

废锂离子动力电池回收利用行业发展现状及问题研究

贾少华, 冷 阳, 郭 涛*

(生态环境部环境工程评估中心, 北京 100012)

摘要: 随着新能源汽车产业的快速发展, 锂离子动力电池逐步进入规模化退役阶段, 其高效回收利用对于保障国家战略资源安全、防控环境污染、推动循环经济发展具有重要意义。当前, 我国废旧动力电池回收利用行业体系尚不完善, 回收、运输、预处理及材料再生等全流程呈现“散、乱、弱”的特征, 与高效回收和规范处置的体系要求存在较大差距。通过对废电池回收服务网点建设与运营、回收利用项目审批与建设进展、行业规范条件申报等数据进行统计分析, 并结合实地调研, 对行业综合利用技术与环境保护水平进行了系统评估, 识别当前行业面临的主要问题, 并深入分析其产生原因。研究表明, 当前行业主要问题集中在回收体系运行效率低、综合利用产能过剩、技术水平不高、环境与安全风险突出等方面, 导致正规企业面临运营成本高、原料保障难、盈利能力弱等挑战, 严重制约了行业的健康发展。为此, 提出应通过强化政策制度保障、规范回收与利用管理、推动关键技术研发、促进产业协同发展、加大监督管理力度等举措, 切实推动行业规范化、高质量发展。

关键词: 环境与安全风险; 废旧电池回收; 动力电池; 梯次利用; 再生利用

中图分类号: X505

文献标识码: A

Current Status and Challenges of the Recycling and Utilization Industry for Spent Lithium-Ion Power Batteries

JIA Shaohua, LENG Yang, GUO Tao*

(Appraisal Center for Environment and Engineering, Ministry of Ecology and Environment, Beijing 100012, China)

Abstract: Based on an evaluation of the current development status of waste battery recycling industry, this study identifies key challenges, analyzes their underlying causes in depth, and proposes targeted management recommendations. To enhance the accuracy of research findings, the study collected extensive industrial data, including information on the construction and operation of recycling service networks, the approval and implementation of recycling projects, and compliance reporting from enterprises. Through comparative data analysis, statistical assessment, and field investigations that supplemented and verified information from key processes, this study conducted a comprehensive evaluation of the industry's resource utilization technologies and environmental protection capabilities. The research reveals that the recycling industry currently faces several issues, including an imbalanced industrial chain, inadequate levels of comprehensive utilization, and prominent safety and environmental risks. Specifically, the industrial chain imbalance is reflected in the low operational efficiency of the collection system, significant overcapacity in comprehensive utilization, and a

收稿日期: 2025-08-30

修回日期: 2025-10-27

接受日期: 2025-10-29

DOI: 10.20078/j.eep.20251102

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2024YFC3712800)

第一作者: 贾少华(1988—), 女, 河北保定人, 高级工程师, 主要研究方向为冶金机电行业环评和排污许可、固体废物污染防治管理。

E-mail: jiash@acee.org.cn

*通讯作者: 郭 涛(1986—), 男, 山东日照人, 副研究员, 主要研究方向环境影响评价和排污许可制度研究。E-mail: guotao@acee.org.cn

consequent slowdown in the advancement of production technologies. Particularly noteworthy is the inadequate level of comprehensive utilization, characterized by a distinctly segmented industrial layout. Over 60% of projects include only pretreatment processes such as crushing and screening, failing to achieve the ultimate goal of resource recovery. Moreover, resource regeneration projects primarily focus on metallic resources such as lithium, nickel, and cobalt, with minimal production capacity dedicated to recycling iron phosphate slag and anode materials. The causes of these problems span multiple dimensions, including policy planning, market conditions, and technical standards. First, the lack of proper implementation planning and control for supportive policies has resulted in excessive homogeneous projects and poor coordination with upstream and downstream industries. Second, the absence of mandatory regulations has led to a proliferation of informal competitors, causing idle capacity among compliant enterprises while significantly increasing environmental pollution and product safety risks. Third, the technical requirements for standardized processing involve substantial investments in production operations and environmental management, and the high costs and low returns directly deter companies from expanding production. This insufficient development of advanced production capacity further constrains improvements in the overall level of comprehensive utilization across the industry. Finally, recent market shifts, including the contraction of downstream applications and falling prices of raw materials, have significantly undermined cost-effectiveness and substantially limited market prospects. To establish an efficient collection and standardized disposal system, this study recommends strengthening institutional policy safeguards, developing standardized documentation to regulate recycling practices, vigorously promoting technological research and development, and enhancing full-chain supervision to address these challenges. Specific implementation pathways include reinforcing mandatory recycling systems, formulating technical standards for battery health assessment, transportation and storage, and strengthening off-site supervision with the help of technologies such as flow monitoring, electricity monitoring and satellite remote sensing.

Keywords: Environmental and safety risks; Spent battery recycling; Power battery; Cascade utilization; Recycling and utilization

0 引言

随着新能源汽车产业深化发展,全国废锂离子电池(以下简称“废电池”)的退役数量逐年上升,从2020年约20万吨迅速增长到2024年超过60万吨^[1],5年增幅达到200%。对于未来的预计退役数量,不同机构的统计口径和预测模型存在差异,但预测的整体趋势和数量级是一致的,即废电池的退役数量仍将急速上升,到2030年增长到300万吨以上,形成千亿级的巨大市场^[2]。

废电池回收利用是推动资源循环、保障关键矿产安全的重要举措,也对减少环境污染、降低安全隐患具有重要意义^[3]。为此,我国将废电池回收利用纳入国家的重大规划,如《“十二五”国家战略性新兴产业发展规划》提出了“建立动力电池回收和梯级利用管理制度”这一项重大政策,之后在《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》《新能

源汽车产业发展规划(2021—2035年)》《“十四五”循环经济发展规划》等规划文件中持续推动相关产业发展。同时,国家还发布多项政策、标准文件,规范和引导废电池回收利用行为。在产业和政策推动下,废电池回收利用行业进入高速发展阶段,初步形成多元回收体系,资源利用水平不断提升,成为构建可持续新能源汽车产业生态的重要组成部分^[4]。

2025年2月,国务院常务会议审议通过《健全新能源汽车动力电池回收利用体系行动方案》,方案指出当前我国新能源汽车动力电池已进入规模化退役阶段,全面提升动力电池回收利用能力水平尤为重要。然而,目前废电池回收利用行业的发展态势和回收利用效能均不及预期,在产业布局、工艺技术、风险防控等多个方面都存在不同程度的问题,废电池到再生材料的闭环路径也尚未形成。本文通过对废电池回收数据、回收网点

建设数据、综合利用产能数据、建设项目审批和验收数据等进行系统分析,准确识别产业数据显示的行业问题,并结合管理要求、发展形势进行原因剖析,旨在为着力解决全链条的堵点问题、提升回收利用行业发展水平提供参考和借鉴。

1 行业存在的主要问题

1.1 产业链发展不平衡

1.1.1 回收体系运行效率低

回收是指废电池收集、分类、贮存和运输的过程总称,按照要求废旧动力锂电池应通过回收服务网点进行收集,后规范移交至综合利用企业进行梯次或再生利用。根据中国汽车工程学会的统计数据,2023 年我国退役动力电池总量超过 58.0 万吨;工业和信息化部(以下简称“工信部”)公布当年废动力电池综合利用量 22.5 万吨,缺口达到 35.5 万吨,占比超过 60%^[5-6]。考虑到综合利用环节存在原料采用生产过程中的报废电池或存量的废电池等情况,未纳入合规回收的废电池数量将进一步增加。

回收产业链目前包括新能源汽车生产企业、电池生产企业、报废机动车拆解企业、综合利用企业以及其他第三方运营企业等多种主体,回收服务网点未经统一规划,而是由参与主体通过自建、共建等方式建立。至 2025 年 8 月,工信部网站公开 10 908 个汽车生产企业或梯次利用企业建立的回收服务网点信息,统计剔除合作共用网点后,共计建设回收网点 7 303 个,分地区统计如图 1 所示。初步统计,汽车生产企业建立的回收服务网点约有 9 797 个,占比将近 90%,集中在汽车生产企业集中的区域,如广东、江苏、浙江、山东等地建设回收服务网点均超过 500 个,部分网

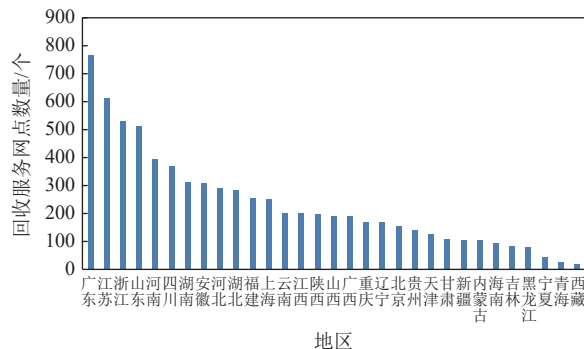


图 1 废电池回收服务网点数量分布图

Fig. 1 Distribution of spent battery recycling service stations

点利用率较低。东北、西北部分地区回收服务网点低于 50 个,回收能力相对不足。

1.1.2 综合利用产能过剩

废电池综合利用包括对废电池进行多层次、多用途的合理利用过程,一般分为梯次利用和再生利用。根据排污许可信息平台,截至 2024 年,全国废电池(含电池、废极片、黑粉等)处理能力超过 400 万吨,与 2025 年测算的退役总量(80 万~100 万吨)相比,现有处理能力已满足并超出处置需求。同时,综合利用行业仍在继续扩张。环境影响评价统建系统的数据显示,2024 年通过审批的废旧锂电池回收利用项目近 200 个,涉及总投资超过 800 亿元。单独的梯次利用、单独的再生利用(含预处理)、同时设置梯次和再生利用(含预处理)的项目数量比例约为 2 : 5 : 3。据统计,新增梯次利用能力 180 万吨,湿法再生新增锂盐(碳酸锂、氢氧化锂)产能约 30 万吨。新批复产能建成落地后,产能过剩将进一步加剧。

1.1.3 产能迭代降速

废电池的退役数量逐年增加,但产能过剩导致现有项目的产能利用率并未提高。2024 年实际回收量按照 65.4 万吨计算^[1],仅占已建成的 400 万吨处理产能总量的 15%,大量产能闲置或转产,直接影响新审批项目的市场信心。根据 2022—2024 年审批的项目数量统计,2023 年的梯次利用和再生利用项目数量同比分别增长 138% 和 158%,而 2024 年该数据降至 30% 和 6%。随机选取 2023 年审批的 20 个综合利用项目统计建成验收情况,均等涵盖单独的梯次利用、单独的再生利用,以及复合利用(区分湿法再生和预处理)类别,如图 2 所示。根据竣工验收信息系统,截至 2025 年 8 月,20 个项目中仅 2 个项目完成环保验收,均为单独的梯次利用项目;涉及再生利用的 15 个项

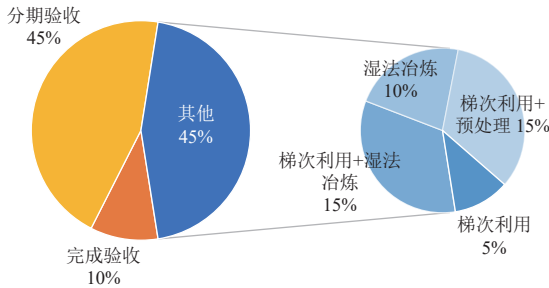


图 2 部分已批复建设项目环保验收情况统计

Fig. 2 Statistics on environmental protection acceptance of selected construction projects

目中有 7 个完成阶段性(分期)验收,其余项目未查询到验收相关信息,可见新增项目落地速度普遍较慢,落地部分与规划产能不匹配。

1.2 综合利用水平不高

截至目前,工信部已公布 5 批(共计 165 家)符合规范条件的“白名单”企业,从第二批开始区分梯次利用企业和再生利用企业。其中,仅梯次利用资质的企业 93 家,仅再生利用资质的企业 50 家;具有梯次利用和再生利用双资质的企业 8 家,分类统计如图 3 所示。2024 年底发布年新版《新能源汽车废旧动力电池综合利用行业规范条件》(以下简称“《规范条件》”),对梯次回收过程回收率、电解材料回收率等技术指标进行了更新,将冶炼过程锂回收率的技术指标由不低于 85% 提高至不低于 90%,新增破碎分离后的电极粉料回收率不低于 98%。新版《规范条件》发布后,预计短时间内企业需要开展整改或提升,“白名单”企业数量不会明显增加。根据排污许可信息平台,仅废弃资源加工行业,以废电池、废极片、黑粉等为原料进行回收处理生产的企业数量超过 300 家,即近半数的处理企业尚未达到规范条件的要求。另外,还有部分企业以无机盐制造、电子专用材料制造等为主行业开展废电池回收利用经营活动,使规范企业的占比进一步降低。

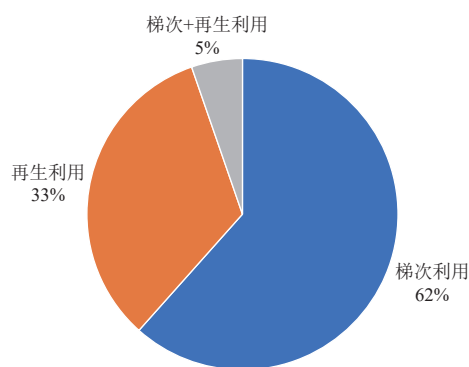


图 3 申报规范条件的企业类别统计

Fig. 3 Classification statistics of enterprises applying for compliance with regulatory requirements

我国的废旧电池再生利用以湿法冶炼为主,通过复杂的物理化学工艺实现有价金属高效回收^[7]。对 2024 年通过审批的综合利用项目进行分析,再生利用行业分段式的特征明显,采用预处理技术制取电池黑粉的项目数量较多,湿法再生制备一阶、二阶材料项目占比低于 1/3。预处理工艺以破碎、热解、筛分等为主,不能实现资源回收的

最终目的,而且工艺流程短、技术门槛低,容易造成低水平项目重复建设、甚至黑粉与湿法产能不匹配的问题。另外,湿法再生以回收锂、镍、钴等金属资源为主^[8-9],负极材料再生项目较少,磷酸铁锂电池提锂之后的磷铁渣缺乏有效资源化的方法^[10]。2024 年的相关项目中,其中包含再生负极的项目 9 个,占比低于 20%,并且回收的材料一般不能重新用于动力电池生产,而是用于低端电池或其他用途^[11]。磷酸铁锂材料直接修复的项目数量和产能均较小,修复产品性能稳定性差等问题尚未解决^[12]。

1.3 安全和环保风险突出

为切实提高废旧电池综合利用行业的环境管理水平,生态环境部发布《废锂离子动力蓄电池处理污染控制技术规范(试行)》(HJ 1186—2021)等标准文件,针对焙烧废气、破碎分选废气、酸浸废气、萃取废气以及放电废水、废气吸收废水、生产废水、初期雨水等主要的排放环节,提出明确要求;对于湿法回收企业,还需要选址在合规园区,符合园区规划以及化学品仓储等相关管理要求。回收处理项目产排污环节多、智能化程度不高,防控措施缺失可能造成严重的环境损害^[13];而对于设施完备的企业,也存在设施运行维护不正常、受非正规企业低价竞争影响主动“降标”运行等问题,造成安全和环境风险提高。废电池利用和处置还需要关注新污染管控,研究表明,全生命周期内磷酸三(1,3-二氯-2-丙基)酯的致癌风险值在处置场所最高^[14]。据不完全统计,仅 2021 年至今国内公开报道相关火灾爆炸事故近 40 起,在美国、法国、韩国等国外产业密集区也都有相关案例通报。

非正规渠道处理乱象带来的安全环保风险更为严重。运输方面,废旧锂电池未列入《国家危险废物名录》,但其属于《危险货物品名表》(GB 12268—2025)第九类危险货物,在货物包装、运输车辆和人员资质等方面有专门的要求,用以提高电池破损、短路起火等突发情况的应对能力^[15]。然而,作坊式企业未执行相关要求,甚至使用“音响”或“易碎品”等品名逃避监管。放电处理方面,由于露天堆放废旧电池,缺失分区管理、安全监控等措施,而放电过程多采用落后的盐水浸泡放电,形成的高盐废水含有大量氟化物,安全和环保隐患较大^[16]。拆解处理方面,锂离子动力蓄电池包(组)结构复杂,若不按照规定程序进行拆解处理,

电池起火爆炸的可能性较高,粗暴拆解还会造成有机物、重金属等污染物泄漏,高压线束直接焚烧会产生二噁英等污染物,加剧环境污染^[17],并且不能合法转移和处置拆解电池包产生的废电路板等危险废物。作坊式企业的梯次利用阶段缺少正规的健康状态检测、内阻检测等筛选过程,造成电芯参数不匹配,加上鼓包的电池未经处理、电池管理系统质量差,在使用端会造成更大的安全风险。

2 主要问题的原因分析

2.1 产业链规划和协同不足

政策层面,国家鼓励废电池回收利用,并给予税收和专项资金补贴支持,这直接支撑了处理产能的爆发式增长。然而,产能扩张的过程缺乏规划和管控,各地以加速布局新能源产业为目标,密集批复同质化建设项目,如2023年新通过审批的综合利用项目同比上一年翻了3倍以上,部分项目受建设周期、市场波动等影响,导致“投产即过剩”。缺乏规划也导致产能密度的地区差异较大,江西、湖南、安徽等地区上游产业链更加完整,在试点工作的基础上积极布局利用产能,京津冀以及西部地区则布局较少^[18]。市场方面,新能源汽车销量、电池寿命、梯次利用等都会影响进入回收市场的电池数量,回收行业扩张未与新能源汽车、动力电池及上游材料产销情况变化等情况协同规划,造成动力电池实际退役量增长滞后于利用产能的扩张速度,也造成产能过剩^[19]。

2.2 非正规竞争者破坏市场秩序

面向建设高水平的回收利用体系,我国建立了较为完善的规划、政策、标准体系^[20],以及通过服务网点规范回收、符合规范条件的企业开展综合利用活动的产业体系,但是总体来说,相关管理制度缺乏强制性^[21-22]。一方面,针对消费者规范处置废旧电池的责任和义务约束力不足,比如《新能源汽车动力蓄电池回收利用管理暂行办法》仅提出不合规移交或者私自拆解,导致环境污染或安全事故的应承担相应责任,对于移交行为本身并无罚则,而且造成后果的责任也不明确;另一方面,没有针对招标采购、拆解企业电池流向管理等关键环节的强制性规定或者惩罚性条款,很多废电池随着价格差异流入非正规市场,合规产能被迫闲置^[23]。

非正规市场的参与主体涉及个体回收商/小作坊、非法拆解工厂以及贸易经销商等“灰色中间

商”^[24]。非法拆解工厂不仅工艺粗放、生产效率低,还完全规避了环保成本,将回收价格提高0.5倍甚至更高,抢占市场更加容易。贸易经销商一般是掌握废旧电池回收渠道的中小微企业,开展电池回收、贮存、转售等经营活动,但是在部分区域产业链当中,拆包、放电甚至电芯测试都由经销商完成,只有组装工序留给梯次利用企业,使梯次利用企业的生产积极性进一步降低。同时,贸易商的电芯测试主要关注余能检测,省略循环寿命测试和安全性评估,直接影响梯次产品的安全稳定性能。

2.3 规范化处理难度大、要求高

从技术角度来看,精准检测、自动化拆解、高效的资源回收都存在技术瓶颈,产业链成熟度不高^[25]。废旧电池的循环寿命和安全性评估主要由企业自行建立检测方法,技术水平和标准并不统一,直接影响梯次使用的安全性和市场接受度。电池结构和材料体系多样化,造成废旧电池的一致性较差,不仅提高了荷电状态、老化状态的检测难度,也直接影响处理工艺的自动化水平^[26]。比如直观的物理结构,目前包括方形电池、圆柱电池,还有软包电池等多种封装形式,外壳焊接强度、模组固定方式也不相同,拆解设备就无法通用,需要频繁更换部件或者调整参数,或者配备多套拆解系统才能完成。破碎阶段,受电池截止电压的影响,经过放电预处理的电池仍保留残余电量,所以仍然需要惰性环境保护,而直接的带电破碎拆解技术目前还处于发展阶段,技术风险较高。湿法回收阶段,目前主要以回收经济价值较高的正极产品为主,但酸浸体系不稳定,对工艺控制和设备属性要求较高,电解质和有机黏结剂等杂质残留、有价值材料随不溶物进入废渣等情况,都会影响回收效率^[27-29]。另外,正负极材料协同混合收集较少,负极石墨材料分离、回收、纯化水平均有待提高^[30]。

运行管理方面,规范企业生产运行的管理要求和运行成本较高^[31]。合规处理市场对参与主体提出了较高的要求,比如《规范条件》规定的申报条件包括厂区条件、设施设备、技术工艺、溯源能力、资源利用、能源消耗等多个方面。只有回收渠道畅通、高值化回收工艺完备的企业才能在目前的市场环境中盈利;尤其对于部分中小型企业,申报规范条件门槛较高,龙头企业又形成市场垄断,很难形成规模化效益,产能被淘汰的概率较高^[32]。湿法回收的建设和运行成本也较高,尤其

是萃取提纯等环节的设备和试剂成本,根据近2年获得审批的建设项目投资统计,新增单吨废旧电池的湿法处理成本平均达到1.6万元,这也是行业上项目分段式布局的重要原因之一。然而,分段仅设置预处理工序的企业无法申请规范条件,需要补充梯次利用工序并将处理比例提高至60%,造成成本增加和产能浪费。湿法回收过程产生萃取废液、重金属残渣以及上游有害粉尘、电解液泄漏等不同环节和类型的问题,污染防治设施运行增加约5%~10%的运行成本。

2.4 形势变化冲击行业预期

随着新能源汽车扩张放缓和锂矿产能逐步释放,关键材料碳酸锂的价格从2023年起大幅下降,已从2022年60万元/吨降至目前8万元/吨左右,降幅高达87%,镍、钴等上游材料也因为磷酸铁锂系电池的迅速发展导致需求萎缩,价格回落。湿法回收企业盈利高度依赖锂、钴等金属价格,资源循环利用的成本优势骤减。价格波动对梯次利用企业的影响更为明显,由于存在性能和寿命短板,失去价格优势之后,梯次利用产品的性价比明显降低。

除了价格波动,梯次利用企业还受到应用端的冲击。从应用原理分析,废电池的剩余容量、内阻、循环寿命等参数离散性较大,这些性能差异会加快重组后的电池包性能衰减速度;废旧电池和新电池管理系统(BMS)的使用寿命也不匹配,不同型号和不同衰减程度的电池混用,又对BMS的适配性提出了更高的要求,均导致梯次利用的电池实用性能无法得到保障。从安全性能分析,电池在使用过程中经过多次充放电,内部析锂、电解质膜破损等问题多有发生,但在废电池梯次检测过程中不能直接判别,造成梯次产品热失控风险明显高于新电池产品,安全风险突出^[33]。从应用场景分析,目前梯次产品主要流向储能、通信基站、低速电动车等能量要求相对较低的领域,随着“电动自行车不得使用梯次利用电池”“大中型储能电站审慎选用梯次利用的动力电池”等政策发布实施,梯次产品的应用场景大幅减少,市场认可度进一步下降。

3 结论和建议

废电池回收利用是助力新能源汽车和电池产业高质量发展、实现绿色低碳转型和保障资源安全的关键环节。当前该行业在回收体系建设、梯

次和再生利用方面取得了较大的进展,但仍存在诸多问题和挑战。本文基于废电池回收利用的产业发展数据,针对行业在市场格局、产能分布、利用水平等方面存在的问题进行了识别,并深入分析了产生问题的原因,涉及政策标准、执行和监管、工艺技术能力、市场形势变化等多个方面。为进一步推动建立高效回收、规范处置的回收利用体系,提出以下建议。

(1) 强化政策制度保障

进一步完善生产者责任延伸制度的实施模式,建立分工更明确、责任更具体的强制回收体系,明确汽车和电池制造企业的核心主体责任,完善回收网络建设;同时推动产业链各个环节的联动配合,将零售商、消费者的行为纳入法治化范畴,提升溯源管理效力,形成覆盖“生产-销售-消费-回收-利用”的回收闭环。工信、财政、生态环境、交通运输等管理部门政策联动,形成合力保障行业发展。

(2) 规范回收和利用行为

制定废电池健康状态检测和评价的国家标准,支撑废电池科学合理地分类再利用,提高回收利用系统运行的安全性和可靠性。针对废电池转运和贮存制定规范性管理文件,提出运输过程中防止短路、泄漏等问题的具体要求,对贮存设施的贮存条件、贮存能力、时间等作出明确规定。

(3) 聚力技术研发攻关

加大关键回收技术攻关,提升有价金属绿色高效提取和再生材料高值化利用水平,同时降低能耗和污染。完善废电池检测、评估、重组和系统集成技术,安全有序地推动梯次利用。集中研发智能拆解、自动化分选、自动再制造等数字化技术,提升智能化生产水平。

(4) 提升协同发展水平

基于编码溯源系统实现信息流协同,电池信息在生产端录入、流通使用端维护、回收端获取,支撑精准分类、安全拆解和高效再生。鼓励生产企业在设计阶段考虑易拆解和易回收性,为下游回收降本增效,回收企业返回再生材料并将性能数据反馈上游企业,实现技术流协同。鼓励区域协同和产业集群化,降低长途运输的成本和风险,区域内构建合理的处理网络和产能数量,实现空间布局协同。

(5) 强化监管

基于溯源管理平台强化全链条管理,通过电

池流向监控追踪责任主体,切实强化监管效能。结合卫星遥感、用电监控等技术手段实施精准执法,开展多部门联合的违规处置专项整治行动,持续打击非正规处理行为,规范行业秩序。

参考文献 (References):

- [1] EVTank, 伊维经济研究院, 中国电池产业研究院. 中国锂离子电池回收拆解与梯次利用行业发展白皮书(2024年)[R]. 北京, 2024.
EVTank, China YiWei Institute of Economics, China Battery Industry Research Institute. White paper on the development of China's solid-state battery industry (2024)[R]. Beijing, 2024.
- [2] 马颖菲, 武晓燕, 苑鹏. 新能源汽车废旧锂电池回收利用技术与产业现状[J]. 再生资源与循环经济, 2025(8): 31-37.
MA Haoifei, WU Xiaoyan, YUAN Peng. The recycling technologies and industry of spent LIBs from EVs[J]. Recycling Research, 2025(8): 31-37.
- [3] 韦洪莲, 邓毅, 李诗源, 等. 我国新能源固废污染防治的挑战和展望[J]. 中华环境, 2025(7): 20-23.
WEI Honglian, DENG Yi, LI Shiyuan, et al. Challenges and prospects of pollution prevention and control for new energy solid waste in China[J]. China Environment, 2025(7): 20-23.
- [4] 黄克强, 苑鹏, 肖淇珩. 国内动力电池回收利用产业发展研究[J]. 再生资源与循环经济, 2025, 18(5): 27-31.
HUANG Keqiang, YUAN Peng, XIAO Qiheng. Development of domestic power battery recycling and utilization industry[J]. Recyclable Resources and Circular Economy, 2025, 18(5): 27-31.
- [5] 卢奇秀. 动力电池回收的“理想与现实”[N]. 中国能源报, 2024-11-25(8).
LU Qixiu. The ideal and reality of power battery recycling[N]. China Energy News, 2024-11-25(8).
- [6] 王海波, 张春强, 林虹, 等. 2024年中国废电池回收利用行业发展情况分析[J]. 电池工业, 2025, 29(3): 212-221.
WANG Haibo, ZHANG Chunqiang, LIN Hong, et al. Analysis of the development of China's waste battery recycling and utilization industry in 2024[J]. Chinese Battery Industry, 2025, 29(3): 212-221.
- [7] 王兆龙, 孙峙, 阎文艺, 等. 《废锂离子动力蓄电池处理污染控制技术规范(试行)》(HJ 1186—2021)解读及实施建议[J]. 环境工程学报, 2022, 16(7): 2308-2316.
WANG Zhaolong, SUN Zhi, YAN Wenyi, et al. Interpretation and implementation suggestions of technical specification of pollution control for treatment of waste lithium-ion battery(HJ 1186—2021)[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2022, 16(7): 2308-2316.
- [8] 王晓旭, 丁明磊. 新能源汽车高质量发展需求下有色金属回收的必要性和对策[J]. 有色金属(中英文), 2025, 15(3): 418-424.
WANG Xiaoxu, DING Minglei. Necessity and countermeasures of non-ferrous metal recycling under the demand for high-quality development of new energy vehicles[J]. Nonferrous Metals, 2025, 15(3): 418-424.
- [9] 纪方力. 溶剂萃取在三元动力电池回收中的应用与研究进展[J]. 中国锰业, 2024, 42(6): 8-13+26.
JI Fangli. Application and research progress of solvent extraction in ternary lithium-ion battery recycling[J]. China Manganese Industry, 2024, 42(6): 8-13+26.
- [10] 曹查理, 曾凡乐, 杨浩, 等. 废旧磷酸铁锂电池的回收利用技术研究进展[J]. 电力科技与环保, 2025, 41(3): 453-466.
CAO Chali, ZENG Fanle, YANG Hao, et al. Research progress on recycling technology of waste lithium iron phosphate battery[J]. Electric Power Technology and Environmental Protection, 2025, 41(3): 453-466.
- [11] 杨亚凯, 张豪, 宋东祺, 等. 退役锂离子电池电解液与负极材料回收利用现状与进展[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2024, 55(11): 4318-4331.
YANG Yakai, ZHANG Hao, SONG Dongqi, et al. Current status and research progress of recovery and recycling of electrolyte and anode materials of spent lithium-ion batteries[J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2024, 55(11): 4318-4331.
- [12] 李飞樊, 郑震, 李磊. 废旧锂离子电池磷酸铁锂正极材料直接再生的研究现状[J]. 电源技术, 2025, 49(5): 898-910.
LI Feifan, ZHENG Zhen, LI Lei. Research status of direct regeneration of spent lithium iron phosphate batteries[J]. Chinese Journal of Power Sources, 2025, 49(5): 898-910.
- [13] 刘懿锋, 饶翔, 文怡, 等. 废锂电池资源化技术及环境治理探索[J]. 环境保护与循环经济, 2024, 44(10): 9-12.
LIU Yifeng, RAO Xiang, WEN Yi, et al. Exploratory study on recycling technology and environmental governance of waste lithium-ion batteries[J]. Environmental Protection and Circular Economy, 2024, 44(10): 9-12.
- [14] 赵曦, 阴琳婉, 韦斯. 锂离子电池全生命周期新污染物识别、风险和管控对策[J/OL]. 环境化学: 1-12. (2025-07-25). <http://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?filename=HJHX2025072500I&dbname=CJFD&dbcode=CJFQ>.
ZHAO Xi, YIN Linwan, WEI Si. Identification, risk assessment, and management strategies for emerging pollutant in the life cycle of lithium-ion batteries[J/OL]. Environmental Chemistry: 1-12. (2025-07-25). <http://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?filename=HJHX2025072500I&dbname=CJFD&dbcode=CJFQ>.
- [15] 石古乐, 张玉召, 常全盛, 等. 基于云模型的动力锂电池铁路运输风险评估[J/OL]. 铁道标准设计: 1-10[2025-07-20]. <https://doi.org/10.13238/j.issn.1004-2954.202501090003>.

- SHI Guyue, ZHANG Yuzhao, CHANG Quansheng, et al. Risk assessment of power lithium battery railway transportation based on cloud mode[J/OL]. Railway Standard Design: 1-10[2025-07-20]. <https://doi.org/10.13238/j.issn.1004-2954.202501090003>.
- [16] 吴彦, 马恩. 报废锂离子电池资源化回收再生技术研究进展[J]. 电源技术, 2025, 49(7): 1337-1353.
WU Yan, MA En. Research progress on resource recovery and recycling technology of waste lithium-ion batteries[J]. Chinese Journal of Power Sources, 2025, 49(7): 1337-1353.
- [17] 黄翰林, 刘春伟, 姚少杰, 等. 废锂离子电池的热处理: 过程污染物迁移和转化[J]. 过程工程学报, 2022, 22(3): 285-303.
HUANG Hanlin, LIU Chunwei, YAO Shaojie, et al. Review of heat treatment process for spent lithium-ion batteries: From the perspective of pollutant migration and transformation[J]. The Chinese Journal of Process Engineering, 2022, 22(3): 285-303.
- [18] 刘宜, 尚闽, 谭刚, 等. 动力锂离子电池规范回收利用的效益及对策[J]. 电池, 2023, 53(6): 664-667.
LIU Yi, SHANG Min, TAN Gang, et al. Benefits and countermeasures of standardized recycle of power Li-ion battery[J]. Battery Bimonthly, 2023, 53(6): 664-667.
- [19] 赖志颖, 赖文斌, 林楚园, 等. 退役动力电池回收利用的现状 & 碳核算研究进展[J/OL]. 过程工程学报: 1-12 [2025-01-23]. DOI: 10.12034/j.issn.1009-606X.223195.
LAI Zhiying, LAI Wenbin, LIN Chuyuan, et al. A review on current status and carbon accounting of recycling and reusing of spent powerbatteries[J/OL]. The Chinese Journal of Process Engineering: 1-12[2025-01-23]. DOI: 10.12034/j.issn.1009-606X.223195.
- [20] 来鑫雪, 张铜柱, 柳邵辉, 等. 新能源汽车动力电池回收利用标准体系研究与思考[J]. 中国汽车(中英文对照), 2025, 35(7): 398-405.
LAI Xinxue, ZHANG Tongzhu, LIU Shaohui, et al. Research and reflection on the standard system for recovery of traction battery used in new energy vehicle[J]. China Auto, 2025, 35(7): 398-405.
- [21] 汪悦, 孙佳. 我国新能源汽车动力电池回收产业高质量发展研究[J]. 中外能源, 2025, 30(7): 7-13.
WANG Yue, SUN Jia. A study on the high-quality development of China's power battery recycling industry for new energy vehicles[J]. Sino-Global Energy, 2025, 30(7): 7-13.
- [22] 丛晓男, 郭明君, 王丽娟. “新兴产业—关键矿产关联机制”及新兴固体废弃物回收再利用[J/OL]. 中国国土资源经济: 1-14[2025-05-16]. <https://doi.org/10.19676/j.cnki.1672-6995.001194>.
CONG Xiaonan, GUO Mingjun, WANG Lijuan. Emerging industries-critical minerals nexus and the circular economy of the emerging solid wastes[J/OL]. Natural Resource Economics of China: 1-14[2025-05-16]. <https://doi.org/10.19676/j.cnki.1672-6995.001194>.
- [23] 陈亚琪. 动力电池梯次利用闭环供应链回收决策研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2024: 17-63.
CHEN Yaqi. Closed-loop supply chain recycling decision-making study on power battery echelon utilization[D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2024: 17-63.
- [24] 李旭, 吴风波. 新能源汽车动力电池产业回收利用现状及策略[J]. 汽车实用技术, 2025, 50(6): 11-15.
LI Xu, WU Fengbo. Current status and strategies for recycling in the new energy vehicle power battery sector[J]. Automobile Applied Technology, 2025, 50(6): 11-15.
- [25] 赵元昊, 宗宇航, 孙峙, 等. 基于数据驱动的废锂离子电池再生利用过程评价方法研究进展[J/OL]. 环境工程: 1-19[2025-04-12]. <https://link.cnki.net/urlid/11.2097.X.20250311.1235.006>.
ZHAO Yuanhao, ZONG Yuhang, SUN Zhi, et al. Research progress on data-driven evaluation methods for the recycling processes of spent lithium-ion batteries [J/OL]. Environmental Engineering: 1-19[2025-04-12]. <https://link.cnki.net/urlid/11.2097.X.20250311.1235.006>.
- [26] 李建林, 李雅欣, 吕超, 等. 退役动力电池梯次利用关键技术及现状分析[J]. 电力系统自动化, 2020, 44(13): 172-183.
LI Jianlin, LI Yaxin, LYU Chao, et al. Key technology and research status of cascaded utilization in decommissioned power battery[J]. Automation of Electric Power Systems, 2020, 44(13): 172-183.
- [27] 李峻, 田阳, 杨斌, 等. 废旧锂离子电池正极材料有价金属回收研究现状[J]. 中国有色金属学报, 2024, 34(6): 1786-1808.
LI Jun, TIAN Yang, YANG Bin, et al. Research status of valuable metal recovery of cathode materials of spent lithium-ion batteries[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2024, 34(6): 1786-1808.
- [28] 梅延润, 刘龙敏, 陈然, 等. 废旧锂离子电池正极材料有价金属的回收及高值化利用研究进展[J]. 能源环境保护, 2024, 38(6): 1-12.
MEI Yanrun, LIU Longmin, CHEN Ran, et al. Recent Advances on the recovery and high-value utilization of valuable metals from cathode materials of spent lithium batteries[J]. Energy Environmental Protection, 2024, 38(6): 1-12.
- [29] 陈小杰, 戴泽龙, 陈湘萍. 废旧锂离子电池正负极材料再生循环利用研究进展[J]. 中国材料进展, 2024, 43(6): 479-493+466.
CHEN Xiaojie, DAI Zelong, CHEN Xiangping. Progress on recycling of cathode and anode materials from spent lithium-ion batteries[J]. Materials China, 2024, 43(6): 479-493+466.
- [30] 龙立芬, 张西华, 姚沛帆, 等. 废锂离子电池石墨负极材料利用处理技术研究进展[J]. 储能科学与技术, 2022,

- 11(10): 3076–3089.
- LONG Lifan, ZHANG Xihua, YAO Peifan, et al. Research advances on the utilization and disposal of graphite anode materials from spent lithium-ion batteries[J]. Energy Storage Science and Technology, 2022, 11(10) : 3076–3089.
- [31] 黄晟, 杨振丽, 李振宇. 新能源汽车动力电池回收产业发展路径分析 [J/OL]. 化工进展: 1–20[2025-09-03]. <https://doi.org/10.16085/j.issn.1000-6613.2025-0648>.
- HUANG Sheng, YANG Zhenli, LI Zhenyu. Analysis of optimization path of developing China's new energy vehicles spent power batteries recycling industry[J/OL]. Chemical Industry and Engineering Progress: 1–20[2025-09-03]. <https://doi.org/10.16085/j.issn.1000-6613.2025-0648>.
- [32] 姜会敏. 锂电池回收过程中的污染治理与资源化利用技术研究 [J]. 中国资源综合利用, 2025, 43(5): 180–182+186.
- JIANG Huimin. Research on pollution control and resource utilization technologies in lithium battery recycling[J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2025, 43(5) : 180–182+186.
- [33] 肖曦, 田培根, 于璐, 等. 动力电池梯次利用储能系统电热安全研究现状及展望 [J]. 电气工程学报, 2022, 17(1): 206–224.
- XIAO Xi, TIAN Peigen, YU Lu, et al. Status and prospect of safety studies of cascade power battery energy storage system[J]. Journal of Electrical Engineering, 2022, 17(1): 206–224.