

组合式空调的节能策略与控制程序设计

房华伟¹, 张勋才²

1. 广西中烟工业公司柳州卷烟分厂, 广西壮族自治区柳州市学院路9号 545005

2. 郑州轻工业学院电气信息工程学院, 郑州市东风路5号 450002

关键词: 组合式空调; PLC; 节能; 温度; 湿度; 控制程序

摘要: 卷烟生产企业采用 PLC对空调系统进行调节, 其程序设计质量会直接影响空调系统的可靠性和稳定性。对组合式空调的结构和原理进行了分析, 提出了 PLC程序设计过程中可采用两种节能策略:

①最大限度地使用室外新风作冷源; ②送风机频率根据送风温差进行控制, 而非传统的由送风压力控制。同时, 阐述了室内温度和湿度自动调节原理和 PD自适应控制、空调系统的串级调节等控制策略。

实际应用表明, 两种节能方案效果显著, 可节能 8%左右, 性能可靠, 采用 PLC作为控制器设计的控制程序满足了生产车间对室内环境的工艺要求。

中图分类号: TS438 **文献标识码:** B **文章编号:** 1002-0861(2009)02-0029-05

Energy Saving Measures and Control Programming for Combined Air Conditioning System

FANG HUA-WEI(1) and ZHANG XUN-CAI(2)

1. Liuzhou Cigarette Factory Guangxi Branch of China Tobacco Industry Corporation Liuzhou 545005 Guangxi China

2. College of Electrical Information Engineering Zhengzhou University of Light Industry Zhengzhou 450002 China

Keywords: Combined air conditioning system; Programmable Logic Controller (PLC); Energy saving; Temperature; Humidity; Control program

Abstract: The reliability and stability of PLC controlled air conditioning system in cigarette enterprises were directly affected by PLC programming. The structure and principle of combined air conditioning system were analyzed and two energy saving measures adoptable in PLC programming were proposed: maximizing the use of outdoor fresh air as a cold source and adjusting the frequency of intake fan driving motor based on input air temperature difference instead of input air pressure. Moreover, the principle of automatic temperature and humidity regulation and control measures for PD self adaptive control and cascade control of air conditioning system were described. The practical application showed that the two measures could save energy by about 8% with reliable performance and meet the requirements of indoor environment in production workshop.

卷烟生产企业的空调自动控制系统是综合运用计算机、网络、总线、自动控制、空调制冷及节能运行等技术, 对室内空气的温度、湿度、清洁度及气流速度进行调节, 保持室内空气的最佳品质, 以满足人们对环境舒

适性或生产工艺的要求, 并根据实际需要进行综合能量控制, 达到既安全又节能的目的。

组合式空调处理设备包括表冷器(降温降湿)、蒸汽加热器(升温)、干蒸汽加湿器、新风回风排风阀、变频风机等^[1]。在不同季节和工况下, 采用的热湿处理措施及所选设备也有差异, 因此通常采用 PLC控制程序方式对空调系统进行调节, 以适应室外气象条件及环境热湿负荷的变化, 但其程序设计质量的好坏, 将直接影响到空调系统的可靠性和稳定性。以广西中烟

作者简介: 房华伟(1979—), 学士, 助理工程师, 主要从事自动控制程序设计与应用工作。E-mail: fang_huawei@163.com

收稿日期: 2008-08-29

责任编辑: 曹娟 E-mail: yckj@tobaccoinfo.com.cn

工业公司柳州卷烟分厂空调系统运行要求为例,阐述了 PLC 控制器在设计程序过程中可以采取的两种节能策略。

1 组合式空调

组合式空调机组按功能段可分为排风段、新风段、回风段、送风段 4 个部分,见图 1。也可根据实际需要任意分段组合,以满足各区域的空气净化和调节系统的需求。

排风段将一定比例的回风排出,新风段将一定比例的外部空气引入机组。两者配合引入新鲜空气,参与空气调节,优化空气质量(增加含氧量、除臭等)。新风与回风在送风段入口处相遇并混合,经过滤器(除尘)、表冷器(制冷)、加热器(加热)、加湿器(加湿),最终形成合格的空气送入受控区域。

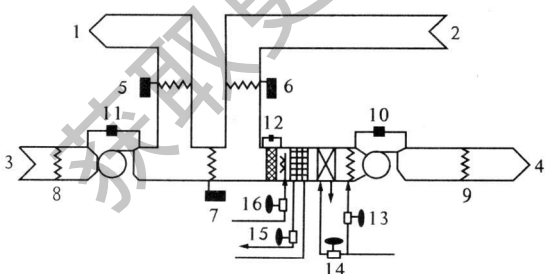
2 控制系统要求

控制系统要实现以下功能:①车间全年多工况恒温恒湿自动控制:温度 $25^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$,相对湿度 $60\% \pm 5\%$,控制的执行机构包括新风阀、回风阀、排风阀、表冷阀、加热带、加湿阀;②风机转速控制:根据车间空调负荷的变化,由 PLC 控制变频器,调整风机转速以达到控制送风量的目的^[2];③送回风机启停控制:开机时先开送风机,延迟 30 s 后开回风机;停机时先停回风机,延迟 30 s 后再停送风机;④送回风机与各电动调节阀连锁运行:送风机停止时,表冷阀、加热带、加湿阀全关,新风阀和排风阀全关,回风阀全开;⑤自清洁过滤段的反吹清灰控制。

3 节能策略

3.1 最大限度利用室外新风冷源

空调系统节能运行控制方案的原则是在保证温湿



1 排风 2 新风 3 回风 4 送风 5 排风阀 6 新风阀 7 回风阀 8 回风防火阀 9 送风防火阀 10 送风机 11 回风机 12 筒式过滤器 13 加湿阀 14 加热带 15 冷水阀 16 反吹

图 1 组合式空调机组结构示意图

度控制范围及系统运行安全可靠的前提下,充分合理地利用各种能源,缩短人工冷热源的投入时间,节省运行费用。根据以上原则,按照室外工况与室内设定值的相对关系,结合被控环境的热湿负荷特性和当地室外气象条件,将空气 $i-d$ 图划分为若干个控制分区,针对不同分区执行最经济、最高效的运行控制方案^[3]。

各工况动态分区原则是:当新风状态点 (w) 的绝对含湿量 $d_w > \text{环境温湿度设定点绝对含湿量 } d_n$ 时,此季节工况应对空气进行除湿处理,否则应对空气进行加湿处理;当新风混合状态点 (ρ) 的温度 $t_p > \text{工况转换设定点的温度 } t_f$ 时,此季节工况应对空气进行冷却处理,否则应对空气进行加热处理^[4]。根据最大限度使用新风冷源原则,同时参考多种工况判别准则(表 1),制定出新风回风比节能控制原则。柳州卷烟分厂空调控制系统全年分为 5 个工况区域 $w_1 \sim w_5$,见图 2 全年多工况恒温恒湿分区控制及工况转换见表 2。

3.2 风机变频控制节能

空调系统的设计风量都是在一定条件下(接近夏季最大负荷)确定的,但在全年运行中很少会在设计工况下运行。因此,在设计控制程序时可采用变风量节能运行方案,在系统的实际负荷小于设计负荷时,通过变频降低风机转速,从而降低系统风量,在满足环境要求的前提下,最大限度地节省风机能耗。

由于风机的实耗功率与风机转速及风量均成 3 次方关系,即: $N'/N = (n'/n)^3 = (L'/L)^3$ 。因此,当系统风量 L 降低为设计风量 L 的 85% 时,风机的实耗功率 N' 仅为为设计风量运行时风机实耗功率 N 的 61%^[5]。

表 1 多种工况判别准则

工况	判别准则	新风量控制
1	$t_p \leq t_f, d_w \leq d_n$	可调新风
2	$t_p \leq t_f, d_w > d_n$	最大新风
3	$t_p > t_f, d_w \leq d_n$	最小新风
4	$t_p \leq t_f, d_w > d_n$	最大新风
5	$t_p > t_f, d_w > d_n$	最小新风

注: w 为新风状态点, n 为环境温湿度设定点, f 为工况转换设定点。

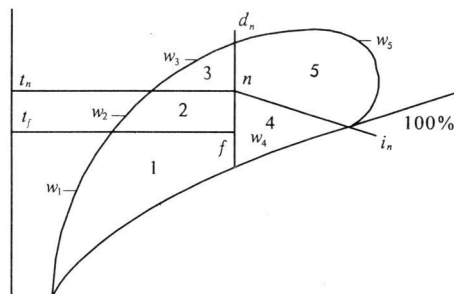


图 2 $i-d$ 图和工况分区图

可见, 空调系统变风量运行的节能效果取决于变风量控制逻辑是否合理, 而控制变风量的关键在于送回风机双风机的变频控制策略及相互协调。

对于单风机系统, 变风量控制简单, 执行风量只需根据环境温度调整节能控制逻辑即可。在实现变风量运行时, 不仅要确定送风机的变频控制逻辑, 还要保证室内的正压控制要求。其变风量控制逻辑关键点为: 确定送风温差 $(t_s - t_r)$ 为送风机风量的控制参数, t_r 为室内平均温度, t_s 为送风温度。通过实测送风温差与设定值比较, 确定送风机的变频调节量。因为 $G = Q_r / [\rho \times C_p \times (t_s - t_r)]$, 所以当车间空调负荷 Q_r 变化时, 可以通过变频器调整送风量 G 使送风温差保持不变。式中 ρ 、 C_p 均为常数, 分别为空气的密度与定压比热^[6]。在全年控制方案中, 送风温差 $(t_s - t_r)$ 的设

定值随季节及工况变动, 冬夏季取值较大, 过渡季则适当调小。

对于双风机系统, 送风机变频时, 回风机频率也进行相应的调整。但由于总风量 (即送风量) 变化时, 新风保持不变, 因此回风机频率并不与送风机频率同步等比例变化, 而是遵循以下规律: $F_R = F_{R0} \times (F_S / F_{S0} - C) / (1 - C)$, 其中: F_R 为回风机即时频率, F_{R0} 为回风机初始频率, F_S 为送风机即时频率, F_{S0} 为送风机初始频率, C 为空调系统的新风门开度百分比。

4 控制程序设计

4.1 启动程序

启动程序要完成新风门、排风门和回风门的初始开度设定, 以送风静压达到设定值时结束, 见图 3。

表 2 柳州卷烟厂全年多工况恒温恒湿分区控制及工况转换

工况分区	分区条件	对应季节/工况	温度调节机构	湿度调节机构	制冷机	新风阀	回风阀	冷水阀	加热带	加湿阀
1区	$d_w \leq d_n$ $t_s \leq t_r$	冬季 (加热、加湿)	新回风阀、加热带	加湿阀	关	调节 (下限 15%)	调节	关闭	调节	调节
2区	$d_w \leq d_n$ $t_s \leq t_r$	过渡季节 (冷却、加湿)	冷水阀	加湿阀	开	最大开度	最小开度	调节	关闭	调节
3区	$d_w \leq d_n$ $t_s > t_r$	夏季 (冷却、加湿)	冷水阀	加湿阀	开	最小开度 (预设 15%)	最小开度	调节	微调	调节
4区	$i_w \leq i_r$ $d_w > d_n$	极端工况 (冷却、除湿)	加热带	冷水阀	开	最大开度	最小开度	调节	微调	关闭
5区	$i_w > i_r$ $d_w > d_n$	极端工况 (冷却、除湿)	加热带	冷水阀	开	最小开度 (预设 15%)	最小开度	调节	微调	关闭

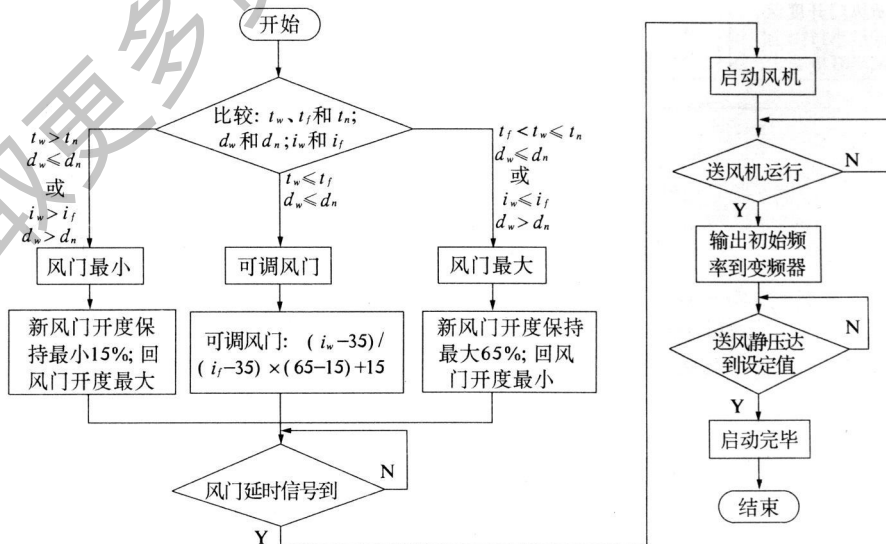


图 3 组合式空调机组启动程序流程图

4.2 运行程序

运行程序要完成新风门、排风门和回风门的开度自动调整,冷水阀、加热线、加湿阀以及送风机频率的自动调整^[7],见图4

4.3 温湿度自动调节原理

室内空气的温度和湿度主要通过调节冷水阀、加热线和加湿阀的开度,使室内空气质量达到生产工艺要求,调节原理见图5。组合式空调控制程序通过调整加热线和冷水阀的开度控制室内温度,若PID1输出为25%,加热线开度应为 $(50\% - 25\%) \times (100\% / 50\%) = 50\%$,冷水阀开度为0%;若PID1输出为75%,加热线开度应为0%,冷水阀开度为 $(75\% - 50\%) \times (100\% / 50\%) = 50\%$ 。图5中两条短线区间为“死区”,即若 $45\% \leq \text{PID1输出} \leq 55\%$,则加热线开度为0%,冷水阀开度也为0%,这样可避免因其它因素干扰而造成阀门频繁开关。湿度调节原理与温度调节原理相同,由于冷水兼有降温和除湿的作用,所以冷水阀开度取PID1和PID2两者计算输出的最大值。

4.4 停止程序与反吹控制

组合式空调停止时,表冷阀、加热线、加湿阀全关,新风阀和排风阀全关,回风阀全开,然后先停回风机再

停送风机,以保持室内为正压。反吹一般由操作人员在机组停机时进行,保证压缩空气(压力 $0.62 \sim 0.7 \text{ MPa}$)为干燥、清洁的空气,压缩空气压力过小会影响清灰效果,压力过高则会损坏滤筒式过滤器。反吹采用的时序控制器具有记忆功能,下一次脉冲反吹将从上次停止的滤筒开始往下清灰。

4.5 其他控制策略

4.5.1 PID自适应控制策略

在空调温湿度控制中,由于卷烟生产车间动态的热物理特性和室外气象条件的影响,PID回路固定一组PID参数很难保证全年任何时间都能将车间温湿度控制在正常范围内^[8],因此对温湿度控制回路的主要参数(P、Ti、Td)应动态调整,以防止出现较大的超调及振荡现象。在控制软件设计时宜采用变PID参数、积分分离等自适应模糊控制技术^[9],自动修正P参数及调整PID控制规律,保证全年任何时间车间内都能够快速达到温湿度要求。

4.5.2 空调系统的串级调节策略

由于组合式空调服务区域体积较大,以及表冷器、加热器及相关电动阀的滞后作用,因此在温湿度控制中,系统的纯滞后及惯性较大,如果单纯地根据车间温

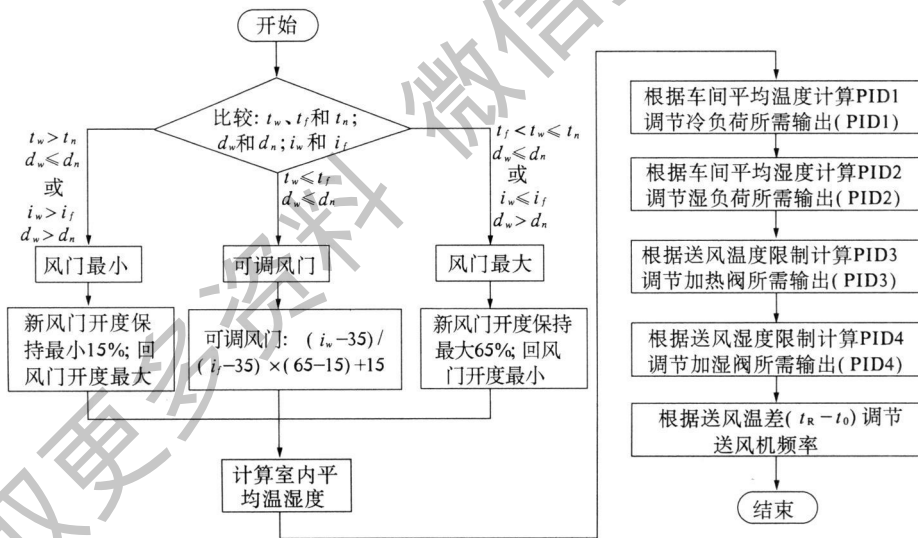


图4 组合式空调机组运行程序流程图

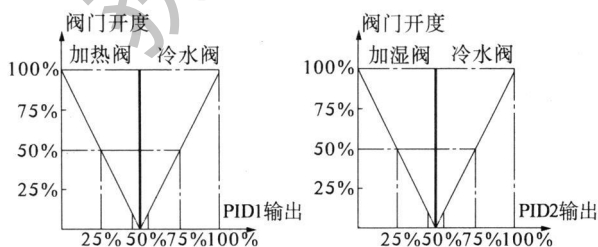


图5 室内温度和湿度自动调节原理图

湿度控制各执行机构,则系统可能会因为滞后引起车间温湿度超调及振荡,此时应将送风参数引入控制回路构成副回路和主回路共同组成串级控制^[10]。以温度控制回路为例(图6)由于副回路的存在,可及时校正来自送风方面的干扰,提高控制品质。控制程序设计时在串级控制中加入送风高温、高湿、低温限制,可有效避免加热时送风温度过高、加湿时送风湿度过高

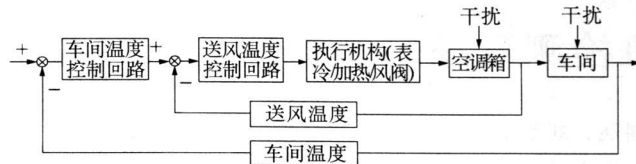


图 6 温度控制回路原理图

产生凝水, 以及送风温度过低产生风口凝露等现象。

5 结语

广西中烟工业公司柳州卷烟分厂烟叶醇化库组合式空调系统采用美国 AB公司 LOGIP5000作为控制器, 在程序设计过程中采用了上述两种节能策略: 一是最大限度地使用室外新风作冷源, 二是送风机频率根据送风温差($t_1 - t_2$)进行控制, 而非传统的由送风压力控制。该方案自投入使用两年来, 使用新控制方法后节能约 8%左右, 性能可靠, 满足了醇化库对库区环境的工艺要求。另外, 配合上位监控软件 IF₈即可通过系统自动控制组合式空调设备的运行, 减轻了操作人员的工作量。

参考文献

- [1] 王寒冻. 制冷空调测控技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004
- [2] 谢海, 袁国安, 李国荣等. 卷接机组风力供给系统中离心风机运行工况分析与调节[J]. 烟草科技, 2007(5): 23-24
- [3] 王如竹, 丁国良. 最新制冷空调技术[M]. 北京: 科学出版社, 2002
- [4] 李士龙. 焓差法空调器试验室设计[J]. 电机电器技术, 1996(5): 25-26
- [5] 吴剑恒. 单变频器控制一用一备水泵的策略分析及其应用[J]. 节能技术, 2007(4): 373
- [6] 刘有珠, 朱杰斌, 李沛武. 基于 UML的低压配电网实时监控系统的的设计[J]. 微计算机信息, 2006(22): 134
- [7] 陈在平, 赵相宾. 可编程控制器技术与应用系统设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003
- [8] 钱晓龙. MicroLOGIX控制器应用实例[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003
- [9] 袁佑新, 兰艳, 吕琳. 基于 PROFIBUSDP的钢铁造型生产线 PLC控制系统设计[J]. 微计算机信息, 2004(11): 3-4
- [10] 李桂莲. 基于高炉上料装置 PLC控制系统应用的研究[J]. 电气应用, 2005(5): 46