



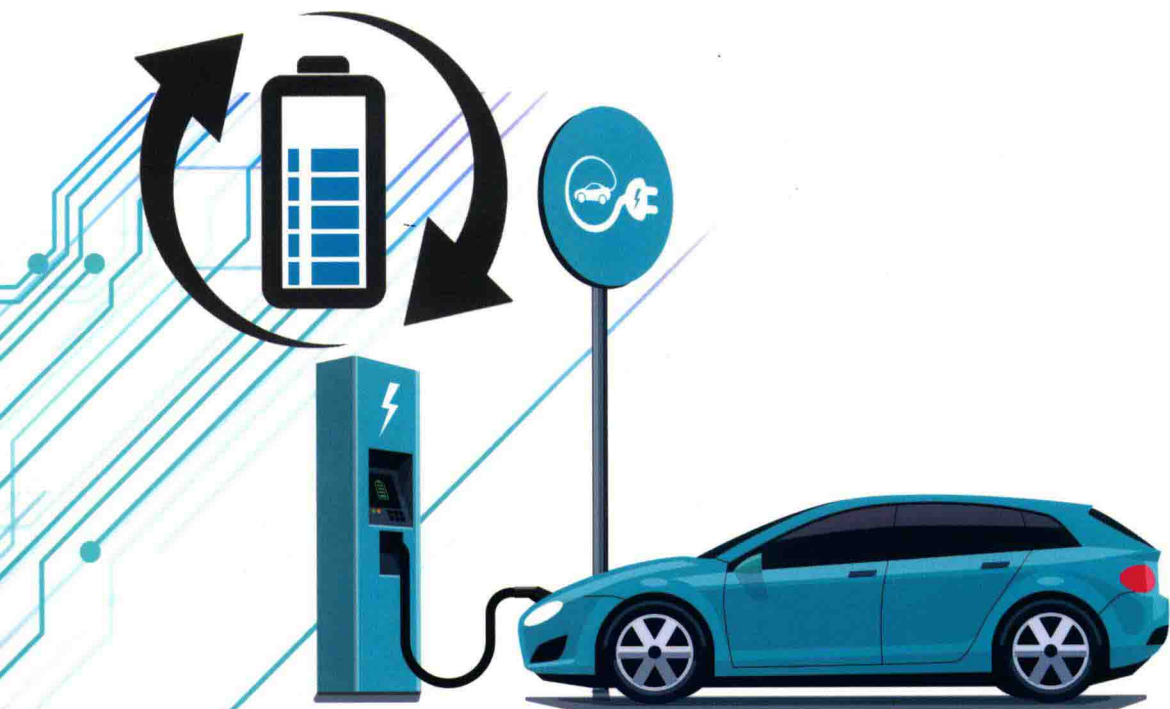
新能源汽车关键技术研发系列

动力电池

管理系统核心算法

Core Algorithm of Battery
Management System for EVs

熊瑞 著



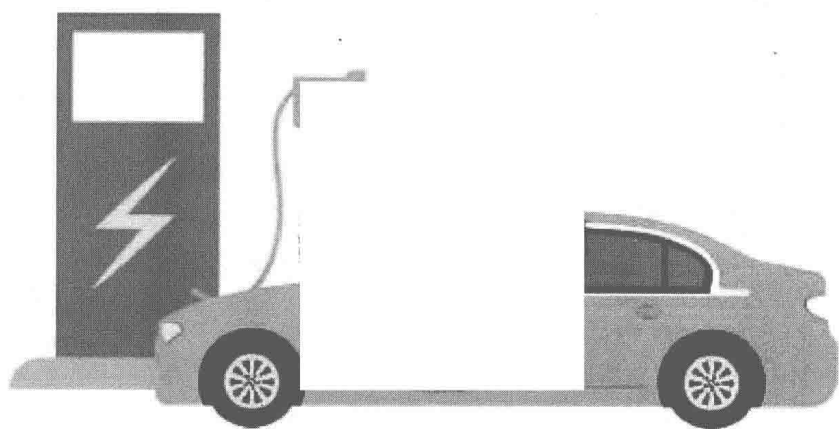
机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

研发系列

动力电池

管理系统核心算法

熊瑞 著



机械工业出版社

《动力电池管理系统核心算法》结合作者十多年来的研究实践，阐述了动力电池管理系统的特点与技术难题；针对新能源汽车应用，详细叙述了动力电池系统实验设计、动态建模、荷电状态估计、健康状态估计、峰值功率预测、剩余寿命预测、低温快速加热与优化充电以及相应核心算法的工程应用和实践问题，并配有详细的算法实践步骤和开发流程。本书可作为相关领域技术人员的参考用书，也可以作为汽车专业高年级本科生和研究生的专业课教科书。

图书在版编目（CIP）数据

动力电池管理系统核心算法 / 熊瑞著. —北京：
机械工业出版社，2018. 11
（新能源汽车关键技术研发系列）
ISBN 978-7-111-60864-6

I. ①动… II. ①熊… III. ①电动汽车—蓄电池—管
理—算法 IV. ①U469. 720. 3

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2018）第 208233 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：何士娟 责任编辑：何士娟

责任校对：张薇 封面设计：张静

责任印制：常天培

北京铭成印刷有限公司印刷

2018 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 16.25 印张 · 8 插页 · 309 千字

0001—3000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-60864-6

定价：79.90 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线：010-88361066

机工官网：www.cmpbook.com

读者购书热线：010-68326294

机工官博：weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网：www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网：www.cmpedu.com



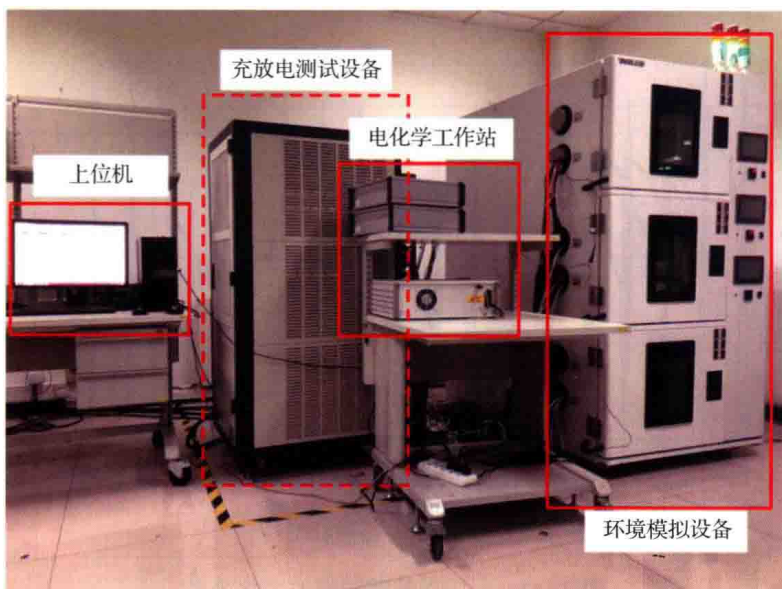


图 2-8 动力电池测试综合平台实物

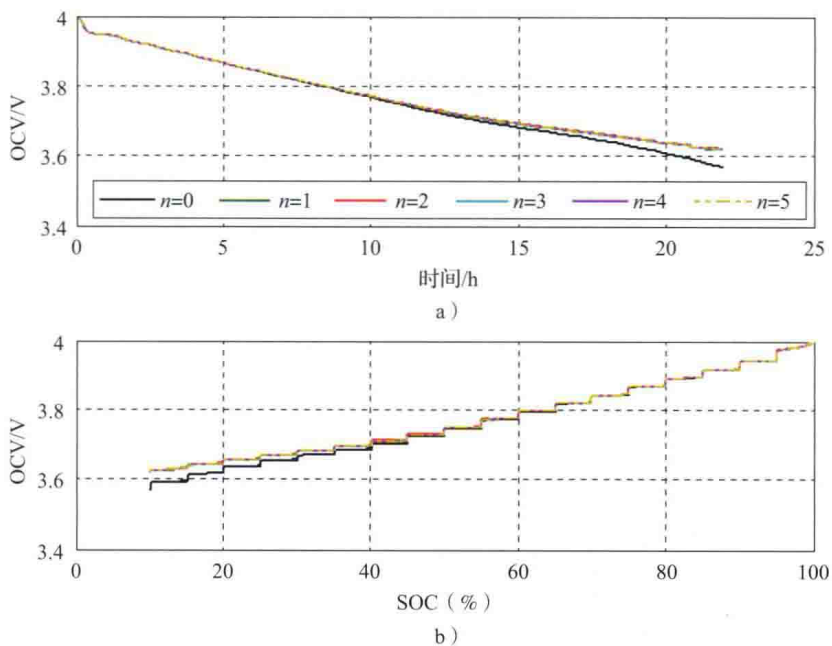


图 3-11 基于复合脉冲数据的开路电压辨识结果

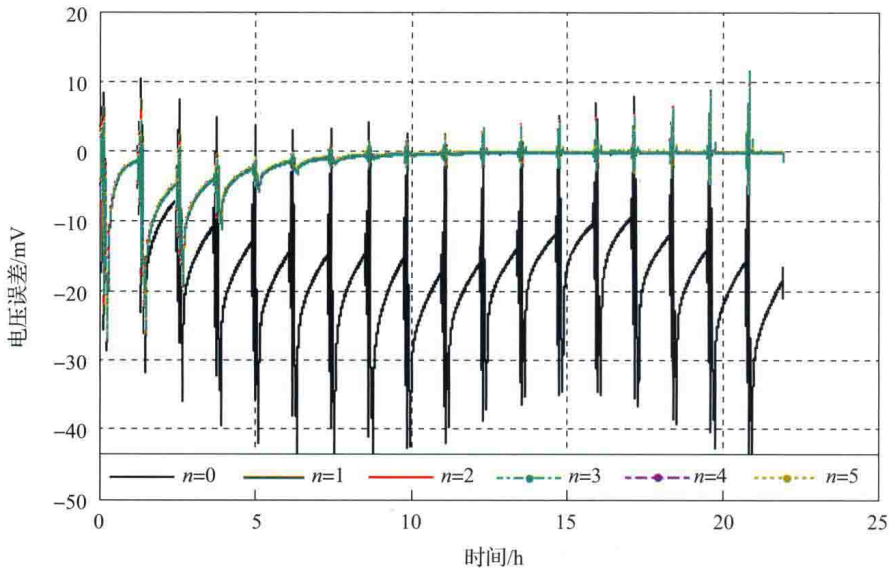


图 3-12 电压误差随时间的变化关系

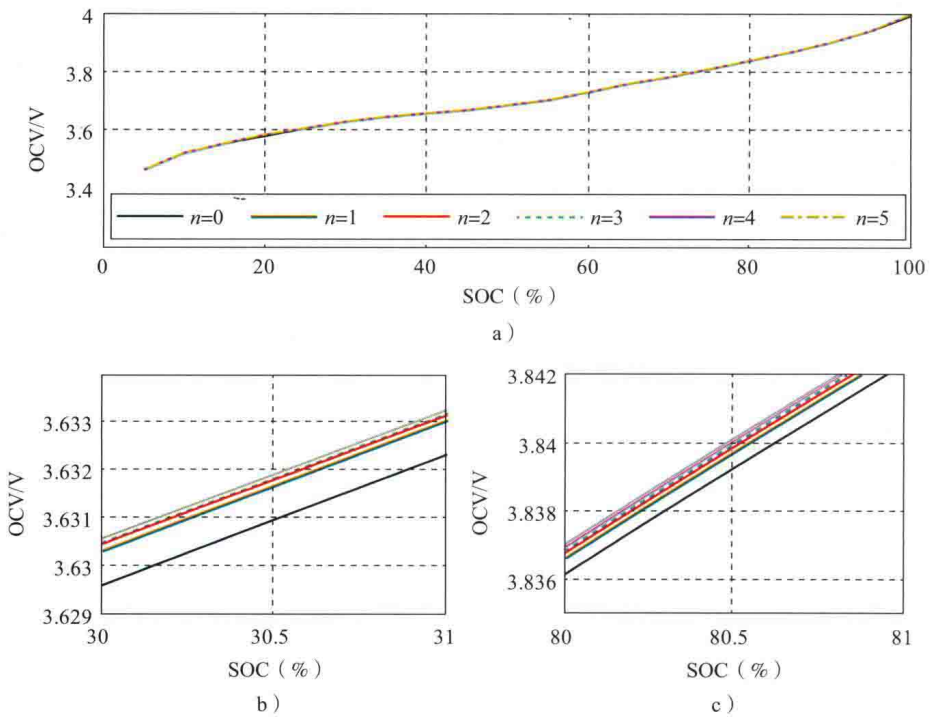


图 3-13 基于动力电池 2- 单体 1 复合脉冲数据的开路电压辨识结果及局部放大曲线

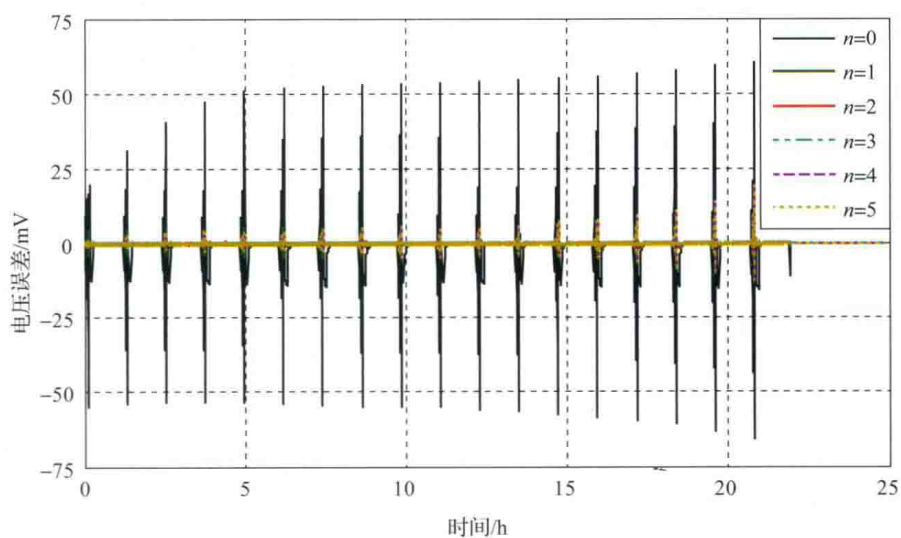


图 3-14 基于动力电池 2- 单体 1 复合脉冲数据的电压预测误差曲线

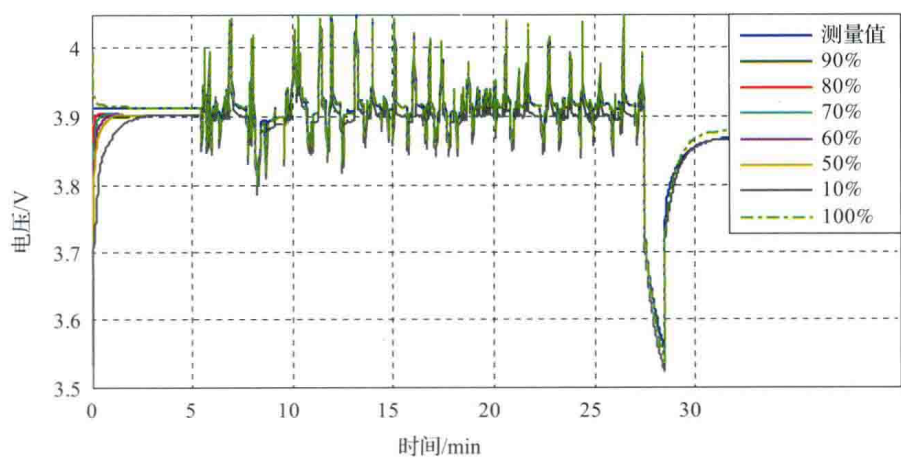


图 4-10 不精确 SOC 初值下的端电压估计结果

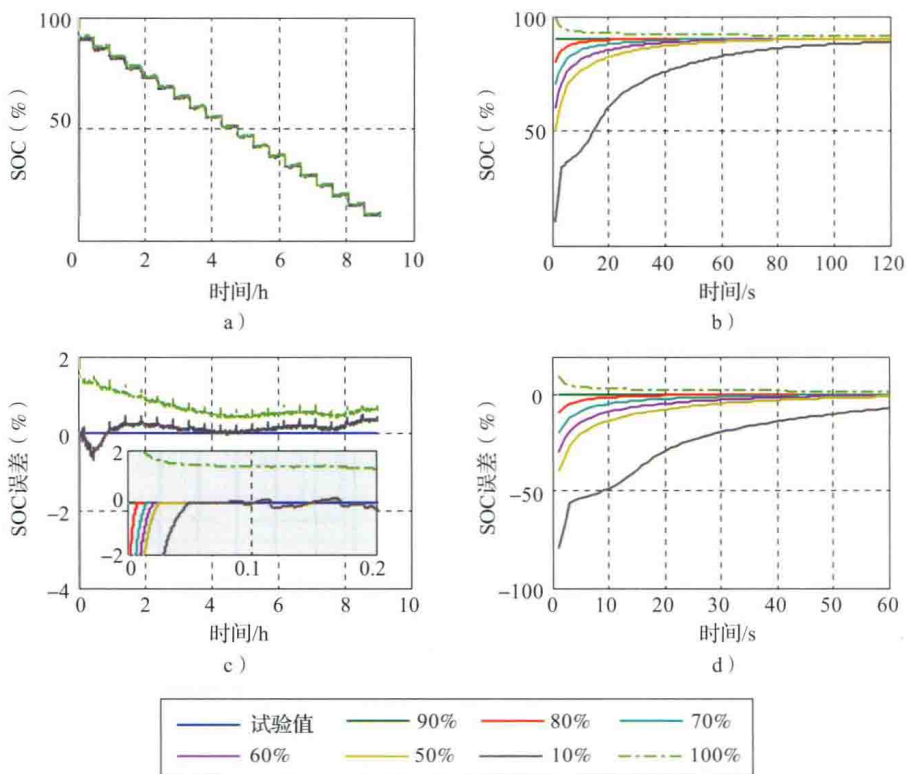


图 4-11 不精确 SOC 初值下 SOC 估计结果

a) SOC 估计结果 b) 前 120s 的 SOC 估计结果 c) SOC 估计误差 d) 前 60s 的 SOC 估计误差

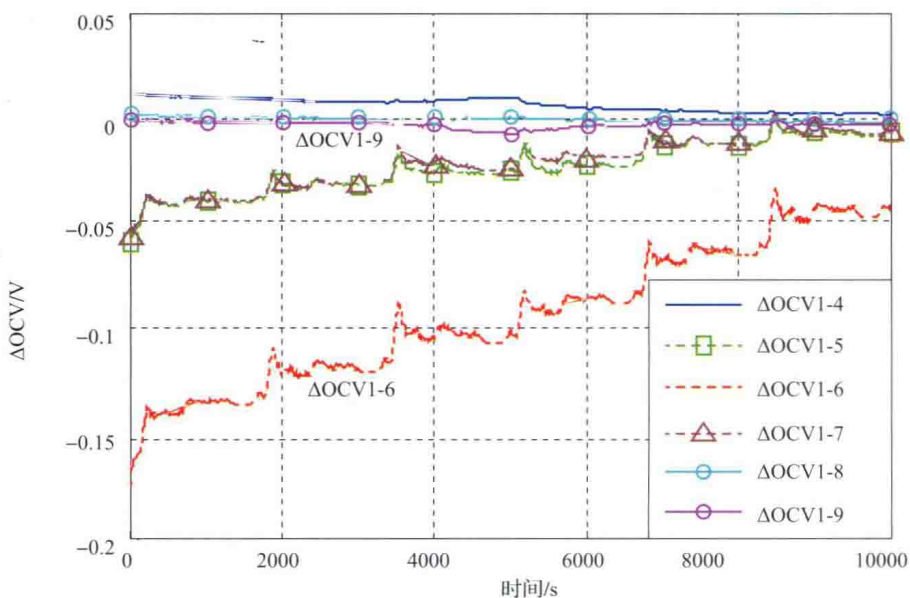


图 5-11 OCV 差异辨识结果

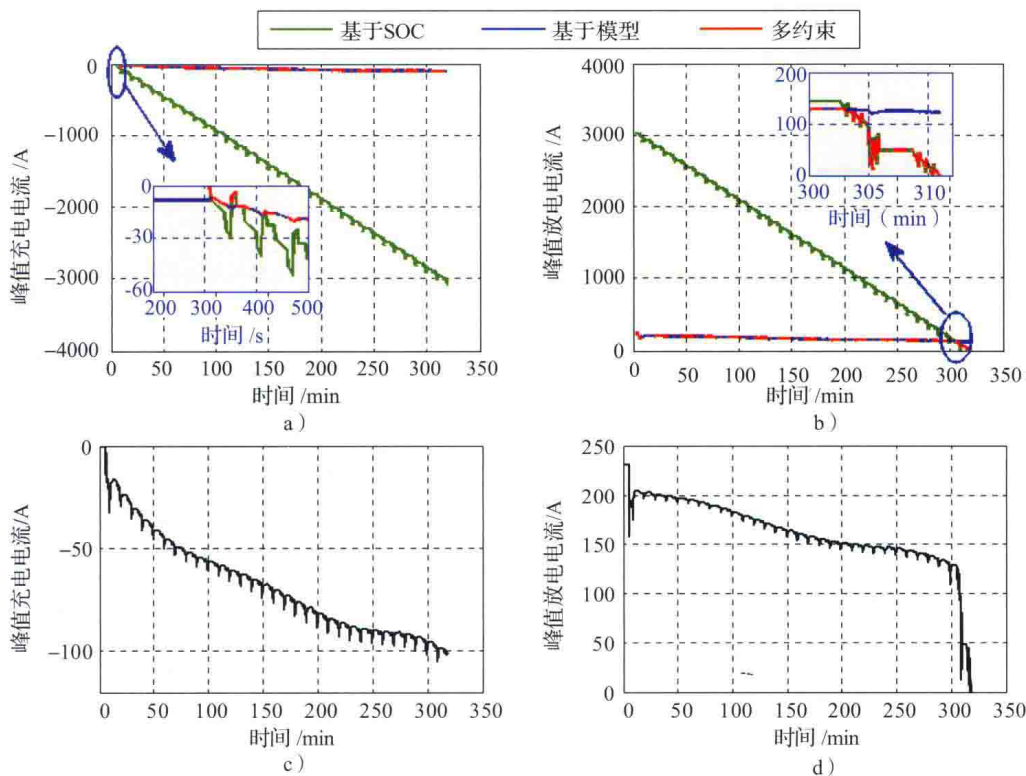


图 5-25 峰值电流估计结果 (精确 SOC 初值, 30s)

a) 峰值充电电流估计结果对比 b) 峰值放电电流估计结果对比
c) 多约束峰值充电电流估计结果 d) 多约束峰值放电电流估计结果

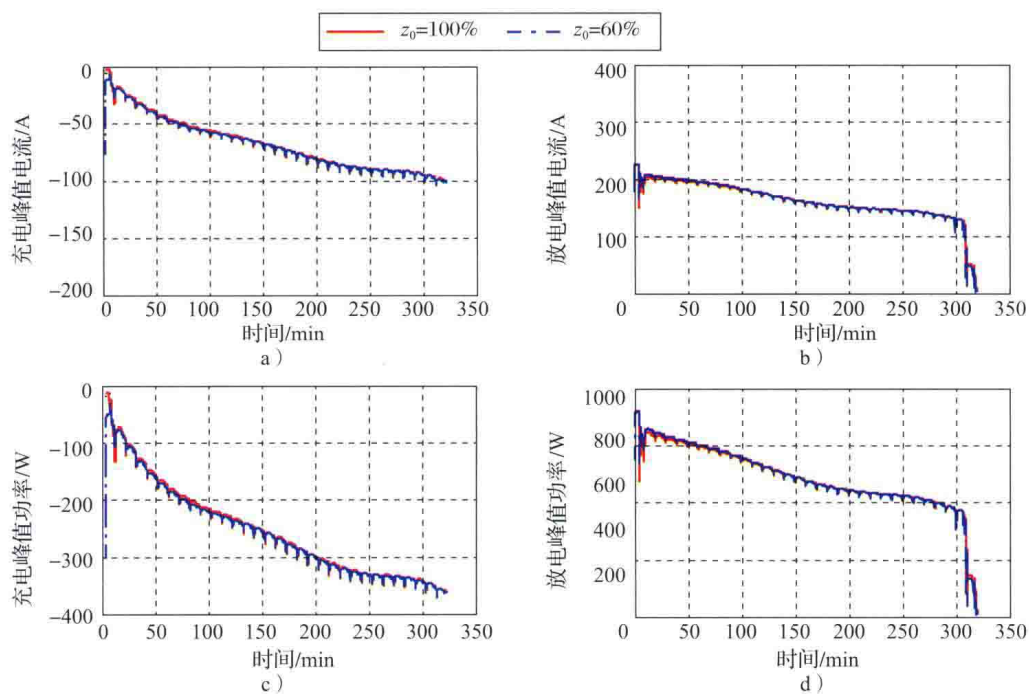


图 5-28 不确定初始 SOC 时峰值电流和峰值功率的估计结果 (30s)

a) 多约束峰值充电电流估计 b) 多约束峰值放电电流估计
c) 多约束峰值充电功率估计 d) 多约束峰值放电功率估计

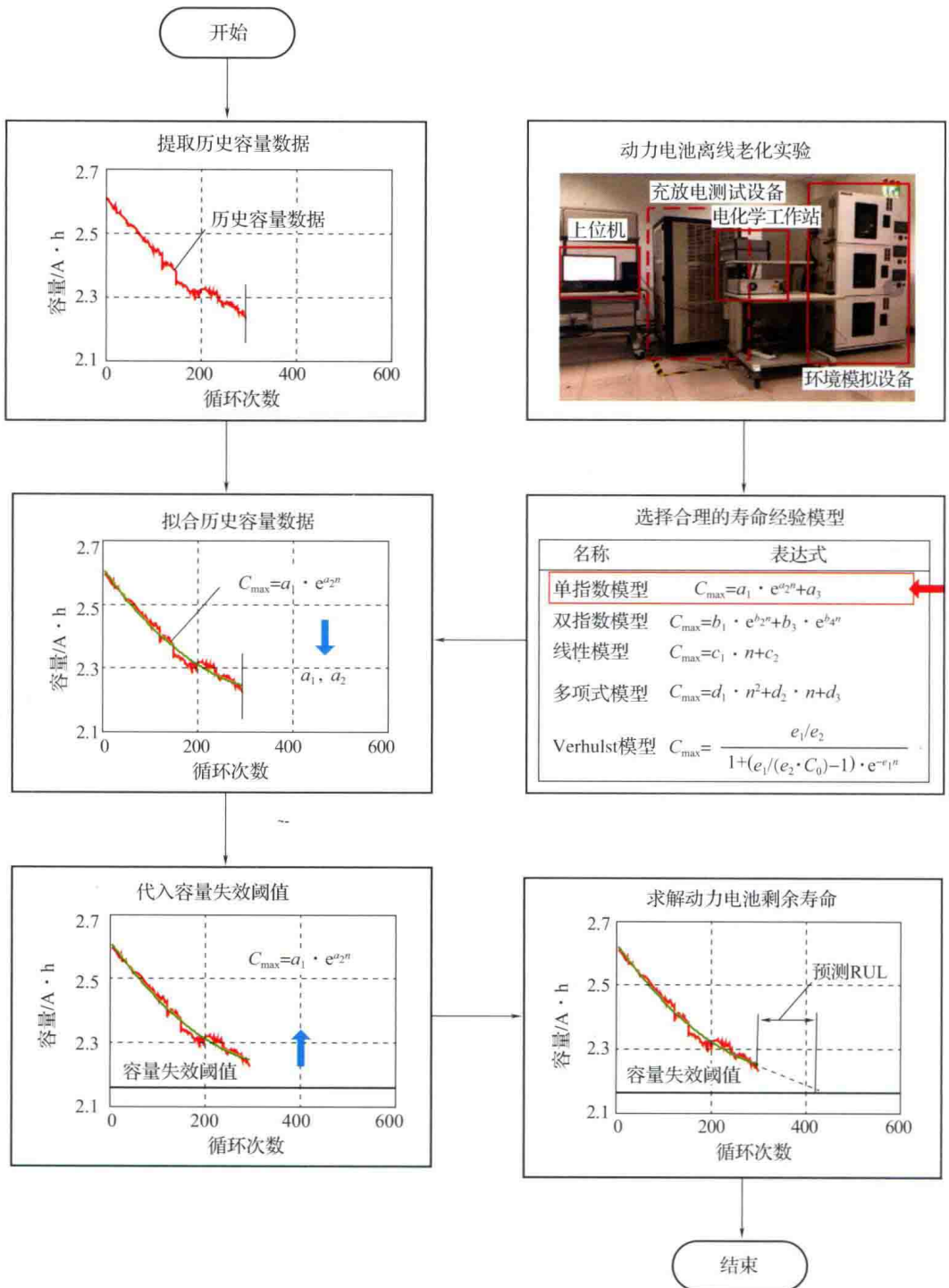


图 6-1 采用经验预测法的动力电池 RUL 预测流程

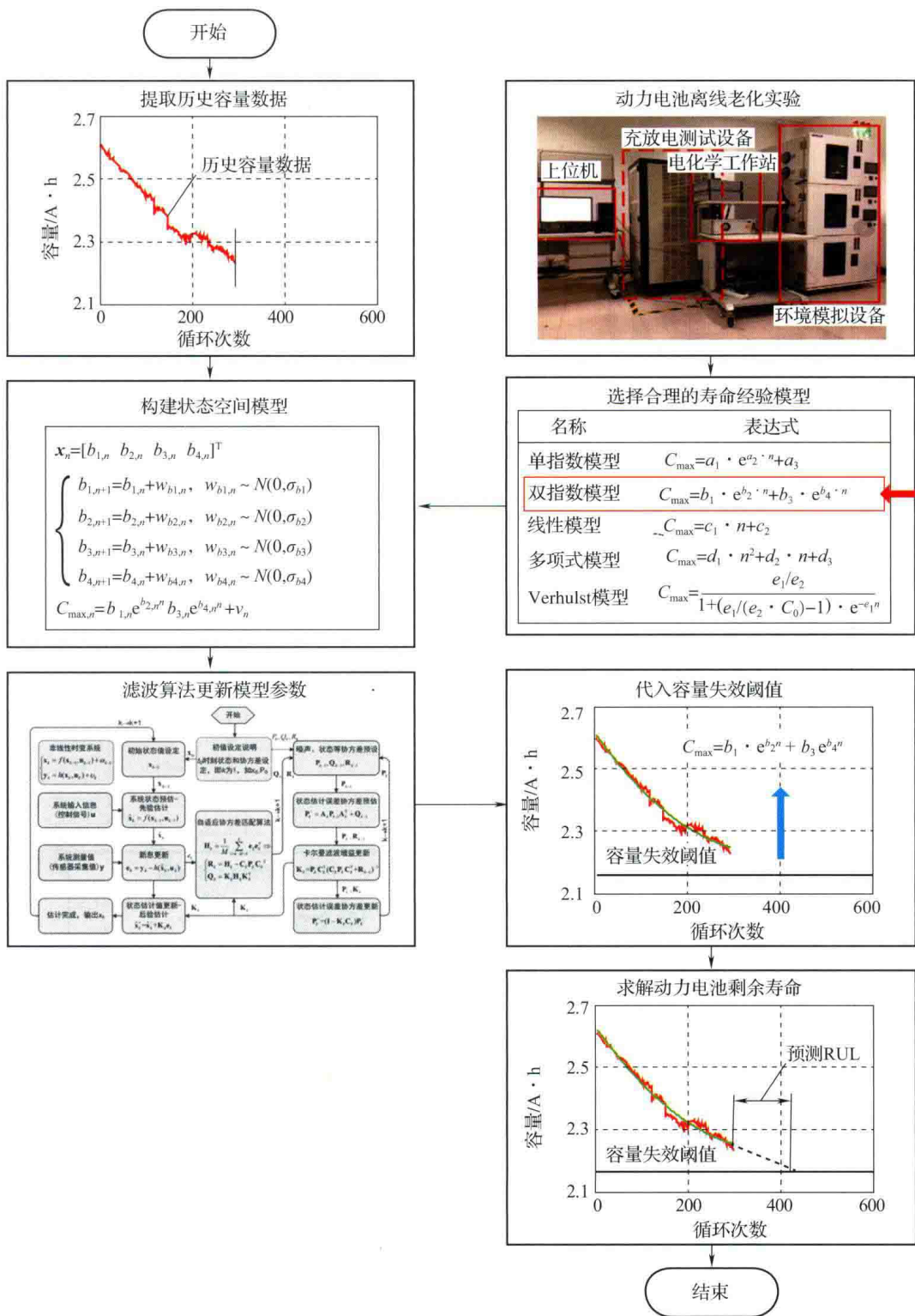


图 6-2 采用滤波预测法的动力电池 RUL 预测流程

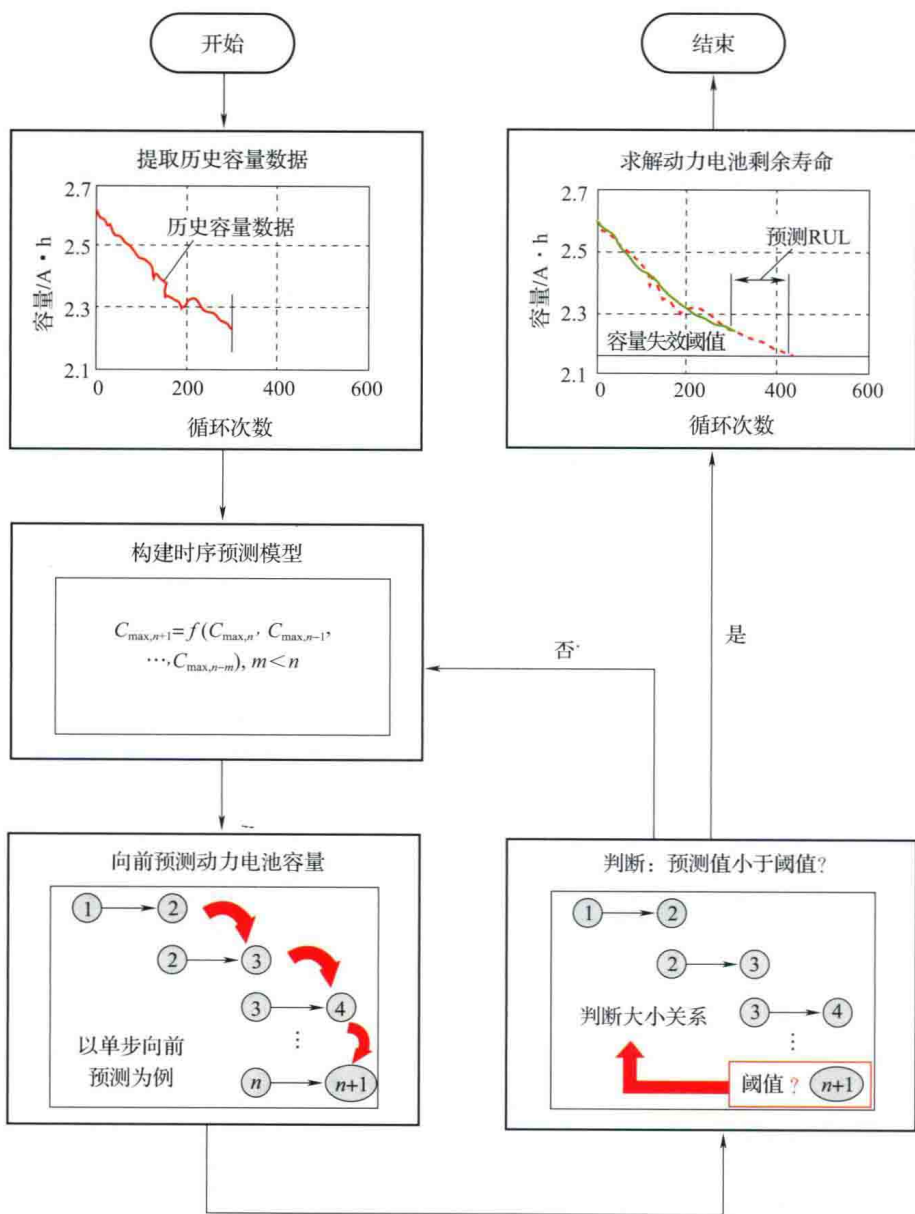
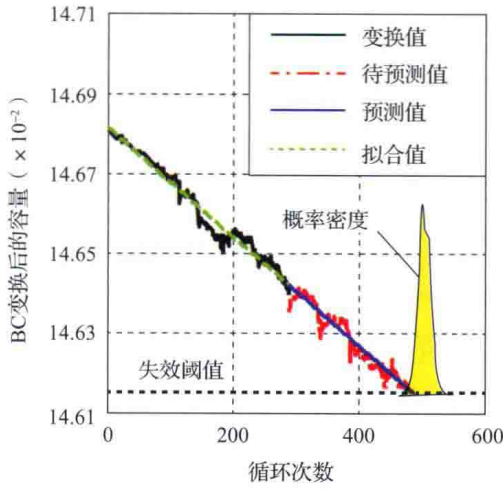
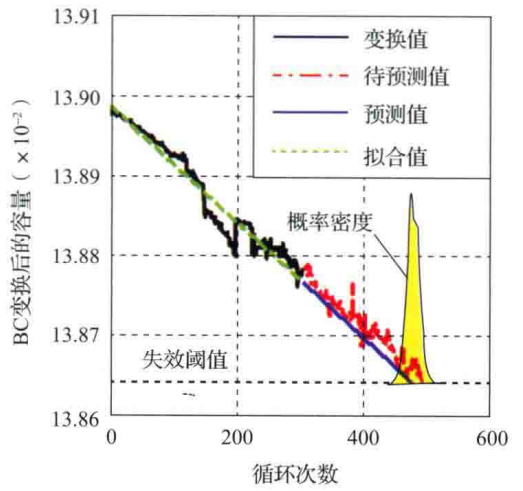


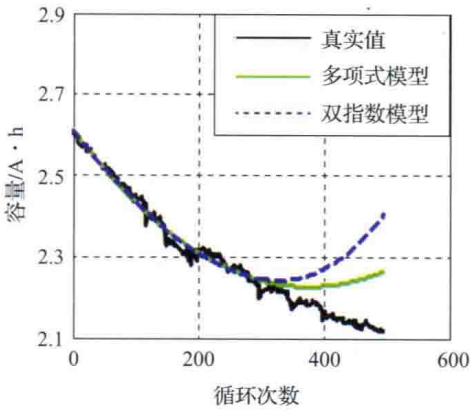
图 6-3 时序预测法的动力电池 RUL 预测流程图



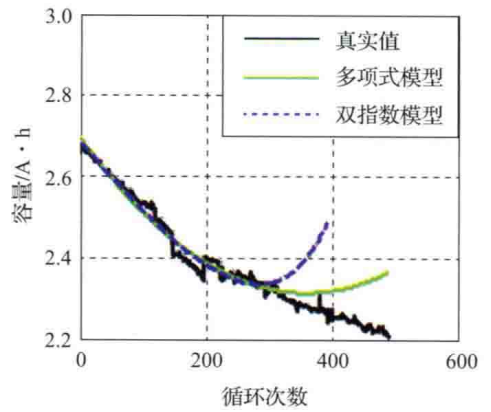
a)



b)



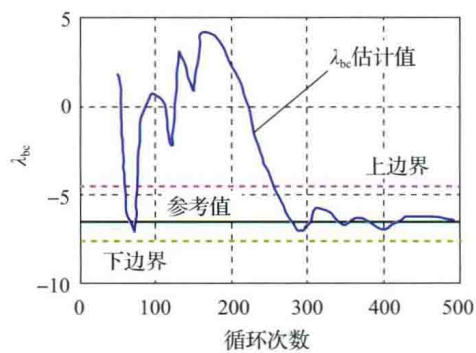
c)



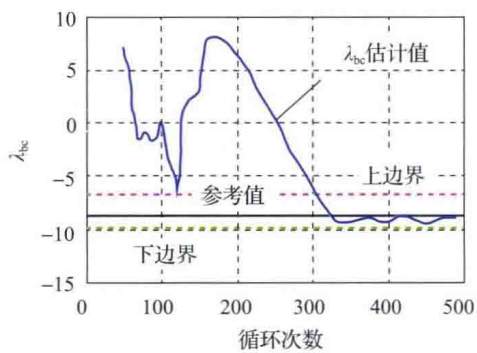
d)

图 6-5 RUL 预测结果

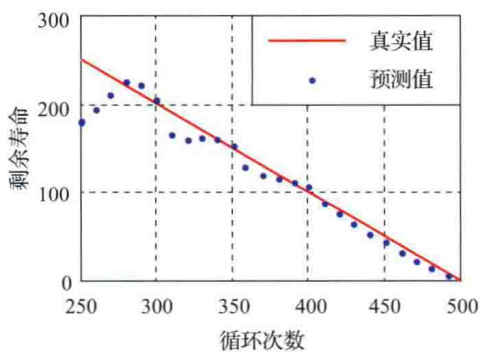
- a) Box-Cox 变换预测法的结果 (单体 25) b) Box-Cox 变换预测法的结果 (单体 26)
 c) 传统经验预测法的结果 (单体 25) d) 传统经验预测法的结果 (单体 26)



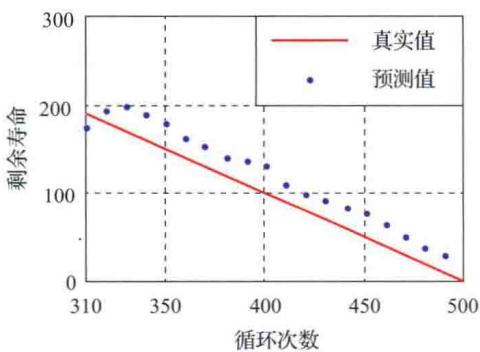
a)



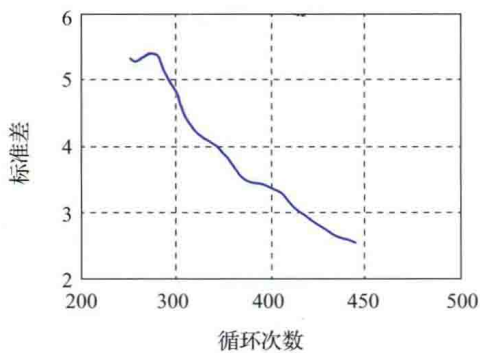
b)



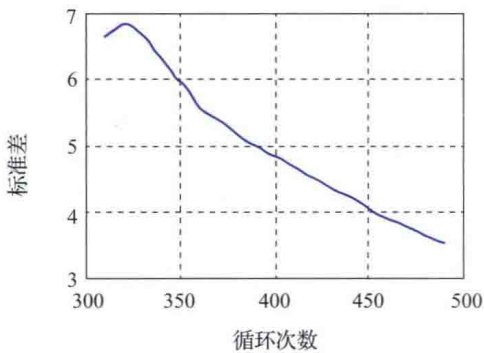
c)



d)



e)



f)

图 6-6 基于 Box-Cox 变换法的动力电池 RUL 在线预测结果

a) λ 估计值 (单体 25) b) λ 估计值 (单体 26) c) 预测结果 (单体 25)

d) 预测结果 (单体 26) e) 预测标准差 (单体 25) f) 预测标准差 (单体 26)

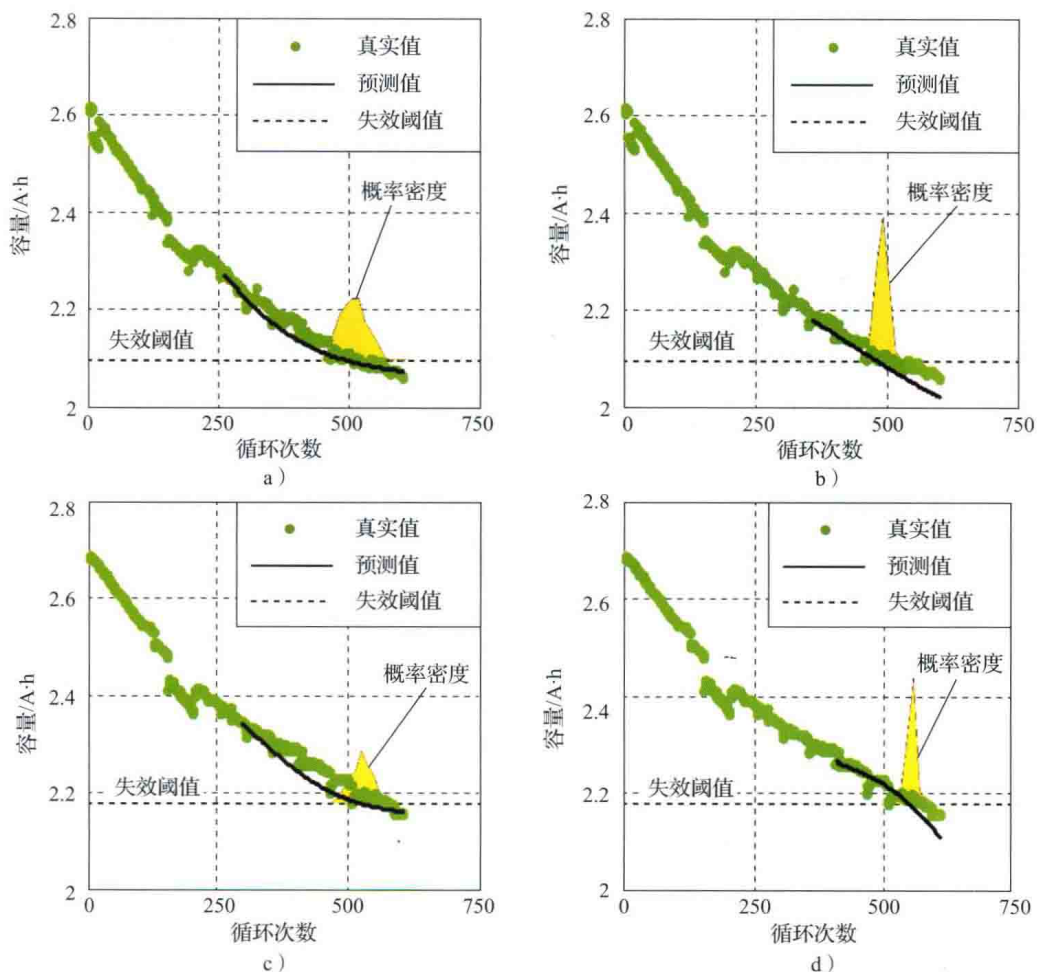


图 6-11 基于 LSTM RNN 的 RUL 预测结果

- a) 253 次循环处的预测 (单体 25) b) 354 次循环处的预测 (单体 25)
 c) 285 次循环处的预测 (单体 26) d) 399 次循环处的预测 (单体 26)

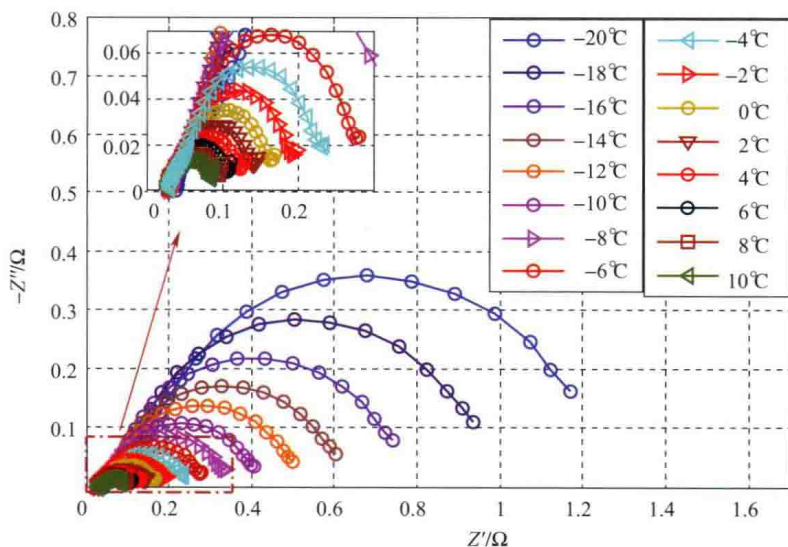


图 7-16 不同温度下的 EIS 实验结果

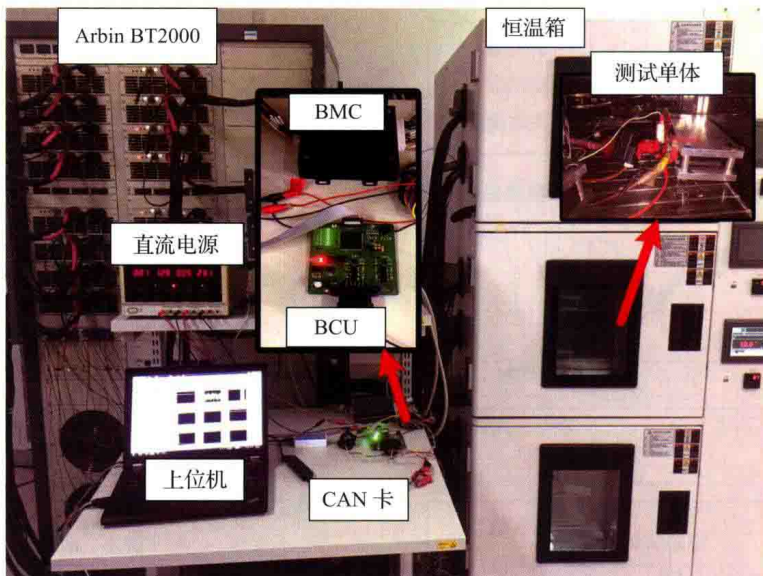


图 8-16 硬件在环算法测试平台

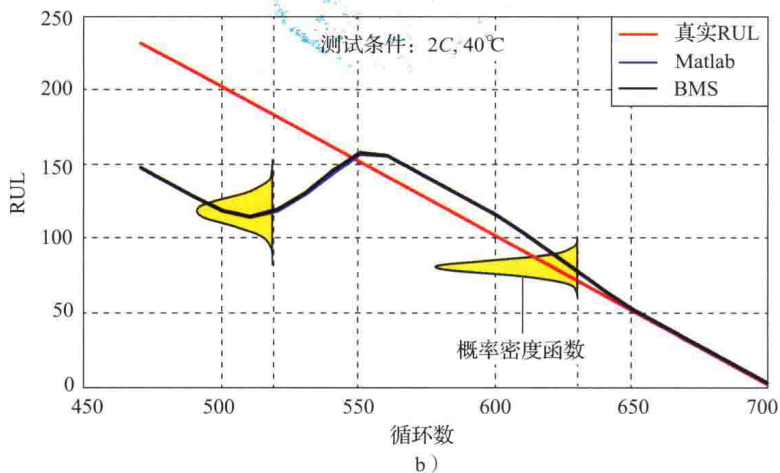
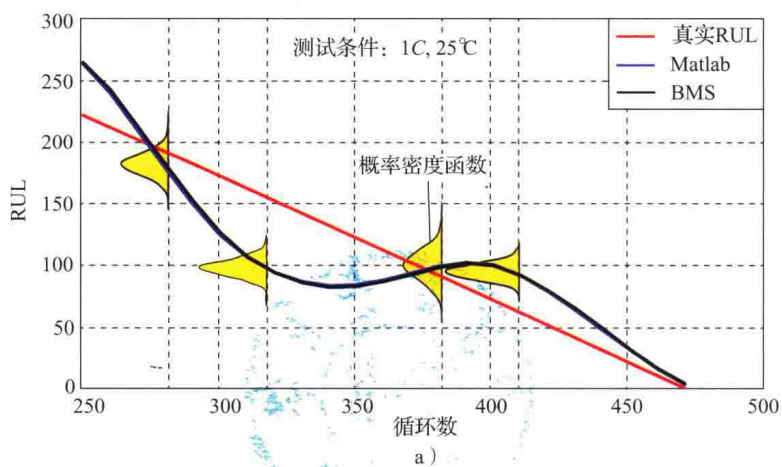


图 8-24 基于移动窗口法的 RUL 预测硬件在环评价结果

a) 1C, 25°C b) 2C, 40°C

丛书序



在新能源汽车成为战略新兴产业之一等国家战略的背景下，以纯电动汽车和燃料电池汽车、插电式混合动力汽车为代表的新能源汽车，作为能源网络中用能、储能和回馈能源的终端，成为我国乃至经济新体系中的重要组成部分。我国经过4个五年计划的科技攻关，基本掌握了新能源汽车的整车技术和关键零部件技术，实现了跨越式发展，并逐步实现了产业化。

但是，在世界这个完全开放的市场中，中国新能源汽车核心关键技术尚未彻底突破，技术竞争压力越来越大，加快新能源汽车持续创新，推进中国汽车产业技术转型升级，是中国科技发展的重大战略需求。尽管我们头顶着全球最大新能源汽车市场的光环，但中国的新能源汽车产业正遭遇成长的烦恼：

1. 与国际先进水平和市场需求相比，中国的新能源汽车技术水平及产品性能需要进一步提高。
2. 推广应用区域的市场发展尚不平衡，高寒地区推广应用新能源汽车存在环境适应性等技术问题。
3. 充电基础设施发展相对滞后，已建成充电桩总体使用率较低。
4. 推广政策尚需完善。

本套丛书将聚焦于新能源汽车整车、零部件关键技术，以及与新能源汽车配套的科技体系和产业链，邀请行业内各领域一直从事研究和试验工作的产品第一线技术人员编写，内容系统、科学，极具实用性，希望能够为我国新能源汽车的持续发展提供技术支撑和智力支持。

前 言



发展节能与新能源汽车是国际共识，也是我国的战略性新兴产业和“中国制造2025”确立的重点发展方向。据中国汽车工业协会统计，我国新能源汽车2017年全年产销量分别达到79.4万辆和77.7万辆，连续三年位居全球第一，目前总量已突破180万辆。显然，新能源汽车产业迎来了前所未有的重大发展机遇，与此同时带动了动力电池产业的迅猛发展。

动力电池系统是新能源汽车的技术瓶颈，而动力电池管理技术是保障整车高效、安全以及动力电池长寿命运行的核心和关键，也是各国竞相占领的技术制高点。动力电池具有可测参数量有限且特性耦合、即用即衰、强时变、强环境温度依赖和强非线性等特征。因此，高精度、强鲁棒性的动力电池状态量估计成为动力电池主动管理的根本途径。提高动力电池系统动态建模精度、突破多状态协同估计的技术瓶颈、加强剩余寿命预测与耐久性管理、保障预期使用寿命的达成成为动力电池系统管理的重要内容，是保障新能源汽车市场活力和健康可持续发展的关键，也是树立新能源汽车市场信心的基本要求。

本书结合作者十多年来的研究实践，详细叙述了新能源汽车动力电池管理系统核心算法开发的技术细节。第1章剖析了国家“十三五”新能源汽车发展规划以及对动力电池管理系统的技术指标，系统地阐述了动力电池系统及管理的设计与实现要点。第2章阐述了动力电池测试平台搭建、实验设计与特性分析，系统分析了动力电池在不同老化、温度和充放电倍率等因素下的工作特性，为动力电池管理系统核心算法开发提供了方向性指引。第3章~第7章系统地论述了动力电池系统建模、荷电状态与健康状态协同估计、峰值功率预测、剩余寿命预测、低温快速加热与优化充电等动力电池管理系统核心算法的基础理论、算法构建与实施细节。最后，从核心算法的软硬件在环仿真验证、台架测试和实车验证等角