

# 基于蒸发冷却组合式空调机组自控系统的研究

熊 理, 黄 翔, 强天伟

(西安工程大学, 西安 710048)

[摘要] 分析了基于蒸发冷却的组合式空调机组在不同季节运行模式下的处理过程, 引入了一种可编程控制器 PLC 结合模糊 PID 控制的基本设计思想和控制实现方法, 设计了一个较为完善的基于蒸发冷却组合式空调机组的自动控制方案, 实现了对组合式空调机组的最佳温湿度控制和节能控制。

[关键词] 蒸发冷却, 组合式空调机组, PLC, 模糊 PID 控制, 自动控制

[中图分类号] TU831; TQ025; TP273

[文献标识码] A

## Study on Automatic Control System of Air Handling Unit Based on Evaporative Cooling

XIONG Li, HUANG Xiang, QIANG Tianwei

(Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, China)

**Abstract** Analyses the process of running mode of air handing unit which based on evaporative cooling in different seasons. Presents a basic design ideal of control system and method for implementation of control process in PLC combined Fuzzy-PID control. Designs an improved automatic control scheme of air handing unit which based on evaporative cooling. All of these can realize the optimum temperature and humidity control and save energy for air handing unit.

**Keywords:** Evaporative cooling, Air handing unit, PLC, Fuzzy-PID control, Automatic control

## 1 引言

目前, 蒸发冷却技术的应用越来越广泛。从国内外发展动态来看, 人们对蒸发冷却空调自动控制系统的研究较少。西安工程大学黄翔和强天伟以西门子楼宇科技公司的 SYSTEM 600 APOGEE (楼宇控制系统) 为平台, 结合乌鲁木齐地区实际应用的蒸发冷却工程, 设计了一个较完善的集中式蒸发冷却空调系统自动控制方案<sup>[1]</sup>。西安工程大学贺进宝阐明了家用蒸发冷却变风量中央空调系统是如何将变风量控制技术结合到家用蒸发冷却中央空调系统当中, 在分析对比现有方法的基础上, 提出了解决方案及机组运行工况控制流程, 完善了机组对温度、湿度的控制<sup>[2]</sup>。西安工程大学刘翔以西门子 PLC 可编程控制器 S7-200 为平台, 结合西北地区的气象

条件, 采用 PI 调节变频器和人机界面相结合的方式, 通过对蒸发冷却空调系统电气线路的设计和控制程序的编写, 完成了对空调设备的自动控制、监测和故障保护, 并应用于蒸发冷却的实际工程中<sup>[3]</sup>。本文引入了一种可编程控制器 PLC 结合模糊 PID 控制的基本设计思想和控制实现方法, 结合我国南方地区的气象条件, 提出了蒸发冷却与机械制冷相结合的空调自控系统的研究方案, 实现了空调系统的全面智能化节能控制, 达到了显著降低能耗的目的。

蒸发冷却技术, 在我国西北地区以其显著的优点得到了广泛的应用, 尤其在新疆地区已有了二百多项应用蒸发冷却空调的工程实例。这项技术的应用能显著地降低能耗, 大力缓解目前电力供应紧张的局面, 尤其适用于体育馆、宾馆、医院、写字

\* 收稿日期: 2009-1-11

作者简介: 熊理 (1983-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 蒸发冷却空调自动控制。E-mail: buddinghuang@163.com

楼、公寓,市场前景十分广阔。

## 2 研究蒸发冷却空调自控系统的必要性

### 2.1 影响蒸发冷却空调系统正常运行的主要因素

一年之中自然气候变化莫测,室内的冷、热负荷决不是均匀分布的,即使一天之中的负荷也是时时变化的,因此蒸发冷却空调必须配备自动控制系统来满足室外气象参数的变化和室内负荷变化的要求。空调系统的空气处理方案和设备容量都是根据冬、夏季室外设计计算参数,以及最不利室内热、湿散发情况计算所得的空调冷、热负荷来确定的。然而,实际运行中室外气象参数随季节交替,且时时变化,以致绝大多数时间偏离设计计算参数。室内冷(热)、湿散发量也经常改变。并且往往室外气象条件的变化以及空调房间人员的出入、照明的启闭、发热设备工作状态的变化会同时发生,引起空调负荷的变化。因此,必须通过空调系统的运行调节来保证室内空气参数处于其允许波动范围,并且避免不必要的能量浪费。

### 2.2 蒸发冷却空调自控系统存在的问题

目前对蒸发冷却自控系统的研究只停留在理论上的研究,试验数据很少,没有生产出实际的控制装置。蒸发冷却空调自控系统存在着以下两个问题:

(1) 从国内对蒸发冷却的研究来看,目前虽然技术人员能够提出设计方案,但控制策略不够先进,控制流程也不够完善。

(2) 另一个十分突出的问题是没有系统地研究如何对蒸发冷却空调在不同季节运行模式下的处理过程进行合理控制。

## 3 蒸发冷却组合式空调机组的控制方法

传统的中央空调节能控制多采用PID控制,这种控制方法控制响应迅速,方法简单,但是对空调这种参数不确定的系统不能进行有效的控制。针对PID控制的局限性,将现代计算机技术、模糊控制技术、系统集成技术和变频调速技术集合应用于蒸发冷却空调系统控制,引入了一种可编程控制器PLC结合模糊PID控制的基本控制方法,既利用了

PLC控制简单、灵活、适应性强的特点,同时大大提高了控制系统的智能性,能够显著地降低能耗。这种模糊PID控制方法,兼顾了传统PID控制和模糊控制的优点,在加快系统响应,减少输出振荡,清除稳态误差等方面都有很好的控制效果。它针对中央空调系统的时滞、时变和非线性特征,运用模糊预测算法和自适应模糊优化算法模型,通过全面的参数采集和被控过程的信息归纳与经验总结,构成一套自寻优和自适应的模糊控制策略,可依据环境与负荷的变化,自动择优调节系统的优化运行参数,确保空调系统始终运行在最佳工况,可保障空调系统在任何负荷条件下,都能高效率地运行,从而最大限度地降低空调系统能耗<sup>4</sup>。

## 4 可编程控制器(PLC)的应用优势

目前,空调自控系统的应用有多种方式。模拟仪表控制系统已基本被淘汰,除了PIC单片机控制系统以外,很多用户选用了局部数字直接控制系统(DDC)或集散控制系统(DCS),DCS系统虽然有其良好的集散控制性,但造价昂贵,维护烦琐。在空调控制系统中DDC占有很大比重,近年来PLC在空调自动控制系统中的应用很多,与DDC相比PLC为工业级控制器,运算速度快,可靠性高。

相同点数的PLC成本是DDC的70%左右,性价比。而蒸发冷却空调本身就是环保节能价格低的空调产品,不能配一个价格很高的控制系统,而PLC价格相对较低。PLC功能强大可以自由编程,而DDC里面很多程序都是固化的,DDC的固有的程序模式与实际应用模式一样,才可以选用,所以其通用性差。而PLC就不一样了,只要硬件满足了,软件基本上可以根据具体要求自由编写。

在空调自控系统应用中,以上几种控制方式的比较如表1所示。

从空调自控系统控制方式的对比看,可编程控制器PLC控制系统在空调系统这种控制精度、稳定性要求高的领域中应用的效果很好,开发难度比较低,经济性较高,完全可以推广使用。由于可编程控制器本身固有的高稳定性、低成本和广泛的通用性,它完全可以像在其他工业控制领域一样在空调系统控制方面占据重要的地位。

表1 空调自控系统主要控制方式对比

控制系统	控制功能	控制模式	二次开发	可靠性	寿命	可扩展性	价格
PLC	强	较丰富	较难	高	长	容易	较高
PIC	弱	较丰富	不能	低	短	难	低
DDC	较强	单一	不能	高	较长	不能	较高
DCS	强	较丰富	较难	一般	较长	容易	高

## 5 蒸发冷却组合式空调机组控制方案设计

### 5.1 系统控制过程

#### (1) 机组全年运行调节

合理的蒸发冷却与机械制冷复合方案应是一方面尽可能提高能量的有效利用率,在保证制冷量相同的条件下,尽可能的利用自然界低品位的能源,充分利用过渡季节蒸发冷却“免费供冷”,以及夏季炎热季节的新风预冷,少使用或不使用高品质的能源,即减少机械制冷开启时间,提高机组综合性能。

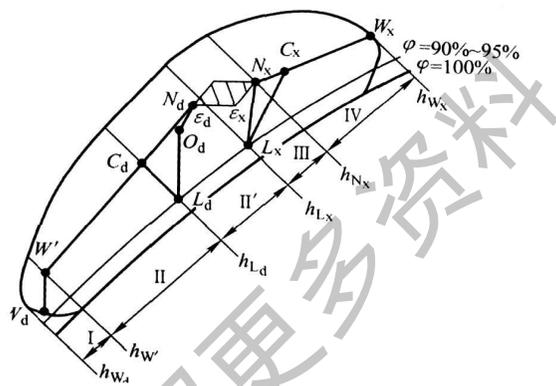


图1 系统全年空调工况分区图

如图1所示,为设计工况下蒸发冷却与机械制冷复合系统全年空调工况分区。图中的室外气象包络线是对全年出现的干、湿球温度状态点在  $h-d$  图上的分布进行统计得到的。其中, I、II区在处在冬季, II区、III区及IV区处于夏季及过渡季节。

$W_x$  为夏季室外状态,  $C_x$  为夏季混合状态,  $N_x$  为夏季室内状态,  $L_x$  为夏季露点状态,  $N_d$  为冬季室内状态,  $O_d$  为冬季送风状态,  $L_d$  为冬季露点状态,  $C_d$  为冬季混合状态,  $W'$  为冬季室外预热状态,  $W_d$  为冬季室外状态。

#### (2) 夏季控制过程

机组在夏季正常工作对应开启的功能段如表2所示。当室外空气状态点  $W$  在象限IV区,即室外空气焓值大于室内空气的焓值,室外空气含湿量大于室内空气含湿量,此时单独使用蒸发冷却空调不能达到制冷要求,需要开启机械制冷主机与间接蒸发冷却预冷联合处理。夏季机组运行的处理过程如图2、3所示。

$W_x$  为夏季室外状态,  $W_1$  为夏季经过一级间接的室外状态,  $W_2$  为夏季经过两级间接的室外状态,  $C_x$  为夏季混合状态,  $\epsilon_x$  为夏季热湿比线,  $N_x$  为夏季室内状态,  $O_x$  为夏季送风状态。

表2 夏季机组功能段开启示意

段号	1	2	3	4	5	6	7	8
功能段	粗效过滤段	热管间接蒸发段	管式间接蒸发段	回风段	空气冷却段(表冷段)	直接蒸发冷却段	加热段	送风机段
运行模式	I	✓	✓	✓	✓			✓
	II	✓	✓	✓	✓			✓
	III	✓	✓	✓	✓			✓

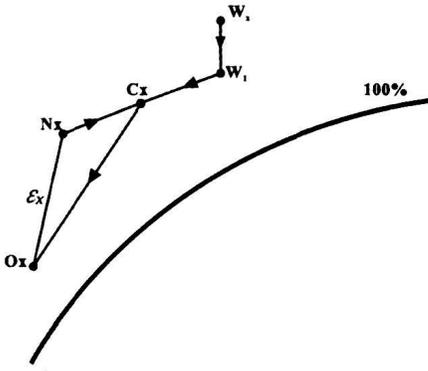


图2 夏季运行模式I、II处理过程

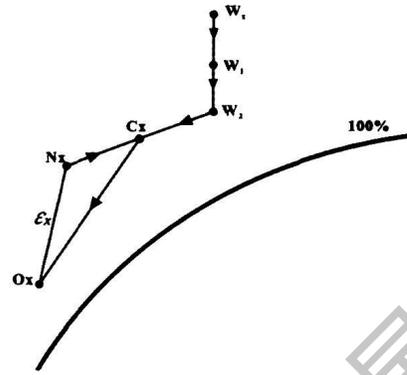


图3 夏季运行模式III处理过程

(3) 过渡季节控制过程

机组在过渡季节季正常工作对应开启的功能段如表3所示。当室外空气状态点 $W$ 在象限II区,即室外空气焓值大于冬季送风状态点的焓值,室外空气含湿量小于送风状态含湿量,采用一级间接加直接蒸发冷却处理可满足空调要求。当室外空气状

态点 $W$ 在象限III区,即室外空气焓值大于室内状态点的焓值,室外空气含湿量小于室内状态含湿量,采用两级间接加直接蒸发冷却处理可满足空调要求。过渡季节机组运行的处理过程如图4、5、6所示。

表3 过渡季节机组功能段开启示意图

段号	1	2	3	4	5	6	7	8
功能段	粗效过滤段	热管间接蒸发段	管式间接蒸发段	回风段	空气冷却段(表冷段)	直接蒸发冷却段	加热段	送风机段
运行模式	I	✓				✓		✓
	II	✓	✓			✓		✓
	III	✓		✓		✓		✓
	IV	✓	✓	✓		✓		✓

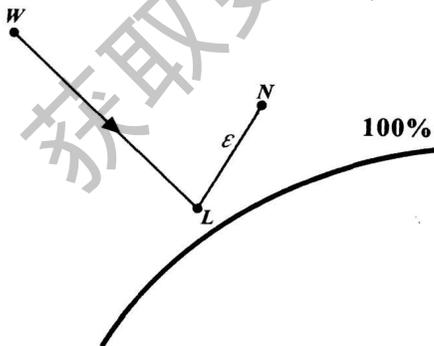


图4 过渡季节运行模式I处理过程

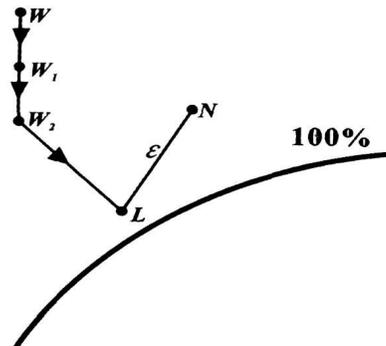


图5 过渡季节运行模式II、III处理过程

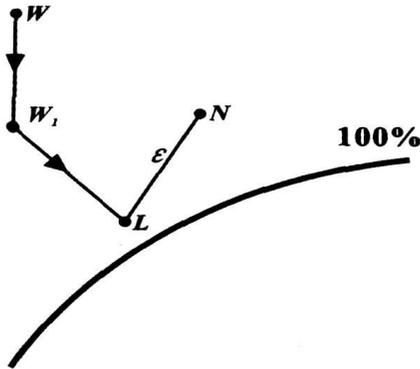


图6 过渡季节运行模式IV处理过程

$W$  为过渡季室外状态,  $W_1$  为过渡季经过一级间接的室外状态,  $W_2$  为过渡季经过两级间接的室外状态,  $\epsilon$  为过渡季热湿比线,  $N$  为过渡季室内状态,  $L$  为过渡季露点状态。

(4) 冬季控制过程

机组在冬季正常工作对应开启的功能段如表4所示。当室外空气状态点  $W$  在 I、II 象限区, 即室外空气焓值小于冬季送风状态点的焓值, 室外空气含湿量小于送风状态含湿量时, 采用热管间接预热加直接蒸发冷却处理加再热可满足空调要求。冬季机组运行的处理过程如图7、8所示。

表4 冬季机组功能段开启示意图

段号	1	2	3	4	5	6	7	8
功能段	粗效过滤段	热管间接蒸发段	管式间接蒸发段	回风段	空气冷却段(表冷段)	直接蒸发冷却段	加热段	送风机段
运行模式	I	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	II	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	III	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

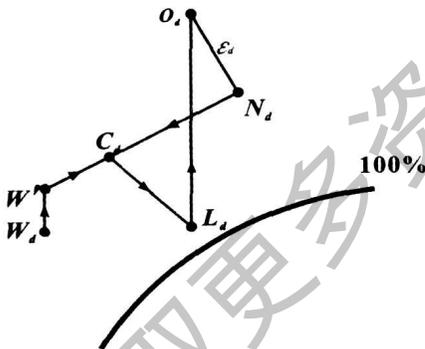


图7 冬季运行模式I、II处理过程

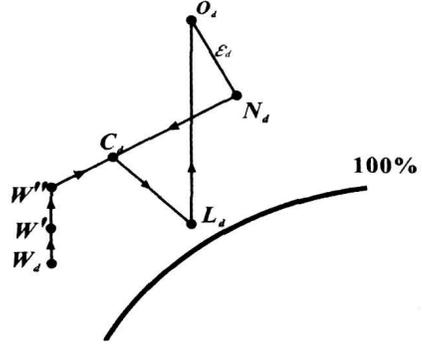


图8 冬季运行模式III处理过程

$W_d$  为冬季室外状态,  $W'$  为冬季经过一级预热的室外状态,  $W''$  为冬季经过两级预热的室外状态,  $C_d$  为冬季混合状态,  $\epsilon_d$  为冬季热湿比线,  $N_d$  为冬季室内状态,  $O_d$  为冬季送风状态,  $L_d$  为冬季露点状态。

5.2 方案设计

系统控制原理图见图9。

如图9所示1为过滤段, 2为热管间接蒸发冷

却段, 3为管式间接蒸发冷却段, 4为回风段, 5为表冷段, 6、9为中间段, 7为直接蒸发冷却段, 8为加热段, 10为送风机段。

5.3 方案简述

通过自控装置时采集空调房间的温度、湿度、风速等参数信号, 并将蒸发冷却组合式空调机组自身的信号通过模\数转换输入自控装置, 自控装置通过预装入的程序软件对各种信号进行统计、

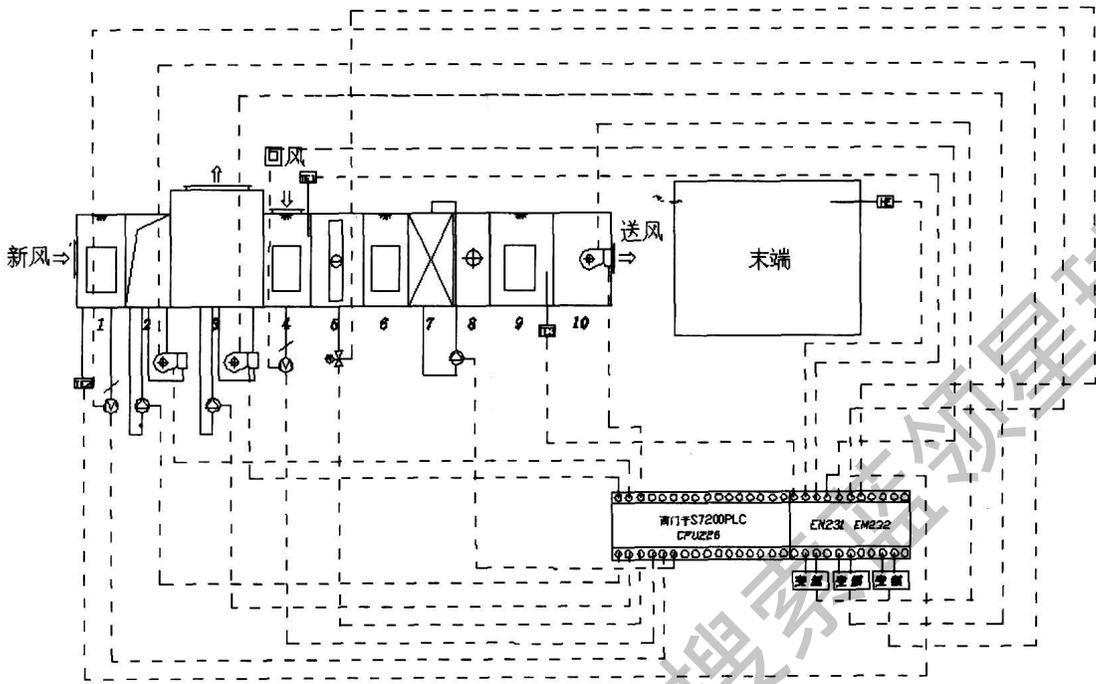


图9 系统控制原理图

运算, 再通过数 \ 模转换将控制信号输送给蒸发冷却组合式空调机组, 完成空调机组随时根据外界情况的改变而实现自动控制的功能。

对风系统采用总风量控制方法实现对风机总风量的控制。风阀的电动执行机构从全开到全闭都有固定的时间, 新风、回风在不同的运行工况都有自己不同阀位, 可以控制电动执行器的通电时间达到对阀位的给定。PLC 的输出控制点接到风阀执行机构的开点和闭点来控制风阀的开启和关闭, 在不同运行工况调节风阀的角度满足控制的需要, 以此来实现新风和回风的比例关系。同理 PLC 的输出控制点接到水泵执行机构的开点和闭点来控制水泵的开启和关闭。

温度传感器测量回风温度, 将信号送至 PLC, PLC 输出与偏差信号成 PID 关系的模拟量电信号 (4~20mA), 通过变频器改变风机的送风量, 用来补偿室内负荷的变化, 恒定室内温度。

## 6 结论

(1) 分析研究了蒸发冷却与机械制冷相结合的

组合式空调机组在不同季节运行模式下的处理过程。

(2) 提出了可编程控制器 PLC 结合模糊 PID 控制的基本控制方法并在蒸发冷却与机械制冷相结合的组合式空调机组自控系统中的应用。

(3) 提出了蒸发冷却与机械制冷相结合的空调整控系统的设计方案, 以最低投资和实用为目标, 为蒸发冷却空调在我国南方高温、高湿度地区的推广提出了新思路。

## 7 参考文献

- [1] 黄翔, 强天伟. 蒸发冷却空调系统自动控制方案的探讨 [J]. 暖通空调, 2003, 33 (4): 109-112
- [2] 贺进宝, 黄翔. 蒸发冷却变风量空调系统自动控制的研究 [J]. 流体机械, 2003 (增刊): 301-304
- [3] 刘翔, 黄翔, 吴志湘. PLC+模糊控制蒸发冷却空调整控系统的开发 [J]. 西安工程科技学院学报, 2007, 21 (2): 207-211
- [4] 戎月莉. 计算机模糊控制原理及应用 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1995