

Application of geological exploration technology in metal mineral exploration

Yong Chen Xuejiao Zhang

Liaoning Province Geological Mineral Survey Institute Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110034, China

Abstract

As indispensable raw materials for industrial production and infrastructure development, metal minerals play a vital role in national economic security and growth potential. With the global economy's continuous expansion, demand for these resources has surged while their distribution remains geographically dispersed and geologically complex, posing significant challenges to exploration efforts. Geological survey technologies serve as crucial tools for resource discovery and evaluation. By employing advanced methodologies, professionals gain critical insights into subsurface geological structures and mineral distribution patterns, providing scientific foundations for exploration and development. This study examines the application of geological survey techniques in metal mineral exploration, detailing key technologies including geological mapping, geophysical exploration, geochemical analysis, and drilling operations. Through case studies, it demonstrates how these methods effectively enhance exploration efficiency. The research aims to offer practical references for metal mineral exploration, ultimately promoting rational resource utilization and sustainable development.

Keywords

geological exploration technology; metal mineral exploration; geophysical exploration technology; geochemical exploration technology; drilling technology

地质勘查技术在金属矿产勘探中的应用

陈勇 张雪皎

辽宁省地质矿产调查院有限责任公司, 中国·辽宁 沈阳 110034

摘要

金属矿产是工业生产、基础设施建设等领域不可或缺的原材料,其储量和质量关系到国家的经济安全和发展潜力。现阶段随着全球经济的不断发展,对金属矿产的需求日益增长,可金属矿产资源的分布具有不均匀性和隐蔽性,使得金属矿产勘探工作面临着巨大的挑战。地质勘查技术则是发现和评价金属矿产资源的重要手段,即通过运用一系列技术方法和手段,可以深入地地了解地下地质构造、矿产分布规律等信息,进而为金属矿产的勘探和开发提供科学的依据。本文研究的重点便是地质勘查技术在金属矿产勘探中的应用,着重介绍了地质填图技术、物探技术、化探技术、钻探技术等常用的地质勘查技术,并且分析了上述这些技术在金属矿产勘探中的具体应用。希望本次研究能够为金属矿产勘探工作提供参考,促进金属矿产资源的合理开发与利用。

关键词

地质勘查技术; 金属矿产勘探; 物探技术; 化探技术; 钻探技术

1 引言

金属矿产是国民经济发展的重要物质基础,其勘探工作对于保障资源供应、推动工业发展具有非常关键的意义。而地质勘查技术作为金属矿产勘探的核心手段,将直接影响到勘探的效率和精度。跟随着科技的不断进步,地质勘查技术也在不断地创新和发展,其已从传统的地质填图、钻探到现代的物探、化探、遥感等技术,且形成了多元化的勘探技术体系。但金属矿产的勘探环境也在日益复杂,特别是深部

矿产、隐伏矿产的勘探难度在不断地加大,对于地质勘查技术提出了更高的要求。所以需要研究地质勘查技术在金属矿产勘探中的应用,使勘探技术水平持续地得到提高,此举对于提高金属矿产勘探效率、降低勘探成本、保障资源供应具有重要的现实意义。本文将详细地介绍常用的地质勘查技术及其在金属矿产勘探中的具体应用,期待为相关的实践工作提供参考。

2 常用的地质勘查技术

2.1 地质填图技术

地质填图技术是需要对勘探区域的地表地质现象进行系统地调查和测绘,然后编制地质图,以图揭示区域地质构

【作者简介】陈勇(1977-),男,中国辽宁沈阳人,本科,工程师,从事地质矿产研究。

造、地层岩性、矿产分布等特征。它是认识地质环境、发现矿产线索的重要手段，为金属矿产勘探的基础工作。实际的地质填图通常需要根据一定的比例尺进行，而比例尺的选择要根据勘探阶段和任务要求进行确定。像区域普查阶段，一般采用1:5万或1:10万的比例尺，旨在了解区域地质概况和矿产分布的总体格局；但在详查和勘探阶段，则应该采用1:1万或1:2.5万的大比例尺，以详细地查明矿产的赋存状态和分布范围。同时在地质填图过程中，地质人员还需要进行野外地质观察、测量和采样，同步记录下地层的岩性、厚度、接触关系、褶皱、断裂等构造的特征，以及矿产的露头、蚀变等现象。最后通过对这些资料的综合分析和整理，绘制出地质图、剖面图等成果图件，即可为后续的矿产勘探工作提供基础资料。

2.2 物探技术

物探技术利用了地下各种岩（矿）体和地质构造的物理性质差异，核心是通过观测和分析地球物理场的变化，来推断地下地质构造和矿产分布情况。由于物探技术具有勘探范围广、效率高、成本相对较低等优点，因此在金属矿产勘探中得到了广泛地应用。而当前常用的物探技术有磁法勘探、电法勘探、重力勘探、地震勘探等等^[1]。

2.3 化探技术

化探技术即系统地采集地表土壤、岩石、水系沉积物、地下水、植物等样品，以此分析其中化学元素的含量和分布特征，并寻找与矿产相关的地球化学异常，从而圈定出找矿靶区。若使用化探技术，就能够灵敏地反映矿产的存在和分布，因此该技术是寻找隐伏矿产和盲矿的有效手段。按照采样介质的不同，化探技术可分为土壤地球化学测量、岩石地球化学测量、水系沉积物地球化学测量、水化学测量、生物地球化学测量等。其中土壤地球化学是测量通过分析土壤中元素的含量圈定异常区，比较适用于覆盖区的矿产勘探；而岩石地球化学测量是通过对岩石样品的分析，了解成矿元素的分布和迁移规律，以此为成矿预测提供依据；水系沉积物地球化学测量则是经由分析水系沉积物中元素的含量，追溯矿源，更具适用于大面积的区域普查。

2.4 钻探技术

通过钻探设备向地下钻孔获取岩芯、矿芯等样品，能够直接了解地下地质构造和矿产赋存情况的技术方法为钻探技术。实践中钻探技术是验证物探、化探异常，获取矿产储量和质量信息的重要手段，它具有直观、可靠的特点。根据钻进方式的不同，可将其分为回转钻探、冲击钻探、冲击-回转钻探等。所谓回转钻探，就是通过钻头的旋转切削岩土体进行钻进，它能够获取较高质量的岩芯；冲击钻探基于钻头的冲击作用破碎岩土体，比较适用于坚硬岩层的钻进；冲击-回转钻探则结合了冲击和回转两种钻进方式，有效地提高了钻进效率和适应性。对于金属矿产勘探来说，钻探技术需要通常根据物探、化探圈定的异常区来布置钻孔，然后通

过对岩芯的观察、分析和测试，即可确定出矿产的种类、品位、厚度等信息。

3 地质勘查技术在金属矿产勘探中的具体应用

3.1 区域普查阶段

区域普查在金属矿产勘探当真是初始环节，它是发现潜在矿产资源的关键一步。此阶段的核心目标是在较大范围内筛选出具有成矿潜力的区域，进而为后续工作缩小靶区。而地质填图、物探和化探技术的协同应用，构成了区域普查的技术支撑体系^[2]。

首先是地质填图技术，它在区域普查中承担着“基础测绘”的角色。以1:5万比例尺为例，地质人员需要徒步穿越数十平方公里的区域，对于每一处露头进行测量记录。而在秦岭某金属矿成矿带的普查中，地质团队通过三年野外工作，最终绘制出涵盖了地层、构造、岩浆岩的完整地质图。此图中清晰地显示了出区域内发育的三组断裂带，其中NW向断裂与燕山期花岗岩体接触带重叠区域，发现了大量的矽卡岩化蚀变现象——这种典型的成矿标志直接指向铜、铁等多金属矿化。基于填图成果，团队圈定的3个成矿远景区后来均被钻探证实存在工业矿体，以此验证了地质填图对成矿条件分析的有效性。

其次是物探技术，该技术在区域普查中发挥着“快速扫描”的作用。具体来说：磁法勘探采用高精度质子磁力仪，以500米线距、100米点距进行网格式测量，其日覆盖面积可达20平方公里。对于冀北某铁矿区，磁法测量发现了12处 ΔT 值大于500nT的强磁异常区，其中编号为M7的异常区呈椭圆形，长轴约3公里，在后续的验证当中为大型磁铁矿床的地表反映。重力勘探则通过CG-5型重力仪测量布格重力异常，其在胶东地区圈出了多个重力低异常，而这些异常与中生代花岗岩体分布吻合，以此为寻找与花岗岩有关的金矿提供了重要的线索。

最后为化探技术，它通过水系沉积物测量构建了“地球化学异常场”。就西南三江成矿带而言，勘探团队按照1个点/4平方公里的密度采集水系沉积物样品，共分析了39种元素含量。同时在实验室采用X射线荧光光谱法测定了常量元素，并使用电感耦合等离子体质谱法测定了微量元素，最终编制出1:20万地球化学图。图中显示的Pb、Zn、Ag组合异常区，与已知铅锌矿床分布高度吻合，且新发现的8处综合异常中，已有3处通过详查发现了工业矿体。

3.2 详查阶段

详查阶段是对普查圈定的靶区进行精细解剖的过程，该阶段需要通过多技术手段的立体探测，才能逐步逼近矿体真实形态。恰好物探、化探的精细化测量与钻探验证相结合，构成了这一阶段的技术特色。其中物探技术在详查中进入“高精度聚焦”模式。结合安徽某铜矿靶区进行阐述，采用分辨率达0.1nT的超导磁力仪进行1:1万磁测，将测量线

距缩小至 100 米，点距为 20 米。同步在数据处理引入磁源参数反演技术，最终成功地区分出矿化蚀变带与围岩的磁性差异，且圈定的磁异常体边界与钻探揭露的矿体走向吻合度达 85%。而激电法测量采用的是中间梯度装置，在云南某铅锌矿靶区发现视极化率 $\eta_s > 8\%$ 的异常区，经过反演计算得出异常体埋深约 30-150 米，形态呈似层状。接着在后续布置的 6 个验证钻孔中，有 5 个孔见矿，其中 ZK201 孔揭露矿体厚度达 18.6 米，铅锌平均品位为 12.3%。即物探技术的精准定位，使钻探命中率从普查阶段的 30% 提升至 65%。

化探技术在详查阶段则实施“土壤测量+岩石测量”的组合方案。例如在江西某钨矿区，便按照 50 米 × 20 米的网格采集表层土壤样品，以此分析 W、Sn、Mo 等元素。再通过移动窗口法计算元素异常下限，最后圈定的钨异常区与含矿花岗岩体接触带完全重合。对于岩石的测量则沿地质剖面系统采集了矿化蚀变带样品，然后发现黑钨矿石英脉中 W 元素含量是围岩的 300-500 倍，且随远离矿体呈指数衰减。据此可知，上述这种“土壤圈定范围、岩石确定强度”的方法，为钻探设计提供了精确的横向和纵向指导。甚至在实际应用时，化探异常中心与矿体投影位置的偏差可控制在 50 米以内。

此外，钻探技术在详查中承担着“验证与控制”的双重职责，即采用 XY-44 型岩芯钻机，孔径 91mm，即可确保岩芯采取率 > 85%。举个例子，河南某金矿详查中根据激电异常设计的“之”字形钻探剖面，共施工钻孔 18 个，孔深为 300-500 米。接着经过对岩芯的编录发现，金矿体主要赋存于破碎带中，且呈透镜状分布，单矿体厚度在 1.2-8.7 米内，金品位为 2.3-15.6g/t。然后在实验室采用火试金法分析了金含量，原子吸收光谱法用于测定伴生元素，最终估算出 332+333 类金资源量达 5.2 吨。即钻探数据同时用于构建矿体三维模型，能够为资源量估算提供可靠的几何参数。

3.3 勘探阶段

勘探阶段的核心任务为提交符合矿山建设要求的资源储量，该阶段需要通过系统钻探控制和综合技术验证，来实现对矿床的全面认知^[1]。而钻探工程的系统布置与物探技术的井中延伸，便构成了这一阶段的技术核心。一方面钻探技术要在勘探阶段形成“网格控制”体系。以辽宁鞍山铁矿床勘探为例，其采用了 100 米 × 50 米的钻探网度，施工钻孔共 230 个，总进尺达到了 8.6 万米。钻孔采用的是金刚石绳索取芯工艺，岩芯直径为 54mm，以此确保了矿石品位分析的代表性。然后通过对全矿区钻孔数据的三维建模，便清晰

地揭示出了矿体呈层状分布，走向长为 12 公里，最大延深 1800 米，平均厚度是 65 米，TFe 平均品位为 32.6%。按照《固体矿产资源/储量分类》，最终提交了 (331)+(332)+(333) 类铁矿石资源量 12.8 亿吨。在实践中这种系统钻探方法虽然成本较高，但却能确保资源量的可靠性，使得矿山设计对矿体形态、品位变化的精确要求得到了满足。另一方面是物探技术，它在勘探阶段需要向“井中探测”进行延伸。像湖北某铜矿的勘探，就对 20 个钻孔进行了井中三分量磁测，随即发现常规地表磁测未识别的深部磁性体。接着通过井中磁测数据反演，在 ZK805 孔旁侧圈出埋深 250 米的磁性异常，据此调整钻探方案之后，新增铜金属量 3.5 万吨。井中激电测井则采用了点测法，在黑龙江某铅锌矿钻孔中发现视极化率异常段与岩芯观察的矿化段完全对应，其异常幅度与矿石品位呈正相关，相关系数达到了 0.82。而井中物探技术的应用，使勘探深度从地表以下 300 米延伸至 500 米，新增的资源量占到了总储量的 20%。

4 结语

地质勘查技术在金属矿产勘探中具有不可替代的作用，其应用能够为金属矿产的发现、评价和开发提供科学依据。而本文介绍的地质填图技术、物探技术、化探技术和钻探技术等，在金属矿产勘探的不同阶段各有其优势和适用范围，若相互配合使用则能够提高勘探的效率和精度。基于实际情况来看，上述这些技术的合理应用虽然能够有效解决金属矿产勘探中的诸多问题，如发现大型矿床、寻找隐伏矿产等，可以为保障金属矿产资源供应做出重要的贡献。但随着金属矿产勘探难度的不断加大，深部矿产、隐伏矿产的勘探依然面临着诸多挑战，说明现有技术的勘探能力还有待提高。因此相关人员需要进一步地加强地质勘查技术的研发与创新，持续地推动新技术、新方法的应用，如遥感技术、信息技术、深部探测技术等，同时还要提高对深部地质构造和矿产分布的认识能力。

参考文献

- [1] 赵雷,杜海涛,韩湘峰.地质勘查技术在金属矿产勘探中的应用与实践[J/OL].中文科技期刊数据库(全文版)自然科学,2024(12)[2024-12-01].<https://www.cqvip.com/doc/journal/2010228880778135041>.
- [2] 符启基,唐培宣.地质勘查技术在金属矿产勘探中的应用与实践[J].世界有色金属,2024,(14):120-122.
- [3] 曾琪.地质勘查技术在金属矿产勘探中的应用与实践[J].中国金属通报,2025,(07):190-192.