

1 综合设计题目概述

1.1 系统原理概述

1.1.1 汽包水水位控制原理

汽包水位是锅炉稳定运行的重要参数之一。在稳定状态下, 汽包水位应该围绕设定值的有小范围内波动, 即 $|\text{实际值}-\text{设定值}| \leq \varepsilon$, ε 是稳定状态时可接受的汽包水位波动最大允许值。因此我们设想当汽包水位下降时, 增大供水流量。当汽包水位上升时, 减小供水流量。

而实际上, 因为“虚假水位”^[1] 现象的存在, 当锅炉负荷突然增大时, 汽包压力下降, 水下的汽泡容积增加, 汽泡体积膨胀而使水位呈现上升趋势。当压力维持稳定以后 (锅炉燃烧产生的蒸汽量等于汽机的用汽量), 水位又开始下降, 此时不增加供水量, 汽包水位会一直下降。

因此我们还需增加一个控制量, 即供水流量。当供水流量信号等于蒸汽流量信号时, 水位保持不变, 此时, 阀门 2 开度正好处于一个保持系统平衡的位置。而当锅炉负荷突然增大时平衡破坏, 蒸汽流量信号大于供水流量信号, 将阀门 2 开大, 增大给水流量的值, 以此抵消“虚假水位”。当锅炉负荷下降时, 即蒸汽流量信号小于供水流量信号时, 则关小阀门 2, 以适应新的负荷所需要水位的流量, 直到系统达到新的平衡为止。也就是说实际水位、设定水位、蒸汽流量信号、供水流量信号这四个量应满足下面的动态稳定关系式^[2]:

$$I_H = I_h + I_W - I_D$$

其中 I_H 为汽包实际水位值, I_h 为汽包水位设定值, I_W 为给水流量信号 I_D 为蒸汽流量信号。

1.1.2 汽包水水温控制原理

汽包温度也是锅炉稳定运行的一个重要参数。锅炉汽包在正常工作时, 汽包中的水是饱和水^[3], 汽包中的气压决定了饱和水的温度。当锅炉负荷突然增大时, 蒸汽流量增大, 汽包压力下降, 自然汽包水温下降, 低于设定水温值, 此时开大阀门 1, 汽包水蒸发加快, 气压升高, 水温也得以升高。为了使汽包水温维持恒定, 实际水温、设定水温、燃料流量信号、蒸汽流量信号这四个量应满足下面的动态稳定关系式:

$$I_T = I_t + I_r - I_D$$

其中 I_T 为汽包实际水温值, I_t 为汽包水温设定值, I_W 为燃料流量信号 I_D 为蒸汽流量信号。

为了保障锅炉安全稳定的运行, 锅炉温度也应是影响汽包水温控制的一个因素。在锅炉运行的安全温度范围内, 锅炉温度参数不参与控制, 而当锅炉温度超过某一安全值时, 锅

炉参数将减少燃料流量。其关系式如下：

$$L_g = \begin{cases} 0, & \text{锅炉温度在安全值范围内} \\ \alpha(T_g - T_s), & \text{锅炉温度超出安全值} \end{cases}$$

其中 L_g 为锅炉参数对燃料流量的抑制量。 α 为危险系数，若对锅炉安全要求高，则危险系数也越大。 T_g 为锅炉实际温度值， T_s 为锅炉安全稳定运行的最大温度值。

另外考虑到锅炉汽包装置运行的地点、季节、时间的差异，其供水水温也是大有不同。较高的供水水温可以减少燃料流量，相反较低的供水水温则需要更多的燃料流量。供水水温和燃料流量的关系式如下：

$$L_w = k(T_w - T_o)$$

其中 L_w 为供水水温对燃料流量的抑制量， k 为加热 1°C 所需燃料的量， T_w 为供水水温， T_o 为一个设定水温。

1.2 系统测控要求

根据锅炉汽包水控制系统的要求，我们需测量的参数如表 1 所示。

表 1: 锅炉汽包水控制系统测控参数要求

所需检测参数	范围	要求精度
汽包温度 T_1	$200 \sim 500^\circ\text{C}$	$\pm 0.1^\circ\text{C}$
锅炉温度 T_2	$800 \sim 1000^\circ\text{C}$	$\pm 1^\circ\text{C}$
供水水温 T_3	$0 \sim 100^\circ\text{C}$	$\pm 1^\circ\text{C}$
水蒸汽温度 T_4	$200 \sim 500^\circ\text{C}$	$\pm 1^\circ\text{C}$
汽包液位 L	$0 \sim 1.8\text{m}$	$\pm 0.01\text{m}$
汽包压力 P_1	$0 \sim 3\text{MPa}$	$\pm 0.1\text{MPa}$
燃料流量 Q_g	$0 \sim 50\text{m}^3/\text{min}$	——
出口蒸汽流量 Q_v	$0 \sim 100\text{m}^3/\text{min}$	——

2 系统测控方案说明



2.1 传感器选型

根据表 1中所测参数的范围、精度选择了合适的传感器，传感器具体参数如下。

表 2：传感器选择

所需检测参数	型号	测量范围	允许误差/精度	照片	输出信号类型
汽包温度 T_1	<i>MFT-3</i> 温度传感器	0~598 ℃	±1 %		电动势
锅炉温度 T_2	<i>Vipdrň-310</i> 温度传感器	0~1300 ℃	±1 %		电动势
供水水温 T_3	<i>MJL</i> 温度传感器	-20~200 ℃	±1 %		电阻
水蒸汽温度 T_4	<i>MFT-3</i> 温度传感器	0~598 ℃	±1 %		电动势
汽包液位 L	<i>WMSR-OL-22</i> 液位传感器	0~200m	0.5mm		电压
汽包压力 P_1	<i>QDW90A-N</i> 压力变送器	-100KPa~ ~60MPa	0.2		电流

续表 2:

所需检测参数	型号	测量范围	允许误差/精度	照片	输出信号类型
燃料流量 Q_g	LUGB 涡街流量计	0~10000m ³ /h	1.5		电流
出口蒸汽流量 Q_v	LUGB 涡街流量计	0~10000m ³ /h	1.5		电流

2.2 系统控制方案

2.2.1 汽包水位控制方案

根据汽包水位的原理分析，我们可以将汽包水位和供水流量作为两个控制量，对于两个及两个以上的控制量应选择串级结构控制。把蒸汽流量作为外部扰动变量，同时为了抵消“虚假水位”和对扰动起超期响应，应采用前馈结构。因此作汽包水位的控制框图如下：

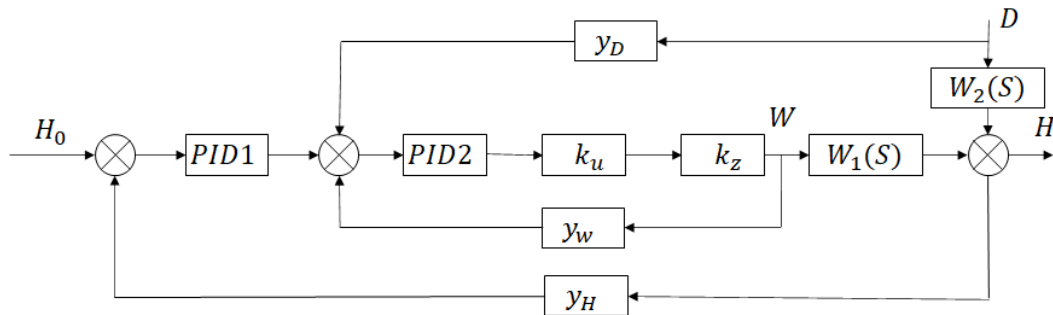


图 1: 汽包水位控制框图

其中 H_0 : 汽包水位设定值 H : 汽包水位实际值, W : 供水流量, D : 蒸汽流量,

y_D, y_W, y_H : 蒸汽流量、水流量、汽包水位变送器系数

k_u, k_z : 阀门 2 的阀门开度, 阀门 2 比例系数 (阀门开度与水流量的关系)

$W_1(S), W_2(S)$: 供水、蒸汽扰动下的水位变化传递函数

由汽包水位变送器、外回路调节器 PID 和内回路组成的外回路, 其作用是校正水位偏差, 使水位等于设定值。由阀门 2、内回路调节器 PID、供水流量变送器构成的内环路, 其作用是校正供水量偏差, 使供水流量等于设定值。采用以蒸汽流量为前馈信号的前馈控制, 其作用是使给水量很快跟踪蒸汽流量的变化, 克服虚假水位现象引起的水位过大波动。 W_1, W_2 这两个传递函数则是将供水流量信号、蒸汽信号转换为水位信号。

2.2.2 汽包水温控制方案

根据汽包水温的原理分析, 我们将燃料供应量和汽包水温作为控制量, 蒸汽流量、供水水温、锅炉温度作为扰动量, 由此采用前馈-反馈结构。

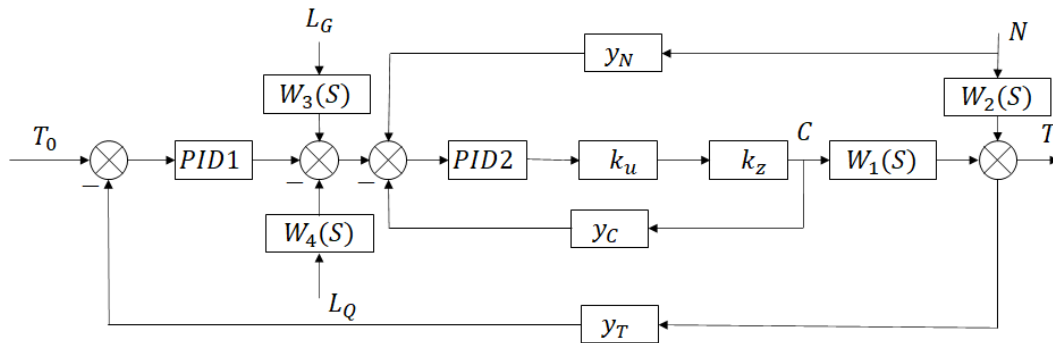


图 2: 汽包水温控制框图

其中 T_0 : 汽包水温设定值, T : 汽包水温实际值, C : 燃料流量, N : 蒸汽流量

L_G, L_W : 锅炉参数对燃料流量的抑制量, 供水水温对燃料流量的抑制量

y_N, y_C, y_T : 蒸汽流量、燃气流量、汽包水温变送器系数

k_u, k_z : 阀门 1 开度, 阀门 1 比例系数 (阀门开度与燃气流量的关系)

$W_1(S), W_2(S)$: 燃气、蒸汽流量扰动下的汽包温度变化传递函数

$W_3(S), W_4(S)$: 锅炉温度、供水温度影响燃气流量的传递函数

由汽包温度变送器、外回路调节器 PID 和内回路构成的外回路, 其作用是校正水温偏差, 使水温等于设定值。由阀门 1、内回路调节器 PID、燃料流量变送器构成的内环路, 其作用是校正燃料流量的偏差, 使燃料流量等于设定值。采用以蒸汽流量为前馈信号的前馈控制, 其作用是使给水量很快跟踪蒸汽流量的变化, 提前克服干扰。 W_1, W_2 这两个传递函数则是将燃料流量信号、蒸汽信号转换为水温信号。 L_G, L_W 则是锅炉温度、供水水温对燃料流量的给定量产生直接影响。

2.3 锅炉汽包的整体测控方案

根据传感器的选型和汽包水位、水温的控制框图，我们做出锅炉汽包的整体测控方案如图 3所示。使用安捷伦采集仪将各传感器参数传送给 RS485 转换卡，在与计算机进行交互后，将参数传输给 PID 控制仪表，从而控制电动阀 1、2 的开度。

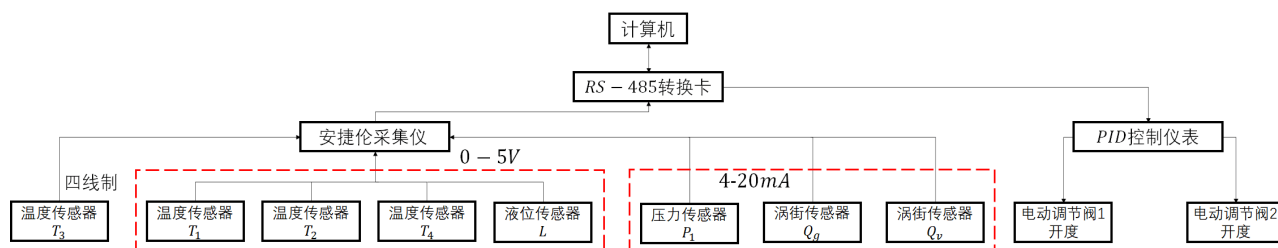


图 3: 锅炉汽包水位、水温的整体测控方案

3 系统组态王软件说明

3.1 组态王软件监控画面说明

使用组态王搭建后的画面如图 4所示。该装置主要由燃料储藏柜、水箱、阀门、锅炉以及汽包组成。画面右边是各参数的控制面板，传感器参数显示面板，装置的启停按钮。

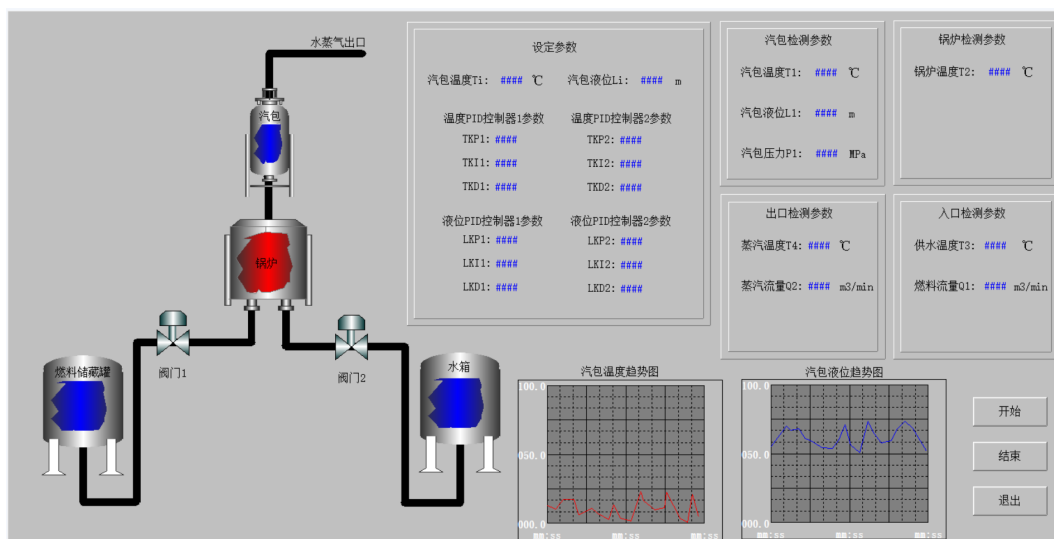


图 4: 组态王界面

3.2 组态王软件主要功能

通过组态王软件, 并与控制系统串口进行连接后, 可以将系统的传感器参数进行可视化输出, 通过算法, 可以在上位机完成控制器参数的计算, 返回给控制系统, 达到控制的目的。

4 总结

我们首先分析了汽包水位控制和水温控制的原理, 并以此建立了锅炉汽包系统的控制方案。再根据测控要求选择了我们所需要的传感器型号, 并建立了锅炉汽包的整体测控方案。最后借助组态王软件搭建了该装置, 使其更形象的展示出来。

5 参考文献

- [1] 刘远超, 尹洪超, 赵亮. 220t/h 循环流化床锅炉汽包水位三冲量调节的分析与整定 [J]. 节能技术, 2005(04): 335-338+361.
- [2] 张子才, 龚争理, 黄良沛, 王少力. 锅炉汽包水位串级三冲量控制系统设计与应用 [J]. 国外电子测量技术, 2011, 30(04): 43-46+53.
- [3] <https://zhidao.baidu.com/question/238389811.html>

6 附录

学号	姓名	互评得分 (满分 10 分)
17061733	杨汶	9.5
17061722	李世鹏	9.5
17062030	张全震	9.5
17061205	蔡嘉庆	9.5
17202207	刘小娟	9.5