

麓谷机房热管节能改造分析

肖旭^{1*}, 肖伟雄^{2#}, 陈飞虎³

¹广东申菱热储科技有限公司, 广东 佛山

²衡阳市环境卫生事务中心, 湖南 衡阳

³湖南大学土木工程学院, 湖南 长沙

收稿日期: 2022年10月13日; 录用日期: 2022年11月4日; 发布日期: 2022年11月14日

摘要

在2030“碳达峰”及2060年的“碳中和”背景下, 各行业纷纷出台各项标准与应用低碳技术以响应国家政策。而IDC (Information Data Center)机房其能耗呈井喷式增长, 节能降耗迫在眉睫。针对该形式, 日前省发改委出台了“数据中心及5G基站”低碳行动方案。热管自然冷却是降低这一能耗的有效方法之一, 目前单元式水冷多联热管系统被广泛应用于数据中心。本文针对长沙地区麓谷电信机房热管空调改造项目进行建模分析, 并以实测值验证。结果表明, 系统的年节电约为190万度。是值得在全国范围推广的技术。

关键词

IDC (Information Data Center)机房, 热管, 有限时间热力学, 能效分析

Analysis of Heat Pipe Energy Saving Transformation in Lu-Valley Machine Room

Xu Xiao^{1*}, Weixiong Xiao^{2#}, Feihu Chen³

¹Guangdong Shenling Thermal Storage Technology Co., Ltd., Foshan Guangdong

²Hengyang Environmental Health Affairs Center, Hengyang Hunan

³School of Civil Engineering, Hunan University, Changsha Hunan

Received: Oct. 13th, 2022; accepted: Nov. 4th, 2022; published: Nov. 14th, 2022

Abstract

Under the background of “carbon peak” in 2030 and “carbon neutrality” in 2060, various industries have issued various standards and applied low-carbon technologies in response to national policies. However, the energy consumption of IDC (Information Data Center) machine rooms is in-

*第一作者。

#通讯作者。

creasing in a blowout way, and energy conservation and consumption reduction are imminent. In view of this form, the Provincial Development and Reform Commission recently issued a low-carbon action plan of “data center and 5G base station”. The natural cooling of heat pipe is one of the effective methods to reduce this energy consumption. At present, the unitary water-cooled multiple heat pipe system is widely used in the data center. In this paper, the modeling and analysis of the Lu-Valley telecommute-room heat pipe air conditioning reconstruction project in Changsha area are carried out, and verified by the measured values. The results show that the annual power saving of the system is about 1.9 million kilowatt hours. It is a technology worth popularizing nationwide.

Keywords

IDC (Information Data Center) Machine Room, Heat Pipe, Finite Time Thermodynamics, Efficiency Analysis

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



1. 引言

党的“十九大”报告明确将“互联网+”上升为国家战略，而数据中心是其保证。同时，其能效巨大，而空调系统占到数据中心的用电量的 43%左右。针对该情况，国内外学者将热管技术引入。重力热管空调在数据机房及基站等场合有采用，但是他的应用场合受到限制，当夏季室外温度较高时，室内外温差小于 6℃时，单独采用热管空调不能满足要求，此时，需要开启空凋制冷系统。随着热密度的不断增高，热管空调经历了风冷热管机组、水冷热管机组、水冷多联热管机组等的发展历程[1] [2] [3] [4] [5]。水冷多联热管系统由热管蒸发器吸收 IT 服务器的热量，在中间换热器(CDU)，中与冷冻水进行换热，其中制冷剂通过重力回流到蒸发器末端，形成一个循环。见图 1。本课题组对湖南某电信机房空调进行建模，

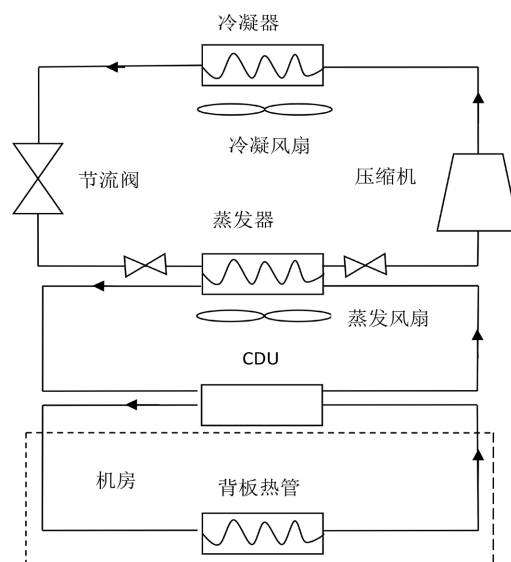


Figure 1. Backboard heat pipe system diagram of a telecommunications room

图 1. 某电信机房背板热管系统图

并与传统机房精密空调进行对比,结果表明,其节能率达到 26% [6]。并且热管属于被动式节能技术,其节能效果受环境影响较大。而在实际的改造方案决策及方案评价时,缺少系统能效评价的简便计算方法。本文以长沙某电信机房热管改造方案为例,应用分情况讨论的数学方法,并借助 CYCLEPAD (热力学循环软件名称)热力学分析软件对其节能效果进行了计算。计算结果可为该类热力系统的评价做参考。

2. 水冷多联热管系统的物理模型

当室内外温差大于 6°C 时热管系统开始运行。如图 1。

2.1. 水冷多联热管系统的安装形式

1) 列间热管

列间热管制冷末端与机柜并排布置,列间热管采用前部出风,后部回风的方式。列间热管安装靠近热源,换热效率极高。一般结合冷通道封闭的形式,进一步减小冷量的损耗。如图 2。

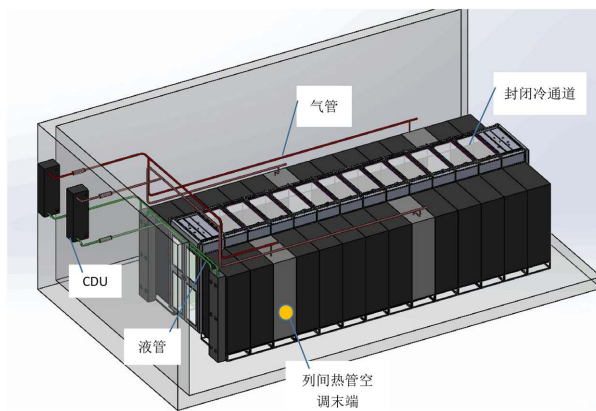


Figure 2. Installation diagram of inter column heat pipe
图 2. 列间热管安装示意图

2) 背板热管

安装在机柜背后,服务器排出的热风与背板热管末端热交换后变成冷风排到室内环境。冷却距离短,冷量损耗小。如图 3。

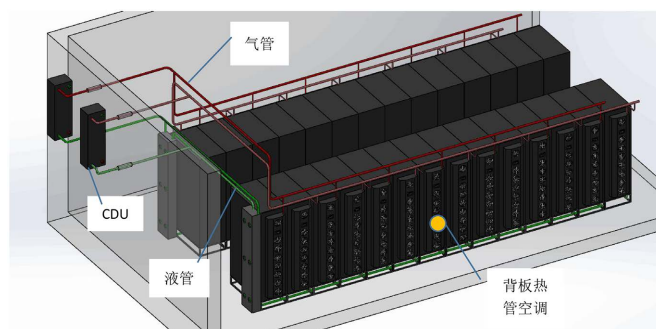


Figure 3. Installation diagram of backplate heat pipe
图 3. 背板热管安装示意图

3) 下沉式热管

下沉式热管安装在静电地板下,不占用机房空间,如图 4。

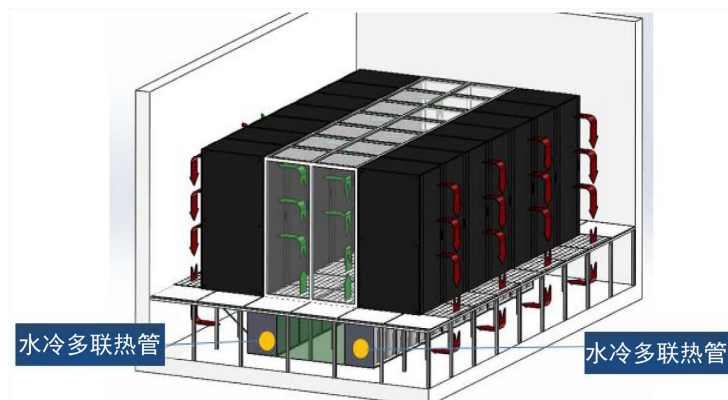


Figure 4. Installation diagram of sinking multi connected heat pipe
图 4. 下沉式多联热管安装示意图

2.2. 水冷多联热管系统的特点

1) 安全可靠

该系统安全可靠，系统利用温差和工质自然相变传热，无水进机房；另一方面，水冷多联热管系统采用大风量、小焓差设计，通过提高送风温度，使送风温度在空气的露点温度以上，不会产生冷凝水。保障了 IT 设备运行的可靠性[7]。

2) 节能率高

在冬季及过渡季节，即全年超过一半时间可以利用自然冷却；冷水供回水温度提高，由传统空调供回水温度 7/12℃ 上升到 12/17℃，冷水机组的效率提高；末端贴近热源，系统节能率高达 30%~90%；采用平行流换热器，比传统铜管铝翅片效率高 30% 以上[8]。如图 5。

3) 经济性好

通过 CFD 辅助设计，对存在温度死区的位置进行个性化管理，局部控制该点处的环境，在保证整个机房内环境的均匀性、节省故障排查的工作量的同时降低了温控设备的整体运行费用。维护方便：本机组维护方便，每个风机有独立模块安装，维护方便。机组使用寿命 10~12 年。

其多项技术指标填补了国内空白，处于世界领先水平。产品在常德云大数据中心、湖南省电子政务外网机房、湖南东江湖大数据中心等进行了现场测试，综合能效比(COP)是传统空调设备的 2~3 倍 [9]。

3. 工程概况

3.1. 空调冷负荷

机房发热量约为 1300 kw，冷负荷总计约 1680 KW。

3.2. 原机房精密空调配置

原机房采用 17 台 100 kw 的专用精密空调。设计工况为：冷凝温度 30℃。

4. 采用热管末端 + CDU(冷量分配单元 Cooling Deliver Unit) + 主机的改造方案

当室外温度低于 10℃ 时，利用风冷自然冷却。室内外温差大于 6℃ 而小于 10℃ 时，采用混合制冷模式[10]。以长沙地区为例，月平均温度如下表 1 所示：

Table 1. Distribution of average outdoor meteorological temperature in IDC machine room**表 1.** IDC 机房平均室外气象温度分布表

温度区间	$\geq 30^{\circ}\text{C}$	$\geq 20^{\circ}\text{C}, < 30^{\circ}\text{C}$	$\geq 10^{\circ}\text{C}, < 20^{\circ}\text{C}$	$\geq 0^{\circ}\text{C}, < 10^{\circ}\text{C}$	$< 0^{\circ}\text{C}$
占比	11.5%	33.3%	27.1%	26.2%	1.9%

空调设 2 套系统，室内设计参数如表 2 所示。热管系统的运行模式见表 3，热管空调改造设备参数表见表 4。

Table 2. Interior design parameters**表 2.** 室内设计参数

房间名称		夏季		冬季	
		温度($^{\circ}\text{C}$)	相对湿度(%)	温度($^{\circ}\text{C}$)	相对湿度(%)
数据机房	冷通道	23 ± 1	45~55	23 ± 1	45~55
	热通道	35	45	35	45
辅助用房		26	≤ 65	18~20	≥ 30

Table 3. Operation mode of heat pipe system**表 3.** 热管系统运行模式

序号	系统运行模式	运行条件
1	自然冷源开启	室外温度 $\leq 14^{\circ}\text{C}$
2	部分自然冷源 + 主机模式	$14^{\circ}\text{C} < \text{室外温度} \leq 19^{\circ}\text{C}$
3	热管 + CDU + 主机	自然冷源室外温度 $> 19^{\circ}\text{C}$

Table 4. Parameters of heat pipe air conditioning renovation equipment**表 4.** 热管空调改造设备参数表

序号	名称	型号	数量
1	吊顶热管末端	14 KW	30
2	柜式热管末端	40 KW	45
3	CDU	90 KW	24
4	冷水机组	901.4	2
5	板式换热器	1200	2
6	冷却塔	200 m^3/h	2

5. 耗电量对比分析

1) 冬季

热管系统：室内外温差大于 10°C 时，即室外温度低于 14°C 时，采用自然冷却，只需提供热管风扇的功耗[11]。根据表 1，其系统采用自然冷却模式占全年(8760 小时)的运行的时间比为： $1.9\% + 26.2\% + (27.1 \times 0.4) = 39\%$ 。

风冷精密空调系统：取平均冷凝温度为 7°C ，输入功率为 31.2 Kw。

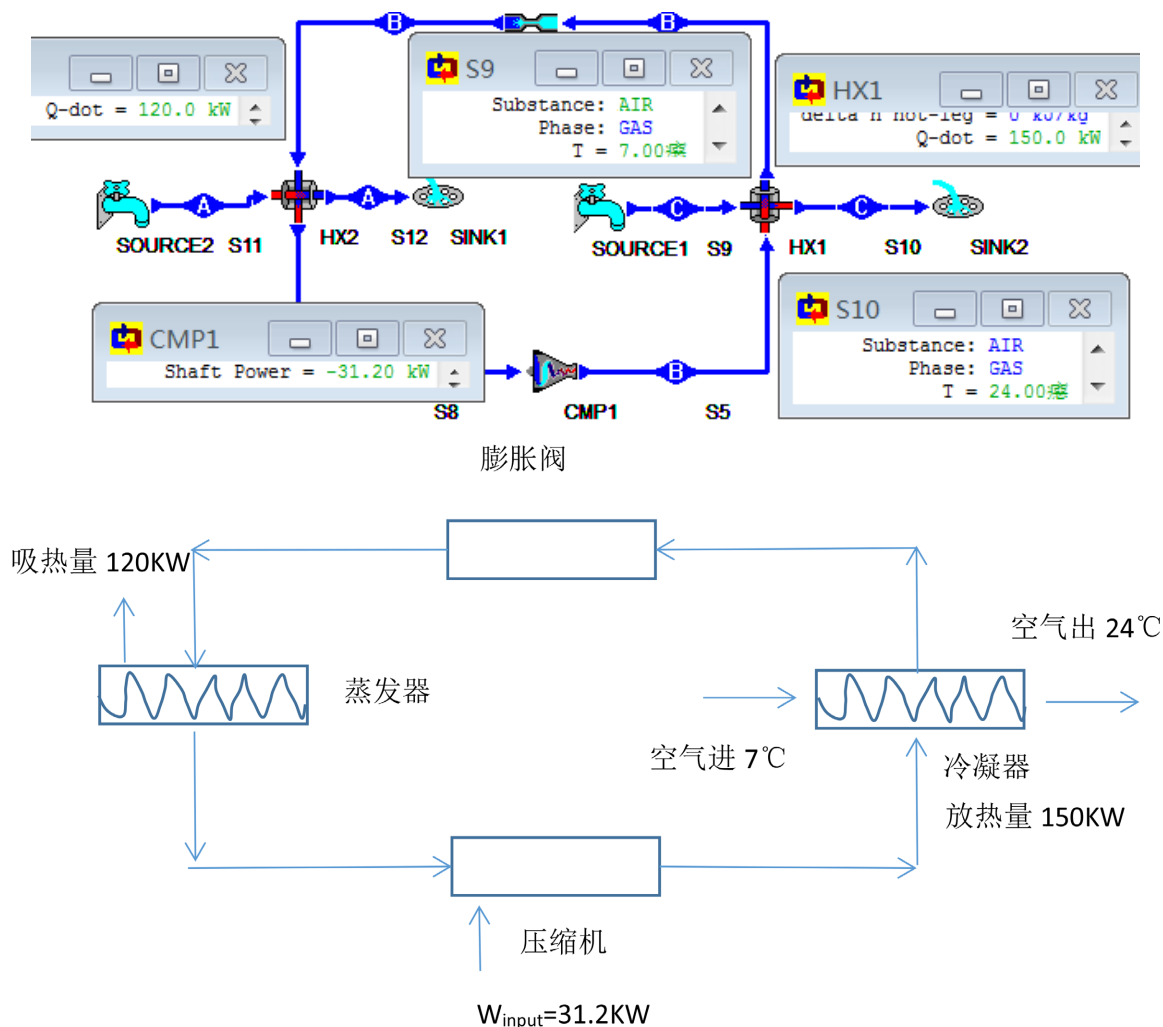


Figure 5. Calculation of refrigeration efficiency of air cooled precision air conditioner (when the condensing temperature is 7°C)
图 5. 风冷精密空调制冷效率计算(冷凝温度为 7°C时)

根据计算，其制冷效率为夏季的 1.2。

风冷精密空调能耗： $31.2 \times 17 \div 1.2 = 442 \text{ kw}$ 。

2) 过渡季节

a) 室外温度为 19°C~30°C 的时间其占全年(8760 小时)的运行的时间比为：

$(33.3\% + 27\% \times 0.1) = 36\%$ 。

该段时间内系统运行的模式采用混合冷却模式。

风冷精密空调的能耗： $31.2 \times 17 = 531.4 \text{ Kw}$

改造后热管 + CDU + 冷水主机的功耗：取水冷机组的 COP 为 5.6。计算得水冷机组的能耗：

$1680.25 \div 5.6 + 0.24 \times 45 + 1.75 \times 30 = 363.3 \text{ Kw}$

b) 室外温度为 14°C~19°C 时，采用部分自然冷却方式。其时间为： $27.1\% \times 0.5 = 13.5\%$ 。

部分自然冷却方式节约的水冷主机开机的时间为 $13.5\% \times 0.5 = 6.7\%$ 。

3) 夏季

室外温度 > 30°C 的时间为 11.5%，按平均冷凝温度 35°C 计算[12]：

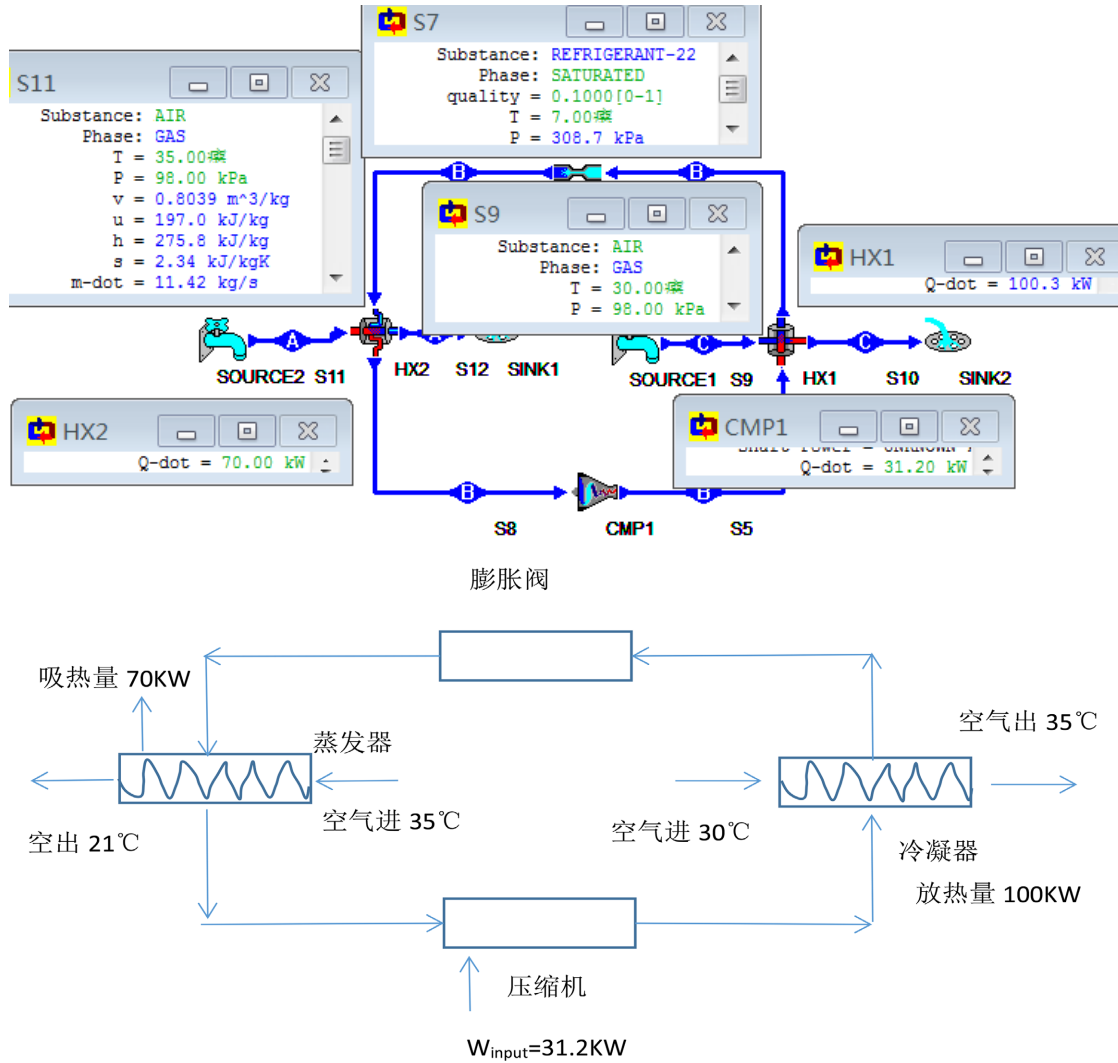


Figure 6. Refrigerating capacity calculation diagram of air-cooled precision air conditioner when the condensing temperature is 35°C

图 6. 冷凝温度为 35°C 时风冷精密空调的制冷量计算图

风冷精密空调的制冷效率为额定工况的 0.7，计算过程见图 6。

其功耗为： $31.2 \div 0.7 \times 17 = 757.7 \text{ kw}$

水冷模式取 363.3 Kw。

该方案实施后全年综合节电：

(自然冷却模式 + 部分冷却模式 + 夏季工况) × 8760 小时

$= [442 \times 39\% + 531.4 \times 6.7\% + (757.7 - 363.3) \times 11.5\%] \text{ kw} \times 8760 \text{ h} = 190 \text{ 万 kw} \cdot \text{h}$

从以上的计算可以看出，其计算过程简便。全年节电 190 万度，其节能效果显著。

6. 计算结果讨论与结论

1) 影响热管系统运行的参数较多，如室外气温、围护结构、热管发热情况等。运用经典热力学对系统性能的评价指标粗糙。

2) 结合热力学仿真软件 CYCLEPAD，提出了一种分析与评价热管系统的快速简便的方法。

参考文献

- [1] 齐蓉, 陈飞虎, 杨志新, 邢利, 廖曙光. 长沙地区某联通机房热管空调改造的节能分析[J]. 电力与能源进展, 2022, 10(4): 91-97.
- [2] 陈飞虎, 廖曙光. 单元式水冷多联热管系统参数的 MATLAB 求解算法[J]. 洁净与空调技术, 2022(4): 1-3.
- [3] 隆先进, 陈飞虎, 廖曙光. 热力学仿真软件 CYCLEPAD 在实际热力系统中的应用现状及展望[J]. 暖通空调, 2022, 2(增刊 1): 286-288.
- [4] 陈飞虎, 周新力, 廖曙光. 重力热管型双循环空调在夏热冷地区应用探讨[J]. 洁净与空调技术, 2022(1): 44-49.
- [5] Chen, F.H., Liao, S.G. and Gong, G.C. (2022) Finite Time Thermodynamic Analysis and Optimization of Water Cooled Multi-Split Heat Pipe System (MSHPS). *Energy and Built Environment*, **3**, 373-383. <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2021.04.001>
- [6] 陈飞虎, 廖曙光. 数据中心热管空调系统仿真研究——基于热力学模拟软件 CYCLPAD [J]. 制冷与能源, 2016(2): 31-35.
- [7] 王文华, 陈林根, 戈延林. 燃气轮机循环有限时间热力学研究新进展[J]. 海军工程大学学报, 2012, 41(3): 171-178.
- [8] Wang, H.D. and Zhai, Z.Q. (2016) Advances in Building Simulation and Computational Techniques: A Review between 1987 and 2014. *Energy and Buildings*, **128**, 319-335. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.080>
- [9] Ling, L., Zhang, Q. and Yu, Y.B. (2017) Simulation of a Micro Channel Separate Heat Pipe (MCSHP) under Low Heat Flux and Low Mass Flux. *Applied Thermal Engineering*, **119**, 25-33. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.03.049>
- [10] Zhang, H.N. and Shao, S.Q. (2015) Integrated System of Mechanical Refrigeration and Thermosyphon for Free Cooling of Data Centers. *Applied Thermal Engineering*, **75**, 185-192. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.09.060>
- [11] 吕冬彦. 空气源热泵结霜工况性能分析与实验研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 湖南大学, 2008.
- [12] Li, G.Q., *et al.* (2016) Performance Analysis on a Solar Concentrating Thermoelectric Generator Using the Micro-Channel Heat Pipe Array. *Energy Conversion and Management*, **112**, 191-198. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.01.025>