

基于TIA博途软件的小型直流锅炉给水控制系统的设计

刘佳, 李扬, 尤建华

(中国船舶集团有限公司第七〇三研究所, 黑龙江 哈尔滨 150078)

摘要:为使小型直流锅炉稳定运行,依托某试验项目,设计一套高参数小型燃气直流锅炉控制系统。该系统以TIA博途软件为控制平台,通过分析锅炉给水量及锅炉中间点温度两者之间的关系,建立给水量最终到达锅炉中间点温度的控制模型,利用Simulink仿真软件进行辅助设计,最终投入应用实践。结果表明:此套控制系统的有效性、可靠性达到了小型高参数直流锅炉的设计要求(负荷6 t/h、压力5 MPa、温度400 °C),具有在同类系直流锅炉系统中借鉴推广的价值。

关键词:小型燃气直流锅炉;控制系统;给水量;中间点温度

中图分类号:TK323 文献标识码:A DOI:10.16146/j.cnki.rndlgc.2023.10.021

[引用本文格式]刘佳,李扬,尤建华.基于TIA博途软件的小型直流锅炉给水控制系统的设计[J].热能动力工程,2023,38(10):176-180. LIU Jia, LI Yang, YOU Jian-hua. Design of feedwater control system for small once-through boiler based on TIA portal software[J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2023, 38(10):176-180.

Design of Feedwater Control System for Small Once-through Boiler based on TIA Portal Software

LIU Jia, LI Yang, YOU Jian-hua

(NO. 703 Research Institute of CSSC, Harbin, China, Post Code: 150078)

Abstract: In order to ensure the stable operation of small once through boiler, depending on a certain experimental project, the control system of a high parameter small gas-fired once-through boiler was designed. This system took TIA portal software as the control platform, by analyzing the relationship between boiler water supply and boiler midpoint temperature, established a control model for the feed water flow to the midpoint temperature of the boiler. Simulink simulation software was used for auxiliary design and finally put into application practice. The results show that the effectiveness and reliability of this control system meet the design requirements of small high parameter once-through boilers with load of 6 t/h, pressure of 5 MPa and temperature of 400 °C, and it has the value of reference and promotion in similar once-through boiler systems.

Key words: small gas-fired once-through boiler, control system, water supply, midpoint temperature

引 言

小型直流锅炉具有金属耗量小、重量轻,启停时间短、蒸汽产出快、热效率高等优点。其用途广泛,可用作大型机组的启动锅炉,快速为大锅炉提供合格的除氧蒸汽和底部加热用汽,加速启动时间;也可用于特定参数的试验用汽源,如阀门的起跳试验等。

小型直流锅炉一直受国外锅炉的技术垄断和价格制约,国内研制的经验十分有限,多为热水锅炉或低参数饱和蒸汽炉。因此,开展国内高参数小型直流锅炉的研究,突破关键技术制约,研发生产具有自主知识产权的国内产品十分有意义,且市场应用前景广阔。

目前,直流锅炉的自动调节系统基本有两种方案:一是以给水为主的调节系统;二是以燃料为主的调节系统^[1]。前者又称“水燃比”方案,由给水调节汽压、燃料配合给水调节汽温。这种调节方式的优点是直流锅炉没有锅筒,给水一次性受热加热成蒸汽,给水量变化对汽压控制效果明显。但因为燃料调节需要通过燃料和送风合理配比,具有一定的复杂性,其跟随水量变化来调节,对汽温的控制会有延迟,效果不佳。后者又称“燃水比”方案,由燃料调节汽压,给水配合燃料调节汽温。燃料的变化会引起蒸发量的改变,可通过蒸发量来维持汽压稳定。给水调节因灵敏度高,易跟随燃料量变化来调节,对汽温的控制效果好。由于工质流动的连续性,蒸发量可随给水量达到同量的增值,因此给水调节也同时起到调节汽压的作用^[1]。

综上,燃料量控制汽温的延迟时间比给水量控制要长,因此本研究采用“给水量控制”的调节方法,基于 TIA 博途软件对小型直流锅炉给水控制系统进行硬件设计和监控画面设计,建立由给水流量到中间点温度的控制模型,并进行给水控制方案设计。利用 Simulink 仿真软件进行仿真模拟,投入实际工程应用后,证明此控制系统能够准确调节中间点温度,维持特定燃水比,稳定锅炉运行工况。

1 给水控制系统设计

1.1 硬件设计

本设计采用 SIEMENS S7-1500^[2] 系统平台,对小型燃气直流锅炉的控制系统进行控制层组态。系统硬件设计包括:电源模块 SITOP PSU100S、控制模块 CPU 1513-1 PN、模拟量输入模块 AI 8-U/I/RTD/TC ST、模拟量输出模块 AQ 4-U/I ST、数字量输入模块 DI 16-24VDC BA、数字量输出模块 DQ 16-24VDC BA 及操作员站 1 台。

操作员站通过以太网与控制模块和 I/O 数据模块进行通讯,读取现场汽水分离器出口温度和压力、主蒸汽温度、压力及给水流量等工况参数。控制系统按预先设计的控制程序进行操控,以保证燃料量和给水量配比准确地与锅炉需要的安全运行工况相适应。控制系统硬件网络如图 1 所示。

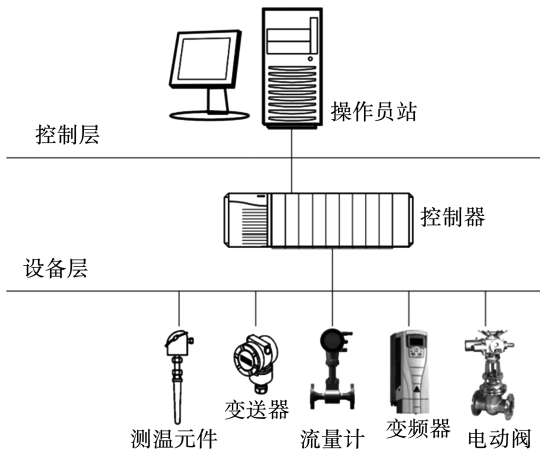


图 1 小型直流锅炉控制系统硬件网络图
Fig. 1 Hardware network diagram of small once-through boiler control system

1.2 监控画面设计

控制系统监控画面采用 SIEMENS 公司 TIA 博途^[2] 组态软件平台进行设计,由操作员站实现对小型直流锅炉的主蒸汽温度和压力、汽水分离器出口温度和压力、给水流量及燃烧负荷等信号的监控。操作员站设有“锅炉负荷设定值手操器”,可根据生产链实际运行需要,人为设定所需锅炉负荷。此套控制系统可以自动调整给水量与燃烧量的配比,同时还设计有用于给水流量控制的手动与自动模式切换功能,以便在操作过程中进行手动微调。小型直流锅炉汽水系统流程如图 2 所示。

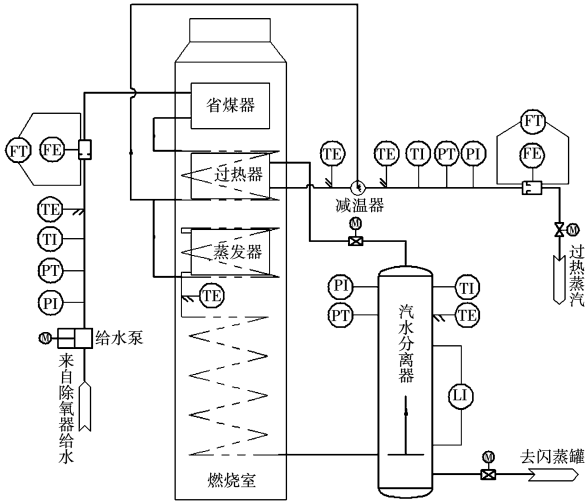


图 2 小型直流锅炉汽水系统流程图

Fig. 2 Flow chart of steam water system of small once-through boiler

1.3 方案设计

给水量是小型直流锅炉控制系统中的核心控制量,此类锅炉因容量小、蓄热能力差及给水量扰动将引起汽压、汽温以及蒸发量的变化^[3]。维持特定的燃水比以控制汽水行程中间某点温度的函数,是保持直流锅炉汽温稳定调节能力切实有效的手段^[3]。调节中间点温度的方法有两种,一种是给水量基本不变而调节燃料量,另一种是保持燃料量不变而调节给水量^[4]。前者是以给水为主的调节方法,后者称之为以燃料为主的调节方法^[5]。用燃料量控制汽温比用给水量控制汽温的延迟时间要长,直流锅炉通常采用调节给水流量来实现燃水比的控制。

本控制系统基于给水流量控制进行设计。在燃水比发生改变后,汽水流程中各点工质焓值和温度都会随之改变。为了稳定锅炉工况,需要选用一个既能快速而准确反映燃水比失衡情况,又便于采集传输的锅炉运行参数作为控制点。若采用过热器集箱出口汽温值作为控制点来调节燃水比,调节会过迟,锅炉很难保持稳定运行。因此,控制系统采用中间点汽温作为超前调节信号^[6-7],使调节更加稳定。因为中间点温度的特点是当过热度越小时,其变化的滞后性越小,即越靠近汽水行程的入口,其温度变化的惯性小。控制系统选用汽水分离器出口蒸汽温度作为中间点温度,因为其变化趋势与出口过热汽温一致,滞后时间也比过热汽温滞后时间短。这样,

既可以缩短水蒸汽温度产生的滞后时间,还可以对水冷壁的温度进行控制,从而保证水冷壁安全。中间点温度给水控制系统方案如图 3 所示。图中,SP1 为汽水分离器压力对应下的饱和温度值,PV1 为汽水分离器温度测量值,SP2 为给水量设定值,PV2 为给水量测量值。

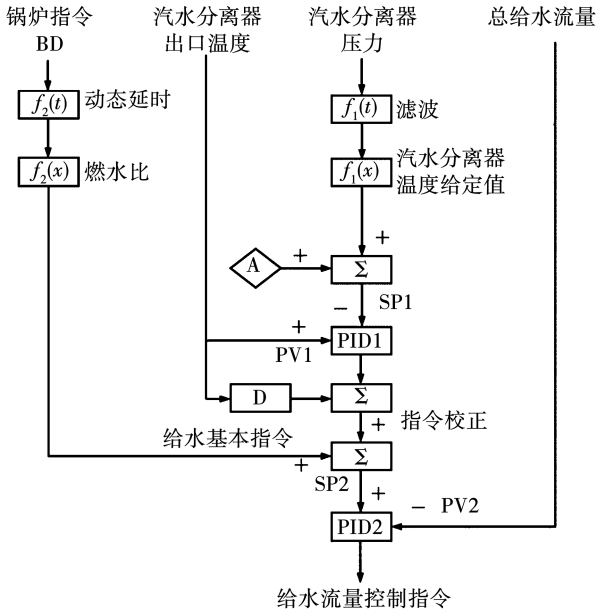


图 3 小型直流锅炉给水控制系统方案图

Fig. 3 Schematic diagram of feedwater control system of small once-through boiler

2 给水控制方案的验证

为验证控制方案的可行性和有效性,设计期间对中间点温度控制进行了仿真验证,控制原理如图 4 所示。图中, T_s 为中间点温度设定值, T_o 为温度控制输出。

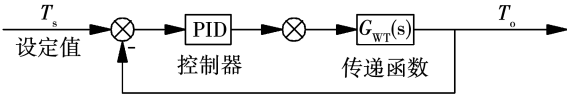


图 4 中间点温度控制原理

Fig. 4 Midpoint temperature control principle

使用控制系统的小型燃气直流锅炉参数如表 1 所示。由直流锅炉流量特性可知,锅炉压力越高,流量特性越稳定^[1]。在蒸发受热面的工作压力较高时,因蒸汽和水的比容差减小,在流量增加时工质平均比容减少量小,流量特性趋向单值稳定状态。压力对流量特性的影响如图 5 所示。由图 5 可知,当

锅炉蒸发器入口工作压力为 7 MPa 时,给水量不小于 7 t/h,可维持锅炉流量的单值稳定。

表 1 小型直流锅炉参数表

参 数	数 值
锅炉负荷/t · h ⁻¹	6
给水流量/t · h ⁻¹	7.2
给水温度/℃	104
蒸发器入口压力/MPa	7
汽水分离器出口压力/MPa	5.3
汽水分离器出口温度/℃	273
过热器出口温度/℃	400
过热器出口压力/MPa	5
天然气消耗量/m ³ · h ⁻¹	600
锅炉效率/%	92
排烟温度/℃	131

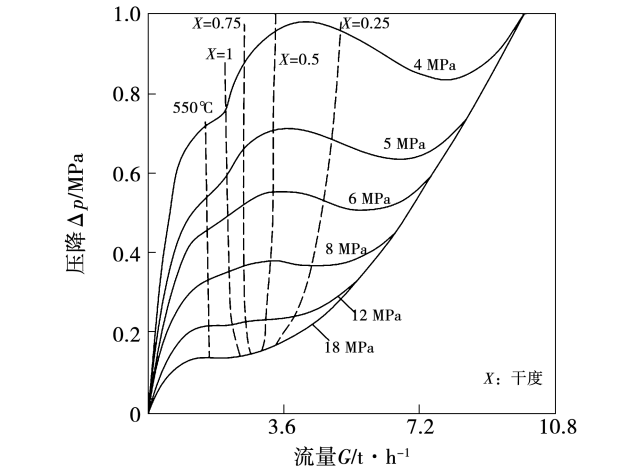


图 5 压力对流量特性的影响

Fig.5 Influence of pressure on flow rate characteristics

给水控制方案的中间点温度控制设定值可根据安托因公式求取：

$$\ln(p) = 9.387\,6 - 3\,826.36 / (T - 45.47) \quad (1)$$
式中: p —绝对压力,MPa; T —温度,K。

在 MATLAB 软件平台上应用 Simulink 控件对给水控制进行仿真模拟分析,经过系统辨识工具箱辨识,得到从给水量到中间点温度的传递函数：

$$G_{WT}(s) = \frac{0.417\,4s + 0.004\,642}{s^2 + 0.016\,91s + 0.000\,137\,1} \quad (2)$$

式中: $G_{WT}(s)$ —给水量到中间点温度的传递函数。

由 Simulink 分析得出中间点温度的拟合输出和实际温度曲线,如图 6 所示。由图 6 可知,分析的模型拟合率达到 79.57%,表明采用此系统控制中间点温度是可行的。小型直流锅炉给水控制系统仿真结构图如图 7 所示。

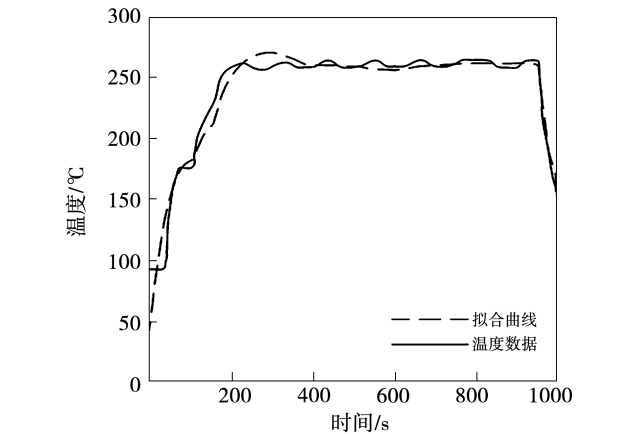


图 6 中间点温度的拟合曲线

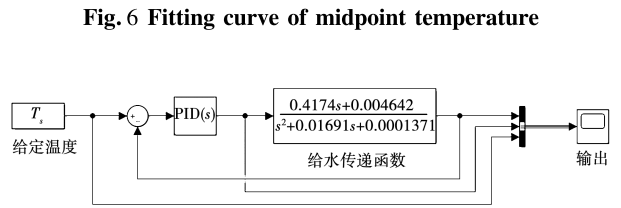


图 7 小型直流锅炉给水控制系统仿真结构图
Fig.7 Simulation structure diagram of feedwater control system of small once-through boiler

设置 PID 控制器参数为 $K_p = 0.28$, $K_i = 0.06$, $K_d = 540$, 给水控制中间点温度的响应曲线如图 8 所示。

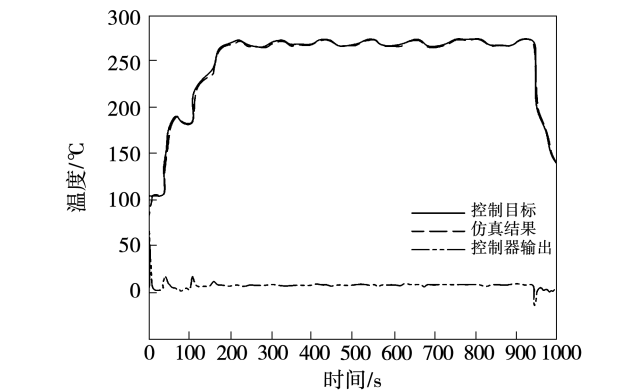


图 8 中间点温度响应曲线
Fig.8 Response curves of midpoint temperature

从图 8 可以看出,中间点温度的仿真结果输出和控制目标基本一致,说明控制系统可以及时消除中间点温度的偏差,保证锅炉给流量的稳定,并对锅炉负荷的变化有良好的适应能力,从而稳定系统的动态特性,提高小型直流锅炉控制系统的工作效率。

3 结 论

(1) 开发了基于 TIA 博途软件的小型直流锅炉给水控制系统,进行了给水控制系统的硬件设计、监控画面设计和控制方案设计。

(2) 构建了由给水流量到中间点温度的给水控制模型,通过模型仿真输出,实现了给水控制方案对中间点温度的准确控制。维持特定燃水比,稳定给水流量,保证了小型直流锅炉可靠性和运行安全。

(3) 控制系统已成功应用于某试验项目用小型高参数直流锅炉(负荷 6 t/h、压力 5 MPa、温度 400 ℃),现场使用效果反馈良好,具有一定的推广应用价值。

参考文献:

[1] 西安交通大学《直流锅炉》编写组. 直流锅炉[M]. 北京:水利电力出版社,1977.
Xi'an Jiaotong University 'Once-through Boiler' Writing Group. Once-through boiler[M]. Beijing: Water Resources and Electric Power Press,1977.

[2] 西门子(中国)有限公司. TIA 博途与 SIMATIC S7-1500 可编程控制器[M]. 北京:西门子(中国)有限公司,2021.

Siemens (China) Co.,Ltd. TIA and S7-1500 catalogue[M]. Beijing:Siemens(China) Co.,Ltd.,2021.

[3] 张朝阳,李卫华,宋兆星. 600 MW 超临界直流炉机组协调控制系统策略[J]. 华北电力技术,2007(1):24-28.
ZHANG Chao-yang, LI Wei-hua, SONG Zhao-xing. Control strategy of coordination control system of 600 MW unit with supercritical monotube boiler[J]. North China Electric Power, 2007(1):24-28.

[4] 尹 峰. 超(超超)临界机组主汽温控制系统控制传递策略研究与应用[J]. 华东电力,2009,37(4):644-647.
YIN Feng. Research and application of control transferring strategies for main steam temperature control in (ultra) supercritical units[J]. East China Electric Power,2009,37(4):644-647.

[5] 王丕洲,谷俊杰,秦达飞,等. 600 MW 超临界直流锅炉两种给水控制系统分析[J]. 电力科学与工程,2013,29(4):64-69.
WANG Pi-zhou, GU Jun-jie, QIN Da-fei, et al. Analysis of the two feed water control system of 600 MW supercritical once-through boiler[J]. Electric Power Science and Engineering,2013,29(4):64-69.

[6] 俞成立. 超(超)临界机组中间点温度过热度控制策略[J]. 中国电力,2008,41(7):60-64.
YU Cheng-li. Control strategies for the superheat degree of intermediate point temperature in ultra-supercritical power units[J]. Electric Power,2008,41(7):60-64.

[7] 樊泉桂. 1 000 MW 超超临界锅炉中间点温度和汽温控制[J]. 动力工程,2007,27(3):332-335.
FAN Quan-gui. Temperature at intermediate points of a 1 000 MW ultra-supercritical boilers and their steam temperature control[J]. Journal of Power Engineering,2007,27(3):332-335.

(刘 颖 编辑)