地理研究、高精度地层精细填图成果,系统开展沉积旋回精细划分,精准厘定有利成矿岩性组合与沉积相变分界。综合开展区域沉积层序对比分析,全面复原古沉积古地理环境,系统厘清区内沉积矿产空间展布规律、赋矿层位稳定性及横向演变特

征。结合地层格架对比与沉积异常综合研判,高效圈定优势赋矿层位,稳步拓展沉积矿床资源储量规模。最终构建适用于覆盖区地质条件的完整技术体系,形成高精度地质填图、有利层位预测预判、钻探工程实地验证一体化沉积矿产综合勘查模式,有效提升区域找矿精度与勘查成效。

(三) 实践区三:(深部找矿案例)

针对深部隐伏矿体埋藏深度大、地表缺乏直观矿化显示、地质信息隐蔽复杂等勘查难题,研究采用三维地质建模、深部精细构造解析、深浅地质一体化填图综合技术方法。系统整合地表地质调查、深部钻探揭露、地球物理勘探深部结构等多源数据,精细化构建区域三维地质结构模型,清晰刻画深部断裂空间展布规律、隐伏侵入岩体形态特征及深部成矿要素空间配置关系。深入剖析深浅构造耦合成矿机制与控矿规律,精准圈定深部找矿有利靶区,科学指导深部验证钻探工程。项目顺利探明多处深部盲矿体,显著提升矿产勘查找矿深度,实现深地矿产资源重大找矿突破,同时形成一套成熟可行的技术思路与工作模式,为矿区外围及同类地区深部隐伏矿产勘查评价提供重要技术示范与借鉴参考。

四、结束语

新时期区域地质调查正朝着立体化、数字化、智能化、深部化方向持续发展,传统单一地面填图模式已无法满足覆盖区找矿、深地资源勘查及生态地质综合评价需求。本文通过构建天空地深多尺度融合填图技术体系,针对性优化特殊景观区工作方法,完善三维地质建模流程,融合大数据智能解译技术,全面提升区域地质格架解析精度与深部地质信息识别能力。同时厘清高精度地质填图与构造控矿、层控成矿、岩浆热液成矿之间内在关联,建立地质—物化探多维耦合评价模式,结合三类典型矿区勘查实践,实现内生金属矿、外生沉积矿、深部隐伏矿体多处找矿突破。

参考文献

- [1] 康磊,刘生荣,张海迪,王国灿,郭伟立,罗彦军,任广利,吕鹏瑞,曹凯.戈壁荒漠浅覆盖区15万区域地质填图技术方法探索——以东天山哈密地区为例[J].地质通报,2023,42(4):616-630.
- [2] 赵崇娟.区域及矿产地质调查中数字填图技术的应用及技巧运用[J].中文科技期刊数据库(全文版)自然科学,2025(1):029-032.
- [3] 李娜,董新丰,甘甫平,闫柏琨,朱婉菁.高光谱遥感技术在基岩区区域地质调查填图中的应用[J].地质通报,2021,40(1):13-21.
- [4] 王玲,张明义.基于遥感技术的区域工程地质勘查实践[J].大众科学,2026,47(2):42-44.
- [5] 张树明,蒋振频,张群喜,曾爱花.江山区地质调查实习引入数字填图技术的必要性及建议[J].东华理工大学学报(社会科学版),2009,28(1):77-80.
- [6] 宁振国,杨恩秀,王立法,张贵丽.PR8数字填图技术在区域地质调查中的应用——以1:25万济宁市临清市幅区域地质调查为例[J].山东国土资源,2006,22(10):54-57.
- [7] 申姗姗.数字地质填图技术在区域地质调查中的应用[J].科学技术创新,2018(20):61-62.
- [8] 张杨.区域地质调查中数字填图技术的应用[J].新疆有色金属,2022,45(2):35-36.
- [9] 王桥.蚀变矿物填图技术在地质找矿勘查中的应用分析[J].世界有色金属,2025(8):128-130.
- [10] 李雪铭.蚀变矿物填图技术在地质找矿勘查中的应用[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2025(5):052-055.