燃烧器

一、燃烧器功能

煤粉燃烧器是煤粉的燃烧设备，携带煤粉的一次风和不带煤粉的二次风都经过燃烧器进入炉膛，并使煤粉在炉内很好地着火和燃烧。

作用：将燃料与燃烧所需空气，按一定的比例、速度和混合方式，经喷口送入炉膛.

要求：

（1）、保证充分混合、及时着火、稳定燃烧，燃尽；

（2）、火焰在炉内的充满程度好，不冲墙贴壁，避免结渣；

（3）、有较好的燃料适应性和负荷调节范围；

（4）、能减少 NOX 的生成，减少对环境的污染；

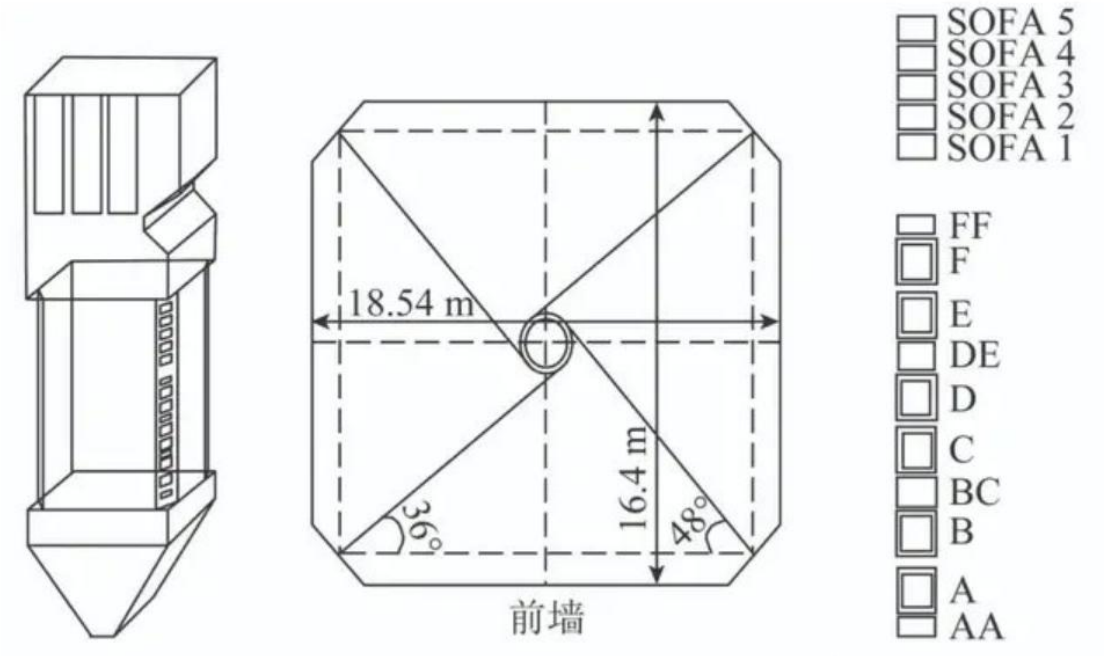
（5）、结构简单，流动阻力较小。

二、燃烧器分类

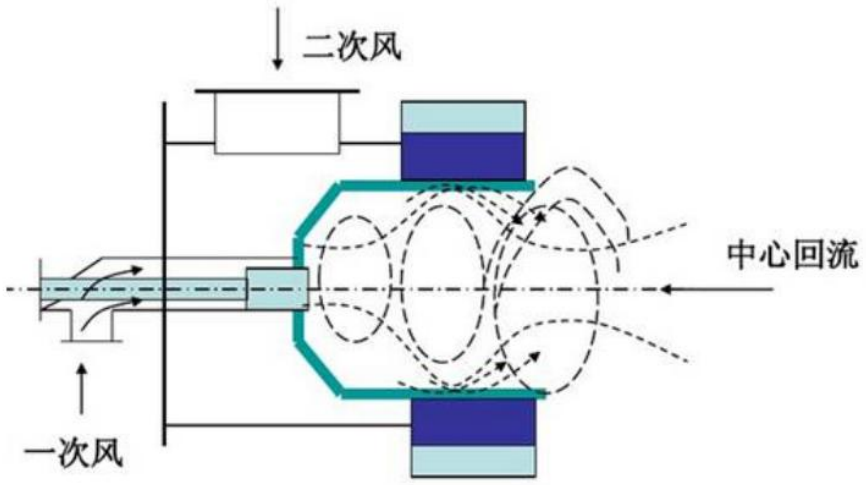
燃烧器一般分为直流燃烧器和旋流燃烧器。

1、直流燃烧器

特点：出口气流为直流射流，一般布置在炉膛四角，使煤粉气流在炉膛内切圆燃烧。

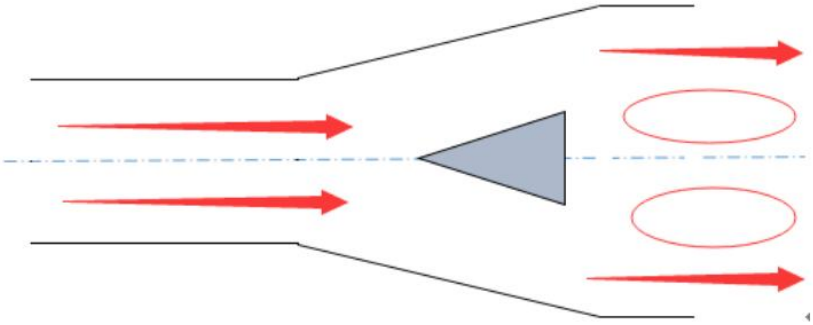


（1）、 **煤粉预燃室燃烧器：**这是我国研究最早、目前应用最广泛的新型煤粉燃烧器装置。预燃室燃烧器是由耐火材料或耐热钢板制造的前置燃烧室。

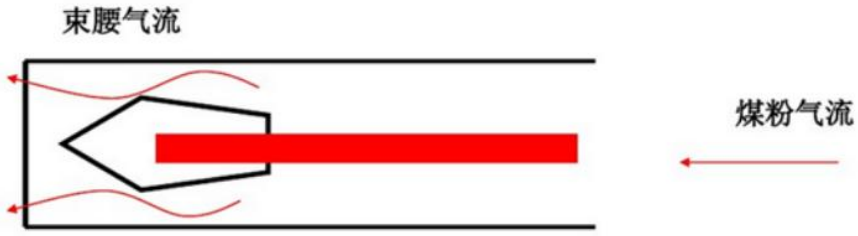


（2）、钝体燃烧器：它是在角置式煤粉燃烧器每个角一次风喷口出口处，设置一个非流线形物体——钝体，使煤粉气流在钝体的尾迹区产

生回流，卷吸高温烟气，以利于燃料的着火和火焰的稳定。着火后的煤粉火炬在炉膛内组成四角切圆燃烧。



（3）、 火焰稳燃船燃烧器：其结构为在常规直流煤粉燃烧器一次风口内加装一个船型火焰稳定器，并在其中心设有点火小油枪。采用这种结构后，上煤粉气流绕过它以后射入炉膛，在离一次风喷口不远处形成一个束腰射流。在束腰部的两侧外缘形成高温、高煤粉浓度和有适当氧气浓度的区域，成为点燃煤粉气流的良好着火热源，从而稳定炉内燃烧。

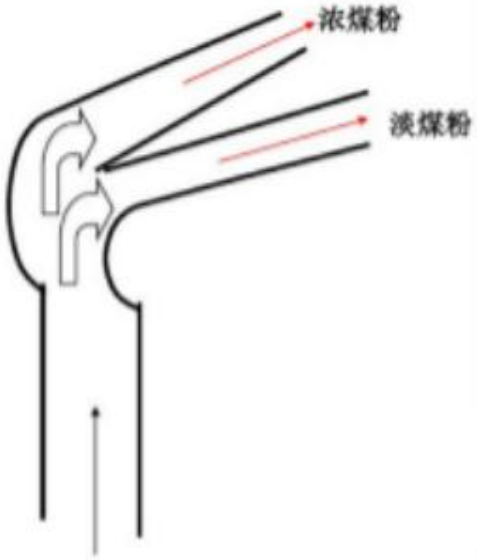


（4）、浓淡燃烧器：所谓浓淡燃烧器，就是采用将煤粉——空气混合物气流，即一次风气流分离成富粉流和贫粉流两股气流，这样可在一次风总风量不变的前提下提高富粉流中的煤粉浓度。

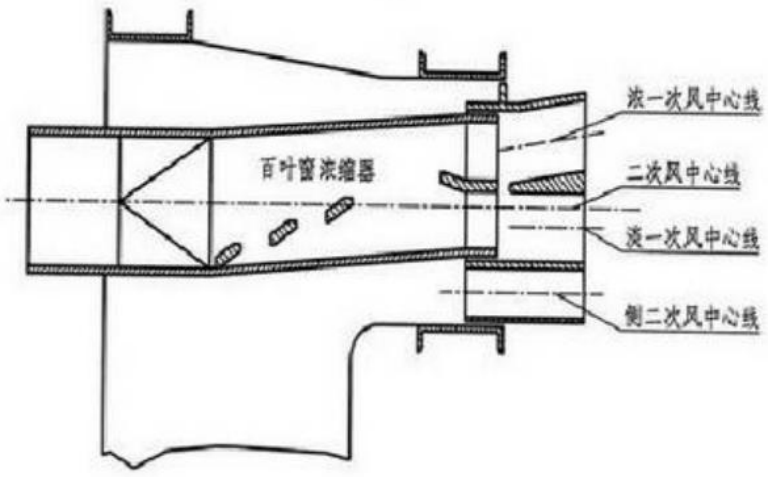
尽量在一次风喷口出口附近形成所谓“三高区”：局部高温、高煤粉浓度→浓淡分离、适当高的氧浓度。浓淡分离时，高浓度侧的作用：

减少了着火热；浓度提高，提高了燃烧的化学反应速度；降低了着火温度；缩短了着火时间和着火距离→利于燃尽；提高了炉内火焰黑毒→强化了辐射吸热；降低了 NOx 的生成（还原性气氛）。

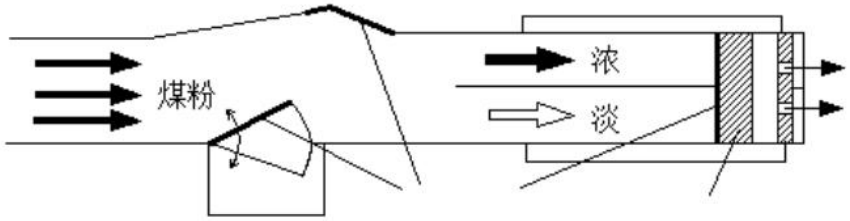
（a）、离心式煤粉浓缩器



（b）、百叶窗式浓淡型煤粉燃烧器



（c）、挡块式水平浓淡型煤粉燃烧器



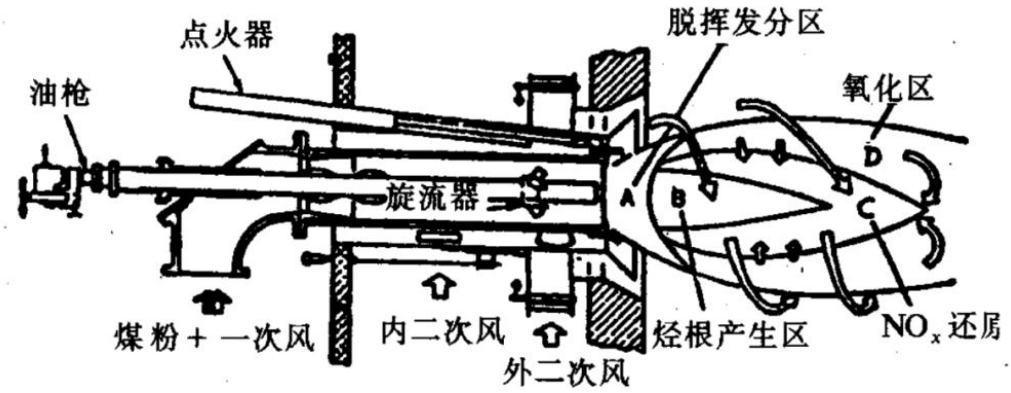
2、旋流式燃烧器

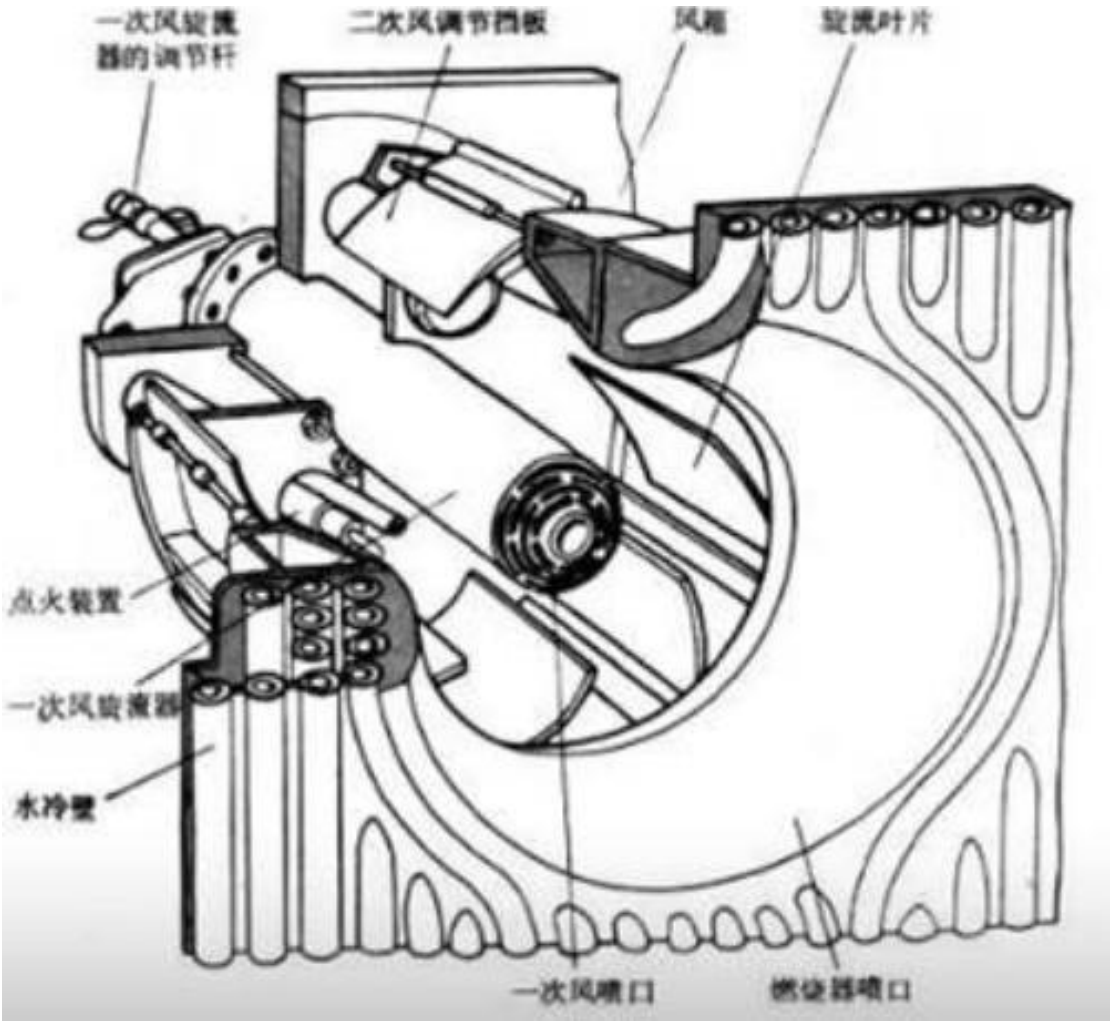
特点：出口气流包含绕燃烧器轴线旋转的旋转射流。气流旋转会在射流中心形成低压区，从而卷吸边界高温烟气，适用于含挥发分较高的煤种。

旋流燃烧器根据结构不同，分为：

（1）、蜗壳式旋流燃烧器：采用蜗壳作旋流器；

（2）、叶片式旋流燃烧器：采用叶片作旋流器。





三、系统说明：（以某公司 600MW 炉膛燃烧器为主）

1、本锅炉燃烧设备以 xx 煤为设计煤种，制粉系统采用中速磨煤机正压直吹系统，燃烧器采用四角布置切向燃烧方式，锅炉共配置六台 HP-983 型中速磨煤机，每台磨煤机的出口由四根煤粉管接至炉膛四角的同一层煤粉喷嘴，锅炉在 MCR 和 ECR 负荷时均投入五台磨煤机，另一台备用。每角燃烧器风箱分成十四层，其中 A、B、C、D、E、F 六层为一次风喷咀，其余八层为二次风喷咀。一、二次风呈间隔排列，一次风采用成熟的浓淡分离宽调节比（WR）煤粉喷咀，这不仅能提高低负荷燃烧的稳定性，并能提高燃烧效率。在一次风喷口周围布置有周界风，不仅能有效地冷却一次风喷口，还能改善煤种适应性。

2、燃烧器的一、二次风喷嘴呈间隔排列，燃烧器一次风喷咀采用等间距布置，间距为 1860mm，总距离为 9300mm。顶部设有 OFA 二次风（燃尽风），加上煤粉喷嘴的燃料风（周界风），每组燃烧器各有二次风挡板 14 组，均由电动执行器单独操作。为满足锅炉汽温调节的需要，燃烧器喷嘴采用摆动结构，除 OFA 层喷嘴单独摆动外，其余喷嘴由内外连杆组成一个摆动系统，由一台电动执行器集中带动作上下摆动。采用不同的二次风偏转结构使炉内空气动力场有利于稳定燃烧，降低 NOx 排放和减少结渣。上述电动执行器均采用进口的角行程结构，其特点是结构紧凑，能适应频繁启动。

3、在燃烧器二次风室中配置了三层（AB、 CD、 EF）共 12 支油枪，采用机械雾化方式，燃油容量按 24％MCR 负荷设计。点火装置采用高能电火花点火器。燃烧器采用水冷套结构，水冷套与燃烧器在出厂前由工厂进行安装。

4、燃烧器喷嘴摆动采用电动执行机构，通过连杆和内外摆动机构装置来实现。以喷嘴水平位置为零度，一次风可上下摆动各 20°，二次风可上下摆动各 30°。二次风挡板开度的调节也采用电动机构。

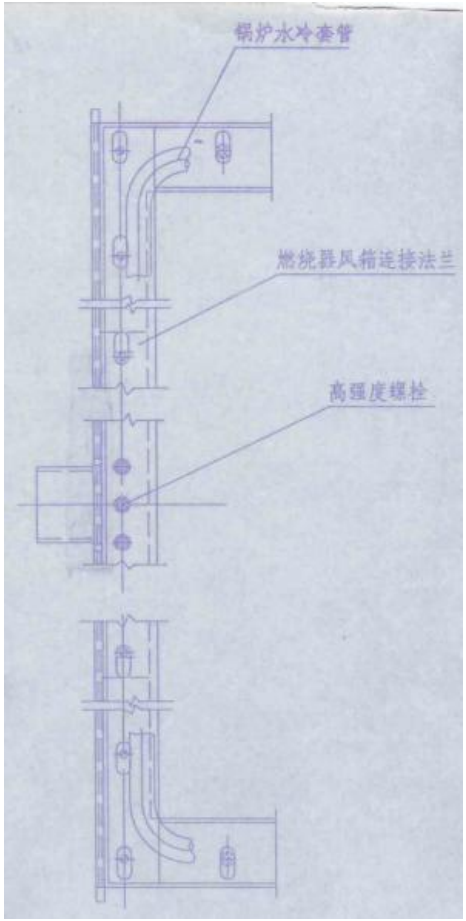
四、燃烧器构造

燃烧器主要主要由箱壳、煤粉风室、二次风室、喷嘴摆动系统、二次风挡板、护板及护板框架、进退式空气雾化油枪等构成。

1、 箱壳

（1）、箱壳的作用作用是将燃烧器的各个喷嘴固定在需要的位置，并将来自大风箱的二次风通过喷嘴送入炉膛。同时，箱壳也是喷嘴摆动系统的基座。

（2）、整个燃烧器与锅炉的连接，是通过箱壳与水冷套的连接来实现的。由于水冷壁管与箱壳内的热风温度不等，尤其是在锅炉升、停炉过程中温度变化差异较大，使箱壳与水冷壁之间会产生相对位移，为了避免应力过大，造成水冷壁管与箱壳损坏，只有连接法兰中部的螺栓是紧固的，上部和下部的螺栓留有 1/4～1/2 圈的松弛，燃烧器法兰上这部分螺孔又做成长圆孔，允许箱壳与水冷套之间有一定的胀差如下图。



燃烧器风箱和水冷壁连接

（3）、为了防止二次风在箱壳中流动时产生过大的涡流，在二次风室和煤粉风室中设有导流板，前者为二块，后者为一块，使喷嘴出口处的气流趋于均匀和稳定。

（4）、箱壳上还设有用来分隔各风室的分隔板，部分分隔板还起到连接前后墙与侧墙刚性梁的作用，这部分分隔板的厚度增加了一倍（20mm），尺寸向外延伸至刚性梁的连接处。燃烧器出厂时，这部分隔板上还焊有上、下两组卧室吊梁，其作用仅供运输燃烧器起吊之用，当燃烧器在工地安装就位后，就应按箱壳图纸将其割去，如果锅炉点火时仍未割去，不仅切割操作及清除将十分困难，更由于吊梁与箱壳本体的温度相差甚大，胀差也大，从而会损坏燃烧器结构，所以是绝对不允许的。

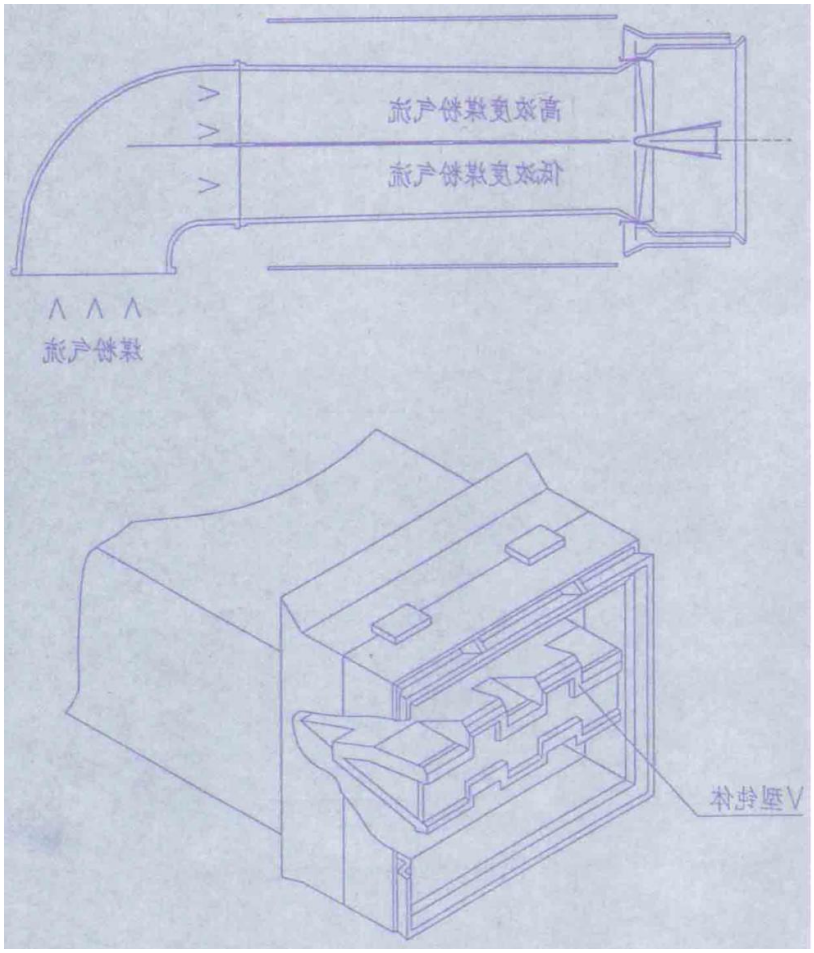
（5）、箱壳各风室的侧面设有由螺栓连接的检查门，以便维修人员进入箱壳维修和检查。

（6）、箱壳是薄壳结构，壳板厚 6mm，为了满足刚性要求，在风室之间设置了斜拉撑。由于箱壳的变形对燃烧器的正常运行影响很大，所以运行过程应予以足够的关注，经常检查。

2、煤粉风室

（1）、本燃烧器采用宽调节比（WR）煤粉喷嘴结构，它由带浓淡分离隔板的喷管与带水平 V 型钝体的喷嘴两部分组成,布置在箱壳的煤粉风室中。由于各煤粉管的相对位置不同，分隔板的进口端分为左 40°、右 40°和平行（0°）三种结构，均用支承螺栓和筋板固定在煤粉喷管中。本燃烧器在一次风喷嘴四周布置有被称为燃料风的二次风。它利用一次风气流通过燃烧器进口弯头时的离心力，使大部分煤粉颗粒趋向弯头外侧而形成浓

淡不同的二股气流，再通过弯头后直段部分的中间隔板，将这二股气流维持到煤粉喷嘴，在煤粉喷嘴内部也设置了一个水平的 V 型钝体，使煤粉气流在钝体尾部形成一个回流区，利用炉内的炽热气体将煤粉气流迅速加热，浓度高的部分先着火，形成稳定火焰。宽调节比煤粉喷嘴不仅提高了单只喷嘴自身的稳燃能力，而且也是抑制 NOx 形成的有效措施之一。



宽调节比（W.R）煤粉喷嘴

除了煤粉喷嘴本身的结构之外，本燃烧设备还从煤粉喷嘴中心距的总体布置上为稳定着火创造了有利条件，就是在六层一次风喷嘴之间采用了合适的间距（1860mm），使燃烧器既有维持低负荷所必要的喷嘴热功率，又可在低负荷时有二层火炬相互点燃支撑，

发挥四角切圆燃烧的优势；此外，由于六层一次风是连续不分组布置，可任意组织相邻二层低负荷运行，调节灵活，空间大。

（2）、进入煤粉炉燃烧器的空气不是一次集中送进的，按对着火、燃烧有利而合理组织、分批送入，按作用不同，可分为三种

a、**一次风**：携带煤粉送入燃烧器的空气。主要作用是输送煤粉和满足燃烧初期对氧气的需要。

b、**二次风**：待煤粉气流着火后再送入的空气。二次风补充煤粉继续燃烧所需要的空气，并起气流的扰动和混合的作用。

c、**三次风**：对中间储仓式热风送粉系统，为充分利用细粉分离器排出的含有 10%～15%细粉的乏气，由单独的喷口送入炉膛燃烧，这股乏气称为三次风。

3、二次风室

燃烧器中 AA、AB、BC、DE、EF、FF 及 OFA 层为二次风室：

（1）、AB、CD、EF 层为油枪层；

（2）、EF、CD、BC 层喷嘴采用 4.5° 顺时针偏转结构；

（3）、DE 层为 15° 顺时针偏转结构，他们牵引对冲的一次风构成顺时针方向旋转的炉内主气流；

（4）、AB 层为 20° 逆时针偏转；

（5）、AA 层及 OFA 层 25° 逆时针偏转，它们起到减轻和消除气流残余旋转的作用；

（6）、FF 层二次风因考虑托粉，故不作偏转。

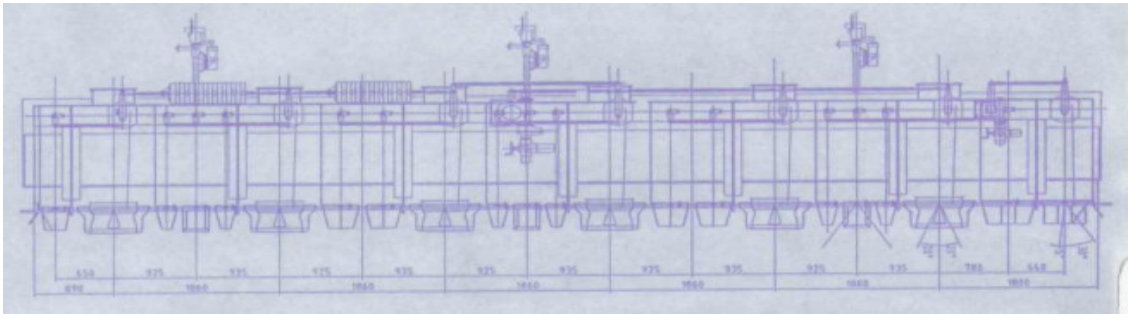
（7）、DE 层偏转角较大，风量增加时能使气流旋转强度增加，火焰充满度亦好，对防止结焦及高温腐蚀有好处，但需注意对左右烟温偏差的影响；

（8）、AA、AB 及 OFA 层风量的增加则对减小偏差有利。

4、喷嘴摆动系统

（1）、OFA 层喷嘴通过一组内外传动机构由一台 SA07.1B63 电动执行器操纵，摆动范围为+30°～-5°。

（2）、其余喷嘴由六组内外传动机构传动，每组分别带动一组煤粉喷嘴及其邻近的二次风喷嘴，提高了摆动的可靠性与精度，这六组传动机构又由外部垂直连杆连成一个摆动系统，由一台 SA10.1B125 角行程电动执行器统一操纵作同步摆动，为了适应新的布置方式，该电动执行器安装在燃烧器的中部。此外，在传动机构的外部连杆上，还自上而下增设了平衡重锤，用来平衡喷嘴的自重，使摆动执行器的作用主要只用于克服摆动的摩擦力，而不再兼作喷嘴自重的平衡器。采用电动执行器的优点容易保证四角同步摆动，避免炉内出现气流紊乱，同时也能适应自动控制频繁启动的要求。



燃烧器摆动系统

（3）、二次风喷嘴的摆动范围为±30°，煤粉喷嘴的摆动范围为±20°。

注意：摆动系统不允许长时间停在同一位置（尤其是下倾），每班应至少人为地摆动一至二次。

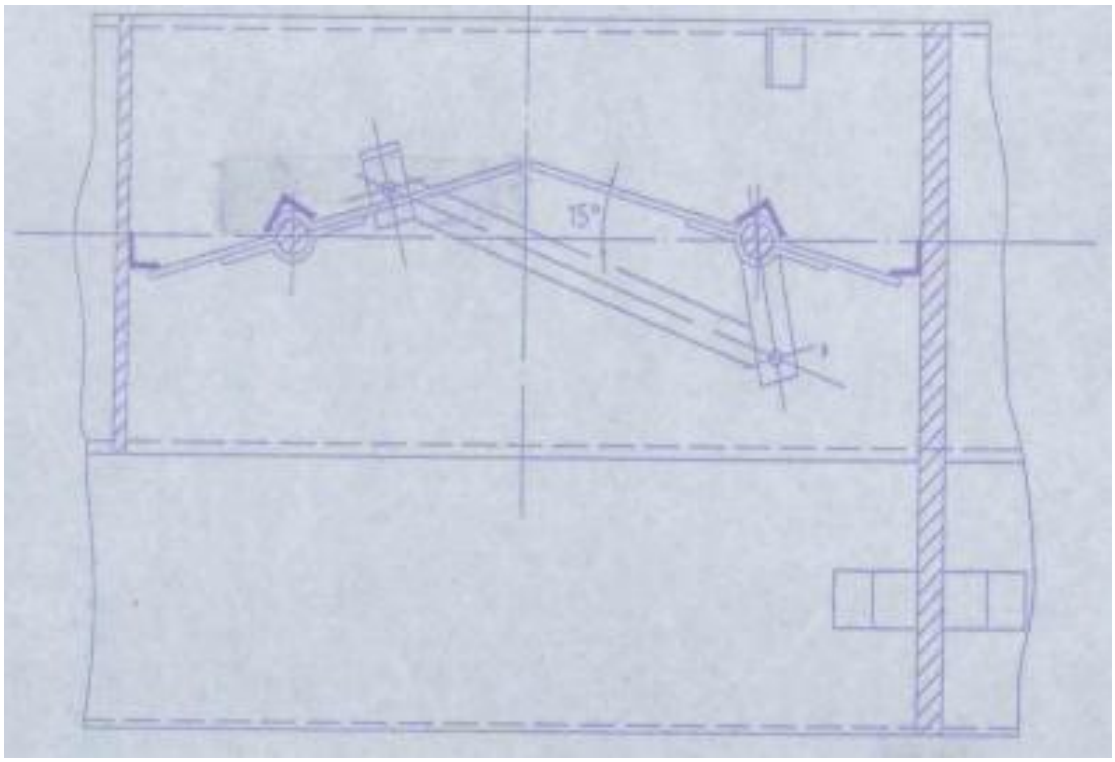
5、二次风挡板

（1）、本燃烧器的每个风室，都配有各自的风门挡板，由一台 AS25 角行程电动执行器带动，根据 CCS 和 FSSS 的指令进行动作。正常情况下，同层四组燃烧器的风门挡板应同步动作。

（2）、风门挡板的结构为双挡板对称布置，全关闭状态下挡板呈 15°倾斜，故从全关到全开的转角为 75°。由于挡板的转轴不在挡板的中心，二侧所受风压构成非平衡结构，这种结构在炉膛负压增大时，有利于挡板的打开，在炉膛负压呈正压状态时，使挡板趋向于关闭，有利于稳定炉膛负压。

（3）、当风门挡板在全关闭状态时，仍留有 8%的流通空隙，这是为了避免挡板全关时燃烧器喷嘴过热而被烧坏，是正常的保护措施，不应被视为“设计缺陷”而人为地将其堵去。

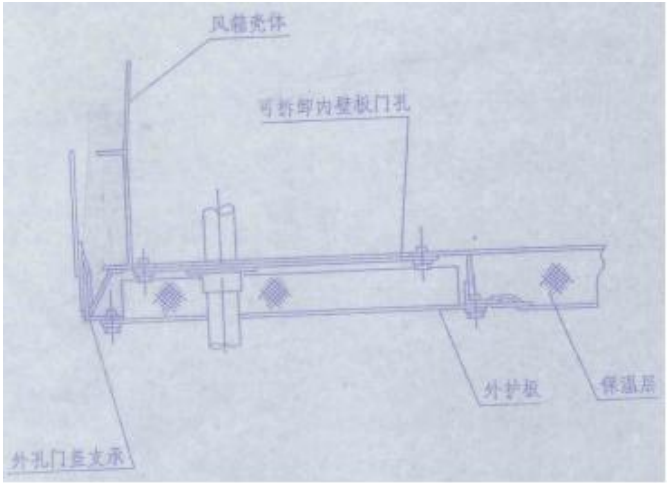
（4）、二次风挡板动作是否正常，直接关系到锅炉能否正常运行，因此运行中要经常检查各挡板是否有卡煞、开度指示与实际位置是否一致、传动机构是否正常。



二次风挡板装置

6、护板及护板框架

燃烧器箱壳的后部设有与一次风喷管及油燃烧器装置相联的内护板，由特别的门盖螺栓与箱壳相连接。在箱壳壁板与内护板外面，敷有 130-150mm 厚的岩棉板保温层，保温层外设有外护板。检查门盖和内护板处的保温层及外护板，均用螺栓装在护板框架上。



内外护板及保温层

7、进退式空气雾化油枪

本燃烧设备在 AB、CD、EF 层设有供暖炉用的进退式机械雾化油枪，全称为机械雾化可进退的挠性型油枪。其作用是用来暖炉、升压，并可引燃和稳燃相邻的煤粉喷嘴。本燃烧设备配置的十二支油枪的规格是相同的。

油枪由炉膛安全保护监察系统进行控制，它应向油枪提供正确的工作程序（油枪进、油枪退、阀门开启和关闭等）。监视工况包括油压、油量、油枪和阀门位置等以及不良工况时的自动切断。

四、系统运行

1、燃烧器系统的运行

（1）、 锅炉正常运行中为了减少 NOX 的排放量，可采用增大燃烧器上部燃烬风量的方法，但要注意烟气中氧量值不宜过大，以免降低锅炉效率。二次风的调节应满足省煤器出口氧量以及辅助风、燃料风和燃烬风的分配。

（2）、为保证摆动机构正常工作，燃烧器喷嘴不允许长时间停留在同一位置，正常运行时必须投入摆角自动。

（3）、锅炉正常运行时应根据负荷情况投运燃烧器，低负荷运行时，尽量投用相邻层燃烧器，并保持较高的煤粉浓度，以利于煤粉着火燃烧。高负荷运行时，要多投入燃烧器，使炉内热负荷均匀，燃烧稳定。

2、雾化油枪的操作基本规则

（1）、升炉前：吹扫炉膛至少五分钟；人工检查风机与调节挡板位置，在全行程范围内动作是否正确。

（2）、燃烧油时，油粘度应保持在≤3° E，必要时须加热。查阅温度-粘度曲线图，以确定给定粘度下的温度范围。大多数情况下，点燃第一支油枪前，油路系统进行循环。投运第二支油枪前，0.5″的再循环阀保持开启状态，以避免油枪初始投运时油压的瞬间跌落过大。第二支油枪投运后，必须关闭再循环阀，以保持系统所要求的合适的油温和油压。

（3）、确保点火器正确运行，总是用一个点火器点燃相应的一支油枪，决不要用已点着油枪去引燃另一支油枪。

（4）、正确设定二次风挡板的位置，有助于各挡板控制辅助风室和燃油风室的二次风分配合理。

（5）、插入油枪前，检查喷嘴雾化板装配是否正确。打开进油阀，点燃油时，要用肉眼观察着火是否及时，倘若没有点着或燃烧很不稳定，必须关闭进油阀，再拆卸油枪进行检查，找到未点着的原因并消除缺陷后，才能重新点燃油枪。

（6）、油枪不投时，即断油后，立即吹扫油管路，关闭阀门后，再退出油枪。倘若关闭阀门前火检指示有火，应继续吹扫油枪管路。炉前阀门首先闭合进油阀，然后打开蒸汽吹扫阀。吹扫完毕，关闭蒸汽蒸汽吹扫阀，退出油枪。

注：未经清扫的油枪从导管中拆卸时需要进行清理。

（7）、冷炉点火时务必小心谨慎，注意观察油燃烧情况。在此期间，未燃油可能被带走，粘连在尾部受热面上，有释放出可燃气和碳黑聚积的潜在危险。不良的燃烧工况通常由下列情况显示出来：

Ø着火不稳定

Ø火焰尾部冒黑烟

Ø炉膛出口有明显的烟雾。

不完全燃烧可能由下述原因引起：

Ø由于油温低或油压不适当，造成雾化不良。

Ø由于清理不够，喷嘴零件结焦。

Ø由于燃油风室挡板未处于最佳位置造成二次风分配不当。

https://mp.weixin.qq.com/s/3P3-PkiAWwkQUrOPwC38cQ

这个链接全是图片，帮忙全部放在一个文件里面

一、燃烧调整的目的和任务

锅炉燃烧工况的好坏，不但直接影响锅炉本身的运行工况和参数变化，而且对整个机组运行的安全、经济均将有着极大的影响，因此无论正常运行或是启停过程，均应合理组织燃烧，以确保燃烧工况稳定、良好。锅炉燃烧调整的任务是：

1、保证锅炉参数稳定在规定范围并产生足够数量的合格蒸汽以满足外界负荷的需要；

2、保证锅炉运行安全可靠；

3、尽量减少不完全燃烧损失，以提高锅炉运行的经济性；

4、使 NOxSOx 及锅炉各项排放指标控制在允许范围内。燃烧工况稳定、良好，是保证锅炉安全可靠运行的必要条件。燃烧过程不稳定不但将引起蒸汽参数发生波动，而且还将引起未燃烬可燃物在尾部受热面的沉积，以致给尾部烟道带来再燃烧的威胁。炉膛温度过低不但影响燃料的着火和正常燃烧，还容易造成炉膛熄火。炉膛温度过高、燃烧室内火焰充满程度差或火焰中心偏斜等，将引起水冷壁局部结渣，或由于热负荷分布不均匀而使水冷壁和过热器、再热器等受热面的热偏差增大，严重时甚至造成局部管壁超温或过热器爆管事故。

燃烧工况的稳定和良好是提高机组运行经济性的可靠保证。只有燃烧稳定了，才能确保锅炉其它运行工况的稳定；只有锅炉运行工况稳定了，才能保持蒸汽的高参数运行。此外，锅炉燃烧工况的稳定、良好，

是采用低氧燃烧的先决条件，采用低氧燃烧，对降低排烟热损失、提高锅炉热效率，减少 NOx 和 SOx 的生成都是极为有效的。

提高燃烧的经济性，就要求保持合理的风、粉配合，一、二次风配比，送、吸风配合和保持适当高的炉膛温度。合理的风、粉配合就是要保持炉膛内最佳的过剩空气系数；合理的一、二次风配比就是要保证着火迅速，燃烧完全；合理的送、吸风配合就是要保持适当的炉膛负压。无论在稳定工况或变工况下运行时，只要这些配合、比例调节得当，就可以减少燃烧损失，提高锅炉效率。对于现代火力发电机组，锅炉效率每提高 l%，整个机组效率将提高约 0.3—0.4%，标准煤耗可下降 3—4g/(kW•h)。

要达到上述目的，在运行操作时应注意保持适当的燃烧器一、二次风配比，即保持适当的一、二次风的出口速度和风率，以建立正常的空气动力场，使风粉均匀混合，保证燃烧良好着火和稳定燃烧。此外，还应优化燃烧器的组合方式和进行各燃烧器负荷的合理分配，加强锅炉风量、燃料量和煤粉细度等的调节，使锅炉始终保持安全经济的状态运行。

锅炉运行中经常碰到的燃烧工况变动是负荷或燃料品质的改变，当发生上述变动时，必须及时调节送人炉膛的燃料量和空气量，使燃烧工况得到相应的加强或减弱。

在高负荷运行时，由于炉膛温度高，煤粉着火和风煤混合条件均较好，燃烧一般比较稳定。为了提高锅炉效率，可根据煤质等具体情况，适

当降低过剩空气系数运行。过剩空气系数减小，排烟热损失必然降低，而且由于炉膛温度提高并降低了烟速，煤粉在炉膛内停留的时间相对延长。只要过剩空气控制适当，不完全燃烧损失并不会增加，锅炉效率便可得到提高。低负荷时，由于燃烧减弱，投入的煤粉燃烧器可能减少，炉膛温度和热风温度均较低，火焰充满程度差，为了减少不完全燃烧损失，锅炉风量又往往偏大，使燃烧稳定性、经济性都下降。因此，低负荷时，在风量满足要求的情况下，应适当降低一次风风速使着火点推前，并适当降低二次风的风速，以增强高温烟气的回流，以利于燃料的着火和燃烧；尽量采用多火嘴、少燃料、燃烧器对称投入均匀分布的方式，以利于火焰问的相互引燃和改善炉膛火焰的充满程度；在燃用低挥发分的煤种时应采用集中火嘴增加煤粉浓度的方式，使炉膛热负荷集中，以利于燃料的点燃。

二、影响燃烧的因素和强化燃烧的措施

1、影响燃烧的因素

1)燃料品质的影响

锅炉燃烧设备是按设计煤种设计的，煤质和特性不同，燃烧器的结构特性也就不同。因此，火温度升高，着火热就增大，因而燃用挥发分低的煤种时着火就困难，达到着火所需时间就较长，着火距离就较远。在相同的风粉比条件下，挥发分降低，煤粉火炬中火焰传播的速度将显著降低，从而使火焰扩展条件变差，着火速度减慢，燃烧稳定性降低。对于挥发分很低的无烟煤而言，含氧量较高时较容易着火。此外，

挥发分的含量对煤粉的燃烬也有直接的影响。通常燃煤的挥发分含量越高，越容易着火，燃烧过程越稳定，不完全燃烧损失也就越小。

灰分过高的煤着火速度慢，燃烧稳定性差，而且燃烧时由于灰分容易隔绝可燃质与氧化剂的接触，因而多灰分的煤燃烬性能也较差。煤的灰分越高，加热灰分造成的热量时，不但影响燃烧器的安全运行，而且还将对炉内燃烧工况产生直接的影响。

水分对燃烧过程的影响主要表现在水分多的煤引燃着火困难，且会延长燃烧过程，降低燃烧室温度，增加不完全燃烧及排烟热损失。因为煤燃烧时，水分蒸发需要吸收热量，使煤的实际发热量降低、燃烧温度下降。此外，煤的水分过高时还将影响煤粉细度及磨煤机的出力，并将造成制粉系统的堵煤或堵粉，严重时甚至引起燃烧异常等故障情况。

2)煤粉细度的影响

煤粉越细，表面积越大，在其它条件相同的情况下，加热时温升越快，挥发分的析出、着火及化学反应速度也就越快，因而越容易着火。煤粉细度越细。所需燃烧时间越短，燃烧也就越完全。

3)一次风的风量、风速、风温的影响

正常运行中，减少风粉混合物中一次风的数量，一方面相当于提高煤粉的浓度，将使煤粉的着火热降低；另一方面在同样高温烟气量的回流下，可使煤粉达到更高的温度，因而可加速着火过程，对煤粉的着火和燃烧有利。但一次风量过低，则往往会由于着火初期得不到足够

的氧气，使反应速度反而减慢而不利于着火扩展。一次风量应以能满足挥发分的燃烧为原则。

一次风速过高，将降低煤粉气流的加热程度，使着火点推迟，容易引起燃烧不稳，且煤粉燃烧也不易完全；特别是降低负荷时，由于炉内温度较低，甚至有可能产生火焰中断或熄火，此时，应设法降低一次风速。但一次风速过低会造成一次风管堵塞，而且着火点过于靠前，还可能烧坏喷燃器。一次风温越高，煤粉气流达到着火点所需热量就越少，着火速度就越快。但一次风温过高，对于燃用高挥发分的煤种时，往往会由于着点离燃烧器喷口过近而造成结渣或烧坏喷燃器。反之，一次风温过低，则会使煤粉的着火点推迟，对着火不利。

4)燃烧器特性的影响

对于同一台锅炉而言，燃烧器出口截面越大，混合物着火结束离开喷口距离就越远，即火焰相应拉长。小尺寸燃烧器能增加煤粉气流点燃的表面积，使着火速度加快，着火距离缩短，一方面将使膛出口温度不致过高，另一方面又能燃烧完全。直流燃烧器着火区的吸热面积虽较小，但由于能得到炉膛中温度较高烟气的混入和加热，因而在着火条件上还是比较好的。

直流燃烧器组织切圆燃烧时后期煤粉与空气的混合较充分，而且可根据不同燃料对二次风混入时间的要求，进行结构和布置特性上的设计，以改善燃烬程度。旋流燃烧器着火区的吸热面积大，着火条件好，能独立着火燃烧，特别是在大型锅炉上采用时可有效地解决炉膛出口烟气的偏斜问题，但对煤种的适应性较差。

5)锅炉负荷的影响

锅炉负荷降低时，炉膛平均温度降低，燃烧器区域的温度也要相应降低，对煤粉气流的着火不利。当锅炉负荷降低到一定值时，为了稳定炉火，必须投用油枪进行助燃。无助燃油枪时煤粉能稳定着火和燃烧的锅炉允许最低负荷，与锅炉本身的特性、所燃用的煤种和燃烧器的型式等有关。燃用低挥发分煤种或劣质烟煤时，其最低负荷值便要升高；燃用优质烟煤时，其值便可降低。锅炉全烧煤时的允许最低负荷，应通过燃烧试验来确定。

6)过膛空气系数的影响

炉膛过剩空气系数过大，将使炉膛温度降低，对着火和燃烧都不利，而且还将造成锅炉排烟热损失的增加。过剩空气系数过小时，又将造成缺氧燃烧，使燃烧不完全。

7)一次风与二次风配合的影响

一、二次风的混合特性也是影响着火和燃烧的重要因素。二次风在煤粉着火以前过早地混合，对着火是不利的。因为这种过早的混合等于增加了一次风量，将使煤粉气流加热到着火温度的时间延长，着火点推迟。如果二次风过迟混人，又会使着火后的燃烧缺氧。故二次风的送人应与火焰根部有一定的距离，使煤粉气流先着火，当燃烧过程发展到迫切需要氧气时，再与二次风混合。

8)燃烧时间的影响

燃烧时间对煤粉燃烧完全程度影响很大。燃烧时间的长短主要决定于炉膛容积的大小，一般来说，容积越大，则煤粉在炉膛中流动时间越长，此外，燃烧时间的长短还与火焰充满程度有关，火焰充满程度差，就等于缩小了炉膛容积，使煤粉颗粒在炉膛中停留的时间变短。燃用低挥发分的煤种时，一般应适当加大炉膛容积，以延长燃烧时间。此外，炭粒的燃烬，占了燃烧过程的大部分时间和空间，因此尽量缩短着火阶段，可以增加燃烬阶段的时间和空间，将有利于炭粒的燃烬。

2、良好燃烧的必要条件

综上所述，影响燃烧的因素很多，而好的燃烧，必须具备以下条件：

(1)供给完全燃烧所必须的空气量；

(2)维持适当高的炉膛温度；

(3)空气与燃料具有良好的混合；

(4)有足够的燃烧时间。

3、强化煤粉燃烧的措施

根据影响着火和燃烧因素的分析，强化煤粉燃烧，一般可采取如下措施：

(1)提高热风温度；

(2)保持合适的空气量，根据煤种，控制合理的一次风量；

(3)选择适当的气流速度，以保证适当的着火点位置；

(4)根据燃烧过程的发展，及时送入二次风，既不使燃烧缺氧，又不降低火　　焰温度；

(5)保持着火区的高温，加强气流中高温烟气的卷吸：

(6)选择适当的煤粉细度；

(7)维持远离燃烧器的火炬尾部具有足够高的温度，以增强燃烬阶段的燃烧程度。

三、煤粉细度的确定

煤粉细度不但影响煤粉的着火和燃烧条件，而且对燃烧的经济性也将产生直接的影响。煤粉越细，燃烧越快越完全，不完全燃烧损失越低。燃烧细的煤粉时还可降低炉膛过剩空气系数，使排烟热损失减少。但磨制细的煤粉需要消耗较多的电能和制粉设备的金属；反之煤粉越粗，则制粉设备的电耗及金属损耗可越少，但不完全燃烧就要增大。适当

的煤粉细度可使排烟热损失和机械不完全燃烧损失((12+q4)以及制粉设备的电耗和金属消耗(即设备磨损)的总和为最小。总损失最小时的煤粉细度，称为煤粉的“经济细度”。

影响煤粉经济细度的因素有：煤种特性、制粉系统特性、燃烧设备的型式和完善程度以及运行工况等。

煤中挥发分的含量是决定煤粉经济细度的主要因素。当锅炉燃煤的挥发分含量较多时，由于相对容易燃烧，故煤粉可以适当粗一些。当煤中含有较多的灰分时，由于灰分会阻碍燃烧，此时就要求煤粉能适当细一些。

当制粉设备磨制出的煤粉均匀性较好时，由于煤粉中粗粉含量相对较少，因而煤粉便可适当粗一些，即煤粉的经济细度可相对变粗。

对于既定的锅炉设备和燃用煤种，其煤粉经济细度可通过试验来确定。

四、不同煤种的燃烧调整原则

1、无烟煤

无烟煤是挥发分最低的煤种，它的可燃基挥发分在10％以下，而固定碳较高，因此不易着火和燃烬。在燃烧无烟煤时，为保证着火，必须保持较高的炉膛温度，一次风量、一次风速应低些，这样对着火有利。但一次风速不能过低，否则气流刚性差、卷吸力量小，严重时反而不利于着火和燃烧，同时还有可能造成一次风管内气粉分离甚至堵塞。二次风速应高些，二次风速较高能有利于穿透，使空气与煤粉充分混合，并能避免二次风过早混入一次风，影响着火。各组二次风门开度可采用倒宝塔形，即上二次风开大、中二次风较小、下层二次风门开度最小。这是因为在燃烧器区，随烟气向上运动，烟速逐渐增加，易使上二次风射流上翘，开大上二次风，且提高上二次风风速，对混合有利。下二次风关小，以提高炉膛下部温度，对着火引燃有利，但风速应以能托住煤粉为原则。此外，煤粉细度应适当控制行细些，一般R90可在8％一10％，并应提高磨煤机出口温度，这样对着火和燃烧有利。贫煤的挥发分含量为10—12％，其着火性能比无烟煤要好些。

2、烟煤

通常烟煤的挥发分和发热量都较高，灰分较少，容易着火燃烧，因而一次风量和风速应高些。二次风速可适当降低，使二次风混入一次风的时间提前，将着火点推后以免结渣或烧坏喷燃器。燃烧器最上层和最下层的二次风门开度应大些较好。这是因为最上层二次风除供给上排煤粉燃烧所需的空气外，还可以补充炉膛中未燃烬的煤粉继续燃烧所需要的空气，另外还可以起到压住火焰中心的作用。最下层二次风能把分离出来的煤粉托起继续燃烧，减少机械不完全燃烧损失。

3、劣质烟煤

劣质烟煤是水份多、灰分多、发热量低的烟煤。这种煤的挥发分虽较高，但是由于煤的灰分高，水分又多，燃用该煤时，将使炉膛温度降低，而且挥发分又被包围不易析出，因此这种煤着火比较困难，着火后燃烧也不易稳定。由于灰分的包围，煤粉也难燃烬，燃烧效果不好，同时由于灰分多，炉内磨损、结渣等问题较为突出。

总之，燃用劣质烟煤，必须解决着火困难、燃烧效果差、磨损结渣等问题。燃用劣质烟煤的配风方式与燃用无烟煤相似，一次风量与一次风速应低些，二次风速可高些。一般一次风率为 20％一 25％，一次风速为 20—25m／s，二次风速可高些，一般为 40—50m／s。

4、褐煤

褐煤是发热量低，水分多，挥发分高，灰熔点低的劣质煤，由于褐煤的水分高，煤的干燥就比较困难，并使炉内烟气量增大，烟气流速增高，加上灰分多，因而极易造成受热面的严重磨损。褐煤灰熔点低，在炉内容易发生结渣。

燃用褐煤时的配风原则与燃用烟煤时基本相同。但一次风量、一次风速和二次风速的数值，一般比燃用烟煤时要高一些。

五、燃料量的调节

1、直吹式制粉系统煤量的调节

具有直吹式制粉系统的煤粉炉，一般都装有数台磨煤机，也就是具有几个独立的制粉系统。由于直吹式制粉系统无中间煤粉仓，它的出力大小将直接影响到锅炉的热负荷。当锅炉负荷变动不大时，可通过调节运行中制粉系统的出力来解决。当锅炉负荷增加，要求制粉系统出力增加时，应先增加磨煤机内的存粉作为增负荷开始时的缓冲调节；然后再增加给煤量，同时相应开大二次风门。反之，当锅炉负荷降低时，则应减少给煤量、磨煤机通风量以及二次风量。

当负荷有较大的变动时，则需通过启动或停用制粉系统方能满足对燃料量改变的需要，其原则是一方面应使磨煤机在合适的负荷下运行，另一方面则要求燃烧器在新的组合方式下能保证燃烧工况良好，火焰分布均匀，以防止热负荷过于集中造成水冷壁运行工况恶化。在启动或停用制粉系统时，应及时调整一次风、二次风以及炉膛压力；及时调整其它燃烧器的负荷，保持燃烧稳定和防止负荷的骤增或骤减。

总之，对于具有直吹式制粉系统的锅炉，其燃料量的调节，基本上是通过改变给煤量来实现的，在调节给煤量的风门开度时，应注意挡板开度指示、风压变化情况以及各电动机的电流变化，防止发生堵管或超电流等异常情况。

2、燃油量的调节

燃油量的调节方法与燃油系统的型式和油喷嘴的雾化方式有关。燃油量的调节方法主要有进油调节和回油调节两种。雾化方式一般有机械雾化和蒸汽雾化等方式。

采用进油调节的系统，当调节幅度不大时，可以用调节进油压力的方法来改变燃油量；当调节幅度较大时，则应通过改变运行油喷嘴的个数来实现。

采用回油调节的系统，则是通过改变回油量来调节进人炉膛的油量的，回油形式一般有内回油和外回油两种。内回油系统对负荷的适应性较强，一般适应30—40％的负荷变化。但是，在低负荷时，由于喷嘴出口处轴向流速降低而切向速度不变，造成雾化角相应变大，容易造成喷燃器扩口处结渣或烧坏。外回油系统，虽然负荷变化时雾化角可基本不变，但低负荷时雾化质量将会下降。

采用蒸汽雾化的油喷嘴，当调节幅度不大时，可通过改变油压来改变喷油量。采用蒸汽雾化的油枪，一般油压允许在某一范围内变动。当油压低至允许的低限时，如仍需减少油量，则应通过减少油喷嘴的数量来进行；当油压高至允许的高限时，则应投入适当数量的备用油枪。

降低油压，使油量调节保持一定的裕度。燃油雾化蒸汽压力通常采用定压或与油压保持固定压差的方式运行。

六、风量的调节

当外界负荷变化而需要调节锅炉出力时，随着燃料量的改变，锅炉的风量也需作相应的调节。

送入炉内空气量的大小，可以用过剩空气系数 a 来衡量。通过控制烟气中的含氧量，便能达到控制过剩空气系数的目的。一般锅炉控制盘上均装有氧量表，因此运行人员可直接根据氧量表的数值来控制炉内的空气量，而不必换算成过剩空气系数。

从运行经济性方面来看，在一定范围内，炉内过剩空气系数增大，可以改善燃料与空气的接触和混合，有利于完全燃烧，使化学不完全燃烧热损失 q3 和机械不完全燃烧损失 q4 降低。但是，当过剩空气系数过大时，因炉膛温度降低和烟气流速加快使燃烧时间缩短，可能使不完全燃烧损失反而有所增加。排烟带走的热损失 q2 则总是随着过剩空气系数的增大而增加的。

所以，过剩空气系数过大时，锅炉总的热损失就要增加；与此同时，还将使送、吸风机的电耗增大。合理的过剩空气系数应使各项热损失之和(q2+q3+q4)为最小，这时的过剩空气系数称为锅炉的最佳过剩空气系数。显然，正常运行时送人锅炉的空气量，应当使过剩空气系数尽量维持在最佳值附近。

从锅炉工作的安全性方面来看，炉内过剩空气系数过小，会使燃料燃烧不完全，造成烟气中含有较多的未燃烬碳和一氧化碳可燃气体等，给尾部烟道受热面发生可燃物再燃烧带来威胁。灰分在还原性气体中熔点降低，易引起炉内结渣等不良后果。过大的过量空气系数还将使煤粉炉受热面管子和吸风机叶片的磨损加剧，影响设备的使用寿命。此外，过剩空气系数增大时，由于过剩氧的相应增加，使燃料中的硫分易于形成 SO3，烟气露点温度也相应提高，从而使尾部烟道的空气预热器更易于腐蚀。同时，烟气中的 NOx 也将增多，影响排放指标的合格。

正常稳定的燃烧，说明风、粉配合比恰当。这时，炉膛内应具有光亮的金黄色的火焰，火焰中心应在炉膛的中部，火焰均匀地充满炉膛，但不触及四周水冷壁，不冲刷屏式过热器。同层燃烧器的火焰中心处于同一标高上。着火点应适中，太近易引起燃烧器周围结渣或烧坏喷燃器；着火点过远，又会使火焰中心上移，使炉膛上部结渣和不完全燃烧程度增加，影响锅炉效率，严重时还将使燃烧不稳，甚至引起锅炉熄火。

总之，风量过大或过小都会给锅炉的安全经济运行带来不良的影响。

锅炉总风量的调节，是通过改变送风机的风量来实现的。对于离心式送风机，通常是改变进口导向挡板的开度；对于轴流式送风机，一般是通过改变风机动叶角度来调节风量的。在锅炉的风量控制中除了改变总风量外，一、二次风的配合调节也是十分重要的。一、二次风的风量分配应根据它们所起的作用进行调节。一次风量应以能满足进入

炉膛的风粉混合物中挥发分燃烧及固体焦炭质点的氧化需要为原则。二次风量不仅应满足燃烧的需要，而且还应起到补充一次风末段空气量不足的作用。此外，二次风应能与进入炉膛的可燃物充分混合，这就是需要有较高的二次风速，以便在高温火焰中起到搅拌混合的作用，以强化燃烧。有些情况下，可借助改变二次风门的开度，来满足由于喷燃器中煤粉浓度偏差造成的风量需求。

目前，大容量的锅炉，一般都装有两台送风机。当两台送风机均运行时，在调节风量的过程中，应同时改变两台风机的风量并注意观察电动机的电流以及风机的出口风压、风量同步变化，使两侧空气或烟气流动工况均匀，并防止轴流风机进入不稳定工况区域运行。风量调节时，还应通过炉膛出口氧量的变化，来判断是否已满足需要。高负荷情况下，应特别注意防止电动机的电流超限。

七、炉膛压力的调节

炉膛压力是反映燃烧工况稳定与否的重要参数。炉内燃烧工况一旦发生变化，炉膛压力将迅速发生相应改变。当锅炉的燃烧系统发生故障或异常情况时，最先将在炉膛压力的变化上反映出来，而后才是蒸汽参数的一系列变化。因此监视和控制炉膛压力，对于保证炉内燃烧工况的稳定具有极其重要的意义。

炉膛负压维持过大，会增加炉膛和烟道的漏风，当锅炉在低负荷或燃烧工况不稳的情况下运行时，便有可能由于漏人冷风而造成燃烧恶化，甚至发生锅炉灭火。反之，若炉膛压力偏正，高温火焰及烟灰有可能外喷，不但影响环境卫生，还将造成设备损坏或引起人身事故。运行

中引起炉膛负压波动的主要原因是燃烧工况的变化。为了使炉内燃烧能连续进行，必须不间断地向炉膛供给所需空气，并将燃烧后生成的烟气及时排走。在燃烧产生烟气及其排除的过程中，如果排出炉膛的烟气量等于燃烧产生的烟气量，则进、出炉膛的物质保持平衡，炉膛负压就相对保持不变。若上述平衡遭到破坏，则炉膛负压就要发生变化。例如在吸风量未变时，增加送风量，就会使炉膛出现正压。

运行中即使送、吸风保持不变，由于燃烧工况总有小量的变化，炉膛压力总是脉动的，当燃烧不稳时，炉膛压力将产生强烈的脉动，炉膛风压表相应作大幅度的剧烈晃动。运行经验表明：当炉膛压力发生剧烈脉动时，往往是灭火的预兆，这时必须加强监视和检查炉内燃烧工况，分析原因，并及时进行调整和处理。

烟气流动时产生的阻力大小与阻力系数、烟气重度成正比，并与烟气流速的平方成正比。因此，当锅炉负荷、燃料量和风量发生改变时，随着烟气流速的改变，烟道内各处的负压也会相应改变。故在不同负荷下，锅炉各部分烟道内的烟气压力是不同的。锅炉负荷增加，烟道各部分负压也相应增大；反之，各部分负压相应降低。当受热面管束发生结渣、积灰以至局部堵塞时，由于烟气流通截面减少、烟气流速增加，使烟气流经该部分管束产生的阻力较正常为大，于是出口负压值及其压差就相应要增大。

在正常情况下，炉膛负压和各部分烟道的负压都有大致的变化范围，因此运行中如发现数值上有不正常的变化时，应进行全面分析，查明原因，以便及时处理。炉膛压力，通常是通过改变吸风机的出力来调

节的。吸风机的风量调节方法和要求与送风机基本相同，吸风机的安全运行方式应根据锅炉负荷的大小和风机的工作特性来考虑。为了保证人身安全，当运行人员在进行除灰、吹灰、清理焦渣或观察炉内燃烧情况时，炉膛压力应保持得较正常时低一些(即炉膛负压应高一些)。

八、燃烧器的调节

燃烧器保持适当的一、二次风配比及出口速度，是建立良好的炉内工况，使风粉混合均匀，保证燃料正常着火与燃烧的必要条件。

双蜗壳旋流燃烧器一般都具有二次风量挡板及风速挡板(舌形挡板)，而一次风挡板则装在一次风管道上。这种燃烧器的一次风速只能依靠改变一次风量来调节。当一次风量增加(开大一次风挡板)时，其风速和风量成比例地增加。二次风速的调节是通过改变二次风量来实现的。而燃烧器出口气流切向速度则可利用风速挡板进行调节，以改变燃烧器出口气流的扩散状态。

运行中二次风速挡板的调节以燃料挥发分的变化和锅炉负荷的高低为依据。对于挥发分低的煤，由于着火困难，所以应适当关小风速挡板，使扩散角增大，热回流量增大，从而提高火焰根部温度，以利于燃料的着火；对于挥发分高的煤，由于着火容易，则应适当开大风速挡板，增加燃烧器出口气流的轴向速度，使扩散角减小，射程变远以防烧坏燃烧器和结渣。在高负荷情况下，由于炉膛温度比较高，煤粉的着火条件较好，燃烧比较稳定，故二次风扩散角可小些，即二次风风速挡板的开度可适当大些；而在低负荷下，由于炉膛温度较低，燃烧不够

稳定，则风速挡板的开度可小些，即二次风扩散角应大些，以增强高温烟气的热回流，以利于煤粉的着火和燃烧。

风速挡板调节后，不仅改变了二次风的速度，而且还改变二次风的风量，因而往往还要调节风量挡板。如关小风速挡板后，为了保持风量不变，则应适当开大风量挡板。

实践表明，这种燃烧器的旋流强度较难调节，且调节幅度一般也有限，尤其是它对负荷和煤种的适应性较差，燃烧调节不便，因此目前采用广泛。

轴向叶轮式旋流燃烧器的一次风速也只能靠改变一次风量来调节，而二次风出口的切向速度或旋流强度的改变，可根据煤种和工况变化的需要，通过调节二次风叶轮的位置来实现。当燃用低挥发分的煤种时，为了使其容易着火，二次风叶轮往前推(往炉膛方向推)，这时通过锥形导向叶片的二次风量增大，旋流强度和回流区相应增大，射程变短，扩散角变大，使较多的高温烟气被卷吸至燃烧器根部，有利于煤粉气流的着火。当燃用高挥发分的煤种时，可以把二次风叶轮往外拉出，叶轮外围的间隙增大，使一部分二次风从间隙流过，通过锥形导向叶片的二次风量减小，造成二次风的切向速度减小，旋流强度减弱，扩散角和回流区变小，射程变远，以防止燃烧器出口结渣或烧坏燃烧器。总之，为了适应不同煤种和工况的需要，应控制不同的旋流强度和一、二次风配比。燃烧器出口切向风速的调节一般常和风量的改变配合进行，但必要时也可进行单项调节，如调节风速板、轴向叶轮的位置、

中心锥等。一、二次风的轴向速度，一般只能靠改变一、二次风率的分配来调整，通过二次风风量挡板或总风量的改变来实现。

九、燃烧器的运行方式

燃烧工况的好坏，不仅受到配风工况的影响，而且与炉膛热负荷及燃料在炉内的分布有关，即与燃烧器运行方式有关。

在实际运行中，由于锅炉型式、燃煤品种、燃烧器的结构和布置方式多样，因而不可能按统一的模式来规定燃烧器的组合方式和负荷分配，合理的燃烧器运行方式只能根据一定原则，通过燃烧调整试验来加以确定。

为了保持正确的火焰中心位置，避免火焰偏斜，一般应将投入运行各燃烧器的负荷(即风量和煤粉量)尽量分配均匀、对称。但有时为了调整燃烧中心、改变火焰的偏斜现象、避免结渣、调节汽温偏差、提高运行经济性以及为了适应锅炉负荷、煤种变化等原因，常有意识地改变各燃烧器的负荷分配。如对于前墙布置燃烧器的炉膛，提高其两侧燃烧器所承担的负荷可以使烟道两侧的烟温提高，从而减少过热器的热偏差，对于采用四角布置的直流燃烧器的炉膛，改变上、下排喷口的给粉量或二次风量，也是调节燃烧中心高度和改善气粉混合程度及提高燃烧效率的常用措施。如在保持汽温正常的情况下，为了提高经济性，可减少上排燃烧器的负荷或停止其运行，以延长燃料在炉内停留的时间，尽量达到完全燃烧。

运行实践表明：在热负荷允许的情况下，尽量采用多火嘴对称投入的运行方式，将有利于火焰间的相互引燃，便于调节，容易适应负荷的变化，同时风粉混合和火焰充满程度均较好，使燃烧比较完全和稳定。但当燃用低挥发分的燃料时，则应采用集中火嘴，增加煤粉浓度的运行方式，使炉膛热负荷集中，以利于燃料的着火。

在高负荷运行时，炉膛热负荷较高，燃烧比较稳定，但主要问题是汽温高，容易结渣。因此，此时应设法降低火焰中心，或缩短火焰长度，同时力求避免结渣。

在低负荷运行时，炉膛热负荷低，容易灭火。为了防止灭火，应适当减少炉内过剩空气系数，调节好各燃烧器的煤粉量和风量，避免风速有很大的变动。对燃烧工况不太好的燃烧器更应加强监视。

判断燃烧器运行方式调整效果好坏的标准，除了蒸汽参数、燃烧的稳定性、炉膛出口烟温及炉内空气动力场分布和燃烧经济性外，还应注意炉膛两侧的燃烧产物、飞灰可燃物及烟气温度的分布等是否均匀；加外，还应考虑锅内过程方面的均匀性，如过热汽温分布、汽包两侧炉水含盐浓度及水位是否匀称等。

为了燃烧调整或锅炉负荷的变化需要，有时往往要进行燃烧器的投、停操作。在进行燃烧器的投、停时，一般可参考下述原则:

1、为了使炉膛内的火焰充满程度好和保持合理的火焰中心位置，应尽量将全部燃烧器投入运行并均匀承担负荷。一般情况下，只有在为了

稳定燃烧以适应锅炉低负荷运行的需要或保证锅炉参数必须停用部分燃烧器时，才可进行停用燃烧器的操作。这时经济性方面的考虑则是次要的。

2、停用上排燃烧器、投用下排燃烧器可降低火焰中心，有利于燃烧。

3、高负荷时为了防止结渣和汽温过高，应设法降低火焰中心和缩短火焰长度。

4、需要对燃烧器进行切换时，应先投入备用的燃烧器，待运行正常后，再停用运行的燃烧器，以防止燃烧中断或减弱。

5、在投、停或切换燃烧器时，必须全面考虑对燃烧、汽温等方面的影响。

此外，在投、停燃烧器或改变燃烧器的负荷过程中，还应同时注意风量与煤粉量的配合。运行中对于停用的燃烧器，要通入少量的空气进行冷却，以保证喷口不被烧坏。

一、燃烧煤粉对炉膛的要求

炉膛作为燃烧室，是保证炉膛正常运行的先决条件之一。燃烧煤粉时，对炉膛的要求是：

1、创造良好的着火、稳燃条件，并使燃料在炉内完全燃尽；

2、炉膛受热面不结渣；

3、布置足够的蒸发受热面，并不发生传热恶化；

4、尽可能减少污染物的生成量；

5、对煤质和负荷复合有较宽的适应性能，以及连续运行的可靠性。

二、煤粉在炉膛内的燃烧过程

燃料从入炉内开始到燃烧完毕，大体上可分为如下三个阶段:

1、着火前准备阶段

从燃料入炉至达到着火温度这一阶段称准备阶段。在这一阶段内，要完成水份蒸发，挥发份析出、燃料与空气混合物达到着火温度。显然，这一阶段是吸热过程，热量来源是火焰辐射及高温烟气回流。影响准备阶段时间长短的因素除燃烧器本身外，主要是炉内热烟气为煤粉气流提供热量的强弱，煤粉气流的数量、温度、浓度、挥发份含量及煤粉细度等。

2、燃烧阶段

当达到着火温度后，挥发份首先着火燃烧，放出热量，使温度升高，焦炭被加热到较高温度而开始燃烧。燃烧阶段是强烈的放热过程，温度升高较快，化学反应强烈，这时碳粒表面往往会出

现缺氧状态。强化燃烧阶段的关键是加强混合，使气流强烈扰动，以便向碳粒表面提供氧气，而将碳粒表面的二氧化碳扩散出去。

3、燃尽阶段

主要是将燃烧阶段未燃尽的碳烧完。燃尽阶段剩余的碳虽然不多，但要完全燃尽却很困难，主要是存在着诸多不利于完全燃烧的因素，如少量的固定碳被灰包围着；氧气浓度已较低；气流的扰动渐趋衰减；炉内温度在逐步降低。如果燃料的挥发份低、灰份高、煤粉粗、炉膛容积小，完全燃尽将更困难。据试验，对细度 R90=5%的煤粉，其中 97%的可燃物可在 25%的时间内燃尽，而其余 3%的可燃物却要 75%的时间才能燃尽。这也是实际锅炉中不可能使可燃物彻底燃尽的基本原因。

三、影响燃烧的因素

燃烧速度反映单位时间烧去可燃物的数量。由于燃烧是复杂的物理化学过程，燃烧速度的快慢，取决于可燃物与氧的化学反应速度以及氧和可燃物的接触混合速度。

前者称化学反应速度，也称化学条件；后者称物理混合速度，也称物理条件。化学反应速度与反应空间的压力、温度、反应物质浓度有关，且成正比。

对于锅炉的实际燃烧，影响化学反应速度的主要因素是炉内温度，炉温高，化学反应速度快。燃烧速度除与化学反应速度有关外，还取决气流向碳粒表面输送氧气的快慢，即物理混合速度。而物理混合速度取决于空气与燃料的相对速度、气流扰动情况、扩

散速度等。

化学反应速度、物理混合速度是相互关联的，对燃烧速度均起制约作用。例如，高温条件下应有较高的化学反应速度，但若物理混合速度低，氧气浓度下降，可燃物得不到充足的氧气供应，结果燃烧速度也必然下降。

因此，只有在化学条件和物理条件都比较适应的情况下，才能获得较快的燃烧速度。

燃烧能迅速而又完全燃烧的基本条件主要有：

1、相当高的炉膛温度：

温度是燃烧化学反应的基本条件，对燃料的着火、稳定燃烧、燃尽均有重大影响，维持炉内适当高的温度是至重要的。当然，炉内温度太高时，需要考虑锅炉的结渣问题。

2、适量的空气供应：

适量的空气供应，是为燃料提供足够的氧气，它是燃烧反应的原始条件。空气供应不足，可燃物得不到足够的氧气，也就不能达到完全燃烧。但空气量过大，又会导致炉温下降及排烟损失增大。

3、良好的混合条件：

混合是燃烧反应的重要物理条件。混合使炉内热烟气回流对煤粉气流进行加热，以使其迅速着火。混合使炉内气流强烈扰动，对燃烧阶段向碳粒表面提供氧气，向外扩散二氧化碳，以及燃烧后期促使燃料的燃尽，都是必不可少的条件。

4、足够的燃烧时间：

燃料在炉内停留足够的时间，才能达到可燃物的高度燃尽，这就要求有足够大的炉膛容积。炉膛容积与锅炉容量成正比。当然炉膛容积也与燃料燃烧特性有关，易于燃烧的燃料，炉膛容积可相对小些。比如相同容量的锅炉，燃油炉的炉膛容积要比煤粉炉的小，而烧无烟消云散煤的炉膛容积要比烧烟煤的炉膛容积稍大些。

四、改善燃烧的措施

1、适当提高一次风温度：

提高一次温可减小着火热需要量，使煤粉气澈入炉后迅速达到着火温度。当然，一次风温的高低是根据不同煤种来定的，对挥发份高的煤，一次风温就可以低些。

2、适当控制一次风量：

一次风量小，可减小着火热需要量，利于煤粉气流的迅速着火。但最小的一次风量也应满足挥发份燃烧对氧气的需要量，挥发份高的煤一次风量要大些。

3、合适的煤粉细度：

煤粉越细，相对表面积越大，本身热阻小，挥发份析出快，着火容易于达到完全燃烧。但煤粉过细，要增大厂用电量，所以应根据不同煤种，确定合理的经济细度。

4、合理的一、二次风速：

一、二次风速对煤粉气流的着火与燃烧有着较大影响。因为一、二次风速影响热烟气的回流，从而影响到煤粉气流的加热情

况；一、二次风速影响一、二次风混合的迟早，从而影响到燃烧阶段的进展；一、二次风速还影响燃烧后期气流扰动的强弱，从而影响燃料燃烧的完全程度。因此，必须根据煤种与燃烧器型式，选择适当的一、二次风速度。

5、维持燃烧区域适当高温：

适当高的炉温，是煤粉气流着火与稳定燃烧的基本条件。炉温高，煤粉气流被迅速加热而着火，燃烧反应也迅速，并为保证完全燃烧提供条件。故在燃烧无烟煤或其它劣质煤时，常在燃烧区设卫燃烧带或采取其它措施，以提高炉温。当然，在提高炉温时，要考虑防止出现结渣的可能性。

6、适当的炉膛容积与合理的炉膛形状：

炉膛容积大小，决定燃料在炉内停留时间的长短，从而影响其完全燃烧程度，故着火、燃烧性能差的燃料，炉膛容积要大些，这种燃料还要求维持燃烧区域高温，故常需要选用炉膛燃烧区域断面尺寸较小的瘦高型炉膛。

7、锅炉负荷维持在适当范围内：

锅炉负荷低时，炉内温度下降，对着火、燃烧均不利，使燃烧稳定性变差。锅炉负荷过高时，燃料在炉内停留时间短，出现不完全燃烧。同时由于炉温的升高，还有可能出现结渣及其它问题。因此，锅炉负荷应尽可能地在许可的范围内调度。

五、锅炉运行中稳定燃烧的措施

1、实现稳定着火的两个条件：

1）放热量和散热量达到平衡，放热量等于散热量。

2）放热速度大于散热速度如果不具备这两个条件，即使在高温状态下也不能稳定着火，燃烧过程将因火焰熄灭而中断，并不断向缓慢氧化的过程发展。

2、实现稳定着火的措施

放热速度与散热速度是相互作用的。在实际炉膛内，当燃烧处于高负荷状态时，由于燃煤量增加，燃烧放热量比较大，而散热量变化不大，因此使炉内维持高温状态。在高负荷运行时，容易稳定着火。

当燃烧处于低负荷运行时，由于燃煤量减少，燃烧放热量随之减小，这时相对于单位放热量的散热条件却大为增加，散热速度加快，因此炉内火焰温度与水冷壁表面温度下降，使燃烧反应速度降低，因而放热速度也就变慢，进一步使炉内处于低温状态。

在低负荷运行状态下，稳定着火比较困难，因此需要投入助燃油等燃料来稳定着火燃烧。对于低反应能力的无烟煤和劣质烟煤，不但着火困难，而且难于稳燃，因而容易熄火“打炮”。

从以上分析，可得到提示：

1）着火和燃烧温度与水冷壁面积、进入炉内的新气流初温度相关。

2）在炉内可自动到达稳定着火状态，如果点火区的温度与燃料的活性不相适应，就需投入助燃油或采用强化着火的措施。

六、影响锅炉热效率的因素分析

1、氧 量

入炉总风量的大小与锅炉热效率的高低密切相关,总风量过大会使排烟热损失增加;总风量过小,则会使煤粉燃烧不充分,烟气中 CO 含量、飞灰可燃物含量和炉渣可燃物含量增加,致使化学和机械未完全燃烧损失增加;总风量的大小也对主汽温和再热汽温产生影响,因此选取合理的入炉总风量,可使总的热损失最小,锅炉热效率达到最高,同时在低负荷时又能保持较高的汽温。

2、炉膛—风箱压差

在锅炉负荷与炉膛出口氧量不变的条件下,炉膛—风箱压差的高低关系到辅助风、燃料风和燃烬风彼此间风量的比例,比例大小对煤粉燃烧的稳定性、燃烬性及 NOx 的排放量有极大的影响,因此选择合理的炉膛—风箱压差,会提高锅炉的安全性和经济性。

3、燃尽风风量

燃烧器最上一层为燃烬风喷口,燃烬风的作是实现分级燃烧,减少热力型 NOx 生成,补充燃烧后期所需氧。燃尽风风量的大小影响 NOx 的排放量和碳粒子的燃烬程度。此项试验只考虑燃尽风风量对锅炉燃烧的影响。

4、燃烧器摆角

燃烧器喷嘴设计为上下可摆动,主要是通过改变炉膛火焰

中心高度调节再热汽温和过热汽温,但火焰中心高度的改变对煤粉燃烬产生一定影响。燃烧器向上摆动,飞灰可燃物增加,锅炉效率降低,减温水量增加。

5、一次风风速

机组带 600MW 负荷,锅炉其它运行参数不变,通过改变磨煤机入口风量来改变一次风喷嘴风速。由于受制粉系统的限制,一次风风速很难大范围变化,因此锅炉热效率几乎没有变化,这说明一次风风速在小范围内变化对锅炉热效率没有多大影响。

6、煤粉细度

煤粉细度变小,飞灰可燃物含量和炉渣可燃物含量降低,锅炉热效率提高。

7、投磨方式

磨煤机分别组合运行,锅炉热效率相差较小,但对汽温影响较大。

七、炉膛结渣的运行因素

受热面结渣过程与多种复杂因素有关。任何原因的结渣都有两个基本条件构成，一是火焰贴近炉墙时，烟气中的灰仍呈熔化状态，二是火焰直接冲刷受热面。

但是，与这两个因素相关的具体原因很复杂。这些因素是：

1、煤灰特性和化学组成煤灰特性主要表现在两个方面：一是煤灰的熔点温度，二是灰渣的粘性。一般灰熔点低的煤容易结渣，与此同时，低灰熔点的灰份通常粘附性也强，因而增加了结渣的可能性。

在运行条件变化时，煤灰的结渣特性也可能灰变化。例如，炉膛温度升高，或受热表面积灰导致壁面温度升高，火炉内局部地区产生还原性气氛，使灰的熔点温度降低时，结渣倾向就可能增加。

2、炉膛温度水平炉内燃烧器区域的温度越高，煤灰越容易达到软化或熔融状态，结渣的可能性就越大。而影响燃烧器区域温度水平的因素也很多。例如，前述的断面热强度与燃烧器区域的壁面热强度、燃料的发热量、水份含量以及锅炉负荷的变化等。

如果锅炉改烧发热量大的同类煤时，由于燃放热增多，燃烧器区域温度水平就高，结渣的可能性就大。而锅炉负荷越高，送入炉内的热量也越多，结渣的可能性也越大。

3、火焰贴墙对于四角布置直流式燃烧器的炉膛，煤粉气流由于受到气流刚度，补气条件和邻角气流的撞击等影向而引起火焰贴墙时，这必然结渣。对于布置旋流式燃烧器的炉膛，当旋流强度太大时，会引起火焰贴壁。或某只燃烧器的旋流强度过小，气流射程太长时，可能使气流直冲对面炉墙或顶撞对面的火焰而导致结渣。

4、过量空气系数当炉内局部区域过量空气过小且煤粉与空气混合不均匀时，可能产生还原性气氛，而煤粉在还原性气氛不能充分氧化，灰份中的 Fe203 被还原成 FeO，FeO 与 SiO2 等形成共晶体，其熔点温度就会降低，有时会使熔点下降 150～200℃，因而，结渣倾向随之增加。或者，采用高煤粉浓度燃烧方式时，由于燃烧放热过于集中，使局部区域温度升高且处于还原性气氛，结渣也会倾向严重。当然这也与灰的熔融特性有关。

5、煤粉细度粗煤粉的燃烧时间比较长，当煤粉中粗煤粉的比例增加时，容易引起火焰延长，导致炉膛出口处的受热面结渣。

6、吹灰吹灰器长期不投，受热面积灰增多时，可能导致结渣。

7、燃用混煤锅炉燃用混煤时，灰渣的特性有可能改变。一般结渣性强的煤与结渣性弱的煤混合时，结渣会减轻。锅炉结渣是多种因素综合影响的结果，不过总是有几个关键因素起先导作用。比较重要的因素是煤灰的熔融特性、水冷壁的冷却能力、以及火焰贴墙等。

八、炉膛负压

煤粉炉通常采用负压燃烧，负压燃烧是指炉内压力比外界大气压力低 2～6mm 水柱（大约-20 到-60pa）。

维持正常的炉膛负压，不仅对锅炉经济运行作用很大，而且对运行调节十分有益。正常的炉膛负压值是依靠调节送风机和引风机的挡板开度实现的，但主要是靠调节引风机的挡板开度来控制的。如果引风机出力不足，或挡板调节失灵时，炉内可能出现正压状态。此时，烟气或火焰向外泄漏，不仅污染工作环境，而且对设备及人身构成危险。

当然负压太大也是不允许的。炉膛负压太大，说明引风机抽吸力过大。此时，炉内气流明显向上翘，火焰中心上移，炉膛出口烟温升高，引起汽温升高或过热器结渣。气流上翘，火焰行程缩短，导致不完全燃烧。

炉膛负压急剧升高时，还可能发生炉膛内爆事故。内爆会造成水冷壁损坏或人身事故。

内爆产生的原因一：引风机运行不正常，静压头过高或挡板运行不良；二：因灭火而切断燃料供应时，炉膛负压急剧升高。

因此，在切断燃料的同时，应适当关小引风机挡板，以免负压剧增。此外，大型机组应设置炉内压力报警和安全保护装置。炉膛负压波动时，也可能是炉内压力波动变化造成的。此时表明燃烧处于不稳定状态。燃烧脉动时，负压也随着脉动。所以，炉膛负压是燃烧调整和锅炉保护的重要参数。炉膛负压由极低突变正压，此过程发生的时间极短，只有 1～2 秒，正压值极高。这种情况下，极可能发生炉膛爆炸或“打炮”。对于自动化程度比较高的锅炉，炉膛负压超限时，控制系统会自动发出报警或保护动作。但当控制系统处于手动状态时，则必须做出准确、迅速的判断和处理。

大型锅炉运行中，炉膛爆炸现象极少发生，但是一旦发生，破坏性很大。因为炉膛爆炸的发生时间很短，只有 1～2 秒。所以，如何把燃料安全适当地送入炉内并对可能发生的爆炸做出判断是十分重要的。

炉膛爆炸的原因是数量过多的燃料和空气在炉膛内未能及时着火燃烧，而以极高的速度进行化学反应，当具有足够的着火热源时，在瞬间形成可燃性气体，气体容积急剧增加，炉内压力和温度急剧升高。

需要注意的是，在锅炉点火阶段或燃烧不稳定时，如果炉内积聚了大量的未燃燃料，此时点火这很有可能造成爆炸。因此，运行人员必须严格，准确地按照运行规程的操作顺序控制燃料和空气的投入

并熟练掌握点火程序以及具有快速、准确的判断能力。

事实上，在破坏性炉膛爆炸发生之前，总要发生一些先导性事件。例如，燃料的着火性能变差或点火装置的能量不足以及未及时投入点火装置。由于这些条件的变化，使送入炉内的燃料与空气未能及时转变为不易反应的氧化物或惰性产物，因而积累了大量活性可燃易爆产物。这种积累过程需要持续相当长的时间。即爆炸发生前总要有一段较长的孕育时间。

九、炉膛负低负荷稳燃技术

1、提高一次风气流中的煤粉浓度提高一次风气流中的煤粉浓度，减少一次风量，可减少着火热；同时又提高了煤粉气流中挥发份的浓度，使火焰传播速度提高；再加上燃烧放热相对集中，使着火区保持高温状态。

这三个条件集中在一起，强化了着火条件，使着火稳定性提高。

当然，煤粉浓度并不是越高越好。煤粉浓度过高时，由于着火区严重缺氧，而影响挥发份的充分燃烧，造成大量煤烟的产生，此时还因挥发份中的热量没有充分释放出来，影响颗粒温度的升高，延缓着火。或者因挥发份燃烧缺氧，使火焰不能正常传播，而引起着火不稳定。

可见，存在一个有利于稳定着火的最佳煤粉浓度。有利于着火的最佳煤粉浓度与煤种有关，挥发份大的烟煤，其最佳煤粉浓度低于挥发份小的贫煤。

2、提高煤粉气流初温提高煤粉气流初温，可减少煤粉气流的着火热，并提高炉内温度水平，使着火提前。提高煤粉气流初温的直接办法是提高热风温度。

3、提高煤粉颗粒细度煤粉的燃烧反应主要是在颗粒表面上进行的，煤粉颗粒越细，单位质量的煤粉表面积越大，火焰传播速度越快。燃烧速度就越高，火焰传播速度越快，燃烧放热速度越快，煤粉颗粒就越容易被加热，因而也越容易稳定燃烧。

试验研究发现，煤粉燃尽时间与颗粒直径的平方成正比，当锅炉燃用煤质一定时，提高煤粉细度能显著提高煤粉气流着火的稳定性。不过煤粉颗粒细度受磨煤出力与磨煤电耗的限制，不可能任意提高。

4．在难燃煤中加入易燃燃料当锅炉负荷很低或煤质很差时，可投入助燃用雾化燃油或气体燃料，混入燃烧器出口的煤粉气流中，来改善煤粉的燃烧特性，维持着火的稳定性，有时为了节省燃油，也可混入挥发份较大的煤粉，以提高着火的稳定性。