

基于 PLC 的烟气脱硫控制系统的设计

李晓斌,王振■,王斌,孙宁宁,朱思涵

(中国矿业大学(北京)机电与信息工程学院,北京 100083)

摘要:针对轮船尾气、工业燃煤等排放的二氧化硫对环境的影响,将可编程逻辑控制器(programmable logic controller, PLC)与碱液脱硫技术相结合,设计了操作简单、实时监控、运行稳定、易于移植的烟气脱硫控制系统。上位机采用西门子组态软件 WINCC,实时监控运行,存储系统数据,并显示报表、曲线、报警等信息。下位机采用西门子 S7-300 PLC,通过 STEP7 编程实现了对碱液配制与脱硫喷淋的模糊 PID 控制。经过实验调试,系统运行稳定,通信良好,各项性能指标达到实际要求。

关键词:PLC;脱硫;控制系统

中图分类号:TP273

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2014)01-0149-03

Design of flue gas desulfurization control system based on PLC

LI Xiao-bin, WANG Zhen-chong, WANG Bin, SUN Ning-ning, ZHU Si-han

(Mechanical Electronic & Information Engineering School, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China)

Abstract: Combining the programmable logic controller (PLC) with lye desulfurization technology, a simple, real-time monitoring, easily transplanted and stable flue gas desulfurization control system is designed based on the environmental impact of sulfur dioxide from the ship exhaust and industries firing the coal. The upper computer uses the Siemens configuration software WINCC, which can monitor system's real-time operation, store system's data and display the reports, curves, alarms and other information. The lower machine uses Siemens S7-300 PLC, achieving fuzzy PID control for lye formulation and desulfurization spray through the STEP 7 programming. After experimental testing, the system is stable and in good communication. The performance indicators basically meet the requirements.

Key words: programmable logic controller; desulfurization; control system

随着现代工业的迅猛发展,各地由于工业燃煤、燃油、烟气中的二氧化硫污染成为了大气污染的主要污染源。排放到大气中的二氧化硫使很多地区出现酸雨、植物减产、牲畜死亡、危害人类身体健康的现象。对这些烟气进行脱硫控制,可以减少二氧化硫对大气的污染。目前,国内的脱硫装置大都进口,而且自控水平普遍偏低^[1]。

烟气脱硫控制系统采用模糊 PID 控制,通过自动和手动 2 种模式来控制系统运行。针对脱硫过程中出现的二氧化硫浓度变化速度慢、超调量大、控制精度不高等现象,利用 PLC 编程软件 SIEMATIC STEP 7,采用模块化编程方法,使用梯形图及语句表编制程序实现模糊控制算法,对标准的 PID 控制模块 FB41 中的 K_p 、 T_i 和 T_d 进行模糊参数自整定,以达到良好的控制效果和良好的稳定性。

1 系统介绍

烟气脱硫控制系统由上位机和下位机 2 部分组成。上位机采用德国西门子工业个人计算机(industrial personal computer, IPC),监控界面由德国西门子组态软件 WINCC 7.0 绘制,负责提供良好的人机交互界面,监控整个系统;下位机采用德国西门

子 PLC S7-300,通过控制 I/O 设备及变频器实现脱硫系统的稳定运行。

烟气脱硫控制系统采用湿法烟气脱硫技术,湿法烟气脱硫就是以碱性浆液或溶液作为脱硫吸收剂来脱硫^[2]。系统采用钠碱液作为脱硫吸收剂。用钠碱液脱硫,循环液基本上是钠离子的水溶液,在循环过程中对水泵、管道、设备均无腐蚀与堵塞现象,便于设备运行与保养,提高了系统运行的可靠性,降低了操作费用^[2]。

烟气脱硫控制系统由脱硫反应、碱液配制、废液处理和反应釜清洗 4 个子系统组成,4 个子系统必须协调工作才能保证整个系统的连续稳定运行。烟气脱硫工艺流程如图 1 所示。

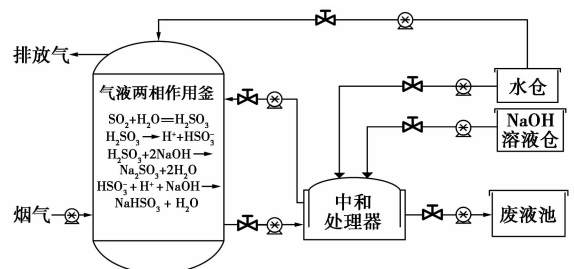


图 1 烟气脱硫工艺流程

脱硫反应系统是整个工艺的核心。含二氧化硫的烟气由烟气入风机送入脱硫反应系统中的气液两相作用釜,烟气在作用釜内由下向上流动,最后排出作用釜;喷淋泵将中和处理器中配制好的脱硫碱液通过喷淋泵喷入作用釜,由上向下洗涤烟气;作用釜内溶液达到高限液位后通过反应釜液体输出泵回到中和处理器循环使用。喷淋泵与反应液输出泵都由变频器控制^[1],根据烟气中二氧化硫的浓度实现模糊 PID 控制喷淋泵的转速,同时根据喷淋液的流量控制反应液输出泵的转速,使喷淋液的流量和反应液输出泵的流量相等。

碱液配制系统是通过变频器控制水仓和 NaOH 溶液仓的配比泵,使中和处理器中的喷淋液保持一定的 pH。为了维持喷淋液恒定的 pH 并减少沉淀,中和处理器中有搅拌器不停地搅动。

废液处理系统是在中和处理器中溶液盐离子浓度太高或溶液已满且 pH 较低时启动的。中和液水处理泵将中和处理器中不能再循环使用的碱液送入废液池进行废液处理。

反应釜清洗系统是在气液两相作用釜由于沉淀等原因需要清洗时启动的。此时,脱硫反应系统需停止工作。

2 系统设计

2.1 硬件设计

烟气脱硫控制系统的硬件主要有上位机(德国西门子工业个人计算机:SIEMENS IPC)、SIEMENS S7-300 PLC(包括电源模块、CPU312-2DP、模拟量输入输出模块、数字量输入输出模块、Profibus 通信模块、MMC 卡等)、西门子变频器(Micromaster420 与 Micromaster430)、电磁阀、传感器(用于实验研究用的湿度传感器、温度传感器与压力传感器,用于监测的二氧化硫传感器、密度传感器,用于过程控制的液位传感器、pH 计、流量计)等^[1]。

2.2 硬件连接与通信

硬件连接如图 2。SIEMENS IPC 为系统上位机,用于监控整个脱硫系统;SIEMENS S7-300 PLC 为系统完成脱硫过程的下位机。WINCC 通过西门子 CP5611 卡和通信电缆与下位机 SIMATIC S7-300 PLC 进行通信,采用 MPI 通信协议。MPI 网络是西门子工业控制系统中经常用到的一种通信方式, MPI 网络使用 RS485 物理接口进行数据传输。

Profibus 总线电缆用于实现 PLC 与各变频器之间的通信,根据 Profibus 的特点和要求,采用主从结构 Profibus-DP 方式,其拓扑结构为总线型,即以脱硫控制 PLC 作为 DP 主站,其他变频器系统作为从站^[1]。

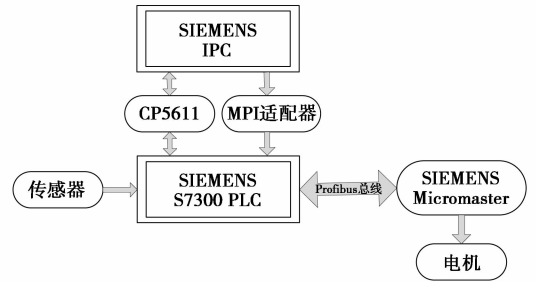


图 2 系统硬件连接示意图

2.3 模糊 PID 的实现

烟气脱硫控制系统结构主要由参数可调整 PID 控制器和模糊调节器 2 部分组成,如图 3 所示。PID 控制器完成对脱硫系统喷淋泵的控制,模糊调节器实现对 PID 的 3 个参数(比例系数 K_p 、积分时间 T_i 和微分时间 T_d ,分别对应于 PID 控制模块 FB41 的输入参数 $GAIN$ 、 T_i 、 T_d)的自动校正^[1]。

脱硫控制系统的 PID 参数自整定的模糊控制器采用二输入三输出的形式,以系统误差 e 和误差变化 Δe 为输入语言变量,以 K_p 、 T_i 和 T_d 为输出语言变量。输入 e 和 Δe 的模糊集均取为 {NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB}; 输出 K_p 、 T_i 和 T_d 的模糊集均取为 {ZE S M B VB}。 e 和 Δe 的论域取为 $\{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$; K_p 、 T_i 和 T_d 的论域取为 $\{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\}$ 。 e 、 Δe 、 K_p 、 T_i 和 T_d 的隶属函数均取三角函数^[1]。

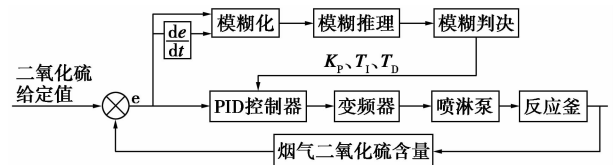


图 3 模糊 PID 控制器结构

模糊控制设计的核心是总结工程设计人员的技术知识和实践操作经验,建立恰当的模糊控制规则表是设计好模糊控制器的关键^[2]。根据上述 PID 参数的整定原则以及对脱硫控制过程中现场参数调节的经验可得模糊调节规则,如表 1 所示。

大小除了与雷诺数有关外,还与液体的速度分布有关,当液体的速度分布均匀时,滞流区最小。此外, Yoshida 还发现通过安装折流板可以减小滞流区的面积。但是 Yoshida 提出的筛板上液相流动的二维模型还存在很多问题,例如忽略掉了气相,没有考虑气相对塔板上液体速度分布和速度大小变化的作用;计算中采用的雷诺数范围比较小,与实际当中液相流动多为湍流不一致;模型中得出的计算值并未与相应条件下得到的实验值相比较,同时也没有在模拟中得到常见的液体回流现象。

李建隆^[8]考虑了气相阻力对液相的作用,提出了简单的筛板一维液相流动的计算模型。该模型由2个方程组成,方程中的涡流传质系数(De)可以通过实验数据得到,并且与涡流黏性系数等价。与其他模型相比,该模型在推导过程中使用了大量的假设,从而简化了模型,但是模型得到的计算结果与实际测量结果有较大的偏差^[9],并且计算结果未能显示返流区的存在。

在考虑垂直气相流阻力作用的条件下,Zhang等^[10]提出了筛板上二维液相流动的 $k-\varepsilon$ 湍流模型。计算了筛板上的液相流速分布,并且考虑了液体的强度以及蒸汽负荷对液相流速分布的影响。虽然计算出了大直径塔板上的弓形区存在回流现象,但存在一定的局限性,与实际情况有很大的区别。

刘春江^[11]建立了塔板二维流体力学模型,在该模型中,不仅考虑了气体阻力作用,同时考虑了鼓泡作用对液体分布的影响。刘春江认为气相穿过液相增加了液相的湍动强度,并发现气相作用生成项越大,场中的回流区面积越小。通过在湍动能 K 和耗散率 ε 的输运方程中的湍流脉动动能生成项中加入气相作用生成项,更能正确地预测塔板上的气液两相流动。

单相流模型的优势主要是方程形式比较简单,便于计算,并且用来封闭方程的 $k-\varepsilon$ 模型都是与单相流相匹配的。但是,单相流模型在实验过程中考虑的都是以二维稳态模型为主的比较典型的情况,而实际当中塔板上液相流动普遍以非稳态的三维流动为主,从而造成了使用单相流模型得到的计算结果与实际测量的结果严重不符。尽管模型考虑了气液两相曳力以及气相对液相湍动的增强作用,但是为了方程的简化,最终还是把气液两相简化为单相流,使得模拟的计算结果存在偏差。

1.2 塔板混合模型

所谓混合模型是把气液两相混合物作为整体来考虑,而不是分别单独考虑两相。王晓玲^[12]在Ishii^[13]对局部瞬时方程研究的基础上,考虑了气液两相间作用的影响,获得了两相流混合模型。与单相流模型相比,混合模型在连续方程与动量方程的基础上,多了气相扩散方程。同时,对动量方程做了一定的修改,增加了动量源项 M_{xm} 、 M_{ym} ,即两相间表面张力对气液混合物的影响^[14]。但是,由于该模型假定进口速度均匀分布以及进口边界条件是采用了通用的经验关联式,与实际的情况有一定的差别,这就使计算产生了偏差,未能很好地反映塔板弓形区滞流等不均匀现象。

1.3 双流体模型

近年来,关于湍流区域中2种不同状态的流体可以在空间共存的事实^[15],随着条件取样技术的发展逐渐得到人们的认同。为了更好地反映出湍流区域中2种不同流体的状态,要求有相应的模型与之相匹配。双流体模型的基本假设^[16]为:①2种流体在湍流状态时,可以在同一时间、同一空间上共存;②2种流体可视为互相穿透的连续介质,其运动规律遵从各自的控制微分方程组;③2种流体间存在

(上接第151页)

参考文献

- [1] 孟志坚,林天立. 中小型燃煤工业锅炉湿法烟气脱硫设备存在的问题及对策[J]. 能源环境保护, 2004, 18(2): 49-50.
- [2] 陈晓玲,王二峰. 基于西门子S7-300和WinCC的湿法烟气脱硫自控和监测系统设计方案[J]. 信息科技, 2010, (24): 342-343.
- [3] 祝晓松. PLC在大型热电厂烟气脱硫控制系统中的应用[J]. 化学工程与装备, 2009, (8): 172-174.
- [4] 刘国华. PLC控制交流变频调速控制系统在电梯中的应用[J]. 基础自动化, 2000, (2): 49-51.

- [5] 廖常初. S7-300/400 PLC应用技术[M]. 北京:机械工业出版社, 2005.
- [6] 刘建昌,于红磊,辛红,等. S7-00/400 PLC工业网络通信技术指南[M]. 北京:机械工业出版社, 2009.
- [7] 曾海燕. 基于西门子PLC的结构化PID控制器设计与仿真[J]. PLC与工控机, 2011, (1): 38-56.
- [8] 王童谣,胡建易. 模糊PID自整定算法在PLC中的实现[J]. 辽宁科技大学学报, 2010, 33(2): 149-152.
- [9] 李建平,王晓冲,谢敬华. 基于PLC的模糊参数自整定温度控制系统研究[J]. 控制系统, 2007, (16): 21-23.
- [10] 李亘军. 火电厂烟气脱硫实时监控系统的研究与应用[D]. 北京:北京交通大学, 2007. ■