

基于 Symphony DCS 系统的燃煤电站 海水脱硫温度控制

王卫兵¹, 徐国臣², 石 林¹, 刘东举¹

(1. 哈尔滨理工大学 计算机科学与技术学院, 黑龙江 哈尔滨 150080;

2. 大庆油田装备制造集团力神泵业公司, 黑龙江 大庆 163311)

摘 要: 随着人们环保意识的加强, 对燃煤电站烟气进行脱硫是必不可少的过程. 本文依据烟气进入海水脱硫系统的温度在一定程度上决定了脱硫的效率这一原则, 介绍了 Symphony DCS 系统应用到海水脱硫工程中对温度控制方面的策略和实现方法. 采用了数学 PADE 近似理论和现代控制理论中最优控制原理对具有滞后性的温度控制进行优化, 利用 COMPOSER 提供的 C 语言接口进行组态, 并给出了具体的实现方法. 经过现场的实际运行, 证明这种方法切实可行.

关键词: 海水脱硫; DCS 系统; 烟气温度控制

中图分类号: TP273.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2683(2014)01-0069-05

Temperature Control of Gas Based on Symphony DCS System in Seawater FGD of Coal-fired Power Plant

WANG Wei-bing¹, XU Guo-chen², SHI Lin¹, LIU Dong-ju¹

(1. School of Computer Science and Technology, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China;

2. Lishen Pump Corporation of Daqing Oilfield Equipment Manufacturing Group, Daqing 163311, China)

Abstract: The fuel of coal-fired power plant is coal mainly, if flue gas of coal combustion after being used for heating superheated steam and reheat steam is discharged into air, it will cause pollution, such as acid rain, this dramatic phenomenon of pollution. With the awareness of the protection of the natural environment being stronger, FGD project for flue gas which is discharged by IDF is in line with the requirement of the various countries of the world on environmental pollution control. Temperature of original gas determines the efficiency of FGD to some extent. This article describes the strategy and implementation methods of temperature control in seawater FGD which is created in Symphony DCS system, utilizing the PADE approximation of Mathematical and optimal control of modern control theory to optimize the lag temperature control, using the C language interface of Composer to configuration, and describing the specific implementation method. After the actual inspection in the site, this way is proved feasible.

Key words: seawater FGD; DCS system; gas temperature control

收稿日期: 2013-07-05

基金项目: 国家自然科学基金(61305001).

作者简介: 王卫兵(1964—), 男, 博士, 教授, 硕士研究生导师, E-mail: wangweibing163@163.com;

徐国臣(1974—), 男, 工程师;

石 林(1986—), 男, 硕士研究生.

0 引言

环境污染是全球都在关注的一个话题,而酸雨是联合国环境特别委员会(UNCED)在一份报告中明确指出的6个重点问题之一^[1-2],酸雨问题已超过了国境成为整个世界的焦点,而且这一问题已经有十年以上的历史,对于燃煤电站这种以煤为主要燃料的电厂来说,如何保证排出的烟气含硫量符合大气污染物排放标准,已经不仅是针对某家电厂的问题,而已成为全球燃煤电厂都必须解决的首要问题^[3-5]。

某3台300MW发电机组由于地理位置的关系,选取海水脱硫法对烟气进行脱硫处理,相比于传统石膏法脱硫,海水脱硫的优点主要有^[6-8]:

- 1) 系统相对简单,设备少,运行维护费用低;
- 2) 吸收剂可以循环利用,只需要海水和空气,不需要任何添加剂,这是海水脱硫的最大创新点,避免了石灰石的开采、加工、运输和存储等;
- 3) 吸收塔的采用充分发挥了气液接触充分、传质效率高的特点,不存在结垢和堵塞的问题;
- 4) 场地布置灵活,海水脱硫整个系统按照场地可划分为:吸收塔区(烟气和吸收系统)、升压泵房区和曝气池区域。这三个区域间联络的只有海水管道,可以根据现场条件分开或合并布置^[8-12];
- 5) 建设工期比石膏法短。

虽然海水脱硫法有很多的优点,但是温度控制是脱硫工程所要面对的共同难题。

1 控制原理

炉膛尾部烟气被引风机抽进烟道进入脱硫岛,再经过增压风机抽进吸收塔与海水进行化学反应,然后从净烟气管道排出烟囱,这是烟气海水脱硫的大致工艺流程^[13-14]。如图1所示。

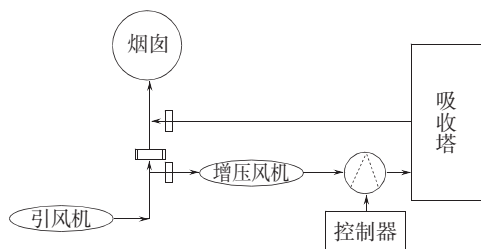


图1 烟气脱硫基本工艺流程

由于是烟气与海水进行反映,就要求烟气保持

适合的温度以加大脱硫效率,根据该厂地理环境和当地地质等各种因素综合计算得出海水烟气脱硫过程中进入吸收塔的烟气最佳温度范围为124~132℃,该厂引风机排烟温度在160℃左右,需要在进入吸收塔前加入喷水减温器,以减温器喷水调阀作为执行机构,烟气温度作为被控对象,这类被控对象具有纯滞后的性质,对于这一类的被控对象,如果不采取特别的控制方法,则系统会产生超调和振荡。本文根据数学的计算原理消去传递函数中的滞后因子,并结合最优控制相关理论来处理烟气温度中的滞后问题^[14]。

根据烟气控制系统结构及热力学定律可以得到传递函数模型为

$$G(s) = \frac{k_0}{TS+1} e^{-\tau s}$$

Pade近似是数学上用来进行有理式拟合的一种算法,它的基本思想是:

$$\text{令 } A(x) = \sum_{k=0}^{\infty} a_k x^k$$

$$R_{m,n}(x) = \frac{P_m(x)}{Q_n(x)} = \frac{P_0 + P_1x + P_2x^2 + \cdots + P_mx^m}{Q_0 + Q_1x + Q_2x^2 + \cdots + Q_nx^n}$$

对于前 $m+n+1$ 项有

$$A(x) - \frac{P_m(x)}{Q_n(x)} = 0$$

然后利用待定系数法求解系数。

通过数据观测进行参数估计可以最优拟合出 $G(s)$ 的参数,然后采用 Pade 近似进行有理式拟合,将 $e^{-\tau s}$ 消去,使最终的传递函数模型化为有理式形式。

在进行 Pade 近似拟合时,经过计算验证, $e^{-\tau s}$ 拟合成分子0阶,分母 n 阶时,当 n 大于5会使系统极点出现在右半平面,系统是不稳定的;拟合成分子分母同阶时, $R_{n,n}(s)$ 的极点位置均在复平面左侧,零点位置均在右侧,而且相角达到 $-\frac{n}{2}\pi$,幅值是一个常数,虽然它的动态特性非常好,但是传递函数的阶跃信号在 $\tau=0$ 处会产生一个跳跃,这也是不理想的结果。

最终采取 $R_{n-1,n}(s)$ 阶 Pade 近似,虽然它的相角只达到 $-\frac{(m+n)}{2}\pi$,幅值在频率无限大时趋近于0,但是没有产生阶跃信号在0点的跳跃问题。

得到拟合后的传递函数之后,将其转化为离散的状态空间表达式形式,现代控制理论中分析的信号是交变信号,而工业过程测量的信号多为直流迭

加交流干扰^[3]. 在定值控制中, 被控参数的直流分量就是参数设定值, 且被控参数多为输出, 而不是状态, 由此可确定泛函为输出二次型:

$$\min_{u(k)} J(u(k)) = \lim_{l \rightarrow \infty} \frac{1}{2} \sum_{k=0}^l \bar{y}(k) Q \bar{y}(k) + \bar{u}^T(k) R \bar{u}(k)$$

卡尔曼滤波算法数学模型如下:

$$\begin{aligned} \hat{x}(k+1/k+1) &= E\hat{x}(k/k) + Fu(k) + \\ &\quad Ke [\bar{y}(k+1) - \hat{y}(k+1/k)] = \\ &\quad \hat{x}(k+1/k) + Fu(k) + \\ &\quad Ke [\bar{y}(k+1) - G\hat{x}(k+1/k)] \\ \hat{y}(k+1/k) &= Ge\hat{x}(k/k) \end{aligned}$$

其中:

$Ke = \sum xy \sum y^{-1}$ 为卡尔曼滤波增益阵;

$\sum xy = \cos\{x, y\}$ 为 x 与 y 的交叉协方差阵;

$\sum y^{-1}$ 为 y 的协方差阵之逆.

综上所述可以得到约束泛函极值模型, 即

$$\min_{u(k)} J(u(k)) = \lim_{l \rightarrow \infty} \frac{1}{2} \sum_{k=0}^l \bar{k}(k) G^T Q G \bar{x}(k) + \bar{u}^T(k) R \bar{x}(k)$$

$$\text{s. t. } \begin{cases} \bar{x}(k+1) = E\bar{x}(k) + F\bar{u}(k) \\ \bar{y}(k) = G \bar{k}(k) = x_0(k) = G\bar{x}(k) \end{cases}$$

求这种约束下的泛函极值可以得到状态反馈最优控制方程:

$$\bar{u}(k) = -K\bar{x}(k)$$

最优状态反馈增益阵:

$$K = R^{-1} F^T P;$$

Riccati 方程:

$$PE + E^T P - RFR^{-1} F^T P + G^T QG = 0.$$

3 个方程联立接出 K 之后可以得到最优控制律:

$$\begin{aligned} u(k+1) &= -K\hat{x}(k+1/k) - \\ &\quad K\{Fu(k) + Ke [\bar{y}(k+1) - \\ &\quad \hat{y}(k+1/k)]\} \end{aligned}$$

设计出卡尔曼滤波预测器之后, 考虑到扰动的干扰因素, 设计一套控制质量准则不断对广义对象进行系统辨识, 控制质量准则如下:

$$K_j = [K_{j1}, K_{j2}]$$

$$K_{j1} = y(k) - y_r(k)$$

$$K_{j2} = \sum_{k=1}^n y(k) - y_r(k)$$

不断检测误差绝对值 K_{j1} , 当 K_{j1} 越限时, 说明系统受到一次大的干扰, 只当 K_{j1} 越限时才启动误差绝

对值积分运算 K_{j2} , 此时 K_{j2} 是一项动态质量指标. 由 K_{j1} 监督瞬间大干扰, 由 K_{j2} 说明系统消除此大干扰的能力. 若两者越限的次数很接近, 说明需要启动辨识, 重新整定控制器参数.

2 DCS 控制器的实现

该厂 Symphony DCS 系统脱硫岛环网属于公共环网的一个子环, 需要使用例外报告的形式作为环网间数据通信的接口, 而 C 语言中 bin 函数和 bout 函数不能与例外报告传输数据, 所以必须通过 DCS 系统下位组态软件 COMPOSER 中的一系列功能码来实现. 功能码 FC143 是 COMPOSER 中用以调用 C 语言的特定功能块, 如图 2 所示.

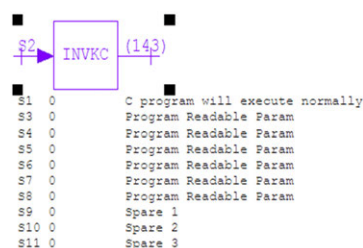


图 2 COMPOSER 功能码 FC143

当系统程序在顺序执行过程中扫描到功能码 FC143 时, 会通过 C 语言入口函数转向执行 C 语言程序, 直到 C 语言程序执行完毕后系统程序重新返回到功能码 FC143 后的功能码程序运行. 注意, 在进行 C 语言和 COMPOSER 组态语言功能码的混合编程时, 必须保证 C 语言程序在初始化程序规定的扫描时间内具有明确的退出方式, 以避免主程序在执行 C 语言程序过程中出现“挂起”状态, 否则会因 C 语言程序的执行或等待时间过长使 C 语言程序后的功能码程序无法顺利执行.

对于功能码 FC143, 除了通常的规格参数限制以外, 使用并没有其他额外的特殊配置. 由于每一个程序段都是一个单独的任务, 因此功能码 FC143 可以根据实际需要在由功能码 FC82 定义的任意程序段中使用.

作为专门将 C 语言载入到 COMPOSER 的编译器, coldfire 编译器为 C 语言和 COMPOSER 组态语言之间提供了沟通的桥梁. 调用编译指令 mcc_cf 前需将 COMPOSER 与 coldfire 编译器进行连接绑定, 即编辑 COMPOSER 安装目录下 CUP 文件夹中的 mcc_cf.bat 和 Mcl.bat 文件, 将 mcc_cf 和 lnkef 指令的路径指向编译器目录下的 bin 文件夹. COM-

POSER 与 coldfire 编译器进行连接绑定完成后,调用 COMPOSER 的 mcc_cf 指令即可编译 C 语言文件,生成 OBJ 文件。

编译生成的 OBJ 文件通过 CUP 工具导入 BRC300 控制器的存储空间中供 COMPOSER 组态语言调用。CUP 工具在控制器存储区域为 C 语言程序划分了必要的存储空间,并负责 C 语言程序的管理、链接和下载等。在 BRC300 控制器中实现 C 语言程序操作时应了解 BRC300 控制器内部存储区域类型及分配情况,以及用于 C 语言程序存储空间的划分及定义等。BRC300 控制器存储空间包含 8 M. SDRAM、512 k NVRAM 和 2 M. Flash。其中,用于执行 C 语言程序的存储空间又被划分为多种类型^[16-19]。

在 COMPOSER 组态模式下完成编译后,将组态程序下载到 BRC300 控制器中。此时,通过 COMPOSER View Files 指令可监测组态程序中下载 C 语言程序的状态,选择 Load. C 将 MAP 文件下载到 COMPOSER 组态程序中。在 COMPOSER 运行模式下 C 语言程序将从设定的函数入口开始运行。

在下位组态软件 COMPOSER 中进行如下组态,如图 3 所示。

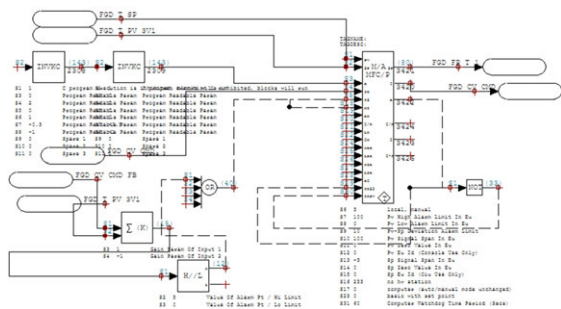


图3 减温水调节阀指令

在 C 语言程序初始化时,组态中的接口功能块就开始工作,这和 FC143 功能块的 S1 参数选项有关^[20]。将 C 语言程序块的输出接引到减温水调节阀主控站上,输出控制指令,并且完善相关逻辑,实现手自动的无扰切换和跟踪数据的切换,并加入连锁保护条件,这个控制回路的组态工作便完成了。

3 调节效果

将加载了本算法程序的 BRC300 控制器组态到海水脱硫系统中,投入运营,经过较长时间的实践和不断改进,取得了较好的控制效果,原烟气温度控制稳定,脱硫效率保持在 95% 左右,达到了预期的目

标和该国对电厂环境保护的要求。控制效果如图 4、图 5 所示。

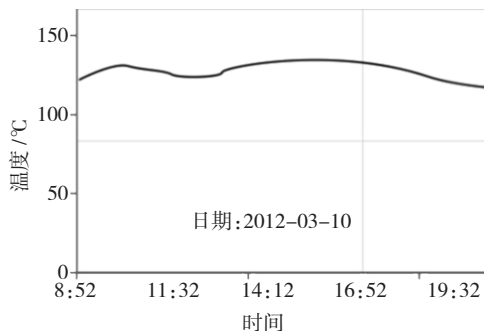


图4 原烟气温度趋势曲线

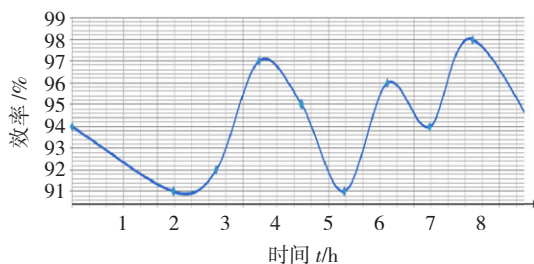


图5 脱硫效率趋势曲线

从图中可以看到,原烟气温度被控制在一个相对稳定的范围内,脱硫效率虽然还受到煤质和海水成分等其他因素影响,但是效率始终保持在环保要求的范围之内^[21]。

4 结 语

该电厂结合自身的地理位置,采用海水脱硫作为原烟气脱硫方法,是经济合理的选择。脱硫岛采用 Symphony DCS 系统作为实现平台,以 C 语言的形式编制控制算法加载到 COMPOSER 中进行组态,实现了脱硫岛与主环网的通信和控制功能。控制算法采用了数学 PADE 近似理论和现代控制理论中最优控制原理对具有滞后性的温度控制进行优化,并应用到海水脱硫系统中。在下位组态中引入 C 语言的接口功能块,提供以 C 语言实现的算法接口,进一步完成逻辑组态,实现控制回路的整个功能。经过长时间的实际应用,原烟气温度能够控制在合理范围内,控制效果良好,脱硫效率达到相关标准,促进了整个脱硫工程项目取得成功。

参 考 文 献:

- [1] 牛建刚,牛荻涛,周浩爽. 酸雨的危害及其防治综述 [J]. 灾害学,2008(4): 110-116.

- [2] 闫百瑞, 王永平. 酸雨的危害及其控制浅析 [J]. 北方环境, 2005(3): 74-76.
- [3] ZHOU Qiang, TANG Yuegang. Coal Combustion on Environment Pollution in China [C] //2011 International Conference on Electrical and Control Engineering, 2008: 1482-1486.
- [4] YOU C F. Coal Combustion and Its Pollution Control in China [J]. Energy, 2010, 11(35): 4467-4472.
- [5] JORGE Cristóbal, GONZALO Guillén-Gosálbez, LAUREANO Jiménez, et al. Optimization of Global and Local Pollution Control in Electricity Production from Coal Burning [J]. Applied Energy, 2012, 12(92): 369-378.
- [6] LEE Jiatwu, CHEN Mingchu, CHEN Sushun. Preliminary Study on Using Seawater to Remove SO₂ in a FGD System [J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2008, 12(30): 62-65.
- [7] LEE Jiatwu, CHEN Minchu. Comparative Limestone and Seawater Method in Desulfurization System [C] //2012 2nd International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks, 2012: 2459-2463.
- [8] KATSUO Oikawa, CHATURONG Yongsiri, KAZUO Takeda, et al. Seawater Flue Gas Desulfurization: Its Technical Implications and Performance Results [J]. Environmental Progress, 2003, 4(22): 67-73.
- [9] POPE C Arden, DOUGLAS W Dockery. Air Pollution and Life Expectancy in China and Beyond [J]. Biological Science Environmental Sciences, 2013, 7(11): 11-120.
- [10] HAO Hui Di, ZHAI Tian, ZHANG YongFang, et al. Flue Gas Desulfurization Technology and its Equipment. Materials Science and Engineering, 2013, 9: 21-32.
- [11] DAVID K, Mogeda. Pulverized Coal Fired Boilers and Pollution Control [J]. Fossil Energy, 2013, 4: 10-32.
- [12] FENG Chao, GAO Xuenong, TANG Yuting, et al. Comparative Life Cycle Environmental Assessment of Flue Gas Desulfurization Technologies in China. Journal of Cleaner Production, 2013, 10(25): 43-55.
- [13] SZYMON Ciukaj. Dew Point of the Flue Gas of Boilers Co-Firing Biomass with Coal [J]. Chemical and Process Engineering, 2013, 6: 12-44.
- [14] SHU Tong, LU Ding, HE Man. Mercury Adsorption of Modified Mulberry Twig Chars in a Simulated Flue Gas [J]. Bioresource Technology, 2013, 5: 34-44.
- [15] CHEN Y, EBENSTEIN A, GREENSTONE M. Evidence on the Impact of Sustained Exposure to Air Pollution on Life Expectancy from China's Huai River policy [J]. Research Support, 2013, 8(6): 53-60.
- [16] DUAN Jingchun, TAN Jihua. Atmosphere Heavy Metals and Arsenic in China: Situation Sources and Control Policies. Atmospheric Environment, 2013, 8: 10-23.
- [17] HE Mengchang, WANG Xiangqin, WU Fang chang. Antimony Pollution in China [J]. Science of The Total Environment, 2012, 4: 11-42.
- [18] ZHANG Qiang, HE Kebin. Policy: Cleaning China's air [J]. Nature International Weekly Journal of Science, 2012, 11(4): 54-65.
- [19] WANG Jingang, LI Weijuan, ZHANG Shaofeng, et al. Seawater Flue Gas Desulfurization with Parallel Flow Tray for Power Plant [J]. IEEE Xplore, 2012, 4(28): 12-66.
- [20] WANG Xiaoping, LI Zhongjian, LEI Lecheng. Model Study of Sulfur Oxidation in Seawater Flue Gas Desulfurization Retain [J]. Chemical Engineering Science, 2013, 7(28): 7-15.
- [21] TIWARI M, SAHU S K, BHANGARE R C, et al. Estimation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Associated with Size Segregated Combustion Aerosols Generated from Household Fuels [J]. Microchemical Journal, 2013, 2: 110-150.

(编辑: 付长缨)