文章编号: 1004-0609(2008)05-0939-07

# 煤在铁闪锌矿氧压酸浸中的应用

徐志峰<sup>1,2</sup>, 邱定蕃<sup>2</sup>, 王海北<sup>2</sup>

(1. 江西理工大学 材料与化学工程学院, 赣州 341000;
 2. 北京矿冶研究总院, 北京 100044)

**摘 要:**研究煤在铁闪锌矿氧压酸浸中的应用。实验发现,含碳量高于 70%的煤无助于铁闪锌矿浸出。在温度为 423 K 时,低碳煤(褐煤)可以用作铁闪锌矿氧压酸浸中优良的硫分散剂,其用量选定 1.0%(相对于精矿质量)为宜。 在铁闪锌矿浸出过程中,褐煤有可能始终保持较高的分散单质硫的活性。在 98%以上精矿粒度小于 43 μm,液固 比为 4.5:1 mL/g,浸出剂中初始硫酸浓度为 1.43 mol/L,锌浓度为 0.62 mol/L,浸出温度为 423 K,氧分压为 0.5 MPa, 搅拌转速为 800 r/min,浸出 1.5 h 条件下,添加 1.0%褐煤后,锌浸出率达到 96%, 渣含锌低至 1.7 %,上述工艺 运行高效、稳定。褐煤具有比木质素磺酸钠更强的分散单质硫的能力,并能基本消除单质硫对浸出残余硫化矿的 沾染。褐煤在明显促进铁闪锌矿溶解的同时,抑制了黄铁矿的浸出。

关键词:煤;硫分散剂;铁闪锌矿;氧压酸浸 中图分类号:TF 111.31 文献标识码:A

## <u>Application of coal in oxidative pressure leaching of</u> <u>marmatite concentrates</u>

XU Zhi-feng<sup>1, 2</sup>, QIU Ding-fan<sup>2</sup>, WANG Hai-bei<sup>2</sup>

(1. Falculty of Material and Chemical Engineering, Jiangxi University of Science and Technology,

Ganzhou 341000, China;

2. Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy, Beijing 100044, China)

**Abstract:** Oxidative pressure leaching of marmatite concentrates with adding coal as elemental-sulfur disperser was investigated. The experimental results show that the coal with carbon content higher than 70% can not improve the leaching of zinc. The coal with low carbon content (lignite coal) can act as excellent elemental-sulfur disperser in the pressure leaching of marmatite concentrates at 423 K. The appropriate dosage of lignite coal is further determined as 1.0% of the mass of concentrates. The leaching rate of zinc is achieved as high as 96% in the following conditions: the particle size of concentrates of 98% less than 43 µm, the lignite coal dosage of 1.0% of the mass of concentrates, the liquid to solid ratio of 4.5:1 mL/g, the initial sulfuric acid concentration of 1.43 mol/L, the initial zinc concentration of 0.62 mol/L, the leaching temperature of 423 K, the oxygen partial pressure of 0.5 MPa, the agitation speed of 800 r/min, the leaching time of 1.5 h. This pressure leaching technique is proved to be effective and stable. The sulfur-dispersing capability of lignite coal is further proved to be much higher than that of sodium lignosulphonate. The adherence of elemental sulfur to residual sulfide ores in the slag is nearly eliminated with lignite coal as elemental-sulfur disperser. **Key words:** coal; elemental-sulfur disperser; marmatite concentrates; oxidative pressure leaching

<u>舍利特戈登矿业公司最先将加压浸出技术应用于</u> 复杂锌精矿的处理<sup>[1]</sup>,历经半个世纪的发展,锌精矿 <u>氧压酸浸的过程化学及工业实践得到了长足发展<sup>[2-14]</sup>,</u> <u>其中,熔融单质硫包裹矿物颗粒问题的有效解决是最</u>

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50234010) 收稿日期:2007-09-10;修订日期:2008-12-19

通讯作者: 徐志峰, 副教授, 博士; 电话: 0797-8313005; E-mail: xzf\_1@163.com

### 第18卷第5期

### 显著的进步[7]。

当浸出温度高于硫熔点时, 锌精矿的氧化产物单 质硫因熔融而包覆未反应完全的硫化矿颗粒, 致使锌 浸出率低而且浸出渣处理困难。KAWALKA 等<sup>[15]</sup>通过 添加 0.1~0.3 g/L 硫分散剂解决了上述问题, 使锌浸 出率大于 95%。适用于锌精矿氧压酸浸工程实践的硫 分散剂有:木质素,木质素磺酸盐,丹宁化合物(如白 雀木及其他树皮提取物)以及烷基芳基磺酸盐等<sup>[15]</sup>,其 中,木质素磺酸盐类硫分散剂最常用。此外,芦苇根 粉也能用作硫分散剂,其用量为精矿质量的 0.8%时, 同样能破坏单质硫包裹层,浸出效果良好<sup>[16]</sup>。

木质素磺酸盐类硫分散剂在锌精矿氧压酸浸 过程中会完全溶解,其分子吸附在精矿表面并将精 矿与单质硫彼此疏离,从而改善矿物浸出<sup>[17-20]</sup>。但 该类硫分散剂在高温强氧化条件下会迅速分解,因 此,要时刻保证高压釜内有充足的硫分散剂有效成 分可能有一定困难<sup>[21]</sup>。此外,该类硫分散剂在与精 矿、硫酸调浆并进入高压釜前也有可能因起泡溢流 等问题而导致损失。COLLINS 等<sup>[21-22]</sup>经研究提出, 煤可以用作锌精矿氧压酸浸时优良的硫分散剂,但 作者未对煤的适用种类加以公布和说明。

本文以煤为研究对象,通过考察不同种类的煤对 铁闪锌矿氧压酸浸的影响,筛选出适用煤并对煤和木 质素磺酸钠分别用作硫分散剂时浸出渣的物相进行了 分析和比较。

31.88	0.06	1.17	0.03
As	Cd	Cr	Ag
1.18	0.28	< 0.005	$3.9 \times 10^{-6}$

铁闪锌矿精矿的 XRD 谱如图 1 所示。由图 1 可 见,精矿的主要矿物成分有铁闪锌矿、方铅矿、黄铁 矿、磁黄铁矿和石英等。精矿中的锌基本上以铁闪锌 矿形式存在<del>,铅大多构成方铅矿。铁元素不仅赋存于</del> 铁闪锌矿中,而且还大量以黄铁矿形态存在。



图 1 铁闪锌矿精矿的 XRD 谱

Fig.1 XRD pattern of marmatite concentrates

本实验所用煤来自于中国煤碳科学研究院。硫酸试剂为分析纯。铁闪锌矿精矿氧压酸浸过程中通入工

**基金项目:** 国家自然科学基金重点项目(50234010) 收稿日期:业纯氧。浸出实验在2L磁力搅拌衬钛高压釜中完成。 作者简介: 徐志峰(1973-),男,副教授,博士.

通讯作者。 徐志峰,男,副教授; 电话: 0797-8313005; E-mail;2xz 实验 超程 om 1 头 验

### 1.1 原料与仪器

铁闪锌矿精矿产自云南澜沧地区,该精矿含水分 6.6%, <del>主要化学成份<u>各元素含量</u>见表 1,经湿式球磨 98%以上精矿粒度小于 43 μm,以满足矿石浸出对粒 度的要求。</del>

### 表1 铁闪锌矿精矿主要化学成分

 Table 1
 Chemical composition of marmatite concentrates

 (mass fraction, %)
 (mass fraction, %)

Zn	Fe	Pb	Cu
32.5	14.7	4.81	0.87
Ca	Mg	Al	Mn
0.50	0.29	0.24	0.24
S	Sb	Si	Na

首先将一定硫酸浓度的浸出剂和铁闪锌矿精矿按 一定液固比加入钛胆中,并添加入适量硫分散剂,然 后置入高压釜中加盖密封,当升温至设定温度时开始 通入氧气并计时,在浸出过程中保持搅拌转速恒定。 浸出结束后通水冷却并卸压启釜,分别将浸出液和浸 出渣取样。为保证各实验点间具有可比性,控制每次 实验时高压釜升温速率及冷却时降温速率相同。

元素化学含量分析由北京矿冶研究总院分析室完 成。煤含碳量分析由中国煤碳科学研究院完成。

## 2 结果与讨论

### 2.1 煤含碳量对铁闪锌矿浸出的影响

煤炭是植物经过长时期地压和地热的作用而生成 的。由于温度、压力不同可生成不同种类的煤炭,按

941

942

煤化度的顺序,煤炭可分为--泥煤、褐煤、次烟煤、 烟煤、无烟煤。其中,褐煤属最低级煤。

在 393-~423 K 温度范围内,考察褐煤、烟煤、 无烟煤等对铁闪锌矿精矿氧压酸浸的影响,并与木质 素磺酸钠作硫分散剂时的实验结果进行比较。浸出实 验条件为: 液固比 4:1 mL/g, c(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)<sub>ini</sub>=1.31 mol/L, 氧分压 0.5 MPa, 搅拌转速 800 r/min, 浸出 2 h。不同 添加剂对锌浸出率(按渣计,以下同)及渣含锌量的影 响<del>分别</del>见图 2 <del>和图 3</del>。



Fig.2 Influences of different additive agents on leaching rate of zinc

由图 2、 图 3 可见,在 423 K时,添加 1.0%(相对 于精矿质量)的褐煤用作硫分散剂,实验所取得的锌浸 出率达到 94.63%, <u>该条件下所得浸出</u>渣含锌 2.58%, 上述浸出指标几乎等同于添加 0.2%木质素磺酸钠时 的结果。相对而言,烟煤或无烟煤的效果较差,在个 别条件下甚至不如无添加剂时的结果。

在上述实验基础上,考察煤的含碳量与锌浸出率 之间的关系,结果见表 2。由表 2 可见,含碳量高于 70%的煤无助于铁闪锌矿浸出,而低碳煤(褐煤)则具有 良好的分散硫的效果, 在相同条件下, 添加低碳煤(褐 煤)时所获取的锌浸出率显著高于高碳煤的结果。

图 2 不同添加剂对锌浸出率	图 3 不同添加剂对浸出渣含
的影响	锌量的影响
Fig.2 Influence of different	Fig.3 Influence of different
additive agents on the	additive agents on the zinc
leaching rate of zine	content in the leaching
	residues z



83 褐煤用量对锌浸出率的影响

**ig.3** Influences of dosage of lignite coal on leaching rate of inc

### 2.3 采用褐煤作硫分散剂的工艺稳定性

添加1.0%的褐煤用作硫分散剂,铁闪锌矿精矿氧

Table 2 Relationship between carbon content of coal and leaching rate of zinc

Coal	Carbon co	Leaching		
Cour	Total carbon	Inorganic carbon	Organic carbon	%
Anthracite coal	81.88	0.38	81.78	73.41
Bituminous coal	70.91	0.07	70.89	66.67
Lignite coal	57.21	0.79	56.99	94.63

综上所述,在 423 K 浸出温度下,低碳煤(褐煤) 可以取代木质素磺酸钠用作铁闪锌矿氧压酸浸的优良 的硫分散剂。由于褐煤为固态,因此,褐煤可以在矿 物原料磨矿或调浆或预浸出等任何一个工序中引入, 也可以直接加入高压釜中,不会出现因起泡溢流而引 致损失等问题。<del>而且,对于工业上常用的锌精矿两段</del> <del>氧压酸浸工艺而言,褐煤作为硫分散剂只需在第</del> 低酸浸出工序引入即可, 当第二段浸出渣返回至第 段进行高龄浸出时, 由于二段渣中的褐煤保持了较高 的活性,因此无需额外补充褐煤就足以保障第 出高效进行。

### 2.2 褐煤用量对铁闪锌矿浸出的影响

100

95

90

E(Zn)/%

考察了褐煤用量为 0.5%-~2.5%时对铁闪锌矿浸 出的影响,实验条件为: T=423 K, p(O<sub>2</sub>)=0.5 MPa, c(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)<sub>ini</sub>=1.31 mol/L, 液固比 4:1 mL/g, 搅拌转速 800 r/min。实验结果见图 4<u>3 至图 6</u>。由图 3 可见,当 褐煤用量为 1.0%时, 不同的浸出时间所获得的锌浸出 率始终最高。由此可知,褐煤使用量选定1.0%为宜。

压酸浸的较优工艺条件经研究确定为<sup>[23]</sup>:98%以上精 矿粒度小于 43 μm,液固比 4.5:1 mL/g,浸出剂可以采 用湿法炼锌厂废电解液,其中硫酸浓度为 1.43 mol/L, 锌浓度为 0.62 mol/L,浸出温度为 423 K,氧分压为 0.5 MPa,搅拌转速为 800 r/min,浸出为 1.5 h。铁闪 锌矿浸出结果理想,锌浸出率达到 96%左右,渣含锌 低至 1.7%左右。

为考察工艺稳定性,进行重复实验,实验结果见 表 3。由表 3 可见,采用褐煤作硫分散剂的铁闪锌矿 氧压酸浸工艺运行稳定、高效。

### 2.4 浸出渣的物相分析

对未添加硫分散剂以及添加木质素磺酸钠或褐煤 等3种情况下所得到的铁闪锌矿精矿氧压酸浸渣进行 了物相分析。

浸出渣中残余硫化矿的背散射电子象及元素硫单 <u>质硫</u>的面分布如图 <u>74</u>~<u>96</u>所示。

由图 7<u>4</u>可见,未添加硫分散剂时,所得浸出渣呈 粗粒聚合体形态,单质硫充填在未反应完全的残余硫 化矿颗粒之间,形成交结相并构成贯通的骨架。这说 明,单质硫对硫化矿具有较强的亲和力。因此,为消除高温(高于硫熔点)条件下铁闪锌矿氧压酸浸过程中单质硫对矿物颗粒的包裹,必须添加适当的硫分散剂。

由图 <u>85</u>可见,当木质素磺酸钠用作硫分散剂时, 浸出渣中残余铁闪锌矿颗粒周围并未形成封闭的单质 硫包覆层,而是维持部分开放的边界。这说明,木质 素磺酸钠能在一定程度上疏离单质硫与硫化矿。

由图 <u>96</u>可见,当褐煤用作硫分散剂时,浸出渣中 残余铁闪锌矿颗粒下部仅有 2 颗硫珠,其余边界完全 敞开。

进一步在显微镜下观察可知,木质素磺酸钠用作



 图 4
 未添加硫分散剂时浸出渣中残余硫化矿聚合体的背

 散射电子像及元素硫的面分布

 Fig.4
 Backscattered electron image of residual sulfide ore

aggregates(a) and surface distribution of elemental sulfur(b) in leaching residues with none sulfur disperser added 硫分散剂时,浸出渣中的单质硫多呈中粗粒球状 (43-~200 μm),部分呈不规则块状或短柱状,单质硫 边界嵌生残余硫化矿,只有少量残余硫化矿独立存在 而未与单质硫接触。这说明,木质素磺酸钠无法消除 单质硫对残余硫化矿的沾染。而当褐煤用作硫分散剂 时,浸出渣中的单质硫多呈细粒或中细粒(10-~43 μm) 球状或不规则细块状分散存在,而且绝大多数残余硫 化矿呈单体分散,几乎与单质硫没有任何关联。

综上所述,相对木质素磺酸钠而言,褐煤具有更 强的分散单质硫的能力,并能基本消除单质硫对残余 硫化矿的沾染,这无论对于铁闪锌矿的高效浸出,还



图 5 木质素磺酸钠作硫分散剂时浸出渣中残余铁闪锌矿 的背散射电子像及元素硫的面分布

**Fig.5** <u>Backscattered electron image of residual marmatite(a)</u> and surface distribution of elemental sulfur(b) in leaching residues with sodium lignosulphonate added as sulfur disperser

表 3	褐煤作硫化分散剂时铁闪锌	矿精矿加压浸出重复实验结果
-----	--------------	---------------

 Table 3
 Repeated pressure-leaching test results of marmatite concentrates with adding lignite coal as elemental-sulfur disperser

No. <u>L</u> Zn	Leach	Leaching solution/(mol·L <sup>-1</sup> )		Lead	Leaching residue/%		
	Zn	Fe	$H_2SO_4$	Productivity	Zn	Fe	zinc/%
1	1.77	0.04	0.31	71.19	1.78	20.86	96.06
2	1.78	0.03	0.32	70.59	1.75	21.01	96.16
3	1.74	0.03	0.31	70.89	1.74	20.72	96.17
4	1.75	0.04	0.34	70.50	1.67	20.35	96.34

946



图 6 揭煤作硫分散剂时浸出渣中残余铁闪锌矿的背散射 电子像及元素硫的面分布

**Fig.6** Backscattered electron image of residual marmatite(a) and surface distribution of elemental sulfur(b) in leaching residues with adding lignite coal added as sulfur disperser

是对于浸出后续的选硫除杂工序而言都是非常有利的。

铁闪锌矿精矿氧压酸浸渣的 XRD 谱如图 7~9 所 示。

<u>由图 7 可见,未添加硫分散剂时,大量铁闪锌矿、</u> <u>黄铁矿没有溶解,而是残留在渣中。经与图 1 比较可</u> 见,部分方铅矿、磁黄铁矿已经溶解。图 7 中未见明 显的铅铁矾或其他铁矾的特征谱线。由此可见,未添 加硫分散剂时,生成的铁矾的数量很少。

<u>由图 8 可见,当木质素磺酸钠用作硫分散剂时,</u> <u>浸出渣中铁闪锌矿及黄铁矿的衍射线强度明显减弱,</u> <u>浸出渣中有大量铅铁矾、黄草铁矾以及单质硫。这说</u> 明,绝大部分铁闪锌矿和部分黄铁矿已经溶解,进入 <u>溶液的大量铁离子以铅铁矾、黄草铁矾及其他铁矾形</u> <u>式水解入渣。这说明,木质素磺酸钠有助于硫化矿浸</u> 出。

由图 <u>129</u>可见,当褐煤用作硫分散剂时,浸出渣 中残余的铁闪锌矿数量也很少,说明褐煤也能明显促 进铁闪锌矿的溶解。但是,经与图 <u>118</u>比较可见,图 <u>129</u>中黄铁矿的谱线明显更强。这说明,添加褐煤后, 黄铁矿浸出受抑。褐煤抑制黄铁矿浸出的原因有待进 一步研究。 图 7 未添加硫分散剂时浸出渣中残余硫化矿聚合体的背散射电子复 Fig.7 Backscattered electron image of residual sulfide ore aggreg elemental sulfur in the leaching residues with none sulfur disperser add





图 8 木质素磺酸钠作硫分散剂时浸出渣中残余铁闪锌矿的背散射F Fig.8 Backscattered electron image of residual marmatite and the surfi the leaching residues with sodium lignosulphonate added as the sulfur d





50µm Electron Image 1

S Ka1

图 9 褐煤作硫分散剂时浸出渣中残余铁闪锌矿的背散射电子象及5 Fig.9 Backscattered electron image of residual marmatite and the surf the leaching residues with adding lignite coal added as the sulfur disper 铁闪锌矿精矿氧压酸浸渣的 XRD 谱图如图 10 至图 12 所示。

由图 10 可见,未添加硫分散剂时,大量铁闪锌矿、黄 铁矿没有溶解,而是残留在渣中。经与图 1-比较可见, 部分方铅矿、磁黄铁矿已经溶解。图 10 中未见明显的 铅铁矾或其他铁矾的特征谱线。由此可见,未添加硫 分散剂时,生成的铁矾的数量很少。

由图 11 可见,当本质素磺酸钠用作硫分散剂时,浸出 渣中铁闪锌矿及黄铁矿的衍射线强度明显减弱,浸出 渣中有大量铅铁矾、黄草铁矾以及单质硫。这说明, 绝大部分铁闪锌矿和部分黄铁矿已经溶解,进入溶液 的大量铁离子以铅铁矾、黄草铁矾及其他铁矾形式水 解入渣。这说明,本质素磺酸钠有助于硫化矿浸出。



图 7 无硫分散剂时铁闪锌矿浸出渣的 XRD 谱

**Fig.7** XRD pattern of leaching residues of marmatite concentrates with none sulfur disperser added



图 8 <u>木质素磺酸钠作硫分散剂时铁闪锌矿浸出渣的 XRD 谱</u> Fig.8 <u>XRD pattern of leaching residues of marmatite</u> <u>concentrates with sodium lignosulphonate added as sulfur</u> <u>disperser</u>





## 3 结论

1) 含碳量高于 70%的煤无助于铁闪锌矿浸出。在 423 K 时,低碳煤(褐煤)可以用作铁闪锌矿氧压酸浸中 优良的硫分散剂,其添加量选定 1.0%为宜。在温度为 423 K,液固比为 4:1 mL/g,初始硫酸浓度为 1.31 mol/L,氧分压为 0.5 MPa,搅拌转速为 800 r/min,浸 出 2 h 等条件下,添加褐煤后,锌浸出率达到 94.63%, 渣含锌 2.58%。浸出指标几乎等同于添加 0.2%木质素 磺酸钠时的结果。

2) 在 98%以上精矿粒度小于 43 μm,液固比为 4.5:1 mL/g,浸出剂中初始硫酸浓度为 1.43 mol/L,锌 浓度为 0.62 mol/L,浸出温度为 423 K,氧分压为 0.5 MPa,搅拌转速为 800 r/min,浸出 1.5 h 等条件下, 添加 1.0%的褐煤用作硫分散剂时,铁闪锌矿精矿浸出 结果理想,锌浸出率达到 96%,渣含锌低至 1.7%,上 述工艺运行高效、稳定。

3) 鉴于单质硫与硫化矿之间存在较强的亲和力, 在高于硫熔点的温度条件下进行铁闪锌矿氧压酸浸 时,必须添加适当的硫分散剂。木质素磺酸钠用作硫 分散剂时,虽能疏离单质硫与硫化矿,但无法消除单 质硫对浸出残余硫化矿的沾染。褐煤具有比木质素磺 酸钠更强的分散单质硫的能力并能基本消除单质硫对 残余硫化矿的沾染,这无论对于铁闪锌矿的高效浸出, 还是对于浸出后续的选硫除杂工序而言都是非常有利 的。

4)未添加硫分散剂时,铁闪锌矿氧压酸浸过程中 生成的铁矾含量很少。木质素磺酸钠有助于硫化矿浸 出,精矿浸出过程中有大量铅铁矾、黄草铁矾以及单 质硫生成。褐煤也能明显促进铁闪锌矿的溶解,但使 黄铁矿浸出受抑。褐煤抑制黄铁矿浸出的原因有待进 一步研究。

### 致谢:

在对浸出渣的工艺矿物学分析过程中,得到了北 京矿冶研究总院矿产资源所王飞高级工程师的帮助, 在此深表谢意!

### REFERENCES

 FORWARD F A, VELTMAN H. Direct leaching zinc-sulfide concentrates by Sherritt Gordon[J]. Journal of Metals, 1959, 11(11): 836–840.

- PAWLEK F E. Research in pressure leaching[J]. Journal of the South Africa Institute of Mining and Metallurgy, 1969, 69(12): 632–654.
- [3] JAN R J, HEPWORTH M T, FOX V G. A kinetic study on the pressure leaching of sphalerite[J]. Metallurgical Transactions B, 1976, 7B: 353–361.
- [4] VELTMAN H, JAMES G, MOULD J, KAWULKA P. Two-stage pressure leaching process for zinc and iron bearing mineral sulphides[P]. United States: 4004991. 1977–01–25.
- [5] 夏光祥,施惠娟,曹昌琳,喻克宁. 锌精矿加压酸浸过程物理 化学初步研究[J]. 化工冶金, 1985, 63(3): 17-26.
  XIA Guang-xiang, SHI Hui-juan, CAO Chang-lin, YU Ke-ning.
  Preliminary studies of physical chemistry on acid pressure leaching of ZnS concentrate[J]. Chemical Engineering & Metallurgy, 1985, 63(3): 17-26.
- [6] PARKER E G. Oxidative pressure leaching of zinc concentrates[J]. CIM Bull, 1987, 74(829): 145–150.
- PETERS E. Hydrometallurgical process innovation[J].
   Hydrometallurgy, 1992, 29(1/3): 431–459.
- BALDWIN S A, DEMOPOULOS G P, PARANGELAKIS V G. Mathematical modeling of the zinc pressure leach process[J]. Metallurgical and Materials Transactions B, 1995, 26B: 1035–1047.
- [9] HARVER T J, YEN W T, PATERSON J G A kinetic investigation into the pressure oxidation of sphalerite from a complex concentrate[J]. Minerals Engineering, 1993, 6(8/10): 949–967.
- [10] 邱定蕃. 加压湿法冶金过程化学与工业实践[J]. 矿冶, 1994, 3(4): 55-67.
  QIU Ding-fan. Process chemistry and industrial practice of pressure hydrometallurgy[J]. Mining & Metallurgy, 1994, 3(4): 55-67.
- [11] CHALKLEY M E, COLLINS M J, MASTER I M, OZBERK E. Deportment of elements in the Sherritt zinc pressure leach process[C]//AZAKAMI T. An International Symposium on the Extraction and Applications of Zinc and Lead, Zinc & Lead'95. Sendai, Japan: The Mining & Materials Processing Institute of Japan, 1995: 612–630.
- [12] CHALKLEY M E, MASTERS I M, DOYLE B N. Recovery of metals from sulphidic material: United States, 5380354[P]. 1995–01–10.

- [13] BUBAN K R, COLLINS M J, MASTER I M. Iron control in zinc pressure leach process[J]. JOM, 1999, 51(12): 23–25.
- [14] BUBAN K R, COLLINS M J, MASTERS I M, TRYTTEN L C. Comparison of direct pressure leaching with atmospheric leaching of zinc concentrates[C]//DUTRIZAC J E. Lead & Zinc 2000. Pittsburg: TMS, 2000: 727–738.
- [15] KAWALKA P, HAFFENDEN W J, MACKIW V N. Recovery of zinc from zinc sulphides by direct pressure leaching: United States, 3867268[P]. 1975–02–18.
- [16] 张武存,黄芝林,王万禄.铁闪锌矿氧压酸浸试验[J]. 云南冶 金,1990(6): 39-42.
  ZHANG Wu-cun, HUANG Zhi-lin, WANG Wan-lu.
  Experiments on oxidative pressure leaching of marmatite[J].
  Yunnan Metallurgy, 1990(6): 39-42.
- [17] 李精佳,陈家镛. 锌精矿加压氧化酸浸过程中添加剂的作用
  [J]. 有色金属, 1987, 39(2): 65-71.
  LI Jing-jia, CHEN Jia-yong. Functions of surface active agents in oxidative pressure leaching of sphalerite concentrate[J].
  Nonferrous Metals, 1987, 39(2): 65-71.
- [18] OWUSU G, PETERS E, DREISINGER D B. Surface tensions and contact angles due to ligin sulphonates in the system: liquid sulphur, aqueous zinc sulphate and zinc sulphide[J]. The Canadian Journal of Chemecal Engineering, 1992, 70(1/3): 173–180.
- [19] OWUSU G, DREISINGER D B, PETERS E. Effect of surfactants on zinc and iron dissolution rates during oxidative leaching of sphalerite[J]. Hydrometallurgy, 1995, 38(3): 315-324.
- [20] OWUSU G, DREISINGER D B, PETERS E. Interfacial effects of surface-active agents under zinc pressure leach conditions[J]. Metallurgical and Materials Transactions B, 1995, 26B: 5–12.
- [21] COLLINS M J, KOFLUK D K. Recovery of zinc from sulphide concentrates: United States, 5770170[P]. 1998–06–23.
- [22] COLLINS M J, KOFLUK D K. Recovery of zinc from sulphidic concentrates: United States, 5651947[P]. 1997–07–29.
- [23] 徐志峰. 铁闪锌矿加压浸出基础理论及工艺研究[D]. 北京: 北京科技大学, 2006.
   XU Zhi-feng. Fundamental and technological studies on pressure leach of marmatite[D]. Beijing: University of Science and

Technology Beijing, 2006.

(编辑 陈爱华)