

数据机房用热管复合式空调节能性试验研究

李改莲¹, 时子超¹, 张志伟¹, 金听祥¹, 邵双全², 田长青²

(1. 郑州轻工业学院能源与动力工程学院, 郑州 450002;

2. 中国科学院低温工程重点实验室(理化技术研究所), 北京 100190)

摘要: 为改进现有数据中心制冷空调系统耗能大、运行成本高等不足,设计了一套分离式热管与蒸气压缩式空调复合使用的机房空调系统,试验研究了其在不同环境温度下的制冷量和能效比,并对该复合空调系统节能性进行了分析。试验结果表明:当室外环境温度 7°C 时,分离式热管制冷量达到最大值 4575W , EER 高达 17.99 。因此在冬季或春秋过渡季节,仅运行热管工况,就可以满足机房制冷需求。综合全年空调运行工况分析,在哈尔滨、北京和广州地区全年分别至少有 67% 、 52% 和 19% 的时间不需要开启压缩机制冷,这可以大大降低机房制冷系统的能耗。

关键词: 热管; 数据中心; 复合空调; 微通道换热器

DOI: 10.16711/j.1001-7100.2016.10.014

Experimental investigation on energy saving of the combined air conditioner in data center by separate heat pipe and vapor compressor

Li Gailian¹, Shi Zichao¹, Zhang Zhiwei¹, Jin Tingxiang¹, Shao Shuangquan², Tian Changqing²

(1. School of Energy and Power Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China;

2. Key Laboratory of Cryogenics, TIPC, CAS, Beijing 100190, China)

Abstract: In order to solve the problem of high energy consumption and running cost of the air conditioning system in data center, a set of combined air conditioner with separate heat pipe and vapor compressor was designed in this paper. The refrigerating capacity and EER of air conditioning system were tested under different ambient temperatures. Moreover, the performance of energy saving of the combined air conditioner was also analyzed. The experimental results show that the maximum refrigerating capacity and EER of separate heat pipe are respectively 4575W and 17.99 when the ambient temperature is 7°C . Therefore, the combined air conditioner running in the heat pipe condition can meet the cooling demand of data center in winter, spring and autumn seasons. Based on the analysis of air conditioning operation condition throughout the year, it is not necessary for Harbin, Beijing and Guangzhou area to open the compressor refrigeration at least 67% , 52% and 19% of the annual time, respectively, which can greatly reduce the energy consumption of the refrigeration system.

Keywords: Heat pipe, Data center, Combined air conditioner, Microchannel heat exchanger

1 引言

随着云计算产业的快速发展,未来几年我国对数据中心机房的流量处理能力需求长将不断增长,机房面积需要翻一番才能满足云计算发展的需求。数据机房具有电子设备高度集中、高发热、高耗能的特点,需要全年给机房提供冷量,来保障机房恒温恒湿的工作环境。传统机房空调采用单一的蒸汽压缩制冷技术,全年全天候制冷运行,机

房空调能耗非常大,其能耗约占通讯基站整体能耗的 45% 左右,如图1所示。有研究表明,为提高空调制冷效率,各种空调系统要因地制宜地尽量利用室外自然冷源进行制冷,降低空调系统的制冷能耗^[1-2]。

分离式热管是一种利用温差驱动制冷剂循环进行换热的高效传热元件;在冬季和春秋过渡季节,分离式热管可以把室外自然冷源引入机房内,达到对机房进行降温的目的。分离式热管无压缩

收稿日期: 2016-06-29

基金项目: 国家自然科学基金(51676199); 中国科学院低温工程重点实验室开放课题(CRYO201612)资助。

作者简介: 李改莲(1975-),女,副教授,研究方向: 制冷空调设备新技术研究。

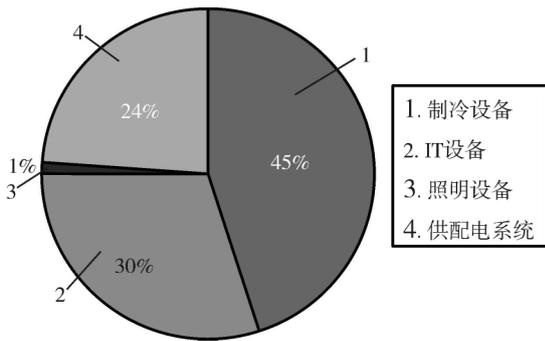


图 1 数据中心耗能分布图

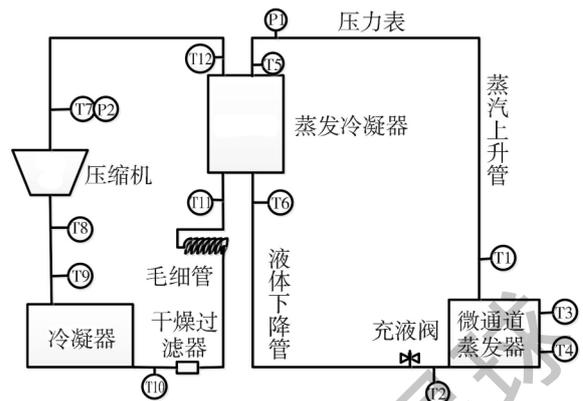
Fig. 1 Distribution of energy consumption in data center
 机装置,其耗电部分仅是室内外机上的两个风机,具有运行能耗低、维护费用低、制冷效果好等优点。Choi. J^[3-4]等对采用自然冷源和蒸汽压缩式的复合制冷系统进行了试验研究。Manimaran. R^[5]等对采用不同制冷工质的热管的传热性能进行了试验研究。Rahmat. M^[6]等利用有限元法对单个微通道热管的充液率对传热性能的影响进行了模拟分析。石文星^[7]等对分离式热管应用于数据机房的节能性进行了试验研究。王铁军^[8]等人进行了高性能计算机用热管复合制冷系统设计研究。王永刚^[9]等对利用分离式热管技术降低机房空调的能耗进行研究分析。但是目前对分离式热管的研究主要集中于翅片管换热器在制冷系统的使用上,但对微通道型换热器在制冷系统中的应用研究较少;微通道型热管具有结构紧凑、风阻小和换热能力强等特点,微通道型热管的使用会大大增强热管系统的换热能力。

本文设计了一套采用微通道型换热器的分离式热管与蒸汽压缩式空调复合使用的机房空调系统,以下简称复合式空调,并搭建试验台,对该数据机房热管空调的节能性进行了试验研究。

2 试验装置与实验方法

2.1 试验装置

该试验装置包括蒸汽压缩式空调装置、分离式热管装置,它们通过套管散热器耦合连接在一起;蒸汽压缩式空调装置设置在机房外部,分离式热管的微通道蒸发段设置在机房内部。在系统中应用套管散热器,可以避免两套设备的使用,节省空间。数据机房空调系统图如图 2 所示。



T1: 微通道蒸发器出口温度; T2: 微通道蒸发器进口温度; T3: 微通道蒸发器中间温度 1; T4: 微通道蒸发器中间温度 2; T5: 套管散热器进口温度; T6: 套管散热器出口温度; T7: 压缩机进口温度; T8: 压缩机出口温度; T9: 冷凝器进口温度; T10: 冷凝器出口温度; T11: 蒸发冷凝器进口温度; T12: 蒸发冷凝器出口温度; P1: 热管系统运行压力; P2: 蒸汽压缩制冷系统运行压力

图 2 数据机房空调系统流程图

Fig. 2 Flow chart of air conditioning system in data room

分离式热管的蒸发段采用微通道换热器,其由集流管、扁管、百叶窗翅片等组成;沿气流方向为 1 排管,共 63 个扁管,扁管呈垂直分布;翅片上开有小百叶窗,采用百叶窗翅片能增加翅片表面对空气的扰动,破坏扁管表面空气流动的边界层,从而强化换热,有效提高系统能效,其实物图如图 3 所示。套管散热器为翅片管换热器,垂直气流方向每排水平布置 12 根管,沿气流方向为 2 排管,单管长 800mm,内管直管段之间由 180°弯头连接而形成通路,管间距 25mm,错排布置,管径为 7mm×0.2mm,翅片间距为 2mm,翅片厚 0.15mm。

2.2 试验方法

本试验在焓差实验室进行,如图 4 所示,分离式热管系统的冷凝器和蒸发器分别放置室外侧和室内侧,蒸汽压缩式空调系统放置在室外侧。根据 GB50174-2008,C 级数据机房内部温度范围要求为 18~28℃^[10],将室内侧温湿度分别设置为 27℃±0.1℃、50%,室外侧温度分别设置为 7℃、11℃、15℃、19℃和 23℃,测定分离式热管系统的制冷量和能效比。当室外侧环境温度设置为 19℃或 23℃时,室内外温差较小,单独的分离式热管装置不足给室内侧提供冷量并保障机房工作环境;此时启动蒸汽压缩式空调装置,分离式热管装置和蒸汽压缩式空调装置同时运行,即运行复

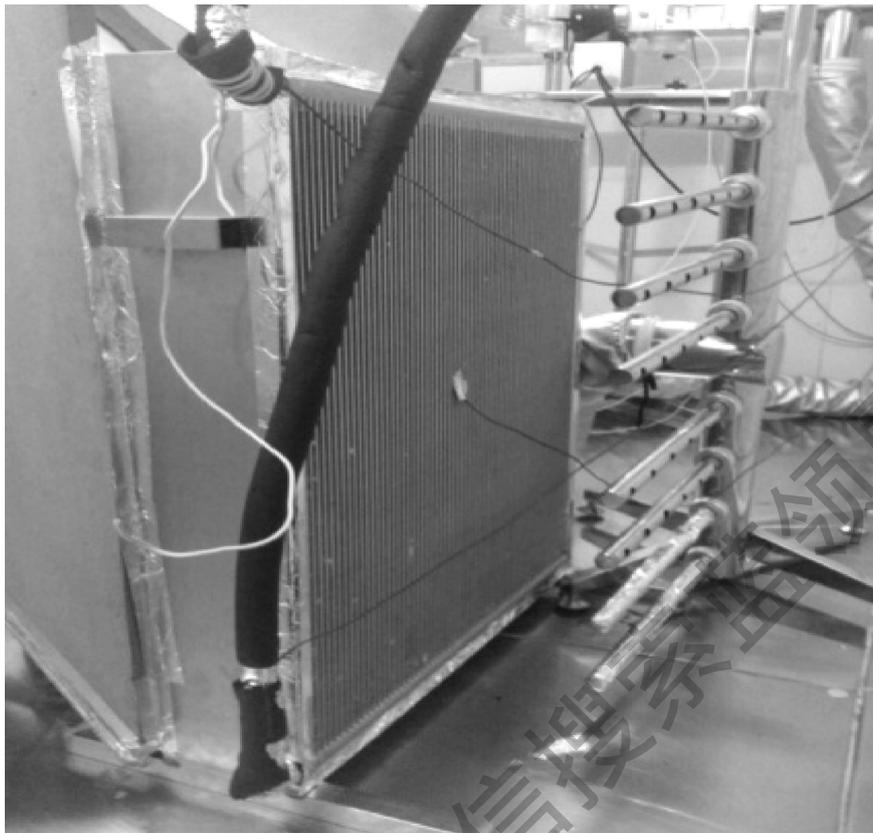


图 3 微通道蒸发器实物图

Fig. 3 Diagram of micro channel evaporator

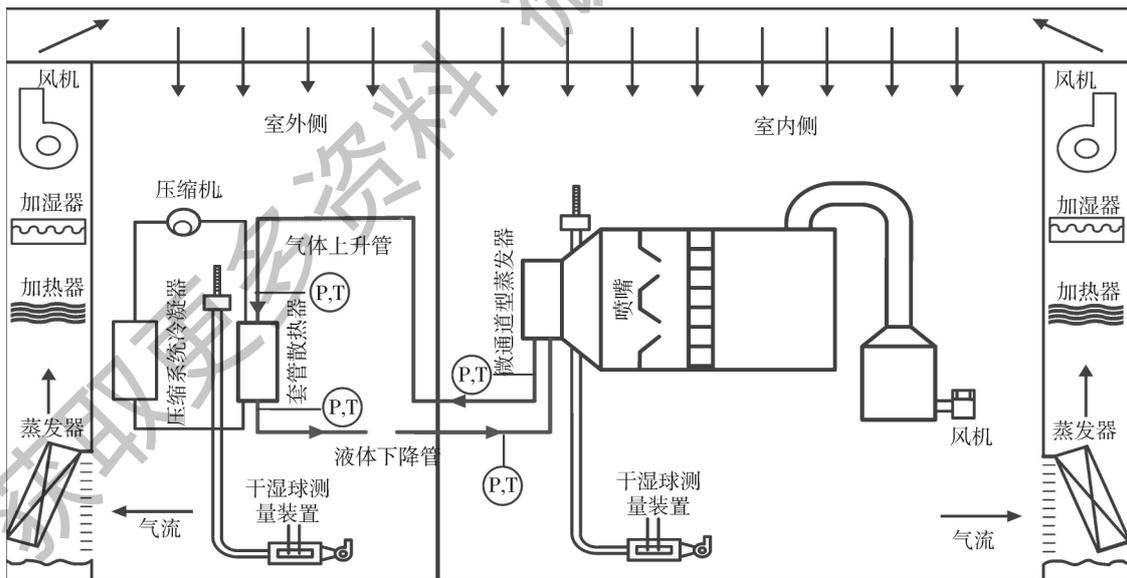


图 4 焓差实验室布局图

Fig. 4 The enthalpy difference lab layout

合工况 满足机房的供冷需求。室外侧温度设置为 27℃、31℃ 和 35℃，分离式热管无法进行工作，关闭套管散热器上的风机，只运行蒸汽压缩式空调系统，测定该工况下的制冷量和能效比。在换

热器进出口及中间部分共布置 12 个 T 型热电偶，测定换热器表面温度。根据各地区的逐时气象数据，计算出每个地区运用该空调装置的全年节能率。

表 1 运行工况参数
Tab. 1 Operating condition parameters

工况名称	室内干球/℃	室外干球/℃	输入功率/W	制冷量/W	COP
热管工况 1	27℃	7℃	254	4575	17.99
热管工况 2	27℃	11℃	253	3489	13.76
热管工况 3	27℃	15℃	252	2512	9.93
热管工况 4	27℃	19℃	252	1392	5.51
热管工况 5	27℃	23℃	252	453	1.79
复合工况 1	27℃	19℃	832	3356	4.03
复合工况 2	27℃	23℃	860	2613	3.03
制冷工况 1	27℃	23℃	741	2868	3.87
制冷工况 2	27℃	27℃	763	2693	3.33
制冷工况 3	27℃	31℃	781	2316	2.96
制冷工况 4	27℃	35℃	808	2179	2.70

热管空调制冷量 Q 的计算公式有:

$$Q = \rho v A c_p \Delta t \quad (1)$$

式中 ρ : 空气密度, kg/m^3 ; v : 风速, m/s ; A : 风道截面积, m^2 ; c_p : 空气定压比热容, $\text{kJ}/\text{kg} \cdot \text{°C}$; Δt : 蒸发器进出风空气温差, °C 。

3 试验结果及分析

表 1 是在室外侧各个工况下的运行参数。通过比较发现,在热管工况下,机组运行功率为 253 左右,远远小于复合工况和制冷工况的运行功率;这是因为在热管工况下,机组仅有分离式热管蒸发器和冷凝器上的风机消耗电能。所以冬季或春秋过度季节,运行热管工况,在满足制冷要求的同时,可以大大降低制冷系统的能耗。

当室外侧环境温度为 7 ~ 19℃ 范围时,只运行分离式热管系统,即热管工况,数据机房空调系统的制冷量和能效比变化如图 5 - 6 所示。可以看出,随着环境温度的升高,制冷量和 EER 呈直线下降趋势;当室外侧环境温度为 7℃ 时,制冷量达到最大值 4575W, EER 高达 17.99;当室外侧环境温度为 19℃ 时,制冷量为 1392W, EER 为 5.51;其中,当室外侧环境温度为 7℃ 时的制冷量比温度 12℃ 时增加了 82.1%。当环境温度为 19 ~ 23℃ 范围时,由于室内外温差较小,分离式热管系统不足以给室内侧提供所需冷量,启动蒸汽压缩式空调系统,同时运行蒸汽压缩式系统和分离式热管系统为机房提供冷量,即运行复合工况。当

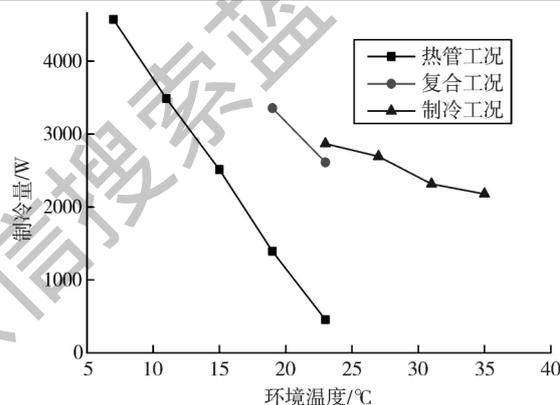


图 5 制冷量随室外环境温度的变化

Fig. 5 The change of cooling capacity with the outdoor environment temperature

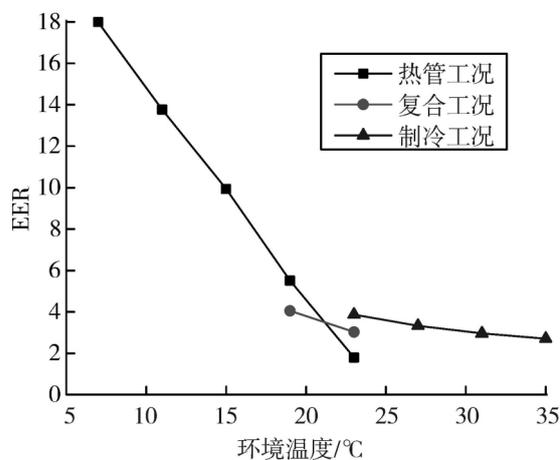


图 6 EER 随室外环境温度的变化

Fig. 6 The change of EER with the outdoor environment temperature

室外侧环境温度为 23 ~ 35℃ 范围时,分离式热管装置无法进行工作,关闭套管散热器的风机,只运

行蒸汽压缩式空调系统,制冷量和能效比均随着室外侧环境温度的升高而减低;当室外侧环境温度为 19℃ 度时,制冷量达到 3356W,能效比达到 4.03;当室外侧环境温度为 35℃ 度时,制冷量达到 2179,能效比达到 2.70。

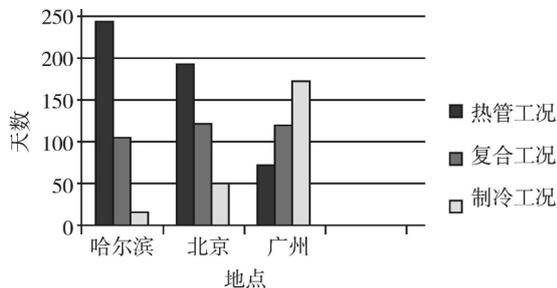


图 7 不同地区机房空调全年工作时间统计

Fig. 7 Annual working hours of air conditioner in different areas

不同地区机房复合式空调全年工作时间统计如图 7 所示,根据哈尔滨、北京及广州地区标准气象年全年各级干球温度频数统计,并与该空调系统的运行工况进行对比,哈尔滨地区全年至少有 67% 的时间不需要开启压缩机制冷,北京地区全年至少有 52% 的时间不需要开启压缩机制冷,广州地区全年有至少 19% 的时间不需要开启压缩机制冷。虽然在夏季制冷工况时,热管会产生一部分漏热损失,复合空调系统能效比低于常规机械压缩制冷,但综合全年考虑,冷却能耗却大为降低,越是北方地区节能效果越明显。以北京为例,应用热管空调可降低其全年空调能耗的 31% ~ 35%。推广到全国后可获得巨大的经济、社会效益。

4 结论

本文设计了一套数据机房热管复合空调系统,试验研究了其在不同环境温度下的制冷量和能效比,并对该复合空调节能性进行了分析,得出以下结论:

(1) 当室外侧环境温度为 7℃ 时,分离式制冷量达到最大值 4575W, EER 高达 17.99;当室外侧环境温度为 19℃ 时,制冷量为 1392W, EER 为 5.51;其中,当室外侧环境温度为 7℃ 时的制冷量比温度 12℃ 时增加了 82.1%。所以冬季或春秋过渡季节,运行热管工况,在满足制冷要求的同时,可以大大降低制冷系统的能耗。

(2) 复合空调的应用,将会极大降低数据中心能耗水平。根据哈尔滨、北京及广州地区标准气象年全年各级干球温度频数统计,使用该空调系统的运行工况对比,哈尔滨地区全年至少有 67% 的时间不需要开启压缩机制冷,北京地区全年至少有 52% 的时间不需要开启压缩机制冷,广州地区全年至少有 19% 的时间不需要开启压缩机制冷。虽然在夏季制冷工况时,复合空调系统能效比较低,但是综合全年考虑冷却能耗大为降低,越是北方地区节能效果越明显。以北京为例,应用热管空调可节省其全年空调能耗的 31% ~ 35%。推广到全国后可获得巨大的经济、社会效益。

参考文献

- [1] 顾大伟. 数据中心建设与管理指南[M]. 北京: 电子工业出版社, 2010.
- [2] 蒋青泉. 通信网络能耗分析与节能技术应用[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2009(2): 464 - 470.
- [3] Choi J, Jeon J, Kim Y. Cooling performance of a hybrid refrigeration system designed for telecommunication equipment rooms [J]. Applied Thermal Engineering, 2006, 27(11): 2026 - 2032.
- [4] Lee S, Kang H, Kim Y. Performance optimization of a hybrid cooler combining vapor compression and natural circulation cycles [J]. International Journal of Refrigeration, 2008, 32(5): 800 - 808.
- [5] Manimaran R, Palaniradja K, Alagumurthi N, et al. Experimental comparative study of heat pipe performance using CuO and TiO₂ nanofluids [J]. Int. J. Energy Res., 2014, 38(5): 573 - 580.
- [6] Rahmat M, Hubert P. Two - Phase Simulations of Micro Heat Pipes [J]. Computers & Fluids, 2010, 39(3): 451 - 460.
- [7] 石文星, 韩林俊, 王宝龙, 等. 热管/蒸气压缩复合空调原理及其在高发热量空间的应用效果分析[J]. 制冷与空调, 2011, 11(1): 30 - 36.
- [8] 王永刚, 张勤. 利用热管技术降低机房能耗[C]. 节能减排—通信电源新技术论坛暨 2011 通信电源学术研讨会, 厦门, 2011, 19 - 25.
- [9] 王铁军, 等. 高性能计算机用热管复合制冷系统设计研究[J]. 低温与超导, 2013, 41(8): 63 - 66.
- [10] GB50174 - 2008. 电子信息系统机房设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2008.