

工作电压对半导体冷藏箱运行性能的影响

张 奕, 杨节标, 汤雯雯, 王 卉

(南京师范大学 动力工程学院, 江苏 南京 210042)

[摘要] 针对设计制造的水冷式半导体冷藏箱实验系统, 通过实验测量及理论计算, 研究了冷藏箱运行性能与半导体制冷片工作电压的关系。结果表明, 工作电压越高, 半导体耗电量越大。制冷片存在最大制冷量工况, 制冷温度随着工作电压的增加而降低, 12 V 是半导体获得较大制冷量和较低制冷温度的最佳工作电压。半导体热端向冷端的导热随工作电压的增加而增加, 因此半导体在较低工作电压下具有更高的制冷系数。研究结果可为半导体冷藏箱选择合适的工作电压提供依据。

[关键词] 半导体制冷, 工作电压, 制冷量, 制冷温度, 制冷系数

[中图分类号] TU 831 [文献标识码] A [文章编号] 1672-1292(2008)03-0017-04

Impact of Operating Voltage on Performance of a Semiconductor Refrigerator

Zhang Yi, Yang Jiebiao, Tang Wenwen, Wang Hui

(School of Power Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing 210042, China)

Abstract A semiconductor refrigerator with a water-cooled hot side was designed and constructed to investigate impact of operating voltage on performance of the refrigerator. Relationship between performance of the refrigerator and operating voltage was analyzed by experimental data and theoretical calculation results. Results show that electricity consumed by the refrigerator increases with operating voltage. The refrigerator can reach lower temperature with higher operating voltage. When the operating voltage is 12V, the refrigerator can achieve highest refrigerating output and lowest temperature. The refrigerator operates at lower COP level while operating voltage is higher. The results are useful for the design and operation of semiconductor refrigerator.

Key words semiconductor refrigeration, operating voltage, refrigerating output, refrigeration temperature, coefficient of performance(COP)

半导体和金属组成的电路中接入直流电, 在金属与半导体的接触处将产生明显的珀尔帖效应, 即半导体和金属的一个接触面温度下降, 低于环境温度成为冷端, 另一个接触面温度上升, 高于环境温度成为热端。改变直流电的方向, 半导体冷端、热端位置同时改变^[1]。所以半导体可以作为制冷、制热元件使用。

相比于蒸汽压缩等制冷方式, 半导体制冷具有无需压缩机、制冷剂, 制冷启动迅速, 结构简单, 噪音小等优点。虽然半导体制冷的制冷系数远小于蒸汽压缩制冷, 由于半导体制冷具有制冷器体积小、安装方便等优点, 因此在电子元件冷却、小型制冷设备、军事、医疗设备、科研等领域都有很多应用。特别是近年来随着我国人民生活水平的提高, 半导体制冷在小型移动冰箱、饮水机、除湿机等家用领域的应用迅速推广。

工作电压对半导体冷藏箱运行性能具有重要影响。Huang B J等^[2]对热电制冷的制冷量、制冷系数、耗电量、冷、热端温度及温度差和半导体工作电压、电流的关系进行了研究, 并提供了半导体制冷系统的优化设计方法。Vian JG^[3]对二级半导体制冷除湿器中当二级半导体分别处于不同电压时, 除湿器的 COP、除湿量的情况进行了研究, 提出了半导体运行最佳电压的计算方法。王宏杰等^[4, 5]提出了热电制冷系统设计的两个优化准则, 并给出确定半导体最佳工作电流范围的方法。王凯等^[6]对小型半导体制冷装置的工作电流、功耗与制冷系数、制冷量、冷热端温度差的关系进行了实验研究。任欣等^[7]给出了半导体制冷器在最佳工况下运行时, 工作电流和制冷量的近似公式。

收稿日期: 2008-05-16

基金项目: 江苏省普通高等学校自然科学研究计划(06KJ480097)资助项目。

通讯联系人: 张 奕, 副教授, 研究方向: 建筑节能与储能。E-mail: zhangy@njnu.edu.cn

本文对水冷式半导体冷藏箱在不同电压下工作时, 冷藏箱的耗电量、制冷量、制冷系数、制冷温度、冷端温度及热端温度的变化情况进行研究, 以得到工作电压对这种冷藏箱运行性能的影响规律。

1 理论分析

当冷藏箱温度稳定时, 半导体制冷片的制冷量 Φ_c 等于冷藏箱从箱外环境的吸热量及冷端散热风扇发热量之和, 即:

$$\Phi_c = P + KA_b(t_s - t_b), \tag{1}$$

式中, P 为冷端散热风扇的电功率; K 为冷藏箱外环境和箱内空气间的传热系数; A_b 为冷藏箱传热面积; t_s 为箱外空气温度; t_b 为箱内空气温度。

在半导体制冷片的热端, 热端和冷却水的传热量等于半导体的焦尔热 UI 及半导体制冷量 Φ_c 之和, 因此下式成立:

$$\Phi_c + UI = h_r A_h(t_h - t_f), \tag{2}$$

式中, U, I 为半导体的工作电压和工作电流; h_r 为半导体热端和冷却水间的对流传热系数; A_h 为热端传热面积; t_h 为半导体热端表面温度; t_f 为热端冷却水温度。

在半导体制冷片的冷端使用肋片式散热器强化传热, 半导体的制冷量 Φ_c 等于冷端散热器与箱内空气的传热量, 即:

$$\Phi_c = h_c A_c \eta_f(t_b - t_c), \tag{3}$$

式中, h_c 为箱内空气与冷端散热器的对流传热系数; A_c 为冷端散热器的传热面积; η_f 为散热器的肋片效率; t_c 为半导体的冷端温度。

考虑冷端散热风扇消耗的电能, 半导体冷藏箱的制冷系数 COP 由下式计算:

$$COP = \frac{\Phi_c}{UI + P}. \tag{4}$$

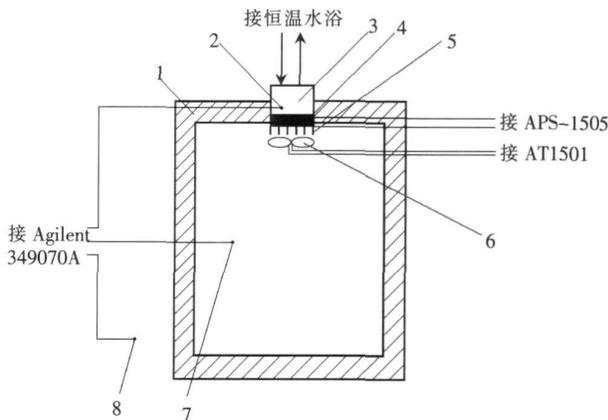
2 实验研究

为了研究半导体冷藏箱运行性能和工作电压的关系, 设计制造了一套水冷式半导体冷藏箱实验台, 如图 1 所示。冷藏箱中使用的是 TEC1-12706 型半导体制冷片, 外形尺寸为 40 mm × 40 mm × 3.9 mm; 最大工作电压 15.2 V; 最大工作电流 6 A; 最大制冷量 56.5 W; 热端、冷端最大温差 65℃。

冷藏箱由有机玻璃制成, 外敷 5 cm 塑料泡沫保温。制冷片冷端用散热翅片 + 风扇进行空气强迫对流传热, 散热翅片为铝质翅片, 风扇额定工作电压 12 V, 电流 0.08 A。使用 testo425 型热球风速仪测量风扇风速, 并由风速计算空气和冷端散热器的对流传热系数 h_c 。制冷片热端用冷却水进行冷却, 冷却水由 HS-6 型标准恒温水槽提供, 恒温水槽对水温的控制精度为 ±0.1℃。热端水的流速用体积法测量, 并由水的流速计算热端对流传热系数 h_r 。

使用 APS-1505 型稳压直流电源为半导体提供直流电, AT1501 型稳压直流电源为冷端风扇提供电源。这两个电源上都具有 2.5 级的电压表和电流表, 对负荷的电流、电压进行测量。

使用 3 支 K 型热电偶对箱外空气、箱内空气以及热端冷却水温度进行测量。热电偶、Agilent34970A 型数据采集仪及计算机组成温度的测量、采集和记录系统, 温度测量系统经过精密水银温度计标定, 测温精



1.箱体; 2.冷却水温测; 3.冷却水室; 4.半导体制冷片; 5.散热器; 6.风扇; 7.制冷温度测点; 8.环境温度测点

图 1 水冷式半导体冷藏箱实验系统示意图

Fig.1 Schematic diagram of the water-cooled thermoelectric refrigerator

度为 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。冷藏箱所处室内环境温度使用空调器控制,实验中室内温度变化幅度约为 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

为了研究半导体制冷片工作电压对冷藏箱运行性能的影响,实验中控制其余参数不变,仅改变半导体工作电压,通过测量制冷温度、半导体工作电流等参数的变化,使用式(1)~式(4)计算半导体冷藏箱运行性能参数的变化情况。

3 结果与讨论

半导体工作电压的改变会引起半导体工作电流、耗电量、制冷量、制冷温度、制冷系数、热端温度、冷端温度等一系列运行性能的变化。

图2是半导体在不同工作电压下,经测量及计算得到的半导体耗电量、制冷量及制冷系数的变化情况。从图2可以看出,随着半导体工作电压的增加,半导体耗电量增加。工作电压增加的同时,半导体的工作电流也变大,因此工作电压较高时,耗电量的增加速率越大。

图2反映出,半导体制冷存在着最大制冷量工况,这和热电制冷的理论分析结果是一致的^[1]。在实验条件下,最大制冷量工况对应的工作电压约为13V。半导体在较低的工作电压下,制冷量增加速率较快。当电压在12V~14V之间变化时,制冷量几乎保持不变。

随着工作电压的增加,半导体的制冷系数总是减小的,在较小的电压下,半导体具有较高的制冷系数,并且制冷系数的减小速率也较快。

综合图2可知,半导体冷藏箱在实验范围内的最低电压下运行时,耗电量是最高工作电压时的19%,制冷量是最高电压时的77.2%,制冷系数是最高工作电压时的3.7倍。因此,半导体冷藏箱在较低的工作电压下运行具有更好的性能。

图3是不同工作电压下,制冷温度,以及半导体冷端温度和热端温度的变化情况。由图3可知,随着半导体工作电压的增加,制冷温度和冷端温度下降。当电压在12V~14V之间变化时,制冷温度和半导体冷端温度几乎不随电压的增加而下降。增加工作电压时,热端温度持续变大,并且热端和冷端的温差也连续增加。经计算,半导体工作电压为14V时的热端、冷端温度差是工作电压为6V时的1.67倍。这意味着,工作电压为14V时热端向冷端的导热是6V时的1.67倍,这显然不利于半导体获得较高的制冷性能系数。

因此,在较高的工作电压下,半导体冷藏箱可以获得更低的制冷温度。但当工作电压大于12V时,增加电压所导致的制冷温度下降是非常微弱的。工作电压越高,热端向冷端的导热越大,这不利于半导体制冷性能系数的提高。

4 结论

工作电压对半导体冷藏箱的工作性能具有非常重要的影响。在本文所使用的半导体冷藏箱实验装置及实验方法下,半导体制冷性能和工作电压间具有以下关系:

(1) 工作电压越高,半导体耗电量越大。半导体存在最大制冷量工况,在最大制冷量工况附近,工作电压改变所引起制冷量的变化很小。12V是实验用半导体制冷片获得较大制冷量所应取的最大工作电压。工作电压越高,半导体的工作性能系数越低。

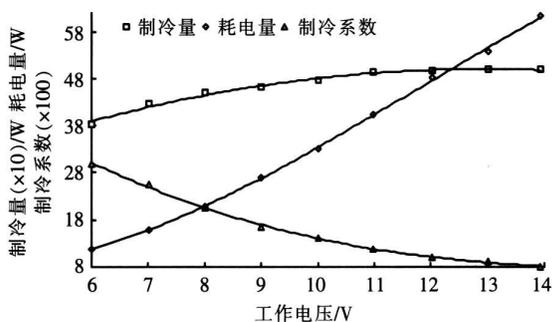


图2 不同工作电压时冷藏箱的制冷量、耗电量和制冷系数曲线
Fig.2 Variations of refrigerating output, consumed electricity, and COP with operating voltage

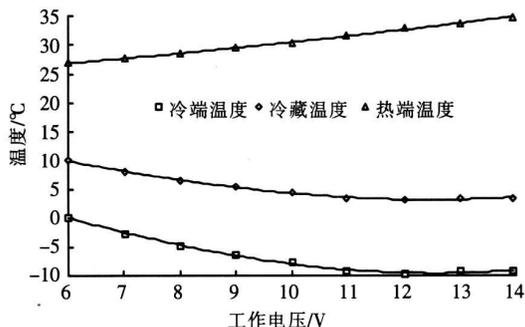


图3 制冷温度、冷端温度、热端温度和工作电压关系量和制冷系数曲线

Fig.3 Variations of refrigeration temperature, cold and hot side temperature with operating voltage

(2) 工作电压越高, 半导体冷藏箱的制冷温度越低, 但是在 12 V 以上增加工作电压并不能使制冷温度显著降低. 12 V 是本实验系统获得较低制冷温度所应取的最大工作电压. 半导体热端和冷端的温度差随着工作电压的增加而增加, 这导致热端向冷端导热量的增加. 因此, 半导体工作电压的降低有利于制冷性能系数的提高.

[参考文献] (References)

- [1] 吴业正, 韩宝琦. 制冷器 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1990
Wu Yezheng Han Baoqi Refrigerator[M]. Beijing China Machine Press 1990 (in Chinese)
- [2] Huang B J, Chin C J, Duang C L. A design method of thermoelectric cooler [J]. International Journal of Refrigeration, 2000, 23(3): 208-218.
- [3] V ın J G, Astran D, Dominguez Z M. Numerical modeling and a design of a thermoelectric dehumidifier [J]. Applied Thermal Engineering, 2002, 22(4): 407-422.
- [4] 王宏杰, 杜家练, 陈金灿. 半导体制冷系统性能特性优化 [J]. 制冷, 1999, 18(4): 54-58
Wang Hongjie Du Jialian Chen Jincan Optimization on the performance characteristics of a semiconductor refrigeration system [J]. Refrigeration, 1999, 18(4): 54-58 (in Chinese)
- [5] 王宏杰, 陈金灿. 耦合半导体制冷系统性能特性的优化分析 [J]. 半导体学报, 2001, 22(7): 938-943
Wang Hongjie Chen Jincan Optimal analysis of performance characteristics of combined semiconductor refrigeration system [J]. Chinese Journal of Semiconductors, 2001, 22(7): 938-943 (in Chinese)
- [6] 王凯, 揭其良, 荣军. 小型半导体制冷器工作特性的实验研究 [J]. 材料与冶金学报, 2003, 2(1): 77-80
Wang Kai Jie Qiliang Rong Jun Experimental research on small semiconductor refrigeration device [J]. Journal of Materials and Metallurgy, 2003, 2(1): 77-80 (in Chinese)
- [7] 任欣, 张鹏. 有限散热强度下半导体制冷器性能的实验研究 [J]. 低湿工程, 2003(4): 57-62
Ren Xin Zhang Peng An experimental research on performance of thermoelectric refrigerator under limited cooling intensity [J]. Cryogenics, 2003(4): 57-62 (in Chinese)

[责任编辑: 刘 健]