

基于 SIMATIC PCS7 的锅炉控制系统研究

王 捷¹, 艾 红²

(1. 北方工业大学 机电工程学院, 北京 100144; 2. 北京信息科技大学 自动化学院, 北京 100192)

摘要: 文中阐述了锅炉控制系统的工艺流程, 设计了燃油系统的 SDG 图, 设计了燃油系统的控制方案; 采用西门子 SIMATIC PCS7 实现了对锅炉的控制; 研究了 PCS7 与锅炉对象数据通信功能, 用结构化控制语言 SCL 设计了 PCS7 与锅炉对象的通信程序; 说明了锅炉控制系统中的连续功能图 CFC; 程序运行结果显示能够很好地控制锅炉系统的液位、压力、温度和流量等各个参数。

关键词: PCS7; 锅炉控制; 数据通信; 燃油系统

Research on Boiler Control System Based on SIMATIC PCS7

Wang Jie¹, Ai Hong²

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, North China University of Technology, Beijing 100144, China;

2. Automation Institute, Beijing Information Science & Technology University, Beijing 100192, China)

Abstract: This paper expounds the process chart of boiler control system. SDG diagram of the fuel system is designed. Control scheme of fuel system is designed. Adopting Siemens SIMATIC PCS7, the control of boiler is realized. Data communication function of PCS7 and boiler object is studied. Using Structured Control Language SCL, communication program of PCS7 and boiler is designed. Continuous Function Chart CFC of the boiler control system is explained. The running results shows that level, pressure, temperature and flow parameters of the boiler system can well be controlled.

Key words: PCS7; boiler control; data communication; fuel control

0 引言

锅炉是一种能量转换设备, 向锅炉输入的能量有燃料中的化学能、电能、高温烟气的热能等形式, 经过锅炉转换, 向外输出具有一定热能的蒸汽、高温水或有机热载体。产生蒸汽的锅炉称为蒸汽锅炉, 常简称为锅炉。SIMATIC PCS7 是西门子集散控制系统, 锅炉集散控制系统由操作站、工程师站和自动化系统等组成, 锅炉集散控制系统是以人机界面的形式对锅炉生产过程进行控制和监控, 降低操作难度, 提高工作效率^[1]。

1 锅炉控制系统工艺流程

热力除氧是用蒸汽将给水加热到饱和温度, 将水中溶解的氧气和二氧化碳放出。除氧的目的是防止锅炉给水中溶解有氧气和二氧化碳, 对锅炉造成腐蚀。在除氧器水箱底部通入除氧蒸汽, 进一步去除软化水中的氧气和二氧化碳。除氧器压力为 P1106, 除氧器液位为 L1101。除氧后的软化水作为锅炉上水经由上水泵泵出。

进入减温器的锅炉上水走管程, 一方面对最终产品过热蒸汽的温度起到微调即减温的作用, 另一方面也能对锅炉上水起到一定的预热作用。省煤器由多段盘管组成, 燃料燃烧产生的高温烟气自上而下通过管间与管内的锅炉上水换热, 回收烟气中的余热并使锅炉上水进一步预热。被烟气加热成饱和水的锅炉上水全部进入汽包, 再经过对流管束和下降管进入锅炉水冷壁, 吸收炉膛辐射热在水冷壁里变成汽水混合物, 然后返回汽包进行汽水分离。锅炉上汽包为卧式圆筒形承压容器, 内部装

有给水分布槽、汽水分离器等, 汽水分离是上汽包的重要作用之一。汽包中部设水位检测点 L1102。在汽包中通过汽水分离得到的饱和蒸汽温度为 T1102。分离出的饱和蒸汽再次进入炉膛进行汽相升温, 成为过热蒸汽, 经过炉膛汽相升温得到的过热蒸汽温度为 T1103。

过热蒸汽出口管道上设调节阀。燃料与空气在燃烧器混合燃烧, 产生热量使锅炉水汽化。燃烧产生的烟气带有大量余热, 对省煤器中的锅炉上水进行预热。省煤器烟气出口处的烟气流量为 F1107, 温度为 T1105。烟气含氧量 A1101 设有在线分析检测仪表。

2 锅炉燃烧系统控制

锅炉燃烧控制的目的是在保证生产安全和燃烧经济性的前提下, 提供符合要求的蒸汽以满足需要。为了实现上述目标, 燃烧过程的自动控制系统要完成以下三方面的任务。

- (1) 保持锅炉输出蒸汽压力稳定。
- (2) 调节送风量与燃料量的比例保证燃烧的经济性。
- (3) 保持锅炉炉膛负压稳定

燃油控制单元是由蒸汽压力、炉膛压力、出锅炉的蒸汽温度 3 个量来控制的。当锅炉燃料量增加时, 炉膛热量增加, 汽包压力增大, 使蒸汽流量增加, 进而使蒸汽压力增大, 最后达到新的平衡。蒸汽压力变化反映了锅炉燃料量的变化。反过来通过改变燃料量可以控制蒸汽压力。燃料量的变化会影响到出锅炉的蒸汽温度和炉膛压力。出锅炉的蒸汽温度进入减温器调节温度最终达到产品所需的要求温度。减温器的调节作用是有限的, 主要还是要靠锅炉燃料量的调控来达到所需的蒸汽温度^[2]。

2.1 燃油系统 SDG 图

锅炉的燃油控制系统的主要参数是温度、压力等。而锅炉

收稿日期:2013-03-06; 修回日期:2013-05-05。

作者简介:王 捷(1962-),男,讲师,主要从事自动化与计算机控制方向的研究。

的燃油控制系统较复杂,一个参数有可能受到多个变量的影响,每一个变量又有可能影响多个参数,因此如何选择控制变量和被控参数就显得很重要。符号定向图是一种由节点和节点之间有方向的支路构成的网络图,称之为 SDG (signed directed graph)。其中“实线”代表箭头末端的量随着箭头始端的量增加而增加,“虚线”代表箭头末端的量随着箭头始端的量增加而减少。燃油系统的符号定向图 SDG 如图 1 所示。

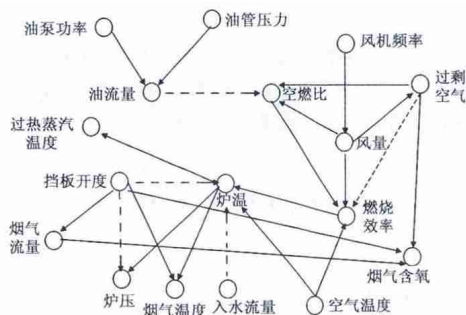


图 1 燃油系统 SDG 图

图 1 中多个参数都受到燃油流量和风量的影响。炉压受到风量和炉温的影响,炉温受到风温度和燃烧效率的影响,风量还会影响到挡烟板部分烟气含氧量,烟气含氧量直接关系到排放烟气是否达到节能和环保要求。燃油系统是一个很复杂的系统。在燃油系统的控制变量选择时,要综合各方面的考虑,采用燃料和风量作为控制变量控制被控参数,由于锅炉最终输出是过热蒸汽,而且蒸汽温度有减温器作为控制单元,因此选择燃油系统的被控参数是最终输出的蒸汽压力。

2.2 控制方案

燃油系统主要的对象是锅炉,水是通过辐射热汽化后再经过减温等控制输出合格的过热蒸汽。为了安全生产,往往对炉压有一定的要求,锅炉的炉压控制要求不能超过 $400 \text{ mm H}_2\text{O}$,在控制燃油系统时,应该把炉压上限作为一个安全报警极限。由于风量和燃油必须保持一定的比值关系才能保证燃烧充分,燃烧效率高,这样既能节能,同时还能环保,在风量和燃油控制中采用串级——双闭环比值控制系统。由于温度存在 3 种状态,升温、平稳段和降温段,当温度处于不同段时对风量和燃油量的要求是不一样的。从平稳段到升温段,要先加大风量,再加大燃油供给,保证燃烧充分。从高温段往平稳段降温时,要先减少燃油量,再降低给风量。在风量和燃油调节阀之前还要加上高选器和低选器。控制方案如图 2 所示。

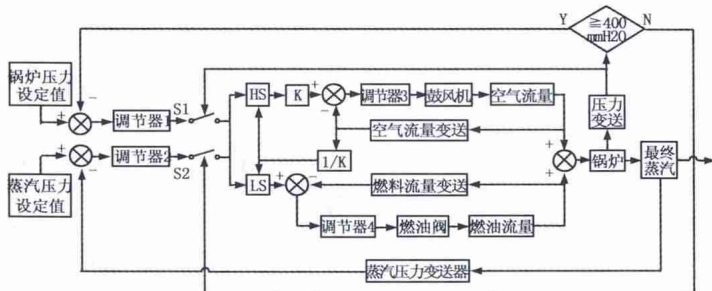


图 2 燃油系统控制方案图

为了保证安全性将锅炉压力作为首要的考虑因素,当锅炉压力大于等于 $400 \text{ mm H}_2\text{O}$ 时,闭合开关 S1 启动锅炉压力调节。当锅炉压力小于 $400 \text{ mm H}_2\text{O}$ 时,闭合开关 S2 启动蒸汽

压力调节。一旦炉压超过 $400 \text{ mm H}_2\text{O}$ 时,系统会将正在正常工况的控制回路切换到另外一种炉压控制回路,一旦炉压降低回到正常状态时,系统又会自动切换到正常工况时的控制回路,以此来保证安全和正常生产。风量和燃油量之间的比值 K 是根据空燃比和含氧量来确定的,并不是一成不变的,这样既保证了含氧量保持在 2% 左右,同时还充分保证了燃烧的充分性和经济性。

3 PCS7 实现控制系统

锅炉控制系统采用西门子 PCS7 实现。工程师站 (Engineer Station, ES)、操作员站 (Operator Station, OS) 和自动化系统 (Automation System, AS) 之间采用西门子工业以太网交换机,采用西门子工业以太网构成。首先需要进行硬件组态和网络组态,然后进行 AS 组态和 OS 组态。硬件组态在 HWConfig 应用程序中进行。硬件组态将附加的硬件组件或软件应用程序添加到站中,并设置硬件组件参数。按照 AS 和 OS 的真实状态在工程师站 ES 上建立好硬件后,整个系统将知道它们的存在,软件组态信息也才能送到自动化系统 AS 和操作员站 OS 中。AS 组态按照 AS 的硬件进行组态,OS 组态则是对 OS 所处的这台 PC 机进行组态。在 ES 中完成硬件组态后,要下载给 OS 和 AS。下载通过网络完成。

3.1 PCS7 与锅炉对象数据通信功能

锅炉系统采用 SMPT-1000,当硬件组态与网络组态完成之后,若要实现 SMPT-1000 与 PCS7 的通信,需要对 SMPT-1000 的通信模块 PM-125 进行系统设置,具体是设置 SMPT-1000 的数据发送机制以及定义发送字节数量。PM-125 模块利用输出地址首字节 QB0 取值的变化触发数据发送机制,发送字节的数量在第二个字节 QB1 中定义。配置 SMPT-1000 的通信内容如下所示。

(1) 在 Component View 的左侧树形结构中选择 S7 Program (1) 的 Sources 文件夹,选择菜单命令 [Insert] → [S7 Software] → [SCL Source] (SCL 源程序),将在 Sources 文件夹中新建名称为 SCL Source (1) 的 SCL 文件,将其更名为 COMM。

(2) SCL (Structured Control Language) 是结构化控制语言,双击 COMM 文件,将打开 SCL 编辑器。在编辑器中编写如下代码。

```
FUNCTION _BLOCK FB888
Q1.0 := 0;
Q1.1 := 1;
Q1.2 := 1;
Q1.3 := 1;
Q1.4 := 1;
Q1.5 := 0;
Q1.6 := 0;
Q1.7 := 0;
Q0.0 := I0.0;
END_FUNCTION _BLOCK
```

3.2 连续功能图 CFC

连续功能图 CFC (Continuous Function Chart) 处理自动化和控制功能。工厂的整个过程是连续运转的,这些连续控制 (下转第 2460 页)

表 2 不同控制器下速度阶跃响应性能对比

标准差	500(r/min)	1 000(r/min)	1 500(r/min)
改进 ADRC	9.8608	19.5540	23.3244
PID	27.2794	35.2999	59.4483
超调量(%)	500(r/min)	1000(r/min)	1500(r/min)
改进 ADRC	16.2	14.5	18.84
PID	22	26	38.3
上升时间(ms)	500(r/min)	1000(r/min)	1500(r/min)
改进 ADRC	2.8	3.8	8.5
PID	3.75	4.8	9

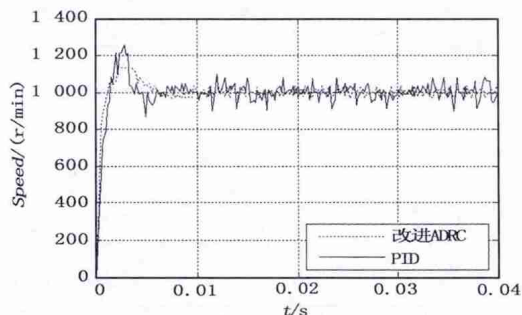


图 7 1000r/min 速度阶跃响应

4 结论

本文将改进的自抗扰控制技术应用于电动舵机的速度环控制,根据电动舵机的数学模型设计合适的自抗扰控制器参数。为满足快速性要求,将状态观测器和控制律两部分设计为线性函数,采用 Fal 函数对量测噪声进行滤波。该方法不依赖于被控对象,对动态的内外扰动进行补偿,给鲁棒性和抗扰性带来了新的意义。通过对不同的输入信号进行分析,可以看出改进

ADRC 能准确地对外界扰动进行估计和补偿。与传统控制 PID 控制器相比,其抗扰效果好,显著降低了稳态误差,提高系统的动态品质和静态品质。

参考文献:

- [1] 韩京清. 从 PID 技术到“自抗扰控制技术” [J]. 控制工程, 2002, 9 (3): 13-18.
- [2] 骆光照, 王 鹏, 吴 梅, 等. 弹用电动舵机的混合 H₂/H_∞ 控制器设计 [J]. 弹箭与制导学报, 2003, 23 (3): 4-6.
- [3] 秦 琴, 杨常伟. 基于鲁棒 H_∞ 优化高精度导弹舵机串级控制研究 [J]. 弹箭与制导学报, 2009, 29 (1): 57-60.
- [4] 彭书华, 李华德, 苏 中, 等. 不确定参数电动舵机滑模变结构控制 [J]. 电机与控制学报, 2009, 13 (1): 128-132.
- [5] 李 岩, 王中原, 易文俊, 等. 电动舵机离散滑模变结构控制器研究 [J]. 南京理工大学学报 (自然科学版), 2009, 33 (1): 96-99.
- [6] 毕 晔, 李 辉, 吴瀛喆. 基于数字控制技术的高速导弹舵机控制系统设计与研究 [J]. 科学技术与工程, 2012, 12 (5): 1081-1084.
- [7] 李全福, 万彦辉, 郭 华. 模糊 PID 控制算法在电动舵机控制中的应用 [J]. 微电机, 2007, 40 (12): 28-30.
- [8] 栗金平, 杨 军. 基于自抗扰技术的高超声速飞行器控制系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2011, 19 (5): 1055-1064.
- [9] 韩京清. 自抗扰控制技术—估计补偿不确定因素的控制技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.
- [10] Zhiqiang Gao. Scaling and Bandwidth — Parameterization Based Controller Tuning [A]. Proceedings of the American Control Conference [C]. Denver, Colorado, 2003, 6: 4989-4996.
- [11] 于长官. 现代控制理论 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2005.

(上接第 2456 页)

功能在 CFC 编辑器中以图形块的形式表示。在 CFC 编辑器中,可以使用具有特定功能的预置功能块。只需在创建的 CFC 中,将这些功能块放置在功能图中,互连功能块并分配参数。控制功能的组态可在 CFC 中通过拖拽块连接来实现。组态步骤可归纳为将所需程序块插入到 CFC 图表中,修改块名称,设置块属性以及 I/O 属性,将各块相应 I/O 互连,为块组态外部 I/O,编译和下载 CFC 程序。图 3 是锅炉控制系统 CFC 图。

4 结束语

锅炉设备是一个复杂的控制对象,主要输入变量是锅炉给水、燃料量、减温水、送风和引风等。主要输出变量是汽包水位、蒸汽压力等。输入变量与输出变量相互关联,如果蒸汽负荷发生变化,将会引起汽包水位、蒸汽压力和过热蒸汽温度的变化。因此锅炉是一个多输入、多输出且相互关联的控制对象。文中阐述了 PCS7 与锅炉对象的数据通信功能,系统画面的监视和操作以及连续功能图 CFC^[3]。针对燃油系统采用双闭环比值控制系统。风量和燃油的比值 K 充分考虑烟气含氧量,保证燃烧的充分,保证烟气含氧量,经济节能、环保和减排。

参考文献:

- [1] 麦雪凤, 彭炳华, 陈振强, 等. 基于 PCS7 的变比值控制应用程序开发 [J]. 计算机测量与控制, 2010, 18 (4): 952-953.

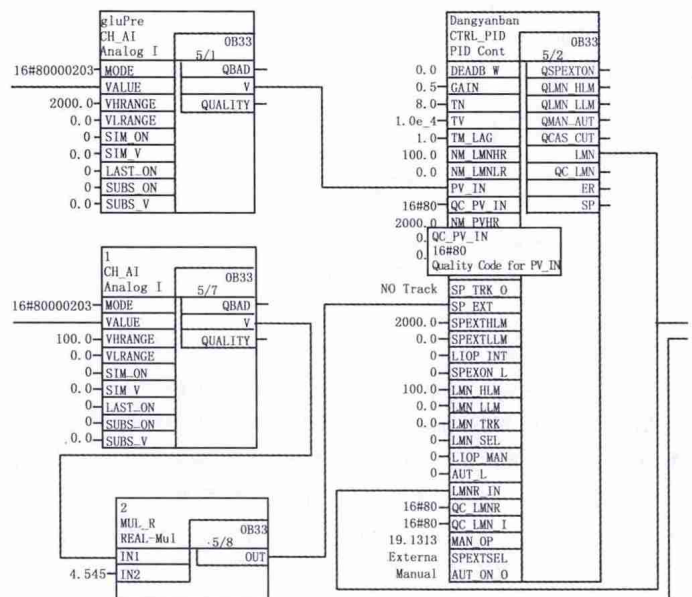


图 3 控制系统 CFC 图

- [2] 孙自强, 丁小冬. 基于 PCS7 的加热炉燃烧控制策略及仿真研究 [J]. 控制工程, 2012, 19 (1): 49-50.
- [3] 刘 欢. 西门子 PID 模块 FM355C 在电热式焙烧炉中的应用 [J]. 化工自动化及仪表, 2009, 36 (2): 86-87.