

江苏省地方标准

《退役锂电池回收利用风险评估技术规范（征求意见稿）》

编制说明

标准编制组

2026 年 07 月

目录

一、编制目的与意义	1
（一）产业发展现状与问题	1
（二）标准编制的必要性	1
（三）标准编制的意义	2
（四）生命周期评价方法用于环境风险评估的技术必要性	2
二、任务来源	4
三、编制过程	4
四、主要内容、技术参数及确定依据	6
（一）标准适用边界与技术定位	6
（二）标准章节设置及技术逻辑	7
（三）现场核实重点关注单元与资料核查依据	8
（四） 指标体系设置依据	9
（五）生命周期影响指标计算方法依据	16
（六）企业调研和数据收集情况	18
（七）筛查阈值确定依据	19
（八）权重设置和综合评估指数依据	22
（九）风险等级划分依据	22
（十）风险评估报告要求及可操作性	22
（十一）评估计算案例	23
五、与相关法律法规和国家标准的关系	54
（一）与国家法律法规的协调性	54
（二）与国家、行业标准的衔接性	54
（三）与地方标准的互补性	55
（四）与国际标准的对标性	55
六、实施推广建议	55
（一）组织实施措施	55
（二）技术支撑措施	56
（三）实施过渡期与分步推进	57
（四）监督与评估	57
七、起草单位和起草人员信息及分工	57
（一）起草单位	57
（二）主要起草人及分工	57

本编制说明依据《江苏省地方标准管理规定》（苏市监规〔2023〕7号）第十九条要求编制，结合《退役锂电池回收利用风险评估技术规范》地方标准制定实际，说明标准编制的背景、任务来源、编制过程、主要技术内容、技术参数确定依据、与相关法律法规和标准的关系以及实施建议等内容。

一、编制目的与意义

（一）产业发展现状与问题

江苏省是锂电池产业大省，动力电池生产、梯次利用和再生利用产业链较为完整。随着新能源汽车和储能产业快速发展，退役锂电池产生量持续增加，回收利用需求不断扩大。截至2024年2月，省内锂电池相关企业约370家，动力电池产业链企业160余家，预计2025年退役动力电池规模将进一步增长，回收利用行业进入快速发展阶段。

退役锂电池回收利用过程涉及贮存、放电、拆解、破碎、分选、火法回收、湿法回收、直接再生、污染治理和资源化利用等多个环节，环境风险来源复杂。部分企业在电池分类贮存、破损电池管理、含氟废气和挥发性有机物收集、重金属废水处理、滤渣和飞灰等固体废物管理、事故废水收集以及环境台账管理等方面仍存在薄弱环节。非法拆解、小作坊式处理和不规范资源化利用也可能造成电解液泄漏、重金属释放、挥发性有机物逸散、粉尘污染和危险废物去向不明等环境风险。

现行国家、行业和地方标准主要对废锂离子动力蓄电池处理污染控制、废旧电池回收技术、危险废物贮存、挥发性有机物无组织排放和排污单位自行监测等提出要求，但针对退役锂电池进入回收利用企业厂区后的环境风险评估、风险单元识别、指标计算、风险等级划分和技术路径比选，尚缺乏统一、系统、可操作的地方技术规范。生态环境监管和企业自主管理中仍存在评价边界不统一、指标体系不一致、数据口径不清、风险等级判定依据不足等问题。

（二）标准编制的必要性

编制本标准，是规范退役锂电池回收利用过程环境风险评估和分级管理的重要举措。一方面，退役锂电池回收利用企业工艺路线差异较大，既包括火法回收、湿法回收和直接再生，也包括前处理、电极材料粉料制备、污染治理和辅助系统，不同工艺路线的资源能源消耗、污染物排放和环境风险特征差异明

显，需要建立分类适用的指标体系和风险评估方法。另一方面，生命周期环境影响指标、污染控制要求和现场风险单元核查结果需要形成相互衔接的技术框架，以支撑企业识别重点风险环节、优化工艺路径、落实整改措施，也为监管部门开展分类管理、重点核查和技术评估提供依据。

本标准不替代建设项目环境影响评价、排污许可管理、突发环境事件风险评估、危险废物鉴别、安全评价和职业健康评价等法定管理要求，而是聚焦退役锂电池进入回收利用企业厂区后的回收利用过程，服务于环境风险评估、风险等级划分、重点风险单元识别和工艺技术路径比选。该定位有利于避免传统健康风险评价或生态风险评价中暴露情景构建、剂量一效应关系推导和风险表征等内容与本标准技术目标混淆，也有利于提高标准实施的针对性和可操作性。

（三）标准编制的意义

本标准的制定，有利于构建江苏省退役锂电池回收利用过程环境风险评估与等级划分技术体系，明确退役锂电池回收利用企业环境风险评估对象、实施主体、功能单位、企业数据收集与现场核实、数据核查、生命周期环境影响指标计算、综合评估指数计算、风险等级划分、重点风险指标和重点风险单元识别、评估报告编制等要求，为企业开展环境风险识别、过程控制和技术路径优化提供统一技术依据。

本标准的实施，有助于推动回收利用企业规范开展厂区内环境风险评估，识别贮存、拆解、破碎分选、火法回收、湿法回收、直接再生、污染治理和危险废物管理等重点风险单元，促进企业完善污染治理设施、规范危险废物管理、提高资源化利用水平和环境管理能力。同时，本标准可为生态环境管理部门开展行业环境监管、风险排查、分级管理和技术评估提供参考，有利于提升监管精准性和一致性，防范退役锂电池回收利用过程中的重金属、含氟污染物、挥发性有机物、粉尘、高盐废水和固体废物等环境风险，推动江苏省锂电池回收利用产业规范化、绿色化和高质量发展。

（四）生命周期评价方法用于环境风险评估的技术必要性

为深入贯彻国家关于资源循环利用与绿色低碳发展的决策部署，落实碳达峰碳中和工作要求，适配我国退役锂电池回收利用产业规模化发展进程中工艺

链条长、风险来源多元、资源属性与环境风险交织并存的行业特征，本标准引入生命周期评价方法，构建覆盖回收利用全过程的环境风险评估技术体系。

传统健康风险评价与生态风险评价方法，通常以污染物环境释放、多介质迁移转化、受体暴露途径及风险表征为核心框架，重点研判特定污染物对人体健康或生态系统受体的潜在影响，主要适用于末端排放管控与单一环境介质的风险评估。本标准聚焦退役锂电池进入回收利用企业厂区后的全流程回收利用过程，核心服务于环境风险评估、重点风险单元识别、量化指标核算、风险等级划分及工艺路径比选等管理需求。生命周期评价方法能够以统一的功能单位与清晰的系统边界为基础，充分衔接企业实际生产运行台账、能源与原辅材料消耗、污染物排放、污染治理设施运行效能、固体废物及危险废物处置去向、产品收率与资源回收率等全维度数据，系统核算不同工艺单元的生命周期环境影响指标，精准识别环境影响主要贡献环节与重点风险管控单元。

基于生命周期评价方法框架，本标准设置人体健康、资源消耗、环境影响三类一级环境风险评估指标，并进一步细化为人体毒性一致癌效应（HTC）、人体毒性一非致癌效应（HTNC）、非生物资源耗竭潜势（ADP）、水资源消耗（WS）、全球变暖潜势（GWP）、富营养化潜势（EP）、酸化潜势（AP）、光化学臭氧生成潜势（POFP）共 8 项二级量化指标。其中，人体毒性一致癌效应、人体毒性一非致癌效应指标分别表征毒性污染物的癌症与非癌症健康效应，覆盖重金属、含氟化合物、有机溶剂、酸雾、粉尘及其他特征污染物释放相关工艺单元的健康风险评估；非生物资源耗竭潜势指标用于表征不同回收技术路线的资源替代效能与资源消耗强度，客观反映资源化利用水平；水资源消耗指标重点核算湿法回收、物料清洗、除尘净化、废水处理等工艺环节的水资源耗用情况；GWP、EP、AP 和 POFP 指标，分别对应温室气体排放、水体富营养化、大气酸化、光化学烟雾等环境影响，可全面反映火法回收、高能耗电极材料粉料制备、湿法工艺废水排放、酸碱物料使用、酸雾逸散、含硫含氮废气排放、有机溶剂及挥发性有机物排放等多类过程的环境效应。上述指标体系全面衔接退役锂电池回收利用过程中毒性物质释放、资源能源消耗、水资源耗用、温室气体排放、酸化、富营养化、光化学污染等核心风险来源，有效弥补了仅依赖末端排放数据或单一环境介质评价难以反映全过程风险贡献的技术短板。

同时，该方法体系可实现火法回收、湿法回收、直接再生、前处理与电极材料粉料制备、污染治理及辅助公用系统等不同工艺路线间的环境绩效横向对标，为企业优化工艺技术路径、提升资源化利用效率、完善污染治理措施、实施绿色低碳改造提供量化决策依据。

综上，本标准将生命周期评价方法作为退役锂电池回收利用环境风险评估与技术路径比选的核心量化工具，其定位为现有环境管理制度的补充与细化，不替代建设项目环境影响评价、排污许可管理、突发环境事件风险评估、危险废物鉴别、安全评价及职业健康评价等法定管理要求。该标准的应用，有利于推动行业环境管理模式由末端治理向全过程管控转变、由单项污染控制向综合环境绩效提升转变，是国家重点研发计划“退役锂电池回收利用全链条风险防控与产业绿色低碳发展政策标准研究”成果的落地转化，对支撑我国退役锂电池回收利用产业绿色低碳高质量发展、健全资源循环型经济体系具有重要的技术支撑作用。

二、任务来源

根据《省市场监管局关于印发 2025 年度江苏省地方标准立项指南的通知》（苏市监标〔2025〕42 号）有关要求，本标准由南京大学联合相关单位组织申报。经专家评审和行政审查，于 2025 年 10 月列入 2025 年度江苏省地方标准制订计划，立项编号为 2025058。

本标准由江苏省生态环境厅提出并归口，南京大学、江苏省环境科学研究院、中国科学院过程工程研究所、中国环境科学研究院、江苏华友能源科技有限公司、衢州华友资源再生科技有限公司、浙江大学、北京科技大学、上海炙云新能源科技有限公司、安徽绿沃循环能源科技有限公司。

三、编制过程

本标准编制工作遵循《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》、《生态环境标准管理办法》和《江苏省地方标准管理规定》等法律法规和标准化管理要求，按照资料收集、立项申报、工作组组建、调研论证、文本起草、征求意见、送审报批等程序分阶段推进。

1. 立项申报阶段（2025 年 4 月）：南京大学联合相关单位组建标准编制筹备组，开展前期资料收集和产业初步调研，梳理退役锂电池回收利用环境风险

评估、污染控制、生命周期评价、危险废物管理等相关政策、标准和技术文献，形成标准草案初稿和立项申报材料，并按程序提交申报。

2. 标准立项阶段（2025 年 10 月）：申报材料经专家评审和行政审查后，列入 2025 年度江苏省地方标准制订计划。标准由江苏省生态环境厅提出并归口，由南京大学牵头组织起草。
3. 工作组组建与任务分工阶段（2025 年 11 月—2025 年 12 月）：成立标准编制工作组，明确牵头单位、参编单位和主要起草人的职责分工，制定标准编制工作方案、技术路线和进度安排，确定资料收集、企业调研、指标体系构建、阈值方法论证、文本起草和编制说明撰写等重点任务。
4. 资料收集与现场调研阶段（2025 年 12 月—2026 年 3 月）：编制工作组系统收集国内外退役锂电池回收利用、污染控制、生命周期评价、环境风险评估和绿色低碳评价等相关政策文件、标准规范、技术文献和典型案例。结合江苏省退役锂电池回收利用产业实际，选取具有代表性的回收利用企业开展现场调研、企业座谈和资料核验，重点了解企业工艺路线、电池类型、处理规模、能源与原辅材料消耗、污染物产生与治理、危险废物管理、环境监测和风险防控措施等情况，为标准适用范围、风险单元划分、指标体系和阈值确定方法提供依据。
5. 开题论证阶段（2026 年 3 月）：组织召开标准开题论证会，邀请生态环境管理、锂电池回收利用、环境风险评价、生命周期评价和标准化等领域专家，对标准适用边界、技术定位、框架结构、核心技术内容和实施可操作性进行论证。根据专家意见，进一步明确本标准服务于退役锂电池进入回收利用企业厂区后的环境风险评估、风险等级划分、重点风险单元识别和技术路径比选，不替代建设项目环境影响评价、排污许可、突发环境事件风险评估、危险废物鉴别、安全评价和职业健康评价等法定管理要求。
6. 深化调研与专家咨询阶段（2026 年 4 月）：根据开题论证意见，编制工作组进一步开展补充调研和专家咨询，重点核实前处理与贮存、拆解破碎分选、火法回收、湿法回收、直接再生、污染治理和辅助系统等不同工艺环节的风险节点和数据可得性；围绕环境影响指标选取、生命周期清单数据要求、评

估阈值确定、权重设置和综合评估指数计算等技术问题开展专题讨论，完善标准技术路线。

7. 征求意见稿编制阶段（2026 年 5 月）：在资料收集、现场调研、专家咨询和内部讨论基础上，编制工作组形成《退役锂电池回收利用风险评估技术规范》标准征求意见稿及编制说明。标准文本重点规定范围、规范性引用文件、术语和定义、基本原则与评估准备、风险筛查与等级划分、评估报告及相关附录内容；编制说明重点阐明标准编制背景、技术参数确定依据、与相关法律法规和标准的关系以及实施建议。
8. 征求意见前审查及修改阶段（2026 年 6-7 月）：组织开展征求意见前内部审查，对标准征求意见稿的适用范围、条款完整性、技术科学性、可操作性、引用文件协调性、正文与附录衔接性以及编制说明支撑性进行审查。根据审查意见，对标准文本和编制说明进行修改完善。
9. 公开征求意见及修改阶段（计划于 2026 年 7-8 月开展）：拟按程序向生态环境管理部门、市场监管部门、锂电池回收利用企业、科研院所、行业协会和第三方技术机构等相关单位公开征求意见。编制工作组将对反馈意见进行分类汇总和逐条研究处理，形成意见处理汇总表，并根据采纳意见对标准文本和编制说明进行修改完善。
10. 送审前审查及修改阶段（计划于 2026 年 8 月开展）：拟组织召开送审前审查会，邀请相关领域专家对修改后的标准文本和编制说明进行技术审查，重点审查标准适用范围、技术路线、指标体系、阈值确定方法、权重和赋分方法、风险等级划分以及实施可操作性。根据审查意见形成标准送审稿及编制说明送审稿。
11. 报审与报批阶段（计划于 2026 年 8 月—2026 年 10 月开展）：拟按程序将标准送审稿及相关材料报送江苏省生态环境厅审议，并根据审议意见完成修改完善；随后报送江苏省市场监督管理局开展地方标准审查。经审查通过并完成相应修改后，形成标准报批稿及编制说明报批稿，按程序报批发布。

四、主要内容、技术参数及确定依据

（一）标准适用边界与技术定位

本标准名称为《退役锂电池回收利用风险评估技术规范》，但其技术定位不是传统意义上以环境受体暴露、剂量一效应关系和风险表征为核心的健康风险评价或生态风险评价，而是面向退役锂电池进入回收利用企业厂区后的回收利用过程，开展环境风险评估、风险单元识别、指标计算、风险等级划分和技术路径比选。

标准将适用边限定为退役锂电池进入回收利用企业厂区后，在贮存、放电、拆解、破碎、分选、火法回收、湿法回收、直接再生及相关资源化利用过程中形成的环境影响和环境管理风险。不覆盖电池生产、销售、使用、社会源收集、道路运输以及厂外贮运过程，也不替代建设项目环境影响评价、排污许可管理、突发环境事件风险评估、危险废物鉴别、安全评价和职业健康评价等法定管理要求。

该边界设置主要基于以下考虑：一是回收利用企业对厂区内贮存、拆解、处理、资源化利用和污染治理过程具有直接环境管理责任；二是厂区内过程具有较明确的工艺单元、物料流、能源流和污染物流，便于统一功能单位、系统边界和数据核算口径；三是厂区内回收利用过程是重金属、含氟污染物、挥发性有机物、粉尘、高盐废水、滤渣、飞灰、废活性炭等环境风险集中产生的关键环节，适宜开展环境风险评估、重点风险单元识别和分级管理。

（二）标准章节设置及技术逻辑

本标准按照“基本原则与评估准备—风险筛查与等级划分—评估报告”的技术流程设置主体章节。

第4章“基本原则与评估准备”规定评估对象、实施主体和评估目标、开展风险评估的基本原则、资料收集与现场核实和数据核查要求，用于明确评价对象、功能单位、系统边界、风险单元、数据来源和数据质量。

第5章“风险筛查与等级划分”规定指标计算、综合评估指数计算、风险等级划分、重点风险指标及风险单元识别要求，是本标准的核心技术部分。

第6章“评估报告”规定风险评估报告应反映的主要内容和基本表达形式，用于保证评估过程和结果可追溯、可复核。

本标准设置4个附录支撑正文实施。附录A给出退役锂电池回收利用数据收集表示例，为资料收集、现场核实和生命周期清单数据整理提供表格化参考；

附录 B 给出单项指标计算方法；附录 C 给出筛查阈值与单项指标阈值判定方法；附录 D 给出单项指标赋分、综合评估指数与贡献率计算方法，上述附录与正文第四章、第五章和第六章相互衔接，共同支撑风险筛查、等级划分和技术路径比选。

（三）现场核实重点关注单元与资料核查依据

本标准中退役锂电池回收利用过程具有工艺类型多、物料组成复杂、污染物种类多、环境管理环节长等特点。为保证风险筛查的可操作性，标准将现场核实需要重点关注的工艺单元作为数据核查的重要内容，要求结合企业实际工艺路线和电池类型，具体对贮存、放电、拆解、破碎、分选、火法回收、湿法回收、直接再生、污染治理和辅助系统等环节开展资料收集和现场核实。

现场核实中需要重点关注的工艺单元及核查内容见表 1。

表 1 回收利用过程重点关注单元及核查内容

工艺环节	重点关注单元	主要核查内容
前处理与贮存	入厂登记、电池分类、SOC/电压检测、放电、暂存、拆包、厂内转运、消防分区	核查电池来源和类型、残余电量、破损或鼓包电池处置、短路和热失控防控、渗漏液收集、防雨防渗、防火分区和事故废水收集能力
拆解、破碎和分选	拆解、破碎/粉碎、惰性气氛保护、筛分、磁选/风选、黑粉收集与包装、除尘和废气处理	重点关注电解液挥发、含氟气体、挥发性有机物、粉尘和金属颗粒逸散，核查负压收集、密闭、惰性保护、布袋除尘、活性炭吸附、碱洗等治理措施
火法回收	预热、焙烧、热解、熔炼、烟气急冷、除尘、酸/碱洗涤、炉渣和飞灰暂存	重点关注高温能耗、温室气体排放、SO _x /NO _x 、HF、颗粒物、重金属烟尘、炉渣浸出风险、洗涤废水和危险废物去向
湿法回收	黑粉投料、酸浸/还原浸出、固液分离、萃取/反萃、沉淀、结晶、母液回用、废水处理	重点关注酸碱和还原剂消耗、重金属废水、高盐废水、COD、氨氮、总氮、总磷、酸雾、萃取剂或溶剂损耗、滤渣属性和事故池容量
直接再生	黑粉纯化、黏结剂/电解液去除、补锂、再烧结/退火、包覆改性、产品筛分	重点关注溶剂使用、含氟或有机废气、再生烧结能耗、粉尘暴露、产品质量波动、返工物料和不合格物料去向
梯次利用后再处置	分选检测、容量/SOH评估、模组拆解与重组、BMS检测、老化测试、异常电芯隔离	重点关注热失控、短路、绝缘失效、异常电芯隔离、不可梯次利用电池流向及其与再生利用过程的衔接

污 染 治 理 与 辅 助 系 统	废气、废水、固体废物 和危险废物、事故废 水、雨污分流、在线监 测、能源计量系统	核查治理设施与主体工艺匹配性、关 键参数记录、旁路风险、危险废物台 账、能源计量边界、应急设施和监测 数据完整性
-------------------------	---	---

上述重点关注单元设置主要依据退役锂电池回收利用的典型工艺流程、HJ1186—2021 对废锂离子动力蓄电池处理污染控制的要求、GB30484 对电池工业污染物排放控制的要求、GB18597 对危险废物贮存污染控制的要求、GB37822 对挥发性有机物无组织排放控制的要求，以及企业现场核实中发现的实际风险节点。

（四）指标体系设置依据

1. 指标体系设置原则

为保证退役锂电池回收利用环境风险评估指标体系的科学性、完整性和可操作性，本标准在生命周期评价理论框架基础上，结合退役锂电池回收工艺特征、文献中 LCA 指标使用情况以及环境管理需求，构建由一级指标和二级指标组成的评价指标体系。

指标体系设置遵循以下原则：

（1）环境影响表征完整性原则。指标体系应能够覆盖退役锂电池回收利用过程中可能产生的主要环境影响，包括对人体健康、资源消耗以及环境影响的影响。

（2）跨工艺适用性原则。所选指标应尽可能适用于电极材料粉料制备、火法回收、湿法回收和直接再生四类主要回收工艺，避免仅适用于单一工艺路线。

（3）文献基础支撑原则。指标选取应具有一定文献报道出现频次和研究基础，避免低频、偶然性指标直接纳入必选指标。

（4）标准实施可操作性原则。指标应具有明确的环境含义、相对成熟的计算方法和较好的数据可获得性，便于企业、第三方机构和监管部门在实际评估中应用。

2. 一级指标分类依据

根据生命周期影响评价中不同指标所表征的环境影响对象和保护目标，结合部分 LCIA 方法中端点指标的设置思路，本标准将退役锂电池回收利用 LCA 指标划分为三类一级指标，分别为人体健康、资源消耗和环境影响。

其中，人体健康类指标主要反映污染物排放、毒性物质释放、颗粒物或辐射等因素对人体健康可能造成的影响；资源消耗类指标主要反映回收过程中能源、水资源、土地资源和非生物资源的消耗水平；环境影响类指标主要反映温室气体排放、酸化、富营养化、臭氧生成、臭氧层消耗以及生态毒性等对生态环境系统的影响。据此，19 个 LCA 指标归类如下：

表 2 LCA 指标分类

一级指标	二级候选指标	指标含义
人体健康	HTC、HTNC、HH、CF、CTP、RI、IRP	人体毒性致癌、人体毒性非致癌、人体健康损害、致癌效应、致癌毒性潜势、呼吸效应、电离辐射潜势
资源消耗	PED、ADP、WS、CLU	一次能源需求、非生物资源消耗、水资源消耗或水资源短缺、土地利用
环境影响	GWP、AP、EP、POFP、ODP、ET、TE、FE	全球变暖、酸化、富营养化、光化学臭氧生成、臭氧层消耗、生态毒性、陆地生态毒性、淡水生态毒性

3. 文献频次统计与归一化处理

退役锂电池回收利用工艺通常可归纳为电极材料粉料制备、火法回收、湿法回收和直接再生四类，其中电极材料粉料制备是拆解、破碎、分选等前端基础环节，火法、湿法和直接再生分别代表金属富集提取、化学浸出分离和材料再生修复等主要技术路线，能够覆盖当前 LCA 研究中常见的工艺分类框架。结合江苏省退役锂电池回收利用企业实际情况，省内企业工艺布局以电极材料粉料制备为主，同时涉及湿法回收、火法协同处理和直接再生等发展方向，因此选取上述四类工艺作为标准指标体系和评价方法的分类基础，既具有文献依据，也符合江苏省行业现状和标准实施需求。

考虑到不同回收工艺对应的文献数量和指标报告数量存在差异，若直接采用原始出现次数进行比较，可能导致湿法回收等研究较多的工艺对结果产生较大影响。因此，本标准对各指标在不同工艺中的出现次数进行工艺内归一化处理。本次归一化以某一工艺下 19 个 LCA 指标出现次数总和作为该工艺的归一化基准，即：

$$P_{ij} = \frac{n_{ij}}{N_i}$$

式中： P_{ij} ——指标 j 在工艺 i 中的归一化出现比例；

n_{ij} ——指标 j 在工艺 i 中的出现次数；

N_i ——工艺 i 下 19 个 LCA 指标出现次数总和。

根据文献统计结果，各工艺归一化基准如下：

表 3 回收工艺归一化基准

回收工艺	19 个 LCA 指标出现次数总和
电极材料粉料制备	65
火法回收	126
湿法回收	199
直接再生	72

该归一化方法能够表征某一 LCA 指标在对应工艺全部 LCA 指标中的相对关注程度，可用于比较不同指标在不同回收工艺中的相对重要性和稳定性。

4. 必选指标定量筛选方法

为避免单一工艺文献数量差异、个别指标偶然出现或低频指标误入必选指标，本标准从工艺覆盖度、平均归一化比例、最低工艺归一化比例和总出现次数四个方面进行综合筛选。

(1) 工艺覆盖度

工艺覆盖度用于表征某一指标在四类回收工艺中的适用广度，计算公式为：

$$C_j = \frac{m_j}{4}$$

式中： C_j ——指标 j 的工艺覆盖度；

m_j ——出现指标 j 的回收工艺数量。

(2) 平均归一化比例

平均归一化比例用于表征某一指标在四类回收工艺中的总体应用水平，计算公式为：

$$\overline{P}_j = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 P_{ij}$$

式中： $\overline{P}_j$ ——指标 j 在四类回收工艺中的平均归一化比例。

(3) 最低工艺归一化比例

最低工艺归一化比例用于表征某一指标在单一工艺中的最低支撑程度，计算公式为：

$$P_{min,j} = \min(P_{1j}, P_{2j}, P_{3j}, P_{4j})$$

式中： $P_{min,j}$ ——指标 j 在四类回收工艺中的最低归一化比例。

(4) 总出现次数

总出现次数用于表征某一指标在全部文献统计中的总体基础，计算公式为：

$$T_j = \sum_{i=1}^4 n_{ij}$$

式中： T_j ——指标 j 在四类回收工艺中的总出现次数。

5. 必选指标筛选条件

根据上述计算结果，进入四类回收工艺共同必选的 LCA 指标原则上应同时满足以下条件：

a) 工艺覆盖度为 100%，即该指标在电极材料粉料制备、火法回收、湿法回收和直接再生四类工艺中均有出现；

b) 平均归一化比例不低于 5%，表明该指标在四类工艺 LCA 研究中具有一定的总体应用基础；

c) 最低工艺归一化比例不低于 4%，表明该指标在任一回收工艺中均具有一定支撑，避免仅由个别工艺高频出现造成筛选偏差；

d) 总出现次数大于 20 次，表明该指标具有较充分的文献统计基础；

e) 一级指标完整性要求，即人体健康、资源消耗和环境影响三个一级指标中均应保留能够代表该类别环境影响的二级指标。

其中，条件 a) 至 d) 用于保证指标筛选的客观性和统计基础；条件 e) 用于保证指标体系结构的完整性和环境风险表征的全面性。

6. 定量筛选结果

按照工艺覆盖度 100%、平均归一化比例不低于 5%、最低工艺归一化比例不低于 4%、总出现次数大于 20 次的定量条件进行筛选，指标筛选情况见表 4。

表 4 指标筛选情况

一级指标	二级指标	工艺覆盖率	平均归一化比例	最低工艺归一化比例	总出现次数	筛选结果
环境影响	GWP	100%	0.248	0.215	121	满足
	AP	100%	0.077	0.046	35	满足
	EP	100%	0.089	0.050	35	满足
	POFP	100%	0.054	0.046	25	满足
	ODP	100%	0.050	0.031	24	不满足
	ET	75%	0.029	0.000	10	不满足
	TE	25%	0.003	0.000	1	不满足
	FE	25%	0.003	0.000	1	不满足

一级指标	二级指标	工艺覆盖率	平均归一化比例	最低工艺归一化比例	总出现次数	筛选结果
资源消耗	ADP	100%	0.064	0.048	28	满足
	WS	100%	0.051	0.045	23	满足
	PED	75%	0.081	0.000	48	不满足
	CLU	75%	0.038	0.000	19	不满足
	HTC	100%	0.046	0.035	20	不满足
	HTNC	100%	0.042	0.025	17	不满足
人体健康	HH	25%	0.003	0.000	1	不满足
	CF	75%	0.024	0.000	1	不满足
	CTP	25%	0.012	0.000	3	不满足
	RI	75%	0.037	0.000	19	不满足
	IRP	100%	0.039	0.014	19	不满足

上述结果表明，环境影响类和资源消耗类指标具有较好的文献基础和跨工艺适用性。其中，GWP 是出现频次最高、覆盖最稳定的指标，能够反映退役锂电池回收过程的温室气体排放影响；AP、EP 和 POFP 分别反映酸化、富营养化和光化学臭氧生成影响，能够表征回收过程中酸性气体、营养盐污染物及大气前体物排放的环境影响；ADP 和 WS 分别反映非生物资源消耗和水资源消耗，能够表征回收过程中的资源能源利用特征。图 1 为 LCA 指标的统计情况。

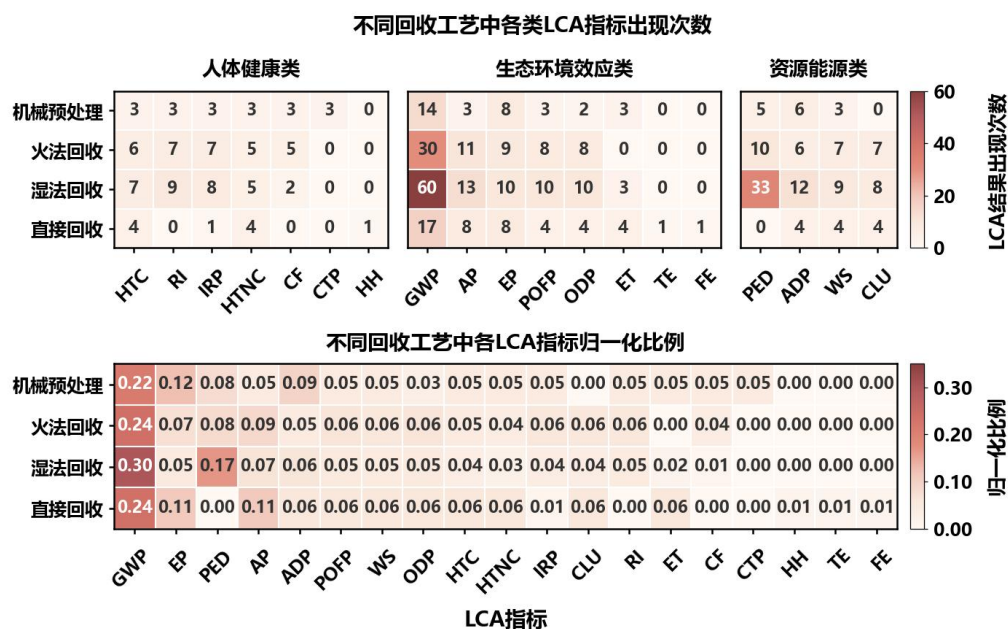


图 1 LCA 指标统计情况

7. 人体健康类指标保留依据

严格按照上述四项定量筛选条件，人体健康类指标未全部达到平均归一化比例、最低工艺归一化比例或总出现次数的筛选阈值。然而，退役锂电池回收利用过程中涉及重金属、酸碱试剂、有机溶剂、含氟物质、颗粒物及其他潜在毒性污染物，对人体健康影响是环境风险评估中不可缺失的重要维度。

若完全依据定量筛选结果剔除人体健康类指标，将导致一级指标体系缺少人体健康维度，不利于全面反映退役锂电池回收利用过程的环境风险特征。因此，在定量筛选基础上，本文件进一步引入一级指标完整性校正规则。

即当某一一级指标类别中无二级指标完全满足全部定量筛选条件时，可在该一级指标类别内，优先选择工艺覆盖度达到 100%、环境含义明确、与该类别保护目标直接相关且文献出现频次相对较高的指标作为代表性二级指标予以保留。

基于以上原则，人体健康类候选指标中，HTC 和 HTNC 分别表征人体毒性致癌效应和人体毒性非致癌效应，均在电极材料粉料制备、火法回收、湿法回收和直接再生四类工艺中出现，工艺覆盖度达到 100%。与 RI、IRP、CF、CTP、HH 等指标相比，HTC 和 HTNC 对人体健康风险的指向更明确，能够较直接反映回收过程中污染物排放可能造成的健康损害。因此，将 HTC 和 HTNC 作为人体健康类代表性二级指标纳入必选指标体系。

8. 最终指标体系设置结果

综合文献频次统计、工艺内归一化比例、工艺覆盖度、最低工艺归一化比例、总出现次数以及一级指标完整性要求，最终确定退役锂电池回收利用环境风险评估指标体系如表 5 所示。

表 5 最终指标体系设置结果

一级指标	二级指标	设置依据
人体健康	HTC	表征人体毒性致癌效应；工艺覆盖度达到 100%；作为人体健康类代表性指标保留
	HTNC	表征人体毒性非致癌效应；工艺覆盖度达到 100%；作为人体健康类代表性指标保留
资源消耗	ADP	满足定量筛选条件；表征非生物资源消耗，与金属资源回收和原生资源替代密切相关
	WS	满足定量筛选条件；表征水资源消耗或水资源短缺，适用于湿法、预处理及污染治理过程评价
环境影响	GWP	满足定量筛选条件；出现频次最高，表征温室气体排放和气候变化影响

一级指标	二级指标	设置依据
	AP	满足定量筛选条件；表征酸化效应
	EP	满足定量筛选条件；表征富营养化效应
	POFP	满足定量筛选条件；表征光化学臭氧生成效应

9. 筛选指标与退役锂电池回收环境风险的对应关系

为保证筛选结果与退役锂电池回收利用过程环境风险具有对应性，本文件在定量筛选基础上，进一步分析各指标与回收过程主要风险单元之间的关联（见表6）。退役锂电池回收利用过程涉及电池贮存、放电、拆解、破碎、分选、火法回收、湿法回收、直接再生及污染治理等环节，可能产生能源消耗、水资源消耗、酸碱废液、含金属废水、含氟废气、挥发性有机物、颗粒物、温室气体及其他潜在毒性污染物。上述环境负荷可通过人体健康、资源消耗和环境影响三类指标进行表征。

其中，HTC 和 HTNC 分别表征人体毒性致癌效应和人体毒性非致癌效应，可对应退役锂电池回收过程中重金属、含氟物质、有机污染物、颗粒物等污染物释放可能造成的人体健康风险。ADP 表征非生物资源消耗，可对应锂、镍、钴、锰、铜、铝、石墨等资源消耗及回收替代效益；WS 表征水资源消耗或水资源短缺，可对应湿法浸出、洗涤、萃取、沉淀、废水处理等过程中的水资源占用。GWP、AP、EP 和 POFP 分别表征全球变暖、酸化、富营养化和光化学臭氧生成效应，可对应回收过程中能源消耗、燃料燃烧、酸碱药剂使用、废气废水排放及挥发性有机物释放等引起的生态环境影响。

表 6 筛选指标与退役锂电池回收环境风险的对应关系

一级指标	二级指标	对应的回收过程环境风险	指标设置意义
人体健康	HTC	回收过程中重金属、含镍钴锰化合物、有机污染物及部分有害副产物释放，可能带来长期致癌健康风险	用于表征污染物排放对人体健康的潜在致癌影响，弥补单纯污染物浓度评价难以反映生命周期健康损害的问题
	HTNC	拆解、破碎、湿法浸出、废气废水处理等环节可能释放金属离子、酸碱物质、含氟物质和颗粒物，产生非致癌健康影响	用于表征神经毒性、呼吸系统影响、慢性暴露等非致癌健康风险，是人体健康类指标的重要补充
资源消耗	ADP	退役锂电池回收过程涉及锂、镍、钴、锰、铜、铝、石墨等资源的回收与替代，	用于反映回收工艺对矿产资源消耗和资源替代效益的影响，体现退役锂电池回收的资源属

一级 指标	二级 指标	对应的回收过程环境风险	指标设置意义
环境影响		同时也消耗药剂、能源和辅助材料	性
	WS	湿法浸出、洗涤、萃取、沉淀、废水处理等环节用水量较大，增加区域水资源压力	用于表征回收过程对水资源的占用和消耗，尤其适用于湿法回收和污染治理过程评价
	GWP	火法高温处理、电力消耗、燃料燃烧、药剂生产、运输及污染治理过程均可能产生温室气体排放	用于反映回收过程碳排放水平，是评价低碳回收工艺和减排效益的核心指标
	AP	火法回收、热处理、酸浸、废气处理及能源供应过程可能产生 SO ₂ 、NO _x 、HCl、HF 等酸化相关排放	用于表征酸性污染物对大气、土壤和水体酸化的潜在影响
	EP	废水处理、化学药剂使用、辅助材料生产及污染治理过程中可能产生含氮、含磷或其他导致水体营养负荷增加的排放	用于表征回收过程对水体富营养化的潜在影响，补充反映废水和污染治理相关生态风险
	POFP	电解液挥发、溶剂使用、热处理、燃料燃烧和废气排放可能产生 VOCs、NO _x 等臭氧前体物	用于表征近地面臭氧和光化学烟雾形成风险，反映回收过程中挥发性有机物和氮氧化物相关大气环境影响

因此，最终保留的八项二级指标不仅满足文献频次、工艺覆盖度和归一化比例等定量筛选要求，也能够与退役锂电池回收利用过程的主要环境风险类型形成对应关系。该指标体系能够较为全面地反映退役锂电池回收利用过程的健康风险、资源消耗和生态环境影响，为后续风险筛查、等级划分和工艺路线比较提供指标基础。

（五）生命周期影响指标计算方法依据

本标准采用生命周期评价方法核算退役锂电池回收利用过程的资源能源消耗和潜在环境影响。指标计算遵循 GB/T24040 和 GB/T24044 规定的生命周期评价原则，包括功能单位确定、系统边界划定、生命周期清单分析、生命周期影响评价和结果解释。

本标准统一采用处理 1 t 评估对象作为功能单位。评估对象可以是退役锂电池、电极材料粉料、黑粉、正极材料或其他中间物料，并应明确物料形态、系统边界及折算关系。该设置有利于统一企业之间、工艺路线之间和不同评价批

次之间的数据口径。

附录 B 列出了退役锂电池回收利用环境影响评价常用单项指标、指标缩写、常用单位、推荐评价方法或因子来源以及主要清单项目。其中，全球变暖潜势（GWP）可采用 IPCC 或现行碳排放因子进行核算，常用单位为 kgCO_2eq ，主要清单项目包括电力、燃料、蒸汽、温室气体排放及相关过程数据；富营养化潜势（EP）可采用 ReCiPe、CML 或同类方法进行评价，常用单位为 $\text{kgPO}_4^{3-}\text{eq}$ 、 kgPeq 或 kgNeq ，主要清单项目包括 COD、氨氮、总氮、总磷及相关废水排放；酸化潜势（AP）可采用 ReCiPe、CML 或同类方法进行评价，常用单位为 kgSO_2eq ，主要清单项目包括 SO_x 、 NO_x 、HCl、HF、 NH_3 、酸雾及相关排放；光化学臭氧生成潜势（POFP）可采用 ReCiPe 或同类方法进行评价，常用单位为 kgNMVOCeq ，主要清单项目包括 VOCs、溶剂、萃取剂、电解液残留及相关废气排放。

人体健康类指标中，人体毒性-致癌效应（HTC）和人体毒性-非致癌效应（HTNC）可采用 CML 或同类方法进行评价，单位为 kg1,4-DCBeq 或所选评价方法规定单位。其中，HTC 主要用于表征具有致癌毒性潜势的重金属、无机物和有机污染物排放对人体健康的潜在影响；HTNC 主要用于表征具有非致癌毒性潜势的重金属、无机物和有机污染物排放对人体健康的潜在影响。资源消耗类指标中，非生物资源耗竭潜势（ADP）可采用 CML 或同类方法进行评价，单位为 kgSbeq 或模型规定单位，主要清单项目包括镍、钴、锂、锰、铜、铝等金属资源及相关原辅材料；水资源消耗（WS）可采用实测、统计或核算用水量进行计算，常用单位为 m^3 ，主要清单项目包括工艺用水、清洗水、冷却水和废水处理用水。

附录 B 不固化具体特征化因子，主要原因是不同评价方法、数据库版本、模型参数、物质形态、排放介质、区域背景和数据更新情况均可能影响特征化结果。为保证标准的稳定性和可实施性，评价过程中宜优先采用所列评价方法对应的软件模型、数据库或公开参数文件中的适用因子，并在同一评价过程中保持评价方法、数据库版本和参数来源一致。采用区域电网排放因子、企业实测数据、替代数据或估算数据的，应说明数据来源、适用范围、计算过程和不同

确定性。不同评价方法、数据库或模型版本得到的结果不宜直接混合用于筛查阈值比较、综合赋分或不同工艺路线排序。

（六）企业调研和数据收集情况

为支撑标准的适用范围、风险单元划分、指标体系设置和筛查阈值确定方法，编制工作组对省内具有代表性的退役锂电池回收利用企业开展了现场调研、座谈交流和资料核验。调研对象覆盖前处理与电极材料粉料制备、湿法回收、火法回收、直接再生、污染治理和辅助系统等典型工艺环节，涉及三元锂电池、磷酸铁锂电池、钴酸锂电池及混合来源电池等处理对象。

企业资料收集与现场核实主要收集以下数据和资料：企业基本情况、厂区布置、处理规模、工艺流程、主要设备设施、退役锂电池来源和类型、能源消耗、原辅材料消耗、药剂使用、物料平衡、产品收率、资源回收率、废气和废水污染物处理排放、固体废物和危险废物产生及去向、污染治理设施运行参数、自行监测数据、在线监测数据、排污许可执行情况、危险废物管理台账、环境隐患排查记录和应急管理资料等。

同时，编制工作组系统收集了 web of science 数据库中 2011-2026 年 87 篇退役锂电池回收利用领域的公开文献数据、生命周期评价数据、行业数据库数据和典型工艺参数，重点整理不同电池类型、不同回收工艺路线下的资源能源消耗、污染物排放和生命周期环境影响指标结果。企业调研数据主要用于识别厂区内重点风险单元、核查指标数据可得性和验证标准实施可操作性；公开文献和数据库数据主要用于补充不同工艺路线和电池类型的生命周期环境影响数据，支撑筛查阈值确定方法和指标体系设置。

在数据处理过程中，编制工作组对不同来源 LCA 数据进行功能单位、系统边界、评价方法和单位口径核查；对明显异常、来源不清或边界不一致的数据进行剔除、标注或分组处理。涉及企业商业秘密或敏感信息的数据，本标准采用脱敏、汇总或区间化方式用于标准编制和技术论证，不在标准文本中披露企业原始数据。

调研和数据分析结果表明，不同工艺路线的环境风险特征差异明显。前处理与电极材料粉料制备环节应主要关注电解液挥发、含氟污染物、挥发性有机物、粉尘和黑粉金属暴露；火法回收环节主要关注高温能耗、烟气污染物、颗粒物、重金属烟尘、炉渣和飞灰；湿法回收环节主要关注酸碱药剂消耗、重金

属废水、高盐废水、酸雾、萃取剂损耗和滤渣属性；直接再生环节主要关注溶剂使用、再生烧结能耗、含氟或有机废气、粉尘和不合格物料去向。上述结果为本标准风险单元划分、必选指标设置、权重分配方向和筛查阈值确定方法提供了依据。

（七）筛查阈值确定依据

为支撑退役锂电池回收利用环境风险筛查、单项指标赋分、综合评估指数计算和重点风险指标识别，本文件设置了单项指标筛查阈值 T。筛查阈值主要用于判断评估对象在相应工艺路线下单项环境影响指标是否处于常规水平、关注水平或重点风险水平，并为后续单项指标赋分和综合风险等级划分提供依据。根据标准正文要求，风险筛查与等级划分应在明确评估对象、功能单位、系统边界和数据来源，并完成数据核查后开展；单项指标结果应与相应工艺路线的筛查阈值进行比较，并按阈值判定结果进行赋分。

本标准筛查阈值的确定遵循工艺分类、功能单位统一、系统边界一致、指标口径一致和风险筛查适用的原则。首先，考虑退役锂电池回收利用工艺路线在物料输入、能源消耗、污染物排放和资源回收方式上的差异，将阈值按电极材料粉料制备、湿法回收、火法回收和直接再生四类工艺路线分别设置。其中，电极材料粉料制备适用于不包含后续湿法回收、火法回收或直接再生过程的独立处理工艺；湿法回收、火法回收和直接再生阈值适用于以相应工艺路线为主体的回收利用过程，并应包括必要的前端处理、主体工艺、污染治理过程和辅助系统。该分类方式能够避免不同技术路线因系统边界和环境负荷特征差异较大而导致阈值不可比的问题。

筛查阈值以 1 t 评估对象处理量作为统一功能单位。单项指标计算结果用于阈值判定时，应与筛查阈值保持相同的功能单位、系统边界、评价方法、指标单位和数据口径。对于同一企业存在不同工艺路线或不同产线的情形，应根据评估目标和实际生产边界分别确定评估对象；无法统一功能单位或系统边界的不宜直接进行综合排序。该要求保证了不同企业、不同产线或不同工艺路线之间的评价结果具有基本可比性。

本标准筛查阈值的指标对象与正文指标体系保持一致，包括全球变暖潜势（GWP）、富营养化潜势（EP）、酸化潜势（AP）、光化学臭氧生成潜势

(POFP)、人体毒性-致癌效应 (HTC)、人体毒性-非致癌效应 (HTNC)、非生物资源耗竭潜势 (ADP) 和水资源消耗 (WS) 八项单项指标。上述指标分别反映退役锂电池回收利用过程中的气候变化影响、水体富营养化、环境酸化、近地面臭氧生成、人体健康风险、资源耗竭和水资源消耗等主要环境风险类型，能够与标准正文建立的“环境影响—人体健康—资源消耗”指标体系相衔接。

筛查阈值的确定依据主要包括三类数据来源：一是江苏省代表性退役锂电池回收利用企业和产线数据，包括企业物料消耗、能源消耗、水资源消耗、污染物排放、污染治理设施运行和产品产出等实际运行数据；二是公开文献中退役锂电池电极材料粉料制备、湿法回收、火法回收和直接再生等工艺路线的 LCA 指标结果；三是专家论证结果，用于数据缺失、异常值、工艺适用性、系统边界差异和指标单位一致性等问题的校核。标准附录 C 中也明确指出，筛查阈值的确定依据包括江苏省代表性企业和产线数据、公开文献数据及专家论证结果。其中 LCA 指标在退役锂电池电极材料粉料制备、湿法回收、火法回收和直接再生工艺中的数据分布情况见图 2。

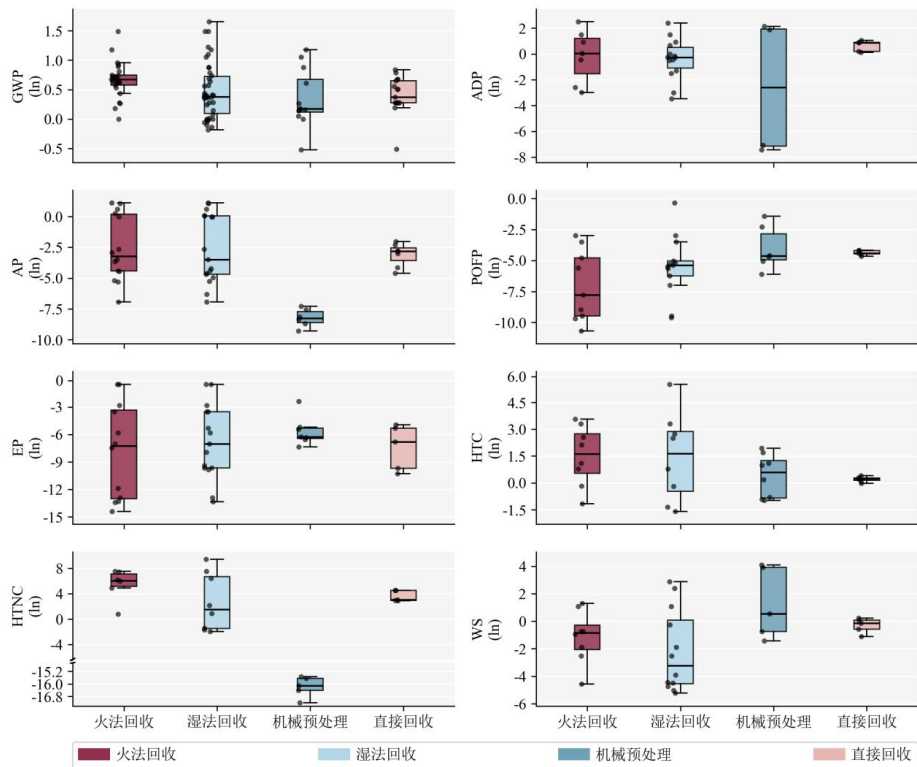


图 2 LCA 指标数据分布情况

根据 LCA 指标数据分布情况，本文取 LCA 指标各组数据 P90 作为标准筛查阈值 T，具体阈值见表 7。其中 P90 为第 90 百分位数，代表排序后 90%样本

的 LCA 指标低于该数值，仅 10%样本更高。鉴于 LCA 指标多呈右偏分布，均值易受极端值扰动；本文采用 P90 作为筛查阈值，可筛选出环境影响相对突出的前 10%样本。图中只是采用对数坐标展示，实际计算 P90 采用原始数据。该标准既能够有效识别高负荷方案，相较于 P95 等高严苛阈值可保证足够筛选样本量，兼顾结果保守性与数据统计代表性。

表 7 单项指标筛查阈值 T

单项指标	电极材料 粉料制备	火法回 收	湿法回 收	直接再 生	单位
全球变暖潜势（GWP）	84	2.6	28	2.1	kg CO ₂ eq
非生物资源耗竭潜势 （ADP）	6.67×10 ⁻⁶	8.8	2.0	1.0	kg Sb eq
水资源消耗（WS）	57	2.4	3.8	0.5	m ³
酸化潜势（AP）	0.1	1.1	0.5	0.5	kg SO ₂ eq
富营养化潜势（EP）	0.06	0.002	0.01	0.001	kg PO ₄ ³⁻ eq
光化学臭氧生成潜势 （POFP）	0.22	0.006	0.08	0.02	kg NMVOC eq
人体毒性-致癌效应 （HTC）	0.1	25	65	1.5	kg 1,4-DCB eq
人体毒性-非致癌效应 （HTNC）	0.1	1177	6596	0.1	kg 1,4-DCB eq

筛查阈值 T 的作用定位为筛查性基准值，而不是污染物排放标准、环境质量标准或企业合规性判定依据。单项指标结果小于或等于 T 时，表明该指标处于常规水平；单项指标结果大于 T 且小于或等于 1.5T 时，表明该指标处于关注水平；单项指标结果大于 1.5T 时，表明该指标处于重点风险水平，并应作为重点风险指标开展贡献分析和重点风险单元识别。该分级方法与附录 D 中单项指标赋分规则相衔接，即常规水平赋 100 分，关注水平赋 70 分，重点风险水平赋 50 分，从而将单项指标阈值判定结果转化为综合评估指数计算所需的赋分结果。

其中，设置 1.5T 作为重点风险识别界限，主要是为了在常规筛查阈值基础上进一步识别明显偏高的单项环境影响指标。该设置既保留了 T 作为一般筛查基准的功能，又通过 1.5T 将显著高于基准水平的指标识别为重点风险指标，便于后续开展工艺单元贡献率分析、重点风险单元识别和过程优化。需要说明的是，单项指标阈值判定结果主要用于解释风险来源和识别重点风险指标，不替代综合评估指数进行综合风险等级划分。综合风险等级仍应根据附录 D 计算得到的综合评估指数，并按照正文表 2 的等级划分要求确定。

综上，本文件筛查阈值是在统一功能单位、系统边界和指标计算方法基础上，结合江苏省代表性企业和产线数据、公开文献数据及专家论证结果形成的工艺分类阈值。该阈值体系既考虑了退役锂电池不同回收工艺路线的环境负荷差异，也兼顾了标准实施过程中的数据可获得性和评价可操作性，可用于支撑单项指标阈值判定、单项指标赋分、综合评估指数计算和重点风险指标识别。

（八）权重设置和综合评估指数依据

综合评估指数用于在完成合规限值判定和单项指标筛查的基础上，对退役锂电池回收利用过程环境风险水平进行综合表征。综合评估指数不替代合规限值判定、单项指标筛查和重点风险单元识别。

综合评估指数按附录 D 规定的方法计算，权重设置采用单项指标等权重方法。考虑到本文件设置的 8 项二级指标分别从环境影响、人体健康和资源消耗等方面表征退役锂电池回收利用过程中的主要环境风险，且各指标均为必选指标，均对综合风险水平具有独立表征作用。为避免在缺乏充分行业统计基础和权重共识条件下因主观赋权导致评价结果偏倚，本文件采用等权重方式进行综合评估指数计算。纳入全部 8 项单项指标时，各指标权重均为 0.125；因工艺不适用、阈值不适用或数据条件不具备而未纳入全部指标的，应说明原因，并对实际纳入计算的指标权重进行归一化处理，保证各指标权重之和为 1。该方法与附录 D 中综合评估指数计算要求保持一致，具有计算简明、透明可追溯和便于标准实施的特点。

（九）风险等级划分依据

本标准将综合风险等级划分为 I 级、II 级、III 级、IV 级和 V 级，其中 I 级为低风险，V 级为高风险。综合评估指数 $90 \leq S \leq 100$ 时，原则上可判定为 I 级； $80 \leq S < 90$ 为 II 级； $70 \leq S \leq 80$ 为 III 级； $60 \leq S \leq 70$ 为 IV 级； $S < 60$ 为 V 级。该分级方式与综合评估指数 100 分制相衔接，便于企业和监管部门理解和应用。

（十）风险评估报告要求及可操作性

风险评估报告是标准实施结果的主要载体，应真实、准确、完整地反映评价对象、系统边界、数据来源、指标计算、单项风险筛查、综合评估、风险等级划分、重点风险单元识别和改进建议。报告应说明采用的功能单位、系统边

界、工艺路线、电池类型、数据来源和主要假设；不同数据来源、不同评价方法或不同系统边界下形成的结果，应分别列示并说明可比性限制。

为提高可操作性，标准建议保存风险评估原始数据、监测报告、企业台账、数据收集和现场核实记录、计算过程、权重调整说明和整改落实情况等支撑材料。企业可据此建立整改清单和跟踪机制，监管部门可据此开展分类管理、重点核查和技术路径比选。

（十一）评估计算案例

为说明本标准的可操作性，以下分别以电极材料粉料制备、电极材料粉料制备+火法回收、电极材料粉料制备+湿法回收和直接再生四类工艺路线为例，演示退役锂电池回收利用环境风险筛查、单项指标赋分、综合评估指数计算和重点风险单元识别过程。案例数据仅用于说明计算方法，不作为实际工程项目评价结论或推荐参数。实际评价中应采用企业实测数据、监测数据、运行台账或经说明的数据来源，并保证功能单位、系统边界、评价方法、指标单位和数据口径一致。

所有示例均以处理 1 t 评估对象为功能单位。对于电极材料粉料制备独立工艺，采用电极材料粉料制备对应筛查阈值；对于电极材料粉料制备+火法回收、电极材料粉料制备+湿法回收，以火法回收或湿法回收作为主体工艺路线，采用相应主体工艺路线筛查阈值，并将必要前端处理纳入系统边界；对于直接再生，采用直接再生对应筛查阈值。

案例一（电极材料粉料制备）

（1）评估对象与系统边界

评价对象为某企业退役锂电池电极材料粉料制备过程。功能单位为处理 1 t 退役锂电池。系统边界包括退役锂电池入厂后的暂存、放电、拆解、破碎、筛分与分选、热解或低温热处理、电极材料粉料收集与包装、废气治理、废水处理、固体废物及危险废物管理和相关辅助系统等过程，不包括后续火法回收、湿法回收或直接再生过程。该工艺为独立电极材料粉料制备工艺，采用电极材料粉料制备对应筛查阈值。

（2）输入输出清单示例见表 8。

表 8 案例一数据收集清单

工艺段	输入/输出	项目名称	数值	单位	物料类型
贮存与放电	输入	退役锂电池	1.000	t	原料
贮存与放电	输入	放电用盐溶液	0.080	m ³	辅助材料
贮存与放电	输入	电力	8.0	kWh	能源
贮存与放电	输出	放电后电池	0.995	t	中间物料
贮存与放电	输出	废放电液	0.075	m ³	废水/废液
贮存与放电	输出	废包装物	0.005	t	固体废物
拆解	输入	放电后电池	0.995	t	中间物料
拆解	输入	电力	12.0	kWh	能源
拆解	输出	拆解后电芯及组件	0.960	t	中间物料
拆解	输出	外壳、连接片和线束	0.030	t	可回收固体物料
拆解	输出	拆解粉尘	0.002	t	大气污染物/收集粉尘
破碎	输入	拆解后电芯及组件	0.960	t	中间物料
破碎	输入	氮气	20.0	Nm ³	辅助材料
破碎	输入	电力	35.0	kWh	能源
破碎	输出	破碎混合物	0.940	t	中间物料
破碎	输出	挥发性有机物 VOCs	0.20	kg	大气污染物
破碎	输出	含氟废气，以 HF 计	0.06	kg	大气污染物
破碎	输出	无组织粉尘	0.80	kg	大气污染物
筛分与分选	输入	破碎混合物	0.940	t	中间物料
筛分与分选	输入	电力	28.0	kWh	能源
筛分与分选	输出	电极材料粉料/黑粉	0.385	t	产品/中间物料
筛分与分选	输出	铜铝混合物	0.175	t	可回收物料
筛分与分选	输出	钢壳及其他金属	0.105	t	可回收物料
筛分与分选	输出	塑料隔膜及杂质	0.110	t	固体废物/可回收物
筛分与分选	输出	分选收尘灰	0.006	t	固体废物/含金属粉尘
低温热处理	输入	电极材料粉料/黑粉	0.385	t	中间物料
低温热处理	输入	电力	37.0	kWh	能源
低温热处理	输出	热处理后电极材料粉料	0.370	t	产品
低温热处理	输出	热解废气 VOCs	0.35	kg	大气污染物
低温热处理	输出	酸性气体，以 HF 计	0.10	kg	大气污染物
低温热处理	输出	热处理残渣	0.010	t	固体废物
废气治理	输入	碱液	0.020	t	辅助材料
废气治理	输入	活性炭	0.002	t	辅助材料
废气治理	输入	电力	10.0	kWh	能源
废气治理	输入	喷淋补水	0.50	m ³	水资源
废气治理	输出	净化后废气	1.0	批	大气排放

工艺段	输入/输出	项目名称	数值	单位	物料类型
废气治理	输出	废活性炭	0.0022	t	危险废物
废气治理	输出	喷淋废液	0.45	m ³	废水/废液
废气治理	输出	废滤袋及收尘灰	0.004	t	固体废物/危险废物

(3) LCA 指标计算示例

单项指标按附录 B 的通用方法计算，即将折算至功能单位后的清单数据与相应特征化因子相乘并求和，各工艺段 LCA 指标结果计算结果见表 9。例如，若该工艺电力消耗为 120 kWh/t，区域电网因子为 0.55 kg CO₂ eq/kWh，则电力消耗对 GWP 的贡献为：

$$GWP_{\text{电力}} = 120 \times 0.55 = 66.0 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/t}$$

表 9 各工艺段 LCA 指标结果计算

LCA 指标	工艺段	清单项目	数值	单位	特征化因子	因子单位	指标贡献	贡献单位
GWP	贮存与放电	电力消耗	8	kWh	0.55	kg CO ₂ eq/kWh	4.4	kg CO ₂ eq
GWP	拆解	电力消耗	12	kWh	0.55	kg CO ₂ eq/kWh	6.6	kg CO ₂ eq
GWP	破碎	电力消耗	35.09091	kWh	0.55	kg CO ₂ eq/kWh	19.3	kg CO ₂ eq
GWP	筛分分选	电力消耗	28	kWh	0.55	kg CO ₂ eq/kWh	15.4	kg CO ₂ eq
GWP	低温热处理	电力消耗	37.09091	kWh	0.55	kg CO ₂ eq/kWh	20.4	kg CO ₂ eq
GWP	废气治理及辅助系统	电力消耗	18	kWh	0.55	kg CO ₂ eq/kWh	9.9	kg CO ₂ eq
ADP	贮存与放电	资源消耗折算量	3E-07	kg Sb eq 折算量	1	kg Sb eq/kg Sb eq 折算量	3E-07	kg Sb eq
ADP	拆解	资源消耗折算量	6E-07	kg Sb eq 折算量	1	kg Sb eq/kg Sb eq 折算量	6E-07	kg Sb eq
ADP	破碎	资源消耗折算量	1.4E-06	kg Sb eq 折算量	1	kg Sb eq/kg Sb eq 折算量	1.4E-06	kg Sb eq
ADP	筛分分选	资源消耗折算量	1.2E-06	kg Sb eq 折算量	1	kg Sb eq/kg Sb eq 折算量	1.2E-06	kg Sb eq

LCA 指标	工艺段	清单项目	数值	单位	特征因子	因子单位	指标 贡献	贡献单 位
ADP	低温热处理	资源消耗 折算量	1.6E-06	kg Sb eq 折算量	1	量 kg Sb eq/kg Sb eq 折算 量	1.6E-06	kg Sb eq
ADP	废气治理及辅助系统	资源消耗 折算量	7E-07	kg Sb eq 折算量	1	kg Sb eq/kg Sb eq 折算 量	7E-07	kg Sb eq
WS	贮存与 放电	放电用水	0.1	m ³	1	m ³ /m ³	0.1	m ³
WS	破碎	破碎及除 尘用水	3.4	m ³	1	m ³ /m ³	3.4	m ³
WS	筛分分 选	分选及清 洗用水	2.8	m ³	1	m ³ /m ³	2.8	m ³
WS	低温热 处理	热处理背 景过程水 耗	12.5	m ³	1	m ³ /m ³	12.5	m ³
WS	废气治 理及辅 助系统	喷淋补水 及背景水 耗	43.2	m ³	1	m ³ /m ³	43.2	m ³
AP	贮存与 放电	酸化物质 折算排放 量	0.01	kg SO ₂ eq 折算 量	1	kg SO ₂ eq/kg SO ₂ eq 折算量	0.01	kg SO ₂ eq
AP	破碎	含氟/酸性 气体折算 排放量	0.04	kg SO ₂ eq 折算 量	1	kg SO ₂ eq/kg SO ₂ eq 折算量	0.04	kg SO ₂ eq
AP	筛分分 选	粉尘及酸 化相关排 放折算量	0.01	kg SO ₂ eq 折算 量	1	kg SO ₂ eq/kg SO ₂ eq 折算量	0.01	kg SO ₂ eq
AP	低温热 处理	酸性气体 折算排放 量	0.07	kg SO ₂ eq 折算 量	1	kg SO ₂ eq/kg SO ₂ eq 折算量	0.07	kg SO ₂ eq
AP	废气治 理	治理后残 余酸性排 放折算量	0.03	kg SO ₂ eq 折算 量	1	kg SO ₂ eq/kg SO ₂ eq 折算量	0.03	kg SO ₂ eq
EP	贮存与 放电	放电废液 营养盐折 算排放量	0.01	kg PO ₄ ³⁻ eq 折算 量	1	kg PO ₄ ³⁻ eq/kg PO ₄ ³⁻ eq 折算量	0.01	kg PO ₄ ³⁻ eq
EP	破碎	喷淋废液 营养盐折 算排放量	0.01	kg PO ₄ ³⁻ eq 折算 量	1	kg PO ₄ ³⁻ eq/kg PO ₄ ³⁻ eq 折算量	0.01	kg PO ₄ ³⁻ eq
EP	筛分分	分选废液	0.01	kg PO ₄ ³⁻	1	kg PO ₄ ³⁻	0.01	kg PO ₄ ³⁻

LCA 指标	工艺段	清单项目	数值	单位	特征因子	因子单位	指标贡献	贡献单位
	选	营养盐折算排放量		eq 折算量		eq/kg PO ₄ ³⁻		eq
EP	废气治理	喷淋废液营养盐折算排放量	0.02	kg PO ₄ ³⁻ eq 折算量	1	eq/kg PO ₄ ³⁻ eq 折算量	0.02	kg PO ₄ ³⁻ eq
POFP	破碎	电解液挥发折算为NMVOC	0.08	kg NMVO C eq 折算量	1	kg NMVOC eq/kg NMVOC eq 折算量	0.08	kg NMVO C eq
POFP	筛分分选	分选过程VOCs折算量	0.04	kg NMVO C eq 折算量	1	kg NMVOC eq/kg NMVOC eq 折算量	0.04	kg NMVO C eq
POFP	低温热处理	热解VOCs折算量	0.1	kg NMVO C eq 折算量	1	kg NMVOC eq/kg NMVOC eq 折算量	0.1	kg NMVO C eq
POFP	废气治理	治理后残余VOCs折算量	0.05	kg NMVO C eq 折算量	1	kg NMVOC eq/kg NMVOC eq 折算量	0.05	kg NMVO C eq
HTC	拆解	金属粉尘致癌毒性折算量	0.01	kg 1,4- DCB eq 折算量	1	kg 1,4-DCB eq/kg 折算量	0.01	kg 1,4- DCB eq
HTC	破碎	破碎粉尘致癌毒性折算量	0.02	kg 1,4- DCB eq 折算量	1	kg 1,4-DCB eq/kg 折算量	0.02	kg 1,4- DCB eq
HTC	筛分分选	收尘灰致癌毒性折算量	0.02	kg 1,4- DCB eq 折算量	1	kg 1,4-DCB eq/kg 折算量	0.02	kg 1,4- DCB eq
HTC	低温热处理	热处理残渣致癌毒性折算量	0.01	kg 1,4- DCB eq 折算量	1	kg 1,4-DCB eq/kg 折算量	0.01	kg 1,4- DCB eq
HTC	废气治理	废活性炭致癌毒性折算量	0.02	kg 1,4- DCB eq 折算量	1	kg 1,4-DCB eq/kg 折算量	0.02	kg 1,4- DCB eq
HTNC	贮存与放电	废放电液非致癌毒性折算量	0.01	kg 1,4- DCB eq 折算量	1	kg 1,4-DCB eq/kg 折算量	0.01	kg 1,4- DCB eq
HTNC	拆解	拆解粉尘非致癌毒	0.01	kg 1,4- DCB eq	1	kg 1,4-DCB eq/kg 折算	0.01	kg 1,4- DCB eq

LCA 指标	工艺段	清单项目	数值	单位	特征因子	因子单位	指标贡献	贡献单位
HTN C	破碎	性折算量 破碎粉尘 非致癌毒性折算量	0.03	折算量 kg 1,4-DCB eq	1	kg 1,4-DCB eq/kg 折算量	0.03	kg 1,4-DCB eq
HTN C	筛分分选	收尘灰非 致癌毒性折算量	0.02	折算量 kg 1,4-DCB eq	1	kg 1,4-DCB eq/kg 折算量	0.02	kg 1,4-DCB eq
HTN C	低温热处理	热处理残渣非 致癌毒性折算量	0.03	折算量 kg 1,4-DCB eq	1	kg 1,4-DCB eq/kg 折算量	0.03	kg 1,4-DCB eq
HTN C	废气治理	废活性炭 非致癌毒性折算量	0.04	折算量 kg 1,4-DCB eq	1	kg 1,4-DCB eq/kg 折算量	0.04	kg 1,4-DCB eq

单项指标结果可按式（B.1）计算：

$$E_j = \sum(Q_i \times CF_{ij}) \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

E_j——第 j 项单项指标结果；

Q_i——第 i 项清单数据，宜采用折算至功能单位后的物料、能源、水资源消耗或污染物排放数量；

CF_{ij}——第 i 项清单数据对应第 j 项单项指标的特征化因子。

由此可以计算案例一的单项指标值见下表 10。

表 10 案例一单项指标结果

指标名称	指标数值	指标单位
GWP	76	kg CO ₂ eq
ADP	5.8×10 ⁻⁶	kg Sb eq
WS	62	m ³
AP	0.16	kg SO ₂ eq
EP	0.05	kg PO ₄ ³⁻ eq
POFP	0.27	kg NMVOC eq
HTC	0.08	kg 1,4-DCB eq
HTNC	0.14	kg 1,4-DCB eq

（4）单项指标阈值判定与赋分

表 11 单项指标赋分结果

指标	计算结果	筛查阈值	1.5T	判定结果	赋分
GWP	76	84	126	常规水平	100
ADP	5.8×10^{-6}	6.67×10^{-6}	1.0×10^{-5}	常规水平	100
WS	62	57	85.5	关注水平	70
AP	0.16	0.1	0.15	重点风险	50
EP	0.05	0.06	0.09	常规水平	100
POFP	0.27	0.22	0.33	关注水平	70
HTC	0.08	0.10	0.15	常规水平	100
HTNC	0.14	0.10	0.15	关注水平	70

由表 11 可见，AP 指标结果大于 1.5T，识别为重点风险指标；WS、POFP 和 HTNC 处于 T 与 1.5T 之间，为关注水平；其余指标处于常规水平。

(5) 综合评估指数计算

$$S = 0.125 \times (100 + 100 + 70 + 50 + 100 + 70 + 100 + 70) = 82.5$$

综合评估指数为 82.5，根据风险等级划分规则，该案例综合风险等级为 II 级，即较低风险。

(6) 重点风险单元识别

AP 为重点风险指标，应进一步开展工艺单元贡献分析。AP 指标贡献情况见表 12。

表 12 AP 指标贡献情况

工艺单元	AP 贡献值	贡献率
低温热处理单元	0.07	43.8%
破碎与分选单元	0.04	25.0%
废气治理单元	0.03	18.7%
辅助系统	0.02	12.5%
合计	0.16	100%

由贡献分析可见，低温热处理单元和破碎分选单元是 AP 的主要贡献环节。建议重点核查低温热处理过程酸性气体产生与收集情况、破碎分选过程负压密闭和废气收集效率、碱洗或喷淋系统运行参数、废气治理设施耗材更换和运行台账，必要时优化热处理温度、停留时间和废气收集治理系统。

案例二（电极材料粉料制备+火法回收）

(1) 评估对象与系统边界

评价对象为某企业电极材料粉料制备+火法回收过程。功能单位为处理 1 t 退役锂电池。系统边界包括退役锂电池暂存、放电、拆解、破碎、分选、电极材料粉料制备、焙烧、熔炼、还原、炉渣处理、烟气急冷、除尘、酸碱洗涤、

废水处理和残余物暂存等过程。因该工艺以火法回收为主体，单项指标阈值判定采用火法回收对应筛查阈值。

(2) 输入输出清单示例

电极材料粉料制备+火法回收过程的数据收集清单见表 13。

表 13 案例二数据收集清单

工艺段	输入/输出	项目名称	数值	单位	物料类型
电极材料粉料制备	输入	退役锂电池	1.000	t	原料
电极材料粉料制备	输入	电力	120.0	kWh	能源
电极材料粉料制备	输入	氮气	25.0	Nm ³	辅助材料
电极材料粉料制备	输入	喷淋补水	0.60	m ³	水资源
电极材料粉料制备	输出	电极材料粉料/黑粉	0.380	t	中间物料
电极材料粉料制备	输出	铜铝混合物	0.170	t	可回收物料
电极材料粉料制备	输出	钢壳及塑料组分	0.210	t	可回收物/固体废物
电极材料粉料制备	输出	VOCs	0.30	kg	大气污染物
电极材料粉料制备	输出	含氟废气，以 HF 计	0.08	kg	大气污染物
电极材料粉料制备	输出	收尘灰	0.006	t	固体废物
焙烧	输入	电极材料粉料/黑粉	0.380	t	中间物料
焙烧	输入	天然气	55.0	Nm ³	能源
焙烧	输入	电力	80.0	kWh	能源
焙烧	输出	焙烧物料	0.350	t	中间物料
焙烧	输出	CO ₂	105.0	kg	大气污染物
焙烧	输出	SO ₂	0.45	kg	大气污染物
焙烧	输出	NO _x	0.60	kg	大气污染物
焙烧	输出	HF	0.12	kg	大气污染物
焙烧	输出	焙烧烟尘	0.004	t	固体废物/含金属烟尘
熔炼与还原	输入	焙烧物料	0.350	t	中间物料
熔炼与还原	输入	焦炭或还原剂	0.050	t	辅助材料

工艺段	输入/输出	项目名称	数值	单位	物料类型
熔炼与还原	输入	石灰石或熔剂	0.080	t	辅助材料
熔炼与还原	输入	电力	220.0	kWh	能源
熔炼与还原	输入	天然气	45.0	Nm ³	能源
熔炼与还原	输出	金属合金或金属富集相	0.180	t	产品
熔炼与还原	输出	炉渣	0.120	t	固体废物/副产物
熔炼与还原	输出	熔炼烟尘	0.006	t	危险废物/含金属烟尘
熔炼与还原	输出	CO ₂	145.0	kg	大气污染物
熔炼与还原	输出	NO _x	0.75	kg	大气污染物
烟气急冷与除尘	输入	冷却水补水	1.20	m ³	水资源
烟气急冷与除尘	输入	电力	45.0	kWh	能源
烟气急冷与除尘	输入	布袋滤材	0.003	t	辅助材料
烟气急冷与除尘	输出	飞灰	0.012	t	危险废物
烟气急冷与除尘	输出	废滤袋	0.003	t	危险废物
烟气急冷与除尘	输出	除尘后烟气	1.0	批	大气排放
酸碱洗涤	输入	碱液	0.030	t	辅助材料
酸碱洗涤	输入	洗涤补水	1.20	m ³	水资源
酸碱洗涤	输入	电力	20.0	kWh	能源
酸碱洗涤	输出	洗涤废水	1.00	m ³	废水
酸碱洗涤	输出	洗涤污泥	0.010	t	危险废物
酸碱洗涤	输出	排放烟气中SO ₂	0.18	kg	大气污染物
酸碱洗涤	输出	排放烟气中HF	0.03	kg	大气污染物
炉渣与飞灰管理	输入	炉渣	0.120	t	固体废物
炉渣与飞灰管理	输入	飞灰	0.012	t	危险废物
炉渣与飞灰管理	输入	包装袋	0.002	t	辅助材料

工艺段	输入/输出	项目名称	数值	单位	物料类型
灰管理					
炉渣与飞灰管理	输出	外委处置飞灰	0.012	t	危险废物
炉渣与飞灰管理	输出	暂存或综合利用炉渣	0.120	t	固体废物/副产物

(3) LCA 指标计算示例

单项指标按附录 B 的通用方法计算，即将折算至功能单位后的清单数据与相应特征化因子相乘并求和。为便于演示，部分清单项目已按所选评价方法折算为对应指标单位。各工艺段 LCA 指标结果计算结果见表 14。

表 14 案例二各工艺段 LCA 指标结果计算

LCA 指标	工艺段	清单项目	数值	单位	特征因子	因子单位	指标贡献	贡献单位
GWP	电极材料粉料制备	综合温室气体排放量折算量	0.8	kg CO ₂ eq 折算量	1	kg CO ₂ eq/kg 折算量	0.8	kg CO ₂ eq
GWP	焙烧	综合温室气体排放量折算量	0.9	kg CO ₂ eq 折算量	1	kg CO ₂ eq/kg 折算量	0.9	kg CO ₂ eq
GWP	熔炼与还原	综合温室气体排放量折算量	1.2	kg CO ₂ eq 折算量	1	kg CO ₂ eq/kg 折算量	1.2	kg CO ₂ eq
GWP	烟气治理	综合温室气体排放量折算量	0.3	kg CO ₂ eq 折算量	1	kg CO ₂ eq/kg 折算量	0.3	kg CO ₂ eq
GWP	辅助系统	综合温室气体排放量折算量	0.2	kg CO ₂ eq 折算量	1	kg CO ₂ eq/kg 折算量	0.2	kg CO ₂ eq
ADP	电极材料粉料制备	资源消耗量折算量	0.6	kg Sb eq 折算量	1	kg Sb eq/kg 折算量	0.6	kg Sb eq
ADP	焙烧	资源消耗量折算量	0.9	kg Sb eq 折算量	1	kg Sb eq/kg 折算量	0.9	kg Sb eq

LCA 指标	工艺段	清 单 项 目	数 值	单 位	特 征 因 子	因 子 单 位	指 标 贡 献	贡 献 单 位
ADP	熔 剂 / 还原剂	资 源 消 耗 折 算 量	2.0	kg Sb eq 折 算量	1	kg Sb eq/kg 折 算量	2.0	kg Sb eq
ADP	熔炼过程	资 源 消 耗 折 算 量	3.1	kg Sb eq 折 算量	1	kg Sb eq/kg 折 算量	3.1	kg Sb eq
ADP	烟气治理材料	资 源 消 耗 折 算 量	0.9	kg Sb eq 折 算量	1	kg Sb eq/kg 折 算量	0.9	kg Sb eq
WS	电极材料粉料制备	用水量	0.3	m ³	1	m ³ /m ³	0.3	m ³
WS	焙烧冷却	冷 却 补 水	0.4	m ³	1	m ³ /m ³	0.4	m ³
WS	熔炼冷却	冷 却 补 水	0.6	m ³	1	m ³ /m ³	0.6	m ³
WS	烟气洗涤	洗 涤 补 水	0.5	m ³	1	m ³ /m ³	0.5	m ³
WS	辅助系统	辅 助 用 水	0.3	m ³	1	m ³ /m ³	0.3	m ³
AP	电极材料粉料制备	酸 性 气 体 折 算 排 放 量	0.2	kg SO ₂ eq 折 算量	1	kg SO ₂ eq/kg 折 算量	0.2	kg SO ₂ eq
AP	焙烧	SO ₂ /NO _x /HF 折 算 排 放 量	0.5	kg SO ₂ eq 折 算量	1	kg SO ₂ eq/kg 折 算量	0.5	kg SO ₂ eq
AP	熔炼烟气	酸 性 气 体 折 算 排 放 量	0.4	kg SO ₂ eq 折 算量	1	kg SO ₂ eq/kg 折 算量	0.4	kg SO ₂ eq
AP	烟气洗涤	治 理 后 残 余 酸 性 排 放 折 算 量	0.5	kg SO ₂ eq 折 算量	1	kg SO ₂ eq/kg 折 算量	0.5	kg SO ₂ eq
AP	辅助能源	能 源 背 景 酸 化 折 算 量	0.2	kg SO ₂ eq 折 算量	1	kg SO ₂ eq/kg 折 算量	0.2	kg SO ₂ eq
EP	电极材料粉料制备	废 液 营 养 盐 折 算 排 放 量	0.0002	kg PO ₄ ³⁻ eq 折 算量	1	kg PO ₄ ³⁻ eq/kg 折 算量	0.0002	kg PO ₄ ³⁻ eq

LCA 指标	工艺段	清单项目	数值	单位	特征因子	因子单位	指标贡献	贡献单位
EP	焙烧背景过程	营养盐折算排放量	0.0003	kg PO ₄ ³⁻ eq 折算量	1	kg PO ₄ ³⁻ eq/kg 折算量	0.0003	kg PO ₄ ³⁻ eq
EP	熔炼背景过程	营养盐折算排放量	0.0002	kg PO ₄ ³⁻ eq 折算量	1	kg PO ₄ ³⁻ eq/kg 折算量	0.0002	kg PO ₄ ³⁻ eq
EP	洗涤废水	营养盐折算排放量	0.0007	kg PO ₄ ³⁻ eq 折算量	1	kg PO ₄ ³⁻ eq/kg 折算量	0.0007	kg PO ₄ ³⁻ eq
EP	辅助系统	营养盐折算排放量	0.0002	kg PO ₄ ³⁻ eq 折算量	1	kg PO ₄ ³⁻ eq/kg 折算量	0.0002	kg PO ₄ ³⁻ eq
POFP	电解液挥发	VOCs 折算为 NMVO C	0.0004	kg NMVO C eq 折算量	1	kg NMVOC eq/kg 折算量	0.004	kg NMVOC eq
POFP	焙烧	有机废气折算量	0.0001	kg NMVO C eq 折算量	1	kg NMVOC eq/kg 折算量	0.001	kg NMVOC eq
POFP	熔炼燃料燃烧	臭氧前体物折算量	0.0002	kg NMVO C eq 折算量	1	kg NMVOC eq/kg 折算量	0.002	kg NMVOC eq
POFP	烟气治理	残余 VOCs 折算量	0.0002	kg NMVO C eq 折算量	1	kg NMVOC eq/kg 折算量	0.002	kg NMVOC eq
POFP	暂存转运	无组织 VOCs 折算量	0.0001	kg NMVO C eq 折算量	1	kg NMVOC eq/kg 折算量	0.001	kg NMVOC eq
HTC	电极材料粉料制备	粉尘致癌毒性折算量	2	kg 1,4-DCB eq 折算量	1	kg 1,4-DCB eq/kg 折算量	2	kg 1,4-DCB eq
HTC	焙烧烟	致癌毒	4	kg 1,4-	1	kg 1,4-	4	kg 1,4-

LCA 指标	工艺段	清 单 项 目	数值	单 位	特 征 因 子	因 子 单 位	指 标 贡 献	贡 献 单 位
	尘	性 折 算 量		DCB eq 折 算量		DCB eq/kg 折 算量		DCB eq
HTC	熔炼烟尘	致 癌 毒 性 折 算 量	6	kg 1,4-DCB eq 折 算量	1	kg 1,4-DCB eq/kg 折 算量	6	kg 1,4-DCB eq
HTC	飞 灰 / 炉渣	致 癌 毒 性 折 算 量	8	kg 1,4-DCB eq 折 算量	1	kg 1,4-DCB eq/kg 折 算量	8	kg 1,4-DCB eq
HTC	废气治 理残余 物	致 癌 毒 性 折 算 量	2	kg 1,4-DCB eq 折 算量	1	kg 1,4-DCB eq/kg 折 算量	2	kg 1,4-DCB eq
HTNC	电极材 料粉料 制备	粉 尘 非 致 癌 毒 性 折 算 量	200	kg 1,4-DCB eq 折 算量	1	kg 1,4-DCB eq/kg 折 算量	200	kg 1,4-DCB eq
HTNC	焙烧烟 气	非 致 癌 毒 性 折 算 量	250	kg 1,4-DCB eq 折 算量	1	kg 1,4-DCB eq/kg 折 算量	250	kg 1,4-DCB eq
HTNC	熔炼烟 尘	非 致 癌 毒 性 折 算 量	350	kg 1,4-DCB eq 折 算量	1	kg 1,4-DCB eq/kg 折 算量	350	kg 1,4-DCB eq
HTNC	飞 灰 / 炉渣	非 致 癌 毒 性 折 算 量	500	kg 1,4-DCB eq 折 算量	1	kg 1,4-DCB eq/kg 折 算量	500	kg 1,4-DCB eq
HTNC	废气治 理残余 物	非 致 癌 毒 性 折 算 量	200	kg 1,4-DCB eq 折 算量	1	kg 1,4-DCB eq/kg 折 算量	200	kg 1,4-DCB eq

由此可以计算案例二的单项指标值见表 15。

表 15 案例二单项指标结果

指标名称	指标数值	指标单位
GWP	3.4	kg CO ₂ eq
ADP	7.5	kg Sb eq

WS	2.1	m ³
AP	1.8	kg SO ₂ eq
EP	0.0016	kg PO ₄ ³⁻ eq
POFP	0.010	kg NMVOC eq
HTC	22	kg 1,4-DCB eq
HTNC	1500	kg 1,4-DCB eq

(4) 单项指标阈值判定与赋分

表 16 案例二单项指标赋分结果

指标	计算结果	筛查阈值	1.5T	判定结果	赋分
GWP	3.4	2.6	3.9	关注水平	70
ADP	7.5	8.8	13.2	常规水平	100
WS	2.1	2.4	3.6	常规水平	100
AP	1.8	1.1	1.65	重点风险	50
EP	0.0016	0.002	0.003	常规水平	100
POFP	0.010	0.006	0.009	重点风险	50
HTC	22	25	37.5	常规水平	100
HTNC	1500	1177	1765.5	关注水平	70

由表 16 可见，AP 和 POFP 指标结果大于 1.5T，识别为重点风险指标；GWP 和 HTNC 处于 T 与 1.5T 之间，为关注水平；ADP、WS、EP 和 HTC 处于常规水平。

(5) 综合评估指数计算

本案例纳入 8 项指标，采用等权重方法，各指标权重均为 0.125。综合评估指数计算如下：

$$S=0.125 \times (70+100+100+50+100+50+100+70) = 80.0$$

综合评估指数为 80.0，根据风险等级划分规则，该案例综合风险等级为Ⅱ级，即较低风险。

(6) 重点风险单元识别

AP 和 POFP 为重点风险指标，应进一步开展工艺单元贡献分析。AP 指标贡献情况见表 17，POFP 指标贡献情况见表 18。

表 17 案例二 AP 指标贡献情况

工艺单元	指标贡献值	贡献率
焙烧与熔炼单元	0.90	50.0%
烟气洗涤单元	0.50	27.8%
电极材料粉料制备单元	0.20	11.1%
辅助能源系统	0.20	11.1%
合计	1.80	100%

表 18 案例二 POFP 指标贡献情况

工艺单元	指标贡献值	贡献率
电极材料粉料制备及电 解液挥发控制单元	0.004	40.0%
焙烧烟气治理单元	0.003	30.0%
燃料燃烧单元	0.002	20.0%
暂存与转运单元	0.001	10.0%
合计	0.010	100%

由表 17 和表 18 可见，焙烧与熔炼单元、烟气治理单元和电解液挥发控制环节是主要风险单元。建议重点核查炉温控制、烟气急冷与除尘效率、酸性气体吸收效率、VOCs 收集与治理措施、活性炭或吸附材料更换记录、飞灰和废活性炭去向，并优化燃料结构和烟气治理系统运行参数。

案例三（电极材料粉料制备+湿法回收）

（1）评估对象与系统边界

评价对象为某企业电极材料粉料制备+湿法回收过程。功能单位为处理 1 t 退役锂电池。系统边界包括退役锂电池暂存、放电、拆解、破碎、分选、电极材料粉料制备、酸浸、还原浸出、固液分离、萃取/反萃、沉淀、结晶、母液回用、废水处理、废气治理和残余物暂存等过程。因该工艺以湿法回收为主体，单项指标阈值判定采用湿法回收对应筛查阈值。

（2）输入输出清单示例见表 19。

表 19 案例三数据收集清单

工艺段	输入/输出	项目名称	数值	单位	物料类型
电极材料 粉料制备	输入	退役锂电池	1.000	t	原料
电极材料 粉料制备	输入	电力	130.0	kWh	能源
电极材料 粉料制备	输入	氮气	25.0	Nm ³	辅助材料
电极材料 粉料制备	输入	喷淋补水	0.50	m ³	水资源
电极材料 粉料制备	输出	电极材料 粉料/黑粉	0.390	t	中间物料
电极材料 粉料制备	输出	铜铝混合 物	0.175	t	可回收物 料
电极材料 粉料制备	输出	钢壳、塑 料和隔膜	0.210	t	固体废物/ 可回收物
电极材料	输出	VOCs	0.25	kg	大气污染

工艺段	输入/输出	项目名称	数值	单位	物料类型
粉料制备					物
电 极 材 料	输出	HF	0.06	kg	大 气 污 染 物
粉料制备					
电 极 材 料	输出	收尘灰	0.005	t	固体废物
粉料制备					
酸浸/还原	输入	电 极 材 料 粉料/黑粉	0.390	t	中间物料
浸出					
酸浸/还原	输入	硫酸	0.450	t	辅助材料
浸出					
酸浸/还原	输入	还 原 剂 , 按 H ₂ O ₂ 计	0.080	t	辅助材料
浸出					
酸浸/还原	输入	工艺水	2.40	m ³	水资源
浸出					
酸浸/还原	输入	电力	160.0	kWh	能源
浸出					
酸浸/还原	输出	浸出液	2.60	m ³	中 间 液 体 物料
浸出					
酸浸/还原	输出	酸 雾 , 以 H ₂ SO ₄ 计	0.40	kg	大 气 污 染 物
浸出					
酸浸/还原	输出	不溶滤渣	0.055	t	固 体 废 物 / 危险废物
浸出					
固 液 分 离 与洗涤	输入	浸出浆液	2.60	m ³	中间物料
固 液 分 离 与洗涤	输入	洗涤水	1.20	m ³	水资源
固 液 分 离 与洗涤	输入	电力	60.0	kWh	能源
固 液 分 离 与洗涤	输出	洗 涤 后 浸 出液	3.40	m ³	中 间 液 体 物料
固 液 分 离 与洗涤	输出	洗涤废水	0.60	m ³	废水
固 液 分 离 与洗涤	输出	含 金 属 滤 渣	0.040	t	固 体 废 物 / 危险废物
萃取/反萃	输入	洗 涤 后 浸 出液	3.40	m ³	中 间 液 体 物料
萃取/反萃	输入	萃取剂	0.030	t	辅助材料
萃取/反萃	输入	稀释剂	0.020	t	辅助材料
萃取/反萃	输入	碱液	0.120	t	辅助材料
萃取/反萃	输入	电力	110.0	kWh	能源
萃取/反萃	输出	富 集 金 属 溶液	2.80	m ³	中 间 液 体 物料
萃取/反萃	输出	萃余液	0.80	m ³	废 水 / 回 用 母液

工艺段	输入/输出	项目名称	数值	单位	物料类型
萃取/反萃	输出	萃取剂损耗，以 VOCs 计	0.30	kg	大气污染物
沉淀结晶	输入	富集金属溶液	2.80	m ³	中间液体物料
沉淀结晶	输入	沉淀剂	0.180	t	辅助材料
沉淀结晶	输入	碳酸钠或锂盐沉淀剂	0.060	t	辅助材料
沉淀结晶	输入	电力	140.0	kWh	能源
沉淀结晶	输出	镍钴锰盐或前驱体	0.150	t	产品
沉淀结晶	输出	锂盐产品	0.040	t	产品
沉淀结晶	输出	结晶母液	1.20	m ³	废水/回用液
沉淀结晶	输出	沉淀污泥	0.030	t	固体废物/危险废物
废水处理	输入	生产废水和母液	4.80	m ³	废水
废水处理	输入	石灰或液碱	0.100	t	辅助材料
废水处理	输入	絮凝剂	0.005	t	辅助材料
废水处理	输入	电力	90.0	kWh	能源
废水处理	输出	处理后废水	4.20	m ³	水体排放/回用水
废水处理	输出	废水 COD	0.80	kg	水污染物
废水处理	输出	氨氮	0.10	kg	水污染物
废水处理	输出	总氮	0.25	kg	水污染物
废水处理	输出	总磷	0.03	kg	水污染物
废水处理	输出	含金属污泥	0.085	t	危险废物
废气治理	输入	碱液	0.025	t	辅助材料
废气治理	输入	活性炭	0.003	t	辅助材料
废气治理	输入	电力	35.0	kWh	能源
废气治理	输出	净化后废气	1.0	批	大气排放
废气治理	输出	废活性炭	0.0035	t	危险废物
废气治理	输出	喷淋废液	0.40	m ³	废水/废液

(3) LCA 指标计算示例

单项指标按附录 B 的通用方法计算，即将折算至功能单位后的清单数据与相应特征化因子相乘并求和。为便于演示，部分清单项目已按所选评价方法折

算为对应指标单位。

表 20 案例三各工艺段 LCA 指标结果计算

LCA 指标	工艺段	清单项目	数值	单位	特征因子	因子单位	指标贡献	贡献单位
GWP	电极材料粉料制备	综合温室气体排放折算量	4.5	kg CO ₂ eq 折算量	1	kg CO ₂ eq/kg 折算量	4.5	kg CO ₂ eq
GWP	酸浸/还原浸出	综合温室气体排放折算量	8.0	kg CO ₂ eq 折算量	1	kg CO ₂ eq/kg 折算量	8.0	kg CO ₂ eq
GWP	固液分离与洗涤	综合温室气体排放折算量	2.5	kg CO ₂ eq 折算量	1	kg CO ₂ eq/kg 折算量	2.5	kg CO ₂ eq
GWP	萃取沉淀结晶	综合温室气体排放折算量	9.0	kg CO ₂ eq 折算量	1	kg CO ₂ eq/kg 折算量	9.0	kg CO ₂ eq
GWP	废水废气治理	综合温室气体排放折算量	6.0	kg CO ₂ eq 折算量	1	kg CO ₂ eq/kg 折算量	6.0	kg CO ₂ eq
GWP	辅助系统	综合温室气体排放折算量	2.0	kg CO ₂ eq 折算量	1	kg CO ₂ eq/kg 折算量	2.0	kg CO ₂ eq
ADP	电极材料粉料制备	资源消耗折算量	0.15	kg Sb eq 折算量	1	kg Sb eq/kg 折算量	0.15	kg Sb eq
ADP	酸浸药剂	资源消耗折算量	0.40	kg Sb eq 折算量	1	kg Sb eq/kg 折算量	0.40	kg Sb eq
ADP	固液分离	资源消耗折算量	0.10	kg Sb eq 折算量	1	kg Sb eq/kg 折算量	0.10	kg Sb eq
ADP	萃取沉淀药剂	资源消耗折算量	0.80	kg Sb eq 折算量	1	kg Sb eq/kg 折算量	0.80	kg Sb eq
ADP	废水治理药剂	资源消耗折算量	0.15	kg Sb eq 折算量	1	kg Sb eq/kg 折算量	0.15	kg Sb eq

LCA 指标	工艺段	清单项目	数值	单位	特征因子	因子单位	指标贡献	贡献单位
ADP	辅助材料	资源消耗折算量	0.10	kg Sb eq 折算量	1	kg Sb eq/kg 折算量	0.10	kg Sb eq
WS	电极材料粉料制备	用水量	0.5	m ³	1	m ³ /m ³	0.5	m ³
WS	酸浸与洗涤	工艺水和洗涤水	2.4	m ³	1	m ³ /m ³	2.4	m ³
WS	固液分离	洗涤及设备用水	0.8	m ³	1	m ³ /m ³	0.8	m ³
WS	萃取沉淀结晶	补水量	1.3	m ³	1	m ³ /m ³	1.3	m ³
WS	废水/废气治理	治理补水	1.0	m ³	1	m ³ /m ³	1.0	m ³
WS	辅助系统	辅助用水	0.3	m ³	1	m ³ /m ³	0.3	m ³
AP	电极材料粉料制备	酸性气体折算排放量	0.06	kg SO ₂ eq 折算量	1	kg SO ₂ eq/kg 折算量	0.06	kg SO ₂ eq
AP	酸浸	酸雾折算排放量	0.18	kg SO ₂ eq 折算量	1	kg SO ₂ eq/kg 折算量	0.18	kg SO ₂ eq
AP	固液分离	酸化相关排放折算量	0.05	kg SO ₂ eq 折算量	1	kg SO ₂ eq/kg 折算量	0.05	kg SO ₂ eq
AP	萃取沉淀药剂背景过程	酸化折算量	0.15	kg SO ₂ eq 折算量	1	kg SO ₂ eq/kg 折算量	0.15	kg SO ₂ eq
AP	废气治理	残余酸性排放折算量	0.12	kg SO ₂ eq 折算量	1	kg SO ₂ eq/kg 折算量	0.12	kg SO ₂ eq
AP	辅助能源	能源背景酸化折算量	0.06	kg SO ₂ eq 折算量	1	kg SO ₂ eq/kg 折算量	0.06	kg SO ₂ eq
EP	电极材料粉料制备喷淋液	营养盐折算排放量	0.002	kg PO ₄ ³⁻ eq 折算量	1	kg PO ₄ ³⁻ eq/kg 折算量	0.002	kg PO ₄ ³⁻ eq

LCA 指标	工艺段	清单项目	数值	单位	特征因子	因子单位	指标贡献	贡献单位
EP	酸浸/还原浸出	营养盐折算排放量	0.003	kg PO ₄ ³⁻ eq 折算量	1	kg PO ₄ ³⁻ eq/kg 折算量	0.003	kg PO ₄ ³⁻ eq
EP	固液分离洗涤废水	营养盐折算排放量	0.002	kg PO ₄ ³⁻ eq 折算量	1	kg PO ₄ ³⁻ eq/kg 折算量	0.002	kg PO ₄ ³⁻ eq
EP	沉淀结晶母液	营养盐折算排放量	0.003	kg PO ₄ ³⁻ eq 折算量	1	kg PO ₄ ³⁻ eq/kg 折算量	0.003	kg PO ₄ ³⁻ eq
EP	废水处理排放	营养盐折算排放量	0.007	kg PO ₄ ³⁻ eq 折算量	1	kg PO ₄ ³⁻ eq/kg 折算量	0.007	kg PO ₄ ³⁻ eq
EP	辅助系统	营养盐折算排放量	0.001	kg PO ₄ ³⁻ eq 折算量	1	kg PO ₄ ³⁻ eq/kg 折算量	0.001	kg PO ₄ ³⁻ eq
POFP	电极材料粉料制备	VOCs 折算量	0.020	kg NMVOC eq 折算量	1	kg NMVOC eq/kg 折算量	0.020	kg NMVOC eq
POFP	酸浸过程	臭氧前体物折算量	0.010	kg NMVOC eq 折算量	1	kg NMVOC eq/kg 折算量	0.010	kg NMVOC eq
POFP	固液分离	臭氧前体物折算量	0.005	kg NMVOC eq 折算量	1	kg NMVOC eq/kg 折算量	0.005	kg NMVOC eq
POFP	萃取剂损耗	VOCs 折算量	0.020	kg NMVOC eq 折算量	1	kg NMVOC eq/kg 折算量	0.020	kg NMVOC eq
POFP	废气治理	残余 VOCs 折算量	0.010	kg NMVOC eq 折算量	1	kg NMVOC eq/kg 折算量	0.010	kg NMVOC eq
POFP	辅助系统	臭氧前体物折算量	0.005	kg NMVOC eq 折算量	1	kg NMVOC eq/kg 折算量	0.005	kg NMVOC eq
HTC	电极材料粉料	致癌毒性折算	8	kg 1,4-DCB eq	1	kg 1,4-DCB	8	kg 1,4-DCB eq

LCA 指标	工艺段	清单项目	数值	单位	特征因子	因子单位	指标贡献	贡献单位
	制备粉尘	量		折算量		eq/kg 折算量		
HTC	酸浸重金属释放	致癌毒性折算量	15	kg 1,4-DCB eq 折算量	1	kg 1,4-DCB eq/kg 折算量	15	kg 1,4-DCB eq
HTC	固液分离滤渣	致癌毒性折算量	6	kg 1,4-DCB eq 折算量	1	kg 1,4-DCB eq/kg 折算量	6	kg 1,4-DCB eq
HTC	萃取沉淀残余物	致癌毒性折算量	18	kg 1,4-DCB eq 折算量	1	kg 1,4-DCB eq/kg 折算量	18	kg 1,4-DCB eq
HTC	废水处理污泥	致癌毒性折算量	25	kg 1,4-DCB eq 折算量	1	kg 1,4-DCB eq/kg 折算量	25	kg 1,4-DCB eq
HTC	辅助系统	致癌毒性折算量	8	kg 1,4-DCB eq 折算量	1	kg 1,4-DCB eq/kg 折算量	8	kg 1,4-DCB eq
HTNC	电极材料粉料制备粉尘	非致癌毒性折算量	700	kg 1,4-DCB eq 折算量	1	kg 1,4-DCB eq/kg 折算量	700	kg 1,4-DCB eq
HTNC	酸浸重金属释放	非致癌毒性折算量	1200	kg 1,4-DCB eq 折算量	1	kg 1,4-DCB eq/kg 折算量	1200	kg 1,4-DCB eq
HTNC	固液分离滤渣	非致癌毒性折算量	600	kg 1,4-DCB eq 折算量	1	kg 1,4-DCB eq/kg 折算量	600	kg 1,4-DCB eq
HTNC	萃取沉淀残余物	非致癌毒性折算量	1600	kg 1,4-DCB eq 折算量	1	kg 1,4-DCB eq/kg 折算量	1600	kg 1,4-DCB eq
HTNC	废水处理污泥	非致癌毒性折算量	2400	kg 1,4-DCB eq 折算量	1	kg 1,4-DCB eq/kg 折算量	2400	kg 1,4-DCB eq

LCA 指标	工艺段	清单项目	数值	单位	特征因子	因子单位	指标贡献	贡献单位
HTNC	辅助系统	非致癌毒性折算量	700	kg 1,4-DCB eq 折算量	1	算量 kg 1,4-DCB eq/kg 折算量	700	kg 1,4-DCB eq

由此可以计算案例三的单项指标值见表 21。

表 21 案例三单项指标结果

指标名称	指标数值	指标单位
GWP	32.0	kg CO ₂ eq
ADP	1.70	kg Sb eq
WS	6.3	m ³
AP	0.62	kg SO ₂ eq
EP	0.018	kg PO ₄ ³⁻ eq
POFP	0.070	kg NMVOC eq
HTC	80	kg 1,4-DCB eq
HTNC	7200	kg 1,4-DCB eq

(4) 单项指标阈值判定与赋分

表 22 案例三单项指标赋分结果

指标	计算结果	筛查阈值	1.5T	判定结果	赋分
GWP	32.0	28	42	关注水平	70
ADP	1.70	2.0	3.0	常规水平	100
WS	6.3	3.8	5.7	重点风险	50
AP	0.62	0.5	0.75	关注水平	70
EP	0.018	0.01	0.015	重点风险	50
POFP	0.070	0.08	0.12	常规水平	100
HTC	80	65	97.5	关注水平	70
HTNC	7200	6596	9894	关注水平	70

由表 22 可见，WS 和 EP 指标结果大于 1.5T，识别为重点风险指标；GWP、AP、HTC 和 HTNC 处于 T 与 1.5T 之间，为关注水平；ADP 和 POFP 处于常规水平。

(5) 综合评估指数计算

本案例纳入 8 项指标，采用等权重方法，各指标权重均为 0.125。综合评估指数计算如下：

$$S=0.125\times (70+100+50+70+50+100+70+70)=72.5$$

综合评估指数为 72.5，根据风险等级划分规则，该案例综合风险等级为Ⅲ

级，即中等风险。

(6) 重点风险单元识别

WS 和 EP 为重点风险指标，应进一步开展工艺单元贡献分析。WS 指标贡献情况见表 23，EP 指标贡献情况见表 24。

表 23 案例三 WS 指标贡献情况

工艺单元	指标贡献值	贡献率
酸浸与洗涤单元	2.4	38.1%
废水处理单元	1.8	28.6%
萃取、沉淀与结晶单元	1.3	20.6%
电极材料粉料制备单元	0.4	6.4%
辅助系统	0.4	6.3%
合计	6.3	100%

表 24 案例三 EP 指标贡献情况

工艺单元	指标贡献值	贡献率
废水处理出水及浓缩液管理单元	0.008	44.4%
中和沉淀与固液分离单元	0.004	22.2%
药剂生产和使用背景过程	0.003	16.7%
电极材料粉料制备废气喷淋单元	0.002	11.1%
辅助系统	0.001	5.6%
合计	0.018	100%

由表 23 和表 24 可见，酸浸洗涤、废水处理、中和沉淀和母液管理是主要风险单元。建议提高母液回用比例，优化洗涤水分级回用，强化高盐废水和重金属废水分质收集处理，复核废水中氨氮、总氮、总磷、COD 和重金属排放数据，优化沉淀剂和中和药剂投加量，降低废水处理负荷和污泥产生量。

案例四（直接再生）

(1) 评估对象与系统边界

评价对象为某企业直接再生处理退役锂电池电极材料过程，功能单位为处理 1 t 退役锂电池。系统边界包括前端处理、黑粉纯化、黏结剂/电解液去除、补锂、混合、再烧结、表面包覆、筛分、废气治理、废水处理和不合格物料管理等过程。该工艺以直接再生为主体，采用直接再生对应筛查阈值。

(2) 输入输出清单示例见表 25。

表 25 案例四数据收集清单

工艺段	输入/输出	项目名称	数值	单位	物料类型
-----	-------	------	----	----	------

工艺段	输入/输出	项目名称	数值	单位	物料类型
前端处理	输入	退役锂电池	1.000	t	原料
前端处理	输入	电力	110.0	kWh	能源
前端处理	输入	氮气	20.0	Nm ³	辅助材料
前端处理	输出	电极材料粉 料/黑粉	0.360	t	中间物料
前端处理	输出	铜铝混合物	0.170	t	可回收物 料
前端处理	输出	塑料隔膜及 外壳组分	0.220	t	固体废物/ 可回收物
前端处理	输出	VOCs	0.20	kg	大气污染 物
前端处理	输出	含氟废气, 以 HF 计	0.05	kg	大气污染 物
前端处理	输出	收尘灰	0.004	t	固体废物
黑粉纯化	输入	电极材料粉 料/黑粉	0.360	t	中间物料
黑粉纯化	输入	纯水	0.30	m ³	水资源
黑粉纯化	输入	清洗剂或弱 酸液	0.020	t	辅助材料
黑粉纯化	输入	电力	45.0	kWh	能源
黑粉纯化	输出	纯化黑粉	0.335	t	中间物料
黑粉纯化	输出	洗涤废水	0.28	m ³	废水
黑粉纯化	输出	纯化滤渣	0.018	t	固体废物/ 危险废物
黑粉纯化	输出	废水中金属 离子	0.15	kg	水污染物
黏结剂/电解 液去除	输入	纯化黑粉	0.335	t	中间物料
黏结剂/电解 液去除	输入	溶剂或清洗 剂	0.020	t	辅助材料
黏结剂/电解 液去除	输入	电力	55.0	kWh	能源
黏结剂/电解 液去除	输出	去除残留后 的黑粉	0.325	t	中间物料
黏结剂/电解 液去除	输出	溶剂废液	0.018	t	危险废物
黏结剂/电解 液去除	输出	VOCs	0.25	kg	大气污染 物
黏结剂/电解 液去除	输出	含氟残留物	0.004	t	危险废物
补锂与混合	输入	去除残留后	0.325	t	中间物料

工艺段	输入/输出	项目名称	数值	单位	物料类型
		的黑粉			
补锂与混合	输入	锂源	0.055	t	辅助材料
补锂与混合	输入	包覆剂	0.010	t	辅助材料
补锂与混合	输入	电力	35.0	kWh	能源
补锂与混合	输出	混合前驱物	0.380	t	中间物料
补锂与混合	输出	投料粉尘	0.003	t	固体废物/ 粉尘
补锂与混合	输出	废包装物	0.002	t	固体废物
再烧结/结构 修复	输入	混合前驱物	0.380	t	中间物料
再烧结/结构 修复	输入	电力	180.0	kWh	能源
再烧结/结构 修复	输入	氧气或空气	30.0	Nm ³	辅助材料
再烧结/结构 修复	输出	再生正极材料半成品	0.350	t	中间产品
再烧结/结构 修复	输出	烧结烟气颗粒物	0.12	kg	大气污染物
再烧结/结构 修复	输出	NOx	0.10	kg	大气污染物
再烧结/结构 修复	输出	不合格烧结物	0.010	t	固体废物/ 返工物料
筛分与包装	输入	再生正极材料半成品	0.350	t	中间产品
筛分与包装	输入	电力	20.0	kWh	能源
筛分与包装	输入	包装材料	0.006	t	辅助材料
筛分与包装	输出	合格再生正极材料	0.320	t	产品
筛分与包装	输出	筛下细粉	0.018	t	返工物料/ 固体废物
筛分与包装	输出	包装废料	0.001	t	固体废物
废水处理	输入	洗涤废水	0.28	m ³	废水
废水处理	输入	其他清洗废水	0.14	m ³	废水
废水处理	输入	碱液	0.010	t	辅助材料
废水处理	输入	电力	18.0	kWh	能源
废水处理	输出	处理后废水	0.38	m ³	水体排放/ 回用水
废水处理	输出	COD	0.12	kg	水污染物
废水处理	输出	总氮	0.04	kg	水污染物
废水处理	输出	总磷	0.01	kg	水污染物
废水处理	输出	含金属污泥	0.012	t	危险废物

工艺段	输入/输出	项目名称	数值	单位	物料类型
废气治理	输入	活性炭	0.002	t	辅助材料
废气治理	输入	除尘滤材	0.002	t	辅助材料
废气治理	输入	电力	15.0	kWh	能源
废气治理	输出	净化后废气	1.0	批	大气排放
废气治理	输出	废活性炭	0.0025	t	危险废物
废气治理	输出	收尘灰	0.004	t	固体废物/ 危险废物

(3) LCA 指标计算示例

单项指标按附录 B 的通用方法计算，即将折算至功能单位后的清单数据与相应特征化因子相乘并求和。为便于演示，部分清单项目已按所选评价方法折算为对应指标单位（表 26）。

表 26 案例四各工艺段 LCA 指标结果计算

LCA 指标	工艺段	清单项目	数值	单位	特征化因子	因子单位	指标贡献	贡献单位
GWP	前端处理	综合温室气体排放折算量	0.6	kg CO ₂ eq 折算量	1	kg CO ₂ eq/kg 折算量	0.6	kg CO ₂ eq
GWP	黑粉纯化	综合温室气体排放折算量	0.3	kg CO ₂ eq 折算量	1	kg CO ₂ eq/kg 折算量	0.3	kg CO ₂ eq
GWP	黏结剂/电解液去除	综合温室气体排放折算量	0.4	kg CO ₂ eq 折算量	1	kg CO ₂ eq/kg 折算量	0.4	kg CO ₂ eq
GWP	补锂与混合	综合温室气体排放折算量	0.2	kg CO ₂ eq 折算量	1	kg CO ₂ eq/kg 折算量	0.2	kg CO ₂ eq
GWP	再烧结	综合温室气体排放折算量	0.8	kg CO ₂ eq 折算量	1	kg CO ₂ eq/kg 折算量	0.8	kg CO ₂ eq
GWP	废气废水治理	综合温室气体排放折算量	0.1	kg CO ₂ eq 折算量	1	kg CO ₂ eq/kg 折算量	0.1	kg CO ₂ eq

LCA 指标	工艺 段	清单项 目	数值	单位	特征 化因子	因子单 位	指标 贡献	贡献单 位
ADP	前端 处理	资源消 耗折算 量	0.05	kg Sb eq 折算量	1	kg Sb eq/kg 折 算量	0.05	kg Sb eq
ADP	黑粉 纯化	资源消 耗折算 量	0.10	kg Sb eq 折算量	1	kg Sb eq/kg 折 算量	0.10	kg Sb eq
ADP	黏结 剂/电 解液 去除	资源消 耗折算 量	0.05	kg Sb eq 折算量	1	kg Sb eq/kg 折 算量	0.05	kg Sb eq
ADP	锂源 及包 覆剂	资源消 耗折算 量	0.45	kg Sb eq 折算量	1	kg Sb eq/kg 折 算量	0.45	kg Sb eq
ADP	再烧 结	资源消 耗折算 量	0.15	kg Sb eq 折算量	1	kg Sb eq/kg 折 算量	0.15	kg Sb eq
ADP	治理 材料	资源消 耗折算 量	0.05	kg Sb eq 折算量	1	kg Sb eq/kg 折 算量	0.05	kg Sb eq
WS	前端 处理	用水量	0.03	m ³	1	m ³ /m ³	0.03	m ³
WS	黑粉 纯化	清洗用 水	0.18	m ³	1	m ³ /m ³	0.18	m ³
WS	黏结 剂/电 解液 去除	清洗用 水	0.05	m ³	1	m ³ /m ³	0.05	m ³
WS	补锂 与混 合	用水量	0.02	m ³	1	m ³ /m ³	0.02	m ³
WS	再烧 结	辅助用 水	0.04	m ³	1	m ³ /m ³	0.04	m ³
WS	废水 治理	补水量	0.10	m ³	1	m ³ /m ³	0.10	m ³
AP	前端 处理	酸化相 关排放 折算量	0.05	kg SO ₂ eq 折算 量	1	kg SO ₂ eq/kg 折 算量	0.05	kg SO ₂ eq
AP	黑粉 纯化	酸化相 关排放 折算量	0.05	kg SO ₂ eq 折算 量	1	kg SO ₂ eq/kg 折 算量	0.05	kg SO ₂ eq
AP	黏结	酸化相	0.04	kg SO ₂	1	kg SO ₂	0.04	kg SO ₂

LCA 指标	工艺 段	清单项 目	数值	单位	特征 化因 子	因子单 位	指标 贡献	贡献单 位
	剂/电 解液 去除 补锂 与混 合	关排放 折算量		eq 折算 量		eq/kg 折 算量		eq
AP	再烧 结烟 气	酸化相 关排放 折算量	0.03	kg SO ₂ eq 折算 量	1	kg SO ₂ eq/kg 折 算量	0.03	kg SO ₂ eq
AP		酸化相 关排放 折算量	0.24	kg SO ₂ eq 折算 量	1	kg SO ₂ eq/kg 折 算量	0.24	kg SO ₂ eq
AP	废气 治理	残余排 放折算 量	0.04	kg SO ₂ eq 折算 量	1	kg SO ₂ eq/kg 折 算量	0.04	kg SO ₂ eq
EP	前端 处理	营养盐 折算排 放量	0.00 02	kg PO ₄ ³⁻ eq 折算 量	1	kg PO ₄ ³⁻ eq/kg 折 算量	0.0002	kg PO ₄ ³⁻ eq
EP	黑粉 纯化 洗涤 废水 黏结	营养盐 折算排 放量	0.00 07	kg PO ₄ ³⁻ eq 折算 量	1	kg PO ₄ ³⁻ eq/kg 折 算量	0.0007	kg PO ₄ ³⁻ eq
EP	剂/电 解液 去除 废水 补锂 与混 合	营养盐 折算排 放量	0.00 05	kg PO ₄ ³⁻ eq 折算 量	1	kg PO ₄ ³⁻ eq/kg 折 算量	0.0005	kg PO ₄ ³⁻ eq
EP		营养盐 折算排 放量	0.00 01	kg PO ₄ ³⁻ eq 折算 量	1	kg PO ₄ ³⁻ eq/kg 折 算量	0.0001	kg PO ₄ ³⁻ eq
EP	再烧 结	营养盐 折算排 放量	0.00 01	kg PO ₄ ³⁻ eq 折算 量	1	kg PO ₄ ³⁻ eq/kg 折 算量	0.0001	kg PO ₄ ³⁻ eq
EP	废水 治理 排放	营养盐 折算排 放量	0.00 02	kg PO ₄ ³⁻ eq 折算 量	1	kg PO ₄ ³⁻ eq/kg 折 算量	0.0002	kg PO ₄ ³⁻ eq
POFP	前端 处理	VOCs 折算量	0.00 4	kg NMVOC eq 折算 量	1	kg NMVOC eq/kg 折 算量	0.004	kg NMVOC eq
POFP	黑粉 纯化	有机物 折算量	0.00 2	kg NMVOC eq 折算 量	1	kg NMVOC eq/kg 折 算量	0.002	kg NMVOC eq

LCA 指标	工艺 段	清单项 目	数值	单位	特征 化因子	因子单 位	指标 贡献	贡献单 位
POFP	黏结 剂/电 解液 去除	VOCs 折算量	0.00 9	kg NMVOC eq 折算 量	1	kg NMVOC eq/kg 折 算量	0.009	kg NMVOC eq
POFP	补锂 混合	有机物 折算量	0.00 1	kg NMVOC eq 折算 量	1	kg NMVOC eq/kg 折 算量	0.001	kg NMVOC eq
POFP	再烧 结	臭氧前 体物折 算量	0.00 6	kg NMVOC eq 折算 量	1	kg NMVOC eq/kg 折 算量	0.006	kg NMVOC eq
POFP	废气 治理	残余排 放折算 量	0.00 4	kg NMVOC eq 折算 量	1	kg NMVOC eq/kg 折 算量	0.004	kg NMVOC eq
HTC	前端 处理 粉尘	致癌毒 性折算 量	0.10	kg 1,4- DCB eq 折算量	1	kg 1,4- DCB eq/kg 折 算量	0.10	kg 1,4- DCB eq
HTC	黑粉 纯化 滤渣	致癌毒 性折算 量	0.35	kg 1,4- DCB eq 折算量	1	kg 1,4- DCB eq/kg 折 算量	0.35	kg 1,4- DCB eq
HTC	黏结 剂/电 解液 去除 残余 物	致癌毒 性折算 量	0.20	kg 1,4- DCB eq 折算量	1	kg 1,4- DCB eq/kg 折 算量	0.20	kg 1,4- DCB eq
HTC	补锂 混合 粉尘	致癌毒 性折算 量	0.10	kg 1,4- DCB eq 折算量	1	kg 1,4- DCB eq/kg 折 算量	0.10	kg 1,4- DCB eq
HTC	再烧 结残 余物	致癌毒 性折算 量	0.25	kg 1,4- DCB eq 折算量	1	kg 1,4- DCB eq/kg 折 算量	0.25	kg 1,4- DCB eq
HTC	废气 废水 治理	致癌毒 性折算 量	0.20	kg 1,4- DCB eq 折算量	1	kg 1,4- DCB eq/kg 折	0.20	kg 1,4- DCB eq

LCA 指标	工艺段	清单项目	数值	单位	特征因子	因子单位	指标贡献	贡献单位
	残余物					算量		
HTNC	前端处理粉尘	非致癌毒性折算量	0.02	kg 1,4-DCB eq 折算量	1	kg 1,4-DCB eq/kg 折算量	0.02	kg 1,4-DCB eq
HTNC	黑粉纯化废水/滤渣黏结剂/电解液去除残余物	非致癌毒性折算量	0.06	kg 1,4-DCB eq 折算量	1	kg 1,4-DCB eq/kg 折算量	0.06	kg 1,4-DCB eq
HTNC	补锂混合粉尘	非致癌毒性折算量	0.01	kg 1,4-DCB eq 折算量	1	kg 1,4-DCB eq/kg 折算量	0.01	kg 1,4-DCB eq
HTNC	再烧结烟气	非致癌毒性折算量	0.01	kg 1,4-DCB eq 折算量	1	kg 1,4-DCB eq/kg 折算量	0.01	kg 1,4-DCB eq
HTNC	废水废气治理残余物	非致癌毒性折算量	0.02	kg 1,4-DCB eq 折算量	1	kg 1,4-DCB eq/kg 折算量	0.02	kg 1,4-DCB eq

由此可以计算案例四的单项指标值见表 27。

表 27 案例四单项指标结果

指标名称	指标数值	指标单位
GWP	2.4	kg CO ₂ eq
ADP	0.85	kg Sb eq
WS	0.42	m ³
AP	0.45	kg SO ₂ eq
EP	0.0018	kg PO ₄ ³⁻ eq
POFP	0.026	kg NMVOC eq
HTC	1.20	kg 1,4-DCB eq
HTNC	0.16	kg 1,4-DCB eq

(4) 单项指标阈值判定与赋分

表 28 案例四单项指标赋分结果

指标	计算结果	筛查阈值	1.5T	判定结果	赋分
GWP	2.4	2.1	3.15	关注水平	70
ADP	0.85	1.0	1.5	常规水平	100
WS	0.42	0.5	0.75	常规水平	100
AP	0.45	0.5	0.75	常规水平	100
EP	0.0018	0.001	0.0015	重点风险	50
POFP	0.026	0.02	0.03	关注水平	70
HTC	1.20	1.5	2.25	常规水平	100
HTNC	0.16	0.1	0.15	重点风险	50

由表 28 可见，EP 和 HTNC 指标结果大于 1.5T，识别为重点风险指标；GWP 和 POFP 处于 T 与 1.5T 之间，为关注水平；ADP、WS、AP 和 HTC 处于常规水平。

(5) 综合评估指数计算

本案例纳入 8 项指标，采用等权重方法，各指标权重均为 0.125。综合评估指数计算如下：

$$S=0.125 \times (70+100+100+100+50+70+100+50) = 80.0$$

综合评估指数为 80.0，根据风险等级划分规则，该案例综合风险等级为Ⅱ级，即较低风险。

(6) 重点风险单元识别

EP 和 HTNC 为重点风险指标，应进一步开展工艺单元贡献分析。EP 指标贡献情况见表 29，HTNC 指标贡献情况见表 30。

表 29 案例四 EP 指标贡献情况

工艺单元	指标贡献值	贡献率
黑粉纯化和洗涤废水单元	0.0007	38.9%
黏结剂/电解液去除单元	0.0005	27.8%
产品清洗单元	0.0003	16.7%
废气治理喷淋排水单元	0.0002	11.1%
辅助系统	0.0001	5.5%
合计	0.0018	100%

表 30 案例四 HTNC 指标贡献情况

工艺单元	指标贡献值	贡献率
黑粉纯化单元	0.06	37.5%
黏结剂/电解液去除单元	0.04	25.0%
粉尘收集和残余物管理单元	0.03	18.8%

废水处理单元	0.02	12.5%
辅助系统	0.01	6.2%
合计	0.16	100%

由贡献分析可见，黑粉纯化、黏结剂/电解液去除、粉尘收集和废水处理单元是直接再生工艺的主要风险贡献环节。建议重点核查黑粉纯化废水中金属离子和含氟污染物控制情况，优化洗涤水回用和废水处理工艺，加强溶剂或电解液残留去除过程的废气收集，规范收尘灰、滤渣和不合格物料管理，并对再烧结过程能耗和废气治理设施运行情况进行跟踪。

五、与相关法律法规和国家标准的关系

（一）与国家法律法规的协调性

本标准依据《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》《生态环境标准管理办法》等法律法规和管理要求制定，贯彻退役锂电池回收利用过程污染防治、固体废物规范管理、危险废物环境管理、排污许可、自行监测和环境风险防控等相关要求。

本标准聚焦退役锂电池进入回收利用企业厂区后的环境风险筛查、风险等级划分、重点风险单元识别和技术路径比选，不替代建设项目环境影响评价、排污许可管理、突发环境事件风险评估、危险废物鉴别、安全评价和职业健康评价等法定管理要求。标准内容与现行国家法律法规和生态环境管理制度不冲突，是对退役锂电池回收利用过程环境管理技术支撑的细化和补充。

（二）与国家、行业标准的衔接性

本标准与现行国家、行业标准相衔接，主要体现在以下方面：

1. 与 GB/T24040《环境管理生命周期评价原则与框架》和 GB/T24044《环境管理生命周期评价要求与指南》相衔接，将生命周期评价的功能单位、系统边界、生命周期清单和生命周期影响评价等要求引入退役锂电池回收利用过程环境影响指标计算，为资源能源消耗和潜在环境影响核算提供方法基础。
2. 与 GB/T39224《废旧电池回收技术规范》、HJ1186—2021《废锂离子动力蓄电池处理污染控制技术规范（试行）》等标准相衔接，围绕退役锂电池贮存、放电、拆解、破碎、分选、火法回收、湿法回收、直接再生和污染治理等环节，细化风险单元识别、资料核查和污染控制相关要求。

3. 与 GB30484《电池工业污染物排放标准》、GB18597《危险废物贮存污染控制标准》、GB37822《挥发性有机物无组织排放控制标准》、HJ819《排污单位自行监测技术指南总则》和 HJ2025《危险废物收集贮存运输技术规范》等标准相衔接，将污染物排放、危险废物贮存、挥发性有机物无组织排放、自行监测和环境管理台账等要求作为风险筛查和数据核查的重要依据。
4. 本标准不改变现行污染物排放标准、污染控制标准和排污许可要求中的合规限值。企业合规性是开展环境风险评估的前提条件。污染物排放、危险废物管理等合规性应依据现行法律法规、排放标准和排污许可要求单独判定，不纳入筛查阈值 T、单项指标赋分及综合评估指数计算。

（三）与地方标准的互补性

江苏省现有锂电池回收利用相关地方标准主要聚焦退役动力电池分选、梯次利用储能系统应用等技术环节。本标准面向退役锂电池进入回收利用企业厂区后的环境风险筛查和等级划分，重点规范资料收集与现场核实、数据核查、指标计算、单项风险筛查、综合评估指数计算、风险等级划分和评估报告编制等内容。

本标准与现有地方标准形成互补，有利于完善江苏省退役锂电池回收利用领域从分选、梯次利用、再生利用到环境风险筛查和分级管理的标准体系，为企业环境管理和生态环境监管提供技术支撑。

（四）与国际标准的对标性

本标准在制定过程中参考了国际上关于电池回收利用、资源循环、生命周期评价、碳足迹核算和风险分级管理等方面的理念和方法，借鉴欧盟《电池与废电池法规》（Regulation(EU)2023/1542）等文件中关于电池全生命周期管理、材料回收利用、碳足迹和信息追溯的相关思路。

本标准并非直接等同采用国际法规或国外标准，而是在结合我国现行生态环境管理制度、江苏省锂电池回收利用产业实际和企业数据可得性的基础上，形成适用于地方生态环境管理和企业实施的环境风险筛查技术规范。

六、实施推广建议

（一）组织实施措施

1. 宣贯培训：标准发布后，建议由相关主管部门组织开展标准宣贯培训，面向退役锂电池回收利用企业、生态环境监管人员、第三方技术机构和行业协会等，重点解读标准适用范围、风险筛查技术流程、风险单元识别、指标计算、筛查阈值、综合评估指数、风险等级划分和评估报告编制要求，提高标准理解和实施一致性。
2. 试点应用：建议选取省内具有代表性的退役锂电池回收利用企业开展试点应用，覆盖火法回收、湿法回收、直接再生、前处理与电极材料粉料制备、污染治理和辅助系统等不同工艺类型。通过试点验证资料收集与现场核实、数据核查、指标计算、阈值筛查和报告编制的可操作性，形成典型案例和问题清单，为标准进一步完善和推广应用提供依据。
3. 分类管理支撑：建议将本标准作为生态环境部门开展退役锂电池回收利用行业环境风险排查、重点风险单元识别、技术评估和分类监管的参考依据。对风险筛查发现的指标、重点风险单元、数据缺失或环境管理薄弱环节，可结合现行法律法规、排污许可、危险废物管理和环境执法要求，督促企业开展整改和跟踪复核。

（二）技术支撑措施

1.建立技术服务机制

依托标准起草单位、科研院所、行业协会和第三方技术机构，建立标准实施技术服务机制，为企业提供风险筛查方案设计、生命周期清单数据整理、指标计算、阈值选取、权重设置、综合评估指数计算和报告编制等技术指导，提升企业实施能力。

2.完善数据支撑体系

建议逐步建立江苏省退役锂电池回收利用过程环境影响指标和风险筛查数据库，持续积累企业工艺数据、能源消耗数据、原辅材料消耗数据、污染物排放数据、危险废物管理数据、生命周期评价数据和现场调研数据。数据库可用于完善筛查阈值、权重设置和典型工艺参数，提高标准实施的科学性和可比性。

3.推动技术改进

鼓励企业根据风险筛查结果，围绕重点风险单元开展技术改进和管理优化，包括电池分类贮存和破损电池隔离、含氟废气和挥发性有机物收集处理、重金

属废水和高盐废水分质处理、危险废物规范贮存、能源计量和过程监测、母液回用、资源回收率提升和绿色低碳工艺优化等，提高回收利用过程环境管理水平。

（三）实施过渡期与分步推进

建议本标准发布后设置适当实施过渡期。过渡期内，企业可开展人员培训、资料整理、数据核查、风险单元识别、指标计算方法熟悉和评估报告编制准备等工作；生态环境管理部门、行业协会和技术机构可同步开展宣贯培训、试点应用和案例总结。

建议优先推动规模较大、工艺较完整、环境管理基础较好的企业开展标准试点应用，再逐步推广至其他回收利用企业。对于数据基础薄弱、工艺路线复杂或环境管理能力不足的企业，可先开展资料收集、风险单元识别，再逐步完善生命周期环境影响指标计算、综合评估指数和风险等级划分。

（四）监督与评估

建议建立标准实施效果跟踪评估机制。标准实施后，可结合试点应用、企业反馈、监管实践、第三方评估和专家咨询，重点评估标准适用范围是否清晰、指标体系是否合理、数据获取是否可行、筛查阈值和权重设置是否适用、风险等级划分是否具有管理意义、风险评估是否满足监管和企业管理需求。

标准实施一定周期后，建议根据产业发展、工艺变化、数据积累、相关法律法规和标准更新情况，对标准进行适时修订。重点完善筛查阈值数据库、典型工艺参数、阈值、指标权重和实际评估案例，持续提高标准的科学性、可操作性和适用性。

七、起草单位和起草人员信息及分工

（一）起草单位

牵头单位：南京大学

协作单位：江苏省环境科学研究院、中国科学院过程工程研究所、中国环境科学研究院、江苏华友能源科技有限公司、衢州华友资源再生科技有限公司、浙江大学、北京科技大学、上海灸云新能源科技有限公司、安徽绿沃循环能源科技有限公司

（二）主要起草人及分工

编制说明起草单位：南京大学

编制日期：2026 年 6 月