

新能源汽车电池管理系统（BMS）的关键技术与性能优化

张树富

广州科技职业技术大学，广东 广州 510550

DOI:10.61369/ETQM.2025080024

摘 要： 本文围绕新能源汽车 BMS 展开，阐述电池状态估计技术包括 SOC、SOH 和 SOP 估算方法及问题，介绍均衡技术、车云协同通信、远程监控与 OTA 升级等内容，还涉及智能驾驶场景下的优化及智能制造与数智化融合的相关技术，强调多技术融合创新等发展方向。

关 键 词： 新能源汽车 BMS；电池状态估计；数智化融合

Key Technologies and Performance Optimization of Battery Management System (BMS) for New Energy Vehicles

Zhang Shufu

Guangzhou Polytechnic University of Science and Technology, Guangzhou, Guangdong 510550

Abstract： This article focuses on the BMS of new energy vehicles, elaborating on battery state estimation technologies including SOC, SOH, and SOP estimation methods and issues. It also introduces equalization technology, vehicle-cloud collaborative communication, remote monitoring, and OTA upgrades, etc. Additionally, it covers optimization in intelligent driving scenarios and related technologies for the integration of intelligent manufacturing and digitalization, emphasizing development directions such as multi-technology integration and innovation.

Keywords： new energy vehicle BMS; battery state estimation; digital and intelligent integration

引言

随着新能源汽车产业的快速发展，电池管理系统（BMS）的重要性日益凸显。2020年发布的《新能源汽车产业发展规划（2021 – 2035年）》强调了提升新能源汽车关键技术水平的重要性，其中 BMS 作为关键技术之一受到广泛关注。BMS 涉及电池状态估计、均衡管理、车云协同通信、远程监控与升级等多个方面。在电池状态估计中，SOC、SOH 和 SOP 等参数的精确估算至关重要；均衡管理包括主动均衡和被动均衡技术的协同优化；车云协同通信需建立统一的数据交互标准并保障信息安全；远程监控与升级借助 5G – V2X 等技术实现对电池的实时监测和软件更新。同时，在智能驾驶场景和智能制造与数智化技术融合背景下，BMS 在性能优化、安全保障、模块化设计以及生产过程中的关键技术应用等方面都面临着新的挑战和机遇。

一、BMS 核心关键技术分析

（一）电池状态估计技术

电池状态估计技术主要涉及 SOC（荷电状态）、SOH（健康状态）和 SOP（功率状态）等参数的估算。SOC 估算对于准确掌握电池剩余电量至关重要，常用的算法包括安时积分法、开路电压法及其融合算法等^[1]。安时积分法通过对电池充放电电流的积分来计算 SOC，但存在累积误差问题。开路电压法在电池静置足够长时间后，根据开路电压与 SOC 的对应关系来估算，但实际应用中电池很难达到理想静置条件。因此，融合多种方法可提高 SOC 估算精度。SOH 估算主要反映电池的老化程度，可通过分

析电池内阻、容量衰减等参数来实现。SOP 估算则对于电池的功率输出能力评估具有重要意义，其需要考虑电池的当前状态以及温度、老化等因素的影响，以确保电池在安全范围内提供合适的功率。

（二）动态均衡管理系统

主动均衡与被动均衡是动态均衡管理系统中的关键技术。主动均衡技术通过能量转移实现电池单体间的均衡，可有效提高电池组的整体性能和使用寿命，但成本相对较高且电路复杂^[2]。被动均衡技术则是通过电阻消耗多余能量来达到均衡目的，其结构简单、成本低，但能量浪费问题较为突出。在整车能量管理中，需协同优化这两种技术。例如，在电池组充电初期，可优先采用

被动均衡技术，快速处理电压过高的单体电池；在充电后期及放电过程中，结合主动均衡技术，进一步优化电池组的一致性，提高能量利用效率，从而提升新能源汽车的整体性能。

二、智能网联环境下的 BMS 通信架构

（一）车云协同通信机制

在智能网联环境下，车云协同通信机制对于 BMS 至关重要。基于 CAN/LIN/以太网多协议融合架构，需建立统一的数据交互标准。不同协议有其自身特点，CAN 总线常用于实时性要求高的控制信息传输，LIN 总线适用于低成本的子系统通信，以太网则在大数据量传输方面具有优势^[3]。通过融合这些协议，可实现 BMS 与车辆其他系统以及云端之间高效、准确的数据交互。同时，信息安全机制不可或缺。要防止数据在传输过程中被窃取、篡改，确保 BMS 的关键数据如电池状态信息的安全性和完整性，保障车辆的正常运行和用户的隐私安全。

（二）远程监控与 OTA 升级

在智能网联环境下，BMS 的远程监控与 OTA 升级至关重要。构建基于 5G - V2X 的远程诊断系统，可实现对电池状态的实时监测与精准诊断。5G - V2X 技术提供了高速、低延迟的通信保障，使车辆与云端、车辆与基础设施之间能够高效传输电池相关数据，如电池温度、电压、SOC 等^[4]。同时，开发自适应差分升级算法，能够根据车辆的实际情况和网络环境，智能地选择升级策略。这种算法可以有效减少升级所需的数据量和时间，提高升级的成功率和效率，确保 BMS 软件始终保持最新版本，以优化电池管理性能，提升新能源汽车的整体安全性和可靠性。

三、智能驾驶场景下的 BMS 性能优化

（一）ADAS 协同控制策略

1. 紧急制动能量回收优化

在智能驾驶场景下，对于紧急制动能量回收优化，建立制动强度与电池充电功率的耦合模型至关重要。通过精确分析制动过程中的各种参数，如车速、制动踏板行程等与电池充电功率的关系，实现两者的有效耦合。这有助于在紧急制动时，根据实际制动强度合理调整电池的充电功率，提高能量回收效率。同时，考虑到智能驾驶中 ADAS 系统的协同作用，该耦合模型需与其他相关控制策略相适配，确保在整个制动过程中，不仅能有效回收能量，还能保证车辆的稳定性和安全性^[5]。

2. 自动驾驶路径规划与能耗预测

在智能驾驶场景下，BMS 性能优化至关重要。对于 ADAS 协同控制策略，需考虑其与 BMS 的交互，确保电池能满足车辆各种复杂工况的能量需求。在自动驾驶路径规划方面，要结合电池状态进行合理规划，避免因不合理路径导致电池过度消耗。同时，能耗预测也是关键环节，通过分析车辆行驶数据和环境信息，建立准确的能耗预测模型，为 BMS 的能量管理提供依据。例如，利用深度强化学习算法来优化 SOC 分配，提高电池使用效率，确保

在自动驾驶过程中电池始终处于良好的工作状态，保障车辆的安全和稳定运行^[6]。

（二）功能安全与预期功能安全

1. ISO26262 功能安全架构设计

在智能驾驶场景下，BMS 的性能优化至关重要。对于功能安全与预期功能安全，需依据 ISO26262 进行架构设计。构建 ASIL - D 级安全监控系统的冗余容错机制是关键。通过合理的冗余设计，能够在系统出现故障时，确保 BMS 仍能正常工作，保障电池的安全运行。这不仅涉及硬件的冗余，还包括软件算法的容错处理。例如，采用多个传感器对电池状态进行监测，当某个传感器出现故障时，其他传感器的数据仍可提供准确的电池信息，同时软件算法能够识别并处理这种异常情况，确保整个系统的可靠性和安全性，为智能驾驶车辆的稳定运行提供有力支持^[7]。

2. SOTIF 场景下的失效预警

在智能驾驶场景下，SOTIF（预期功能安全）场景中的失效预警对 BMS 性能优化至关重要。由于智能驾驶工况复杂，电池可能面临多种异常状态。需建立针对复杂工况的电池异常状态识别与风险评估模型^[8]。通过对大量实际驾驶数据的分析，提取电池相关特征参数，结合先进的数据分析算法，准确识别电池可能出现的异常情况。同时，基于风险评估模型，对不同异常状态的风险程度进行量化评估。当风险达到一定阈值时，及时发出失效预警，以便采取相应措施，确保电池系统在智能驾驶过程中的安全性和可靠性，从而实现 BMS 性能的优化。

四、智能制造与数智化技术融合

（一）模块化 BMS 设计

1. 柔性可重构硬件架构

在智能制造与数智化技术融合的背景下，模块化 BMS 设计中的柔性可重构硬件架构至关重要。这种架构需具备拓扑自适应能力，以支持多电芯规格。通过智能算法和先进的传感器技术，硬件架构能够实时感知电芯的状态和特性^[9]。利用数智化技术对数据进行分析处理，从而实现对不同规格电芯的精准管理。同时，柔性可重构的特性使得硬件系统可以根据实际需求灵活调整，提高系统的兼容性和可扩展性。这不仅有助于提升新能源汽车电池管理系统的性能，还能适应未来电池技术不断发展的需求。

2. 数字孪生测试平台

在智能制造与数智化技术融合的背景下，模块化 BMS 设计结合数字孪生测试平台具有重要意义。通过数字孪生技术，能够对 BMS 进行精准建模，模拟其在各种工况下的运行状态^[10]。这为模块化 BMS 设计提供了有效的验证手段。在数字孪生测试平台中，可以实现对 BMS 模块的性能测试、故障模拟与诊断等功能。利用该平台，可优化模块化 BMS 的设计，提高其可靠性和稳定性。同时，结合智能制造技术，实现 BMS 生产过程的自动化和智能化，进一步提升产品质量和生产效率。这种融合为新能源汽车电池管理系统的发展提供了新的思路和方法，有助于推动行业的进步。

（二）智能产线关键技术

1. 高精度参数标定系统

在新能源汽车电池管理系统（BMS）的生产中，高精度参数标定系统至关重要。智能制造与数智化技术融合背景下，智能产线的这一关键技术需要不断优化。开发基于机器视觉的自动校准装备与工艺是实现高精度参数标定的有效途径。机器视觉技术能够精确识别和测量电池相关参数，为标定提供准确的数据基础。通过自动化的校准装备，可减少人工操作带来的误差，提高标定的精度和效率。同时，结合数智化技术，可实现对校准过程的实时监测和数据采集，进一步优化标定系统的性能，确保 BMS 在新能源汽车中能够稳定、高效地运行，提升电池的安全性和使用寿命。

2. 大数据质量追溯平台

在智能制造与数智化技术融合的背景下，智能产线关键技术和大数据质量追溯平台对新能源汽车电池管理系统至关重要。智能产线技术可实现电池生产的高效自动化，确保产品质量的一致性。通过先进的传感器和控制系统，实时监测生产过程中的各项参数，及时发现并纠正偏差。大数据质量追溯平台则整合了电池全生命周期的数据。从原材料采购到生产加工，再到销售和使用后的回收，每一个环节的数据都被记录和分析。这不仅有助于在出现问题时快速定位缺陷来源，还能通过对大量数据的挖掘，建立缺陷模式识别模型，提前预测潜在质量问题，为电池管理系统的性能优化提供有力支持。

（三）能效智慧管理

1. 云边端协同优化算法

在新能源汽车电池管理系统中，智能制造与数智化技术融合至关重要。通过能效智慧管理，可实现对电池能量的高效利用。云边端协同优化算法在此过程中发挥关键作用。在分布式计算框

架下，算法能够实时监测电池的各项参数，如电压、电流、温度等。根据这些实时数据，动态调整优化策略，以确保电池始终处于最佳工作状态。同时，云边端协同可使数据在不同层面快速传输和处理，云端提供强大的计算能力和数据存储，边缘端负责实时数据采集和初步处理，终端则实现与车辆其他系统的交互，共同提升电池管理系统的性能和效率。

2. 碳足迹监测系统

在新能源汽车电池管理系统中，智能制造与数智化技术融合对能效智慧管理及碳足迹监测至关重要。通过物联网、大数据分析等技术，实时收集电池生产、使用及回收过程中的能耗数据。利用人工智能算法对这些数据进行处理，精准分析能源利用效率，识别潜在的节能优化点。同时，借助区块链技术的不可篡改和可追溯特性，构建全流程能耗追踪与评估体系，确保数据的真实性和可靠性。该体系不仅能为企业提供准确的能效管理依据，还能实现对电池碳足迹的有效监测，助力新能源汽车产业朝着更加绿色、可持续的方向发展。

五、总结

智能网联新能源汽车 BMS 已取得一定进展，其技术发展路径呈现出多维度特点。未来，应注重多技术融合创新，将不同领域的先进技术有机结合，以提升 BMS 的综合性能。同时，构建标准化体系至关重要，这有助于规范行业发展，提高不同系统间的兼容性和协同性。全生命周期价值挖掘也是关键方向，从电池的生产、使用到回收，充分挖掘各个阶段的价值，提高资源利用效率。数智化转型在其中扮演核心角色，通过数字化和智能化手段，能够更精准地监测和管理电池系统，有效提升电池系统的安全性和经济性，推动新能源汽车产业的可持续发展。

参考文献

- [1] 梁宇帆. 新能源汽车电池热管理系统研究与优化 [D]. 华北水利水电大学, 2023.
- [2] 谢绍伟. 电动汽车电池管理系统 (BMS) 及其验证系统的开发 [D]. 华中科技大学, 2015.
- [3] 傅超. 新能源汽车电池管理系统设计 [D]. 哈尔滨工业大学, 2014.
- [4] 朱光前. 面向新能源汽车电池监控与管理系统芯片的关键技术研究 [D]. 西安电子科技大学, 2021.
- [5] 李志飞. 电动汽车动力锂电池能量管理系统 BMS 研究 [D]. 重庆交通大学, 2019.
- [6] 王宇. 新能源汽车锂电池热管理系统热性能优化控制策略 [J]. 2024(5):31-33.
- [7] 张忠海. 新能源汽车 BMS 系统结构及关键技术解析 [J]. 汽车博览, 2020, (9):144.
- [8] 路莹. 新能源汽车电池管理系统设计与优化 [J]. 农机使用与维修, 2023(9):64-67.
- [9] 冯勇. 电动汽车电池管理系统 (BMS) 的设计 [J]. 现代信息科技, 2018, 2(6):3.
- [10] 汪世国. 电动汽车电池管理系统 (BMS) 现状分析 [J]. 汽车实用技术, 2014(2):3.