

白杨河电厂 2×135MW 机组 CFB 控制系统的设计

陈艳军

山东电力工程咨询院 250013

摘要：循环流化床锅炉是洁净煤燃烧技术，与煤粉炉燃烧过程有很大程度不同。本文介绍了循环流化床锅炉控制系统的设计情况，供以后工程参考。

关键词：循环流化床锅炉 控制系统 设计 体会

一、电厂锅炉系统主辅机设备情况：

1. 锅炉：465t/h 单汽包自然循环流化床锅炉（哈尔滨锅炉厂）
2. 冷渣器：风水联合冷却（哈尔滨锅炉厂）
3. 一级给煤机：10-70t/h 电子称重式给煤机（徐州三原）
4. 二级给煤机：埋刮板给煤机（哈尔滨锅炉厂配供）
5. 一次风机：离心式风机，2 台并联运行，BMCR 工况下风量为 40kg/s（成都电力机械厂）
6. 二次风机：离心式风机，2 台并联运行，BMCR 工况下风量为 44.09kg/s（成都电力机械厂）
7. 引风机：离心式风机，2 台并联运行，BMCR 工况下风量为 384530.4m³/h（成都电力机械厂）
8. 高压流化风机：罗茨风机，3 台，2 台运行，1 台备用，BMCR 工况下风量 1.28kg/s，出口风压 42599Pa（豪顿华）
9. 石灰石输送风机：罗茨风机，2 台独立运行，BMCR 工况下风量 0.9kg/s，出口风压 42000Pa（豪顿华）
10. 冷渣器冷却风机：罗茨风机，2 台一运一备，BMCR 工况下风量 6kg/s，出口风压 28350Pa（西安志高）

二、循环流化床锅炉系统的工艺及其特点：

1. 工艺系统：

循环流化床锅炉，简称 CFB 锅炉（Circulating Fluidized Bed Boiler），其最大的特性表现在循环和流化两个方面。锅炉燃料系统由煤和石灰石组成，烟风系统由一、二次及高压流化风组成。一、二次风分开布置，并由各自的风机单独供风，采用分级配风。一次风经布风板给入，二次风喷口布置于炉膛密相区，给煤及石灰石系统的密封风取自二次风。在燃烧过程中，一次风通过布风板进入燃烧室，扰动由煤和石灰石组成的燃料，并携带燃料向上移动通过整个燃烧室，二次风分别从不同高度上进入燃烧室，使燃料在上升的过程中实现分级燃烧。

高温烟气携带未完全燃尽的燃料离开燃烧室顶部，进入高温旋风分离器，旋风分离器将未燃尽的燃料分离出来，进入回料箱，由高压流化风送回燃烧室，如此反复，形成循环。剩下的烟气和灰离开旋风分离器，进入电除尘。

因燃料以一定的循环倍率在炉膛内不停地循环燃烧，所以 CFB 锅炉能够燃用各种劣质煤，适用范围广。而且，在燃烧过程中，燃料中由石灰石给料机送入石灰石粉，可以与燃烧过程中产生的 SO₂ 产生化学反应，生成 CaSO₄，起到脱硫作用。另一方面，二次风是从不同高度进入燃烧室，形成分级燃烧，使炉膛内的温度比较低，减少了 NO_x 的排放，同时可以抑制锅炉结渣现象的发生。

2. CFB 锅炉的特点：

- 使用的煤种范围广
- 运行温度低，减少 NO_x 的排放
- 运行温度低，抑制锅炉结渣现象的发生
- 燃烧过程中加入石灰石粉，产生化学反应，生成 CaSO₄，起到脱硫作用，减少 SO₂ 排放
- 可以在 35%-100%MCR 范围内不投油燃烧

三、循环流化床锅炉的控制系统设计

1、协调控制系统

1.1 锅炉负荷控制

锅炉负荷控制的目的是为了维持主蒸汽压力的稳定。锅炉负荷的信号是由过热蒸汽集箱压力和实际蒸汽流量信号组合形成。主蒸汽压力调节器的输出分为两路，一路做为锅炉所需要的总燃料（煤和油）送至燃料调节器，作为燃料调节器的给定值，燃料调节器的输出分别控制煤量和油量；另一路做为锅炉所需要的总风量（一、二次风）送至风量调节器，作为风量调节器的给定值，风量调节器的输出分别控制一、二次风量。

锅炉负荷所需求的信号使总燃料和总风量加以改变，在维持主汽压力在给定值的前提下，改变所需蒸汽流量、燃料放热值及整个传热过程。

1.2 给水流量控制

该回路的设计要保证输入到锅炉的给水量与输出的蒸汽流量平衡，以维持汽包所要求的水位。

在启动期间（0-30%MCR 范围内），给水流量的大小仅由给水旁路调节阀控制，主蒸汽流量不参与前馈控制。

在正常运行时（30%-100%MCR 范围内），给水流量的大小由给水泵的转速来控制，同时主蒸汽流量作为前馈信号。给水旁路调节阀和调速给水泵从三冲量控制器中得到它们的控制信号，三冲量控制既可以级联控制运行，也可以手动控制运行。

1.3 二次风暖风器控制

该回路的设计用于控制空预器冷端温度，以保证这一温度高于烟气中硫酸的露点，从而防止空预器冷端金属腐蚀。

在二次风进入空预器之前，调整进入暖风器的蒸汽量以保证进入空预器的二次风温足够高，使其与空预器出口烟气温度平均值高于空气中的硫酸露点，这个平均温度称为冷端温度，冷端温度的设定值要根据燃料中的含硫量而定。

除了降低空预器冷端可能的腐蚀外，在启动及低负荷运行直到达到正常的烟气出口温度前，预热参加燃烧的空气可降低所使用的燃料量。

1.4 过热蒸汽温度控制

过热器系统分别在 I、II 级过热器之间和 II、III 级过热器之间布置了一级和二级喷水减温器，一级为粗调，二级为微调。

整个蒸汽温度控制分两段完成。

在第一阶段进行喷水，以控制离开一级过热器的蒸汽温度。此控制是串级调节，主调节器响应二级过热器出口和手动设定值之间的温差，副调节器响应由主调节器修改的温度和一级过热器出口之间的温差，使离开二级过热器的温度控制到 489（911 °F）。

在第二阶段进行喷水，以控制离开二级过热器的蒸汽温度。此控制也是串级调节，主调节器响应三级过热器出口和手动设定值之间的温差，副调节器响应由主调节器修改的温度和二级过热器出口之间的温差，使最终离开锅炉的温度控制到 540（1005 °F）。

1.5 再热蒸汽温度控制

整个蒸汽温度控制是通过减温器喷水，以控制离开再热器的蒸汽温度来实现的。此控制是串级调节，主调节器响应二级再热器出口和手动设定值之间的温差，副调节器响应由主调节器修改的温度和一级再热器出口之间的温差，使最终离开再热器的温度控制到 540 (1005 °F)。

1.6 床温控制

额定负荷时锅炉床温的设计值为 885 ，考虑负荷的变化和其它方面的要求，应将床温控制在 820-950 之间，若床温超过该范围，必须及时进行调整。

改变一、二次风的比率来调节床温。增大一次风量，减小二次风量，可降低床温，反之，提高床温。

增加床料量或石灰石量，以提高物料的循环量，可降低床温。增大排渣量，床压下降，物料量减少，将使床温升高。

1.7 床压控制

该回路的目的是控制燃烧室内床料的高度。床料的高度正比与床压。一次风由流化床底部吹入，不停地扰动底部的床料，形成一定的高度。回料腿由炉膛底部接入。如果床料高度不在一定范围内，影响循环倍率，直接影响锅炉传热率，另外，它还影响 SO₂ 脱除。

在炉膛底部设置 6 个压力变送器，通过测量床压来反映床料高度。压力信号经过取平均值后，送至床压调节器作为被调量。调节器的输出送至炉膛底部的锥形阀，通过调节锥形阀的开度来维持床压的定值。

1.8 总一次风量控制

总一次风量控制的设定值为风量主控的输出，通过调节一次风机入口挡板，使进入炉膛的一次风量随锅炉负荷变化。

一次风机提供的空气具有以下作用：

- 流经布风板的一次风用于流化燃烧室内的床料
- 送入床下启动燃烧器作为燃烧配风，以产生足够高温的烟气

1.9 总二次风量控制

总二次风量控制的设定值为风量主控的一路输出，通过调节二次风机入口挡板，使进入炉膛的一次风量随锅炉负荷变化。同时，通过对环形风箱上部入口二次风挡板、环形风箱下部入口二次风挡板及床上启动燃烧器入口二次风挡板的调节，形成分级燃烧，使炉膛内的温度比较低，减少了 NO_x 的排放，同时可以抑制锅炉结渣现象的发生。

1.10 给石灰石量控制

调节给石灰石量的目的是满足锅炉 SO₂ 的排放量要求。

本调节回路设 1 个调节器，采用单级调节的方式。SO₂ 含量取自 SO₂ 在线测量装置的输出，作为给石灰石量调节器的设定值。当 SO₂ 变化时，调节石灰石给料机的转速，使进入炉膛的石灰石量相应变化。

本回路中，总给煤量作为前馈信号加入给石灰石量调节器。给煤量变化时，SO₂ 肯定也要相应变化。如果仅根据 SO₂ 含量信号调节石灰石量，则延迟比较大。将给煤量作为前馈信号，使石灰石量先根据煤量变化，然后再根据 SO₂ 含量信号进行调节。这样做可以减少延迟。

2 顺序控制系统

2.1 锅炉吹扫联锁

当下列任一条件发生时，锅炉应吹扫：

- 冷态启动，开始点火前
- 主燃料跳闸发生（MFT）

锅炉吹扫的条件：

- 锅炉总风量 > 吹扫风量
- 所有锅炉跳闸条件复位
- 所有风门挡板打开
- 所有给煤机出口门关闭及所有给煤机停
- 石灰石给料系统停及所有石灰石风机停
- 所有燃油关断阀关闭
- 床温低于 760 ，同时无启动燃烧器工作

以上所有条件满足后，锅炉可以吹扫。吹扫时间为 5 分钟。当任一条件丧失时，吹扫中断。

2.2 主燃料跳闸（MFT）联锁

MFT 跳闸条件为：

- 手动 MFT
- 汽包水位高高或汽包水位低低
- FSSS 控制站故障
- 一次风机 全停
- 二次风机 全停
- 引风机 全停
- 失去再热器保护
- 过热器保护跳闸
- 旋风分离器出口温度大于 1050
- 布风板流量 < 最小值
- 高压流化风机出口压力低
- 炉膛压力高

MFT 发生后，联锁下列设备动作：

- 停给煤机
- 停石灰石给料机
- 停止锅炉吹灰

2.3 启动燃烧器顺序控制：

2.3.1 以下条件全部满足，可以打开床上燃油主关断阀：

- 所有床上分关断阀关闭
- 无 MFT 发生
- 床上启动燃烧器点火器准备
- 床上启动燃烧器雾化压力正常
- 床上启动燃烧器没有检测到火焰

2.3.2 当以下条件

- (1) 床上启动燃烧器点火允许（床上主油关断阀打开，同时无 MFT 发生）
- (2) 床上无启动燃烧器故障信号
- (3) 床上启动燃烧器油压大于最小值

(4) 床上启动燃烧器无吹扫要求

全部满足后，执行下列动作（床上）：

- 伸进油枪
- 伸进点火枪
- 打开雾化阀
- 火花塞得电
- 打开切断阀
- 退点火枪

2.3.3 床上启动燃烧器的停止顺序：

- 关闭床上各分关断阀
- 如果油枪没伸进，伸进油枪，直到所有油枪均伸进为止
- 伸进点火枪
- 如果雾化阀没有打开，开雾化阀，直到所有雾化阀均打开为止
- 火花塞得电
- 开吹扫阀
- 延时关吹扫阀
- 退出点火枪
- 关雾化阀
- 退出油枪

如果点火结束，火检检测到火焰，则启动燃烧器被认为处于工作状态；如果没有检测到火焰，点火顺控应复归。

注：除了少了油枪之外，床下燃烧器的启动和停止顺序和床上燃烧器一致。

2.4 给煤机联锁控制：

- 无 MFT 发生
- 给煤机密封风压力正常
- 落煤管密封风量 $> 17000\text{Nm}^3/\text{h}$
- 皮带称没有故障
- 给煤机没有堵煤
- 给煤机皮带没有跑偏
- 给煤机内部没有超温
- 清扫电机没有跳闸
- 埋刮板给煤机没有断链
- 埋刮板给煤机电机没有异常
- 落煤管旋转给料阀没有异常
- 落煤管煤闸门没有异常和过力矩
- 没有启动超时
- 床温大于 650

当以上条件满足后，打开落煤管上的电动旋转给料阀和电动煤闸门，启动给煤机。

2.5 石灰石给料机联锁控制：

- 给料点密封风门打开

- 无 MFT 发生
- 没有启动超时

当以上条件满足时，启动石灰石给料机，同时启动石灰石风机。

2.6 引风机联锁控制：

本工程 2 台引风机为并联运行方式。当以下条件满足时，启动 2 台引风机

- 引风机出口挡板全关
- 引风机入口挡板全关
- 引风机无控制电源消失信号
- 引风机无事故跳闸信号
- 引风机无启动或停止超时信号
- 远方允许

2.7 高压流化风机联锁控制：

本工程 3 台高压流化风机，2 台运行，1 台备用。当以下条件满足时，启动高压流化风。

- 出口挡板全开
- 至少 1 台引风机已在运行
- 高压流化风机无控制电源消失信号
- 高压流化风机无事故跳闸信号
- 高压流化风机无启动或停止超时信号
- 远方允许对于备用风机，还有
- 运行风机停运

2.8 二次风机联锁控制：

本工程 2 台二次风机为并联运行方式。当以下条件满足时，启动 2 台二次风机

- 二次风机出口挡板全关
- 二次风机入口调节挡板开度在最小位置
- 至少 2 台高压流化风机已在运行中
- 二次风机无控制电源消失信号
- 二次风机无事故跳闸信号
- 二次风机无启动或停止超时信号
- 远方允许

2.9 冷渣器冷却风机联锁控制：

本工程 2 台冷渣器冷却风机，1 运 1 备。当以下条件满足时，启动 1 台冷渣器冷却风机

- 冷渣器冷却风机出口挡板全关
- 冷渣器冷却风机无控制电源消失信号
- 冷渣器冷却风机无事故跳闸信号
- 冷渣器冷却风机无启动或停止超时信号
- 至少 1 台二次风机已在运行中
- 出口压力不高
- 远方允许
- 风机出口对空排气门已开 5 秒

对于备用风机，还有

- 运行风机停运

2.10 一次风机连锁控制：

本工程 2 台一次风机为并联运行方式。当以下条件满足时，启动 2 台一次风机

- 一次风机出口挡板全关
- 一次风机入口挡板开度最小
- 一次风机无控制电源消失信号
- 一次风机无事故跳闸信号
- 一次风机无启动或停止超时信号
- 至少 1 台冷渣器冷却风机已在运行中
- 远方允许

四、循环流化床锅炉控制系统设计中体会

1. 床料的再流化

由于较低的风量(如锅炉启动期间)而使床料堆积，或过多的床料而引起的布风板上局部区域床料没有流化，应脉动增大一次风量，使其再流化。

2. 床温测量

床温是 CFB 锅炉重要的运行指标。正常的床温，能确保锅炉运行效率和脱硫效果，而且不同的床温值还决定投何种锅炉给料系统。

本工程为炉膛床温共设置 20 只 K 分度热电偶，下部 8 只，中部 6 只，上部 6 只。上部 6 只热电偶仅显示床温，中部 6 只和下部 8 只参与逻辑控制。参与逻辑控制的床温指中部 6 只和下部 8 只热电偶的平均值，若某只热电偶所测温度与平均值相差 150 以上，该点温度将不参与平均温度的计算。

在锅炉升负荷阶段，先投入启动燃烧器，用启动燃烧器升温至 650 时，投入煤燃烧。待温度升至 760 时，退出启动燃烧器，仅用煤燃烧升温至锅炉满负荷。

在锅炉降负荷阶段，先逐步减少煤量，降低床温。当温度降至 760 时，投入启动燃烧器，同时继续减少煤量。当床温降至 650 时，可以切断给煤，仅用启动燃烧器减负荷。

在设计过程中，为了保证热电偶的精度，在热偶部位均装有压缩空气吹扫风，以便定期吹扫堆积在热偶头部区域的床料。另外在锅炉运行过程中需要更换热电偶时，需开启吹扫风以防炉内烟气反窜出来。

3. 床压测量

CFB 锅炉中，床料高度是锅炉运行中重要参数，但床料高度不能直接测量，而床压恰好反应了床料的高度。

床压测量位于炉膛底部正压区，气流扰动大，且携带有大量床料，流动的床料极易堵塞测压点和测压管线。如何防止测点堵塞从而准确测量床压，是 CFB 锅炉能否正常运行的关键。

在设计过程中，采用了压缩空气吹扫法。具体做法为在取样管线中引入一路吹扫空气，吹扫空气由恒气吹扫装置提供，压力略大于炉膛底部一次风压力，防止床料进入取样管发生堵塞。压力变送器的测量值为床压和压缩空气之和。调试时，将变送器压缩空气的压力整定为零点，这样送至 DCS 的信号就是床压的实际值。

4. 风水联合冷渣器的控制

风水联合冷渣器是目前被循环流化床锅炉普遍采用的一种有效的冷渣装置，它利用冷却水和流化风的联合作用，将从锅炉中排出的 850-900 左右的渣降到 150 以下，以满足灰渣输送的要求。

在设计过程中，参考了哈锅的意见，在冷渣器的不同部位布置了一些温度、压力和差压测点，以

监视冷渣器的运行情况，其中一些测点还参与调节和保护。具体如下：

- 冷渣器一室/风室差压
- 冷渣器二室/风室差压
- 冷渣器三室/风室差压
- 冷渣器二室上部温度
- 冷渣器二室下部温度
- 冷渣器三室上部温度
- 冷渣器三室下部温度
- 冷渣器出渣口温度

冷渣器一室/风室差压信号引入到锥形阀的联锁条件中，此差压值过大，则严禁向冷渣器排渣。冷渣器三室温度信号作为下一级除渣设备的联锁条件，此温度过高则停止向下一级除渣设备排渣。

另外，在设备选型上，冷渣器二、三室温度均采用了 K 分度的耐磨热电偶，压力取样都采用了防堵型压力取样器。

5 设备接口匹配的问题

本工程中石灰石给料系统，厂家所供的气动圆顶阀和气动阀，其电磁阀均为 DC24V 电源，而此工程根本就没有 DC24V 电源，为此在现场又单独设立了一个电源转换柜。不仅增加了投资，又不方便现场的检修，建议在今后的设计中一定要注意电磁阀电源匹配的问题。

6 关于模拟量在 DCS 中转换成开关量的问题

由于本工程采用了 DCS 控制系统，可以方便地将进入 DCS 的模拟量信号转化成开关量信号。如，除氧器水位设置三个液位变送器，取三个信号的均值作为除氧器水位的信号，同时该信号经过 1 个大值选择器后，得出 1 个开关量信号，作为除氧器溢放水门的打开/关闭条件。

本工程在很多地方都采用了这种方法，不仅减少了开关量仪表的采购及安装费用，节省了造价，同时也方便了调试工作。另外，本工程在很多地方都采用了“三变送器”，这样，不仅保障了信号的准确度，同时也为减少开关量仪表提供了可靠的依据。

建议在以后的工程中，除重要的主机保护回路外，均可采用上述方法。

注：本文发表在《火电厂热工自动化》2004 年第 1 期