

美的集团楼宇科技事业部

研究生联合培养项目需求表

联 培 项 目 编 号： FSNEU-2026-MDLY-2

联 培 项 目 名 称： 高温热泵系统设计

联 培 单 位： 美的楼宇科技

项 目 负 责 人： 赵炳晨

联 系 电 话： 15216716615

单 位 负 责 人： 闵本艳

联 系 电 话： 15587488108

东北大学佛山研究生创新学院

填表说明

- 1、 本表由联合培养基地填写，务必保证信息全面准确。
- 2、 联合培养基地每年 3 月前将本表交于东北大学佛山研究生创新学院，用于本年度接收联合培养研究生。
- 3、 一份需求表只能填写一个项目，且需求表上交后原则上不允许取消或更改。
- 4、 联培项目编号为：东北大学佛山研究生创新学院简称佛山研究生创新学院，简称代码-FSNEU、年份-202X、基地名称简称代码-XXX(美的集团中央研究院简称美的中研院，简称代码 MDZYY)、本基地本年度项目序号 X X，例如：
FSNEU-2026-MDZYY-1。
- 5、 各栏目内容可续页。

东北大学佛山研究生创新学院联培基地项目需求表

项目编号	FSNEU-2026-MDLY-2	项目名称	斯特林高温热泵换热器设计
联培课题方向	高温热泵压缩机机械设计、油路设计与换热器设计		
所需研究生专业方向	机械制造 机器智能化 材料工程 工程热物理 制冷及低温工程		
需求人数	1		
岗位要求	熟悉工程热力学、传热学、材料力学、了解各类热力循环 掌握一定的 CAD/CAE/CFD 等设计与仿真技术 有一定系统试验台搭建与测试经验		
项 目 简 介			
<p>一、项目背景：</p> <p>我国工业热水和蒸汽生产能耗占全社会总能耗的 30%，是建筑业制冷、供热能耗规模的 3 倍。工业热能的来源主要是热电联产和化石燃料锅炉，前者受限于管道输送损耗，后者受限于碳排放量大与能源安全问题。双碳战略下，采用高温工业热泵代替锅炉和热电联产，制取清洁化工业热能，是我国实现工业能源低碳转型的必然选择。据《工业热泵发展白皮书（2025）》预测，未来十年内高温工业热泵市场规模超 2000 亿元。</p>			

二、研究现状：

我国工业对 120~200℃ 的热能需求广泛，相关高温热泵技术有：

(1) 闭式跨临界二氧化碳压缩循环，可制取 120℃ 热水或微压蒸汽，主要瓶颈是高耐压（15MPa）部件成本高昂，在工业高温热泵领域应用较少；

(2) 复叠蒸汽压缩循环，选择高温制冷剂 R600a、245fa 和 R1233zd 可实现 120℃、130℃、140℃ 的制热温度，但面临易燃和 GWP 值高等问题，应用范围有限；

(3) 开式水蒸气压缩，对负压水蒸气进行中间补液压缩，直接排出过热水蒸气，可实现 190℃ 制热。该技术于近两年兴起，主要瓶颈是水资源用量大、启停速度慢、容调范围小；

(4) 斯特林热泵循环，利用氦气周期性等温膨胀-定容吸热-等温压缩-定容放热，构建超 150K 单级压缩温跨，可制取超 200℃ 工业蒸汽，但因干式密封维护周期短应用受限。

目前，挪威 Olvondo 已小规模量产 Alpha 型活塞氦气斯特林热泵，实现 30℃-180℃ 制热，单机功率达 400kW，能效系数 1.35；挪威 Enerin 与西门子 Thermolift 也分别研发了 Gamma 型活塞与自由活塞斯特林高温热气机产品，已推广应用。国内的中国科学院理化所、711 研究所、齐耀动力等机构研发了 Alpha 型和自由活塞斯特林热泵实验样机。目前，活塞型斯特林热泵面临的共性技术问题有：压缩机体积大、振动明显、干式密封内/外泄露大。

公司项目组在前期研究中，已成功研制了热驱动、单作用活塞、双作用活塞及无油转子斯特林热泵实验样机，掌握了 Alpha 型斯特林高温热泵机组的核心部件设计与系统集成关键技术，包括：斯特林热泵循环仿真、管壳式热泵单元设计与制造、格莱圈滑动密封与压差驱动密封环组设计、系统声功测量与分析等。机组实测能效已达 1.33@30-180℃，接近国际领先水平。完成发明专利布局 10 余件。但也识别出如下技术挑战：

(1) 活塞型斯特林热泵压缩机功率密度低（50kW/m³），且曲柄连杆机构在运行振动明显，无法对标燃气锅炉的安装和使用条件；

(2) 干式密封可靠性差，密封环在数百小时后逐渐失效（高温热塑性变化），导致内泄漏，能力能效下降，这也是困扰斯特林制冷/发电/发动机的瓶颈，短时难以突破；

(3) 活塞型斯特林一般采用外置式电机，因氦气分子小，压缩机运动部件动密封技术难度大，循环工质泄漏率高（约 0.3~0.5%w. t./天），维护成本高，同样也是行业的共性难题；

(4) 斯特林热泵的设计充压约 4~5MPa，运行压比约为 1.3~1.7，启动压差高达 2~3MPa，因连杆机构存在固有运动止点，机组存在高背压启动电机扭矩不足的问题。

三、关键性问题或技术：

(1) 交变气体载荷与 200℃ 温跨热冲击下，偏心轴系-相位齿轮组-椭圆转子传动系统尺寸链与动平衡设计。

(2) 宽运行温域与交变背压工况下，压缩机供油循环量设计及回热器/冷端换热器亚毫米结构中高粘油分离。

(3) 面向分钟级动态负荷跟随的工质在线充注/回收背压调节与压缩机变频驱动控制。

四、预期目标：

公司项目总体目标：

研发蒸吨级大温跨、高密度、高效能、大容调、高可靠、高稳定斯特林热泵机组，供热量 0.2~0.5 蒸吨（150~375 kW），压缩温跨 $\geq 150\text{K}$ ，体积功率密度 $\geq 300\text{kW/m}^3$ ；

容调范围 $\geq 10\%\sim 120\%$ ，热启动满额定能力时间 ≤ 150 秒，动态负荷追踪偏差 $\leq 5\%$ ；

吸热温域 10~100℃，制热温域 120~220℃；在 80-120℃、50-160℃、30-180℃ 工况下制热能效系数分别 ≥ 3.0 、1.8 和 1.6；

升温跨能效衰减 $\leq 0.5\%/K$ 、工质外泄漏率 $\leq 0.1\%w.t./\text{天}$ ；

机组维护周期 $\geq 8000\text{h}$ ；

打造 5 个示范工程。

联合培养课题目标：

设计 30kW 换热器回热器一体化热泵单元，研究机组运行过程中的油迁移情况，聚焦服务于机组周期能效 $>95\%$ 的换热器/回热器基础设计方法与运行控制策略。

项目 负责人 项目 经历		
起止时间	项目名称	主要内容
2022.12~2024.12	高效舒适间歇供暖对流/辐射耦合末端技术及产品	项目内舒适-节能多联机立式明装对流辐射一体化末端创新产品负责人，负责性能设计、专利撰写、项目管理、示范工程建设，辅助论文/团标撰写。项目成果已应用于上海城建院办公楼、无锡菲兰实验室等工程，授权发明专利1项、实用新型专利3项。专家组鉴定核心技术达国际领先水平。发表国际建筑能源类期刊SCI论文2篇，发布2项中国制冷空调工业协会标准。
2024.12~现在	国家重点研发计划“战略性新兴产业科技创新合作”专项-中美存量公共建筑深度减碳关键技术与示范	科技部项目子任务负责人/企业内部项目经理，负责课题设计、技术路线制定、团队专利布局30余项、海外客户培训、海外示范工程技术支持、主持国标修订。项目实现产业化，发布美的iEasyEnergy能源管理系统运营平台1项。国家推荐标准《蓄冷（热）空调系统的测试和评价方法》发布稿审查通过。成果已应用于德国、波兰、英国家庭能源管理产品，近1年新增销售额1000万元。
2020.1~2022.12	国家自然科学基金项目（51906137）：基于高导热定形相变储热复合材料的多粒径填充床热设计及储/放热特性研究	国家科研基金项目负责人，产学研转化负责人，负责制定研究路线、仿真软件开发、撰写论文/专利，协助指导博士研究生完成课题，科学研究成果行业推广。项目实现产业化，授权发明专利1项。发表国际建筑能源类期刊SCI论文8篇，作行业会议主题报告2次。成果已应用于北京、新疆、西藏等地储热采暖工程。产学研转化成果产值12600万元。

2023. 12~现在	广东省科技计划项目（2024B1212020001）：广东省建筑楼宇热储能技术重点实验室	国标立项答辩人与主要起草人；多项先行研究项目性能负责人/技术专家组成员，负责技术方案制定、样机设计与评审、项目管理、撰写发明专利与论文，推动成果转化和推广应用。《空调系统节能运行技术及产业化》院士专家组鉴定国际领先，成果应用于多联机产品，年节约 16 亿度电，减排 141 万吨；储能电池热管理机组国标发布稿审查通过；授权发明专利 4 项、实用新型专利 2 项，发表 SCI 论文 1 篇。	
2024. 12~现在	第一代斯特林超高温热泵关键技术	项目负责人，负责项目进度管理，技术路线制定，协调专业技术资源，专利与科技论文布局，示范工程推广，量产商品企划书编写。已成功研制了 10kW 单作用活塞、50kW 双作用活塞及 15kW 无油转子斯特林热泵实验样机，已申请发明专利 9 项，实用新型 1 项。	
工 作 计 划 安 排（2026. 7-2028. 4）			
序号	起止时间	阶段内容	工作量估计（天）
1	2026. 7~2026. 12	30kW 换热器回热器一体化性能设计，换热 KA 优化，换热/流动损失评估	100
2	2027. 1~2027. 6	30kW 换热器回热器油分离实验与换热衰减评估	100
3	2027. 7~2027. 12	斯特林热泵样机性能测试与迭代优化，一维动态性能仿真模型建立	100
4	2028. 1~2028. 4	毕业设计撰写	60