

[新设备·新材料·新方法]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2018.05.015

# 纯电动汽车热泵系统室外侧微通道换热器 温度分布实验研究

唐启天<sup>1</sup>, 李康<sup>1</sup>, 呼延吉<sup>2</sup>, 苏林<sup>1</sup>

(1. 上海理工大学能源与动力工程学院, 上海 200093; 2. 延擎动力科技有限公司, 上海 200093)

**摘要:**为了探究室外侧微通道蒸发器制冷剂分布和换热器表面温度分布的均匀性,课题组设计了一种4换热器的热泵系统。分别在制冷和制热工况下,对室外侧换热器在不同的制冷剂充注量和不同的压缩机转速下的表面温度分布均匀性进行了实验研究。使用K型热电偶布点并测量换热器表面温度并使用红外热成像仪了解其温度分布情况。结果表明:制冷工况下,充注量在1 050~1 075 g时,在不同转速下,系统的制冷性能最佳,同时换热器表面温度分布均匀性最好;而在制热工况下,充注量在500~700 g时,换热器表面温度分布均匀性随着制冷剂充注量的增加而改善。同一换热器在作为冷凝器和蒸发器时,制冷剂充注量和压缩机转速对其温度分布均匀性的影响不同。

**关键词:**纯电动汽车;热泵;微通道换热器;温度分布;均匀性

中图分类号:TB657.5 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2018)05-0077-05

## Experimental Study on Temperature Distribution of External Microchannel Heat Exchanger Used in Heat Pump System in Pure Electric Vehicles

TANG Qitian<sup>1</sup>, LI Kang<sup>1</sup>, HU Yanji<sup>2</sup>, SU Lin<sup>1</sup>

(1. School of Energy and Power Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;  
2. Young Power Technology, Shanghai 200093, China)

**Abstract:** In order to investigate the uniformity of the refrigerant distribution and the surface temperature distribution of the external microchannel heat exchanger, a heat pump system with four heat exchangers was designed. The uniformity of the surface temperature distribution of the external heat exchanger in different refrigerant charge and different compressor revolving speed was experimentally investigated under the conditions of refrigeration and heating respectively. The K-type thermocouple was used to locate and measure the surface temperature of the heat exchanger, and the temperature distribution of the heat exchanger was analyzed by infrared thermal imager. The results show that under the refrigeration condition, the refrigeration performance of the system is the best and the surface temperature distribution of the heat exchanger is uniform when the amount of filling is between 1 050 ~ 1 075 g. While under heating condition, the uniformity of surface temperature distribution of heat exchanger is improved with the increase of refrigerant charge when the charge of refrigerant is between 500 ~ 700 g. When the same heat exchanger is used as condenser and evaporator, the influence of refrigerant charge and compressor speed on the uniformity of temperature distribution is different.

**Keywords:** pure electric vehicles; heat pump; microchannel heat exchanger; temperature distribution; uniformity

热泵空调相比传统的电加热采暖系统拥有更高的能效比,能够有效地节约电能、延长电动汽车的行驶里程,因此,电动汽车热泵空调系统的使用越来越普及。微通道换热器因为其结构紧凑、体积小、充注量低及高效等优点,已经被广泛地应用于传统的汽车空调制冷

系统中。但是在热泵空调系统中,尤其是在制热工况,微通道换热器作为室外侧蒸发器时,其制冷剂流量分配不均、冷凝水堆积、易结霜等问题将被凸显出来。其中,制冷剂流量分配不均会导致换热器表面温度分布不均,影响蒸发器换热性能,从而影响到系统的制热能

收稿日期:2018-05-11;修回日期:2018-07-19

第一作者简介:唐启天,男(1992),江苏南京人,硕士,主要研究方向为新能源汽车的热管理。E-mail:842827634@qq.com



表2 实验工况

Table 2 Test conditions

工况	送风温度/℃		送风相对湿度/%		送风风量/(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )		压缩机转速/(r·min <sup>-1</sup> )	充注量/g
	室内	室外	室内	室外	室内	室外		
制冷模式	27	35	50	70	450	1 350	1 300,1 600,1 900,2 200,2 500	1 000 ~ 1 100
制热模式	16	12	60	50	450	1 350	1 300,1 600,1 900,2 200,2 500	500 ~ 700

数为 $\sigma$ ,用换热器表面9个测点温度的方差 $\sigma_0$ 来表征换热器表面温度均匀性。 $\sigma, \sigma_0$ 的计算公式为:

$$\sigma = \sigma_0;$$

$$\sigma_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T_n - T_{avg})^2。$$

式中: $\sigma$ 为换热器表面温度均匀系数, $\sigma_0$ 为各个测点温度的方差, $T_n$ 为各个测点的温度数值, $T_{avg}$ 为各个测点温度值的平均值。

$\sigma$ 值的大小反应了换热器表面温度分布的均匀性, $\sigma$ 越小,表示换热器表面温度分布均匀性越好。当换热器表面各点温度均相同时, $\sigma = 0$ ,即温度分布均匀性最佳。

### 2.2 制热模式结果分析

制热模式下,在制冷剂充注量分别为500,550,600,650和700 g,压缩机转速分别为1 300,1 600,1 900,2 200和2 500 r/min时,对室外侧换热器在不同充注量和转速下的表面温度分布均匀性进行了实验研究。如图2所示,当制冷剂充注量相同时,压缩机转速越高, $\sigma$ 越小;当压缩机转速一定时, $\sigma$ 随着制冷剂充注量的增加而减小, $\sigma$ 越小意味着温度均匀性越好。图3和图4是压缩机转速为2 200 r/min时,系统在不同制冷剂充注量下的制热量和能效比 $C_{COP}$ 。从图3~4可知,在相同的压缩机转速下,随着制冷剂充注量的增加,系统的制热量和能效比 $C_{COP}$ 均逐渐上升。根据实验结果,已知本系统在制热模式下的最佳充注量范围为675~700 g。

### 2.3 制冷模式结果分析

制冷模式下,在制冷剂充注量分别为1 000,1 025,1 050,1 075和1 100 g,压缩机转速分别为1 300,1 600,1 900,2 200和2 500 r/min时,对室外侧换热器在不同充注量和转速下的表面温度分布均匀性进行了实验研究。如图5所示,当制冷剂充注量相同时,压缩机转速越高, $\sigma$ 越大,其温度均匀性越差;当压缩机转速一定时, $\sigma$ 随着制冷剂充注量的增加先增大后减小,在制冷剂充注量为1 050 g时, $\sigma$ 达到最大值,此时换热器表面温度分布均匀性最差。图6和图7是

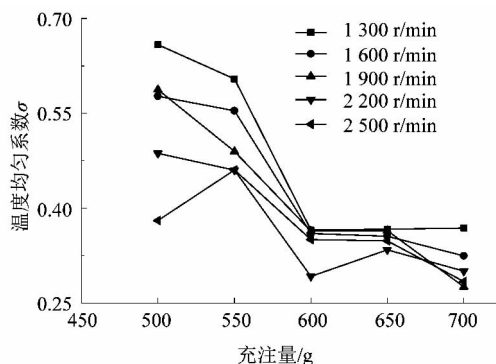


图2 制热模式 $\sigma$ 变化趋势图

Figure 2 Graph of  $\sigma$  in different charges and compressor rotates in heating mode

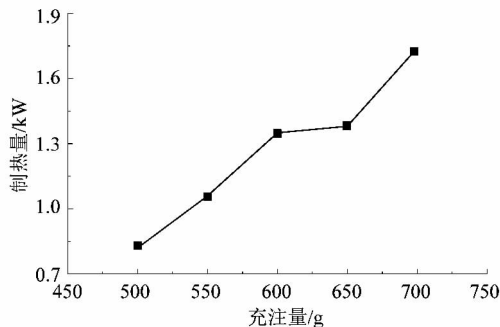


图3 制热模式制热量变化趋势图

Figure 3 Graph of heating capacity in different charges in heating mode

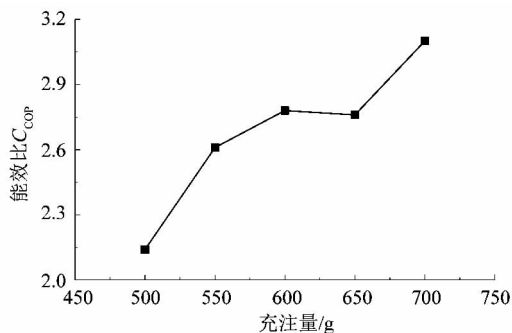


图4 制热模式 $C_{COP}$ 变化趋势图

Figure 4 Graph of  $C_{COP}$  in different charges in heating mode

压缩机转速为 2 200 r/min 时,系统在不同制冷剂充注量下的制冷量和能效比  $C_{COP}$ 。从图 6~7 可知,本系统在制冷模式下的最佳充注量范围为 1 050~1 075 g。同时,在这段充注量下,室外换热器表面温度分布均匀性也相对较好。

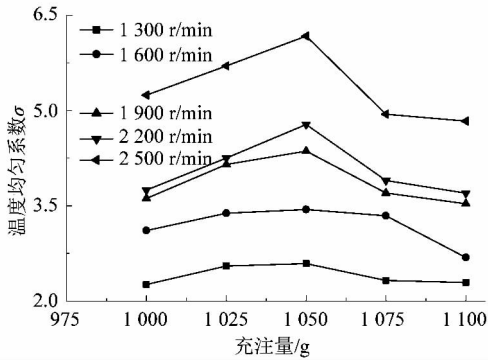


图 5 制冷模式  $\sigma$  变化趋势图

Figure 5 Graph of  $\sigma$  in different charges and compressor rotates in refrigeration mode

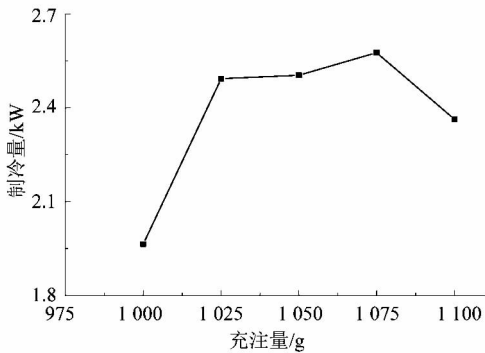


图 6 制冷模式制冷量变化趋势图

Figure 6 Graph of cooling capacity in different charges in refrigeration mode

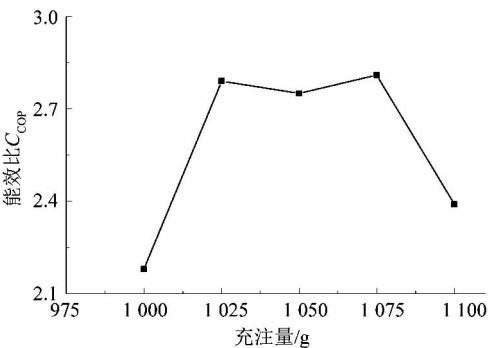


图 7 制冷模式  $C_{COP}$  变化趋势图

Figure 7 Graph of  $C_{COP}$  in different charges in refrigeration mode

图 8 为制冷模式,制冷剂充注量为 1075g、压缩机转速为 2200 转时,室外换热器表面温度红外热成像图,颜色越浅表示此处温度越高。已知此换热器为上进下出式、单排 4 流程的微通道换热器,4 个流程的流道数分别为 28,18,11 和 5。从图 8 的热成像结果中可以看出,换热器左上角的温度最高,此处为高温高压的气态制冷剂进口,随着制冷剂在换热器内流动,其温度逐渐降低,说明制冷剂与空气换热实现了换热冷凝。图中深色条状区域为换热器内部挡板区域,故而温度较低,显示颜色较深。另外,可以发现换热器中心颜色偏亮,温度较高,分析其原因,可能是换热器背后风扇的轮毂影响了空气的流动,使得这里制冷剂与空气的换热不够充分。

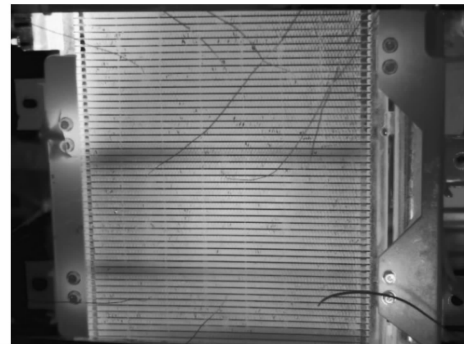


图 8 热成像图

Figure 8 Thermography

对比制热模式和制冷模式换热器表面温度分布均匀系数  $\sigma$ ,发现制热模式下  $\sigma$  的值远小于制冷模式下  $\sigma$  的值。而本系统采用的室外侧换热器为竖直集流管、水平扁管的微通道换热器,其在制冷模式下性能应优于制热模式,与实验结果有悖。分析其原因,可能是由于该换热器原本为冷凝器设计,其 28-18-11-5 的管排数布置与其本身集成的气液分离器利于高温高压气态制冷剂的冷凝。在制冷模式下,该换热器用作冷凝器,制冷剂在冷凝器内与空气换热冷凝,气液分离器保证了进入换热器的均为高温高压的气态制冷剂;而在制热模式下,该换热器用作蒸发器,制冷剂在蒸发器内与空气换热蒸发,此时,气液分离器的存在使得液态制冷剂被分离,进入换热器的大部分为气态制冷剂,在换热器内与空气的换热量很小,其温度均匀性远高于液态制冷剂在换热器内蒸发换热后的温度分布均匀性。

### 3 结论

笔者针对已搭建的一套 4 换热器的热泵空调系统的室外侧微通道换热器表面温度分布均匀性进行了实

验研究。通过改变系统制冷剂的充注量和压缩机的转速,研究了室外侧微通道换热器在不同工作模式下表面温度分布均匀性的变化趋势与规律,并得出以下结论:

1) 制冷剂充注量是影响换热器表面温度分布均匀性的重要因素之一,当制冷剂充注量在系统最佳充注量范围区间内时,室外微通道换热器表面温度分布均匀性达到最佳。

2) 在制热模式下,制冷剂充注量相同时,微通道换热器表面温度分布均匀性随压缩机转速的增加而改善;制冷模式下,制冷剂充注量相同时,微通道换热器表面温度分布均匀性随压缩机转速的增加而恶化。

3) 制热模式下 $\sigma$ 的值远小于制冷模式下 $\sigma$ 的值,其原因可能是室外侧换热器集成了气液分离器,导致制热模式下进入换热器内部的大部分为气态制冷剂,与空气换热量小,温度分布比较均匀。

#### 参考文献:

[1] BYUN H W, KIM N H. An experimental study on refrigerant distribution in a two row/four pass parallel flow minichannel heat

exchanger[J]. Heat and mass transfer,2016,52(10):2237-2255.

- [2] KIM N H, KIM D Y, BYUN H W. Effect of inlet configuration on the refrigerant distribution in a parallel flow minichannel heat exchanger [J]. International journal of refrigeration, 2011, 34 ( 5 ): 1209 - 1221.
- [3] KIM N H, BYUN H W. Refrigerant distribution in a minichannel evaporator having vertical headers [J]. Heat transfer engineering, 2013, 35 (11/12): 1105 - 1113.
- [4] 严瑞东, 徐博, 陈江平, 等. 微通道换热器两相分配特性对空调系统性能的影响[J]. 制冷学报, 2013(3): 20 - 23.
- [5] LI Huize, HMJAK P. Quantification of liquid refrigerant distribution in parallel flow microchannel heat exchanger using infrared thermography[J]. Applied thermal engineering, 2015, 78: 410 - 418.
- [6] SHI Junye, QU Xiaohua, QI Zhaogang, et al. Investigating performance of microchannel evaporators with different manifold structures [J]. International journal of refrigeration, 2011, 34 ( 1 ): 292 - 302.
- [7] BRIX W, KæM M R, ELMEGAARD B. Modelling refrigerant distribution in microchannel evaporators [J]. International journal of refrigeration, 2009, 32 ( 7 ): 1736 - 1743.
- [8] 巫江虹. 电动汽车热泵空调微通道换热器温度分布特性[J]. 浙江大学学报(工学版), 2016, 50(8): 1537 - 1544.

(上接第 76 页)

息与焊接质量之间的关系,并据此实现对焊接参数如焊接电压、焊接电流、焊接速度等的在线自适应调整,进一步提高焊接质量。

#### 参考文献:

[1] 陈善本, 林涛. 智能化焊接机器人技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.

[2] 朱圆圆, 易挺. 不锈钢保温杯激光焊接工艺研究[J]. 焊接技术, 2017(8): 47.

[3] 闫小军, 杨大智, 刘黎明. 不锈钢薄板脉冲激光焊工艺参数及接头组织特征[J]. 焊接学报, 2004, 25(3): 122.

[4] 王少华, 郭亮, 庞振华. 不锈钢薄板光纤激光焊接的组织与性能[J]. 机电工程技术, 2011, 40(1): 52.

[5] 王麟琨, 徐德, 李原, 等. 曲线焊缝跟踪的视觉伺服协调控制[J]. 控制与决策, 2006, 21(4): 409.

[6] 高世一, 赵明扬, 张雷, 等. 基于视觉的焊缝机器人曲线焊缝跟踪

研究[J]. 仪器仪表学报, 2007, 28(4): 775.

- [7] 辛立明, 徐志刚, 赵明扬. 激光拼缝生产线定位误差分析及控制[J]. 机械科学与技术, 2009, 28(2): 163.
- [8] COOK G E. Robotic arc welding: research in sensory feedback control [J]. IEEE transactions on industrial electronics, 1983, 30(3): 255.
- [9] BINGUL Z, COOK G E, STRAUSS A M. Application of fuzzy logic to spatial thermal control in fusion welding [J]. IEEE transactions on industry applications, 2000, 36(6): 1525.
- [10] HUTCHINSON S, HAGER G, CORKE P. A tutorial on visual servo control [J]. IEEE transactions on robotics and automation, 1996, 12 ( 5 ): 662.
- [11] MARTINET P, GALLICE J. Position based visual control using a non-linear approach [C]//Proceedings 1999 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. Kyongju, Korea: IEEE, 1999: 531.