混合有机酸对废旧磷酸铁锂电池的超声浸出机制研究

吴占新,覃发玠,李武斌,李　勇,胡志同

(贵州省新材料研究开发基地,贵州 贵阳　550014)

摘要:针对传统无机酸浸出法回收废旧磷酸铁锂电池正极粉末存在的强腐蚀性与环境污染等问题,研究了以葡萄糖酸、酒石酸混合有机酸为浸出剂、3 mol/L 过氧化氢为氧化剂,超声强化浸出废旧磷酸铁锂电池正极粉末中的锂和铁。考察了超声波功率、葡萄糖酸浓度、酒石酸浓度、浸出时间、浸出温度对锂、铁浸出率的影响。结果表明:在葡萄糖酸浓度 0.5 mol/L、酒石酸浓度 1.0 mol/L、超声波功率 600 W、液固质量体积比 6∶1、浸出时间 90 min、浸出温度 60 ℃最佳条件下,锂、铁浸出率分别为 99.1%与 2.5%;超声强化对浸出渣的化学成分无明显影响,浸出渣经热处理后,形成了结晶度较好的磷酸铁,浸出过程主要受化学反应控制,浸出效果较好。

关键词:有机酸;废旧磷酸铁锂电池;葡萄糖酸;酒石酸;浸出;机制;锂

中图分类号:TF803.21;TF826.3　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1009-2617(2026)02-0176-07

DOI:10.13355/j.cnki.sfyj.2026.02.006

自 2020 年“双碳”目标提出以来,我国新能源产业的发展步伐进一步加快。随着新能源电池使用年限增加,其容量显著衰减,从而面临退役问题。据预测,到 2030 年,我国新能源电池回收市场规模将突破千亿元[1]。在多种退役电池中,废旧磷酸铁锂电池占比较大。因此,有效回收废旧磷酸铁锂电池中的锂并推动其资源化利用,对实现经济与环境双重效益具有重要意义。

当前,废旧磷酸铁锂电池的回收工艺主要包括火法冶金和湿法冶金两类[2-3]。火法冶金工艺技术相对简单,流程较短,但存在高温处理能耗高、资源回收效果较差等问题。湿法冶金工艺因具有环境污染相对较小、设备要求不高且操作简便等优点,被广泛应用于电池回收领域。但湿法工艺多采用无机酸体系处理电池材料,过程中易产生大量含盐废水与废气,会增加后续处理难度与成本;同时因无机酸腐蚀性较强,还存在较高的安全风险[4-6]。针对上述问题,一些研究人员提出了用有机酸(如乙酸[7]、葡萄糖酸[8]、枸橼酸[9]和草酸[10]等)替代无机酸作为浸出剂从废旧锂电池中回收金属元素。与无机酸浸出法相比,有机酸浸出法能显著减少有害气体排放,对环境更加友好,且后续废水处理成本较低[11-15]。另外,超声波的空化作用能有效加速化学反应,将其引入废旧磷酸铁锂电池中有价金属的浸出,可强化浸出效果,缩短浸出时间[16-17]。

为克服传统无机酸浸出法的强腐蚀性与环境污染问题、强化浸出效果,试验研究探讨了以环境友好的酒石酸+葡萄糖酸混合体系超声浸出废旧磷酸铁锂电池的可行性。考察了超声波功率、混合酸浓度、浸出时间、浸出温度等因素对 Li 和 Fe 浸出效果的影响,并对浸出渣进行了 XRD 及 SEM 表征,分析了其晶体和形貌的变化。同时结合浸出动力学分析,构建并验证了适用的动力学模型以探讨该混酸体系中 Li 浸出的控制步骤与反应机制,以期为该类电池的高效回收与循环利用提供理论依据或数据支撑。

收稿日期:2025-12-11;**修订日期**:2025-12-26

基金项目:贵州科学院青年科学基金项目(黔科院 J 字[2024]5 号)。

第一作者简介:吴占新(1997—),男,硕士,工程师,主要研究方向为湿法冶金。

通信作者简介:覃发玠(1989—),女,硕士,工程师,主要研究方向为湿法冶金。E-mail:709366043@qq.com。

1　试验部分

1.1　试验原料

原料：某电源公司提供的废旧磷酸铁锂电池粉末（LFP），用电感耦合等离子体发射光谱仪（ICP-OES）对其中关键元素含量进行分析，结果见表 1，SEM、XRD 分析结果如图 1 所示。由图 1 看出：原料粉末表面光滑，无杂质，表明电池黏结剂、乙炔黑等材料已处理干净，LFP 粉末无明显团聚现象，平均粒径约为 0.9 μm；原料的主要成分为 $LiFePO_4$，未见杂质峰。

表 1　废旧磷酸铁锂电池粉末的关键元素组成

Table 1　Key element composition of spent lithium iron phosphate batteries powder　%

Fe	P	Li	Al	Mn	Ni	Co
28.52	18.79	3.82	0.37	0.16	0.015	0.014

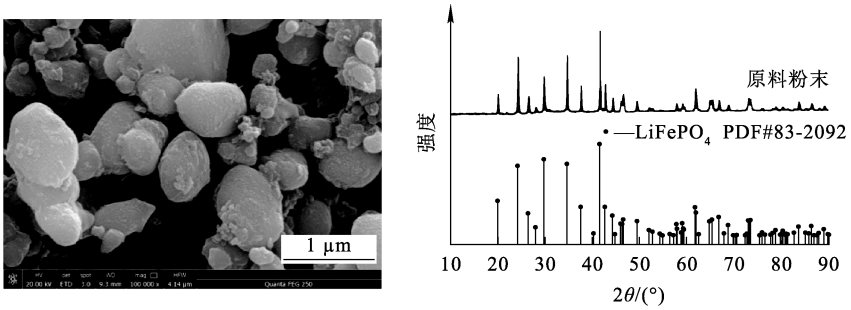


图 1　废旧磷酸铁锂电池粉末的 SEM、XRD 分析结果

Fig. 1　SEM and XRD analysis results of spent lithium iron phosphate batteries powder

1.2　试剂与仪器

试剂：葡萄糖酸、酒石酸、过氧化氢，均为分析纯；水为去离子水。

仪器：CN-LPC10002 型电子天平，HH-1 型恒温水浴锅，THD-T 超声波发生器，KM-1030C 型超声波清洗机，101-1BS 型鼓风干燥箱，LabV 型蠕动泵，SHB-III 型循环水式真空泵，SX-5-12 型箱式电阻炉。

1.3　试验原理及方法

葡萄糖酸和酒石酸电离出的 H^+ 与磷酸铁锂（$LiFePO_4$）晶体中的 Li、Fe 元素发生反应，使 Li、Fe 元素从晶格中溶解。超声波产生的超声空化效应能加快化学反应的进行。过氧化氢（H_2O_2）作为氧化剂，将 $LiFePO_4$ 中的 Fe^{2+} 氧化为 Fe^{3+}，生成 $Fe_2(PO_4)_3$ 沉淀。反应方程如下：

$$LiFePO_4 + H^+ \xlongequal{} Fe^{2+} + Li^+ + HPO_4^{2-} \quad (1)$$

$$2Fe^{2+} + 2HPO_4^{2-} + H_2O_2 \xlongequal{} 2FePO_4\downarrow + 2H_2O \quad (2)$$

取 10 g LFP 样品置于锥形瓶中，按液固体积质量比 6∶1 加入去离子水；搅拌均匀后，再依次加入一定浓度的酒石酸、葡萄糖酸和 3 mol/L 过氧化氢，其中过氧化氢通过蠕动泵缓慢滴加；在一定温度下浸出一定时间后，对浸出液进行过滤，分析其中 Li、Fe 含量，计算浸出率 x_B。计算公式为

$$x_B = \frac{\rho_B V}{m\, w_B} \times 100\% \quad (3)$$

式中：ρ_B—金属（Li/Fe）元素质量浓度，g/L；V—浸出液体积，L；m—LFP 质量，g；w_B—LFP 中金属（Li/Fe）质量分数，%。

2　试验结果与讨论

2.1　超声波功率对浸出的影响

在过氧化氢浓度 3 mol/L、葡萄糖酸浓度 0.5 mol/L、酒石酸浓度 1.0 mol/L、液固体积质量比 6∶1、浸出时间 90 min、浸出温度 60 ℃条件下，研究超声波功率对 Li、Fe 元素浸出率的影响，结果如图 2 所示。

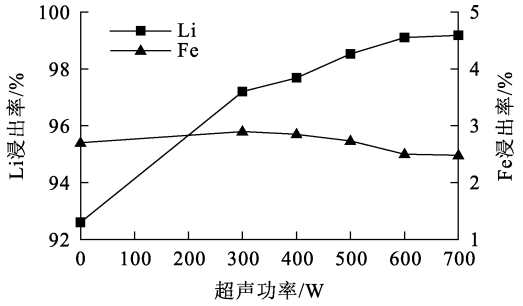


图 2　超声功率对锂和铁浸出率的影响

Fig. 2　Effects of ultrasonic power on leaching rates of lithium and iron

由图 2 看出：无超声波条件下，Li 浸出率为 92.5%左右，而引入超声波后，Li 浸出率显著升高，并在超声波功率增至 300 W 时达 97%左右，之后随超声波继续增大，Li 浸出率缓慢增至 99%以上；而 Fe 浸出率在引入超声波后变化不大，原因是浸出的二价铁被过量的过氧化氢氧化为三价铁而形成了沉淀。超声波对 Li 的强化浸出主要归结于其特有的“空化效应”，引入超声波可迅速剥离废旧磷酸铁锂电池正极粉末表面的杂质并去除钝化层，从而更新反应界面，提高物料与有机酸分子的表面接触面积，强化 Li 的浸出。综合考虑，确定选择超声波功率为 600 W。

2.2 混合酸浓度对浸出的影响

在过氧化氢浓度 3 mol/L、液固体积质量比 6∶1、浸出时间 90 min、浸出温度 60 ℃、超声波功率 600 W 条件下，研究葡萄糖酸与酒石酸浓度对 Li、Fe 元素浸出率的影响，结果如图 3 所示。其中葡萄糖酸与酒石酸浓度配比见表 2。

表 2 葡萄糖酸与酒石酸浓度配比

Table 2 Concentration ratio of gluconic acid and tartaric acid

编号	葡萄糖酸浓度/(mol·L^{-1})	酒石酸浓度/(mol·L^{-1})
1	1.0	0.0
2	0.0	1.0
3	0.2	1.0
4	0.3	1.0
5	0.4	1.0
6	0.5	1.0

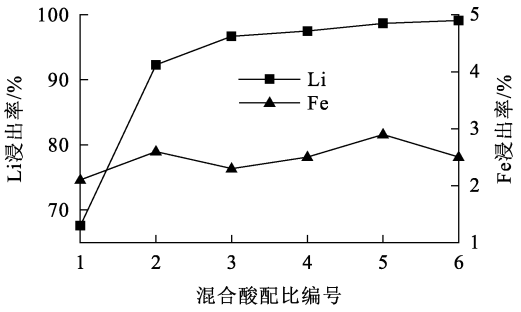


图 3 混合酸浓度对锂和铁浸出率的影响

Fig. 3 Effects of mixed acid contention on leaching rates of lithium and iron

由图 3 看出：单独使用葡萄糖酸对 Li 浸出效果较差，浸出率仅为 67.6%；单独使用酒石酸对 Li 浸出效果虽优于葡萄糖酸，但浸出效果仍不理想；在固定酒石酸浓度为 1.0 mol/L 时，随葡萄糖酸浓度增大，Li 浸出率逐渐增大，Fe 浸出率虽有波动但变化不大，推测可能是浸出的二价铁被过氧化氢氧化为三价铁并进一步形成磷酸铁沉淀所致。综合考虑，确定选择 0.5 mol/L 葡萄糖酸＋1.0 mol/L 酒石酸为浸出剂。

2.3 浸出温度对浸出的影响

在过氧化氢浓度 3 mol/L、液固体积质量比 6∶1、浸出时间 90 min、超声波功率 600 W、0.5 mol/L葡萄糖酸＋1.0 mol/L 酒石酸条件下，研究浸出温度对 Li、Fe 元素浸出率的影响，结果如图 4 所示。

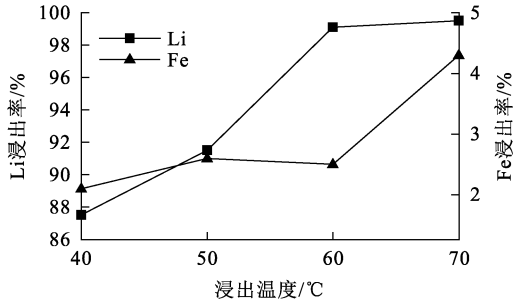


图 4 浸出温度对锂和铁浸出率的影响

Fig. 4 Effects of leaching temperature on leaching rates of lithium and iron

由图 4 看出：当温度从 40 ℃升至 60 ℃时，Li 浸出率升高，Fe 浸出率先升高后降低；继续升温至 70 ℃时，Li 浸出率变化不大，Fe 浸出率大幅升高。由于温度达 70 ℃时，浸出体系会挥发大量水蒸气，考虑到节能降耗因素，因此确定最佳浸出温度为 60 ℃。

2.4 浸出时间对浸出的影响

在过氧化氢浓度 3 mol/L、液固体积质量比6∶1、浸出温度 60 ℃、超声波功率 600 W、0.5 mol/L 葡萄糖酸＋1.0 mol/L 酒石酸条件下，研究浸出时间对 Li、Fe 元素浸出率的影响，结果如图 5 所示。

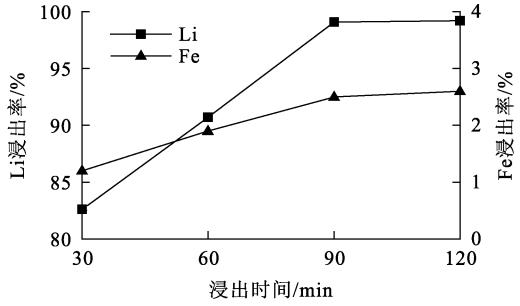


图 5 浸出时间对锂和铁浸出率的影响

Fig. 5 Effects of leaching time on leaching rates of lithium and iron

由图 5 看出，随浸出时间延长，Li、Fe 浸出率也随之升高：浸出时间由 30 min 延长至 90 min 时，Li、Fe 浸出率明显升高；继续延长浸出时间至 120 min，Li、Fe 浸出率变化不大，趋于稳定。综合考虑能耗，确定最佳浸出时间为 90 min，此时 Li 与 Fe 浸出率分别为 99.1%与 2.5%。

2.5　浸出渣的分析

在最优条件(过氧化氢浓度 3 mol/L、葡萄糖酸浓度 0.5 mol/L、酒石酸浓度 1.0 mol/L、液固体积质量比 6∶1、浸出时间 90 min、浸出温度 60 ℃、超声波功率 600 W)下浸出 LFP 样品，所得浸出渣进行热处理(700 ℃下保温 3 h 后冷却)，之后通过 SEM 和 XRD 进行分析，结果如图 6、7 所示。

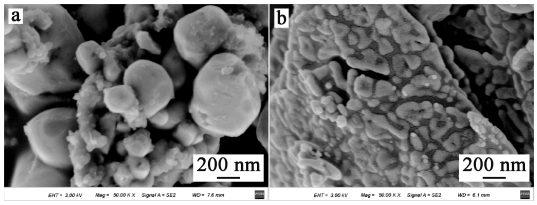


图 6　浸出渣热处理前(a)、后(b)的 SEM 分析结果

Fig. 6　SEM analysis of leaching residue before (a), after (b) heat treatment

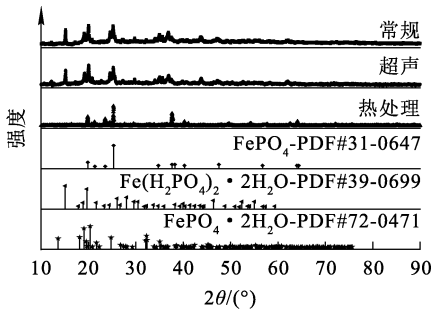


图 7　浸出渣的 XRD 图谱

Fig. 7　XRD pattern of leaching residue

由图 6、7 看出：浸出渣热处理前、后的微观形貌差别较大，热处理后 $FePO_4 \cdot 2H_2O$ 与 $Fe(H_2PO_4)_2 \cdot 2H_2O$ 衍射峰消失，$Fe(H_2PO_4)_2 \cdot 2H_2O$ 中的 Fe 为二价铁，表明浸出过程中仅有少量的二价铁未被过氧化氢氧化为三价铁，这与浸出结果相吻合；热处理有效去除了浸出渣中 $FePO_4 \cdot 2H_2O$ 的结晶水。由图 7 可知，常规浸出与超声波浸出对浸出渣的化学成分无明显影响，其主要成分为 $FePO_4$、$FePO_4 \cdot 2H_2O$、$Fe(H_2PO_4)_2 \cdot 2H_2O$；而热处理后浸出渣的主要成分为 $FePO_4$，衍射峰尖锐，未见杂质峰。

2.6　浸出动力学分析

为探究葡萄糖酸＋酒石酸的作用机制，分析了其在磷酸铁锂电池浸出过程的反应动力学特性。用于描述浸出过程的动力学模型主要包括：外扩散控制、内扩散控制、化学反应控制和混合控制模型[18-19]，其方程分别为：

外扩散控制模型：

$$x = k_1 t \tag{4}$$

内扩散控制模型：

$$1 - \frac{2}{3}x - (1-x)^{\frac{2}{3}} = k_2 t \tag{5}$$

化学反应控制模型：

$$1 - (1-x)^{\frac{1}{3}} = k_3 t \tag{6}$$

混合控制模型：

$$(1-x)^{-\frac{1}{3}} - 1 + \frac{1}{3}\ln(1-x) = k_4 t \tag{7}$$

式中：x—Li 浸出率，%；k_1、k_2、k_3、k_4—外扩散、内扩散、化学反应和混合控制模型速率常数，min^{-1}；t—浸出时间，min。

为确定 Li 浸出反应控制机制，分析了不同浸出温度和不同浸出时间下 Li 的浸出动力学。不同温度下 Li 浸出率随时间的变化曲线如图 8 所示。

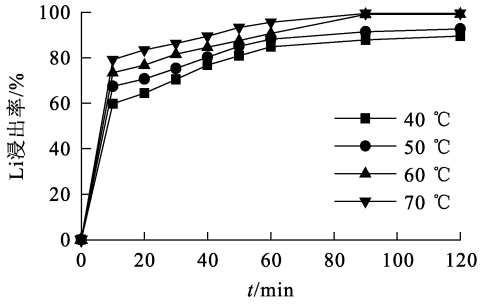
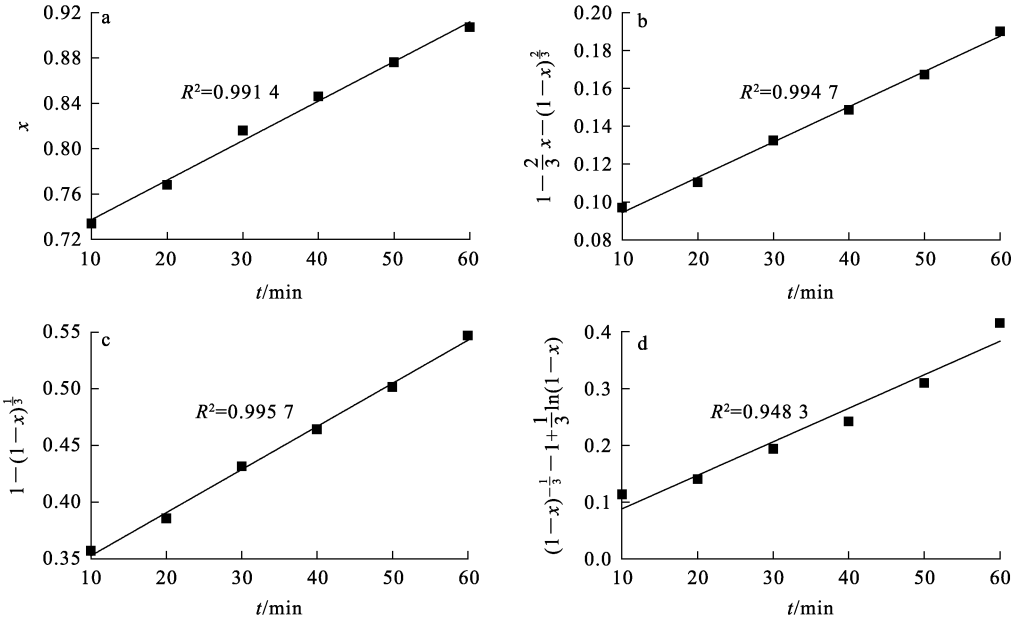


图 8　不同温度下 Li 浸出率随时间的变化曲线

Fig. 8　Variation curves of leaching rate of Li with time at different temperatures

由图 8 看出，随浸出时间延长和温度升高，Li 浸出率逐渐升高。这是因为温度升高能促进分子运动，增加反应物分子有效碰撞频率，同时促进有机酸对锂离子的配合作用，进而提升 Li 浸出率。

用式(4)～(7)对图 8 中浸出温度为 60 ℃下的试验数据进行拟合，拟合曲线如图 9 所示。可以看出，化学反应控制模型的相关系数 R^2 为 0.995 7，显著高于外扩散控制、内扩散控制和混合控制模型的相关系数，表明 Li 浸出过程主要受化学反应控制。



a—外扩散；b—内扩散；c—化学反应控制；d—混合控制

图 9 60 ℃下不同动力学模型的动力学拟合曲线

Fig. 9 Kinetic fitting curves of different dynamic models at 60 ℃

不同温度下化学反应控制模型的动力学拟合曲线如图 10 所示。可以看出，不同温度下化学反应控制模型的拟合相关系数 R^2 均大于 0.984 8，证实了化学反应控制模型能够较好地描述该浸出过程。

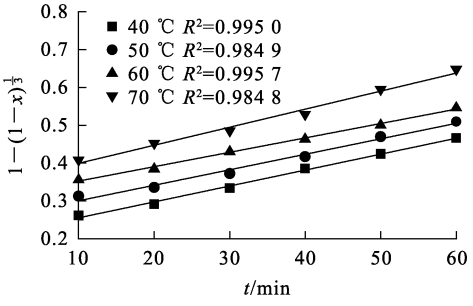


图 10 不同温度下化学反应动力学模型的拟合曲线

Fig. 10 Kinetic fitting curves of external diffusion at different temperatures

3 结论

采用葡萄糖酸、酒石酸混合有机酸＋过氧化氢体系，在超声波下选择性浸出废旧磷酸铁锂中的锂、铁是可行的。在过氧化氢浓度 3 mol/L、葡萄糖酸浓度 0.5 mol/L、酒石酸浓度 1.0 mol/L、超声波功率 600 W、液固质量体积比 6∶1、浸出时间 90 min、浸出温度 60 ℃最佳条件下，Li 与 Fe 浸出率分别为 99.1%与 2.5%。动力学分析结果表明，该浸出过程受化学反应步骤控制，浸出渣为 $FePO_4$，经热处理后结晶状态良好。该混合有机酸体系在实现废旧磷酸铁锂电池中锂的高效回收方面具有一定应用前景。

参考文献：

[1] 刘宜，尚闽，谭刚，等. 动力锂离子电池规范回收利用的效益及对策[J]. 电池，2023，53(6)：664-667.
LIU Yi，SHANG Min，TAN Gang，et al. Benefits and countermeasures of standardized recycle of power Li-ion battery [J]. Battery Bimonthly，2023，53(6)：664-667.

[2] 刘孟杰，范广新，尹金佩，等. 从废旧磷酸铁锂中选择性提锂制备碳酸锂的工艺研究[J]. 矿冶工程，2023，43(3)：106-109.
LIU Mengjie，FAN Guangxin，YIN Jinpei，et al. Selective recovery of lithium from waste lithium iron phosphate for preparation of lithium carbonate[J]. Mining and Metallurgical Engineering，2023，43(3)：106-109.

[3] 段金亮，阮丁山，陈若葵，等. 废旧磷酸铁锂电池粉中锂的选择性浸出动力学[J]. 湿法冶金，2022，41(6)：518-522.
DUAN Jinliang，RUAN Dingshan，CHEN Ruokui，et al. Selective leaching kinetics of lithium from waste lithium iron phosphate battery powder[J]. Hydrometallurgy of

China，2022，41(6)：518-522.

[4] 赵雨婷，周自圆，刘志启，等. 废旧磷酸铁锂电池正极材料酸浸液除杂及同步回收 $FePO_4$ 研究[J]. 矿冶工程，2024，44(5)：96-99.
ZHAO Yuting，ZHOU Ziyuan，LIU Zhiqi，et al. Simultaneous removal of impurities and recovery of $FePO_4$ from acid leaching solution of cathode materials from spent lithium iron phosphate batteries[J]. Mining and Metallurgical Engineering，2024，44(5)：96-99.

[5] 卢人航，蒋春生，刘兰进，等. 废旧磷酸铁锂与钴酸锂正极材料协同提锂试验研究[J]. 湿法冶金，2025，44(2)：143-150.
LU Renhang，JIANG Chunsheng，LIU Lanjin，et al. Synergistic leaching of lithium from spent lithium iron phosphate and lithium cobalt oxide cathode materials[J]. Hydrometallurgy of China，2025，44(2)：143-150.

[6] 刘慧勇，杨茜，傅云晗，等. 空气—双氧水联合氧化工艺选择性浸出废磷酸铁锂材料中的锂[J]. 化工环保，2024，44(2)：235-241.
LIU Huiyong，YANG Xi，FU Yunhan，et al. Selective extraction of lithium from spent lithium iron phosphate material by combined oxidation with air and hydrogen peroxide[J]. Environmental Protection of Chemical Industry，2024，44(2)：235-241.

[7] 欧阳兵，李高淼，李嘉，等. 乙酸浸出废旧磷酸铁锂电池回收锂工艺研究[J]. 辽宁化工，2025，54(9)：1542-1546.
OUYANG Bing，LI Gaomiao，LI Jia，et al. Study on lithium recovery from waste lithium iron phosphate batteries by acetic acid leaching[J]. Liaoning Chemical Industry，2025，54(9)：1542-1546.

[8] 孟冠军，李艳伟. 硫酸-葡萄糖酸浸回收废旧锂离子电池中的钴[J]. 大众科技，2020，22(6)：44-46.
MENG Guangjun，LI Yanwei. Recovery of cobalt from waste lithium ion batteries by sulfuric acid glucose acid leaching[J]. Popular Science & Technology，2020，22(6)：44-46.

[9] 蒋佳霖，李尚兵，王鑫，等. 脱磷渣中有价元素在不同有机酸溶液中的浸出行为[J]. 湿法冶金，2024，43(2)：140-146.
JIANG Jialin，LI Shangbing，WANG Xin，et al. Dissolution behavior of valuable elements from dephosphorization slag in different kinds of organic acid[J]. Hydrometallurgy of China，2024，43(2)：140-146.

[10] 梁勇，蒲婷，陈赞鸿，等. 钨酸在草酸溶液中的溶解动力学研究[J]. 湿法冶金，2025，44(6)：735-739.
LIANG Yong，PU Ting，CHEN Zanhong，et al. Dissolution kinetics of tungstic acid in oxalic acid solution [J]. Hydrometallurgy of China，2025，44(6)：735-739.

[11] JING Q K，ZHANG J L，LIU Y B，et al. Direct regeneration of spent $LiFePO_4$ cathode material by a green and efficient one-step hydrothermal method[J]. ACS Sustainable Chemistry & Engineering，2020，8(48)：17622-17628.

[12] LOU W B，ZHANG Y，ZHANG Y，et al. A facile way to regenerate $FePO_4 \cdot H_2O$ precursor from spent lithium iron phosphate cathode powder：spontaneous precipitation and phase transformation in an acidic medium[J]. Journal of Alloys and Compounds，2021，856. DOI：10.1016/j.jallcom.2020.158148.

[13] YANG C，ZHANG J L，JING Q K，et al. Recovery and regeneration of $LiFePO_4$ from spent lithium-ion batteries via a novel pretreatment process[J]. International Journal of Minerals，Metallurgy and Materials，2021，28(9)：1478-1487.

[14] YUE X H，ZHANG C C，ZHANG W B，et al. Recycling phosphorus from spent $LiFePO_4$ battery for multifunctional slow-release fertilizer preparation and simultaneous recovery of lithium[J]. Chemical Engineering Journal，2021，426. DOI：10.1016/j.cej.2021.131311.

[15] 杨鹏飞，吴家仲，蓝峻峰，等. 三元深共熔溶剂对废旧磷酸铁锂电池的浸出机制研究[J]. 湿法冶金，2025，44(4)：476-481.
YANG Pengfei，WU Jiazhong，LAN Junfeng，et al. Leaching mechanism of spent lithium iron phosphate batteries using ternary deep eutectic solvent[J]. Hydrometallurgy of China，2025，44(4)：476-481.

[16] YAN S X，SUN C B，ZHOU T，et al. Ultrasonic-assisted leaching of valuable metals from spent lithium-ion batteries using organic additives[J]. Separation and Purification Technology，2021，257. DOI：10.1016/j.seppur.2020.117930.

[17] MUBULA Y，YU M M，NIU H Y，et al. Application of ultrasonic-enhanced leaching for the recovery of metal elements from mineral raw materials and secondary resources [J]. Metals，2025，15(10). DOI：10.3390/met15101115.

[18] 杨鹏飞，张升，蓝峻峰，等. 过氧化氢氧化浸出法对废旧磷酸铁锂电池中锂的高效选择性回收机制研究[J]. 湿法冶金，2025，44(5)：620-625.
YANG Pengfei，ZHANG Sheng，LAN Junfeng，et al. Efficient and selective recovery mechanism of lithium from spent $LiFePO_4$ batteries using hydrogen peroxide oxidative leaching method[J]. Hydrometallurgy of China，2025，44(5)：620-625.

[19] GONG R，LI C C，MENG Q，et al. A Sustainable closed-loop method of selective oxidation leaching and regeneration for lithium iron phosphate cathode materials from spent batteries [J]. Journal of Environmental Management，2022，319. DOI：10.1016/j.jenvman.2022.115740.

Ultrasonic Leaching Mechanism of Spent Lithium Iron Phosphate Batteries Using Mixed Organic Acids

WU Zhanxin, QIN Fajie, LI Wubin, LI Yong, HU Zhitong

(*Guizhou New Materials Research and Development Institute, Guiyang* 550014, *China*)

Abstract: Aiming at the issues of strong corrosiveness and environmental pollution associated with traditional inorganic acid leaching methods for recovering cathode powder from spent lithium iron phosphate batteries. The ultrasonic-enhanced leaching of lithium and iron from spent lithium iron phosphate battery cathode powder using a mixture of organic acids such as gluconic acid and tartaric acid as the leaching agent and 3 mol/L hydrogen peroxide as the oxidant was investigated. The effects of ultrasonic power, gluconic acid concentration, tartaric acid concentration, leaching time and leaching temperature on the leaching rates of lithium and iron were examined. The results show that the leaching rate of lithium and iron reach 99.1% and 2.5%, respectively, under the optimal conditions of gluconic acid concentration of 0.5 mol/L, tartaric acid concentration of 1 mol/L, ultrasound power of 600 W, liquid volume to solid mass ratio of 6∶1, leaching time of 90 min and leaching temperature of 60 ℃. Ultrasonic intensification has little effect on the chemical composition of the leaching residue. After heat treatment, the leaching residue forms iron phosphate with good crystallinity. The leaching process is mainly controlled by chemical reactions, and the leaching effect is good.

Key words: organic acid; spent lithium iron phosphate batteries; gluconic acid; tartaric acid; leaching; mechanism; lithium

《湿法冶金》编辑部关于仿冒虚假信息的严正声明

为防止不法分子仿冒《湿法冶金》编辑部或声称与我刊经营合作名义从事虚假快速发表文章宣传和诈骗活动，帮助作者、读者准确识别虚假网站和相关诈骗信息，现做如下严正声明：

一、《湿法冶金》编辑部未与任何其他公司、组织、机构或个人经营合作办刊，任何声称本刊“第二编辑部”“办事处”“工作联络站”或编辑部负责人信息的均为虚假信息，请作者切勿轻信！

二、本刊建立了科学、严谨、规范、自律的稿件审核制度，所有稿件均需初审、同行评议、复审、终审等流程才能决定是否录用，不存在所谓"内部推荐""交钱速发"等学术不端行为，请作者切莫相信此类诈骗信息！

三、《湿法冶金》期刊唯一网上投稿网址为 https://sfyj.cbpt.cnki.net，唯一邮箱为 shifayejin@cnmstc.com(企业邮箱)。

四、本刊不收取审稿费，作者如收到缴纳审稿费的通知即为虚假信息，切勿上当！

五、如发现仿冒本刊编辑部的虚假信息，本刊将向有关部门举报处理，请各位作者、读者提高警惕，谨防上当受骗！

六、编辑部联系地址：北京市通州区九棵树 145 号《湿法冶金》编辑部，联系电话：010－51675321，51674124。

《湿法冶金》编辑部