

# 基于模糊理论的中央空调水自动控制系统设计

张 鹏<sup>1</sup>, 王博思<sup>2</sup>, 张婉馨<sup>3</sup>

(1. 国药集团重庆医药设计院有限公司, 重庆 400042;

2. 重庆车辆检测研究院, 重庆 401122;

3. 重庆信科设计有限公司, 重庆 401121)

**摘 要:** 由于中央空调水系统非线性、大滞后的特点, 目前楼宇自控和通用变频器控制方法的节能效果不显著, 提出了模糊控制方法。通过负荷预测模糊控制的冷冻水控制和自适应模糊算法的冷却水控制, 实现了冷水机组制冷量的供给与末端负荷需求大小相匹配、冷却水系统处于最大效率运行, 取得了最大的节能效益。最后完成了冷冻站中央空调水系统的控制设计, 并以实际工程测试结果分析了中央空调模糊控制取得节能效果。

**关键词:** 中央空调; 模糊预测算法; 模糊控制; 自动控制; 系统设计

中图分类号: TP272

文献标识码: A

DOI 编码: 10.14016/j.cnki.1001-9227.2020.01.122

## Design of air conditioning automatic control system based on mould and theory

ZHANG Peng<sup>1</sup>, WANG Bosi<sup>2</sup>, ZHANG Wanxin<sup>3</sup>

(1. Sinopharm Chongqing Pharmaceutical Design Institute Co., Ltd., Chongqing 400042, China;

2. Chongqing Vehicle Inspection Research Institute, Chongqing 401122, China;

3. Chongqing Xinke Design Co., Ltd., Chongqing 401121, China)

**Abstract:** In view of the non-linear and large time-delay characteristics of the air conditioning water system, the energy saving effect of the current building automatic control and the universal frequency converter control methods is not significant, and a mold and control method is proposed. Through load forecasting mode and self-adaptive mode and cooling water control algorithm, the supply of cooling capacity of chillers is matched with the demand of terminal load, and the cooling water system operates at maximum efficiency. The maximum energy-saving benefit has been obtained. Finally, the control design of the air conditioning water system in the freezing station is completed, and the energy saving effect of the air conditioning is analyzed based on the actual engineering test results.

**Key words:** air conditioning; vague prediction algorithm; vague control; automatic control; system design

## 0 前言

作为建筑内部重点耗能设备, 中央空调系统的耗电一般占建筑能耗的 40% 以上(公共建筑占到 50% ~ 60%)。中央空调机组一般是以满足使用场所的最大冷(热)量进行设计, 实际运行中超过 90% 的部件是在非满载额定状态运行, 由于中央空调设备功率大、耗能大, 加上空调设计上存在“大马拉小车”的现象, 因此中央空调的运行能耗巨大。中央空调如何实现节能, 除了选择合适的节能空调系统设计方案外, 空调自控是空调系统中节约能源的主要措施之一, 而当前空调自控设计中的主要节能措施有两种, 一是采用楼宇自控技术对空调机组等末端装置进行 PID 控制, 这种控制的节能可达到末端设备耗能的 10% ~ 15%, 二是采用通用变频器对中央空调系统的水泵进行控制, 以供回水管网的压差或温差作

为被控变量, 采用 PID 调节, 输出相应的信号, 控制变频器调节水泵的转速, 此种控制方式的节能只能达到水泵节能的 20% ~ 30%<sup>[2,10]</sup>。

中央空调水系统引入人工智能模糊控制, 通过系统实时采集控制参数实际值, 利用模糊控制器的计算、比较、判断和推理, 输出控制信号对系统的运行参数动态调节和优化<sup>[1]</sup>, 突破传统的定流量控制方式, 实现冷水机组制冷量根据末端负荷需要而动态调节, 确保中央空调系统高效运行, 降低了系统能耗, 使得冷水机组、水泵的系统综合节能达到 20% ~ 40%<sup>[9,12]</sup>。

## 1 中央空调水的模糊控制原理

中央空调冷冻水由冷水机组输出, 经冷冻水泵至末端设备, 与末端设备换热后再返回冷水机组, 通常需要几分钟甚至几十分钟, 循环周期长; 管路中的调节阀、水泵等器件和设备的饱和区、死区都是典型的非线性特性, 并且空调的工况环境和负荷特性的多变性与不确定性, 使得空调水系统具有大时滞性、动态时变性、大惯性、非线性、多变量且变量之间耦合强的复杂特征, 如图 1 所示。

收稿日期: 2019-07-22

作者简介: 张鹏(1966-), 男, 学士, 教授, 高级工程师, 主要研究方向为建筑智能化系统、制药行业自动控制系统的研究和设计。

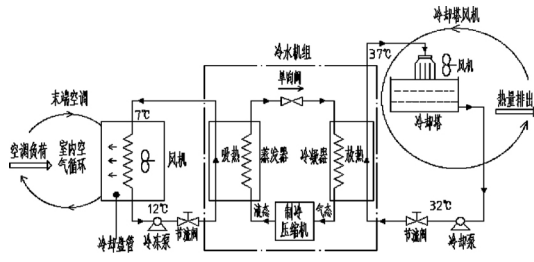


图1 中央空调系统工作流程及热量交换关系图

由于冷冻水供回水压差的变化只能控制其旁通阀的调节,不能直接反映空调负荷的变化,因此,也不能用压差来调节冷冻水流量<sup>[9]</sup>;由于系统滞后特性,所测量的回水温度值实际是上个周期供水温度作用的回水温度值,实时采集的供、回水温度值不能直接反映当时冷媒水的负荷,因此传统的温差控制也不能反映系统控制的有效性和及时性;并且无论是压差变频控制或是温差变频控制,都是采用的PID控制技术,无法解决冷冻水固有的非线性、滞后性、时变性等复杂问题,系统无法获得满意的变流量控制性能,节能效果不显著<sup>[3,4,6]</sup>。

针对中央空调系统的非线性等复杂特点,在其控制过程中,根据系统检测的参数和历史运行数据进行比较,推测下一时刻或下一周期时间内系统的负荷值,再根据推测的负荷值计算出系统运行的参数值,利用计算机技术和控制技术,以模仿人的思维方式和人的控制经验,并把它表示成模糊规则或关系,建立基于模糊规则和数据库的知识库,通过模糊推理决策,对被控过程的特征自动识别和自适应调整,从而实现中央空调系统参数的优化控制,并根据推测的滞后时间进行提前控制,便可获得优异的节能效益和良好的空调舒适效果,达到系统整体节能的目的<sup>[1]</sup>。模糊控制系统原理图如图2所示。

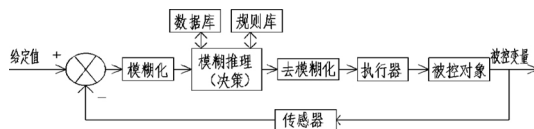


图2 模糊控制系统原理图

### 2.1 采用模糊预测算法实现冷冻水的控制

中央空调冷冻水系统中常用方式是冷水机组蒸发器侧的流量设为定流量,当末端设备的冷负荷减小时,增加压差旁通阀的开度增加旁通水量或者减小冷冻水供回水温差来应对负荷的变化,由此导致机组侧的冷冻水处于大流量、小温差的状态进行运行,大大增加了冷冻水泵的能耗。只有当空调系统的冷负荷变化时,控制冷冻水变流量运行,让冷水机组的制冷量随时跟随末端用户的负荷变化进行相应调节,使冷量的供给与需求一致,才能达到最大的节能目的<sup>[3-4,6,9]</sup>。

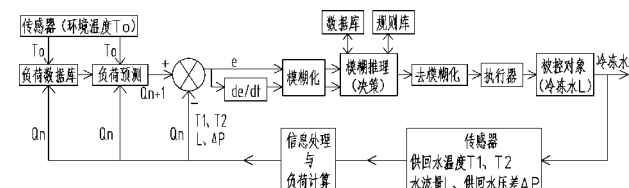


图3 基于负荷预测的冷冻水模糊控制原理图

如图3所示为基于冷冻水变流量、负荷预测的模糊控制系统原理图,其控制过程如下:当系统运行时,通过传感器采集冷冻水供回水温度、流量和压差等参数,送至负荷计算器进行信息处理及当前负荷的计算,并分别送至负荷数据库、负荷预测和比较器。负荷预测根据系统的历史数据、当前计算数据和室外环境温度等数据及负荷预测模型,推断预测出下一时刻末端所需要的负荷,传送比较器,通过比较,得到被控负荷变量的偏差 $e$ 及偏差变化量 $de/dt$ ,分别送至二维模糊控制器。模糊控制器利用规则库的推理规则 and 数据库,运用模糊逻辑和模糊推论法推理进行类似人脑知识的处理和控制,得出下一时刻冷冻水系统的运行参数,包括冷冻水供回水温度、温差、压差和流量的参数值,并以此调节各冷冻水泵变频器的频率,动态调节冷冻水泵组的转速及水泵运行的数量,调节其流量,并对调节结果进行动态评估及修正<sup>[5-6,9]</sup>,让冷水机组的制冷量与末端用户的负荷需求一致,使得冷冻水系统进行变流量运行,达到最大的节能目的,冷冻水系统控制流程见图4所示。

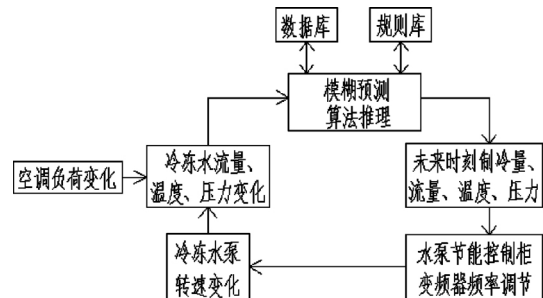


图4 冷冻水系统控制流程示意图

### 2.2 采用自适应模糊优化算法实现冷却水的控制

空调冷负荷发生变化,冷冻水循环实现了变流量运行,需要通过冷却水排走的热量也在变化,因此也需要冷却水流量跟随负荷的变化而变化,使冷却水的排热与冷冻水的吸热相匹配。由于冷水机组效率与冷却水的温度有关,冷却水温度越低,冷水机组的效率就越高,但要求冷却水温度无限低会导致冷却水泵和冷却塔风机的能耗大大升高。因此设计中只能将冷水机组能耗、冷却水泵能耗、冷却塔风机能耗进行统一考虑,在各种负荷条件下找出一个合适的冷却水温度,使得整个冷却水系统的能效比达到最高,因此必须创建冷却水系统能效比最大的自适应模糊优化算法模型,如图5所示。

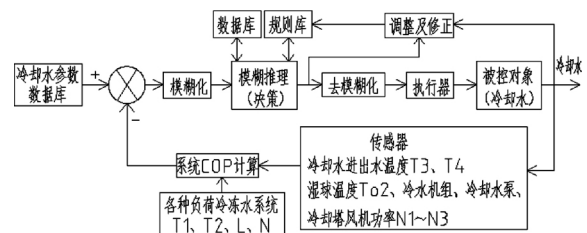


图5 冷却水自适应模糊优化控制系统原理图

冷却水系统控制过程如下,当空调末端负荷变化时,依据控制系统的传感器采集的实时数据、历史运行数据、室外环境温湿度和自适应模糊算法模型,通过比较、判断、推理、计算出冷却水系统运行的一个比较适合

的温度值,并以此调节冷却水泵变频器的频率,控制冷却水泵的转速和冷却塔风机的台数,动态调节冷却水的流量和冷却塔风机的风量,从而保持整个冷却水系统一直处于高效率状态下运行,降低了空调系统的能量消耗<sup>[7-9]</sup>,冷却水系统控制流程如图6所示。

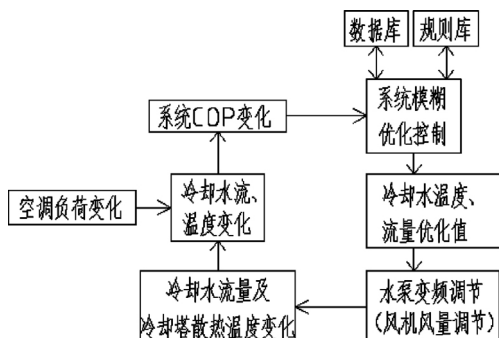


图6 冷却水系统控制流程示意图

### 2.3 采用群控技术实现主机的控制

在多台冷水机组并联运行时,需要根据传感器采集冷冻水供水温度、流量和压差等参数,系统应计算出实际的负荷值、预测的下一时刻负荷值,根据系统所需负荷和每台冷机的负荷能力、效率特性,在多台冷机运行的组合方式中选择出一种最好的主机运行台数组合,使运行机组提供的总冷量刚好是系统的负荷需求,避免多余能量的消耗<sup>[10,11,13]</sup>。

### 2.4 采用动态水力平衡技术实现供水多支路的控制

在多支路空调供水管网的中央空调系统中,由于各支路所管理的区域冷热负荷不均匀以及各支路远近不一,会产生管网各支路的供水压力不一致,为了保障最远支路达到制冷标准的要求,就必需提供较大的冷冻水流量、增加管网压力,就会导致系统能耗的增加。动态水力平衡控制就是以满足各支路末端冷负荷的需求为目的,实时监测各支路负荷的变化,动态调节各支路阀门的开度、分配各支路冷冻水量,达到对冷量(负荷)的动态需求,实现中央空调管网的水力动态检测和自动调节<sup>[9]</sup>,确保各支路的能量分配均衡和良好的制冷效果,降低冷冻水运载能耗。

### 2.5 采用泵组优选方法实现并联水泵的控制

传输较大冷(热)负荷时,需要采用多台泵并联运行,具有 $N$ 个组合运行方案。根据系统采集的流量与温差计算出当前的实际负荷,并以各种水泵的技术参数及负荷效率特性为依据,通过模糊推理规则建立的泵组优选控制模型,选择出一种水泵组合进行运行,确保并联泵组具有最高的负荷运载效率和效能比<sup>[9,11,13]</sup>。

## 3 中央空调水系统的控制设计

综上所述,在中央空调控制系统的工程设计中,空调末端设备采用楼宇自控系统(BAS)进行控制,冷冻站的中央空调水采用模糊控制系统,以达到最佳的控制效果。

根据暖通提供的冷水机组、冷冻水泵数量、功率及冷冻水流程图,给排水提供的冷却水泵、冷却塔数量、功率及冷却水流程图,完成水系统的模糊控制设计。

(1) 确定模糊控制系统平台,配置模糊控制系统的控制柜

针对具体项目冷冻站中央空调系统的类型和需要,冷水机组及对应设备的台数,确定中央空调模糊控制平台,构建模糊规则库、知识库。

(2) 提出冷冻站中央空调水系统模糊控制的要求

① 冷冻水系统采用模糊预测算法实现水机冷媒流量跟随末端负荷的需求供应;

② 冷却水系统采用模糊自适应优化控制技术实现系统效率达到最高效率;

③ 多台冷水机组并联运行,采用机组群控技术实现最佳效率的机组群控策略;

④ 多台水泵并联运行,通过模糊优选控制确保并联泵组具有最高的运载效率。

(3) 电气专业完成配电系统图,配置冷冻水泵、冷却水泵、冷却塔配电柜

① 用电负荷计算;

② 各回路的断路器、变频器、电抗器、交流接触器、热继电器、互感器选择与确定;

③ 进线、各设备出线电缆选择;

④ 完成配电系统图。

(4) 自控专业完成流程控制系统图,配置水泵智能控制柜(与配电柜合用)

根据暖通、给排水专业提供的中央空调系统流程图,设置各种检测传感器及现场传感器箱,执行器及现场模糊控制箱,完成流程控制图。

(5) 设置动态水力平衡阀,解决多支路空调供水管网动态水力平衡失调的问题

根据暖通专业提供的管径、流量条件,设置适合各支路的动态水力平衡阀,确保各支路的能量分配均衡。

(6) 确定控制柜安装位置及面积

根据各种控制柜的柜体尺寸及数量,确定安装控制柜的位置及需要的面积,并提供给工艺或建筑专业并预留位置或房间。

(7) 完成各专业的平面布置图

各专业相互协调,确定各设备的安装位置、管道路由、标高等等,完成平面。

① 暖通专业完成空调主机、冷冻水泵及配套设施的平面布置、管道布置;

② 给排水专业完成冷却水泵、冷却塔及配套设施的平面布置、管道布置;

③ 电气专业完成水泵智能控制柜的平面布置、配电线路布置;

④ 自控专业完成模糊控制柜、现场模糊控制箱、BA接口箱、阀门控制箱、各种传感器件及配套设施的平面布置、控制线路布置。

(8) 统计设备材料表。

## 4 系统测试

根据上述的模糊控制原理和控制方法,在重庆医科

大学附属第二医院江南医院项目的实际建设工程中,设计并运用了中央空调水模糊控制系统,冷冻站配置了,用电负荷共计 4 888 kW,施工完成试运行后业主、监理、总包及施工单位人员在相同测试时间(运行 24 小时)工频条件和模糊控制下交替运行测试,其中一个模块系统测试数据见表 1。

表 1 冷冻站一个模块系统设备用电量记录表

测试时间	设备名称	起始读数	终止读数	互感器倍率	实耗电量/kWh
2018 9.14 (原工频)	4#冷机	1 683.6	1 705.7	300	6 630
	5#冷冻泵	1 723	1 773.7	40	2 027
	3#冷却泵	1 548.6	1 597.5	60	2 932
	合计				11 589
2018 9.17 (模糊控制)	4#冷机	1 705.7	1 725.2	300	5 850
	5#冷冻泵	1 773.7	1 800	40	1 053
	3#冷却泵	1 597.5	1 615.1	60	1 057
	合计				7 960
2018 9.16 (原工频)	4#冷机	1 725.2	1 745.3	300	6 030
	5#冷冻泵	1 800	1 850.7	40	2 028
	3#冷却泵	1 615.1	1 664.1	60	2 937
	合计				10 995
2018 9.17 (模糊控制)	4#冷机	1 745.3	1 767	300	6 510
	5#冷冻泵	1 850.7	1 876.8	40	1 046
	3#冷却泵	1 664.1	1 681.6	60	1 050
	合计				8 606

根据现场实际测试结果,可得出本项目的综合节能率,见表 2。

表 2 冷冻站节能测试计算表

系统运行	原工频条件下运行		模糊控制下运行	
测试时间	2018.9.14	2018.9.16	2018.9.15	2018.9.17
用电量 kWh	11 589	10 995	7 960	8 606
综合 (冷机+泵组)	工频条件下总用电量		22 584	
	模糊控制下总用电量		16 566	
	总节约电量		6 018	
	节能率 r 综合		26.65%	

备注:节能率 r 综合=总节约电量/工频条件下总用电量

因此,冷冻站设备运行的需要系数取 0.7,全年按 150 工作日,则全年中央空调水系统可节约电量:  $4\,888 \times 0.7 \times 24 \times 150 \times 26.65\% = 3\,282\,683 \text{ kWh}$ 。同样通过现场测试深圳三九医药有限公司观澜生产基地项目中央空

调水系统综合节能率达到 33%,重庆市第二人民医院项目中央空调水系统综合节能率达到 35.86%。

## 5 结束语

近年来,中央空调水系统采用并实施了智能模糊控制系统的新建或改造工程,运行状态良好,都取得了很好的节能效益,中央空调冷水机组节能可达 10%~20%,水泵系统节能可达 60%~80%,中央空调系统(包括冷水机组及水泵)综合节能可达 20%~40%,值得大力推广应用。

## 参考文献

- [1] HOU Y B, YANG X C. The Methods of Fuzzy Contronller Design [J]. Journal of Xi An University of Science and Technology 2003, 23(4): 448-450
- [2] 中央空调自动控制系统概述 [J]. 洁净与空调技术, 2014, (1): 85-88.
- [3] 郭福雁, 郝亚楼, 袁天驰. 基于改进型模糊 PID 控制的空调水系统变流量调节优化节能研究 [J]. 天津城建大学学报, 2018, 24(2): 125-129.
- [4] 欧阳长文. 一次泵变流量冷水系统水泵变频控制分析 [J]. 低碳世界, 2017, (3): 95-96
- [5] 庄凯, 张九根, 黄亚光. 中央空调冷冻水系统的优化控制与仿真 [J]. 科技通报, 2015, 31(1): 240-244.
- [6] 黄亚光, 张九根, 简丹丹. 中央空调变流量水系统的控制研究 [J]. 计算机仿真, 2015, 32(8): 343-346.
- [7] 黄伟, 朱颖合, 薛凌云, 等. 基于自适应遗传算法模糊 PID 控制器参数优化 [J]. 杭州电子科技大学学报, 2011, 31(3): 58-61
- [8] 杨强, 阮鸿雁, 陈锋. 基于模糊控制的变频调速给水系统的研究 [J]. 电气传动, 2006, 36(9): 26-28.
- [9] 李玉街, 蔡小兵, 郭林, 编著. 中央空调系统模糊控制节能技术及应用 [M]. 中国建筑工业出版社, 2009 年 1 月
- [10] 胡曙敏. 中央空调控制系统研究 [D]. 浙江: 浙江工业大学, 2012.
- [11] 杨绍辉, 施灵. 基于组态软件的中央空调自动控制系统开发. 自动化与仪器仪表, 2008, (3): 64-67.
- [12] 李天娇, 张国钧. 地源热泵中央空调自动控制系统设计 [J]. 自动化仪表, 2014, 35(4): 61-63.
- [13] 林毓梁, 贾俊刚, 王灏. 西门子 SYNCO 智能控制器在中央空调自动控制系统中的应用 [J]. 电子测试, 2018, (2): 106-107.