

金川硫化铜镍矿选矿工艺改造实践

丁良忠, 代宗, 贺志青

(金川集团股份有限公司, 甘肃 金昌 737100)

摘要: 金川某矿区硫化铜镍矿中氧化镁含量高, 主要以蛇纹石为主。生产实践表明, 在现有的工艺流程下, 精矿氧化镁含量波动大, 超标严重, 尾矿金属品位高、损失大, 严重影响选矿厂的经济效益。为提高生产指标, 在流程考察基础上对现有的工艺流程进行技术改造。改造后生产结果表明, 高精氧化镁含量小于 6.8%, 镍回收率提高至 87% 以上, 铜回收率提高至 79% 左右, 精矿品质和金属回收率都有较大提高, 给选矿厂带来良好的经济效益。

关键词: 金川硫化铜镍矿; 选矿; 技术改造; 生产实践

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2022.01.023

中图分类号: TD952 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2022) 01-0168-05

镍和铜金属被广泛的应用于各个行业中, 尤其在全球气候变暖的环境下, 国内外都在推动清洁能源使用, 而镍和铜是三元电池和新能源汽车所必需的金属, 可以预见未来对镍和铜需求会更大^[1-2]。我国镍矿石以硫化镍矿石为主, 金川硫化铜镍矿是国内最大的硫化铜镍矿床^[3]。随着金川公司的发展, 选矿厂现矿石年处理量已经步入 1000 万 t, 为降低成本、提高生产指标, 近年来选矿厂采取了一系列的措施, 并取得了良好的效果^[4-7]。但由于原矿性质复杂、氧化镁含量高等原因, 选矿厂某系统现有的工艺流程已不能保证精矿质量和回收率。因此, 工艺技术改造迫在眉睫。

1 原矿性质

该系统处理的硫化铜镍矿由两部分组成, 一部分金属品位较高, 另一部分金属品位较低。两部分中的镍矿物主要以镍黄铁矿、紫硫镍矿为主, 铜矿物主要以黄铜矿、方黄铜为主。其他金属矿物主要包括黄铁矿、磁黄铁矿、磁铁矿和菱铁矿等。非金属矿物主要为蛇纹石、橄榄石、绿泥石、角闪石及古铜辉石等。低品位矿石多组分分析结果见表 1, 矿石中镍和铜的物相见表 2、

3; 高品位矿石多组分分析结果见表 4, 矿石中镍和铜的物相见表 5、6。

表 1 低品位矿石多组分分析结果/%

Table 1 Multi component analysis results of low grade ore							
Ni	Cu	Co	Fe	Mn	Ti	Cr	SiO ₂
0.82	0.63	0.025	11.29	0.087	0.16	0.22	34.51
Al ₂ O ₃	CaO	MgO	C	S	Na ₂ O	P	/
5.23	5.66	21.95	0.99	4.06	0.75	0.022	/

表 2 低品位矿石镍化学物相

Table 2 Chemical phases of nickel in low grade ores				
物相	氧化镍	硫化镍	其他镍	总镍
含量/%	0.001	0.79	0.034	0.825
占有率/%	0.12	95.76	4.12	100.00

表 3 低品位矿石铜化学物相

Table 3 Chemical phases of copper in low grade ores					
物相	氧化铜	墨铜矿	硫化铜	其他铜	总铜
含量/%	0.001	0.027	0.593	0.011	0.632
占有率/%	0.16	4.27	93.83	1.74	100.00

表 4 高品位矿石多组分分析结果/%

Table 4 Multi component analysis results of high grade ore							
Ni	Cu	Co	Fe	Mn	Ti	Cr	SiO ₂
1.47	1.26	0.024	14.23	0.1	0.13	0.26	29.72
Al ₂ O ₃	CaO	MgO	C	S	Na ₂ O	P	/
3.00	2.81	25.78	0.93	5.48	0.16	0.047	/

收稿日期: 2021-01-01

作者简介: 丁良忠 (1984-), 男, 工程师, 主要研究方向为铜镍矿选矿。

表 5 高品位矿石镍化学物相
Table 5 Chemical phases of nickel in high grade ores

物相	氧化镍	硫化镍	其他镍	总镍
含量/%	0.003	1.46	0.016	1.479
占有率/%	0.20	98.72	1.08	100.00

表 6 高品位矿石铜化学物相
Table 6 Chemical phases of copper in high grade ores

物相	氧化铜	墨铜矿	硫化铜	其他铜	总铜
含量/%	0.003	0.17	1.09	0.002	1.265
占有率/%	0.24	13.44	86.17	0.16	100.00

根据以上原矿性质分析可知，该铜镍矿为硫化铜镍矿，且高品位矿石中墨铜矿含量较高，对铜的回收不利。

2 现行工艺流程存在问题及工艺考察

2.1 工艺流程及存在问题

该矿石处理方式两段磨浮流程，矿石一段磨矿后经一粗两精获得高品位精矿，粗选尾矿与一段一次精选尾矿进行二段磨矿，经一粗三精两扫获得低品位精矿和最终尾矿。采用阶磨阶选可以减少矿石过粉碎，有效地降低精矿中的杂质含量，提升精矿品质。其工艺流程和药剂制度见图 1。生产实践表明，在图 1 所示工艺流程和药剂制度下，二段二次精选作业长期冒矿，浮选系统不稳定。2020 年 2~5 月生产指标见表 7。

表 7 工艺改造前生产指标

Table 7 Production index before process transformation

时间	高精			低精		尾矿		回收率/%	
	镍品位/%	铜品位/%	氧化镁/%	镍品位/%	铜品位/%	镍品位/%	铜品位/%	镍	铜
二月	7.11	5.78	7.64	3.92	2.33	0.21	0.33	84.43	72.12
三月	6.56	4.99	9.93	4.32	3.28	0.19	0.28	85.7	75.3
四月	6.35	5.49	9.3	4.18	2.06	0.19	0.25	86.11	79.18
五月	7.66	6.09	7.7	5.21	2.17	0.2	0.34	83.83	68.55

2.2 工艺考察

为了查明原因、解决问题，主要从抑制剂和工艺流程两方面进行了考察，但抑制剂的小型实验室试验没能取得理想指标。因此进行了工艺流程考察，以期提高精矿品质和回收率。

针对高精氧化镁严重超标问题，对一段二次精选作业进行取样分析。一段二次精选配置 7 台浮选机，对每台浮选机泡沫逐台取样，分析每台浮选机精矿的金属品位和氧化镁含量，完成局部

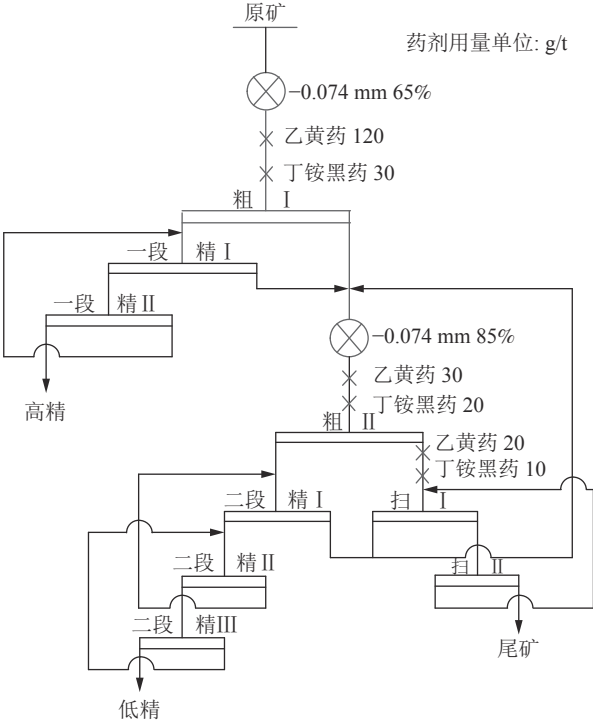


图 1 改造前工艺流程

Fig.1 Technological process before transformation

由表 7 可知，系统存在问题为：①高精中氧化镁含量高于 7%，高于冶炼要求的 6.8%，导致精矿品质低，不能满足冶炼需求；②尾矿中金属品位高，金属回收率低。以上两个问题，严重影响选厂经济效益。因此，进行指标优化迫在眉睫。

流程考察。取样工作进行三天，取样三次，分析结果见表 8。

由表 8 可知，一段二次精选后三台浮选机产出精矿氧化镁含量高，基本都超过 6.8%，甚至第二次取样分析最后一台浮选机产出精矿氧化镁含量达到了 20.22%。这表明最后三台浮选机产出精矿是导致高精氧化镁含量的重要原因。

以上数据和分析表明一段二次精选流程长、浮选时间长，导致高精氧化镁严重超标。

表 8 一段二次精选作业分析结果

Table 8 Analysis results of secondary cleaning operation in Section one

采样点	第一次指标分析/%			第二次指标分析/%			第三次指标分析/%		
	Ni	Cu	MgO	Ni	Cu	MgO	Ni	Cu	MgO
一段二精1	9.91	8.32	4.97	9.43	7.65	3.84	10.16	9.66	3.39
一段二精2	8.23	5.25	8.59	9.95	6.46	4.87	10.28	8.24	3.7
一段二精3	7.59	2.77	9.36	9.53	5.15	6.45	11.03	6.92	4.03
一段二精4	6.07	1.72	12.3	8.62	4.14	7.94	11.23	6.19	4.27
一段二精5	4.75	1.29	13.42	5.9	2.29	9.91	9.21	2.83	6.52
一段二精6	3.88	1.06	13.54	4.32	1.84	15.9	7.64	2	7.3
一段二精7	3.6	1.06	14.19	2.29	1.3	20.22	5.41	1.34	9.4

针对尾矿金属含量高, 金属回收率低的问题, 对二段精选作业进行局部流程考察。二段精选为三次精选作业, 其中二段二次精选作业配备 5 台浮选机, 二段三次浮选机配备 3 台浮选机, 二段二次精选的泡沫通过吸浆管自吸给入二段三次精选第一台浮选机。对二段二次精选和三次精选进行流程考察分析, 取样工作进行三天, 取样三次, 化验结果见表 9。

由表 9 可知, 除了第二次采样低精镍品位较低, 其他两次镍品位都大于 5.2%, 第一次低精镍

品位达到了 6.85%。经过操作控制, 二段二次产出精矿已可以满足冶炼需求, 三次精选作业虽然提高了精矿品位, 但导致更多金属进入中矿循环, 不利于提高回收率。在生产过程中由于二段二次精选的泡沫产量较大, 导致二段三次精选吸浆式浮选机吸浆能力不足, 造成二段二次精选作业长期冒矿。以上问题导致浮选流程不稳定、较多金属进入中矿循环, 是尾矿中金属损失大、金属回收率偏低的主要原因。

表 9 二段精选作业分析结果

Table 9 Analysis results of second stage cleaning operation

采样点	第一次指标分析/%		第二次指标分析/%		第三次指标分析/%	
	Ni	Cu	Ni	Cu	Ni	Cu
二段二精1	4.33	2.62	2.26	1.52	7.47	3.11
二段二精2	3.11	1.98	2.04	1.39	4.35	1.76
二段二精3	2.75	1.8	2.14	1.45	3.32	1.2
二段二精4	2.95	1.85	1.71	1.25	2.45	0.97
二段二精5	3.17	2.02	1.67	1.25	2.45	0.93
二段三精1	2.72	1.68	4.8	2.5	6.12	2.46
二段三精2	2.39	1.55	2.98	1.72	4.59	1.75
二段三精3	1.8	1.34	2.2	1.45	3.76	1.4
低精	6.8	3.79	3.47	2.05	5.2	1.42

3 技术改造方案及实践

根据原矿性质可知, 原矿中氧化镁含量较高。对一段二次精选作业进行分析可知, 一段二次精选流程较长, 浮选时间较长, 导致高精氧化镁居高不下。对二段精选作业分析可知, 二段采用两次精选便可得到满足冶炼要求的低品位精矿, 三次精选加长了浮选流程, 导致更多金属进入中矿循环, 且三次精选吸浆式浮选机吸浆能力不足, 导致浮选系统不稳定, 不利于提高回收率。

根据表 8、9 数据所得分析结果, 提出了以下技术改造方案: ①将一段二次精选由 7 台浮选机配置改为 4 台浮选机配置, 后 3 台作为精扫选, 精扫选精矿返回一段二次精选, 精扫选尾矿返回一段一次精选, 缩短浮选流程和浮选时间, 降低高精氧化镁含量; ②将二段二次精选和二段三次精选合并, 拆除二段三次精选吸浆管, 将二段二次作业浮选机增加至 8 台, 使二段精选作业由三次精选改为两次精选, 减少进入中矿的金属, 提高回收率。技术改造后的工艺流程见图 2。2020 年

6~7 月份生产指标见表 10。工艺改造后部分生产指标见图 3。

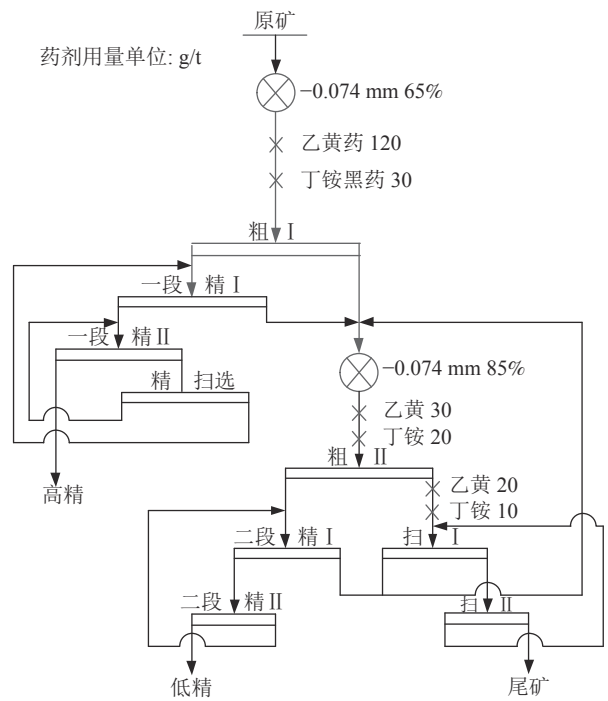


图 2 改造后工艺流程
Fig.2 Technological process after transformation

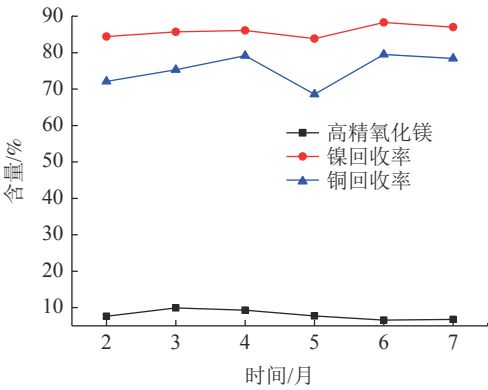


图 3 部分生产指标统计
Fig.3 Statistics of some production indexes

由图 3、表 10 可知，经过技术改造后，高精氧化镁保持在 6.8% 以下，尾矿中镍品位降至 0.18% 以下，铜品位降至 0.28% 以下，镍回收率提高至 87% 以上，铜回收率提高至 79% 左右，并彻底解决二段二次精选作业冒矿的问题。相比工艺改造之前，浮选系统更加稳定，生产指标有了较大幅度提高，完成了指标要求，提高了金属回收率。

表 10 工艺改造后生产指标
Table 10 Production index after process transformation

时间	高精			低精		尾矿		回收率/%	
	镍品位/%	铜品位/%	氧化镁/%	镍品位/%	铜品位/%	镍品位/%	铜品位/%	镍	铜
六月	7.99	7.04	6.57	4.46	3.06	0.17	0.28	88.28	79.49
七月	7.18	6.49	6.75	5.43	2.43	0.18	0.26	87.01	78.38

以上分析表明，工艺改造后流程的优点在于：①使浮选系统更加流畅，有利于生产指标的稳定；②降低了高精氧化镁含量，满足了冶炼需求；③提高了金属回收率，减少了尾矿中金属的损失。因此，此次工艺技术改造达到了目标要求，为选厂带来了可观的经济效益，亦可为同类型硫化铜镍矿选矿技术改造提供一定的借鉴。

4 结 语

(1) 采用原始工艺流程，由于原矿氧化镁含量高，一段二次精选流程长、浮选时间长，导致高精氧化镁超标；二段精选次数多，较多金属进入中矿循环；二段二次精选作业长期冒矿，系统不稳定，导致尾矿金属品位高、回收率低。

(2) 采用改造后工艺流程，对一段二次精选浮选机重新配置，缩短浮选流程，减少浮选时间，高精氧化镁含量小于 6.8%；将二段二次精选与二段三次精选合并，减少二段精选次数，镍回收率提高至 87% 以上，铜回收率提高至 79% 左右。工艺改造后，浮选系统稳定，精矿品质和金属回收率都有较大提高。

(3) 未来仍要加强原矿工艺矿物学研究、新药剂研发和新工艺的探索，不断优化、提高生产指标，做到应收尽收，进一步提高选厂的经济效益和社会效益。

参考文献：

[1] 殷仁述, 杨沿平, 谢林明, 等. 新能源汽车动力电池对有色金属资源需求预测[J]. 资源与产业, 2016, 18(5):85-91.

YIN R S, YANG Y P, XIE L M, et al. New energy vehicle power battery demand forecast for non-ferrous metal resources[J]. Resources and Industry, 2016, 18(5):85-91.

[2] 邹邦坤, 丁楚雄, 陈春华. 锂离子电池三元正极材料的研究进展[J]. 中国科学:化学, 2014, 44(7):1104-1115.

ZOU B K, DING C X, CHEN C H. Research progress of ternary cathode materials for lithium-ion batteries[J]. Science in China:Chemistry, 2014, 44(7):1104-1115.

[3] 谢杰, 胡春梅. 国内外硫化铜镍矿选矿现状及未来发展方向[J]. 矿产保护与利用, 2018(5):149-156.

XIE J, HU C M. Current status and future development direction of copper-nickel sulfide ore beneficiation at home and abroad[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2018(5):149-156.

[4] 刘钊, 张明, 刘洋, 等. $\phi 5.5\text{m} \times 8.5\text{m}$ 大型溢流球磨机衬板结构优化研究[J]. 矿山机械, 2020(8):71-73.

LIU Z, ZHANG M, LIU Y, et al. Research on the optimization of the liner structure of the $\phi 5.5\text{m} \times 8.5\text{m}$ large overflow ball

mill[J]. Mining Machinery, 2020(8):71-73.

[5] 杨文彪, 张永梅. 粗精再磨工艺在某高铜镍比矿石选矿中的研究及应用[J]. 矿产综合利用, 2020(3):121-125.

YANG W B, ZHANG Y M. Research and application of rough concentrate and regrinding technology in beneficiation of a high copper nickel ratio ore[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2020(3):121-125.

[6] 陈伟, 吴越. 六偏磷酸钠对低品位硫化铜镍矿浮选降镁的影响[J]. 矿冶, 2020, 29(2):34-37.

CHEN W, WU Y. Effect of sodium hexametaphosphate on magnesium reduction by flotation of low-grade copper-nickel sulfide ore[J]. Mining and Metallurgy, 2020, 29(2):34-37.

[7] 刘广龙. 金川硫化镍铜贫矿石选矿工艺研究[J]. 铜业工程, 2011(4):1-11.

LIU G L. Study on the beneficiation process of Jinchuan nickel-copper sulfide lean ore[J]. Copper Industry Engineering, 2011(4):1-11.

Technical Transformation and Productive Practice of Mineral Processing Flowsheet about Jinchuan Copper-Nickel Sulfide Ore

Ding Liangzhong, Dai Zong, He Zhiqing

(Mineral Processing Plant of Jinchuan Group Co., Ltd., Jinchang, Gansu, China)

Abstract: Content of MgO in Jinchuan copper-nickel sulfide ore is high, mainly serpentine. The production quota show that the content of MgO was fluctuates greatly in concentrate and exceeds the standard seriously, and the metal grade is high in tailings and the metal loss is large under the current technological process, which seriously affects the economic benefits of the concentrator. In order to improve the production target, the existing process flow was reformed on the basis of process investigation. The production results show that the content of MgO in high grade concentrate is less than 6.8%, the nickel recovery rate is increased to more than 87%, and the copper recovery rate is increased to about 79% after technical transformation. The concentrate quality and metal recovery rate are greatly improved, which brings good economic benefits to the concentrator.

Keywords: Jinchuan copper-nickel sulfide ore; Mineral Processing; Technical transformation; Productive practice