

# 多联式热泵/热管复合式空气源热泵实验研究

许树学, 邵月月, 马国远, 牛建会

(北京工业大学, 北京 100124)

(010-67391613; xsx@bjut.edu.cn)

**摘要:** 提出了多联式热泵/热管复合式空气源热泵的循环原理, 基于 3HP 压缩机研制出一套样机进行测试, 室内机为 6 台串联。考查不同工况下系统的制热性能, 研究热管温度分布及启动过程特性, 多个室内机的温度分布状况, 比较热管内充注 R134a 和水的运行特征, 为开拓新型的热泵采暖装置提供参考。

**关键词:** 热泵; 热管; 多级; 温度分布

## Experimental Study on Multi-type Heat Pump/Heat Pipe Composite Air Source Heat Pump

Xu Shuxue Shao Yueyue Ma Guoyuan Niu Jianhui

(College of Environmental and Energy Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124)

**Abstract** The circulation principle of multiple heat pump/heat pipe air source heat pump was put forward. A prototype was developed based on 3HP compressor and the indoor unit was 6 series. The heating performance of the system under different working conditions were carefully examined, the heat pipe temperature distribution, starting-up process characteristics and the temperature distribution of multiple indoor units were also studied. At last, the charging characteristics of R134a and water in the heat pipe was compared. This research can provide reference for the development of a new type of heat pump heating device.

**Keywords** heat pump; heat pipe; multistage; temperature distribution

## 0 前言

大气污染的问题越来越受到人们的关注。京津冀多个城市 PM<sub>2.5</sub> 的来源解析结果表明, 燃煤排放出的多种污染物是形成 PM<sub>2.5</sub> 污染的主要来源。加快郊区及城市上风口的农村地区采暖“煤改电”工程建设, 是实现空气治理行动计划目标的重要措施[1]。目前“煤改电”主流家用采暖设备为小型空气源热泵和分体式风冷热泵型空调器两种。家用小型空气源热泵采用蒸汽压缩式热泵加水循环, 通过水泵将热量输送到室内, 此种设计需对热泵系统和水系统协调准确控制, 系统构造复杂重大, 为安装和检修带来困难, 同时须着重考虑冬季运行安全及水路的防冻问题。普通风冷热泵型分体式空调用风机供热, 产生的热空气从上至下循环, 不符合供暖的空气动力学及热力学原理, 长时间运行后换热器内里面积累尘土和有害细菌并产生异味, 对人体健康造成损害[2]。

热管是一种高效的两相传热装置, 与常规散热器相比热管散热器的传热性能更好。将热泵与高效率传热热管结合起来国外也有相关研究。文献[3]采用热管散热器将水箱里的热量抽出冷却热水。文献[4]将热管应用在太阳能换热装置上, 结论认为其性能系数比传统换热器提高 1.5-4 倍。文献[5]将热管应用在地源热泵的蒸发器端, 蒸发器置于热管散热器内。与普通的直接膨胀式相比性能系数提高 10.3%; 与复合回路换热型式相比性能系数提高 21.1%。文献[6]将热管应用在地源热泵上, 通过热管复合的地板将热量供给办公室。

近两年市场上出现了热风机, 采用制冷剂直接冷凝供热。热风机虽然能满足无水循环的要求, 但在带动多台室内机的情况出现了困难。本文提出多联式热泵/热管复合式空气源热泵, 结合了热泵与热管的优

\*基金项目: 北京市教委科技计划项目 2017, 北京市优秀人才培养资助青年拔尖团队项目 (2017000026833TD02)

作者简介: 许树学, (1981- ), 男, 助研, 从事蒸汽压缩式制冷热泵技术研究。

势，解决现有空气源热泵多个室内机，系统复杂，供热速度慢和供暖效率低的问题。提高整个热泵系统的舒适度、供热速度和运行效率。

## 1 循环原理

多联式热泵/热管复合式空气源热泵如图 1 所示。系统包括热泵和热管散热器两个部分，热泵由压缩机（3HP）、冷凝器、节流装置（电子膨胀阀）和蒸发器组成；热管散热器由多个热管组合而成，通过集液管连接在并与热泵的冷凝器隔离焊接在一起。单台压缩机带动 6 台热管式热辐射装置工作，6 台室内机串联连接。其工作过程如下：压缩机排出的高温高压制冷剂气体通过冷凝盘管与热管散热器中的工质换热，冷凝后的制冷剂液体经节流后进入蒸发器，在蒸发器中蒸发吸热，蒸发后的制冷剂气体回到压缩机。热管散热器中的工质吸热后热管启动，通过辐射和自然对流将热量传递给室内。

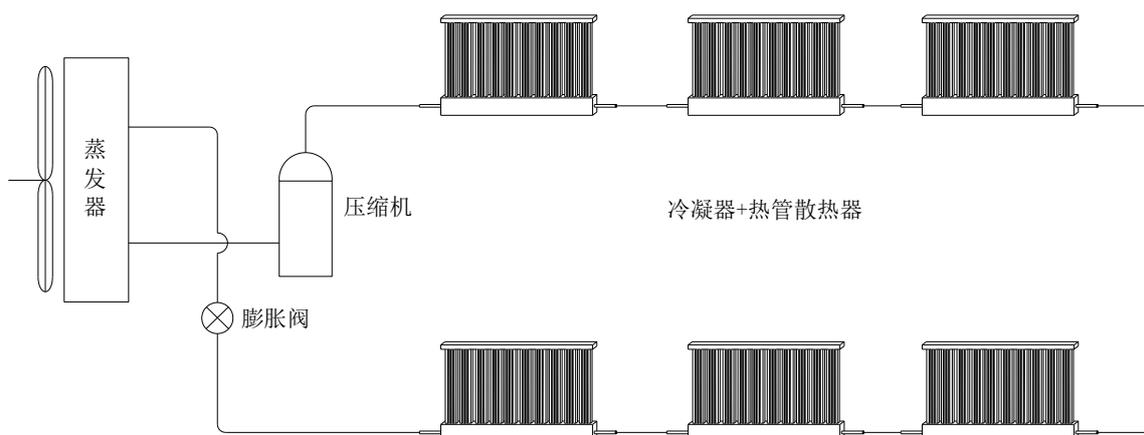


图 1 多联式热泵/热管复合式空气源热泵机组

图 2 所示为热管式热辐射末端的结构原理示意图。由上集管、下集管、热管束、冷凝器组成，材料选用铝。其中冷凝器为紫铜管并联而成，热管束为带有纵向平直翅片的铝材。

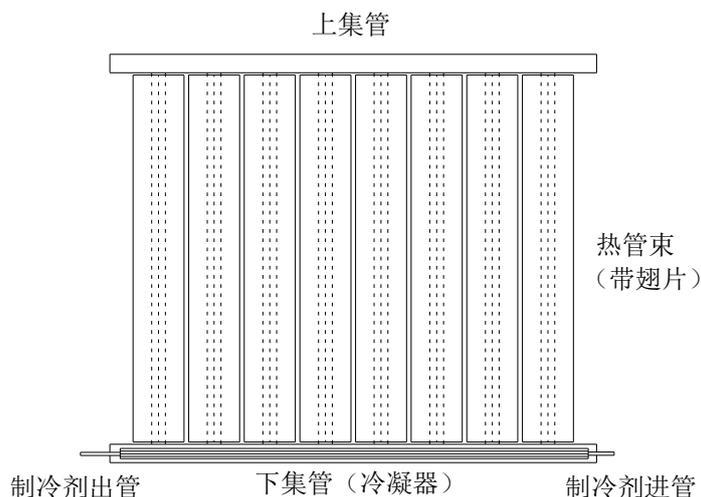


图 2 热管式热辐射末端

## 2 实验装置与测试

多联式热泵/热管复合式空气源热泵机组安装在北京工业大学实验室的楼道内。楼道顶部安装 3 台风机盘管抵消散热器散出的热量。压缩机的吸气压力和吸气温度由风量和电子膨胀阀调节，稳定在一定的范围内。实验装置如图 3 所示。



图3 多联式热泵/热管复合式空气源热泵机组实际测试图

### 3 测试结果与分析

在室内温度  $18\sim 22^{\circ}\text{C}$ ，蒸发温度  $5\sim 0^{\circ}\text{C}$ ，吸气过热度  $10^{\circ}\text{C}$  的工况下进行测试。热泵工质为 R22，热管工质选用 R134a 和水，分别研究多个热管散热器表温度分布、启动时间、工质充注量等性能参数。

图4所示为系统启动过程热管散热器表面温度分布情况。由图可知，热泵冷凝温度在30分钟内从  $20^{\circ}\text{C}$  上升到  $40^{\circ}\text{C}$ 。随着热泵冷凝器温度的升高，热管散热器表面温度持续上升，热管表面温度与热泵冷凝温度之间的温度梯度在30分钟内逐渐减小并趋于稳定。稳定状态下冷凝温度与热管表面的温差仅为  $1^{\circ}\text{C}$  到  $1.5^{\circ}\text{C}$ 。其原因是：冷凝器和热管蒸发段仅通过铜管壁面传热，传热热阻非常小而面积相对大。

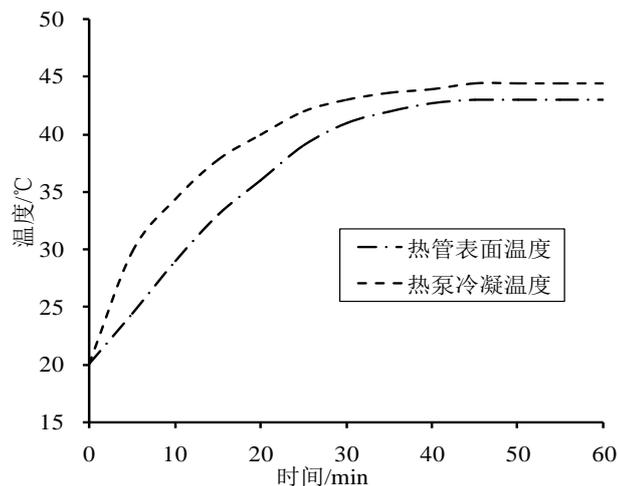


图4 启动过程温度分布

图5所示为系统稳定运行时，6台室内热管散热器表面温度情况。由图5可知，除了第一台（1号）温度高外，其余5台的表面温度基本相等，大约为  $45^{\circ}\text{C}$ ，1号的表面温度比其他5台高约  $8^{\circ}\text{C}$ ，为  $53^{\circ}\text{C}$ 。这主要是因为压缩机的排气首先进入到1号散热器内。

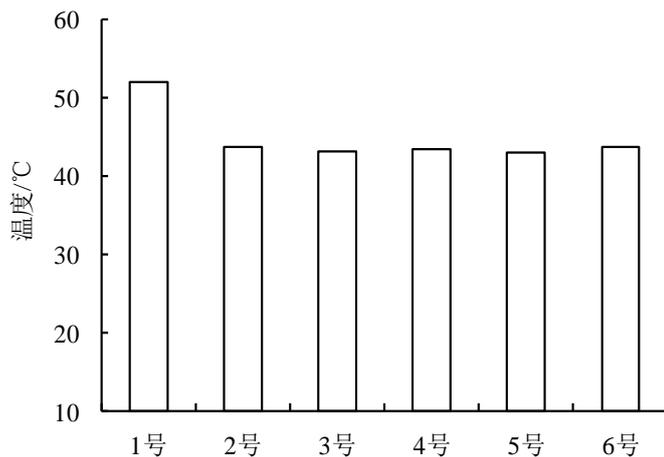


图 56 台室内机的表面温度情况

图 6 所示为热管内充注 R134a 和水的启动过程情况。由图可知，R134a 和水的稳定工作过程表面温度差别不大，在启动阶段，水的启动时间略高于 R134a。

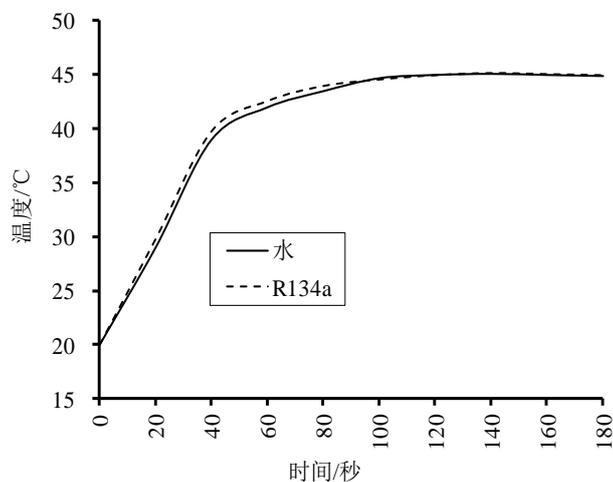


图 6 热管内充注 R134a 和水的启动过程

图 7 所示为选用水为热管工质时，不同充注量下热管的启动时间。由图 7 可知，热管内水的充注量越大，启动时间越长。比如，当充注 300g 水时，热管表面温度在 100s 左右达到稳定；当充注 1000g 时，热管表面温度稳定需要 180s 的时间。这主要是因为随着水量的增加，加热水到一定温度需要的时间越来越长，同时，热泵的冷凝器通过冷凝管束将热量传递给水引起水的气化，气化产生的气泡在上升过程需要克服水的液位阻力越来越大，也导致其启动时间加长。

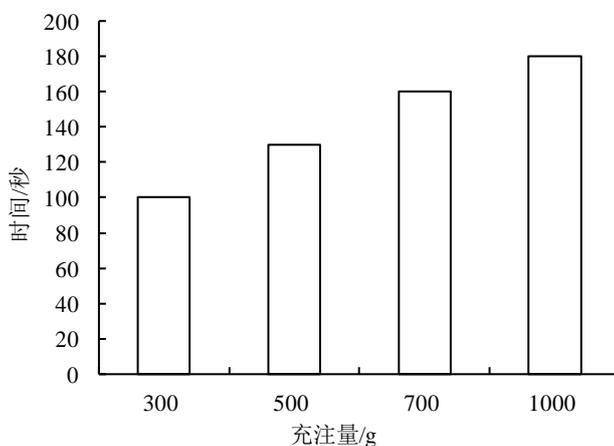


图 7 热管内充注不同质量水的启动时间

## 4 结论

本文搭建了多联式热泵/热管复合式空气源热泵机组实验装置，通过实验研究系统的启动过程特性和温度分布特性，研究比较热管内充注 R134a 和水对系统制热性能的影响，得到的结论如下：

- (1) 热泵驱动热管式辐射供热装置启动过程快，常温下 30 分钟内达到稳定运行状态。
- (2) 除了最接近压缩机排气管的 1 号室内机外，其余 5 台室内机的表面温度基本相同。
- (3) 当热管内充注 R134a 和水时，系统稳定工作时表面温度相差不大；在启动阶段，水的启动时间略长于 R134a。
- (4) 热管内充注水时系统能够正常工作，但启动时间受充注量影响很大。随着充注量的增大启动时间变长。

## 参考文献

- [1] 王铁军, 徐维, 曾晓程, 等. 空气源热泵地暖系统冬季应用[J]. 制冷学报, 2017, (4): 31-35.
- [2] 孟华, 王海, 龙惟定. 夏热冬冷地区能源总线系统的区域能源规划方法[J]. 制冷学报, 2017, (4): 50-58.
- [3] Chotivisarut N, Nuntaphan A, Kiatsiriroat T. Seasonal cooling load reduction of building by thermosyphon heat pipe radiator in different climate areas. *Renewable energy* 2012; 38:188-194.
- [4] Zhang X X, Zhao X D, Shen J C, Xu J H, Yu X T. Dynamic performance of a novel solar photovoltaic/loop-heat-pipe heat pump system. *Applied Energy* 2014; 114: 335-3 52.
- [5] Lim H, Kim C, Cho Y, Kim M. Energy saving potentials from the application of heat pipes on geothermal heat pump system. *Applied Thermal Engineering* 2017.
- [6] Sebarchievici C, Dan D, Sarbu I. Performance assessment of a ground-coupled heat pump for an office room heating using radiator or radiant floor heating systems. *Procedia Engineering* 2015; 118: 88-100.
- [7] Maivel M, Konzelmann M, Kurnitski J. Energy performance of radiators with parallel and serial connected panels. *Energy and Buildings* 2015; 86: 745-753.
- [8] Laurence Brady, Mawada Abdellatif, Jeff Cullen, James Maddocks, Ahmed Al-Shamma'a. An investigation into the effect of decorative covers on the heat output from LPHW radiators. *Energy and Buildings* 2016; 133: 414-422.
- [9] 杨世铭, 陶文铨. 传热学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2016.