

冰蓄冷中央空调预热泵流量模糊控制

徐今强^{1,2,3}, 冯自平¹, 肖睿¹, 黄冲¹

(1. 中国科学院广州能源研究所, 广东广州 510640; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3. 广东海洋大学海洋遥感与信息技术实验室, 广东湛江 524088)

摘要:为了解决冰蓄冷中央空调存在的板换堵塞问题,提出了以制冰板换回水温度为控制变量,采用模糊控制预热变频泵流量的方法,以实现制冰快速性和可靠性的解决方案.设计了预热泵流量模糊控制器,研制了制冰板换防堵塞的预热回路;采用离线计算与在线查询相结合的方法,对基于西门子可编程逻辑控制器(PLC)的冰蓄冷中央空调系统进行了试验研究,给出了制冰板换回水温度控制结果,并对该模糊控制结果与传统的PID控制结果进行了比较.试验结果表明:在环境温度为28℃时,采用模糊控制调节制冰板换回水温度,其下降时间为90 min,调节时间为158 min,稳态误差为0.26℃.该方案为智能化冰蓄冷中央空调稳定运行提供了依据.

关键词:冰蓄冷空调;流量;温度;模糊控制;可编程逻辑控制器

中图分类号: S218; TP273⁺.22 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-8530(2010)03-0260-05

Fuzzy control of pre-heat pump flow in ice-storage centralized air-conditioning

Xu Jinqiang^{1,2,3}, Feng Ziping¹, Xiao Rui¹, Huang Chong¹

(1. Guangzhou Institute of Energy Conversion, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, Guangdong 510640, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Ocean Remote Sensing and Information Technology Laboratory, Guangdong Ocean University, Zhanjiang, Guangdong 524088, China)

Abstract: The plate heat exchanger of ice-storage centralized air-conditioning system is always jammed. With the objective of making ice quickly and reliably, a solve scheme was proposed. With consideration of the return water temperature of ice-making plate heat exchanger as controlled variable, the scheme regulated the flow rate of pre-heat pump by means of fuzzy control. A fuzzy controller was designed to dominate the flow rate of the pump, and a pre-heat loop was developed to prevent the ice-making plate heat exchanger from jamming. The experimental investigation of Siemens PLC based ice-storage centralized air-conditioning was performed by combining offline calculation with online inquiry, and the control effect of return water temperature of ice-making plate heat exchanger was compared with the traditional PID control. The results show that when the environmental temperature is 28℃, the fall time, the settling time and the steady state error of return water temperature are 90 min, 158 min and 0.26℃, respectively. The scheme provides the basis for stable operation of the intelligent ice-storage centralized air conditioning system.

Key words: ice-storage air-conditioning; flow rate; temperature; fuzzy control; programmable logic controller

收稿日期: 2009-11-24

基金项目: 国家自然科学基金委-广东省联合基金资助项目(U0634005); 国家863计划项目(2006AA057254)

作者简介: 徐今强(1973—),男,四川达州人,副教授,博士研究生(xujinqiang1@163.com),主要从事自动化检测、智能控制理论及应用研究。

冯自平(1968—),男,宁夏中卫人,研究员,博士生导师(fengzp@ms.giec.ac.cn),主要从事制冷与空调技术研究。

因此,冰蓄冷空调系统高效连续制冰的前提是制冰板换回水温度的准确控制.为此在系统设计时增加了一个预热回路,即图1中虚线框内的部分.当制冰回水温度 θ_1 过低时,PLC打开比例调节阀YV1及预热变频器FP6,并运用模糊控制技术输出2~10V电压信号给变频器,从而控制预热变频器的流量,使制冰回水与冷却塔内一定流量的热水在预热板换内热交换,加热制冰回水使其温度自动维持在0.5℃.图2为研制的冰蓄冷中央空调内部结构.



图2 冰蓄冷中央空调内部结构
Fig.2 Inner structure of ice-storage centralized air-conditioning

2 预热泵模糊控制器设计

2.1 温度偏差和温差变化率

为了加快制冰速度,设计时根据设定温度与实际温度之间偏差的大小,将控制分为确定控制区及模糊控制区.确定控制区是指当温度偏差位于这个区域时,就以固定的输出量输出;模糊控制区是指温度偏差位于这一区域时,输出变量随输入变量大小的变化而变化.

考虑到冰蓄冷空调系统是一个大惯性系统,本研究设温度偏差 $e(k)$ 大于2.0℃或小于-2.0℃的区域为确定控制区.当 $e(k)$ 大于2.0℃时,输出变频器控制电压最大为10V,预热泵流量也变为最大;当 $e(k)$ 小于-2.0℃时,预热泵停止运行;当 $e(k)$ 位于[-2.0,2.0]区域时,为模糊控制区,即 $e(k)$ 的实际论域为[-2.0,2.0],单位为℃.

设温差变化率 $de(k)$ 的实际论域为[-0.2,0.2],单位为℃/min.当 $de(k)$ 大于0.2℃/min时,作为越限值处理,取为0.2℃/min;同样,当 $de(k)$ 小于-0.2℃/min时,取为-0.2℃/min.

控制变量为变频器控制电压的增量,实际论域为[-1,1],单位为V.

2.2 模糊化

两个输入变量(温度偏差 $e(k)$ 及温差变化率 $de(k)$)的量化论域,以及控制变量的量化论域都取[-3,-2,-1,0,1,2,3]的离散区间,这样相应地,量化因子 h_e 和 h_{de} 分别为 $3/2=1.5$, $3/0.2=15$,比例因子为 $h_u=1/3=0.33$.

将两个输入变量及控制变量的语言值分成7个档级,定义为负大(NB)、负中(NM)、负小(NS)、零(ZE)、正小(PS)、正中(PM)、正大(PB).

语言值隶属度函数均选用工程上常用的标准三角形函数^[7-8].

2.3 模糊推理

由于两个输入语言变量的语言值有7个档级,故在该模糊控制系统中,根据不同的输入语言值组合共有49条控制规则.在不同温度偏差及不同的温差变化率下,变频器控制电压增大或减小的幅度有所不同.当室温偏差为PS而温差变化率为NB时,此时的温度偏差虽不是最大,但有着较大的向上变化的趋势,所以膨胀阀要有较大的开度PM(但也不是最大的开度,因为此时偏差并不是最大),以克服这种变化趋势.依此类推,根据实际运行经验进行分析、归纳,确定模糊控制规则如表1所示.

表1 预热泵模糊控制规则
Tab.1 Fuzzy control rule table of pre-heat pump

e	de						
	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PB	PB	PM	ZE	ZE
NM	PB	PB	PB	PB	PM	ZE	ZE
NS	PM	PM	PM	PM	ZE	NB	NB
ZE	PM	PM	PS	ZE	NS	NM	NM
PS	PM	PS	ZE	NM	NM	NM	NM
PM	ZE	ZE	NM	NB	NB	NB	NB
PB	ZE	ZE	NM	NB	NB	NB	NB

2.4 逆模糊化

运用矩阵合成运算并采用最大隶属度方法,得到对应的模糊查询表.由PLC对模糊查询表进行查询,然后再乘以比例因子,可以获得确切的变频器控制电压增量,去控制预热变频器.

3 预热泵模糊控制的PLC实现

在工控及空间飞行等应用领域,模糊控制大多由个人计算机、单片机或专用模糊控制芯片实现;冰蓄冷中央空调系统运行工况多且工艺及设备配置复杂,自动化程度要求高^[9];PLC是一种以计算机技术

为基础,专门为工业环境设计的数字运算控制装置,具有功能齐全、使用方便灵活、可靠性好、抗干扰能力强及易于维护等优点^[10],特别适用于冰蓄冷系统控制。笔者基于传统的 PLC 控制器,用软件编程实现模糊控制,其中 PLC 选用西门子 S7-300,并选用相应的 A/D、D/A 转换模块。

基于 PLC 的模糊控制采用离线计算结合在线查询的方法实现。首先通过矩阵合成等运算得到模糊查询表,然后将模糊查询表中的值按由上到下、由左到右的顺序依次填入 PLC 的数据存储区中,查询表的第 i 行和第 j 列分别与温度偏差及温差变化率值相对应。控制时,PLC 通过基址+变址的寻址方式在线查询模糊查询表。在每个采样时刻,利用 A/D 模块定时采集输入量,模糊化处理后查询模糊查询表,再乘以比例因子即可获得实际的确切输出量,由 D/A 模块输出实际控制量作用于执行机构。

4 试验结果与分析

将设计的模糊控制器应用于图 1 所示的冰蓄冷中央空调系统,建立控制系统试验平台。其中温度检测元件选用 PT100 铂电阻,PLC 选用西门子 S7-314,A/D 模块选用 SM331,D/A 模块选用 SM332,同时选用人机界面友好的西门子 SIMATIC MP277 10"彩色触摸屏,完成参数设置、现场监控、数据采集及故障报警等功能。在 Step7-5.4 环境下梯形图编程实现模糊控制算法,触摸屏记录制冰板换回水温度响应曲线,如图 3 中蓝色实线所示。制冰过程从晚上 00:00 开始,连续制冰 4 h (240 min)。在 0~90 min 时段内,蓄冰槽内的水与载冷剂通过制冰板换进行显热交换,其中 0~60 min 时段内温度从 28 °C 迅速下降至约 2 °C;在 60~90 min 时段内,制冰回水温度在模糊控制作用下缓慢下降,没有出现大的超调,水温从 2 °C 下降至 0.5 °C,经过制冰板换热后的过冷水在超声波促晶器作用下开始结冰,冷量以潜热形式蓄积在蓄冰槽内;在以后的时间里,温度在 0.5 °C 上下作小幅振荡,最终调节时间为 158 min,稳态误差为 0.26 °C。图 3 中红色虚线为系统(同样工况下)在 Step7-5.4 内置的 PID 控制器作用下,制冰板换回水温度响应曲线。由图 3 可见,与传统的 PID 控制器相比,系统在模糊控制器作用下,制冰板换回水温度响应快速,稳态误差小,控制系统稳定可靠且鲁棒性好,可确保冰蓄冷空调制冰过程连续高效率进行。

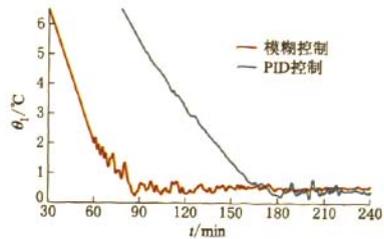


图 3 制冰板换回水温度曲线

Fig. 3 Return water temperature curve of ice-making plate heat exchanger

5 结论

(1)采用 PLC 控制冰蓄冷中央空调,可靠性好,使用方便灵活,抗干扰能力强。另外,通过 PLC 和触摸屏不仅可以实现远程及现场监控,还可以实时记录温度、流量以及压力等数据,省去了专用的数据采集仪及工控机。

(2)在 Step7-5.4 环境下通过梯形图编程实现了模糊控制算法。既保留了 PLC 的优点,又降低了控制成本。

(3)模糊控制本质上不依赖于系统的数学模型,克服了传统 PID 控制参数调节的困难,提高了控制系统的智能化程度。

模糊控制能够根据制冰板换回水温度偏差及偏差变化率,实时调节变频泵流量,因此系统超调量小,调节时间短,控制精度高;模糊控制的各项性能指标明显优于传统的 PID 控制,可用来解决制冰快速性与稳定性的问题。

参考文献 (References)

- [1] Chatchawan C, William W S C, Lu A. An ice thermal storage computer model [J]. *Applied Thermal Engineering*, 2001, 21(17): 1769-1778.
- [2] 石磊. 基于负荷预测在线修正的冰蓄冷空调系统优化运行研究 [D]. 西安: 西安建筑科技大学环境与市政工程学院, 2002.
- [3] Gregor P H, Moncef K, Michael J B. Guidelines for improved performance of ice storage systems [J]. *Energy and Buildings*, 2003, 35(2): 111-127.
- [4] Chen H J, Wang D W P, Chen S L. Optimization of an ice-storage air conditioning system using dynamic programming method [J]. *Applied Thermal Engineering*, 2005, 25(2/3): 461-472.
- [5] 朱本坤. 基于单片机的模糊 PID 恒压供水控制系统

- [J]. 排灌机械, 2008, 26(1): 43-46.
- Zhu Benkun. Fuzzy-PID constant-pressure water supply system based on single chip computer[J]. *Drainage and Irrigation Machinery*, 2008, 26(1): 43-46. (in Chinese)
- [6] Saravuth P, Issarachai N. Optimal fuzzy logic-based PID controller for load-frequency control including superconducting magnetic energy storage units[J]. *Energy Conversion and Management*, 2008, 49(10): 2833-2838.
- [7] Wang Jiangjiang, Zhang Chunfa, Jing Youyin, et al. Using the fuzzy multi-criteria model to select the optimal cool storage system for air conditioning[J]. *Energy and Buildings*, 2008, 40(11): 2059-2066.
- [8] 任永新, 谭豫之, 杨会华, 等. 基于模糊控制的黄瓜采摘机器人视觉导航[J]. 江苏大学学报: 自然科学版, 2009, 30(4): 343-346.
- Ren Yongxin, Tan Yuzhi, Yang Huihua, et al. Visual navigation of cucumber picking robot based on fuzzy control[J]. *Journal of Jiangsu University: Natural Science Edition*, 2009, 30(4): 343-346. (in Chinese)
- [9] 徐今强, 黄冲, 董凯军, 等. 基于PLC和触摸屏的动态冰蓄冷空调控制系统设计[J]. 低温工程, 2008(6): 40-44.
- Xu Jinqiang, Huang Chong, Dong Kaijun, et al. Design of dynamic ice-storage air-conditioning control system based on PLC and touching screen[J]. *Cryogenics*, 2008(6): 40-44. (in Chinese)
- [10] 刘宜, 方桂笋, 李晨晨, 等. 基于PLC的泵站供水控制系统的设计[J]. 排灌机械, 2007, 25(6): 17-20.
- Liu Yi, Fang Guisun, Li Chenchen, et al. Design of water supply control system based on PLC[J]. *Drainage and Irrigation Machinery*, 2007, 25(6): 17-20. (in Chinese)

(责任编辑 张文涛)

—————
 (上接第 255 页)

- [7] Lima Neto I E, De Melo Porto R. Performance of low-cost ejectors[J]. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 2004, 130(2): 122-128.
- [8] 龙新平, 程茜, 韩宁, 等. 射流泵空化流动的数值模拟[J]. 排灌机械工程学报, 2010, 28(1): 7-11.
- Long Xinping, Cheng Qian, Han Ning, et al. Numerical simulation on cavitating flow within jet pump[J]. *Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering*, 2010, 28(1): 7-11. (in Chinese)
- [9] Reader-Harris M J, Brunton W C, Gibson J J, et al. Discharge coefficients of Venturi tubes with standard and non-standard convergent angles[J]. *Flow Measurement and Instrumentation*, 2001, 12(2): 135-145.
- [10] Kranz W L, Eisenhauer D E, Parkhurst A M. Calibration accuracy of chemical injection devices[J]. *Applied Engineering in Agriculture*, 1996, 12(2): 189-196.
- [11] Ozkan F, Ozturk M, Baylar A. Experimental investigations of air and liquid injection by venturi tubes[J]. *Water and Environment Journal*, 2006, 20(3): 114-122.
- [12] Steven R. A dimensional analysis of two phase flow through a horizontally installed Venturi flow meter[J]. *Flow Measurement and Instrumentation*, 2008, 19(6): 342-349.

(责任编辑 张文涛)