

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2013.12.019

毛细管平面辐射空调系统的优化控制

杜芳莉

(西安航空学院 动力系, 陕西 西安 710077)

摘要: 针对传统空调系统中主要通过对流换热的方式来消除室内的热湿负荷造成能源品味上的浪费问题,将毛细管辐射换热技术应用于空调系统中,开展了由毛细管承担室内显热负荷而由新风系统承担全部的室内潜热负荷空调处理方案的分析,建立了空调房间温度与湿度之间相互独立的控制方法,并提出了采用冷冻水变流量优化控制法解决毛细管换热中的结露问题。在新风系统运行时,毛细管辐射供冷系统停止供水;新风系统除湿结束后,毛细管辐射供冷系统开始供水,在此基础上对毛细管辐射供冷系统采用间歇性流量控制方案进行了评价。研究表明,该控制方案不仅简单易行,而且节约能源。

关键词: 毛细管平面辐射; 中央空调系统; 优化控制; 节能

中图分类号: TB57;TP273 **文献标志码:** A

文章编号: 1001-4551(2013)12-1528-04

Optimization control of capillary plane radiant air-conditioning system

DU Fang-li

(Power Engineering Department, Xi'an Aeronautical University, Xi'an 710077, China)

Abstract: In order to solve the problems of the waste in traditional air conditioning system energy of taste, when heat and moisture load mainly by convection heat transfer to eliminate indoor, the capillary radiation heat transfer technology was investigated. After the analysis of undertaking indoor sensible heat load by capillary, but indoor latent load all by the fresh air system, the control method independent of each other between the air conditioning room temperature and humidity was established. A method of flow control method of variable chilled water was presented to solve the problem of capillary condensation heat transfer. Capillary radiation cooling system stop water to supply when the fresh air system is running; but capillary radiation cooling system water resupply after the fresh air dehumidification system. The intermittent flow control scheme about radiation cooling system capillary were evaluated on this basis. The experimental results show that the control scheme is not only simple but also energy saving.

Key words: capillary plane radiant; central air conditioning system; optimization control; energy-saving

0 引 言

随着人民生活水平的不断提高,人们对居住和办公环境的要求不断提高,这就要求室内空气品质和舒适性也要逐步提高。目前,新建公用建筑绝大部分都装有空调系统,而空调系统是一把“双刃剑”,它在给人们提供舒适室内环境的同时,却带来了大量的能源消耗,造成能源供给的日趋紧张。众所周知,空调系统能耗占大型公用建筑能耗的比例是最高的,因此,空调的舒适和节能成为了建筑节能中的关键。

低碳经济鼓励可再生能源的开发利用,毛细管作为一种可以重复利用的环保类材料进入空调市场,既符合国家节能减排降耗及住宅产业化政策,又满足人民群众对舒适健康生活的需求,是未来空调技术新的发展方向^[1]。

针对传统空调系统中主要通过对流换热的方式来消除室内的热湿负荷造成能源品味上的浪费问题,本研究将毛细管辐射换热技术应用于空调系统中,通过由毛细管承担室内的显热负荷,而由新风系统承担全部的室内潜热负荷,从而实现温、湿度独立控制,并提出采用冷冻水变流量优化控制法解决毛细管换热中的

收稿日期: 2013-06-18

作者简介: 杜芳莉(1975-),女,陕西西安人,讲师,主要从事制冷空调节能方面的研究. E-mail: dufangli75@163.com

结露问题,建立空调房间温度与湿度之间相互独立控制的方法。

1 毛细管辐射空调系统的工作原理

毛细管辐射空调系统是一种隐形空调,它是德国科学家根据仿生学原理在20世纪70年代发明的一种新型空调末端系统形式^[2],北美和日本学者从20世纪90年代开始也进行了大量研究。而国内对顶板供冷/暖的研究较西方晚,马玉奇、薛红香、陈启及江亿院士等对地板供冷进行了大量理论分析和实验研究。它类似人体毛细管网一样,一般安装在地面、墙体或天花板内,它以水为媒介,冬夏季通过辐射传热方式进行供热和供冷,通过把围护结构的一个或多个表面控制在一定温度,形成冷热辐射面,依靠辐射面与人体、家具及其余围护结构表面的辐射热交换进行供暖制冷。由于其辐射换热占大部分,在相同舒适条件下,该空调系统夏季供冷时,室内设计温度可以比传统空调系统室内设计温度相应地高1℃~2℃;冬季供暖时,室内设计温度可以比传统供暖方式相应地低1℃~2℃,节能效果显著^[3]。

其工作原理图如图1所示。

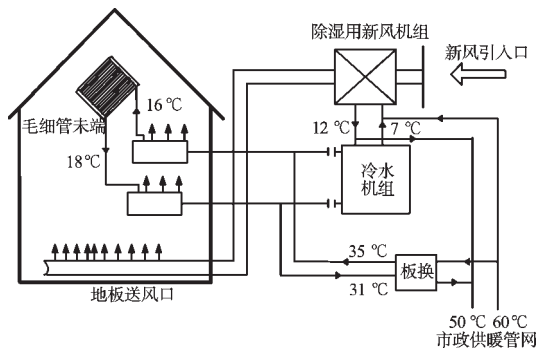


图1 毛细管辐射空调系统工作原理图

2 毛细管空调系统的总体控制方案

毛细管平面辐射空调系统是一个复杂的系统,它是由铺设在顶板或墙壁上的毛细管以辐射方式进行换热从而承担室内的显热负荷,而其本身不具有除湿能力,需要与独立新风系统结合使用,由新风系统承担全部的室内潜热负荷,从而实现温、湿度独立控制,控制示意图如图2所示。

尽管毛细管平面辐射空调系统采用的是温、湿度独立控制方式,但在夏季使用时,由于室内、外空气湿度较大,如果控制不当,则容易在毛细管表面产生结露现象,从而影响空调房间的舒适性要求。而毛细管顶板结露的根本原因是顶板的表面温度低于室内空

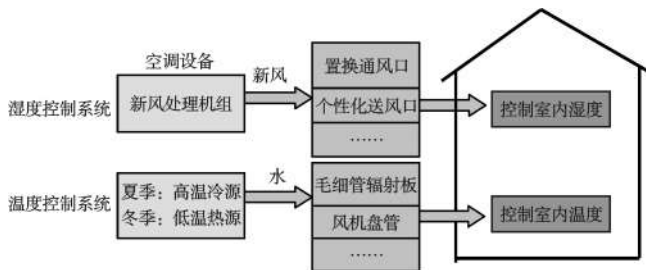


图2 毛细管平面辐射空调系统的温、湿度控制图

气的露点温度,室内空气在顶板表面因遇冷而产生结露现象^[4]。出现这种现象的原因有多种,如:毛细管顶板供回水温度过低;室内设计相对湿度过高;频繁开启门、窗等,使含湿量高的室外空气进入空调房间^[5];室内人员超过设计时考虑的人员总量;设计时未考虑全面房间内的散湿源,导致房间湿负荷增大等原因。而凝结水的形成是个极其缓慢的过程^[6],毛细管平面辐射空调系统的舒适性已经得到了验证,控制方案的设计目标主要是控制毛细管顶板表面出现结露现象,只要整个空调系统环路的控制合理有效,结露现象是很容易避免的^[7]。

针对这一问题,本研究提出通过设置露点监控系统来改变结露现象,而室内空气露点温度与室内干球温度及室内相对湿度之间存在一定的关系,有关数据如表1所示。露点温度控制系统则是通过对冷冻水流量的间歇控制以及对新风量的合理控制,确保该系统不会出现结露现象。

表1 室内空气露点温度和室内干球温度及相对湿度的关系

干球温度/℃	24	25	26	27	28
相对湿度/(%)					
40	9.5	10.3	11.2	12.1	13
50	12.8	13.7	14.6	15.5	16.5
60	15.6	16.5	17.5	18.4	19.4
70	18	19	20	20.9	21.9

3 毛细管制冷系统优化控制方案

毛细管空调制冷系统是以辐射方式进行换热,其换热效率高、节能效果好、安装方便,且室内温度场及速度场均匀、人体舒适度高,但其除湿能力较差,所以需要与新风系统结合使用,并依靠新风承担全部室内湿负荷^[8]。但即便这样,在夏季时由于室外空气湿度较大,若控制不恰当,经常会在毛细管表面产生结露现象,为此本研究采取冷冻水变流量防结露控制方案。该控制方案的工作原理是把供回水温度、流量、负荷与设计工况下进行比较,并根据以下公式确定新工况下的系统的流量:

$$G' = GQ'(t_g - t_h) / Q(t_g' - t_h')$$

式中： G' —实际需要流量，kg/H； G —设计工况下的流量，kg/H； Q' —实际负荷量； Q —设计工况下的负荷量； t_g/t_h —设计工况下的供回水温度，℃； t'_g/t'_h —实际运行时的供回水温度，℃。

间歇流量控制是基于变流量控制的优化控制方案，它主要是对毛细管辐射顶板表面温度与室内露点温度进行比较，控制电动二通阀的开关从而控制冷冻水的流量，该系统控制示意图如图3所示。

从图3中可看出，毛细管顶板表面的温度主要由电动二通阀调节，系统在比较毛细管顶板温度传感器的温度信号和露点温度传感器的信号之后进行控制电动阀的开关。当毛细管顶板表面的温度低于室内露点温度时，电动二通阀关闭，毛细管平面由于没有供水，表面的温度就会升高，当高于设定的室内露点温度值时，电动二通阀打开，继续供冷，通过控制电动二通阀的开关控制毛细管表面的温度高于室内露点温度，从而保证室内不会出现结露现象。该控制方式下控制参数仅为毛细管顶板表面温度和室内露点温度，该控制方式控制操作简单，控制系统容易设置，不需要太多的控制设备及程序算法，且初投较小，同时也能避免室内出现结露的危险，辐射空调系统一般都具有蓄热、蓄冷的特性，采用该控制方式不仅简单易行，而且节约能源。

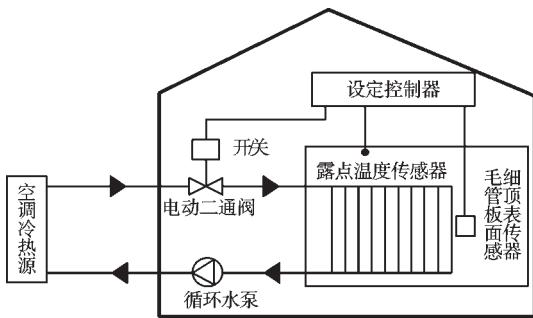


图3 毛细管平面辐射空调系统间歇流量控制示意图

4 毛细管辐射供冷与新风系统的优化控制方案

夏季应用毛细管平面辐射空调系统供冷时为了防止顶板表面结露，新风系统必不可少。为了不使新风系统和辐射供冷系统同时向室内供冷，导致室内温度过低，本研究采用毛细管辐射供冷系统与新风系统独立控制^[9]，新风系统用于降低室内空气的湿度和

温度，毛细管辐射供冷系统用于降低室内空气的温度，当新风系统运行时，毛细管辐射供冷系统停止供水，新风系统进行除湿，除湿结束后，毛细管辐射供冷系统开始供水，这样对室内温度和湿度的控制比较精确^[10]。

其控制逻辑图如图4所示。

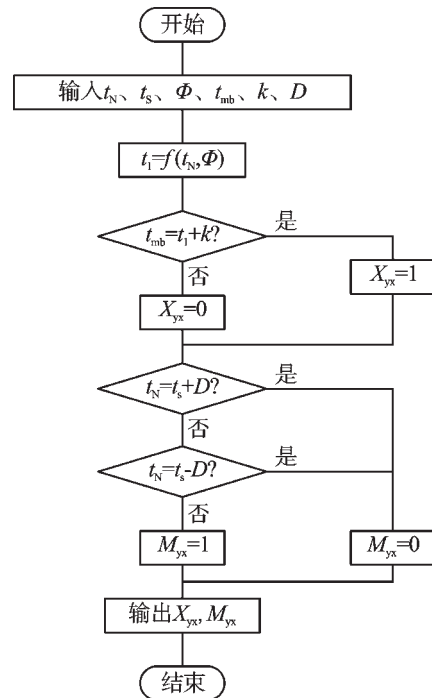


图4 毛细管辐射空调系统独立控制逻辑图

t_N —室内空气温度，℃； t_s —室内设定温度，℃； Φ —绝对湿度，%； t_{mb} —毛细管辐射板表面温度，℃； k —安全系数； D —控制精度； t_l —露点温度，℃； X_{ys} —新风系统运行； M_{ys} —毛细管辐射供冷系统运行

其控制框图如图5所示。

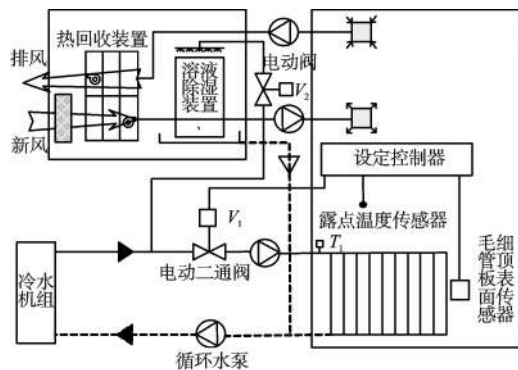


图5 毛细管辐射空调系统独立控制框图

(下转第1535页)

本文引用格式：

杜芳莉. 毛细管平面辐射空调系统的优化控制[J]. 机电工程, 2013, 30(12): 1528-1530, 1535.

DU Fang-li. Optimization control of capillary plane radiant air-conditioning system[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2013, 30(12): 1528-1530, 1535.

应控制。笔者将该控制策略应用于小型风力发电背靠背变流器装置,实验结果和系统仿真结果一致,表明相序可得到快速、准确地检测,简单可靠,并网系统运行稳定,实现了三相相序自适应控制。控制方案中无需增加任何硬件,经济方便,抗干扰能力强。

总体来说,相序自适应控制具有突出优点,其工程应用前景广阔。对于如何实现并网逆变器在线适应相序的改变且能够平稳运行,需要进一步进行研究。

参考文献(References):

- [1] 刘晓成,郁正德,邱火旺,等. PWM整流器中相序调整的新方法[J]. 电力电子技术,2010,44(11):50-51,86.
 [2] 盛占石,何婷婷,曾 丰,等. 三相电源过零检测及相序自适应新方法[J]. 现代科学仪器,2012,6(3):79-82.
 [3] 蔡茗名,刘锦高,刘中元. 三相交流电相位检测系统的设

计与研究[J]. 信息技术,2011(7):77-80.

- [4] 郭 鑫,袁海文. 独立电源系统有源滤波器相序判定的工程实现技术[J]. 低压电器,2010(12):40-44.
 [5] 杜通波,李 青,李 雄,等. 嵌入式相电检测及相序调整系统设计[J]. 中国计量学院学报,2012,23(2):110-114.
 [6] 洪小圆,吕征宇. 基于同步参考坐标系的三相数字锁相环[J]. 电工技术学报,2012,27(11):203-210.
 [7] LICCARDO F, MARINO P, RAIMONDO G. Robust and fast three-phase PLL tracking system[J]. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, 2011, 58(1):221-231.
 [8] 龚锦霞,解 大,张延迟. 三相数字锁相环的原理及性能[J]. 电工技术学报,2009,24(10):94-99,121.
 [9] 张 兴,张崇巍. PWM整流器及其控制[M]. 北京:机械工业出版社,2012.
 [10] 赵梅花,阮 毅,杨 勇. 直驱式风力发电系统并网逆变器控制策略研究[J]. 电力电子技术,2010,44(5):4-5,19.

[编辑:李 辉]

本文引用格式:

贾宇虹,贺 超,陈国柱. 并网逆变器的相序自适应控制研究[J]. 机电工程,2013,30(12):1531-1535.

JIA Yu-hong, HE Chao, CHEN Guo-zhu. Phase sequence adaptive control research of grid-connected inverter[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2013, 30(12): 1531-1535.
 《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>

(上接第1530页)

5 结束语

毛细管平面辐射空调系统满足人们舒适的要求已经得到了理论和实验的验证,它是迄今世界最为先进的建筑节能技术,通过毛细管和重力循环系统配合低品质能源的建筑节能系统,可使室内温度场和速度场均匀、舒适,达到“安静制冷”、“绿色节能”。本研究提出的控制系统方案不仅满足舒适性、节能性和实用性的要求,而且控制灵活。

当室内或者室外环境发生变化时,该控制系统能够作出预期反应,在最短的时间内作出相应的控制,使其更加满足人们对室内环境自调节的需要。

参考文献(References):

- [1] 苏 夺,陆琼文. 辐射空调方式及其发展方向[J]. 制冷空调与电力机械,2003,22(5):26-30.
 [2] 王子介. 低温辐射供暖与辐射供冷[M]. 北京:机械工业出版社,2004.
 [3] 陈 启,马一太. 辐射顶板空调系统的优势[J]. 节能技

术;2005,23(1):40-43.

- [4] 刘学来,薛红香,李永安,等. 毛细管平面辐射空调房间内温度研究[J]. 煤气与热力,2010,30(3):24-29.
 [5] 郑 松,宣永梅,王海亮. 辐射供冷系统结露问题的研究现状[J]. 制冷与空调(四川),2012(4):399-404.
 [6] 马玉奇,刘学来,李永安,等. 冷却顶板结露问题分析[J]. 山东建筑大学学报,2007,22(6):537-540.
 [7] LIM J H, YEO M S, KIM K W. A Study on the Application of Radiant Floor Cooling System Integrated with the Dehumidification System [C]//Eight International IBPSA Conference. Eindhoven, Netherlands: [s.n.], 2003: 729-731.
 [8] 刘栓强,刘晓华,江 亿. 温湿度独立控制空调系统中独立新风系统的研究(1):湿负荷计算[J]. 暖通空调,2010,40(1):80-84.
 [9] RYU S R, LIM J H, YEO M S, et al. A study on the control methods for the radiant floor heating and cooling system in residential building[J]. **ASHRAE Transactions**, 2004, 47(3):106-116.
 [10] 刘晓华,江 亿. 温湿度独立控制空调系统[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2006.

[编辑:李 辉]