

储能热安全技术突破与跨学科教育融合策略

李康 胡家云

上海理工大学 能源与动力工程学院

DOI:10.12238/mef.v8i9.13003

[摘要] 随着储能技术快速发展,其热安全成为关注焦点。研究从技术创新与教育融合视角,探讨储能热安全管理路径及教育体系重构。通过分析技术进展与典型案例,推动热失控防护、热场优化等关键技术突破,并强调“技术-教育”协同对行业可持续发展的推动作用。研究指出需建立“技术研发-人才培养”协同机制,培养复合型专业人才,并认为,唯有通过技术研发与人才培养的深度耦合,才能实现储能热安全从理论到应用的全面突破,为全球能源转型提供安全可靠的技术保障与人才储备。

[关键词] 储能; 热安全; 跨学科教育; 教育融合

中图分类号: G4 文献标识码: A

Energy storage thermal safety technology breakthrough and interdisciplinary education integration strategy

Kang Li Jiayun Hu

School of Energy and Power Engineering, University of Shanghai for Science and Technology

[Abstract] With the rapid development of energy storage technology, its thermal safety has become the focus of attention. From the perspective of the integration of technology innovation and education, the paper discusses the path of energy storage thermal safety management and the reconstruction of education system. By analyzing technological progress and typical cases, key technological breakthroughs such as thermal runaway protection and thermal field optimization are promoted, and the role of "technology-education" synergy in promoting sustainable development of the industry is emphasized. The research points out that it is necessary to establish a collaborative mechanism of "technology research and development - talent cultivation" to cultivate compound professionals, and believes that only through the deep coupling of technology research and development and talent training can we achieve a comprehensive breakthrough in energy storage thermal safety from theory to application, and provide a safe and reliable technical guarantee and talent reserve for global energy transformation.

[Key words] energy storage; Thermal safety; Interdisciplinary education; Educational integration

引言

在当前全球气候变化和能源危机的背景下,储能技术成为实现“双碳”目标的关键抓手。储能技术作为高效利用新型清洁能源的核心手段,当前主要涵盖化学储能、电化学储能、热质储能和储能系统集成与安全。然而这些技术长期面临热管理与热安全的挑战。随着储能技术的进步,其安全性(尤其是热安全性)受到广泛关注。

1 当前储能热安全领域存在的问题

当前储能热安全领域的研究聚焦于技术突破、标准优化与跨学科融合三大方向,旨在系统性提升储能系统的安全性与可靠性,目前国内各学者也在进行很多相关性研究。马勇等人^[1]以方形磷酸铁锂(LiFeP04)锂离子电池为对象,研究充放电倍

率、环境温度对电池性能的影响,确定电池热生成速率与荷电状态(SOC)的关系式,并开展了电池热失控实验以寻找热安全的温度阈值。项海锋等人^[2]指出国内锂电储能行业发展尚未成熟,锂电安全性标准的制定也相对滞后。随着储能产业的发展,安全标准体系正在形成,在锂电生命周期内的安全性评估标准仍待进一步完善。张鹏杰等人^[3]提出分散式电池管理架构、基于电池模块级的防短路设计、低压分散变换式电气拓扑,以及面向电池模块的精细化消防系统可以作为提高储能系统安全性能的有效手段。赵光金等人^[4]概括了锂离子电池安全防护在早期预警技术和火灾抑制方法的进展,并提出了储能电站安全应对策略及建议。李超等人^[5]研究了先进绝热压缩空气储能系统压缩侧安全控制策略,并通过仿真验证了该策略的有效性。余雁等人^[6]

分析了电化学储能标准化工作现状与存在的问题,从标准创新基地建设紧迫性、创新举措以及建设目标三个角度,提出电化学储能标准化创新基地建设的建议。王长宏等人^[7]概述了新型储能技术的分类以及产业发展情况,指出发展热安全管理技术的必要性,并介绍了储能热管理及热安全相关研究进展,最后根据产业发展情况和技术研究现状给出对策建议。此外,目前研究正从“被动防护”转向“主动预测-自适应调控”,并强调技术研发与教育、政策的协同推进,以构建热安全生态体系。

近年来储能系统安全事故频发(如美、英、德等国储能项目多次发生火灾爆炸事故),凸显热安全技术存在三重瓶颈:技术层面存在材料热稳定性差、热管理效率低及系统集成复杂等问题;标准层面国际规范与行业需求脱节,应急响应机制滞后;人才层面跨学科复合型人才短缺,传统教育无法满足“材料+热力学+智能控制”的集成培养需求。这些瓶颈严重制约储能规模化应用的安全可靠性,亟待系统性突破。

2 储能热安全技术突破的关键路径

当前储能热安全技术的突破主要依赖于多维度协同创新,涵盖材料、系统设计、智能管理、标准构建及产业生态的深度融合。在材料层面,固态电解质与高稳定性电极的研发成为核心方向,例如硫化物固态电解质可提升热失控触发温度。与此同时,纳米复合相变材料通过石墨烯或碳纳米管增强热导率,提升传统石蜡基材料的导热性能,为热管理提供了新思路。

热管理技术的智能化与精准化是另一突破路径,主要体现在对热场动态的实时感知、预测与自适应调控能力的显著提升。以数字孪生技术为核心,结合高精度传感器网络与人工智能算法,构建从微观电芯到宏观系统的多层级热管理模型,从而能够动态调整系统流速与散热策略,同时基于深度学习的健康状态预测模型,能够提前预警潜在热失控风险,显著提升系统主动防护能力。当前热管理技术的智能化与精准化的突破主要有以下几个方面:数字孪生技术、人工智能与机器学习、微通道液冷技术、喷雾冷却技术、数据驱动的优化策略、区块链技术的引入以及量子计算赋能材料设计。这些技术的综合应用,标志着热管理从“经验驱动”向“数据-模型双驱动”的范式转变,为实现储能系统零热失控目标提供了坚实的技术支持。

系统集成与标准建构的突破方向包括技术协同、规范统一及全生命周期管理。首先,以多物理场耦合与系统级优化为核心,通过多物理场仿真工具优化电池模组、热管理单元与机械结构的匹配性,做到电-热-力协同设计;液冷系统、氢泄漏防控模块与电池管理系统深度耦合构建自适应调控网格,实现跨技术集成;开发多能源接口,优化能量流分配策略进行动态管理。同时,标准化体系覆盖全生命周期并强化国际协同,设计阶段制定热失控触发阈值、热管理效率指标等硬性规范,运行阶段建立实时监测与预警标准,回收阶段推动电池梯次利用与无害化处理。针对新兴技术制定兼容性标准并推动国际标准本土化适配。另外,智能化集成平台建设中,数字孪生技术要实时映射物理系统状态;区块链技术实现安全数据的不可篡改存储与跨企业共享;开

放式接口制定统一的通讯协议,确保不同厂商设备互联互通。其次,安全验证与测试方法的创新为标准化提供技术支撑。加速老化测试模拟热安全衰减规律;通过构建极端环境下的热失控传播模型,验证系统鲁棒性;完善第三方认证体系强制储能系统通过相关测试。最后,产业协同与政策引导是突破落地的保障。产业链整合需从推动关键材料的国产化与规模化生产降低集成成本和鼓励储能电站与电网、用户侧协同示范验证系统热安全性能两方面共同进行;财政方面也该给予符合高标准的企业相应补贴,并设计储能专属保险产品,覆盖事故损失与技术迭代风险;国际合作并参与规则制定可推动中国标准“走出去”。这些方向将推动储能行业迈向全局安全可控,为能源转型提供基石。

目前研究正从“被动防护”转向“主动预测-自适应调控”,并强调技术研发与政策的协同推进,以构建覆盖“材料-系统-应用-回收”的全链条热安全生态体系。

3 跨学科教育融合的实践策略

储能领域的跨学科融合与人才培养是应对技术复杂性与行业需求的关键。随着技术向高能量密度与高安全性发展,单一学科知识已不足以支撑系统设计、热管理及安全防控等复合需求。教育体系需从课程、实践平台与创新机制等多方面构建,培养具备工程能力、数据思维与跨领域协作的复合型人才。从而实现依赖教育模式革新与产学研协同攻关的双向推动。

在教育领域,课程体系的重构与搭建实训平台成为培养复合型人才的核心路径。高校可打破传统学科壁垒,将热力学、数据科学、风险管理等课程深度整合,构建“基础理论-技术工具-工程实践”的三段式培养架构。课程设计中,鼓励学生不仅需要掌握相变材料热导率计算、多物理场耦合仿真等专业知识,还可通过Python编程与机器学习工具完成热失控预测模型的开发。另还可通过采用校企联合实验室的虚实结合模式强化学生的实践能力。这种“理论-虚拟-实体”的递进式训练,可显著缩短从知识学习到技术应用的转化周期。

在产学研协同层面,国际合作与政策引导成为加速技术突破的关键。欧盟的地平线(Horizon Europe)计划通过跨国协作机制,聚焦氢储能泄漏防控、电池回收等共性难题。此类项目不仅可推动技术标准化还可通过“订单式培养”为行业输送急需人才。中国则可通过政策与资金双重支持强化本土创新能力。“十四五”专项规划中,储能安全技术研发被列为重点方向,投入经费覆盖材料创新、热管理设计、系统集成等全链条环节。政策还鼓励高校与企业共建创新联合体。这些举措不仅能够加快技术转化,更能够通过“项目-人才-产业”的闭环生态,为行业培育兼具工程能力和跨学科视野的复合型人才。

教育模式与产学研协同的深度耦合,催生了人才培养的全球化与实战化趋势。这种“教育-研发-应用”的全链条协同,不仅可破解学科壁垒与人才短缺的困境,还能够为全球能源转型提供可持续智力支撑。

4 技术与教育的协同效应

技术与教育的协同效应体现在双向赋能与资源循环中,

推动储能行业形成“技术突破-人才供给-产业升级”的良性闭环。

在技术创新驱动教育升级方面,技术创新的成果直接转化为教育资源,重构教育模式并提升人才培养效率。以氢泄漏防控领域为例,韩国某氢能实验室将加氢站泄漏事故的实时监测数据转化为教学案例库,学生可通过分析事故数据集从而掌握从风险识别到应急决策的全流程能力。这种基于真实数据的教学方式可大大提升毕业生上岗后的事故处置效率。数字孪生技术则通过虚实融合显著降低教育成本,相比传统实体实验,此技术可大大减少材料和训练周期。此外,教育体系对技术研发的反哺作用同样显著。跨学科教育模式下产生的创新团队成为技术突破的主力军。例如MIT的学生团队开发了基于机器学习与电化学模型的电池健康预测算法,实现误差率<3%。企业则可通过“订单式培养”精准对接人才需求,基于企业产品路线图定制专属课程,这种“教育-研发-应用”的直通模式,可缩短技术平均迭代周期降低企业成本。

协同效应的社会经济效益已通过量化模型得到验证。相关研究指出,教育投入每增加1%,储能事故率可下降0.8%。人才供给层面,中国“十四五”期间储能热安全领域人才缺口达20万,而跨学科教育体系可填补65%以上缺口。欧盟通过Erasmus+计划培养的跨国人才,在推动标准互认与技术扩散方面发挥关键作用,促进欧洲储能设备贸易额的增长。

更深层次的协同体现在技术工具与教育场景的相互催化。教学场景中积累的数据与模型反哺出新型研发工具;教育机构与产业界的数据共享机制则加速标准迭代。未来,随着生成式AI、量子计算等工具的渗透,教育将深度融入技术研发链条,这种“教育即研发”的模式,或将成为颠覆性创新的核心引擎。

5 总结与展望

随着储能系统的进一步发展,热管理技术也将持续进步。储能热安全技术的突破与跨学科教育的深度耦合,为全球能源转型提供了关键的技术保障与人才支撑。研究表明,材料创新与智能化热管理技术的协同发展,显著提升了储能系统的本质安全

水平,并提出“技术-教育-产业”的有效性:教育体系通过跨学科课程与虚实结合实训平台培养的复合型人才成为技术落地的核心驱动力;而产业需求反哺教育革新,推动课程内容与研发工具的持续迭代,形成闭环。未来,储能热安全领域将呈现三大趋势:技术变革、教育体系迭代以及全球协同深化。然而,实现上述目标仍需突破多重挑战:技术层面需解决多物理场耦合的复杂性与新兴标准滞后问题;教育层面需破解学科壁垒与师资评价僵化;政策层面需建立长效激励机制与风险共担机制。唯有通过“技术研发-教育革新-政策护航”三位一体的战略布局,方能推动储能系统从“安全可控”迈向“智慧可靠”。最终还需各方继续努力,共同面对挑战,确保储能系统安全运行,为绿色能源发展贡献力量。

[参考文献]

- [1]马勇,张量,王亦伟,等.储能用LiFePO₄锂离子电池的热安全特性[J].电池,2021,51(01):41-45.
- [2]项海峰,尚晓丽,吴贤章.锂电储能安全标准发展现状[J].蓄电池,2020,57(03):144-147.
- [3]张鹏杰,关玉文,曹增立,等.锂电池储能系统安全设计[J].河南科技,2025,52(01):83-86.
- [4]赵光金,李晶晶,胡玉霞,等.锂离子电池储能电站安全风险及应对策略[J].电源技术,2024,48(12):2343-2349.
- [5]李超,陈来军,李建华,等.基于可变流量控制的压缩空气储能安全控制策略[J].分布式能源,2024,9(06):38-46.
- [6]余雁,黄超群,胡舒洋.电化学储能标准化现状及标准创新基地建设建议[J].电池工业,2025,29(01):67-71.
- [7]王长宏,张志会,黄金,等.产业视角下储能技术发展趋势与储能热安全关键技术分析[J].科技与金融,2024,(11):19-30.

*通信作者:

李康(1989—),男,汉族,陕西西安人,博士研究生,副教授,研究方向为汽车热管理系统,热泵空调技术,涡旋式压缩机,储能热管理及安全技术。