

小型 PLC 在核电站核岛通风控制中的应用

Application of Miniature PLC in Nuclear Island HVAC Control of Nuclear Power Station

吴 斌

(中广核工程有限公司设备采购与成套中心,广东 深圳 518124)

摘 要: 为实现对 CPR1000 核电机组核岛通风系统的可靠控制,采用了小型 PLC 作为其控制器。介绍了该类型核电机组核岛通风控制系统大分散、小集中的特点,对比了小型 PLC 和直接数字控制器(DDC)两种控制器的性能参数,详细分析了小型 PLC 应用的优势。实际应用结果验证了小型 PLC 应用的可行性,对于同类型的控制方式选择具有参考和借鉴作用。

关键词: CPR1000 核电机组 核岛 通风系统 PLC 直接数字控制器

中图分类号: TP273 **文献标志码:** A

Abstract: For achieving robust control of the nuclear island HVAC system of CPR1000 nuclear power unit, the miniature PLC is used. The features of such HVAC control system, i. e. distributed in large scale and centralized in small area, are introduced. The control parameters of two types of controllers, PLC and DDC, are compared, and the superiority of the miniature PLC is analyzed in detail. The results of practical application verify the feasibility of applying miniature PLC, this is good reference for selecting the same kind of control schemes.

Keywords: CPR1000 nuclear power unit Nuclear island Heating ventilation and air conditioning(HVAC) PLC Direct digital controller(DDC)

0 引言

核能是一种清洁的能源。同样规模的核电与煤电相比,核电燃料链向环境释放的温室气体只是煤电的百分之一,而核电本身并不会产生污染大气的气体^[1]。在人们越来越重视地球温室效应、气候变化的形势下,积极推进核电建设,已成为我国能源建设的一项重要政策^[2]。

发展核电可以改善我国的能源供应结构,保证能源的长期稳定供应,并保障国家能源安全和经济安全^[3]。

根据 2007 年 10 月国家发展和改革委员会颁布的《核电中长期发展规划》(2005~2020 年),到 2020 年,核电运行装机容量达到 4 000 万 kW,在建核电容量保持在 1 800 万 kW 左右^[2]。到 2010 年 10 月,我国投入商业运行的核电机组仅为 1 014.8 万 kW,而正在建设的核电机组容量却超过 2 000 万 kW,毋庸置疑,核电建设正迎来一个新的发展机遇期。目前在建机组中,CPR1000 核电机组占据着重要的份量。

随着数字化技术的发展,PLC 这种专为工业应用而设计的数字控制器^[4],以其高可靠性和灵活性,越来越广泛地在核电站得到应用。本文在充分对比分析了

小型 PLC 和直接数字控制器(direct digital controller, DDC)应用在 CPR1000 核电机组核岛通风控制的优劣基础上,说明了小型 PLC 是该类核电站核岛通风控制应用的最佳选择。

1 CPR1000 核岛通风控制特点

核电站核岛通风系统的正常运行,对于核电站的正常运行有着非常重要的作用。通过对空气温度、压力、湿度、放射性、洁净度和换气频率等参数的调节和控制,通风系统为人们提供了舒适的工作环境,为设备创造了安全的环境条件,并限制了污染气体的排放。CPR1000 机组核岛通风系统采取大分散、小集中的控制方式,通过控制系统实现温湿度调节、风量调节和电加热器启动控制等。通风系统根据区域的不同,分为若干种控制模式,各种控制模式的 I/O 点数都不超过 20 点。各模式的控制功能描述如下。

模式 A 保证房间的温度和相对湿度,即根据温度传感器和湿度传感器的变化,调节加湿器、冷却盘管调节阀,同时实现电加热器手动启动、温度低自动启动以及温度高或失去风量自动停运。

模式 B 保证房间的温度,即根据温度传感器的温度变化调节冷却盘管上的调节阀开度。

模式 C 保证房间的温度,即根据温度传感器的温度变化调节电加热器的功率,同时实现电加热器手动启动、温度低自动启动、温度高或失去风量自动停运。

修改稿收到日期:2010-12-01。

作者吴斌,男,1979 年生,2001 年毕业于安徽机电学院工业自动化专业,获学士学位,工程师;主要从事核电站仪表和控制系统方面的研究。

模式 D 能实现电加热器手动启动、温度低自动启动、温度高或失去风量自动停运。

模式 E 通过改变新风的比例和冷却盘管的载荷来控制房间温度。该控制可分为冬季工况和夏季工况两种。冬季工况下,送风为新风和再循环空气的混合物,为保证房间温度的调节,冷却盘管停运。如送风温度超过整定值,则新风比例增高;相反,如送风温度降低至整定值以下,则新风的比例降低。室外温度增高时,如果新风的比例为 100%,且送风温度超过整定值,则首先启动冷却盘管,其次新风风阀和排风风阀自动关闭,再循环风阀自动开启。夏季工况下,新风风阀部分关闭(新风为 10%),调节控制冷冻水阀以保证送风温度。在主控室手动启动就地控制系统后,如果再循环风和新风的温度过高,则根据热交换器上游的温度传感器来调节冷却水阀。

模式 F 是模式 B 和模式 C 的组合,为保证房间温度,其根据房间入口/出口温度传感器的变化来调节热交换器的调节阀开度和加热器功率,并且能实现电加热器的手动启动、温度低自动启动以及温度高和失去风量自动停运。

模式 G 保证房间温度,根据温度开关的信号来控制电加热器的启停。温度低,电加热器自动启动,温度

达到设定值则自动停运^[5]。

根据对各模式系统功能需求的统计,各控制模式的 I/O 点数如表 1 所示。

表 1 各种控制模式的 I/O 点数
Tab. 1 I/O points of each control mode

控制模式	DI	DO	AI	AO	总点数
A	8	7	2(1 NTC)	3	20
B	0	1	1(NTC)	1	3
C	5	6	1(RTD)	1	13
D	5	6	1(NTC)	0	12
E	1	0	1(NTC)	4	6
F	5	7	2(1 NTC)	2	16
G	2	4	0	0	6

由表 1 可以看出,各控制模式的 I/O 点数都不超过 20 点,最少的只有 3 点。因此,采用小型 PLC 和 DDC 都可以实现控制功能。

2 PLC 和 DDC 应用分析

本文对 AB 公司(Allen-Bradley)的 MicroLogix 系列 1763-L16BBB 型号的 PLC 控制器与 Johnson 公司的 FX15/FX06 型号的 DDC 控制器进行了分析比较,控制器的参数如表 2 所示,性能分析比较如下。

表 2 控制器的参数

Tab. 2 Parameters of the controllers

控制器	供电电源	处理器	内存	显示	工作环境条件	DI/个	DO/个	AI/个	AO/个
1763-L16BBB	24VDC	16 位	128kB + 64kB	液晶	-20 ~ +65℃, 5% ~ 95%	10	6	2	0
FX15/FX06	24VAC	16 位	256kB	液晶	0 ~ 50℃, 10% ~ 90%	8/5	8/6	6/4	4/2

① 经济性,单就控制器来说,1763-L16BBB 控制器比 FX15 控制器价格低,但 PLC 需要较多的扩展模块,DDC 可用 FX15 与 FX06 控制器结合使用。因此,总体来说,采用 1763-L16BBB 和 FX15/FX06 控制器经济性相当。

② 环境适应性,PLC 是为工业环境下应用而设计的,能在比较恶劣的环境下应用,而 DDC 较多应用于民用楼宇的通风空调系统的控制,环境适应的范围相对要窄一些。

③ 负载驱动能力,PLC 有着较强的负载驱动能力,在继电器和 FET 输出情况下,1763-L16BBB 控制器的最大被控负载可达到 720 VA。因此,PLC 可以直接驱动一些小型负载。

④ 组态方式,PLC 可用梯形图实现编程。梯形图语言的图形符号与表达方式和继电器电路图相当接近,容易被广大非计算机专业的工业控制技术人员所

掌握。

⑤ 模块扩展,对于应用 PLC,除了模式 D 和模式 G 不需要增加扩展模块,其余模块都要增加相应的 DO 或 AO 扩展模块;对于应用 DDC,需要的扩展模块较少,为降低成本,模式 B 和模式 G 都可以采取 FX06 控制器,也可以缩小控制箱的体积,其他模式则采用 FX15 控制器即可。因此,从模块扩展来说,DDC 方案配置更简洁。

⑥ 数据采集,在 CPR1000 机组核岛通风系统中,现场信号既有开关量信号和 4 ~ 20 mA 信号,也有 NTC 热敏电阻(可用 Ni1000 替代)和 Pt100 热电阻信号。1763-L16BBB 控制器需要增加转换模块才能接收 RTD、NTC 热敏电阻或 Ni1000 传感器信号。DDC 可以直接接收 NTC 热敏电阻或 Ni1000 传感器信号,但 DDC 无法接收 3 线制或 4 线制的 RTD 信号,其需增加变送器将 RTD 转换为标准的 4 ~ 20 mA 电流信号。

综上所述,对于核电站核岛通风系统,PLC 和 DDC 两种控制器各有优劣。由于核电站核岛通风控制系统可靠性要求比较高,并且 CPR1000 机组核岛通风系统采取大分散、小集中的控制方式,相互之间并不采取通信方式互联,因此,采取小型 PLC 实现控制更合适。

3 小型 PLC 在通风系统中的应用

以 A 模式为例,小型 PLC 实现的控制系统结构如图 1 所示。

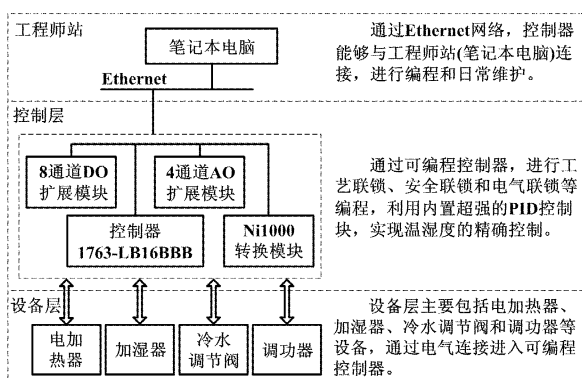


图 1 控制系统结构图

Fig.1 Structure of control system

本模式包括温度控制和湿度控制。对于温度控制,采用经典控制理论中的 PID 控制和分程控制相结合的方法,最终达到整个系统温度的稳定可靠控制。理想的 PID 算式可以表示为:

$$p = K_p(e + 1/T_i \int edt + T_d de/dt)$$

式中: p 为控制器的输出信号; e 为给定值 r 与测量值 y 之差值,即 $e = r - y$; K_p 、 T_i 、 T_d 分别为控制器的比例常数、积分时间和微分时间^[6]。

在 PID 算式中,比例控制是对偏差进行控制。偏差一旦产生,控制器立即作用调节控制输出,使被控量朝着偏差减少的方向变化。偏差减小的速度取决于比例常数 K_p 。 K_p 越大,偏差减小得越快,但是容易产生振荡,尤其是迟滞环节比较大的情况; K_p 越小,发生振荡的可能性越小,但是调节速度变慢。但单纯的比例控制存在静差不能消除的缺点,需要通过积分控制弥补。

积分控制实际上就是对偏差累积进行控制,直至偏差为零。积分控制作用始终施加指向给定值的作用力,这有利于消除静差,其效果不仅与偏差大小有关,而且还与偏差持续的时间有关。

微分控制能敏感地感觉到误差的变化趋势,可在

误差信号出现前就起到修正误差的作用,有利于提高输出响应的快速性,减小被控量的超调,增加系统的稳定性。

因此,比例/积分/微分控制特别适合温度这种滞后较大的参数的控制。

分程控制是指控制器的输出信号控制两只或更多的执行机构,每只执行机构在控制器的输出信号的某段范围内工作。在通风系统中,冷水调节阀对于系统温度属于反作用,电加热器对于温度属于正作用。根据最舒适的温度需求和实际的反馈值,突破传统偏差的调节方式,将偏差分为正向偏差和反向偏差。当系统出现正向偏差,且偏差超过一定值时,说明温度过高,系统将预估性关闭电加热器,同时启动冷水调节阀的调节功能;当系统出现反向偏差,且偏差超过一定值时,说明温度过低,系统将预估性地关闭冷水调节阀的调节功能,同时启动电加热器。分程控制能改善控制品质^[6]。

对于湿度控制,系统采用经典控制理论中的 PID 控制,并增加了前馈控制思想,以消除系统检测滞后现象。

前馈控制的作用是当系统检测到湿度反馈值突然出现异常的波动和反向时,认为存在干扰因素,系统及作出判断,并绕过 PID 控制器,直接作用于加湿器,从而取得有效的预防措施。

4 提高系统可靠性措施

PLC 本身具有可靠性高和抗干扰能力强的特点。由于采用现代大规模集成电路技术,且采用严格的生产工艺制造,内部电路采取了先进的抗干扰技术,PLC 具有很高的可靠性。PLC 还具备故障诊断功能,整体系统的可靠性得以全面提高。小型 PLC 的平均故障间隔时间 (mean time between failure, MTBF) 一般在 40 000 ~ 50 000 h 以上^[4]。

同时,根据需要,为进一步提高系统可靠性,本文还采取了如下措施。

① 降低使用应力水准,这里应力不仅指机械应力与电气负荷,而且也包括物理环境条件。在允许的条件下,减小温度变化、加大安全系数都是降低使用应力水准的措施。由于小型 PLC 的环境条件比较宽,在通常的使用条件下,其可靠性会大大提高^[7]。

② 提高软件的可靠性,PID 控制与分程控制和前馈控制等相结合,控制特性良好;同时,将重要数据存放在非易失性内存中,软件可靠性大大提高。

(下转第 34 页)

3 策略构件的集成与测试

当所有编程调试工作被确认无误以后,重新编译工程 FuzzyPID,点击 File -> Make FuzzyPID. dll 生成最后可以使用的 ActiveDLL 文件,即 FuzzyPID. dll,将这个文件拷贝到 MCGS 目录\MCGS\Program\AddIns\用户定制构件下,同时修改[Path]AddIns 目录下的 Add-Ins. ini 文件,在文件中注明 FuzzyPID. dll。启动 MCGS 组态环境,在“工具”菜单下,选取“策略构件管理”项,双击“用户定制构件”文件夹,选择“模糊自适应 PID”后安装。打开一个运行策略的组态窗口,在策略工具箱内将显示“模糊自适应 PID”一项。这样,就完成了策略构件的集成。

策略构件集成到 MCGS 中后,以水箱液位控制为例进行了测试。测试效果如图 4 所示。

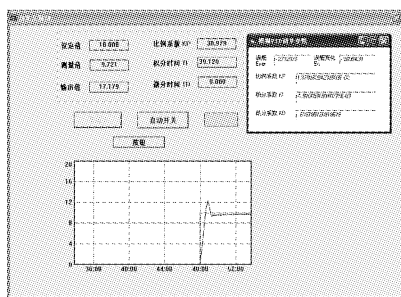


图 4 策略控件的应用

Fig. 4 Application of the strategy component

在 MCGS 中组态用户策略,将该构件选入到策略行中,双击该策略,MCGS 调用策略的组态环境接口,用户可以在组态环境中对算法的各项参数进行设置。进入运行环境后,当对应的策略行被执行时,MCGS 调

用构件的运行接口,执行模糊自适应 PID 算法。

试验表明,Matlab 以策略形式被 MCGS 引用后,与一般通用构件一样,调用方便,运算效率高。

4 结束语

本文详细介绍了先进控制策略在 MCGS 上的集成方法。在 MCGS 良好稳定的画面技术基础上,克服了脚本语言简单且不能完成复杂控制策略的缺点;充分利用 Matlab 在数据处理与算法设计方面的优势,采用 VB 调用 COM 技术,实现了复杂算法的集成。同时,算法完全摆脱 Matlab 环境的束缚,成功地将设计的构件集成到了 MCGS 中,使 MCGS 同时满足了用户对友好人机界面和先进控制策略的需求。

实践证明,这种方式开发成本低,系统移植性能好,极大地扩充了组态软件的应用领域,具有较高的应用价值。

参考文献

- [1] 马国华. 监控组态软件及其应用[M]. 北京:清华大学出版社, 2001:12-20.
- [2] 张烈平,牛秦洲,敖茂尧. 基于 OPC 的 Matlab 与 MCGS 实时通讯的实现[J]. 微计算机信息,2007,23(4):54-55.
- [3] 黄广国,刘浩. 基于 PCAuto 与 Matlab 的 DDE 技术应用[J]. 自动化仪表,2008,29(7):32-34.
- [4] 夏坤,张建国,蒋洪. COM+ 及其在组态软件中的应用研究[J]. 计算机工程与应用,2002(20):117-119.
- [5] 常青,张卡,张志杰. DDE 与 COM 技术在组态软件开发中的应用[J]. 电子技术应用,2004(11):11-12.
- [6] 刘金琨. 先进 PID 控制 MATLAB 仿真[M]. 2 版. 北京:电子工业出版社,2004:115-128.
- [7] 陈超. 精通 MATLAB2008 应用程序接口编程技术[M]. 北京:电子工业出版社,2009.

(上接第 30 页)

③ 采用高性能的直流稳压电源,直流电源比较稳定,且高性能的稳压电源不会产生自激现象,纹波小,对系统的干扰小。

④ 良好的接地也有利于提高控制系统的可靠性。

5 结束语

本文分析了小型 PLC 在核电站核岛通风控制中的应用优势,并介绍了具体实施方案。小型 PLC 已经在红沿河核电站一期工程 and 宁德核电站一期工程核岛通风控制中成功应用,也将在阳江核电站和防城港核电站一期工程等后续 CPR1000 核电机组核岛通风控制中应用。

实践证明,这种控制方式适合该类核电站核岛通风系统的控制。

参考文献

- [1] 马桐泉. 核能开发与应用[M]. 北京:化学工业出版社,2005:9.
- [2] 国家发展和改革委员会. 核电中长期发展规划(2005~2020年)[S]. 2007.
- [3] 王寿君. 三代核电自主化依托项目的工程建造管理模式[J]. 中国核电,2008(1):21-31.
- [4] 周志敏,纪爱华. 可编程序控制器实用技术问答[M]. 北京:电子工业出版社,2006.
- [5] 广东核电培训中心. 900MW 压水堆核电站系统与设备[M]. 北京:原子能出版社,2007:192-221.
- [6] 厉玉鸣. 化工仪表及自动化[M]. 北京:化学工业出版社,1999.
- [7] 赖寿宏. 微型计算机控制技术[M]. 北京:机械工业出版社,2000:243-259.