

紫金山特大型低品位金矿选矿工艺流程论述

袁国才*

摘 要:紫金山金矿为一特大型金矿。为发挥规模效益,业主拟建成全国最大、世界级、现代化矿山。本文根据该矿的特定条件,拟定可能采用的几种选矿工艺流程方案,进行技术经济比较后择优推荐。

关键词:特大型金矿 选矿流程 方案比较

福建紫金山金铜矿床是我国“八五”期间探明的一特大型矿床,下部为大型铜矿,金矿是铜矿上部氧化带中的次生低品位金矿。经过地质普查、详查和生产勘探工作,查明该金矿为特大型金矿,储量为4316.9万t矿石,金73027kg,平均品位1.69g/t。矿石可选性研究、选矿工艺试验以及小规模的生产实践均表明,紫金山金矿虽然品位很低,但矿石成分简单,氧化程度高,渗透性能好,选别指标高,属易选易浸矿石。经过几年的开发建设,矿山规模不断扩大。前几年采矿为坑采,原矿品位较高,选矿工艺简单,为粗放型生产。1998年初,该矿被国家黄金局列为重点扶持发展的矿山之一。为加快开发步伐,发挥规模效益,业主拟建成露采规模10000t/d,选矿规模表内矿10000t/d,表外矿5000t/d(用现有设施处理表外矿,表外矿为露采剥离的部分废石)。本文根据原矿性质、技术条件和选矿试验情况,对紫金山金矿选矿工艺流程进行选择论证。

1 原矿性质

1.1 矿石类型

紫金山金矿床为原生含金硫化矿床经表生作用所形成的次生富集金矿。金矿的次生富集与金属硫化物矿化强度、氧化作用特点和氧化带的发育程度有直接的关系。

氧化带中,在铜的工业矿体受到较彻底破坏的同时,矿石中的伴生金形成次生富集金矿,从而显现出“上金下铜”的矿床分带。

矿石的自然类型分为花岗岩型、隐爆碎屑岩型、构造岩型和英安玢岩型,这4类矿石分别各占总矿石量的31%、22%、31%与16%。工业类型属氧化次生金矿石,为低品位贫矿石。其主要的矿物组合为石英—褐铁矿—自然金组合,其次有石英—褐铁矿、针铁矿—自然金组合。

1.2 矿石的工艺矿物学特性

金矿石矿物成分比较简单。脉石矿物含量一般大于93%,以石英为主(含量一般小于90%),其次为地开石及其它粘土矿物(占3%左右),偶见明矾石、绢云母等。金属矿物含量一般为3%~5%,主要为褐铁矿、针铁矿、微量黄钾铁矾、少量氧化残余的硫化物(黄铁矿、蓝辉铜矿、铜蓝等)。矿石中存在一定数量的自然金。

金矿石化学成分简单,以 SiO_2 为主,含量一般均在90%以上,平均93.83%,有少量 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 ,其它成分微量。

矿石中大量的金呈可见的自然金出现,部分呈次显微状,主要赋存于褐铁矿中。裂隙金占77%、晶隙金占15%、包裹金占8%。自然金的形状以粒状为主,部分呈片状、树枝状和不规则状。自然金粒度以中粗

* 南昌有色冶金设计研究院高级工程师 江西南昌 330002

粒为主。

金矿体中伴生有用组分铅、锌、铜、硫、钼、汞含量甚微,达不到综合利用的指标,银含量较均匀,也较低,有害元素砷低于允许指标。

矿石结构为包含状。矿石构造复杂,有胶状、蜂窝状、团包状、角砾状、脉状、网脉状、浸染状等。

2 试验研究

2.1 选矿试验

地质勘查阶段进行过实验室堆浸试验、

现场堆浸喷淋小型试验和中试,以及实验室重选和全泥氰化提金试验,1987~1992年历次试验结果见表1。

1997年4~7月,紫金矿业集团公司又委托地矿部郑州矿产综合利用研究所对紫金山金矿进行了提金试验研究,目的是探讨细粒级采用炭浆法处理,粗粒级采用堆浸法处理的流程形式及工艺格局。

选矿试验按两种方案进行。方案1:10~25mm堆浸,-10mm炭浆;方案2:2~25mm堆浸,-2mm炭浆。原矿品位1.71%。试验矿样破碎粒度为-25mm。

表1 1987~1992年紫金山金矿石历次试验结果

序号	试验方法	试验单位	样重(kg)	原矿品位(g/t)	矿石粒度(mm)	pH值	NaCN浓度(%)	NaCN用量(kg/t)	浸出时间(d)	金浸出率(%)	试验日期
1	塔式堆浸	河南地矿局岩矿测试中心	20	2.17	-20	11	0.033~0.07	0.375	29	90.8	1987.2~4
2	塔式堆浸	河南地矿局岩矿测试中心	20	2.48	-20	11	0.086~0.045	0.375	29	91.9	1987.2~4
3	柱浸	地矿部郑州综合利用所	550	1.49	-20	10~11	0.07	0.45	20	96.93	1998.8至1989.1
4	柱浸	地矿部郑州综合利用所	50	1.07	-20	10~11	0.07	0.45	20	91.33	1988.8至1989.1
5	筑堆喷淋	闽西地质大队八分队	8000	2.22	-25	9~12	0.037~0.083	0.51	29	73.10	1988
6	堆淋中试	地矿部“低品位金矿堆淋技术咨询中心”与紫金矿业集团公司	2012t	2.55	-25	10~14	0.02~0.05	0.255	72 因雨季延长	86.55	1992.3~5
7	重选试验	福建省地矿局三明选矿试验室	4.05	4.05						54.371	1992.9
8	全泥氰化	同上		4.05	-74μm 75%	10.5		2.4	1	99.15	1992.9

注:金的吸附率均为-10mm炭浆法金的实际吸附率

表2 提金试验最终指标(%)

流程方案	工艺	浸出率	吸附率	总回收率
方案	10~25mm堆浸	80.94	99.15	80.25
	-10mm炭浆法	96.76	99.15	95.94
	合计	92.05	99.15	91.27
方案	2~25mm堆浸	79.89	99.15	79.21
	-2mm炭浆法	97.62	99.15	96.79
	合计	89.42	99.15	88.66

试验结果表明,紫金山金矿属易浸氧化

矿石,提金试验按两种方案进行,均获得了较好指标。矿石中存在少量的粗粒金不影响氰化浸出,为防止粗粒金丢失,而采用重选是没有必要的。两种工艺方案指标表明,分级下限为2mm与10mm相比,前者总浸出率比后者低2.61%,但从经济效益考虑,前者可能比后者优越。2mm分级具有减少投资,提高效益的优势。

紫金山金矿1998年初将原铜选矿厂改

造为金矿炭浆厂。1998年11月,紫金山金矿炭浆厂与长春黄金研究院、长春黄金设计院共同进行了全泥氰化炭浸工业试验。试验条件及结果见表3。

表3 炭浆厂工业试验结果(%)

原矿品位(g/t)	磨矿细度(-74 μ m)	矿浆浓度	矿浆pH值	NaCN用量(kg/t)	浸出率	吸附率
1.75	85	40	10.5~12	0.45	92	98

与此同时,炭浆厂与长春黄金研究院对磨矿细度与浸出时间进行了实验室验证试验。结果表明,矿石易浸,浸出速率较快,磨矿细度对氰化浸出指标影响很大。最佳磨矿细度为-74 μ m85%,最佳浸出时间为24h。该条件下浸出率可达94.4%。

2.1 试验结果评述

紫金山金矿从1987~1992年先后进行过可选性试验、小规模野外堆浸试验、工业中间堆浸试验。1997年由郑州综合所完成了细粒级炭浸、粗粒级堆浸的工艺试验。1998年业主与长春黄金研究院、设计院共同进行炭浆厂工业试验。综合分析各阶段各类试验结果,尽管其规模及深度不同,但主要技术指标及主要工艺参数均比较接近,重现性较好,说明试验结果和结论是比较可信、可靠的。这为建设大规模的选矿厂确定合理的工艺提供了依据,对今后的生产也有一定的指导意义。但有些工艺条件,如堆浸的最佳矿石粒度、浸出时间及堆场高度,尚未进行系统的试验研究。

3 选矿工艺流程方案比较

众所周知,选矿工艺流程推荐的原则是技术先进、工艺成熟、生产可靠、经济效益好。流程方案比较的实质是在投资、生产成本、设备利用率、技术性能、经济指标诸因素之间综合权衡,以寻求合理性和适应性。任何一种工艺流程都不是万能的。合理性是相对的,是有前提,有存在条件的。根据紫金山金矿的矿石特性和技术条件,参考迄今

为止完成的各类选矿试验和现场生产实践,同时借鉴国内外矿石性质相类似的生产厂的实践资料,认为该矿可能采用的选矿工艺流程有以下几个方案:

第一方案:常规破碎,全堆浸。即露采采出的矿石经破碎至-25mm后全部堆浸。

第二方案:破碎洗矿,洗出的细粒级矿石(矿泥)炭浸;粗粒级矿石堆浸。

第三方案:矿石破碎至-25mm进行筛分,-2mm左右的细粒级矿石(约20%)磨矿炭浸;2~25mm粗粒级矿石(约80%)堆浸。

第四方案:矿石一段破碎后进自磨,自磨排矿进行筛分,筛下约50%的矿石进炭浸,筛上50%矿石进堆浸。

根据矿石的氧化程度、赋存状态及嵌布特性,紫金山金矿显然不适宜浮选。其粒度以中粗粒为主,似乎可考虑重选。但重选环节多、效率低、难以获得最终产物,鉴于本矿建设规模特大,且试验结果表明,中粗粒浸出率很高,故没有必要采取重选。紫金山金矿堆浸与炭浸的指标均较好,与国内外许多低品位氧化金矿具有相似特点,即破碎后细粒级部分矿石金品位高,金属占有率比粗粒级高得多(产率相同的情况下),这为破碎分级后分别用炭浸与堆浸工艺处理提供了条件。但进炭浸与堆浸的矿石之间的合适比例应视原矿品位高低来确定。堆浸比炭浸投资省、工艺简单、成本低。当原矿品位较高时,有条件增大炭浸的处理量。反之,原矿品位越低,炭浸处理量应越小或不能采用。

第四方案在国外有些大型金矿得以采用。但必须是矿石品位相当才能显示其优越性。虽然该方案综合回收率高,但因全部矿石要经一段破碎加自磨,约一半矿石进球磨炭浸,投资和成本亦相当高,此方案经分析即可排除。近年来现场生产的情况表明,堆浸与炭浸的回收率之差约为20%,而生产

成本之差为 52 ~ 55 元/t 矿石。将第一与第二、第三方案经济指标对比结果列于表 4。

表 4 选矿工艺流程方案比较

可比项目	单位	一方案 (三段破碎, 全堆浸)	二方案 (破碎洗矿,10 % 炭浸,90 %堆浸)	三方案 (三段破碎,20 % 炭浸,80 %堆浸)
矿石处理量	万 t/a	306	306	306
综合回收率	%	67.97	72.09	75.95
相对投资	万元	基数	+ 320	+ 750
产金量	kg/a	3348.61	3551.59	3741.75
收入	万元/a	24277	25749	27128
选矿成本	万元/a	4590	5753	7772
可比利润	万元/a	基数	+ 309	- 331

注:入选原矿品位均按 1.61g/t;第二方案磨机利用已有设备,未计投资。

从表 4 可知,第二方案最优,其次为第一方案,最次为第三方案。从经济效益角度考虑,紫金山金矿原矿品位低,似乎适宜全堆浸,但由于其为氧化矿,有一定的原生粉矿(尤其是采场上部矿石粉矿甚多),破碎过程亦会产生一些粉矿,几年来的生产实践表明,泥矿较严重地影响了矿石的渗透性,导致浸出率降低。现场进行的露采矿石渗透性测定结果表明,原矿渗透性 $12.4\text{L}/\text{m}^2\cdot\text{d}$,去除矿泥(-74 μm)渗透性大大提高,为 $287.5\text{L}/\text{m}^2\cdot\text{d}$ 。因此,处理紫金山金矿,必须先筛除粉矿,使其与粗粒级矿石分离后分别处理。如前所述,地矿部郑州综合利用所进行过粗粒级与细粒级分别处理的试验,按两个方案进行,即方案 1:10 ~ 25mm 堆浸,-10mm 炭浆;方案 2:2 ~ 25mm 堆浸,-2mm 堆浸,均获得了较好指标。该试验是将矿石破碎至 -25mm 再进行筛分分离,细粒级矿石须全部磨细至 -74 μm 80% ~ 85%后炭浸。结合紫金山金矿生产实际情况,以及目前的金价,对细粒级矿石而论,炭浸比堆浸高出的回收率,不足以抵销增加的生产成本及投资。且实际生产过程中,欲通过筛分,筛出 -2mm 细粒级矿石,操作难度

大,筛分效率低。

4 推荐的工艺流程

对上述可能采用的三个工艺流程方案进行技术经济综合分析比较,可见第一方案投资省、成本低,但由于其中泥矿对浸出率有较大的不利影响,故不适宜采用。第三方案投资和成本均高,也不宜采用。第二方案体现了第一方案和第三方案的优点,又弃除了这两个方案的不足之处。矿石粗碎后洗矿,矿泥炭浸,矿石堆浸,对于进堆浸的粗粒级矿石而言,筛洗过程去除了大部分矿泥,有利于提高浸出率,对于细粒级而言,由于是筛洗的产物,前面作业消耗的成本不高,这里增加一段磨矿(相当于再磨),即可达到 -74 μm 85%的细度,处理这部分矿石的工艺流程比常规的炭浆工艺流程投资和成本都低。另外,这部分泥矿品位较高,能满足炭浸的要求,通过炭浸能获得较高回收率。两种产物的处理工艺相得益彰。所以采取这一流程是合理的、较佳的。本文推荐第二流程方案,即原矿破碎洗矿,洗后的细粒级矿泥磨矿炭浸,粗粒级矿石堆浸。