



# Review on the Development of Battery Management System for Electric Vehicles

Hu Pengqiu<sup>\*</sup>, Gao Le, He Dewu, Tan Rui, Sun Rongli, Wu Tong

Key-Laboratory of Information and Signal Processing, Chongqing Three Gorges University, Chongqing, China

## Email address:

990485129@qq.com (Hu Pengqiu), 18882021480@163.com (Gao Le), 782706563@qq.com (He Dewu), 1558122152@qq.com (Tan Rui), 1731476789@qq.com (Sun Rongli), 435709732@qq.com (Wu Tong)

<sup>\*</sup>Corresponding author

## To cite this article:

Hu Pengqiu, Gao Le, He Dewu, Tan Rui, Sun Rongli, Wu Tong. Review on the Development of Battery Management System for Electric Vehicles. *Asia-Pacific Journal of Electronic and Electrical Engineering*. Vol. 1, No. 1, 2019, pp. 1-8.

Received: March 16, 2019; Accepted: April 9, 2019; Published: April 27, 2019

**Abstract:** BMS (Battery Management System) plays a vital role in the safe operation of new energy electric vehicles and the improvement of battery performance. This paper briefly analyzes the development status of BMS at home and abroad, the current market share of new energy electric vehicle power battery system, and the cost structure of new energy vehicles. The comparative analysis of energy dissipation and energy non-dissipative two types of battery equalization control technology performance indicators; The current SOC (State of Charge) evaluation algorithm is reviewed, and the principle, advantages and disadvantages of various methods are analyzed. The research status of lithium-ion battery pack optimized charging control technology at home and abroad is introduced. The relationship between the three key technologies of BMS is summarized. And look forward to the future development trend of BMS.

**Keywords:** Electric Vehicle, Battery Management System, Battery Balancing Control, Battery Optimization Charge Control

## 电动汽车电池管理系统发展综述

胡棚秋<sup>\*</sup>, 高乐, 何德伍, 杨芮, 孙荣利, 吴桐

重庆三峡学院信息与信号处理重点实验室, 重庆, 中国

## 邮箱

990485129@qq.com (胡棚秋), 18882021480@163.com (高乐), 782706563@qq.com (何德伍), 1558122152@qq.com (杨芮), 1731476789@qq.com (孙荣利), 435709732@qq.com (吴桐)

**摘要:** BMS(Battery Management System, 电池管理系统)对新能源电动汽车安全运行、提升电池性能等方面发挥着至关重要的作用。文章简要分析国内外BMS发展现状以及目前新能源汽车动力电池系统所占市场份额、新能源电动汽车成本构成; 对比分析能量耗散式和能量非耗散式两大类电池均衡控制技术性能指标; 对现有SOC(State of Charge, 电池剩余电量)评估算法进行综述, 并分析了各种方法原理及优缺点; 介绍了国内外锂离子电池组优化充电控制技术研究现状; 总结BMS三大关键技术之间联系, 并展望了BMS未来发展趋势。

**关键词:** 电动汽车, 电池管理系统, 电池均衡控制, 电池优化充电控制

## 1. 引言

电动汽车是新能源汽车的主要种类,它能够地节能减排并实现环保目标,所以电动汽车的普及能够减少环境污染、解决石油危机、保障国家能源安全、实现经济社会可持续发展,对汽车行业的发展具有跨时代的意义。动力电池技术是新能源汽车发展的核心技术之一[1],因为动力电池的续航里程、循环寿命、生产成本等众多因素都决定着电动汽车的整车性能。BMS作为新能源汽车三大关键技术之一[3],是驾驶者和车载动力电池、整车控制器的之间信息沟通的桥梁。BMS对于电动汽车整车性能有着举足轻重的作用[2],BMS承担保障车辆运行安全、提高动力电池使用周期和维持电池系统正常运行的重要功能。

目前,国内外学者在新能源汽车BMS领域的研发取得了可观的进展,在实际中应用也解决了不少核心技术攻克的技术问题,但仍然存在如动力电池均衡管理系统功能不够集中、SOC估算算法的精准性有待提高、电池组优化充电控制技术有待进一步提升等问题。

本文通过查阅大量文献,对 BMS电池均衡控制技术、SOC评估算法、电池组优化充电控制技术三大关键技术的难点、发展趋势进行分析,预测了三大关键技术未来技术发展趋势,对延长新能源汽车动力电池寿命、增加行驶里程、提高整车稳定性和行车可靠性的研究提供了参考性的指引。

## 2. 国内外BMS发展现状

电动汽车逐渐成为汽车工业发展趋势,BMS作为确保汽车动力源正常运行的保障,对电动汽车的安全可靠行驶起着至关重要的作用。经过近几年的投入研发,国内外各大车企联合高校、科研院所在动力电池的研发方面取得了一系列的研究成果。电池系统占整车成本比例如图1、图2所示。

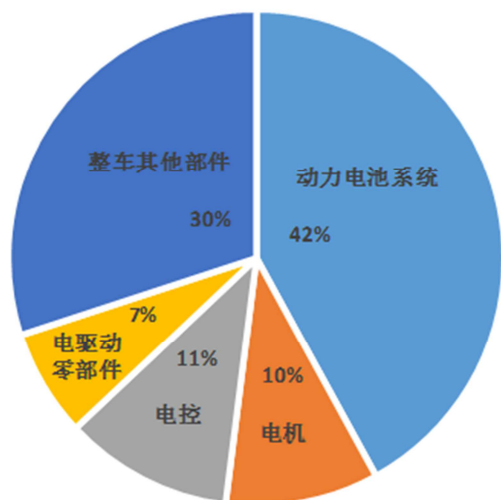


图1 新能源汽车动力电池系统成本构成。

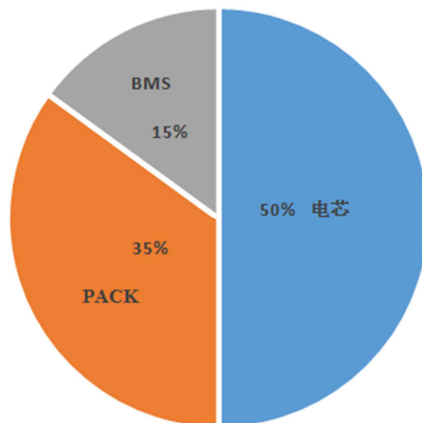


图2 新能源汽车成本构成。

电动汽车飞速发展,动力源不断地更新换代,当今电动汽车动力电池以锂电池为主,如何更加高效以及安全的使用锂电池成为了当前电动汽车BMS面临的挑战,BMS也逐渐被认定为新能源汽车核心技术。

### 2.1. 国内现状

我国对电池管理系统的研究起步较晚,起步于“十一五”规划期间,技术尚不成熟,欧美发达国家共计只有10余家BMS企业,国内却拥有超过100余家注册BMS企业,导致国内市场集中度不高、竞争激烈、内耗严重、资源浪费大、技术优势不明显等,呈现“多而不强”局面,整个行业鱼龙混杂[4]。

上海交通大学对电池管理系统的研究领先于国内其他高校,涉及到单体电池、电池组的电压、电流检测和充放电检测等,其测量精度较高。北京理工大学采用智能的神经网络方法估算铅酸蓄电池的SOC,大量实验结果表明此方法具有可行性。目前我国涉及BMS的企业有近百家,比亚迪、CATL、中航锂电拥有配套的BMS核心技术,通常采用“BMS+PACK”模式,掌握了电芯到电池的包整套核心技术,具有较强的市场竞争实力[5],如比亚迪秦的电池管理系统具有单体电池自动均衡功能和能量、热管理功能,北汽、长安、吉利等车企研发也逐渐联合高校和研究院开始涉足BMS的研发[6]。

我国BMS市场供应商主要由整车厂商、动力电芯厂商和专业BMS厂商三类企业参与。整车厂商主要涉足于BMS,电芯的项目很少参与,国内车企北汽、长安、吉利等在BMS的研发中无论是成本和效率均有较强的竞争实力。动力电芯厂商率先涉足动力电池的研发,以“BMS+PACK”的模式,拥有自主的从电芯到电池包的核心技术,如BYD、CATL、中航锂电和国轩等车企。专业BMS厂商处于主导地位,具有先天技术优势,主要包括亿能电子、科列技术、力高新能源等厂商。

随着我国新能源汽车产业的高速发展,作为电动汽车核心部件的BMS的需求量也迅猛增加。数据显示,2017年我国新能源汽车BMS约有54亿元的市场规模,预计到2020年市场空间有望达到247亿元,到2025年BMS市场规模将超过500亿元。在新能源汽车对动力电池“安全+高能”的要求下,高效能的动力电池BMS将愈发受到重视[4]。

## 2.2. 国外现状

汽车工业发达国家如：美国、日本、德国等各大车企、电池厂商为了提高电动汽车的性能已经逐步在电动汽车上装配BMS。

美国对于BMS的研究处于世界领先水平，通用公司自主研发的基于电池模块的BMS，能够检测单体电池的状态信息，更加高效的完成均衡，保证了动力电池可靠地安全性。美国高性能豪华电动轿车特斯拉将电动汽车“三大件”中BMS作为单独研发的核心技术，并在2008年至2017年期间共计超过140多项核心知识产权都聚焦于BMS。

日本丰田-普锐斯的BMS具有先进的热管理功能，能够保持电池工作在适宜的温度环境，进一步提高电池的稳定性。Toyota公司推出的RAV4电动汽车的BMS具有电池短路保护功能，极大地提高了电动汽车的安全性。

德国Mentzer Electronic GmbH和Werner Retzlaff为领导团队研发出了BADICHEQ系统，该系统通过存储历史充放电周期的数据，判断电池的工作状况，能够快速检索电池错误使用情况 [7]。西门子公司研发的BMS，在保证传

统功能基础上还新增了对动力电池充电过程中电池的变化特性实时跟踪，根据充电特性控制充电器工作状态，全面控制充电过程，并进行优化。

欧洲国家中法国处于研发电动汽车前列，法国政府实施了电动汽车计划，设计了随车BMS对其进行特定的控制和管理。

## 3. 电池管理系统关键技术发展

整个动力电池系统要平稳的运行，需要一个支配的智慧大脑-BMS[8]。BMS应具有的功能总体可分为检测、管理和保护三大部分，最为核心的功能为热管理、SOC估计和均衡控制，成为全球汽车领域研究者研究的焦点[9]。BMS根据使用环境对电池充放电过程进行检测与控制，保证电池安全的前提下最大限度利用电池储能。BMS功能细分包括数据采集、状态评估、数据显示、热管理、数据通信、安全管理、能量管理和故障诊断，其功能框图如图3所示。

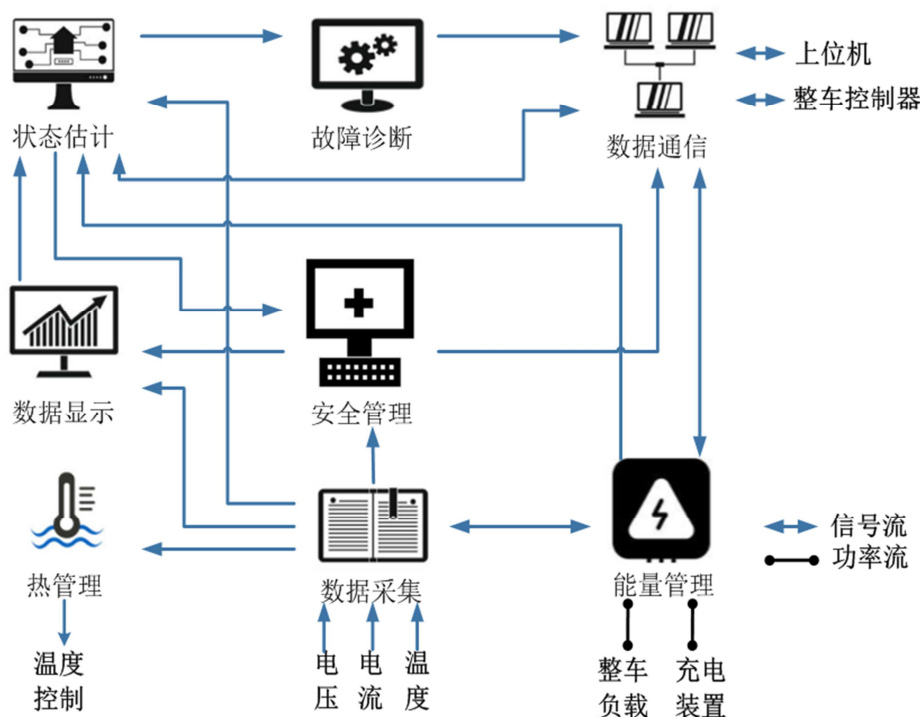


图3 BMS功能框图。

## 3.1. 电池均衡技术

在电动汽车中，动力电池组由单体电池串并联组成，以保证电动汽车对电压和容量的使用需求[10]。实现电池均衡的最终目的是为了平衡单体电池剩余电量的差异，充放电均衡性直接决定了车载动力电池使用寿命，目前均衡技术研究主要集中在均衡策略研究与均衡电路拓扑结构研究。

均衡控制策略大体可分两种：基于电压的均衡和基于SOC的均衡。由于电池负载电压便于测量，在一定程度上可以间接表示SOC的变化，此方法控制简单容易实现，但多次循环充放电后锂电池在极化效应、外在因素等影响下

将导致其均衡效果不够精确。由于电池容量以及SOC相关数据的获得要综合考虑电池所处不同环境因素下的电流、电流和温度等一系列参数。

众多外在因素的干扰以及计算的方法有待完善，导致SOC均衡控制实体应用案例不多。尽管如此，还是有研究人员进行了尝试。Jong-Hoon Kim等人[11]基于SOC的均衡方法设计了含有20节单体锂离子电池组，获得较理想的实验结果。Jingyu Yan 等人[12]提出一种模糊控制的 SOC均衡方法，均衡效果显著。

电池充放电均衡过程中对能量的消耗类型可分为能量耗散式和能量非耗散式(无损耗均衡)均衡电路，部分国外文献分别称之为被动均衡和主动均衡。

能量耗散式：根据电池电量与电压的正比关系和单串电池电压数据，通过旁路电阻放电高电压电池电量与低电

压电池电量能量状态持平。如果电池组比作木桶，串结的电池就是组成木桶的木板，高电量的电池为长版，低电量的电池为短板，能量耗散式均衡做的工作就是“取长不补短”[13]。

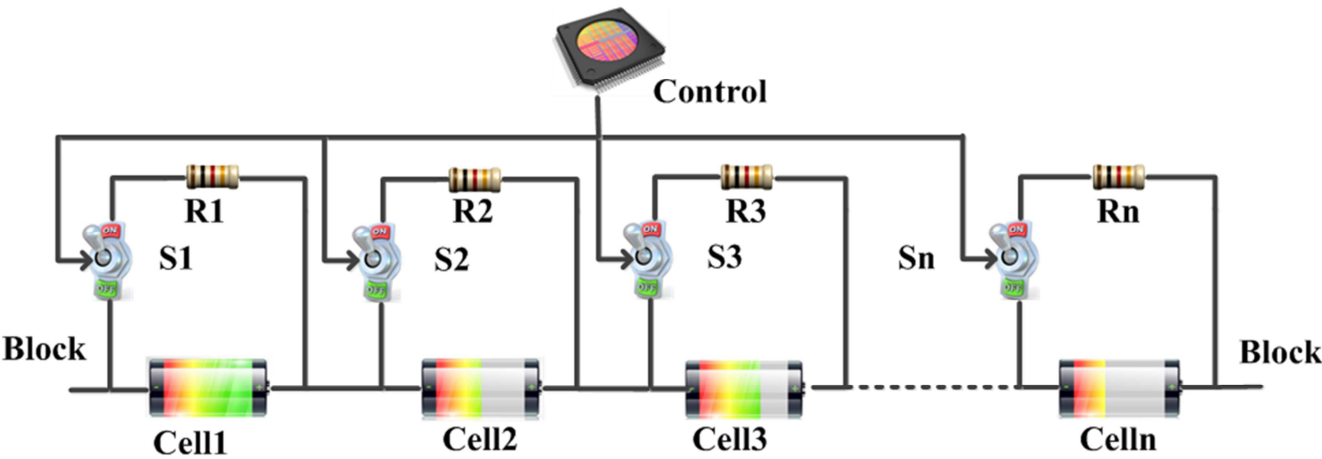


图4 能量耗散式均衡示意图。

能量非耗散式：利用储能元件和均衡旁路将高电压电池电量转移到低电压电池中，达到电池组电量持平状态，避免了均衡过程中能量的浪费，相当于对木板“截长补短”[13]。

能量非耗散转移均衡电路(含有电容、电感等储能元件)具有效率高、损耗少等优点，但其结构较复杂，一旦在电量转移过程中均衡电流过大将会对低电压电池组造成不可修复的损伤。

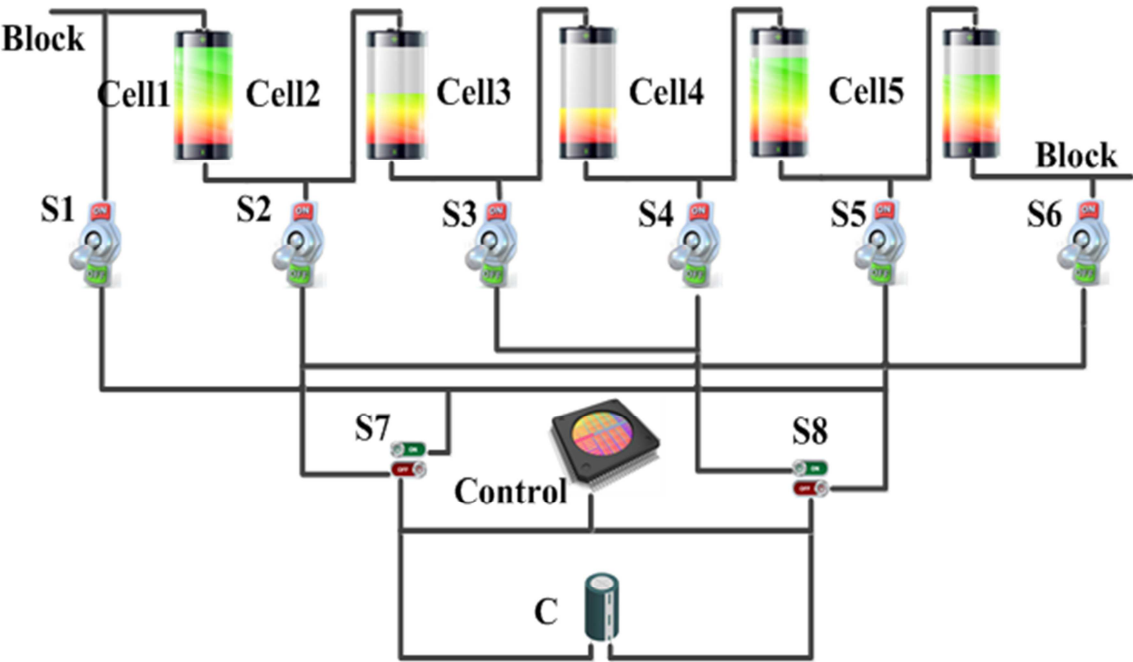
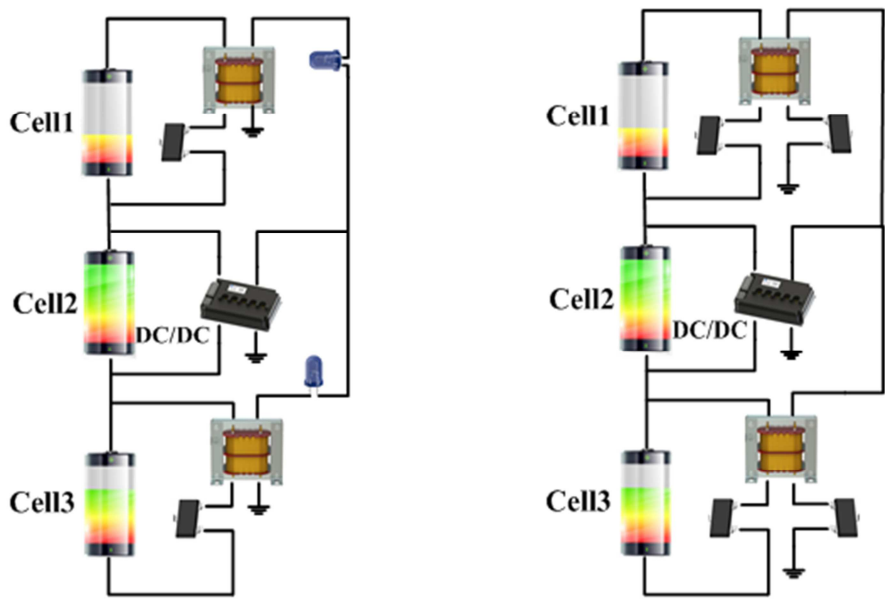


图5 能量非耗散转移式均衡示意图。

能量非耗散转换均衡电路采用分散式或集中式结构，实现由电池组向单体电池或者单体电池向电池组通过同轴线圈单向或双向能量转换。





a)单向 DC/DC 变换器 b)双向 DC/DC 变换器

图6 能量转换式变换器。

该方式主要分为电容型、变换器型和变压器型进行电池能量转移。DC-DC变流器法均衡过程速度快、无能量损耗，目前国内外研发者青睐的均衡方法[14]。

综上，不同的电池组均衡策略各有优缺点，并适用于不同应用场景，具体对比分析如表1所示。

表1 常见均衡策略性能对比分析。

均衡策略	控制难度	均衡速度	能量效率	使用范围	系统变更	成本	体积
能量耗散式	低	慢	极低	小功率	易	低	小
能量非耗散式	较高	慢	高	中等功率	易	低	较小
单相DC/DC转换均衡	较高	较快	高	中/大功率	较难	较高	较小
双向DC/DC转换均衡	较高	较快	较高	中/大功率	较难	较高	较大

国外纯电动汽车电池管理系统多采用能量非耗散式均衡，既保证了无损均衡，又能够实现单体电池之间均匀分配能量。如特斯拉Model S、宝马MiniE系、日产聆风等车型均采用主动式BMS均衡，具有较高的检测精度，特斯拉采在每个电池模组上均采用电池监控板来监控每块单体电池的电量，在整个电池包上配备有电池系统控制器以及智能保险，从而监控整个电池包的工作环境[15]。国内BMS基本采用能量耗散式均衡或无均衡功能，通过电阻放电，均衡过程浪费能量，存在一定的安全隐患，既不节能也不环保。国内能量耗散式均衡功能简单，只涉及电池电压、剩余电量的实时显示，较国外先进的技术还有一段差距，目前国内车企仅比亚迪在电池领域取得了一定的成果，如比亚迪唐和秦的均衡模块采用的是能量耗散式均衡方式。

均衡过程中最主要的是要首先检测出各单体电池和电池组的电量具体情况，然后根据“截长补短”原理实现均衡能量，其中在检测过程中实现对电池检测的器件精度要求也很高[16]，LTC(Linear Technology Corporation，凌力尔特公司)相继推出了LTC6802、LTC6803两款高压电池监视器，该器件主要是面向HEV(Hybrid Electric Vehicle，混

合动力电动汽车)、EV(Electric Vehicle，电动汽车)以及其他高压、高性能电池系统，LTC系列产品的推出对改善电池测量精度有了极大的提高。

3.2. 电池剩余电量评估技术

锂电池荷电状态变化是非线性的，诸如通过影响电化学反应、温度等各种因素，不能被直接测量，因此，它已成为在估算中的障碍[17]。合理的使用电池，充分利用电池的能量，延长电池使用寿命，是电池储能技术发展中需解决的问题[18]。

剩余电量和荷电状态两者并不等同，其定义与单位也存在着差异。

SOC常用定义是

$$SOC = \frac{Q_{remain}}{Q_{rated}} \times 100\% \tag{1}$$

式中  $Q_{remain}$  为剩余电量， $Q_{rated}$  为电池容量，其物理单位用“库伦”(C)或“安时”(Ah)，荷电状态反应了电池容量的变化情况。

剩余电量：广义为，所有可能发生的化学反应释放的电荷量；狭义为，在限定的温度条件和放电倍率情况下，电池所能释放的电荷量。

SOC估算算法的精准性直接决定了动力电池的充放电性能、稳定性、安全性以及电池的循环寿命，进一步影响到整车性能，因此，BMS需要进一步的提高SOC估算精度。

- 1) 按时积分法(最常用)，利用电池在充放电过程中电流在时间上进行积分运算来估算SOC。

$$SOC = SOC_0 - \frac{1}{C_N} \int_{t_0}^t \eta I d\tau \quad (2)$$

其中， $SOC_0$ 为初始荷电状态， $C_N$ 为额定容量， $I$ 为电流， $\eta$ 为充放电效率，此方法有一定的局限性和缺点，如容易受到环境温度影响、 $\eta$ 系数不定、测量精度误差导致SOC出现误差等。

- 2) 内阻法，1979年，Gopikanth[19]首次提出基于电阻与核电状态间的函数关系，并建立了SOC估算方法，此方法基于动力电池处于充放电过程中，电池

电阻与其容量呈现的一定的数学函数关系。由于受环境温度等因素的影响，较少的应用于车辆电池的测量。

- 3) 开路电压法(最简单)，开路电压法通过测量电池开路电压OCV，根据SOC与OCV之间的函数关系得出SOC的值，测量过程耗时长需等电池静置至稳定之后进行测量，电池处于放电末期时该方法估测效果较好。Roscher和Sauer[20, 21]关注了众多锂离子电池放电特性，包括动态滞回特性和特定的开路电压松弛效应，并基于状态参数估算方法给出了评价细则。
- 4) 神经网络法，将电池的电量(电流、电压、电阻等)设为输入量，模拟人脑生物过程人工智能系统，通过大量数据对该系统多次训练，满足要求后可进行实时输入数据对SOC估算。
- 5) 卡尔曼滤波法，即通过输入信号和噪声的状态空间模型，采用前一时刻的估计值和现时刻的观测值来更新对状态变量的估算，求出现时刻的估计值[22]。图7为Kalman滤波结构图[23]。

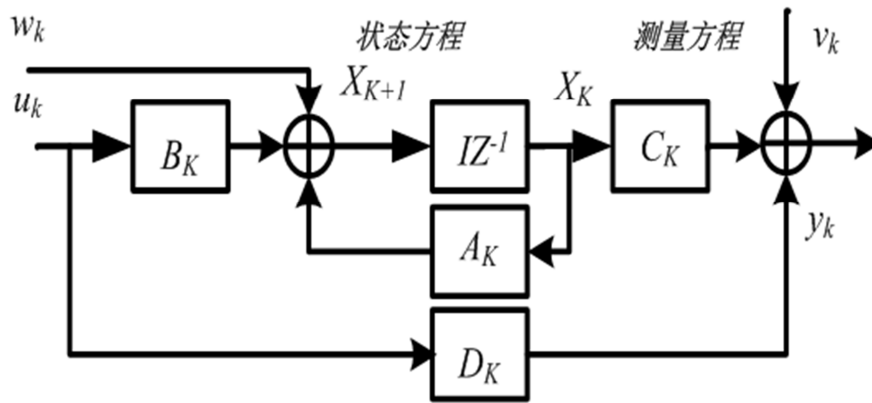


图7 Kalman滤波结构图。

$A_k$  系统矩阵， $B_k$  控制输入矩阵， $C_k$  量测矩阵， $I Z^{-1}$  为延时环节， $w_k$  为系统噪声， $u_k$  为量测噪声， $w_k$  和  $u_k$  为相互独立且符合正态分布的 Gauss 型白噪声， $x_k$  为系统状态， $u_k$  为控制输入， $y_k$  为系统输出[24]。

清华大学采用开路点压法估算初始SOC，然后结合按时法估算放电容量；香港大学、武汉理工大学和美国普渡大学采用人工神经网络，设计了SOC估算器，该估算器主要以电池包电流、累计按时、电池包温度为输入量，以SOC为输出变量；美国通用公司、德国宝马公司、韩国现代电机公司和日本本田公司采用按时法，用额定容量减去放电容量、自放电容量及温度补偿之和来估算电池包SOC；美国科罗拉多州大学采用Kalman滤波法，主要以模型为基础，消除信号测量中的白噪声。

### 3.3. 电池组优化充电控制技术

截至2016年底，我国的机动车保有量为2.9亿辆，每年都有数亿台车载铅酸蓄电池被淘汰，这不仅造成浪费，

也对回收处理及环境都造成巨大的压力，如果通过新技术延长铅酸蓄电池的使用寿命，将产生良好的社会效益和巨大的经济效益[25]。

采取何种充电方式是确保动力电池的可循环使用寿命长短和性能优劣的关键[26]。为了更加方便电动汽车的使用要求，快速充电也逐渐成为一种趋势[27]，该技术包括了脉冲充电和智能充电，快速充电、充电策略智能化将会是锂电池未来充电技术发展主流[28]。

在电动自行车发展史上，有过“电池不是被用坏的，而是被充坏的[29]”，电动汽车较于电动自行车电动汽车结构更为复杂，因此对电动汽车电池组的充电方式要求严格，在确保充电安全的同时还需要综合考虑电池循环使用寿命、充电速度快和节约成本等因素[30]。评价充电特性的四大指标[26]是：

- ① 充电效率最高化；
- ② 充电寿命最长化。
- ③ 充电容量最大化；
- ④ 充电时间最小化；

电动汽车发展史上是否会上演同样的历史“电池不是被用坏的,而是被均衡坏的”,这值得所有BMS研发机构、厂商值得警惕,因此电池均衡策略和均衡方式都应当高度重视[29]。

清华大学汽车系在资深技术教授张建波等学者引领下与知名国企一汽合作研发并推出一辆纯电动SUV,北京清行竞克400基于森雅S80车型打造,快充1小时充满电,持续续航可达305公里。第二款电动汽车E-TAKE概念车,合众汽车,是清华大学产业公司投资的新能源车企,充电30分钟即可达80%电量,可跑320公里[31],综合工况续航可达400公里,具有快充和慢充两种充电方式,普通慢充需要6-8小时。清华大学赵争鸣、陈凯楠博士等展开了对电动汽车无线充电技术的研究,无线充电技术的研发成功将会极大提高电动汽车充电的便利性、安全性、智能化、紧凑型以及更好的环境融入性,无线充电技术的应用将会是电动汽车具有划时代的技术变革。

北京交通大学新能源研究所下属课题组在王建强副教授等带领下提出的基于反激式变压器的电池充电均衡方法的基础上,研究了通过控制算法实现电池组快速均衡方法,通过仿真验证,为更加高效的均衡充电打下理论和实验基础[29]。

国外涉足无线充电的包括HaloIPT公司于2011年11月,在伦敦展示了雪铁龙电动汽车无线充电,2015年10月,高通公司在第二届电动方程式(Formula E)竞标赛上展示了宝马i8安全引导车的7.2KW无线充电系统[32]。MIT-Witricity与美国汽车部件生产商Delphi以及日本丰田公司合作,致力于无线充电系统研发。ORNL(Oak Ridge National Laboratory,美国橡树岭国家实验室)、日本东京大学与国土交通省、德国庞巴迪、以及宝马、尼桑、特斯拉等先后都对电动汽车无线充电技术开展研究。

徐磊[33]提出的恒流恒压充电方法将充电过程分为预充电、恒流充电和恒压充电三个阶段,充电过程中加入小段停歇时间消除电池极化,结合了恒压、恒流和脉冲充电特点,提高了充电速率。霍超[34]提出超大电流尖峰脉冲充电方法,利用充电电流始终接近铅蓄电池的马斯最佳充电电流曲线,即在脉冲充电基础上采用尖峰电流进行快充。王迎迎[35]提出变脉宽正负脉冲充电,前期采用宽脉冲正负脉冲快速充电,待产生析气效应时缩减正脉冲脉宽,即在充电周期内,先用正脉冲充电后接一个或多个大电流放电负脉冲,然后间歇一段时间,可将电池充电过程中的极化效应完全消除。

广大研究者对锂离子电池快速充电的研发情况,对于不同材料和类型的电池如何在保证安全、高效和提高循环使用寿命的前提下的充电方式,并没有提出明确的充电标准。目前多数电动汽车仍采用恒流模式充电,最优充电模式要求满足快速、高效、安全、长使用寿命等指标。

## 4. 结论

电动汽车是汽车行业发展的必然趋势,具有更加安全、高效、可靠性高的BMS是提高新能源电动汽车性能的发展方向。电池均衡管理技术:无均衡损耗、均衡速度快、

均衡系统拓补结构简单,未来BMS研发重点将会集中在能量非耗散式均衡方式。SOC评估技术:目前技术还未成熟,已采取开发合作模式,集合国内外成功经验,力争建立更好的设计环境以及更加标准的设计流程。电池充电技术方面:快速充电、充电策略智能化将会是锂电池未来充电技术发展主流。BMS技术水平体现了车企对电动汽车核心技术自主研发能力。SOC的估算方法密切关联着电池均衡管理的控制,一方面对动力电池电能有着有效的均匀合理分配作用,另一方面也间接地引导着电池组优化充电控制,主要是根据充电方式对动力电池实现高效、安全的充电。由于目前国内外研发的BMS不兼容,资源得不到合理的配置,导致BMS发展步伐缓慢,从而限制了电动汽车的发展,因此具有通用性的BMS将会是电动汽车研发机构和车企需要关注的方向。

## 致谢

感谢重庆市自然科学基金(立项单位:重庆市科学技术委员会)规模化电动汽车入网可调度潜力分析及可靠性评估技术研究(编号:CSTC2018JCYA1571)资助。

## 参考文献

- [1] 唐国鹏 赵光金 吴文龙. 动力电池均衡控制技术研究进展[D]. 电源技术, 2015.
- [2] 阚宏林,肖亚平.基于OZ8920的电动汽车电池管理系统(BMS)研究与开发[J].电源技术, 2011, 35(09):1122-1124.
- [3] 鞠春红,张伟君,李福祯.MTBE的国内外研究进展[J].黑龙江科学, 2012, 3(01):38-40+50.
- [4] 特斯拉的杀手铜电池管理系统BMS国内发展如何? <http://shupeidian.bjx.com.cn/news/20180719/914274.shtml>. 2018-7-19
- [5] 郝晓伟.纯电动汽车锂离子电池组均衡策略研究及系统实现[D]. 吉林大学, 2013.
- [6] 最高机密:搞定了电池管理系统BMS,你就会像特斯拉那样牛×. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=16063945817317688>.
- [7] 林成涛,陈全世,王军平.用改进的安时计量法估计电动汽车动力电池SOC[J].清华大学学报(自然科学版), 2006, 46(2):247-251.
- [8] 走进宁德时代时代的电池管理系统(BMS). <http://shupeidian.bjx.com.cn/news/20180531/902100.shtml>. 2018-5-31.
- [9] CHENG K W E, DIVAKAR B P, WU H, et al. Battery-management system(BMS)and SOC Development for electrical vehicles [J]. IEEE Trans Veh Technol, 2011.60(1):75-88.
- [10] 刘红锐,夏超英.一种新型的电动车用电池均衡方法探讨[J].汽车工程, 2013, 35(10): 934-938.

- [11] KIM J H, SHIN J W, JEON C Y, et al. Screening process of Li-ion series battery pack for improved voltage/SOC balancing [C]//Power Electronics Conference (IPEC), 2010 International. USA: IEEE, 2010: 1174-1179.
- [12] YAN J Y, ZHU C, XU G Q, et al. Fuzzy control for battery equalization based on state of charge[C]//Vehicular Technology Conference Fall (VTC 2010-Fall), 2010 IEEE 72nd. USA:IEEE, 2010:1-7.
- [13] 电动汽车BMS的主动均衡和被动均衡是什么? <http://www.elecfans.com/qichedianzi/498999.html> 2017.
- [14] 刘伶 张乃庆 孙克宁 杨同勇 朱晓东. 锂离子电池安全性能影响因素分析[D].稀有金属材料与工程, 2010.
- [15] 干货 | 特斯拉纯电动汽车最全面技术分析 <https://www.d1ev.com/news/jishu/60953/2018>
- [16] KUPERMAN A, SITBON M, GADELOVITS S, et al. Single-source multi-battery solar charger: analysis and stability issues [J]. Energies, 2015, 8(7):6427-6450.
- [17] 王露,王顺利,陈蕾,张丽,刘小菡.一种改进的锂电池SOC粒子滤波估计方法[J].电池工业, 2018, 22(03):120-123.
- [18] ZHENG Ningnan. Energy consumption prediction and driving range estimation for electric vehicles [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2016.
- [19] Gopikanrh M, Sathyanarayana S. Impedance parameters and the state-of-charge. zinc-manganese dioxide and magnesium-manganese dioxide dry batteries. Journal of Applied Electrochemistry, 1979, 9(5):581-585.
- [20] Cirovic V, Aleksendric D, Smiljanic D. Longitudinal wheel slip control using dynamic neural networks. Mechatronics, 2013, (23) 1:135-146.
- [21] Chan C C, Bouscayrol A, Chen K. Electric, hybrid, and fuel-cell vehicles: architectures and modeling. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2010, 59(2):589-598.
- [22] 姜久春. 电池管理系统的概况和发展趋势[J]. 新材料产业, 2007, (12):40-43.
- [23] 马文伟,郑建勇,尤璠,张先飞. 应用Kalman滤波法估计铅酸蓄电池SOC[J]. 蓄电池, 2010, 47(01):19-23).
- [24] 林成涛,陈全世,王军平,等用改进安时计量法估计电动汽车动力电池SOC[J].清华大学学报, 2006, 46(2):247-251.
- [25] 蔡黎,代妮娜,邓明,邱刚. 车载铅酸电池的五段式充电修复方法[J]. 电池. 2018, (2):104-106.
- [26] 吕文强. 动力电池组均衡充电协调控制策略研究[D]. 吉林大学, 2016.
- [27] SU Haifeng, LIANG Zhiru. Orderly charging control based on peak-valley electricity tariffs for household electric vehicles of residential quarter [J]. Electric Power Automation Equipment, 2015, 35(6):17-22.
- [28] 张革,赵新,李国栋,等. 车载锂离子动力电池系统及充放电技术研究[J]. 电源技术, 2017, 41(4):641-643.
- [29] 吴迪. 锂电池充电控制与管理方法研究. 北京交通大学. 2015(07)
- [30] LI Guodong, CHEN Zhen, L Jinbing, et al. Mobile detection scheme of electric vehicle charging station [J]. Proceedings of the GSU-EPSA, 2017, 29(2):45-49.
- [31] Brian Black. 电子产品技术瞄向混合动力及电动汽车[D]. 汽车零部件, 2012.
- [32] 任晓峰. 电动汽车无线充电系统的研制及性能优化[D]. 哈尔滨工业大学, 2014.
- [33] 徐磊. 动力锂电池充电技术研究[D]. 太原科技大学, 2014.
- [34] 霍超. 基于能量库的铅蓄电池超快速充电方法的研究[D]. 河北科技大学, 2015.
- [35] 王迎迎. 电动汽车智能充电机的研究与设计[D]. 郑州大学, 2011.