

山东大学

初次申请招收博士生人员
简况表

申请人姓名: 赖艳华

所属单位: 能源与动力工程学院

一级学科名称: 动力工程及工程热物理

二级学科名称: 工程热物理

山东大学学位评定委员会办公室制

2015 年 5 月 27 日填表

(本表请正反面印刷)

填表说明

（一）二级学科代码与名称按照《学位授予和人才培养学科目录（2011年）》填写。

（二）申请者填写的 CSSCI、SSCI、AHCI、SCI、EI 收录论文应为第一作者或通讯作者，且发表的论文、出版的著作须以山东大学为第一署名单位（校外引进人才入校前论文除外）。

（三）国家级科研项目包括：国家社会科学基金项目、国家自然科学基金项目、全国教育科学规划项目、全国艺术科学规划项目、教育部人文社会科学重大攻关项目、教育部人文社会科学重点研究基地重大项目、教育部高等学校古籍整理重大委托项目；国家自然科学基金项目、国家科技支撑计划项目、国家高技术研究发展计划项目（863 计划）、国家重点基础研究发展计划项目（973 计划）、国家科技重大专项计划项目、科技部、科技部政策引导类科技计划专项项目（星火计划、火炬计划、农业科技成果转化资金、国家软科学研究计划、国际科技合作计划）、国家军工项目（总装备部、总政治部、总参谋部、总后勤部及国家国防科技工业局项目）、国际合作项目（世界银行、亚洲银行、欧盟、WTO、美国 NIH）等。省部级项目包括：全国教育科学规划项目、全国艺术科学规划项目、各部委科研计划和规划项目、教育部人文社会科学研究项目、教育部科学技术研究项目、省自然科学基金、省优秀中青年科学家科研奖励基金、省科技攻关计划、省星火计划、省软科学研究计划项目、省社科规划项目、省古籍整理研究计划等。

（四）请不要加页。

姓 名	赖艳华	性 别	女	出生年月	1971. 02
教师编号	200799014260	专业技术职务	教授	聘任时间	2011. 12
最后学历、最高学位（包括时间、学校、学科）	国内：研究生，博士学位，2002. 04，东南大学，热能工程				
	国外：				
主要研究方向	吸附材料制备；吸附制冷及蓄能；可再生能源；制冷节能；传热传质				
联系电话	办公电话：0531-88392637 家庭电话：0531-67870769 移动电话：13306406388				
近五年作为第一作者或通讯作者发表 CSSCI、SSCI、AHCI、SCI、EI 收录论文共（10）篇 （人文、社科申请者请注明权威期刊，SCI 收录论文请注明影响因子）					
主 要 学 术 论 文	序 号	论 文 题 目	期刊名称、时间、卷册 (收录情况)	通讯作者备注	
	1	Dynamic analysis of a compressor-driven chemisorption system with a gas cooler under the time-delay cycle	<i>Heat Transfer Research</i> 2015,46(3),SCI、EI 收录	1/3 通讯	
	2	A Large Eddy Simulation of Plate-fin and Tube Heat Exchangers with Small Diameter Tubes	<i>Heat Transfer Engineering</i> 2014,35(11-12),SCI、EI 收录	1/3 通讯	
	3	Thermal Performance Prediction of a Trapezoidal Cavity Absorber for a Linear Fresnel Reflector	<i>Advances in Mechanical Engineering</i> 2013,SCI、EI 收录	1/5 通讯	
	4	Dynamic multi-objective optimization of a compressor-driven adsorption system by iterative dynamic programming	<i>Heat Transfer Research</i> ,2015,46(4),SCI、EI 收录	3/4 通讯	
	5	基于相变材料的电子元件的散热性能	化工学报 2014, 65 (S1) EI 收录	1/5 通讯	
	6	R404A/CO2 复叠式制冷系统的熵分析	工程热物理学报 2012,33 (6) EI 收录	1/5 通讯	
	7	压缩机驱动吸附制冷系统的多目标动态优化	工程热物理学报 2013,34 (5) EI 收录	2/5 通讯	
	8	压缩机驱动的化学吸附制冷系统的动态研究	工程热物理学报 2013,34 (4) EI 收录	2/5 通讯	
	9	生物质多孔燃料层辐射加热热解过程的影响因素分析	太阳能学报 2011,32 (5) EI 收录	1/4 通讯	
	10	玻璃真空套管-金属管复合接收器集热性能研究	工程热物理学报 2011,32 (5) EI 收录	1/4 通讯	

近五年独立（第一主编）出版学术专著(不含教材)共（ 0 ）部				
主要学术专著	序号	专著名称	出版单位、时间	本人位次
近五年获部、省级及以上奖励成果共（ 0 ）项；作为第一完成人获国家发明专利共（9）项				
主要获奖成果及专利	序号	成果名称	成果颁发部门、奖励名称、等级、时间	本人位次
	1	一种冷库用吸附防霜系统及吸附防霜方法	发明专利，国家专利局，2015.03	第一位
	2	一种模块化太阳能化学吸附蓄放热及升温系统及方法	发明专利，国家专利局，2015.03	第一位
	3	一种氯化物-碳质骨架复合吸附剂及其制备方法	发明专利，国家专利局，2012.11	第一位
	4	一种复合制冷系统	发明专利，国家专利局，2012.11	第一位
	5	一种复合制冷及热泵系统	发明专利，国家专利局，2012.07	第一位
	6	一种吸附-机械压缩耦合制冷及蓄冷系统	发明专利，国家专利局，2012.07	第一位
	7	一种吸附压缩-多效蒸馏系统	发明专利，国家专利局，2012.07	第一位
	8	一种多功能太阳能蓄能系统及蓄能方法	发明专利，国家专利局，2014.03	第一位
	9	一种压缩驱动吸附制冷方法及热泵系统	发明专利，国家专利局，2014.07	第一位
近五年作为负责人承担的科研项目共（149）项、横向项目共（ 141 ）项，获得的科研总经费共（974.62）万元。目前可支配科研经费（242.69 ）万元。详见附件材料				
序号	项目编号及名称	项目来源	起止时间	科研经费（万元）
1	51476093 碱土金属卤化物吸附过程热力学亚稳态机制、动态特性优化及衰减抑制研究	国家自然科学基金	2015-1 至 2018-12	83
2	51106091 基于活化造孔机制的新型复合吸附剂的烧结机理及其强化传热传质研究	国家自然科学基金	2012-1 至 2014-12	26
3	2013GGE27071 太阳能跨季化学吸附蓄能系统关键技术研究	山东省科技厅科技发展计划	2013-1 至 2015-12	30
4	201202090 冷库用太阳能调湿防霜系统的研究	济南市科技局自主创新基金	2012-1 至 2014-12	12
5	ZXG201443 卤化盐纳米分散复合吸附剂研发及其储能设备应用研究	苏州市科技发展计划	2014-7 至 2016-6	30
6	2014YQ007 移动式冷热联储联供产品研发	山东大学基本科研业务费资助项目自然科学专项	2014-1 至 2016-12	45
7	2012ZD018 太阳能集热/吸附蓄热耦合系统的关键技术研究	山东大学自主创新基金	2012-1 至 2014-12	15
8	2009TS049 新型两级反射太阳能中高温利用系统技术研究	山东大学自主创新基金	2010-1 至 2012-12	12
9	焦炉气综合利用项目	企业委托	2014-3 至 2015-3	22
10	河口区富海工业园规划项目	企业委托	2012-12 至 2013-12	30

本人的主要研究方向及学术贡献:

能源利用和环境保护一直是社会发展重要的领域, 本人长期从事可再生能源利用、制冷节能等相关领域研究, 非常关注能源和环境的可持续发展相关领域的问题。主要研究方向包括: 高效复合吸附材料研发; 吸附制冷及储能系统优化设计; 废热, 太阳能、生物质能等可再生能源利用中的传热传质研究等。

学术贡献 1: 高效复合吸附材料的研发

在复合吸附剂研究方面, 针对复合吸附剂强化传热与强化传质存在的矛盾, **提出了一种先构建导热骨架, 再活化造孔的吸附剂制备新方法**, 基于正交试验法获得了导热系数 $5 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, 渗透率约 10^{-13} m^2 , 密度可达 $800 \text{ kg}/\text{m}^3$ 的样品, **实现了复合吸附剂传热传质的协同强化**。在吸附理论研究方面, 考虑到复合吸附剂的实际微观形貌, 在经典缩核模型中引入形状因子和特征尺寸, 完成了吸附剂传热-传质-反应非稳态耦合模型的构建, 与实测结果相比误差小于 5%。首次发现吸附剂在较小的热扰动情况下, 复合吸附剂的伪平衡区消失了, 热扰动结束, 吸附剂平衡态仍然能够回到原来状态, **提出了复合吸附剂的亚稳态机制, 为揭示伪平衡区存在及演变现象提供了理论基础**。在吸附材料性能综合测试平台研发方面, 克服了测温线高压腔体穿出困难, 考虑了氨气环境对流换热影响, 解决了密封材料的氨气相容性、反应初期发热量大不易恒温、吸附剂粉末串灌等难题, 实现了高精度标定各部件体积和气罐体积的大尺寸精细调节, **国内首次完成了基于定容法的氨用吸附剂非稳态传热传质及吸附特性综合测试平台研发**。

2. 吸附制冷及储能系统优化设计

基于吸附式制冷技术间歇性运行特点, 尤其是制冷与再生过程的独立性, **提出了一种压缩机与吸附式制冷技术结合的新型无损蓄冷系统**, 可以利用低温废热、电能联合或独立驱动, 并能利用峰谷电价差, 无损储存低价电冷量, 有效降低运行成本, 根据构建模型测算, 在有 60°C 废热情况下, 冷库耗电成本可降低 60%。针对压缩机驱动吸附制冷及热泵系统, **提出了增加气体冷却器和延时循环分别来强化压缩热传出和压力能回收**, 动态模型仿真表明, 系统 COP 有 6% 左右提升。建立了压缩机驱动吸附系统模型, 探讨了各类运行参数对系统的性能影响, 采用迭代动态规划理论, 对系统进行了动态优化, 获得了最优控制曲线, 为系统变频控制和高效节能提供了理论基础。利用吸附冷热联蓄的特点以及蓄能量大等优势, **设计了新型模块化、分离式太阳能储能系统, 具备冷热联储联供特点**, 减少了太阳能储能环节, 提高了储能效率, 结构简单, 储能密度大。

3. 可再生能源利用中的传热传质研究

在生物能利用方面, 基于辐射加热条件下生物质多孔燃料层热解过程特点, 建立生物质辐射热解模型, **明确了热解过程的生物质燃料层未热解区、热解区和炭化区共存现象**, 确定了热解过程为传热控制。结果表明生物质物料层和焦炭层的有效导热系数、物料层初始堆积密度、加热温度和加热时间等因素对燃料层热解过程均有影响, 合适的热解区所处温度范围在 $500-800 \text{ K}$ 之间, 证实辐射加热温度、有效导热系数的增加有助于生物质燃料层的热解过程。以上研究为生物质热解气化设备的设计优化提供了理论支持和设计依据。

在太阳能利用方面, 主要开展了中高温利用过程中的集热方式、太阳能集热设备中的传热流动情况、太阳能吸附储热过程中的传热传质等研究, 并获得了各种因素对设备性能的影响, 为太阳能的种高温利用和储能等技术开发提供了理论依据。

以上几个方面的研究, 获得了国家自然科学基金青年和面上项目、山东省科技发展计划、山东大学自主创新基金、苏州市纳米专项等项目的资助, 在国内外知名期刊发表论文近 20 篇, 授权国家发明专利近 9 项, 实用新型 5 项。在开展以上理论研究工作的基础上, 开展了大量的工程咨询和技术服务工作, 积累了良好的工程实践经验, 积极服务社会和企业, 为节能环保工作尽己之力。

近五年本人有代表性的科研成果简介之一：

成果名称	高效复合吸附材料研发的技术基础 及传热传质协同强化机制	完成时间	2014
------	--------------------------------	------	------

针对目前物理吸附剂吸附量小、化学吸附剂易结块以及存在的传热传质问题，提出基于活化造孔机制的复合吸附剂制备新方法，研究了制备因素对传热传质及动力学的影响，对导热系数、渗透率以及反应速率的无量纲加权为评判标准，确定了不同选择需求时，吸附剂的最优制备工艺参数。根据优化工艺所获较优样品导热系数 $3\text{w}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ，渗透率约 10^{-14}m^2 ，密度可达 $600\text{kg}/\text{m}^3$ 。

在性能综合测试平台研发方面，克服了引线高压腔体传出困难，解决了密封材料的氨气相容性、反应初期发热量大不易恒温、铠装测温滞后、吸附剂粉末串灌等难题，实现了各部件体积的高精度标定，国内首次完成了基于定容法的氨用吸附剂非稳态传热传质及吸附特性综合测试平台(如图 1 所示)研发。

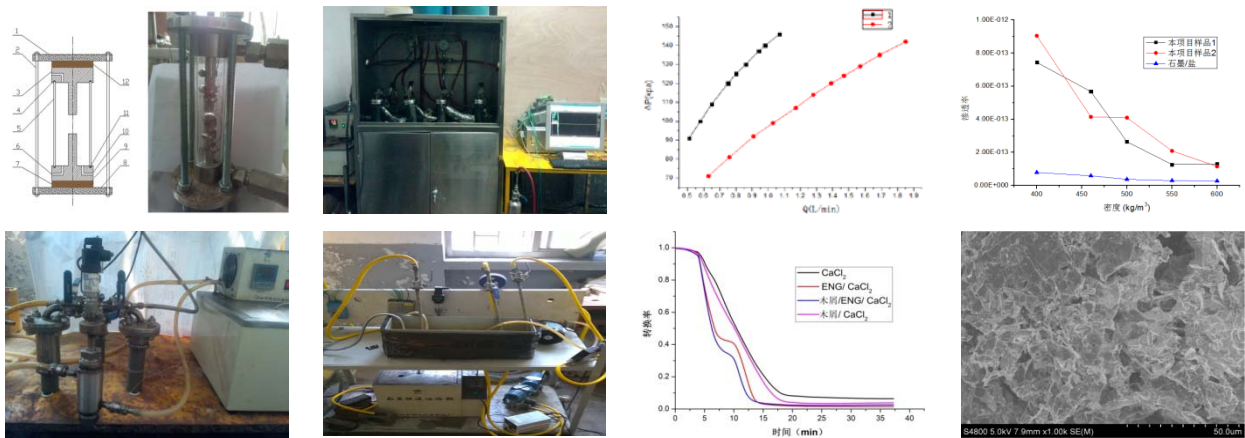


图 1 综合测试平台

图 2 复合吸附剂性能表征

在以上研究基础上对复合吸附剂的传热传质、动力学及平衡态等特性进行了广泛而深入的研究（如图 2）。实验表明，由于吸附剂的各向异性及密度因素，压制方向对吸附剂的传热传质具有明显的导向性，垂直于压制方向的传热传质性能均明显优于压制方向。通过与当前常用的氯化钙/石墨复合吸附剂进行性能比较，可以得出基于活化造孔机制的复合吸附剂的传热和传质能力均有明显的提升。通过添加木屑进行造孔的复合吸附剂可通过改善传质而明显提高反应速率，进一步添加导热材料石墨后，通过传热传质的协同强化，所获复合吸附剂的反应速率相比单纯盐吸附剂明显提高，从而可有效减少系统运行的循环时间，提高系统的 SCP 和制冷功率。另外从微观角度分析来看，碳质前驱物形成丰富的微孔结构，氯化钙呈现均匀而稳定的分布，近似形成分子单层分散结构，明显改善了吸附剂的宏观层次及微观层次的传质，同时又实现了导热材料与多孔材料紧密镶嵌，有效强化了传热，进而促使反应速率明显加快。

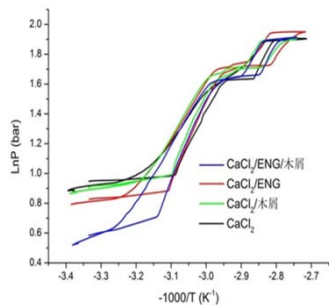
考虑微观下复合吸附剂中所负载的吸附盐并非球状结构，因此在经典缩核模型基础上引入形状因子 a 和特征尺寸 R ，改进了盐内部扩散过程的数学方程。通过定容法所获数据拟合获得相关参数，完成了吸附剂传热-传质-反应非稳态耦合模型的构建，与液位法测试大块样品的动态吸附数据符合较好，总体误差小于 5%。

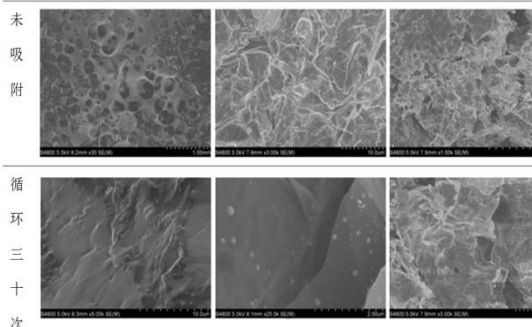
本成果主要提供了一种创新性的复合吸附剂制备工艺，实现了复合吸附剂的传热传质协同强化，对高性能吸附剂的开发和实际应用具有重要的价值。一种氯化物-碳基骨架复合吸附剂及其制备方法已于 2012 年 11 月授权国家发明专利（ZL201010292942.3）。

近五年本人有代表性的科研成果简介之二：

成果名称	吸附剂吸附解吸过程中伪平衡区控制机制的研究	完成时间	2014
------	-----------------------	------	------

吸附剂的 XRD 与反应速率协同分析表明，适当的结晶度有利于反应速率的加快，结晶可能降低反应活化能，但过度结晶又会阻碍传质，复合吸附剂中盐的适度结晶有利于复合吸附剂性能提升。平衡态测试分析表明（图 3），结晶程度对伪平衡区的大小有直接的影响，随着吸附次数增加，SEM 图（图 4）表面微观结构变迁与吸附滞后圈变迁具有明显的协同性，结晶度越高，滞后圈越大。从吸附性能测试来看，结晶度过高，转化率会变小。滞后圈小意味着同样压力下，解吸温度降低，吸附温度升高，吸附系统 COP 的上升。但是结晶度高又会降低循环吸附量，降低吸附系统的输出功率。进而证实调控结晶度是复合吸附剂制备的关键。





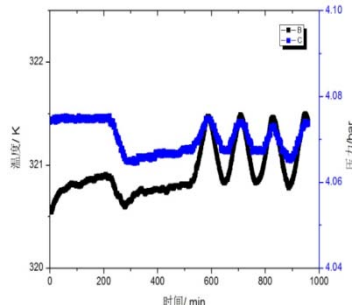


图 3 不同样品滞后圈对比

图 4 吸附剂的微观结构变迁

图 5 小温度扰动吸附滞后消失

通过研究，首次发现吸附剂在较小的热扰动情况下，复合吸附剂的伪平衡区消失了，热扰动结束，吸附剂平衡态仍然能够回到原来状态（图 5 所示）。也就是说，在小的热扰动时候，吸附剂的平衡态是一个状态标量，而在大的扰动存在时，吸附剂的平衡态变成了一个过程量。也就是说吸附剂及其络合物存在亚稳态也即非晶态，而当前采用的克拉伯龙-克劳修斯方程均默认吸附剂为晶态，化学势为恒定值，但是从已开展的研究发现，吸附剂基本没有存在完全晶态的，尤其是吸附性能良好的吸附剂。

因此，考虑到氨气为实际气体、固体物质为非晶体及固体物质比热容随温度变化等因素。基于严格的数学推导，获得了更加严谨平衡态方程：

$$\ln\left(\frac{\gamma P}{p^\theta}\right) = -\frac{\Delta H^\theta}{RT} + \frac{\Delta S^\theta}{R} - \frac{1}{m-n}\left(-\frac{\Delta \bar{H}_s}{RT} + \frac{\Delta \bar{S}_s}{R}\right)$$

从上式来看，吸附剂的平衡态曲线受吸附剂及其产生络合物的化学势，也即焓熵值的影响。而在吸附解吸过程，吸附剂的微观形貌会发生明显的改变，每种吸附剂的初始状态如结晶度也不相同，因此导致焓熵值差距较大，方程中新增的固体化学势项（蓝色项）也会随之变化，导致测试获得的平衡态曲线出现伪平衡区，并不断发生变化。Ostwald 态定律指出相变是一步一步从无序态向有序态的发展，吸附剂的衰减过程是从不定型体（亚稳态）发展为晶体的过程。亚稳态的改变需要能量驱动来打破势能垒，在微小的热扰动下，其亚稳态应该是相对稳定的。因此，在较小热扰动下，吸附剂平衡态表现为状态量，在大的热扰动情况下，吸附剂的平衡态表现为过程量，出现伪平衡区现象。

本成果为揭示了吸附剂微观结构与伪平衡区的内在联系，为提高吸附剂的吸附性能指明了方向。

近五年本人有代表性的科研成果简介之三：

成果名称

吸附制冷及储能系统的技术设计与优化

完成时间

2014

基于吸附式制冷技术间歇性运行特点，尤其是制冷与再生过程的独立性，提出压缩机与吸附式制冷技术相结合的新型无损蓄冷系统，可以利用低温废热、电能联合或独立驱动，并能利用峰谷电价差，无损储存低电价冷量，有效降低运行成本，根据构建模型测算，冷库耗电成本可降低 60%。

压缩机驱动吸附制冷系统具有结构简单紧凑，工作温度范围大，系统运行效率高，对环境友好及运行安全等优点，可以联合利用太阳能、废热等能量来获得冷量。基于基本循环建立模型分析表明，当系统 SCP 约 120W/kg 时，系统的 COP 均高于 3.85。与金属氢化物-氢工质对相比，系统 COP 提高了 51%。另一方面，金属氯化物的合适的循环时间为 360s，而采用可膨胀石墨/金属氯化物-氨吸附工质对则可把循环时间延长至 6000s 左右，大大降低了阀门切换的频率，既提高了系统的可靠性，又减少了冷热交替造成的能量损耗。总的来说，可膨胀石墨/金属氯化物-氨吸附工质对应用于压缩驱动吸附制冷系统具有明显优势。

在此基础之上，针对压缩机驱动吸附制冷及热泵系统，提出了增加气体冷却器和延时循环分别来强化压缩热传出和压力能回收，动态模型仿真表明，系统 COP 有 6%左右提升，如图 6 所示。

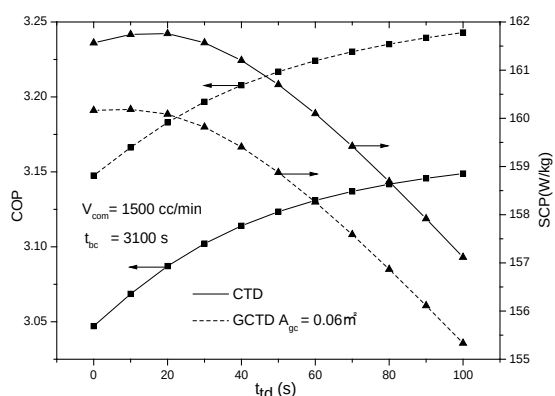


图 6 改进循环能效对比

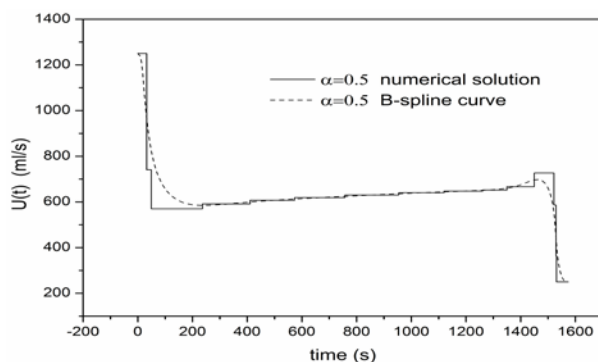


图 7 最优化控制曲线

随着压缩机体积流率或循环时间变化时，压缩机驱动吸附制冷系统的 COP 和 SCP 两个评价指标多呈现制约竞争关系。因而可以分别通过变频器和四向阀的换向来控制体积流率和循环时间，优化系统性能，系统的变频及循环时间控制问题可表示为优化控制问题。根据所建立的模型对系统进行了动态优化，获得了最优控制曲线，如图 7 所示，为吸附剂研发提供一个新的评判标准，为吸附床的设计提供了设计参考，最主要是为吸附系统实时运行优化控制提供了理论支持。

此外，利用吸附系统具有冷热联储的特点以及蓄能量大等优势，设计了新型模块化、分离式太阳能储能系统，具备冷热联储联供特点，减少了太阳能储能换热环节，提高了储能效率，结构简单，储能密度大。通过计算建模分析，传热温差降低 10-20℃，储能效率提高 10%。

在吸附冷热联储技术方面，目前已经获得了“一种吸附-机械压缩耦合制冷及蓄冷系统”（ZL2010 1 0581180.9）、“一种复合制冷及热泵系统”（ZL 201010567762.1）、“一种多功能太阳能蓄能系统及蓄能方法”（ZL201210205693.9）、“一种压缩驱动吸附制冷方法及热泵系统”（ZL 201210205694.3）等 6 个国家发明专利。本领域研究扩展了吸附系统应用领域，扩大了吸附技术在节能环保领域的应用范围。

招收培养全日制硕士研究生情况			
年 度	招 生 人 数	毕 业 人 数	获 学 位 人 数
2011	1	1	1
2012	1	3	3
2013	2	1	1
2014	4	1	1
主 讲 的 研 究 生 课 程			
时 间	课 程 名 称	课 时	授 课 对 象
第二学期	最新制冷空调技术	32	研究生一年级

本人承诺:

上述所填内容全部属实。

签名: _____ 年 月 日

学位评定分委员会审核情况和意见:

经审核, 该申请人近五年作为第一作者(通讯作者)发表 CSSCI、SSCI、AHCI、SCI、EI 论文 _____ 篇, 其中权威期刊 _____ 篇(仅限人文社科类); 独立(第一主编)出版专著部;

获省部级二等奖以上奖励 _____ 项; 作为第一完成人获国家发明专利 _____ 项;

作为负责人新申请到(承担)国家级科研项目 _____ 项, 省部级科研项目 _____ 项, 横向项目 _____ 项; 获得科研总经费 _____ 万元; 目前可支配经费 _____ 万元。

以上数据真实可靠, 学位评定分委员会 _____ (请填写“同意”或“不同意”)

申请人于 2016 年招收博士生。

学位评定分委员会主席签字(签章): _____

学位评定分委员会公章
年 月 日