

河南某石英脉型金矿选矿技术

肖 骏^{1,2}, 房朝军², 陈代雄^{1,2}, 祁忠旭¹, 董艳红¹

(1. 湖南有色金属研究院 复杂铜铅锌共伴生金属资源综合利用湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410100;

2. 中南大学 资源加工与生物工程学院, 湖南 长沙 410083)

摘要:河南某岩金矿床属于国内典型的石英脉型金矿,其矿石性质兼具了国内石英脉型矿床的共性。结合其矿石性质特性,在总结了我国传统的石英脉型金矿选矿工艺流程优缺点的基础上,针对其现场生产存在的磨矿能耗高、重金属离子污染、选矿指标不高的现状,有针对性的选用高效、环保、节能的处理工艺及选矿药剂,并成功应用于该矿山生产,取得了显著的经济效益和社会效益。

关键词:石英脉型;金矿;选矿技术

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2015.04.018

中图分类号:TD 923 文献标志码:A 文章编号:1000-6532(2015)04-0073-05

我国黄金储量占世界第4位,是黄金资源大国,据统计数据报道,2012年中国黄金产量达到403.047 t,比上年提高11.66%,连续六年位居世界第一。2007年中国首次超过南非,成为世界第一产金大国。同时中国的黄金需求量仍居全球第二位,仅次于印度。金矿床的工业类型可划分为三类:岩(脉)金矿床、砂金矿床和伴生金矿床。岩金矿床的主要类型可分为石英脉型、糜棱岩型、蚀变碎裂岩型、冰长石-绢云母石英脉型(含硫酸盐及硅化岩型)、角砾岩型、矽卡岩型、微细浸染型、红土型、铁帽型和砂砾层型^[1]。统计表明:石英脉型金矿床的数量和金储量分别占中国金矿床总数量、金总储量的50%以上^[2],石英脉型是中国重要的金矿工业类型。石英脉型金矿床的金矿石主要是金-石英-金属硫化物型,按其所含金属硫化物的多寡又可进一步分为贫金属硫化物-金-石英矿石、少金属硫化物-金-石英矿石、硫化物-金-石英矿石、多金属硫化物-金-石英矿石,其中硫化物-金-石英矿石为主要矿石类型。各矿床矿石金属硫化物组台、硫化物含量随其产出地质背景、成矿控矿条件不同而异,同一矿床不同矿段亦有差别,但也有共同之处,即有用矿物主要为自然金和银金矿,矿石矿物主要为黄铁矿,

脉石矿物主要为石英^[3]。

金矿中金的品位相比于其他的金属矿较低,所以要运用选矿的方法进行富集然后再提金以降低生产成本。根据含金矿石工艺矿物学的性质不同,选用不同的处理方法。目前,黄金选矿技术已经形成了5种成熟的黄金选矿工艺流程,而石英脉型金矿生产实践中回收金资源亦全部囊括了这5种黄金选矿工艺流程。它们包括:(1)重选流程;(2)浮选流程;(3)重选-浮选工艺流程;(4)混汞-浮选工艺流程;(5)氰化浸金流程^[3]。

1 原矿性质

1.1 原样的化学组成及矿物组成

原矿多元素分析见表1,金物相分析结果见表2,主要矿物组成及相对含量见表3。

表1 多元素分析结果/%

Table 1 Multi-element analysis results of the run-of-mine ore

Au*	Ag*	Cu	Pb	As	S	Zn
3.8	31	0.072	0.42	0.02	1.43	0.038
K ₂ O	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Na ₂ O	Fe
5.78	7.88	6.52	14.74	50.11	0.21	7.45

* 单位为 g/t。

收稿日期:2014-11-13

作者简介:肖骏(1987-),男,硕士,助理工程师,主要从事选矿、选矿废水处理、选矿尾矿综合利用等技术的研究。

表2 金化学物相分析结果

Table 2 Analysis results of gold phase

物相	含量/(g·t ⁻¹)	分布/%	可能存在的矿物
自然金	1.01	26.65	已经单体解离的自然金,或已经暴露的自然金连生体
硫化物中的金	2.23	58.65	包裹或存在于黄铁矿、方铅矿等硫化物中的金
氧化物中的金	0.46	12.17	包裹或存在于赤铁矿、磁铁矿、褐铁矿等氧化物中的金
硅酸盐矿物中的金	0.09	2.53	包裹或存在于石英及硅酸盐矿物中的金
合计	3.80	100.00	

表3 原样主要矿物组成及相对含量

Table 3 Main mineral composition and its relative content of the run-of-mine ore

矿物名称	相对含量/%	矿物名称	相对含量/%
黄铁矿 (少量磁黄铁矿)	2.17	长石	2.11
方铅矿、白铅矿	0.49	云母、绿泥石	7.5
闪锌矿、菱锌矿	0.57	白云石	8.15
黄铜矿	0.04	方解石	4.96
毒砂	0.05	高岭石等粘土	6.35
赤铁矿、褐铁矿 (少量磁铁矿)	9.92	石英	54.66
硬锰矿、软锰矿、菱锰矿	0.25	其他	2.78
合计		100.00	

表1表明,矿石主要的化学成分是SiO₂,占50.11%,其次为Fe、Al₂O₃、S、CaO、K₂O、MgO等。S含量1.43%,回收对象Au平均含量3.8 g/t,Ag平均含量31 g/t。

表2表明,以自然存在的金和包裹于硫化物中的金,约占85.3%左右,这即为选矿分选矿石中金的最大理论回收率;约有12.2%的金则被碳酸盐矿物、氧化铁矿物等包裹;其他2.5%左右的金被包裹于石英及硅酸盐矿物中。

1.2 主要矿物的嵌布粒度

矿石中主要目的矿物的粒度组成及其分布特点对确定磨矿细度和制订合理的选矿工艺流程有着直接的影响。矿石中黄铁矿与金关系密切,因此,在显微镜下对黄铁矿的嵌布粒度进行了统计,同时对原

矿各粒级的金的分布率的结果见表4。由表4可以看出,主要载金矿物黄铁矿在各个粒级呈现不均匀嵌布,但金在较粗粒级较多,在光镜下亦可以看到粗粒金的存在,这对选矿过程中磨矿细度的确定有一定影响。

表4 黄铁矿和金的嵌布粒度

Table 4 The disseminated extent of pyrite and gold

粒级/mm	黄铁矿		金	
	分布率/%	累计分布率/%	分布率/%	累计分布率/%
+0.83	20.00	20.00	7.55	7.55
-0.83+0.59	8.89	28.89	9.84	17.39
-0.59+0.42	7.03	35.92	8.55	25.94
-0.42+0.30	8.00	43.92	6.52	32.64
-0.30+0.21	12.16	56.08	12.55	45.01
-0.21+0.15	14.76	70.84	8.21	53.22
-0.15+0.105	6.33	77.17	6.23	59.45
-0.105+0.074	2.38	79.55	6.04	65.49
-0.074+0.052	3.61	83.16	3.11	68.60
-0.052+0.037	3.06	86.22	15.20	83.80
-0.037+0.026	3.83	90.05	11.55	95.35
-0.026+0.019	7.45	97.50	3.06	98.41
-0.019	2.50	100.00	1.59	100.00

2 选矿关键技术及工艺流程的确定

2.1 影响选矿工艺流程的因素

由原矿性质分析可知,该岩金矿属于典型的石英脉型金矿,矿石中可供选矿回收的主要元素是金、银,品位分别为3.8 g/t和31 g/t;其他金属元素铜、铅、锌、钨的含量甚微,可不必作为综合利用的对象考虑。为达到富集回收金矿物的目的,需要选矿排除的脉石组分主要是SiO₂,其次是Al₂O₃、CaO和MgO,四者合计含量为79.25%。同时一般的石英脉型金矿普遍存在着难磨、磨矿能耗高的特点^[4]。该类型的金矿中金赋存状态主要为独立矿物相下自然金矿物和包裹于硫化矿物或以晶格取代相的存在于主要硫化矿物如黄铁矿和毒砂中。对于该类型的金矿选矿技术的开发现状很大程度上与传统的硫化矿选矿技术相近,跟矿石原矿的矿石组成,嵌布粒度及不同矿物间的嵌布关系、金矿物的赋存状态以及浮选溶液电化学性质密切相关。石英脉型金矿的选矿难点在于,金在原矿中的嵌布关系呈现出明显的不均匀嵌布,矿石中的部分金以细粒浸染态存在,

要使金充分的单体解离必须进行细磨,而石英脉型矿石普遍存在着磨矿能耗高,磨矿效率低下的现象,细磨作业更是增加了选厂电耗成本;金的比重很大,在与气泡接触粘附后容易脱落,尤其是粗粒(>0.1 mm)的自然金粒在浮选中更易掉入浮选槽内,造成贵金属流失;金具有柔韧性和延展性,磨矿时容易变成片状,而且表面往往会嵌进一些其他矿物颗粒,使其表面变粗糙,可浮性变坏^[5]。

2.2 粗磨条件下高效率重选分选设备的应用

由表 4 可看出,主要载金矿物黄铁矿在各个粒级呈现不均匀嵌布,但金在较粗粒级较多,对于粗粒级的自然金矿物的回收,原则上使用重选法在粗磨条件下预先回收,这样既能保证金矿物的回收率,又可多得到一个金精矿产品,更重要的是:在粗磨条件下预先重选,可大幅度降低选矿入选磨矿细度,避免了入选物料的过粉碎,从而大幅降低了选厂球磨能耗。这对石英脉型金矿常见的磨矿能耗高、磨矿效率低下的现状意义更为重大。对于石英脉型金矿的重选法包括跳汰机选金、溜槽选金、摇床选金、圆筒选矿机选金、螺旋选矿机选金等方式,而众多的重力选矿设备中,尼尔森离心选矿机(离心力可达到 200 g)吸取了常规重选设备的精华,消除了其缺点,并融入了许多独特的专利构思,受到了各国的青睐,其用离心方法产生的“强化重力”(目的是扩大轻重矿物之间的比重差)和添加反冲水松散重矿物床层的方法有机结合起来,成功解决了多种重选设备选矿过程中存在的重矿物床层迅速压死,没有足够的分选空间和分选时间的问题^[6],金的富集比由常规重选设备的 20~100 提高到 1000~5000;重选种类条件试验见图 1,所得试验结果见表 5。

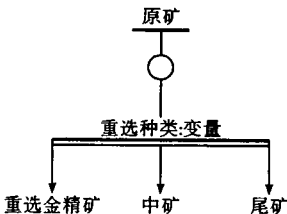


图 1 重选种类条件试验流程

Fig. 1 Condition test flowsheet of gravity concentration kinds

由表 5 可以看出,采用尼尔森离心机处理经球

磨后的原矿可获得含 Au 1621.5 g/t 的重选金砂,其富集比远高于传统的摇床等重选设备,同时其处理量大,成本低可预先处理获得高品质的金精矿。重选尾矿含 Au 3.1 g/t 左右,可作为浮选作业的给矿。

表 5 重选种类条件试验结果

Table 5 Condition test Results of gravity concentration kinds

产品名称	产率 /%	Au 品位 /(g·t ⁻¹)	Au 回收率 /%	重选种类
重选精矿	0.041	1621.500	17.679	尼尔森离心机
尾矿	99.959	3.097	82.321	
原矿	100.000	3.761	100.000	
重选精矿	20.840	8.157	44.727	摇床
中矿	11.380	4.850	9.119	
尾矿	67.780	2.285	40.751	
原矿	100.000	3.801	100.000	

2.3 新型小分子金矿物和载金矿物活化剂的应用

当前工业上应用较多的金矿物和载金矿物的活化剂还有硫酸铜、NHL、硝酸铵、硝酸铅等,其中最常见的是硫酸铜,但硫酸铜易造成重金属污染,在本研究中采用一种新型无污染小分子金矿物活化剂 SA^[7],可有效活化矿石中细粒自然金矿物及含金矿物、载金矿物。金粗选金活化剂种类条件试验流程图 2(给矿为离心重选尾矿),试验结果见表 6。

表 6 金粗选活化剂种类试验结果/%

Table 6 Result of activating agent kinds condition tests in gold rougher flotation/%

产品名称	产率 /%	Au 品位 /(g·t ⁻¹)	Au 作业回收率/%	粗选活化剂种类及用量/(g·t ⁻¹)
粗精矿	12.420	17.850	73.344	硫酸铵:100
尾矿	87.580	0.920	26.656	
原矿	100.000	3.023	100.000	
粗精矿	13.540	18.216	79.491	SA:100
尾矿	86.460	0.736	20.509	
原矿	100.000	3.103	100.000	
粗精矿	13.190	18.886	79.389	硫酸铜:100
尾矿	86.810	0.745	20.611	
原矿	100.000	3.138	100.000	
粗精矿	10.420	10.810	62.341	无
尾矿	89.580	1.309	37.659	
原矿	100.000	3.231	100.000	

由表 6 可看出,硫酸铵、SA、硫酸铜都可以显著提高粗精矿中金品位和回收率,SA 与硫酸铜活化效果基本相近,但 SA 为小分子有机活化剂,对环境无

污染,可完全取代硫酸铜。

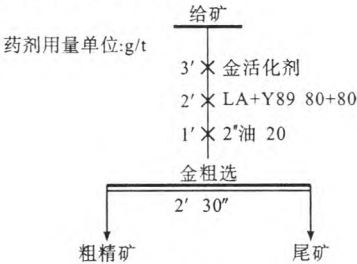


图2 粗选试验流程

Fig. 2 Condition test flowsheet of roughing flotation

2.4 应用组合捕收剂提高选矿指标

根据矿物表面由矿物表面的不均一性,使用不同捕收性能的捕收剂,对不同表面活性的矿物表面区域使用组合捕收剂捕收,增加金矿物表面捕收剂的总固着量,提高金的总回收率,提高了金矿的选矿指标^[8]。金粗选捕收剂种类条件试验流程见图2,试验结果见表7。

表7 金粗选捕收剂种类条件试验结果/%

Table 7 Condition test results of collector kinds in gold roughing flotation

产品名称	产率/%	Au 品位/(g·t ⁻¹)	Au 作业回收率/%	粗选捕收剂种类及用量/(g·t ⁻¹)
粗精矿	13.780	17.850	76.899	Y89:160
尾矿	86.220	0.857	23.101	
原矿	100.000	3.199	100.000	
粗精矿	14.011	18.162	78.594	Y89+丁胺黑药: 120+40
尾矿	85.989	0.806	21.406	
原矿	100.000	3.238	100.000	
粗精矿	13.341	19.826	80.592	Y89+LA:80+80
尾矿	86.659	0.735	19.408	
原矿	100.000	3.282	100.000	
粗精矿	12.941	19.214	78.462	LA:160
尾矿	87.059	0.784	21.538	
原矿	100.000	3.169	100.000	

由表7可看出,采用组合捕收剂 LA(酯类捕收剂)+Y89 组合所获得的金粗精矿回收率最高,所以该矿石最优捕收剂组合为 LA+Y89。

2.5 工业实践及年生产指标

根据研究成果设计选型的该矿山于 2011 年进行了扩建,新的 1000 t/d 选厂自 2012 年完成了工业试验后进入了正常的生产运营阶段。工业生产流程见图4,年生产平均生产指标见表8。

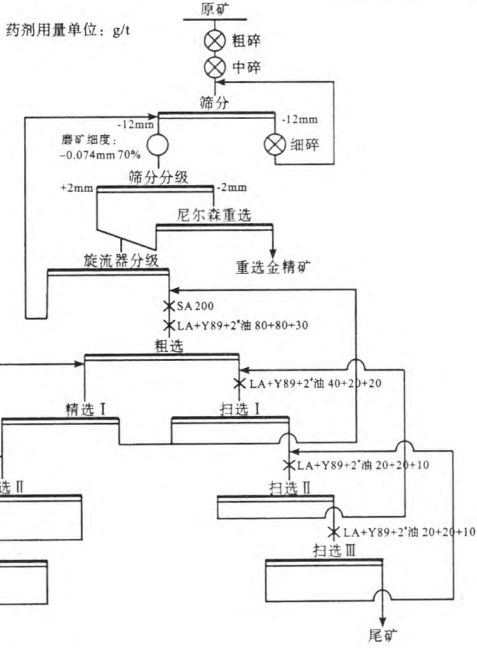


图3 2013 年工业生产流程

Fig. 3 The industrial production process in 2013

表8 2013 年工业生产平均指标

Table 8 Industrial average index in 2013

产品名称	产率/%	品位/(g·t ⁻¹)	回收率/%
重选金精矿	0.06	1289.32	21.77
重选金尾矿	99.94	2.99	78.23
浮选金精矿	5.09	53.69	71.24
总精矿	5.15	69.27	93.01
尾矿	94.85	0.281	6.99
原矿	100.00	3.82	100.00

由表8可以看出,该矿山 2013 年工业生产指标良好,在粗磨条件下使用尼尔森离心机预先回收部分粗粒嵌布的、磨矿过程中优先暴露的金矿物可预先得到一个高品位的砂金精矿。同时,在浮选作业中金活化剂 SA 的使用可取代重金属硫酸铜,组合捕收剂 LA+Y89 的使用可进一步提高金浮选作业回收率。该工业生产指标亦表明,使用“重—浮联合”工艺在合理的药剂制度及分选设备条件下可实现对石英脉型金矿资源高效、节能、环保的开发利用。

3 结 论

(1)石英脉型金矿占我国金矿床总数量、金总储量 50% 以上,对于该类型的金矿选矿技术的开发现状很大程度上与传统的硫化矿选矿技术相近,跟矿石原矿的矿石组成、嵌布粒度及不同矿物间的嵌

布关系、金矿物的赋存状态以及浮选溶液电化学性质密切相关。所以,在进行该类型金矿资源开发利用过程中需要立足于我国选矿技术发展的现状,结合国内外选矿科技最前沿,根据含金矿石工艺矿物学的性质的差异性和共性,有针对性选用和开发高效、环保、节能的处理工艺,并使之实现产业化,充分提高金资源的利用率。

(2)本研究所的矿山为我国典型的石英脉型金矿,研究针对其原矿特点,使用“重—浮联合”工艺,在粗磨的条件下采用尼尔森离心选矿机回收粗粒级的金矿物,在获得一个高品质的金精矿产品的基础上,大幅降低了磨矿能耗。

(3)SA 可完全取代传统的硫酸铜,在不影响选矿指标的基础上,降低了选厂重金属离子污染。LA+Y89 组合捕收剂可进一步提高金浮选过程中矿物表面的捕收剂总固着量,进而提高金的总回收率。

(4)该技术可推广至当前占国内金矿矿山数量和金储量半数以上的石英脉型金资源开发利用过程中,对提高我国难选冶金矿的高效环保节能开发利

用提供了新的途径。

参考文献:

- [1]邵军. 中国石英脉型金矿床地质特征[J]. 贵金属地质, 1998, 7(3): 172-179.
- [2]邵晓东, 李景春. 中国金矿床主要工业类型及其分布特征[J]. 贵金属地质, 2000, 9(3): 166-170.
- [3]侯凯, 谢贤, 童雄, 等. 我国金矿床的工业类型及选矿研究方法[J]. 矿产综合利用, 2014(4): 9-14.
- [4]余胜利. 围岩强蚀变黄铁矿型金矿的浮选研究[D]. 长沙: 中南大学, 2013.
- [5]王作兴. 捕收剂在自然金表面吸附的电化学机理研究[D]. 长沙: 中南大学, 2012.
- [6]黄利明; 鲁尔勒·默吉阿; 安得烈·罗伯特·拉帕兰德. 用尼尔森离心选矿机从克拉哈贝勒选厂磨矿回路中回收铂族金属和黄金[J]. 有色金属, 2006(3): 21-26.
- [7]肖骏, 陈代雄, 覃文庆. 某伴生金硫化铅锌矿浮选试验研究[J]. 有色金属: 选矿部分, 2014(4): 20-23.
- [8]陈代雄, 肖骏, 杨建文. 提高矽卡岩型多金属硫化矿伴生贵金属回收的研究[J]. 有色金属: 选矿部分, 2014(5): 53-57.

Research on Beneficiation Technology for a Quartz-vein Type Gold Ore in Henan

Xiao Jun^{1,2}, Fang Chaojun¹, Chen Daixiong¹, Qi Zhongxu¹, Dong Yanhong¹

(1. Hunan Provincial Key Laboratory of Complex Copper Lead Zinc Associated Metal Resources

Comprehensive Utilization, Hunan Research Institute of Non-ferrous Metals, Changsha, Hunan, China;

2. School of Minerals Processing and Bioengineering, Central South University, Changsha, Hunan, China)

Abstract: A rock gold deposit which is located in Henan province is a typical domestic quartz-vein type gold deposit. The gold ore have the same characteristics of the most domestic quartz-vein type gold deposits. Based on the advantage and disadvantage of the conventional mineral processing flowsheet for the quartz-vein type gold ore, combined with the characteristics of the ore, aimed at the existence of high energy consumption of the grinding, the heavy metal ions pollution and low dressing index, high-efficient, environmental and energy-saving processing technology and mineral processing reagents were selected and applied to the mine production, which achieves obvious economical and social benefits.

Keywords: Quartz-vein type; Gold ore; Beneficiation technology