

骨胶对铅电解阴极行为的影响研究^①

钟勇¹, 高和欣², 王文军², 袁铁锤², 邹亮², 蔺士琦², 方浩煜², 颜巧玲²

(1. 深圳市中金岭南有色金属股份有限公司韶关冶炼厂, 广东 韶关 512000; 2. 中南大学, 湖南 长沙 410083)

摘要: 为了明确铅电解常用添加剂骨胶的最佳浓度以及胶体杂质对铅电解的影响, 从溶液浑浊度、电流效率、电耗及析出铅形貌等方面对电解液进行评估, 研究了电解液骨胶浓度、骨胶溶液静置时长以及活性炭净化处理液固比对铅电解的影响。结果表明, 适宜的骨胶浓度为 0.8 g/L; 将铅电解配制所用骨胶溶液静置 72 h 或经 1 000:1 活性炭净化均能去除胶体杂质, 净化后铅电解液的电流效率高达 99.19%, 电耗降至 51.79 kW·h/t, 获得的析出铅表面平整光滑。

关键词: 铅电解; 添加剂; 骨胶除杂; 电流效率; 电耗

中图分类号: TF803

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.0253-6099.2023.06.030

文章编号: 0253-6099(2023)06-0139-05

Influence of Bone Glue on Cathodic Behavior of Lead Electrolysis

ZHONG Yong¹, GAO Hexin², WANG Wenjun², YUAN Tiechui², ZOU Liang², LIN Shiqi², FANG Haoyu², YAN Qiaoling²

(1. Shaoguan Smelter, Shenzhen Zhongjin Lingnan Nonfermet Co Ltd, Shaoguan 512000, Guangdong, China; 2. Central South University, Changsha 410083, Hunan, China)

Abstract: In order to obtain the optimal concentration of bone glue as a commonly used additive for lead electrolysis and also understand the influence of its colloidal impurities on lead electrolysis, the effects of the concentration of bone glue in the electrolyte, the standing time of bone glue solution and the liquid-solid ratio for purification with activated carbon on lead electrolysis were investigated by evaluating the turbidity of the solution, current efficiency, power consumption and the morphology of precipitated lead. It is found that the optimal concentration of bone glue in lead electrolyte is 0.8 g/L, and colloidal impurities can be removed by resting the bone glue solution for 72 hours or by purifying it with activated carbon in a ratio of 1 000:1. After purification, lead electrolyte has its current efficiency up to 99.19%. The power consumption of electrolysis declines to 51.79 kW·h/t, and the obtained precipitated lead has a flat and smooth surface.

Key words: lead electrolysis; additives; removal of impurity in bone glue; current efficiency; power consumption

铅电解除杂适应性强且成本较低, 目前我国原生铅冶炼企业主要采用硅氟酸溶液体系进行铅电解生产精铅^[1-5], 通过在电解液中添加添加剂使析出铅致密且平整^[6-8]。骨胶自 20 世纪 90 年代起就作为铅电解添加剂使用^[9-10], 在电解中伴有氨基酸分解等副反应, 产生的胶体杂质在铅电解液中会发生富集, 造成能耗升高、阴极结瘤等不利影响^[11-12]。文献[13]采用磁场法微滤脱除骨胶杂质, 取得了较好效果, 但工艺流程复杂、成本高, 难以实现工业应用。活性炭价格低廉, 其表面具有亲质子性含氧基团, 能吸附有机杂质且不引入杂质, 是脱除骨胶胶体杂质的重要选择之一^[14-15]。为解决骨胶胶体杂质对铅电解的负面影响, 本文研究

了骨胶浓度、骨胶溶液的静置净化及骨胶溶液的活性炭净化对铅电解阴极行为的影响, 揭示了胶体杂质对铅电解的危害并提供了解决办法。

1 试 验

1.1 试验原料和设备

采用如图 1 所示的铅电解设备进行铅电解试验, 试验设备主要包括直流电源、聚四氟乙烯电解槽(600 mm×225 mm×190 mm, 壁厚 10 mm)、循环泵和导线。双阳极与双阴极交叉布置并连接电线, 利用柏兹法进行电解并分析各组铅电解液的电解性能。实验试剂、原料及其具体规格如表 1 所示。

① 收稿日期: 2023-06-23

作者简介: 钟勇(1970—), 男, 江西上犹人, 硕士, 教授级高级工程师, 主要从事有色金属冶炼技术研发和管理。

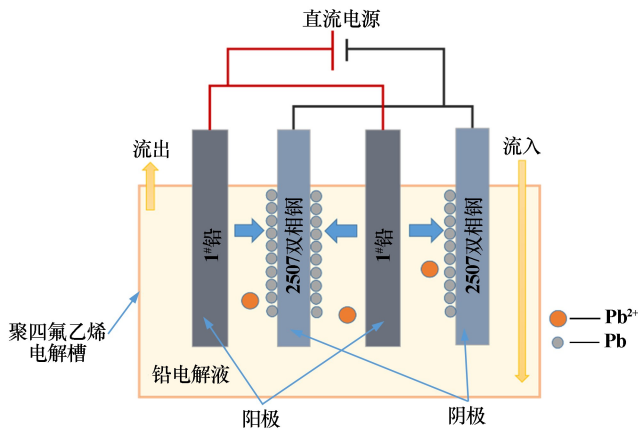


图1 铅电解设备示意图

表1 实验原料

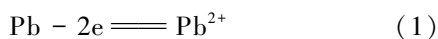
试剂/原料名称	规格
1#铅阳极	100 mm × 165 mm × 20 mm, Pb含量大于99.994%
2507双相钢阴极	100 mm × 165 mm × 3 mm
氟硅酸	工业级, 酸含量38%
骨胶	工业级
氟硅酸和氟硅酸铅溶液	自制, Pb ²⁺ 含量220 g/L, H ₂ SiF ₆ 含量100 g/L
活性炭	-0.074 mm

1.2 试验原理及试验方法

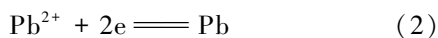
1.2.1 试验原理

柏兹法电解精炼铅的原理为:在阳极上比铅电位更负的杂质金属会随铅一起失去电子溶于溶液中;比铅电位更正的杂质金属以阳极泥的形式沉入槽底;电解液中的Pb²⁺在阴极表面得到电子并析出,实现铅精炼^[16]。主要反应式为:

在阳极发生铅阳极溶解反应:



在阴极发生铅沉积反应:



在电解过程中,骨胶会在阴极表面电流密度高的点形成吸附层阻挡Pb²⁺进一步析出,进而抑制铅的结晶不均化进程。

1.2.2 试验方法

自制Pb²⁺含量120 g/L、H₂SiF₆含量120 g/L的氟硅酸和氟硅酸铅溶液,将溶液分成5份,分别加入一定量骨胶并在室温下搅拌溶解,配制成骨胶浓度分别为0.5、0.8、1.2和3 g/L的铅电解液并进行铅电解实验,研究不同骨胶浓度对铅电解的影响。

将浓度3 g/L的骨胶溶液分别静置0、24、48、72和96 h,测试上层溶液浑浊度;取静置的上层骨胶溶液以及配制的骨胶浓度0.8 g/L、Pb²⁺含量120 g/L、

H₂SiF₆含量120 g/L的铅电解液进行铅电解实验,研究骨胶溶液静置时长对铅电解的影响。

取浓度3 g/L的骨胶水溶液分别按液固比1500:1、1250:1、1000:1、750:1、500:1加入活性炭,分别在300 r/min条件下搅拌30 min后过滤,考察过滤溶液的浑浊度。取过滤溶液以及配制的骨胶浓度0.8 g/L、Pb²⁺含量120 g/L、H₂SiF₆含量120 g/L的铅电解液进行铅电解实验,研究活性炭用量对铅电解的影响。

1.3 测试方法

将各组铅电解液在电流密度120 A/m²、电解液循环速度160 mL/min、电解液温度25℃、同极间距100 mm的相同条件下铅电解48 h,考察析出铅形貌和析出铅质量。

采用输入电流、输入电压、通电时间和析出铅质量计算单位质量铅电解电耗和电流效率:

$$\eta = \frac{M}{qIt} \times 100\% \quad (3)$$

$$W = \frac{UIt}{M} \quad (4)$$

式中 η 为电流效率,%; M 为析出铅质量,kg; q 为铅的电化当量值, $q = 3.867 \times 10^{-3} \text{ kg}/(\text{A} \cdot \text{h})$; I 为输入电流,A; t 为通电时间,h; W 为单位质量铅电解电耗,kW·h/t; U 为输入电压,V。

以去离子水为参考,采用日本津岛公司UV-2450紫外分光光度计测试吸光率并对波长范围350~780 nm的吸光率进行面积积分以确定溶液的浑浊度。

2 结果与讨论

2.1 骨胶浓度对铅电解主要指标和析出铅形貌的影响

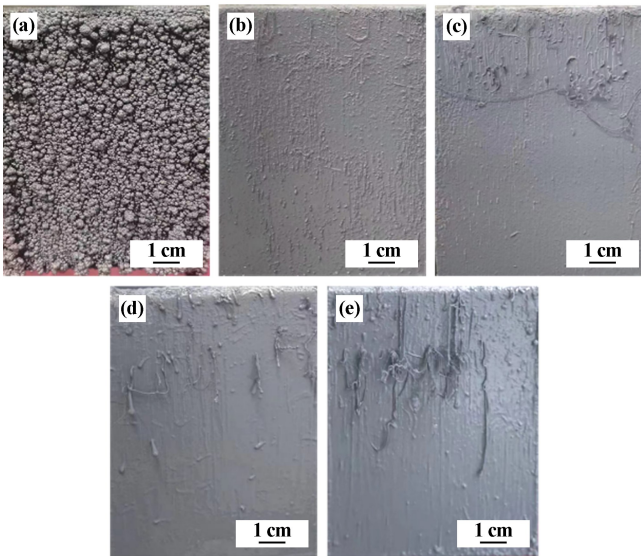
在Pb²⁺含量120 g/L、H₂SiF₆含量120 g/L的电解液中考察电解液骨胶浓度对铅电解主要指标和析出铅形貌的影响,结果如表2和图2所示。由表2可知,随着骨胶浓度升高,槽电压逐渐升高、电流效率逐渐降低、电耗逐渐升高。骨胶浓度升高会使骨胶在阴极的吸附层增厚,阴极极化度变大,造成Pb²⁺析出困难,析出铅质量减少,电流效率降低。同时,骨胶浓度升高增大了电解液电阻,槽电压随之增高,电耗升高。为了获取较高电流效率和较低电耗,电解液骨胶浓度需维持在0.5~0.8 g/L,对应电流效率99%以上,电耗52 kW·h/t以下。

由图2可见,骨胶浓度0.5 g/L时,阴极析出大量的球状枝晶;骨胶浓度0.8 g/L时,阴极析出铅表面较平整致密;之后随着骨胶浓度升高,阴极铅局部析出的瘤状尖刺逐渐增多。骨胶在电解过程中会在电流密度高的区域形成厚且致密的吸附层,增加阴极极化度,

Pb^{2+} 难以进一步析出,可抑制海绵状和树枝状结晶的析出^[17-19];骨胶浓度较低时,骨胶分散电流密度的有效成分不足,使阴极表面析出铅呈花球状;骨胶浓度过高时,一方面,骨胶分散电流密度的有效成分升高,但另一方面电解液的胶体杂质浓度升高,不利于阴极铅的平整析出,导致阴极表面坚硬致密的瘤状尖刺增多。为获取表面平整且致密的析出铅,结合骨胶浓度对技术经济指标的影响,适宜的骨胶浓度为 0.8 g/L。

表 2 骨胶浓度对铅电解主要指标的影响

骨胶浓度/ (g · L ⁻¹)	槽电压/V	析出铅 质量/g	电流 效率/%	电耗/ (kW · h · t ⁻¹)
0.5	0.2	1 099.6	99.73	51.51
0.8	0.2	1 092.7	99.11	51.83
1.0	0.3	1 088.3	98.71	78.07
2.0	0.5	1 079.1	97.87	131.22
3.0	0.6	1 069.9	97.04	158.81



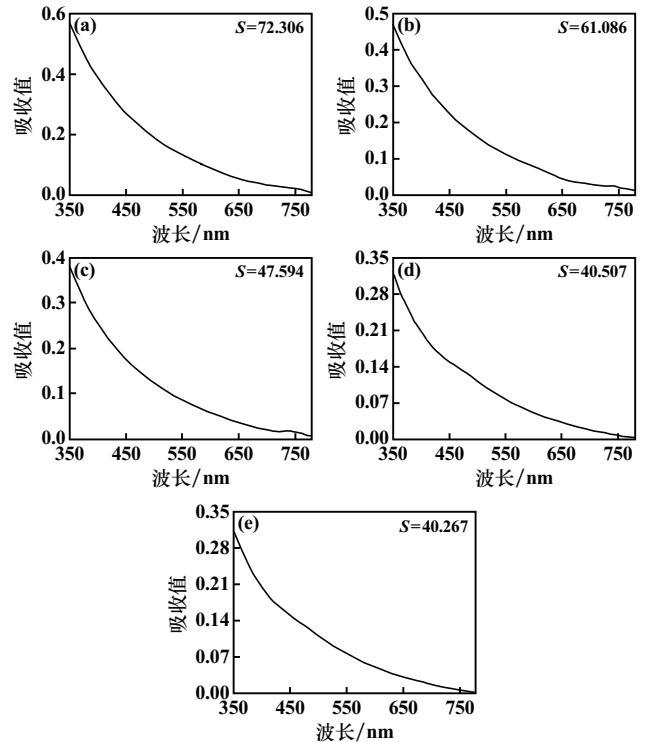
(a) 0.5 g/L; (b) 0.8 g/L; (c) 1.0 g/L; (d) 2.0 g/L; (e) 3.0 g/L

图 2 不同骨胶浓度下析出铅形貌

2.2 骨胶溶液静置净化对铅电解的影响

2.2.1 静置时长对骨胶溶液浑浊度的影响

浓度 3 g/L 的骨胶溶液分别静置 0 h、24 h、48 h、72 h、96 h,静置时长对骨胶溶液浑浊度的影响如图 3 所示。由图 3 可见,随着静置时间延长,骨胶溶液的浑浊度逐渐降低;静置时间超过 72 h 后,延长静置时间对溶液浑浊度影响较小,浑浊度稳定于 40~41 之间。这说明随着骨胶溶液静置时间逐渐延长,溶液中的胶体杂质逐渐沉降,溶液浑浊度降低。静置时间超过 72 h 后,大部分胶体杂质得到沉降净化,继续延长静置时间,溶液浑浊度无明显变化。



(a) 0 h; (b) 24 h; (c) 48 h; (d) 72 h; (e) 96 h

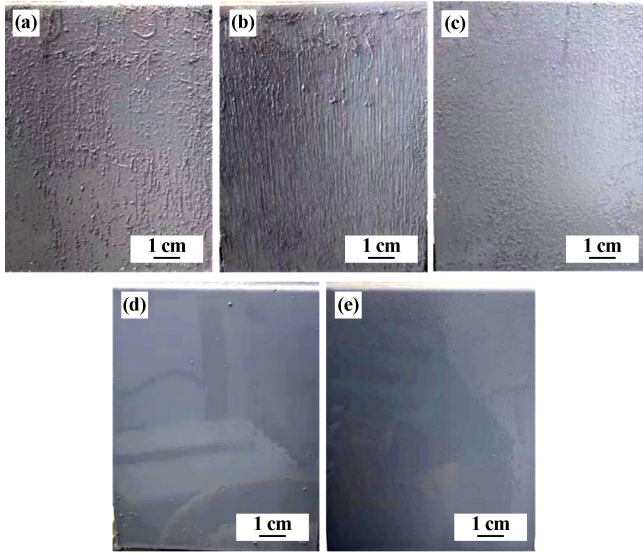
图 3 不同静置时间下骨胶溶液浑浊度

2.2.2 骨胶溶液静置时长对铅电解主要指标和析出铅形貌的影响

骨胶溶液静置时长对铅电解主要技术经济指标和析出铅形貌的影响如表 3 和图 4 所示。表 3 表明,骨胶溶液静置时长对铅电解主要经济指标整体影响较小,电流效率均达 99% 以上,电耗 51.80 kW · h/t 左右。由图 4 可知,静置时间小于 72 h 时,随着静置时间延长,析出铅形貌逐渐变得平整光滑,静置时间超过 72 h 后,析出铅形貌几乎无变化。这主要受溶液中骨胶胶体杂质含量的影响;静置时间较短时,溶液胶体杂质含量较高,胶体杂质会影响 Pb^{2+} 在阴极表面的平整析出;静置时间较长时,溶液中胶体杂质实现了沉降净化,骨胶的有效成分使阴极表面各处的 Pb^{2+} 析出速度几乎保持一致,析出铅表面趋于光滑、平整。为避免析出铅表面不平整造成的阴阳极短路等问题,应将骨胶溶液静置时长设为 72 h。

表 3 骨胶溶液静置时长对铅电解主要指标的影响

静置 时间/h	槽电压/V	析出铅 质量/g	电流 效率/%	电耗/ (kW · h · t ⁻¹)
0	0.2	1 092.7	99.11	51.83
24	0.2	1 093.0	99.13	51.82
48	0.2	1 093.3	99.16	51.81
72	0.2	1 093.6	99.19	51.79
96	0.2	1 093.7	99.19	51.79



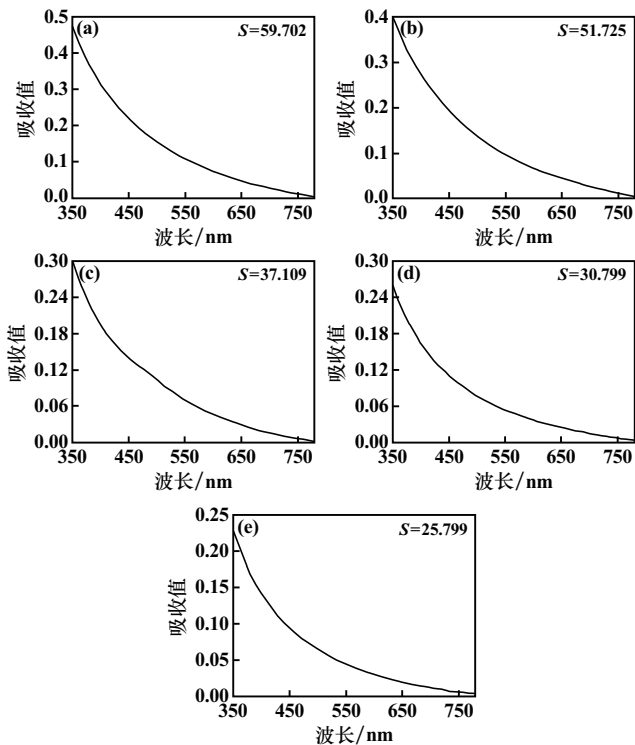
(a) 0 h; (b) 24 h; (c) 48 h; (d) 72 h; (e) 96 h

图4 不同骨胶溶液静置时间下析出铅形貌

2.3 活性炭净化骨胶溶液对铅电解的影响

2.3.1 活性炭净化对骨胶溶液浑浊度的影响

活性炭用量对骨胶溶液浑浊度的影响如图5所示。随着液固比降低,净化后骨胶溶液浑浊度逐渐降低,说明活性炭对骨胶胶体杂质具有明显净化效果。活性炭具有微观多孔结构,且比表面积较大,能有效吸附溶液中的胶体杂质,过滤时将骨胶胶体杂质带出溶液,从而达到净化效果。但液固比降至1 000:1后,继



(a) 1 500:1; (b) 1 250:1; (c) 1 000:1; (d) 750:1; (e) 500:1

图5 活性炭净化时液固比对骨胶溶液浑浊度的影响

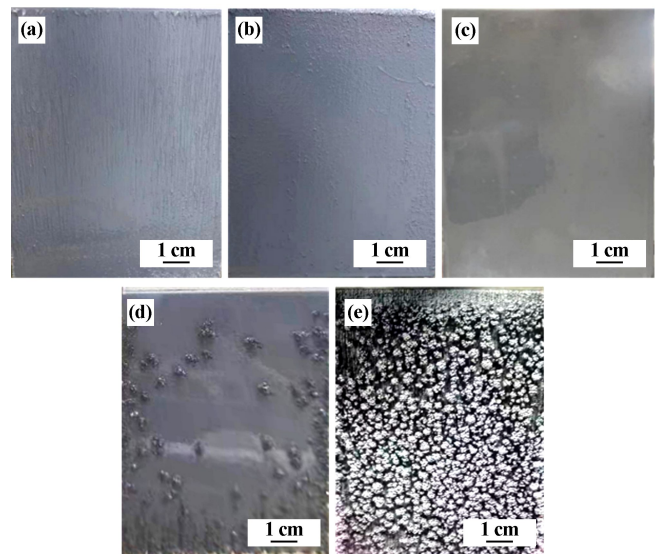
续增大活性炭用量会使骨胶溶液浑浊度明显低于静置72 h时骨胶溶液浑浊度。这说明活性炭的过量使用不仅会吸附骨胶胶体杂质,还会将骨胶溶液中其他有效成分一同吸附并带出溶液,使得溶液浑浊度进一步降低。

2.3.2 活性炭净化骨胶溶液对铅电解主要指标和析出铅形貌的影响

活性炭用量对铅电解主要指标和析出铅形貌的影响如表4和图6所示。由表4可知,活性炭净化骨胶溶液时液固比对铅电解主要经济指标整体影响较小,电流效率均在99%以上,电耗51.80 kW·h/t左右。由图6可见,随着液固比降低,析出铅形貌逐渐趋于光滑平整,液固比1 000:1活性炭净化与静置72 h时铅表面光滑平整度相近。这进一步说明,按液固比1 000:1的活性炭用量净化骨胶溶液可以有效脱除溶液中的杂质,使析出铅表面平整光滑。在1 000:1的基础上继续增大活性炭用量,析出铅表面会出现明显花球状析出铅。结合图5可知,活性炭过量时,不仅会吸附骨胶胶体杂质,也会吸附骨胶溶液中的有效成分。骨胶有效成分不足时,在阴极表面无法形成足够调节电流密度

表4 活性炭净化骨胶溶液时液固比对铅电解主要指标的影响

液固比	槽电压/V	阴极析出铅质量/g	电流效率/%	电耗/(kW·h·t ⁻¹)
1 500:1	0.2	1 092.9	99.12	51.82
1 250:1	0.2	1 093.1	99.14	51.81
1 000:1	0.2	1 093.7	99.19	51.79
750:1	0.2	1 093.6	99.19	51.79
500:1	0.2	1 093.7	99.19	51.79



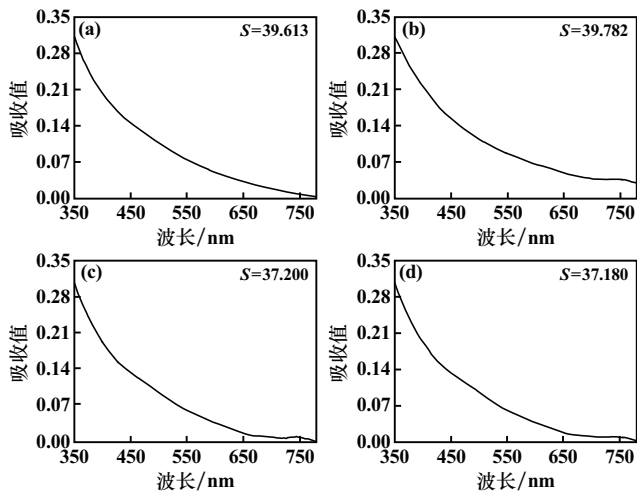
(a) 1 500:1; (b) 1 250:1; (c) 1 000:1; (d) 750:1; (e) 500:1

图6 活性炭净化骨胶溶液时不同液固比下析出铅形貌

的吸附层,导致形成花球状且相对疏松的析出铅。由此可得,活性炭净化 3 g/L 骨胶溶液的适宜液固比为 1 000:1。

2.4 综合试验

为考察最佳条件下试验的重复性,分别在静置净化和活性炭净化最佳条件下进行 2 次重复试验。静置净化 72 h 和 1 000:1 活性炭净化条件下骨胶溶液浑浊度见图 7。将二者分别配制成骨胶浓度 0.8 g/L、 Pb^{2+} 浓度 120 g/L、 H_2SiF_6 浓度 120 g/L 的铅电解液并进行铅电解试验,不同净化方式下铅电解主要指标和析出铅形貌如表 5 和图 8 所示。



(a) 静置净化, 试验 1; (b) 静置净化, 试验 2;
(c) 活性炭净化, 试验 1; (d) 活性炭净化, 试验 2

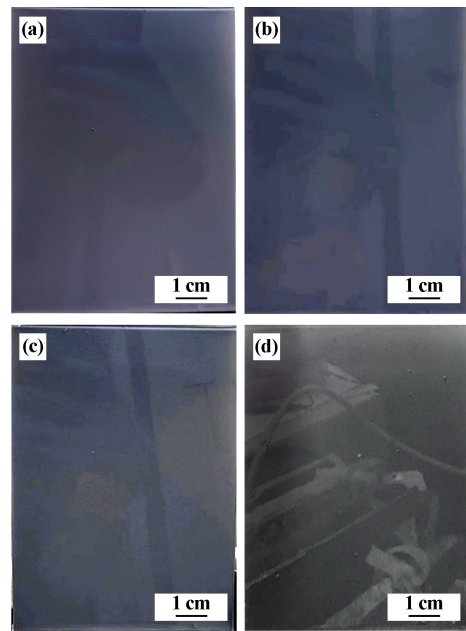
图 7 不同净化方式下骨胶溶液浑浊度

表 5 不同净化方式对应的铅电解主要指标

试验方法	槽电压/V	阴极析出铅质量/g	电流效率/%	电耗/($kW \cdot h \cdot t^{-1}$)
静置净化, 试验 1	0.2	1 093.7	99.19	51.79
静置净化, 试验 2	0.2	1 093.6	99.19	51.79
活性炭净化, 试验 1	0.2	1 093.7	99.19	51.79
活性炭净化, 试验 2	0.2	1 093.5	99.18	51.80

由图 7 和表 5 可见,3 g/L 骨胶溶液静置 72 h 两次试验溶液的浑浊度分别为 39.613、39.782,对应的铅电解电流效率值均为 99.19%、电耗均为 51.79 $kW \cdot h/t$ 。3 g/L 骨胶溶液经 1 000:1 活性炭净化,两次试验的溶液浑浊度分别为 37.200、37.180,对应的铅电解电流效率值分别为 99.19%、99.18%,对应电耗值分别为 51.79 $kW \cdot h/t$ 、51.80 $kW \cdot h/t$ 。图 8 表明,静置 72 h 和 1 000:1 活性炭净化条件下获得的析出铅表面致密且平整,说明重复试验结果重复性较好,即静置 72 h 或 1 000:1 活性炭净化后,铅电解均可获得较高的电流效率(99.19%)和较低的电耗(51.79 $kW \cdot h/t$),且铅电

解获得的析出铅表面平整光滑。



(a) 静置净化, 试验 1; (b) 静置净化, 试验 2;
(c) 活性炭净化, 试验 1; (d) 活性炭净化, 试验 2

图 8 不同净化方式下析出铅形貌

3 结 论

1) 铅电解常用添加剂骨胶浓度大小对铅电解电流效率、电耗和析出铅形貌有较大影响,适宜的骨胶浓度为 0.8 g/L。

2) 骨胶胶体杂质对铅电解析出铅形貌有一定影响。将骨胶溶液静置 72 h 或 1 000:1 活性炭净化均能去除胶体杂质,净化后铅电解电流效率高达 99.19%、电耗低至 51.79 $kW \cdot h/t$,获得的析出铅表面平整光滑。

参考文献:

- [1] 徐庆鑫,张 涛,和晓才. 含铅多金属物料电积提铅的研究[J]. 云南冶金, 2017,46(4):28-33.
- [2] 许健明,李 颖. 2020—2035 年全球铅供需格局分析[J]. 中国矿业, 2021,30(2):14-20.
- [3] 韩远远,朱成龙,刘俊杰,等. 一种粗铅的电解精炼系统, CN113215619A[P/OL]. [2021-08-06].
- [4] 常 聪,李有刚,陈永明,等. 甲基磺酸体系铅电沉积工艺研究[J]. 矿冶工程, 2020,40(1):105-108.
- [5] Ojebuoboh F, Wang S J, Maccagni M. Refining primary lead by granulation-leaching-electrowinning[J]. Jom-Journal of The Minerals Metals & Materials Society, 2003,55(4):19-23.
- [6] 陈国发,王德全. 铅冶金学[M]. 北京:冶金工业出版社, 2000.
- [7] 彭容秋. 铅冶金[M]. 长沙:中南大学出版社, 2004.
- [8] 戴 军,王德全,姜 澜,等. 铅电解精炼添加剂的应用及进展[J]. 有色金属, 2003(1):75-80.

(下转第 147 页)

表2 优化条件下不同氧化剂种类验证试验

氧化剂名称	氧化剂类型	纯度/%	铜品位/%		铜浸出率/%
			原矿	浸出渣	
BKY1	赤铁矿	92.08	8.66	0.43	96.42
BKY2	赤铁矿	92.12	8.66	0.40	96.81
PURE	赤铁矿	91.55	8.66	0.54	95.62
NF	磁铁矿	93.00	8.66	0.67	95.17
WLESEN	赤铁矿	84.84	8.66	1.14	90.95
GYC	赤铁矿	95.00	8.66	0.24	97.96

由表2可知,渣选硫化铜精矿中铜浸出率与氧化剂种类和纯度有关。优化试验条件下,BKY1、BKY2、PURE和GYC赤铁矿、NF磁铁矿都能较好地实现对渣选硫化铜精矿中铜的氧化浸出,铜浸出率均在95%以上,而WLESEN赤铁矿对渣选硫化铜精矿中铜的氧化浸出率较低。由此分析可得,三价铁化合物的纯度越高,铜氧化浸出效果越好。

3 结 论

1) 铁氧化加温酸浸是湿法冶金处理渣选硫化铜精矿回收金属铜的有效方法,其浸出过程受氧化剂用量、浸出温度、浸出时间、液固比、酸度和氧化剂纯度等因素控制。

2) 渣选硫化铜精矿加温氧化酸浸适宜浸出条件为:氧化剂赤铁矿用量 $0.2\text{ g/g}_{\text{矿}}$ 、浸出温度 $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、浸出时间 6 h 、液固比 $5:1$ 、浸出剂硫酸浓度 200 g/L ,该条件下铜浸出率可达 97.96% 。

3) 赤铁矿和磁铁矿在酸浸体系中均有较好的氧化性,可实现低品位渣选硫化铜精矿中铜在中温条件下浸出,且三价铁化合物的纯度越高,铜氧化浸出效果越好。

参考文献:

[1] 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

(上接第143页)

- [9] 李仕雄,刘爱心. 铅电解过程中电解液质量在线监控的原理与实践[J]. 矿冶工程, 1998(3):51-53.
- [10] 刘德育,谭柱中. 铅电解采用新添加剂浅析[J]. 矿冶工程, 1992(3):43-46.
- [11] 杜英华,陈保国,贾洪斌. 由骨胶水解液中分离提取L-羟脯氨酸和L-脯氨酸的实验研究[J]. 内蒙古石油化工, 2002(3):16-18.
- [12] Rizvi H R, Khattak M J, Gallo A A. Rheological and mechanistic characteristics of Bone Glue modified asphalt binders[J]. Construction And Building Materials, 2015,88:64-73.
- [13] Bretanha C C, Zin G, Oliveira J V, et al. Improvement of tangential microfiltration of gelatin solution using a permanent magnetic field[J]. Journal of Food Science and Technology-Mysore, 2021,58(3):1093-1100.
- [14] 李欣雅. 改性活性炭对石化污水处理厂反渗透浓水有机物吸附去除特性研究[D]. 北京:北京化工大学, 2022.

研究[J]. 矿冶工程, 2021,41(6):170-173.

- [2] 王子彪,何贵香,占焕武,等. 高铜铅冰铜氧压浸出[J]. 矿冶工程, 2022,42(6):122-126.
- [3] 王海北,李贺,王玉芳. 稀贵金属加压浸出技术现状及展望[J]. 有色金属(冶炼部分), 2021(6):1-9.
- [4] 王海北,蒋开喜,王玉芳,等. 重金属加压浸出技术现状及展望[J]. 有色金属(冶炼部分), 2021(9):1-11.
- [5] ZHENG Chaozhen, JIANG Kaixi, CAO Zhanmin, et al. Pressure leaching behaviors of copper-cobalt sulfide concentrate from Congo[J]. Separation and Purification Technology, 2023,309:123010.
- [6] 董伟丽,徐吉. 加压浸出技术在回收铜冶炼废渣有价金属中的应用[J]. 中国金属通报, 2022(5):27-29.
- [7] Seyrankaya Abdullah. Pressure leaching of copper slag flotation tailings in oxygenated sulfuric acid media[J]. ACS Omega, 2022,7(40):35562-35574.
- [8] 刘恒,游贵贤,段朝玉. 氯盐浸出硫化矿全湿法工艺的实践[J]. 四川有色金属, 1994(3):7-12.
- [9] D'yachenko A N, Kraidenko R I. Processing oxide-sulfide copper ores using ammonium chloride[J]. Russian Journal of Non-Ferrous Metals, 2010,51(5):377-381.
- [10] 方建军,李艺芬,鲁相林,等. 低品位氧化铜矿石常温常压氨浸工艺影响因素研究与工业应用结果[J]. 矿冶工程, 2008(3):81-83.
- [11] 彭宇,肖发新,孙树臣,等. 高碱性脉石低品位氧化铜矿提铜研究进展[J]. 有色金属科学与工程, 2020,11(5):69-74.
- [12] 李小燕,张卫民,高曙光,等. 微生物浸矿技术在处理低品位铜矿中的现状及发展趋势[J]. 中国矿业, 2007,16(7):91-93.
- [13] 孟运生,郑英,刘辉,等. 微生物浸矿强化技术研究进展[J]. 湿法冶金, 2012,31(4):204-207.
- [14] 李晓晖,胡森,艾仙斌,等. 铁离子对土状铜矿中铜浸出影响研究[J]. 有色金属(冶炼部分), 2015(7):5-7.
- [15] 刘伟. 复杂硫化铜钴矿生物浸出机理及新工艺研究[D]. 沈阳:东北大学, 2015.
- [16] 周娟. 高铁硫化铜铅矿焙烧—浸出分离铜研究[D]. 昆明:昆明理工大学, 2015.

引用本文:王洪杰,刘杰,周宽达,等. 国外某渣选硫化铜精矿加温铁氧化酸浸试验研究[J]. 矿冶工程, 2023,43(6):144-147.

- [15] 杨金月,杨晓英,郑正,等. 粉末活性炭强化澄清工艺去除水库原水有机物的研究[J]. 复旦学报(自然科学版), 2022,61(3):353-364.
- [16] 彭容秋. 铅锌冶金学[M]. 北京:科学出版社, 2003.
- [17] 夏中卫. 添加剂在柏兹法铅电解中的应用[J]. 湖南有色金属, 2003(4):20-23.
- [18] 朱若林,宋言,代泽宇,等. 骨胶和聚二硫二丙烷磺酸钠对厚电解铜箔性能的影响[J]. 电镀与涂饰, 2021,40(13):1027-1030.
- [19] Veilleux B, Lafront A M, Ghali E. Influence of gelatin on deposit morphology during copper electrorefining using scaled industrial cells[J]. Canadian Metallurgical Quarterly, 2002,41(1):47-61.

引用本文:钟勇,高和欣,王文军,等. 骨胶对铅电解阴极行为的影响研究[J]. 矿冶工程, 2023,43(6):139-143.