

# 贵州省贞丰水银洞金矿“三率”现状及影响因素浅析

齐少烽,冯琳,石毅

(贵州省地质资料馆,贵州 贵阳 550002)

[摘要]通过资料收集及调查,对水银洞金矿“三率”现状及影响因素进行评述,对金矿赋存状态、矿床特征、采矿方法、选冶工艺、共伴生资源及尾矿废水利用等“三率”指标影响因素进行初步分析,提出加强水银洞金矿“三率”管控,提高矿山“三率”指标,促进矿山可持续发展的意见和建议。

[关键词]金矿;三率;影响因素;水银洞金矿,贞丰,贵州

[中图分类号]F406.3;F407.32 [文献标识码]A [文章编号]1000-5943(2015)03-0236-05

滇黔桂“金三角”地区尤其是贵州的金矿资源主要以卡林型金矿(Carlin-type gold deposit)为主,该类含砷含碳微细浸染型金矿属典型的难处理矿石,但其丰富的资源储量和利用价值又是贵州的重要矿产资源和优势矿种,贵州黔西南素有“中国金州”的美誉。

贵州省贞丰县水银洞金矿是一个品位较高,资源储量达超大型的原生卡林型金矿床,目前黄金生产能力为2~2.5 t/a,其矿床类型在我省同类金矿中具有一定的代表性,该矿通过合理的采矿方法、先进的选冶工艺、强化尾矿综合利用并加强生产管理,“三率”指标水平保持在贵州金矿行业前列,取得了显著的经济和社会效益,因此,我们尝试对水银洞金矿的“三率”现状及影响因素进行分析评述,以期对贵州同类金矿的开发利用、技术改进、节能增效、环境保护、可持续发展等有所借鉴。

## 1 金矿“三率”的概念

不同时期,金矿的“三率”有着不同的定义,2012年国土资源部《金矿资源合理开发利用“三率”指标要求(试行)》对金矿“三率”指标的定义为:

(1)开采回采率:指在一定开采范围内,实际采出金矿量占动用资源储量的百分比。其中动用资源储量是指该开采范围内采出金矿与开采损失金矿量之和。

(2)选矿(冶)回收率:选矿(冶)产品中所含被回收有用成分的质量占入选矿石中该有用成分质量的百分比。

(3)共伴生矿产资源综合利用率:采矿和选矿(冶)生产过程中回收的共伴生资源当量和占动用资源储量中共伴生当量之和的百分比<sup>[2]</sup>。

## 2 水银洞金矿“三率”现状评述及影响因素分析

### 2.1 水银洞金矿开采回采率评析

开采回收率是衡量矿山企业开采技术和开采管理水平优劣,资源利用程度高低的主要技术经济指标<sup>[1]</sup>。水银洞矿山2005到2014年的实际开采回采率为88.77%~92.80%,实际开采回采率较设计高出6.26~11个百分点,自2011年以来,实际开采回采率保持在超过同类条件金矿指标要求(90%)2.8个百分点的水平(详见表1):

金矿的实际开采回采率的水平主要受金矿赋存状态和开采方式、采矿方法、开采技术条件等因素的限制,其中围岩的稳固性和矿体的倾斜度、矿体厚度等对开采回采率的影响较大。按照国家2012年发布的金矿“三率”指标要求,水银洞金矿的开采回采率应达到90%。影响水银洞金矿实际开采回采率的主要因素有:

(1)水银洞金矿赋存基本情况

表1 水银洞金矿2005年至2014年开采回采率情况

Table 1 Recovery ratio of Shuiyindong gold deposit from 2005 to 2014

年份	设计开采回采率(%)	实际开采回采率(%)	国家开采回采率指标要求(%)
2004—2006	80.00	88.77	
2007—2010	80.00	91.00	
2011—2014	85.54	92.80	90

(注:根据收集生产数据,2015年)

矿体赋存状态是开采回采率的决定性因素。水银洞金矿矿体稳固性较好,金矿体属赋存于灰家堡背斜轴部龙潭组和Sbt中的隐伏金矿床,矿体产于背斜轴两侧500 m范围内,呈层状、似层状顺层产出,空间上多个矿体上下重叠,规模属中至大的形态简单矿体,主要矿体长度400~800 m,宽度40~950 m,品位变化系数44.40%~108.00%,属均匀至较均匀,厚度变化系数33.66%~90.43%,属稳定至较稳定,破坏程度小,可采系数0.9,矿体埋藏较深,最低标高632 m,水文地质条件中等。

#### (2) 围岩稳固性对开采回采率的影响

矿体顶底板围岩稳固的矿床,开采回采率较高,反之,则开采回采率较低。水银洞金矿似层状矿体的容矿岩层为硅化白云石化灰岩和砂屑灰岩,为较坚硬、坚硬岩类,结构较完整,节理发育,但多为钙质、硅质胶结,整体稳定性较好,有利于水银洞金矿设计和选用合理的采矿方法,保持较高的开采回采率。

#### (3) 矿体倾斜度对开采回采率的影响

矿体倾斜度为缓倾斜( $\alpha < 30^\circ$ )与急倾斜( $\alpha > 55^\circ$ )矿体,开采回采率较高,倾斜( $30^\circ \leq \alpha \leq 55^\circ$ )矿体开采回采率较低。水银洞金矿矿体倾角约 $13^\circ$ ,属于缓倾斜矿体,可以获得较高的开采回采率。

#### (4) 矿体厚度对开采回采率的影响

厚矿体( $h > 4$  m)开采回采率较高,中厚矿体( $0.8 \text{ m} < h \leq 4 \text{ m}$ )开采回采率稍低,薄矿体( $h \leq 0.8 \text{ m}$ )开采回采率较低。水银洞金矿矿体厚度1.8 m,属中厚矿体,有利于获得稍高的开采回采率。

#### (5) 采矿方法对开采回采率的影响

合理的采矿方法是开采回采率的重要保障。水银洞金矿的开采方式采用地下开采,采矿方法主要采用竖井提升-平巷开拓的浅孔房柱法,水银洞金矿在长期的生产实践中,为保

持和提高开采回采率,采取了多项措施:(1)改进井下采矿方法,由传统的浅孔房柱分段采矿法逐步过渡为井下充填全面采矿法;(2)对历年余留下来的残矿柱,采用砗砖砌柱构筑人工矿柱置换原生矿柱,在确保安全的情况下对原生矿柱全部进行回收;(3)加强了极薄矿体的开采,采用分层采矿法和壁式支护,使矿石贫化率逐渐降低;(4)对矿和非矿之间的矿石实行“挂牌矿”管理,即采出Au品位处于矿石与非矿石之间的矿石,不再当作废石丢弃处理,按“挂牌矿”加以利用。

水银洞金矿实际开采回采率在金矿品位高于设计开采回采率并超过国家指标要求,主要得益于矿山重视开采回采率指标,科学分析影响因素,在查明矿体赋存条件的基础上,合理选用采矿方法,不断改进技术工艺,加强技能培训,最终取得了较好的开采回采率指标,提高了生产效能。

## 2.2 选冶回收率的现状及影响因素分析

这是评价矿山企业选冶技术、管理水平和入选矿石中有效成分回收程度的主要技术经济指标。金矿的选冶回收率主要受矿石类型、矿石品位和选冶工艺的影响。根据统计,水银洞金矿的选冶回收情况为(详见表2):

水银洞金矿选用先进的提金工艺并在生产过程中不断改进,使得矿山保持较高的选冶回收率,并超过国家对同类型金矿选矿(冶)回收率(70%)的指标要求。

影响水银洞金矿实际选冶回收率的主要因素有:

#### (1) 矿石类型对选冶回收率的影响

矿石类型的有用矿物与脉石矿物结晶粒度和嵌布关系,以及元素的赋存状态对选冶回收至关重要。水银洞金矿为微细浸染型,绝大部分

表2 水银洞金矿阶段选矿(冶)回收率情况  
Table 2 Recovery ratio of stage separation in Shuiyindong gold deposit

年度	平均品位 ( $\times 10^{-6}$ )	设计选冶回收率 (%)	实际选冶回收率 (%)	尾渣平均品位 ( $\times 10^{-6}$ )	选冶综合回收率 (%)
2004—2006	21.81	83.81	84.66	2.54	84.66
2007—2010	16.35	83.81	86.00	0.72	84.00
2011—2014	14.02	84.00	93.00	0.52	92.00

(注:根据收集生产数据,2015年)

金被硫化矿物等包裹,以超显微状态分布在微细硫化矿物中,还伴生有少量的砷和有机炭等杂质,属于难选难冶金矿类型。如果采用常规氰化工艺直接浸出方法,金的浸出率很低,一般难以超过15%,只有通过预氧化等方法破坏包裹金的矿物,金才能容易被氰化物浸出。采用合适的预氧化工艺,分类处理,即对高品位金矿可采用直接预氧化-氰化浸出提金工艺,对低品位金矿须采用选矿富集-预氧化-氰化浸出提金工艺,可获得较高的选冶回收率。

### (2) 矿石品位对选冶回收率的影响

一般来说,当工艺固定,技术条件不变时,矿石品位越高,选(冶)回收率也越高,反之则越低。水银洞金矿品位总体较高,可获得比较高的选冶回收率,但有数据表明,水银洞金矿的矿石品位总体呈逐步下降趋势,随着主井掘进深度加深,矿石品位逐渐贫化及As、S品位提高,水银洞金矿在主矿石品位下降的情况下,主要采取改进选冶工艺、改良药剂配方、改造设备设施等方法保持较高的选冶回收率(见表2)。

### (3) 选冶工艺对选冶回收率的影响

水银洞金矿中的金主要以包裹金形式存在,要想保障和提高金矿的选冶回收率,降低生产成本,提高经济效益,必须根据矿石特性和矿石品位的变化,选择适宜的选矿工艺:

2003年,贵州紫金股份有限公司成功研制具有国际先进水平的“加温常压化学预氧化处理”湿法提金工艺,回收率一举达到85%,成功解决了“卡林型”金矿难选冶这一国际难题,开创了贵州难处理原生金矿成功开发并工业化规模生产的先例。后该矿又开展了“常压化学催化氧化预处理-氰化提金”对比试验研究,工业化实践表明,整个工艺流程中的溶液可封闭循环使用,无有害气体、废渣、废水排放,具有较好的经济效益和环境效益。

2005年,贵州紫金股份有限公司开展低品位矿可选性研究,采样送紫金矿冶设计研究院开展集中磨矿、集中选别的“一粗三扫二精”浮选试验流程选冶试验。试验结果表明,取得的技术指标原矿平均品位5.0 g/t,精矿品位45.0 g/t,选矿回收率85.0%。该浮选工艺流程适合处理水银洞碳酸盐岩型低品位原生矿石,推荐为水银洞金矿选冶流程。

2009年,为了适应矿石特性改变和金矿品位下降的实际情况,水银洞金矿又对“常压化学催化氧化预处理-氰化浸出”工艺进行技术改造,经过全面系统的条件试验,选定最佳工艺技术条件,采用“碳酸钠+石灰+催化剂”代替“片碱+催化剂”进行常压催化氧化,在不改变原有工艺流程及增加设备的情况下,既保持金的回收率,又降低20%左右的生产成本,获得了较好的经济效益,再次体现了选冶工艺对提高选矿(冶)回收率的显著作用。

## 2.3 水银洞金矿综合利用率的现状及影响因素分析

根据评价内容的不同,金矿的综合利用情况有着不同的定义,一类是当前国家金矿“三率”指标定义的共伴生矿产资源综合利用度,特指金矿采矿和选冶过程中共伴生资源的回收利用程度;另一类是综合评价矿山企业开发利用主、共伴生矿产资源及其生产过程中所产生的尾矿、废石、废水、废气、废渣等的综合利用程度。

### (1) 共伴生矿产对综合利用率的影响

当前,水银洞金矿主要共伴生矿产资源的综合利用情况为:

煤:矿区处于区域富煤地层(龙潭相区)向贫煤地层(吴家坪相区)过渡的地段,含煤性差,最厚煤层仅0.5 m(产于P<sub>3c</sub>与P<sub>3l</sub>接触线),其余则仅为若干厚0.05~0.2 m的煤线,不具综合利用价值;

银:根据断层角砾岩型金矿石中采样组合分析数据显示,Ag含量为 $2.4 \times 10^{-6}$ ,达到伴生矿产综合利用指标,共估算Ag(122 b+333)金属量1.00 t。但由于矿体规模较小,分布零散,难以进行系统的综合利用,目前未作回收;

砷、硫、硫铁矿:虽在组合分析中As 0.15%~0.65%之间,平均含量0.43%。达到伴生矿产综合利用指标,但矿山采用常压化学催化预处理-氰化的选冶工艺,As在预氧化过程中进入溶液,后处理进入废渣,无工业利用价值。

从国家金矿“共伴生矿产资源综合利用率”

的指标定义和计算方法来看,水银洞金矿的煤、银、砷等共伴生矿产资源因为含量不均匀、规模较小、分布零散、进入废渣等原因,目前无共伴生矿产资源综合利用率数据,未达到国家“当黄金与其它矿物共生时,综合利用率不低于60%;当黄金与其它矿物伴生时,综合利用率不低于40%”的指标要求。

但是,在实际生产过程中,水银洞金矿采取多种手段对尾矿、废石、废水、废渣等进行了有效的综合利用,下面以尾矿和废水的利用情况为例说明水银洞金矿的综合利用情况:

表3 水银洞金矿尾矿、废水综合利用措施情况表

Table 3 Comprehensive utilized measurements of tailings and effluent in Shuiyindong gold deposit

时间	采用工艺	回收率
2007年	进行“卡林型”金矿氰化提金尾矿综合利用工业试验系统建设	公司正式进入资源综合利用工业化研究阶段。
2008年	完成了“卡林型”金矿氰化提金尾矿综合利用扩大生产系统建设	浮选回收率50%左右
2010年	对资源综合利用浮选流程进行调整	浮选回收率提高至65%左右
2011年	开展资源综合利用与预处理-炭浸提金工艺的相互影响研究	浮选回收率提高至70%以上,综合回收率达到95%以上
2012年	投资600多万元建设日处理量为5000 t/d的矿坑废水处理系统	各项指标均达到排放标准
2014年	采用浮选的技术路线回收尾矿中的金	选冶综合回收率可达95%以上,资源综合回收率达89.32%。

(注:根据收集生产数据,2015年)

## (2) 尾矿等对综合利用率的影响

水银洞金矿为提高大量低品位难选冶原生硫化物金矿石的综合利用率,开发出二段粗选中矿单独处理的“二粗二精二扫”氰化渣浮选工艺,可有效回收尾矿中的金,减少有用矿物的流失,变废为宝,矿山通过系统优化,对资源综合利用浮选流程进行调整,对浮选机等设备进行改造,同时延长氧化时间、提高预处理氧气浓度和磨矿细度等,使尾矿的金回收率提高,尾矿品位降低。经过多项措施,使得水银洞金矿尾渣品位由原来的2.54 g/t降低到0.5 g/t左右,大大提高了综合利用率,取得显著的经济效益。

## (3) 废水回用对综合利用率的影响

水银洞金矿采用催化氧化预处理工艺氧化黄

铁矿及毒砂,在回收黄金的同时也产生了大量的含砷、硫、氰化物的有毒有害废水。早期,夏国进等<sup>[5]</sup>根据水银洞金矿废水残余有用物质及其特性,开展技术研究,利用廉价的石灰固砷、硫并提高回水的pH值,石灰处理废水闭路循环工艺,大幅减少氰化钠、片碱、漂白粉、硫酸亚铁用量,处理废水后回用,降低了水消耗量和水处理成本,大大提高了水资源的综合利用率。近年来,水银洞金矿又针对预氧化提金后的硫酸钠高盐度废水,开发了阳离子膜电解硫酸钠生产酸、碱关键技术,通过电化学设计,解决硫酸钠的环保压力,实现工业废水的循环利用,生产实践证明,处理后回水可实现工业废水全部循环回用,无需外排,较好地解决了水银洞金矿水消耗量大、废水处理费用高等问

题,取得了良好的环保效益、社会效益和经济效益。

### 3 结论及建议

#### 3.1 结论

(1)水银洞金矿开采回采率的高低主要受金矿赋存状态和开采方式、采矿方法、开采技术条件等因素的限制,其中围岩的稳固性和矿体的倾斜度、矿体厚度等对开采回采率的影响较大。水银洞金矿的实际开采回采率还有提升空间。

(2)金矿选冶回收率的主要影响因素是其矿石类型、矿石品位及选冶工艺。水银洞金矿根据矿石及选冶条件的变化,改进选冶工艺、改良药剂配方、改造设备更新、改革管理措施,克服矿石品位降低的不利因素,保持较高的选冶回收率,值得同类型矿山借鉴。

(3)按照当前国家金矿共伴生矿产资源利用率指标要求,水银洞金矿在共伴生矿产资源综合利用率上没有达到国家要求,应尽快加强研究,采取措施,提高共伴生矿产资源的利用水平。

#### 3.2 建议

(1)金矿的“三率”指标既是重要的技术指

标,也是重要的经济指标。建议水银洞金矿强化对金矿“三率”指标的认识,建立数学模型,加强因素分析,加快技术革新,实施指标管控,提高金矿的采、选(冶)和资源综合利用水平,推动绿色矿山建设、综合效益提升、长期可持续发展。

(2)建议水银洞金矿继续跟踪国内外新技术,学习先进经验,围绕“三率”指标进一步改进技术工艺,细化生产管理,适应条件变化,加强指标管控,切实促进实际开采回采率、选冶回收率的稳步提高,实现共伴生矿产资源的有效利用,提高包括尾矿、废水、废气、废渣等在内的各种资源的综合利用程度。

#### [参考文献]

- [1] 冯安生. 许大纯. 矿产资源新“三率”指标研究[J]. 矿产保护与利用, 2012, (04): 4-7.
- [2] 国土资源部. 金矿资源合理开发利用“三率”指标要求(试行)[S]. 2012.
- [3] 贵州省国土资源厅. 贵州省重要矿产资源“三率”调查与评价报告[R]. 2014.
- [4] 夏国进. 提高水银洞金矿选矿回收率的生产实践[A]. 中国黄金工业改革创新高层论坛(贵州贞丰)论文集[C]. 2010.
- [5] 夏国进, 王灿荣. 水银洞金矿选矿废水回用研究及实践[A]. 中国黄金工业改革创新高层论坛(贵州贞丰)论文集[C]. 2010.

## ‘Three Rates’ Condition and Influence Factors Analyses of Shuiyindong Gold Deposit in Guizhou Province

QI Shao-feng, FENG Lin, SHI Yi

(Geological Archives of Guizhou Province, Guiyang 550002, Guizhou, China)

[Abstract] By the investigation, comprehensive analysis is made for metallogenic background, geological characteristic, ore-controlling factors, gold occurrence and the characteristic of present development and exploitation of Shuiyindong gold deposit, the measures of promoting three rates of Shuiyindong gold deposit are preliminarily discussed, and emphatically, the impacts for the mining method, dressing technique, intergrowth minerals, tailings and the likes on three rates are analyzed. Comprehensive evaluation is made for the solution on refractory method of Carlin-type gold ores and considerable economic benefits available at the same time, the beneficial space of Carlin-type gold deposits on the aspects of mining method, dressing-metallurgy technique and intergrowth minerals exploitation are put forward.

[Key words] Gold deposit; Three rates; Influence factors; Shuiyindong gold deposit; Zhenfeng; Guizhou