

自动加药与监测系统在工业循环冷却水中的应用

朱斌¹, 罗益民¹, 袁启昌¹, 顾玉梅²

(1. 南京工业大学自动化学院, 江苏 南京 210009; 2. 南京乌江化工有限公司, 江苏 南京 211813)

[摘要] 结合 PLC 和 WINCC 的特点以及循环水自动加药系统的控制要求, 介绍了 S7-200 系列 PLC 和 WINCC 组态软件应用于工业循环水水质在线监测的工艺设计与技术。作者分析了系统的组成及工艺控制要求, 软硬件的配置和 PID 具体控制方案。该系统已投入实际运行, 经实践证明, 控制系统人机交互性好、可靠性高、抗干扰能力强, 满足了现代工业循环水质监管的要求。

[关键词] 可编程逻辑控制器; 模糊控制; 自动加药; 水质监测

[中图分类号] TQ085 [文献标识码] B [文章编号] 1005-829X(2007)12-0076-04

Application of automatic reagent-adding and monitoring system to industrial circulating cooling water

Zhu Bin¹, Luo Yimin¹, Yuan Qichang¹, Gu Yumei²

(1. Automatic College, Nanjing University of Technology, Nanjing 210009, China;

2. Nanjing Wujiang Chemical Co., Ltd., Nanjing 211813, China)

Abstract: Combining the characteristics of PLC and WINCC and the actual control requirement of automatic reagent-adding system of circulating water in the water factory, the PLC of SIMATIC S7-200 series and WINCC configuration software applied to the technologic design and implementing technology of online-monitor for the water quality of industrial circulating water is introduced. The system composition and the requirement of technical control are analyzed firstly, and, then, the configuration of hardware and software and control strategy are described concretely. This system has been put into operation in the water factory. It is proven that the man-machine interaction of the control system is good, its reliability is high, and the ability of anti-jamming is strong. It has satisfied the requirement of supervising the water quality of modern industrial circulating water.

Key words: programmable logical controller; fuzzy control; automatic reagent-adding; water quality monitor

生产过程中需要用循环水对设备进行冷却以保证生产装置的正常工作, 但冷却水长期循环使用后, 必然会带来沉积物附着、金属腐蚀和微生物滋生问题, 从而缩短工业生产设备的使用寿命^[1]。因此, 加强对工业循环水的处理显得非常重要。工业循环水处理的关键是按照工艺要求投加缓蚀阻垢剂、氧化性与非氧化性杀菌剂等药剂, 以此来保证优良的水质。传统的人工加药方式的主要缺点是操作者的实际经验在加药过程中起决定作用, 所加的药剂不能随循环冷却水系统中水质以及相关工艺参数的变化而变化, 不能保证药剂的投加既精确又能经济合理地起到它应起的作用^[2]。目前, 我国在这一领域的自动化程度虽然有所提高, 但与国际先进水平相比还有一定距离^[3]。因而迫切需要开发出

自动化程度较高的工业循环水加药控制系统。笔者针对工业循环冷却水系统的工艺特点和控制要求, 研制了基于模糊参数自整定 PID 控制的循环冷却水自动加药智能控制系统。该系统已于 2006 年底在某厂投入运行, 效果良好, 系统稳定可靠, 精度大大提高, 满足了实际现场的需要。

1 系统简介

循环冷却水自动加药控制系统能够根据现场实际负荷、给水电导率、补水电导率等因素引起的浓缩倍数的变化、补充水流量的变化以及药剂浓度等参数, 控制计量泵的加药量。自动加药控制系统能有效地保持水中药剂浓度, 一方面避免过量加药造成的药剂浪费, 另一方面又可依据浓缩倍数的变化, 及时补充药量, 不会因异常状况造成低浓缩倍数, 形成

加药量不够,造成系统的腐蚀或结垢^[1]。该系统与一般加药系统的不同在于,根据实际现场的需要增加了自主研发的换热器在线监测仪器用于检测换热器的热交换性能,因此对循环水质的监测处理更加全面。考虑到本系统对水池液位控制要求不高,采用结构简单、有较强鲁棒性的常规 PID 反馈控制,就能满足系统工艺设计要求。而针对工业循环水系统控制中的一个重要的技术指标 pH 具有大滞后、非线性、时变性、难以建立精确的数学模型等特点,设计了 pH 模糊参数自整定 PID 控制器,从而进一步优化了对加药量的控制,取得了良好的效果。

2 系统控制参数

系统主要有 16 个检测点,7 个输出点。其中检测点:补充水的流量(0~2 000 m³/h)、电导率(0~10 000 μS/cm)、浊度(0~100.0 mg/L);给水的电导率(0~10 000 μS/cm)、pH(0~14.00)、液位(0~5 000 mm)、浊度(0~100.0 mg/L);回水的余氯(0~5.00 mg/L)、ORP(0~2 000 mV)、pH(0~14.00);监测换热器的进口温度(0~100)、出口温度(0~100)、蒸汽温度(0~100)、流量(0~2 000 L/h)、腐蚀率(0~0.25 mm/a)、污垢热阻(0~4.9 m²·K/W)。输出点:4 路 4~20 mA 信号,分别控制 2 台加药计量泵、1 台加酸泵和液位调节阀;3 路继电器输出分别控制氧化型杀菌剂、非氧化型杀菌剂的投加和排污阀的控制。其中采用 PID 控制的,均具有自动和手动两种功能。

3 系统硬件设计

3.1 硬件配置

系统采用台湾研华系列的 IPC 工业控制计算机、德国西门子 S7-200 PLC 以及换热器在线监测仪等组成上、下位机两级控制系统。通过 CP5611 通讯卡,实现工控机与 PLC 之间的数据通讯。PLC 部分包括中央处理器 CPU 224 XP,模拟量输入扩展模块 EM231,模拟量输出扩展模块 EM232。换热器在线监测仪是由 MCS-51 单片机开发研制的,为保证测量精度,采用美国米特罗公司产的流量计和 pH、电导率、ORP 检测仪表,采用美国哈希公司产的浊度仪和余氯仪,水池液位的测量采用美国 FLOW-LINE 公司生产的 LU05-5061 MicroSpan TM 双线超声波液位传感器。考虑系统的可靠性,执行器电动蝶阀和计量泵均采用进口设备。系统硬件装置见图 1。

3.2 系统结构与工作原理

现场各仪表测量各个检测、输出点的信号(4~

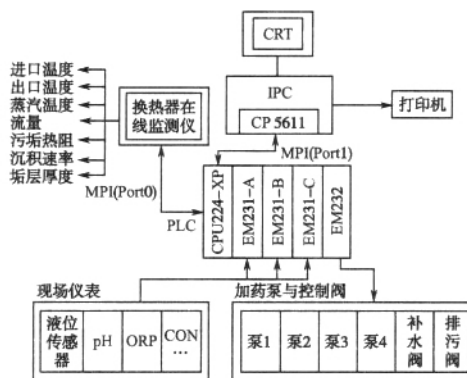


图 1 硬件装置

20 mA),送到 PLC 的模拟量输入模块。PLC 接受来自仪表的信号并按仪表的量和仪表的修正系数的不同,经梯形图程序转换计算后送到上位机 WINCC 软件显示与处理,同时可按照操作员设置的控制方式来控制现场的各台加药计量泵和电磁阀进行加药、补水、排污等工作。通过自由口通信协议与换热器在线监测仪进行实时通讯,主要用于检测进口温度、出口温度、蒸汽温度、污垢热阻、沉积速率、垢层厚度等。

上位机监控部分采用 WINCC 6.0 组态软件进行实时监控。WINCC 是西门子公司在过程自动化领域中的先进技术和微软公司软件功能结合的产物,是一个集成的人机界面和监控管理系统。WINCC 包含所有工控组态软件功能在内的客户机/服务器系统,能够生成复杂可视化任务的组件和函数。WINCC6.0 采用标准 MS SQL Server 数据库进行生产数据的归档,并集成了 OPC 技术,很好地解决了在过程控制中上位计算机与下位工业设备之间的通讯问题,无需独立编写或使用硬件通讯驱动。监控系统人机交互界面友好、操作方便。主要实现的功能包括 PLC 校时、量程校正、加药累积、参数设置、报警、报表打印、工艺流程、液位模糊自整定 PID 控制、趋势曲线等。

4 系统软件设计与结果分析

PLC 编程软件采用 STEP7-V4.0。程序模块包括主程序(OB1)、5 个子程序、4 个中断子程序。其中主程序包括 PLC 上电时程序的初始化、现场数据采集、多参数设置、手动与自动控制、PLC 校时等。子程序有量程计算转换、累计量控制计算、定时加药与阀门控制、模糊自整定 PID 控制等。中断程序有从换热器在线监测仪接受数据、发送数据以及定时器中断子程序 0 和 1 等。

4.1 主要功能模块设计

(1) pH 模糊参数自整定 PID 控制器设计。pH 控制过低会使生产装置腐蚀, pH 控制过高又会使设备结垢。因此在加酸时必须把 pH 控制在循环冷却水系统要求的范围之内, 循环水场水质的数据见表 1。

表 1 循环水场水质

实验日期	pH	浓缩倍数	钙硬度 / (mg·L ⁻¹)	总碱度 / (mg·L ⁻¹)	电导率 / (μS·cm ⁻¹)	补充水累积流量 / m ³	浊度 / NTU
06-01—06-04	8.85	3.65	605.6	443.2	2 117	10 172	4.5
06-04—06-07	8.92	3.70	610.3	461.7	2 131	11 188	4.8

注: 数据取平均值, 补充水流量累计以月计算平均值。

由表 1 可知, 浓缩倍数保持在 3.6 左右, 系统在采用少量加酸偏碱性的方式运行情况下循环水的钙硬度、碱度均已 >900 mg/L, 浓缩倍数已达到极限, 如再提高浓缩倍数运行, 系统有结垢的危险。为此, 系统采用补充不经预处理的新水, 循环水在加酸控制 pH 条件下加药处理的工艺(加酸工艺)。该工艺主要是对补入循环冷却水系统的高硬度高碱度水质不进行降硬降碱处理, 直接加入到循环水中, 再将一定量的无机酸加入到循环水中, 可保证循环水的 pH 严格控制在 7.8 ~8.2 之间, 同时为防止系统的腐蚀, 用缓蚀效果好的水处理剂进行处理, 最终达到提高循环水浓缩倍数的目的。该工艺具有处理效果较好, 可以在较高浓缩倍数下运行, 综合处理费用低的特点。但是 pH 控制是一个典型的非线性控制问题, 不仅在实际过程中存在滞后, 而且数学模型难以确定^[3]。由于系统在工作过程中受到环境的影响, 系统中部分参数会发生变化, 采用传统的 PID 反馈控制效果不是很理想。模糊参数自整定 PID 控制器是在常规 PID 控制器基础上, 应用模糊集合论建立参数 K_P 、 K_I 、 K_D 同偏差 e 和偏差变化率 e_c 之间的模糊关系, 根据不同偏差和偏差变化率在线自整定 K_P 、 K_I 、 K_D 的一种模糊控制器。这种方法能够利用操作人员的丰富经验建立模糊控制规则库, 可以有效地减小系统的超调量, 进一步提高了系统的自适应能力、抗干扰能力、鲁棒性等。模糊自适应 PID 控制器设计结构见图 2。

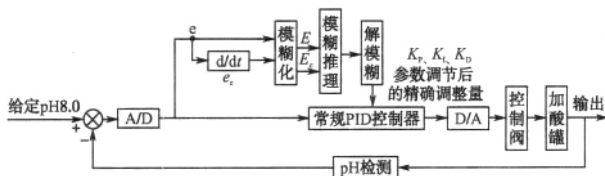


图 2 加酸过程 pH 模糊自适应 PID 控制原理

系统采用二维模糊控制, 设 pH 给定值为 8.0, 与精确测量值偏差为 e , 偏差变化率为 e_c , E 和 E_c 分别为 e 和 e_c 模糊化后的模糊量。 U^* 为模糊控制量, u 为解模糊后的精确值。模糊语言变量 E 、 E_c 和 U^* 的语言值取为 [NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB], 模糊论域均取为 [-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4, +5, +6]。根据 if $E=A_i$ and $E_c=B_j$ then $U^*=C_{ij}$ (A_i 、 B_j 、 C_{ij} 是定义在 E 、 E_c 、 U^* 论域上的模糊集合, 其中 $i=1, 2, \dots, m$, $j=1, 2, \dots, n$) 的推理规则, 可求出相应的控制规则, 根据每条控制规则求出相应模糊关系 $\tilde{R}_0, \tilde{R}_1, \dots, \tilde{R}_{168}$, 则即求出控制量的模糊集 $U^*=(E \times E_c) \circ \tilde{R}$ (其中 $\tilde{R}=\tilde{R}_0 \quad \tilde{R}_1 \quad \dots \quad \tilde{R}_{168}$)。此时得到的 U^* 是一个反映 E 和 E_c 取不同的语言值时的模糊向量, 在送入执行机构前要进行解模糊得到精确值。系统采用有较好的稳态性能的重心法(也称加权平均法)解模糊求得精确值 u , 再经过反复调试修改, 同时考虑到软件编程时 PLC 对带符号的数处理不方便, 在表中把 E 、 E_c 、 K_P 都加上一个偏移量 6, 得到 K_P 的模糊控制查询表, 将其作为“文件”存贮在计算机中, 实时控制时, 根据输入的信息(误差、误差变化), 从“文件”中查询所需采取的控制策略去控制被控对象。 K_I 、 K_D 的查询表可由同样方法得到^[4,5], 采用加酸工艺后在常规 PID 与模糊 PID 控制下循环水质见表 2。

表 2 采用加酸工艺后在常规 PID 与模糊 PID 控制下循环水质

实验日期	pH	浓缩倍数	钙硬度 / (mg·L ⁻¹)	总碱度 / (mg·L ⁻¹)	电导率 / (μS·cm ⁻¹)	补充水累积流量 / m ³	浊度 / NTU
06-09—06-12 (常规 PID 控制)	7.85	3.98	580.5	360.1	2 207	10 065	4.7
06-12—07-02 (模糊 PID 控制)	8.05	4.17	592.3	375.8	2 247	10 018	4.9

由表 2 可以看出, 采用加酸工艺处理后, 有效地提高了系统的浓缩倍数, 减小了结垢的趋势, 在改善循环水质的同时也提高了循环水的重复利用率。比较常规 PID 控制与模糊 PID 控制后不难看出, pH 进行模糊控制后循环水质的各项指标要更好些。因此将先进的控制理论应用于自动加药系统中具有一定推广应用价值。

(2) 流量比例式控制功能。通过计算浓缩倍数来控制加药量, 其中浓缩倍数 K =给水电导率/补水电导率。如补水电导率为 600 μS/cm, 要求将浓缩倍数控制在 2.5 左右(浓缩倍数过高会引起结垢), 则

给水电导率必须控制在 $1\,500\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 左右。系统的加药量 = 补充水量 $\times$ 药剂浓度 / K , 考虑到均匀投加所需的药量, 设计了一个累积时间, 并把此累积时间作为一个投加周期, 即每隔此周期投加 1 次, 同时可根据设定时间定时开关计量泵加药。

(3) 多参数控制功能。多参数控制功能可实现补水、给水、计量泵和监测换热器相关参数的控制设置, PLC 根据设置的数值控制现场的泵和阀等执行机构。其中补水参数包括水池液位上下限控制、常规 PID 控制参数、补水流量累计系数等。给水参数包括给水上上限 (报警控制)、上下限 (回差控制)。计量泵参数包括加药泵的流量和累计量系数、加酸泵的流量和累计量系数。换热器参数包括进水流量和蒸汽温度的上下限。

(4) 回差控制功能。回差控制功能主要对循环水电导率实现上下限控制, 若电导率大于上限则启动排污阀, 阀开动后一直维持到电导率小于下限时才关闭。反之, 阀关闭后一直维持到高于电导率上限时才启动。这样可避免频繁地开启或关闭排污阀。在排污的同时, 系统也会启动自动补水和加药等功能, 从而使循环水电导率控制在一定要求范围内, 浓缩倍数基本不变。

4.2 其他功能模块

(1) 系统初始化。设置与在线监测仪的自由口通信协议、PLC 的上电初始化工作等。

(2) 数据采集与量程转换。实现由现场仪表产生的 $4\sim 20\ \text{mA}$ 模拟信号的读取及量程转换。量程转换的 $4\sim 20\ \text{mA}$ 模拟信号经过模拟量输入模块转化的数字信号为 $6\,400\sim 32\,000$, 转换计算公式为 $((\text{in}1 - 6\,400) \times (\text{Limit}_h - \text{Limit}_l) / 25\,600) + \text{Limit}_l$, 其中 $\text{in}1$ 为采集的模拟信号转化后的数字信号值, Limit_h 、 Limit_l 分别为量程校正上下限值。

(3) 与换热器在线监测仪的实时通讯。采用自

由口通信 0, 波特率 $9\,600\ \text{bps}$, 数据位 8 位, 停止位 1 位, 偶校验。PLC 从监测仪获取实时数据, 然后在 WINCC 上实时显示。

(4) 累计量计算。主要包括补水流量、加药流量、加酸流量、加药时间、加酸时间等累计。系统根据运行情况自动计算各个累计量, 如用户需重新计算则可先执行清零操作再计算。

(5) 阀门的手动与自动控制。利用回差控制实现阀的手动与自动开、关功能。

5 结束语

利用 PLC 和 WINCC 开发的循环水自动加药与检测系统, 提高了工作效率和投加药的精度。同时考虑到在加酸时 pH 的非线性控制问题, 采用将模糊控制和传统 PID 控制器相结合的模糊自整定 PID 控制方式, 有效地解决了参数时变、滞后等不利因素, 使控制系统具有更大的灵活性、可靠性和抗干扰性。该系统已投入实际运行, 不仅系统本身运行稳定, 而且由监测换热器跟踪和测试结果来看, 各项水质指标都均反映良好。

[参考文献]

- [1] 罗益民, 薄翠梅. 换热器在线监测仪的研制[J]. 南京工业大学学报 (自然科学版), 2004, 26(6): 94-97.
- [2] 侯立刚, 许忠仁, 王坤明, 等. 循环冷却水自动加药控制系统[J]. 电子质量, 2002, 15(9): 56-57.
- [3] 初振宇, 许忠仁, 佟慧艳. 基于 S7-300 PLC 的工业循环水加药控制系统[J]. 计算机测量与控制, 2005, 13(6): 555-558.
- [4] 岳文, 郭宗仁. 西门子 S7-200 的模糊控制实现[J]. 电工技术, 2002, 31(10): 28-29.
- [5] 李琳, 曾孟雄. 模糊 PID 控制在运动控制中的应用[J]. 机械与电子, 2006, 18(2): 65-67.

[作者简介] 朱斌(1982—), 南京工业大学自动化学院控制理论与控制工程专业 05 级硕士研究生。电话: 13912993283, E-mail: qimingxing888@163.com.

[收稿日期] 2007-07-11(修改稿)

· 简 讯 ·

上海推出镀镍废水资源化技术

上海市轻工业研究所以贵金属资源回收和废水回用技术为目标, 研究开发了镀镍废水资源化技术和设备, 从而推动了电镀企业清洁生产, 有效减少了工业废水的排放, 降低了重金属对环境的污染。

该技术利用高性能离子交换吸附废水中的金属镍离子, 经净化的水可回用于镀件清洗, 再生并提纯后的金属镍作为新的资源, 金属镍回收率达到 90% 以上, 水回收率达 70% 以上, 设备基本实现无人操作; 采用 GPRS 远程监控技

术, 将现场回用水质和树脂的金属饱和度信息, 及时发送至轻工研究所的资源化处理中心。工艺所有设备、制造、安装等费用全由轻工研究所负责, 再生后的清水全部回电镀厂使用, 金属镍则归轻工研究所所有。

上海现有正规电镀厂家 400 家, 其中近半数有镀镍工艺, 每年产生的总含镍废水约 $1.8 \times 10^6\ \text{t}$ 。这项新技术全面推广后, 每年可节约 $1.3 \times 10^6\ \text{t}$ 水、可回收 55 t 宝贵的金属镍。

摘自中国环境报 2007-05-08(7)