

某高纬度寒冷地区低品位铜矿资源综合利用试验研究

王沐芝¹,杨晓龙²,苗 雨³,解 钊¹

(1. Kichi - Chaarat 封闭式股份公司; 2. 中国黄金集团有限公司; 3. 中国黄金集团内蒙古矿业有限公司)

摘要:某高纬度寒冷地区低品位铜矿由原生硫化铜矿、次生硫化铜矿和氧化铜矿组成,且矿石性质随矿体深度逐渐变化。在自然温度、中温或酸性条件下,原生硫化铜矿中砷黝铜矿及黝铜矿、次生硫化铜矿及氧化铜矿易于浸出。针对浅部低品位铜矿,在温度 13 ℃ ~ 23 ℃ 条件下对其进行常温硫酸柱浸 34 d,而后在加入浸矿菌、温度 -23 ℃ ~ 30 ℃ 条件下进行中温生物氧化柱浸试验,铜浸出率可达 65.01 %。在矿石粒度 -50 mm,柱浸时间 288 d 条件下,对中深部低品位铜矿进行扩大试验,铜浸出率达 41.66 %。

关键词:原生硫化铜;次生硫化铜;氧化铜;硫酸浸出;生物氧化柱浸;低品位

中图分类号:TD923 TF111

文章编号:1001 - 1277(2024)08 - 0085 - 04

文献标志码:A

doi:10. 11792/hj20240814

引 言

铜矿资源开发过程易产生大量现有技术条件下不能经济利用的低品位铜矿,这部分矿石只能作为废石堆存于排土场。尤其是高纬度寒冷地区,由于环境恶劣,矿石利用率大大降低。截至 2016 年末,某高纬度寒冷地区露天开采境界内堆存的低品位铜矿总量达到 2.6 亿 t,平均铜品位 0.154 %,铜金属量 40 万 t。这些长期堆积的低品位铜矿逐年被雨水和空气氧化,形成酸性液体,不仅造成资源浪费,还会污染环境。绿水青山就是金山银山,保护矿区周边环境,建设绿色环保矿山刻不容缓^[1-4]。本文对该高纬度寒冷地区浅部、北矿段及混合段低品位铜矿开展小型及扩大试验,选别指标良好,为高效开发利用低品位铜矿资源提供参考依据。

1 矿石性质

1.1 化学成分分析

由于该高纬度寒冷地区低品位铜矿的矿石性质变化较大,故针对浅部、北矿段及混合段 3 个具有代表性的矿点取样^[5]。该低品位铜矿化学成分分析结

果见表 1。

表 1 低品位铜矿化学成分分析结果

Table 1 Analysis results of chemical composition of low-grade copper ore

矿样							%
	Cu	As	Pb	S	Fe	Zn	
浅部	0.240	0.16	<0.005	4.44	4.30	0.02	
北矿段	0.169	0.006	0.014	1.59	2.60	0.03	
混合段	0.172	0.006	0.006	1.77	2.56	0.025	
矿样							%
	CaO	Mo	MgO	C	SiO ₂	Al ₂ O ₃	
浅部	0.16	0.005	0.43	0.15	71.94	11.30	
北矿段	0.59	0.024	0.47	0.12	73.97	12.30	
混合段	0.49	0.018	0.42	0.12	74.36	12.14	

由表 1 可知:随着深度变化,该低品位铜矿性质变化较大。其中,浅部铜品位 0.240 %,含有害元素砷 0.16 %;北矿段铜品位 0.169 %,含有害元素砷 0.006 %;混合段铜品位 0.172 %,含有害元素砷 0.006 %。

1.2 物相分析

浅部、北矿段及混合段 3 个矿点的低品位铜矿铜物相分析结果见表 2。

表 2 铜物相分析结果

Table 2 Analysis results of copper phase

相别	浅部		北矿段		混合段		%
	w(Cu)	分布率	w(Cu)	分布率	w(Cu)	分布率	
次生硫化铜矿(辉铜矿、铜蓝等)	0.130	54.20	0.035	20.71	0.04	23.26	
氧化铜矿(孔雀石、蓝铜矿等)	0.051	21.40	0.009	5.33	0.01	5.81	
原生硫化铜矿(黄铜矿、砷黝铜矿、黝铜矿等)	0.059	24.40	0.125	73.96	0.122	70.93	
总铜	0.240	100.00	0.169	100.00	0.172	100.00	

由表 2 可知:该低品位铜矿铜物相组成主要为次生硫化铜矿(辉铜矿、铜蓝等)、氧化铜矿(孔雀石、蓝铜矿等)、原生硫化铜矿(黄铜矿、砷黝铜矿、黝铜矿等)等。其中,浅部低品位铜矿以次生硫化铜矿为主,占 54.20 %;其次为氧化铜矿与原生硫化铜矿,分别占 21.40 %与 24.40 %。北矿段低品位铜矿以原生硫化铜矿为主,占 73.96 %;其次为次生硫化铜矿与氧化铜矿,分别占 20.71 %与 5.33 %。混合段低品位铜矿以原生硫化铜矿为主,占 70.93 %;其次为次生硫化铜矿与氧化铜矿,分别占 23.26 %与 5.81 %。

综上所述,北矿段、混合段矿石性质差异较小,故后续对其进行混合试验,统称为中深部低品位铜矿。

1.3 铜矿物嵌布状态分析

铜矿物嵌布状态分析结果见表 3。

表 3 铜矿物嵌布状态分析结果

Table 3 Analysis results of the dissemination status of copper minerals

嵌布状态		分布率/%	
		浅部	中深部
包裹铜	黄铁矿包裹铜	1.84	4.15
	脉石矿物包裹铜	7.36	6.48
	脉石矿物粒间铜	31.57	
粒间铜	黄铁矿粒间铜	7.35	89.37
	金属矿物与脉石矿物粒间铜	10.48	
裂隙铜	脉石矿物裂隙铜	41.40	
合计		100.00	100.00

由表 3 可知:浅部低品位铜矿中铜矿物以粒间铜为主,其中,脉石矿物粒间铜占 31.57 %,黄铁矿粒间铜占 7.35 %,金属矿物与脉石矿物粒间铜占 10.48 %,合计占 49.40 %;其次为裂隙铜,占 41.40 %;少量包裹铜,占 9.20 %;而中深部低品位铜矿主要为粒间铜、裂隙铜,合计占 89.37 %。

1.4 矿物组成及粒度分析

浅部低品位铜矿中金属矿物占 7.53 %,其中金属硫化矿物占 7.29 %,主要为黄铁矿,其次为辉铜矿、铜蓝、黄铜矿、砷黝铜矿、黝铜矿、斑铜矿、方铅矿、闪锌矿等;金属氧化物占 0.24 %,主要为孔雀石、蓝铜矿等;脉石矿物占 92.47 %,主要为石英,其次为长石、高岭土、绢云母、白云母、伊利石、金红石等。中深部低品位铜矿中金属矿物主要为黄铁矿,其次为黄铜矿、铜蓝、辉铜矿、砷黝铜矿等;脉石矿物主要为石英、钾长石及绢云母等。该矿石属于混合低品位铜矿。浅部低品位铜矿粒度大多分布在 0.030 ~ 0.370 mm,而中深部低品位铜矿粒度多分布在 - 0.053 mm。

2 结果与讨论

由矿石性质分析及探索试验结果可知,浅部低品位铜矿与中深部低品位铜矿性质差异较大,所需试验条件不同,故将二者分开选别。查阅资料可知,矿物晶格能顺序依次为原生硫化铜矿(黄铜矿、砷黝铜矿、黝铜矿等) > 次生硫化铜矿(辉铜矿、铜蓝等) > 氧化铜矿(孔雀石、蓝铜矿等)。由于铜矿物晶格能越高,其稳定性就越高,故在中温生物氧化作用下,晶格能越低的铜矿物越容易被氧化,从而有利于浸出^[6-10]。根据以往试验结果,该矿石中暴露的部分次生硫化铜矿及氧化铜矿可被酸性溶液溶解,故对其进行常温硫酸柱浸—中温生物氧化柱浸试验^[11-12]。

2.1 柱浸时间

2.1.1 浅部低品位铜矿

在温度 13 ℃ ~ 23 ℃ 条件下对浅部低品位铜矿进行常温硫酸柱浸 34 d,而后在加入浸矿菌、温度 - 23 ℃ ~ 30 ℃ 条件下进行中温生物氧化柱浸(4#柱)试验,考察柱浸时间对浅部低品位铜矿铜浸出率的影响,并与其他条件相同但未加入浸矿菌情况下的标准组(1#柱)对比,试验结果见图 1。

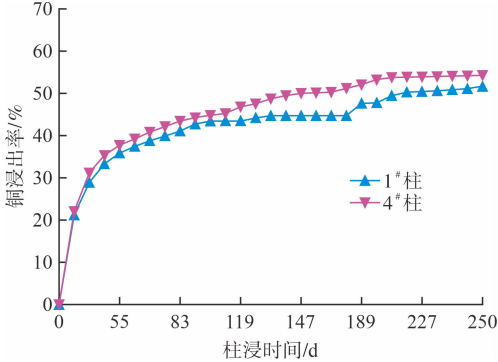


图 1 柱浸时间对浅部低品位铜矿铜浸出率的影响
Fig.1 Effects of column leaching time on the copper leaching rate of shallow low-grade copper ore

由图 1 可知:该低品位铜矿在常温硫酸柱浸—中温生物氧化柱浸试验过程中,铜浸出率随着柱浸时间的延长而增长,前段常温硫酸柱浸时间直到 34 d 趋于稳定,中温生物氧化硫酸柱浸试验直到 250 d 趋于稳定;且在同等条件下,加入浸矿菌的 4#柱的铜浸出率比未加入浸矿菌的 1#柱高,以渣计的铜浸出率高出约 9.90 %,这主要是因为部分铜矿物被中温生物氧化。故前段常温硫酸柱浸时间选择 34 d 为宜,后续加入浸矿菌条件下的中温生物氧化柱浸时间选择 250 d 为宜。

2.1.2 中深部低品位铜矿

参考浅部低品位铜矿小型柱浸试验研究成果,在矿山开展了中深部低品位铜矿扩大试验研究。试验过程中,定期抽取浸出液检测相关参数,维持试验最

佳条件。试验结果见图2。

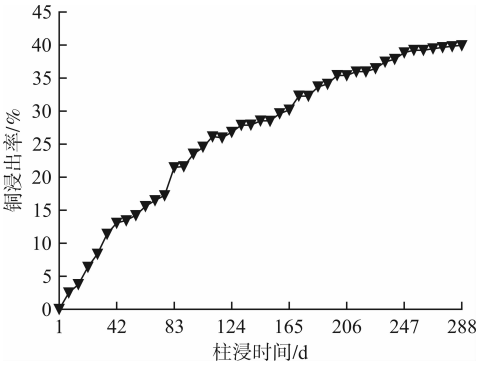


图2 柱浸时间对中深部低品位铜矿铜浸出率的影响
Fig.2 Effects of column leaching time on the copper leaching rate of medium-deep low-grade copper ore

由图2可知:中深部低品位铜矿在柱浸试验过程中,铜浸出率随着柱浸时间的延长而增长,但在柱浸后期,铜浸出率增长不再明显,故柱浸时间选择288 d为宜。

2.2 矿石粒度

2.2.1 浅部低品位铜矿

由上述试验可知,加入浸矿菌有利于提高铜浸出率。矿石粒度对铜浸出率具有较大影响,故分别选取-10 mm、-30 mm、-50 mm、-100 mm粒度的浅部低品位铜矿在温度13℃~23℃,矿浆pH值1.2~1.5,滴淋强度0.039 L/(m²·h)条件下对该低品位铜矿进行常温硫酸柱浸34 d,而后在23℃~30℃,柱浸时间250 d条件下进行中温生物氧化柱浸,考察矿石粒度对铜浸出率的影响。试验结果见表4。

表4 浅部低品位铜矿柱浸试验结果
Table 4 Test results of column leaching for shallow low-grade copper ore

柱号	矿石粒度/ mm	常温硫酸柱浸		中温生物氧化柱浸
		浸出柱型号	铜浸出率/%	
2 [#]	-10	φ0.23 m×1.5 m	25.50	62.54
3 [#]	-30	φ0.23 m×1.5 m	22.33	65.01
4 [#]	-50	φ0.23 m×1.5 m	21.55	64.60
5 [#]	-100	φ0.23 m×1.5 m	20.20	54.72

由表4可知:矿石粒度对铜浸出率影响较大,在常温硫酸柱浸过程中,随着矿石粒度的增加,该浅部低品位铜矿的铜浸出率逐渐降低,在-100 mm达到最低,即为20.20%;而在后续中温生物氧化柱浸过程中,随着矿石粒度的增加,该低品位铜矿的铜浸出率呈现先增加后下降趋势,在-30 mm达到最高,铜浸出率为65.01%。

2.2.2 中深部低品位铜矿

在矿石质量0.433 t,液固比2:15,滴淋强度

13 L/(m²·h),柱浸时间288 d条件下,对中深部低品位铜矿进行扩大试验研究,考察矿石粒度对铜浸出率的影响。试验结果见表5。

表5 中深部低品位铜矿柱浸试验结果
Table 5 Test results of column leaching for medium-deep low-grade copper ore

柱号	矿石粒度/mm	浸出柱型号	铜浸出率/%
B4	-150	φ0.5 m×1.5 m	36.33
B5	-100	φ0.5 m×1.5 m	37.40
B6	-50	φ0.5 m×1.5 m	41.66

由表5可知:矿石粒度对铜浸出率影响较大,随着矿石粒度的增加,该中深部低品位铜矿的铜浸出率逐渐降低,在-150 mm达到最低,为36.33%。这与浅部低品位铜矿的变化一致。

3 结 论

1)该低品位铜矿铜物相分析表明,铜矿物均由原生硫化铜矿、次生硫化铜矿和氧化铜矿组成,铜矿石性质随矿体自上而下逐渐变化。

2)加入浸矿菌可以提高铜浸出率,浅部低品位铜矿在矿石粒度-30 mm,常温硫酸柱浸34 d,中温生物氧化柱浸250 d条件下,铜浸出率可达65.01%。

3)中深部低品位铜矿在矿石粒度-50 mm,柱浸时间288 d条件下,铜浸出率达41.66%。

[参 考 文 献]

[1] 温建康.生物冶金的现状与发展[J].中国有色金属,2008(10):74-76.

[2] 肖巍,赵玉龙,赖春华,等.氧化铜矿浮选技术进展[J].矿产保护与利用,2023,43(5):32-41.

[3] 王双才,李元坤,史光大,等.氧化铜矿的处理工艺及其研究进展[J].矿产综合利用,2006,27(2):37-39.

[4] 刘媛媛,张学锋.复杂氧化铜矿堆浸生产实践[J].有色金属(冶炼部分),2019(8):38-42.

[5] 长春黄金研究院.某矿山含铜废石生物堆浸提铜试验研究报告[R].长春:长春黄金研究院,2014.

[6] 厦门紫金矿冶技术有限公司.某低品位铜矿石堆浸预可行性研究试验报告[R].厦门:厦门紫金矿冶技术有限公司,2017.

[7] 长春黄金研究院有限公司.某矿山低铜废石环境污染预防及资源综合回收扩大试验研究[R].长春:长春黄金研究院有限公司,2020.

[8] 高昭伟,曹成超,李耀山,等.高钙型低品位铜矿酸性浸出动力学研究[J].矿冶工程,2021,41(6):170-173.

[9] 范道焱,林海彬,伍赠玲,等.硫化铜矿生物堆浸过程中的覆堆技术研究[J].有色金属(冶炼部分),2019(5):1-6.

[10] 胡凯建,吴爱祥,王洪江,等.产氨菌化学诱变及浸出低品位铜矿试验研究[J].中南大学学报(自然科学版),2016,47(10):3289-3294.

[11] 余靖冉,乌仁格格,宋娜.混合细菌浸出低品位铜矿的研究[J].化工管理,2016(8):178,180.

[12] 刘新星,王龙,谢建平,等.低品位氧化铜矿柱浸试验研究[J].矿冶工程,2016,36(1):83-87,91.

Experimental study on the comprehensive utilization
of low-grade copper ore resources in a high-latitude cold region

Wang Muzhi¹, Yang Xiaolong², Miao Yu³, Xie Zhao¹

(1. Kichi – Chaarat Closed Stock Company; 2. China National Gold Group Co., Ltd.;
3. Inner Mongolia Mining Co., Ltd., China National Gold Group Co., Ltd.)

Abstract: The low-grade copper ore in a high-latitude cold region consists of primary copper sulfide ore, secondary copper sulfide ore, and copper oxide ore. The ore properties gradually change with the depth of the ore body. Under natural temperature, medium temperature, or acidic conditions, tennantite and tetrahedrite in the primary copper sulfide ore, secondary copper sulfide ore, and combined copper oxide ore are easily leached. For shallow low-grade copper ore, sulfuric acid column leaching in atmospheric temperature was conducted at temperatures of 13 ℃ – 23 ℃ for 34 d, followed by medium-temperature bio-oxidation column leaching with leaching bacteria added at temperatures of – 23 ℃ – 30 ℃, achieving a copper leaching rate of 65.01 % . For medium-deep low-grade copper ore, a pilot test was conducted under conditions of ore particle size – 50 mm and a column leaching time of 288 d, achieving a copper leaching rate of 41.66 % .

Keywords: primary copper sulfide ; secondary copper sulfide ; copper oxide; sulfuric acid leaching; bio-oxidation column leaching; low grade

.....
(上接第 84 页)

Improvement of deoxygenation tower packing in zinc powder replacement process

Li Meili, Li Ning, Chen Mingze, Liang Bingzheng

(Shandong Gold Smelting Co., Ltd.)

Abstract: To solve the problem of high oxygen content in the deoxygenated pregnant liquid after long-term use of the deoxygenation tower in the zinc powder replacement process, this paper mainly conducts a series of studies on the packing types and loading methods of the deoxygenation tower in a gold smelting plant. Through in-depth comparison and analysis of multiple process indicators such as deoxygenation rate, replacement of barren liquid, and grade of gold mud, it was found that using polypropylene Pall Ring packing instead of plastic point wave packing can significantly alleviate the problem of clogging of gaps after calcium deposition of the packing, improve the deoxygenation performance of the deoxygenation tower, significantly reduce zinc powder consumption, lower the grade of precious metals in replacement barren liquid, and improve the grade of gold mud. The improvement of packing has extended the service life of the deoxygenation tower, reduced the interference of base metal elements on the gold mud smelting process, and achieved significant economic benefits.

Keywords: deoxygenation tower; packing; Pall Ring; zinc powder replacement; cyanide leaching of gold