

# 低品位矿产资源勘查评价技术研究与实践

邵九龙

辽宁省地质矿产调查院有限责任公司, 辽宁 沈阳 110034

DOI:10.61369/ERA.2026020008

**摘 要 :** 随着全球高品位矿产资源的日益枯竭和矿产品需求的持续增长, 低品位矿产资源的勘查与开发利用已成为保障资源安全和经济可持续发展的战略重点。低品位矿体因其品位低、矿化不均匀、经济价值隐性等特点, 对其勘查评价技术提出了更高要求。本文系统探讨了低品位矿产资源的基本特征及其勘查评价所面临的主要挑战, 重点分析了适用于低品位矿的现代勘查技术方法, 包括高精度地球物理勘探、地球化学勘查、遥感技术与地质建模的深度融合等。在此基础上, 论文深入阐述了低品位矿产资源潜力评价、技术经济评价及环境效应评价的关键技术与方法体系, 并结合实践案例, 剖析了技术应用成效与面临的瓶颈。最后, 对未来低品位矿产资源勘查评价技术的发展趋势, 如智能化、大数据分析和绿色勘查等方向进行了展望, 以期为推动我国低品位矿产资源的科学勘查与高效利用提供理论参考和技术支撑。

**关 键 词 :** 低品位矿; 资源勘查; 评价技术; 经济性; 可持续发展

## Research and Practice on Exploration and Evaluation Technology of Low Grade Mineral Resources

Shao Jiulong

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

**Abstract :** With the increasing depletion of high-grade mineral resources worldwide and the continuous growth of demand for mineral products, the exploration and development of low-grade mineral resources have become a strategic focus to ensure resource security and sustainable economic development. Low grade ore bodies have higher requirements for exploration and evaluation techniques due to their low grade, uneven mineralization, and implicit economic value. This article systematically explores the basic characteristics of low-grade mineral resources and the main challenges faced in exploration and evaluation, with a focus on analyzing modern exploration techniques and methods applicable to low-grade minerals, including high-precision geophysical exploration, geochemical exploration, deep integration of remote sensing technology and geological modeling, etc. On this basis, the paper elaborates in depth on the key technologies and methodological systems for evaluating the potential of low-grade mineral resources, technical and economic evaluation, and environmental effect evaluation. Combined with practical cases, it analyzes the effectiveness of technology application and the bottlenecks it faces. Finally, the development trends of future exploration and evaluation technologies for low-grade mineral resources, such as intelligence, big data analysis, and green exploration, were discussed in order to provide theoretical references and technical support for promoting the scientific exploration and efficient utilization of low-grade mineral resources in China.

**Keywords :** low-grade ore; resource exploration; evaluation techniques; economy; sustainable development

### 引言

矿产资源是现代工业社会的物质基石, 其稳定供应关乎国家经济命脉与战略安全。长期以来, 矿产勘查工作主要聚焦于品位高、埋藏浅、易选冶的“富矿”, 然而经过多年大规模开采, 此类资源在全球范围内均呈现出日趋枯竭的态势。与此同时, 新兴产业的快速发展对各类矿产资源的需求量持续攀升, 资源供需矛盾日益突出。在此背景下, 储量巨大但品位较低、开采利用条件复杂的低品位矿产资源, 逐渐从边缘走向视野中心, 成为接续资源供应、延长矿山服务年限的关键所在。与传统富矿相比, 低品位矿的矿化强度弱、空间分布更具复杂性, 其经济价值往往隐藏在巨大的矿石量背后, 且受市场价格、技术水平、环境成本等因素的显著制约。因此, 如何利用先进的勘查技术准确识别和定位低品位矿体, 并构建科学合理的评价体系, 精准评判其潜在的经济价值和开发可行性, 已成为地矿领域亟待解决的重大科学与技术难题。本文旨在系统梳理低品位矿产资源勘查评价的技术体系, 深入分析其核心技术与实践应用, 以促进该领域的技术进步与成果转化<sup>[1]</sup>。

作者简介: 邵九龙 (1988-), 男, 辽宁沈阳人, 本科, 高级工程师, 研究方向: 地质矿产。

## 一、低品位矿产资源特征与勘查挑战

### (一) 低品位矿产资源的基本内涵与地质特征

低品位矿产资源是一个相对且动态的概念，其界定标准随矿产种类、采选技术水平和市场价格波动而变化。通常指在当前技术经济条件下，其主要有用组分品位低于工业品位要求，但通过技术进步或条件改善可能具有经济开采价值的矿产资源。从地质成因上看，低品位矿体形态复杂多样，常呈浸染状、细脉状或层状产出，矿化均匀性差，与围岩的界限往往模糊不清。其形成多与广泛的、强度较弱的热液活动、沉积作用或风化淋滤过程相关。例如，斑岩型铜矿中大范围的低品位矿化壳、红土型镍矿中镍的分散富集，以及某些砂岩型铀矿中的低品位矿化，均是其典型代表。这些地质特征决定了低品位矿的勘查不能简单套用传统针对高品位、集中矿体的方法体系<sup>[2]</sup>。

### (二) 低品位矿勘查评价面临的主要技术挑战

低品位矿的勘查评价过程面临着一系列独特的技术挑战。首要难题是矿化信息微弱与信噪比低。由于有用矿物含量低、分布分散，其产生的地球物理异常、地球化学异常信号往往十分微弱，极易被背景场或噪声掩盖，对探测仪器的灵敏度、分辨率和数据分析方法的精细度提出了极高要求。其次是矿体空间定位与形态圈定的复杂性。低品位矿体边界不清，形态不规则，传统的基于钻孔和样品品位的矿体圈定方法常常难以准确刻画其真实三维形态和内部结构，导致资源储量估算存在较大不确定性<sup>[3]</sup>。再者是经济性评价的敏感性高。低品位矿的经济可行性对矿石价格、选矿回收率、开采成本、能源价格等参数的变化极为敏感，微小的波动就可能使其从“资源”变为“储岩”，或反之。因此，传统的资源储量分类标准需要结合更精细的技术经济评价模型进行调整。此外，环境效应评价也更为突出。低品位矿往往需要处理的矿石量更大，意味着可能产生更多的废石，尾矿和更大的环境足迹，其勘查评价必须事先考虑环境承载力和生态修复成本。

## 二、低品位矿勘查关键技术方法

### (一) 高精、深部地球物理勘探技术

针对低品位矿信号微弱的特点，高精度、大深度、多参数的综合物探技术成为发展趋势。高重力与磁法勘探可以识别与矿化相关的细微密度和磁性差异，特别是在圈定控矿构造、岩体边界和蚀变带中起着重要作用。激发极化法 IP、可控源音频大地电磁法 CSAMT 和瞬变电磁法 TEM 对寻找硫化物型低品位矿如浸染状铜钼矿有很好的效果，其给出的电阻率及极化率参数有助于区别矿化和非矿化异常。地震勘探技术特别是反射地震法正在被引入到金属矿勘查中来，其高分辨率的特点，有助于精细刻画深部控矿构造和地层格架。这些物探方法的综合应用与联合反演，可相互验证、减少多解性，提高低品位矿体的探测精度<sup>[4]</sup>。

### (二) 精细化地球化学勘查技术

地球化学勘查是寻找矿化信息的直接途径，对低品位矿，要由传统的“寻找高值点”，向“识别异常模式”转移。微量、超

微量分析技术的进步，使得检测岩石、土壤、水系沉积物乃至气体中极低含量的成矿元素及其伴生元素成为可能，捕捉到与低品位矿化相关的微弱地球化学场成为可能。元素形态分析与同位素地球化学有利于区分矿致异常与非矿异常，并追溯矿质来源。深穿透地球化学技术如 MOMEQ，地气法等，探测深层沉积物覆盖的隐伏矿体所产生的微弱物质向上运移信号，是覆盖区低品位矿勘查突破的方向。此外，大数据和机器学习技术可对海量地球化学数据进行多维、空间分析，识别出人眼难以察觉的复杂异常结构，提高找矿预测的准确性<sup>[5]</sup>。

### (三) “空-天-地”一体化遥感探测技术

遥感技术在低品位矿区域筛选、勘查选区中以其宏观、快速、低成本的优势。高光谱遥感对与矿化相关的蚀变矿物如粘土矿物，碳酸盐矿物，铁氧化物等进行了精细识别，识别精度已达矿物种类级别，对寻找与低品位矿化伴生的大范围蚀变带十分有用。多光谱遥感、热红外遥感以及 SAR 技术在识别线性构造、环形构造等控矿地质要素方面也有其特殊优势。随着卫星遥感空间分辨率与光谱分辨率的不断提升，以及无人机遥感平台的灵活应用，形成了从区域到矿区、露头尺度的“空-天-地”一体化立体探测网络，实现了对低品位矿成矿地质背景和矿化蚀变信息的多尺度、全方位捕捉<sup>[6]</sup>。

### (四) 三维地质建模与数字矿山技术

基于钻孔、物探、化探、地质等多源数据的三维地质建模技术，是精确表征低品位复杂矿体的核心。它能够把分散的、二维的地质信息集成到统一的三维空间中，直观展示矿体的空间形态、产状、品位分布及其与构造、岩性的关系。在此基础上，利用地质统计学方法（如克里格法）进行资源储量估算，能够更合理地处理低品位矿品位变化大、边界模糊的问题，并量化估算的不确定性。三维模型不仅是资源评价的基础，更是后续矿山设计、开采计划制定、经济评价的数字化平台，实现了勘查与开发阶段的无缝衔接，为低品位矿的精细化管理和降本增效提供了关键技术支撑<sup>[7]</sup>。

## 三、低品位矿产资源评价方法体系

### (一) 资源潜力与地质可靠性评价

对低品位矿的资源潜力评价，首要任务是确定其在地质上的存在规模和可靠性。这需要综合运用前述各种勘查技术手段获取的信息，通过成矿系统分析和综合信息成矿预测，确定低品位矿化的分布范围、总体规模和平均品位。评价过程中，需特别关注矿化的连续性和稳定性，因为这直接影响到开采方案的选择和成本控制。地质可靠程度则依据勘查强度、工程控制程度和地质认识程度进行划分，从推断的、推测的资源量到探明的、控制的储量，其可信度逐级增高。对于低品位矿，由于其固有的不均匀性，往往需要更密的工程控制才能达到较高的地质可靠度<sup>[8]</sup>。

### (二) 技术经济可行性评价

技术经济评价是决定低品位矿能否成功转化的关键。它是在地质评价基础上，综合考虑采矿、选矿、冶金全流程的技术可行

性与经济合理性。采矿方面,需评估适合矿体特点的高效、低成本开采方法(如大规模露天开采、原地浸出等)。选矿方面,低品位矿的选矿回收率和能耗是关键指标,需要研发或应用高效的预选、富集技术(如生物浸出、高效浮选药剂与设备等)以降低选矿成本。经济评价则通过构建现金流模型,系统分析项目的投资、运营成本、产品价格、税费、折现率等参数,计算净现值(NPV)、内部收益率(IRR)和投资回收期等核心指标。鉴于低品位矿经济性的高度敏感性,进行不确定性分析和风险分析(如蒙特卡洛模拟)至关重要,以评估在市场价格波动、成本超支等不利情况下的项目抗风险能力<sup>[9]</sup>。

### (三) 环境效应与可持续性评价

低品位矿产资源开发必须遵循绿色矿业理念,因此环境效应评价是其评价体系不可或缺的一环。这包括对拟建项目可能造成环境影响识别、预测与评估,如水资源消耗与污染、土地占用与破坏、尾矿库风险、大气污染物排放等。同时,需要制定相应的生态环境保护与修复方案,并核算其成本。可持续性评价则更进一步,从资源、环境、经济、社会四个维度,综合评判项目在生命周期内对区域可持续发展的贡献与影响,确保资源开发与环境保护相协调,实现综合效益最大化。

## 四、实践应用与发展趋势

### (一) 典型实践案例分析

国内外已有许多成功勘查与开发低品位矿产资源的案例。例如,在某大型斑岩铜矿田,勘查初期仅关注高品位核心,后期通过系统应用大比例尺地质填图、精细的激发极化测量和岩石地球化学测量,结合密集的钻探验证,成功圈定了规模巨大的低品位矿体,使整个矿区的资源储量成倍增长,并通过采用堆浸-溶剂萃取-电积(SX-EW)这一低成本湿法冶金技术,实现了该低品位资源的经济利用。另一个例子是某些金矿,通过引入碳浸出法(CIL)处理低品位氧化矿,或利用卫星遥感识别大范围蚀变带指

寻找矿,均取得了显著成效。这些实践表明,针对性的勘查技术组合与创新的采选工艺是解锁低品位矿产资源价值的关键<sup>[10]</sup>。

### (二) 当前存在的主要问题与瓶颈

尽管技术不断进步,但低品位矿的勘查评价仍面临一些瓶颈。一是技术成本与效益的平衡问题,高精度勘查和复杂选矿工艺往往意味着高投入,可能侵蚀本已微薄的利润空间。二是技术适应性有待提高,现有的一些方法对于某些特殊类型或极端环境下的低品位矿(如深层、超贫矿)效果仍不理想。三是政策与市场环境的不确定性,矿业权政策、环保法规、税费制度以及矿产价格的剧烈波动,都给低品位矿项目的决策带来巨大风险。

### (三) 未来技术发展趋势展望

未来,低品位矿产资源勘查评价技术将朝着更加智能化、绿色化、一体化的方向发展。人工智能与大数据分析将深度融合于勘查全过程,从海量多源数据中自动提取找矿信息、智能预测靶区,并优化勘查部署。绿色勘查技术将得到大力发展,最大限度地减少勘查活动对生态环境的扰动。勘查开发一体化理念将更加深入,在勘查阶段就充分考虑未来开采的技术经济条件和环境约束,实现全生命周期的优化设计。另外,原位勘探与开采技术、纳米技术选矿、低品位矿的新型高效节能装备的研发,都将为低品位矿产资源的规模化、经济化利用开辟新的途径。

## 五、结语

低品位矿产资源是未来的全球矿产资源供大于求。面对其独特的地质特征与复杂的评价挑战,必须发展和应用以高精度物化探测、遥感、三维建模等为核心的现代勘查技术体系,构建具有地质可靠性、技术经济可行性和环境可持续性的综合资源评价方法。通过持续的技术创新、成功的实践探索和对未来发展趋势的正确把握,不断提高低品位矿产资源的勘查评价水平,使其实现由潜在资源向经济可采储量的有效转化,为国家资源安全保障和矿业可持续发展提供有力支撑。

## 参考文献

- [1] 姜跃彪,朱先艳.铜山口铜矿超低品位矿产资源综合利用[J].采矿技术,2022,22(03):6-7+11.
- [2] 第八届全国低品位及难选冶矿产资源高效利用技术交流会[J].化工矿物与加工,2020,49(08):57-59.
- [3] 钱刚.浅议低品位矿产资源的开发与利用[J].中国金属通报,2020,(01):49+51.
- [4] 邹坚坚,胡真,汪泰,李沛伦,王成行.粤北某极低品位伴生稀有金属矿产资源综合利用研究[J].矿冶工程,2019,39(04):63-67+71.
- [5] 蔡咏欣.我国低品位、难选冶矿产资源勘查和综合利用现状述评[J].科学技术创新,2019,(02):156-157.
- [6] 魏宏炼,许远清.大厂铜坑矿低品位矿产资源开发利用思路[J].矿业工程,2018,16(01):1-3.
- [7] 赵彦璞,张腾.新形势下内蒙古超低品位矿产资源开发利用分析[J].中国矿业,2016,25(08):86-89.
- [8] Hunan Research Institute for Nonferrous Metals.低品位高炭镍钨矿选矿节能新技术——矿产资源节约与综合利用先进适用技术[J].国土资源导刊,2015,12(03):65-70.
- [9] 王雪峰.提高低品位矿产资源开发利用效益的思考[J].经济研究导刊,2014,(24):69-71.
- [10] 王岩,邢树文,张增杰,马玉波.我国低品位、难选冶矿产资源勘查和综合利用现状述评[J].矿产综合利用,2012,(05):7-10.