

# 智能优化控制在循环流化床锅炉上的应用

和 斌

(山西兰花科技创业股份有限公司新材料分公司)

**摘 要:**针对循环流化床锅炉存在滞后大、煤质变化明显、外界干扰严重、供汽负荷变化频繁、多回路强耦合以及部分传感器测量偏差等特点导致其控制难度大,各控制回路难以投入自动的情形,新材料分公司引入了循环流化床锅炉智能控制系统,结合自适应预估控制技术、软测量技术及先进的故障诊断技术实现锅炉优化稳定运行,长期自控率大于90%,安全性明显改善。燃烧参数的精确控制,减少炉内温度波动和颗粒浓度的变化,从而降低锅炉的磨损和腐蚀。

**关键词:**循环流化床;锅炉;智能优化;自适应控制;故障诊断

## 1 引言

新材料分公司两台150t/h的循环流化床锅炉全天候运行。锅炉系统采用DCS控制,但由于锅炉燃烧过程属于典型的非线性过程,此外该过程存在滞后大、煤质变化明显、外界干扰严重、供汽负荷变化频繁、多回路强耦合以及部分传感器测量偏差显著等特点导致其控制难度大,燃烧过程自动化控制难以投入运行,目前大多数工艺参数处于手动调节状态,无法达到精确控制及精细化操作的实现。为此新材料分公司引入了循环流化床锅炉智能控制系统,通过智能优化控制技术

的研发与应用从而提高锅炉运行过程的稳定性及燃烧过程的效率。单台锅炉优化了风煤配比,实现了炉膛负压、主汽温度、主汽压力、床温、氧量及床压的精确控制。两台锅炉之间实现负荷协调控制,增强系统的抗干扰能力,快速响应负荷变化。从而降低操作人员劳动强度,降低运行成本。

## 2 主要控制方案

### 2.1 主汽压力-给煤控制

主汽压力控制需求调整总给煤量,再将总给煤量设定增量均衡分配至2台给煤机(投运前各

给煤机控制指令跟踪 DCS 给煤机设定指令)。由于主汽压力控制具有较大时间滞后, 主汽压力-给煤先控系统采用 IFAP 控制(无辨识自适应预估控制), 控制器根据主汽压力预估量, 而不是主汽压实时测量值进行调控。燃烧控制框架示意图如图 1 所示。

## 2.2 一次风机电流控制

根据风煤配比要求控制一次风量确保床层流化, 由于目前生产工艺及锅炉负荷变化时对一次风调节较少, 目前方案为操作人员给定一次风机电流设定值后, 控制系统自动控制一次风机液耦实现, 一次风电流控制示意图参见图 2。

## 2.3 二次风-氧量控制

二次风-氧量控制确保燃烧所需氧量, 控制变量为过热器后烟气氧含量, 控制器调整对象为二次风机液耦指令, 另外也增加了一个操作人员氧量给定值的设定模块, 操作人员可以根据实际运行工况对氧量设定值进行设置。氧量先控系统根据氧量控制指标自动调节二次风机液耦控制指令, 控制系统框架如图 3 所示。

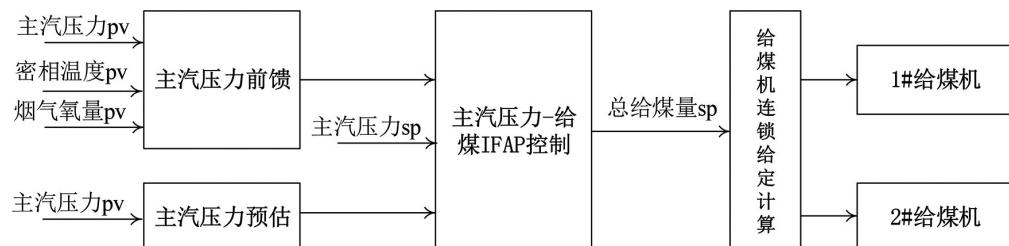


图 1 主汽压力-给煤控制回路

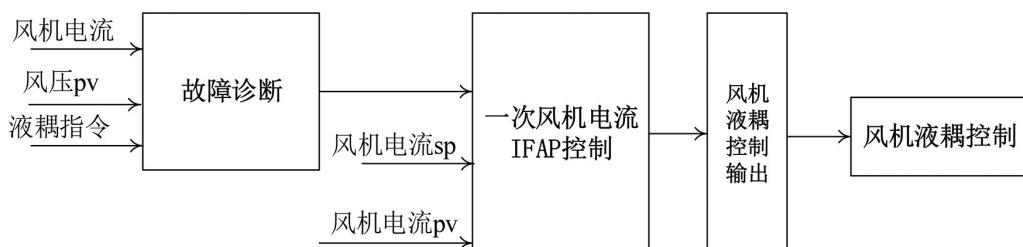


图 2 一次风机电流控制

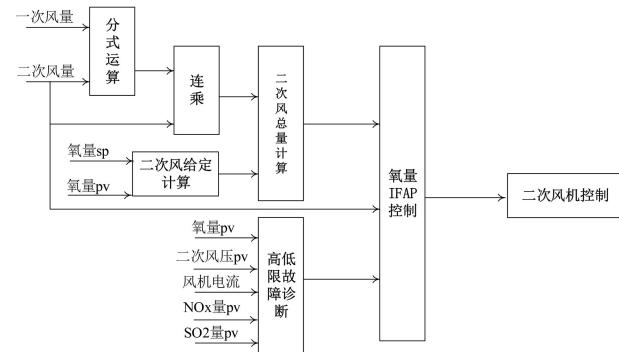


图 3 二次风机控制

## 2.4 引风-负压控制

炉膛负压采用单回路控制方式, 引风-负压控制方案如图 4 所示, 使用自适应控制器, 采用炉膛负压测量值作为控制系统的 pv 值(被控), 未投入智能优化控制方案时, 控制输出跟踪 DCS 的引风机液耦控制指令, 投入智能优化控制方案后系统输出引风机控制指令。加入一、二次风量控制指令作为前馈信号, 使控制系统可以提前动作应对负荷扰动。

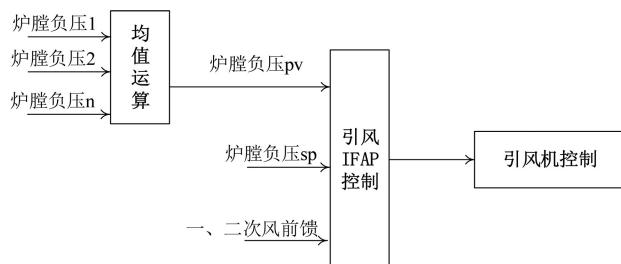


图4 引风-负压控制

## 2.5 床压控制

床压采用单回路控制方式,通过调整冷渣器速度指令控制床压;通过对床压多个测点计算平均值作为被控信号。床压控制存在滞后,加入预估控制技术。此外,床压给定和过程值将设上下限限制。床压控制如图5所示,投运后控制系统根据床压测量值与设定值偏差给出冷渣机调控指令。

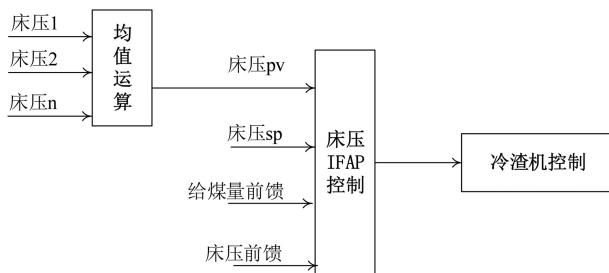


图5 床压控制

## 2.6 一级减温控制

蒸汽温度采用喷水减温的方式,喷水点布置在高、低过热器入口集箱前,由于此处距过热器出口较远,即调节喷水减温时滞后较大,调节灵敏度低难以维持汽温稳定。该控制回路采用负反馈控制,主要根据低温过热器出口主汽温度与主汽温度给定值的偏差来调节喷水减温阀控制指令,确保低过出口主汽温度在工艺要求的范围内,控制方案如图6所示。

## 2.7 二级减温控制

二级减温控制与一级减温控制方案类似,控制方案如图7所示。

## 2.8 负荷协调控制

负荷协调系统结合2台锅炉运行时主蒸汽压力、床温、负荷、燃烧控制投运等数据,协调计算投运燃烧控制(主蒸汽压力)先控回路的锅炉的运行负荷参数,下达负荷协调指令给相关锅炉的先进控制逻辑,再由先进控制逻辑利用负荷协调指令修正当前的给煤操作指令,负荷协调指令相当于给当前锅炉的燃烧先控再加上了一层限制,达到负荷均衡投运的目的。负荷协调逻辑运行后,自动根据2台锅炉运行的实时数据信息自动平衡负荷,只要2炉均投运燃烧控制回路就自动

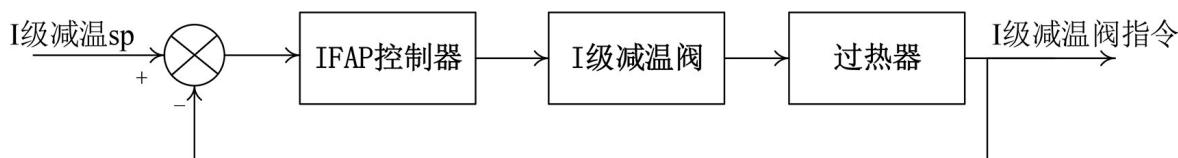


图6 I级减温控制



图7 II级减温控制

加入负荷协调控制,燃烧控制回路切换到手动后自动退出负荷协调控制。

### 3 控制效果

#### 3.1 主汽压力控制效果

如图8所示,#1炉燃烧控制(主蒸汽压力)1小时投运效果,棕色线为负荷变化曲线。红色曲线为压力过程值。该过程煤质有较小的波动,压力控制偏差0.25MPa,系统控制误差(均方差)为0.06,满足技术协议要求的指标。由于煤质变化导致床温变化为+5℃,床温变化率小于3℃/分,数据统计结果如表1所示系统满足运行要求。

表1 #1炉1小时燃烧控制指标统计  
(智能优化控制投运率=100%)

	信号名称	平均值	最大值	最小值	均方差
1	主蒸汽流量	99.95	101.37	98.28	
2	总给煤量	15.66	16.01	15.36	
3	主汽压力设定值	8.5	8.5	8.5	
4	主汽压力过程值	8.608	8.75	8.47	0.06
5	床温平均值	914	923.7	910.8	

#1炉燃烧控制(主蒸汽压力)8小时投运效果如图9,棕色线为负荷变化曲线。黑色为给煤量曲线,红色曲线为压力过程值。煤质波动和外界负荷变化均存在,主汽流量变化10t/h,压力控制偏差最大0.45MPa,系统控制误差(均方差)为

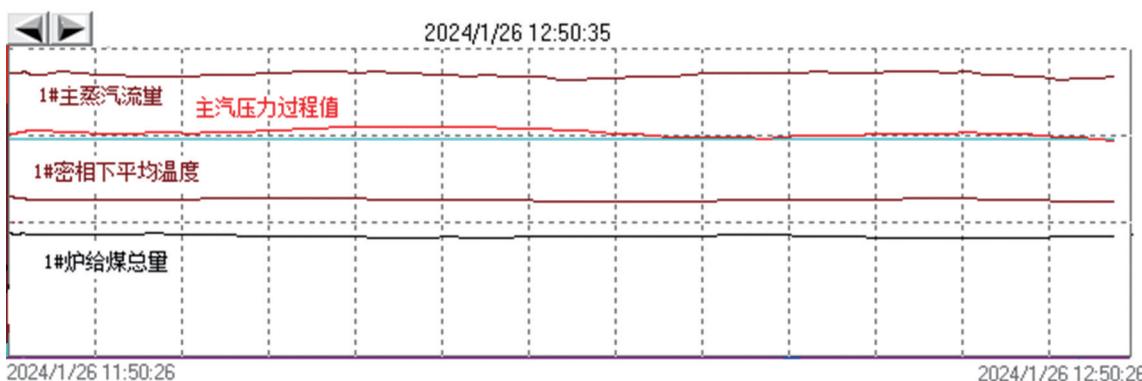


图8 #1主汽压力1小时控制效果

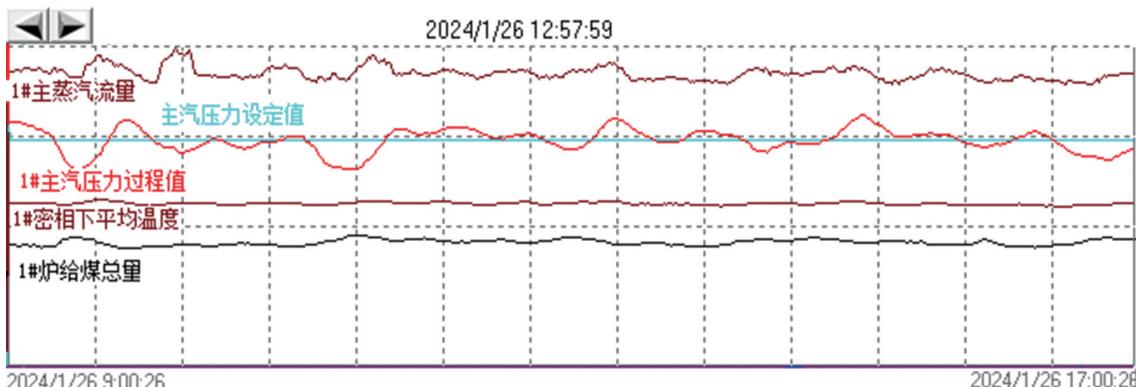


图9 #1主汽压力连续8小时控制效果

0.1769。煤质变化导致床温变化 $+2^{\circ}\text{C}$ ,床温变化率小于 $3^{\circ}\text{C}/\text{分}$ 。数据统计结果如表2所示,结果表明系统满足运行要求。

**表2 #1炉连续8小时燃烧控制指标统计  
(智能优化控制投运率=100%)**

	信号名称	平均值	最大值	最小值	均方差
1	主蒸汽流量	99.88	108.67	95.998	
2	总给煤量	15.47	16.37	14.75	
3	主汽压力设定值	8.51	8.8	8.5	
4	主汽压力过程值	8.508	8.8975	8.059	0.1769
5	床温平均值	912.1	931.7	898.5	

### 3.2 一次风控制效果

一次风需确保床料和燃烧物料正常流化,同时为燃料提供一定比例的氧量。如图10所示负

荷和煤质变化时一次风控制效果,密相温度最大变化率 $3^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ,即大负荷变化时密相床层的温度变化平稳,8小时连续投运效果指标统计见表3。

**表3 #1炉一次风控制8小时连续投运指标统计  
(先控投运率=100%)**

信号名称	最大值	最小值	平均值	均方差
一次风机电流过程值	33.8	32.6	33	0.25
一次风机电流设定值	33	33	33	
一次风机液耦控制指令	48	48	48	

### 3.3 二次风控制效果

氧量可提高燃烧效率,但是也受环保指标限制。如图11所示为8小时连续投运的二次风-氧



图 10 #1 炉一次风控制连续 8 小时控制效果

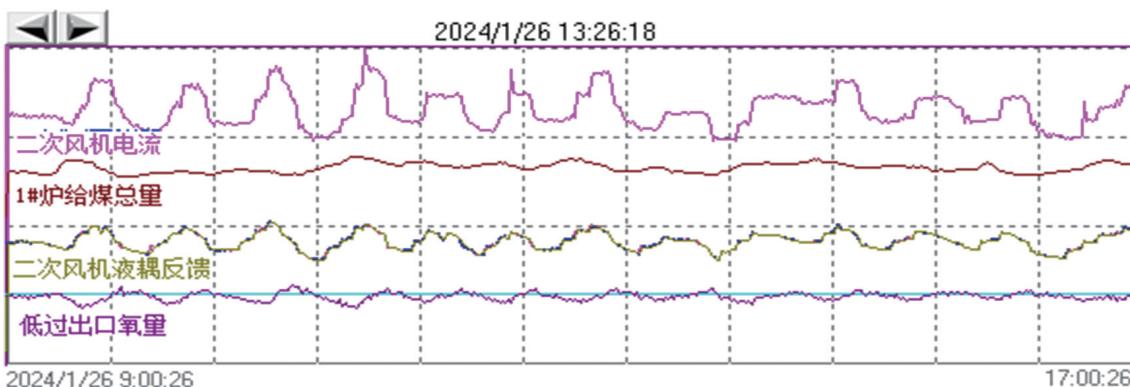


图 11 #1 炉二次风控制连续 8 小时控制效果

量控制效果,指标统计如表4所示,结果表明大负荷调整过程中氧量控制也能满足要求。

表4 #1炉二次风控制8小时连续投运指标统计

(先控投运率=100%)

	最小值	最大值	平均值	均方差
氧量设定值	4.5	4.5	4.5	
低过后氧含量	3.8	4.85	4.34	0.21
二次风机液耦指令	33	45	38.9	
1#炉总给煤量	14.8	16.4	15.5	
1#炉总主蒸汽流量	96	109	100	
二次风机电流	10.52	14.9	11.98	
二次风风压	2.99	5.09	3.79	

### 3.4 引风-负压控制效果

炉膛负压确保炉膛出口压力为微正压或负压工况运行。图12为8小时运行炉膛负压控制效果,表5为统计数据,结果表明控制指标满足生产要求。

表5 #1炉引风-负压控制8小时连续投运指标统计(先控投运率=100%)

	最小值	最大值	平均值	均方差
炉膛负压设定值	-90	-90	-90	
炉膛负压过程值	-190	80	-58	48
引风机液耦指令	47	55	51	

1#炉总给煤量	15.3	16.2	15.7	
1#炉总主蒸汽流量	98.2	101	99.89	
引风机电流	39	48.3	43.52	

### 4 结论

新材料分公司引入循环流化床锅炉智能控制系统,实现公司2台循环流化床锅炉的智能优化控制,达到以下目的:

(1) 实现锅炉燃烧过程的优化控制,提高锅炉运行效率,降低煤耗及污染物排放,提升了经济效益。

(2) 提高锅炉运行的自动化水平,降低人员劳动强度,提升锅炉运行稳定性、安全性。

(3) 智能控制系统的实施可延长锅炉的使用寿命。

循环流化床锅炉智能控制系统优化锅炉的运行参数,结合自适应预估控制技术、软测量技术及先进的故障诊断技术实现锅炉稳定运行,长期自控率大于90%,安全性明显改善。燃烧参数的精确控制,减少炉内温度波动和颗粒浓度的变化,从而降低锅炉的磨损和腐蚀。

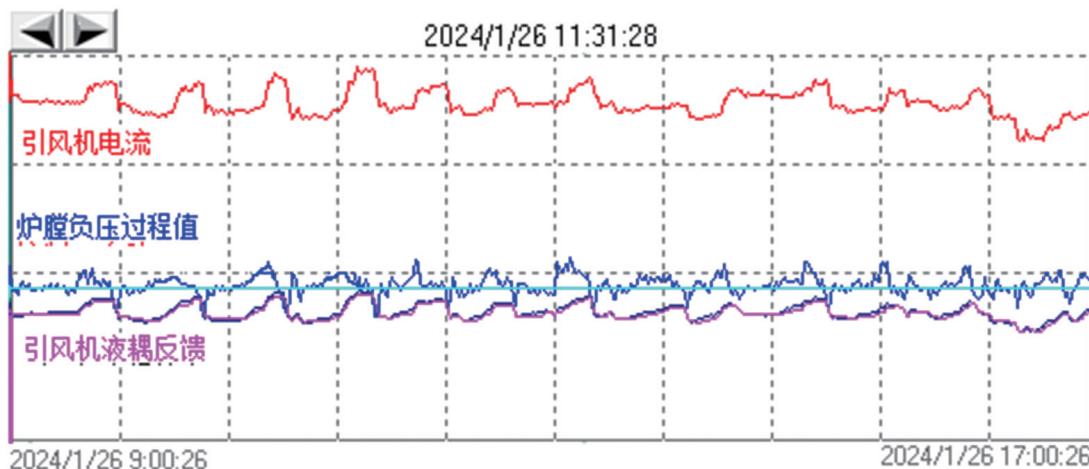


图12 #1炉引风-负压控制连续8小时控制效果