

团 体 标 准

T/CAEE 026—2026

废旧磷酸铁锂电池再生黑粉成套设备 的评价技术要求

Technical requirements for the evaluation of complete equipment for recycling of
spent lithium-ion batteries into black powder

2026 - 03 - 11 发布

2026 - 03 - 12 实施

目 录

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总则	2
4.1 安全环保否决原则	2
4.2 分类工况评价原则	2
4.3 系统完整性原则	2
5 评价技术要求	2
5.1 前置要求	2
5.2 综合评分要求	3
6 评价方法	6
6.1 评价准备	6
6.2 测试原料	7
6.3 数据采集与计算方法	7
6.4 现场核查与功能测试	8
6.5 评价统计	8
6.6 评价等级判定	8
7 评价程序与评价报告	8
7.1 评价程序	8
7.2 评价报告	9
附录 A（资料性） 综合运行效果评价分项计分表	11

前 言

本文件按照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》的规定起草。

本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国电子装备技术开发协会提出并归口。

本文件起草单位：常州厚丰新能源有限公司、北京工业大学、光大环保技术装备（常州）有限公司、赣州吉锐新能源科技股份有限公司、智碳荟（北京）信息科技有限公司。

本文件主要起草人：翟梦瑜、刘功起、吴玉锋、丁江浩、何松良、李智、殷晓飞、王怀栋、孙丽娟、李斌、周飞飞、黄冰、赖微栋、姜科棋、田甜、刘敏舒。

本文件为首次发布。

废旧磷酸铁锂电池再生黑粉成套设备的评价技术要求

1 范围

本文件规定了废旧磷酸铁锂电池再生黑粉成套装备（以下简称“成套装备”）的术语和定义、评价原则、评价体系、评价方法及评价报告的技术要求。本文件适用于以废旧磷酸铁锂电池为原料再生黑粉的成套装备运行效果进行评价。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 5226.1 机械电气安全 机械电气设备 第1部分：通用技术条件
- GB 8978 污水综合排放标准
- GB 12348 工业企业厂界环境噪声排放标准
- GB 16297 大气污染物综合排放标准
- GB/T 19001 质量管理体系 要求
- GB/T 19596 电动汽车术语
- GB/T 37752.1 工业炉及相关工艺设备 安全 第1部分：通用要求
- GB 40165 固定式电子设备用锂离子电池和电池组 安全技术规范
- GB/T 45001 职业健康安全管理体系 要求及使用指南
- GB/T 45203 锂离子电池用再生黑粉
- GB 50016 建筑设计防火规范
- HJ 1186 废锂离子动力蓄电池处理污染控制技术规范

3 术语和定义

GB/T 19596、GB/T 45203的界定以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

磷酸铁锂电池 Lithium iron phosphate batteries

正极材料主要由磷酸铁锂组成的锂离子电池。依靠锂离子在正极和负极之间移动实现化学能与电能相互转化的装置。

3.2

废旧磷酸铁锂电池 Spent lithium iron phosphate batteries

磷酸铁锂电池制造过程中产生的不良品、废料以及退役磷酸铁锂电池，包括在电池生产、运输、贮存、使用过程中产生的不合格产品、报废产品、过期产品等。

3.3

废旧磷酸铁锂电池再生黑粉成套装备 Complete equipment for pre-treatment and recycling of spent LFP batteries into black powder

由用于废旧磷酸铁锂电池拆解、破碎、热解、分选等工序的设备系统链接组成，具备处置废旧磷酸铁锂电池而获得电池黑粉及电池外壳、铜箔粉、铝箔粉等物料的生产功能及配套系统。

注：由于磷酸铁锂通常需要更高的热解温度或特定的剥离工艺，此装备应强调针对磷酸铁锂电池特性的处理能力。

3.4

综合处理能力 Comprehensive processing capacity

在连续稳定运行条件下，成套装备单位小时内能够安全、环保地处理的废旧磷酸铁锂电池（以入料电芯计）的质量，单位为吨/小时（t/h）。

3.5

系统综合能耗 Comprehensive energy consumption of the system

在处理单位质量废旧磷酸铁锂电池电芯过程中，成套装备（含所有配套辅助设施）所消耗的总电能，单位为千瓦时/吨（kWh/t）。

3.6

黑粉产率 Black powder yield

在稳定运行条件下，成套装备产出的废旧磷酸铁锂电池再生黑粉（干基）质量与投入的电芯总质量的百分比。

3.7

有价值组分综合回收率 Comprehensive recovery rate of valuable components

产出的各类物料（黑粉、铜箔粉、铝箔粉）中所含目标有价值组分（主要包括锂、铜、铝、石墨及铁/磷化合物等）的总质量，与投入的废旧磷酸铁锂电池电芯中该组分总质量的百分比。

3.8

荷电状态 stage-of-charge; SOC

当前蓄电池中按照规定放电条件可以释放的容量占可用容量的百分比。

4 总则

4.1 安全环保否决原则

装备在安全设计（特别是针对磷酸铁锂电池拆解过程中的电解液火灾防护）、防护措施及污染物排放控制方面若存在不符合国家强制性标准要求的项目，则评价结论直接判定为不合格。

4.2 分类工况评价原则

应针对废旧磷酸铁锂电池的不同物理形态（如方壳、圆柱、软包等）或不同荷电状态下的运行工况进行测试评价。评价报告须明确注明测试所采用的电池型号及来源。

4.3 系统完整性原则

评价对象应包含从放电/预处理（若有）、破碎、热解、分选到尾气处理、废水处理的完整系统。

5 评价技术要求

评价技术要求包括前置要求和综合评分要求两部分。

5.1 前置要求

成套装备必须满足表1所列要求，若有一项不满足，则判定为不合格。

表1 前置要求

评价维度	考核项目	要求	判定依据
------	------	----	------

安全合规性	系统安全设计	应具备可靠的机械、电气、防爆、消防安全设计，符合GB 50016、GB/T 5226.1、GB/T 37752.1、GB 40165等相关标准要求。具备针对磷酸铁锂电池的能量泄放（放电）或惰性气体保护机制。针对破碎、热解等关键设备，必须配置独立的超温、超压、可燃气体（电解液蒸气）浓度监测及安全联锁保护系统。	设计图纸、第三方安全评估报告、现场功能测试
环保达标性	污染物排放	废气（颗粒物、氟化物、VOCs等）、废水、噪声排放应达到GB 16297、GB 8978、GB 12348和HJ 1186要求。针对LFP黑粉极细的特点，除尘系统应具备防静电/防爆功能。	具有资质的第三方环境监测报告

5.2 综合评分要求

通过前置要求的成套装备，按表2的评分体系进行综合评分。

总分为100分，分别设置6个评价维度，其中：

系统运行性能20分；

产品产出效益30分；

运行经济性20分；

自动化水平10分；

安全与环保先进性14分；

运维管理支持性6分。

由专家根据各核心考核点与评分说明进行分项打分，再进行总分汇总。采取总分从高分到低分的取值原则得到评价等级的优劣顺序，其中：

- a) 总分 ≥ 90 分，一级，优秀；
- b) $90 >$ 总分 ≥ 75 分，二级，良好；
- c) $75 >$ 总分 ≥ 60 分，三级，一般；
- d) 总分 < 60 分，四级，不及格。

表 2 综合运行效果评分体系（总分 100 分）

评价维度	分值	评价指标	分值	核心考核点与评分说明
一、系统运行性能	20	1.1 综合处理能力达成率	10	实际稳定处理能力与设计标称值的比率。 A级 ($> 100\%$): 10分 B级 ($> 90\% \sim 100\%$): 7分 C级 ($> 80\% \sim 90\%$): 4分 D级 ($\leq 80\%$): 0分
		1.2 系统可靠性	10	平均无故障运行时间。 A级 ($> 1500\text{h}$): 10分 B级 ($> 1000\text{h} \sim 1500\text{h}$): 7分 C级 ($> 500\text{h} \sim 1000\text{h}$): 4分 D级 ($\leq 500\text{h}$): 0分

评价维度	分值	评价指标	分值	核心考核点与评分说明
二、产品产出效益	30	2.1 黑粉质量符合度	10	<p>a) 在考核周期内，稳定产出的黑粉符合 GB/T 45203 对应磷酸铁锂类要求（重点考核Al≤1.5%, Cu≤1.0%）的黑粉批次占比。</p> <p>A级 (> 95%): 5分 B级 (> 80%~95%): 3分 C级 (> 60%~80%): 1分 D级 (≤ 60%): 0分</p> <p>b) 考核周期内黑粉产率的稳定性。</p> <p>A级 (< 3%): 5分 B级 (< 5%~3%): 3分 C级 (< 8%~5%): 1分 D级 (≥ 8%): 0分</p> <p>注：产率波动 = (最大产率 - 最小产率) / 平均产率 × 100%</p>
		2.2 锂元素综合回收率	10	<p>依据物料平衡计算的锂元素综合回收率。</p> <p>A级 (> 92%): 10分 B级 (> 90%~92%): 7分 C级 (> 88%~90%): 4分 D级 (≤ 88%): 0分</p> <p>注：若需评价有价值组分综合回收率（含锂、铜、铝、石墨等多种组分），应按照3.7的定义进行计算，并单独列出各组分的回收率。</p>
		2.3 产出物料分离纯度	5	<p>产出的铜箔、铝箔金属产品的平均纯度（含杂率）。</p> <p>A级 (> 95%): 5分 B级 (> 90%~95%): 3分 C级 (> 85%~90%): 1分 D级 (≤ 85%): 0分</p>
		2.4 黑粉中有机物残留量	5	<p>稳定产出黑粉中电解液、粘结剂等有机物残留。</p> <p>A级 (< 0.5%): 5分 B级 (< 1%~0.5%): 3分 C级 (< 1.5%~1%): 1分 D级 (≥ 1.5%): 0分</p>
三、运行经济性	20	3.1 系统综合能耗	8	<p>处理每吨废旧磷酸铁锂电芯所消耗的总电能（数值为示例，需行业调研确定）。</p> <p>A级 (< 600 kWh/t): 8分 B级 (< 800 kWh/t ~ 600 kWh/t): 5分 C级 (< 1000 kWh/t ~ 800 kWh/t): 2分 D级 (≥ 1000 kWh/t): 0分</p>

评价维度	分值	评价指标	分值	核心考核点与评分说明
		3.2 系统综合气耗	4	处理单位废旧磷酸铁锂电芯消耗的氮气的量(考核系统密封及回收能力)。 A级 (< 200 Nm ³ /t): 4分 B级 (< 400 Nm ³ /t ~ 200 Nm ³ /t): 2分 C级 (<600 Nm ³ /t ~ 400 Nm ³ /t): 1分 D级 (≥ 600 Nm ³ /t): 0分
		3.3 系统综合水耗	2	处理单位废旧磷酸铁锂电芯所消耗的工艺水量(含冷却、除尘、喷淋补水)。 A级 (< 0.4 m ³ /t): 2分 B级 (< 0.8 m ³ /t ~ 0.4 m ³ /t): 1分 C级 (< 1.2 m ³ /t ~ 0.8 m ³ /t): 0.5分 D级 (≥ 1.2 m ³ /t): 0分
		3.4 系统综合药耗	2	处理单位废旧磷酸铁锂电芯所消耗的药剂(如:用于尾气中和的碱液、消石灰,或用于水处理的絮凝剂等)。 A级 (< 100 元/t): 2分 B级 (< 200 元/t ~ 100 元/t): 1分 C级 (< 300 元/t ~ 200 元/t): 0.5分 D级 (≥ 300 元/t): 0分 计算公式: 消耗药剂费用 = Σ(药剂消耗量 × 药剂吨单价) ÷ 电池处理量
		3.5 维护成本与备件寿命	4	关键易损件(刀具、筛网等)年化维护成本占比。 A级 (< 1%): 4分 B级 (> 1% ~ 3%): 2分 C级 (> 3% ~ 5%): 1分 D级 (> 5%): 0分 计算公式: 年化维护成本占比 = [Σ(单套易损件价格 ÷ 设计处理寿命/年) ÷ 设备总投资额] × 100%
四、自动化水平	10	4.1 自动化运行能力	10	评估成套装备在处理磷酸铁锂电池时的全流程自主运行及异常处置能力。 A级 (全流程自主运行): 具备从投料到产生物料的全流程“一键启停”及负压自动平衡能力; 发生典型故障(如堵料、超温)时, 系统自动执行预设安全程序, 无需人工干预。10分 B级 (分段自动运行): 核心工段(破碎、热解、分选)自动化, 但工段间衔接、系统启停需人工介入确认。7分 C级 (单元化操作): 仅实现单体设备独立自动控制, 整线运行依赖频繁人工监控与手动调节。3分 D级 (手动/基础监控): 主要工段依赖手动操作, 缺乏系统级的联锁控制。0分

评价维度	分值	评价指标	分值	核心考核点与评分说明
五、安全与环保先进性	14	5.1 主动安全防护	7	<p>核心配置清单：</p> <ol style="list-style-type: none"> 氧浓度/压力连锁：破碎及热解系统具备可靠的氮气保护，且有实时氧浓度监测及超压泄放连锁。 粉尘防爆设计：在磷酸铁锂黑粉极细的产生点（破碎、筛分、除尘），配置符合标准的隔爆/泄爆/抑爆装置。 特征气体监测：配置能检测电解液特征气体（DMC/EMC等）及氟化氢气体的传感器及报警连锁。 火灾早期预警：破碎及热解仓位配置温升速率监控或红外热成像早期预警系统。 自动灭火/抑爆：集成自动启动的二氧化碳或化学抑爆系统。 <p>A级：同时具备以上5项，7分 B级：同时具备以上任意4项，5分 C级：同时具备以上任意2-3项，2分 D级：仅具备1项或不具备，0分</p>
		5.2 污染物减排水平	7	<p>评估主要污染物（重点考核颗粒物和氟化物）的实际排放浓度相对于国家或地方更严格标准限值的裕量。</p> <p>A级（实际排放浓度≤30%限值）：7分 B级（30% 限值<实际排放浓度≤50% 限值）：5分 C级（50% 限值<实际排放浓度≤80% 限值）：2分 D级（实际排放浓度 > 80% 限值）：0分</p>
六、运行管理支持性	6	6.1 运维管理体系	6	<p>综合评估管理规章（人员培训、台账记录）与应急管理（预案、演练）的完整性。建议参照GB/T 19001和GB/T 45001建立完善的质量与职业健康安全管理体系。</p> <p>A级：制度完善，有针对磷酸铁锂粉尘安全及氢氟酸中毒的专项培训；检修台账精细（含易损件寿命记录）；每年组织≥2次针对性演练。6分 B级：规章制度齐全，有基础培训和台账记录；每年组织1次应急演练。4分 C级：具备基本制度和应急预案，但记录不全或演练流于形式。2分 D级：制度缺失，无相关记录或演练证明。0分</p>

6 评价方法

6.1 评价准备

评价前，受评方应向评价组提供以下资料，并确保成套装备处于连续、稳定的正常生产状态：

- a) 装备设计文件、工艺流程图及完整的操作手册；
- b) 第三方安全风险评估报告、消防验收文件及环保监测报告；
- c) 不少于 168 小时（7 天）的连续运行日志，包含处理量、能耗、故障记录等；
- d) 易损件（刀具、筛网等）的采购清单、设计寿命及实际更换周期记录台账；
- e) 原料及产出物的内部检测报告。

6.2 测试原料

评价过程中使用的测试原料应具有行业代表性：

- a) 原料种类：废旧磷酸铁锂电芯或电池包（应区分方壳、圆柱或软包形态）；
- b) 荷电状态：记录原料进入破碎工段前的荷电状态（SOC），建议 $SOC \leq 5\%$ 或残余电压处于安全范围；
- c) 基准测定：应对测试原料进行随机抽样，测定其锂、铜、铝及有机物的初始质量分数，作为计算回收率的基准数据。

6.3 数据采集与计算方法

6.3.1 黑粉产率

按照物料平衡原理，通过核算考核周期内投入电芯的总质量与产出物（黑粉）的总质量进行计算：

$$Y_{black} = \frac{M_{black}}{M_{in}} \times 100\%$$

其中：

Y_{black} —— 黑粉产率；

M_{black} —— 考核期内产出黑粉的总质量（干基），单位为吨（t）；

M_{in} —— 考核期内投入废旧磷酸铁锂电芯的总质量，单位为吨（t）。

6.3.2 锂元素综合回收率

按照物料平衡原理，通过测定产出黑粉中的锂含量与投入电芯中的锂含量计算：

$$R_{Li} = \frac{M_{black} \times C_{Li,black}}{M_{in} \times C_{Li,in}} \times 100\%$$

其中：

R_{Li} —— 锂元素综合回收率；

M_{black} —— 考核期内产出黑粉的总质量（干基），单位为吨（t）；

$C_{Li,black}$ —— 产出黑粉中锂元素的质量分数平均值；

M_{in} —— 考核期内投入废旧磷酸铁锂电芯的总质量，单位为吨（t）；

$C_{Li,in}$ —— 投入电芯中锂元素的质量分数平均值。

6.3.3 有价值组分综合回收率

产出的各类物料中所含目标有价值组分的总质量，与投入电芯中该组分总质量的百分比：

$$R_{total} = \frac{\sum_i (M_i \times C_{i,metal})}{\sum_j (M_{in,j} \times C_{in,j,metal})} \times 100\%$$

其中：

R_{total} —— 有价值组分综合回收率；

M_i —— 第*i*类产出物料的质量（黑粉、铜箔粉、铝箔粉等），单位为吨（t）；

$C_{i,metal}$ —— 第*i*类产出物料中目标金属的质量分数；

$M_{in,j}$ —— 第*j*批次投入电芯的质量，单位为吨（t）；

$C_{in,j,metal}$ —— 第*j*批次投入电芯中目标金属的质量分数。

注：目标有价值组分主要包括锂、铜、铝、石墨及铁/磷化合物等。

6.3.4 运行数据监测

通过装备自带的 DCS/PLC（分散控制系统/可编程逻辑控制器）控制系统及经校准的计量仪表，连续采集考核期内的运行数据：

- a) 处理能力：总处理量除以累计有效运行时间（t/h）；
- b) 系统能效：记录总电耗（kWh）、总氮气消耗量（Nm³）、工艺水补充量（m³）；
- c) 故障停机：记录所有非计划停机次数及累计停机时间，计算平均无故障运行时间。

6.3.5 经济性指标计算

由评价组专家通过现场观察、人员访谈、功能演示等方式，对装备的系统运行性能、自动化水平、主动安全防护等指标进行核查和评分。

- a) 综合能效：分别计算单位质量电芯处理所消耗的电、气、水资源。
- b) 维护成本：按照 5.2 节表 2 中 3.5 项提供的公式，计算关键易损件的年化维护成本占比。

6.4 现场核查与功能测试

评价组专家通过现场观察、人员访谈及功能演示，对以下非量化指标进行核查并对应表 2 评分：

- a) 主动安全：现场演示电解液特征气体报警联锁、氮气系统自动投切及氧浓度实时监控功能；
- b) 自动化：演示全流程“一键启停”及模拟故障（如模拟输送线堵料）后的系统自动处置逻辑；
- c) 环保管理：核查粉尘治理设施的负压监控记录、氟化物尾气处理设施的运行参数。

6.5 评价统计

系统总得分 P 按下式计算：

$$P = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n S'_{ij}$$

其中：

S'_{ij} —— 为第 i 项一级指标下第 j 项二级指标，根据现场测试结果对应表 2 中 ABCD 等级所取得的实际分值；

m —— 一级指标项数；

n —— 二级指标项数。

6.6 评价等级判定

根据最终总得分 P ，判定废旧磷酸铁锂电池再生黑粉成套装备的运行效果等级：

- a) 一级（优秀）： $P \geq 90$ 分；
- b) 二级（良好）： $90 > P \geq 75$ 分；
- c) 三级（一般）： $75 > P \geq 60$ 分；
- d) 四级（不及格）： $P < 60$ 分。

7 评价程序与评价报告

7.1 评价程序

废旧磷酸铁锂电池再生黑粉成套装备的运行效果评价应按以下程序进行：

7.1.1 申请与受理

成套装备制造方或使用方提出评价申请，并提交包括技术说明书、工艺参数、初期自测报告在内的基础资料。

7.1.2 资料审查

评价组对受评方提交的资料进行合规性审查。重点核查：

- a) 是否具备连续 168 小时的生产运行数据记录；

- b) 是否具备针对磷酸铁锂电池处理的安全评估及环保验收文件。

7.1.3 现场评价与检测

评价组赴受评装备所在地进行实地考察，执行以下任务：

- a) 核查前置要求：按照本文件表 1 逐项判定是否满足强制性条件；
- b) 现场测试与抽样：监督现场运行工况，随机抽取产生的再生黑粉样本送第三方检测；
- c) 功能演示：验证自动化控制、安全联锁及污染防治设施的实际有效性。

7.1.4 综合评分与等级判定

评价组结合资料审查结果、现场测试数据及第三方检测报告，按照本文件表 2 进行各项二级指标打分，计算总得分 P ，并依据 6.6 节判定评价等级。

7.1.5 报告编制与审定

评价组编制评价报告，经专家组会商审定后，给出最终评价结论。

7.2 评价报告

评价报告应客观、真实、准确地反映成套装备的运行效果，至少应包含以下内容：

7.2.1 报告概述与基本信息

- a) 报告标题、编号、评价日期；
- b) 受评装备信息：制造商、规格型号、额定处理能力（t/h）、安装地点、投入使用时间；
- c) 委托单位及评价机构信息。

7.2.2 前置要求核查结果

以表格形式逐项列出系统安全设计、污染物排放等前置指标的核查结论（合格/不合格），并给出总体核查结论。

7.2.3 综合运行效果评分表

提供完整的《综合运行效果评分体系》得分表（格式参见附录A），详细列出各评价维度（系统运行性能、产品产出效益、运行经济性、自动化水平、安全与环保先进性、运维管理支持性）的实际得分，并在每个分项指标后附简要的评分依据说明。

7.2.4 核心性能指标总结

针对性列出成套装备在处理废旧磷酸铁锂电池工况下的核心性能数据，包括：

- a) 锂元素综合回收率（%）；
- b) 黑粉质量指标：铝残留量、铜残留量、有机物残留量（%）；
- c) 系统资源消耗：系统综合能耗（kWh/t）、综合气耗（Nm³/t）、综合水耗（m³/t）；
- d) 运行稳定性：考核周期内的平均无故障运行时间（h）。

7.2.5 评价结论与建议

- a) 评价结论：明确给出装备的最终综合得分及所属等级（一级/二级/三级/四级）；
- b) 优势评价：总结装备在技术创新、节能减排或安全防护方面的突出亮点；
- c) 改进建议：针对评价中发现的薄弱环节（如锂回收率波动、某类辅材消耗偏高等）提出优化建议。

7.2.6 附件

包括测试期间的原始运行记录摘要、第三方检测报告复印件、现场关键环节照片等。



附 录 A
(资料性)
综合运行效果评价分项计分表

表 A.1 综合运行效果评价分项计分表

评价维度	评价指标	满分值	实际得分	选定等级 (A/B/C/D)	评分依据及备注(简述 现场核查证据)
一、系统运行性能 (20分)	1.1 综合处理能力达成率	10			
	1.2 系统可靠性	10			
二、产品产出效益 (30分)	2.1 黑粉质量符合度	10			
	2.2 锂元素综合回收率	10			
	2.3 产出物料分离纯度	5			
	2.4 黑粉中有机物残留量	5			
三、运行经济性 (20分)	3.1 系统综合能耗	8			
	3.2 系统综合气耗(氮气)	4			
	3.3 系统综合水耗	2			
	3.4 系统综合药耗	2			
	3.5 维护成本与备件寿命	4			
四、自动化水平 (10分)	4.1 自动化运行能力	10			
五、安全环保先进性 (14分)	5.1 主动安全防护	7			
	5.2 污染物减排水平	7			
六、运维管理支持性 (6分)	6.1 运维管理体系	6			
总分		100		判定等级:	一级(优秀) <input type="checkbox"/> 二级(良好) <input type="checkbox"/> 三级(一般) <input type="checkbox"/> 四级(不合格) <input type="checkbox"/>