

新能源汽车动力电池系统技术发展趋势探究

王 勇

湖州耀宁固态电池研究院有限公司宁波分公司 浙江 宁波 315336

摘要：新能源汽车产业蓬勃发展，动力电池技术至关重要。材料体系围绕正负极等核心组件多向突破，为产业发展拓宽空间。系统集成技术优化有无模组化、轻量化与模块化协同、热管理系统升级等方向。智能管理系统（BMS）朝高精度估算预测、智能化与网联化融合、无线化与集成化架构演进。回收利用与梯次利用技术中，高效拆解与分选、高价值材料再生技术升级、梯次利用价值最大化是关键，共同推动动力电池技术进步与产业可持续发展。

关键词：新能源汽车；动力电池系统；技术趋势

引言：在新能源汽车产业高速发展的浪潮中，动力电池技术成为关键支撑，其发展态势备受瞩目。从材料体系革新来看，正极、负极等核心组件正突破传统，探索多元技术路径以提升性能。系统集成技术不断优化，无模组化、轻量化等方向助力电池效能提升。智能管理系统（BMS）朝着高精度、智能化、无线化等趋势演进。同时，动力电池回收利用与梯次利用也至关重要，高效拆解、高价值材料再生及梯次利用价值最大化等技术趋势，正推动产业实现资源循环与可持续发展，共同勾勒出动力电池技术发展的宏伟蓝图。

1 动力电池材料体系革新趋势

在新能源汽车产业蓬勃兴起、迅猛发展的当下，动力电池作为新能源汽车的核心部件，其性能优劣直接关乎整车的续航里程、安全保障以及使用寿命等关键指标。（1）而动力电池的核心性能，从根源上讲是由材料体系所决定的。因此，材料革新成为提升电池能量密度、增强安全性与延长循环寿命的根本路径，也是当前动力电池技术发展的关键核心所在。目前，动力电池材料体系的发展正围绕正极、负极、电解质及隔膜等核心组件，展开多维度、全方位的技术突破，形成了多元化、多层次的技术探索格局。（2）在正极材料领域，传统的钴酸锂、锰酸锂正逐渐被性能更为卓越的三元材料和磷酸铁锂所取代。与此同时，高镍三元材料、富锂锰基材料等新型正极材料也在紧锣密鼓地研发与持续优化之中。这些新型正极材料凭借其独特的化学结构与物理特性，有望进一步提高电池的能量密度，为新能源汽车提供更强劲的动力支持。（3）负极材料方面，石墨负极虽仍是当下的主流选择，但硅基负极因其具有极高的理论比容量而备受科研人员和产业界的关注。不过，硅基负极在充放电过程中存在严重的体积膨胀问题，科研人员正通过纳米化、复合化等先进手段对其进行改良，以

克服这一难题，推动硅基负极实现大规模应用。（4）电解质领域，液态电解质在安全性和能量密度提升方面遭遇瓶颈，固态电解质则凭借其高安全性和高能量密度潜力成为研究热点，有望为动力电池带来新的突破。隔膜材料也在不断进化，朝着更薄、更安全、更高孔隙率的方向发展，以提升电池的整体性能。这些材料体系的多方向突破，将为新能源汽车动力电池开辟更为广阔的发展空间，推动新能源汽车产业迈向新的发展阶段^[1]。

2 动力电池系统集成技术优化方向

2.1 无模组化与一体化集成

无模组化技术作为动力电池系统集成的重要革新方向，其核心在于打破传统电池模组结构模式，将电芯直接集成至电池包内。这一改变显著减少了模组外壳、固定件等非核心部件的使用，从而有效减轻电池包整体重量，大幅提升能量密度，同时提高了空间利用率，为电池容纳更多电芯、储存更多能量创造了条件。在此基础上，一体化集成技术更进一步，推动电池包与车身结构深度融合设计。如此一来，电池包不再仅仅是能量存储单元，还兼具车身承载功能，实现了功能的多元化拓展。这不仅有助于进一步降低整车重量，还能优化车身受力分布，增强车辆行驶稳定性。当前，该方向的发展重点聚焦于电芯排列优化、结构强度精准设计以及装配工艺革新，旨在攻克无模组状态下电芯一致性管控、散热均匀性保障以及碰撞安全防护等关键难题，推动动力电池系统集成技术迈向新高度^[2]。

2.2 轻量化与模块化协同设计

轻量化设计对于提升新能源汽车的续航里程与能效起着至关重要的作用，在动力电池系统集成环节，轻量化设计主要聚焦于材料选择与结构优化两大关键维度。在材料选用上，高强度铝合金、碳纤维复合材料等轻质材料正逐步取代传统钢材，广泛应用于电池包外壳、横

梁等结构件。这些轻质材料的应用,有效减轻了非电芯部分的重量,为提升电池整体能量密度创造了有利条件。在结构设计方面,借助拓扑优化、一体化压铸等先进工艺,能够显著减少零件数量,简化结构复杂程度,同时增强结构强度,确保电池系统在轻量化同时具备可靠的安全性。值得注意的是,模块化设计理念并未因轻量化趋势而被摒弃,而是与轻量化设计实现了深度协同。通过采用标准化接口与可扩展结构,模块化设计能够灵活适配不同车型,既满足了规模化生产对效率的追求,又能兼顾市场多样化的个性化应用需求。

2.3 高效热管理系统升级

热管理系统作为保障动力电池安全稳定运行的核心子系统,其性能优劣对电池的循环寿命、充放电效率以及安全性能有着直接且关键的影响。当前,热管理系统正朝着高效散热、精准控温与能量回收三大方向加速升级。(1)在散热技术层面,液冷系统因其高效稳定的散热能力,已成为主流发展方向。其中,分布式液冷、微通道散热等创新技术,通过精心优化散热路径,极大地提升了散热的均匀性,有效避免了局部过热问题。相变材料则凭借其被动散热、环保轻便的独特优势,成为主动散热系统的重要补充。它能够通过储能与释能过程,实现对温度的有效缓冲,进一步增强系统的散热稳定性。(2)在控温精度方面,智能温控算法的广泛应用,使热管理系统能够依据电池的实际工况,动态调整控温策略,实现对不同区域的精准温度控制。此外,热管理系统与整车热管理的融合趋势愈发显著,通过高效的余热回收利用,显著提升了整车的能量利用效率。

3 动力电池智能管理系统(BMS)发展趋势

3.1 高精度状态估算与预测

在动力电池智能管理系统(BMS)中,状态估算的精确度堪称核心技术指标,直接关系到电池的使用效能与安全保障。当前,BMS的状态估算正朝着融合多算法的创新方向大步迈进。通过将电化学模型与机器学习算法有机结合,充分发挥电化学模型对电池内部反应机理的精准描述优势,以及机器学习算法强大的数据处理与模式识别能力,从而显著提升电池剩余电量(SOC)、健康状态(SOH)、安全状态(SOE)等关键参数的估算精度,将估算误差逐步压缩至更低水平,为电池的合理使用提供可靠依据。与此同时,基于大数据分析的预测性能力成为BMS发展的重点方向。借助先进的数据采集与存储技术,对电池全生命周期内的海量数据进行深度挖掘与分析,能够精准预判电池的衰减趋势以及潜在故障风险。这种提前预判能力,为电池的及时维护与科学

管理提供了有力支撑,有助于延长电池的使用寿命,降低使用成本,提升新能源汽车的整体性能与可靠性。

3.2 智能化与网联化融合

智能化与网联化的深度融合已成为动力电池智能管理系统(BMS)的关键发展方向,引领着BMS技术不断革新升级。(1)从智能化层面来看,随着芯片技术的飞速发展,BMS的算力得到持续且显著的提升。这使得它能够以极高的效率实时处理海量的电池工况数据,进而实现诸如动态均衡控制、充放电策略优化等复杂且精细的功能。动态均衡控制可有效避免电池组内各单体电池的不一性加剧,延长电池组整体使用寿命;充放电策略优化则能根据电池实时状态和车辆行驶需求,精准调整充放电参数,提升电池使用效能。(2)在网联化方面,BMS与整车控制器、云端平台的协同联动愈发紧密,逐步构建起“车-云-电池”一体化管理体系。借助云端平台强大的大数据分析能力和先进的算法迭代机制,可远程更新BMS控制策略,实现对电池状态的实时监控与全局优化,及时排查潜在安全隐患,显著提升电池系统的整体性能与可靠性,为新能源汽车的安全稳定运行提供坚实保障^[3]。

3.3 无线化与集成化架构演进

在动力电池智能管理系统(BMS)的发展进程中,无线化与集成化架构演进正成为两大关键趋势,推动着BMS技术不断革新。(1)无线BMS技术正从理论概念逐步迈向实际应用阶段。它通过摒弃传统的有线连接方式,对电池包内部结构进行了大幅简化。这一改变不仅显著降低了线束重量,减少了其在电池包内的占用空间,还极大提升了系统的灵活性。在后期维护时,无需再为复杂的线束排查故障,维护便利性得到质的飞跃。可以预见,在未来几年内,无线BMS的渗透率将稳步提升,成为高端动力电池系统不可或缺的重要配置。(2)BMS与电池包、整车电子电气架构的深度集成趋势也日益凸显。通过一体化设计理念,减少系统中的部件数量,提高系统集成效率。这种深度集成能够实现功能与结构的协同优化,使BMS更好地与电池包及整车系统融合,提升整体性能,为新能源汽车的高效、稳定运行提供更为坚实的保障。

4 动力电池回收利用与梯次利用技术趋势

4.1 高效拆解与自动化分选技术

在动力电池回收利用与梯次利用的产业进程中,高效拆解与自动化分选技术是关键环节,其发展趋势紧密围绕自动化、精细化与低成本化展开。(1)拆解技术方面,研发专用拆解设备与工艺是核心任务。这些专用设

备能够针对电池包、模组、电芯的不同结构特点，实现精准、高效分离。在拆解过程中，通过优化工艺流程，可有效减少材料损耗，避免因不当操作导致的贵金属等有价值成分流失。同时，还能降低安全风险，防止因电池短路、电解液泄漏等引发的安全事故。（2）自动化分选技术的应用也在不断深化。借助光谱分析、电化学检测等先进技术手段，能够快速且精准地评估废旧电池电芯的性能。依据性能评估结果，可将电芯合理分流至梯次利用或材料再生环节，为后续的回收利用流程提供科学依据，从而提升整个回收利用体系的效率与经济效益，推动动力电池回收产业向规模化、规范化方向发展。

4.2 高价值材料再生技术升级

在动力电池回收利用与梯次利用领域，高价值材料再生技术升级是推动资源循环利用、实现产业可持续发展的关键所在。（1）其核心目标在于显著提升贵金属与关键材料的回收率，有效降低再生成本，达成资源的高效循环利用。（2）材料再生技术正经历着从传统向高效环保的深刻变革。传统的火法冶金、湿法冶金方法虽有一定应用，但存在能耗高、污染大等问题。如今，科研人员通过研发新型萃取剂，能够更有针对性地分离和提取目标金属，同时优化反应工艺，不仅提升了再生材料的纯度与性能，使其更接近原材料品质，还大幅降低了能耗与污染物排放，减轻了对环境的压力。（3）直接再生技术的探索也取得了令人瞩目的进展。该技术能够更精准地修复电池材料的晶体结构，恢复其原有性能，从而缩短了再生流程，减少了中间环节的损耗，进一步降低了成本，为动力电池材料再生产业的高质量发展提供了有力支撑。

4.3 梯次利用价值最大化

在动力电池回收利用与梯次利用的产业格局中，实现梯次利用价值最大化是核心目标与发展关键。其技术发展的重点聚焦于精准评估废旧电池的剩余价值，并为其匹配最为适宜的应用场景。（1）为实现这一目标，

需构建标准化的梯次利用评估体系。借助大数据与人工智能技术的强大能力，对废旧电池进行全面且精准的分析，准确判断其剩余寿命与性能极限。依据评估结果，将电池合理应用于储能、低速电动车、通信基站备用电源等不同场景，让每一块电池都能在其能力范围内发挥最大效能。（2）梯次利用电池的管理技术也在持续完善。通过配备专用的BMS系统，能够实时对梯次电池的状态进行监测，及时发现潜在的安全隐患，并实施有效的安全管控措施。这不仅提升了梯次利用系统的可靠性，更保障了其安全性，为梯次利用产业的规模化、规范化发展奠定了坚实基础^[4]。

结束语

新能源汽车产业蓬勃发展，动力电池作为核心部件，其材料体系革新、系统集成优化、智能管理系统升级以及回收利用与梯次利用技术的进步，均是推动产业前行的关键力量。材料革新为电池性能提升筑牢根基；系统集成优化让电池在整车中发挥更大效能；智能管理系统保障电池安全高效运行；回收利用与梯次利用则实现资源循环与价值再挖掘。未来，随着这些技术的持续突破与创新，动力电池将在能量密度、安全性、循环寿命等方面取得更大进展，助力新能源汽车产业迈向更高质量、更可持续发展新征程，为全球绿色交通转型贡献重要力量。

参考文献

- [1]王丽.新能源汽车动力电池常见故障及维修方法探讨[J].汽车维修与保养, 2023(07):33-36.
- [2]张峰.动力电池回收与梯次利用的发展趋势[J].新能源汽车技术, 2024(03):55-59.
- [3]吴子怡,肖华炜.浅析新能源汽车动力电池的维护与保养技术[J].大众汽车.2024(03):0085-0087
- [4]杨金玉,潘志勇,李昂.新能源汽车动力电池的维护与保养探析[J].时代汽车.2024(12):125-127