

# 脉管型斯特林制冷机的实验研究

王晓新 郭有仪 边绍雄

(西安交通大学能源与动力工程学院,西安 710049)

郭方

(化工部第六设计院)

(收稿日期 1996—01—22)

## EXPERIMENTAL STUDY OF STIRLING REFRIGERATOR WITH A PULSE TUBE

Wang Xiaoxin Guo Youyi Bian Shaoxiong

(Institute of Energy and Power Engineering, Xian Jiaotong University, Xian 710049)

Guo Fang

(Designing Institute No. 6, Ministry of Chemical Engineering)

**Abstract:** Utilization possibility of Stirling refrigerator with a pulse tube in refrigeration temperature range was analysed and studied. The performance of Stirling refrigerator with a pulse tube was compared to that of pure Stirling refrigerator by the means of experiment. The conclusion that the performance of Stirling refrigerator with a pulse tube was superior to pure Stirling one in temperature range above 245 K was obtained in this paper. The effect of the orifice and length of the pulse tube on the performance of Stirling refrigerator with a pulse tube was also discussed.

**Keywords:** Stirling refrigerator with a pulse tube, Gas cycle refrigeration.

**摘 要:** 对脉管型斯特林制冷机用于普冷的可行性进行了分析研究。用实验的方法对脉管型斯特林制冷机和单纯的斯特林制冷机的性能进行了对比,得出了在 245 K 以上温区脉管型斯特林制冷机的性能优于单纯的斯特林制冷机的重要结论。对小孔和脉管长度变化对脉管型斯特林制冷机性能的影响进行了讨论。

**关键词:** 脉管型斯特林制冷机、气体循环制冷。

由脉管制冷机和斯特林制冷机相结合形成的脉管型斯特林制冷机,可以克服斯特林制冷机在普冷温区的运行压比和起动力矩过大的缺点<sup>[1]</sup>。脉管制冷机的接入是充分利用了脉管制冷机的空容积,又利用了它所具有的制冷能力,从而使制冷机的效率不因压比的降低而降低。西安交通大学制冷机研究组又逐步将分置式斯特林制冷机实用化,现正抓紧研制脉管型斯特林的实用机型。实验是检验制冷机性能、为实用提供依据的重要手段。对脉管型斯特林制冷机样机来说,性能测试尤为重要。本文拟在已有的脉管型斯特林制冷机样机上对其展开实验研究,探讨其在普冷中应用的可能性。

### 1 实验装置

实验装置如图 1 所示。它包括压缩机散热器、推移活塞、回热器、脉管热端换热器、小孔和气库等几部分组成。实验工质采用氮气。脉管型斯特林制冷机的基本结构包括:压缩机的扫气容积、冷端运动活塞的行程和直径、脉管的直径和长度、回热器的直径和长度等。这些参数的选

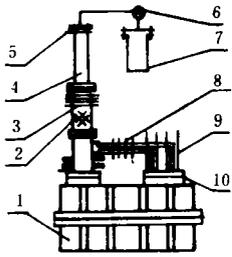


图1 实验系统图

取直接影响着制冷机的整机性能。由于脉管型斯特林制冷机是一种新型的制冷机,目前对于其内部机理的认识尚不完善,故这些参数的选取只能根据已有文献中公开发表的脉管制冷机的实验数据和参数匹配关系以及实验室现有的斯特林制冷机的结构尺寸,并通过数值分析计算而大致确定下来。本文实验中的主要数据如下:脉管长径比为 15 : 1;回热器长径比为 20 : 7;回热器和脉管的内径比为 7 : 3;充气压力为 0.7(绝对压力);工作频率为 23 Hz;冷腔容积为 5.6 mL;压缩腔容积为 20 mL。实验的总体布置方案和测试系统框图见图 2。对

制冷量的测量采用模拟电功率测量,测试方法如图 3 所示。在冷头上均匀地缠绕着数圈电热丝并通以一定强度的电流,同时保持同外界环境的绝热,在某个特定的温度下,电热

1—曲轴箱; 2—回热器和推移活塞; 3—膨胀腔; 4—脉管; 5—热端换热器; 6—一小孔; 7—气库; 8—热端散热片; 9—压缩机散热器; 10—压缩腔

丝产生的热量和冷头的产冷量达到热交换平衡(此时冷头温度保持不变),通过接在电路中的功率表直接读出的电功率就可以看成此温度下脉管所产生的冷量。

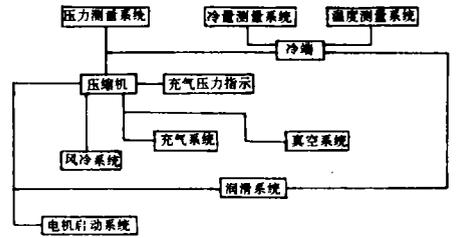


图2 脉管型斯特林制冷机的总体布置框图

### 2 实验结果及讨论

实验主要是对脉管型斯特林制冷机的制冷性能和单纯的斯特林制冷机的性能进行对比,并且对影响脉管型斯特林制冷机的制冷性能的一些结构参数和运行参数进行实验,为确定脉管型斯特林制冷机的最佳参数提供实验依据。

#### 2.1 脉管型斯特林制冷机与单纯的斯特林制冷机的对比

图 4 所示为脉管型斯特林制冷机和单纯的斯特林制冷机降温曲线的对比。脉管容积为 2.5 mL。由图可以看出,脉管型斯特林制冷机所获得的最低温度比单纯的斯特林制冷机的制冷温度要低 6 K 左右。同时亦可发现,脉管型斯特林制冷机的降温速度较慢。这主要是因为制冷机的脉管部分的降温较慢,同时由于加装脉管后,脉管型斯特林制冷机冷头的质量要大于单纯的斯特林制冷机的冷头质量,造成热容量增加,所需消耗的冷量增加,从而延缓脉管型斯特林制冷机的降温速度。

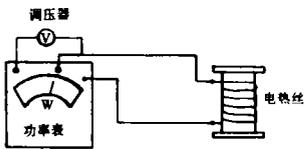


图3 制冷量的电功率模拟测量

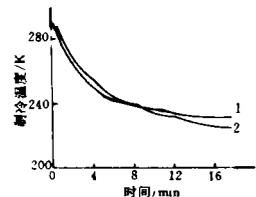


图4 制冷机的降温曲线(曲线1和2分别为单纯型和脉管型斯特林制冷机的实验结果)

图 5 所示为制冷机的制冷量曲线。图中两条线分别代表脉管型斯特林制冷机和单纯的斯特林制冷机的制冷量的变化趋势。从图中可以看出,两条曲线有一个交点,正是这个交点使脉

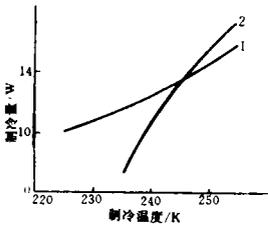


图5 制冷机的制冷量曲线  
(曲线1和2分别为单纯型和脉管型斯特林制冷机的实验结果)

制冷机的压比都增加较快。图6同时表明脉管型斯特林制冷机的压比比单纯的斯特林制冷机的压比低0.08~0.17左右,即约低5%~9%左右,同理论计算结果基本吻合<sup>[2]</sup>。由此可见,在斯特林制冷机上加装脉管,利用脉管的空容积确实可以使原机的压比下降,从而降低原机的起动力矩,可以使用小型电机驱动。

2.2 参数对脉管型斯特林制冷机性能的影响

图7和图8是研究小孔开度变化对性能影响的结果。其中图7显示了小孔开度对制冷机降温曲线的影响,图8是小孔开度对制冷机最低温度的影响。由两图可以看出,对脉管型斯特林制冷机来说,小孔开度有个最佳值,当开度偏离这一位置时,冷头温度就会上升,制冷能力变差。图中表明当小孔完全关闭时,制冷机的性能最差,此时制冷机的脉管部分已成为基本脉管,主要靠表面泵热制冷,而实验中的频率较高达到了23 Hz,因此其表面泵热量将很小。这样,这段脉管就基本上成为制冷机的一段空容积,使得整个制冷机的制冷能力降低。小孔解决了脉管热端压缩不好的状况,并调整系统压力和冷端流量基本保持同相位,使制冷量增大。关于小孔的进一步分析可参见文献[3,4]。总而言之,小孔开度对脉管型斯特林制冷机的制冷工况有着强烈的影响。因此,在小孔阀设计时,应尽可能提高其调节能力,如选用较小的螺距,阀杆头部锥度尽量小一些等等。这样才能在实验过程中更准确地确定小孔的最佳开度。

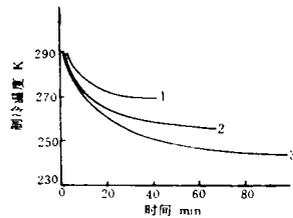


图7 小孔开度对降温曲线的影响  
(曲线1、2、3的开孔度分别为0.38%、72%)

图9所示为脉管长度的变化而引起的制冷能力的变化。由于条件所限,脉管长度仅做了两次改变,一次长度为90 mm,一次长度为70 mm。图中显示,脉管型斯特林制冷机加装的脉管长度从70 mm增加到90 mm时,制冷能力是增强的。按理论计算<sup>[2]</sup>,加装脉管长度也存在一个

管型斯特林制冷机和单纯的斯特林制冷机分别在不同的温区具有不同的性能。单纯的斯特林制冷机在245 K以下的温区制冷量大于脉管型斯特林制冷机,而在245 K以上温区脉管型斯特林制冷机则具有一定的优势。这说明该种新型制冷机用于普冷是较有潜力的。文献[1]中还指出脉管型斯特林制冷机和单纯的斯特林制冷机的制冷系数同制冷量有类似的变化关系。

图6所示为脉管型斯特林制冷机和单纯的斯特林制冷机的压比随充气压力的变化。从图中可以看出,随充气压力的增高,两种

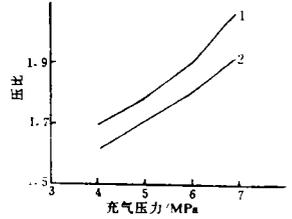


图6 制冷机压比的变化  
(曲线1和2分别为单纯型和脉管型斯特林制冷机的实验结果)

图8小孔开度对最低温度的影响。图中表明当小孔完全关闭时,制冷机的性能最差,此时制冷机的脉管部分已成为基本脉管,主要靠表面泵热制冷,而实验中的频率较高达到了23 Hz,因此其表面泵热量将很小。这样,这段脉管就基本上成为制冷机的一段空容积,使得整个制冷机的制冷能力降低。小孔解决了脉管热端压缩不好的状况,并调整系统压力和冷端流量基本保持同相位,使制冷量增大。关于小孔的进一步分析可参见文献[3,4]。总而言之,小孔开度对脉管型斯特林制冷机的制冷工况有着强烈的影响。因此,在小孔阀设计时,应尽可能提高其调节能力,如选用较小的螺距,阀杆头部锥度尽量小一些等等。这样才能在实验过程中更准确地确定小孔的最佳开度。

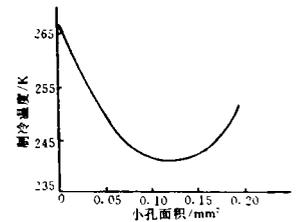


图8 小孔开度对最低温度的影响

最佳值。按实验工况计算,这个最佳值是 82 mm。进一步的实验应采用 82 mm 长或其它长度的脉管加装在斯特林机上进行,以求取制冷温度变化曲线。

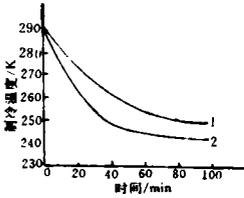


图9 脉管长度对制冷性能的影响  
(曲线1和2的脉管长度分别为70 mm,90 mm)

### 3 结论

在斯特林制冷机上加装脉管后可以降低系统的运行压比,运用小型电机驱动。同时它在 245 K 以上的制冷温区的性能不仅没有降低,制冷量和制冷系数反而比单纯的斯特林制冷机要高。脉管型斯特林制冷机用于普冷具有可行性。对这种新机型进行进一步的理论分析和实验研究,尤其弄清它的制冷机理,是十分必要的。

### 参 考 文 献

- 1 王晓新,边绍雄,郭有仪等. 斯特林制冷机性能改进的实验研究. 西安交通大学学报,1995, 29(5):29~33
- 2 郭方. 脉管型斯特林制冷机的机理分析与实验研究(硕士学位论文). 西安:西安交通大学,1992
- 3 Zhu Shaowei, Wu Peiyi, Chen Zhongqi. Double inlet pulse tube refrigerators—an improvement. Cryogenics, 1990, 30: 253~256
- 4 朱绍伟. 脉管制冷机的热力学原理分析及其重要改进——双向进气脉管制冷机(博士学位论文). 西安:西安交通大学,1990

**作者简介:** 王晓新,男,1968年生于安徽蚌埠。1990年和1993年相继获华中理工大学和西安交通大学制冷与低温工程专业工学学士和硕士学位。现仍在西安交通大学攻读低温专业博士学位。主要研究方向为低温回热式制冷机和低温条件下的强化气固换热研究。已在学术会议和专业杂志上宣读或发表论文十多篇。