

同行专家业内评价意见书编号： 20250858208

附件1

浙江工程师学院（浙江大学工程师学院） 同行专家业内评价意见书

姓名： 朱科明

学号： 22260461

申报工程师职称专业类别（领域）： 能源动力

浙江工程师学院（浙江大学工程师学院）制

2025年03月16日

填表说明

一、本报告中相关的技术或数据如涉及知识产权保护、军工项目保密等内容，请作脱密处理。

二、请用宋体小四字号撰写本报告，可另行附页或增加页数，A4纸双面打印。

三、表中所涉及的签名都必须用蓝、黑色墨水笔，亲笔签名或签字章，不可以打印代替。

四、同行专家业内评价意见书编号由工程师学院填写，编号规则为：年份4位+申报工程师职称专业类别(领域)4位+流水号3位，共11位。

一、个人申报

（一）基本情况【围绕《浙江工程师学院（浙江大学工程师学院）工程类专业学位研究生工程师职称评审参考指标》，结合该专业类别(领域)工程师职称评审相关标准，举例说明】

1. 对本专业基础理论知识和专业技术知识掌握情况(不少于200字)

作为能源动力专业的研究生，我深刻理解并熟练掌握本专业的基础理论知识，包括热力学、传热学、绿色化工、能源系统等核心课程。这些理论知识为我后续的研究和实践奠定了坚实的基础，使我在能源行业中具备较好的专业素养和问题分析能力。此外，我不仅注重理论知识的积累，还积极参与实践项目，通过动手操作和实验研究，进一步巩固和拓展了专业知识。例如，在专业实践项目中，我熟练掌握了多物理场建模技术，能够运用COMSOL等软件对电池的工作机理进行仿真分析。并且我还参与了实验台的搭建与调试工作，从设计到实施，全程参与并独立完成了部分实验设备的安装与测试，积累了丰富的实践经验。这些技术能力的提升，使我能够更好地将理论与实践相结合，为能源动力领域的研究和应用提供了有力支持。

2. 工程实践的经历(不少于200字)

在浙江安导新能源科技有限公司担任电芯研发工程师期间，我深入参与了锂离子电池电极材料损失项目的实验推进与模型搭建工作，积累了丰富的工程实践经验。该项目主要针对锂离子电池在工作过程中电极材料不可避免的破裂与损失问题进行研究，将直接导致电池的容量与功率性能下降，是制约电池寿命和性能的关键因素。在实践过程中，我首先通过大量实验数据分析电极材料在充放电循环中的失效机制，结合电化学理论与材料力学知识，探究了扩散诱导应力对电极材料的影响。在此基础上，进一步搭建了一种耦合疲劳效应的电极材料损失预测模型，该模型不仅考虑了电极材料在循环过程中的应力累积效应，还引入了疲劳损伤理论，能够更准确地预测电极材料的破裂与损失趋势。此外，我还与团队成员密切合作，参与了实验设备的调试与改进工作，确保了实验数据的可靠性和一致性。这段工程实践经历不仅让我对锂离子电池的失效机制有了更深入的理解，也锻炼了我解决复杂工程问题的能力，为今后在能源动力领域的研究与开发工作奠定了扎实的基础。

3. 在实际工作中综合运用所学知识解决复杂工程问题的案例(不少于1000字)

在浙江安导新能源科技有限公司的工程实践中，现场导师与企业资深工程师通过多次技术研讨，明确指出当前锂离子电池在材料损失模型方面存在显著缺陷，目前材料损失模型预测的精确性和可解释性不足，缺乏对物理现象的可靠解释。这一结论源于多个实际工程案例的反馈：例如，某商用储能电池在低温（ -10°C ）工况下运行时，实际容量衰减速度比模型预测值快40%，导致客户对电池寿命产生质疑；另一款动力电池在高倍率（3C）快充测试中，电极材料损失量远超预期，引发热失控风险。这些问题暴露出传统模型的共性短板——

对物理机制的描述过于简化。因此，为了探究原因和解决方案，公司提供了实验条件与场地，让我可以在实践中充分的利用各种手段去解决问题。

在深入分析锂离子电池材料损失机制的过程中，我通过理论推导与实验观测相结合的方式，系统研究了电池内部的反应与传输机理。研究发现，在充放电过程中，锂离子在正负极材料中的周期性嵌入与脱出会导致局部锂浓度分布不均，尤其是在高倍率充放电或低温环境下，这种浓度梯度进一步加剧。根据菲克第二定律与应力-

扩散耦合理论，锂离子浓度梯度会引发电极颗粒内部的非均匀体积膨胀，从而产生扩散诱导应力（Diffusion-Induced Stress, DIS）。DIS是导致电极发生裂纹扩展，使得颗粒断裂发生材料损失的重要原因。现有的材料

损失模型大多对内部材料的机械特性考虑不全面，很少考虑电极材料的疲劳积累对机械特性的影响，难以应用于电池实际运行中的准确预测。

针对这一现象，基于锂离子电池P2D模型的建模框架，我采用了可以准确反应电极颗粒内部应力特征的DIS模型，将电极颗粒的总弹性应变能作为材料损失与否的判断依据。此外，我通过von

Mises应力的积累表征疲劳效应对极限弹性应变能和杨氏模量的影响。最后，为提升预测可信度，建立了OCV重建模型得到循环后电极完整的开路电位曲线，可以得到电极的损失参数并进行验证，研究发现模型的均方根误差在2%以内。总之，该模型可以准确反应电池在不同充放电速率和环境温度下的材料损失特性，准确预测到了电极材料的损失和导致的锂离子损失，有效的实现了对电极材料损失的实时预测与功率与容量退化现象的反应。

该模型在实际应用中能够更准确地预测电池的运行状态，通过监测和预测电池的材料损失预测电池的寿命，从而为用户提供准确的性能数据，可以有效提高电池管理系统的适用范围和准确性。同时克服了常规基于数据的方法对数据的依赖性，该模型不依赖电池的历史数据，可以用于复杂工况下的电极材料损失的量化研究。

通过这次专业实践，我学会了将论文里的东西与实际操作进行融会贯通，掌握了进行电池老化实验的方法，以及对实验数据的进一步分析，通过OCV重建模型对实验数据进行量化分析得到电极的详细损失参数，以指导材料损失模型的开发，学习了如何对电池进行拆解以分析电池内部材料的化学与机械变化。进而在传统电化学模型的基础上，学习了建立针对复合电极的电化学模型，并实现了力学模型的内嵌，与实验数据进行对比分析，得到了合理的电极材料损失模型。纵观项目的实践过程，虽然遇到了不少的困难，但是对问题一步步的解决，确确实实地积累了很多的科研技巧、提升了科研能力。

(二) 取得的业绩(代表作)【限填3项, 须提交证明原件(包括发表的论文、出版的著作、专利证书、获奖证书、科技项目立项文件或合同、企业证明等)供核实, 并提供复印件一份】

1. 公开成果代表作【论文发表、专利成果、软件著作权、标准规范与行业工法制定、著作编写、科技成果获奖、学位论文等】

成果名称	成果类别 [含论文、授权专利(含发明专利申请)、软件著作权、标准、工法、著作、获奖、学位论文等]	发表时间/ 授权或申请时间等	刊物名称/ 专利授权或申请号等	本人排名/ 总人数	备注
一种基于电化学模型的锂电池老化状态预测方法和装置	授权发明专利	2024年04月12日	专利号: ZL 2023117734 68. X	2/6	导师一作
Comprehensive aging model coupling chemical and mechanical degradation mechanisms for NCM/C6-Si lithium-ion batteries	TOP期刊	2024年07月03日	Energy Storage Materials	1/5	

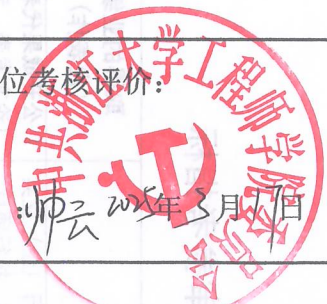
2. 其他代表作【主持或参与的课题研究项目、科技成果应用转化推广、企业技术难题解决方案、自主研发设计的产品或样机、技术报告、设计图纸、软课题研究报告、可行性研究报告、规划设计方案、施工或调试报告、工程实验、技术培训教材、推动行业发展中发挥的作用及取得的经济社会效益等】

无

(三) 在校期间课程、专业实践训练及学位论文相关情况	
课程成绩情况	按课程学分核算的平均成绩: 84 分
专业实践训练时间及考核情况(具有三年及以上工作经历的不作要求)	累计时间: 1.1 年(要求1年及以上) 考核成绩: 84 分
本人承诺	
个人声明: 本人上述所填资料均为真实有效, 如有虚假, 愿承担一切责任, 特此声明!	
申报人签名: 朱科明	

22260461

二、日常表现考核评价及申报材料审核公示结果

日常表现考核评价	非定向生由德育导师考核评价、定向生由所在工作单位考核评价： ☐优秀 ☐良好 ☐合格 ☐不合格 德育导师/定向生所在工作单位分管领导签字（公章）：  2025年3月7日
申报材料审核公示	根据评审条件，工程师学院已对申报人员进行材料审核（学位课程成绩、专业实践训练时间及考核、学位论文、代表作等情况），并将符合要求的申报材料在学院网站公示不少于5个工作日，具体公示结果如下： ☐通过 ☐不通过（具体原因：_____） 工程师学院教学管理办公室审核签字（公章）： _____ 年 月 日

浙 江 大 学 研 究 生 院
攻读硕士学位研究生成绩表

学号：22260461	姓名：朱科明	性别：男	学院：工程师学院	专业：能源动力				学制：2.5年			
毕业时最低应获：29.0学分			已获得：31.0学分			入学年月：2022-09			毕业年月：		
学位证书号：				毕业证书号：				授予学位：			
学习时间	课程名称	备注	学分	成绩	课程性质	学习时间	课程名称	备注	学分	成绩	课程性质
2022-2023学年秋季学期	工程技术创新前沿		1.5	85	专业学位课	2022-2023学年春季学期	研究生论文写作指导		1.0	83	专业选修课
2022-2023学年秋季学期	高等反应工程		4.0	67	专业选修课	2022-2023学年春季学期	绿色化工与生物催化前沿		2.0	88	专业学位课
2022-2023学年秋季学期	工程伦理		2.0	83	专业学位课	2022-2023学年春季学期	优化理论基础		2.0	95	专业选修课
2022-2023学年秋季学期	创新设计方法		2.0	通过	专业选修课	2022-2023学年春季学期	材料加工技术		2.0	87	专业学位课
2022-2023学年秋冬学期	研究生英语		2.0	86	专业学位课	2022-2023学年春季学期	新时代中国特色社会主义思想理论与实践		2.0	81	专业学位课
2022-2023学年冬季学期	产业技术发展前沿		1.5	93	专业学位课	2022-2023学年夏季学期	自然辩证法概论		1.0	92	公共学位课
2022-2023学年冬季学期	智慧能源系统工程		2.0	86	专业学位课	2022-2023学年春夏学期	高阶工程认知实践		3.0	79	专业学位课
2022-2023学年春季学期	研究生英语基础技能		1.0	69	公共学位课		硕士生读书报告		2.0	通过	

说明：1. 研究生课程按三种方法计分：百分制，两级制（通过、不通过），五级制（优、良、中、及格、不及格）。

2. 备注中“*”表示重修课程。

学院成绩校核章：

成绩校核人：张梦依

打印日期：2025-03-20



证书号第6894706号



发明专利证书

发明名称：一种基于电化学模型的锂电池老化状态预测方法和装置

发明人：黄钰期;朱科明;王通;吴焱;罗家园;陆佳俊

专利号：ZL 2023 1 1773468.X

专利申请日：2023年12月22日

专利权人：浙江大学

地址：310058 浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号

授权公告日：2024年04月12日

授权公告号：CN 117454670 B

国家知识产权局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，颁发发明专利证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。专利权期限为二十年，自申请日起算。

专利证书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。



局长
申长雨

申长雨





证书号 第6894706号

专利权人应当依照专利法及其实实施细则规定缴纳年费。本专利的年费应当在每年12月22日前缴纳。未按照规定缴纳年费的，专利权自应当缴纳年费期满之日起终止。

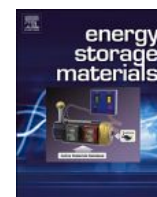
申请日时本专利记载的申请人、发明人信息如下：

申请人：

浙江大学

发明人：

黄钰期;朱科明;王通;吴焱;罗家园;陆佳俊



Comprehensive aging model coupling chemical and mechanical degradation mechanisms for NCM/C₆-Si lithium-ion batteries

Keming Zhu^{a,b}, Tong Wang^a, Yan Wu^a, Jiayuan Luo^a, Yuqi Huang^{a,c,d,*}

^a Institute of Power Machinery and Vehicular Engineering, College of Energy Engineering, Zhejiang University, Hangzhou, 310027, China

^b Polytechnic Institute, Zhejiang University, Hangzhou 310015, China

^c Qingshanhu Energy Research Center, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China

^d Key Laboratory of Clean Energy and Carbon Neutrality of Zhejiang Province, Jiaying Research Institute, Zhejiang University, 1300 Dongshengxilu Road, Jiaying, 314031, China

ARTICLE INFO

Keywords:

Lithium-ion batteries
C₆-Si anode
Aging model
Degradation mechanisms
Sensitivity analysis

ABSTRACT

The aging of lithium-ion batteries (LIBs) is synergistically influenced by multiple chemical/mechanical degradation mechanisms. Therefore, conventional models that incorporate only partial mechanisms exhibit limited predictive accuracy and applicability, failing to fully reflect the effects of chemical/mechanical degradation under complex operating conditions. Here, we propose an aging model for NCM/C₆-Si LIBs coupled with comprehensive chemical/mechanical degradation mechanisms. The model includes chemical mechanisms at the C₆-Si anode solid electrolyte interface (SEI), Li plating, and NCM cathode electrolyte interface (CEI), as well as mechanical mechanisms of loss of active material (LAM) for C₆, Si, and NCM. Based on this model, we comprehensively investigate the effect of capacity loss by (dis)charge rates and ambient temperatures, obtaining the aging characteristics and the contribution of each mechanism to loss under different variables. Furthermore, we quantitatively analyze the sensitivity and response characteristics of the degradation sub-mechanism to (dis)charge rate and temperature. This study introduces an advanced aging analysis model for NCM/C₆-Si LIBs, which can effectively decouple the operational characteristics of the degradation mechanism and provide guidance for developing next-generation high-energy LIBs.

1. Introduction

Lithium-ion batteries (LIBs) have higher energy density and reliability compared to other batteries [1,2], thus holding a leading role in the power battery field. Alongside the swift ascent of the new energy automotive industry and the progressive expansion of the power battery market [3], advancements in new energy vehicle technology continue to surge [4]. Correspondingly, the demand for high-energy LIBs is experiencing considerable growth.

The anodes of commercially available LIBs predominantly utilize graphite (C₆), while the cathode is predominately composed of ternary materials (NCM/NCA) and LiFePO₄ (LFP). The energy densities of available battery systems are approximately 250 Wh/kg, which is close to the energy density limit of material systems [5,6]. This underscores the urgency in identifying active material systems with higher energy densities [7]. C₆ provides good cycling stability and long cycle life [8],

but the lower theoretical capacity (LiC₆~372 mAh/g) [9] limits further development. Among all the emerging anode materials, silicon (Si) is one of the most promising high-specific energy anode materials due to the abundant resources and high theoretical capacity (Li₁₅Si₄~3579-mAh/g) [10]. However, Si experiences a volume expansion of up to 300 % during lithium intercalation [11], which leads to particle fracture losses. Consequently, it is typically used for doping C₆ to create composite anodes with higher energy density(>400 mAh/g) [12]. In addition, the layered nickel-rich cathode material LiNi_{0.8}Co_{0.1}Mn_{0.1}O₂ (NCM811) exhibits a high specific capacity (240 mAh/g) due to its high nickel content. Cobalt and manganese are employed to maintain the stable backbone structure of the material and have a high operating voltage (≈4.3 V vs. Li⁺/Li) [13]. It is regarded as an optimal choice for cathode materials in high-energy LIBs. Therefore, nickel-rich/C₆-Si system LIBs are currently widely used and studied. Nevertheless, due to the complex degradation process inherent to this system of LIBs, there is

* Corresponding author at: Institute of Power Machinery and Vehicular Engineering, College of Energy Engineering, Zhejiang University, Hangzhou, 310027, China.

E-mail address: huangyuqi@zju.edu.cn (Y. Huang).

<https://doi.org/10.1016/j.ensm.2024.103620>

Received 31 May 2024; Received in revised form 27 June 2024; Accepted 3 July 2024

Available online 4 July 2024

2405-8297/© 2024 Elsevier B.V. All rights are reserved, including those for text and data mining, AI training, and similar technologies.