

《磷酸铁锂废旧电池湿法回收利用技术规范》（送审稿）

编制说明

一、项目背景

锂离子电池（LIBs）具有高能量密度和长循环寿命，在智能电子、新能源汽车和大规模储能等领域得到广泛应用，预计到 2025 年全球锂离子电池的出货量将达到 1.5TWh。在商业化的锂离子电池中，磷酸铁锂（ LiFePO_4 ）电池因其出色的循环稳定性和高安全性已被广泛应用于电动汽车及大规模储能领域，出货量占据市场超 60%。然而， LiFePO_4 电池寿命仅有 8-12 年，因此预计到 2030 年，仅电动汽车退役的 LiFePO_4 电池就将达到 210 万吨。我国以深圳市为新能源汽车前沿试点，未来废旧电池产量将为全国之首。

由于废旧电池中含有金属元素和有毒有机电解质，因此必须进行无害化处理和回收，但目前锂电池回收存在成本高、工艺复杂、回收效率低等问题。开发高效、绿色的退役锂电池回收处理方式，必将有效避免新能源行业二次污染。其原因是废旧锂电池内部含有大量的易燃易爆物质以及危害环境的含氟物质。随意填埋或者燃烧退役锂电池将会严重危害自然环境。更重要的是，退役锂电池中含有宝贵的锂资源，有效回收策略能够维持锂电行业的健康、可持续发展。

废旧动力电池的回收利用技术水平直接关系到废弃物环保和资源再生利用两大问题。在工艺技术上，工业上以湿法和火法为主，国外的技术路线以火法为主，利用高温冶金法将动力电池直接高温还原，电池外壳、负极材料、塑料隔膜等组分提供还原剂和能量，最终以金属合金的方式回收，在回收过程中同时对气体进行净化。高温还原的金属合金将经过酸浸后经萃取得到金属盐，或通过高温还原回收金属单质。根据美国阿贡国家试验计算软件 Everbatt 的理论计算，火法每处理 1kg 电芯将会产生 3.1kg 废弃物，严重违背了可持续发展理念。而国内的回收策略多数采用湿法冶金方法，湿法工艺是把电池破碎，将电池粉体通过酸浸、萃取分离和纯化等步骤获得电池级原料。尽管湿法工艺流程较长，但材料回收率和回收经济效率较高，有助于锂电行业的循环经济。另外可对非关键材料的回收再利用，能够有效降低回收过程对环境的影响。

本标准的制定，有助于解决迫在眉睫的磷酸铁锂动力电池的回收问题，主要包括磷酸铁锂废旧电池中电解液在拆解过程中的无害化处理和铜、铝、锂、铁等有价值资源再生利用两个方面。

二、工作简况

（一）任务来源

2018年12月，团体标准T/SPSTS 003-2018《磷酸铁锂废旧电池湿法工艺回收利用的方法》由深圳市电源技术学会正式发布。该团体标准经过实施应用，充分符合行业发展需求。2023年2月，由深圳市电源技术学会牵头向深圳市市场监督管理局申报深圳市地方标准，2023年4月，深圳市地方标准《磷酸铁锂废旧电池湿法回收利用技术规范》成功立项（项目序号9）。

本标准主要适用于电池再生利用产业，特别是对于磷酸铁锂生产企业、电池制造企业以及电动汽车电池再生过程中产生的磷酸铁锂废旧电池等领域。本标准规定了磷酸铁锂废旧电池中破碎、拆解、分选和电解液处理等工艺，锂、铁、铜、铝等金属元素再生方法和工艺环保要求等。

（二）主要起草过程

1. 前期准备

按照《深圳市地方标准管理办法》及本标准制修订计划进度的要求，深圳市电源技术学会秘书处组织成立了标准起草工作组，组织调研了废旧蓄电池回收和再生利用市场，收集了有关资料，在团体标准T/SPSTS 003-2018《磷酸铁锂废旧电池湿法工艺回收利用的方法》实施应用情况基础上，又开展了磷酸铁锂废旧电池回收利用技术分析、比较和验证等工作，为标准编制奠定良好的工作基础。

2. 立项阶段

2023年2月，本标准起草工作组向标准化主管部门申请立项。

2023年4月29日，深圳市市场监督管理局发布了《关于下达2023年深圳市地方标准计划项目任务的通知》，本标准正式立项。

3. 起草研讨阶段

2023年5~9月，工作组在前期准备工作基础上，充分调研需求，结合磷酸铁锂废旧电池湿法回收实际情况，经过多次修改及讨论，形成标准初稿。

2023年10月24日，工作组在深圳市电源技术学会理事单位中国人民财产保险股

股份有限公司深圳市分公司会议室成功召开深圳市地方标准《磷酸铁锂废旧电池湿法回收技术规范》编制启动会暨第一次工作会议。会议邀请了深圳市工业和信息化局、中国人民财产保险股份有限公司、清华大学深圳国际研究生院、深圳市标准技术研究院、东莞新能源科技有限公司、深圳吉阳智能科技有限公司、中国科学院深圳先进技术研究院、北京理工大学深圳汽车研究院、深圳市清新电源研究院、欣旺达电子股份有限公司、惠州比亚迪电池有限公司、深圳海辰储能科技有限公司、深圳市翔丰华科技股份有限公司、深圳市德方纳米科技股份有限公司、深圳佳彬科技有限公司、深圳市环境工程科学技术中心有限公司、深圳市城市公共安全技术研究院有限公司、深圳市星源材质科技股份有限公司、深圳普瑞赛思检测技术有限公司、深圳先阳新能源技术有限公司、深圳市浩能科技有限公司、深圳天溯计量检测股份有限公司、深圳古瑞瓦特新能源有限公司、深圳三晖能源科技有限公司、协鑫超分子技术（深圳）有限公司、原力能源科技（深圳）有限公司、杭州协能科技股份有限公司、深圳市晶日光电新能源科技有限公司、禹创半导体（深圳）有限公司、广东省循环经济和资源综合利用协会等 50 余位专家出席。会上，起草组负责人就编制情况进行汇报，与会专家对标准内容进行了深入探讨。

2023 年 11 月～2024 年 1 月，起草组根据会议讨论情况，同步调研相关回收企业回收利用技术现状，修改完善形成标准征求意见稿。

4. 征求意见阶段

2024 年 2 月～3 月，起草组通过深圳市电源技术学会微信公众号平台面向社会公开征求意见，目前共征求到 23 条意见，并根据这些意见进行修改，形成了标准征求意见稿、编制说明和征求意见汇总处理表。标准名称依据征集意见修改为《磷酸铁锂废旧电池湿法回收利用技术规范》

2024 年 4 月～5 月，起草组通过深圳市工业和信息化局通过门户网站将征求意见稿面向社会公开征求意见，未收到反馈意见。

2024 年 8 月 13～19 日，深圳市工业和信息化局向市发展改革委、科技创新局、规划和自然资源局、生态环境局、住房建设局、交通运输局、商务局、应急管理局、国资委、市场监管局，各区（新区、深汕特别合作区管委会）政府征求意见，征集到 10 条意见，其中采纳 8 条，部分采纳 2 条。市发展改革委、市科技创新局、市规划和自然资源局、市住房建设局、市交通运输局、市商务局、市应急管理局、市场监管局，各

区(新区、深汕特别合作区管委会)政府无意见。

三、地方标准主要内容的依据以及与国内领先、国际先进标准的对标情况

(一) 地方标准主要内容的依据

本标准规定了磷酸铁锂废旧电池的湿法回收和回收后材料再生利用的技术要求，描述了相应的工艺和控制条件以及环保要求，适用于各种类型和用途的磷酸铁锂废旧电池，不适用于磷酸锰铁锂电池。标准主要技术内容依据的标准如下：

- GB/T 11075 碳酸锂
- GB/T 20861-2007 废弃产品回收利用术语
- GB/T 33598.3 车用动力电池回收利用 再生利用 第3部分：放电规范
- GB/T 34695-2017 废弃电池化学品处理处置术语
- GB/T 39224-2020 废旧电池回收技术规范
- HG/T 4701 电池用磷酸铁
- HJ 1186-2021 废锂离子动力蓄电池处理污染控制技术规范（试行）
- YS/T 582 电池级碳酸锂
- YS/T 744 电池级无水氯化锂
- YS/T 1174-2017 废旧电池破碎分选回收技术规范
- DB44/T 1369 废旧电池回收处理场地要求

(二) 与国内领先、国际先进标准的对标情况

磷酸铁锂废旧电池回收利用技术主要集中在我国；美、日、韩等国的电池回收利用技术标准，则更多的是钴酸锂电池和三元电池的回收。国内对于磷酸铁锂电池回收利用研究，正在从研发到产业化的技术转变。基于国内废旧动力电池回收利用的实际情况，本标准未采用国际标准或国外相关标准。

在制定过程中，起草组成员查询到“电池回收/再生”标准30余项，通过分析，涉及电池回收利用工艺的有26项，大部分仅涉及再生利用工艺前处理（收集、运输、贮存、放电、拆解等）要求，涉及电池湿法回收工艺的标准仅有5项，见表1；涉及回收工艺部分工序的标准5项，见表2。本标准内容与这些电池回收工艺相关标准及国内相关政策、法规规定的指标进行了充分协调。

表1 涉及电池回收全流程工艺的标准

序号	标准编号	标准名称	涉及内容	备注
1.	GB/T 33059-2016	锂离子电池材料废弃物回收利用的处理方法	锂离子电池材料废弃物中镍、钴、锰、铜、铝的湿法回收工艺及其控制要求	不适用于锂离子电池和锂元素回收
2.	GB/T 33062-2016	镍氢电池材料废弃物回收利用的处理方法	镍氢电池材料废弃物中镍、铜、稀土的湿法回收工艺及控制要求	不适用于锂离子电池和锂元素回收
3.	HG/T 5019-2016	废电池中镍钴回收方法	含镍、钴元素的废旧电池的湿法回收工艺	不适用于锂离子电池和锂元素回收
4.	T/SPSTS 003-2018	磷酸铁锂废旧电池湿法工艺回收利用	磷酸铁锂废旧电池湿法回收工艺流程及控制条件	起草单位发布团标
5.	T/DZJN 118-2022	废旧锂离子电池 磷酸铁锂材料再生利用技术规范	磷酸铁锂废旧电池湿法回收工艺流程及控制条件	与 T/SPSTS 003-2018 内容基本一致

表 2 涉及电池回收部分工艺的标准

序号	标准编号	标准名称
1.	GB/T 33598-2017	车用动力电池回收利用拆解规范
2.	GB/T 33598.3-2021	车用动力电池回收利用再生利用第 3 部分：放电规范
3.	HG/T 5815-2020	废电池化学放电技术规范
4.	HG/T 5816-2020	废电池回收热解技术规范
5.	YS/T 1174-2017	废旧电池破碎分选回收技术规范

四、主要条款的说明以及主要技术指标、参数、试验验证的论述

本标准基于国内锂离子电池回收利用的现有行业水平实际情况编写，标准内容中关于技术条款已经过企业生产实际试验或验证。

（一）第 1 章 范围

本文件规定了磷酸铁锂废旧电池的湿法回收和回收后材料再生利用的技术要求，描述了相应的工艺和控制条件以及环保要求。

本文件适用于各种类型和用途的磷酸铁锂废旧电池。本文件不适用于磷酸锰铁锂电池。

说明：因为磷酸锰铁锂电池目前刚开始投入市场，还没有大规模退役，且磷酸锰铁锂电池的回收方法跟本工艺在浸出、锰元素的除杂、磷酸铁回收等方面有所不同，故本文件暂不考虑涵盖磷酸锰铁锂电池。

（二）第2章 规范性引用文件

GB/T 11075 碳酸锂

GB 15603 危险化学品仓库储存通则

GB/T 20861-2007 废弃产品回收利用术语

GB/T 33598.3 车用动力电池回收利用 再生利用 第3部分：放电规范

GB/T 34695-2017 废弃电池化学品处理处置术语

GB/T 39224-2020 废旧电池回收技术规范

HG/T 4701 电池用磷酸铁

HJ 1186-2021 废锂离子动力蓄电池处理污染控制技术规范（试行）

SJ/T 11798-2022 锂离子电池和电池组生产安全要求

YS/T 582 电池级碳酸锂

YS/T 744 电池级无水氯化锂

YS/T 1174-2017 废旧电池破碎分选回收技术规范

DB44/T 1369 废旧电池回收处理场地要求

说明：在标准的编制过程中，起草组成员查阅了大量的标准及文献资料，根据文本内容的编制需要，对以上文件进行了规范性引用，同时按 GB/T 1.1-2020 的要求排序。

（三）第3章 术语和定义

GB/T 34695 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1 废旧电池 used batteries: 失去原有使用价值的电池及其废元(器)件、零(部)件和废原材料，以及失去使用价值仍可用于其他目标领域的蓄电池。

注：废旧电池包括工业生产过程中产生的报废电池、报废的半成品，以及工业用途、日常生活或者流通领域中产生的失去原有使用价值仍可用于其他目标领域的电池。

3.2 湿法回收 hydrometallurgy: 利用浸取剂将废电池中有价组分溶解在溶液中以新的固相析出，进行有价组分分离、富集和提取的过程。

3.3 再生利用 recycling: 对废电池进行拆解、破碎、分选、材料修复或冶炼等处理，进行资源化利用的过程。

3.4 电极材料粉 Electrode material powder: 又称黑粉，废旧电池经放电、破碎、热解、分选处理等工序，得到的以锂、磷、铁、碳等元素构成的黑色或灰黑色粉末。

说明：为了便于理解和实施本标准，标准中规定了废旧电池、湿法回收、再生利用、电极材料粉的定义。其中，“废旧电池”定义与 GB/T 39224-2020《废旧电池回收技术规范》3.1 一致；“湿法回收”定义与 GB/T 34695-2017《废弃电化学品处理处置术语》2.3.9 一致；“再生利用”定义在 GB/T 20861-2007《废弃产品回收利用术语》2.10（再生利用：对废弃产品进行处理，使之能够作为原材料重新利用的过程，但不包括对能量的回收和利用）基础上修改，详细写明拆解、破碎、分选、材料修复或冶炼等处理方法。

放电、热处理等处理处置工艺术语的定义见 GB/T 34695-2017《废弃电池化学品处理处置术语》的 2.3 定义，本标准部单独列出。

（四）第 4 章 总体要求

分为一般要求、场地要求、人员要求、安全要求。

（1）一般要求：磷酸铁锂废旧电池收集、分拣、运输和贮存应符合 GB/T 39224 的要求。磷酸铁锂废旧电池回收利用不应混入其他电池，鉴别方法见附录 A。

说明：依据《国家危险废物名录（2021 版）》和《固体废物分类与代码目录》，废磷酸铁锂电池不属于危险废物，电池回收利用企业无须具有相应经营类别的危险废弃物经营许可证，因此不做特别规定。本标准中的磷酸铁锂废旧电池湿法回收工艺从磷酸铁锂废旧电池开始，未包括废旧电池收集、分拣、运输和贮存要求，此处规定其应符合 GB/T 39224 的要求，同时给出了 3 种鉴别方法，即外观检测法、元素滴定检测法和仪器检测法，电池的电子信息、标签、壳体材料、形状和重量等完好的，优先采用外观检测方法鉴别；标签残缺或从外形无法确认其种类、成分的废旧电池，采用元素滴定检测法和仪器检测法鉴别。3 种鉴别方法操作详见附录 A。

（2）场地要求：磷酸铁锂废旧电池回收利用场地符合 DB44/T 1369 的规定。

说明：DB44/T 1369—2014《废旧电池回收处理场地要求》规定了废旧电池回收处理场地的总体要求及选址和各功能区域的一般性要求，涵盖贮存区、预处理区、处理区、分析检测区、废弃物处理区、管理区的设计、液体、粉尘收集、废气处理、噪音排放、标识等要求，同时详细规定了采用湿法冶金的处理区（一般包括浸出区、液固分离区、溶液净化区、金属提取区及废水处理区）应采用自动化程度高、耐腐蚀性的处理设施，应设置废液、废气处理系统，固体废弃物交由相关企业处理，排放的废水、废气、噪声应分别符合 GB 8978、GB 16297、GB 12348 的有关规定。应具备报警系统

和应急处理系统。部分废旧电池带有一定的电量，应具备防火、防爆、防腐蚀等安全防护措施。

(3) 人员要求：回收利用企业应配备专业技术人员，其专业技能应能满足磷酸铁锂废旧电池性能检测、环保作业、安全操作等相应要求。

(4) 安全要求：应符合 YS/T 1174—2017 第 6 章中的要求。工作场所的通风设施、监测预警和联锁设施应符合 SJ/T 11798 中 4.4.4 和 4.4.5 的要求。危险化学品的储存使用应符合 GB 15603 的要求。有限空间作业应符合《工贸企业有限空间作业安全规定》的有关规定。涉及粉尘的区域应按照 GB 15577 的规定进行管理。涉及高温工艺的设施设备应设置安全警示标志。

说明：YS/T 1174—2017《废旧电池破碎分选回收技术规范》第 6 章规定了操作位置、控制系统、电气设备和防火的要求。涉及废水、废气处理，可能涉及有限空间作业，引用《工贸企业有限空间作业安全规定》（应急管理部令 第 13 号）对有限空间有相关要求。工艺中涉及氮气惰化保护，明确了氧浓度和相应的监测报警装置要求。涉及粉尘的区域按照 GB 15577 的规定进行管理。热处理环节涉及高温工艺，对设施设备的安全警示标志进行规范。

(五) 第 5 章 试剂和仪器设备

(1) 试剂：主要包括无机酸（硫酸、盐酸等）、过氧化氢、氢氧化钠和碳酸钠等。所使用的试剂应符合相应的工业用产品标准。

说明：本章给出了浸出和沉淀工序所需的试剂，其中浸出工序试剂有无机酸（硫酸、盐酸等）、过氧化氢等氧化剂；沉淀工序沉淀剂有碳酸钠等。

(2) 仪器设备：主要包括破碎机、热解炉、分选机、搅拌机、电池放电设备、压滤机、反应装置、贮存装置、废气处理装置、废水处理装置和废渣收集装置等。所使用的仪器设备应符合相关标准要求及国家有关规定，由具有资质的专业生产单位生产，且安全可靠、节能环保。

说明：为了保证湿法回收工艺过程的安全和高效，应使用专业的仪器设备，且由具有资质的专业生产单位生产，同时为满足工业安全生产和清洁生产要求，仪器设备最好是安全可靠、节能环保的。以下为各个工序所用到的设备清单：

表 3 工艺流程设备清单表

序号	工艺流程	主要设备
----	------	------

序号	工艺流程	主要设备
1.	放电	电池放电设备
2.	破碎	破碎机
3.	热处理	热解炉
4.	物理分选	分选机
5.	浸出	搅拌机、反应装置
6.	过滤	压滤机、贮存装置
7.	沉淀	贮存装置
8.	过滤	压滤机、贮存装置
9.	全过程	废气处理装置、废水处理装置、废渣收集装置、贮存装置

（六）第 6 章 湿法回收工艺

包括工艺原理、工艺流程以及工艺控制条件和要求等。

（1）工艺原理

磷酸铁锂废旧电池应先采取放电、破碎和热处理工艺，去除隔膜、电解液和粘结剂等，再将物料分选得到铜、铝和包装材料，并将筛选后的电极材料粉经浸出、沉淀除杂工艺得到碳酸锂等锂盐。过程中产生的铁磷渣、碳渣等可作为副产品回收。

说明：本标准工艺为较理想的湿法回收方式，即将磷酸铁锂废旧电池材料转化为锂盐和磷酸铁，可实现锂、铁、磷全元素回收，且锂元素的回收率达到 90%以上。

（2）工艺流程图：

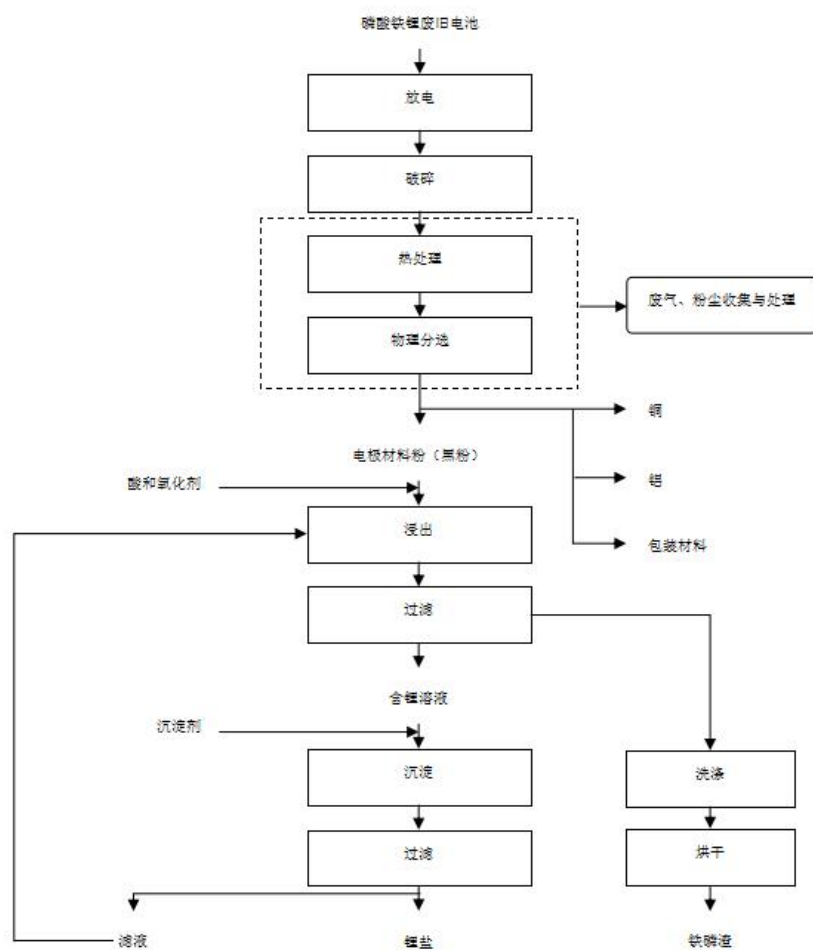


图 1 磷酸铁锂废旧电池湿法回收工艺流程图

(3) 工艺控制条件和要求

磷酸铁锂废旧电池湿法回收工艺控制条件及要求见下表：

表 4 磷酸铁锂废旧电池湿法回收工艺控制条件及要求汇总

序号	工艺流程	工艺控制条件及要求
1.	放电	按照 GB/T 33598.3 的要求进行放电，包括外接电路放电法和浸泡放电法
2.	破碎	破碎时宜在氮气氛围中进行，破碎时宜在氮气氛围中进行，并对氧浓度进行监测，氧浓度宜小于 5%。过程中产生的废气和粉尘通过抽负压集中收集并处理。
3.	热处理	1. 温度不宜高于 600 ℃； 2. 时间不宜长于 2 h； 3. 隔膜、电解液、粘结剂等，去除率应不低于 99%。
4.	物理分选	1. 黑粉粒度小于 0.25 mm； 2. 铜、铝元素的回收率均不低于 95%； 3. 黑粉的回收率不低于 90%。
5.	浸出	1. 浸出溶剂为无机酸（硫酸、盐酸等）和助剂（双氧水等）的

		混合溶液，其浓度应满足以下条件： a) 无机酸（以 H^+ 计）浓度：0.5 mol/L~3 mol/L； b) 助剂（以 H_2O_2 计）浓度：1 mol/L~10 mol/L； c) 浸出时间：2 h~8 h； d) 浸出温度：60 °C~100 °C； e) 固液比：1:2~1:10； f) 搅拌速率：50 r/min~200 r/min； 2. 锂元素的浸出率不低于 98%。
6.	过滤	/
7.	沉淀	1. 控制 pH 为 3.0~12.0 之间； 2. 温度在 60 °C~95 °C 范围内； 3. 沉淀时间为 0.5 h~5 h。
8.	过滤	/

说明：主要工序目的及要点如下所示：

1) 放电：锂离子电池在回收过程中往往有自燃的风险，需先进行放电失活处理，此工序用于防止电池拆解、破碎过程中发生短路，引起火灾、爆炸等事故发生。常用方法有外接电路放电法和浸泡放电法，具体见 GB/T 33598.3-2021《车用动力电池回收利用 再生利用 第3部分：放电规范》。

2) 破碎：放电过后的废旧电池需要经过破碎才能将电极上的活性物质释放出来，而这一过程对于后续湿法回收工艺来说尤为重要。

氮气保护是为防止电池残余电量引起燃烧，当氧气浓度小于 15% 时，大部分燃烧将终止。根据行业调研，氧浓度控制在 3~5%。故要求氧浓度宜小于 5%。

可燃粉尘微粒的粒径小于 10 μ m，切割、破碎产生的粉尘的粒径无法达到该数量级，激光工艺产生的烟尘可达到该数量级。在破碎工艺中形成粉尘颗粒直径一般大于 2mm（YS/T 1174-2017 5.2.2.4 中要求破碎粒径小于 2cm），不会形成粉尘爆炸环境。故不需要粉尘防爆的相关管理。

3) 热处理：电池活性材料通过黏结剂附着在集流体上，需进一步分离，通常分为物理法（热处理）和化学法（有机溶剂浸泡和碱浸）。热处理方法工艺简单、易于操作且成本较低，在规模化回收过程使用最为广泛，而化学法溶剂价格高昂，工艺更复杂，且并不适合分离所有类型的黏接剂，综合考虑工艺优缺点、成本和市场情况，本标准采用物理法。

CHEN 等发布的《*Thermal treatment and ammoniacal leaching for the recovery of valuable metals from spent lithium-ion batteries*》研究了热解温度和时间对

正极粉末脱附率的影响，结果表明，在热解温度 550 ℃下保温处理 2h 可实现正极粉末的高效脱附，筛分后可以得到细颗粒的正极活性物质粉末。

物理分选：鲁琦等发布的《废磷酸铁锂电池回收制备磷酸锂》研究表明：废磷酸铁锂电池经破碎筛分后，大部分物料集中在<0.300 mm 粒级，占 63.346%。该部分物料的主要成分为 LiFePO_4 ，还有少量的铜箔和铝箔，电池中 74.94%的锂富集在该粒级，如图 2 所示。在此基础上，本标准选择<0.25mm 粒级物料进行无机酸-过氧化氢体系浸出。

	粒级/mm					
	>0.500	0.300~0.500	0.250~0.300	0.125~0.250	0.075~0.125	<0.075
Al	19.566	3.874	0.670	0.298	0.676	0.880
Fe	22.662	21.260	19.420	12.780	11.380	7.842
Cu	22.020	14.882	5.020	1.236	1.098	1.900
Li	10.480	13.500	19.560	21.980	20.100	13.300

图 2 不同粒级下主要金属元素的质量分数（单位：%）

5) 浸出：浸出是整个湿法回收磷酸铁锂废旧电池中有价金属元素的关键步骤，即将经过前期预处理工序后得到的电极材料粉（黑粉）溶解为溶液，根据浸出剂的不同可分为无机酸浸出和生物浸出。其中，生物浸出存在培养时间长、易受污染并且通常很难在大量杂乱的重金属离子环境中生存、繁殖等缺点而未能广泛产业化应用；而无机酸浸出因其高效特点使用率更高。无机酸浸出最常用的浸出剂为 HCl 、 H_2SO_4 和 H_3PO_4 ，并且基于浸出动力学因素，需加入使用 H_2O_2 等氧化助剂，另外，因为碳酸锂的溶解度随着温度的升高而降低，浸出时应在 60℃~100℃温度下浸泡 2~8 小时，提升碳酸锂的析出率。

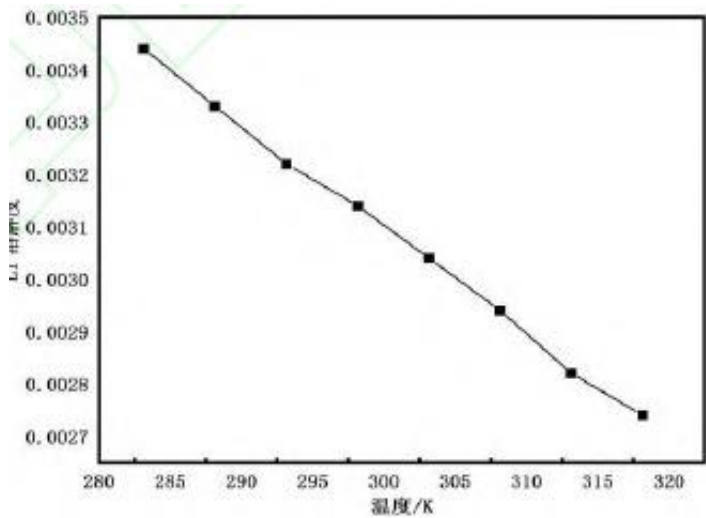


图 3 碳酸锂在水溶液中的溶解度

6) 沉淀：分离含锂溶液中的锂和铁元素的方法有溶剂萃取法和化学沉淀法、固相法和熔融盐法等。其中，常使用化学沉淀法分离锂和铁元素，含锂溶液加入碳酸钠、磷酸钠等沉淀剂后，锂离子以 Li_2CO_3 或 Li_3PO_4 的形式沉淀。

(七) 第 7 章 再生利用产品要求与处置

(1) **产品：**根据湿法回收工艺加入的沉淀剂种类，可得到碳酸锂、氯化锂、磷酸锂和氢氧化锂等锂盐产品。锂盐中锂的回收率不低于 90%，计算方法见附录 B.5；纯度达到相对应的产品标准要求：

- a) 电池级碳酸锂纯度达到 YS/T 582 的要求，即质量分数 $\geq 99.5\%$ ；
- b) 工业级碳酸锂纯度达到 GB/T 11075 的要求，即质量分数 $\geq 99.2\%$ ；
- c) 电池级氯化锂纯度达到 YS/T 744 的要求，即质量分数 $\geq 99.5\%$ 。

另外，铁磷渣可再生制备成磷酸铁等产品，并符合 HG/T 4701 的要求。

说明：湿法回收工艺加入不同的沉淀剂，可获得不同的再生利用产品，主要有碳酸锂、氯化锂、磷酸锂和氢氧化锂等锂盐产品，同时铁磷渣回收工艺可获得磷酸铁，这些产品都应满足相对应的产品标准要求。此外，锂盐中锂的回收率不低于 90%，与其他标准规定一致，具体见表 5。

表 5 国内标准与本标准设定的回收率差异性对比

标准名称	本标准	GB/T 33598.2-2020 车用动力电池回收利用再生利用第 2 部分：材料回收要求	T/SPSTS 003-2018 磷酸铁锂废旧电池湿法工艺回收利用	T/DZJN 118-2022 废旧锂离子电池 磷酸铁锂材料再生利用技术规范
锂回收率	不低于 90%	不低于 85%（从动力蓄电池单体到制得金属纯化液阶段）	不低于 90%	不低于 90%

(2) **副产品：**湿法回收工艺过程中得到的副产品，宜按以下方式处理：

- a) 分选工序后得到的铜、铝应存放在防水防潮、干燥通风的环境。可交由再生资源回收单位，或企业间交易；
- b) 分选工序后得到的铝塑膜、钢壳等包装材料冲洗干净后，可交由金属废品回收企业，或企业间交易；
- c) 铁磷渣回收工艺得到的碳渣可用矿热炉技术生产成新电极，或交由炼钢厂生产成还原剂，或交由对应的石墨回收企业处理。

说明：在 DB44/T 1371-2014《电动汽车用动力蓄电池回收利用技术条件》第 5.6.1

条规定“破碎和分选等过程产生的钢壳、铝壳、铜箔、隔膜纸、塑料应交由相应的企业处理”的基础上，详细给出了具体的回收企业。同时根据现有国家政策引导，回收材料可由企业直接交易。

(3) 标识：回收得到的产品，包装上应标有“电池再生利用材料”字样。

(八) 第 8 章 环境污染与监测

主要包括废气污染控制、废水污染控制、固体废物污染控制、噪声污染控制、监测及评估制度应符合 HJ 1186—2021《废锂离子动力蓄电池处理污染控制技术规范（试行）》中相对应章节的要求。

(九) 附录 A 磷酸铁锂废旧电池鉴别方法

电池回收和再生利用企业宜根据电池的电子信息、标签、壳体材料、形状和重量等因素综合判断、鉴别电池的种类。标签残缺或从外形无法确认其种类、成分的废旧电池采用元素滴定检测法、仪器检测法鉴别，具体鉴别操作如下：

a) 元素滴定检测法：取放电后的废旧电池的正极片并人工剥离出黑色粉料，加入 1mol/L 的盐酸溶液后，若粉料溶解 1/2 以上，再加入过氧化氢溶液后，溶液从浅黄色或绿色变成呈红色，则说明含有铁元素，且判断是磷酸锰铁锂电池；若粉料发生少量溶解，再加入过氧化氢溶液后，粉料几乎全部溶解，且溶液从浅黄色或绿色变成呈红色，则说明含有铁元素，判断为磷酸铁锂废旧电池；

b) 仪器检测法：取废旧电池的正极片，溶于王水（硫酸、盐酸、硝酸）中，稀释至一定浓度，用电感耦合等离子体（ICP）测磷、锰、铁、锂元素，或用便携式元素分析仪（手持式 XRF）或者用扫描电子显微镜 X 射线能谱仪（SEM-EDS）对废旧电池进行铁元素测定。若只有铁元素，不含有锰元素，则是磷酸铁锂电池；若含有大量的铁和锰元素，则判断是磷酸锰铁锂电池。

(十) 附录 B 计算方法

主要给出了工艺过程中各类金属元素回收率计算公式，如下所示：

A.1 热处理隔膜、电解液、粘结剂等去除率计算

热处理隔膜、电解液、粘结剂等去除率以 r_1 计，按式（B.1）计算：

$$r_1 = (1 - m_1/m_2) \times 100\% \cdots \cdots \cdots (B.1)$$

式中：

r_1 ——热处理隔膜、电解液、粘结剂等去除率，单位为%；

m_1 ——热处理后废旧电池经高温灼烧后的质量的数值，单位为千克（kg）；

m_2 ——热处理后废旧电池未经灼烧的质量，单位为千克（kg）。

A.2 铜、铁、铝元素回收率的计算

铜、铁、铝元素回收率以 R_i 计算，按式（B.2）计算：

$$R_i = (m_i/m_{i1}) \times 100\% \cdots \cdots \cdots (B.2)$$

式中：

R_i ——铜、铁、铝元素回收率，单位为%；

m_i ——单位质量目标废旧电池经破碎、分选，再生的金属元素 i 的质量的数值，单位为千克（kg）；

m_{i1} ——单位质量目标废旧电池中金属元素 i 额定质量的数值，单位为千克（kg）。

A.3 黑粉回收率的计算

黑粉回收率以 R 计算，按式（B.3）计算：

$$R = (m_3/m_4) \times 100\% \cdots \cdots \cdots (B.3)$$

式中：

R ——黑粉回收率，单位为%；

m_3 ——单位质量目标废旧电池中经放电、破碎、热解、分选处理等工序得到黑粉的质量的数值，单位为千克（kg）；

m_4 ——单位质量目标废旧电池中除铜、铝、包装材料外的额定质量的数值，单位为千克（kg）。

A.4 铁、磷、锂元素浸出率的计算

铁、磷、锂元素浸出率以 e_j 计，按式（B.4）计算：

$$e_j = (\rho_{j1} \cdot V/m_j) \times 100\% \cdots \cdots \cdots (B.4)$$

式中：

e_j ——铁、磷、锂元素浸出率，单位为%；

ρ_{j1} ——单位质量目标分选后废电极材料经酸溶浸出液中金属元素 j 的浓度的数值，单位为千克每立方米（kg/m³）；

V ——单位质量目标分选后废电极材料经酸溶浸出液的体积的数值，单位为立方米（m³）；

m_j ——单位质量目标分选后废电极材料中金属元素 j 的质量的数值，单位为千克（kg）。

注： j 代表铁、磷、锂元素。

A.5 铁、磷、锂元素回收率的计算

铁、磷、锂元素回收率以 R_j 计，按式（B.5）计算：

$$R_j = (\rho_{j2} \cdot V_2 / m_j) \times 100\% \cdots \cdots \cdots (B.5)$$

式中：

R_j ——铁、磷、锂元素回收率，单位为%；

ρ_{j2} ——单位质量目标分选后废电极材料经除杂、提纯处理后溶液中金属元素 j 的浓度的数值，单位为克每升（g/L）；

V_2 ——单位质量目标分选后废电极材料经除杂、提纯处理后得到的纯化液的体积的数值，单位为立方米（m³）；

m_j ——单位质量目标分选后废电极材料中金属元素 j 的质量的数值，单位为千克（kg）。

注： j 代表铁、磷、锂元素。

说明：参考 HG/T 5019-2016《废电池中镍钴回收方法》附录 A 的计算公式。

（十一）附录 C 铁磷渣回收工艺流程

给出了铁磷渣回收生成磷酸铁的工艺流程，见图 4。

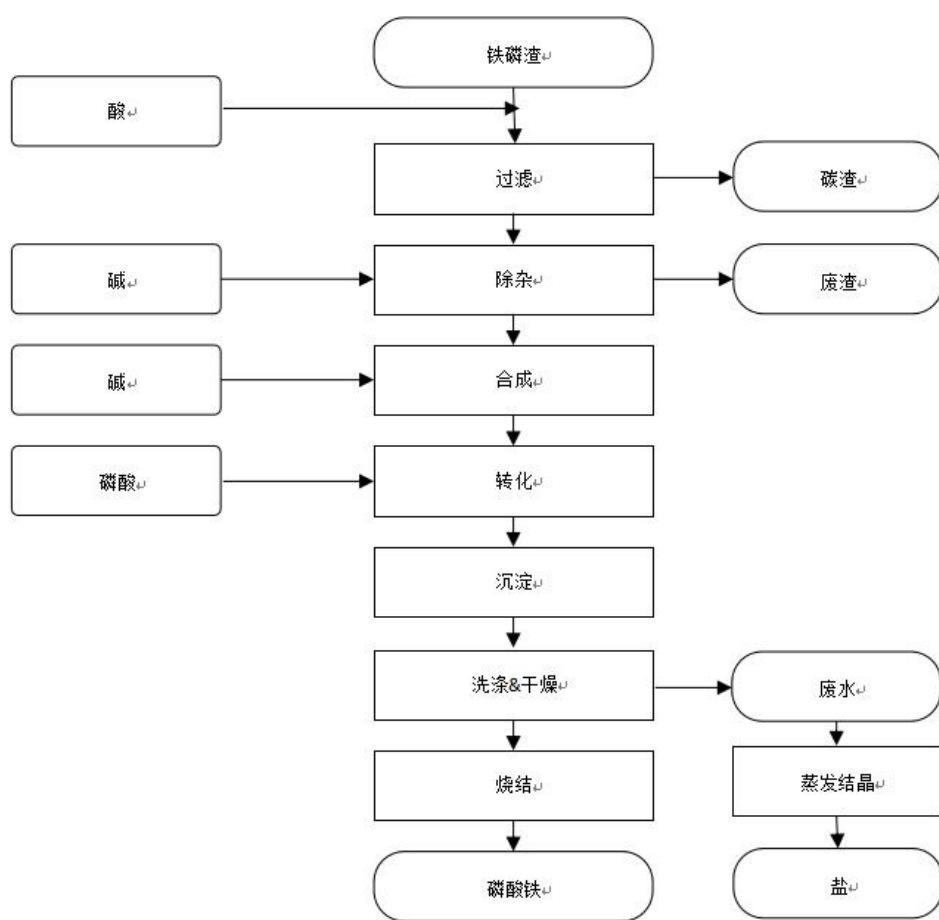


图 4 铁磷渣回收工艺流程

五、是否涉及专利等知识产权问题

本标准的主要技术内容及相关测试方法均不涉及专利。

六、重大意见分歧的处理依据和结果

本标准无重大意见分歧条款。

七、实施地方标准的措施建议

拟通过标准宣贯、标准实施监督检查等方式推动标准实施。