

低品位矿产资源综合利用的地质可行性分析与实践

姜圣帝

翁牛特旗华澳广源矿业投资有限公司

DOI : 10.32629/jpm.v7i5.8882

[摘要] 我国矿产资源“贫多富少”的禀赋特点越来越明显，铜、铁、铝等重要矿产低品位矿储量占总储量的比例已经超过了60%，资源安全的压力越来越大。本文对低品位矿产资源综合利用的地质可行性判据进行了系统的整理，在多宝山铜矿堆浸萃取电积、新疆乌拉根铅锌矿边界品位动态调整、攀西钒钛磁铁矿高效分选以及可可托海尾矿重介质选矿这四种工程的基础上，分别对其应用过程中的成果进行了详细的剖析。经由地质评价指标改良并联合选冶技术革新，低品位矿综合利用从技术角度讲可行，在经济方面合情合理，对环境无明显干扰，是破解资源瓶颈的必然之路。

[关键词] 低品位矿；堆浸萃取电积；边界品位动态管理；钒钛磁铁矿分选；地质可行性

Geological Feasibility Analysis and Practice of Comprehensive Utilization of Low-grade Mineral Resources

Jiang Shengdi

Wengniute Banner Hua 'ao Guangyuan Mining Investment Co., Ltd.

[Abstract] The inherent characteristic of China's mineral resources— "abundance of low-grade deposits but scarcity of high-grade ones" —has become increasingly evident. The proportion of low-grade reserves for key minerals such as copper, iron, and aluminum exceeds 60% of the total reserves, posing growing pressure on resource security. This paper systematically reviews the geological feasibility criteria for comprehensive utilization of low-grade mineral resources and provides detailed analyses of their application outcomes based on four engineering cases: heap leaching and electroplating extraction at Duobaoshan Copper Mine, dynamic boundary grade adjustment at Xinjiang Wulagen Lead-Zinc Mine, efficient separation of Panxi Vanadium-Titanium Magnetite, and heavy-media selection of Keketuohai tailings. Through improvements in geological evaluation indicators combined with innovations in selection and smelting technologies, the comprehensive utilization of low-grade minerals is technically feasible, economically viable, and environmentally benign, representing an inevitable solution to resource bottlenecks.

[Key words] low-grade ore; heap leaching and extraction with electroplating; dynamic boundary grade management; vanadium-titanium magnetite separation; geological feasibility

引言

矿产资源属于国民经济发展的物质支柱，又是维护国家安全的物质屏障。但是由于数十年来高强度的开发，我国的主要金属矿山开采品位一直呈下降趋势，铜矿入选品位从2000年的0.8%降到目前的0.5%以下，有些矿山更是低到0.3%。铁矿品位低于30%称为低品位，我国铁矿平均品位为34%，大大低于澳大利亚62%的水平。同时铜、镍、锂等战略性矿产对外依存度一直大于70%，我国对外依存度越来越高，而“卡脖子”风险越来越大。

在此环境下，低品位矿产资源的综合利用已经由原来的“辅助方式”变成了现在的“战略性选择”。低品位矿是技术和经济双重概念，即由于品位低、现有的采选冶技术不能充分发挥

它的利用价值，或者是由于开发效益差而被闲置的资源。2026年全球矿业总产值将突破2.5万亿美元，新能源转型使锂、钴、镍等矿物需求出现爆发式增长，低品位矿高效开发同资源安全有着直接关系，也影响着我国在世界矿业格局中所具有的战略主动。

地质可行性分析属于低品位矿开发的第一个前提。它要根据充分查明的矿体赋存情况、矿石物质组成、风化氧化情况来合理地确定边界品位和工业指标，给采选冶工艺的设计提供可靠的依据。本文将从地质可行性的判据入手，以多个典型矿山的工程实践为依托，对低品位矿产资源综合利用的技术途径和未来趋向进行阐述。

1 低品位矿产资源综合利用概述

低品位矿产资源综合利用就是对品位低、矿物组成复杂、当前技术经济条件下难以单独单独开发利用的矿产资源,采用先进的选矿、冶金及深加工技术,将有用组分有效地分离出来,同时对尾矿、废石等副产品进行资源化再利用的系统工程。核心思想就是“吃干榨尽,变废为宝”,试图冲破传统高品位优先开发的束缚,把矿产资源全部挖掘出来,尽可能地提高矿产资源的回收率和利用效率,达成经济效益、环境效益和社会效益三者的统一,这是推进矿业绿色可持续发展、保证国家资源安全的战略途径^[1]。

2 低品位矿产资源的地质特征与可行性判据

2.1 低品位矿的地质特征

低品位矿不是“无价值的废石”,它的核心地质特征可以用“三低一高”来概括,即有用组分量低、矿物嵌布粒度细、矿石类型复杂、伴生元素含量高。以攀西钒钛磁铁矿为例,全铁品位低于20%的低品位复杂共生矿占到40%以上,铁、钒、钛等金属之间相互依存、紧密共生,化学组成和晶体结构十分复杂,开发难度比国外同类资源要高很多。以新疆乌拉根铅锌矿为例,属于海底喷流沉积—热液改造型矿床,自地表往下80~120m为氧化矿,深部全部为硫化矿,上部厚度变薄、倾角变缓、品位逐渐降低,总资源量达2.22亿吨,但锌平均品位仅2.28%,铅平均品位仅0.40%。地质特征造成低品位矿开发不能延续旧有采富弃贫观念,而应从地质评价出发,改变资源边界的认识^[2]。

2.2 地质可行性的核心判据

地质可行性分析要从矿体规模和赋存稳定、矿石可选性和工艺适配、经济临界品位和动态界限这三个主要方面着手。

第一,矿体规模属于低品位矿开发的前提。只有当资源量达到一定的规模,才会使得单位开发成本趋于平均。多宝山铜矿II号矿带所处浅表氧化矿石总量达140余万吨,平均品位低于0.4%,属于表外品位,但是金属量仍大于4000吨,具有规模开采的条件。

第二,矿石的可选性来选择相应的选矿方法。氧化矿适合于堆浸工艺,硫化矿适合浮选或者生物浸出,复合矿需要联合处理。矿石的嵌布粒度、矿物解离度、有害杂质含量等参数都会影响到选矿回收率。

第三,边界的品位调整成了保证地质可行性的主要杠杆。传统的固定边界品位会把很多表外矿排除在外,而创建以矿石市场价格和采选成本为变量的动态指标评价体系,能够使可利用资源量成倍增加。

3 低品位矿综合利用的关键技术体系

3.1 堆浸—萃取—电积(SX-EW)技术

它成了低品位氧化铜矿开发的“利器”。核心原理就是把低品位氧化矿石堆放在防渗堆场里,用稀硫酸喷淋来溶解其中的铜,然后用萃取剂把铜离子从浸出液中选择性地提取出来,最后用电积法得到阴极铜。

黑龙江多宝山铜矿在1993年就掌握了这一工业生产技术,

特别是成功解决了高寒地区堆浸萃取电积的技术问题,建成我国第一家湿法生产阴铜工厂,填补了高寒地区湿法提铜的空白。本项目1999年建成投产,2000年获得了国家经贸委新产品新技术鉴定证书,多年来生产工艺先进,产品质量稳定。之后,铜山矿1500吨/年堆浸萃取电积厂重新倒堆,对280万吨尾矿堆中平均品位0.23%以下的氧化矿废石进行清洗、筛选、重新破碎、倒筑堆利用,最大限度地回收了铜金属资源。其优势为闭路循环无环境污染、建设投资低、运营成本低,特别适合处理品位在0.2%至0.5%之间的氧化铜矿,是目前我国低品位铜矿开发最成熟的工艺路线^[3]。

3.2 边界品位动态管理与浮选联合工艺

新疆乌拉根铅锌矿实践也给提供了一个范本。该矿总资源量2.22亿吨,但是早期生产圈矿品位 $Zn \geq 3.20\%$ 、 $Pb \geq 0.53\%$,大量的低品位资源被抛弃。随着采选规模从10000t/d扩至25000t/d,企业将圈矿品位逐步下调至 $Zn \geq 1.75\%$ 、 $Pb \geq 0.30\%$,露采境界内可利用含矿废石达5165.95万吨, $Zn+Pb$ 金属量60.96万吨,相当于新发现一个大型铅锌矿^[4]。

其选矿工艺为三段一闭路破碎、磨矿至 $-74\mu m$ 占58%的铅锌分别采用一粗一扫三次精选和一粗两扫三次精选的流程,锌粗选精矿进入再磨系统。该工艺大大提高了资源的利用率,很好地解决了“采富弃贫”的行业难题。

3.3 钒钛磁铁矿高效分选技术

攀西地区钒钛磁铁矿储量约为145亿吨,占全国同类资源的93%,但是全铁品位小于20%的低品位矿占到总量的40%以上。成都矿产综合利用研究所同龙佰四川矿冶等单位合作开发出一种“粗粒预选抛废—大块预选钒钛矿物选择性解离—铁精矿提质降杂—钒铁矿强化浮选”的工艺路线,第一次实现贫于目前工业品位的钒钛磁铁矿、甚至围岩的有效回收^[5]。

其核心创新就是提出了“分选颗粒运动和界面化学行为调控”两个强化的理论,开发出了钒钛矿界面离子调控强化浮选的新技术以及新型高效选钒捕收剂,并配以大深度穿透性内流外磁式梯级磁场精细磁选设备,每年在攀西地区可以减少碳排放量322万吨。目前,已经在国内20个矿山使用,新增经济效益为220.25亿元,回收低品位资源达40亿吨以上。

3.4 尾矿重介质选矿与资源化利用

可可托海稀有金属公司对堆存时间久、质量不稳定的老牌153万吨7号尾矿进行重介选回采,更新了2台新颚式破碎机和1台圆锥式破碎机,并使用重介分选技术进行日处理量上千吨矿石的全部加工,使回采、破碎、选矿三个环节的贯通彻底。由此可见,即使是在数十年前由于技术上的制约而被放弃的技术也能够新的技术下重新被利用起来。

4 加强低品位矿产资源综合利用的实践对策

4.1 强化科技创新驱动,突破关键技术瓶颈

低品位矿产资源综合利用的本质就是科技创新、创新。目前我国对于低品位矿石选矿、复杂难处理矿产提取、尾矿资源化利用等关键技术还存在着明显的不足,从而影响到整个资源

利用率的提高。增资助微细粒嵌布矿物高效分选、生物浸出、原位溶浸等有关的科研项目,增加国家级科研专项经费。另外创建低品位矿产资源利用技术开发联盟,构建共享的实验平台以及中试基地,推进实验室成果到工业化生产的过程。企业引进、消化吸收国际上已有的先进技术之后再行二次创新,由此产生并具备自己独特知识产权的技术体系来改进低品位矿产资源的开采和利用能力,给资源安全给予技术层面的稳固支撑。

4.2 完善政策法规体系,优化资源配置机制

完善制度规范就是建立完备的政策法规制度来保证低品位矿产资源综合利用的发展。要加快对《矿产资源法》及其有关法律、法规的修订工作,对低品位矿产资源的开发准入条件、综合利用强制性指标和尾矿综合利用的激励约束措施做出规定。建立健全低品位矿产资源分级分类管理制度,对达到综合利用标准的矿山企业给予采矿权优先配置、资源税费优惠等扶持。完善矿产资源有偿使用制度,适当降低低品位矿产资源的资源税税率,降低企业的开发门槛。建立完善的矿权交易市场,促进优势企业的兼并重组,整合低品位的矿产资源,达到规模化、集约化的开发目的,防止出现由于大矿小开、一矿多开造成资源浪费的情况,从制度上引导资源走向高效利用的方向^[6]。

4.3 推进产学研深度融合,构建协同创新平台

低品位矿产资源综合利用涉及地质学、选矿工程学、冶金工程学、环保科学等各个学科领域,在每一个环节都存在着需要其他相关领域的参与才能推进的工作。应当加快高校、科研院所同矿山企业的合作,创建低品位矿石高效选矿、共生元素综合回收、矿山固废资源化等技术问题的联合研究课题。鼓励和促进企业创建研发中心、设立博士后流动站等形式的高新技术开发中心、工程研究中心等技术攻关实体。建设技术成果转化的利益共享模式,合理划分技术成果的产权和利益分配的比例,调动各方面的积极性。举办一到两年一次低品位矿产资源综合利用技术交流论坛,加强同国内外同类企业的先进经验、技术交流与合作,创建开放型创新环境,把科研成果转化为生产力^[7]。

4.4 加大财税金融支持,降低企业开发成本

低品位矿产开发投资多、工期长、收益小是企业的经济风险。应该发挥财税政策的引导和杠杆作用,对从事低品位矿产资源综合利用的企业实行企业所得税优惠、增值税即征即退等税收减免政策。设立低品位矿产资源综合利用专项资金,对关键技术的研发、生产设备的升级和示范工程的建设给予财政支持。引导金融机构发展绿色信贷产品,把低品位矿产资源综合利用项目作为绿色金融支持的对象,对符合条件的进行优惠的利率贷款、融资担保。建立矿产资源综合利用保险机制来分散企业的开发风险,降低企业开发利用低品位矿产资源的经济成本,提高市场主体的开发利用积极性^[8]。

4.5 坚持绿色开发理念,实现生态环境保护

低品位矿产资源的综合利用要与生态文明建设深度融合,

坚决不能走“先污染后治理”的老路。严格按照矿山环境影响评价制度执行,在矿山开发审批前必须将综合利用率、土地复垦率、废水循环利用率等绿色指标纳入矿山开发审批的前置条件。实行“边开采、边治理、边修复”的绿色矿山创建机制,促使企业运用干式选矿、无氰提金这些清洁生产工艺,从而从根子上削减污染物质的产生。创建矿山生态修复保证金制度来保证企业的生态修复义务得到落实。加强尾矿库的安全管理及综合利用,发展尾矿制备建材、充填采空区等资源化途径,变废为宝。绿色开发是矿业发展与环境保护协调发展之路,走可持续发展的矿业开发新路。

5 结语

低品位矿产资源综合利用,在资源约束下是唯一的出路,在技术推动下又是难得的时机。从多宝山的堆浸电积、攀西的钒钛分选、乌拉根的边界品位革命、可可托海的尾矿重生实践可以得出这样的结论,没有不能开发利用的矿山,只有需要攻克的技术。

未来低品位矿开发应该从三个方面不断推进,一是加强地质评价创新,创建起动态边界品位体系,最大可能地把表外的资源挖掘出来;二是加大选冶技术研究力度,重点攻克生物冶金、智能分选、短流程冶炼等前沿领域,让资源利用率达到国际先进水平;三是健全政策保障体系,依靠税收减免、专项资金、绿色矿山标准等制度手段,使社会资本流向低品位矿开发。只有依靠技术创新为动力、依靠政策引导来保证、依靠循环经济作为目标,才能把“呆矿”变成“宝藏”,为我国矿产资源的安全和绿色高质量发展奠定基础。

[参考文献]

- [1]李超,舒荣波,程蓉,等.不同深度离子型稀土矿连续浸出实验[J].矿产综合利用,2023(4):78-82.
 - [2]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(2):2.
 - [3]超 于,紫龙 刘.关于尾矿废石资源量核实方法的研究和实际应用[J].地矿测绘,2018,1(2).
 - [4]王罗海、王石军、刘万平、王凡、左金星、金青明."固转液"技术应用及其对资源和环境的影响分析[J].化工矿产地质,2020,42(4):4.
 - [5]毛香菊,卞孝东,肖芳,等.某铜矿区水土环境重金属污染及其农作物效应[J].矿产保护与利用,2018(5):8.
 - [6]王罗海,王石军,刘万平,等."固转液"技术应用及其对资源和环境的影响分析[J].化工矿产地质,2020(004):042.
 - [7]李俊,周斌.大红山铁矿井下低品位矿回收研究及应用[J].中国矿业,2018,27(B10):176-179.
 - [8]赵开乐,闫武,刘飞燕,等.细粒嵌布硫化钼矿铜钼高效分离技术[J].矿产综合利用,2021,000(002):1-7.
- 作者简介:姜圣帝,1990.04.01,男,内蒙古赤峰市喀喇沁旗,蒙古族,本科,中级地质工程师,总工程师,研究方向:矿山地质,矿产勘查与资源评价。