

热电热泵低温热水装置的实验研究

谢康山, 鱼剑琳, 赵华

(西安交通大学能源与动力工程学院, 710049, 西安)

摘要: 对一台空气源热电热泵低温热水装置在不同工作条件下的性能进行了实验研究. 研究结果表明: 随着工作电压升高, 制热系数减小, 但热水加热时间会缩短; 在环境温度较低时, 随着热水温度的升高, 冷端吸热量有可能减少, 而在环境温度较高时, 冷端吸热量随着热水温度的升高而一直增大; 环境温度越高, 冷端温度也就越高, 冷热端温差就越小, 制热系数就越大; 在电压为 117 V、热水温度为 35 °C、环境温度为 30 °C 时的制热系数为 1.68, 而环境温度为 5 °C 时的制热系数仅为 1.22. 此项研究可为热电热泵热水装置的设计和應用提供参考.

关键词: 热电热泵; 热水装置; 制热系数

中图分类号: TU831.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-987X(2007)11-1338-04

Experimental Study on Thermoelectric Heat Pump Low-Temperature Water Heater

Xie Kangshan, Yu Jianlin, Zhao Hua

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

Abstract: The performance of the thermoelectric heat pump low-temperature water heater was investigated under various operating conditions. The experiment results show that the coefficient of performance decreases and the heating time shortens with the increase of the applied voltage. At low ambient temperatures, the heat absorbed from ambient air may decrease with the increase of the temperature of hot water. However, at high ambient temperatures, the heat absorbed always increases with the increase of the temperature of hot water. The higher the ambient temperature is, the higher the cold side temperature is and the smaller the temperature difference between the hot and cold sides becomes, leading a larger coefficient of performance. Under an applied voltage of 117 V and a hot temperature of 35 °C, the coefficient of performance with an ambient temperature of 30 °C is 1.68, and the coefficient of performance with an ambient temperature of 5 °C is only 1.22.

Keywords: thermoelectric heat pump; water heater; coefficient of performance

随着生活水平的提高, 人们对工作和生活环境提出了更高的要求. 低温热水地板辐射采暖系统作为一种既节能又舒适的新型采暖方式, 已经受到了越来越多用户的青睐^[1]. 由于低温热水地板辐射采暖的进水温度一般在 35~60 °C, 故可以有效地利用多种低温热媒水源.

热电效应的发现已有 150 年的历史, 然而在其后的 100 年中由于效率低下, 一直没能得到实际应

用. 直到 20 世纪 50 年代, 随着性能较好的半导体材料的出现, 热电制冷技术才有了突飞猛进的发展. 由于受半导体材料优值系数(热电性能参数)不够理想的限制, 其效率不及机械制冷或吸收式制冷等其他制冷形式, 因而极大地限制了该技术在环境制冷和供热领域中的应用和发展. 但是, 热电制冷仍然具有许多独特的优越性: 系统简单、无机械传动、无运行工质、调控简单精确、工作可靠、维护方便、使用寿

命长等^[2]. 在一些特殊的制冷(制热)环境下,热电制冷又具有其他制冷形式无法替代的优势,并且可以满足节约能源和保护环境的需要,是一种符合潮流的“绿色制冷系统”,所以其理论研究^[3-5]和应用研究^[6-8]都受到了重视.

本文结合热电制冷(制热)的特点,研制了一台空气源热电热泵低温热水装置,当环境温度较低时,可以为低温热水地板辐射采暖提供一种新的高效的低温热媒水来源,而当环境温度较高、不需要供暖时,又可以为家庭或其他场合提供生活卫生用水.

1 实验装置

图 1 为热电热泵低温热水装置系统示意图,该系统主要包括直流稳压电源、制热水箱、热电制冷片、冷端吸热板、风扇、热电偶、数据采集系统和计算机等.

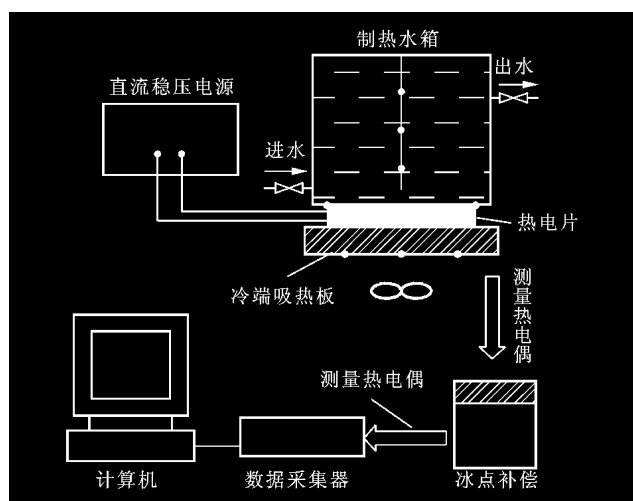


图 1 热电热泵低温热水装置实验装置图

在本实验中,选取由杭州建华半导体制冷器有限公司生产的 TEC1-12703T125 型热电制冷片,其外形尺寸为 40 mm×40 mm×4.7 mm,最大产冷功率为 29.3 W,最大工作电压、电流分别为 15.4 V、3 A,最大温差为 68 ℃. 本实验一共采用了 13 块热电制冷片,每块热电片相互串连起来. 制热水箱的容积为 15.0 L,尺寸为 ∅260 mm×320 mm,底板采用 1 mm 厚的紫铜板制作,水箱壁采用 0.7 mm 的镀锌铁皮卷制而成,水箱壁与底板用环氧树脂粘结成为一个完整的制热水箱. 为了减少散热损失,水箱壁四周采用 6 cm 厚的聚氯乙稀保温材料包裹. 冷端吸热板采用铝板制作,尺寸为 300 mm×300 mm×4 mm. 热电偶采用铜-康铜热电偶,在实验前采用恒温

水槽进行标定,在实验中可保证 0.1 ℃ 的测量精度.

冷端采用强制对流换热,能使热电装置获得更高的性能系数^[9]. 本文中,风扇的功率 $P_f=1.56$ W,对应风速 $v=2.3$ m·s⁻¹,风量 $Q_w=0.033$ m³·s⁻¹. 实际上,风扇的风速、风量(也即散热强度)对实验性能有着很大的影响,文献[10]已对此进行了详细的研究,所以本文不再研究风速、风量对实验性能的影响规律.

另外,当断开电源或者电源由于事故断开后,热端会通过热电制冷片和隔热材料向冷端散热. 有学者^[7,11]采用热二极管的办法有效地解决了这种散热损失问题,本文因此不再考虑断开电源漏热的情况.

2 计算方法

本文需采集的数据主要为温度,包括热水温度、热端温度、冷端温度等,热电偶布置如图 1 所示.

制热量、制热系数、冷端吸热量、冷热端温差等是验证热电热泵低温热水装置性能的主要参数. 制热量按下式计算

$$Q_h = cm\Delta T_w \quad (1)$$

$$\Delta T_w = T_w - T_{cw} \quad (2)$$

$$T_w = \frac{T_1 + T_2 + T_3}{3} \quad (3)$$

式中: c 为水的定压比热容; ΔT_w 为水的温升; m 为储水量; T_w 为热水的平均温度; T_{cw} 为初始冷水温度,20.0 ℃. 制热系数按下式计算

$$\eta = \frac{Q_h}{W + W_f} \quad (4)$$

$$W_f = P_f t \quad (5)$$

$$Q_c = Q_h - W \quad (6)$$

式中: W 为热电片输入的电功; W_f 为风扇消耗的电功; P_f 为风扇的输入功率,1.56 W; Q_c 为制冷量,也即冷端吸热量. 热端及冷端的平均温度按下式计算

$$T_h = \frac{T_4 + T_5}{2} \quad (7)$$

$$T_c = \frac{T_6 + T_7 + T_8}{3} \quad (8)$$

$$\Delta T = T_h - T_c \quad (9)$$

式中: ΔT 为冷热端温差; $T_1 \sim T_8$ 为热电偶测量温度.

3 实验结果及讨论

根据热电理论可知,电压 U (或电流) 对热电制热性能有很大的影响. 本文实验应在热电片电压低

于其最大工作电压 15.4 V 的前提下进行,为此取总电压不超过 195 V 的若干电压为实验工作电压.图 2 为环境温度为 5 °C 时,不同电压下冷热端温差随时间的变化规律.

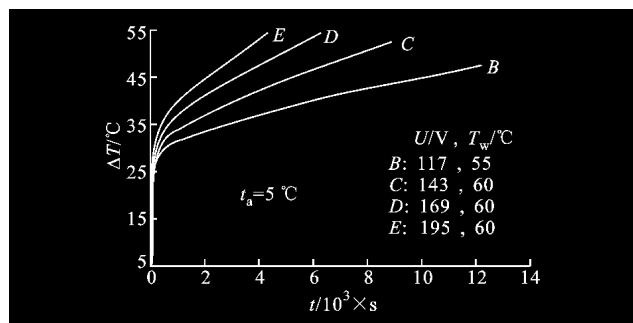
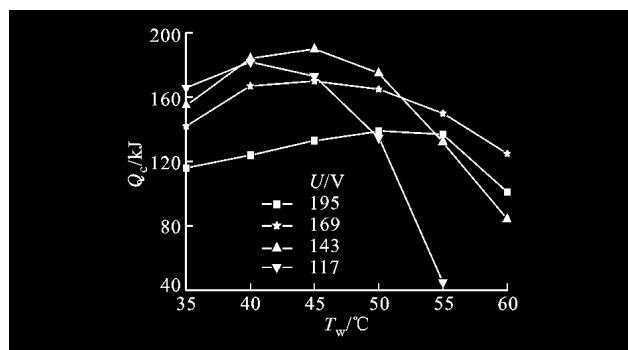


图 2 不同电压下冷热端温差随时间的变化

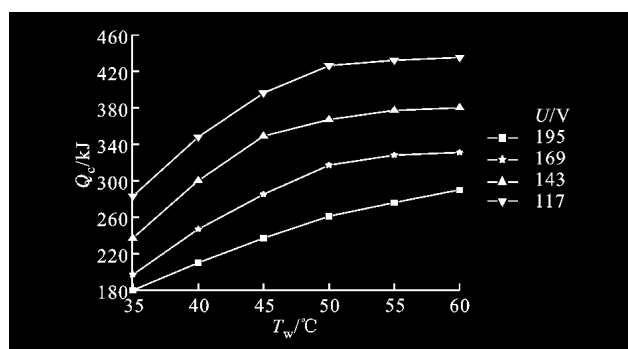
从图 2 可以看出:随着加热时间的不断增加(也即热水温度的不断升高),冷热端温差不断增大;在不同电压下把水加热到相同温度时,电压越高,冷热端温差也就越大.这是因为热水温度的不断升高也导致了热端温度的升高,同时电压越高,输入功率也越大,使得冷热端温差也就越大,但热水加热的时间变短.最终热水温度为 60 °C、电压为 195 V 时,加热时间约为 1.25 h,而当电压为 117 V 时,加热时间会超过 3.5 h.

根据热电制冷原理可知,冷热端温差是热电装置性能的主要影响因素,冷热端温差越大,热电制热系数也就越小.图 3 为不同电压下冷端吸热量随水温的变化规律.从图 3a 中可以看出,在环境温度为 5 °C 时,随着加热的进行,冷端吸热量先增后降,而当电压越高时,这种变化趋势也越快、越明显.这是因为在开始加热阶段,冷端温度逐步升高,冷热端温差较小.根据热电制冷原理可知,这时其制冷量即冷端吸热量会有所增加,但随着加热的进行,热端温度明显升高,冷热端温差加大,而且冷端温度升高造成其与环境温差减小,结果造成了冷端吸热量下降.当电压越高时,这种情况越显著,可能还会出现冷端温度高于环境温度的情况.这时,此装置已经起不到热泵的作用了.当环境温度升高时,上述情况会得到改善,如图 3b 所示.这是因为当加热水的温度一定、环境温度越高时,冷热端温差总体上较小,而此时的热电制冷(制热)效果最好.

如图 4 所示,在不同的电压下,水温升高,制热系数下降.对于确定的热水温度,电压越低,制热系数也就越大,但加热时间也越长,这是因为水温升高造成冷热端温差逐步加大.虽然冷端吸热量也会增加,但输入的电功增加幅度大,制热系数下降,但当



(a)环境温度 $T_a=5\text{ }^{\circ}\text{C}$



(b)环境温度 $T_a=20\text{ }^{\circ}\text{C}$

图 3 不同电压下冷端吸热量随水温的变化

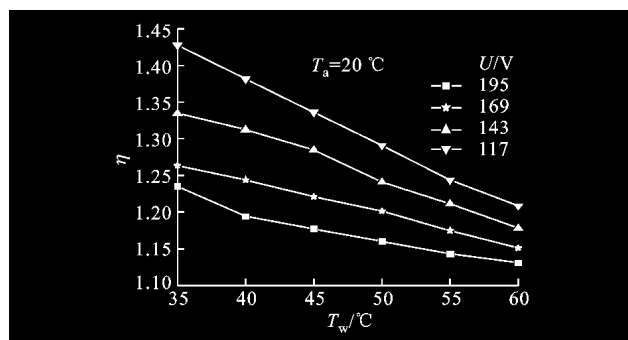


图 4 不同电压下制热系数随水温的变化

电压较小时,冷热端温差变化较小,因此对于确定的热水温度,制热系数也就越大.

大气环境是电热热泵低温热水装置的“热源”,环境温度的改变使冷端的换热条件也发生改变,这必将改变电热热泵低温热水装置的冷热端温差,从而影响电热热泵低温热水装置的性能.从图 5 可以看出,在同一电压下,环境温度越高,制热系数就越大.在电压为 117 V、热水温度为 35 °C、环境温度为 30 °C 时,制热系数为 1.68,而环境温度为 5 °C 时的制热系数仅为 1.22,这是因为环境温度越高,冷热端温差越小,制热系数也就越大.随着电压的增加,制热系数不断减小.

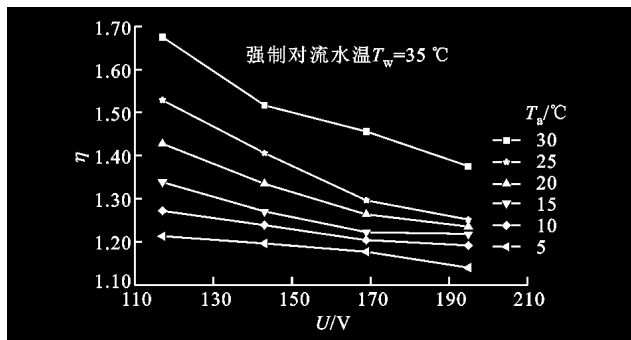


图5 不同环境温度下制热系数随电压的变化

4 结 论

本文结合热电制冷(制热)的特点,设计并搭建了一台空气源电热热泵低温热水装置,对该装置在不同的工作条件下的性能进行了实验研究,得出了以下一些结论。

(1)工作电压对热电片冷热端温差有较大影响,进而影响电热热泵低温热水装置的性能,如制热系数和加热时间.实际应用时应综合考虑这两方面因素来确定最佳运行参数。

(2)在不同的环境温度下,改变热水温度和工作电压会使冷热端温差及冷端吸热量的变化情况有所不同,但总的来说环境温度越高,冷端温度也就越高,冷热端温差就越小,制热系数就越大.当电压为117 V、热水温度为35℃时,在环境温度为30℃下的制热系数为1.68,而在环境温度为5℃下的制热系数仅为1.22,因此电热热泵低温热水装置比直接电加热的水装置在运行费用上有一定优势,但电热热泵低温热水装置的初投资会较高。

参考文献:

- [1] 杨文帅,王荣光,凌继红,等.地板辐射供暖在生理卫生方面的特点[J]. 煤气与热力,2002,22(2):151-152.
Yang Wenshuai, Wang Rongguang, Ling Jihong, et al. Features of radiant floor heating physiology [J]. Gas & Heat, 2002,22(2):151-152.
- [2] 徐德胜.半导体制冷与应用技术[M].上海:上海交通大学出版社,1992.
- [3] 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.
- [4] Xuan X C. Investigation of thermal contact effect on thermoelectric coolers [J]. Energy Conversion and Management, 2003, 44 (3): 399-410.
- [5] 宣向春,王维扬.半导体制冷器工作参数的理论分析[J]. 低温工程,1998(1):26-30.
Xuan Xiangchun, Wang Weiyang. Theoretical analysis of working parameters of thermoelectric coolers [J]. Cryogenics, 1998(1): 26-30.
- [6] Dai Y J, Wang Ruzhu, Ni L, Experimental investigation and analysis on a thermoelectric refrigerator driven by solar cells [J]. Solar Energy Materials & Solar Cells, 2003, 77 (4): 377-391.
- [7] Luo Qinghai, Tang Gangfa, Liu Zhiqiang, et al. A novel water heater integrating thermoelectric heat pump with separating thermosiphon [J]. Applied Thermal Engineering, 2005, 25 (14/15): 2193-2203.
- [8] 张华俊,陶文铨,冯倩莹,等.风冷热电空调器实验研究[J]. 流体机械,1999,27(2):48-51.
Zhang Huajun, Tao Wenquan, Feng Qianying, et al. Development and experiment investigation of air-cooled type thermoelectric air-conditioner [J]. Fluid Machinery, 1999, 27(2): 48-51.
- [9] Riffat S B, Omer S A, Ma Xiaoli, A novel thermoelectric refrigeration system employing heat pipes and a phase change material: an experimental investigation [J]. Renewable Energy, 2001, 23 (2): 313-323.
- [10] 李茂德,卢希红.热电制冷过程中散热强度对制冷参数的影响分析[J]. 同济大学学报,2002,30(7):811-813.
Li Maode, Lu Xihong. Influence of intensity of heat emission on performance of semiconductor refrigeration [J]. Journal of Tongji University, 2002, 30(7): 811-813.
- [11] Omer S A, Riffat S B, Ma Xiaoli. Experimental investigation of a thermoelectric refrigeration system employing a phase change material integrated with thermal diode (thermosyphons) [J]. Applied Thermal Engineering, 2001, 21 (12): 1265-1271.

(编辑 王焕雪)