文章编号: 1004-0609(2011)11-2964-07

# 过渡层红土镍矿中的镁质矿中和沉矾浸出

王多冬<sup>1,2</sup>, 赵中伟<sup>1</sup>, 陈爱良<sup>1</sup>, 霍广生<sup>1</sup>, 陈星宇<sup>1</sup>

(1. 中南大学 冶金科学与工程学院, 长沙 410083; 2. 金川集团有限公司, 金昌 737100)

**摘 要:**采用沉矾浸出法将铁质矿浸出液对镁质矿进行沉矾浸出。结果表明:镁质矿酸浸过程中,在镁质矿粒度为106~150 µm、搅拌强度为150 r/min、终点 pH<sub>e</sub>值为1.3、温度为95℃的条件下,浸出镁质矿3h,镍、镁、铁的浸出率分别为93.34%、78.28%、26.4%;在沉矾浸出过程中,在反应温度为95℃、搅拌强度为150 r/min、硫酸钠中的钠与形成黄钠铁矾中的钠的摩尔比 x 为1.3、镁质矿粒度为106~150 µm、反应终点 pH<sub>e</sub>为1.3±0.2 的条件下,沉矾浸出5h,镍浸出率能达到92%,镁浸出率在74%以上,铁质矿浸出液除铁率达到87%以上,铁质矿浸出液中铁的浓度在15.87~42.16 g/L 的范围内,对镁质矿的镍、镁浸出及铁质矿浸出液中 Fe 的浓度没有显著的不利影响,溶液中铁基本上控制在4g/L 以下。

关键词:过渡层;红土镍矿;镁质矿;镍的浸出率;黄钠铁矾沉淀 中图分类号:TF111.3 文献标志码:A

## Leaching nickel and removing Fe from garnierite of transition layer nickel laterite ores

WANG Duo-dong<sup>1,2</sup>, ZHAO Zhong-wei<sup>1</sup>, CHEN Ai-liang<sup>1</sup>, HUO Guang-sheng<sup>1</sup>, CHEN Xing-yu<sup>1</sup>

School of Metallurgical Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083, China;
 Jinchuan Group Ltd. Co., Jinchang 737100, China)

**Abstract:** Garnierite was leached with pregnant solution of leaching limonitic by Na-jarosite precipitation. The results show that, during the process of leaching garnierite with acid, the leaching rates of Ni, Mg and Fe are 93.34%, 78.28% and 26.4% under the conditions of garnierite ore size between 106  $\mu$ m and 150  $\mu$ m, end pH of leaching 1.3, leaching time 3 h, temperature 95 °C and stirring rate 150 r/min. During the process of leaching garnierite with pregnant solution of leaching limonitic, the leaching recoveries of Ni and Mg are 92% and above 74%, respectively, when the molar ratio of Na of sodium sulfate added to that of Na-jarosite precipitation is 1.3. Fe removal efficiency is more than 87%. When Fe concentration is 15.87–42.16 g/L, there is little effect on leaching recoveries of Ni and Mg. Moreover, Fe concentration is almost less than 4 g/L.

Key words: transition layer; nickel laterite ores; garnierite, nickel leaching rate; Na-jarosite precipitation

世界镍产量中 70%来自硫化镍矿,随着可经济利用的硫化镍矿的日益枯竭,占镍资源 70% 的氧化镍矿的经济开发已成为当今镍冶金讨论的热点<sup>[1]</sup>。

红土镍矿从上到下分为铁帽、褐铁矿层、过渡层、 腐植土层、基岩层,金属镍主要存在于褐铁矿层、过 渡层、腐植土层中<sup>[2-4]</sup>。含镍红土矿很难选矿,无法通 过选矿方法进行富集,基本上是针对某一种特定矿石 的成分,采用不同的工艺直接冶炼处理原矿。一般的 冶炼方法有火法与湿法两种工艺。

火法包括镍铁合金工艺和镍锍生产工艺<sup>[5-7]</sup>。镍生 产大多采用工艺简单、易于控制的电炉熔炼生产含镍 20 %~30 %的镍铁合金,镍的回收率达 90%~95%,但 钴不能回收。镍锍生产工艺是在镍铁合金工艺的基础 上,在电炉熔炼过程中,以黄铁矿(FeS<sub>2</sub>)、石膏

基金项目: 国家重点基础研究发展计划资助项目(2007CB613603) 收稿日期: 2010-08-25;修订日期: 2010-11-22

通信作者:赵中伟,教授,博士;电话:0731-88830476; E-mail: zhaozw@csu.edu.cn

(CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O)、硫磺和含硫的镍原料为硫化剂还原硫 化熔炼,产出低镍锍,然后再通过转炉吹炼生产含镍 79%、硫 19.5% 的高镍锍,全流程镍回收率约70%。 但电炉熔炼能耗高,污染严重,这对节能减排是十分 不利的。

湿法处理红土镍矿主要的工艺是浸出,目前主要 有微生物浸出<sup>[8-9]</sup>、氨浸法<sup>[10]</sup>、高压酸浸法<sup>[11-15]</sup>、常 压酸浸法<sup>[16]</sup>等。

一般来说,含硅镁低褐铁型红土矿常用氨浸或加 压硫酸浸出工艺处理,而硅镁高、铁低的腐植土层常 用火法还原熔炼工艺生产镍铁,也可以在工艺过程中 加入黄铁矿或硫生产镍锍。

刘学等<sup>[8]</sup>利用黑曲菌产生的有机酸,在矿浆浓度 为 2.5%、温度为 33℃、转速为 120 r/min 时,对红 土镍矿进行了浸出试验,镍、钴、铁浸出率分别为 73.5%、53.2%、47.2%。目前,有机酸的循环利用尚 未解决,微生物浸出也存在微生物培养成本高等问题。 氨浸法全流程镍、钴回收率分别为 75%~80%、 40%~50%,氨浸法只适合处理红土镍矿床上层的红土 矿,不适合处理下层硅镁含量高的矿层,这就极大地 限制了氨浸法的发展。

加压酸浸在 250~270 ℃、 4~5 MPa 的高温高压 条件下,控制一定的 pH 值等条件,使铁、铝和硅等 杂质元素水解进入渣中, 镍、钴选择性进入溶液。镍 的浸出率达 90%以上,而且能耗低,工艺逐渐成熟和 完善,是近年来红土矿处理技术的发展方向,但是投 资高,而且也只适合含镁很低(<3%)的褐铁矿层。高 压、高温的操作条件也限制了其应用。而对于含镁、 含铁均较高(>10%),而含镍较低(<2.0%)的那部分过 渡层红土镍矿,现有的火法工艺与湿法工艺都不能经 济地处理,需要开发新的、经济的处理工艺。

本文作者针对过渡层红土镍矿的特性,根据矿物 粒度的不同,可分为铁质矿(铁高镁低)与镁质矿(镁高 铁低)两部分,其中,铁质矿在常压、高温、高酸度下 硫酸强化浸出后,浸出液余酸>40 g/L、Fe<sup>3+</sup>浓度> 25 g/L、温度 95 ℃。镁质矿含氧化镁 20%~40%,含 铁 6%~12%。结合铁质矿浸出液酸浓度较高、镁质矿 氧化镁较高的特点,以及 Fe<sup>3+</sup>形成沉淀的条件,本文 作者研究了硫酸直接浸出的镁质矿行为(以镁质矿作 为铁质矿浸出液及黄钠铁矾除铁的中和剂),及利用铁 质矿浸出液的余酸与铁沉淀成黄钠铁矾过程中释放出 来的硫酸浸出镁质矿中镍和镁,开发一种低成本的常 压硫酸浸出过渡层红土镍矿中镁质矿的新工艺。

### 1 实验

### 1.1 实验原料

本实验所用原料为进口过渡层红土镍矿,经过洗 矿分离成铁质矿、镁质矿两种,其典型成份如表1所 列。实验用铁质矿浸出液由铁质矿加硫酸浸出所得, 其浸出液的成分如表2所列,所用化学试剂为工业级 浓硫酸、无水硫酸钠、10%石灰乳。

#### 表1 红土镍矿成分

 Table 1
 Composition of nickel laterite ores(mass fraction, %)

Ore	Ni	Co	Fe	Mg
Nickel laterite ore	1.79	0.05	14.40	9.92
Limonitic	1.73	0.063	18.79	6.58
Garnierite	1.87	0.033	9.27	13.83
Ore	Mn	Al	SiO <sub>2</sub>	Cd
Ore Nickel laterite ore	Mn 0.28	Al 0.97	SiO <sub>2</sub> 38.67	Cd 0.001
Ore Nickel laterite ore Limonitic	Mn 0.28 0.37	Al 0.97 1.37	SiO <sub>2</sub> 38.67 37.12	Cd 0.001 0.001 1

#### 表2 铁质矿浸出液的成分

 Table 2
 Composition of pregnant solution of leaching limonitic (g/L)

$H_2SO_4$	Ni	Fe	Mg	Mn	
46.34	4.14	31.47	15.75	0.46	

#### 1.2 实验方法

图 1 所示为过渡层红土镍矿浸出流程图。本研究 分两部分:

 1) 镁质矿常压硫酸浸出:将镁质矿磨成一定的粒度,用水配成浓度为 30% 的矿浆,按一定比例加入 98%的浓硫酸,在一定温度下,搅拌浸出一定时间后, 过滤、洗涤。

 沉矾浸出: 在镁质矿浸出条件的基础上,量取 一定量的铁质矿浸出液,按照加入硫酸钠中的钠与形 成黄钠铁矾中的钠的摩尔比(Ψ<sub>Na</sub>)加入无水硫酸钠,然 后按一定比例加入镁质矿矿浆,搅拌浸出一定时间后, 过滤。

均采用络合滴定与原子吸收法将滤液及滤渣中 镍、镁、铁进行分析。

其浸出率η及除铁效率ζ按下式计算:

$$\eta = \frac{m_0 - m}{m_0} \times 100\%$$



#### 图 1 过渡层红土镍矿浸出流程

Flowsheet of leaching transition layer nickel laterite Fig.1 ores

$$\zeta = \frac{w_0 - w}{w_0} \times 100\%$$

式中: m<sub>0</sub>为镁质矿中含金属量, g; m 为渣中含金属 量,g;w<sub>0</sub>为铁质矿浸出液中铁浓度,%;w为沉矾浸 出后溶液中铁浓度,%。

#### 结果与讨论 2

#### 2.1 镁质矿常压硫酸浸出

2.1.1 浸出终点 pH 值对镁质矿浸出的影响

在浸出温度 95 ℃、搅拌强度 150 r/min、镁质矿 粒度范围 75~106 µm,加入一定量的 98%浓硫酸,浸 出3h的条件下,考察浸出终点pH值(pHe)对镁质矿 浸出效果的影响,结果如图2所示。



图 2 pH<sub>e</sub>对镁质矿浸出率的影响

Fig.2 Effect of pH<sub>e</sub> on leaching rate of garnierite

由图 2 可知: 随着 pHe 的降低, 矿浆中酸增加, H<sup>+</sup> 浓度增加,金属氧化物和酸发生式(1)~(3)的反应机 会增多, 镍、铁、镁等物质的浸出率增加。pH。从 3.55 降低至1.9, 镍的浸出率由17.2% 增加至48.25%, 铁 的浸出率由 3.48% 增加至 14.84%, 镁的浸出率由 19.43% 增加至 37.11%。pH。降到 1.9 后, 镍、铁、镁 的浸出率随 pH。的降低迅速增加, pH。降到 1.44 时, 镍、铁、镁的浸出率分别升高到 95.04%、59.68%、 78.85%。但是, pH。自 1.44 继续降低时, 镍、铁、镁 等浸出率的增加明显减缓,当pH。降低至0.39时,镍、 铁、镁的浸出率分别增加到 98.94%、84.21%、99.49%。

MgO+H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>=H<sub>2</sub>O+MgSO<sub>4</sub> (1)

 $Fe_2O_3+3H_2SO_4=3H_2O+Fe_2(SO_4)_3$ (2)

$$NiO+H_2SO_4=H_2O+MgSO_4$$
(3)

#### 2.1.2 浸出时间对浸出的影响

在浸出温度为95 ℃,搅拌强度为150 r/min,镁 质矿粒度范围为 75~106 µm, pH。为 1.3 的条件下, 研 究浸出时间对浸出率的影响,结果如图3所示。



Fig.3 Effect of leaching time on leaching rate of garnierite

由图3可知,镁质矿在开始阶段浸出非常快,在 反应初始的 0.5 h 内, 镍的浸出率达到 84.49%, 随着 反应时间的延长,浸出率逐步升高,1.5h后,镍的浸 出率就达到 91.01%, 浸出时间大于 1.5 h 后, 浸出时 间延长对镍、镁的浸出率均没有太大影响。镁的浸出 与镍的相似,只是镁的浸出率低于镍。在0.5h内,镁 的浸出率达 70.76%, 1.5 h 后升到 74.76%。而铁的浸 出率明显低于镍与镁, 0.5 h 内只有 30.67%, 在 1 h 后达到最大值(47.38%)。然后,随着时间的延长,铁 的浸出率开始下降,由1h的47.38%下降至3h的 26.4%,可能是由于铁与溶液中的水合氢离子 H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> 形 成稳定的草黄铁矾沉淀。

第21卷第11期

#### 2.1.3 镁质矿粒度对浸出率的影响

在浸出温度为 95 ℃、浸出时间为 1.5 h、搅拌强 度为 150 r/min 及 pH<sub>e</sub>=1.3 的条件下,镁质矿粒度对浸 出率的影响如图 4 所示。



图 4 镁质矿粒度对浸出率的影响

Fig.4 Effect of garnierite ore size on leaching rate

从图 4 可知,颗粒越细越有利于镍浸出。当粒度为 630~1 000 μm 时,镍、铁、镁的浸出率分别为 92.03%、 63.96%、87.58%;当粒度为 450~630 μm 时,镍浸出 率达到最高,为 94.14%;当粒度小于 150 μm 时,粒 度对镍浸出率的影响不显著,镍、铁、镁的浸出率分 别保持在 93%、66%、89%左右。这是由于粒度小于 150 μm 后,溶液中的 H<sup>+</sup> 能通过颗粒与金属氧化物充 分反应,故继续减少粒度不会对其浸出率带来影响。 其粒度选 105~150 μm 为最佳。

2.1.4 温度对浸出率的影响

在粒度为 106~150 μm、浸出时间为 3 h、搅拌强 度为 150 r/min 及 pH<sub>e</sub>=1.3 的条件下,温度对浸出的影 响如图 5 所示。



图 5 温度对镁质矿浸出率的影响

Fig.5 Effect of temperature on leaching rate of garnierite

由图 5 可知,温度越高,镍、镁的浸出率越高, 越有利于浸出。温度较低时,镍、铁、镁的浸出率随 着温度的升高显著升高,镍的浸出率由 40 ℃时的 70.05%升高到 65 ℃时的 91.72%,镁的浸出率由 40 ℃ 时的 48.54%升高到 65 ℃时的 72.74%,铁的浸出率 40 ℃时的 30.94% 升高到 65 ℃时的 53.38%。在 65 ℃以 上,温度对镍、镁浸出率的影响已经不明显。铁的浸 出行为在温度较低阶段与镍、镁的浸出行为一致,但 是,当温度达到 85 ℃以上时,铁的浸出率开始下降, 由 53.16%降低到 95 ℃时的 46.15%,其原因是高温阶 段,由于浸出率高,溶液的 pH 值升高,被浸出的三 价铁离子具备了生成铁矾的条件,与溶液中的 H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>、 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 结合生成稳定的草黄铁矾沉淀。

### 2.2 沉矾浸出实验研究

根据镁质矿酸浸结果, 在粒度为 106~150 µm, 浸 出时间>1.5 h, 温度>65 ℃, pH<sub>e</sub><1.3 的条件下, 能 够得到比较高的镍浸出率。铁的浸出率与镍和镁的不 同, 在温度较高、反应时间较长时, 被浸出的铁会形 成草黄铁矾沉淀, 导致铁的浸出率降低。结合黄钠铁 矾法除铁的性质<sup>[17-18]</sup>, 以镁质矿作为铁质矿浸出液的 中和剂进行沉矾浸出, 使铁沉淀的同时将镁质矿中的 镍和镁浸出。

### 2.2.1 反应温度的影响

在搅拌强度 150 r/min、反应时间 4 h、加入 1.3 倍理论量钠离子与 10%黄钠铁矾晶种的条件下,往铁 质矿浸出液中加入 106~150 μm 的镁质矿粉末调整终 点 pH<sub>e</sub> 值至 1.3,反应温度对沉矾浸出的影响如图 6 所示。

由图 6 可知,温度对铁的沉淀与镁质矿的浸出均 有显著的影响,在温度低于 75 ℃的条件下,铁质矿浸



图 6 反应温度对沉矾浸出的影响

**Fig.6** Effect of reaction temperature on Na-jarosite precipitation and leaching rate of Ni and Mg

出液中的铁几乎不沉淀。此后,随着温度的升高,铁 质矿浸出液中的铁会发生式(4)反应,生成黄钠铁矾 NaFe<sub>3</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>6</sub>沉淀,铁的沉淀率迅速上升,到95 ℃ 时达到 92.7%。镁质矿的浸出行为与铁的沉淀紧密相 关,在较低的温度下,主要是铁质矿浸出液中的余酸 与镁质矿发生的浸出反应,镍与镁的浸出率随着温度 的升高缓慢升高,当温度升高到 75 ℃以上后,随着铁 的沉淀,释放出的硫酸参与镁质矿的浸出,镍与镁的 浸出率随着铁的沉淀相应升高,95 ℃时的浸出率分别 达到 86.8%与 76.08%。

$$3Fe_2SO_4 + Na_2SO_4 + 12H_2O \longrightarrow$$

$$2NaFe_3(SO_4)_2(OH)_6 + 6H_2SO_4$$
(4)

2.2.2 pH<sub>e</sub>的影响

在 95 ℃、反应时间 4 h、搅拌强度 150 r/min、加入 10%黄钠铁矾晶种、1.3 倍钠离子的条件下,以 106~150 µm 的镁质矿粉作为中和剂调节铁质矿浸出 液反应终点 pH 值(pH<sub>e</sub>),考察终点 pH<sub>e</sub>值对沉矾浸出 的影响,其结果如图 7 所示。



图 7 pH<sub>e</sub>值对镁质矿浸出率与铁质矿浸出液沉铁率的影响 Fig.7 Effect of pH<sub>e</sub> on Na-jarosite precipitation and leaching rate of garnierite

从图7可以看出,铁的沉淀率随着终点 pH 值(pH<sub>e</sub>) 的升高而升高,在 pH<sub>e</sub>=1.26 时,铁沉淀为 83.11%的; pH<sub>e</sub>=1.45 时,铁沉淀率为 91.85%,此后,铁沉淀率随 pH<sub>e</sub> 值的变化趋于平缓。镁质矿的浸出率与铁沉淀率 正好相反,在低 pH<sub>e</sub> 值(1.26)时,有镍、镁有较高的浸 出率(分别为 91.32%、87.65%);随着 pH<sub>e</sub> 值的升高, 浸出率迅速下降,当 pH<sub>e</sub> 值升到 1.45 时,镍和镁浸出 率分别降低到 88.03%与 79.16%,此后降幅明显加快, 当 pH<sub>e</sub> 值升到 2.0 时,镍和镁的浸出率分别降低到 50.08%和 36.88%。

#### 2.2.3 反应时间的影响

在温度 95 ℃、搅拌强度 150 r/min、1.3 倍理论量 钠离子的条件下,往铁质矿浸出液中加入 106~150 μm 的镁质矿粉末调整终点 pHe 值至 1.3,研究反应时间对 铁质矿浸出液中铁的沉淀率与镁质矿浸出率的影响, 其结果如图 8 所示。



图 8 浸出时间对沉矾浸出的影响



由图 8 可知,铁质矿浸出液中铁的沉淀率随着时间的延长而升高,在反应的初始阶段,铁的沉淀较慢, 1.5~2 h 后,铁迅速开始沉淀,在4 h 时,沉淀率达到 91.1%。镁质矿中镍与镁的浸出率随着时间的延长而升高,在反应的初始阶段,主要是铁质矿浸出液中的余酸参与浸出反应,在1 h 内镍的浸出率达到 38.36%,镁的浸出率达到 20.08%。反应进行到2 h 以后,由于铁开始沉淀,铁沉淀释放出来的酸参与反应,镍与镁的浸出率开始随着铁的沉淀率上升,到5 h 后,随着铁沉淀率达到 96.19%,镍与镁的浸出率也分别达到 92.28%与 87.83%。

#### 2.2.4 硫酸钠加入量的影响

在反应温度 95 ℃、搅拌转速 150 r/min、反应时 间 5 h、加入理论量 10%的黄钠铁矾晶种,用 106~150 μm 的镁质矿粉调节铁质矿浸出液终点 pH<sub>e</sub> 值至 1.28±0.2,硫酸钠加入量对沉矾浸出的影响如图 9 所 示。

由图 9 可知,铁的沉淀率随着 Ψ<sub>Na</sub>增大而升高。 当加入量达到理论用量的 0.9 倍时,铁的沉淀率达到 92.86%;当达到 1.2 倍以上时,铁的沉淀率不再随钠 加入量的变化而变化。当钠加入量较少时,部分铁不 是以黄钠铁矾的形式沉淀,可能为部分铁与 H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> 结 合形成草黄铁矾沉淀。镁质矿的浸出伴随着铁的沉淀 而变化。



图9 Ψ<sub>Na</sub>对沉矾浸出的影响

**Fig.9** Effect of  $\Psi_{Na}$  on Na-jarosite precipitation and leaching rate of Ni and Mg

#### 2.3 验证实验

条件实验研究表明,反应时间>4 h、 温度>95 ℃、钠离子>理论量 1.2 倍、pH 值 1.26~1.45 是较好 的沉矾浸出条件。在反应温度 96 ℃、反应时间 5 h、 搅拌强度 150 r/min、加入 10%黄钠铁矾晶种、Ψ<sub>Na</sub>=1.3 倍理论量的条件下,将粒度为 106~150 μm 的镁质矿 加入至铁质矿浸出液中,调节反应终点 pH<sub>e</sub> 值至 1.3±0.2,进行沉矾浸出的验证实验,其结果如表 3 所 列。

#### 表3 沉矾浸出验证试验结果

**Table 3**Verification of experimental results of neutralleaching garnierite and Na-jarosite precipitating

No	$\rho/(g\cdot L^{-1})$			рН	
INU.	$H_2SO_4$	Ni	Fe	рпе	
1	39.58	4.45	15.87	1.30	
2	41.46	4.01	23.5	1.31	
3	42.16	4.32	29.35	1.32	
4	47.18	4.01	42.16	1.28	
	Leaching rate/%		Iron removal		
No.	NG	Ma	End Fe concentration/	Efficiency/	
	INI	Mg	$(g \cdot L^{-1})$	%	
1	92.24	74.32	1.96	87.43	
2	92.93	78.95	1.92	91.62	
3	92.88	75.53	3.52	88.64	
4	92.62	74.86	3.42	91.23	

表3结果表明,验证试验结果与单因素实验结果 基本吻合,镍浸出率能达到92%以上,镁浸出率为 74%~79%;铁质矿浸出液的铁浓度在15.87~42.16g/L 的范围内,对沉矾浸出没有显著的不利影响,沉矾浸出后,铁质矿浸出液除铁率达到87%以上,溶液中铁基本上控制在4g/L以下。

## 3 结论

 在镁质矿粒度为 106~150 μm、浸出时间为 1.5
 h,搅拌强度为 150 r/min、终点 pH 值为 1.3、温度为 95
 ℃的条件下,浸出镁质矿 3 h,镍、镁、铁的浸出率分 别为 93.34%、78.28%、26.4%。

2) 沉矾浸出实验研究表明,反应时间>4 h、温度>95 ℃、钠离子>理论量 1.2 倍、pH值 1.26~1.45 是较好的沉矾浸出条件,既可使铁质矿浸出液中的铁 有较高的沉淀率,又可以使镁质矿中的镍有相对较高 的浸出率,实现节约硫酸的消耗、降低成本的目的。

3) 沉矾浸出验证试验表明,在反应温度 95 ℃、 反应时间 5 h、搅拌强度 150 r/min、加入 10%黄钠铁 矾晶种、钠离子用量为理论量的 1.3 倍条件下,用粒 度 106~150 µm 的镁质矿调节铁质矿浸出液终点值 pHe 1.28~1.44, 铁质矿浸出液中铁的沉淀率达到 87.43%~91.62%, 镁质矿镍的浸出率达到 87.24%~92.62%,而且铁质矿浸出液的铁浓度在 15.87~42.16 g/L 的范围内,对沉矾浸出没有显著的不 利影响。

#### REFERENCES

- [1] 蒋继波,王吉坤. 红土镍矿湿法冶金工艺研究进展[J]. 湿法 冶金,2009,28(1):3-11.
   JIANG Ji-bo, WANG Ji-kun. Review on progresses for hydrometallurgy of laterite-nickel ore[J]. Hydrometallurgy, 2009, 28(1): 3-11.
- [2] SUDOL S. The thunder from everything you wanted to know about nickel laterites but were afraid to ask[J]. Can Min, 2005, 126(5): 8–12.
- [3] 李小明, 唐 琳, 刘仕良. 红土镍矿处理工艺探讨[J]. 铁合金, 2007(4): 24-28.

LI Xiao-ming, TANG Lin, LIU Shi-liang. Technology of treating nickel bearing laterite[J]. Ferro Alloys, 2007(4): 24–28.

- [4] LOVEDAY B K. The use of oxygen in high pressure acid leaching of nickel laterites[J]. Minerals Engineering, 2008, 21(7): 533-538.
- [5] 张友平,周渝生,李肇毅. 红土矿资源特点和火法冶金工艺 分析[J]. 铁合金, 2007(6): 18-21, 40.
   ZHANG You-ping, ZHOU Yu-sheng, LI Zhao-yi. Characteristic of nickel laterites source and pyrometallurgy technology[J].

2970

Ferro Alloys, 2007(6): 18–21, 40.

[6] 李建华,程 威,肖志海. 红土镍矿处理工艺综述[J]. 湿法冶 金,2004(4):191-194.

LI Jian-hua, CHENG wei, XIAO Zhi-hai. Technology summarize of treating nickel laterites[J]. Hydrometallurgy, 2004(4): 191–194.

- [7] ROORDA H J, HERMANS J M A. Energy constrains in the extraction of nickel from oxides ores[J]. Energy Metals, 1981, 34(3): 882–887.
- [8] 刘 学,温建康,阮仁满. 真菌衍生有机酸浸出低品位氧化镍 矿[J]. 稀有金属, 2006, 13(4): 490-493.
   LIU Xue, WEN Jian-kang, RUAN Ren-man. Leaching of nickel and cobalt from low-grade lateritic nickel ores using organic acids produced by *fungus aspergillus niger*[J]. Chinese Journal of Rate Metals, 2006, 13(4): 490-493.
- [9] SIMATE G S, NDLOVU S. Bacterial leaching of nickel laterites using chemolithotrophic microorganisms: Identifying influential factors using statistical design of experiments[J]. Int J Miner Process, 2008, 88(1): 31–36.
- [10] 尹 飞,阮书锋,江陪海,王成彦,陈永强.低品位红土镍矿还原培砂氨浸试验研究[J].矿治,2007,16(3):39-32.
  YIN Fei, RUAN Shu-feng, JIANG Pei-hai, WANG Cheng-yan, CHEN Yong-qiang. Experimental study on roasted ore of poor nickeliferous laterite ore with ammonia leaching technology[J]. Mining & Metallurgy, 2007, 16(3): 39-32, 4.
- [11] WHITTINGTON B I, JOHNSON J A, QUAN L P. Pressure acid leaching of arid-region nickel laterite ore. Part II: Effect of ore type[J]. Hydrometallurgy, 2003, 70(13): 47–62.
- [12] JOHNSON J A, CASHMORE B C, HOCKRIDGE R J. Optimization of nickel extraction from laterite ores by high pressure acid leaching with addition of sodium sulphate[J].

Minerals Engineering, 2005, 18(13/14): 1297-1303.

- [13] WHITTINGTON B I, JOHNSON J A. Pressure acid leaching of arid-region nickel laterite ore. Part III: Effect of process water on nickel losses in the residue[J]. Hydrometallurgy, 2005, 78(3/4): 256–263.
- [14] WHITTINGTON B I, MUIR D. Pressure acid leaching of nickel laterites: A review[J]. Mineral Processing and Extractive Metallurgy, 2000(21): 527–600.
- [15] RUBISOV D H, KROWINKEL J M, PAPANGELAKIS V G. Sulphuric acid pressure leaching of laterites-universal kinetics of nickel dissolution for limonites and limonitic saprolitic blends[J]. Hydrometallurgy, 2000, 58(1): 1–11.
- [16] KUMAR R, DAS S, RAY R K, BISWAS A K. Leaching of pure and cobalt bearing goethites in sulphurous acid: Kinetics and mechanisms [J]. Hydrometallurgy, 1993, 32(1/2): 39–59.
- [17] 陈 松, 安 然, 李继洲, 刘志宏, 张多默. 镍精矿氯气浸出液 净化除铁工艺[J]. 中南工业大学学报: 自然科学版, 2000, 31(5): 419-421.
  CHANG Song, AN Ran, LI Ji-zhou, LIU Zhi-hong, ZHANG Dou-mo. The process for removal of iron from chlorine leaching solution of nickel concentrate[J]. Cent South Univ Technol: Natural Science, 2000, 31(5): 419-421.
- [18] 郭学益,张多默,赵统来,刘志宏,葛荣德,陈慧光。氯化 物中黄钠铁矾除铁的热力学和动力学[J].中南工业大学学报: 自然科学版,1997,28(1):30-33.

GUO Xue-yi, ZHANG Duo-mo, CHO Tong-lai, LIU Zhi-hong, GE Rong-de, CHEN Hui-guang. The thermodynamics and kinetics of sodium jarosite formation in chloride solution[J]. J Cent South Univ Technol: Natural Science, 1997, 28(1): 30–33.

(编辑 李艳红)