

填表说明

一、本报告中相关的技术或数据如涉及知识产权保护、军工项目保密等内容，请作脱密处理。

二、请用宋体小四字号撰写本报告，可另行附页或增加页数，A4纸双面打印。

三、表中所涉及的签名都必须用蓝、黑色墨水笔，亲笔签名或签字章，不可以打印代替。

四、同行专家业内评价意见书编号由工程师学院填写，编号规则为：年份4位+申报工程师职称专业类别(领域)4位+流水号3位，共11位。

一、个人申报

(一) 基本情况【围绕《浙江工程师学院（浙江大学工程师学院）工程类专业学位研究生工程师职称评审参考指标》，结合该专业类别(领域)工程师职称评审相关标准，举例说明】

1. 对本专业基础理论知识和专业技术知识掌握情况(不少于200字)

在校期间，我系统地修读了智慧能源系统工程及相关专业课程，深入掌握了本专业的基础理论知识和专业技术知识。通过课程学习，我对能源系统的构成、运行机制及其优化管理有了全面的理解，特别是在能源转换、储存与利用等方面的理论基础得到了扎实的提升。这些知识不仅让我理解了能源系统的复杂性，还培养了我运用理论知识解决实际问题的能力。此外，我还参与了多个项目，应用所学知识进行实际案例分析，提升了我的实践能力和创新思维。

通过对专业课程的深入学习，我获得了27个学分，平均成绩达到92.57，满足项目制培养方案要求。这些基础理论知识为我今后在工程实践中应用先进技术、解决实际问题打下了坚实的基础。

2. 工程实践的经历(不少于200字)

本人于2023年7月1日-

2024年8月1日在中国科学院上海技术物理研究所与南通市政府共建的南通长三角智能感知研究院开展关于微型脉管制冷机理论设计与实验研究。

在项目研究过程中，设计并研制了一台气浮轴承压缩机驱动的微型脉管制冷机。该制冷机通过SAGE软件进行参数设计，采用单级同轴型结构，极大地提高了紧凑性。通过优化设计和实验研究，研制出的制冷机重量 $<1\text{kg}$ ， 77K 制冷量 $>1.5\text{W}$ 的脉管制冷机样机，发表SCI论文一篇。在实践过程中学习工程经验、培养主动思考、解决问题与创新能力。

3. 在实际工作中综合运用所学知识解决复杂工程问题的案例(不少于1000字)

以在中国科学院上海技术物理研究所与南通市政府共建的南通长三角智能感知研究院的实践经历为例，我参与了微型脉管制冷机的理论设计与实验研究项目。这一项目不仅让我将所学的工程热力学、低温原理等专业知识应用于实际工作中，还让我在理论与实践结合的过程中，解决了多个复杂的工程问题。

在理论研究方面，运用工程热力学、低温原理等专业知识，使用SAGE软件对脉管制冷机结构进行设计优化，得到关键结构参数，并进行三维建模设计，绘制零件加工图纸。与加工方对接，在实际加工过程中了解到机械精密加工、公差匹配方面的知识，以更好地优化微型制冷机的设计与落地。

搭建气浮轴承压缩机驱动的微型脉管制冷机实验台，通过系列实验和分析，解决了微型脉管制冷机在实际应用中遇到的多个问题。

(1) 结合理论与实验研究，探索了惯性管调相及热端温度对微型脉管制冷机制冷性能的影响规律，并提出了针对微型脉管制冷机的调相建议。

研究发现，随着制冷机尺寸减小和频率升高，制冷性能对惯性管长度变化更加敏感。微型制冷机惯性管长度仅变化 $10\text{--}20$

mm 就会显著影响无负荷最低温度和最优运行频率。因此，在实际应用中，需将惯性管长度优化控制在 $10\text{--}20$

mm 范围内，并相应调整运行频率，以确保最优匹配。热端温度对微型脉管制冷机制冷量和相对卡诺效率有显著影响，尤其在 303 K 至 283 K 的常见环境散热温度范围内。每降低 10 K 热端温度， 77

K 时的制冷量可提高 13.28% 至 3.45% ，相对卡诺效率提高 12.59% 至 4.38% 。各部件焓流分析表

明，随着热端温度降低，冷端的PV功增大，从而提升制冷量。由于微型脉管制冷机需满足特定应用的最小冷量要求，热端温度波动会导致制冷量变化超过10%，这对实际应用中的环境适应性提出了更高要求。测试得到的实验数据可为实际应用提供有价值的参考。

(2) 根据理论计算和运行特性优化的结构参数，研制了气浮轴承压缩机驱动的微型脉管制冷机样机。输入66 W电功时，77 K制冷量为1.73 W，达到目前公开报道的1 kg以下77 K温区脉管制冷机的最大制冷量。

基于耦合重量与制冷量的优化设计，并结合惯性管调相和热端温度对运行特性的研究，最终研制的微型脉管制冷机样机整机重量为948.4 g。在热端温度298 K、运行频率115

Hz、充气压力4 MPa条件下，输入66 W电功时，77 K制冷量为1.73

W，达到了当前国内外报道的1 kg以下77

K温区微型脉管制冷机的最大制冷量。在冷端装有15 g铜块负载的情况下，从室温降至77 K的时间为8分钟，降温速度快，最低无负荷温度为53.9 K。

通过这一项目的实践，我不仅提高了自己的工程思维能力，还积累了丰富的设计、制造和优化测试的操作经验。在理论与实践的结合中，我深刻体会到综合运用所学知识解决复杂工程问题的重要性。微型脉管制冷机的研究不仅推动了相关技术的发展，也为我未来的工程实践奠定了坚实的基础。

(二) 取得的业绩(代表作)【限填3项, 须提交证明原件(包括发表的论文、出版的著作、专利证书、获奖证书、科技项目立项文件或合同、企业证明等)供核实, 并提供复印件一份】

1. 公开成果代表作【论文发表、专利成果、软件著作权、标准规范与行业工法制定、著作编写、科技成果获奖、学位论文等】

成果名称	成果类别 [含论文、授权专利(含发明专利申请)、软件著作权、标准、工法、著作、获奖、学位论文等]	发表时间/授权或申请时间等	刊物名称/专利授权或申请号等	本人排名/总人数	备注
Study on the refrigeration performance of a miniature pulse tube cryocooler driven by a gas bearing compressor	国际期刊	2024年10月01日	Applied Thermal Engineering	2/6	SCI期刊收录

2. 其他代表作【主持或参与的课题研究项目、科技成果应用转化推广、企业技术难题解决方案、自主研发设计的产品或样机、技术报告、设计图纸、软课题研究报告、可行性研究报告、规划设计方案、施工或调试报告、工程实验、技术培训教材、推动行业发展中发挥的作用及取得的经济社会效益等】

(三) 在校期间课程、专业实践训练及学位论文相关情况

课程成绩情况	按课程学分核算的平均成绩： 92 分
专业实践训练时间及考核情况(具有三年及以上工作经历的不作要求)	累计时间： 1.1 年(要求1年及以上) 考核成绩： 93 分

本人承诺

个人声明：本人上述所填资料均为真实有效，如有虚假，愿承担一切责任，特此声明！

申报人签名：何伊静

浙江大学研究生院
攻读硕士学位研究生成绩表

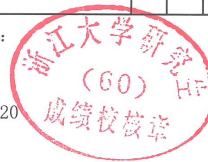
学号: 22260161	姓名: 何伊静	性别: 女	学院: 工程师学院	专业: 能源动力	学制: 2.5年						
毕业时最低应获: 26.0学分	已获得: 29.0学分			入学年月: 2022-09	毕业年月:						
学位证书号:			毕业证书号:			授予学位:					
学习时间	课程名称	备注	学分	成绩	课程性质	学习时间	课程名称	备注	学分	成绩	课程性质
2022-2023学年秋季学期	智慧能源工程案例分析		2.0	92	专业学位课	2022-2023学年春季学期	数学建模		2.0	97	专业选修课
2022-2023学年秋季学期	工程技术创新前沿		1.5	90	专业学位课	2022-2023学年春季学期	自然辩证法概论		1.0	89	公共学位课
2022-2023学年秋季学期	新时代中国特色社会主义思想理论与实践		2.0	95	公共学位课	2022-2023学年夏季学期	工程师创新创业思维		2.0	99	专业选修课
2022-2023学年冬季学期	智慧能源系统工程		2.0	95	专业学位课	2022-2023学年春夏学期	工程伦理		2.0	93	公共学位课
2022-2023学年冬季学期	综合能源系统集成优化		2.0	89	专业选修课	2022-2023学年春夏学期	高阶工程认知实践		3.0	93	专业学位课
2022-2023学年冬季学期	低碳能源系统理论与设计		2.0	95	专业选修课	2022-2023学年夏季学期	研究生英语基础技能		1.0	80	公共学位课
2022-2023学年冬季学期	产业技术发展前沿		1.5	93	专业学位课	2022-2023学年夏季学期	研究生论文写作指导		1.0	91	专业学位课
2022-2023学年秋冬学期	研究生英语		2.0	88	公共学位课		硕士生读书报告		2.0	通过	

说明: 1. 研究生课程按三种方法计分: 百分制, 两级制(通过、不通过), 五级制(优、良、中、及格、不及格)。
2. 备注中“*”表示重修课程。

学院成绩校核章:

成绩校核人: 张梦依

打印日期: 2025-03-20



经检索《Web of Science》的《Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED)》数据库，下述论文被《SCI-EXPANDED》收录。（检索时间：2024年10月24日）

第1条，共1条

标题:Study on the refrigeration performance of a miniature pulse tube cryocooler driven by a gas bearing compressor

作者:Zhi, XQ(Zhi, Xiaoqin);He, YJ(He, Yijing);Yang, ZX(Yang, Zhixiang);Zhu, HF(Zhu, Haifeng);Ying, KK(Ying, Kongkuai);Qiu, LM(Qiu, Limin);

来源出版物:APPLIED THERMAL ENGINEERING 卷:258 文献号:124508

DOI:10.1016/j.applthermaleng.2024.124508 出版年:JAN 1 2025

入藏号:WOS:001333234400001

文献类型:Article

地址:

[Zhi, Xiaoqin; He, Yijing; Yang, Zhixiang; Qiu, Limin] Zhejiang Univ, Inst Refrigerat & Cryogen, Hangzhou 310027, Peoples R China.

[Zhu, Haifeng] Zilang Sci & Technol City, Nantong Yangtze Delta Acad Intelligent Sensing, Nantong 226000, Peoples R China.

[Ying, Kongkuai] Chinese Acad Sci, Shanghai Inst Tech Phys, 500 Yu Tian Rd, Shanghai 200083, Peoples R China.

通讯作者地址:

Qiu, LM (corresponding author), Zhejiang Univ, Inst Refrigerat & Cryogen, Hangzhou 310027, Peoples R China.

电子邮件地址:limin.qiu@zju.edu.cn

IDS号:I9F3J

ISSN:1359-4311

eISSN:1873-5606

注:

1. 以上检索结果来自 CALIS 查收查引系统。
2. 以上检索结果均得到委托人及被检索作者的确认。





Study on the refrigeration performance of a miniature pulse tube cryocooler driven by a gas bearing compressor

Xiaoqin Zhi^a, Yijing He^a, Zhixiang Yang^a, Haifeng Zhu^b, Kongkuai Ying^c, Limin Qiu^{a,*}

^a Institute of Refrigeration and Cryogenics, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China

^b Nantong Yangtze Delta Academy of Intelligent Sensing, Zilang Science and Technology City, Nantong 226000, China

^c Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, No. 500 Yu Tian Rd, Shanghai 200083, China

ARTICLE INFO

Keywords:

Miniature pulse tube cryocooler
Gas bearing compressor
Hot end temperature
Inertance tube

ABSTRACT

Recent advancements in long-term space exploration, maintenance-free miniature-satellites and drone infrared detections have created a large demand for highly reliable and miniaturized cryocoolers working at 77–150 K. The pulse tube cryocooler (PTC) has no moving part at the cold end, and if driven by a gas bearing linear compressor which has no mechanical fatigue risk, a refrigeration system with high reliability and compactness will be generated. However, very few researches on the cooling performance of PTC driven by gas bearing linear compressor have been reported. In this study, a miniature PTC and gas bearing compressor are developed, with a weight of the whole refrigeration system about 0.97 kg. The maximum cooling capacity reaches 1.73 W at 77 K with input electric power of 66 W. The cooling capacity per unit weight for this cryocooler is 1.78 W/kg at 77 K, which is the highest compared to those of the existing typical miniature cryocoolers, showing its remarkable lower mass for refrigeration. In addition, the influence of the hot end heat dissipation temperature on the cooling performance is studied. It is found that the heat dissipation temperature of the hot end has a significant effect on the cooling performance. For every 10 K decrease in the hot end temperature, the maximum cooling capacity at 77 K increases by 3.45 % to 13.28 %, the relative Carnot efficiency rises by 4.38 % to 12.59 %. Besides, in the miniature PTC, the cooling performance is very sensitive to the length of the inertance tube, even a small change of 10–20 mm on the length of the inertance tube will lead to obvious effect on the optimum frequency and cooling performance of the system. These results will be helpful for the further research and development of the miniature pulse tube cryocoolers.

1. Introduction

Cryocoolers working at 77 K–150 K with high reliability and miniaturization (cooling capacity < 2 W, weight < 1 kg) are significant cooling systems for the infrared detectors, optical sensors, and low-temperature communication devices used in the long-term space explore, miniature satellites, maintenance-free UAVs and so on [1–3]. Stirling cryocoolers driven by traditional flexure spring linear compressors or rotary compressors, represent the most common miniature cryocooler in many military and space applications [4]. However, it has obvious shortcomings in vibration interference and reliability due to the moving displacer at the cold end, and the mechanical fatigue risk of the flexure support in the linear compressor. At present, most of the miniature Stirling cryocoolers have a lifetime about 2,000–40,000 h [5–8]. In contrast, the pulse tube cryocooler has no moving displacer at the cold

end, which shows much better performance in reliability and compactness. Besides, compared to traditional linear compressors supported by flexure spring bearing, recently developed gas bearing linear compressors fundamentally eliminate all mechanical wear between the piston and the cylinder. Therefore, combining the gas bearing linear compressor with a pulse tube cryocooler, generates a refrigeration system with ultra-high reliability, low vibration at the cold end, and compactness, making it a very promising refrigeration technology for the future [9–12].

At present, gas bearing compressors have been used to drive Stirling cryocoolers [13], but there are few reports on driving pulse tube cryocoolers. To address the demand for long-life cryocoolers in long-term deep space exploration, Zhou et al. [14] developed a two-stage pulse tube cryocooler driven by a gas bearing compressor. Zhi et al. [15] investigated the impact of regenerator packing on two-stage pulse tube

* Corresponding author.

E-mail address: limin.qiu@zju.edu.cn (L. Qiu).