

## 动力技术

# 锅炉汽包水位波动成因分析及解决方案

刘亚坤

(中冶京诚(营口)中试基地, 营口 115004)

**摘 要** 中冶京诚(营口)中试基地锅炉房为全厂生产提供蒸汽保障。其中3台国产锅炉存在汽包水位控制问题,经常造成锅炉误动作停炉,影响生产。提出了一种解决方案,即利用现有设备,调整自动化系统多个参数及相关工艺过程。改造后,既节约了资金,又保证了锅炉生产稳定,创造了长期的经济效益。

**关键词** 锅炉 水位 调节阀 PID 控制

**中图法分类号** TK223.12; **文献标志码** B

中冶京诚(营口)装备技术有限公司锅炉房是该厂重要的生产单位,锅炉系统为全公司正常生产提供基本保障。其产出的中压蒸汽提供给炼钢厂VD真空精炼炉、VC真空精炼炉生产,低压蒸汽为制氧站、液化气站、制气厂、锻造厂、铆焊厂及办公楼等单位提供生产用气及采暖用气。锅炉系统为全公司正常生产提供基本保障。

锅炉房目前拥有25 t低压锅炉两台、12 t中压锅炉2台(其中1台为进口LOSS炉)。由于前期设计因素,锅炉房中的3台国产锅炉汽包液位测量方式为差压变送器通过双室平衡容器测量。每台锅炉汽包由两台供水泵(一备一用)供水。最初的液位控制方式:主控室PID调节仪根据汽包水位,输出4~20 mA信号控制给水调节阀控制,由于调节阀频繁损坏。因此将液位控制方式调整为由主控室仪表盘锅炉汽包水位控制PID调节仪输出启停信号,调节阀手动全开,汽包水位达到低限0 mm起泵,水位高限100 mm停泵,控制汽包水位。但汽包蒸发量经常有瞬间大幅度变化,导致汽包液位测量值的误差(假水位),造成锅炉保护低水位停炉误动作,影响生产。而进口的LOOS炉,采用了比同样产气量国产锅炉炉体容量大一倍的炉容,加上相对更

加精准的测控系统,其给水调节较为稳定,汽包水位亦较为稳定。

目前,解决此类问题的方案很多,我们也针对此问题提出了多种解决方案,如改用两参数或三参数组合PID调节仪控制调节阀;改用气动调节阀;或换用电容式液位计控制液位,避免假水位造成停炉;或者将需要的信号直接改造到PLC中控制等。这些方案均需要较大的费用投资,且改造期间影响锅炉正常生产。本文讨论的方案旨在研究,利用现有设备,不增加设备及费用的前提下,不影响锅炉正常生产,提出针对性方案,对系统进行改造,满足工艺要求。

## 1 测量原理

差压变送器测量汽包水位的原理是通过测量一段未知高度的水柱压力,再通过已知水的密度推算水柱的高度(图1)。

在标准状态下,水的密度 $=1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ,但在汽包的工作状态下,汽包内水的密度和汽包内的温度、压力是密切相关的。根据公式 $P = \rho g H$ 计算可以得出在低压锅炉工作压力(0.30~0.55 MPa)下的水位变化如表1<sup>[1]</sup>。可以看出在低压范围内,密度对液位的影响十分微小。

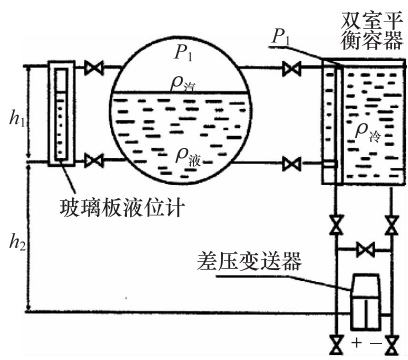


图1 差变通过平衡容器测量锅炉汽包水位

表1 不同温度压力下密度液位的关系

| 温度/℃ | 压力/kPa | 密度/<br>( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) | 显示液位<br>/mm | 实际液位<br>/mm |
|------|--------|--------------------------------------------|-------------|-------------|
| 120  | 198.54 | 0.942 8                                    | 395.976     | 420         |
| 140  | 361.38 | 0.925 9                                    | 388.878     | 420         |
| 160  | 618.1  | 0.907 3                                    | 381.066     | 420         |

2 蒸发量变化对水位的影响

当锅炉蒸发量急剧增加时,锅炉管道过热度较大,管内逐步有气泡产生,系统空泡率增加,使得汽水容积增加,导致汽包水位上升<sup>[2]</sup>。由于现有系统水位信号未接入 PLC 所以系统没有水位趋势。但由图2 我们可以推断出水位和蒸发量的关系。图2 为改造后投用给水调节阀时的趋势。如图所示,当蒸发量上升时,即“几”形的前沿,给水量急剧下降,由于该系统采用汽包液位单信号控制给水量,因此给水量下降,说明汽包水位上升。即蒸发量增加,汽包水位上升。实际测得液位变化:蒸发量在1 min 内由12 t/h 上升到19 t/h 时,液位升高82 mm ~ 173 mm,正常情况下蒸发量升高3 t/h 左右,液位升高30 mm ~ 53 mm。这将使水位远高于中水位,高水位报警,蒸汽带水,影响蒸汽质量。

随着产气量的增加,水中含气率也急剧增加,锅炉本体及上升管内均为汽水混合物,因而造成水容积的急剧膨胀,当系统含气率增加而造成的水容积增加量与汽包外排蒸汽量相当时,汽包水位不再

上升,即“几”字形的水平段。

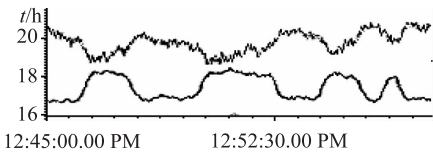


图2 蒸发量(下)与给水量(上)

当锅炉蒸发量急剧减小时,锅炉本体温度快速降低,水中含气率快速下降,即“几”字形的下降沿,如图2 所示,同上升道理相同,过程相反。实际测得液位:蒸发量由19 t/h 降至12 t/h 时,液位波动80 mm—173 mm,正常情况下蒸发量波动3 t/h 左右,液位下降32 mm—50 mm。此时如果锅炉给水泵未运行,即造成低水位报警,如蒸发量变化过快即会低水位停炉,造成生产事故。

3 给水控制

根据现场实际情况,锅炉给水控制存在以下几个问题。

3.1 调节阀的问题

锅炉给水控制主要靠给水调节阀调节给水。由于蒸汽流量的不稳定及汽包水位的波动,造成给水调节阀的频繁动作,同时调节阀前后差压变化大,对调节阀的使用寿命造成很大的影响,这就是生产前期调节阀频繁损坏的主要原因。

3.2 间歇给水的问题

此后改为间歇式给水。此方案也有诸多不利影响:汽包水位波动大影响供气质量及锅炉安全运行。锅炉水位过高,会出现蒸汽带水,水位较低,因负荷突然变化造成假水位,会造成调节系统误动作停炉。频繁启停水泵,特别是冬季采暖期锅炉满负荷运行,平均2—3 min 启停水泵一次,影响设备寿命,同时对电网造成一定的冲击。如果给水泵不关闭,给水再循环管路就需要一直开启,25% ~ 30% 的给水流量回流到除氧器,造成给水效率的下降及能源的浪费。汽压温度不稳,给水泵运行时,水位上升,温度下降,汽压下降,反之亦然。

### 3.3 给水压力的问题

使用调节阀不当,当阀开度减小时,阀前压力升高,调节阀前后压差达 0.7 MPa 以上,使水泵的振动和磨损加大,寿命缩短。

### 3.4 PID 调节仪的问题

目前使用的 PID 调节仪不具备死区调节功能,因调节阀死区调节精度 $\leq 1\%$ ,因此调节精度过高将导致调节阀频繁动作,加速阀体损坏。

## 4 解决方案

针对以上问题,我们在不断实践中,摸索出解决方案。为确保调整过程中不影响生产,我们按如下步骤对系统进行调整。

1) 汽包供水调节阀旁通阀全开,使汽包可以通过旁通阀补水,保证调整时正常生产。

2) 打开汽包供水泵出口回流阀,开度 5%。控制管道压力在允许范围。

3) 不改变汽包供水泵正常运行状态,通过下一步的调整使其可以连续运行。解决频繁启停水泵的问题。

4) 调整锅炉汽包水位控制 PID 调节仪参数。这一步是本次解决的关键步骤,也是最耗费时间的步骤。很多相关专业文献中均有调整方法:计算法或试凑法,此处不再赘述。本文使用试凑法进行调整。值得一提的是,F&B 的 PID 调节仪的比例系数越大,系统响应速度越慢,这点与其他仪表正好相反,因此调整 P 值时走了很多弯路。因为本系统使用的 PID 调节仪不具备死区调节功能,我在调整过程中引入了微分调节(一般控制系统不常用),这样可以在系统出现较大水位偏差时快速大幅度调整阀门开度确保大扰动下的快速响应,即减少超调和响应时间。由于以上几点原因,加之调整过程要配合生产进行,整个调整过程耗时 1 周时间。调整后的 PID 参数分别为 110、70、800。可以保证汽包液位稳定在允许范围,即保证调节阀调整过程中不会因超调导致汽包供水泵频繁启停,也不要使调节阀动作过于频繁。同时设置阀门开度最小值为 5% 保

证阀门不会全关,避免引起阀体前后压差过大。由于锅炉小负荷运行时不会出现任何水位波动引起的问题。因此在小负荷(蒸发量小于 3 t/h)时使用启停给水泵控制锅炉水位。观察给水流量,适当控制给水调节旁通阀控制给水流量最小值在 3 t/h 左右,保证蒸发量小于 2 t/h 左右时(具体流量视需求而定调整给水量最小值)水位会上升至停泵水位,从而实现锅炉小负荷运行时使用启停给水泵控制锅炉液位,以节约能源,减小调节阀损耗等。

5) 调整汽包供水调节阀执行器参数,使其可以在出现故障时全开,保证系统紧急情况时的安全;降低执行器的灵敏度到 1%,最大程度降低调节阀动作频率。

6) 继续调整锅炉汽包水位控制 PID 调节仪起停泵参数。分析:汽包水位量程为 -180(RG.00) ~ 250 mm(RG.FS),汽包中水位为 35 mm,因此起泵水位设置为 42 mm(LO.AL),停泵水位 70 mm(HI.AL)回差 2(HYST)。假如汽包达到停泵水位停泵,当水位下降到 40 mm 时起泵,锅炉水位由于惯性会下降至约 35 mm 左右,有利于减少超调,减少调节时间。

## 5 改造后的效果

改造后阀门动作频率:正常情况大于 6 s/次、蒸发量大幅度波动大于 2 s/次。

试验一:阀门全开 100%;水位设置到最高 70 mm;目的,试验阀门能否在最大扰动下将水位调回中水位。结果:经过 2 次停泵后,阀经过 10 min 调回中水位。最大偏差时实际水位 75 mm。试验过程中蒸发量为 18 t/h ~ 20 t/h。

试验二:阀门最小开度 5%;水位设定最高 70 mm;目的,试验阀门能否在最大扰动下保证水位不会低于报警水位(-50 mm)。结果:水位 40 mm 时起泵,阀门开度 12%,起泵时流量 19.6 t/h,试验时蒸发量 18.7 t/h,最大偏差时实际水位 20 mm,2 min 后水位调整至中水位。

(下转第 6723 页)

# Research on Brushless DC Motors Based on Self-adaptive Fuzzy PID Control

JIANG Xu-yi, WANG Li-biao

(Faculty of Mechanical Engineering, Taizhou University, Taizhou 318000, P. R. China)

[**Abstract**] In order to improve the control motor speed of steady state and dynamic characteristics because of brushless DC motor has highly nonlinear characteristics, a self-adaptive Fuzzy-PID control for the brushless DC motor is design, and with traditional PID control compared by simulink simulation of MATLAB/Simulink platform. The results show that self-adaptive Fuzzy-PID control improve the speed of response ability, reduce the overshoot and torque ripple, which has high robustness.

[**Key words**] brushless DC motors self-adaptive fuzzy PID robustness

(上接第 6719 页)

试验三:观察运行过程中的液位变化与蒸发量变化关系。蒸发量由 19 t/h 降至 12 t/h 时,液位波动 18 mm~62 mm,波动量小于  $\pm 28$  mm。正常情况下蒸发量波动 3 t/h 左右,液位波动 25 mm—48 mm。波动量小于  $\pm 13$  mm。

现有设备,开发设备潜在能力,节约资金。改造后至今已运行 5 个月,运行稳定,可以克服原控制方式的诸多不利影响。保证了锅炉的稳定运行,创造了长期的经济效益。

## 参 考 文 献

- 1 蒋思敬,姚士春. 压力计量. 北京:中国计量出版社. 1991
- 2 王 森. 仪表常用数据手册. 北京:化学工业出版社. 1998

## 6 结束语

本项目旨在“花最少的钱,办最大的事”。利用

# The Reason and Solution of Boiler Steam Drum Water Fluctuation

LIU Ya-kun

(CERI Yingkou Equipment Development and Manufacturing Co., Ltd, Yingkou 115004, P. R. China)

[**Abstract**] CERI Yingkou Equipment Development and Manufacturing Co., Ltd boiler factory supply steam for manufacture. The boiler factory has 4 boilers now, 3 of them are made in China, they has some problems at steam drum water fluctuation. Sometimes its cause the boiler emergency stop. The essay discuss one of the solution that use the existing equipment. The solution only adjust some parameter of automatic system and change some process engineering. Using this solution not only save the money but insure the boiler steady running. Long time economic benefits is gained.

[**Key words**] boiler water level regulating valve PID control