

电解锰渣中锰的浸出行为与动力学分析

孙宁宁^{1,2}, 陈喜平^{1,2}, 张雅琪^{1,2}

(1. 郑州大学 材料科学与工程学院, 河南 郑州 450001;

2. 绿色选冶与加工国家地方联合工程研究中心, 河南 郑州 450001)

摘要:研究了用硫酸浸出电解锰渣中的锰,通过单因素试验和正交试验优化了工艺参数,并对电解锰渣浸出前后的物相、结构、形貌,以及浸出锰动力学进行了分析,建立了锰浸出模型,探究了浸出机制。结果表明:在粒径 200 目、搅拌速度为 400 r/min、浸出温度 95 °C、硫酸浓度 1.5 mol/L、浸出时间 120 min、液固体积质量比 11/1 优化条件下,Mn 浸出率达 97.90%;锰浸出动力学符合液-固未反应收缩核模型,受化学反应控制;在浸出锰过程中,可以通过控制液固体积质量比、温度提高 Mn 浸出率。

关键词:电解锰渣;硫酸;浸出;锰;动力学;模型;机制

中图分类号:TF803.21;TF792 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-2617(2024)01-0039-08

DOI:10.13355/j.cnki.sfyj.2024.01.007

电解锰渣(Electrolytic Manganese Residue, EMR)是电解锰生产过程中,菱锰矿经硫酸酸浸金属锰而产生的酸浸渣,是一种含有高钙、高硅的一般工业固体废物^[1]。我国是电解金属锰的主要生产国,产能约占全球总产能 97%,但锰矿平均品位仅为 12%左右,每生产 1 t 金属锰会产生 8~10 t 电解锰渣,年生成量约 130 万 t。目前,电解锰渣的处置方法以堆存为主,其中含大量可溶性盐类化合物和游离态重金属离子,成分复杂,易扩散造成环境污染^[2];但其中锰质量分数达 4%以上,锰资源量约达 5.2 万 t,具有重要回收价值^[3]。因此,电解锰渣的“无害化、减量化和资源化”逐渐成为国内外学者积极探索与研究的热点领域。

电解锰渣的资源化再利用主要包括制备水泥、凝胶和耐火砖等建筑材料,但因其中所含重金属离子会对材料性能造成有一定负面影响^[4],因此,在二次利用前,对锰、铁、铅等有价金属进行回收至关重要。酸浸是一种成熟的湿法冶金技术,是在特定条件下,通过 H₂SO₄、HCl、HNO₃ 或者一些有机酸破坏矿相结构,将待提取有价元素转

化为酸溶性离子,从而使其被提取出来^[5-6]。以 HCl 为酸浸剂处理电解锰渣,最佳试验条件下的 Mn 浸出率达 95.89%,但在酸浸液中还含有高浓度的氨氮及钙、铝等元素,酸浸液的后续处理工艺较复杂^[7];以 10% H₂SO₄ 为酸浸剂、在 70 °C 下采用水洗-酸浸法处理电解锰渣,锰回收率可达 97.3%^[8];而以 H₂SO₄ 为酸浸剂,草酸为辅助剂时,回收率可达 99.9%,但以有机酸作辅助酸浸剂易产生配合物,可能对后续纯化提锰带来不利影响,且工艺繁琐复杂,成本和能耗较高^[9]。

目前,对酸浸电解锰渣的研究多集中在不同酸浸剂、浸出工艺参数对金属离子浸出率的影响方面,而有关动力学方面研究报道不多。试验以硫酸为酸浸剂,研究了电解锰渣粒径、搅拌速度、液固体积质量比、浸出温度、浸出时间和硫酸浓度对 Mn 浸出率的影响,通过正交试验进一步优化浸出条件,并基于液固未反应收缩核模型建立了电解锰渣中回收锰的浸出动力学模型,探究了其反应机制,旨在为电解锰渣回收锰工艺参数的优化提供理论参考。

收稿日期:2023-10-19

基金项目:郑州大学科研发展基金资助项目(25124510001)。

第一作者简介:孙宁宁(1997—),女,硕士研究生,主要研究方向为电解锰渣的资源化。

通信作者简介:陈喜平(1971—),女,博士,教授,主要研究方向为绿色选冶。E-mail:chenxiping@zzu.edu.cn。

1 试验部分

1.1 试验原料

电解锰渣:取自广西某电解锰生产企业,呈土黄色,这是因为在两步采矿中包含铁矿石,而非黑锰固体废物。将电解锰渣用制样机破碎粉碎过不同目筛,于 105 °C 下烘干 2 h,保存备用。取烘干后的电解锰渣粉体,根据《土壤 pH 的测定》,按照质量比 1 : 2 将电解锰渣粉体干粉与水制成浆体。用雷磁精密 pH 计测定浆体 pH 为 6.27,说明电解锰渣是一种弱酸性物质。电解锰渣的主要化学成分见表 1,主要含 O、Fe、S、Ca、Si 等元素。

表 1 电解锰渣的主要化学成分 %

O	Fe	S	Ca	Si	Al	Mn	K	Ba	其他
48.13	12.91	10.67	8.35	7.26	4.12	4.98	1.31	1.23	1.04

电解锰渣的红外光图谱如图 1 所示。3 693.42、3 382.69 和 1 618.77 cm^{-1} 为电解锰渣中结晶水的特征峰,分别为结晶水的非对称伸缩振动、对称伸缩振动和弯曲振动。1 453.73 cm^{-1} 为 SiO_4^{2-} 的特征峰,电解锰渣成分复杂,含有一定量硅酸盐^[10]。1 082.01 cm^{-1} 为 O—Si—O 的反对称伸缩振动峰,796.66、463.16 cm^{-1} 为 SiO_2 特征峰,1 004.22、913.00 和 595.63 cm^{-1} 为 SO_4^{2-} 的特征谱带,可能是在压滤过程中残留在电解锰渣表面的电解液^[11]。由文献[12]可知,429.18 cm^{-1} 可能为 $\text{Fe}^{2+}-[\text{S}_2]^{2-}$ 的伸缩振动带,说明电解锰渣中存在一定黄铁矿,这与其宏观颜色对应。

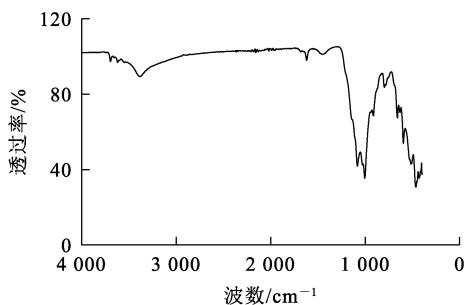


图 1 电解锰渣的红外光谱

电解锰渣的 SEM 分析结果如图 2 所示。可以看出:电解锰渣分布杂乱,多呈不规则柱状或块

状结构,轮廓明显,在空间中随机重叠,柱状晶体颗粒与其他物质交错分布,其间还填充一些块状颗粒;柱状晶体主要为 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$,块状颗粒为 SiO_2 。电解锰渣颗粒较为细小,比表面积发达,有利于反应活性激发,锰等金属元素及其他复盐的有效浸出^[10]。

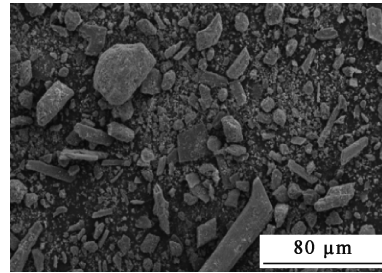


图 2 电解锰渣的 SEM 分析结果

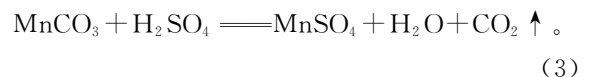
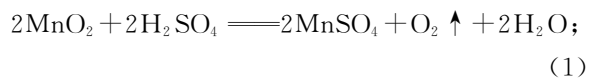
1.2 试验试剂及仪器设备

试剂:硫酸,国药集团化学试剂有限公司,分析纯;所用水为去离子水。

仪器设备:X 射线衍射仪(XRD, Empyrean 锐影),分析样品物相组成,荷兰帕纳科公司;红外光谱仪(FT-IR, Nicolet 10),分析样品的化学组成,美国赛默飞公司;扫描电子显微镜(SEM, ZEISS Gemini 300),分析样品形貌,德国蔡司公司;元素分析仪(XRF, Axios),分析样品元素,荷兰帕纳科公司;等离子体发射光谱仪(ICP, 5800-ICP-OES),测试浸出液中锰浓度,美国安捷伦公司;集热式恒温磁力搅拌器(DF-101SZ),上海予申仪器有限公司;电热鼓风干燥箱(LC-101-OB),上海力辰邦西仪器科技有限公司;循环水真空泵(SHZ-D(Ⅲ)),上海予华仪器有限公司。

1.3 试验原理及方法

在硫酸体系下浸出电解锰渣中的锰属于液-固非均相反应,发生的主要化学反应如下:



取一定量硫酸、去离子水于烧杯中,将烧杯置于集热式恒温磁力搅拌装置上,加热至设定温度,之后加入一定量电解锰渣,浸出一定时间后用真空

抽滤机固液分离,浸出渣烘干处理保存,取浸出液测定其锰离子浓度,按式(4)计算 Mn 浸出率:

$$x = \frac{\rho V}{m\omega} \times 100\% \quad (4)$$

式中: x —Mn 浸出率,%; ρ —浸出液中锰质量浓度,mg/L; V —浸出液体积,L; ω —电解锰渣中锰质量分数,%; m —电解锰渣质量,g。

在锥形瓶中进行动力学试验,封住瓶口减少反应过程中质量损失,待温度达设定温度,加入一定量电解锰渣,间隔 30 min 取样 2.5 mL,反应 180 min。

2 试验结果与讨论

2.1 单因素试验

2.1.1 粒径对 Mn 浸出率的影响

浸出温度 25 °C,浸出时间 60 min,硫酸浓度 1 mol/L,搅拌速度 300 r/min,液固体积质量比 7/1,电解锰渣粒径对 Mn 浸出率的影响试验结果如图 3 所示。

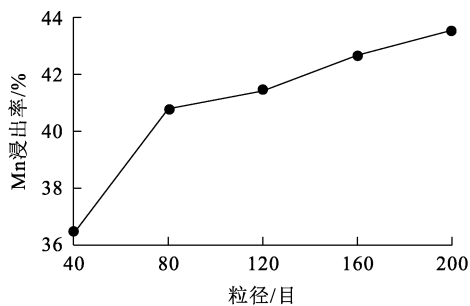


图 3 电解锰渣粒径对 Mn 浸出率的影响

由图 3 看出,随粒径减小,Mn 浸出率呈升高趋势,粒径减小至 160 目时,Mn 浸出率升至 42.67%,之后继续减小粒径至 200 目,Mn 浸出率升至 43.55%,升幅较小。综合考虑,电解锰渣粒径以 200 目为宜。

2.1.2 搅拌速度对 Mn 浸出率的影响

浸出温度 25 °C,浸出时间 60 min,硫酸浓度 1 mol/L,粒径 200 目,液固体积质量比 7/1,搅拌速度对 Mn 浸出率的影响试验结果如图 4 所示。可以看出:随搅拌速度增大,Mn 浸出率升高,说明增大搅拌速度有利于 Mn 浸出;搅拌速度增至 400 r/min 时,Mn 浸出率达 46.81%;继续增大搅拌速度,Mn 浸出率变化不大。综合考虑,确定搅

拌速度以 400 r/min 为宜。

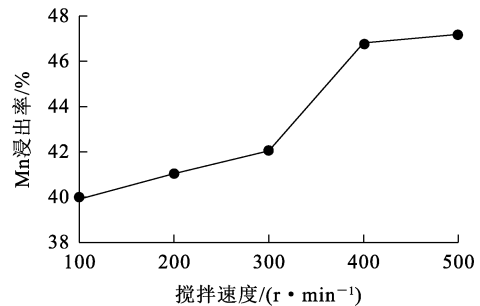


图 4 搅拌速度对 Mn 浸出率的影响

2.1.3 液固体积质量比对 Mn 浸出率的影响

浸出温度 25 °C,浸出时间 60 min,硫酸浓度 1 mol/L,粒径 200 目,搅拌速度 400 r/min,液固体积质量比对 Mn 浸出率的影响试验结果如图 5 所示。

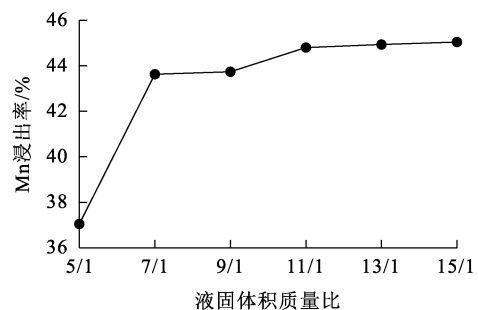


图 5 液固体积质量比对 Mn 浸出率的影响

由图 5 看出,随液固体积质量比增大,Mn 浸出率先升高后趋于稳定:液固体积质量比增至 7/1 时,Mn 浸出率达 43.63%,继续增至 11/1,Mn 浸出率达 44.81%;之后继续增大液固体积质量比,Mn 浸出率变化不大。考虑到液固体积质量较大时,体系黏度较低,浓度梯度较大,有利于传质,因此,确定液固体积质量比在 7/1~11/1 范围内为宜。

2.1.4 浸出时间对 Mn 浸出率的影响

浸出温度 25 °C,硫酸浓度 1 mol/L,粒径 200 目,搅拌速度在 400 r/min,液固体积质量比 7/1,浸出时间对 Mn 浸出率的影响试验结果如图 6 所示。可以看出,随浸出进行,Mn 浸出率先升高后趋于稳定:浸出 60 min 时,Mn 浸出率升至 43.63%;浸出时间延长至 140 min 时,Mn 浸出率达 50.17%;继续延长浸出时间,Mn 浸出率变

化不大。综合考虑成本等因素,确定浸出时间在100~140 min 范围内为宜。

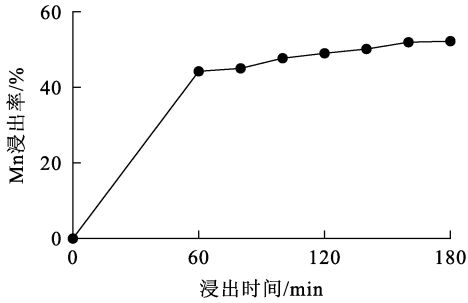


图6 浸出时间对 Mn 浸出率的影响

2.1.5 浸出温度对 Mn 浸出率的影响

浸出时间 100 min,硫酸浓度 1 mol/L,粒径 200 目,搅拌速度在 400 r/min,液固体积质量比 7/1,浸出温度对 Mn 浸出率的影响试验结果如图 7所示。

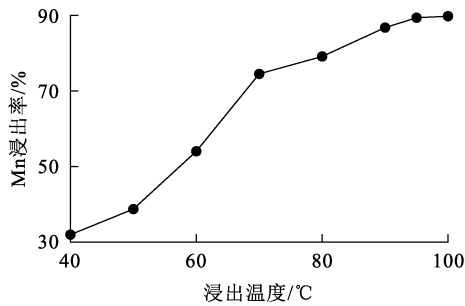


图7 浸出温度对 Mn 浸出率的影响

由图 7 看出: Mn 浸出率随温度升高而升高,温度升至 95 ℃时, Mn 浸出率为 89.36%;说明升高温度,可激活未活化分子,加快反应速率,有助于反应正向进行^[7]。继续升高温度, Mn 浸出率升幅较小,趋于稳定。综合考虑能耗等因素,确定浸出温度在 85~95 ℃范围内为宜。

2.1.6 硫酸浓度对 Mn 浸出率的影响

浸出温度 90 ℃,浸出时间 100 min,粒径 200 目,搅拌速度在 400 r/min,液固体积质量比 7/1,硫酸浓度对 Mn 浸出率的影响试验结果如图 8 所示。

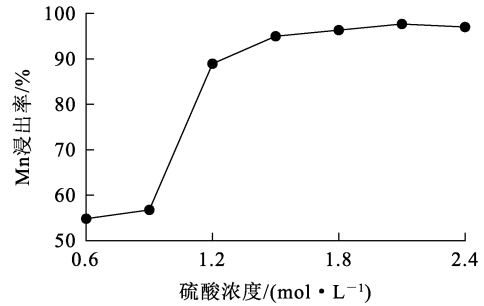


图8 硫酸浓度对 Mn 浸出率的影响

由图 8 看出: Mn 浸出率随硫酸浓度增大迅速升高,在硫酸浓度增至 1.2 mol/L 时, Mn 浸出率升至 88.93%;硫酸浓度大于 1.2 mol/L 后, Mn 浸出率升幅变小,在增至 1.5 mol/L 时, Mn 浸出率达 94.97%;之后继续增大硫酸浓度, Mn 浸出率略微下降,趋于平稳。这是因为随溶液中氢离子浓度增大,电解锰渣颗粒表面被腐蚀程度更高,有利于反应正向进行,提高 Mn 浸出率;而硫酸浓度大于 1.5 mol/L 后,硫酸过量,体系中其他金属离子也同时浸出,给后续锰的除杂造成不利影响,增加成本^[13]。因此,确定硫酸浓度在 1.5~2.1 mol/L 范围内为宜。

2.2 多因子正交试验

为了获得更佳的浸出效果,在单因素试验基础上,选定液固体积质量比、浸出时间、浸出温度和硫酸浓度 4 个反应条件作为主要考察因素,设计 4 因素 3 水平的正交试验,优化工艺条件。正交试验因素及水平、结果分别见表 2、3。

表 2 L₉(3⁴)正交试验因素及水平

水平	A 浸出时间/min	B 浸出温度/℃	C 硫酸浓度/(mol · L ⁻¹)	D 液固体积质量比
1	100	85	1.5	7/1
2	120	90	1.8	9/1
3	140	95	2.1	11/1

表 3 L₉(3⁴)正交试验结果

序号	A	B	C	D	Mn 浸出率/%
1	1	1	1	1	90.71
2	1	2	2	2	86.18
3	1	3	3	3	96.15
4	2	1	2	3	94.01
5	2	2	3	1	89.60
6	2	3	1	2	95.26
7	3	1	3	2	86.00
8	3	2	1	3	93.35
9	3	3	2	1	96.81
K ₁	273.04	270.72	279.32	277.12	
K ₂	278.87	269.13	277.00	267.44	
K ₃	276.16	288.22	271.75	283.51	
R	1.94	6.36	2.52	5.36	

在确定的因素范围内, Mn 浸出率的要求越高越好,通过极差 R 可描述各因素对 Mn 浸出率影响的主次^[14]。由表 3 看出:各因素对 Mn 浸出率影响顺序为浸出温度>液固体积质量比>硫酸浓度>浸出时间;优选试验条件组合为 A₂B₃C₁D₃,即浸出时间 120 min,浸出温度 95 ℃,硫酸浓度 1.5 mol/L,液固体积质量比 11/1。

2.3 浸出机制

在浸出时间 120 min、浸出温度 95 ℃、硫酸浓度 1.5 mol/L、液固体积质量比 11/1、粒径 200 目、搅拌速度 400 r/min 优化条件下进行 3 组综合验证试验,结果见表 4。可以看出:Mn 平均浸出率达 97.90%,说明在优化条件下,Mn 浸出效果较稳定。

表 4 综合验证试验结果

序号	Mn 浸出率/%
1	97.89
2	98.09
3	97.79
平均	97.90

电解锰渣浸出前、后的 XRD 图谱如图 9 所示。可以看出:酸浸渣与电解锰渣的物相基本一致,说明 SiO₂ 晶相较稳定;酸浸出渣中 CaSO₄ · 2H₂O 衍射峰降低,说明其结晶度比浸出前电解锰渣低,细化的 CaSO₄ · 2H₂O 对锰渣颗粒表面的包裹性降

低,颗粒表面与氢离子的接触面增大,有利于锰的浸出^[15];酸浸渣中出现了 CaSO₄ 和 Al₂SiO₅,这是因为 CaSO₄ · 2H₂O 在硫酸溶液中溶解再结晶生成了 CaSO₄,而 K(Na₂)O · Al₂O₃ · SiO₂、Mg₂(Al₄Si₅O₁₈) 中金属离子被浸出,生成 Al₂SiO₅;相比电解锰渣,酸浸出渣中 MnO₂ 特征峰基本消失,说明锰基本被浸出,达到了预期效果。

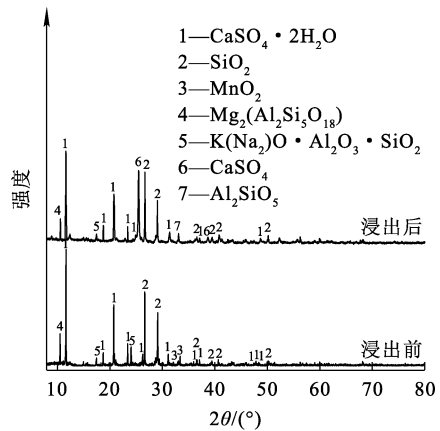


图 9 电解锰渣浸出前、后的 XRD 图谱

对浸出渣进行 SEM-EDS 分析,结果如图 10、11 所示。对比浸出渣与电解锰渣(图 2)SEM 分析结果看出:浸出渣表面充满孔隙,这是由于电解锰渣经硫酸浸出后,颗粒表面不断被侵蚀,导致颗粒解离,锰被浸出。由图 11 看出:在图 10 的样

点 a 处的块状物质主要由 O、S、Si、Al、Ca 4 种元素构成,确定为 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、 SiO_2 和 Al_2SiO_5 ; 样点 b 处的较大尺寸的颗粒状物质主要由 Si、O、S 3 种元素构成,确定为 Al_2SiO_5 ; 样点 c 处的物质主要由 O、Al、Si 等元素组成,确定为 Al_2SiO_5 。综上所述,判定浸出渣的物相组成主要为 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、 SiO_2 和 Al_2SiO_5 。后续将对浸出渣在建筑材料方面的应用进行进一步研究。

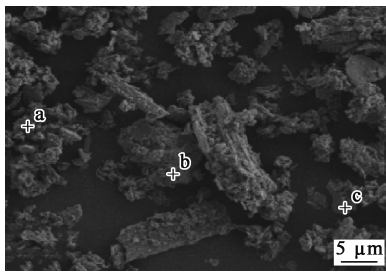


图 10 浸出渣的 SEM 分析结果

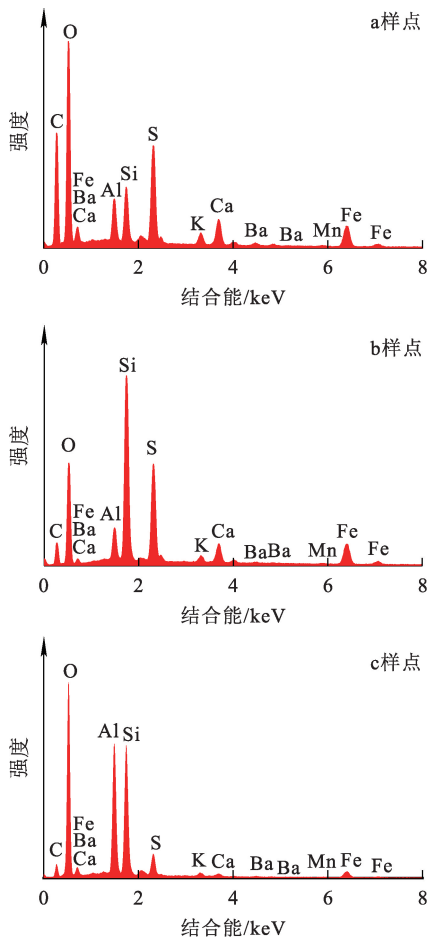


图 11 图 10 中 a、b、c 样点的 EDS 图谱

2.4 浸出动力学

2.4.1 动力学模型

随着反应时间延长,浸出反应向颗粒中心收缩,有固体物质残留,锰离子通过液膜向溶液主体扩散,因此,浸出可用液-固未反应收缩核模型进行描述^[16]。浸出过程由化学反应控制、传质内扩散控制或反应-内扩散混合控制,对应的未反应收缩核模型速率方程^[17]如下:

$$1 - (1-x)^{\frac{1}{3}} = k_1 t; \quad (6)$$

$$1 - \frac{2}{3}x - (1-x)^{\frac{2}{3}} = k_2 t; \quad (7)$$

$$\frac{1}{3} \ln(1-x) + (1-x)^{-\frac{1}{3}} - 1 = k_3 t. \quad (8)$$

式中: k_1 —化学反应控制的反应速率常数, min^{-1} ; k_2 —传质扩散控制的反应速率常数, min^{-1} ; k_3 —反应-内扩散混合控制的反应速率常数, min^{-1} ; t —浸出时间, min ; x —Mn 浸出率, %。

反应速率常数 k 与温度的关系满足阿伦尼乌斯(Arrhenius)方程:

$$k = A \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right). \quad (9)$$

式中: k —化学反应速率常数, min^{-1} ; A —频率因子, min^{-1} ; R —理想气体常数, $8.314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$; E_a —表观活化能, kJ/mol 。

2.4.2 动力学拟合

为确定锰浸出的控制步骤,在不同温度下进行浸出试验,结果如图 12 所示^[17]。用式(6)~(8)对图 12 的试验数据进行拟合,结果如图 13 所示。可以看出:相比于传质内扩散控制模型和反应-内扩散混合控制模型,化学反应控制模型在不同温度下的拟合相关系数均大于 0.97,拟合度最高,表明 Mn 浸出过程主要受化学反应控制。

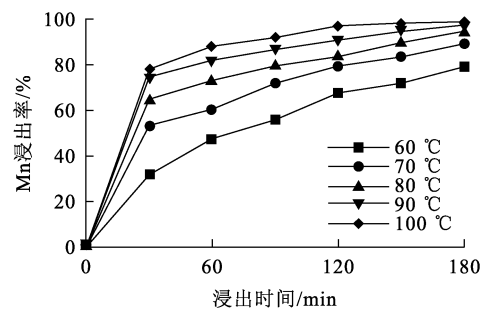


图 12 温度对 Mn 浸出动力学的影响

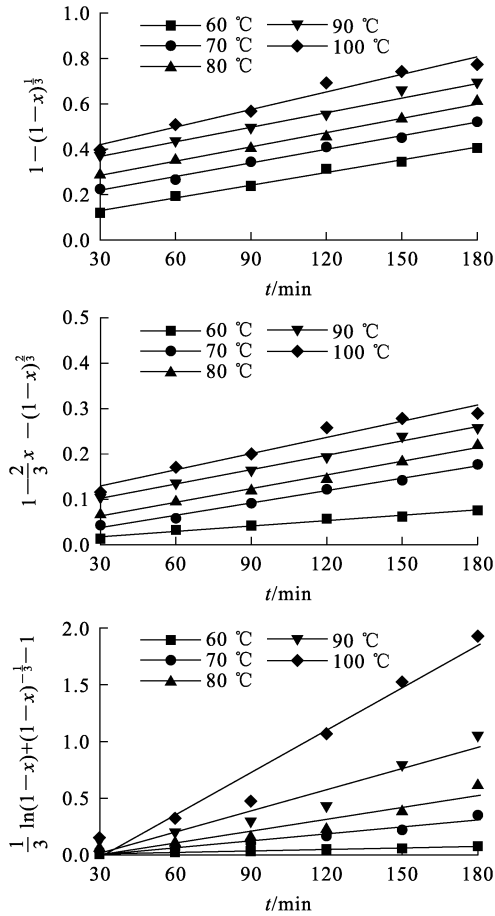


图 13 不同温度下 3 种动力学模型的拟合曲线

以 $1/T$ 为横坐标对 $\ln k$ 作图,如图 14 所示。经计算,反应活化能为 7.92 kJ/mol。

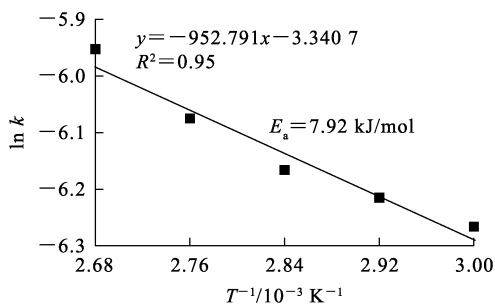


图 14 $\ln k$ 与 T^{-1} 之间的关系曲线

浸出反应受化学反应控制,而影响化学反应速率的主要因素有温度、催化剂等,而升高温度可使活化分子数量增加,增大与 Mn 有效碰撞概率,进而提升 Mn 浸出率。根据酸浸电解锰渣的实际情况,确定主要通过控制温度提高 Mn 浸出率。锰浸出的宏观动力学方程可表示为

$$1 - (1-x)^{\frac{1}{3}} = 0.035 \exp\left(-\frac{7.92}{RT}\right)t \quad (10)$$

3 结论

用硫酸浸出电解锰渣是可行的,在粒径 200 目、搅拌速度 400 r/min、浸出温度 95 °C、浸出时间 120 min、硫酸浓度 1.5 mol/L、液固体积质量比 11/1 优化条件下,Mn 浸出率高达 97.90%,实现了锰的高效浸出。浸出渣的主要成分为 SiO_2 、 Al_2SiO_5 和 CaSO_4 ,后续主要研究其在建筑材料方面的应用。Mn 的酸浸过程主要受化学反应控制,锰浸出的宏观动力学方程可表示为

$$1 - (1-x)^{\frac{1}{3}} = 0.035 \exp\left(-\frac{7.92}{RT}\right)t$$

参考文献:

- [1] 冯圣霞,杨敏,张煜,等. 电解锰渣中 Mn^{2+} 的固化及动力学研究[J]. 硅酸盐通报,2021,40(7):2313-2319.
- [2] 蒙正炎,高遇事,贾韶辉,等. 电解锰渣综合治理技术研究应用现状和思考[J]. 中国锰业,2022,40(2):1-5.
- [3] WEN J,JIANG T,WANG J P, et al. Cleaner extraction of vanadium from vanadium-chromium slag based on MnO_2 roasting and manganese recycle [J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 261. DOI: 10. 1016/j. jclepro. 2020. 121205.
- [4] 舒建成. 电解锰渣中锰和氮的强化转化方法研究[D]. 重庆:重庆大学,2017.
- [5] 杨晓红,赵东雨,薛希仕,等. 电解锰渣中锰的浸出试验研究[J]. 湿法冶金,2022,41(2):133-136.
- [6] HE S C,JIANG D Y,HONG M H, et al. Hazard-free treatment and resource utilisation of electrolytic manganese residue;a review[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 306. DOI:10. 1016/j. jclepro. 2021. 127224.
- [7] 杨晓红,向欣,薛希仕. 电解锰渣酸浸实验条件探究[J]. 硅酸盐通报,2018,37(7):2326-2330.
- [8] 王星敏,徐龙君,胥江河,等. 电解锰渣中锰的浸出条件及特征[J]. 环境工程学报,2012,6(10):3757-3761.
- [9] 陈红亮,张玉涛,张秋云,等. 酸法还原浸出电解锰渣中锰和铁的工艺条件和动力学分析[J]. 硅酸盐通报,2017,36(8):2844-2849.
- [10] 和森,杨冰萍,罗中秋,等. 电解锰渣的理化性质研究[J]. 化工技术与开发,2022,51(11):41-46.
- [11] LAN J R,SUN Y,GUO L, et al. A novel method to recover ammonia, manganese and sulfate from electrolytic manganese residues by bio-leaching[J]. Journal of Cleaner Production,2019,223:499-507.
- [12] 黄涛,张胜男,黄菲,等. 红透山黄铁矿的红外光谱研究

- [J]. 地学前缘, 2013, 20(3): 104-109.
- [13] 李学鹏, 刘大春, 王娟. 低含钢浸出渣中钢的氧压酸浸实验及动力学研究[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2018, 49(8): 1869-1877.
- [14] 李艳鸽, 陈喜平, 马成明. 铝灰脱氮的实验研究[J]. 轻金属, 2021(7): 22-27.
- [15] WANG B J, MU L L, GUO S, et al. Lead leaching mechanism and kinetics in electrolytic manganese anode slime [J]. Hydrometallurgy, 2019, 183: 98-105.
- [16] FU T, PANG B, LI H X, et al. Electrolytic manganese residue-modified asphalt performance test and micromechanism analysis [J]. Advances in Materials Science and Engineering, 2020(1). DOI: 10.1155/2020/9014649.
- [17] 孙俊, 饶帅, 王东兴, 等. 硫酸-方铅矿体系高效浸出电解锰渣[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2021, 52(11): 3800-3812.

Analysis of Leaching Behavior and Kinetics of Manganese in Electrolytic Manganese Residue

SUN Ningning^{1,2}, CHEN Xiping^{1,2}, ZHANG Yaqi^{1,2}

(1. School of Material Science and Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China;

2. National and Local Joint Engineering Research Center for Green Mineral Metallurgy and Processing, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: The leaching of manganese from electrolytic manganese residue with sulfuric acid was studied, and the process parameters were optimized by single factor test and orthogonal test. The phase, structure, morphology and leaching kinetics of electrolytic manganese residue before and after leaching were analyzed. The leaching model was established and the leaching mechanism was explored. The results show that under the optimal conditions of particle size of 200 mesh, stirring speed of 400 r/min, leaching temperature of 95 °C, sulfuric acid concentration of 1.5 mol/L, leaching time of 120 min and liquid volume/solid mass ratio of 11/1, the leaching rate of Mn can reach 97.90%. Manganese leaching kinetics accords with the liquid-solid shrinkage model and is controlled by chemical reaction. In the process of manganese leaching, the leaching rate of Mn can be improved by controlling the liquid volume/solid mass ratio and temperature.

Key words: electrolytic manganese slag; sulfuric acid; leaching; manganese; kinetics; model; mechanism

勘误声明

发表在本刊 2023 年第 42 卷第 6 期《铝电解典型危废的清洁回收技术研究进展》(作者:唐煜晟,杨万章,陈本松,马路通,邱哲生,林艳)一文中,第 551 页表 1 上方第 3 行“1 012 kg”数据有误,正确的应该是“10~12 kg”;第 556 页左栏倒数第 1 行“有浮选法”有误,正确的应该是删除“有”。特此更正并真挚地向读者致歉!

《湿法冶金》编辑部