

## 浙大中控 CFB 解决方案

## 一、前言

近年来,我国对能源的需求迅速增加,丰富的煤炭资源和我国历史、经济等方面的条件相结合,形成了我国能源利用中以煤为主的格局,因此也造成了我国煤供应越来越紧张的局面。另外,我国煤炭资源的一个重要特点是高硫煤占相当大比例,含硫量大于 1% 的高硫煤占总储存量的 25% 以上,2003 年我国二氧化硫的排放总量达到了 2020 万吨,我国受酸雨侵害面积已扩大到国土面积的 50% 以上。如何解决煤炭燃烧设备降低  $\text{NO}_x$ 、 $\text{SO}_2$  大气污染物排放、改善环保减轻温室效应、低成本的设备投资、提高能源利用效率、便于劣质煤综合利用、尽量处理固体垃圾燃料之间所存在的矛盾,成为煤炭燃烧和综合利用设备发展和应用的关键所在,循环流化床锅炉以其优良的环保特性(低排放)、卓越的适应性(煤种、负荷)和突出的节能效果受到越来越多企业的青睐。

从另外一个角度来看,循环流化床锅炉虽然有许多优点,但是对象复杂、控制难度大,尤其燃烧控制这一问题虽经许多学者进行了大量的研究工作,但目前仍普遍缺少实现燃烧全自控的实际可行的控制策略。

浙大中控在循环流化床锅炉控制方面进行了大量的研究并积累了丰富的现场实施经验,针对各种规模的流化床锅炉设计出了适用的控制方案,并已在多个生产现场成功实施,在这份资料中我们将多年的实施经验整理成册,希望能对您应用流化床锅炉进行节能降耗、优化运行的生产过程中提供借鉴。

## 二、循环流化床锅炉结构及工作原理

## 循环流化床锅炉结构

循环流化床锅炉主要由燃烧系统、气固分离循环系统、对流烟道三部分组成。其中燃烧系统包括风室、布风板、燃烧室、炉膛、给煤系统等几部分;气固分离循环系统包括物料分离装置和返料装置两部分;对流烟道包括过热器、省煤器、空气预热器等几部分。图 1、图 2 为某厂 260t/h 循环流化床锅炉机组监控画面。



图 1



图 2

### 循环流化床锅炉工作原理

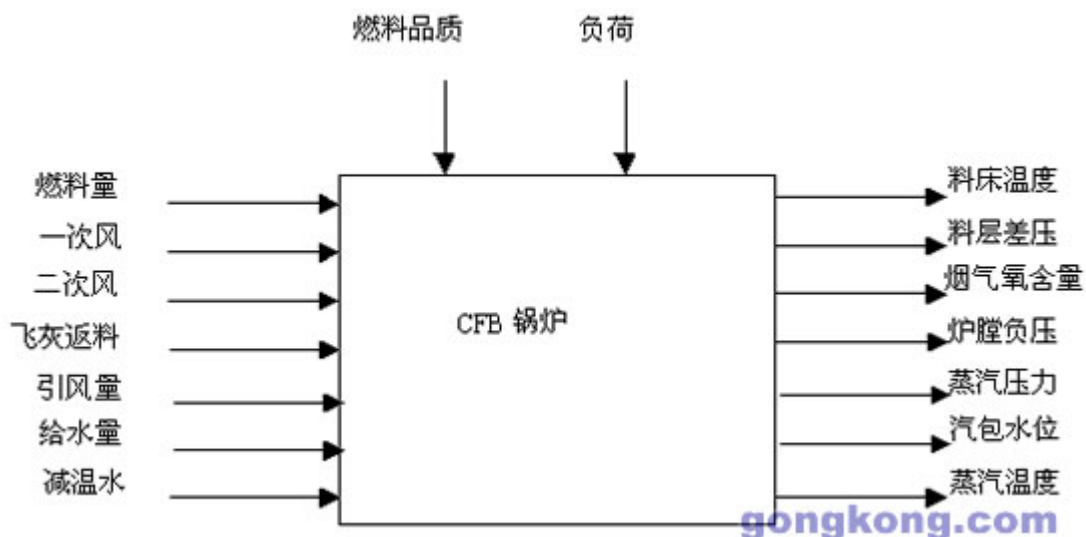
煤和脱硫剂被送入炉膛后，迅速被炉膛内存在的大量惰性高温物料（床料）包围，着火燃烧。燃烧所需的一次风和二次风分别从炉膛的底部和侧墙送入，物料在炉膛内呈流态化沸腾燃烧。在上升气流的作用下向炉膛上部运动，对水冷壁和炉内布置的其他受热面放热。大颗粒物料被上升气流带入悬浮区后，在重力及其他外力作用下不断减速偏离主气流，并最终形成附壁下降粒子流，被气流夹带出炉膛的固体物料在气固分离装置中被收集并通过返料装置送回炉膛循环燃烧直至燃尽。未被分离的极细粒子随烟气进入尾部烟道，进一步对受热面、空气预热器等放热冷却，经除尘器后，由引风机送入烟囱排入大气。燃料燃烧、气固流体对受热面放热、再循环灰与补充物料及排渣的热量带入与带出，形成热平衡，使炉膛温度维持在一定温度水平上。大量的循环灰的存在，较好的维持了炉膛的温度均化性，增大了传热。而燃料成灰、脱硫与补充物料以及粗渣排除维持了炉膛的物料平衡。

煤质变化或加入石灰石均会改变炉内热平衡，故燃用不同煤种的循环流化床锅炉在设计及运行方面都有不同程度的差异。循环流化床锅炉在煤种变化时，会对运行调节带来影响。试验表明，各种煤种的燃尽率差别极大，在更换煤种时，必须重新调节分段送风和床温，使燃烧室适应新的煤种。

加入石灰石的目的是，为了在炉内进行脱硫。石灰石的主要化学成份是  $\text{CaO}$ ，而煤粉燃烧后产生的  $\text{SO}_2$ 、 $\text{SO}_3$  等，若直接通过烟囱排入大气层，必然会造成污染。加入石灰石后，石灰石中的  $\text{CaO}$  与烟气中的  $\text{SO}_2$ 、 $\text{SO}_3$  等起化学反应，生成固态的  $\text{CaSO}_3$ 、 $\text{CaSO}_4$ （即石膏），从而减少了空气中的硫酸类的酸性气体的污染。另外，由于流化床锅炉的燃烧温度被控制在  $800\sim 900^\circ\text{C}$  范围内，煤粉燃烧后产生的  $\text{NO}_x$  气体也会大大减少硝酸类酸性气体。

### 三、循环流化床锅炉控制特点

由于循环流化床锅炉自身的特点，在运行操作时不同于层燃炉和煤粉炉，就其控制系统而言具有系统复杂、多变量输入多变量输出、变量关联耦合性强、输入输出非线性、大滞后等特点，如果运行中不能满足其对热工参数的特殊要求，极易酿成事故。



### 1. 多变量耦合性

由于循环流化床锅炉燃烧中，任何一个输入变量（如温度、压力、流量、液位）的改变都会影响到其他输出变量的改变（这在控制理论中称之为耦合性）。如燃料量（给煤量）的改变，不仅会影响到炉床温度的变化，也会影响到主蒸汽流量、压力和温度的变化。

### 2. 输入输出非线性

循环流化床锅炉燃烧过程中，各被控设备的输出物理量对输入物理量的响应有较大的时间滞后特性，以及各被控设备的输出物理量与输入物理量之间的数学特性为非线性，使得控制运算变得复杂，这样就必然给各物理量的控制带来很大的困难。

## 四、浙大中控 dcs 在循环流化床上的应用

### 1. 数据采集与数据处理功能（das）

das 系统通过 i/o 卡直接从过程对象中获取数据，也可以通过 scnet ii 或从其它子系统如 mcs、scs 站采集和处理所有与机组有关的测点信号及设备状态信号。在操作站上进行生产过程的集中监视和操作，das 系统具有下列功能：

- 显示：包括工艺流程图显示、操作显示、成组显示、棒状图显示、趋势显示、报警显示等。
- 记录：包括定期记录、报警记录、事故追记记录、事故顺序（soe）记录、跳闸记录、操作记录等。
- 历史数据存储和检索
- 性能计算

### 2. 模拟量自动调节控制功能（mcs）

#### a. 汽包水位控制

汽包水位是确保安全生产和提供优质蒸汽的重要参数，汽包水位控制是锅炉控制中的基本控制，水位过高会影响汽包内汽水分离效果，使汽包出口的饱和蒸汽带水增多，冲击汽轮机叶片，引起轴封破损，叶片断损等故障；水位过低则可能破坏自然循环锅炉汽水循环系统中的某些薄弱环节，以至局部水冷壁管烧坏，严重时造成爆炸。汽包水位的优良控制有重大意义。

经过多年工程经验的积累，浙大中控独创了汽包水位控制模块 fb\_boilcon，该模块中集成了基于直接物质平衡的专家控制、前馈单回路控制、前馈串级控制（三冲量控制）的 3 种控制方案，可以很好的解决汽包水位控制。



#### b. 主蒸汽温度控制

主蒸汽温度自动调节的任务是维持过热器出口蒸汽温度在允许的范围内，从而保证机组运行的安全性和经济性。过热汽温过高，则过热器易损坏，也会使汽轮机内部引起过度的热膨胀，严重影响运行的安全；过热汽温低，则设备的效率低，一般汽温每降低 5~10℃，效率约降低 1%，同时会使通过汽轮机最后几级的蒸汽湿度增加，增加叶片磨损。

主蒸汽温度位控制是锅炉控制中的基本控制，通常采用由主汽温度、炉膛出口烟气温度（或主汽流量）及减温后温度（或喷水减温水流量）等参数组成的串级三冲量控制系统。

#### c. 主蒸汽压力控制

主蒸汽压力是机组运行的关键参数，对于蒸汽负荷控制的实现，最终是通过改变燃料量来完成的。而燃料量的改变又必然将影响到各台锅炉各自的过热器出口蒸汽压力，并且也必将会导致炉床温度及炉膛出口温度的改变，故而控制系统必须考虑各参数的相互影响。我公司通过多年研究和现场经验积累，独创了专家智能结合前馈单回路的先进控制方案，在现场应用取得了良好效果。通过专家控制系统对平均床温进行分析，针对恒压切换与恒负荷切换两种情况将主汽流量与分析后的结果相加作为前馈量，根据是否存在负荷分配得出主汽压力的设定值，通过调节给煤量稳定主汽压力值。

#### d. 炉膛负压控制

炉膛负压控制是保证锅炉安全燃烧的首要控制对象，经过多年工程经验的积累，我公司建立了炉膛负压控制模块 fb\_negpcon，该模块是一前馈单回路控制，以锅炉总进风量作前馈。

www.PLCworld.cn

#### e. 氧量控制

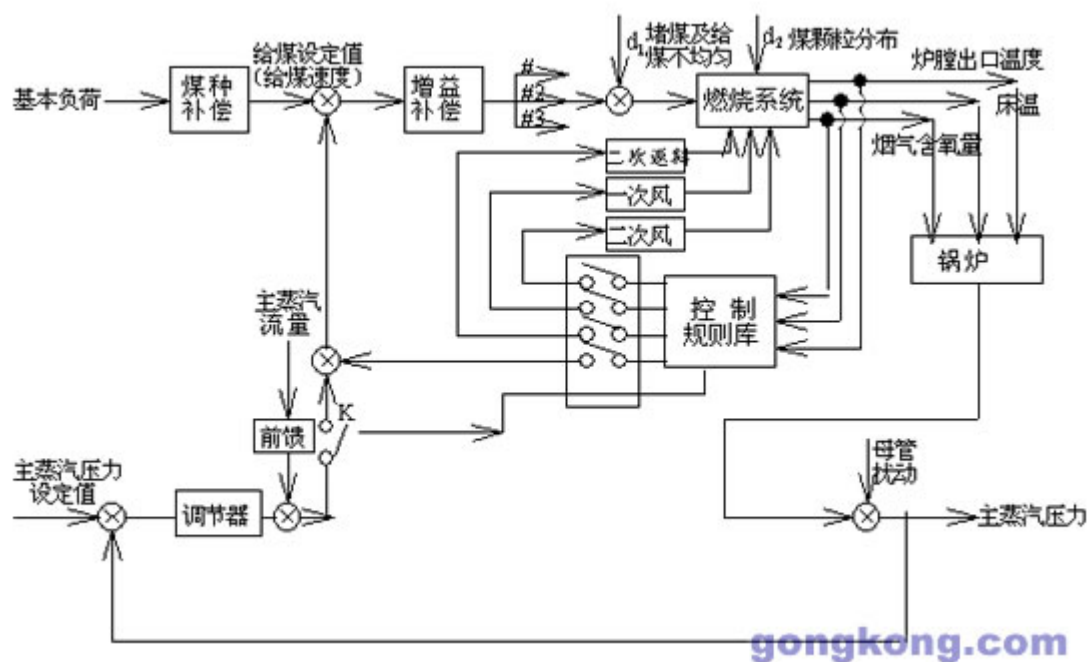
在循环流化床锅炉中，一次风为基本流化风量，根据料层差压进行限幅调节，在引风自动调节已经稳定的基础上，可以投运二次风自动即氧含量自动控制，氧量控制采用串级控制，根据给煤量确定二次风的初步设定值，再根据含氧量对二次风量初设值进行修正得出二次风的设定值，同时将一次风量作为前馈该来控制二次风机变频器转速。

#### f. 床温控制

由于循环流化床锅炉（cfbb）的燃烧过程十分复杂、受到多种因素的影响，不仅燃烧系统内部的给煤、一、二次风、返料耦合性强，而且过程的非线性和大滞后也使对象十分复杂，难于建立精确的数学模型，常规的控制方案很难得到理想的控制效果。

浙大中控经过多年经验积累，在循环流化床燃烧控制上形成了一套成熟的模糊控制方案，把燃料量控制、料床温度控制、主蒸汽压力控制综合起来考虑。这是因为热力系统中的燃烧控制系统和汽水控制系统是相互耦合，难以割裂开，所以专家智能方案将整个复杂的燃烧过程合理的拆分成几个相互独立的部分，参数间的耦合通过建立合理的数学模型，以克服循环流化床锅炉复杂的燃烧过程特性，从根本上解决了循环流化床锅炉的燃烧控制。

燃烧系统控制结构图如下：



专家智能控制相对常规控制的扩展功能

- 可以处理非数字化的、不精确的操作经验，进行复杂控制，提高控制质量
- 模仿人的行为，采用专家经验，自动修改参数和算法，形成各种性质算法的选择和组合
- 当部件失效、系统大扰动或出现突发事件时仍能进行有效处理

www.PLCworld.cn

专家智能控制规则库

#### a. 故障判断及事件处理规则

如：通过烟气氧含量增大超过正常值来判断堵煤、断煤；床温变化超过正常值报警并作出相应的处理。

#### b. 正常状态控制规则库

将炉膛温度状态和炉膛温度的变化趋势均量化为 7 个量，形成一  $7 \times 7$  的规则库，仿人工操作，按照“等等、看看、调调”思想，综合考虑循环流化床对象的大滞后特性，进行交叉控制即“先加风再加煤、先减煤再减风”，对煤和一次风进行周期性的查表输出调节。

### 3、炉、机各辅助设备顺控功能(scs)

根据工艺系统的运行方式，通过 dcs 组态环境，实现了炉、机各辅助设备的启停顺序和连锁功能，从而大大提高了机组运行的可靠性和降低运行人员的劳动强度。由于循环流化床锅炉和汽轮发电机组各辅助系统的运行方式日益成熟，已基本形成了特定的运行方式，所以 dcs 系统在实现炉、机各辅助设备顺控也常规化。

### 4、炉膛安全监控功能 (fss)

fsss 包括燃料安全系统 (fss) 和燃烧器控制系统(bcs)。

fss 包括下列四个功能:

#### a. 炉膛吹扫

在锅炉每次冷态启动前或当总给料跳闸 mft (床温低于 600℃) 且无任何燃烧器在运行时, 对炉膛进行通风吹扫。即在有效的时间内, 通过规定的空气流量, 将炉膛内和风室中残余可燃物清除, 保证炉膛和烟道的清洁。吹扫可以从分散控制系统的 crt / kb 进行启动。

#### b. 锅炉冷态启动

循环流化床锅炉一般采用两种点火方式: 床上点火和床下点火。采用床下点火炉方式居多, 床下点火即风道燃烧器点火。当点火气燃烧器把床层温度升高到大于 600℃后加大一次风量并再启动给煤装置少量加煤, 使锅炉床温逐步升高。油燃烧器的控制及管理风道由 fsss 完成。运行人员只要在计算机屏幕上调出油燃烧器启动画面并进行相应操作, 控制指令就会通过计算机网络传到现场控制站, 发出招待指令动作有关现场设备。

#### c. 锅炉热态启动

如果床温高于 600℃, 可逐步加大一次风量, 少量加煤, 使锅炉床温逐步升高。

床温低于 550℃时, 投入风道燃烧器, 并按冷态启动方式加热锅炉。床温, 当床温升至 600℃以上时, 可投煤。

#### d. 燃料跳闸

机组启停止和正常运行时, fsss 对机组运行参数和状态进行临控, 一旦检测到危及系统安全的条件时, 立即进行 mft 动作, 切断主燃料, 切断高温旋风分离器下的返料, 指出产生跳闸原因, 闭锁从动跳闸条件, 以便事故分析。

循环流化床锅炉 mft 动作条件主要有:

床温太高

床温太低

汽包水位低于一定值

汽包水位高于一定值

炉膛压力高于一定值

炉膛压力低于一定值

引风机跳闸

一次风机跳闸

一次风流量小于最小值, 时间超过 10 秒

手动 mft (包括就地手动 mft, 控制室手动 mft)

bcs 包括下列四个功能：

a. 锅炉点火准备

a. 在炉膛吹扫成功后，由运行人员启动锅炉点火准备功能。

b. 将锅炉置于点火准备方式，作为自动启动第一支点火枪的先决条件。此时复置 mft，开启一个建立火焰的最大时间限值的计时器，当在时间限值内不能建立火焰，系统跳闸，并返回到吹扫所需的状态。

b. 点火枪点火

在锅炉点火准备方式的许可条件成立时，可允许点火枪投入。此外，证实点火系统的设备可用性和系统条件是否满足。

c. 燃油枪点火

在燃油枪可投入运行之前，bcs 至少检查下列许可条件：

a. 锅炉风量达到吹扫值

b. 火焰检测器冷却风压力满足

c. 所有燃烧器阀门关闭

d. 所有摆动燃烧器处于水平位置

e. 风箱 / 炉膛差压满足

f. 无 mft / 燃油系统跳闸等跳闸存在

g. 系统泄漏试验完成

h. 燃油压满足点火要求

i. 点火系统已准备好

k. 任一火焰检测器检测到无火焰

d. 煤燃烧控制

www.PLCworld.cn

bcs 对给煤机及相关的风门挡板的启 / 停和开 / 关、跳闸进行程控和监视。

在启动每一运行步骤之前，系统确保满足与该步骤相的许可条件，并在整个启动过程中满足安全条件。

丧失许可条件或在指定时间内不能完成运行程序，则中断此程序。

## 5、汽机数字电液控制系统（deh）

汽机数字电液控制系统是控制汽机运行的主要参数，浙大中控经过多年的理论研究和现场实施相结合开发了新一代汽机数字电液控制系统。该系统按分级分层控制的原则设计，以便高级控制系统故障退出时可降至较低一级继续维持安全运行，同时可以提供几种可供运行人员选择的运行方式，如手动运行方式、自动运行方式、遥控运行方式，任两种运行方式之间，均能进行无扰切换。

## 6、汽机紧急跳闸系统（ets）

汽机紧急跳闸系统是汽轮发电机组危急情况下的保护系统，包括汽机的紧急跳闸、油系统投入、抽

汽逆止门的控制（信号包括：汽机超速、润滑油压低、轴向位移大、凝汽器真空低、汽机轴瓦温度高、汽机轴承回油温度高、手动停机）。浙大中控根据不同汽轮机厂家的设备和用户的特殊要求提供配套成熟的保护控制方案。