

“产教研赛”协同赋能：储能研究生实践育人新路径探索

陈月皎 张添瑞

中南大学 粉末冶金研究院, 湖南 长沙 410083

[摘要]面对全球能源转型及“双碳”目标对储能高层次人才的迫切需求,当前储能相关研究生的培养模式还存在课程体系滞后、领域划分割裂和产学研脱离等问题。为此,可基于课程再组织化、产学研用结合的实景实践平台的创建、校企联合的“双导师制”和多元综合动态考核等方式,促成由偏于学科、理论为主的人才向重于工程实境与跨学科为导向的融合人才,到具有卓越创新能力、系统性和工程性思维能力以及综合素质的行业领军人物迈进,为推进我国乃至全球储能事业创新发展奠定充足的、称职的新时代创新型优秀人才储备池。

[关键词]储能技术;研究生教育;产教融合;实践育人;人才培养模式

DOI: 10.33142/fme.v6i8.17532

中图分类号: G712

文献标识码: A

Collaborative Empowerment of the "Production Education Research Competition": Exploration on a New Path for Practical Education of Energy Storage Graduate Students

CHEN Yuejiao, ZHANG Tianrui

Powder Metallurgy Institute, Central South University, Changsha, Hunan, 410083, China

Abstract: Faced with the urgent demand for high-level talents in energy storage due to the global energy transition and the "dual carbon" goal, the current training mode for energy storage related graduate students still faces problems such as lagging curriculum system, fragmented field division, and separation of industry and academia. To this end, based on the reorganization of courses, the creation of real-life practice platforms that combine industry, academia, research, and application, the "dual mentor system" of school enterprise cooperation, and diverse comprehensive dynamic assessments, we can promote the transformation of talents who are mainly focused on disciplines and theories to integrated talents who are more focused on engineering reality and interdisciplinary orientation, and to industry leaders with excellent innovation ability, systematic and engineering thinking ability, and comprehensive quality, which will lay a sufficient and competent reserve pool of innovative talents for promoting the innovative development of energy storage in China and even globally in the new era.

Keywords: energy storage technology; graduate education; integration of industry and education; practical education; talent cultivation mode

引言

在全球能源革命和我国实现碳达峰、碳中和“双碳”目标的大背景下,储能成为加快可再生能源利用步伐并保障新型电力系统安全运行的核心新兴技术和领域,重要性不断提高,正迎来爆发式发展。预计到2030年储能总产值将超过万亿元,大量新兴产业对大批高素质创新型的复合型人才十分迫切^[1];但目前很多高校面对储能庞大的行业与市场,并没有很好地手段去培养所需要的人才,突出问题是高校研究生培养与产业发展的严重脱节问题,传统储能学科设置课程老旧单一,缺少覆盖材料、化学、电气、控制等高度交叉领域的知识,培养方式以课堂教学为主且实验较多,缺少解决当前产业发展面临实际问题的实践与创新训练等,人才培养与发展的不匹配矛盾日益显现,面对国家重大需求和储能人难寻,加强储能研究生实践育人已由锦上添花变成势在必行刻不容缓之大事。

为此,本文力图回应这个时代号角,立足储能技术本

身特点和内涵,冲破校企藩篱,着力从如何立足产教融合背景下依托储能产业现实构建项目为载体的研究型实践类课程建设;如何组建具有工程经验或实践素养的校企联合培养双导师队伍;如何搭建立足真实高水平场景的各类工程类实习实训平台等层面,搭建能够对接实时产业现状需求,激发学生创新灵感提升工程化素养的新模式,以积极探索具备新育人机制新举措的新办法,以为实现自主创新与转型升级的产业发展提供扎实可靠的人才供给与智力服务,如图1所示。

1 电池储能系统的发展现状与挑战

电池特别是锂电池储能正迎来一波新的发展热潮,不仅在传统消费电子和家电中使用较多,在大容量可再生能源并网、电网侧储能用于调频和调峰(UPS)等方面均在加快推广。从锂电池电能产品的开发利用到最终应用落地,逐步形成了较完备的产业系统及产业链条,并以更快的速度成长着,正在迅速融入能源与电源建设、工业生产以及其他新兴产业的大潮中。在全球范围内都出现了一股巨大

的市场需求和发展热潮，在政策驱动力引导下与市场自身需求双重作用和驱动下，逐步实现规模化、商业化运用。目前已经逐渐形成了一套较为成熟的材料研发与电池体系，电芯生产、电储能装备制造，再到配套系统集成与维护，产品技术路线丰富，工艺路线成熟完善，技术水平持续提高，而且能量密度不断加强和提升、成本不断下调降费，并且已为电池大规模普及和广泛应用打好了基础，液流电池、锂离子电池等电池技术路线下也正在进行广泛探索与测试阶段，提供着更多产品选择，拥有着更大的应用场景和极具可观的市场空间潜力。

电池储能要走入规模产业化发展，其所凸显出的各种“技术问题”和“痛点”，则对研究生实践育人的工作也带来了前所未有的挑战。首先就体现在科研创新的挑战上。这种挑战由上述难点、问题形成的根本原因决定。电池系统的“黑箱特性”使系统本身的状态几乎不能直接观测到。衰减是电化学、热学、电气等多个因素综合作用的结果，这就意味着研究生不但要基于自己专业所长在理论仿真方面有所作为，更要针对各种综合复杂工况设计并完成实验、研究，提出评价实验结果的方法，进而得到对电池老化性能健康的认知。例如：建立同时测试电、热、力等多种应力下电池老化现象及综合效应的实验平台，从中提取并分析电池性能健康评价方法等。

从实验室的“样品”到最后实现的工程“产品”，这中间隐含着巨大的跨越：研究生们可能在实验室中只需要改个成分、加些添加剂，甚至再使产品的性能提高1%就可以了。而到了产业界就完全不同了，需要能够满足各种复杂、恶劣条件下良好运行几十乃至上百年大型电池产品的储能系统。这意味着学生们接触到的实践活动不再是一个美妙的实验室环境，需要去解决各种工程实践中的困难真问题。现在相当多的教育实践环节严重匮乏这种规模大、耗费资源和时间多，风险高大的工程实践平台和机会，而毕业的研究生对于教科书是如数家珍，

但对于工业界有关系统的建设规范、集成和使用过程中的安全等问题却不熟悉、不了解，其所谓创新难以落地。其背后隐含聚焦的就是人才自身核心能力，也即培养出的研究生是否具有面对未来中国发展所需的跨学科知识融合能力、系统分析思考能力，解决重大工程技术挑战的能力；而这恰恰是采用碎片化的学科建设和偏向于个人提升为主的单导师制研究生导师制导师机制无法给研究生构筑形成此复杂的全链条材料设计和制造的知识与思维基础结构。

由此可见，迫在眉睫的是要寻找打破学科界限的、与产业真实现场深度融合的场景化实践育人新路径，不单单是要实现储能技术瓶颈的跨越，更重要的是培养一批扛起中国未来储能大旗的年轻人。

2 新路径探索：构建系统化培养体系

2.1 课程体系重构：建立系统级核心课程模块

要解决上述电池储能研究生教育中针对“零件”而不是系统而培养的学生的“碎片化”思维这个问题，应该提供面向系统、多学科交叉为主的新课程及实验与实践体系，让学生从“源头”就认识到系统的复杂性，而不仅限于学习某种或某个“材料”的性能特点，学习不同种类的单体。改变以原有的电化学、材料学等相关知识的内容为主线的模式，首先改革储能系统相关知识的学科体系，在原来电化学和材料学基础上设置《储能系统集成与工程实践》《电池管理系统（BMS）算法与设计》和《储能系统建模与数字孪生》^[3]等课程，把在教学中所学到的课程之间的知识点的关联上升到一种更高层次，就是系统这个层次，以系统各层之间的关系为重点来探讨研究，重点讲授电池的成组技术、热管理设计、电气结构安全、能量管理架构与核心状态估计算法，以及各种电池的规模化工程应用及出现事故原因的探讨，并在大型储能电站的应用实际及事故分析案例中使学生清楚地认识到系统的集成原理及设计规则。



图1 2013—2030年全球累计能源存储部署量^[2]

与此相配套,实验教学也必须从简单的性能验证,变为多应力耦合的全面的、系统级升级为一套“单体-模组-系统”的三级教学训练体系。基础表征学习阶段锻炼学生的电化学测试等训练的同时,也要求能关联材料衰减与系统表现水平的能力。耦合的复合应力实验要求学生能够面对各种复杂的真实情况,设计电-热复合应力或者动态工况下储能系统的退化,在此过程中,需要他们搭建多因子耦合的老化实验,采集/分析涉及多种变量(电压、温度等)的大数据,尝试建立寿命/健康度预测模型,在真实复杂的试验研究问题面前,以提升他们面对问题、研究设计能力;而集中的系统级集成和验证,将是我们实验实践水平、综合培养能力的高峰,通过一些小型的储能系统实物或高保真虚拟仿真平台,让学生置身近似于真实的实际系统下,进行储能系统联合调试,系统故障仿真、系统运行评估以及硬件在环测试(HIL)、等等。学生亲身感受到各种技术子系统的集成,对各种相关子系统之间的关系有充分的认识和理解,把所知串成一个故事,在系统应用中去发现问题,在工程应用中去解决问题,把专业知识转化为实践创新能力。

这套体系从根本上推动了人才培养从理论仿真向工程实践、从单一学科向交叉融合的战略转型。

2.2 打造“产学研用”一体化的实景实践平台

要真正弥补这一实验室到现实间的鸿沟,就必须建立一个“产学研用”紧密联结的真实应用平台,在其中以产界的真实的场景、真实的问题和项目培养研究生的研究主体。真实场景的创设首先要与产界建立联合平台(联合实验室与基地),而其关键是要把真正的设计软件和测试设备甚至于小产线导入其中,与校园内的基础实验室一同为学生搭建起由易入难的“校园-联合平台与基地-产界”链式的场景化能力提升模式。这也意味着此时的学生已不再是使用自己的“梦中情人”,而是开始以先进的电池测试机、更先进的BMS开发软硬件以及热管理平台与系统模拟平台开展研究,他们完全可以通过产界级的真实问题完成从组件材料至单元材料/结构测试再到电池与堆组装和测试,然后到堆测试、安全评估测试,最后走向商业化验证的集成性测试工作。

在此基础上,平台的生命力在于推行以企业真实技术难题为核心的“项目制”学习模式。所谓以难攻坚,就是让企业在合作的过程中带着自己的当前难题参与“教学研究式研究生学习项目”——例如电池寿命预测、怎样做到快充而不损伤电池、能否找到一套合理的梯次利用经济性估算或者更远地实现对系统的安全预警算法、如何进行系统集成设计、怎样构建最优的商业模式等难题作为“题”,作为研究生的研究方向,或研究生创新竞赛题目。然后由企业的师傅加上校内导师,带领学生们组团来研究这个题目。从分析问题到思考方案、到技术路线的设计;从仿真研究到实验研究、再到寻找一个能够检测或试运行的技术

原型或解决方案,这样的“工作”,既是对这些学生的创新能力的锻炼,更是对学生工程能力的认识的提升,即让学生拥有具有成本意识、质量意识、规范意识、市场意识和竞争意识的工程师式的思维方式。而我们的平台则是带着大家进工地(进驻发电储能站或系统集成车间/实验室)实习工作,并让学生们有这样的一次非常真实的实训,完成学生能力飞跃的那一公里。

学生亲身参与到集装箱式储能系统的调试、运维和故障查找中,在现实的环境和实际的约束条件下,体验设计选择如何影响系统最终的性能、安全和成本,并将这种“系统思维”、他们课内课外学到的知识转化为解决真正实际问题的实际能力。深入、广泛的沉浸式体验,是任何教室无法完成的任务,这也正是最终想要达到的培养目标:造就善于把握时代需求,敢于挑战复杂前沿难题,富有创造性和实干精神的未来卓越工程师与产业领导力顶尖人才。

2.3 创新“双师指导、跨界协同”的育人机制

要对学生的知识与能力结构进行变革,必须改革指导学生在完成课题过程中“双师指导、跨界沟通”的体制机制,其实质是打破单导师指导的藩篱,形成由学科指导团队作为主要构成的一线教师和行业或相关公司人员共同合作,以及不同专业实现交叉与对话的知识融合和整合的合作教育模式,其中,一个重要内容就是如何从组织层面对学生的跨界指导实现组织设计,并在具体的学生问题解决或课题执行活动中有效实现,在这一问题解决过程中迫使学生不得不动调并融合多种专业知识、技术和视角,并综合各种知识与技术予以考量来求解,并由此来潜移默化地培养和增强跨界沟通和对话的能力,并提升跨界思考和综合运用能力;而在其中实现这种目的的直接组织者就是组成这些活动和环节的多个导学集体,而且在此过程中导学集体也自身获得了更新与发展。这里最具特色和创新之处是材料、化学、电气、控制、安全工程、数学、软件编程及机器人应用等不同领域组成的一个或多个导师组,他们一起为同一任务/课题提供综合解决方案并集体开题、集体中期检查、集体答辩(重点指的是承担任务涉及到多个领域的系统级别的工作),以保证能够最终使学生在研究中不断突破既定的认知和思路,迫使每个学生都能积极主动和更广泛交流不同的专业观点和技术,并由此自然地培养学生跨界思考问题、解决问题的方法和技术思维。

双师指导的前提和关键是“明确校内导师和产业导师责任分工,建设通畅的沟通平台和交流途径,共同制定教学内容、设计方案和组织实施教学过程”。前者注重学术规范与标准、理论深度和学术思想方法,后者则是技术潮流动向和应用领域工程师的应用经验、行业需求观点,协助培养方案确定、科研设计指导、专题讲座研讨、实践实习监督等系列课程教学工作。为了将双师指导不脱节、常态化,建立经常性的研讨会、项目进度汇报会等形式的教

学交流合作。使校内外两方能够及时沟通并就学生的毕业项目方向和课题问题、研究思路、进展状况进行分析、讨论和修改调整,保证在“学术前沿性”和“工程实用性”这条“双轨线”上学生不至于不偏航、跑调门,并使学生成为真正有特色的研究和思考训练过程的学生群体。其目标就是为了改变过去的“教授-授课”“学生”的传统单线学习模式成为现在的双线提升之路。接受“双导”“跨界”老师指导后的学生做出来的题目更为切合实际应用,不是单凭写一篇论文为目标,其可能为写一篇专利、开发一个算法或一套全新的技术和设备——将“产学研”间的最后一公里路障真正的打通。

这种机制培养的学生,既有扎实理论基础、深厚现实产业的功底,可以成为把握复杂性、全局性和强大执行力的领军人物,可以填补储能行业高层次人才短缺。

2.4 构建多元评价与持续改进机制

要确保协同育人新路径的运行,就要构建和培育与此相适应多元化的评价、改进机制,就是要走出传统单一学术论文导向评价的桎梏,在这一评价体系中建立过程性与终结性评价融合、重视能力素养与实操表现均衡、贯穿校内培养与职场发展一致的全面综合评价新机制。这种评价不仅是最终的结果或成绩,而是记录并反映其在各种跨学科项目实践经历中的知识应用能力和过程、在不同情境下的工程思维活动过程、与团队成员的协作和配合效果,包括来自企业导师等对其参与项目的评价、基于学生撰写的文档及报告进行的评阅、实操和竞赛表现等都可作为有效记录和衡量的方式。同时对于学生在项目上的成果也要更看重那些能够体现更丰富的产教融合特征的输出,包括技术研发或优化原型开发、解决某一应用问题的设计算法开发与编码以及取得的相关奖项、被纳入技术方案、专利授权以及产业技术转化应用等相关创新成果。

建立常态反馈途径是驱动系统不断完善动力。围绕课程和培养内容设置、实践项目实施成效、学生薄弱环节等方面,利用每学年校企研讨会、产业导师咨询会、毕业生成果和雇主问卷调查、实习生实习单位回访等多种形式对来自学术界、产业界和毕业生等多方人士反馈的信息进行持续收集,也是对这些培养模式予以主动修正的一种途径,让所有育人的整个闭环实现不断修正。通过这些关键点信息进行闭环,比如每年对课程的更新换代需求;每年对实践项目库中淘汰旧课进行精简并整理增补新课内容,使得项目库一直跟踪工程前沿一线;人才引进和合作的形式根据调研评价及时进行优化改进,推进更多更高级的校企共建课程、实验室及项目建设合作等。“评价—反馈—修改”使得人才培养的全过程成为会随着环境和条件变化而自我完善的成长性的生态环境系统,使其始终保持面向

产业发展而自我同步更新的能力。

3 结束语

当前,全球正在经历着一场从化石能源向清洁、可再生能源转型的战略机遇,在我国“碳达峰、碳中和”背景下,储能将成为推动能源革命的平台、保障可再生能源和新型电力系统高质量发展的核心基础和确保整个能源领域综合大系统安全运行的核心支撑技术,战略性地位日益突出。储能产业方兴未艾,预计到2030年总产值就将超过万亿元,在这爆发增长的背后却存在着人才瓶颈问题越来越凸显出来,并急需大量高素质创新型复合型储能人才,但在目前我国各高校人才培养过程中还存在研究生课程内容落后于储能技术快速发展、以单一学科培养为主无法满足材料、化学、电气、控制等多学科叠加深度交叉融合、以课堂授课和实验室训练为主的单一形式的教学模式难以对接实际储能工程与产品研发需要以及培养出来的研究成果太多投入产出低等突出痛点和严重悖论的问题。在这样的形势下,当面对国家重大需求和储能人才困境的时候,探寻储能研究生教育实践育人新路径并非如写诗词那般是锦上添花之举,而是不为不行必须为之的一道破解命题。

本文正是为了破解该时代问题,遵循储能学科交叉、实践性等特点,研究如何通过加大产、学、研链接力度,通过创建实践导向的教学内容体系(如以项目为主的实践课程)、组建双导师教学与科研团队;搭建高水平实景实况实训平台等一系列手段和举措,打破产教藩篱,贯通产业链条,创造一种紧贴产业发展前沿、迸发热情、锤炼本领的能力素质培养模式,实现培养产业紧缺技术人才的目标,并为我国储能技术创新和发展提供人才支撑和智力源泉。

【参考文献】

- [1]教育部,国家发展改革委,国家能源局.储能技术专业学科发展行动计划(2020—2024年)[EB/OL].(2020-01-15)[2023-01-17].http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/202002/t20200210_419693.html.
 - [2]Wood Mackenzie.Global energystorage capacity to grow at CAGR of 31% to 2030[EB/OL].(2020-09-30)[2025-02-07].<https://www.woodmac.com/press-releases/global-energy-storage-capacity-to-grow-at-cagr-of-31-to-2030/>.
 - [3]郭亚娟,高守锋,戴彬婷,等.面向可持续发展的电池储能系统教育框架与实践[J].电池,2025,55(4):880-882.
- 作者简介:陈月皎(1986.11—),女,汉族,湖北襄阳人,博士,副教授,中南大学粉末冶金研究院,研究方向:金属能源材料;张添瑞(2022.9—),男,汉族,云南昆明人,硕士在读,中南大学粉末冶金研究院,研究方向:水系储能电池。