

基于物联网的智能电池管理系统设计

冯刘中 倪婧 张雅文 陈晓宇 刘颖

(一汽-大众汽车有限公司, 长春 130000)

摘要:为解决动力电池全生命周期管理的问题,分析了动力电池全生命周期管理过程中的不同应用场景和关键的功能需求,设计了基于物联网全生命周期管理的智能电池管理系统,并对系统模型的运行机制进行分析,设计了智能电池管理系统架构和功能,包括终端电池管理系统的系统架构、关键传感器选型以及云端电池管理系统的功能,最后总结了智能电池管理系统具有兼容性、可扩展性和智能性的特点以及在实际应用中面临数据保密、云端服务器开发建设等问题。

关键词: 电池管理系统 全生命周期管理 物联网 云服务器

中图分类号:U469.72 文献标志码:B DOI: 10.19710/J.cnki.1003-8817.20230222

Design of Intelligent Battery Management System Based on the Internet of Things

Feng Liuzhong, Ni Jing, Zhang Yawen, Chen Xiaoyu, Liu Ying

(FAW-Volkswagen Automotive Co., Ltd., Changchun 130000)

Abstract: To address the issue of full lifecycle management of power battery, this article analyzed the different application scenarios and key functional requirements in the full life cycle management process of power batteries, designed an intelligent battery management system based on the Internet of Things for full life cycle management, and analyzed the operating mechanism of the model. The architecture and functions of the intelligent battery management system were designed, including the system architecture of the terminal battery management system, the selection of key sensors and the functions of cloud based battery management systems. Finally, the characteristics of intelligent battery management systems including compatibility, extendibility and intelligence, as well as the problems they face in application including data security, development and building of cloud based server, were summarized.

Key words: Battery management system, Full lifecycle management, Internet of things, Cloud server

1 前言

由于电动汽车的电池价值高昂、涉及的资源稀缺,各国学者致力于研究退役电池在电网储能、光伏储能、通信基站储能、智能楼宇等场景中的梯次应用^[1-2],电池全生命周期管理成为当前热点话题^[3-4]。电池管理系统(Battery Management System, BMS)对电动汽车的安全、性能、成本等有重要影响^[5-8]。

随着物联网技术的发展,BMS朝着车云结合、大

数据评估的方向发展。国内外众多高校、机构和科研学者设计了多种车云结合的电池管理系统^[9-10],但是针对全生命周期的电池管理系统研究较少。本文设计了一种智能电池管理系统,包括了终端BMS、云端BMS,并考虑全生命周期的外部用户,适用于动力电池整个生命周期的管理与应用。

2 系统需求

2.1 应用场景分析

在动力电池的整个生命周期中,要经历生产、

作者简介:冯刘中(1985—),男,高级工程师,硕士学位,研究方向为动力电池管理系统设计与应用。

参考文献引用格式:

冯刘中,倪婧,张雅文,等.基于物联网的智能电池管理系统设计[J].汽车工艺与材料,2024(5):8-13.

FENG L Z, NI J, ZHANG Y W, et al. Design of Intelligent Battery Management System Based on the Internet of Things[J]. Automobile Technology & Material, 2024(5): 8-13.

运输、存储、车辆应用、二次利用和电池报废等环节。在各个环节中,存在以下主要场景:

- a. 网络状态良好, BMS 与外部网络连接通畅, 可以保持持续的数据交互。
- b. 网络状态一般, BMS 与外部网络连接时断时续, 动力电池在网络中断期间, 保存原始数据, 在网络恢复后, 继续与外部进行数据交互。
- c. 网络状态恶劣, BMS 与外部网络持续中断,

动力电池在网络中断期间保存原始数据。当中断时间超出阈值时, 将原始数据转化为状态评估, 并清空一部分原始数据, 保证原始数据的持续更新。

2.2 功能需求

传统的 BMS 主要功能包括电池状态监测、电池状态分析、电池安全保护、能量控制管理、电池信息管理, 如图 1 所示。

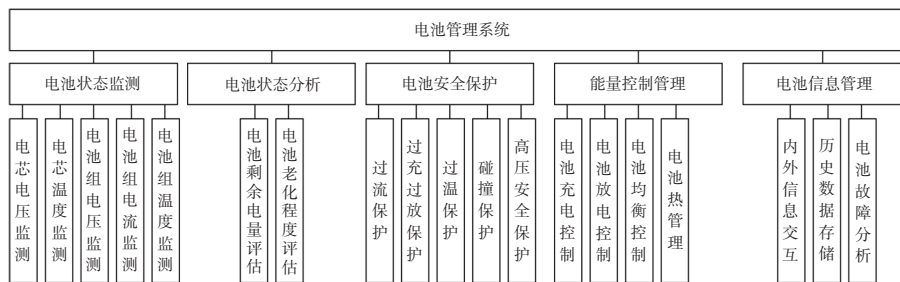


图1 传统BMS主要功能

为了实现对电池全生命周期的监测、记录和状态评估, BMS 必须具有高度自治能力, 包括全天候的监测、完整记录、实时通信、状态评估和自我保护的功能。

2.2.1 隔离电源

隔离电源是电池包实现自治的一项基础功能。传统 BMS 依赖外部用户(如整车)提供低压电源。为了实现 BMS 对电池包的全天候监控, 从电池包高压取电, 通过隔离电源为 BMS 供电。

2.2.2 数据存储

数据存储是电池包实现完整数据记录的一项基础功能。当电池管理系统无法与外部通信时, 实时原始数据可以存储在电池包内, 待通信恢复后再将数据完整传输给外部。

2.2.3 独立物联网通信

独立物联网通信是指 BMS 通过独立的 4G/5G 等无线通信模块与外部进行数据交互^[11-16]。当前电池远程监控系统主要依靠车联网对电池包远程监控和数据记录。由于电池包的数据量大、实时监测的频率高时, 经过车联网进行数据交互的方式不能实现完整数据的实时传输, 因此, 电池包需要独立的物联网通信。

2.2.4 云端服务器

电池包整个生命周期的数据量非常大, 且在生命周期的不同阶段, 外部用户复杂多变, 为保证

数据的完整性和数据访问的安全性, 需要部署电池包专属的云端服务器。

2.2.5 智能性

电池包高度的自治要求 BMS 具有数据处理、诊断和自我保护能力。在发生危险和其他紧急情况时, 可以使用科学的处理方法传输数据, 以确保安全^[17-18]。

3 系统模型

3.1 系统角色

在动力电池全生命周期管理的各个环节中, 电池管理系统涉及到终端、云端和外部用户, 如图 2 所示。

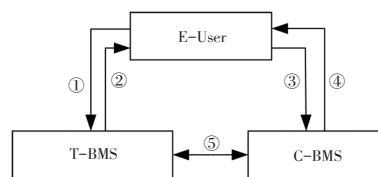


图2 通信模型

终端即电池端的智能电池管理系统(Terminal of BMS, T-BMS), 负责对电池包实时监测、控制和保护, 并与外部用户通过总线通信或者物联网通信。

云端即云端服务器上的智能 BMS 算法(Cloud of BMS, C-BMS), 通过云端算法和策略, 为电池包和外部用户提供状态分析、安全预警等数据服务, 负责电池包全生命周期的数据管理和服务。

外部用户即电池全生命周期各个环节中电池包的使用者(External User, E-User),如电动汽车、换电站、电网储能系统等,外部用户从T-BMS获得电池包实时监测数据,从C-BMS获得数据服务。

3类角色的通信交互过程如下:

a. E-User通过控制器局域网(Controller Area Network, CAN)总线向T-BMS申请授权。

b. T-BMS经过诊断,同意授权后,通过CAN总线向E-User发送电池包基础信息(如ID号等)和数据使用许可码(动态口令码)。

c. E-User将获得的电池包ID号和动态口令码发给C-BMS,申请数据服务。

d. C-BMS审核电池包基础数据与许可码后,向E-User提供数据服务。

e. 在电池包的整个生命周期中,T-BMS与C-BMS通过物联网保持持续的通信。

3.2 模型分析

在电池生命周期各个阶段,T-BMS、C-BMS、E-User之间的信息交互如图3所示。

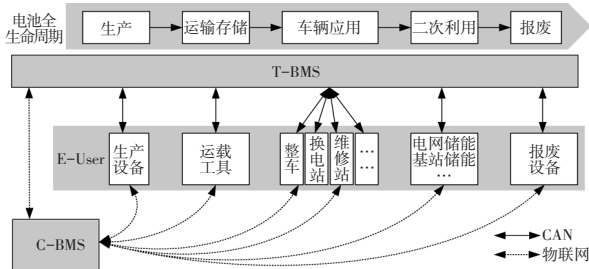


图3 智能电池管理系统模型分析

3.2.1 生产阶段

在电池包生产阶段,T-BMS通过生产设备向云C-BMS发送电池包基础信息,并申请数据服务。C-BMS审核通过后建立电池包数据档案,并通过生产设备向T-BMS派发电子动态口令卡。自此,T-BMS和C-BMS建立通信,完成了智能电池管理系统的搭建。

3.2.2 运输和存储

电池包进入存储与运输环节时,T-BMS通过CAN接口与E-User建立连接。E-User向T-BMS申请使用授权,获得电池包基础信息与动态口令码后,向C-BMS申请数据服务。

3.2.3 车辆应用和二次利用

电池包进入车辆应用和整包梯次利用环节

后,T-BMS通过CAN接口与E-User建立连接。E-User向T-BMS申请使用授权,获得电池包基础信息与动态口令码后,向C-BMS申请数据服务。

3.2.4 维修与报废

对电池包的报废只能在指定场所通过专用设备开展。首先,T-BMS通过CAN接口与报废设备建立连接;然后,报废设备向T-BMS申请使用授权,获得电池包基础信息与动态口令码后,向C-BMS备案申请报废备案,取得C-BMS报废许可后进行报废,否则将触发报警机制。C-BMS释放报废许可后,注销T-BMS的动态口令卡,停止该电池包ID的实时数据服务。

当电池包发生故障或者损坏且外部无法通过CAN接口与T-BMS通信时,维修设备和报废设备可以通过电池包ID向C-BMS申请维修备案和报废备案。

4 T-BMS设计

4.1 架构设计

终端BMS按控制器拓扑关系可以分为集成式和分布式^[19]。

集成式BMS也称为一体式BMS,是将主控制器(Battery Management Unit, BMU)和从控制器(Cell Monitor Unit, CMU)集成为1个控制器。集成式BMS直接完成数据采集、处理与控制功能。由于模块间通信在印刷电路板(Printed Circuit Board, PCB)板内完成,集成式BMS可以节约成本和空间。但受采样线束的约束,集成式BMS主要适用于电池规模较小的场景,如混合动力汽车(Hybrid-Electric Vehicle, HEV)的电池管理。

分布式BMS将功能分配到主控BMU和多个从板CMU中。模块化的结构使电池包设计与生产更加灵活,采样线束排布设计得以优化。分布式BMS适用于电池规模较大的场景,如纯电动汽车(Battery Electric Vehicles, BEV)的电池管理。分布式BMS拓扑可以进一步分为星形连接、总线连接和菊花链连接等方式^[20-21]。

图4绘制了一种以菊花链为主要连接方式的传统BMS架构和系统环境,包括BMU、CMU和配电盒(Battery Disconnect Unit, BDU)。

根据前文的需求与分析,本文设计了一种T-BMS的架构,如图5所示。该架构可以兼容多种传感器的通信接口,如电压型、电流型、电阻型、频率型、脉冲型、开关量型和数字通信型等多种类型。

总线通信具有较高的系统兼容性和可扩展性,兼容CAN通信、局域互连网络(Local Interconnect Network, LIN)通信、菊花链通信(Transformer Physical Layer, TPL)等。

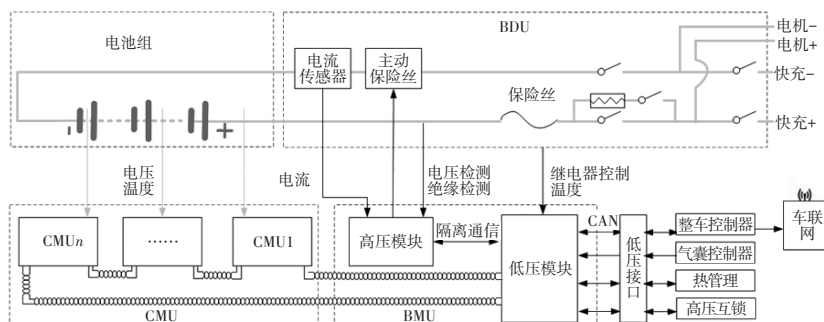


图4 基于菊花链的传统BMS架构

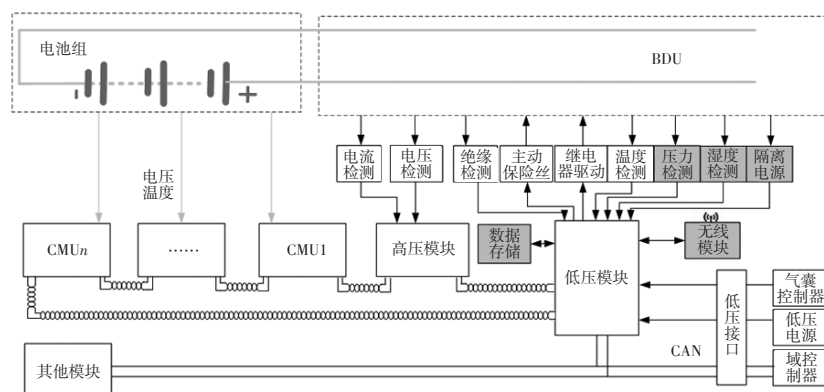


图5 智能电池管理系统模型

T-BMS 电气架构主要包括以下几个部分,其中深色模块是相对传统BMS的新增模块:

- a. 低压模块负责数据处理、数据存储、无线通信及其他相关功能,提升了系统的兼容性和智能性。
- b. 隔离电源将高压电源转换为12 V电源,在无外部低压电源时,为低压模块提供持续的电源供应。
- c. 数据存储模块实现电池包实时数据存储,保证数据的完整性。
- d. 无线模块通过4G模块或者5G模块实现系统与云端服务器的通信。
- e. 各传感器模块能够实现绝缘检测、温度检测、湿度检测、压力检测等。
- f. 高压模块能够实现电流检测和电压检测。
- g. CMU负责电芯和模组的电压、温度检测。
- h. 其他模块包括其他CAN接口的传感器,如磁通门电流传感器等,新增模块均可以通过CAN

总线进行扩展。

4.2 传感器选型

智能终端BMS的功能实现依赖于多种传感器的数据采集与融合。目前,传感器的品类和规格非常多^[7],BMS中常见的传感器主要有电压传感器、电流传感器、温度传感器、压力传感器、湿度传感器等。

4.2.1 电压传感器

电压采集是BMS的重要功能,包括电池单体电压、电池模组电压和电池包电压的采集。电池单体的电压采集一般采用专用芯片实现,常用的芯片有MC33771、BQ79616、MAX17843等,可以实现高精度的电芯电压监测。电池包总电压采集一般通过智能电池传感器芯片完成,常用的芯片有ADIBMS2950、MM9Z1_638等。

4.2.2 电流传感器

电池包总电流采集是BMS的重要功能。电动汽车的电流为直流电,可采用的传感器有电阻分

流器、霍尔电流传感器、磁通门电流传感器、隧穿磁阻效应电流传感器等。由于BMS高压模块主芯片一般具备电阻分流器的电流采集功能,因此,电阻分流器是BMS中最常用的一种电流传感器。为保证功能安全,通常会再搭配另外一种类型的电流传感器。

4.2.3 温度传感器

温度传感器用于电池单体、电池组、铜排和冷却液等的温度监测。BMS中的温度传感器按工作原理可分为热电偶、热敏电阻、铂电阻和温度集成电路(Integrated Circuit, IC)等,其中热电偶和热敏电阻最为常用。

热电偶式温度传感器是由一端连接的2条不同金属线(金属A和金属B)构成,当热电偶一端受热时,热电偶电路中产生电势差,通过测量电势差计算温度^[22]。这类温度传感器检测范围广,但不适合高精度测量。

热敏电阻式温度传感器有负温度系数(Negative Temperature Coefficient, NTC)型和正温度系数(Positive Temperature Coefficient, PTC)型^[23]。NTC型在温度升高时,电阻降低。NTC型有电阻率高、热容小、响应快、阻值与温度线性关系优良、能弯曲、价格低、寿命长等优点,在BMS中最为常用^[17]。

4.2.4 压力传感器

压力传感器可用于电池包内的压力监测,在电池包热扩散的预警方面有很好的应用,常用的压力传感器有电容式压力传感器和电阻式压力传感器^[24]。

电容式压力传感器采用陶瓷膜片作为压敏元件,陶瓷膜片和陶瓷基体分别制作成电容的两极。当外界压力作用于陶瓷膜片时,陶瓷膜片发生变形,两极之间的距离产生变化,从而导致电容量发生改变,再通过特定的芯片输出标准的电压信号。

电阻式压力传感器将应变电阻固结在弹性膜片上组成惠斯通电桥。当外界压力作用于弹性膜片时,膜片发生变形,引起应变电阻的电阻值改变,从而导致惠斯通电桥发生改变,再通过特定的芯片输出标准的电压信号。

4.2.5 湿度传感器

湿度对于电池的性能、寿命影响较大。利用

湿度传感器可以有效地监测和预警。电池包中常用的湿度传感器有电阻式湿敏元件和电容式湿敏元件^[18],其原理是在基片上涂敷一层感湿材料膜,当环境中水蒸气吸附在膜上时,元件电阻率、电容值会变化,从而计算出湿度。

5 C-BMS功能设计

C-BMS依托强大的存储与计算能力,在更大的时间跨度上对数据进行分析,对电池状态进行评估,并将结果反馈给T-BMS和E-User。C-BMS具备以下功能:

a. T-BMS通过物联网模块接入C-BMS,实现数据互通。

b. C-BMS存储T-BMS上传的原始数据,涵盖了从电池包诞生到电池包报废的整个生命周期。

c. C-BMS对T-BMS上传的原始数据进行分析和预处理。

d. C-BMS通过部署AI模型,实现对电池原始数据的高效处理,提高电池状态的评估能力。

e. 云端数据可按需进行可视化输出,如移动端可视等。

6 结束语

本文基于物联网技术设计了一个动力电池全生命周期管理的智能电池管理系统。整个系统包括T-BMS和C-BMS,其中T-BMS具有兼容性、可扩展性和智能性。智能电池管理系统的应用推广还将面临诸多问题,如数据保密、云端服务器开发建设等。但智能电池管理系统符合“软件定义汽车”的发展需求,通过云端服务器的数据服务,智能电池管理系统将在电池全生命周期管理中发挥重要作用,促进电池的合理利用。

参考文献:

- [1] 李争,孙宏旺,张丽平,等. 退役EDV动力电池二次利用的平衡控制策略[J]. 电源技术, 2019, 43(2): 290-293.
- [2] 贾志杰,高峰,杜世伟,等. 磷酸铁锂电池不同应用场景的生命周期评价[J]. 中国环境科学, 2022, 42(4): 1975-1984.
- [3] 慈松. 基于全生命周期优化管理的锂电池梯次利用[J]. 新材料产业, 2015(4): 41-46.

- [4] XUE F R, LING Z, YANG Y B, et al. Design and Implementation of Novel Smart Battery Management System for FPGA Based Portable Electronic Devices[J]. Energies, 2017, 10(3): 264.
- [5] 华一丁, 龚进峰, 戎辉, 等. 基于模型的智能汽车电子电气架构发展综述[J]. 汽车零部件, 2019(2): 63-66.
- [6] EPAM. Decoupling Hardware From Software in The Next Generation of Connected Vehicles[R/OL]. (2019-10-12) [2023-07-12]. https://www.epam.com/content/dam/epam/free_library/whitepapers/Automotive-White-Paper.pdf.
- [7] NAVALE V M, WILLIAM S K, LAGOSPIRIS A, et al. (R) Evolution of E/E Architectures[J]. SAE International Journal of Passenger Cars- Electronic and Electrical Systems, 2015, 8(2): 282-288.
- [8] 蒋炬卿. 功能汽车转变为智能汽车背后: 汽车电子电气架构亟待变革[J]. 时代汽车, 2022(7): 45-46+49.
- [9] LI W H, MONIKA R, JULIA B, et al. Digital Twin for Battery Systems: Cloud Battery Management System with Online State-of-Charge and State-of-Health Estimation [J]. Journal of Energy Storage, 2020, 30.
- [10] BAUMANN M, ROHR S, LIENKAMP M. Cloud-Connected Battery Management for Decision Making on Second-Life of Electric Vehicle Batteries[C]// 2018 Thirteenth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER). Monte Carlo, Monaco: IEEE, 2018: 1-6.
- [11] 陈晟. BMS优化与无线方案为电动汽车产业赋能[J]. 电子产品世界, 2020, 28(12): 6+13.
- [12] 任可儿, 左付山, 周韵楚, 等. 基于5G的纯电动公交车远程监控系统[J]. 汽车实用技术, 2022, 47(5): 7-12.
- [13] 宋雷震, 吕东芳. 基于5G网络的新能源汽车动力采集系统的设计与实现[J]. 成都工业学院学报, 2021, 24(1): 30-35.
- [14] 刘梦. 基于物联网的电动汽车电池管理系统的远程监控[D]. 唐山: 华北理工大学, 2021.
- [15] 刘春雷. 基于云平台的电池管理系统研究与设计[D]. 西安: 长安大学, 2019.
- [16] 高红立, 林武, 高峰, 等. 电动汽车退役电池包整包梯次利用的关键技术-CAN通讯协议[J]. 电气传动自动化, 2018, 40(2): 21-24.
- [17] 朱永康, 柏劲松. 电动汽车电池管理系统中传感器技术应用研究[J]. 汽车电器, 2021(8): 17-20.
- [18] 宋芳. 传感器在汽车电子控制系统中的应用[J]. 内燃机与配件, 2021(22): 211-212.
- [19] DANIEL F, MATILDE D'A, MARCELLO C. A Generalized Equivalent Circuit Model for Design Exploration of Li-Ion Battery Packs Using Data Analytics[J]. IFAC PapersOnLine, 2019, 52(5): 568-573.
- [20] 陆珂伟. 电池管理系统的硬件发展综述[J]. 电子产品世界, 2018, 25(5): 28-31+51.
- [21] 陈卓. 新能源汽车电池管理系统硬件设计及验证[D]. 广州: 华南理工大学, 2019.
- [22] 郭娅红. 汽车电子技术中的智能传感器技术分析[J]. 湖北农机化, 2020(5): 165.
- [23] 刘斌. 谈谈热敏电阻的主要参数[J]. 家电维修(大众版), 2015(12): 42.
- [24] 叶军红. 压力传感器在汽车行业的应用现状[J]. 汽车电器, 2020(8): 59-61.