

## 基于 PCS7 和 SMPT-1000 的锅炉控制系统设计

董哲<sup>1</sup>, 谢龙<sup>1</sup>, 张倩<sup>2</sup>

(1. 北方工业大学电气与控制工程学院, 北京 100074;

2. 中国石油大学(华东) 信息与控制工程学院, 山东青岛 266580)

**摘要:** 以工业中常见的自然循环锅炉为被控对象, 在分析其工艺流程、动态特性的基础上, 结合安全、稳定等控制要求, 设计了锅炉系统的控制方案。采用 PCS7 过程控制系统和高级多功能实训控制系统(SMPT-1000) 的锅炉单元实施控制方案, 由 PCS7 提供的连续功能图 CFC 和顺序功能图 SFC 实现该方案从冷态开车起到最终达到稳态的整个过程。实验结果表明, 该锅炉系统控制方案保证了整个开车过程的平稳运行, 很好地满足了控制要求, 并具有一定的抗干扰性。

**关键词:** 锅炉控制系统; PCS7; SMPT-1000; CFC; SFC

中图分类号: TP272

文献标识码: A

文章编号: 1002-1841(2016)01-0107-04

## Design of Boiler Control System Based on PCS7 and SMPT-1000

DONG Zhe<sup>1</sup>, XIE Long<sup>1</sup>, ZHANG Qian<sup>2</sup>

(1. College of Electrical and Control Engineering, North China University of Technology, Beijing 100074, China;

2. College of Information and Control Engineering, China University of Petroleum, Qingdao 266580, China)

**Abstract:** In this paper, the industrial boiler is aimed as the controlled object, after analyzing its technological process and dynamic characteristics, taking into account the control requirements of security and stability, the boiler system control strategy was designed which was realized by Siemens PCS7 (process control system) and SMPT-1000 (super multifunction process control training system). The boiler system control strategy was implemented by Continuous Function Chart (CFC) and Sequential Function Chart (SFC). The experiment results show that this boiler system control strategy ensures start-up process running smoothly, and it meets control requirements perfectly and has good robustness.

**Key words:** boiler control system; PCS7; SMPT-1000; CFC; SFC

### 0 引言

锅炉是一种能量转换设备, 向锅炉中输入燃料中的化学能、电能、高温烟气的热能等能量, 经过转换后向外输出具有一定热能的高温水或蒸汽。锅炉是化工、炼油、发电等工业生产过程中必不可少的动力设备<sup>[1]</sup>, 被广泛用于各行各业。由于锅炉是 1 个多输入、多输出的系统, 具有非线性、大滞后、强耦合等特点, 使系统的控制难度增加。本文在分析锅炉的工艺流程和对象特性的基础上, 综合考虑节能减排的要求, 提出了锅炉系统自动控制的整体方案, 包括: 汽包水位控制系统、炉膛负压控制系统、烟气氧含量控制系统、过热蒸汽出口温度控制系统、过热蒸汽出口压力控制系统、过热蒸汽出口流量控制系统等 6 个部分。

### 1 锅炉工艺流程

本文针对 SMPT-1000 仿真实验装置, 被控对象为自然循环锅炉系统。工艺流程如图 1 所示, 主要包括: 汽包、燃烧系统和过热蒸汽系统 3 部分。

#### 1.1 汽包水位控制系统

软化水经上水泵 P1101 后分成 2 路, 一路去减温器 E1101, 与过热蒸汽换热, 并微调过热蒸汽的温度, 然后与另一路给水混合进入省煤器 E1102, 吸收烟气中的余热。被烟气加热成饱

和水的锅炉给水全部进入汽包 V1102, 再经过对流管束和下降管进入锅炉水冷壁, 吸收炉膛辐射热变成汽水混合物, 然后返回汽包 V1102 进行汽水分离。汽水分离是汽包的重要作用之一, 汽包 V1102 顶部设放空阀 V1104, 汽包中部设水位检测点 LI1102。分离出的饱和蒸汽再次进入炉膛 F1101 进行汽相升温, 成为过热蒸汽。

#### 1.2 燃烧系统

燃料经燃料泵 P1102 泵入炉膛 F1101 的燃烧器, 空气由变频鼓风机 K1101 送入燃烧器。燃料与空气在燃烧器内以一定比例混合燃烧, 产生热量使锅炉水汽化。燃烧产生的烟气带有大量余热, 自上而下经过省煤器 E1102 盘管的间隙给上水预热。换热后的烟气经由烟道, 靠烟囱的抽力抽出, 通入大气。

#### 1.3 过热蒸汽系统

出炉膛 F1101 的过热蒸汽进入减温器 E1101 壳程, 进行过热蒸汽温度微调并为锅炉给水预热, 最后以工艺所要求的过热蒸汽压力、过热蒸汽温度输送给下游生产过程。过热蒸汽出口管线上设开关阀 XV1105。

### 2 锅炉控制系统方案设计

由于被控对象锅炉是一个具有多输入、多输出的复杂系统, 各参数之间的耦合严重。通过符号有向图进行描述各变量之间的相互影响, 图中每个圆圈代表一个变量, 圆圈之间的箭头表示各变量间的相互作用(箭头的起始端代表了作用变量,

收稿日期: 2015-03-16 收修改稿日期: 2015-09-03

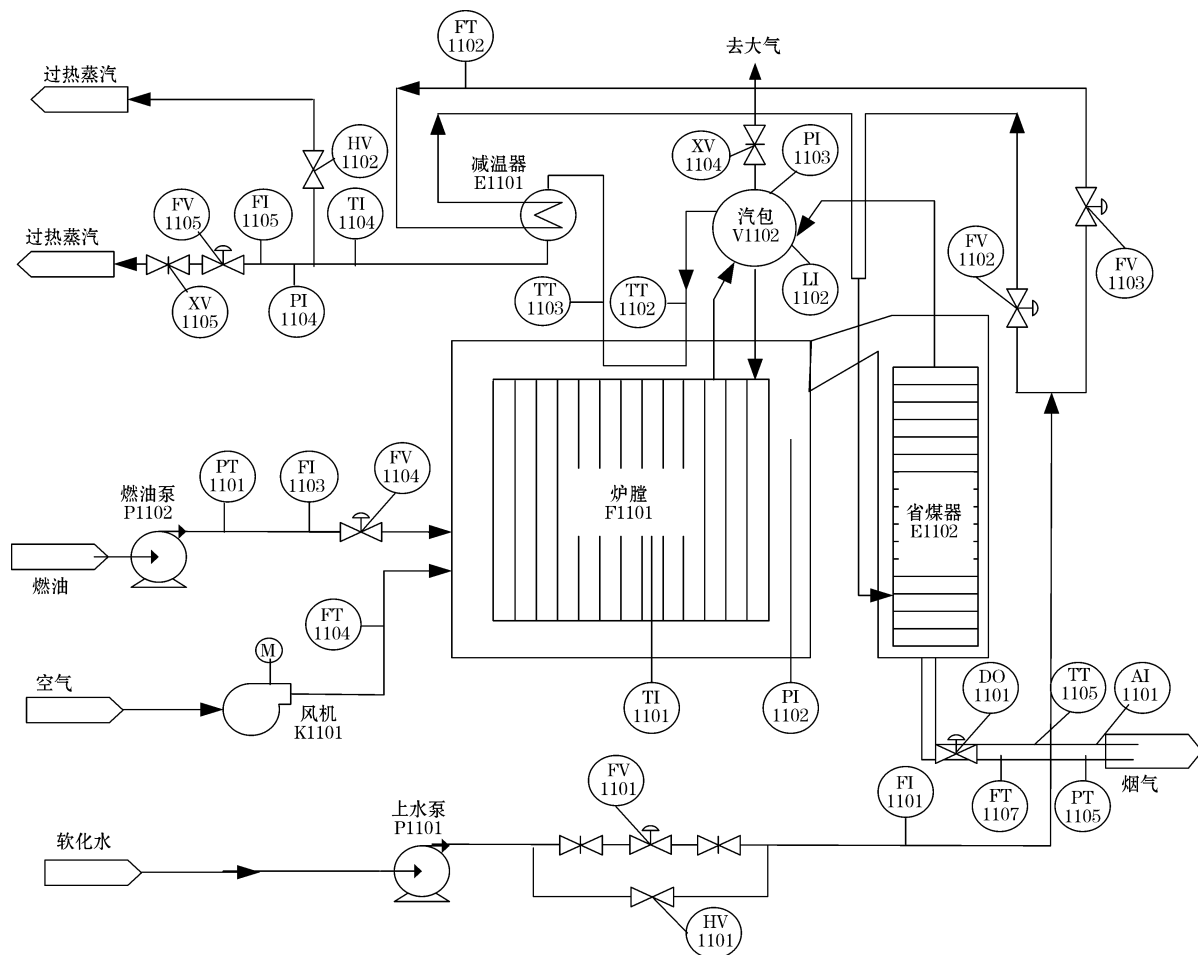


图1 锅炉工艺流程图

箭头的终止端表达了被作用变量,实线表示随着作用变量增大(减小),被作用变量也会随着相应增大(减小);虚线则与之相反。锅炉的SDG图如图2所示,从图中可以直观的看出各参数间复杂的耦合关系,便于方案设计。

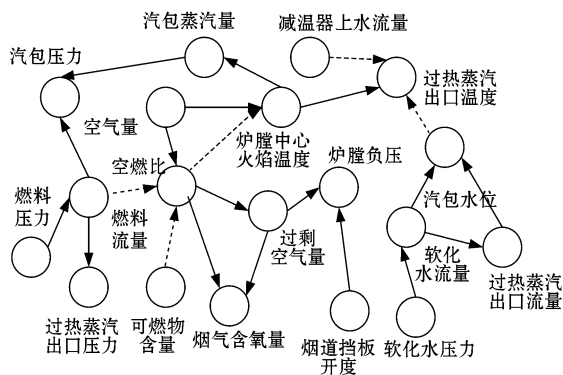


图2 锅炉SDG模型

### 2.1 汽包水位三冲量控制回路

汽包水位是锅炉运行的重要指标,水位过高或者过低都会影响锅炉的正常运行。水位过高,会影响汽包内的汽水分离,饱和水蒸气将会带水过多,导致过热器管壁结垢并损坏,使过热蒸汽的温度严重下降;水位过低,则因汽包内的水量较少而负荷很大,加快水的气化速度,使汽包内的水量变化速度很快,若不及时加以控制,汽包内的水有可能将全部汽化,从而导致

水冷壁烧坏,甚至引起爆炸<sup>[2]</sup>。分析影响汽包水位变化的主要因素后,本文采用汽包水位三冲量控制方案,也就是串级加前馈的控制策略,将给水流量和汽包水位组成串级回路,过热蒸汽流量作为前馈量,不仅在汽包水位变化时及时调整上水阀门开度,同时还能克服上水量和过热蒸汽出口流量的变化带来的干扰,将前馈量加在副回路的输入上可以克服前馈值波动的干扰。汽包水位控制回路如图3所示。

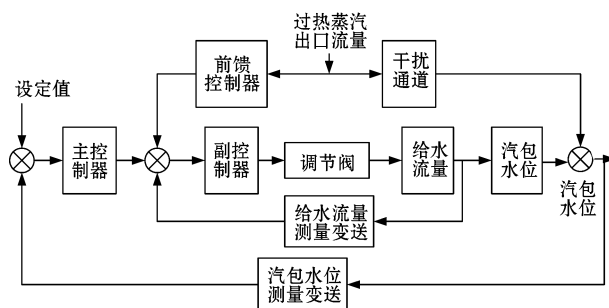


图3 汽包水位三冲量控制方框图

### 2.2 烟气氧含量变比值控制回路

烟气氧含量是指燃料燃烧之后排出的烟气中氧气的含量,它与燃料的燃烧状况和燃料与空气量的比例等因素有关。烟气氧含量要保持在1%~3%之间,既要保证燃料的充分燃烧减少有害气体的释放,达到节能环保的要求,又要防止过剩空气



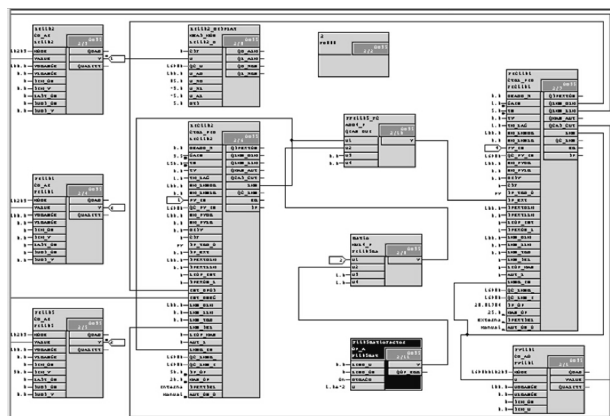


图8 汽包水位三冲量控制系统

的改变控制开车状态的进行,由于被控变量较多,为了开车过程的平稳运行,应该分别逐次使各个回路投自动,投自动时设定值和当前值的差别不能太大,以保证各个回路的稳定,考虑到某些变量的有滞后特性,在达到设定值前投自动可以减少超调,控制效果更好<sup>[7]</sup>。开车过程的主要思路是:先保持汽包水位的稳定,将炉膛负压和烟气含氧量控制回路依次投自动,在蒸汽温度到达要求范围内时投自动,保持温度稳定继续增加蒸汽压力,当蒸汽压力到达要求范围内时投自动,保持温度和压力的稳定继续提升负荷,最后将过热蒸汽出口流量回路投自动,整个开车过程结束。开车顺序控制流程图如图9所示。

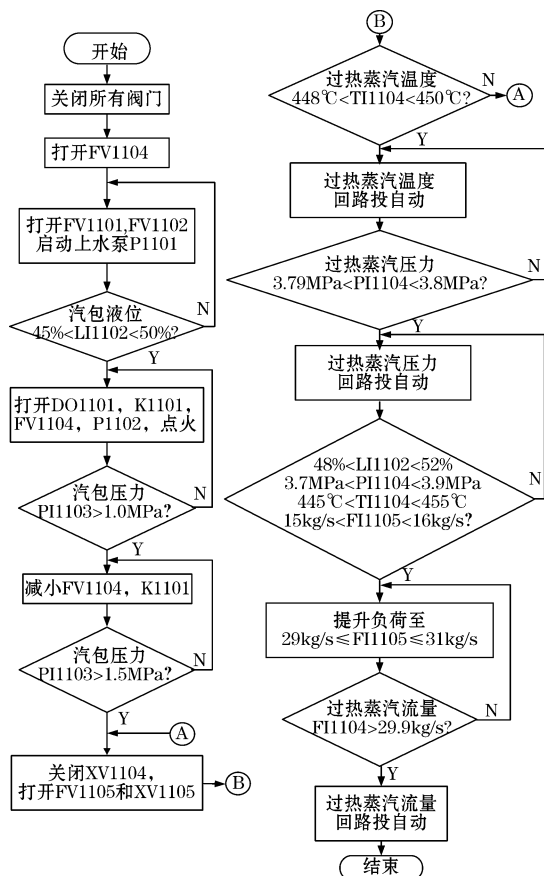


图9 顺序控制流程图

#### 4 实施效果

实施效果如图10所示,该系统最终的控制要求是汽包水

位保持在  $50\% \pm 2\%$ , 烟气含氧量  $1\% \sim 3\%$ , 炉膛负压不低于  $10 \text{ mm H}_2\text{O}$  且不高于  $600 \text{ mm H}_2\text{O}$ , 过热蒸汽出口温度在  $450^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$  的范围内, 过热蒸汽出口压力为  $3.8 \pm 0.1 \text{ MPa}$ , 过热蒸汽流量从  $15 \text{ kg/s}$  提升到  $30 \text{ kg/s}$ 。图中所示即为从冷态开车起, 升温升压到各参数达到工艺要求范围, 之后为提升负荷阶段, 流量从  $15 \text{ kg/s}$  提升到  $30 \text{ kg/s}$ 。可见开车过程运行平稳, 该控制方案满足工艺参数的控制要求, 并且具有一定的抗干扰能力, 达到了较好的控制效果。

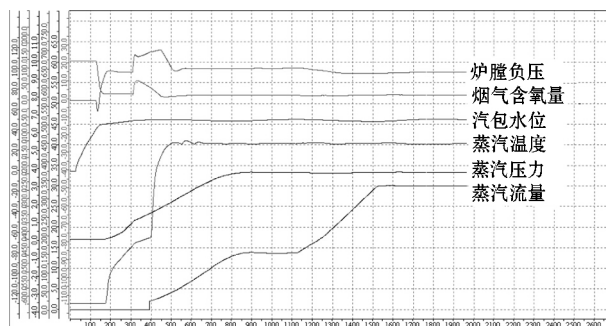


图10 锅炉控制系统实施效果图

#### 5 结束语

在分析锅炉系统的工艺流程及对象特性的基础上, 综合工艺指标、安全、环保、节能等诸多要求, 设计了完整的锅炉系统控制方案, 并在 SMPT-1000 的锅炉单元上实施验证。结果表明, 该控制方案可以满足各工艺指标要求, 具有较强的可行性。

#### 参考文献:

- [1] 王树青, 戴连奎, 于玲. 过程控制工程 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [2] 马昕, 张贝克. 深入浅出过程控制: 小锅炉带你学过程控制 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2013.
- [3] 吴莎莎. 浅谈锅炉节能现状与降耗技术. 西藏科技 [J], 2010(7): 60-61.
- [4] 郭一楠, 常俊林, 赵峻, 等. 过程控制系统 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [5] 伊连云. PLC 工作方式对控制系统精度的影响及分析 [J]. 自动化博览, 2005(5): 48-51.
- [6] 倪晓杰, 马彦霞, 薄翠梅, 等. 基于 PCS7 的锅炉控制系统的设计和实现 [J]. 控制工程, 2011, 18(6): 927-930.
- [7] 丁晓军, 虎恩典, 赵涛. PLC 在锅炉温度串级控制系统中的应用 [J]. 仪表技术与传感器, 2013(5): 62-65.

作者简介: 董哲 (1981—), 副教授, 博士, 主要研究方向为工业自动化、网络化控制系统、无线传感网络等。

E-mail: dongzhe@ncut.edu.cn;

谢龙 (1990—), 硕士研究生, 研究方向为过程控制、无线网络技术。E-mail: 286789399@qq.com