

创新的低品位资源开发技术在紫金山矿的应用

邹 凯

(紫金山矿冶设计研究院, 福建 上杭县 364200)

摘 要: 紫金山金矿矿床属次火山热液金属硫化物次生富集的成矿类型, 矿量达几亿吨, 其中可供开发利用的资源占 63.1%, 属于含金 0.2~0.5 g/t 的低品位矿。矿山十分重视运用创新技术对低品位资源的开发与利用, 而且获得了先进的生产技术指标和显著的规模经济效益。介绍了矿床赋存的基本特点; 阐述了应用综合技术方法对低品位资源开发利用所取得的创新成果和经验。通过研究建立低品位资源开发经济模型和资源评估软件系统以及强化对矿石质量的严格管理, 确保了矿床资源的合理开发与利用, 使矿山取得了低成本、规模化开采的显著经济效益, 推动了矿山的持续发展。

关键词: 紫金山金矿; 低品位资源; 开发利用; 创新技术

0 前 言

紫金矿业集团所属的紫金山金铜矿床, 是 1980 年代探明的特大型有色金属矿床之一, 其中金含量在 0.2 g/t 以上的低品位矿石资源就有几亿吨, 约占可利用的金资源的 63.1%。紫金矿业集团从 1993 年开始, 为了充分开发利用低品位金矿资源, 组织了大量的技术力量, 开展由地质、采矿、选矿和环保等多专业配合的技术攻关研究, 并取得了低品位资源开采利用的国内领先、世界先进的成果。矿山经过艰苦创业、滚动发展, 已成为国内单体矿山保有可利用储量最大、采选规模最大、产金量最大、入选矿石品位最低、吨矿处理成本最低、经济效益最好的中国第一大黄金矿山。现在, 紫金山矿田被列为 2011 年国家首批 40 家资源节约与综合利用示范基地。

1 金矿资源概述

紫金山金矿床属燕山晚期中酸性斑岩成矿系列的一部分。金矿体产于潜水面以上的氧化带中, 是原生含金铜的硫化物氧化次生富集的产物, 其平面及剖面上都呈右行侧列分布, 矿头埋深一般在 50~80 m 左右。矿区西北矿段已探明的金矿体有 0, 1, 2, 3 等 4 个。其中主采的 1 号矿化带展布于 15~12 勘探线之间, 富集在 8~11 线, 长 600 m、宽 300~400 m, 走向 320°, 倾向北东, 倾角 40°~50°。矿山的资源量高达几亿吨, 金金属量超百吨, 是一个特大型低品位金矿床。

矿物成分比较简单, 其中微晶蚀变石英含量大于 90%, 地开石及其它粘土矿物占 3%, 金属矿物(褐铁矿等)为 3%~5%, 还有少量氧化残余的硫化物(2%~4%)。

在设计开发利用的矿产资源中, 金品位为 0.2 g/t 以上的资源量占到 63.1%。矿体具有典型的面状矿化特征, 矿石品位在其中心及裂隙交汇部位处较高, 随矿体赋存标高不同, 呈现明显跳跃式变化的基本规律。一般情况下, 矿石的品位变化系数为 63%~107%, 高低相差 5~20 倍, 最高可达 20 余倍。矿石的工业类型为单一次生氧化金矿石, 具有易选冶的显著特点。

2 低品位资源的勘探与评价

矿山在发展中, 针对勘探程度偏低等问题, 大力开展了成矿机理和规律特征的研究, 并实施与生产探矿资料结合的分析方法, 获得了对矿床资源的新认识和技术成果, 从而为矿产的资源查定控制与开采利用提供了重要依据。

2.1 资源开发利用的地质技术

2.1.1 矿床特征与成矿规律研究

通过成矿理论研究, 更加明确了矿区内主要矿体的赋存部位与相关因素的关系, 纠正了认为紫金山金矿体垂直剖面上出现的上金下铜现象, 主要不是原生矿化分带, 而是氧化分带的看法, 确定了金的后期矿化作用与火山热液期后的火山热泉有重要关系, 从而有效地指导了地质工程实施以及露、坑开采

的生产技术工作。矿山通过井巷、硐室及钻孔等工程手段,保证了探矿工程 40 m × 40 m 的网度,符合了正规勘探的Ⅱ类和Ⅲ类要求,使可控制矿体储量达到总储量的 80% 以上,同时纠正了认为 970 m 标高以上范围无矿体的看法,深化了对矿体资源规律与前景的认识。

2.1.2 勘探增储夯实资源基础

矿山自 20 世纪开始,耗资几千万元,投入工程量近 3 万余米,钻探数千米,并广泛采集矿样 8000 余个,全面开展了低品位矿提金试验及矿岩磨片分析,为充分开发利用低品位资源提供了技术依据。

编制完成的《西北矿段金矿勘探报告》和《金铜矿床西北矿段勘探补充及储量计算报告》,顺利通过了专家评审,后经国土资源部核准认定,紫金山金矿床属特大型金矿床,探明可提供利用的金金属储量超过百吨,平均品位 1.238 g/t 左右,与原先的详查结果相比增储 24 倍。这一研究与勘探成果,获得国家经贸委黄金科技进步特等奖。

2.2 低品位资源的评价技术

2.2.1 编制低品位资源的评价系统软件

在低品位资源的开发利用中,紧密结合矿山生产经营成本实际,运用经济地质理论,研制开发了与国际接轨的 IDS 储量计算与评价软件系统。

IDS 储量计算系统基本原理特点是不同于传统方法,它把矿体中各部位的平均品位看成是空间位置的函数,按如下要求进行计算:

- (1) 将储量计算范围划分为大小一致的地段;
- (2) 对每块地段的平均品位进行估值,依据可利用地段品位影响范围内的样品来估算块段品位;
- (3) 计算大于等于不同边界品位的块段储量之和,即为总储量,并根据不同的入选品位及储量,形成品位-吨位图。

实践表明,软件的应用对矿山资源的评价和开采指导作用是十分明显的。当采用大规模露采边界品位为 0.5 g/t 指标圈定矿体时,原来的矿化描述为带状矿化带现象变得模糊,取而代之的是个矿化以强硅化为中心的一个垂向构造控制带。矿山台阶高度 12 m,严格与 IDS 资源评价软件系统的块段保持一致;生产中以炮孔岩粉样品作为二次圈定矿体的依据,效果良好。多年来的统计结果表明,储量随生产而不断变化的情况基本符合矿山实际,资源开发呈现稳定态势,数字化系统把紫金山低品位金矿资源动态管理技术提高到一个创新的水平。

2.2.2 建立资源开发评价的经济模式

矿山为适应低品位资源开发利用的新形势要求,运用市场化经济规律和技术经济法则,运用黄金价格市场的杠杆调节作用,建立起了切实的经济模式,指导了低品位资源的开发利用,并创造了好效益。

(1) 遵循经济法则更新矿床工业指标。在经济条件下,低品位资源的开采存在激烈竞争的实际问题,传统的计划经济时期规定的矿床工业指标已落后于矿业发展要求,更不是评价矿床资源开发利用的唯一依据,只有应用生产技术经济与市场价格结合的体系指标来规范采矿计划,才能使矿山赢得主动,达到对低品位资源利用的最大化、成本最低化和经济效益显著化的目标。随着生产技术的提高和成本的降低,矿山对计划经济年代规定的边界品位进行了合理修正,把最初的边界品位由 1 g/t 调整到 0.5 g/t,然后又再降到 0.2 g/t 的现行生产计划指标。这样以来,矿山相对增加了数千万吨的低品位资源利用量,既利于延长矿山寿命,又促进了矿山的持续发展。

(2) 最低矿石工业品位确定。从矿山生产经营角度上说,保持生产盈亏平衡应该是最基本的要求。根据这一原则,通过合理的计算确定,用成本价格法确定矿床最低工业品位,有利于提高矿山的生产技术经济水平,获得更好的经济效益。矿山运用如下公式计算,确定最低工业品位:

$$\alpha = \beta C / DK(1 - \rho)$$

式中: α ——最低工业品位, %;

β ——精矿品位, %;

C ——原矿综合成本,包括采、剥、选、运成本、管理费及资源税等;

D ——单位精矿价格,元/t;

K ——选冶综合回收率, %;

ρ ——采矿贫化率。

根据矿山情况,运用上式计算出生产矿石的最低工业品位,然后再结合资源控制要求,并按尾矿品位的实际指标,最终确定紫金山金矿最低工业品位指标为 ≥ 0.2 g/t。多年来,矿山依据成本控制法并结合实际,取得了资源开发规模化效益和经验,推动了矿山的跨越式发展。目前,矿山生产能力为 10 万 t/d 左右,最低入选品位为 0.2 g/t,年利润数亿元,使低品位金矿资源的开发利用与保护控制技术达到了国际领先水平。

(3) 从废石中回收低品位资源的技术。矿山一年的剥离总量在 3000 万 m^3 左右,如能从中回收部分含金废石,效益是可想而知的。通过对具有围岩矿化程度高,矿岩含量 $>0.2 \text{ g/t}$ 和全岩矿化的矿床特性研究,并调查分析了依据穿孔岩粉样单一因素界定排弃废石量的不科学性后,总结出了“挑块品位分级法”,使废石中的低品位资源得到了较为合理的回收。“挑块品位分级法”操作简单,只要运用露采生产中铲装作业的小铲斗反向挖掘机,对矿岩的大小块进行挑块分装,就可在剥离排土的过程中实现从废石中进行低品位资源的回收。保守估计,矿山在多年的实际工作中,每年能从废石中回收 100 万 t 以上的低品位矿石量,创收数百万元的经济效益。

3 低品位矿床资源开采与管理技术

3.1 资源的规模效益开采

矿山的生产方式经过了资本与技术积累的早期阶段,并从那时起就决策了因地制宜、总体规划、分步实施、滚动发展的远景规划。本世纪初,紫金山矿的开采方式从地采顺利转型为露天开采,充分利用露天作业所具有的可运用高效采掘、运输设备,劳动生产效率高,生产成本较低和劳动条件较好等显著优势,获得了对低品位金资源开采的显著规模经济效益。现在,露天开采的生产能力可达 10 万 t/d 以上,超过转型前生产能力的 20 倍,年利润超过 10 亿元。

3.2 陡帮开采技术应用

露采生产的前期,为了减少剥离费用,严格控制低品位资源开发成本,并通过理论探索和生产技术实践,不断取得经验,紧密结合具体的开采条件,正确选择了生产单组合台阶数 3~5 个;工作平台宽 35~60 m;安全平台宽 15 m,台阶坡面角 75° ,工作帮坡角为 31° 等有效而合理的技术要素,使陡帮开采技术应用的水平不断提高,从而加快了由地采向露天开采转型过渡的顺利衔接,促进了规模生产能力的形成。

实践认为,通过陡帮开采工艺,也就是露天采场剥岩段陡工作帮作业,避开剥岩高峰,均衡生产剥采比,从而提高了矿山的效益,保证了采矿场的生产能力,矿山生产量得到了不断攀升,有效地加快了低品位金资源开发利用的进程。矿山应用此技术,减少表土剥离量超过 3000 万 m^3 ,少支出财务费用数千

万元。

3.3 优化境界,回采贫矿资源

在保稳定求发展的思想理念指导下,矿山生产中,多次对露采的境界设计进行优化,扩采了大量的贫矿资源,使低品位金矿资源的开发利用更加合理,达到可持续发展的战略要求。仅 2002 年的露采设计方案中,把地质详查报告中 I—2 号矿化带的 NE 边缘矿体纳入境界内,就比矿业公司的早期方案新增了 (0.7 g/t 以上的品位) 矿石量 $1272.4 \times 10^4 \text{ t}$,金金属量 13335.37 kg;比设计院方案增加矿石量 $2806.41 \times 10^4 \text{ t}$,金金属量 28155.14 kg,取得了低品位资源开发利用的明显效果。

3.4 严格的矿岩管理技术

矿山在生产中,针对低品位矿体在生产平台上的分布特点,编制了一套严格的矿岩管理技术操作办法,控制了矿石在铲装运排工艺过程中的贫化损失,提高了资源回收利用效率。通过对施工作业区的矿岩分采分爆、分装分运、爆堆矿量校核、待排岩土淘洗抽查等多种办法和技术,达到了对矿岩质量合格的严格规定。同时,对露采生产中外包工程队的施工要求,实行了矿岩警戒区限的量化规定,并体现奖罚分明的制度约束力。通过这些综合的技术管理措施,保证了外排废石的品位 $<0.2 \text{ g/t}$ 的标准规定。

3.5 市场化运作模式的露采工程建设

在露天开采的生产中,引进了市场化竞争的运营机制,保证了生产过程的良性循环。矿山将采矿工程外包,不仅节约了大量的设备投入和资金筹备,而且实现了对低品位资源开采的规模效益。各工程承包公司具有大量的工程设备及专业队伍和管理技术优势,能根据矿山生产的需要,灵活进行计划性调节,解决生产中陡帮开采管理要求相对较高的困难和问题,保证了设备能力的充分发挥,体现其在露采规模化生产中的有效作用。

在低品位金资源的开发利用中,矿山还应用了诸如采空区处理和防塌陷等多种技术,确保了生产作业的安全与持续,为取得露天开采的显著规模效益提供了技术保障。

4 结 论

紫金山矿在低品位金矿资源的开发利用中,实施了科学兴矿战略,采用有效的综合创新技术和新
(下转第 61 页)

报新井建设指挥部备案; C 类隐患(相对整改难度隐患)由各专业部门督促施工方组织整改,整改情况报公司备案; D 类隐患(一般现场隐患)由施工方自行落实整改,整改情况报公司主管部门备案。

(3) 公司建立健全的日常隐患排查整改记录台账和重大隐患排查整改档案,逐一记录填写对重大隐患的立项、整改措施、整改负责人、整改资金渠道、整改实施情况以及检查验收情况。

(4) 公司安全部门每月对隐患和重大问题按顶板、机电、运输、“一通三防”及其它进行分类并上报新井建设指挥部。属部门督促施工方落实整改的必须及时组织整改,并督促检查隐患整改完成情况。生产建设过程中出现的重大隐患由公司组织专门会议研究,制定方案督促施工方按“六定原则”落实整改。由公司安全部门负责督促检查整改情况,并建档备查。

(5) 建立隐患排查整改考核机制。对施工方未按时组织隐患排查和整改的,必须按公司制定的考核办法进行考核。凡组织隐患排查和督促检查不认真、对未按规定时间和要求完成整改的直接责任人按公司安全生产奖罚规章进行处理。因此造成事故的,按照事故处理程序追究其管理责任。

(6) 消防、火工品及交通安全方面的隐患排查、整改及督促检查由公司后勤部门负责,每月将隐患排查、整改情况报公司安全部门,并登记备查。

该制度一经实施之后,隐患排查得到很好的落实,取得了较好的效果,在预防事故方面起到了重要作用。该矿自建立并严格执行事故隐患排查制度以

来,事故发生率下降明显。轻伤事故发生率降低了 89%;重伤发生率下降了 90% 以上;死亡事故发生率降低到 0。由此可见事故隐患排查的重要性,其不仅降低了事故的发生率,更提高了矿井的安全生产效率,意义重大。

4 小 结

煤矿安全一直是矿井生产的重中之重,煤矿安全抓不好,就无法保证矿井的正常生产。煤矿一切生产经营都须把安全放在首位,而保证煤矿安全就是杜绝煤矿事故的发生,又因为隐患是事故发生的必然条件,因此,消灭一切安全隐患,才能保证煤矿安全生产。在安全隐患中人的因素最活跃,必须要抓住人这个关键因素,坚持以人为核心,逐渐强化煤矿职工的安全素质教育,提高员工的安全责任心,使人人都认识到排查安全隐患的重要性,确保人人都能深刻认知安全隐患,及时进行排查清除,把事故消灭在初始阶段,确保矿井安全高效生产。

参考文献:

- [1] 陈宝智. 安全原理 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1995.
- [2] 徐志胜. 安全系统工程 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [3] 朱红青, 陈国新. 煤矿事故调查 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2002.
- [4] 李润彪. 煤矿生产事故隐患及其排查 [J]. 煤炭技术, 2009, (3).
- [5] 付延强, 陈建平. 煤矿事故隐患控制办法探讨 [J]. 山东煤炭科技, 2003, (5).

(收稿日期: 2011-08-16)

作者简介: 王 勇(1985-), 男, 贵州仁怀人, 硕士研究生, 研究方向为矿业系统工程, Email: 576349174@qq.com.

(上接第 3 页)

工艺,使品位控制、生产成本、规模效益等各种技术指标达到了世界先进水平。为完成矿业集团所赋予的“新一轮创业”任务,必须进一步加强科技创新、体制创新和管理创新,不断强化先进技术的应用,在矿业的开发中取得新突破、新成绩,全面促进低品位金矿资源的开发利用技术的提升,为矿业的发展做出新贡献。

参考文献:

- [1] 申其鸿, 林连宝, 邹 凯. 紫金山金矿低品位资源开发利用技术经济对策 [J]. 有色金属(矿山部分), 2004, 56: 19-22.
- [2] 候万荣, 李体刚, 赵淑华, 等. 我国矿产资源综合利用现状及对策 [J]. 采矿技术, 2006, 6(3): 63-66.
- [3] 华炎生. 地下转露天开技术在紫金山金矿的应用 [J]. 黄金, 2004, 25: 49-51.

- [4] 邹 凯, 陈希有, 袁 桥. 紫金山矿地下转露天生产中的采空区处理技术 [A]. 金属矿山. 中国矿业科技大会论文集 [C]. 金属矿山杂志社, 2010: 156-1590.
- [5] 张声美. 提高矿产资源综合利用率的探讨 [J]. 采矿技术, 2008, 8(4): 152-153.
- [6] 刘荣春. 紫金山金矿低品位资源开发的地质技术研究 [J]. 有色矿山, 2004, 29(5): 36-38.
- [7] 张福良, 胡郅虹, 尹仲年. 矿产资源开发整合理论和模式初探 [J]. 金属矿山, 2009, (9): 51-53.
- [8] 曾 海, 胡锡琴. 矿产资源开发利用的合理性分析 [J]. 金属矿山, 2007, (2): 9-10.

(收稿日期: 2011-06-13)

作者简介: 邹 凯(1941-), 男, 江西信丰人, 教授级高工, 享受国务院特殊津贴, 长期从事采矿和矿山地压控制技术的科研工作。