

## 征求意见编制说明

编制说明的内容包括：

- 一、工作简况，包括任务来源、主要起草单位、主要工作过程、标准主要起草人及其所做的工作等；
- 二、确定标准主要技术内容（如技术指标、参数、公式、性能要求、实验方法、检验规则等）的论据（包括试验、统计数据），修订标准时，应增加新、旧标准水平的对比；
- 三、主要试验（验证）的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效果；
- 四、采用国际标准或国外文件的程度及水平的简要说明；
- 五、重大分歧意见的处理经过和依据；
- 六、贯彻促进会团体标准的要求和措施建议（包括组织措施、技术措施、过渡办法等内容）；
- 七、其他应予说明的事项。

## **一、工作简况**

### **1.1 任务来源**

本标准按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规则起草。

### **1.2 主要起草单位**

本标准主要由中南大学、衢州华友钴新材料有限公司、南昌航空大学、湖南天泰天润新能源科技有限公司、株洲冶炼集团股份有限公司、浙江天能新材料有限公司、开封大学等起草。

### **1.3 主要工作过程**

自该项目任务下达后，由中南大学提出，成立标准编制组，组织各单位召开标准编制启动会。主要明确各单位在资料收集、整理以及分析汇总等方面的责任分工；拟定《废旧磷酸铁锂电池有价值组分提取技术规范标准》编制大纲；确定各单位材料汇总进度安排等细节，有序推动了标准编程序化。

在本标准编制过程中，编制组各单位通过论文检索、政策学习、走访调查相关企业等多种方式收集整理了大量关于废旧磷酸铁锂电池有价值组分回收现状、存在的问题以及今后的发展方向等方面的信息资料；随之，根据各单位所在行业优势、业务方向等本质特征，因势利导梳理归纳相关政策要求以及行业参考标准；结合政策导向与经济发展等趋势，编制组按照专业化、信息化、程序化的高要求，针对政策上可行、生态上环保、行业内经济等指标提出了一系列内容丰富，可行性强的废旧磷酸铁锂电池有价值组分回收技术规范，初步形成《废旧磷酸铁锂电池有价值组分提取技术规范标准》的征求意见稿。

根据编制组的进度安排，xx 年 xx 月，召集编制组各单位代表召开视频线上会议，对标准草案进行了详细的说明和概况。各单位就本单位在废旧磷酸铁锂电池的回收再利用的工艺流程、经济指标、环保标准等方面提出了修改意见。

### **1.4 标准主要起草人及其工作**

本标准主要起草人为中南大学资源加工与生物工程学院矿物加工工程系副教授杨越。

### **1.5 标准引用文件**

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 2900.41-2008 电工术语 原电池和蓄电池

GB 5085.7-2019 危险废物鉴别标准 通则

GB 8978-1996 污水综合排放标准

GB 9078-1996 工业炉窑大气污染物排放标准  
GB 12348-2008 工业企业厂界环境噪声排放标准  
GB 13271-2014 锅炉大气污染物排放标准  
GB 16297-1996 大气污染物综合排放标准  
GB 18597-2001 危险废物贮存污染控制标准  
GB 18599-2020 一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准  
HJ 2025-2012 危险废物收集、贮存、运输技术规范  
GB/T 26493-2011 电池废料储运规范  
HG/T 4701 电池用磷酸铁  
YS/T 582 电池级碳酸锂  
YS/T 744-2010 电池级无水氯化锂  
GB/T 11075-2013 碳酸锂

## 二、标准主要技术内容

### 2.1 范围

本标准规定了废旧磷酸铁锂电池有价值组分提取技术规范的术语和定义，总体要求、破碎热解分选、有价值组分回收工艺条件及要求。

本标准适用于废旧磷酸铁锂电池中有价组分的提取。

### 2.2 术语与定义

#### 2.2.1 废旧磷酸铁锂电池 Waste Lithium Iron Phosphate Batteries

失去使用价值而被废弃的磷酸铁锂电池成品和半成品。

#### 2.2.2 有价值组分 Valuable Components

是指废旧磷酸铁锂电池中具有经济价值的主要组分，包括正极材料（锂、铁、磷元素）、负极材料碳、正极集流体铝箔、负极集流体铜箔。

### 2.3 总体要求

#### 2.3.1 基本要求

- （1）废旧磷酸铁锂电池有价值组分的回收应严格遵循安全、环保和资源循环利用三原则。
- （2）废旧磷酸铁锂电池有价值组分的提取宜按流程图 1 进行。
- （3）回收企业宜采用自动化破碎、分选方式提高效率及安全性。

### 2.3.2 设备要求

- (1) 应配备专业的防护罩、专用抽排系统、废气处理装置、废水处理装置、废渣收集装置等。
- (2) 破碎分选设备应按照国家有关规定，由具有资质的专业单位生产，安全可靠、节能环保。

### 2.3.3 场地要求

- (1) 场地应具备安全防范设施，如消防设施、报警设施、应急设施等。
- (2) 场地的地面应防渗漏，具有环保防范设施，如废水、废气处理系统。
- (3) 破碎分选作业现场严禁烟火。

### 2.3.4 环保和安全要求

- (1) 回收处理过程中产生的废水经处理后，离子排放浓度应符合 GB 8978-1996 的要求。
- (2) 回收处理过程中产生的固体废物应按 GB 5085.7-2019 的要求进行鉴别，并符合下列规定：
  - a) 经鉴别属于危险废物，应按 GB 18597-2001 和 HJ 2025-2012 的要求进行收集、贮存、运输、并交由有资质单位进行处理。
  - b) 经鉴别属于一般固体废物，应按 GB 18599-2001 的要求处理。
- (3) 回收过程中产生的废气和粉尘经处理后应符合国家或地方法律法规及标准要求。
- (4) 回收处理企业厂界噪声应符合 GB 12348-2008 的要求。
- (5) 回收处理作业区应设置在配备通风管道、排气、吸尘和贮存装置的厂房内。
- (6) 处理设备和容器应具有安全防护措施，做好定期检查。

### 2.3.5 回收产品要求与处置

- (1) 电池拆解分选后得到的铜粉、铝粉交由冶炼企业回收。
- (2) 正负极粉料选择性浸出锂后，湿法回收锂的回收率不低于 85%，制备成的锂产品，如碳酸锂达到电池级标准，参照 YS/T 582，或工业级碳酸锂，参照 GB/T 11075-2013，此外还可以做成氯化锂等化工产品，参照 YS/T 744-2010。
- (3) 选择性提锂渣酸浸出后，得到的碳渣主要是石墨，交由对应的石墨回收企业处理。
- (4) 酸浸液经过沉淀制成电池级磷酸铁回用，产品应符合 HG/T 4701 的规定。

## 2.4 有价值组分回收技术指标

### 2.4.1 工艺过程简述

废旧磷酸铁锂电池材料，在指定的生产设备里进行破碎、热解、分选操作，破碎热解分

选过程确保废气、粉尘排放达标。分选后得到铜箔、铝箔等。剩余的正负极混合料经过选择性浸出、除杂得到含锂纯化液，最终制备成锂盐产品。选择性提锂后的渣，用酸浸出，铁、磷进入溶液中，碳渣作为副产品回收，铁磷溶液再经过沉淀除杂合成磷酸铁产品。

2.4.2 流程图

废旧磷酸铁锂电池有价值组分回收流程图见图 1

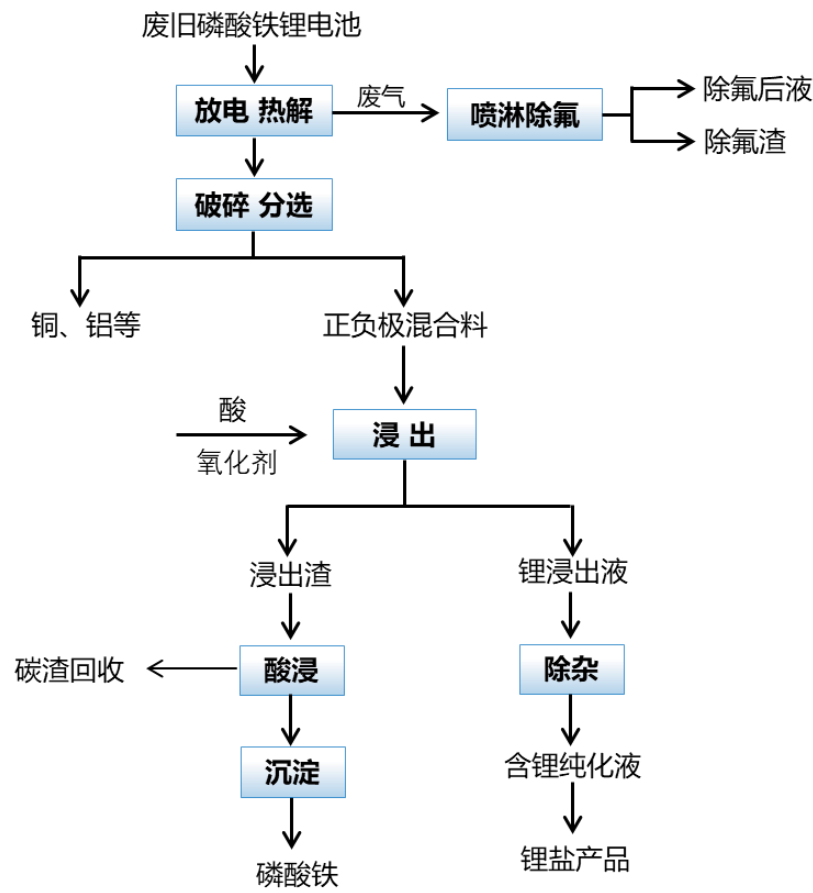


图 1 废旧磷酸铁锂电池有价值组分回收流程

2.4.3 控制条件及要求

放电热解

废旧磷酸铁锂电池进行放电，至安全电压以下。热处理温度高于 400℃，热处理除去废旧磷酸铁锂电池中的隔膜、电解液、粘接剂等，装置内部应保持密闭和负压，挥发的电解液及其分解后的副产物废气经过喷淋洗涤除氟，除氟后的洗液应进行废水处理。

破碎分选

通过破碎和分离混合物质，获得正负极混合料。破碎、分选装置内部应保持密闭和负压，破碎、分选整个处理过程中要求安全、环保、过程可控。

破碎、分选获得铜元素的回收率不低于 95%，铝元素的回收率不低于 90%，计算方法见 A1。

选择性浸出和除杂要求

1) 控制条件使得锂选择性浸出, 而大部分铁磷则不被浸出, 浸出溶剂为无机酸和氧化剂如双氧水的混合溶液, 锂元素的浸出率不低于 90%, 铁、磷元素的浸出率均不大于 5%, 具体计算方法见 A2。根据正负极混合料中锂的含量, 酸量和氧化剂量为保证锂的回收率基础上确定的最低量。

2) 锂浸出液碱沉淀除杂, 沉淀工艺中, 铁、磷、铜、铝等沉淀率大于 95%, 锂回收率大于 85%, 具体计算方法见 A3。

### 酸浸出及磷酸铁沉淀要求

提锂后的渣, 用酸浸出, 铁、磷进入溶液中, 碳渣作为副产品回收, 铁磷溶液再经过沉淀除杂合成磷酸铁产品, 铁、磷回收率大于 85%, 具体计算方法见 A4。

## 2.5 相关公式

**A1 铜、铝元素回收率  $X_i$  的计算, 按公式计算:**

$$X_i = \frac{m_i}{M_i}$$

式中:

$m_i$ ——1吨废旧磷酸铁锂电池经破碎、分选、回收的金属元素i的质量, 单位为 g;

$M_i$ ——1吨废旧磷酸铁锂电池中金属元素i的质量, 单位为 g;

**A2 锂、铁、磷元素浸出率  $Y_j$  的计算, 按公式计算:**

$$Y_j = \frac{c_j v_j}{w_j}$$

式中:

$c_j$ ——1吨正负极混合材料经选择性浸出后浸出液中金属元素j的浓度的数值, 单位为g/L;

$v_j$ ——1吨正负极混合材料经选择性浸出后浸出液中体积的数值, 单位为L;

$w_j$ ——1吨正负极混合材料中金属元素j的质量, 单位为 g;

**A3 锂回收率  $n$  的计算, 按公式计算:**

$$n = \frac{CV}{w}$$

式中:

$C$ ——1吨正负极混合材料经选择性浸出、除杂纯化后的含锂纯化液中锂元素的浓度的数值, 单位为g/L;

V——1吨正负极混合材料经选择性浸出、除杂纯化后的含锂纯化液的体积，单位为L；

w——1吨正负极混合材料中元素锂的质量，单位为 g；

A4 铁、磷回收率  $Z_i$  的计算，按公式计算：

$$Z_i = \frac{t_i}{T_i}$$

式中：

$t_i$ ——1吨正负极混合材料经选择性浸出、酸浸出、沉淀除杂合成磷酸铁产品中金属元素i的质量，单位为 g；

$T_i$ ——1吨正负极混合材料中金属元素i的质量，单位为 g；

2.6 检测方法

废旧磷酸铁锂电池材料中金属元素含量按下表的方法进行测定：

序号	目标金属	测试方法	标准编号
1	铝	铝测定通用方法	GB/T 9734
2	铜	快速电解 ICP-AES 补差法	SN/T 1863
3	铁	磷酸铁中铁含量的测定	HG/T 4701-2014
4	磷	磷酸铁中磷含量的测定	HG/T 4701-2014

三、主要试验（验证）的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效果

随着新能源科技的发展，动力电池的需求量也在不断增加，其中磷酸铁锂电池在汽车市场上的占比份额达 47%，而废旧磷酸铁锂电池的回收率极低，非常有必要对废旧磷酸铁锂电池进行安全有效的资源化回收处理，在实现节能环保的同时获得显著的经济效益。本标准以环境保护和经济发展为前提，制定相应的工艺流程及回收指标。

3.1 试验验证分析

取 100g 正负极混合料，加入 250mL 浓度为 2mol/L 的硫酸溶液，再加入 30g 质量分数为 35%的双氧水，浸出完毕后过滤，浸出渣中和浸出液中各组分含量如下图所示：

组分	金属锂（Li）	金属铁（Fe）	五氧化二磷（P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ）	石墨（C）
溶液含量（g/L）	16.13	1.35	2.64	—
渣含量（%）	0.168	21.33	21.75	45.26

所得浸出液即为锂浸出液，向锂浸出液中加入 NaOH 溶液，调节溶液 pH 至 11，使溶液中的杂质沉淀，过滤，即得含锂纯化液；向含锂纯化液中加入 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 沉淀锂离子，过滤后

得到碳酸锂，经过烘干后称量，得到产品 19.05g。

浸出渣加入 200mL 浓度为 2moL/L 的盐酸溶液，滤渣及滤液中各组分含量如下图所示：

组分	五氧化二磷（P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ）	金属铁（Fe）	石墨（C）
溶液含量（g/L）	106.75	104.52	—
渣中含量（%）	0.94	0.92	98.14

滤渣即可作为碳渣回收，滤液调节 pH 到 3 左右，反应时间 3 小时，沉淀出磷酸铁，烘干后得到产品 50.86g。

3.2 经济技术分析

经过编制组的前期预估与试验验证分析，并结合编制组中企业单位经济效益计算，结合不同的技术政策、技术规划和技术方案进行计算、比较、论证，评价其先进性，该标准能较完美地达到技术与经济的最佳结合，取得最佳技术经济效果，适合工业化规模生产。

3.3 预期的经济效果

在投入生产过程中，要不断进行生产经济性分析，通过数据分析，及时了解运行情况，针对生产线及时进行调整，建设 1 万吨中试生产线，进一步完善生产工艺和设备选型，每 1 吨废旧磷酸铁锂电池回收得到的产品量：

- （1）铜粉  
 $1\text{ 吨} \times 13.8\% \times 95\% = 0.13\text{ 吨}$
- （2）铝粉  
 $1\text{ 吨} \times (13.3\% + 9.4\%) \times 90\% = 0.2\text{ 吨}$
- （3）铁屑  
 $1\text{ 吨} \times 0.1\% \times 95\% = 0.00095\text{ 吨}$
- （4）工业级碳酸锂  
 $1\text{ 吨} \times 22.2\% \times 4.2\% \times 90\% \div 0.189 = 0.04\text{ 吨}$
- （5）磷酸铁  
 $(1\text{ 吨} \times 22.2\% - 1\text{ 吨} \times 4.2\%) \times 95\% = 0.17\text{ 吨}$
- （6）石墨  
 $1\text{ 吨} \times 15.3\% \times 95\% = 0.15\text{ 吨}$

四、采用国际标准和国外先进标准的程度

经查，国外无相同类型的标准。

五、重大分歧意见的处理经过和依据

无重大分歧。

六、贯彻促进会团体标准的要求和措施建议

本次制订是废旧磷酸铁锂电池有价值组分提取技术进行规范，为更好地贯彻实施本标准，建议标准发布后组织标准宣贯会议，会上由主编单位介绍标准修订的指导思想和主要技术内



容，这样可保证执行标准的准确性，有利于提高该行业的技术水平。本标准吸收了国内相关先进标准的技术内容，标准技术内容丰富、先进、可行，可积极向企业及国内外用户采用本文件。

## **七、其他予以说明的事项**

无。

标准编制组

2021.11.23