

团 体 标 准

T/CIECCPA 066—2025

废铅酸蓄电池回收业节能技术规范 预脱 硫工艺

Energy conservation technical specification for spent lead-acid battery
recycling industry—Pre-desulfurization process

2025 - 03 - 14 发布

2025 - 03 - 20 实施

中 国 工 业 节 能 与 清 洁 生 产 协 会 发 布

CLECCRA

目 次

前言.....	I
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	2
4 技术组成.....	2
5 技术要求.....	3

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。请注意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。

本文件由中国工业节能与清洁生产协会提出并归口。

本文件起草单位：浙江超威八方循环产业有限公司、江苏海宝新能源有限公司、浙江天能电源材料有限公司、通辽泰鼎环保科技有限公司、安徽凯铂环保科技有限公司、辽宁特力环保科技有限公司、湖南江冶机电科技股份有限公司、湘潭大学、北京低碳绿标信息技术咨询有限公司。

本文件主要起草人：朱文龙、陈晓新、沈维新、沈煜婷、张春强、姿可柏、王伟、许振飞、朱鹏飞、朱森林、邓向辉、赵亚斌、侯云鹏、吴光辉、陈彪、张俊丰、刘承斌、张文婷、梁晓苏、李成功。

废铅酸蓄电池回收业节能技术规范 预脱硫工艺

1 范围

本文件规定了废铅酸蓄电池回收业预脱硫工艺即废铅酸蓄电池破碎分选-铅膏预脱硫-脱硫铅膏低温熔炼技术的技术组成、技术要求和节能要求。

本文件适用于废铅酸蓄电池破碎分选-铅膏预脱硫-脱硫铅膏低温熔炼技术与装备的参数选择、节能减排的主要措施和运行指标，为废铅酸蓄电池回收项目的建设、运行维护和效果评价提供技术支持和导向。

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 535	肥料级硫酸铵
GB/T 2900.41	电工术语 原电池和蓄电池
GB/T 6009	工业无水硫酸钠
GB/T 7251.8	低压成套开关设备和控制设备 第8部分：智能型成套设备通用技术要求
GB 12348	工业企业厂界环境噪声排放标准
GB/T 14353.12	铜矿石、铅矿石和锌矿石化学分析方法 第12部分：硫量测定
GB/T 15264	环境空气 铅的测定 火焰原子吸收分光光度法
GB/T 16157	固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法
GB/T 16539	声学 振速法测定噪声源声功率级 用于封闭机器的测量
GB/T 21181	再生铅及铅合金锭
GB/T 26758	铅、锌冶炼企业节能规范
GB/T 29519	铅冶炼安全生产规范
GB 31574	再生铜、铝、铅、锌工业污染物排放标准
GB/T 37281	废铅酸蓄电池回收技术规范
GB/T 50052	供配电系统设计规范
GB 50919	有色金属冶炼厂节能设计规范
HJ 510	清洁生产标准 废铅酸蓄电池铅回收业
HJ 519	废铅蓄电池处理污染控制技术规范
HJ/T 534	环境空气 氨的测定 次氯酸钠-水杨酸分光光度法
HJ/T 544	固定污染源废气 硫酸雾的测定 离子色谱法
HJ 786	固体废物 铅、锌和镉的测定 火焰原子吸收分光光度法
YS/T 1406	铅冶炼行业绿色工厂评价要求
YS/T 1694	铅冶炼企业节能诊断技术规范
DB43/T 2527	废铅蓄电池破碎分选及湿法预处理装备技术要求

3 术语和定义

GB/T 2900.41界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

废铅酸蓄电池破碎分选 crushing and sorting of spent lead-acid battery

将废铅酸蓄电池破碎后，通过筛分和比重分选分类收集废硫酸、铅膏、铅栅、塑料外壳和隔板。

3.2

铅膏预脱硫 pre-desulfurization of lead paste

将铅膏中的硫湿法转化除去，并回收副产物的工艺单元。

[来源：DB43/T 2527，3.4]

3.3

铅膏钠法预脱硫 sodium method pre-desulfurization of lead paste

以氢氧化钠或碳酸钠作为脱硫剂，将铅膏中的硫酸铅脱硫转化成氢氧化铅或碳酸铅，并回收副产物硫酸钠的工艺单元。

[来源：DB43/T 2527，3.5]

3.4

铅膏铵法预脱硫 ammonia method pre-desulfurization of lead paste

以碳酸氢铵或碳酸铵作为脱硫剂，将铅膏中的硫酸铅脱硫转化成碳酸铅，并回收副产物硫酸铵的工艺单元。

[来源：DB43/T 2527，3.6]

3.5

强制脱硫 forced desulfurization

通过对脱硫过程中的硫酸铅颗粒实施高强度研磨或碰撞，将沉淀并包裹在硫酸铅颗粒表面的脱硫反应产物碳酸铅或氢氧化铅进行强制剥离，从而促进硫酸铅与脱硫剂的接触，提高脱硫效率。

3.6

不溶性硫含量 content of insoluble sulfur

铅膏中难溶性硫的质量百分比（以硫元素计），通常指硫酸铅。

3.7

可溶性硫含量 content of soluble sulfur

铅膏中可溶性硫的质量百分比（以硫元素计），通常指硫酸钠或硫酸铵。

4 技术组成

本文件将废铅酸蓄电池回收业预脱硫节能工艺分为五个部分，即废铅酸蓄电池破碎分选系统、铅膏预脱硫及副产物回收系统、脱硫铅膏冶炼系统、铅栅冶炼系统和废气净化系统。

- a) 废铅酸蓄电池破碎分选系统包括电池破碎、混料筛分、水力分选、絮凝沉降、铅膏压滤和废水处理工序。
- b) 铅膏预脱硫及副产物回收系统包括：铅膏预脱硫、铅膏压滤、硫酸盐净化、硫酸盐结晶和干燥工序。
- c) 脱硫铅膏冶炼系统包括：配料、脱硫铅膏冶炼和铸锭工序。
- d) 铅栅冶炼系统包括：铅栅冶炼和铸锭工序。
- e) 废气净化系统包括：破碎分选废气净化、预脱硫废气净化、冶炼废气余热回收和冶炼废气净化工序。

5 技术要求

5.1 工艺要求

5.1.1 工艺路线

5.1.1.1 工艺流程

废铅酸蓄电池破碎分选-铅膏预脱硫-脱硫铅膏低温熔炼工艺路线如图 1 所示，主要包括废铅酸蓄电池破碎、混料筛分、水力分选、絮凝沉降、铅膏预脱硫、硫酸盐结晶、脱硫铅膏冶炼、铅栅冶炼、废气收集与净化等工序，总体应满足 HJ 519 和 HJ 510 的要求。

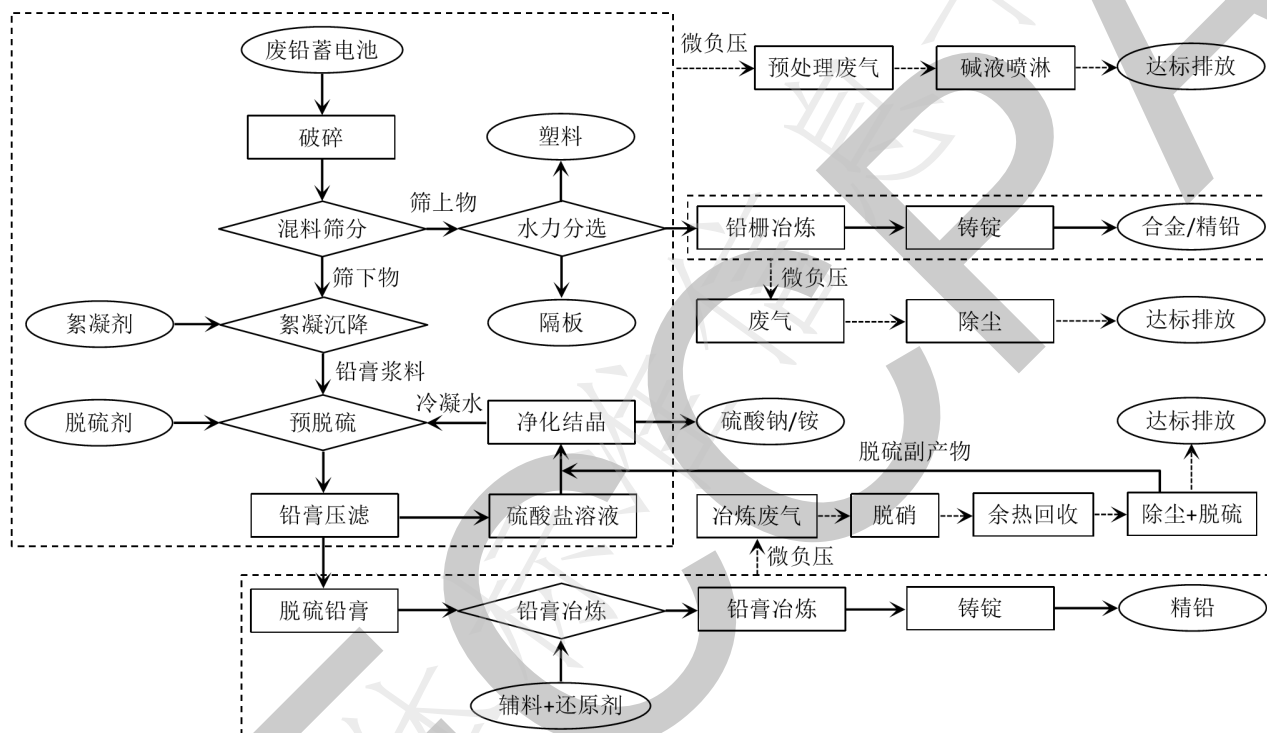


图 1 废铅酸蓄电池破碎分选-铅膏预脱硫-脱硫铅膏低温熔炼工艺路线

5.1.1.2 废铅酸蓄电池破碎

废铅酸蓄电池应经电磁除铁器将铁等磁性杂质去除后，输送至破碎机，得到破碎混料。

5.1.1.3 混料筛分

应通过筛分设备将破碎混料中的铅膏与铅栅、塑料外壳、隔板等物料分离。

5.1.1.4 水力分选

铅栅、塑料外壳和隔板等破碎混料应通过水力分离器分选，分别得到铅栅、塑料外壳和隔板。

5.1.1.5 絮凝沉降

应向筛分得到的铅膏浆料中添加絮凝剂，使其在铅膏沉淀机进行沉降。

5.1.1.6 铅膏预脱硫

- 应将絮凝沉降得到的铅膏浆料加水调配成固含量为 30%-60% 的浆液，加入碳酸钠、氢氧化钠或碳酸氢铵等脱硫剂进行预脱硫，将铅膏中的硫酸铅转化为碳酸铅或氢氧化铅，使冶炼温度降低。
- 应使用研磨或颗粒自碰撞等强制力，使反应过程生成的碳酸铅或氢氧化铅包裹层被打破，实现铅膏颗粒的表面强制更新。
- 预脱硫反应完成后应进行固液分离，得到脱硫铅膏和副产物硫酸盐溶液。

5.1.1.7 硫酸盐结晶

副产物硫酸盐溶液应通过净化处理，并采用蒸发结晶得到硫酸盐晶体，蒸发冷凝水应回用于铅膏预

脱硫工序中浆液的调配。硫酸盐晶体应通过干燥制得硫酸盐产品。

5.1.1.8 脱硫铅膏冶炼

在脱硫铅膏冶炼之前，应将脱硫铅膏与还原剂（焦炭、铁屑等）和辅料（石英石、烟道灰等）按一定比例进行混合。将配好的脱硫铅膏原料进行冶炼得到粗铅液，应采用富氧燃烧方式提高冶炼效率，冶炼温度应不低于 800℃ 且不高于 1100℃。并应将粗铅液进一步精炼制成精铅，精炼温度应不低于 400℃ 且不高于 700℃。

5.1.1.9 铅栅冶炼

应将铅栅与辅料进行低温熔炼，得到精铅液或铅合金液，冶炼温度应不低于 400℃ 且不高于 700℃。

5.1.1.10 铸锭

应将铅膏冶炼和铅栅冶炼得到的铅液应注入模具中，铸成铅锭。

5.1.1.11 废气收集与净化

- a) 产生的废气应通过集气罩、风管、引风机收集并输送到净化系统。
- b) 应对破碎分选和铅膏预脱硫产生的废气进行碱液喷淋净化后排放。
- c) 应对铅栅冶炼产生的废气进行除尘净化后排放。
- d) 应对铅膏冶炼产生的废气以蒸汽、热水等方式进行余热回收，并通过脱硝、除尘和脱硫净化后排放。

5.1.2 技术指标要求

5.1.2.1 塑料外壳残留率

铅栅中的塑料外壳残留率应 $\leq 0.6\%$ ；铅膏中的塑料外壳残留率应 $\leq 0.6\%$ 。

5.1.2.2 铅膏残留率

铅栅中的铅膏残留率应 $\leq 0.6\%$ ；塑料外壳中的铅膏残留率应 $\leq 0.3\%$ ；隔板中的铅膏残留率应 $\leq 1.0\%$ 。

5.1.2.3 物料含水率

压滤后的铅膏含水率应 $\leq 12\%$ ；铅栅含水率应 $\leq 2.5\%$ 。

5.1.2.4 脱硫铅膏含硫率

脱硫铅膏中的不溶性硫含量（以硫元素计）应 $\leq 0.5\%$ ，可溶性硫含量（以硫元素计）应 $\leq 0.5\%$ 。

5.1.2.5 预脱硫副产品纯度

硫酸铵产品应符合 GB/T 535 一等品要求；硫酸钠产品应符合 GB/T 6009 一等品要求。

5.1.2.6 铅产品纯度

铅产品应符合 GB/T 21181 要求。

5.1.2.7 铅总回收率

铅总回收率应 $\geq 98\%$ 。

5.2 能源与资源消耗要求

5.2.1 能源与资源消耗指标要求

废铅酸蓄电池破碎分选-铅膏预脱硫-脱硫铅膏低温熔炼技术的能源与资源消耗指标要求如表 1 所示。

表 1 废铅酸蓄电池破碎分选-铅膏预脱硫-脱硫铅膏低温熔炼技术的能源与资源消耗

等级	一级	二级	三级
综合能耗（kgce/t 铅）	≤ 90	≤ 100	≤ 110
絮凝剂（kg/t 铅）	≤ 0.20	≤ 0.25	≤ 0.30
水耗（m ³ /t 铅）	≤ 0.2	≤ 0.3	≤ 0.4

碳酸氢铵耗量 (kg/t 铅)	≤400
碳酸钠耗量 (kg/t 铅)	≤280

5.2.2 节能规范

5.2.2.1 预脱硫工序节能

- 采用铅膏钠法预脱硫时, 进入结晶工序的硫酸钠浓度应不低于 150 g/L。
- 采用铅膏铵法预脱硫时, 进入结晶工序的硫酸铵浓度应不低于 250 g/L。
- 通过余热锅炉回收利用冶炼废气余热, 生产蒸汽供结晶工序用汽。

5.2.2.2 冶炼工序节能

- 使用节能型熔铅炉, 采用富氧熔炼方式, 加强炉体保温, 改进燃烧装置结构。
- 使用高效节能电动机及相关设备, 淘汰更新低效电动机及高耗电设备。
- 推广使用变频调速技术, 提高机组本体及系统运行效率。
- 冶炼系统应尽可能连续使用, 负荷率应不低于 70%。
- 改进设备结构, 提高设备密封性, 减少散热面积。
- 采用可严格控制炉温和空气系数的自动调节系统, 使燃烧的过量空气系数保持在 1.1~1.3。
- 燃烧加热设备的热效率不得低于 40%。
- H) 设计与生产应符合 GB/T 26758、GB/T 37281 和 GB 50919 的要求。

5.2.2.3 节能管理

- 应设专人管理能源, 建立能源管理制度和能耗统计体系。
- 合理安排节能技术改造, 推广节能新技术、新材料、新产品。
- 合理组织生产, 减少中间环节, 提高生产能力, 延长生产周期。
- 定期维护和检修高能耗设备, 使其始终保持正常的消耗水平。
- 节能诊断与评价应符合 YS/T 1406 和 YS/T 1694 的要求。

5.3 电气系统要求

所有设备应可在上位机实现操控, 应设有中央控制室, 各种技术参数及生产现场监控均可在大屏幕上显示, 应单人控制上位机即可操作全套设备, 应具有手动和自动的切换功能。电气控制部分应符合 GB/T 7251.8 和 GB/T 50052 的要求。

5.4 安全与环保要求

5.4.1 设备安全

设备生产运行时应无漏水、漏油、漏气、漏电情况发生, 应具备必要且充分的安全防护措施, 集成装备应具备报警系统, 每一台设备应设置总停开关, 每个操作位置均应设置相应的急停装置。操作位置应具有易行通道和良好的可视性, 工作平台应安装防护栏。铅冶炼安全生产应符合 GB/T 29519 的要求。

5.4.2 环保要求

废气排放应满足 GB 31574 的要求。废水应符合零排放要求。厂界噪声应符合 GB 12348 的要求。应妥善处理废铅蓄电池利用处置过程产生的冶炼残渣、废硫酸盐、废气净化灰渣、废水处理污泥、分选残余物、铅尘、废铅膏、废隔板、含铅废旧劳保用品(废口罩、手套、工作服等)和带铅尘包装物等含铅废物。

5.5 检测方法

本文件各项重要指标的采样和监测按照国家规定的监测方法执行, 测定方法宜采用表 2 中所列的方法标准。

表 2 测定方法标准

检测项目	方法标准名称	方法标准编号
铅膏中硫含量	铜矿石、铅矿石、锌矿石化学分析方法 第 12 部分：硫量的测定	GB/T 14353.12
Pb	固体废物 铅、锌和镉的测定 火焰原子吸收分光光度法	HJ 786
	环境空气 铅的测定 原子吸收分光光度法	GB/T 15264
氨	环境空气 氨的测定 次氯酸钠-水杨酸分光光度法	HJ/T 534
硫酸雾	固定污染源废气 硫酸雾的测定 离子色谱法	HJ/T 544
颗粒物	固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法	GB/T 16157
噪音	声学 振速法测定噪声源声功率级 用于封闭机器的测量	GB/T 16539

5.6 计算方法

5.6.1 塑料外壳残留率的计算

塑料外壳残留率按公式（1）计算：

$$R_{\text{塑料}} = \frac{m_i}{M_i} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- $R_{\text{塑料}}$ ——塑料外壳残留率，单位为百分比（%）；
- m_i ——某物料中所含塑料外壳的质量，单位为吨（t）；
- M_i ——某物料的总质量，单位为吨（t）。

5.6.2 铅膏残留率的计算

铅膏残留率按公式（2）计算：

$$R_{\text{铅膏}} = \frac{x_i}{X_i} \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- $R_{\text{铅膏}}$ ——铅膏残留率，单位为百分比（%）；
- x_i ——某物料中所含铅膏的质量，单位为吨（t）；
- X_i ——某物料的总质量，单位为吨（t）。

5.6.3 物料含水率的计算

物料含水率按公式（3）计算：

$$R_{\text{水}} = \frac{w_i}{W_i} \times 100 \dots\dots\dots (3)$$

式中：

- $R_{\text{水}}$ ——物料含水率，单位为百分比（%）；
- w_i ——某物料中所含水的质量，单位为吨（t）；
- W_i ——某物料的总质量，单位为吨（t）。

5.6.4 脱硫铅膏含硫率的计算

脱硫铅膏含硫率按公式（4）计算：

$$R_{\text{硫}} = \frac{y}{Y} \times 100 \dots\dots\dots (4)$$

式中:

$R_{\text{硫}}$ ——脱硫铅膏含硫率, 单位为百分比 (%);

y ——脱硫铅膏中所含硫元素的质量, 单位为吨 (t);

Y ——脱硫铅膏的质量, 单位为吨 (t)。

5.6.5 铅总回收率的计算

铅总回收率按公式 (5) 计算:

$$R_{\text{铅}} = \frac{M_1 + M_2}{M_{\text{铅}}} \times 100 \dots\dots\dots (5)$$

式中:

$R_{\text{铅}}$ ——铅总回收率, 单位为百分比 (%);

M_1 ——从 1 吨废铅酸蓄电池中回收得到的精铅产品中铅元素的质量, 单位为吨 (t);

M_2 ——从 1 吨废铅酸蓄电池中回收得到的铅合金产品中铅元素的质量, 单位为吨 (t);

$M_{\text{铅}}$ ——1 吨废铅酸蓄电池中铅元素的总质量, 单位为吨 (t)。

5.6.6 综合能耗的计算

综合能耗按公式 (6) 计算:

$$E = E_1 + E_2 \dots\dots\dots (6)$$

式中:

E ——再生铅产品综合能耗单耗, 单位为千克标准煤每吨 (kgce/t);

E_1 ——再生铅产品工序能源单耗, 单位为千克标准煤每吨 (kgce/t);

E_2 ——再生铅产品间接辅助能耗及损耗分摊量, 单位为千克标准煤每吨 (kgce/t)。