

04 低碳能源 与先进动力

LOW CARBON ENERGY AND
ADVANCED POWER



哈爾濱工業大學
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

目 录

CONTENTS

04

低碳能源 与先进动力 (13项)

1. 氢微混燃烧技术（能源学院）	47
2. 新型氨法捕碳产物选择性还原强化调控策略（能源学院）	48
3. 甲烷零碳转化制氢及其高密度储氢技术研发（能源学院）	49
4. 低成本高安全钠离子储能技术及装备（能源学院）	50
5. 低电耗电解水制氢技术（能源学院）	51
6. 中心给粉旋流煤粉燃烧技术（能源学院）	52
7. 燃料电池用超高速空气压缩系统（能源学院）	53
8. 高寒地区电力系统低碳灵活运行关键技术（能源学院）	54
9. 低成本高性能钠离子电池硬碳负极制备技术（航天学院）	56
10. 全固态锂金属电池制备技术（航天学院）	57
11. 新能源电池防碰耐火绝缘油漆（航天学院）	58
12. 输配电线路走廊智能化监测技术（仪器学院）	55
13. 自然采光技术（仪器学院）	59

1. 氢微混燃烧技术（能源学院）

【成果简介】

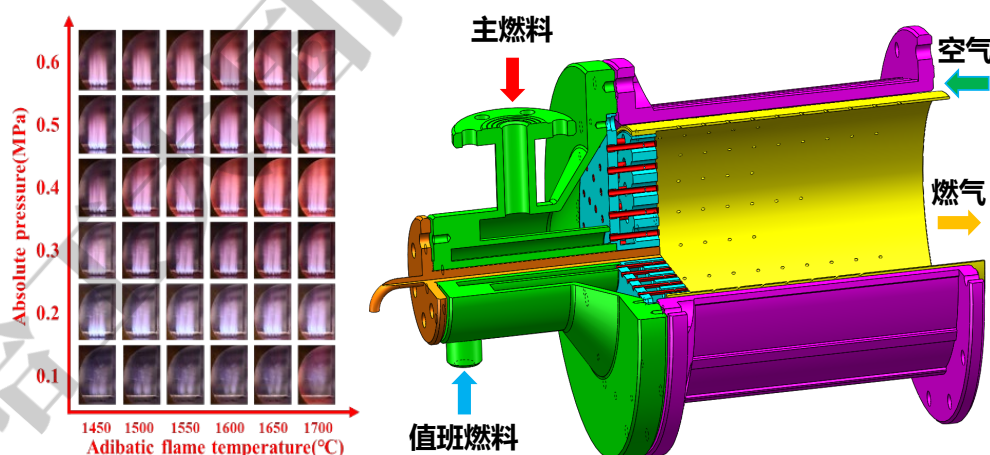
围绕我国提出的“碳达峰、碳中和”的重大目标，团队坚持“零碳燃料应用”需求驱动“污染物近零排放技术”创新，聚集氢/富氢燃料在实施高效清洁利用时所面临 NO_x 近零排放和燃烧稳定性的共性基础科学问题和工程应用困难，提出了分布式内/外交叉射流微混燃烧组织方法，自主研发设计了内/外两种交叉射流微混喷嘴，实现了微混火焰 NO_x 近零排放，建立了微混喷嘴分布式矩阵集群布置关系，自主研发设计了燃气轮机逆/顺流两者分布式交叉射流微混燃烧室。

【技术指标】

氢微混燃烧室压力0.6MPa下， NO_x 低于25 ppm@15% O_2 ；氢微混燃烧室OTDF低于0.15。

【应用前景】

该技术成果可应用于氢/富氢燃气轮机、氢/富氢航空发动机、氢/富氢窑炉燃烧器，可根据燃烧器空气入口形式、借口形式和温度场分布要求，设置不同喷嘴数量和布置规律的微混喷嘴，在保持高燃烧效率和燃烧稳定性下，实现不同压力下的 NO_x 近零排放。



氢微混加压火焰（左）、氢微混燃烧室（中）、发明专利证书（右）

2.新型氨法捕碳产物选择性还原强化调控策略 (能源学院)

【成果简介】

我国作为最大的能源消费国，CO₂排放量位居全球第一，现阶段的能源消费结构仍以化石能源为主（多采用燃烧-排碳方式），中国碳排放量占全球的31%。黑龙江省作为农业生产大省，面临着农业废弃物回收，冬季供暖等带来的减碳需求。CO₂捕集利用与封存（CCUS）被认为是短时间内大规模减少温室气体排放，减缓全球变暖最经济、可行的途径，也是我国能实现大规模有效减排CO₂极具潜力的途径之一。本技术从双碳背景出发，结合主流减排降碳技术，针对现阶段较成熟的液相吸收法存在再生能耗过高、设备腐蚀严重、溶剂易挥发/降解等诸多难以克服的问题。提出耦合余能回收的低能耗氨法捕碳与资源化利用关键技术研发，研发捕碳中间产物高效资源化转化制备液体燃料新技术。选择性生成高附加值醇类产物（储能-降碳耦合），实现碳捕集-还原过程的直接耦合。

【技术指标】

饱和NH₄HCO₃电解质中，-0.6V对RHE的条件下，最高的CO法拉达效率为77.8%，CO电流密度为13.8mA/cm²；饱和CO₂的0.5M NH₄HCO₃溶液（pH=7.40），-1.623V的条件下，总C1还原产物的法拉第效率约14.4%（CO、CH₄、CH₃OH），占总还原产物的25.2%，总C2+还原产物的法拉第效率约为42.9%（C₂H₄、C₂H₆、C₂H₅OH，n-C₃H₇OH），占总还原产物的74.8%。

【应用前景】

该技术将突破现存碳捕集技术壁垒，开发低能耗、低成本、高效率、高稳定性的CO₂捕集与资源化利用技术及装备，建立新的碳捕集能质循环体系，创新捕集与再生工艺路线，完成系统各环节闭环设计，以达到“高效-快速-低能耗-可再生”的CO₂捕集目标。

3. 甲烷零碳转化制氢及其高密度储氢技术研发 (能源学院)

【成果简介】

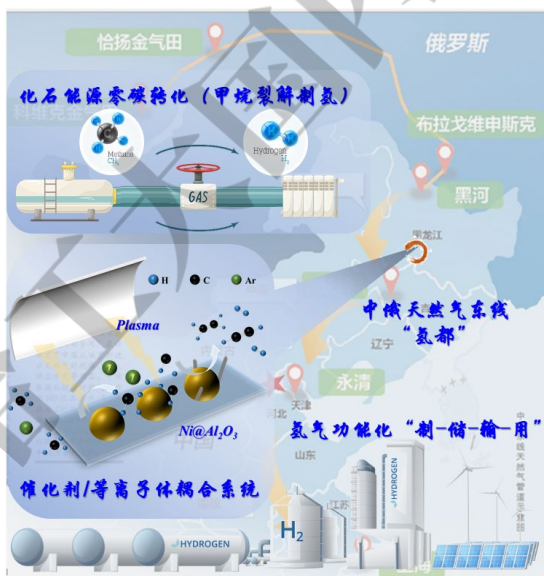
针对甲烷催化裂解与等离子体（依托可再生能源电力消纳）诱导气相沉积产物调控的关键问题，团队构建了低温（等离子体协同）催化剂诱导甲烷定向裂解零碳转化体系，开发了对气（ H_2 ）-固（碳纳米管CNTs）两相产物定向构筑以及特征化储氢CNTs构筑及高纯 H_2 分离原位联储技术。重点研发了低温定向诱导甲烷催化裂解CNTs特征化- H_2 高纯化共筑技术，为 CH_4 “零碳化-高效化-高值化”转化及 H_2 “产-储-输”提供理论技术基础与创新思路。

【技术指标】

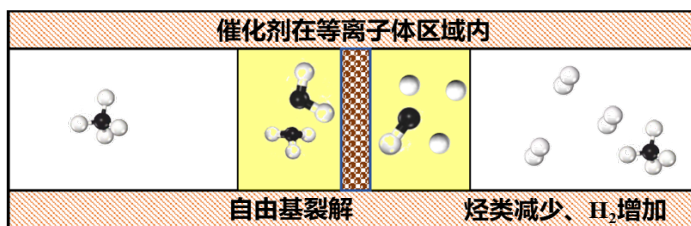
催化剂与等离子体协同诱导时具有35%以上的甲烷转化率和70%以上的 H_2 选择性；碳纳米管平均管径： $\leq 100\text{ nm}$ ；等离子体诱导甲烷催化裂解反应温度： $< 250\text{ }^\circ\text{C}$ 。

【典型应用】

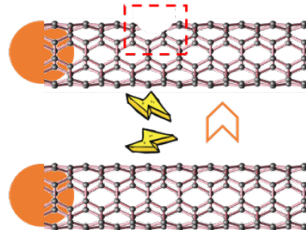
通过开发等离子体协同催化剂诱导 CH_4 定向转化及特征化储氢CNTs原位 H_2 高纯化“分离-吸附-储存”技术，为CMD反应“经济化-高值化-清洁化”利用奠定了理论技术基础创新思路。



催化剂/等离子体协同作用下自由基反应路径解析



等离子体对催化反应作用方式：改变催化剂粒径、对CNTs表面刻蚀、丰富沉积碳前驱体



离子体诱导 CH_4 转化 H_2 与碳纳米管（CNTs）定向共筑技术

4.低成本高安全钠离子储能技术及装备（能源学院）

【成果简介】

低成本高安全钠离子储能体系研发是国家重大需求（十四五规划），高性能碳基储能材料开发及储能体系设计是关键。本技术利用低成本高储量煤炭为原料，开发硬碳材料制备工艺，并用于钠离子电池。基于前期实验室小试证明煤基硬碳克容量可达380mAh/g，超过目前商用生物质基硬碳。钠离子电池能量密度可达250Wh/kg且具有优异的低温性能。目前高性能硬碳国产化制备技术和装备开发是卡脖子问题，进口硬碳价格大于5万元每吨。本技术以煤为原料制备的硬碳成本核算小于1万元每吨。按照钠离子电池未来发展潜力，煤基硬碳及钠离子电池市场规模超过百亿。

【技术指标】

容量达380mAh/g；钠离子电池能量密度可达250Wh/kg。

【应用前景】

该技术成果可应用于寒地光储充系统储能、配合火电调频调峰与新能源耦合过程储能。

5.低电耗电解水制氢技术（能源学院）

【成果简介】

电费是电解水制氢的主要成本，约占总成本的70%以上。电解水制氢成本对电价十分敏感，当电价为0.3元/度时，碱性电解水制氢和PEM电解水制氢成本超过22.4元/kg、16.8元/kg。氢能可与风光体系形成良好配套，促进新能源系统整合，假设可再生能源供电的电价下行至0.15元/度，对应的碱性电解水制氢和 PEM电解水制氢成本分别下行至18元/kg、11.8元/kg。团队针对现有制氢技术电耗高、阳极析氧产物附加值低的问题，本团队提出了低电耗电解水制氢电极及工艺系统，以一体式碳基电极及Fe基循环改进了传统PEM制氢工艺，其电耗相比商业碱水（4.5-5.5kWh/Nm³）及PEM（4-5kWh/Nm³）电解槽可降低20-30%。

【技术指标】

制氢电耗： $\leq 3.5 \text{ kWh/Nm}^3(\text{H}_2)$ ；制氢电流密度 $\geq 300 \text{ mA/cm}^2$ ；阴极法拉第电流效率 $\geq 99\%$ ；阴极氢气纯度 $> 99.9\%$ 。

【应用前景】

该技术成果可应用于绿氢的低成本生产。kW级装置可用于农业、小规模用氢；MW级可用于风光电-制氢/加氢一体站；GW级可用于大型氢储能场景。该技术有望成为碱水、PEM、SOEC之外的一种新型低电耗制氢技术路线。

6.中心给粉旋流煤粉燃烧技术（能源学院）

【成果简介】

旋流燃烧器是锅炉的核心关键设备，为了解决电站锅炉旋流燃烧器在运行中存在的 NO_x 生成量高、容易引起结渣和高温腐蚀问题，本项目发明了中心给粉燃烧组织方式，设计了无中心扩锥的直流一次风结构、二次风扩口梯级布置结构，提出了中心回流区形成的新方法，研制了中心给粉旋流煤粉燃烧装备。该项技术获得国家技术发明二等奖。

【技术指标】

最低不投油负荷为45%； 燃用中国无烟煤及贫煤 NO_x 排放 $681 \sim 702 \text{ mg/m}^3 (\text{O}_2 = 6\%)$ ； 燃用中国烟煤 NO_x 排放 $200 \sim 355 \text{ mg/m}^3 (\text{O}_2 = 6\%)$ ，与目前国外同类技术相比， NO_x 排放仅为45%~65%。

【典型应用】

现已对国外制造或引进国外技术制造的32台600MW、500MW及300MW等级机组锅炉进行了改造，其中21台为600MW机组锅炉(12台为超临界)。总装机容量为16200MW，产生了实际应用效益。



中心给粉旋流煤粉燃烧技术应用

7.燃料电池用超高速空气压缩系统（能源学院）

【成果简介】

新能源汽车是目前替代传统燃油汽车的唯一方案，其中氢燃料电池电动汽车以其零排放、高能效、续驶里程长、加注燃料时间短等优点，被认为是新能源汽车发展的重要方向之一。燃料电池系统是燃料电池电动汽车的核心部分，其工作离不开空气压缩系统供应压缩空气，由超高速空气压缩系统为主体构建的空气循环系统耗能可达到燃料电池输出功率的20~30%（占总附加能耗的95%左右），是除驱动电机之外燃料电池最大的能量消耗部件。其综合性能直接影响着燃料电池系统的效率、动态性能、噪声等关键性能指标，因此燃料电池专用空气压缩系统的研发至关重要。项目团队以先进的叶轮设计技术为基础，研发燃料电池专用的空气压缩系统产品，为燃料电池汽车的发展贡献力量。

【技术指标】

额定功率：15KW；额定压比： ≥ 2.5 ；额定流量 $\geq 1.08\text{g/s}$ ；额定转速：100000rpm；叶轮等熵效率： $\geq 86\%$ ；启停寿命： ≥ 10 万次。

【应用前景】

燃料电池超高速空气压缩系统最重要的应用是氢燃料汽车。一些化工厂需要使用氢气进行反应制造化学品等，氢燃料电池超高速压缩系统也负责将氢气进行压缩，以满足生产需求。



超高速压缩系统

8.高寒地区电力系统低碳灵活运行关键技术 (能源学院)

【成果简介】

团队从能源-环境耦合视角出发,面向高寒地区电网源、网、荷多个环节的技术挑战,在模型构建、调度控制、资源评估和激励机制多个层面开展技术攻关,攻克高寒地区电力系统低碳灵活运行若干关键问题,为破解高寒地区新能源消纳和可持续发展问题提供了有效支撑。项目成果近3年累计创造直接经济效益11.07亿元,节支总额0.85亿元,间接经济效益20.49亿元。以中国科学院周孝信院士为主任委员的鉴定委员会一致认为:“项目取得了多项具有自主知识产权的系列原创技术成果,有效提升了寒地电网运行灵活性,经济、社会、生态效益显著,项目整体达到国际领先水平”。

【技术指标】

结合分布鲁棒机会约束与可行域放缩,将问题规模削减10倍以上,资源调度时间达到秒级,“聚合表征-调控建模-在线求解”全流程聚合调控方法使综合运营效益提升6.8%。

【典型应用】

本项目研发的“高寒地区电力系统低碳灵活调控系统”可应用于省区电网调度系统。“虚拟电厂运营管理软件平台”可在虚拟电厂、综合能源服务商、负荷聚合商等区域性能量管理系统中部署和运行,将显著提高寒地电网灵活运行边界。

9.低成本高性能钠离子电池硬碳负极制备技术 (航天学院)

【成果简介】

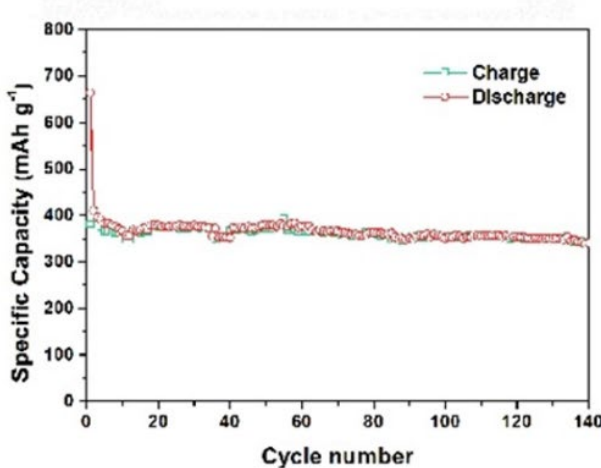
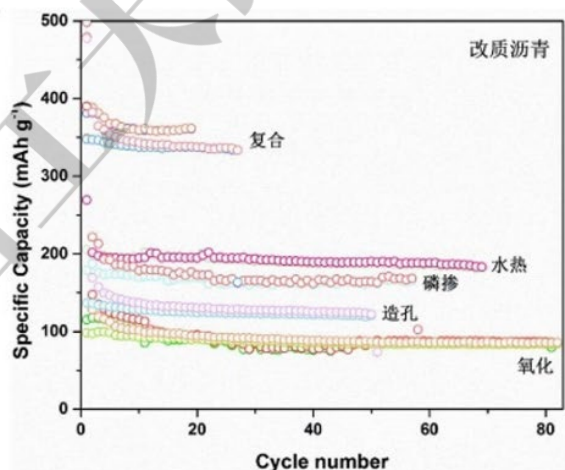
由于钠具有资源丰富、价格低廉等优势，而且钠离子电池已展现出优越的快充性能、安全性和低温性能，使得钠离子电池成为一种潜在的低成本储能解决方案，有望解决锂资源短缺的问题。但是目前存在研发工艺不成熟导致的硬碳负极成本较高（锂离子电池负极成本的两倍）、硬碳负极首周库伦效率较低、硬碳材料的比容量和稳定性有待进一步提高等问题，严重限制了钠离子电池产业的发展。该技术采用廉价的煤沥青作为主前驱体，通过预氧化、高温碳化以及后处理工艺的优化，开发了多种低成本、高性能硬碳负极材料，以打破高质量硬碳主要依赖进口的局面。该技术精确控制硬碳材料的结构和性质，实现了更高的储能性能和更长的循环寿命，对于提高钠离子电池在大规模储能系统和低速电动车辆中的可靠性至关重要。

【技术指标】

硬碳材料在0.1C电流密度下容量达到350mAh/g，首次库伦效率达到90%；生产成本降至3万元/吨以下，与普鲁士蓝等正极材料组成的钠离子电池的能量密度达到150Wh/kg，5000次循环后容量保持率依然维持80%以上，形成明显的市场竞争力。

【典型应用】

技术可广泛应用于电子设备、电动车辆以及储能系统，已成功开展沥青基硬碳材料的大规模制备，为大规模储能和低速电动车辆等领域的应用奠定了坚实基础。



钠离子电池硬碳负极性能优化

10.全固态锂金属电池制备技术（航天学院）

【成果简介】

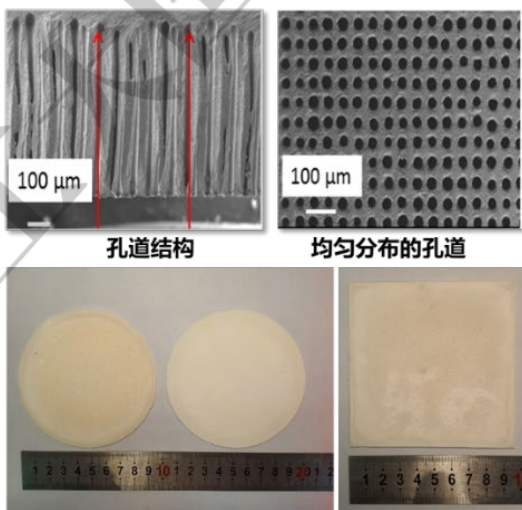
针对液态有机电解质的高挥发和易燃等缺陷导致的传统锂离子电池巨大安全问题，研发了具有高比能、高安全性、长寿命和高可靠性的全固态锂金属电池（ASSLB）。相比液态电池，全固态锂电池（ASSLB）的应用不仅提高了安全性、热稳定性和长期电化学性能，还进一步提高了能量/功率密度，降低了对封装和充电状态监测电路的要求，是突破电动汽车能量密度限制的重要途径。该技术通过对陶瓷电解质结构优化设计，制造出了竖直孔道有序排布的固态电解质，解决了陶瓷固态电解质界面接触性能差和活性物质负载量低的问题，实现了陶瓷固态电解质的大尺寸生长，为实现高比能、长循环寿命、高安全性全固态锂电池的实用化和商业化奠定理论和实验基础。

【技术指标】

较传统液态有机电解质的锂离子电池，可同时减少40%的体积和25%的质量，将电池能量密度提高至500Wh/Kg，实现固态锂金属电池安全、稳定、长循环寿命（9A/g电流密度，28Ah容量，超过1000次循环），达到商业化应用标准。

【应用前景】

该固态电解质技术可提升电池安全和续航，并有利于打造高电压平台、更高效的CTC技术和热管理系统。可广泛应用于动力电池、储能和消费电子等领域。



固态电解质制备工艺及块体电池产品

11. 新能源电池防碰耐火绝缘油漆（航天学院）

【成果简介】

在新能源汽车推广应用过程之中，电池安全问题一直是备受关注的重点。新能源汽车主要以锂电池作为动力电池，而锂电池在高温、过充、短路及机械破坏等条件下，可能引发新能源汽车内锂电池发生热失控，引发火灾甚至爆炸，严重威胁驾乘人员的生命安全。电池组成电池模组时，当第一个电池开始热失控，会快速传播到其他电池，如果不采取任何措施，传播速率将逐步递增。针对以上问题，团队研制了新能源电池防碰耐火绝缘油漆，该技术以聚脲为核心，针对新能源动力电池提供多种防爆耐压解决方案，阻隔热失控电池模组间的热量传递，防止电车起火，争取更多有效逃生时间，为新能源汽车保驾护航。

【技术指标】

防碰耐火绝缘油漆具有良好的柔韧性，附着力，耐磨性，防腐防锈性，耐水、化学品性，高硬度以及耐热400℃左右。

【典型应用】

该技术可应用于锂电池、电动汽车、航空航天以及电子设备等领域的防护。



油漆的耐高温试验

12.输配电线路走廊智能化监测技术（仪器学院）

【成果简介】

针对我国输配电线路覆盖面积广、所处环境复杂，极易受到自然环境和人为因素影响，导致监测效率低、风险隐患难以及时发现等问题。团队研发了输配电线路走廊智能化监测系统，突破了无人机巡检大视角下小目标检测难题，通过模块化的分割方法，实现了输配电线路走廊12类典型缺陷和典型地质灾害的智能感知、快速预警，为我国的智能电网建设提供了科技支撑。

【技术指标】

该技术可实现绝缘子破损、绝缘子污秽、鸟窝、导线断股、导线散股、电杆受损、避雷器击穿、绑扎线松脱、塔材异物、基础被埋、异物飘挂、绝缘皮破损12类缺陷的智能识别，检测准确率不低于90%，漏检率不高于5%；可实现典型输配电线路走廊典型地质灾害的快速识别与数字高程模型的快速生成，数字高程模型地表分辨率优于10cm。

【典型应用】

该技术可广泛应用于无人机输配电线路巡检领域。相关研究成果已成功应用于云南玉溪、红河、迪庆、怒江等地的输配电线路巡检作业，并向云南全省推广。



应用证明	
成果名称	输配电线路走廊智能化监测系统
应用单位	云南电网有限责任公司红河供电局
<p>电科院开发的输配电线路走廊智能化监测系统已在红河供电局开展试点应用，协助红河局解决了无人机自动巡检产生海量图像数据自动分析识别的相关问题，提升了配网线路及设备缺陷发现效率，推进了红河供电局巡检工作数字化转型升级，取得了良好的运用成效。</p>	

输配电线路走廊智能化监测系统客户端及应用证明

13.自然采光技术（仪器学院）

【成果简介】

为响应节能减排与科技服务大众健康的时代号召，将超精密光学显微仪器中的核心技术跨界应用于建筑采光领域，充分利用现有科技成果资源、人才资源，开发以光电技术为主体的信息化新产品、探索新应用。自然采光技术的核心技术是基于光场调控原理，采用微纳米阵列结构调制光线传播路径的平面光学技术，特点是透光率高、光线分布均匀、技术产品安装灵活、生产过程绿色环保。技术主营产品（自然采光窗帘）在青少年近视防护、大纵深建筑自然采光、信息屏蔽、隐私防护、农业养殖节能照明等方面具有广阔的市场需求，填补国内外市场空白。

【技术指标】

可见光透光率：最高95%；适用太阳高度角：约30°-70°；产品甲醛含量：0；产品阻燃等级：V-2级。

【应用前景】

该技术产品可以广泛运用于教室、会议室等学习场所均化光线，调节亮度，预防近视；用于火车站、商场、写字楼等公共场所，以提高节能效率；用于酒店、涉密单位保密场所等，以增加隐私防护效能；用于农业种植、养殖场所，促进动植物健康、快速生长。



自然采光技术效果展示



自然采光窗帘实景图

04

低碳能源 与先进动力

LOW CARBON ENERGY AND
ADVANCED POWER

/



哈爾濱工業大學
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

目 录

CONTENTS

04

低碳能源 与先进动力 (12项)

1. 超绝热气化技术（能源学院）	37
2. 节能节水型超净烟气脱硫技术（能源学院）	38
3. 面向能源互联网与近零排放耦合的新型能源热转换关键技术与装备（能源学院）	39
4. 生物质高温分级热解气化技术（能源学院）	40
5. Helmholtz型无阀自激脉动燃烧技术（能源学院）	41
6. 高寒地区电力系统低碳灵活运行关键技术及应用（电气学院）	42
7. 工业园区综合能源管理系统（电气学院）	43
8. 天然气电站动力冲击负载补偿与节能技术（电气学院）	44
9. 电动汽车大功率动态无线供电技术（电气学院）	45
10. 高速空气悬浮离心鼓风机系统（电气学院）	46
11. 强化换热技术与高效换热器（能源学院）	47
12. 微型直接甲醇燃料电池制造方法关键技术（航天学院）	48

1. 超绝热气化技术（能源学院）

【成果简介】

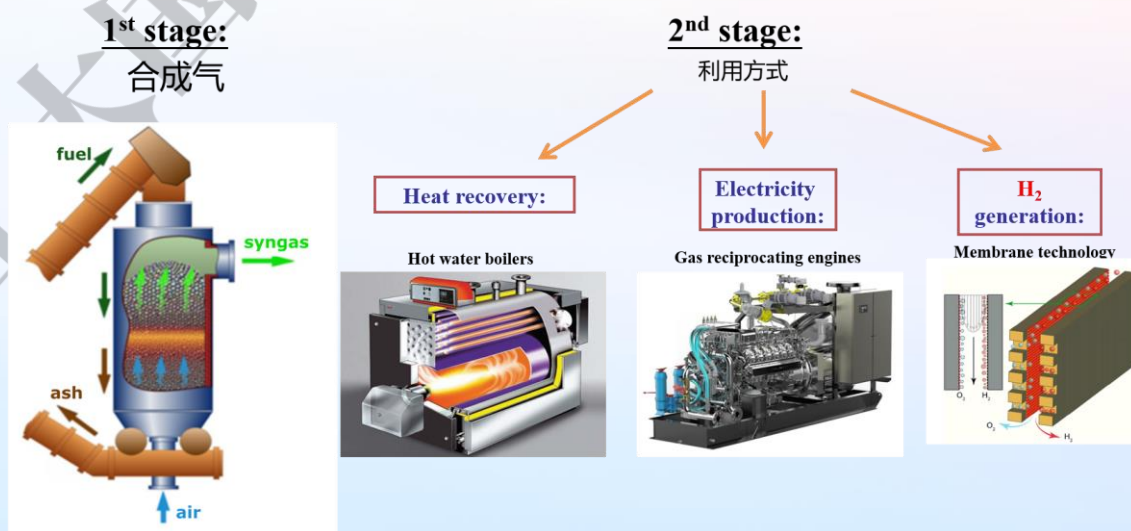
针对垃圾焚烧投资大，占用资金周期长，垃圾焚烧对垃圾热值有要求，限制应用范围，垃圾焚烧过程中产生二噁英及重金属，二次污染严重，需重金投资处理等众多问题，本团队研发了一种超绝热气化技术。该技术是一种重要的材料制备、化学反应和能源转化技术，具有加热速度快、效率高、节能环保等优点，可以实现有机废弃物的热解和气化，从而将其转化为可燃气体，为能源的可持续利用提供新的途径。

【技术指标】

可处理灰分高达65%、湿度70%的可燃废弃物，处理后有机组分可全部转化，系统效能可达90%以上，直接排放污染物指标接近欧洲标准。中试级别倾斜反应器内径40cm，外径1.5m，长度3m，外壁面温度<50℃，工业级别反应器内径1.5m，外径2.5m，长度5m。中试级及工业级处理量分别为100 kg/h和2000 kg/h。

【应用前景】

该技术成果可广泛应用于城市固废、污泥、煤废料、生物质、泥炭、轮胎/聚合物等废弃物的热解和气化，使资源可持续利用。



超绝热气化技术

2. 节能节水型超净烟气脱硫技术（能源学院）

【成果简介】

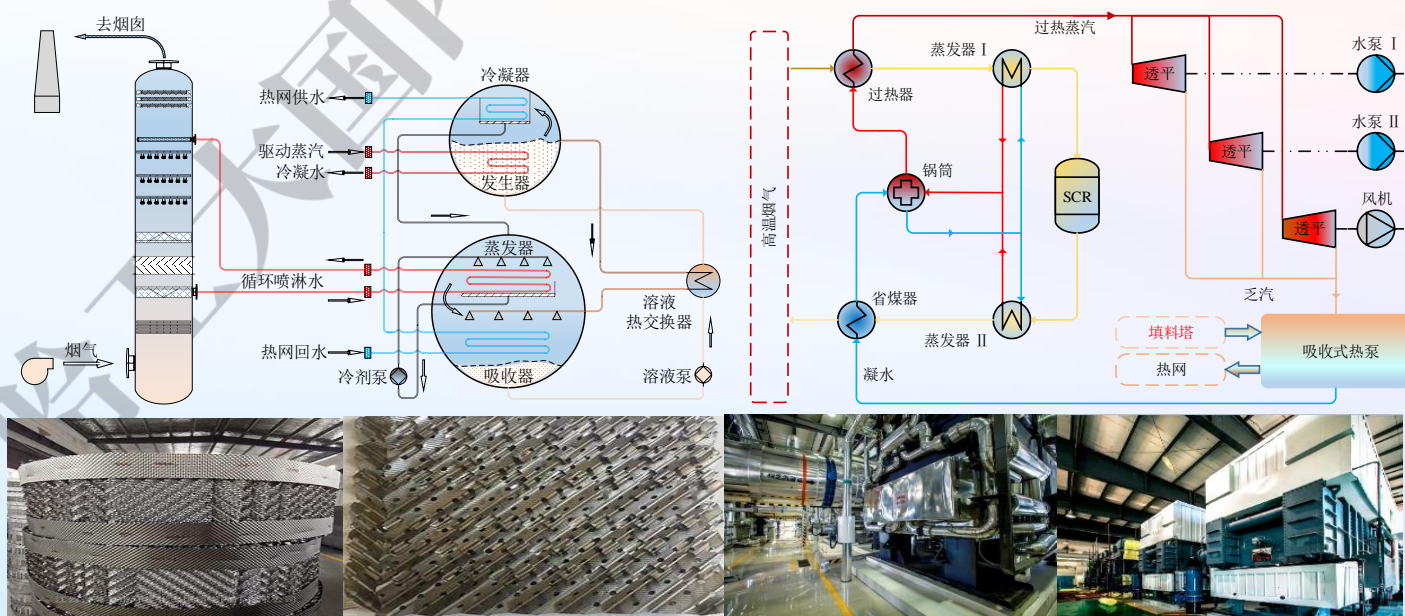
围绕工业余热高效回收利用及北方城市冬季清洁取暖，开展低品位余热深度回收及利用研究，通过节能的方式，削减煤炭用量实现火电“高效化自身减碳”，具体方式为依靠规整填料高传热传质效率、低运行能耗的优点，开发高效换热设备，实现能量-水资源协同高效回收；以吸收式热泵为核心开发大温差供热技术，实现低品位热能回收与高温供暖；结合高效换热设备与大温差供热技术，实现能源高效利用与凝水深冷回收；成果支持国家《“十四五”节能减排综合工作方案》，助力推进我国“碳达峰、碳中和”进程。

【技术指标】

节能填料塔烟气阻力 $< 700 \text{ Pa/m}$ ，入口烟气温度 $\geq 51 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下， $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 冷水通过填料层换热温度 $\geq 35.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ，换热端差 $< 1.0^{\circ}\text{C}$ ；通过气相载体余热回收可提高锅炉效率 $14.1\% \sim 20.0\%$ ，气态水回收量约 175 kg/蒸吨锅炉 。

【应用前景】

工业过程产生大量以气相工质为载体的低品位余热，如燃煤锅炉脱硫后烟气、燃气锅炉排烟等，存在大量水蒸气及低品位余热资源，具备较大的节能节水潜力，通过余热与水资源协同回收可减轻系统能源及资源消耗压力。



直接接触式气水换热及吸收式热泵供热机组

3.面向能源互联网与近零排放耦合的新型能源热转换关键技术与装备（能源学院）

【成果简介】

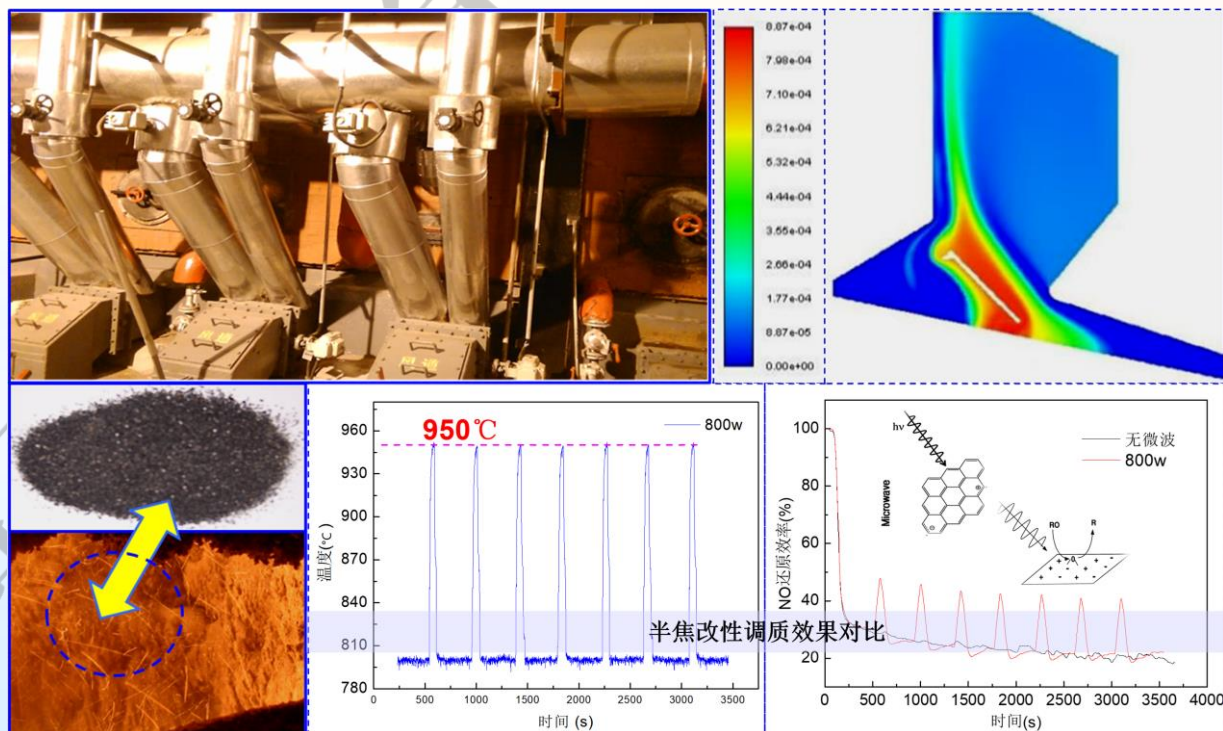
前序单元技术获得国家863、国家科技支撑计划和国家自然科学基金项目支持。入选国家环保部《2014年度先进工业污染防治技术》。提出一种独立分区层燃烟气循环燃烧系统并提供其使用方法，开发了与层燃锅炉燃烧过程协同、全工况条件下气体组分、浓度、温度、湿度等多场高度均匀且负荷变化适应好的层状燃烧技术，实现了氮氧化物“近零成本”源头控制，支撑了国家第一部限定层燃锅炉NO_x排放限值的标准《锅炉大气污染物排放标准》（GB13271-2014）“制定。

【技术指标】

在近零运行费用下，低氮燃烧可实现40%减排效果；经宽负荷SCR后NO_x排放浓度可达到15-30mg/m³。单吨燃料直接成本低于9.0元，负荷适应性30-100%。

【应用前景】

以煤、生物质、垃圾、废弃物为燃料的工业能源转换装备。应用本项目技术可以实现燃用上述物质达到低于直燃天然气的污染物净化水平。热源节电30%，运行费用降低15-20%。



炉内烟气再循环改造与半焦改性循环室燃

4. 生物质高温分级热解气化技术（能源学院）

【成果简介】

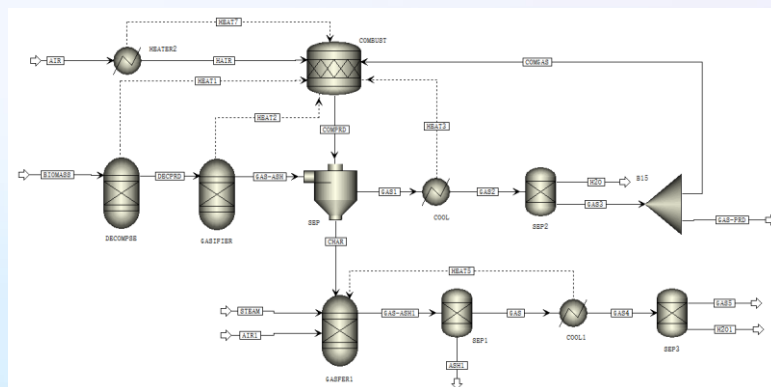
降低焦油含量是生物质热解气化技术广泛应用需要解决的重点和难点问题，国内外研究机构及研究人员从不同解决问题的角度出发，寻求降低生物质气化气中焦油含量的途径。提高炉内温度，在热解过程中使产生的焦油彻底裂解是现在寻求解决问题的一个方向。本项目根据生物质的物理、化学性质及生物质气化过程的特点，采用热解区与气化区分离的设计理念，并借鉴旋风炉高温燃烧的原理，提出可实现生物质高温热解气化的高温旋风分级热解气化工艺方案，利用高温热解气化后产生的高温生物质气余热，加热加压空气，与燃料气在高速气体燃料燃烧器中进行燃烧，同时携带生物质物料，与高温烟气混合、加热、发生热解，将部分固定碳气化；利用产气余热将给水加热成水蒸汽，气化剩余固定碳，解决生物质气化气焦油含量高的问题。该项目已获得6项国家发明专利，发表论文20余篇。

【技术指标】

热解温度： $>1200^{\circ}\text{C}$ ；空气预热温度： $>800^{\circ}\text{C}$ ；气化温度： $>1200^{\circ}\text{C}$ ；产气中的焦油含量为毫克级。

【应用前景】

由于显著降低了气化气中的焦油含量，为生物质能源的高效利用提供了可能，特别适用于农林废弃物的能源化利用。可用于建立小型、高效的分布式能源系统，为偏远地区或独立工业园区提供清洁能源。生产的低焦油含量气体可作为化工原料，用于合成氨、甲醇等化学品的生产。可与燃气轮机或内燃机结合，实现高效的生物质热电联产。可应用于城市固体废弃物的处理，实现废弃物的能源化和减量化。作为碳中和技术路线的重要组成部分，有助于减少化石燃料使用，降低碳排放。



生物质高温分级热解气化系统流程

5. Helmholtz型无阀自激脉动燃烧技术 (能源学院)

【成果简介】

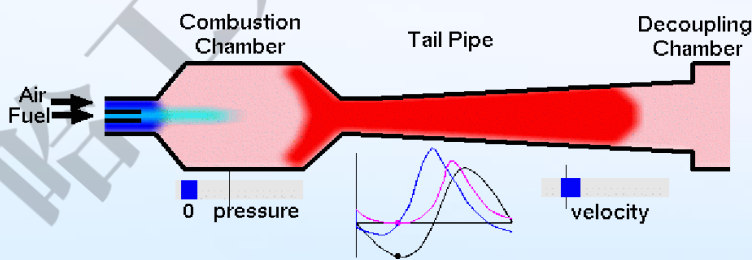
Helmholtz型脉动燃烧器是目前国内外应用最广泛的脉动燃烧器，但传统的Helmholtz型脉动燃烧器多数采用机械阀，存在负荷调节范围窄、使用寿命短、运行稳定性差等缺点，使脉动燃烧器大型化受到限制。为了克服带机械阀式传统Helmholtz型脉动燃烧器的不足、实现其大型化，项目提出了取消机械阀，采用连续供气的方式，在实现强化燃烧脉动过程的同时还能维持稳定的燃烧，扩大燃烧参数调整范围的设计思想。Helmholtz型无阀自激脉动燃烧器的基本结构由混合室、燃气/空气喷口、燃气/空气进气管、点火器、燃烧室、尾管、烟气去耦室、排气管组成。该项目已获得2项国家发明专利，发表论文10余篇。

【技术指标】

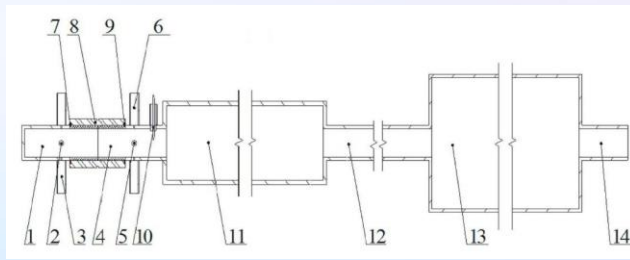
尾管脉动流传热系数是稳定流传热系数的2~5倍；脉动燃烧器频率调节范围：30-90Hz，压力振幅调节范围：>10kPa。

【应用前景】

由于取消了机械阀，克服了传统Helmholtz型脉动燃烧器在大型化方面的限制，特别适用于需要高效、稳定燃烧的工业锅炉系统。宽广的频率和压力振幅调节范围使其在燃气轮机领域具有潜在应用，可提高燃烧效率和稳定性。强化的燃烧脉动过程可以在各类工业炉窑中应用，提高热传递效率，降低能耗。可用于高效燃烧处理各类气体废弃物，减少污染物排放。在使用生物质气等清洁能源的燃烧系统中，可以提高燃烧效率，扩大燃料适应性。



Helmholtz型脉动燃烧器工作原理



Helmholtz型调谐无阀自激脉动燃烧器

6.高寒地区电力系统低碳灵活运行关键技术及应用 (电气学院)

【成果简介】

面向高寒地区电力系统安全、经济、低碳、灵活运行这一重大需求，提出了海量灵活性资源聚合调控技术体系，基于独创的高维决策空间聚合降维技术，解决了海量资源调控面临的“维数灾”难题，可实现万维规模的灵活性资源秒级在线优化调控。提出了寒地电网能源-环境协同调度方法，可实现电网调度与大气环境治理的动态协同。发明了适应寒地环境电气设备容量动态评估技术，可有效降低线路过载风险。研发出寒地电网能源-环境协同调控系统，在强不确定环境下将有效保障寒地电力系统安全、经济、低碳运行。提出了计及能源-环境耦合效应的高寒地区灵活性资源调峰能力量化评估方法及灵活性资源规划技术，有效提升了寒地电网的调峰能力，构建了计及能源-环境-市场协同效益的灵活性资源全链路市场化激励机制，加速促进虚拟电厂新业态兴起。

【技术指标】

中国电工技术学会组织的成果鉴定会认为：取得了多项具有自主知识产权的系列原创技术成果，有效提升了寒地电网运行灵活性，经济、社会、生态效益显著，整体达到国际领先水平。

【应用前景】

研发的系统平台在东北三省电网和多个省市区域能量管理系统中得到应用推广，为我国寒地新型电力系统建设和发展起到了引领示范作用，助力我国“双碳”战略的实施。



高寒地区电力系统

7. 工业园区综合能源管理系统（电气学院）

【成果简介】

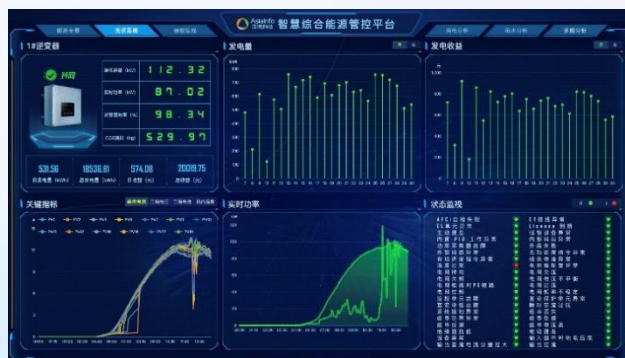
针对工业生产制造园区能源消耗和减排压力大等问题，研发了可提升能源利用效率、减少碳排放、提高绿色能源供给的工业园区综合能源管理系统。该技术在构建工业园区风、光、储、工业负荷物理模型和电动汽车充放电模型基础上，构建工业负荷和电动汽车聚合模型以及综合能源管理系统模型，提出工业园区电动汽车优化调度策略、工业负荷节能降耗策略、源网荷储协同能量调度优化策略，实现了工业园区源网荷储协同能量调度优化和一体化管理，降低了能源消耗，减少了碳排放，促进了风、光等绿色能源的就地消纳。

【技术指标】

工业园区用能成本降低3%以上；工业负荷、电动汽车可调节需求响应能力动态预测误差不大于10%；工业园区清洁能源就近消纳比90%以上，工业园区负荷曲线峰谷差减小5%以上；覆盖风、光、储、热、冷等多种能源形式；覆盖高载能工业负荷、电动汽车、空调等可调节柔性负荷等4个种类以上。

【应用前景】

已成功应用于中石油加油站综合能源管理系统、黑龙江省寒地零碳微电网系统，可推广于不同类型的工业园区，提供能量调度优化。



能源管理系统界面

8.天然气电站动力冲击负载补偿与节能技术 (电气学院)

【成果简介】

为提升天然气电站动力响应，有效抑制大比例负载冲击对微电网稳定安全运行造成的影响和危害，攻克了一体化架构的天然气电站运行机理分析与模型建立、功率调节控制策略、大功率瞬态高频响电能变换、储能单体和模组能量均衡等关键技术；同时也兼顾到提升发动机组燃料转换效率和带载能力，显著的体现出节能减排效果。研制了“天然气电站动力冲击负载补偿与节能系统”，在技术上突破了天然气动力自身的瓶颈，也为未来天然气电站动力系统技术提升并在各个领域中得到广泛推广具有重要的指导意义。

【技术指标】

补偿系统最大补偿能量16MJ，最大补偿功率900kW，分别突加400kW、500kW、600kW、700kW、800kW负载后，发电机组的频率差不超5Hz，频率瞬态调整率小于9.6%，频率恢复时间小于6s，电压差小于50V，电压瞬态调整率小于13%，电压恢复时间小于2.5s，补偿系统能够补偿的时间为25s。

【应用前景】

应用于新疆塔里木油田深井天然气电站动力系统中，累计在38口油井应用，共节省燃料费用2320余万元，节省了50%的燃料费用，可实现柴油替代率100%，降低碳排放7%，降低氮氧化物、二氧化硫、烟尘排放约100%，可推广于其他天然气电站动力系统。



天然气电站动力冲击负载补偿与节能技术

9.电动汽车大功率动态无线供电技术（电气学院）

【成果简介】

针对电动汽车电池用量大、充电难问题，研发了电动汽车大功率动态无线供电系统，该技术基于磁耦合谐振原理，通过非接触方式为行驶中的车辆实时供电，提出了窄导轨双极型发射导轨、多重交错并联接收端、分布式分时复用交叉配电网络、发射导轨柔性切换控制方法、电磁机热一体化集成设计方法等多个创新点，解决了大功率、高效率、高功率密度、高经济性、快速响应、安全可靠动态无线供电系统的基础科学问题，构建了系统级解决方案，可显著降低电池用量和成本，延长续航里程，提升环境适应性，减轻资源与环保压力，对车辆能源供给具有颠覆性意义。相关成果荣获中国电源学会科学技术发明一等奖、黑龙江省科学技术二等奖。

【技术指标】

输出功率80 kW，车速80 km/h，系统效率85%以上。发射导轨宽度300 mm，缩小到美国高通的30%，系统成本降低至韩国KAIST的1/2，美国高通的1/3，在功率、效率、电磁兼容性、侧移能力等指标上达到国际领先水平。

【应用前景】

已在哈尔滨、张家口、郑州、青岛等地应用，可在电动汽车、轨道交通、工业领域持续推广。



黑龙江省工研院
100米室内试验线



张北国家电网风光储实
验基地220米试验线



郑州宇通客车总部厂区
100米试验线

10.高速空气悬浮离心鼓风机系统（电气学院）

【成果简介】

高速空气悬浮离心鼓风机系统采用空气悬浮轴承、高速永磁电机、变频控制及高效三元流叶轮等核心技术，由高速永磁电机直接驱动鼓风机，电机内部轴承采用空气悬浮轴承，而鼓风机变工况则采用变频控制模式。整个系统采用空气冷却，利用鼓风机自身的回转力实现，无需额外的电源供给，无需添加冷却水，实现安全冷却。高速空气悬浮离心鼓风机系统具有高效、节能、低噪音、无油、运行可靠、操作维护简便和长期无需维修保养等特点。

【技术指标】

额定功率75kW、额定转速36000r/min、风压范围60~80 kPa、流量范围54~69 m³/min。与基准鼓风机相比可节能35%-45%以上。控制系统可自行检测电机转速、压力、温度和流量等定压运行；可负荷/无负荷运行，也可控制超负荷运行。

【应用前景】

适用于污水处理、食品药品、石油化工、水泥建材、冶金纺织等行业。



高速空气悬浮离心鼓风机系统

11.强化换热技术与高效换热器（能源学院）

【成果简介】

依托国家国际科技合作专项“高性能核电系统强化换热技术与高效换热器研究”（2009DFR60120），总经费为731万元，国拨经费491万元，通过技术引进将白俄罗斯目前最先进的强化换热技术引入国内，经过消化吸收，掌握了强化换热元件的结构形式以及加工工艺。通过引进和使用先进技术，使研制出的强化换热元件具有较高的效率，可在普通换热器的基础上提高传热效率20%。

【技术指标】

高效换热器强化换热技术适用于高温高压环境，可满足高温气冷堆乏汽参数条件下T-111型高效换热器样机设计，高效换热器相比普通换热器，传热效率提高20%以上。研发的非对称型波节管高效换热元件，满足高压供气、动态密封和精确控制等条件。

【应用前景】

石油化工、动力、空调、冶金、轻工、食品、制药等。例如：湿法脱硫中的烟气-烟气换热、高温气冷堆中的He-He(N₂)换热、空气预热器中的烟气-空气换热、空调系统中的空气-空气换热等。



高效换热器

12. 微型直接甲醇燃料电池制造方法关键技术 (航天学院)

【成果简介】

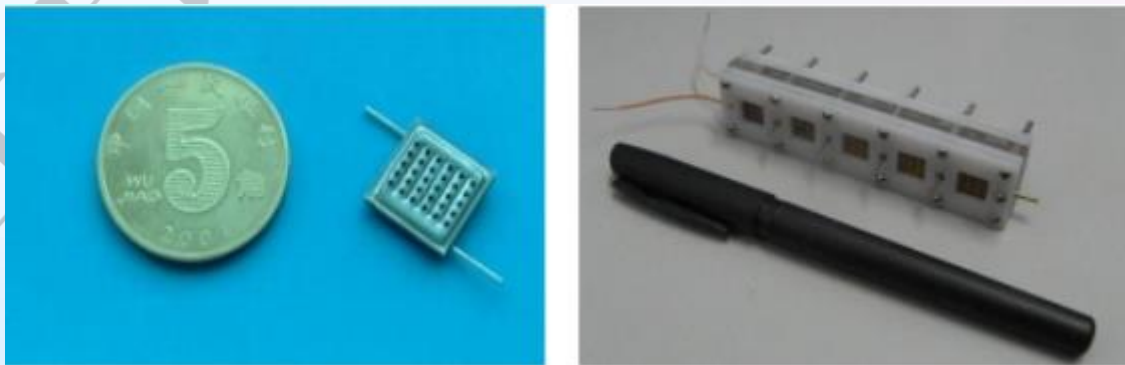
本项目重点对微型直接甲醇燃料电池所涉及到的极板加工、膜电极制备、质子交换膜改性和集成封装等进行创新性研究，并形成一系列关键技术和加工方法。其中极板加工利用MEMS技术实现了硅基和不锈钢两种不同材料的微型直接甲醇燃料电池；针对催化剂活性位传递效率低等问题提出了一种新型双层催化剂膜电极结构；针对甲醇渗透问题，发明了采用伽马射线辐照和化学镀钯相结合的方法对质子交换膜进行改性处理的新方法；在上述研究基础上，发明并制造了不同结构和形式的微型直接甲醇燃料电池和电池组，其性能指标和总体技术水平居国内领先和国际先进水平。

【技术指标】

微型直接甲醇燃料电池单体开路电压 $>0.6\text{V}$ ，最大输出功率密度 $>30\text{mW}/\text{cm}^2$ ；微型直接甲醇燃料电池系统电压为 12V ，输出功率达到 15W 。

【应用前景】

微型直接甲醇燃料电池的高效、微小、使用时间长、无污染、无噪声等特点极适合PDA、手机、笔记本电脑等消费型电子产品对电源系统的需要。



微型直接甲醇燃料电池单体及电池组

04 低碳能源与先进动力

LOW CARBON ENERGY AND
ADVANCED POWER
/
/



哈爾濱工業大學
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

目 录

CONTENTS

04

低碳能源 与先进动力 (12项)

1. 长寿命高比能电池与宽温域固态电池技术（化工学院）	42
2. 超高功率绝对安全铈基锂离子电池技术（化工学院）	43
3. 宽温域电池技术（化工学院）	44
4. 氢燃料电池系统高集成高可靠可编程一体化电控技术（电气学院）	45
5. 无人机动力系统（电气学院）	46
6. 智能光伏功率优化器技术（电气学院）	47
7. 电机控制器高压SiC控制技术（电气学院）	48
8. 高原高寒氢动力电源（能源学院）	49
9. 一种飞行器用高速电动燃油泵（能源学院）	50
10. 脉冲爆震激波增压发动机（能源学院）	51
11. 油气藏气热联采技术（建筑与设计学院）	52
12. 新型热泵技术（建筑与设计学院）	53

1.长寿命高比能电池与宽温域固态电池技术 (化工学院)

【成果简介】

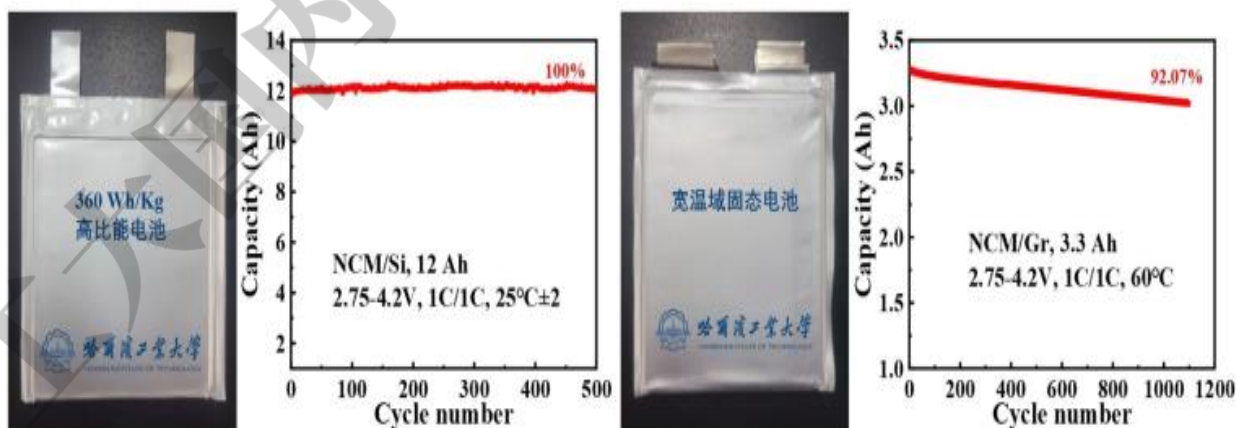
针对锂离子电池在充放电过程中锂离子扩散速度慢、材料粉化碎裂和界面膜持续生成技术难题，发明了新型放射状大单晶结构三元正极材料和微纳结构硅基负极材料，提出了高效正极预锂化新技术，设计开发出长寿命高比能锂离子电池产品。针对电极/固态电解质界面阻抗大、离子传输动力学缓慢的难题，基于原位固态化技术，开发出宽温域固态电池。项目成果获授权国家发明专利36项，获国家科技进步二等奖、省级技术发明一等奖等荣誉。

【技术指标】

高比能电池：容量>10 Ah，能量密度>350 Wh/Kg，循环500次容量无衰减；**宽温域固态电池：**60℃循环1100次容量保持率>92%。安全性能满足国标要求。

【应用前景】

该技术显著的提升了锂离子电池的能量密度、寿命及安全性，技术产品在无人机、动力电池、户外储能、空间电源等领域应用前景广阔。



360Wh/Kg高比能电池和宽温域固态电池

2.超高功率绝对安全铌基锂离子电池技术 (化工学院)

【成果简介】

针对寒区储能电池高功率、长寿命、高安全和耐低温等需求，开发了新型铌钛氧电池关键技术，实现电池循环寿命 ≥ 15000 次，服役温度范围 $-60^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ ， 100C （36s）容量保持70%， -30°C 容量保持90%。拥有本征安全特性，针刺测试不冒烟，热冲击不膨胀。作为中国铁塔单一采购电池来源成功应用于寒地二轮车换电电池项目，技术水平在国内处于行业领先。

【技术指标】

3C循环次数不低于15000次，实现质量能量密度不低于 110 Wh/kg ，体积能量密度不低于 350 Wh/L ，电池服役温度范围为 $-60^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ ，安全性能满足国标要求。

【应用前景】

铌钛氧电池在低温高功率领域具有明显的性能优势，主要可用于储能、轨道交通、通信基站、电网调频、工业调峰等领域。



3-30Ah级铌钛氧圆柱/方壳/软包电池及模组

3.宽温域电池技术（化工学院）

【成果简介】

针对锂离子电池低温使用时存在的容量低、衰减严重、循环倍率性能差、析锂现象明显、脱嵌锂不平衡等问题，智慧储能技术研究中心开发了一系列宽温域电芯技术以应对多种应用场景。

【技术指标】

超高功率型宽温域电芯：电池能量密度 $> 120\text{Wh/kg}$ ；电池功率密度 $> 15\text{kW/kg}$ ；电池循环寿命 > 10000 次；通过锂电池安全可靠性能测试标准。工作温度范围： $-55\sim 85^{\circ}\text{C}$ ；**超长续航型宽温域电芯：**电池能量密度 $\geq 420\text{Wh/kg}$ ；电池功率密度 $> 1.5\text{kW/kg}$ ；电池循环寿命 > 800 次；通过锂电池安全可靠性能测试标准。工作温度范围： $-55\sim 85^{\circ}\text{C}$

【应用前景】

超高功率型宽温域电池技术可广泛应用于各类超高功率型电源需求场景，例如：电动叉车、龙门吊、电网调频，电磁WQ等。超长续航型宽温域电池技术可广泛应用于各类超高功率型电源需求场景，例如：特种作业无人机，机器人，寒区特种电源等。



超长循环寿命钛酸锂动力电池电芯关键材料



超长续航型电芯应用场景

4. 氢燃料电池系统高集成高可靠可编程一体化电控技术（电气学院）

【成果简介】

针对传统分立式燃料电池电控架构体积大、重量高，且线束较多、维护困难，难以实现全回路协同等问题，研制氢燃料电池系统高集成高可靠可编程一体化电控软硬件平台，解决了燃料电池控制中存在的跨频域、多约束、强抗扰等问题，实现了包含功率电路在内的氢电系统电控器件软硬件一体化集成，从整体系统层面进行各个子系统的控制、调度及优化，实现降本增效。

【技术指标】

多合一燃料电池控制器功率密度 $\geq 6.5\text{kW/L}$ ，主功率部分功率密度 $\geq 25\text{kW/L}$ ；DC-DC 最高转换效率 $\geq 98.5\%$ ；高速空压机控制器加减速斜率 $\geq 100000\text{rpm/s}$ ；产品关键零部件国产化率 $\geq 95\%$ ；集成要求，燃料电池系统核心主控FCU，空压机驱动器主控ACU，升压驱动主控DCU，交流阻抗扰动EIS需集成在一块控制板内；交互速率达到燃料电池主控FCU与空压机主控，升压DC驱动主控交互时间小于 $1\mu\text{s}$ ，数据采集频率最高可支持 1k ，支持操作日志。

【应用前景】

该技术能够完全替代传统的分立式燃料电池系统控制器，搭建了行业内首个可编程的一体化电控系统架构，应用至氢储能发电、氢能应急供电、氢动力船舶、氢动力陆上载具、大载重长航时飞行器等领域，实现储能及动力燃料电池的高品质控制。



一体化电控器



氢燃料电池动力系统应用

5. 无人机动力系统（电气学院）

【成果简介】

随着无人机在航拍、测绘、农业、植保、快递运输、灾难救援、观察野生动物、监控传染病、新闻报道、电力巡检、影视拍摄等领域的应用，极大拓展了无人机原本的用途，而无人机动力系统则是其核心。该无人机动力套装，用于搭载重多旋翼/垂起固定翼等场合，包含电机、电调、桨叶三者完美配合激发最优异表现，具有强劲、安全、灵动、高效、稳定、便捷、可靠的特点。电调采用高效的先进自研FOC算法，实现电机的智能化精准控制，电流输出平稳，转速波动小，系统更稳定。其较低的功率损耗，能够带来更高的巡航时间，延长系统使用寿命。固件支持OTA升级，方便快捷。

【技术指标】

推荐电池：18S LiPo；**最大拉力：**30kg/轴 70V海平面，推荐起飞重量；15-17kg/轴 70V海平面；**动力总成重量：**2318g(含桨及配套结构件)；**使用环境温度：**-20~55℃，**使用碳管直径：**40mm，**防护等级：**IPX7。

【应用前景】

该无人机动力套装可广泛应用于农业、消防、物流、应急保障等场合。



农业无人机



物流无人机



消防无人机



动力系统



电机



电调

无人机动力系统产品展示图

6.智能光伏功率优化器技术（电气学院）

【成果简介】

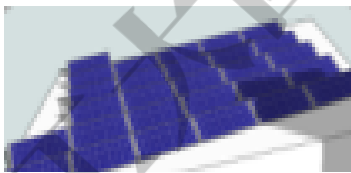
目前全球各国正面临气候变暖和能源危机的世纪难题，随着各国相继提出减少碳排放目标，以实现碳达峰和碳中和，全球光伏也因此迎来了新一轮蓬勃发展。其中分布式光伏飞速增长，但分布式光伏场景面临3大挑战：屋顶资源不足，遮挡场景广泛存在；高压直流带来安全隐患；光伏电站运维黑盒。组件级智能优化可做到：1. 不惧阴影遮挡，提升5%-30%发电量；2. 灵活设计，可打破传统组件铺设规则，充分利用屋顶面积，在有限空间实现更高装机容量，可提升30%装机容量；3. 安全关断，保障人身和财产安全，30秒内将高压直流降到0V；4. 智能运维，组件级监控，实现精细化管理，可降低运维成本40%。

【技术指标】

本产品额定最大功率650W，最高工作电压85V，最大输出电流15A，最大效率99.5%，加权效率99%。工作温度范围-40℃~+85℃，寿命25年，防护等级IP68。具备组件级远程监控、控制、保护等功能。

【应用前景】

该技术可广泛应用于各类光伏电站，进行组件级监控及管理，特别是针对光照条件有缺陷的光伏电站，本方案将大幅提升发电容量。截至目前，该技术已设置在芜湖发电站等运行。



受阴影遮挡



双面组件



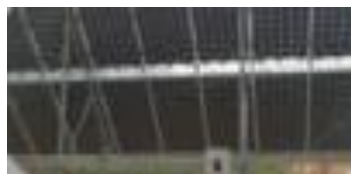
山地电站



灰尘积累高发区



多朝向安装



衰减较大组件

7.电机控制器高压SiC控制技术（电气学院）

【成果简介】

发展新能源汽车是我国从汽车大国迈向汽车强国的必由之路，是应对气候变化、推动绿色发展的战略举措。除新能源汽车，交通各领域均在向全面电气化转型，针对行业的推动，电机控制器产业也面临技术升级的挑战。在电机控制器内，SiC技术可实现更高的开关频率，从而通过降低谐波损耗来提高电机效率及电机NVH水平。利用SiC半导体材料耐高温、耐高压、可承受更高开关频率的特性，可综合进行系统及效率优化设计。在电机成本及性能的推动下，需要减少位置传感器实现更高的NVH性能，也推动软件开发出适合大型电机的无感控制技术以及随机变频及谐波电流主动控制技术。以上技术共同组成了本高性能电机控制器高压SiC控制技术。

【技术指标】

本技术控制器最高工作电压760V，峰值输出功率200kW，峰值电流300A，最高开关频率20k，支持随机变频控制，支持无位置传感器的矢量控制，具备5、7、11、13等阶次噪声的主动控制技术。

【应用前景】

该技术可应用于各类新能源汽车电驱项目及特种高性能电机控制项目，目前已推广至一汽大众等企业，成功实现控制器装车、装艇验证，并达成了高性能、低噪声的表现。后续将推广到更多新能源汽车、摩托车、飞行器、船舶电机控制上。



电机控制器高压SiC控制技术



水下潜航器推进

8.高原高寒氢动力电源（能源学院）

【成果简介】

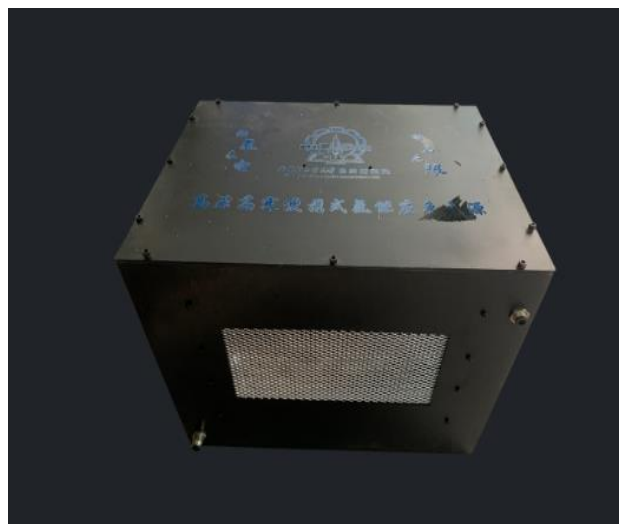
电源以氢燃料为基础，采用质子交换膜燃料电池技术，通过氢气和空气中的氧气发生氧化还原反应产生电力。同时结合低温热管理、高效余热回收、先进控制技术等，实现应急电源可在-41℃~40℃运行。

【技术指标】

高原高寒便携式氢能应急电源持续输出功率1kW。

【应用前景】

电源可在高海拔、高寒地区实现电力应急响应，保障电力系统稳定可靠运行。



高原高寒氢动力电源

9.一种飞行器用高速电动燃油泵（能源学院）

【成果简介】

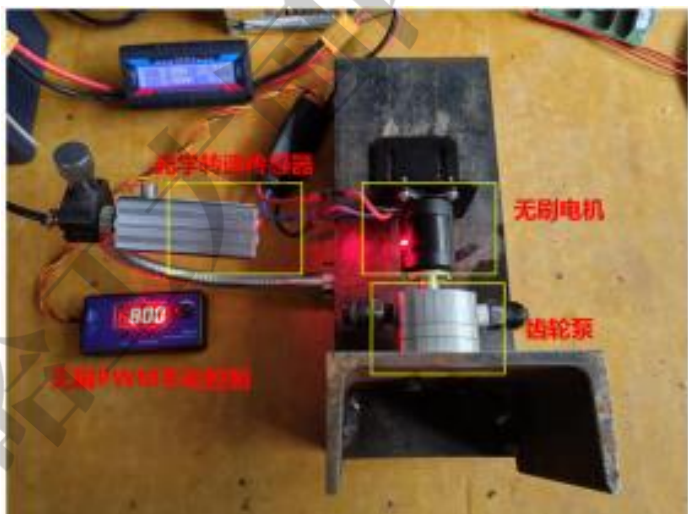
针对航空类发动机燃料供给系统繁重且占用空间大，常用燃油泵例如同轴涡轮泵功率耦合效果强，调节过程过于繁杂以及小体积高功率密度电机散热效果差的问题。提出了一种高转速，流量大，增压效果好且体积与质量小的自冷却电动泵。该电机泵在满足发动机燃油喷注压力和流量需求的前提下，实现了供给系统配重大幅降低的目标，所使用的高功率密度电机稳定工作时不超温，同时无刷电机调节过程灵敏的优势，适用于高机动性需求的航空发动机领域。

【技术指标】

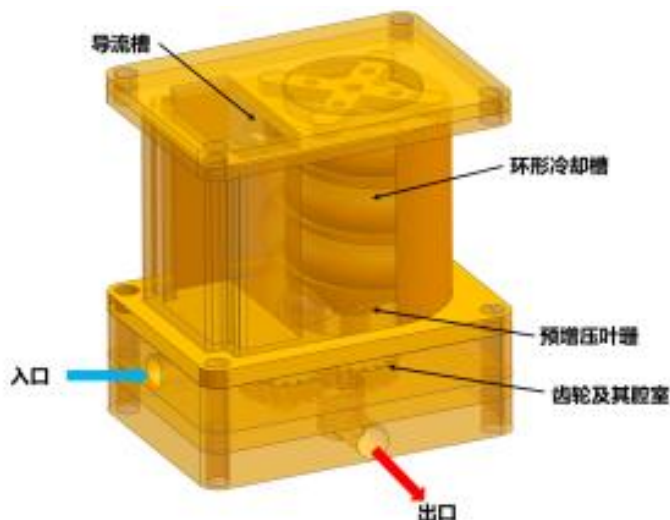
电动泵齿轮泵供给流量设计为10-50g/s；精度 $\pm 1\text{g/s}$ ；出口压力0-4MPa；整个电动泵系统总量不超过300g；可长时间工作。

【应用前景】

该高速电动泵技术突破了传统电动泵体积庞大且沉重的缺点。通过与无刷电机和高效控制器的配合使用，该技术能够有效应用于使用常温液体燃料的航空发动机燃油供给系统。这不仅为航空航天发动机节省了大量空间，还可以提升了飞行器的整体性能。



电动系无冷却实验装置



自冷却高速电动泵几何机构图

10.脉冲爆震激波增压发动机（能源学院）

【成果简介】

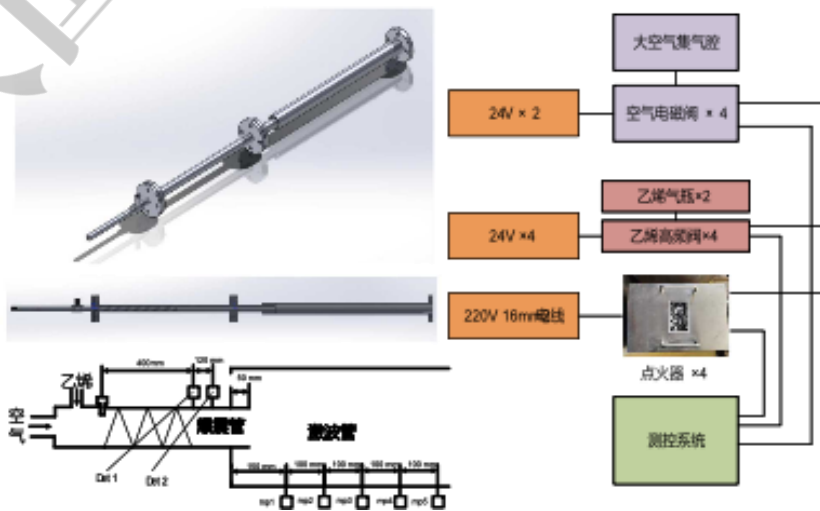
针对宽速域组合飞行器动力系统在Ma0速度下的启动问题和脉冲爆震发动机推力不连续的问题，研制了一款基于脉冲爆震激波增压的新型推进系统，实现了Ma0速度下自启动，可以作为宽速域空天飞行器在低速下启动的动力系统，解决了脉冲爆震发动机推力不连续等问题，降低了发动机的死重和简化了发动机结构，使脉冲爆震激波增压发动机具备更高的推重比。

【技术指标】

实验中单次爆震激波引射质量比达2.24倍；仿真单次爆震激波引射质量比达5倍；预期脉冲爆震激波引射增压质量比达到3倍，脉冲爆震引射稳定增压比达到2倍。

【应用前景】

基于脉冲爆震的激波增压系统可以充分利用爆震燃烧效率高的优势，降低油耗，同时，脉冲爆震激波增压系统结构简单，整体重量低，对于航空方面，相比起传统的涡轮发动机可以有效降低成本，实现更高推重比，具备技术优势；脉冲爆震激波增压系统具有结构简单，制造工艺难度低等优点，在民用方面可以作为工业用气体常规增压装置，实现低成本、稳定可靠的增压效率，同时能为小型飞行器提供动力产品。由于其低成本、结构简单的特性，既可作为一次性弹用动力系统或者靶机动力，又可作为可重复使用的宽速域飞行器低速启动的动力系统。



实验件及实验系统示意图

11.油气藏气热联采技术（建筑与设计学院）

【成果简介】

针对我国清洁供热的紧迫性以及废弃油气井筒数量多、环境风险高、报废处置难等问题，研发了超临界CO₂油气藏气热联采技术。利用CO₂驱替，突破了天然气的采收极限，并实现了区域性CO₂地质封存。通过数值模拟和缩尺实验，厘清了多场耦合作用下CO₂-水两相非等温热质运输机制，提出了多孔热储和注采井筒内CO₂取热增效措施。搭建了“地热+”的多能互补区域供热系统，形成了取热侧、供热侧负荷匹配策略及协同调控机制，为我国供热能源转型以及中低温地热资源高效开发提供了技术支撑。

【技术指标】

该技术通过CO₂在储层内驱替作用，将天然气采收率提高20%~30%。通过射孔结构、注采参数等优化设计，将CO₂取热效率提高25%以上。通过耦合多能互补技术、相变蓄热技术，可实现20年以上的稳定供热及CO₂地质封存。

【典型应用】

该技术可广泛应用于石油、天然气产业以及中低温地热资源开发领域。相关成果已成功应用于江苏省金坛市油气井的注采气策略优化及部分地区枯竭油气田地热开采利用。

➤ 盐穴天然气地下储气库注采动态优化技术

➤ 采用储层渗透力估算公式，计算了我国部分枯竭油气藏的储层渗透力

$$Q = \rho P(1 - \phi) \gamma (T - T_0)$$

表3 部分盐穴天然气地质力学计算结果

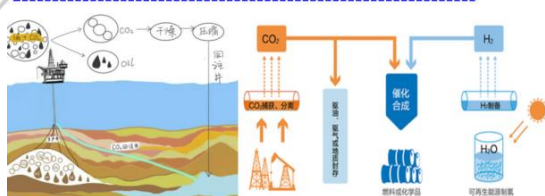
名称	地质力学计算结果
大庆油田	7.82
胜利油田	10.56
长庆油田	10.56
辽河油田	10.56
渤海油田	10.56
鄂尔多斯	10.56
四川盆地	10.56
塔里木盆地	10.56
准噶尔盆地	10.56
吐哈盆地	10.56
莺歌海盆地	10.56
琼东南盆地	10.56
涠洲盆地	10.56
莺歌海盆地	10.56
琼东南盆地	10.56
涠洲盆地	10.56

➤ 选取了文23气藏作为课题研究对象

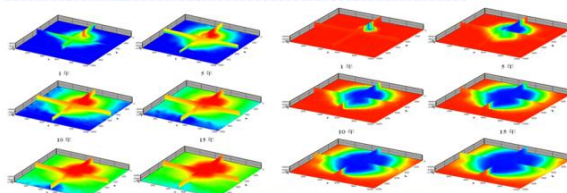
表4 文23气藏地质力学参数

参数名称	数值
平均厚度, H	120m
平均孔隙度, ϕ	20%
平均渗透率, k	1000md
地层压力, P_0	10000kPa
地层温度, T_0	30℃
地层密度, ρ_0	1200kg/m ³
地层粘度, μ_0	0.1Pa·s
地层弹性模量, E_0	120GPa
地层泊松比, ν_0	0.2
地层热导率, λ_0	1.5W/m·K
地层比热容, c_p	1000J/kg·K

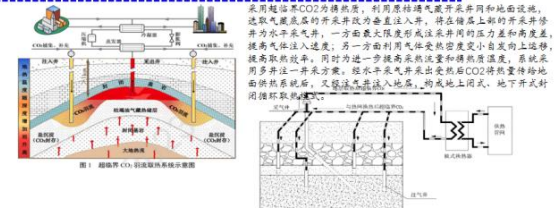
➤ 枯竭油气藏CO₂联合采热封存技术



➤ 枯竭油气藏超临界CO₂高效取热技术



➤ 羽流地热系统地下采热耦合地上供热技术



超临界CO₂油气藏气热联采技术

12. 新型热泵技术（建筑与设计学院）

【成果简介】

针对我国建筑采暖、工艺除湿、制冷、农产品干燥、工业余热回收等领域低碳技术需求，研发了新型高效热泵（制冷/制热、除湿）系统。同时，开发了高温蒸汽型（130℃蒸汽）热泵机组，提高了系统的综合效率，解决了工业/建筑用能系统的高能耗、高碳排放问题，为我国“双碳”目标提供了科技支撑。

【技术指标】

该技术可实现严寒地区（室外温度-30℃）室内采暖热泵技术COP达2.0以上；在室外新风为温度35℃，相对湿度70%的工况下，除湿机组的COP达4.4，单位能耗除水量（SMER）达4.01kg/kWh；热源水温为60℃工况下，高温蒸汽型（130℃蒸汽）热泵机组COP达2.5。

【典型应用】

该技术可广泛应用于严寒地区低能耗建筑采暖工程、船舶行业工艺除湿、工业余热（地热能）利用等领域。截至目前，相关研究成果已成功应用于深圳市美诗盾新能源有限公司、汉福启东环境科技股份有限公司、哈尔滨市深哈产业园区、中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司等地。



高效热泵除湿机组



新型热泵机组