

基于 BMS 与云平台的动力电池健康管理体系统

朱鹏霖^{1,2}, 李丽², 常泽宇², 余佩雯², 郁亚娟^{2,3}

(1. 北京理工大学机电学院, 北京 100081; 2. 北京理工大学材料学院, 北京 100081;
3. 北京理工大学重庆创新中心, 重庆 401120)

摘要: 为解决电动汽车现有 BMS 系统对锂离子动力电池 SOH 评估与预测难以满足多种工况条件、各种类动力电池, 且难同时兼顾预测精度与反馈速度等应用缺陷, 提出了一套全新的 EVs 电池健康管理系统设计思路, 采用了结合云计算与存储平台, 融入 BMS 评估体系等关键方法; 通过 BMS 增加 5G 通讯模块, 利用 5G/4G 信号实时上传电芯数据, 经过云平台搭载的多种 SOH 评估模型与算法, 多线程在线计算得到预测结果, 及时反馈至用户端和 BMS, 实现电池健康管理; 该体系的设计案例展示出较好的未来应用价值, 为电动汽车电池管理设计提供了新方向。

关键词: 电池健康状态; 电池管理系统; 云平台; 5G

Power Battery Health Management System Based on BMS and Cloud Platform

ZHU Pengfei^{1,2}, LI Li², CHANG Zeyu², YU Peiwen², YU Yajuan^{2,3}

(1. School of Mechatanical Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China;
2. School of Material Science & Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China;
3. Beijing Institute of Technology Chongqing Innovation Center, Chongqing 401120, China)

Abstract: To solve the electric vehicles battery management system (BMS) for lithium ion power battery state of health (SOH) assessment and prediction, it is difficult to meet a variety of working conditions, various types of power battery, and difficult to balance between accuracy and feedback speed applications such as defects, a new set of electric vehicle (EV) battery health management system design idea is proposed, the combination of cloud computing and storage platform is adopted to integrate the BMS evaluation system and other key methods; 5G communication module is added through the BMS, 5G/4G signal is used to upload the cell data in real time, through a variety of SOH evaluation models and algorithms equipped with cloud platform, the multi-thread online calculation is carried out to get the prediction results, timely feedback to the user and BMS, which achieves the battery health management. The design case of this system shows a good future application value, and it provides a new direction for EV battery management design.

Keywords: battery health state; BMS; cloud platform; 5G

0 引言

锂离子电池 (LIBs, lithium ion battery) 作为当今电动汽车 (EVs, electric vehicles) 的动力电池, 具有容量高、质量轻、额定电压较高、比能量高、充放电循环寿命长、自放电率低等优点^[1]。然而, 随着时间和循环周期的增加, 锂离子电池发生老化现象^[2], 在 EVs 中表现出电池容量降低、续航里程减少、充电时间增加、功率性能变弱等方面, 这对用户造成了“里程焦虑”问题^[3]。

为了解决 EVs 的续航里程预测和电池系统安全性问题, 电池健康状况 (SOH, state of health) 评估成为了解决手段^[4]。目前中高端 EVs 会配置电池管理系统 (BMS, battery management system, BMS), 通过其芯片内置的模型

算法实现电池 SOH 评估与预测^[5]。然而由于车载 BMS 芯片计算精度、速度难以兼顾、多种时间尺度评估困难^[6], 长时间电池数据储存有限等缺点, 动力电池 SOH 评估的实际应用发展陷入瓶颈。基于现状, 本文提出了将云计算与存储平台融入改进后的 BMS 系统中^[7], 通过硬件与软件的设计, 实现了多线程计算电池 SOH, 实时反馈至用户与 BMS 系统。本文提出的系统化设计思路解决了传统动力电池 SOH 评估应用的缺点, 具有兼顾高精度与速度; 实时化预测; 满足多种时间尺度、各种工况条件等新优势, 具有实际化应用的参考价值, 为云平台运用于 EVs 动力电池健康管理提供了新方向^[8]。值得注意的是, 本文提出了一种可行性的体系架构案例, 采用的实际商业化产品是可以被替代的, 重点为一种融入云平台的新型动力电池健康管理

收稿日期: 2022-10-30; 修回日期: 2023-01-13。

基金项目: 国家自然科学基金(52074037); 国家重点研发计划(2021YFB2401800); 国家重点研发计划(2022YFB3305400); 内蒙古自治区科技计划(2020ZD0018)。

作者简介: 朱鹏霖(2000-), 男, 大学本科。

通讯作者: 郁亚娟(1978-), 女, 博士, 副教授, 硕士生导师。

引用格式: 朱鹏霖, 李丽, 常泽宇, 等. 基于 BMS 与云平台的动力电池健康管理体系统[J]. 计算机测量与控制, 2023, 31(9): 190-198, 252.

系统搭建思路。

1 整体架构思路

基于 BMS 与云平台的动力电池健康管理体系架构思路如图 1 所示, 与现有的只依赖于 EVs 内部 BMS 系统进行的电池健康预测不同, 设计的体系思路为: 将云平台与 BMS 相结合, 搭建了基于 BMS、云平台、用户端的多层架构系统, 能够解决当前 EVs 电池健康管理的难以同时兼顾准确性与预测速度, 多时间尺度、多工况条件、多动力电池种类评估困难等问题, 实现了多线程、在线化、实时化的电池健康预测评估与管理。

该设计体系的工作总流程如下: EVs 端 BMS 的从控制器模块收集全部电芯数据, 主控制器模块整理归纳, 利用 5G 通讯模块将电池 SOH 计算任务上交给云平台, 保证了数据的实时性, 实现 1~10 ms 内的超低延时。多种云平台的选择, 保障了商业化可能, 将数种电池 SOH 评估模型与算法负载于云平台内进行多线程计算, 通过用户需求筛选机制和云平台智能筛选机制, 匹配最适宜的预测结果, 传输给用户端手机 app 和车载屏幕程序进行实时查看, 同时反馈给 EVs 端的 BMS 主控模块芯片, 针对电池的安全性和不一致性问题及时下达调控命令, 提高电池寿命, 将

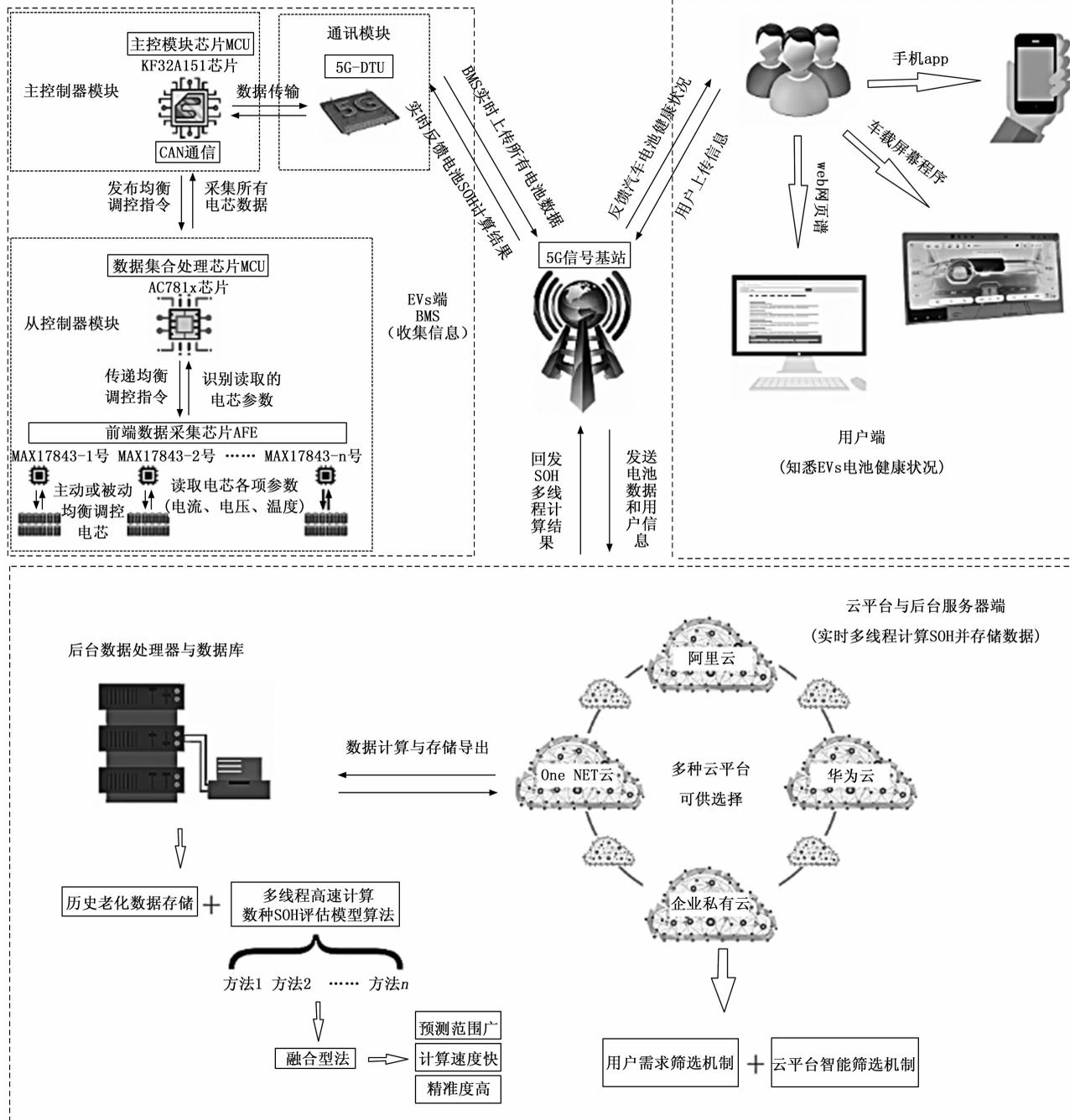


图 1 电池健康管理体系总设计图

安全隐患消除于萌芽状态。

2 动力电池 BMS 设计

电动汽车的 BMS 是通过收集电流、电压、温度等各项参数来监控电池组的健康状况，从而保证安全与稳定。根据国家标准 GB/T 38661-2020 的要求^[9]，BMS 要负责监控电池组状态，判断电池的 SOH、SOC 等，这就要求 BMS 具有较强的数据处理能力。在现有的应用中，BMS 离线运作，通过芯片内置算法与模型实现 SOH 评估与预测。由于体积限制，主控制模块上搭载的有限 SOH 评估法会导致预测精度有限，且实时性较差。

本文设计的 SOH 评估系统将大数据云计算与存储平台纳入体系中，因此要求 BMS 具有数据在线传输功能，因此对 BMS 进行了分布式改进设计，如图 2，加入了数据传输单元 5G-DTU，减轻了主控制模板的计算压力，将 SOH 数值计算部分上传至云平台完成。本文 BMS 设计重点包括从控制器模块、主控制模块、通信模块三部分，采用目前已存在的商业化产品，并搭建自行设计的 BMS 运行流程逻辑。

2.1 BMS 从控制器模块设计

电动汽车的 BMS 从控模块需要一次性监控 12 至 24 块单体电芯，在本设计案例中，前端数据采集芯片 (AFE) 芯片为美信半导体公司的 MAX17843，拥有 12 个数据通道，因此单块 MAX17843 芯片能实现 1~12 块单体电芯的监测。MAX17843 满足 ISO26262 和汽车安全性等级 ASIL D/C 要求，其正常工作温度范围为 -40℃ 至 +125℃，可用电压测量范围为 0.2~4.8 V。故 MAX17843 是同时实现较低成本与较高安全性的不同种类动力电池 EVs 系统的很好选择。为了提高续航里程，新型 EVs 将在可用空间的条件下，尽可能多放电芯，通常一款具有长续航的 EVs 有数百块单体电芯，如特斯拉 model 3 有着 96 个电池模组，441 个 2170 型单体电芯。由于选用的 AFE 芯片美信 MAX17843 只能同时监测 12 块电芯的数据通道，因此，需要数十块 MAX17843 芯片，具体数量由不同 EVs 的实际情况决定。

从控制模块中的数据量并不巨大，因此对从控制器模块 MCU 的计算规格要求不高，故采用国产第一代 32 位单核 MCU 作为从控制器模块 CPU：杰发科技的 AC781x，其内核为 ARM® Cortex-M3，工作温度区间为 -40℃ ~ 125℃，工作电压为 2.7~5.5 V。

单个 AFE 芯片 MAX17843 将通过电压传感器、电流传感器、温度传感器收集所负责的 12 块单体电芯充放电数据，各 MAX17843 芯片通过电气隔离的 SPI 接口实现对 EVs 上百块单体电芯的全部监测，所有的数据上传至从控制器模块 CPU：AC781x，进一步整理归类不同类型的数

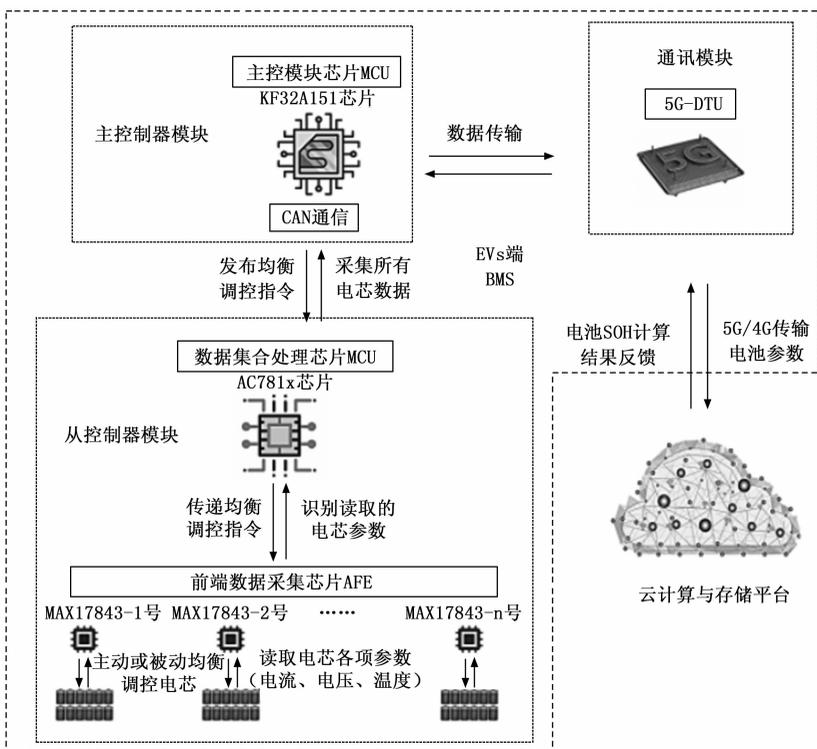


图 2 分布式 BMS 架构设计

据，为上发至主控制模块和下放均衡调控指令做准备。从控模块的架构示意图如图 3 所示。

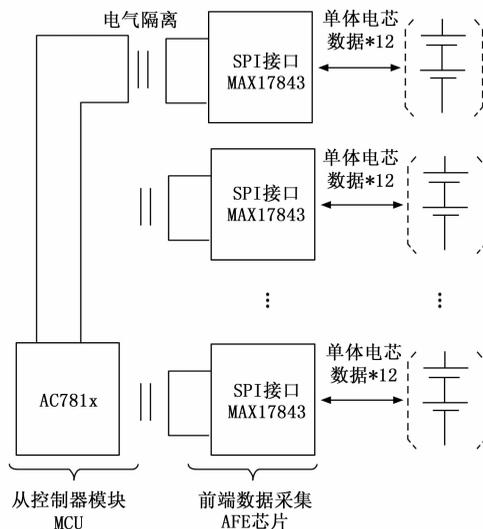


图 3 从控模块架构示意图

利用 ATC Link Tool 等开发工具为芯片设计配套软件，从控制器模块的主要功能为：收集电流、电压、温度等电池充放电数据，初步检查各电芯是否正常运行且均衡一致，接收主控模块的调控命令，消除异常情况和不一致性。本文从控模块软件设计运行逻辑如图 4 所示。

对于电芯的均衡调控有多种方法，以 SOC 和 SOH 分析结果为主的调控被认为是最可靠的电池均衡控制手段。

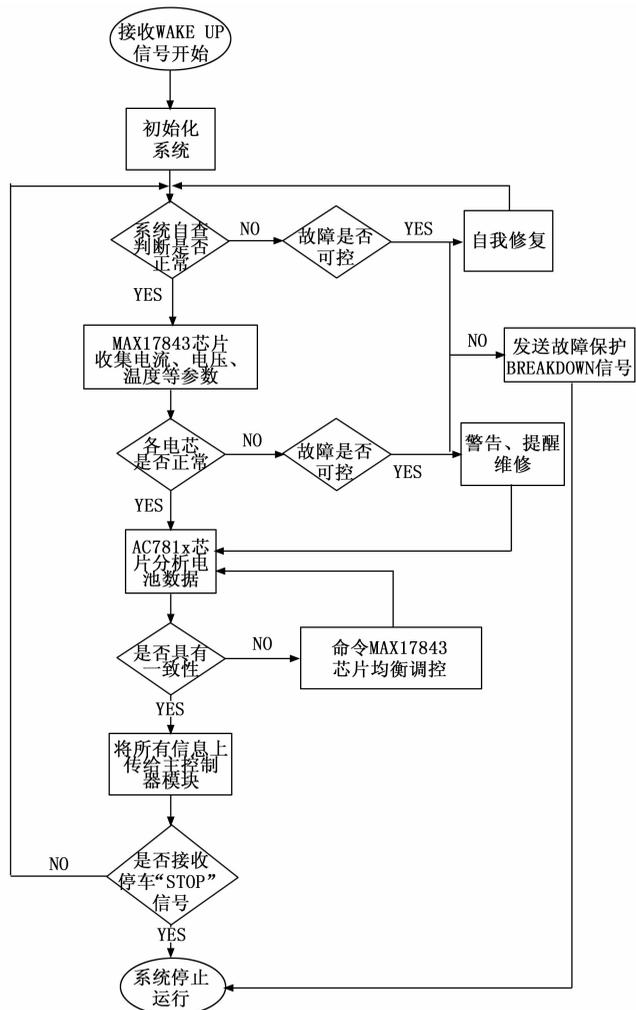


图 4 从控制器模块主要程序流程图

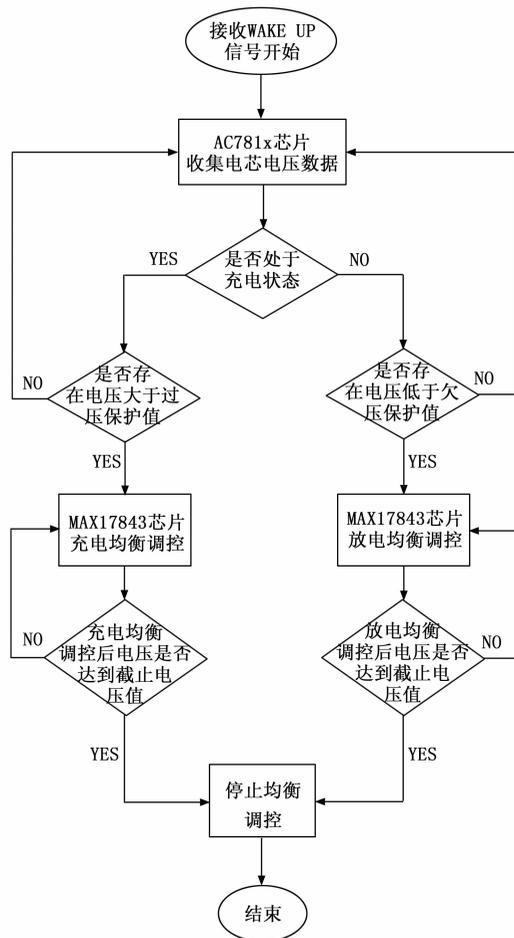


图 5 从控制器模块第一阶段的均衡调控

当从控模块的 AC781x 芯片初步分析电池数据得到不一致性结果时, 需要采取第一阶段的简单均衡控制, 针对不同类型的 EVs 动力电池, 在出厂时应该内置不同的充电、放电保护电压值。如表 1, 如磷酸铁锂电池放电保护电压为 2 V, 充电保护电压为 3.7 V, 当触发界限值进行均衡调控时, 达到维护截止电压 3.5 V 时停止^[10]。从控制器模块设计的第一阶段均衡调控逻辑流程如图 5。

表 1 不同锂离子动力电池均衡调控的电压阈值

参数	说明	磷酸铁锂默认值/V	NCM 默认值/V	钛酸锂默认值/V
维护截止电压	达到电压, 电池维护完成	3.500 V	4.125 V	2.700 V
充电保护电压	超过电压, 充电停止	3.700 V	4.200 V	2.800 V
放电保护电压	低于电压, 放电停止	2.000 V	2.500 V	1.800 V

2.2 BMS 主控制器模块设计

BMS 主控模块负责接收从控制器模块上传的数据综合整理分类储存, 并利用内嵌的电池 SOC、SOH 评估模型和

算法进行估算, 将电池老化数据进行量化反馈给 EVs 用户和生产厂商, 同时, 当 BMS 任意模块检测到不稳定性因素时, 如: 电池温度急速攀升、电池组受到机械损伤、风冷系统停止运转等, 均会将紧急信号上传给 BMS 的主控制器模块, 由主控模块进行危险等级判定, 从而命令调控模块及时处理。主控模块也会将问题及时上传给用户端知晓, 部分汽车也具有联网功能, 能将故障问题及时打包发送给后台厂商。

本文由于引入云计算平台, 采用的是多线程 SOH 计算方法, 因此 BMS 主控模块的芯片计算功能被替代, 这将大幅减少 BMS 设计应用成本。另一方面, 为主控制器模块搭载 5G 传输模块, 保证与云平台实时的数据沟通, 及时得到电池 SOH 评估值。

主控制器模块与 BMS 其余模块的数据传输架构如图 6 所示, 内部数据传输是通过 CAN 总线模块实现, 集成的 CAN 总线模块能够具有高达 80 MHz 的高速, 负责上传未处理的数据并接收主控模板的调控命令。CAN 总线具有 ISO11898 国际化完善的串行同行协议, 方便设计与开发。

设计的 BMS 主控模板与云平台之间的信息传输是通过 5G 无线数据传输终端 (5G-DTU) 实现的, 选用的 5G-

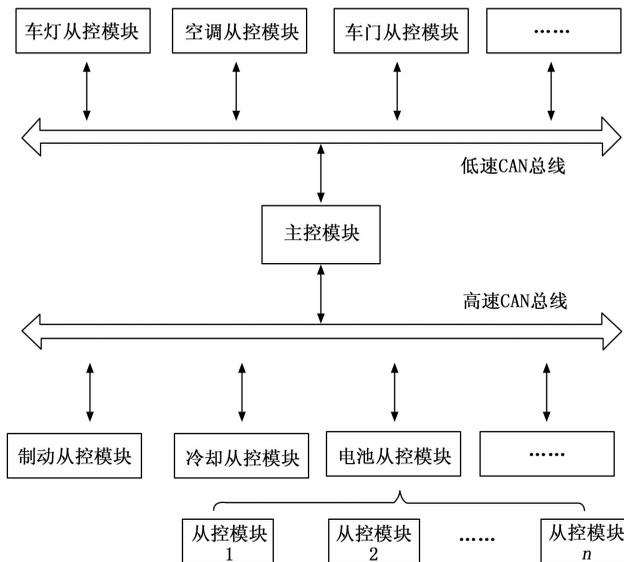


图 6 BMS 内部与外部数据传输

DTU 是华为的 MH5000-31，其网络制式兼容 2G 至 5G 信号，常用 5G 频段号为 n1/41/78/79，符合国内使用需求。下载和上传的传输速率分别为 2 Gbps、230 Mbps，有效地满足 BMS 与云平台之间数据实时反馈，保证在线电池 SOH 评估与预测。5G-DTU 与电动汽车 BMS 主控制器模块通过 232 或 485 接口连接数据。在通信时，需要符合主流的 5G 通信频段，如中国电信和中国联通的 3.3 GHz+3.5 GHz，中国移动的 2.6 GHz+4.9 GHz^[11]，中国广电的 3.3 GHz+4.9 GHz 频段，而欧美日本主要还有 3.2 GHz 的 n77 频段。

选择的主控器模块中央 CPU 为芯旺的 KF32A 系列芯片。KF32A151 的开发板采用 KungFu32 为内核，运行电压为 2.0~3.6 V，最高运行频率为 120 MHz，运行温度符合 Grade1 级车规工作温度范围（-40℃~125℃）。尽管 KF32A151 与国际大厂 MCU 产品仍有不小差距，不过其已经能胜任本文的设计内容。

KF32A151 主要负责功能为：判断系统是否处于电气绝缘的安全状态；对从控制器模块上传电池数据的总体归纳收集；对已采集的电流、电压、温度进行精度确认；利用 CAN 总线与 EVs 其它部分进行调控分工；提取特征参数值，如绘制 IC/DV 曲线，提取曲线峰值等；利用 5G-DTU 模块上传至云平台，并实时接收云平台计算结果反馈；利用反馈结果及时下放命令对单体电芯进行调控，延缓电池衰老；将电池 SOH 预测结果反馈给用户端 app 和车载屏幕。因此主控模块流程设计如图 7。

3 基于云平台的电池健康管理设计

在本设计中，引入了云计算与存储平台，其高速的数据处理能力、多线程的数据分析能力、长时间的数据存储能力，有效解决了现有 BMS 对电池 SOH 计算复杂度的限制问题。

根据设计需求，云平台需要兼备云计算和云存储的功

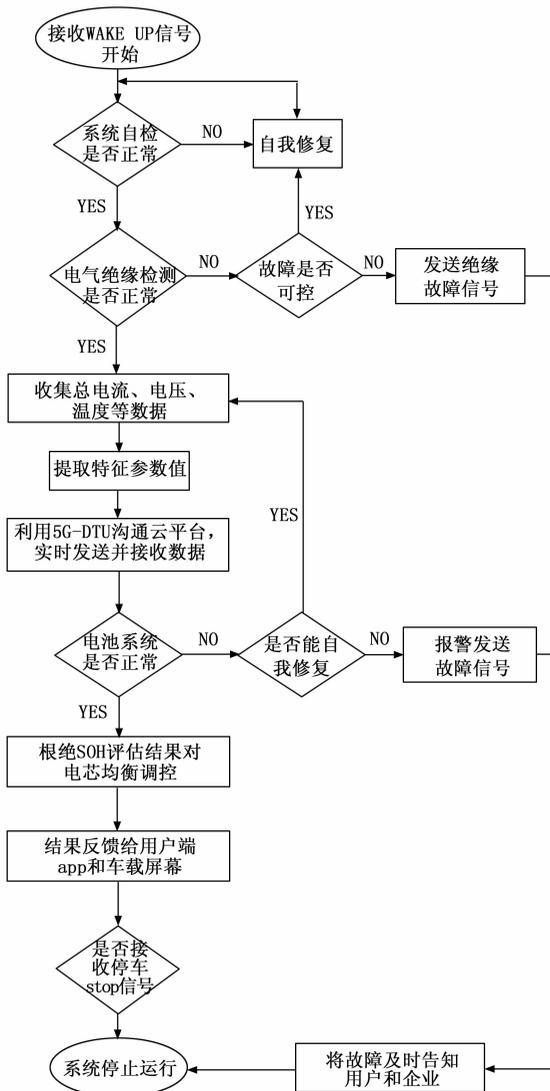


图 7 主控制器模块流程设计

能。一般企业内部会搭建独立的私有云平台，在此设计案例中，考虑到国内云平台市场的占有率和发展成熟度，采用了阿里云平台作为设计典型。阿里云平台同时具有根据用户需求自动调整计算资源的弹性云计算服务器 ECS 和存储服务器 OSS，能被企业广泛接收。在大数据情境下，云平台多个处理器同时处理数据，并将结果分类排列并汇总，进而得到最终结果^[12]

3.1 云平台多种 SOH 模型算法融合设计

在设计云平台中，将多种 SOH 计算方法负载于云平台上，让 SOH 预测结果快速且多样，这是本论文的关键点之一。国内外学者提出了种类繁多的电池 SOH 评估机制，这些方法均建立在不同模型与算法之上，在其对应使用条件下具有较好的预测结果^[13]。现有的锂离子动力电池 SOH 评估方法分为四个大类：模型法、数据驱动法、其它法、融合型法，每个大类里又包含不同的研究方向。

本文的设计案例中，采用了八种最新的优秀 SOH 评估与预测方法，这些 SOH 评估法的计算方法、流程与结果特

点都被高影响因子的 SCI、EI 论文收录并展示, 八种方法各具优势, 初步实现了设计体系能针对多种类 EVs 动力电池、各种实际工况条件的 SOH 评估与预测。八种方法适用不同情况, 将其与云平台进行组合, 能够囊括几乎所有适用需求。值得注意的是, 本论文设计的 BMS-云平台体系能搭载多种多样的 SOH 评估算法, 选择的八种方法仅作为设计的典型代表, 实际操作时还能搭载更多种类的 SOH 评估方法, 满足更多使用需求。

设计案例中, 云平台搭载的方法一为: 最小二乘支持向量机 (LS-SVM) 法^[14], 该方法将优化问题中的二次规划非线性问题转化为线性问题, 计算复杂度大幅下降, 因此云平台负荷较小、所需数据量少能快速反映。针对 LiFe-PO₄ 电池为驱动的 EVs 老化数据进行 LS-SVM 优化, 得到了图 8 (a) 的结果。均方根误差 (RMSE) 在 0.32%~0.48% 间波动, 在其 3.19~3.24 V 这个平稳区间预测结果较好。云平台搭载的方法二为: 相关向量机与灰色模型融合 (RVM+GM) 法^[15], 能有效解决电池组在较长一段时间的搁置后, 再次循环时发生容量异常增加的“容量再生问题”错误评估情况。具体方法是 RVM 和 GM 法融合时, 能将正常的电池老化现象与容量再生问题解耦分开, 通过多步迭代预测减少累计误差, 解决了容量再生带来的 SOH 预测精准度下降问题, 因此方法二更加适用于 EVs 在长期停止运行后再次启动时的预测。

云平台搭载的方法三为: 人工神经网络与电化学阻抗模型融合法 (ANN+EIS-based model)^[16], 不同于基于容量的 SOH 评估法需要数个充放电周期的全部数据才能构建预测模型, 在线阻抗相位信息测量并不需要等待一个完整的充电/放电循环^[17], 因此方法三基于内阻的 SOH 评估具有较快的预测速度, 能够避免紧急 EVs 故障。

搭载的方法四为: 极限学习机与等效电路模型融合法 (ELM+ECM)^[18], 从 EVs 电池中提取欧姆内阻和极化内阻的增量作为特征参数来表征电池老化情况, 引入的 ELM 构建了在线 SOH 评估的联合框架, 实现了较高精准度的在线实时预测, 预测时间为 0.013 6 s。不过存在温度对内阻测量准确度的影响。

云平台搭载的方法五为: 粒子滤波与布朗运动模型融合法 (PF+BM)^[19], 本质是样本概率密度函数来近似计算, 利用最大似然估计法 (MLE) 初始化相关模型参数, 将布朗粒子在给定时间间隔的移动距离作为模型预测电池容量退化的基础。然后, 利用 PF 估计 BM 的漂移参数。方法五在短时间尺度下 SOH 预测的均方根误差小于 4%, 不过在长时间尺度下电池 SOH 评估误差逐渐增大, RMSE 达到 25%。

搭载的方法六为: 融合小波去噪与高斯过程函数回归融合法 (WD+GPR)^[20], 如图 8 (c), WD 利用仅在非常小的一段区间内有非零值的“小波”进行降噪处理, 从而取出外在因素引起偏移的噪声, 预测精准度很高, 稳定性和适用性均较好。不过计算复杂度较大, 对云平台计算的负荷较高; 且当电池数据量过少时预测精度下降, 当电池数

据量较大, 计算时间将显著延长。

搭载的方法七为: 长短期记忆与粒子群优化融合法 (LSTM+PSO)^[21], 利用 LSTM 建立模型基础, 并引入 PSO 优化体系的赋值、偏差和模型的关键参数等, 并预训练设定的模型; 同时结合注意机制 (AM), 降低误差干扰, 实现高精度同时预测电池 SOH 与剩余寿命周期 (RUL)。

搭载的方法八为: 基于容量增量分析与高斯滤波的融合法 (ICA+GS)^[22], 通过收集电池充放电数据来构建 V-dQ/dV 曲线或 V-dV/dQ 曲线如图 8 (d), 由于环境噪声波动较大, 因此结合 GS 平滑曲线得到图 8 (e), 很好地保留曲线上与电池老化密切相关的重要特征。该方法针对三元镍钴锰电池进行了数据优化。

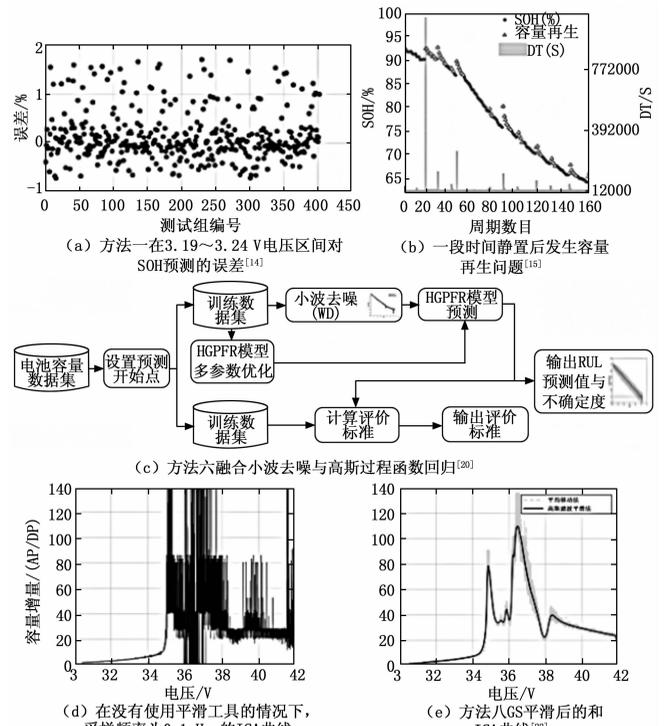


图 8 云平台搭载方法的各种信息

3.2 云平台选择 SOH 预测结果的设计

在设计案例中已经分析了具有代表性的八种最新电池 SOH 在线评估法, 这些方法各有优缺点, 能分别适用于绝大部分的情况。因此将以案例中的八种方法为基础, 设计一套能够在不同情况下, 根据用户需求和 EVs 实际情况, 云平台对多线程的 SOH 预测结果能够智能化选择并输出的体系。值得注意的是, 无论是以阿里云为代表的共有付费云平台还是企业搭建的私有云平台, 均能搭载更多种类的电池 SOH 在线评估算法与模型, 从而保证从 BMS 上传的电池数据能多线同时计算, 得到更合适的预测值, 本次设计案例选用的八种方法能基本囊括各种使用场景。

通过分析, 可以根据以 RMSE 为代表的预测精准度、以从慢到快 I~VIII 为代表的预测速度、以从低到高 I~VIII 为代表的云平台负荷压力、优点、缺点、建议使用场景六

个方面来对设计案例中提出的八种代表性方法进行归纳总结对比 (如表 2)。

本文设计的融合多种电池 SOH 评估法的云平台能够根据实际工况和用户需求来选择最适宜的方法。因此, 针对云平台多线程 SOH 计算结果, 设计了一套选择性输出最优化结果方案, 主要包括两套结果反馈机制: 基于用户需求的反馈机制 (如图 9) 和基于实际情况的云平台智能筛选反馈机制 (如图 10)。

EVs 用户在点火启动后, 能够通过车载屏幕或手机 app 程序选择自己的需求, 此情况为以用户需求为主的结果反馈机制, 可以大体分为四大类, 如图 9: 对结果直观性要求、对长期预测的要求、对短期预测的要求、对反馈速度与精度的要求。用户根据自我需要进行确认, 云平台将匹配最适合的 SOH 评估结果, 传输到用户端。

设计的另一种机制为: 云平台智能筛选反馈, 如图 10。BMS 将包括 EVs 种类、电芯编号、充放电规律等全部数据分类整理并上传给云平台, 云平台能根据匹配的信息, 筛选匹配最合适的某种或多种评估方法进行结果输出。设计的云平台筛选机制在满足用户需求上, 另外考虑了电池种类、用户使用习惯、温度条件、EVs 运行状况四个大类, 与设计案例中的八种方法进行匹配。

根据 EVs 常见的动力电池种类, 可以分为三种, 以 LiFePO₄ 为驱动、以 NCM 为驱动、以固态锂离子电池为代表的其它种类电池驱动, 在八种 SOH 评估与预测方法的设计案例中, 某些方法对特定电池的适用性更好, 故上述情况分别适用于方法 1、方法 8、方法 6;

根据云平台分析用户使用 EVs 的习惯, 判断其是数据分布有序的规律性充放电, 或者是长时间搁置未充电情况; 后者需要考虑“容量再生”带来的较大 SOH 评估偏差, 因此选用方法 2 能有效消除不准确性, 而规律性的充放电则

可使用方法 1、8 利用云平台中的历史数据得到结果。

根据 BMS 实时上传信号判断 EVs 是刚启动, 能用方法 2 与方法 8 通过充电历史数据直接得到 SOH 预测结果, 若 BMS 上传故障警告信号则需要利用方法 3 最快速预测得到 SOH 结果, 若正常运行则适合方法 6、7;

根据 BMS 实时上传的温度数据, 云平台来判断 EVs 所处温度条件。当温度变化 >5℃ 时, 温度对电池内阻的影响较大, 以内阻法来预测电池 SOH 的方法不再合适, 故采取方法 7; 而温度较为恒定时, 即变化范围 ≤5℃, 则可使用方法 4 的内阻法来进行预测。

3.3 云平台后台服务器管理的设计

本文主要利用云平台的两大功能: 云计算、云储存。云平台并不是独立的架构, 是需要大量的后台服务器支持其功能正常运作。因此在本设计中, 后台服务器应该具备以下功能:

电芯充放电数据监控。BMS 主控模板收集并整理好 EVs 所有电芯的充放电数据 (包括电流、电压、温度、内阻等), 通过 5G-DTU 将全部信息传输至云平台的后台服务器。在监控充放电数据同时, 服务器也进行数据存储, 存储时间取决于 EVs 厂商要求, 通常要求以年为单位, 企业可以对某款 EVs 进行大数据分析, 报废后能够分析其全寿命周期。

用户信息管理。此项功能主要针对服务厂商, 能够通过云平台的后台服务器将 EVs 信息与用户信息绑定。用户信息包括了 EVs 购买者信息, 用户对 EVs 的充放电规律, EVs 的行程定位、运行时长、运行状况等。注意, 收集的用户信息在后台服务器要进行加密保护措施, 权限设置为仅用户和厂商能进行查看, 不允许编辑。

硬件信息管理。此项功能主要针对 EVs 内部所有零部件情况, 检测各硬件安全状况、寿命期限、ID 信息等。

表 2 设计案例中八种 SOH 评估方法总结

方法	RMSE	预测速度	云平台负荷	优点	缺点	建议使用场景
方法 1	0.32%~0.48%	VI	III	计算简单、需数据少、对 LiFePO ₄ 电池预测好	其它种类电池未证明适用性	以 LiFePO ₄ 电池为驱动的 EVs 快速 SOH 预测
方法 2	0.82%~1.52%	III	VI	能解决电池 SOH 评估中的“容量再生问题”	精度相比于其它方法较低	EVs 长时间搁置后的 SOH 评估
方法 3	<4.14%	VIII	I	不需要完整充放电循环, 仅需部分数据	精度最低	需要极快计算速度, 瞬间导出结果
方法 4	<1.09%	VII	II	预测速度和预测精度实现平衡	当温度变化快时不适用	环境温度较恒定时的快速预测
方法 5	<4%	IV	V	适用于短期和中短期, 能以概率形式表示结果	长期预测时误差显著性增大	便于用户看到概率数字结果的短期预测
方法 6	<0.0245%	II	VII	各种电池适用性好	计算过程复杂	EVs 正常运行后
方法 7	<0.0208%	I	VIII	SOH 与 RUL 同步高精度预测	所需计算时间最长	需要最高精度且用户需看到剩余循环寿命数值
方法 8	<0.99%	V	IV	简单明了且对 NCM 电池适用性最好	不能处理“容量再生”问题	短时间未启动 EVs 充电后启动进行快速预测, 或以 NCM 电池为驱动的 EVs

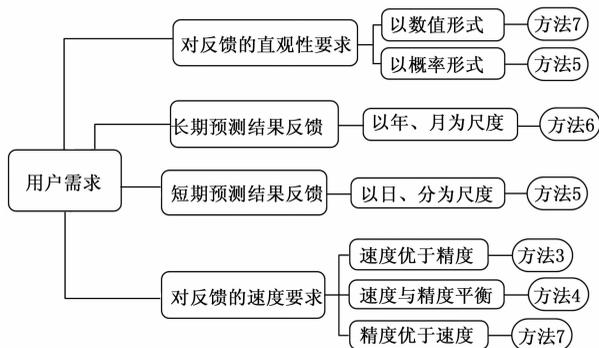


图 9 基于用户需求的反馈机制

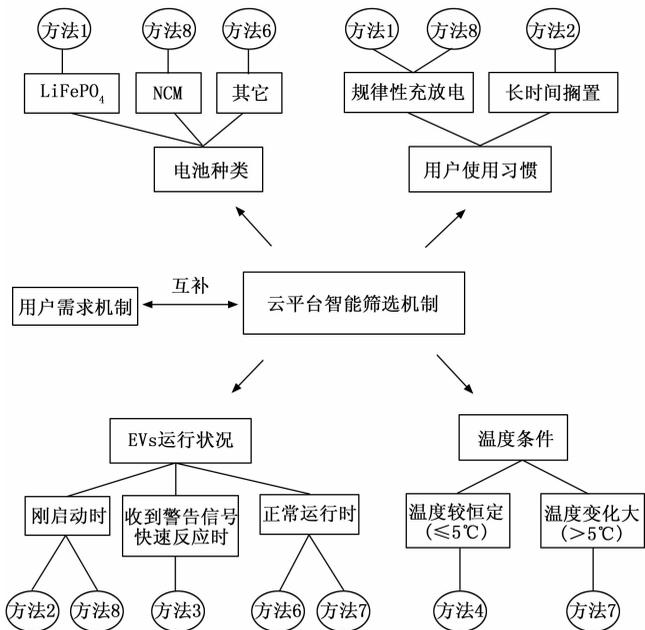


图 10 基于云平台智能筛选的反馈机制

相关数据分析。此功能主要包括了设计案例中多种 SOH 融合评估模型与算法。此外还应该包括：分析 EVs 的日志数据，从而得到用户的使用习惯规律，便于提供在不同时间段匹配最佳的评估机制；分析各电芯的数据，从而将电芯不一致性调控的方案反馈给 BMS 主控模块，主控模块通过调控模块向各模块下发调控命令，消除电芯的不一致性，提高电池组的使用寿命。

警告信号处理，此项功能主要是针对后台服务器对 EVs 紧急安全状况的处理。当 EVs 遇到碰撞或高温等其它安全状况时，BMS 控制电芯紧急断电或快速制冷等操作，并将最后的数据上传给云平台服务器实现紧急存储。该作用类似于飞机的“黑匣子”，记录 EVs 紧急状态前后所有信息，这样即使 EVs 在事故后完全毁坏且无法获得信息，用户和厂家也可以事后及时调取云平台的后台服务器记录进行取证分析。

4 用户端设计

在设计案例中，以阿里云平台搭载的八种电池 SOH 评估模型与算法，多线程计算后得到多种 SOH 评估与预测结

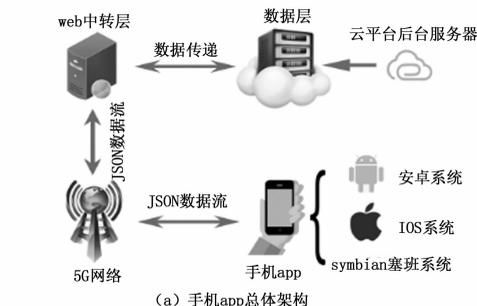
果。通过用户需求反馈机制和云平台智能筛选反馈机制，能够得到最合适的反馈结果，进而输送给 EVs 与用户端。因此，有必要针对用户端信息接收进行设计。

4.1 基于手机 app 端的应用程序设计

目前 5G 手机已经得到了大范围的普及，BMS 和云平台的信息实时传递是架构在 5G/4G 网络上的，因此基于 ApiCloud 平台工具，针对安卓系统、苹果系统、微软手机系统、塞班系统等多系统进行 app 开发与适配；设计数据库；开发后台系统；UI 优化等。

设计的手机 app，总体架构如图 11 (a) 所示，分为用户层、中转层、数据层。具体来说就是用户通过手机 app，向 web 端服务器发送 5G 信号，请求访问数据。web 端服务器通过与云平台的后台服务器的联系，得到多线程 SOH 评估值以及其它建议值，利用简易的 JSON 数据流格式返回用户 app 端。

登录手机 app 后，主界面的设计简单清晰，如图 11 (b)，应该包括五个可供选择的模块。



(a) 手机 app 总体架构



(b) 手机 app 主界面设计

(c) 电池健康预测界面设计

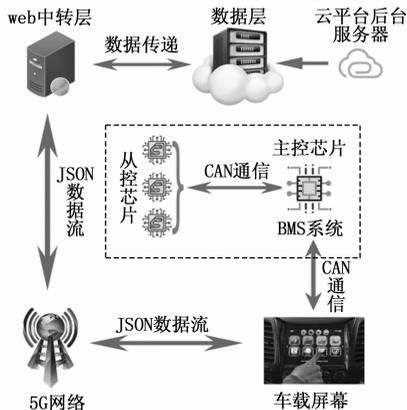
图 11 手机 app

模块 1 为我的信息，用户可修改个人相关信息，包括用户名、登录密码、汽车出厂编号等；模块 2 为电池健康预测，此部分为设计的核心，通过 BMS 与云平台的设计，实现了 EVs 锂离子动力电池在各种实际情况下的电池 SOH 评估与预测，结果将通过 5G 信号发送到用户手机 app 上。点击电池健康预测按钮进入后，界面分为用户需求与云平台智能筛选两部分，如图 11 (c)，用户需求分为直观性、

长期预测、短期预测、反馈速度；云平台智能筛选分为电池种类、用户习惯、运行状况、温度条件。模块 3 为历史数据查询，分为按时间段查询、按区域查询；用户可以输入想要查询的过去时间段或输入某一特定区域，app 会显示相关的电池健康状态变化曲线，行驶里程数，充放电循环次数，电量变化曲线等等。模块 4 为电池状态监测，包括当前状态下的电池温度、总电流、总电压、电量、预计剩余公里数等；这些数据来源均是电动汽车的 BMS 系统，主控制器模块收集所有电芯数据并归类处理上传到云平台服务器，再返回至用户 app 端，满足实时查询的功能。模块 5 为警告中心，当 EVs 出现紧急情况，如电芯温度剧烈升高，电池组机械损坏等，手机 app 会联动汽车车载屏幕程序，及时以“危险警告”报警提醒用户，并及时将数据与情况上报给云平台服务器，便于后续及时分析；若出现多块电芯达到终止寿命、冷却液缺失、风冷系统有灰尘堵塞等情况但不影响 EVs 正常运行，手机 app 会以“维修提醒”来警告用户及时返厂处理“暗病”，将电池不健康因素消除在萌芽状态。

4.2 基于 EVs 车载屏幕程序的设计

针对 EVs 车载屏幕的结果反馈功能架构如图 12 (a)，与手机 app 不同的是，车载屏幕的架构多出了 BMS 系统直连的功能。BMS 是通过 AFE 芯片收集电芯全部数据，利用设计的从控芯片解析得到数据，通过 CAN 通信上传到主控芯片，归类整理所有的电芯数据，得到在电量、电流、电压、温度等数据的变化，并可做成变化曲线图，CAN 总线直连上传到车载屏幕程序中，省去了通过云平台中转的过



(a) 车载屏幕程序功能架构设计



(b) 车载屏幕界面设计

图 12 设计图

程，能够比用户通过手机 app 更快地得到当前 EVs 数据。

智能化 EVs 发展道路离不开车载屏幕的支持，目前新型 EVs 的车载屏幕在向着更大触屏、更丰富交互体验、更人性化 UI 设计等方向发展。因此设计的车载屏幕如图 12 (b) 所示，注重模块化分布，界面简单交互性强，分为了两大部分：多媒体功能区、EVs 健康管理区。

5 结束语

针对电动汽车车载 BMS 不能同时兼顾电池 SOH 评估的精度与速度，难以在各种时间尺度上满足预测的需求，致使电动汽车电池健康管理实际应用发展缓慢的问题，提出了融合云平台与 BMS 的电池健康管理体系架构思路，能够实现 5G 在线评估电池健康状况，集合各种电池 SOH 评估模型与算法，多线程实时计算并反馈预测结果，满足多种动力电池种类和工况条件，为电动汽车健康管理提供了新方向，具有较好的未来应用价值。

参考文献：

- [1] KULOVA T. A Brief Review of Post-Lithium-Ion Batteries [J]. International Journal of Electrochemical Science, 2020; 7242 - 59.
- [2] XIONG R, PAN Y, SHEN W X, et al. Lithium-ion battery aging mechanisms and diagnosis method for automotive applications: Recent advances and perspectives [J]. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2020, 131.
- [3] HAN X, LU L, ZHENG Y, et al. A review on the key issues of the lithium ion battery degradation among the whole life cycle [J]. eTransportation, 2019, 1: 100005.
- [4] XIONG R, ZHANG Y Z, WANG J, et al. Lithium-Ion Battery Health Prognosis Based on a Real Battery Management System Used in Electric Vehicles [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2019, 68 (5): 4110 - 21.
- [5] HOSSAIN LIPU M S, HANNAN M A, KARIM T F, et al. Intelligent algorithms and control strategies for battery management system in electric vehicles: Progress, challenges and future outlook [J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 292: 126044.
- [6] SHI H, WANG S, WANG L, et al. On-line adaptive asynchronous parameter identification of lumped electrical characteristic model for vehicle lithium-ion battery considering multi-time scale effects [J]. Journal of Power Sources, 2022, 517: 230725.
- [7] KIM T, MAKWANA D, ADHIKAREE A, et al. Cloud-Based Battery Condition Monitoring and Fault Diagnosis Platform for Large-Scale Lithium-Ion Battery Energy Storage Systems [J]. Energies, 2018, 11 (1): 125.
- [8] TRAN M-K, PANCHAL S, KHANG T D, et al. Concept Review of a Cloud-Based Smart Battery Management System for Lithium-Ion Batteries: Feasibility, Logistics, and Functionality [J]. Batteries, 2022, 8 (2): 19.
- [9] 国家市场监督管理总局、中国国家标准化管理委员会. 电动汽车用电池管理系统技术条件 [S]. 工业和信息化部, 2020 - 03 - 31.

(下转第 252 页)