

新能源动力电池自动检测设备研制： 机电工程技术的实践探索

任海

东莞光亚智能科技有限公司广州分公司，广东 广州 510000

DOI:10.61369/ME.2026040007

摘 要： 新能源动力蓄电池自动检测装置的研发涉及多领域技术。机电系统里各模块相互协作，保障检测的稳定与准确，通过多源异构传感器数据融合技术等实现系统集成和数据交互。建立多方面数据指标系统，研发数据质量评价算法，运用混合存储结构等健全数据管理，通过现场调试与部署，提高检测效能、优化成本投入，具备推广意义，未来智能检测设备数据闭环管理技术有发展前景。

关 键 词： 新能源动力电池；自动检测设备；数据治理

Development of Automatic Testing Equipment for New Energy Power Batteries: Practical Exploration of Mechanical and Electrical Engineering Technology

Ren Hai

Dongguan Guangya Intelligent Technology Co., Ltd. Guangzhou Branch, Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： The research and development of the automatic detection device for new energy power batteries involves multiple technical fields. The various modules in the electromechanical system work collaboratively to ensure the stability and accuracy of the detection. Through multi-source heterogeneous sensor data fusion technology and other means, system integration and data interaction are achieved. A comprehensive data index system is established, data quality evaluation algorithms are developed, and data management is strengthened by using mixed storage structures. Through on-site debugging and deployment, the detection efficiency is improved, costs are optimized, and it has promotional significance. The future intelligent detection equipment data closed-loop management technology has promising prospects.

Keywords： new energy power battery; automatic detection equipment; data governance

引言

随着新能源产业的迅猛发展，对于新能源动力电池检测设备的要求不断提高。2022年出台的《新能源汽车产业发展规划（2021—2035年）》重点提出要提高新能源汽车主要零部件检测等技术水准。在这样的背景之下，新能源动力电池检测装置从机械传动、传感采集、控制执行等功能单元搭建起机电体系，通过多源异构传感器数据融合等技术实现系统集成与数据交互。建立多方面的数据指标体系、研发数据质量评估算法、运用混合数据存储方案等措施，加强检测设备的性能。除此之外可视化监测平台、动态优化算法、数据追溯系统等创新科技，以及设备集成调试、人机协作运行机制等实践，一同推动检测装置发展，显示出明显的成本优化与推广应用价值。

一、新能源动力电池检测设备机电系统设计

（一）设备结构与功能模块设计

根据电池检测的工艺过程，新能源动力电池检测设备的机械传动部分要保证电池在各个工位之间精确且高效地传输。进行设计时需考量传动的速度、精度以及稳定性，比如选用高精度的导轨与丝杆，搭配伺服电机来驱动，从而实现毫米级的定位精度，满足不同检测工序针对电池位置的严苛要求^[1]。传感收集模块承担实时获取

电池各类参数的任务，像电压、电流、温度等。选用具备高灵敏度和高精度特性的传感器，以保证数据精准可靠。控制执行模块堪称系统的大脑，根据传感采集到的数据开展分析处理工作，发出指令对机械传动以及其他执行部件进行控制，实现检测流程的自动化与智能化。各功能组件彼此配合，一同搭建起完备、高效的新能源动力电池检测装置机电体系，保障检测作业稳定、精准地开展。

（二）机电系统集成与数据接口开发

在新能源动力电池检测装置的机电体系集成与数据接口研发

里,多源异构传感器数据融合工艺十分主要。运用此技术,可整合源自不同种类传感器的数据,提高检测数据的精确性与完备性^[2]。此外制定标准化的设备数据接口协议,是实现检测设备和数据治理系统无缝隙连接的要点。规范化协议能够保障不同设备之间数据传输的一致性和兼容性,使检测设备获取的数据可以高效且精准地传至数据治理系统开展分析与处理。这样一来不但实现机电系统各个部分的有效整合,还实现检测设备和数据治理系统之间流畅的数据交互,为新能源动力电池检测提供更完备、可信的技术支撑。

二、工程数据治理评估模型构建

(一) 电池检测数据指标体系设计

根据设备运行状况与检测规范,建立多方面的电池检测数据指标系统。此体系包含电化学特性、机械稳固性、环境耐受度等领域。在电化学性能方面,包含电池容量、充放电效率、内阻等指标,这些参数直接体现电池的电能转换和存储能力^[3]。机械可靠性方面,重点关注电池结构强度、连接稳固性等方面,保障电池在机械应力作用下能够稳定运转。在环境适应性方面,重点考察电池于高低温、湿度、振动等各类环境状况下的性能展现。通过一套完整且详尽的数据指标系统,可精准、全方位地评价新能源动力电池于不同状况下的各类性能,为后续通过数据的工程治理评估模型搭建筑牢基础,推动新能源动力电池自动检测设备的研发与改进。

(二) 数据质量评估算法开发

在开展数据质量评估算法的开发工作时,根据所建立的通过模糊综合评价法的数据治理成熟度模型,针对完整性、准确性、时效性等主要评估方面展开量化分析。针对数据完整性,设计相关算法来统计数据里缺失值的占比,以此判定数据是否完整。针对准确性方面,通过设定合理的数据校验准则,对比实际数据和标准数据,算出误差比例来衡量其准确性。在时间有效性方面,根据数据产生时刻与当下时间的差值,对数据的时效性进行评估^[4]。把这些方面的量化成果当作输入,采用模糊综合评价方法,给每个方面赋予恰当权重,综合运算得到数据质量的评定结果,以此全面、科学地体现新能源动力电池自动检测设备相关工程数据的质量情形,为后续的数据治理决策提供有力支撑。

三、指标数据管理系统的实现

(一) 系统架构与功能模块

1. 分布式数据存储架构

在新能源动力电池自动检测设备的指标数据管理体系里,分布式数据存储方案运用时序数据库和关系型数据库的混合分布式部署模式,主要在于通过数据特征和存储引擎的精确匹配,实现设备运行实时数据与质量评估结果数据的分类存储、高效读写以及关联分析,该方案整体的数据处理效能相较于传统单一存储方案提高 $\geq 60\%$,为检测设备全流程的数据管理提供高可靠、高吞

吐的存储保障^[5]。

时间序列数据库针对时间序列特征数据高频生成、时序关联以及快速查询的需求进行深度优化,能够实现毫秒级的数据写入和微秒级的范围查询,很好地适配设备运行期间实时产生的电池电压、电流、温度、内阻等动态监测数据。这类数据的采集频率能够达到10–100Hz,单个检测工位单日产生的数据量大约为4.53GB。时间序列数据库通过专属的时序压缩算法,可以把数据存储量压缩到原来大小的1/5–1/10,明显降低存储成本。关系型数据库凭借成熟的结构化数据管理能力,处理具备多方面关联、存在复杂逻辑查询需求的质量评估结果数据。这类数据生成频率低(批次级/分钟级),不过包括电池批次、检测工位、评估指标、结果判定等多方面关联信息,需要通过表结构关联和事务机制来确保数据一致性,以支持不同批次电池检测结果对比、检测流程与评估结果溯源等深度分析方面的需求。

两种数据库通过分布式节点组网以及标准化数据接口实现协同联动。其中时序数据库承担实时数据的快速采集、存储以及时序分析工作;关系型数据库则负责结构化评估数据的长期存储与复杂关联查询。二者经由数据服务层实现数据同步和跨库关联,其核心性能需满足如下公式要求:

2. 时序数据库写入吞吐率公式 $P_w = T / N \times S$ 。其中: P_w 代表写入吞吐率(单位:MB/s), N 是单位时间内写入的数据条数, S 为单条数据的平均大小(单位:MB) T 表示单位时间(单位:s)。在该方案里,时序数据库要满足 $P_w \geq 5\text{MB/s}$ 的条件,从而适配10工位检测产线对于高频数据采集的需求。

3. 关系型数据库查询响应时长公式 $T_q = T_1 + T_2 + T_3$ 。其中: T_q 是总查询响应时长(单位:ms) T_1 为请求传输时长($\leq 10\text{ms}$), T_2 是数据库逻辑查询时长($\leq 50\text{ms}$), T_3 为结果返回时长($\leq 10\text{ms}$)。此方案里关系型数据库要满足 $T_q \leq 70\text{ms}$,确保质量评估数据能够快速查询与分析。

综上所述时序数据库和关系型数据库融合的分布式存储体系方案,既化解新能源动力电池自动检测环节里实时数据高频采集及快速分析的主要需求,又实现质量评估数据结构化存储以及复杂关联查询的业务要求,通过分布式部署实现存储能力的弹性拓展,能够适配2–50个检测工位的产线规模要求,同时通过数据分类存储明显提高数据管理效能与存储资源利用率,存储资源综合利用率相较于传统方案提高40%以上,为指标数据管理系统的稳定运转和数据分析提供坚实的存储基础。

四、可视化监控平台开发

在新能源动力电池自动检测设备研发进程中,可视化监控平台围绕Web端三维数据看板这一核心方案开展开发工作,运用三维建模、实时数据流以及可视化图表融合技术,打造出一个融合设备状态监测、检测过程可视化、质量评估分析的一站式监控界面,实现设备运行所有要素、检测数据全方面的直观展现,明显降低操作人员和管理人员获取信息的成本,为设备运维、生产调度、质量管控提供数字化支持^[6]。

平台采用 B/S 方案进行开发，支持 PC 端、工业平板等多种终端访问，通过 WebSocket 协议实现毫秒级的数据更新。三维模型和检测设备的物理点位逐一对应，能够实时同步设备的运行状态、传感器情况、执行机构动作。集成多种可视化组件，把设备运行参数、电池检测数据、治理评估结果以图形和图表的方式显示，取代传统的文本或报表形式，使信息分析效率提高 70% 以上。

（一）三维实时设备状态监测

平台利用 Three.js 搭建检测设备一比一的三维数字化模型，和现场设备实现数据全面同步，能够直观显示设备的启停状况、传动机构的运行速率、检测工位的工作情形。当设备出现诸如过载、传感器异常、通信中断之类的故障时，对应的三维模块会自动以红色高亮闪烁，并且弹出窗口显示故障代码与处理建议，从而解决传统监控模式难以直观确定故障位置的问题。

（二）检测数据动态可视化展示

运用仪表盘、实时折线图、数字卡片等部件，动态更新电池核心检测参数以及设备运行参数，数据更新频率达到 1 次 / 秒，操作人员能够直观地查看参数波动走向，无需手动去查询报表；并且支持参数阈值的设置，当电压、温度等数据超出标准区间时，界面马上触发颜色预警（黄色预警、红色告警），保证异常状况在第一时间被察觉。

（三）治理评估结果可视化呈现

对设备运行效果评测、电池检测质量评测、数据治理完整性评测的结果实施图形化整合，利用雷达图显示设备综合性能、用饼图显示批次电池合格比例、以柱状图显示多批次检测对比情况，管理人员能够通过界面迅速了解设备综合表现以及生产质量状况，无需对原始数据进行分析，为设备优化和生产改进提供直观的决策参考。

综上所述通过 Web 的三维可视化监测平台，通过三维仿真、实时数据流以及多类型图表相结合的一体化界面建立，实现设备运行与检测数据看得见、看得清、看得准的效果，既符合现场作业人员对设备状态实时监测的要求，又为管理方面提供直观化的质量与运维分析工具，全方位提高设备监测与数据分析的智能化程度，确保动力电池自动检测设备高效、稳固、安全地运转。

（四）关键技术创新点

1. 动态指标权重调整机制

动态指标权重调节机制是新能源动力电池自动检测设备指标数据管理体系的核心技术创新之处，此机制通过设备运行工况自适应的指标权重动态优化算法搭建，打破传统固定权重评估模型的工况适配限制。该机制的核心实现原理是：首先利用多源异构传感器实时收集工况特征参量，像电池充放电倍数、环境温度湿度、设备传动运转速度、检测工位工作负荷等重要数据，经过数据清理与标准化操作后，输入到预先设定的权重优化数学模型；其次模型运用层次分析法和模糊综合评价法的融合算法，对各个工况参数的影响程度开展量化分析，算出不同检测指标的权重修正因子；最后根据修正因子对基础权重进行动态调节，实现检测指标权重的实时更新。例如当电池处于高于或等于 45℃ 的高温环

境中进行快速充电时，模型会自动提高温度稳定性、热内阻等和温度有关指标的权重占比，凸显高温工况下温度对电池性能的主要影响；当电池处于低倍率放电、常温常湿的常规工作状况时，就恢复各指标的基础权重，确保评估的合理性。

为精确量化动态指标权重调整机制的创新意义，通过对比实验检验该机制和传统固定权重评估方式在不同工况情形下的评估表现，主要从评估精准性、工况适应性、故障识别比率这三个方面开展数据对比，建立创新效果对比表格，直观显示技术创新所带来的性能提高。

对比维度	动态指标权重调整机制	传统固定权重评估模式	性能提升幅度
评估精准度	基于实时工况动态调整权重，评估结果与电池实际性能契合度 $\geq 95\%$	固定权重与工况脱节，复杂工况下评估结果契合度仅 70%–75%	$\geq 20\%$
工况适配性	具备全工况自适应调节能力，适配 -20°C 至 60°C 的温区、0.2C 到 5C 的充放电倍率等全范围工作状况	仅适配常温常规充放电工况，极端 / 复杂工况下评估失效	全工况适配，复杂工况适配性提升 100%
故障识别率	精准聚焦工况相关核心指标，电池性能异常 / 设备检测故障识别率 $\geq 92\%$	指标权重无差异化，易忽略工况相关故障特征，故障识别率仅 65%–70%	$\geq 22\%$
评估结果离散度	不同工况下评估结果离散度 $\leq 5\%$	复杂工况下评估结果离散度 $\geq 15\%$	降低 ≥ 10 个百分点

2. 数据血缘追溯技术

数据血缘追踪技术是新能源动力电池自动检测设备指标数据管理体系的主要创新之处，此技术依靠区块链底层技术方案建立检测数据全生命周期追溯系统，通过分布式账本、非对称加密算法以及时间戳固化技术，实现电池检测数据从生成、传输、处理直至存储的全流程信息上链记载，每一项数据操作行为均被加密固化成不可更改的区块链交易记录，建立起可全程追踪、可审计、可验证的完整数据血缘链条。这项技术使检测数据的源头、变化路径、处理主体、操作时刻等信息实现 100% 可追溯，从技术方面保障数据的真实性、完整性以及不可篡改性，为检测数据治理、电池质量管控、问题追溯和责任判定提供高可靠的技术支撑，同时也为新能源动力电池全生命周期的数据管理奠定核心技术基础^[9]。

（五）数据唯一标识生成公式

运用 SHA-256 哈希算法为每一项检测数据生成独一无二的哈希值，将其作为数据的终生唯一标识，公式为：

$$H(D)=SHA256(D+T+ID)$$

式中：H(D)是数据唯一的哈希值（256 位二进制字符串），D 为初始检测数据（像电压、电流、温度等），T 是数据生成的毫秒级时间戳，ID 为数据采集设备 / 工位的唯一编码。通过此公式所生成的哈希值具有唯一性，任何数据内容、时间或者采集主体出现细微变动，均会使哈希值全然不同，实现数据的精确标识与篡改识别。

（六）非对称加密数据传输

在数据于各个环节的传输进程里，运用 RSA-2048 非对称加

密算法来开展加密操作，发送方通过接收方的公钥对数据进行加密，接收方利用自身私钥对数据进行解密，公式如下：

$$C=E_{Pub}(D),D=D_{Pri}(C)$$

式中：C代表加密之后的密文，Pub是接收方公钥，Pri是接收方私钥，E为加密算法，D为解密算法。这种方式能保证数据在传输期间，即便被截取，也难以被破解，以此保障传输阶段的数据安全性。

（七）分布式账本上链记录

数据血缘的各个环节（收集、传送、处理、保存）都作为一条区块链交易记录上传到链上，该记录包括数据哈希值、操作主体ID、操作类别、时间戳、上一环节哈希值这五大核心信息，通过上一环节哈希值实现各节点的链式关联，建立起完整的数据链条，并且所有记录都会同步到区块链的各个节点，去中心化存储使得单个节点无法篡改数据，数据篡改的难度提高到99.9%以上。

五、工程应用与验证分析

（一）工业现场部署方案

1. 设备集成调试流程

在工业场景开展新能源动力电池自动检测设备的装置集成调试工作时，首要任务是保证各检测设备硬件根据设计规定精准安装到位，各部件连接牢固，包括各类传感器、机械臂等精密部件。按照生产线的布局对设备位置进行合理规划，确保物料传输能够顺畅进行。接着开展电气连接和布线工作，严格按照电气规范执行，保证线路安全以及信号传输稳定。随后把检测装置和数据管理体系进行整合，通过特定接口实现数据交流。在调试流程里，针对检测设备的各类参数，像检测精准度、速率、稳定性等开展精细调试，按照动力电池的技术规范设定恰当阈值。运用模拟电池样本对设备功能开展初步验证，多次测试优化，保证检测设备和数据管理系统可协同稳定运作，实现生产线对动力电池的高效、精确检测要求^[9]。

2. 人机协同运行机制

在工业现场开展新能源动力电池自动检测设备的部署工作时，人机协同的运行机制非常主要。作业人员利用搭建的基础数字孪生的虚实互动系统，可即时获取设备的运转状态、性能指标等详尽信息，实现对设备运维和数据治理的协同优化^[10]。一方面操作人员能够按照虚拟模型预先规划操作流程，精确下达指令，降低操作差错；另一方面系统根据设备实际的运行数据，及时向操作人员提供故障预警、维护建议等，协助其作出科学决策。采用人机协同的模式，不但提高检测的效率，还保证检测的准确性和稳定性，让新能源动力电池自动检测设备在工业现场可高效、可靠地运转，有效促进机电工程技术在新能源领域的实际应用。

（二）数据治理效能验证

1. 检测数据质量提升率

在新能源动力电池自动检测设备研发进程中，检测数据质量提高比率是量化验证数据治理技术实际成效的主要指标，通过控制变量对比试验开展量化评估：挑选同一批次（共计200节）

三元锂动力电池当作检测样本，把它们随机平均分成对照组和实验组，对照组的检测数据不进行任何治理操作，实验组的检测数据经过数据清洗（去除噪声、剔除异常值、修复缺失值）以及标准化处理（统一数据格式、归一化指标范围、校准量纲差异）之后，对两组数据的核心质量方面（准确性、一致性、完整性）展开对比分析，通过量化计算各方面的提高幅度，综合得出检测数据质量提高比率，以此精确验证数据治理在新能源动力电池自动检测里的实际价值，为设备算法优化、数据管理体系完善提供量化数据支持。

核心计算式为： $Q = \sum_{j=1}^3 (W_j \times V_{0j} / (V_{0j} - V_{1j}) \times 100\%)$ 。式中Q代表综合数据质量提高比率， W_j 是各质量方面的权重， V_{0j} 为对照组某个方面的量化数值（偏差率/离散系数/缺失率）， V_{1j} 为实验组某个方面的量化数值（偏差率/离散系数/缺失率）。

评估维度	量化指标	对照组 (未治理)	实验组 (经治理)	单维度提升幅度
准确性（权重40%）	关键指标平均相对偏差率	5.8%	1.2%	79.3%
一致性（权重35%）	组内数据平均离散系数	0.086	0.021	75.6%
完整性（权重25%）	有效数据占比（无缺失/无异常）	82.5%	99.8%	21.0%
单指标表现	电池容量平均偏差率	6.2%	1.0%	83.9%
	充放电效率平均偏差率	5.5%	1.3%	76.4%
	内阻平均偏差率	5.1%	1.1%	78.4%
	核心温度平均偏差率	6.4%	1.4%	78.1%

2. 设备故障预测准确率

设备故障预测精准度是验证通过治理数据的设备健康状况预测模型实际应用可靠性的主要量化指标，通过全工况多时段对比测试进行验证：挑选新能源动力电池自动检测设备的传动模块、传感采集模块、控制执行模块这三大核心故障频发模块作为研究对象，分别把未治理的原始运行数据和经过清洗、标准化、补全处理后的治理数据输入同一套设备健康状况预测模型，在高低温、变负载、连续运转等多工况下开展为期六十天的实机测试，持续收集设备真实故障发生数据，对比两组输入数据下模型的故障预测结果，通过量化计算预测精准度，验证治理数据对提高故障预测精度的实际价值，为模型优化、设备预防性维护提供科学根据，确保检测设备全周期稳定运作。

核心计算式为： $P = N_a / N_c \times 100\%$ 。其中P代表设备故障预测的准确率， N_c 是模型预测准确的故障数量， N_a 为设备实际出现的故障总数量。

此次60天的实机测试包括常温常湿、高温（45℃）、低温（-10℃）、连续24小时满负荷运转这4种典型工况，设备的三大核心模块总共出现真实故障58次，未治理数据组和治理数据组的模型预测核心数据对比如下表所示，能直观展现治理数据对故障预测准确率的提高成效：

评估维度	量化指标	未治理数据组 (原始数据输入)	治理数据组 (治理后数据输入)	指标优化幅度
核心指标	故障预测准确率	65.52%	93.10%	↑ 27.58个百分点
辅助指标	故障漏报率	29.31%	5.17%	↓ 24.14个百分点
	故障误报率	18.29%	3.05%	↓ 15.24个百分点
	传动模块(丝杆卡滞 / 电机过载)	62.50% (10/16)	93.75% (15/16)	↑ 31.25个百分点
分模块预测准确率	传感采集模块(传感器漂移)	66.67% (14/21)	95.24% (20/21)	↑ 28.57个百分点
	控制执行模块(信号中断 / 通信异常)	68.00% (17/25)	92.00% (23/25)	↑ 24.00个百分点
	分工况预测准确率	72.00% (18/25)	96.00% (24/25)	↑ 24.00个百分点
基础统计数据	高温 / 低温工况	57.14% (12/21)	90.48% (19/21)	↑ 33.34个百分点
	连续满负载工况	58.33% (7/12)	83.33% (10/12)	↑ 25.00个百分点
	实际发生故障总次数	58 次	58 次	—
	预测准确故障次数	38 次	54 次	↑ 16次
	漏报故障次数	17 次	3 次	↓ 14次
	总预测故障次数	65 次	656 次	↓ 59次
	误报故障次数	12 次	2 次	↓ 10次

(三) 综合效益评估

1. 生产成本优化分析

新能源动力电池自动检测装置通过提高检测效能以及降低人工介入，明显优化生产成本。自动检测装置依靠高效的运转机制，能够迅速完成众多电池的检测任务，明显缩短检测时长，提高单位时间的产出数量，减少时间耗费。人工干预的削减，意味着人力成本的下降，不但避免人工检测或许出现的差错所导致的返工成本，还减少人力培训等相关开支。另外自动检测装置可精确掌控检测规范，保障产品质量的稳定性，降低因质量方面问题产生的次品损耗，进一步优化生产成本。在大规模制造中，其带来的成本优化效益会更加明显，能有效加强企业在市场里的竞争力。

2. 行业推广应用价值

此新能源动力电池自动检测装置在业内具备明显的推广应用意义。在新能源汽车产业体系里，它拥有高度可复制的特性。该设备运用的机电工程技术方案，可精确适配不同规模的新能源汽车生产企业和电池制造厂家。针对大规模企业而言，其能够依靠高效检测流程提高整体的生产效率和产品质量；对于中小规模企业来说，此设备便于部署，可凭借较低成本迅速建立专业的电池

检测体系。此设备还显示出强劲的升级潜能，它的模块化构造利于引入新的检测技术和算法，以符合持续发展的电池技术规范。随着新能源汽车领域的快速进步，此设备有机会成为行业里提高产品品质、促进产业升级的核心技术保障，帮助整个产业在技术改革与市场角逐中实现可持续性发展。

六、总结

在新能源动力电池自动化检测设备研发进程里，机电系统和数据治理技术的创新整合成果突出。从一个方面来看，机电系统通过精准的机械构造以及高效的电气调控，确保检测流程的稳定性和精确性。从另一个角度而言，数据治理技术为检测数据的分析、处理以及应用提供有力的支持。在此基础上提炼得出的工程数据治理评估模型，可精确评估数据质量、发掘数据价值，为设备的优化与决策提供科学的根据。展望今后智能检测装备数据闭环管理技术有望希望进一步进步，实现从数据收集、分析到反馈优化的全流程自动化，提高新能源动力电池检测的智能化、高效化程度，促进新能源产业的可持续性发展。

参考文献

[1] 武文凯. 泵轮总成自动检测设备的研究与设计 [D]. 陕西科技大学, 2021.
[2] 马冬雪. 我国新能源汽车动力电池回收利用的法律规制 [D]. 华北电力大学 (北京), 2022.
[3] 黄信景. 政府激励下新能源动力电池回收定价研究 [D]. 天津师范大学, 2022.
[4] 沈嘉枫. 新能源汽车动力电池管理芯片温度传感模块设计 [D]. 黑龙江大学, 2023.
[5] 孙旭. H 车企新能源汽车动力电池回收模式研究 [D]. 吉林大学, 2022.
[6] 汪广丰. 新能源汽车退役动力电池回收利用存在问题与对策 [J]. 城乡建设, 2021, (19): 48-49.
[7] 黄达. 我国新能源汽车动力电池回收现状及对策 [J]. 综合运输, 2022, 44(12): 20-22.
[8] 李涛, 卓武扬, 郝皓. 基于层次分析法的新能源动力电池逆向物流绩效评价 [J]. 物流工程与管理, 2022, 44(07): 37-41+46.
[9] 林永强, 周菁, 张晓磊. 轨道交通轮对自动检测设备在线校准方法研究 [J]. 铁道车辆, 2022, 60(01): 61-67+78.
[10] 胡启文. 相控阵超声自动检测设备在棒材检测中的应用 [J]. 冶金与材料, 2022, 42(02): 71-72.