

# 教育部工程研究中心年度报告

(2023年1月——2023年12月)

工程中心名称：电化学技术

所属技术领域：化工、冶金与材料

工程中心主任：赵金保

工程中心联系人/联系电话：蔡建法/13599539932

依托单位名称：厦门大学

2025年3月27日填报

## 一、技术攻关与创新情况

本年度技术攻关进展和代表性成果如下：

1) 钠电研究取得进展：以过渡金属化合物NiCoP@C为研究对象，采用原位透射电镜等表征手段，揭示了影响过渡金属化合物负极的ICE和循环性能的本质原因是化合物中不同原子迁移能力的差异和放电产物的空间分布；基于功能分子双三氟乙酰胺和氟代碳酸乙烯酯的相互作用，设计了一种可以通过原位预植入原子而扎根于金属的独特、多层、富无机的“生根型”，实现SEI与钠金属间的紧密连接并促进高度可逆的钠沉积/剥离过程。基于该策略的半电池和高压全电池均表现出在已报道工作中的最优性能，是SEI膜构筑方面的一个重要创新；对近期商业化的两种正极产品在环境气氛中的稳定性进行了评价，提出了一种简单的二次烧结策略，通过去除表面杂质并将表面产生的Na<sup>+</sup>重新嵌入到材料晶格结构中的方法来提高正极材料的空气稳定性，经过二次烧结处理后的稳定晶体结构不仅有效抑制了材料在空气中的化学转变，而且提高了循环稳定性。

2) 锂硫电池电极材料取得进展：利用自主研发建立的高时空分辨电化学原位液相透射电子显微系统，首次发现了锂硫电池电荷储存聚集反应新机制。不同于传统GCS模型所涉及的单个分子的扩散、吸附和转化等过程，锂硫电池电荷储存聚集反应新机制从原子/分子尺度揭示了金属活性中心与LiPSs之间的长程相互作用、LiPSs聚集体的形态、集体电荷储存和Li<sub>2</sub>S瞬时结晶等过程。未来，基于电荷储存聚集反应新机制将从全新角度推进锂硫电池电极材

料和体系的设计和研发，促进高比能、高功率、快充锂硫电池的发展。相关研究成果在Nature刊发，并入选2023年度中国科学十大进展。

3) 液基活性胶体相分离研究取得进展：设计了一种波长选择性TiO<sub>2</sub>活性胶体系统，其中活性胶体粒子用光谱特征染料编码，形成光致变色胶体群。进一步通过混合青色、品红和黄色胶体形成动态光致变色墨水，并在宏观上实现了光致变色。与现有的变色材料不同，这种光致变色是基于光诱导的活性胶体混合物的垂直相位分层，即现有组分的重新排列，而不是生成新的发色团，因此更加可靠和可编程。该研究成果促进了对人工活性材料“群体智能”的认识，为活性智能材料的设计开辟了新的方向。相关研究成果在Nature刊发。

4) 表面增强拉曼光谱方法应用进展：结合实验和理论发展了生物大分子SERS光谱解析策略，首次实现了基于SERS的蛋白质结构解析。原本计算蛋白质与表面等离激元电磁场相互作用所需的复杂积分迭代可简化为极化率张量导数、旋转矩阵和梯度局部电场的简单矩阵计算，进而在1秒内即可获得蛋白质的理论光谱。从简单小分子、多肽到复杂蛋白质等多个体系验证了该策略的可行性，通过解析界面DNA结构，验证该策略对生物大分子分析的普适性。首次建立了蛋白质SERS光谱的解析策略，对明晰SERS的谱构关系，进而实现未知序列蛋白质的结构解析具有重要意义。

5) 微米尺度电化学方法应用进展：通过碳纤维微米电极的计时电流法测量，捕捉到了单个活细胞中单个外泌体的动态释放，将外泌体与其他类型EVs区分开，实现了包裹在外泌体内的分子与

LDCVs融合细胞膜释放的分子的区分与定量测量，并结合荧光成像进行了验证，揭示了外泌体内的化学信使分子介导的新的细胞通讯方式，以及两种释放路径之间的潜在联系，改变了对于神经内分泌细胞胞吐的固有认知。该研究在基础水平上定义了一种新的化学通讯机制，并为神经内分泌系统和中枢神经系统中外泌体的分子生物学研究提供了新的见解。

6) 有机电化学取得进展：利用光电不对称催化策略，采用吡啶盐和手性铜络合物为催化剂，通过杂芳烃自由基阳离子过程，实现了将易于获取的芳基烯烃和未经官能团化的杂芳烃高效、高对映选择性地转化为手性腈，使烯烃的不对称芳氰化无需再使用危险的芳基重氮盐试剂；通过持续流动电合成方法成功实现了苜位C(sp<sup>3</sup>)-H的高选择性单氧化反应。该电化学方法具有广泛的底物范围，优秀的位点选择性，且无需添加催化剂、化学氧化剂或额外电解质；通过对配体的调控该方法实现对烷基烯烃的叠氮氰基化以及芳基烯烃的对映选择性叠氮氰基化，通过对产物的进一步转化，可以实现β-氨基酰胺的骨架构建。该工作通过铜盐和配体作为催化剂并结合有机电合成手段避免了氧化剂的使用，并增强了底物和官能团的兼容性。

## 二、成果转化与行业贡献

### (一) 总体情况

2023年度工程中心获授权专利26项，4件专利成功转让，并有1件技术秘密进行许可，具备较强的工程技术开发能力，为行业、地区解决了许多实际难题。具体的，掌握并完善了铝塑膜干法制备

关联的全部核心技术，实现了动力电池用铝塑膜全部技术与关键材料的国产化，位于福建省泉州市的生产线已于2023年12月竣工投产，为行业发展注入新的活力，可大大推动国内铝塑膜行业的发展；为深入推进产学研和科技成果转化，黄令教授与浙江宏丰铜箔有限公司共建“厦门大学化学化工学院—浙江宏丰铜箔联合实验室”，与深圳吉阳智能科技有限公司共建“厦门大学化学化工学院—深圳吉阳智能科技有限公司锂电新型电池体系及装备研究联合实验室”，董全峰教授与领新（重庆）新能源有限公司共建“厦门大学化学化工学院-领新新能源固态电池及关键材料研究中心”，赵金保教授与安徽铍钠科技有限公司共建“厦门大学化学化工学院-安徽铍钠钠电池联合研发实验室”，同时，继续推进“华为-厦门大学化学化工学院联合研发中心”、“厦门大学化学化工学院-顺络电子股份有限公司联合研发中心”和“厦门大学化学化工学院-江西和润宇电源科技有限公司联合研发中心”等联合研发中心的建设，提升中心产学研综合实力。

继续开发原位透射电镜芯片，助力科技与产业界微观机制研究；开展高比能正极材料高温工况表界面演变规律、高容量低阻抗超高镍正极材料研究、聚丙烯碳化制备硬碳材料研发等化学电源相关研究，助力宁德时代、村田（中国）、中兴新材等企业解决技术瓶颈；成功实现锌合金无氰镀铜工艺在厦门建霖工业有限公司稳定产业化应用第七年，并受光华科学技术研究院委托开展无氰电镀金工艺及机理研究；进行新型膜材料表征仪器开发，助力膜材料行业发展。

## **（二）工程化案例**

## 1)、锂离子电池包装用铝塑膜产业化

锂离子电池包装用铝塑膜是锂离子电池产业中唯一没有完全国产化的关键材料，被列入工信部卡脖子材料清单，国内厂商生产的铝塑膜批次稳定性较差，铝塑膜的厚度、强度、耐腐蚀性能、封装强度等重要特性得不到整体兼顾，只能满足国内中、低端市场需求，铝塑膜国产占有率不足7%。工程实验室主任赵金保教授团队经过多年攻坚，已取得产业化阶段性成果，成功掌握了铝箔表面处理技术、尼龙与聚烯烃的表面处理技术、特种粘结剂的合成与制备技术、铝塑膜复合技术等铝塑膜干法制备关联的全部核心技术，并实现完全自主知识产权。样品测试结果表明，综合性能接近或达到日本同类产品的技术水平，国内领先，且价格优势明显，可望取代日韩产品。为推进铝塑膜的产业化进程，于2020年注册成立厦门奇楷锂材料科技有限公司专业从事铝塑膜的研究、开发、生产和销售，企业总部设在厦门，工厂建于泉州安溪，并入选安溪县2020重大招商项目，工厂于2023年12月竣工投产，一期建设产能为2亿元/年。该项目的投产可在一定程度上替代进口产品，对进口铝塑膜价格起到一定的抑制作用，推动国内铝塑膜行业的发展，有力提升我国锂离子电池的国际竞争力，有利于锂电新能源汽车的推广。团队在铝塑膜技术的基础上，进一步在世界上率先完成了锂离子电池用钢塑膜的关键技术开发。

## 2)、高安全性动力电池用功能隔膜产业化

在国内率先建成一条完全采用国产设备、具有完整知识产权的陶瓷功能隔膜试验线，并率先将此技术应用到动力锂离子电池，大幅度提高锂离子动力电池的安全性。进一步开发具有完全自主知识

产权的第三代陶瓷隔膜，实现230℃下零收缩，并已应用在12微米超薄隔膜中，该技术为超薄高安全隔膜应用技术的突破奠定了基础，已申请隔膜相关专利三十多件（二十多件获授权，包括日本和美国专利各1件），完成了陶瓷功能隔膜在我国“从无到有”、“从有到精”的跨越式发展。该项技术已在沧州明珠等多家公司大规模生产，中创新航的动力电池全面采用该项技术，累计产值超过百亿元。超薄耐热隔膜还应用在梅岭特种电源的XX地面训练用锂离子电池中，取得了显著的社会、经济效益。

### **（三）行业服务情况**

2023年度继续为华为、宁德时代等二十多家企业提供技术咨询或合作技术开发等，年度到账经费1117万元，与华友新能源科技（衢州）有限公司、安徽铍钠新材料科技有限公司、门创科技（厦门）有限责任公司、厦门超新芯科技有限公司、浙江宏丰铜箔有限公司、中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院、领新（重庆）新能源有限公司、苏州诺菲纳米科技有限公司、深圳中兴新材技术股份有限公司、华为技术有限公司、光华科学技术研究院（广东）有限公司、宁德时代新能源科技股份有限公司、深圳吉阳智能科技有限公司、优美科、村田（中国）投资有限公司等15家企业签订横向合同15项，合同经费1834万元。

以工程中心田中群院士等资深专家为核心成员的案例研究团队入选教育部首批企业案例研究基地，该基地由厦门大学化学化工学院和宁德时代新能源科技股份有限公司联合申请，组建跨单位跨学科研究团队，以有组织的案例研究促进学术研究者与一线实践者深

度合作，开展深层次、多角度、系统化案例开发，总结宁德时代作为动力电池与储能电池领域全球领先的企业经验、讲好宁德时代的企业故事、提炼宁德时代的企业模式，加快构建中国特色、中国风格、中国气派的哲学社会科学自主知识体系，服务立德树人根本任务，提升实践创新型人才培养质量。

### 三、学科发展与人才培养

#### （一）支撑学科发展情况

继续发展和升级原有的学科。1) 新型电化学能源技术方面：工程中心积极开发下一代锂金属电池、钠离子电池、全固态电池、高比能锂硫电池、液流电池等新型储能体系，相关成果以论文的形式发表在Nature Commun.、Energy Environ. Sci.、Adv.Mater.、chem等国际顶级期刊杂志。2) 电化学能源系统中高性能材料技术方面：针对锂离子电池的关键材料，继续开发和促进锂离子电池软包装用铝塑膜、高安全性功能陶瓷隔膜、高容量硅碳负极材料的成果转化，补充和完善我国锂离子动力电池产业链缺失的关键一环；持续开发高性能燃料电池催化剂，促进我国PEM燃料电池的发展；3) 金属表面处理及防腐技术方面：发展多种基于腐蚀电化学新原理，富有特色金属腐蚀监测/检测技术，并推进工业应用，取得显著成效。继续推进新型腐蚀控制技术的工业应用，解决不锈钢海洋腐蚀的难题，取得显著效益。4) 光谱电化学仪器及传感器技术方面：工程中心继续推进和发展原位表征手段和方法，包括拉曼技术、原子力显微镜、红外光谱、高分辨固体核磁谱和透射电子显微镜等，进一步揭示明确了电化学过程的相关机理。

5) 新型生物医学材料的电化学制备技术方面：通过提高钛种植体生物活性的表面微-纳米构筑技术，形成多种医用植入体材料表面技术和产品，并已在临床上形成应用。

能源学科是一门综合性学科，具有突出的交叉性和前沿性。工程中心深耕电化学储能领域多年，在二次能源的存储、转化和利用方面形成了一支实践经验丰富、理论扎实的高水平研发队伍，并形成了系列基础研究和产业化成果，电化学成为引领学校双一流建设的重要支撑学科。

## **(二) 人才培养情况**

2023年度，中心培养博士毕业生33名，硕士毕业生94名，在读博士生184名，在读硕士生263名，博士后出站13名，博士后新进站21名，有10名新进站博士后与宁德时代、光华科技、比克电池及嘉庚创新实验室等单位联合培养。

研究生深度参与科研项目，在Nature、JACS等国际顶级期刊发表文章200多篇，申请专利40多项。两名学生（杨级博士，导师田中群院士；周诗远专硕，导师孙世刚院士）学位论文获2022年福建省优秀学位论文。

## **(三) 研究队伍建设情况**

通过校内资源整合，组织了一支素质过硬的高水平研发团队，人才团队具有高层次、全覆盖的特征。2023年度，引进厦门大学南强青年拔尖B类人才计划入选者战超。继续聚焦青年人才的引进和培养，充分发挥老一辈科学家的传帮带作用，中青年教师快速成长。

周志有入选中组部国家特支计划-科技创新领军人才，郑靖入选中组部国家高层次青年人才，林楷强获聘闽江学者特聘教授，张力入选福建省高层次B类人才，郑靖、胡可可、黄腾翔3人入选福建省高层次C类人才，侯旭获评厦门市拔尖人才，曹阳、赵金保、徐海超、程俊、任斌、杨勇入选厦门市高层次A类人才，詹东平、范凤茹入选厦门市高层次B类人才。

田中群院士当选英国皇家化学会中国高级专家委员会主席，孙世刚院士荣获第四届“杰出教学奖”，侯旭教授获第九届中国化学会-英国皇家化学会青年化学奖和侯德榜化工科学技术创新奖，任斌教授作为主要完成人之一的《“德育为先、交叉融合”的化学类专业建设与实践》成果获得国家级教学成果奖二等奖，郑靖教授获评中国新锐科技人物，杨勇教授获评第八届福建省优秀科技工作者。赵金保教授获得云南省自然科学一等奖（排名第五）。

## 四、开放与运行管理

### （一）主管部门、依托单位支持情况

厦门大学不仅为中心研究人员提供了超过7000平方米的实验场地，在“985”等建设过程中，均对电化学及其相关学科、科研平台投入大量的资金和人力，例如在“985”二期中，对建设中的嘉庚化学平台投入近2亿元的资金，瞄准国家实验室的目标，大力发展与化学学科紧密相关的能源、材料等方向的研究，加强工程研究中心和实用化工程技术的研发。

在学科建设中，学校秉承“扶优”原则，研究生培养指标向电化学学科倾斜，并为工程中心提供一定数量的在编工程师名额，同

时，鼓励中心积极引进人才，并给予人才补贴和启动经费支持。另外，学校和院系2023年也为工程中心优先配套8名工程硕士的招生名额，支持中心项目研发并为行业产业培养专门化人才。

在厦门大学“双一流”建设过程中，工程中心作为能源科学与工程学科群的重要平台之一推进交叉融合、开展协同攻关，也得到了学校的大力支持。

## **(二) 仪器设备开放共享情况**

中心对于高分辨透射显微镜、激光共聚焦拉曼显微镜和衍射仪等核心科研仪器设备，建立专门网上共享平台，实行网上预约制，不仅供电化学工程技术中心师生使用，而且全校师生均可预约使用，甚至升级到特定日对社会开放，全面实现仪器和资源的共享。

林昌健教授自主研发的电化学科学仪器“ECSTM辅助扫描电化学工作站”实现商品化应用，国内外高校、科研单位用户近20家，有效推进微区电化学研究的进展。

## **(三) 学风建设情况**

2023年中心成员通过参与各类学术活动开展讲座近10场。通过富有趣味的形式，宣传化学知识，展现化学之美，激发青少年对科学探究的兴趣，提高青少年科技创新意识和科学实践能力，将高校教育资源发挥最大的教育和科普作用。5月31日，田中群院士走进厦门一中，以《漫谈新能源的科技创新、产业新赛道和人才培养》为主题开讲，向参与的师生们阐述了新能源与科技创新之间的紧密关系，并展望了相关产业的未来发展。7月14日，孙世刚院士在2023年全国中学生“中心科学”夏令营的“院士大讲堂”环节，为



讨电化学显微分析研究创新成果与前沿技术。

校庆期间成功举办“电化学储能技术前沿论坛”，华为、宁德时代、杉杉科技、三达膜、厦门海辰新能源、昆明理工大学、西南交通大学、华北电力大学等近20家企事业单位及厦大师生共计100余人参加本次论坛，不仅促进行业间的交流发展，也扩大了平台的知名度和影响力。

#### **（四）技术委员会工作情况**

本年度召开一次技术委员会会议，回顾最近几年的发展状况，明确今后中心的重点发展方向。

### **五、下一年度工作计划**

聚焦前沿研究方向，加强有组织科研，深化固态电池、锌电池、钠离子电池等新型电池关键技术研发，开展绿氢技术攻关，推进机器学习和电化学研究的融合发展，开发新型非贵金属催化剂，加强锂离子电池行业关键技术开发和产业落地。

加强科研团队建设，引进2-3名电化学青年人才，推动交叉学科发展。

深化产学研协同创新，加强与宁德时代等龙头企业的合作，新建2-3个校企合作平台，并以此为依托推动技术成果中试转化。

### **六、问题与建议**

电化学学科是厦门大学传统优势学科。中心依托厦门大学电化学学科雄厚的研究实力和科研基础设施，着力开展国家和社会急需

的前沿技术，服务社会。

针对中心目前存在着科研、教学任务繁重，工程技术开发及基本运行支撑人员短缺的问题。工程中心拟通过学校“双一流”学科建设，从国内外引进优秀人才，加强尖端技术和原创技术的研究和开发；拟通过课题组自聘、柔性引才等方式充实中心的科研队伍，开展行业共性技术和卡脖子技术的攻关；积极争取更多的人员编制和研究生名额充实研发队伍等。同时，为进一步推广成果产业化落地，工程中心拟以项目制管理方式，基于中心研发的核心技术，构建一支具有产业化经验的技术团队，快速促进成果孵化。

由于研究经费的限制，不少工程中心缺乏有效的创新激励机制，高素质技术人才吸纳能力较差，导致创新能力不足，建设滞后，服务功能不足。针对此问题，建议针对不同行业，落实不同扶持政策，优化科技资金投向，建立追踪问效机制，明确支持重点，优先投向共性、关键性、前沿性技术研发平台建设，切实提高财政科技资金的使用效益。同时，针对部分工程中心基础较为薄弱的情况，可以在现有平台间进行地区优化整合，甚至可以在同一地区不同部委机关支持建设的同领域平台间进行资源整合和共享，重点打造核心技术，增强核心竞争力，增强地区辐射功能。

## 七、审核意见

(工程中心负责人、依托单位、主管单位审核并签章)

工程中心负责人审核意见:

年度报告中所填内容属实,数据准确可靠。

工程研究中心主任:

年 月 日

依托单位审核意见:

同意。

依托单位:

(单位公章)

年 月 日

## 八、年度运行情况统计表

研究方向	研究方向1	金属表面处理及防腐技术	学术带头人	林昌健	
	研究方向2	新型电化学能源技术	学术带头人	杨勇	
	研究方向3	环境友好型电镀技术	学术带头人	杨防祖	
	研究方向4	电化学能源系统中高性能材料技术	学术带头人	董全峰	
	研究方向5	电化学微纳米技术	学术带头人	詹东平	
	研究方向6	绿色电有机合成技术	学术带头人	徐海超	
	研究方向7	新型电化学与光谱电化学仪器及传感器技术	学术带头人	任斌	
	研究方向8	新型生物医学材料的电化学制备技术	学术带头人	林昌健	
工程中心面积	7500.0 m <sup>2</sup>		当年新增面积	0.0 m <sup>2</sup>	
固定人员	57 人		流动人员	23 人	
获奖情况	国家级科技奖励	一等奖	0项	二等奖	0项
	省、部级科技奖励	一等奖	1项	二等奖	0项
当年项目到账总经费	3367.0万元	纵向经费	2250.0万元	横向经费	1117.0万元
当年知识产权与成果转化	专利等知识产权持有情况	有效专利	26项	其他知识产权	0项
	参与标准与规范制定情况	国际/国家标准	0项	行业/地方标准	1项

	以转让方式转化科技成果	合同项数	3项	其中专利转让	4项		
		合同金额	35.0万元	其中专利转让	35万元		
		当年到账金额	35.0万元	其中专利转让	35.0万元		
	以许可方式转化科技成果	合同项数	1项	其中专利许可	0项		
		合同金额	10.0万元	其中专利许可	0.0万元		
		当年到账金额	10.0万元	其中专利许可	0.0万元		
	以作价投资方式转化科技成果	合同项数	0项	其中专利作价	0项		
		作价金额	0.0万元	其中专利作价	0.0万元		
	产学研合作情况	技术开发、咨询、服务项目合同数	15项	技术开发、咨询、服务项目合同金额	1834.0万元		
当年服务情况	技术咨询	6次	培训服务	5人次			
学科发展与人才培养	依托学科(据实增删)	学科1	电化学	学科2	光谱分析	学科3	计算化学
	研究生培养	在读博士	184人	在读硕士	263人		
		当年毕业博士	33人	当年毕业硕士	94人		
学科建设(当年情况)	承担本科课程	295学时	承担研究生课程	86学时	大专院校教材	0部	
研究队伍建设	科技人才	教授	35人	副教授	10人	讲师	0人
	访问学者	国内	0人	国外	0人		
	博士后	本年度进站博士后	21人	本年度出站博士后	13人		