

“十三五”国家重点出版物出版规划项目

能源革命与绿色发展丛书

新能源汽车关键技术丛书

谭晓军 著



十多年工作实践的凝结与思考  
聚焦电池管理系统的智能化技术

# 电动汽车 智能电池管理系统 技术

Technology on Intelligent Battery  
Management Systems for Electric Vehicles

 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

“十三五”国家重点出版物出版规划项目

能源革命与绿色发展丛书

新能源汽车关键技术丛书

# 电动汽车智能电池 管理系统技术

谭晓军 著

机械工业出版社

十多年来，作者与国内多家著名汽车生产企业及动力电池生产企业合作，对电池管理系统技术进行了深入的研究和探索，曾于2011年和2014年出版了两本关于电池管理系统的技术专著。本书结合作者近年来的工作实践，聚焦于电池管理系统的智能化技术，突出了电池管理的“策略”，突出了算法的“自适应性”；同时，智能诊断、智能参数识别往往离不开大数据，因此本书也探讨了电池的测试以及数据管理等问题。

本书可作为新能源汽车领域技术人员的参考书，也可以作为非汽车用“大型储能电源”从业者的技术参考书。

## 图书在版编目（CIP）数据

电动汽车智能电池管理系统技术/谭晓军著. —北京：机械工业出版社，2019.8

（能源革命与绿色发展丛书·新能源汽车关键技术丛书）

“十三五”国家重点出版物出版规划项目

ISBN 978-7-111-63228-3

I. ①电… II. ①谭… III. ①电动汽车-电池-管理 IV. ①U469.720.3  
②TM91

中国版本图书馆CIP数据核字（2019）第143043号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号 邮政编码100037）

策划编辑：刘星宁 责任编辑：刘星宁

责任校对：佟瑞鑫 封面设计：马精明

责任印制：张博

三河市国英印务有限公司印刷

2019年8月第1版第1次印刷

169mm×239mm·10.5印张·4插页·213千字

0001—3000册

标准书号：ISBN 978-7-111-63228-3

定价：59.00元

电话服务

网络服务

客服电话：010-88361066

机工官网：[www.cmpbook.com](http://www.cmpbook.com)

010-88379833

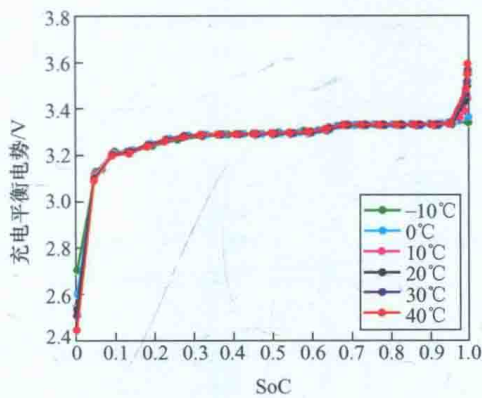
机工官博：[weibo.com/cmp1952](http://weibo.com/cmp1952)

010-68326294

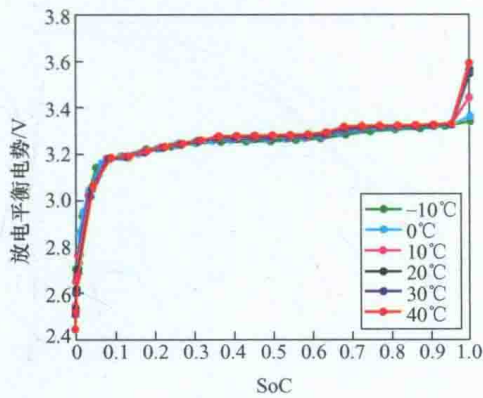
金书网：[www.golden-book.com](http://www.golden-book.com)

封底无防伪标均为盗版

机工教育服务网：[www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)

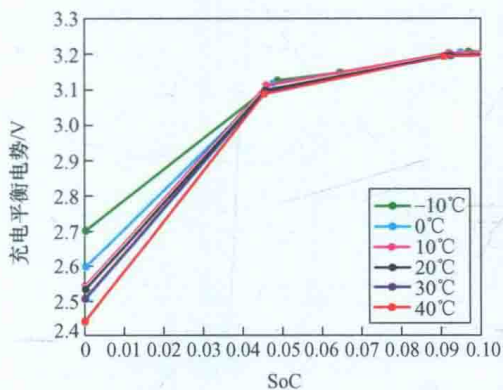


a) 充电平衡电势

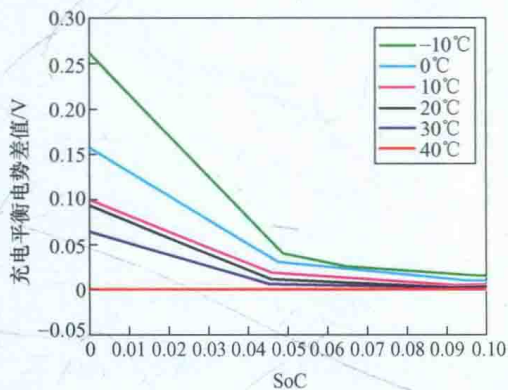


b) 放电平衡电势

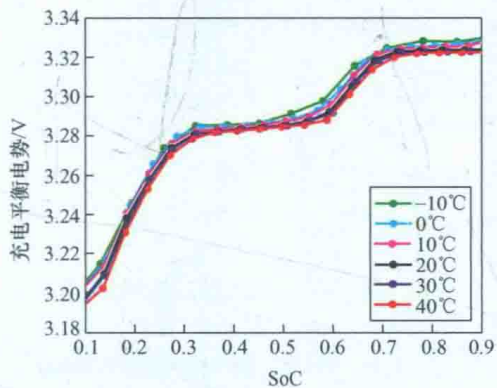
图2-2



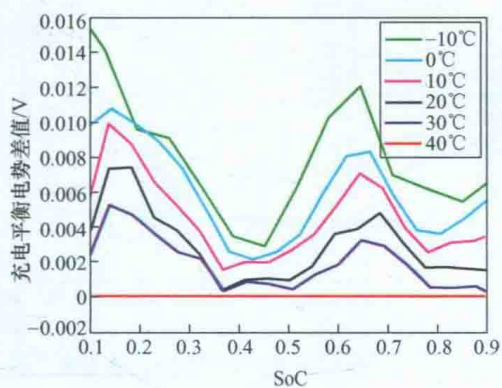
a) SoC ∈ [0, 10%] 充电平衡电势



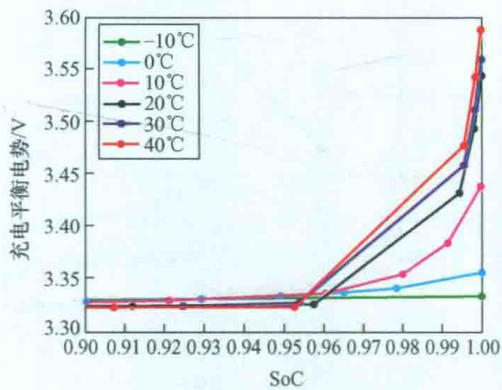
b) SoC ∈ [0, 10%] 充电平衡电势差值



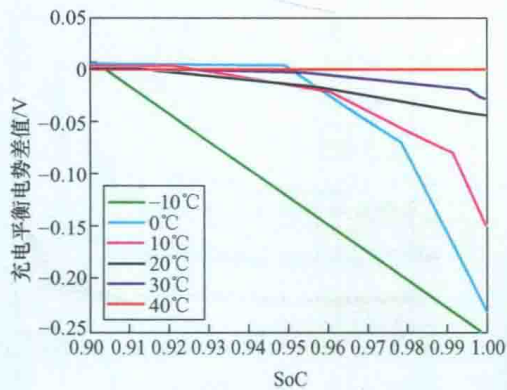
c) SoC ∈ [10%, 90%] 充电平衡电势



d) SoC ∈ [10%, 90%] 充电平衡电势差值

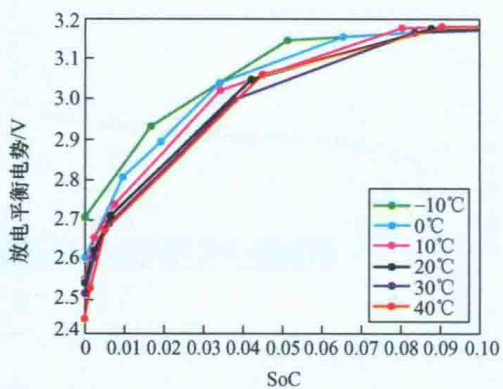


e) SoC ∈ (90%, 100%] 充电平衡电势

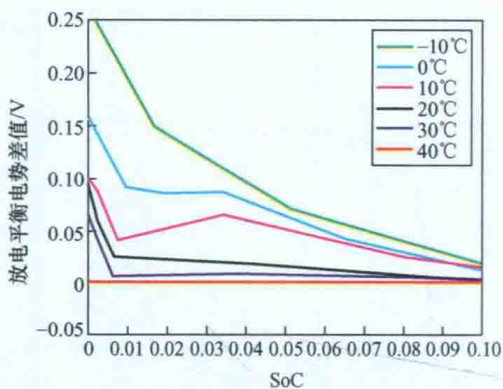


f) SoC ∈ (90%, 100%] 充电平衡电势差值

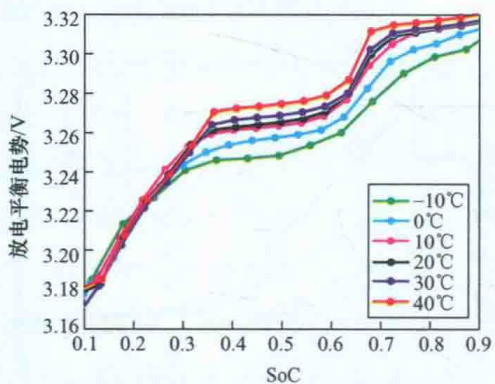
图2-3



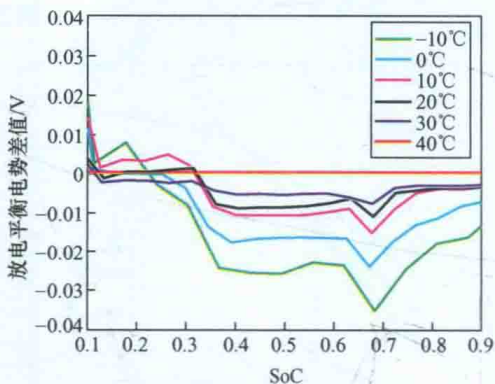
a) SoC ∈ [0, 10%) 放电平衡电势



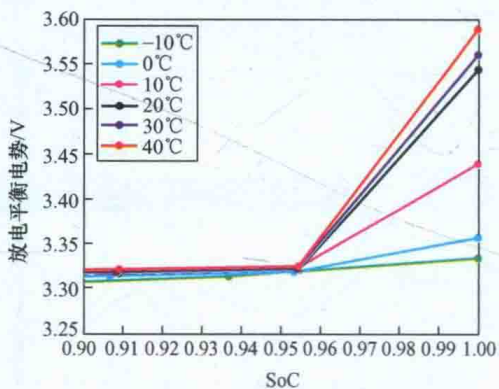
b) SoC ∈ [0, 10%) 放电平衡电势差值



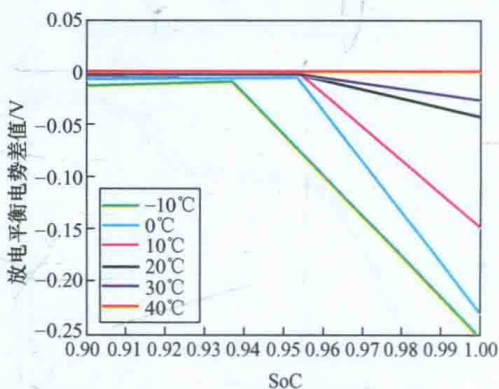
c) SoC ∈ [10%, 90%) 放电平衡电势



d) SoC ∈ [10%, 90%) 放电平衡电势差值

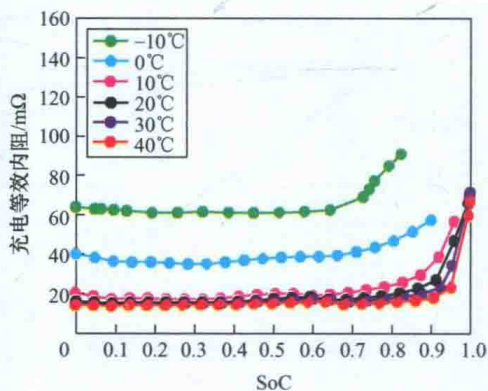


e) SoC ∈ (90%, 100%) 放电平衡电势

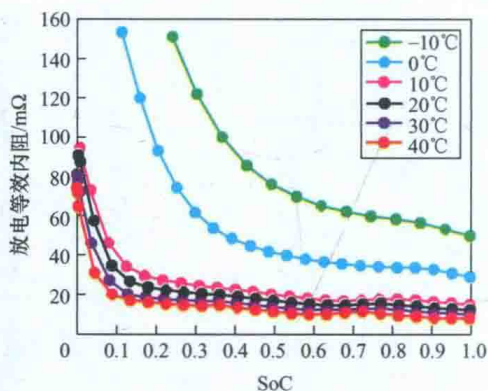


f) SoC ∈ (90%, 100%) 放电平衡电势差值

图2-4

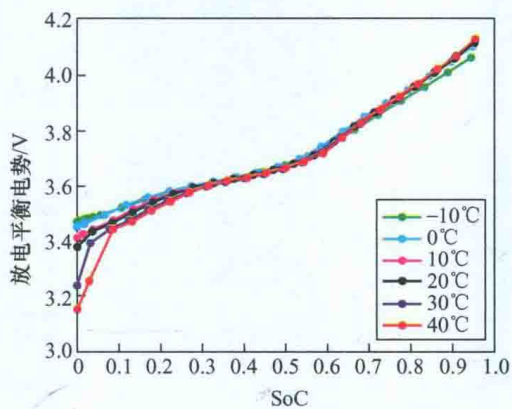
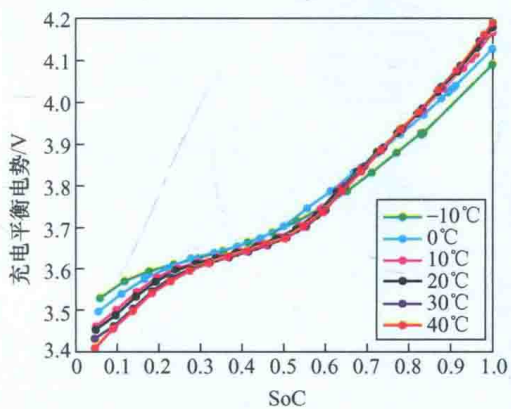


a) 充电等效内阻



b) 放电等效内阻

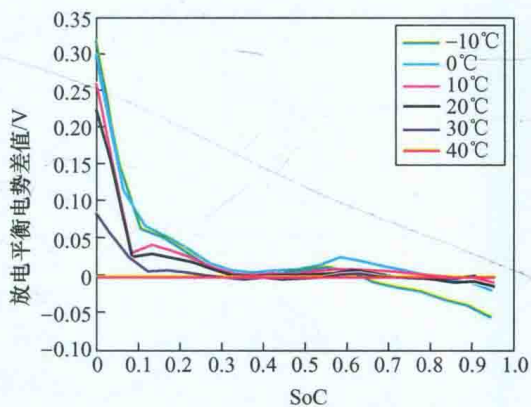
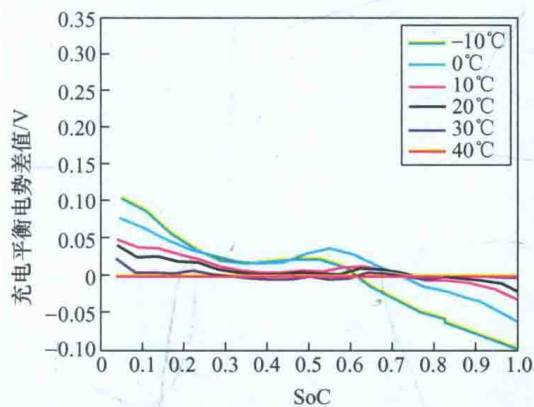
图2-6



a) 充电平衡电势

b) 放电平衡电势

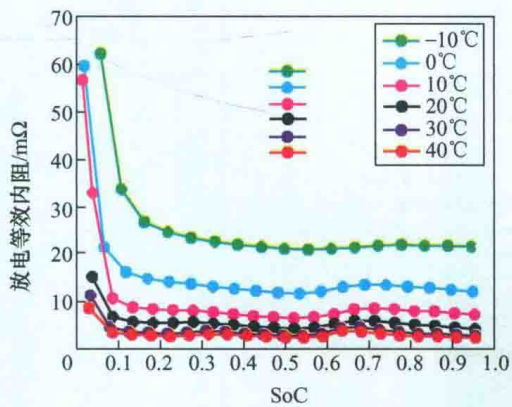
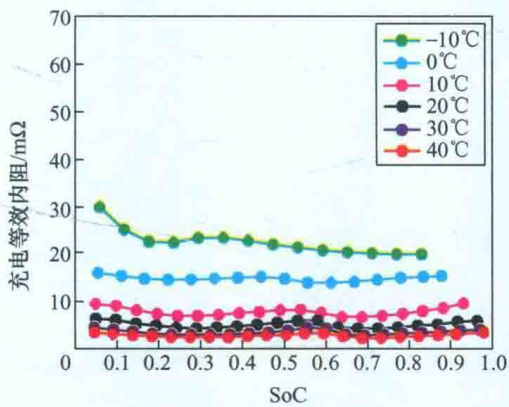
图2-9



a) 充电平衡电势差值

b) 放电平衡电势差值

图2-10



a) 充电等效内阻

b) 放电等效内阻

图2-11

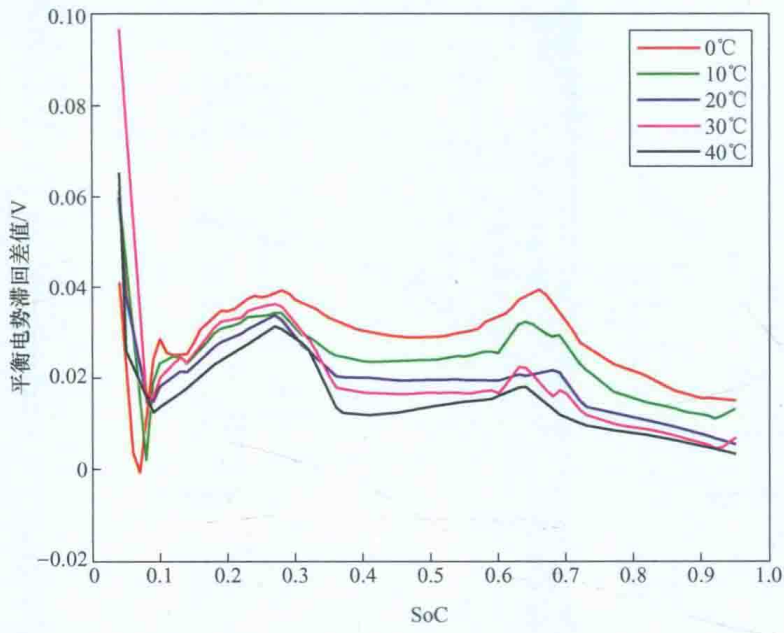


图2-12

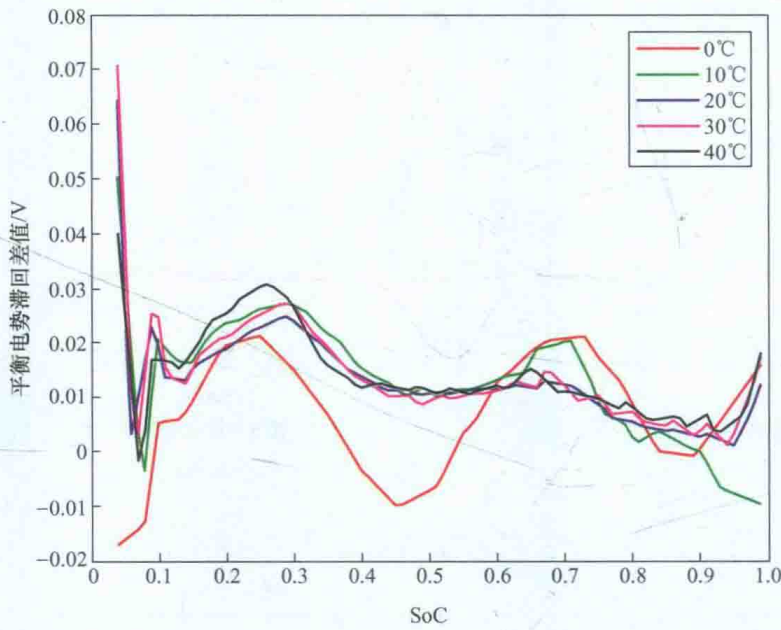


图2-13

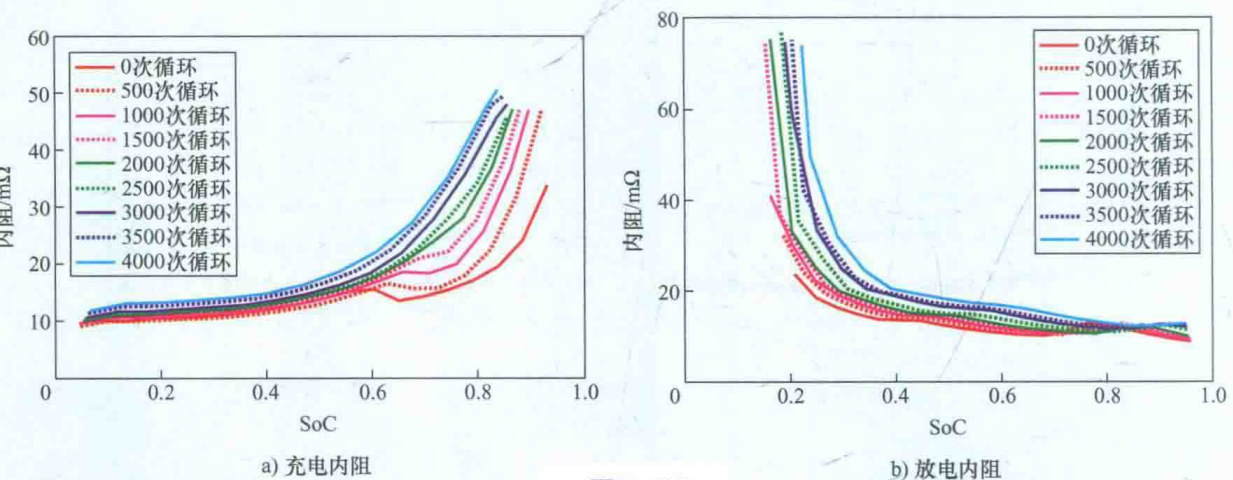
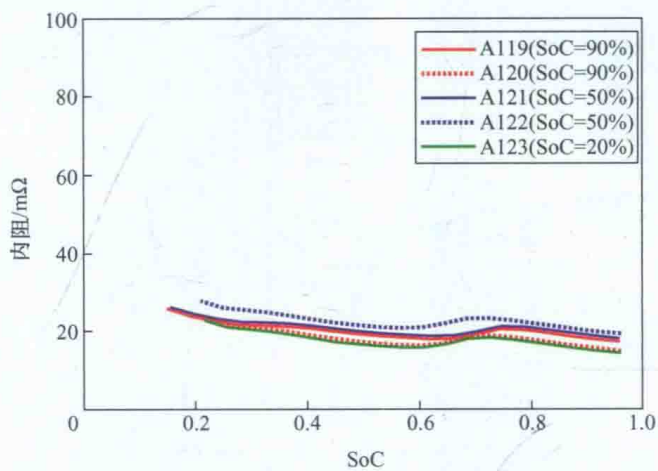
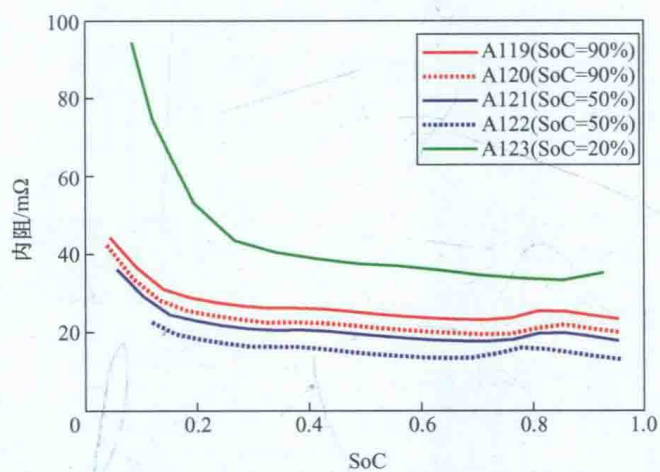


图2-22



a) 存储0周(第一次评测)



b) 存储156周

图2-34

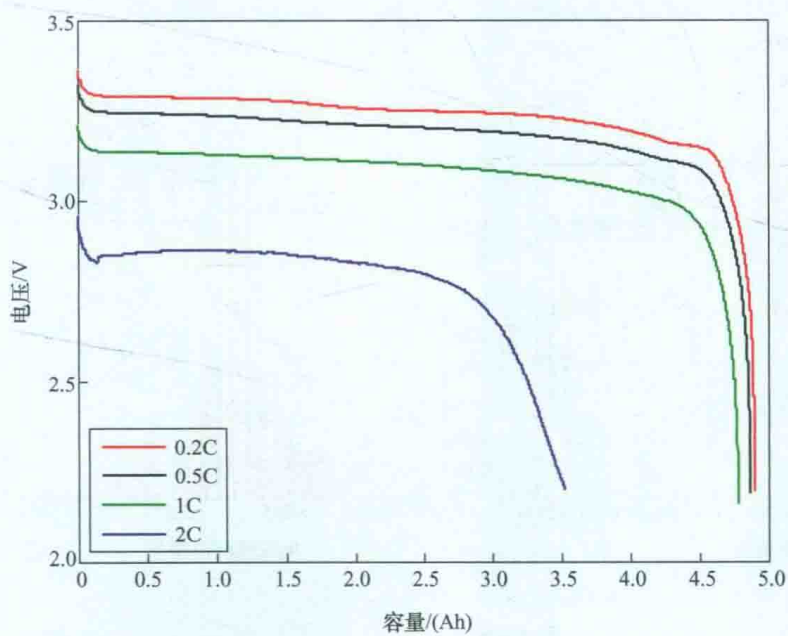


图3-37

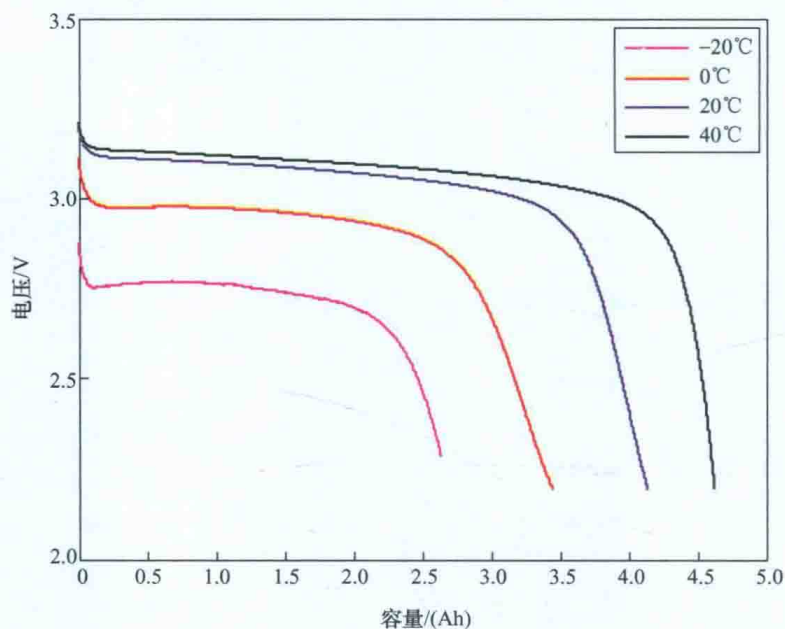


图3-38

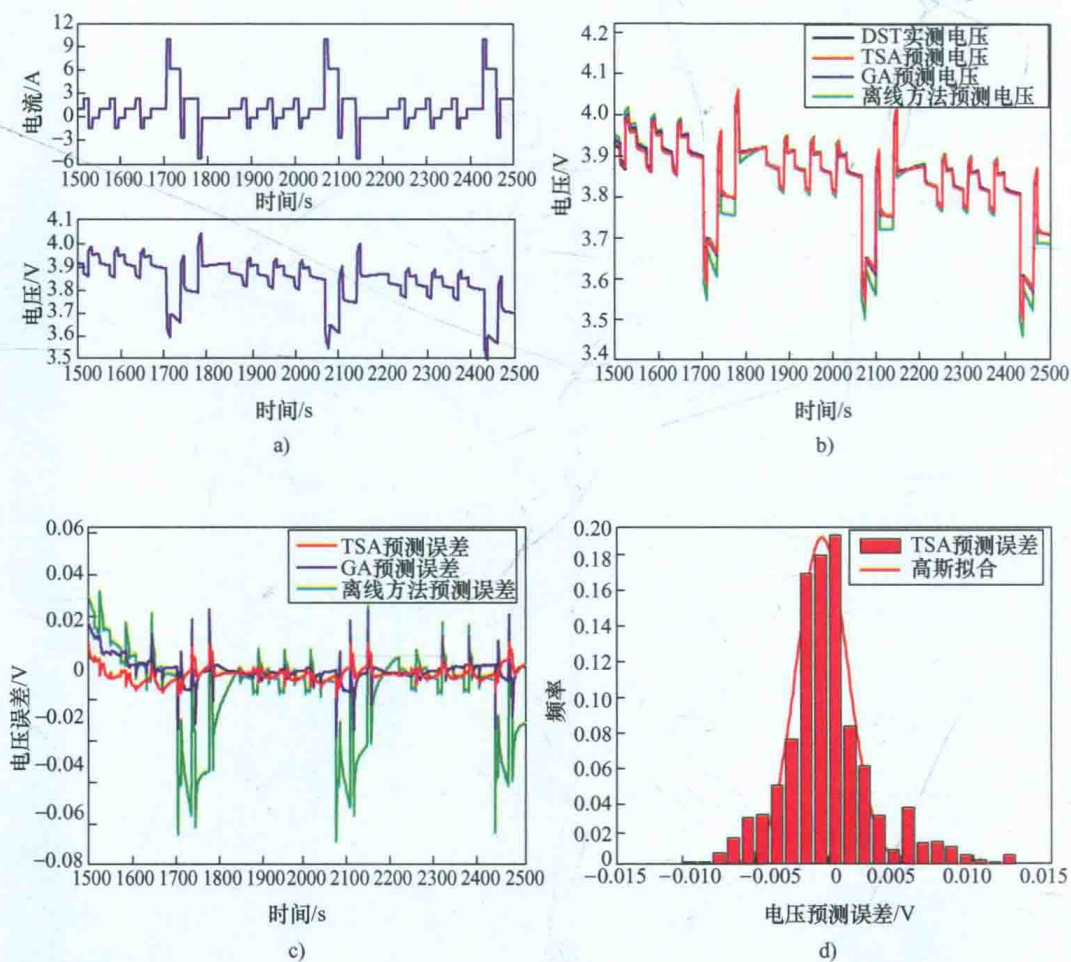


图4-6

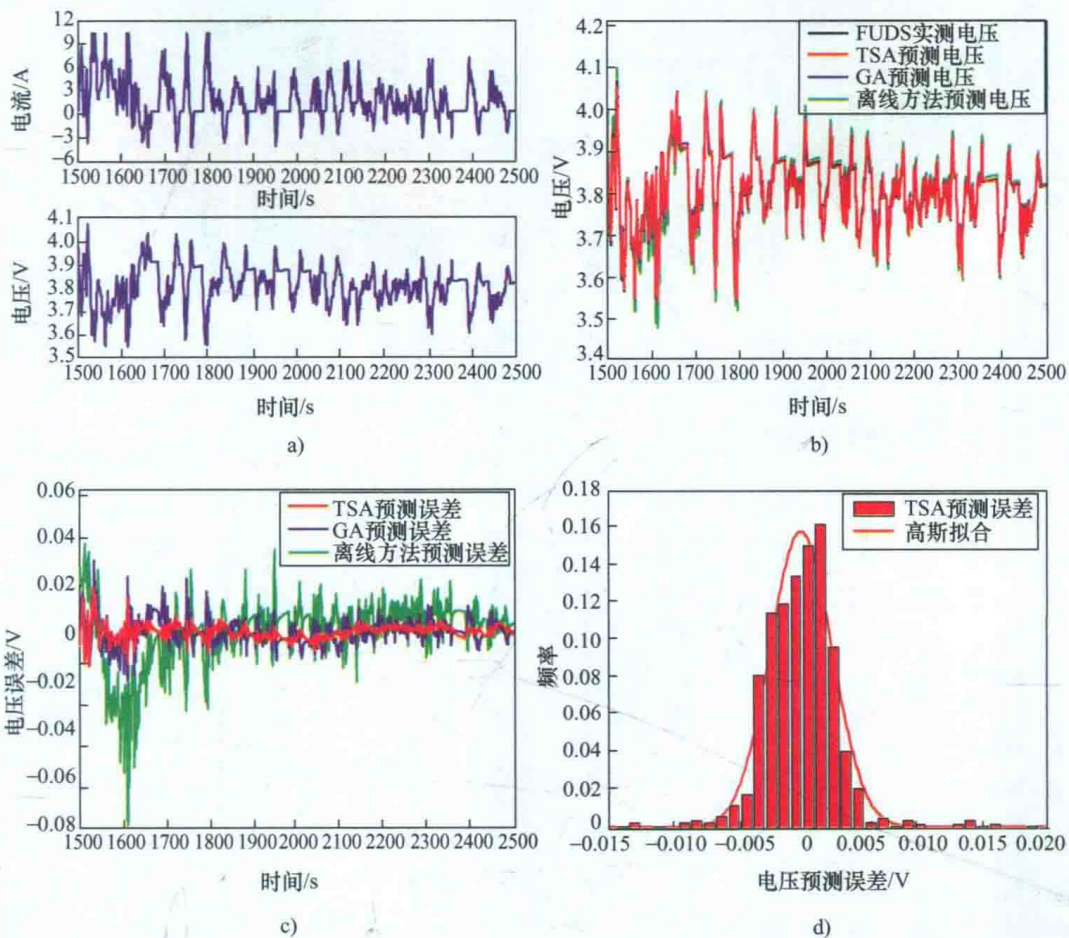


图4-7

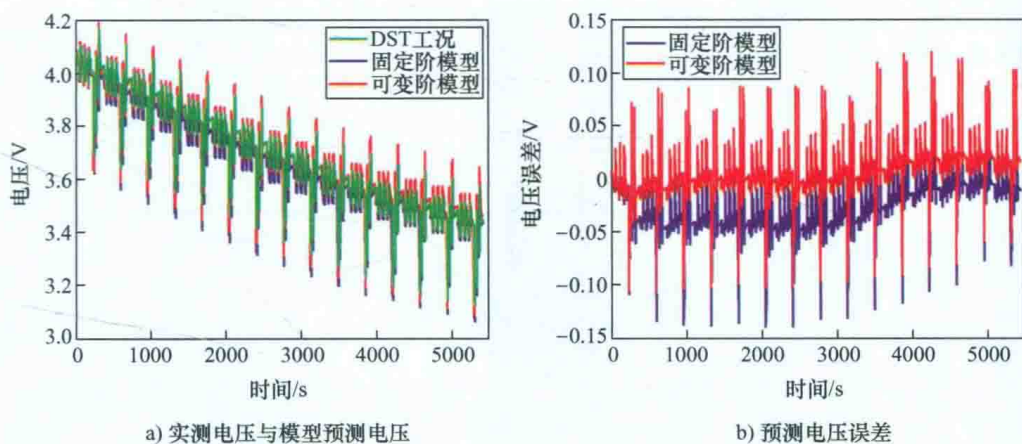
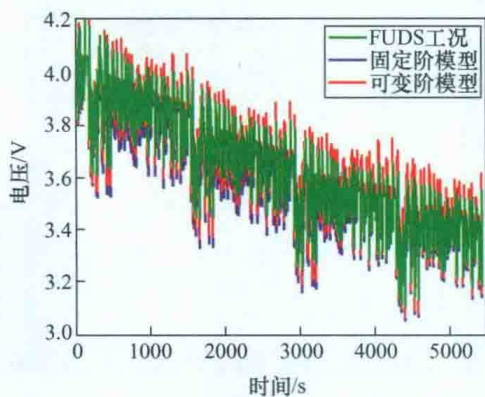
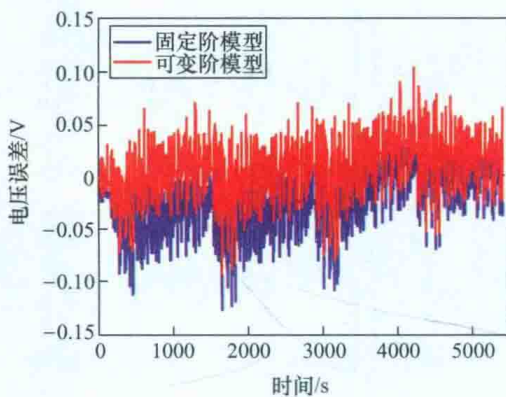


图4-11

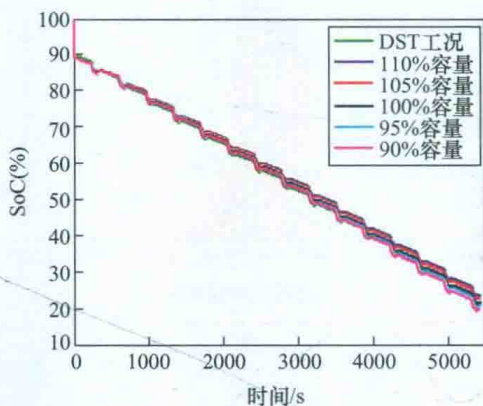


a) 实测电压与模型预测电压

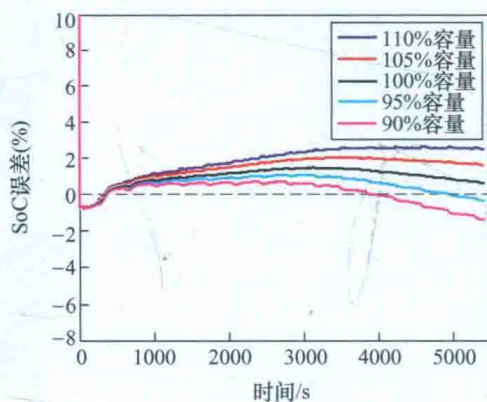


b) 预测电压误差

图4-14

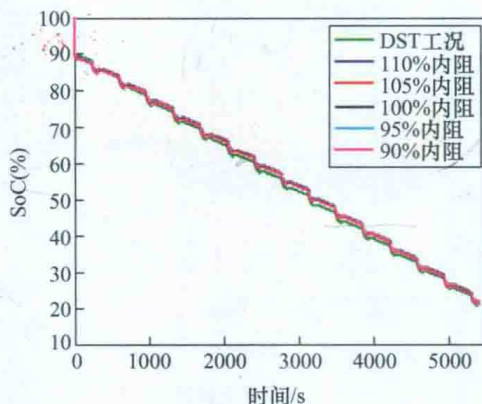


a) 真实SoC与模型估计SoC

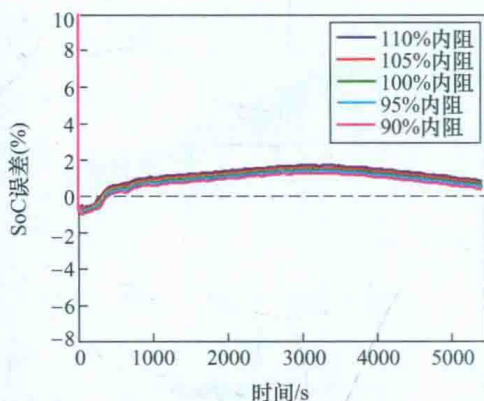


b) SoC估计误差

图4-18



a) 真实SoC与模型估计SoC



b) SoC估计误差

图4-19



感谢国内外同行们对笔者所在的中山大学研究团队的支持和厚爱，在过去的5年内，团队与国内多家整车厂、电池厂、电池管理系统生产企业有着深入的合作和交流。然而，最近在国内调研的时候，笔者不断思考一个问题：电动汽车未来5年的研发目标应该怎么表达？例如，在规划电池系统的研究目标的时候，如果我们还是在能量密度、价格、安全性、寿命上面提指标，这会受到一些行外人士的质疑，说：“10年前你们就在提这些关键词，为什么今天还在提同样的关键词？”

直到某一天，笔者正在跑长跑，在途中过完“极点”的时候，突然有一种很强烈的感觉：目前电动汽车技术发展正处于一个很类似的“途中跑”阶段。一方面，如果我们回望起点，会发现电动汽车技术取得了较大的发展，“三电”等核心技术取得了很大的进步；另一方面，就电动汽车的整体而言，离目标点还比较远，电池的能量密度不高，价格贵，寿命短，充电过程还不如燃油汽车加油过程便捷。随着电动汽车产业的逐步发展，相关的技术逐步提升，一群从事电化学技术、电池生产技术、电池成组技术研究的研发人员，通过每年的努力，使得电动汽车电池系统的技术水平得到了很大的提升。“途中跑”，是需要坚持的，需要对最后到达终点具有信心，也需要稳稳地迈出当前脚下的每一步。

与其他电动汽车核心零部件技术一样，电池管理系统的技术在过去5年里也取得了很大的发展。作为“途中跑”的状态，本书聚焦于电池管理系统的智能化技术。“智能化”突出以下几个特色：第一，一般意义的软硬件技术突出的是“功能”，而智能技术突出的是“策略”；第二，智能技术突出“自适应”，因此本书谈到了在SoC估算的时候，电池模型的参数是动态可变的，不仅要管好新电池，还可以对电池当前的健康状态进行诊断、预测剩余寿命等；第三，智能诊断、智能参数识别往往离不开大数据，因此本书也探讨了电池的测试以及数据管理等问题。

在本书的撰写、成稿的过程中，笔者的研究生陈维杰、范玉千、陆泳施、许俊斌、韦旺、梁永贤、张升侃等，都贡献了不少的时间和精力，在此对他们表示衷心的感谢。

作者

2019年8月于康乐园



# 目 录

电动汽车智能电池管理系统技术

## 前 言

<b>第 1 章</b>	<b>再议汽车 BMS 的开发流程</b>	1
1.1	电动汽车 BMS 开发的一般流程	1
1.2	电池建模在 BMS 开发过程中的核心地位	3
<b>第 2 章</b>	<b>动力电池测试</b>	6
2.1	动力电池特性测试	6
2.1.1	测试安排	6
2.1.2	LiFePO <sub>4</sub> 电池特性测试结果	7
2.1.3	Li(NiCoMn)O <sub>2</sub> 三元电池特性测试结果	16
2.1.4	两类动力电池特性对比	19
2.1.5	动力电池的电压回弹特性	21
2.2	动力电池劣化测试	23
2.2.1	动力电池劣化过程中的容量变化规律	23
2.2.2	动力电池劣化过程中的内阻谱变化规律	30
2.2.3	存储条件对动力电池劣化的影响	38
<b>第 3 章</b>	<b>动力电池全生命周期信息化与智能诊断</b>	41
3.1	动力电池全生命周期信息化	41
3.1.1	动力电池的数据类型及体量测算	41
3.1.2	动力电池的数据传输方式	47
3.1.3	动力电池数据的分级管理	50
3.2	动力电池的智能诊断问题	52
3.2.1	动力电池劣化诊断指标	53
3.2.2	动力电池离线劣化诊断	54
3.2.3	动力电池在线劣化诊断	58
3.2.4	动力电池的故障分析	68

3.2.5	基于移动客户端的动力电池检测系统	69
3.3	退役电池的梯次利用	74
3.3.1	动力电池梯次利用相关标准与政策	75
3.3.2	动力电池梯次利用的基本流程	78
3.3.3	退役电池分选指标研究	86

## 第4章 电动汽车 SoC 估算问题的深入讨论 93

4.1	对 SoC 概念的理解及存在的分歧	93
4.1.1	对 SoC 理解存在分歧	93
4.1.2	SoC 与 SoP、SoE 的区别与联系	96
4.2	模型参数化及其在线识别	99
4.2.1	动力电池的等效电路模型	99
4.2.2	模型参数的离线扩展方法	100
4.2.3	模型参数的在线识别方法	104
4.3	基于分数阶理论的电池建模与 SoC 估算	108
4.3.1	锂离子动力电池分数阶建模	108
4.3.2	基于分数阶无迹卡尔曼滤波的 SoC 估算	112
4.3.3	基于双卡尔曼滤波的模型阶次与 SoC 联合估算	115
4.3.4	实验与结果分析	117

## 第5章 均衡控制策略的研究 123

5.1	均衡控制策略与均衡拓扑结构的关系	123
5.2	均衡控制策略的制订	124
5.2.1	实施均衡的时机	124
5.2.2	均衡所依据的变量	127
5.3	两种非耗散型的均衡控制策略	133
5.3.1	两种非耗散型均衡拓扑结构	133
5.3.2	分级均衡控制策略	138
5.3.3	铅酸电池中转均衡控制策略	144
5.4	均衡控制策略的评价与对比	146
5.4.1	均衡控制策略的评价指标	146
5.4.2	均衡控制策略流程对比	148
5.4.3	均衡时间对比	149
5.4.4	均衡能量消耗对比	153

5.4.5	均衡对电池寿命影响对比 .....	154
5.4.6	容量利用率对比 .....	155
5.4.7	优化案例分析 .....	155

<b>第6章</b>	<b>小结与展望</b> .....	157
------------	--------------------	-----

<b>参考文献</b> .....	158
-------------------	-----



# 第1章 再议汽车BMS的开发流程

新能源汽车是目前大功率锂离子电池组使用得最为广泛的场合，因此汽车电池管理系统（Battery Management System, BMS）的开发流程具有相当高的代表性。在笔者2011年所写的第一本书《电动汽车动力电池管理系统设计》<sup>[1]</sup>中，曾对电动汽车BMS的开发流程进行了讨论，本章尝试对当时所描述的BMS开发流程做一些补充。

## 1.1 电动汽车BMS开发的一般流程

在《电动汽车动力电池管理系统设计》一书<sup>[1]</sup>的3.3节，笔者曾经对BMS开发的一般流程进行了讨论，随着认识的深入，我们对该流程进行了一些补充，提出了电动汽车BMS开发的一般流程，如图1-1所示。

对于图1-1，需要进行以下的一些讨论。

### 1. 关于BMS开发所要遵循的标准

在进行BMS开发前，需要先搜集有关的标准。在过去的10年中，与BMS开发相关的标准相继出台。因为标准还在不断地完善、更新当中，所以笔者不在此对具体的标准进行罗列。简单而言，可以分成以下几大类：

第一，与BMS的质量、性能、功能直接相关的标准。这一类标准直接对BMS的各项功能所要达到的性能指标进行了规定。例如，对BMS的电压、电流传感器进行检定，对荷电状态（SoC）等BMS的主要功能所要达到的精度进行规定，等等。

第二，由电池系统的标准析出的对BMS的要求。例如，国家标准要求整个电池系统在充电、放电的过程中，能做到自我保护，做到在正常使用过程中不过充、不过放，这就要求作为电池系统主要部件之一的BMS具备充电保护、放电保护的功能。因此在收集BMS标准的时候不能单纯地从电子、电气的角度出发，还要从电池系统（电池包）的角度出发。

第三，由整车安全的要求析出对BMS的要求。例如，国内、国际标准，对于整车电子系统的电磁兼容性（Electro Magnetic Compatibility, EMC）进行了规定，

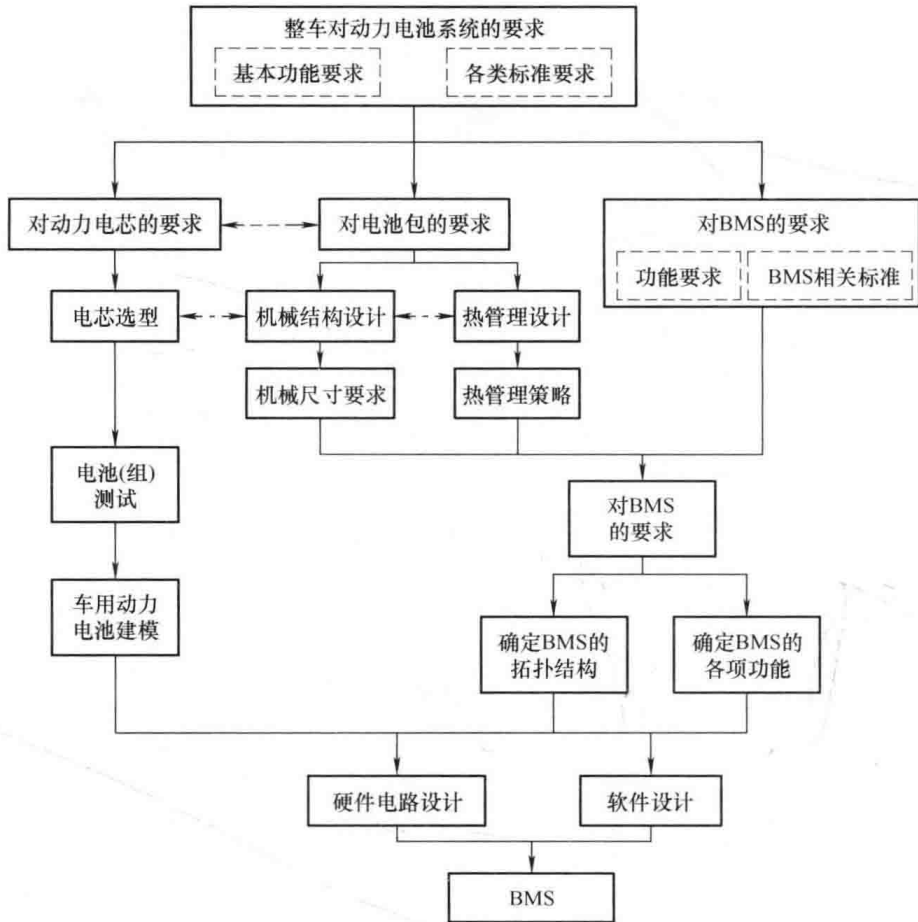


图 1-1 电动汽车 BMS 开发的一般流程

要求 BMS 在工作时，对外辐射强度不能高于一定的阈值；与此同时，BMS 在工作时还要抵抗一定强度的外界辐射，避免在受到轻度干扰的时候就停止工作。

针对以上三类标准，以往的认识更多地停留在硬件层面，而近年来，更多的与软件相关的标准受到了人们的关注。其中比较有代表性的就是汽车开放系统架构（AUTomotive Open System ARchitecture, AUTOSAR）的软件规范，以及 ISO 26262 的参考标准。

## 2. BMS 开发的边界问题

以往，就 BMS 的开发，一般都比较孤立地从软件、硬件两个方面着手考虑；而事实上，近年来的实践表明，BMS 的开发必须与一些相关的领域进行融合。也就是说，BMS 工程师不仅仅需要懂得软件、硬件开发，还需要考虑与之相关的一些领域的专业知识。这些相关领域可能包括：

第一，要懂得电芯的电化学特性，并从电芯的特性入手，进行电池建模，电