第 22 卷第 2 期　　半 导 体 学 报　　Vol. 22, No. 2
2001 年 2 月　　CHINESE JOURNAL OF SEMICONDUCTORS　　Feb., 2001

风冷热电空调器的研制*

张华俊[1]　董晓俊[2]　陶文铨[1]　冯倩莹[1]　邹　挺[2]

(1 西安交通大学能源与动力工程学院, 西安　710049)
(2 深圳大冷王运输制冷有限公司, 深圳　518040)

摘要: 建立了风冷热电空调器数值模拟模型, 对空调器进行了模拟计算. 在对风冷热电空调器研制的基础上, 进行了最佳隔热层厚度、不同结构形式、变工况、变风量和复现性实验, 验证了仿真程序的可靠性, 并应用模拟程序对热电材料的优值系数和空调器冷、热端的传热系数进行了分析.

关键词: 热电制冷; 空调器; 模拟; 实验
EEACC: 8630M; 0720M; 4725Q; 0630; 7220P
中图分类号: TMP25.12　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 0253-4177(2001)02-0220-04

1　引言

目前, 制冷系统中使用的制冷剂 CFCs 和 HCFCs 等对大气臭氧层有一定的破坏作用. 传统的制冷技术由于大量使用该类制冷剂而面临新的抉择. 在寻找替代工质的同时, 人们也把目光投向了新的制冷方法的研究.

半导体制冷具有独特的优点: 无噪声、寿命长、可靠性高、结构简单、体积小、小功耗冷却、可反向加热、效率不随体积变化、无污染等, 这些都是机械压缩式制冷所不能比拟的, 在这一领域进行广泛深入的研究无疑具有深远的意义.

由于热电空调器具有抗振、耐压、无制冷剂泄漏和使用直流电等一系列优点, 因此在核潜艇、水面舰艇、深潜加压舱、潜水器、军用通讯车、铁路客车及地下工程等特殊场合得到应用[2-4]. 目前, 半导体制冷器的研究已成为人们关注的一个重要课题[5,6]. 热端采用水冷的热电空调器的研究在我国已有一定程度的发展, 已研制了多种型号的热电空调器[2]. 这些空调器多用于军事等特殊的场合. 而开发应用于民用设备上, 热端采用风冷的热电空调器在国内还未曾见公开报道过. 这方面的文献也很少. 本文将在这方面作一些探索性研究工作.

当然, 由半导体制冷器制成的空调器, 除在一些特殊要求的场合外, 在市场上目前还很少见. 这主要是由于器件昂贵且转换效率较低造成的. 如果在器件材料的性能方面能够有所突破, 或者能够设法使材料成本降低, 则这种空调器仍大有发展前景.

2　数学模型

本文采用稳态模型进行模拟计算. 又因为半导体制冷块的复现性比较好, 所以针对一对换热器上对称的两块制冷块本文取集中参数, 而对于不同对的换热器应用分布参数法进行模拟. 热电空调器系统数学模型包括热电转换方程和冷、热端空气热平衡方程两部分.

2.1　热电转换方程

2.1.1　产冷量方程

若冷热端温差为 ΔT, 传热系数为 k, 温差电动势率为 α, 冷端温度为 T_c, 导体电阻为 R, 当通过电流 I 时, 单个热电偶的纯产冷量为:

$$Q'_0 = \alpha T_c I - \frac{1}{2} I^2 R - k\Delta T \qquad (1)$$

* 西安交通大学科学研究基金资助项目.
张华俊　男, 1962 年出生, 副教授, 现从事热电制冷与空调等制冷及空调技术方面的教学和科研工作.
1999-11-14 收到, 2000-01-22 定稿
©2001 中国电子学会

则 n 对热电偶的产冷量为:

$$Q_0 = nQ'_0 \tag{2}$$

2.1.2　消耗的电功率方程

单个热电偶上的电压为 U', 其消耗的电功率为:

$$W' = IU' = I^2R + \alpha I\Delta T \tag{3}$$

则 n 对热电偶消耗的电功率为:

$$W = nW' \tag{4}$$

2.1.3　制冷系数方程

$$\epsilon = \frac{Q_0}{W} = \frac{\alpha I T_c - \frac{I^2R}{2} - k\Delta T}{I^2R + \alpha I\Delta T} \tag{5}$$

2.2　空调器冷、热端空气热平衡方程

2.2.1　冷端空气热平衡方程

若比焓为 h, 面积为 F, 下标 c、0 代表冷端, 下标 a 代表空气端, 则

$$Q_0 = G_{0a}\Delta h_0 = k_0F_0(T_{0a} - T_c) \tag{6}$$

2.2.2　热端空气热平衡方程

下标 h、1 代表热端

$$Q_h = k_1F_1(T_h - T_{ha}) \tag{7}$$

由式(6)、(7)可知, 求解冷、热端负荷的关键是确定各自的传热系数 k_0、k_1, 详细计算见文献[1].

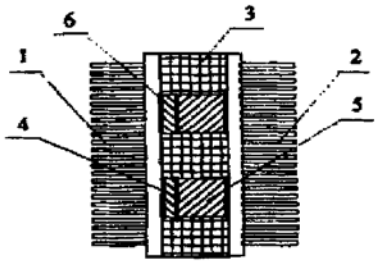
3　实验部分

3.1　制冷器制作

本实验单元采用的是一对散热片之间固定两块制冷块以构成一完整的热电制冷器(以下简称制冷器)的结构. 把制冷块的热端与散热片直接接触以减少导热热阻和接触热阻, 以利于热端的散热; 而把铝片垫在冷端散热片与制冷块之间, 增加两散热片之间隔热层的厚度以减少热端通过隔热层向冷端传导的热量, 在两散热片之间及组件周围填充聚氨酯泡沫隔热层. 整个组合结构见图 1 所示.

3.2　热电空调器结构设计

热电空调器是在上述制冷器的基础上制成的. 如图 2 所示, 空调器的两侧分别由单个制冷器组合而成. 每侧分别放置 4 对这样的半导体制冷器.



1—制冷器热端; 2—制冷器冷端; 3—聚氨脂隔热层; 4—半导体制冷块; 5—铝块; 6—导热硅脂.

图 1　制冷器组装图

FIG. 1　Structure of Refrigeration System

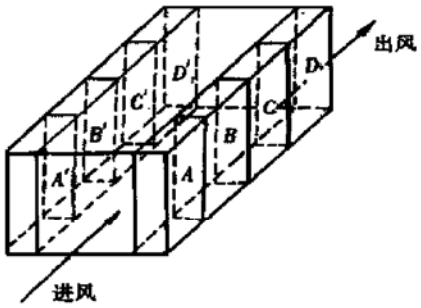


图 2　热电空调器结构

FIG. 2　Structure of Thermoelectric Refrigeration

3.3　实验测试及其结果

3.3.1　制冷器冷、热端换热器之间最佳隔热层厚度的实验测试

制冷器冷、热端换热器之间隔热层的厚度对热电空调器的性能影响较大, 隔热层厚了, 制冷块冷端与冷端换热器之间所垫的铝块厚度增大, 冷端的导热热阻增大, 不利于冷端冷量的转移; 隔热层薄了, 制冷器的热端换热器向冷端的传导热量就增加, 这样使制冷器产生的一部分冷量被抵消, 因此对制冷器是不利的. 本文通过实验找出最佳的隔热层厚度为 16mm 左右.

3.3.2　空调器整机变工况性能实验

本实验对热电空调运行的室内、室外温度都进行了改变, 即实验时每对应一种室外温度来改变室内的温度, 这里室内、室外温度都先后改变了三种情况. 这样对九种工况运行参数进行测定. 实验结果表明: 随室内温度的上升(此时室外温度保持不变), 空调器冷热端温度、制冷量和制冷系数均上升, 功耗下降; 随室外温度的上升(此时室内温度保持不变), 空调器冷热端温度和功耗均上升, 制冷量和制冷系数

均下降.

3.3.3 标准工况下空调器冷端变风量实验

利用柜式空调机把室内温度调整到标准工况并保持稳定状态,然后通过调节冷端进风管上的调节风门的开启度调节进风量,在每个进风量下使空调器在不同的电流强度下运行来测量热电空调器的运行参数,测定冷端不同风量对空调器性能的影响. 当热电空调器冷端进风量为 $0.04m^3/s$,最佳电流为 4.56A 的情况下,空调器的制冷量为 276W、功耗为 805W、制冷系数为 0.34. 由实验可知:随热电空调器冷端进风量的增加,空调器冷热端温度、制冷量和制冷系数均上升,功耗下降.

3.3.4 半导体热电堆复现性实验

通过选定空调器对称位置上的两个半导体制冷块来测定其冷、热端的温度,以此来判定制冷块的复现性的好坏. 实验结果表明此热电制冷块的复现性较好.

3.3.5 冷端热电堆制冷块不同布置形式实验

本文对该空调器中的其中四对八块热电堆制冷块的不同布置形式进行实验,实验分别把这四对热电堆布置在风道相同的一侧和相对的两侧(两两对称地布置在两侧). 通过这两组对比实验,测定冷端热电堆制冷块不同布置形式对空调器性能的影响. 由实验可以看出热电堆制冷块的不同布置形式对热电空调器的性能影响不大.

4 模拟程序应用

通过以上的实验结果验证了模拟程序的正确性. 应用模拟程序对热电材料的优值系数和空调器冷、热端的传热系数进行预测. 结果如下:

(1) 随热电材料优值系数的增加,空调器的制冷量、制冷系数均增加,但组成优值系数的三个参数对制冷量、制冷系数影响程度不同. 相同温差下,温差电动势率的变化对制冷量的影响最大,电阻率其次,影响最小的为热导率;而电阻率的变化对制冷系数的影响最大,其次是温差电动势率,影响最小的为热导率.

值得注意的是:优值系数中所包含的三个物理参数温差电动势、电阻和热导的值是互相联系的,他们的大小主要取决于电荷载体(电子或离子)的浓度,其中随载荷体密度增大,温差电动势和电阻下降,而热导上升,所以优值系数存在峰值. 各种材料不同,优值系数不同,而且各种材料优值系数与温度有关. 目前适合低温制冷的半导体材料并不多.

(2) 随冷、热端的传热系数的增加,空调器的制冷量、制冷系数增加. 但热端传热系数的增加对空调器的制冷量、制冷系数的影响要比冷端传热系数大. 另外,每个半导体热电堆的热端温度都有其最高的容许温度值. 如果超过了这个容许值,则热电堆有可能烧坏. 所以在设计热电空调器过程中尤其要注意增大热端的传热系数.

5 结论

(1) 开发风冷热电空调器是完全可行的,它可以在较广阔的工况范围内正常运行;

(2) 从实验的测试结果来看,目前热端采用空气冷却的热电空调器的效率较低、成本较高,因而作为民用产品市场化有一定局限;

(3) 要想提高风冷热电空调器效率、降低成本可从提高材料的优值系数、强化冷热端的传热系数入手. 其具体措施是:寻找更好的半导体材料,或通过在材料中掺入一定数量的杂质,以提高材料的利用率,降低成本,改进材料性能;进一步改进制作工艺,优化热电元件的尺寸;尽可能提高散热片的传热系数,如改变翅片形状,提高空气流速,以及减少电绝缘导热层附加热阻,尽量消除热电堆与散热片之间连接处的接触热阻等.

参考文献

[1] DONG Xiaojun, Development and Investigation of Air-Cooled Thermoelectric Air-Conditioner, Master Thesis of Xi'an Jiaotong University, 1998(in Chinese).

[2] XU Desheng, Semiconductor Refrigeration and it's Application, Publishing House of Shanghai Jiaotong University, 1992, 181—214.

[3] ZHONG Guangxue, Semiconductor Refrigerator and it's Application, Beijing: Science Press, 1989, 253—276.

[4] ZAN Yude, LI Ruiyun, WANG Jun, LIN Lanying *et al.*, Chinese Journal of Semiconductors, 1999, **20**(8): 733—736.

[5] XUAN Xiangchun, WANG Weiyang *et al.*, Chinese Journal of Semiconductors, 1999, **20**(7): 606—611.

[6] WU Liqing, CHEN Jincan, YAN Zijun *et al.*, Chinese Journal of Semiconductors, 1997, **18**(6): 448—453.

Development and Investigation of Air-Cooled Thermoelectric Air-Conditioner*

ZHANG Hua-jun[1], DONG Xiao-jun[2], TAO Wen-quan[1], FENG Qian-ying[1] and ZOU Ting[2]

(1 *School of Energy and Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China*)

(2 *Shenzhen Thermo King Dalian Transport Refrigeration Co. Ltd, Shenzhen 518040, China*)

Abstract: In order to protect environment, it is very important to explore a new refrigeration method. For its unique characteristic, thermoelectric refrigeration is applied in some conditions. Numerical simulation has been developed for the air-cooled thermoelectric air-conditioner by experimental simulation on heat-insulating materials with different thickness, structure-shapes, work-conditions and air-flow capacities. The model and the method have been verified. The effects of the figure of merit of thermoelectric material and the heat transfer coefficient of cool/heat side on the performance of the air-conditioner are analyzed by the model.

Key word: thermoelectric refrigeration; air-conditioner; simulation; experiment

EEACC: 8630M; 0720M; 4725Q; 0630; 7220P

Article ID: 0253-4177(2001)02-0220-04

* Project Supported by Science and Technology Foundation of Xi'an Jiaotong University.

ZHANG Hua-jun was born in 1962, associate professor, his current research interest is in the fields of thermoelectric refrigeration, refrigeration and airconditioner.

Received 14 November 1999, revised manuscript received 22 January 2000

©2001 The Chinese Institute of Electronics