

低铜型高冰镍常压浸出工艺探索

王宏岩, 曹敏

(中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

[摘要] 随着新能源的发展,以低铜型高冰镍为原料制备电池级硫酸镍的工艺逐步成为当前的主流工艺之一,对低铜型高冰镍常压浸出工艺的探索对后续工程应用有重要的指导意义。本文开展了低铜型冰镍两段常压浸出工艺试验,探究了一段常压浸出中酸矿比和富氧空气流速对浸出效果的影响,以及二段常压浸出中总酸矿比、浸出温度以及氧气浓度变化对总浸出效果的影响。试验结果表明,一段常压浸出中,酸矿比建议控制在 250~300 kg/t,增大富氧空气流速对浸出率影响不大,在富氧空气低流速下进行浸出更加经济;二段常压浸出中,总酸矿比增加会降低终点 pH 值,当终点 pH 值低于 2 时,金属相镍、钴浸出率均能达到 98%,当浸出温度在 75℃ 以上时,再升温对冰镍的浸出影响较小;氧气浓度的增加对浸出有促进作用,但考虑 40% 富氧浓度条件下金属相镍、钴浸出率均在 98% 以上,所以并不建议提高氧气浓度来追求更好的浸出效果。

[关键词] 低铜冰镍; 常压浸出; 酸矿比; 金属相浸出

[中图分类号] TF815 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2097-2423(2025)06-0042-08

DOI: 10.19610/j.cnki.cn10-1873/tf.2025.06.007

0 引言

随着新能源的飞速发展以及电动汽车的广泛推广,以镍、钴、锂为主要成分的三元锂离子电池以其优异的性能在诸多领域有着广泛应用^[1-3]。电池级硫酸镍是三元锂电池的主要生产原料,来源于红土镍矿产出的 MHP^[4-5]、镍矿产出的高冰镍^[6-7]、金属镍以及废旧电池回收^[8-9],其中 MHP 和高冰镍是主要来源。以高冰镍为原料进行相关精炼逐步成为当前电池级硫酸镍的主流生产工艺之一。

传统硫化矿产出的冰镍含有较高的铜(>1.5%),以此类冰镍为原料的浸出冶炼工艺通常为两段常压浸出-两段加压浸出综合工艺^[10],该工艺在金川和吉镍都有成功的应用。而以红土镍矿为原料产出的冰镍主要为低铜型冰镍,几乎不含铜(<

0.5%),以此类冰镍为原料的浸出工艺研究目前较少,因此,对该原料进行相关浸出工艺研究对后续的工程有一定的指导意义。

本文针对低铜型高冰镍进行两段常压浸出相关工艺参数的探索研究,在一段常压浸出中,通过调整酸矿比、富氧空气流速等参数,寻找最佳浸出条件为后续萃取造液;在二段常压浸出中,探索优化总酸矿比、反应温度以及氧气浓度;最终得到两段常压浸出优化工艺及对应的工艺参数。目前该优化工艺已经应用于国内及韩国某高冰镍项目。

1 试验

1.1 试验原料

原料为韩国某高冰镍项目所使用原料,主要成分见表 1。由表 1 可以看出,该冰镍中近乎不含铜,镍占比很高,金属相比比例约为 52.89%。

对低铜冰镍原料进行了 XRD 检测,结果如图 1 所示。由图 1 可知,此次的低铜冰镍特征峰以 Ni_3S_2 为主,金属镍对应的特征峰也较为明显, Fe_3O_4 对应特征峰稍弱一些;此外,还有极少量的 CuFeS_2 特征峰,表明此冰镍主成分为 Ni_3S_2 和 Ni,同时含少量的 Fe_3O_4 和极少量的 CuFeS_2 。

经检测,原料粒度为 $\text{D}_{80}:30\ \mu\text{m}$ 。对原料中的硫进行分析,主要结果见表 2。由表 2 可以看出,原料中的硫以硫化物的形式存在于 NiS (主要为 Ni_3S_2

[收稿日期] 2025-09-16

[作者简介] 王宏岩(1991—),男,江苏赣榆人,硕士,工程师,主要从事镍钴铜的湿法冶炼工艺和三元前驱体合成工艺的研究工作。

[引用格式] 王宏岩,曹敏.低铜型高冰镍常压浸出工艺探索[J].绿色矿冶,2025,41(6):42-49.

WANG Hongyan, CAO Min. Exploration of leaching under atmospheric pressure process of low-copper nickel matte [J]. Sustainable Mining and Metallurgy, 2025, 41(6): 42-49.

表1 高冰镍主要成分

成分	Ni	Co	Fe	Cu	P	Si	MNi	MCo	MFe	MCu
含量	72.45	1.56	7.21	0.08	0.0073	0.058	47.5	1.08	4.31	0.0009

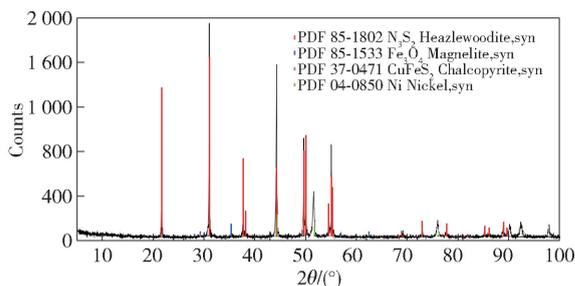


图1 低铜冰镍 XRD 图

表2 冰镍中硫各物相的占比

物相	硫化物	硫酸盐	单质硫	总硫
占比	15.39	0.10	0.01	15.5

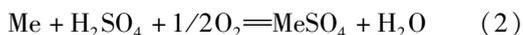
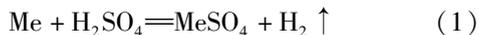
和 Ni) 和 CuFeS_2 中。

1.2 浸出工艺

本文主要探索常压浸出段各工艺参数对浸出效率的影响,采用的浸出工艺如图2所示。高冰镍与纯水混合,配成浆液后送至一段常压浸出工序,同硫酸和氧气发生反应,获得浸出浆液;该浆液经浓密沉降后,一段浸出浓密底流送至二段常压浸出,溢流外送进行萃取精炼;二段常压浸出中,一段浸出浓密底流同硫酸和氧气发生反应,彻底浸出冰镍中的金属相,浸出浆液经浓密后,底流送至加压浸出工序进行镍的选择性浸出,最后得到的浆液经压滤后,滤液返至一段常压浸出工序,而滤渣外送至渣处理系统。

1.3 低铜型高冰镍的常压浸出反应原理

低铜型高冰镍在常压浸出过程中主要是金属相的镍、钴、铁、铜(Me代表Ni、Co、Cu、Fe)和酸、富氧空气之间的反应,主要反应见式(1)~(2)。



同时金属铜也会与其他金属发生置换反应,之后被氧化为 Cu_2O , Ni_3S_2 也会同酸、铜离子以及富氧空气发生反应,而 FeS 会与酸反应,生产有毒的 H_2S 气体,需在体系中维持一定量的铜离子浓度抑制 H_2S 的产生,主要反应见式(3)~(8)。

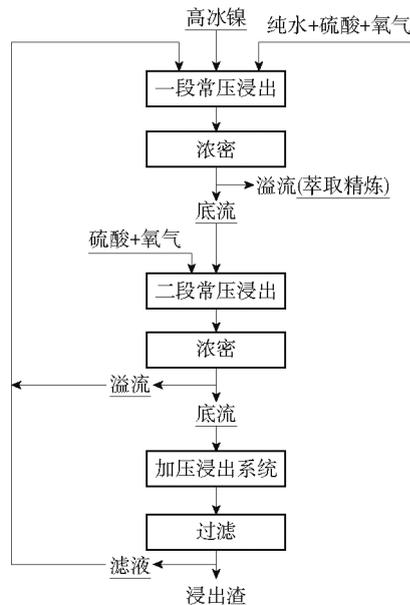
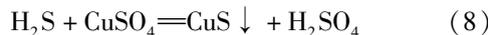
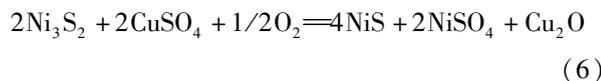
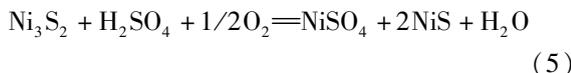
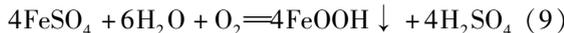


图2 低铜型冰镍浸出工艺



浸出的铁离子会在一段常压浸出中水解沉淀,然后在二段浸出中被酸溶解,主要反应见式(9)~(10)。



1.4 试验方法

一段常压浸出:称量 100 g 原料放到烧杯中,加入一定量的水浆化,将液固比调整到 8:1,然后加入一定量的浓硫酸(98%),反应搅拌速率为 1 000 r/min,反应温度 85 ℃,浸出过程以一定的流速通入 40% 的富氧空气,反应时间为 8 h。反应结束后,测量浸出浆液的 pH 等相关参数,然后进行过滤、洗涤、干燥,取样检测滤液和滤渣的成分。

根据浸出渣成分计算浸出率见式(11)。

$$\text{浸出率} = 1 - \frac{m_{\text{一段常压浸出渣金属总质量}}}{m_{\text{原料金属总质量}}} \times 100\% \quad (11)$$

根据浸出液数据计算浸出率见式(12)。

浸出率 =

$$\frac{m_{\text{一段常压浸出液金属质量}} + m_{\text{一段常压浸出渣洗液金属质量}}}{m_{\text{原料金属总质量}}} \times 100\% \quad (12)$$

根据浸出渣成分计算金属相浸出率见式(13)。

$$\text{浸出率} = 1 - \frac{m_{\text{一段常压浸出渣金属的金属相质量}}}{m_{\text{原料金属的金属相质量}}} \times 100\% \quad (13)$$

二段常压浸出:将一段常压浸出渣加入烧杯中,加入一定量的水进行浆化,将液固比调整到6:1,然后加入一定量的硫酸进行反应,反应搅拌速率为1 000 r/min,维持一定的反应温度,浸出过程以一定的流速通入富氧空气或者纯氧,反应时间10 h。反

应结束后,测量浸出浆液的pH值等相关参数,然后进行过滤、洗涤、干燥,取样检测滤液和滤渣的成分。根据浸出渣成分计算浸出率,所用公式与上述相同。

2 结果与讨论

2.1 一段常压浸出

2.1.1 酸矿比的影响

在浸出温度85℃,液固比8:1,搅拌速率1 000 r/min,以800 mL/min速度通入40%富氧空气,反应时间8 h条件下,探索不同酸矿比(100 kg/t、120 kg/t、160 kg/t、200 kg/t、240 kg/t、280 kg/t)对浸出率、终点pH值、离子浓度及渣率的影响,结果见表3。

表3 不同酸矿比对一段常压浸出终点pH值、离子浓度和浸出率的影响

酸矿比/ kg·t ⁻¹	终点 pH	浸出液离子浓度/mg·L ⁻¹					浸出渣洗液离子浓度/mg·L ⁻¹					浸出率(采用浸出液数据计算)/%			
		Ni	Co	Fe	Cu	P	Ni	Co	Fe	Cu	P	Ni	Co	Fe	Cu
100	6.06	4 100	0.97	0.40	0	0.19	981	0.29	0.36	0	0.09	5.84	0.09	0.008	≈0
120	5.95	5 170	1.52	0.55	0	0.20	2 310	1.03	0.45	0	0.09	4.81	0.06	0.008	≈0
160	6.02	7 710	2.95	0.76	0	0.28	2 110	1.22	0.38	0	0.09	8.53	0.18	0.011	≈0
200	6.04	9 430	2.71	0.50	0	0.28	2 040	1.01	0.37	0	0.09	10.38	0.17	0.009	≈0
240	5.85	10 530	3.17	0.43	0	0.38	2 800	1.20	0.37	0	0.09	13.17	0.21	0.009	≈0
280	5.81	13 940	3.73	0.42	0	0.19	3 360	1.21	0.38	0	0.09	17.05	0.23	0.009	≈0

由表3可以看出,当酸矿比由100 kg/t增大到280 kg/t时,浸出终点pH值先增加后逐步降低,在酸矿比280 kg/t时达到最低5.81;同时浸出液中的镍、钴浓度随着酸矿比增大而升高,在酸矿比280 kg/t时镍浓度为13.94 g/L,钴浓度3.73 mg/L;镍、钴的浸出率也随之升高,当酸矿比为280 kg/t时镍浸出率为17.05%,钴浸出率为0.23%。同时,溶液中Cu²⁺的浓度均低于检测限值0.05 mg/L,且铁和磷离子浓度均低于1 mg/L。

对浸出渣进行了取样检验,以式(11)计算镍和钴的总浸出率,以式(13)计算镍、钴、铁、铜的金属相浸出率,结果如图3所示。由图3可以看出,随着酸矿比的增加,渣含镍量和金属镍含量均在逐渐降低,钴虽有浸出,但浸出量较少。

综上所述,一段常压浸出工序中,镍和铁的浸出率随着酸矿比增加逐步升高,而钴浸出率较低,且通过对比金属相浸出率和总浸出率,可以发现一段常压浸出中镍、钴的浸出以金属相反应为主。随着酸矿比的增加,酸的投入量加大,因原料中硫化物常压下不与酸反应,酸的加入量不足以浸出所有的金属

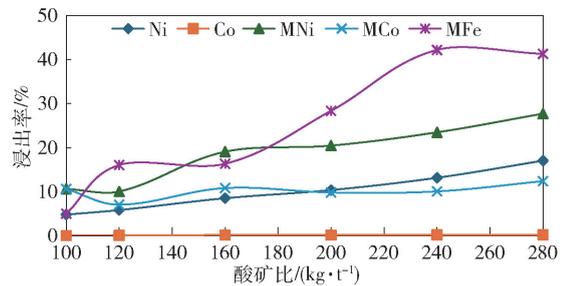


图3 不同酸矿比对镍、钴、金属镍、金属钴和金属铁浸出率的影响(以浸出渣计)

相,又因镍和铁的活性强于铜,更易与酸发生反应,故主要是金属相镍和铁浸出率上升;此外,因原料中钴含量非常少,加入的酸优先遇上金属镍和铁,并发生反应。

2.1.2 富氧空气通入速率的影响

在浸出温度85℃,液固比8:1,搅拌速率1 000 r/min,酸矿比200 kg/t,反应时间8 h条件下,探索40%富氧空气不同流速(0.2 L/min、0.5 L/min、0.8 L/min和1.3 L/min)对浸出率、终点pH值和离子浓度的影响,结果见表4。

表4 不同气体流速对一段常压浸出终点 pH 值、离子浓度和浸出率的影响

气体流速/ 终点		浸出液离子浓度/(mg·L ⁻¹)						浸出渣洗液离子浓度/(mg·L ⁻¹)					浸出率(基于浸出液计算)/%			
L·min ⁻¹	pH	Ni	Co	Fe	Cu	P	Si	Ni	Co	Fe	Cu	P	Ni	Co	Fe	Cu
1.3	5.85	9 630	2.07	0.78	0	<0.5	7.91	2 350	1.08	2.80	0	<0.5	10.42	0.14	0.045	0.00
0.8	6.04	9 430	2.71	0.50	0	0.28	6.56	2 040	1.01	0.37	0	0.09	10.38	0.17	0.009	0.00
0.5	5.86	9 110	2.58	0.50	0	<0.5	7.75	2 380	1.16	0.8	0	<0.5	11.18	0.18	0.016	0.00
0.2	5.85	8 880	2.65	0.52	0	<0.5	7.87	2 460	1.09	0.85	0	<0.5	11.07	0.17	0.015	0.00

由表4可以看出,当富氧空气流速由0.2 L/min增大至1.3 L/min时,浸出终点pH值一直稳定在5.8左右,同时溶液中的镍浓度逐渐升高,在流速1.3 L/min时镍浓度为9.63 g/L。镍、钴浸出率随气体流速增加并未有较大变化。整个试验过程中,浸出液中铜浓度依旧低于检测值0.05 mg/L,且铁和磷离子浓度均<1 mg/L。

对浸出渣进行取样检验,以式(11)计算镍、钴、铁、铜的总浸出率,以式(13)计算镍、钴、铁的金属相浸出率,结果如图4所示。

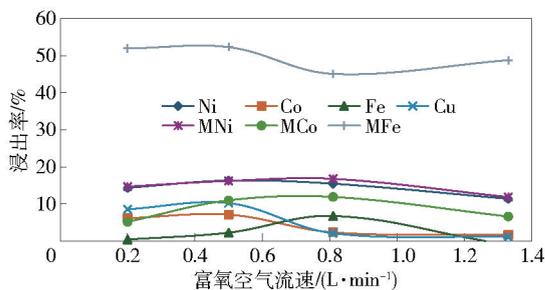


图4 不同气体流速对镍、钴、铁、铜、金属镍、金属钴和金属铁浸出率的影响(以浸出渣计)

从图4可发现,40%富氧空气流速在0.2~1.3 L/min之间变化对冰镍中各金属的浸出率并

未有较大影响,对金属相的镍、钴、铁等元素也同样未有较大影响,金属镍、钴、铁浸出率分别在15%、5%和45%左右。

尽管增大富氧空气流速可以提高溶液中溶解氧的量,但一段常压浸出需保证溶液的高pH值,为萃取造液,所以该步骤投入的酸量较少,通入的氧气量均高于反应需氧量,所以金属镍、钴、铁可以充分地有限的酸和溶解氧进行反应,故其流速大小并不影响冰镍各元素浸出率。因金属铁的活性比金属镍、钴强,加入的酸优先与铁反应,故铁的浸出率高于镍、钴浸出率。

2.2 二段常压浸出

考虑到两次常压浸出过程中,以浸出液数据进行总浸出率计算会有较大误差,因此二段常压浸出的浸出率主要基于渣数据计算。

2.2.1 总酸矿比的影响

控制浸出温度85℃,液固比6:1,搅拌速率1000 r/min,以800 mL/min速度通入40%富氧空气,反应10 h,探索不同总酸矿比(一段常压浸出和二段常压浸出总投入酸量和原料的比值,分别为965 kg/t、1 111 kg/t、1 190 kg/t)对浸出率、终点pH值、离子浓度的影响,结果见表5。

表5 不同总酸矿比对二段常压浸出终点 pH 值、离子浓度和浸出率的影响

总酸矿比/ (kg·t ⁻¹)	终点 pH	浸出液离子浓度/(mg·L ⁻¹)						洗液离子浓度/(mg·L ⁻¹)					
		Ni	Co	Fe	Cu	P	Si	Ni	Co	Fe	Cu	P	Si
1 190	1.39	44 770	1 170	6 370	57.21	<0.5	46.75	1 830	46.67	256.87	3.11	<0.5	13.13
1 111	1.54	53 670	1 540	8 370	80.06	<0.5	54.23	2 450	63.82	366.3	4.63	<0.5	13.84
965	1.97	56 090	1 360	8 060	28.97	<0.5	55.53	1 870	43.04	268.61	1.47	<0.5	10.91

由表5可以看出,当总酸矿比由965 kg/t增大到1 190 kg/t时,浸出终点pH值在逐步降低,在酸矿比1 190 kg/t时达到最低1.39,同时浸出液中的镍浓度也随着酸矿比增大而降低,在酸矿比965 kg/t时镍浓度为56.09 g/L,钴浓度1.36 g/L;浸出液中

铜和铁浓度也较一段常压浸出有了很大的升高,磷离子浓度仍低于1 mg/L。

对浸出渣进行了取样分析,以式(11)计算镍、钴、铁、铜的总浸出率,以式(13)计算金属相镍、钴、铁浸出率,结果如图5所示。

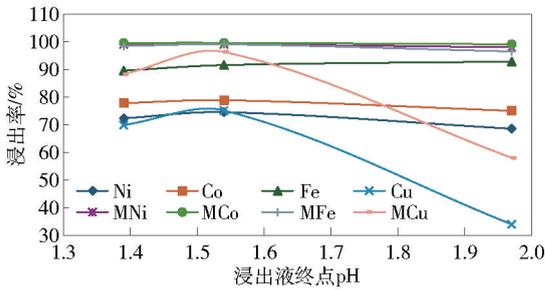


图5 不同总酸矿比对镍、钴、铁、铜、金属镍、金属钴、金属铁和金属铜浸出率的影响

由图5可知,随着总酸矿比由965 kg/t增加至1 190 kg/t时,镍、钴、镍金属相和钴金属相的浸出率有所升高,但不明显。在研究的酸度范围内,镍金属相和钴金属相的浸出率均可达到98%以上;铜和铁浸出率较一段常压浸出有了较大的升高,铁金属相的浸出效果较好。总酸矿比增加,即酸的加入量增多,终点pH值 <2 ,表明加入的酸过量,在通入足够量的富氧空气条件下,冰镍中的金属镍、钴、铁可以较充分地、金属铜也得到较好的浸出。控制终点pH值在1.5左右可以实现金属相镍钴的完全浸出,为后续的加压浸出工序备料。

对原料及不同酸矿比下的浸出渣进行了SEM分析,探究不同浸出效果下的微观变化,如图6

所示。

由图6可以看出,原料为致密的固体,粒度在 $25\ \mu\text{m}$ 左右,经酸浸后,固体表面出现了诸多孔洞,且随着酸矿比的增加,固体表面的孔洞逐渐增多,这表明随着酸加入量的增多,越来越多的固体被酸溶解,浸出率逐渐升高,这与试验结果相吻合。同时发现尽管固体因浸出而出现孔洞,但随着酸矿比的增大,孔洞增加量并没有显著提升,也表明即使浸出效果逐步增高,但浸出率并未有明显的增高,这也和试验结果相符合。

2.2.2 浸出温度的影响

控制液固比6:1,搅拌速率1 000 r/min,以800 mL/min速度通入40%富氧空气,反应10 h,终点pH值为1.5,探索不同反应温度(75℃、85℃和90℃)对浸出率、终点pH值、离子浓度的影响情况,结果见表6。对浸出渣进行了取样分析,以式(11)计算镍、钴、铁、铜的总浸出率,以式(13)计算镍、钴、铁的金属相浸出率,结果如图7所示。

从表6可以看出,浸出温度从75℃升高至90℃时,离子浓度变化较小,同时从图7可以发现,当总酸消耗量和终点pH值相近时,镍、钴、铁和铜的金属相浸出率相近。尽管温度升高有利于金属相的酸浸反应,促进固体表面快速形成孔道结构,加快浸出

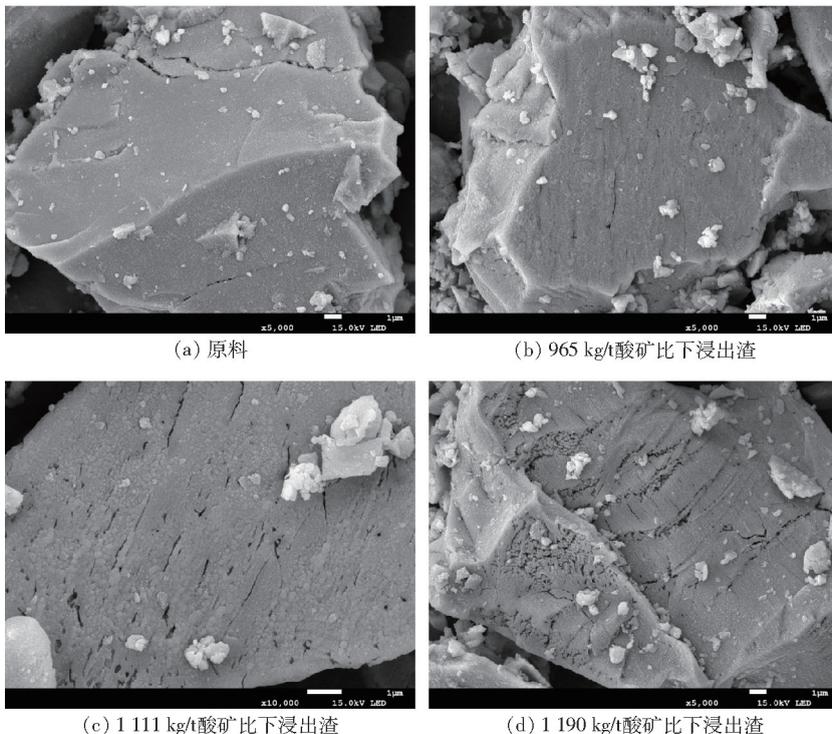


图6 原料与不同总酸矿比下的浸出渣SEM检测图

表6 不同浸出温度对常压浸出离子浓度的影响

温度/℃	浸出液离子浓度/(mg·L ⁻¹)						洗液离子浓度/(mg·L ⁻¹)					
	Ni	Co	Fe	Cu	P	Si	Ni	Co	Fe	Cu	P	Si
75	56 070	1 380	6 970	80.49	<0.50	51.6	2 200	56.03	270.57	0.41	3.41	<0.50
85	51 662	1 360	6 350	72.89	<0.5	44.33	1 740	39.78	184.26	2.8	<0.5	12.22
90	57 944	1 550	7 400	78.63	<0.5	50.55	1 800	41.52	197.7	3	<0.5	12.56

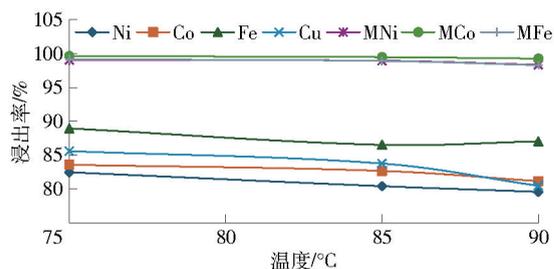


图7 不同浸出温度对镍、钴、铁、铜、金属镍、金属钴、金属铁和金属铜浸出率的影响

反应的进行,但75℃的反应温度足以实现金属镍、

钴、铁、铜的充分浸出,即使再升温也对浸出效果没有较大影响。因此,建议控制浸出温度为75℃,以减少蒸汽使用量。

2.2.3 氧气浓度的影响

在浸出温度85℃,液固比6:1,搅拌速率1 000 r/min条件下反应10 h,控制终点pH 1.5,探索纯氧和40%富氧空气两种条件对离子浓度的影响,对浸出渣进行取样分析,以式(11)计算镍、钴、铁、铜的总浸出率,以式(13)计算镍、钴、铁的金属相浸出率,结果见表7。

表7 不同氧气浓度对常压浸出离子浓度和浸出率的影响

元素	40% 富氧空气			100% 富氧空气		
	浸出液离子浓度/ (mg·L ⁻¹)	洗液离子浓度/ (mg·L ⁻¹)	浸出率/%	浸出液离子浓度/ (mg·L ⁻¹)	洗液离子浓度/ (mg·L ⁻¹)	浸出率/%
Ni	51 662	1 740	80.38	66 890	3 610	86.86
Co	1 360	39.78	82.64	1 870	81.85	88.73
Fe	6 350	184.26	86.49	8 290	360.65	90.25
Cu	72.89	2.8	83.73	97.72	4.93	89.05
金属 Ni			98.94			99.39
金属 Co			99.47			99.51
金属 Fe			98.91			99.5
P	<0.5	<0.5		<0.50	<0.50	
Si	44.33	12.22		54.94	12.97	

从表7可以看出,当氧气浓度从40%提高到100%,浸出液中各离子浓度有所升高。使用纯氧时,镍、钴、铁、铜及其金属相的浸出率均较高。冰镍中各金属浸出过程属于电化学腐蚀过程,阳极发生反应: $\text{Me} \rightarrow \text{Me}^{n+} + \text{e}^{-}$, 阴极发生反应: $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^{-} \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$, 当氧气浓度增大时,溶液中溶解的氧浓度有所提升,促进浸出反应的进行,所以增加氧气浓度可以促进镍、钴、铁、铜的浸出,但40%富氧空气已可以实现98%以上的金属相镍、钴、铁浸出率,因此无需过多提高氧气浓度来追求高浸出效果。

3 浸出优化试验

根据上述低铜型冰镍常压浸出工序各参数的探

索,对常压浸出工艺进行优化,并利用优化后的工艺对该原料进行两段常压浸出试验。

一段常压浸出:酸矿比选用280 kg/t,40%富氧空气流速选用0.2 L/min,浸出温度85℃,液固比8:1,搅拌速率1 000 r/min,反应时间8 h。

二段常压浸出:总酸矿比选用1 100 kg/t,浸出温度选取75℃,采用40%富氧空气,气体流速为0.8 L/min,浸出温度75℃,液固比6:1,搅拌速率1 000 r/min,反应时间10 h。

所得的试验结果如下:一段常压浸出得到pH值5.84的浸出液,满足萃取送液要求;二段常压浸出最终渣成分见表8和表9。

表8 优化浸出工艺后所得常压浸出渣数据

%

渣率	渣成分									
	Ni	Co	Fe	Cu	MNi	MCo	MFe	S	P	Si
26.40	53.91	1.05	2.54	0.048	2.91	0.025	0.12	39.07	0.005 5	0.022

表9 优化浸出工艺后所得常压浸出率

%

终点 pH	最终浸出率						
	Ni	Co	Fe	Cu	MNi	MCo	MFe
1.3	80.36	81.77	90.70	84.16	98.38	99.39	99.27

从表8和表9可知,优化后的浸出工艺可以在较经济的条件下实现98%以上的金属相镍、钴、铁浸出率,金属相镍浸出率为98.38%,金属相钴99.39%,浸出液终点pH为1.3,此时渣中金属含量非常低。

4 结论

对低铜型冰镍的两段常压浸出工艺进行了各工艺参数探究,主要结论如下:

1)一段常压浸出中,酸矿比的增大有利于镍的浸出,但终点pH在降低,考虑一段常压浸出需要为萃取造液,故需要根据终点pH值调控酸矿比,建议酸矿比控制在250~300 kg/t;在氧气量充足且反应时间足够的情况下,增加富氧空气流速对冰镍的浸出率并未有较大影响,从运行成本考虑,采用低流速运行更加经济适用。

2)二段常压浸出中,总酸矿比增加会使得终点pH值降低,且当终点pH值在2以内时,金属相镍、钴浸出率均能达到98%以上,金属相铁浸出率能到95%以上;当浸出温度在75℃以上时,再升温对冰镍的浸出影响较小;氧气浓度的升高对冰镍浸出有促进效果,但氧气浓度为40%时金属相镍钴浸出率均在98%以上,考虑经济效益,并不建议提高氧气浓度以获得更好的浸出效果。

3)优化浸出工艺后,在较经济的浸出条件下,金属相镍、钴、铁浸出率均能达到98%以上。

[参考文献]

- [1] 韩富娟,常增花,赵金玲,等.高镍三元锂离子电池低温放电性能研究进展[J].材料工程,2022,50(9):1-17.
- [2] 魏琳,黄魁,熊昊,等.废旧三元锂电池正极材料的回收与再利用[J].有色金属(冶炼部分),2023(10):107-114.
- [3] 周文隽,蒋训雄.废旧三元动力电池正极材料中有价元素提取技术进展[J].有色金属(冶炼部分),2023(4):96-104.
- [4] 张学东,王海北,刘三平,等.粗制氢氧化镍钴(MHP)两段浸出工艺研究[J].有色金属(冶炼部分),2023(8):32-36.
- [5] 董爱国,王多冬.石灰乳沉淀工艺制备的MHP酸浸-中和试验研究[J].中国有色冶金,2022,51(5):62-67,72.
- [6] 李勇,丁剑,林洁媛,等.含镍硫化物湿法冶金技术应用及研究进展[J].中国有色冶金,2020,49(5):9-15.
- [7] 谢铿,王海北,马育新,等.高镍铈浸出渣高效清洁利用工艺[J].中国有色冶金,2023,52(5):76-83.
- [8] CHEN X P, CHEN Y B, ZHOU T, et al. Hydrometallurgical recovery of metal values from sulfuric acid leaching liquor of spent lithium-ion batteries[J]. Waste Management, 2015, 38(4):349-356.
- [9] 周文隽,蒋训雄.废旧三元动力电池正极材料中有价元素提取技术进展[J].有色金属(冶炼部分),2023(4):96-104.
- [10] 陈胜利,郭学益,李钧,等.从高镍铈中选择性回收镍的试验研究[J].湿法冶金,2008,27(3):158-161.

Exploration of Leaching under Atmospheric Pressure Process of Low-Copper Nickel Matte

WANG Hongyan, CAO Min

(China ENFI Engineering Corporation, Beijing 100038, China)

Abstract: With the development of new energy, the process of preparing battery-grade nickel sulfate from low-copper and high-nickel matte has gradually become one of the current mainstream processes. The exploration of low-copper and high-nickel matte atmospheric pressure leaching process has important guiding significance for subsequent engineering applications. In this paper, the two-stage atmospheric pressure leaching process of low copper nickel matte was carried out. The effects of acid-to-ore ratio and oxygen-enriched air flow rate on the leaching effect in the first-stage atmospheric pressure leaching were investigated. The effects of total acid-to-ore ratio, leaching temperature and oxygen concentration on the total leaching effect in the second-stage atmospheric pressure leaching were investigated. The test results show that in the first stage of atmospheric pressure leaching, the acid-to-ore ratio is recommended to be controlled at 250 ~ 300 kg/t, and increasing the oxygen-enriched air flow rate has little effect on the leaching rate. It is recommended to carry out leaching at low oxygen-enriched air flow rate, which is more economical. In the two-stage atmospheric pressure leaching, the increase of the total acid-to-ore ratio will reduce the end-point pH value. When the end-point pH value is within 2, the leaching rate of metal phase nickel and cobalt can reach 98%. When the leaching temperature is above 75 °C, the temperature rise has little effect on the leaching of nickel matte. The increase of oxygen concentration promotes the leaching. However, considering that the leaching rate of metal phase nickel and cobalt is above 98% under the condition of 40% oxygen-enriched concentration, it is not recommended to increase the oxygen concentration to pursue better leaching effect.

Key words: low-copper nickel matte; leaching under atmospheric pressure; acid-to-ore ratio; metal-phase leaching