

## 影响锅炉结渣的因素及其预防措施

<http://www.firstlight.cn> 2008-07-08

**Abstract:** In order to ensure safety and economy in operation of a 300MW power unit, the causes of furnace clinkering are studied. The technical measures for preventing and curing the formation of furnace clinkering are worked out.

**Key words:** furnace clinker proof techniques of furnace clinker a 300MW unit

### 0 引言

近年,各个电厂锅炉结渣问题突出,不少300MW机组都发生过严重结渣。锅炉结渣不仅影响机组的经济满发,而且严重威胁安全运行。北仑港电厂1号机组特大事故的惨痛教训使人们不能不对锅炉结渣问题予以高度重视。

### 1 与锅炉结渣有关的因素

结渣是复杂的物理和化学过程,国内外学者已做了大量研究,初步揭示了其形成的机理及与煤灰性质的关系,制定了若干用以判断煤灰结渣性的指数,同时揭示了锅炉设计和运行对结渣的影响。

#### 1.1 灰与渣的特性

煤灰的结渣性同灰的化学成分、灰渣的物理特性有关。现选择其中一些主要的指标详述如下。

##### 1.1.1 灰的熔化温度

灰熔温度同灰的成分有关,灰中的酸性氧化物,如 $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 和 $\text{TiO}_2$ 等都是聚合物的构成者,因此会提高灰的熔化温度;碱性氧化物则相反,如 $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ 和 $\text{Na}_2\text{O}$ 等都是聚合物的破坏者,会降低灰的熔化温度。但这种解释对含有大量碱性物的灰来说不适用,所谓“褐煤型灰”就会有大量 $\text{CaO}$ 和 $\text{MgO}$ ,其量比 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 多得多,这些灰中的 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 和 $\text{K}_2\text{O}$ 都会降低软化温度,而 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$ 和 $\text{MgO}$ 却提高软化温度。美国对国内一些特定煤种,依据大量统计数据已建立了精确的灰熔温度与灰化学成分之间的关系,这样,根据灰中的碱性组分就可以确定灰熔点。

至于灰中铁的作用,要视其氧化状态而定,三价铁是聚合物的构成者,提高灰熔温度;二价铁则是聚合物的破坏者,降低灰熔温度。

灰的熔化温度在氧化氛围与还原氛围中是不同的,两者的差异是随着灰中 $\text{CaO}$ 和 $\text{MgO}$ 成分的增加而变小。

##### 1.1.2 渣的粘度

焦渣的粘度随温度而变化,温度升高,粘度变小,超过某一临界值时,焦渣便成液相,可在水冷壁表面形成一薄层而自由流动,焦渣粘度温度曲线是预示煤粉炉结渣倾向的重要指标。研究表明,焦渣粘度与煤灰化学成分有关,当烟煤焦渣温度超过其临界粘度相对应的温度 $T_{cv}$ 后,焦渣粘度就与灰分中的硅比 $\text{SiO}_2/(\text{SiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO})$ 有一定的关系。英国根据 $(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 来确定与临界粘度相对应的温度。

从临界粘度(约 $10\sim 20\text{Pa}\cdot\text{s}$ 到约 $104\text{Pa}\cdot\text{s}$ 范围内的焦渣呈塑性状态液固两相混合),可根据其所对应的温度区域考虑吹灰器的型式和位置。

##### 1.1.3 灰的烧结性

B&W利用烧结试验来衡量烟煤的结渣倾向。试验在一个专门的实验性燃烧室内进行,被试煤在其中悬浮燃烧以模拟煤粉炉工况,然后将烧出的灰压进一个直径 $17\text{mm}$ 、高 $19\text{mm}$ 的圆筒内,再将压出的灰块置于 $1.03\text{MPa}$ 和 $704\sim 1093^\circ\text{C}$ 下在空气中加热15个小时,然后慢慢冷却。该烧结灰块的烧结温度、破碎强度与结渣倾向密切相关,B&W把这作为评价煤的主要指标之一。易结渣的煤在 $927^\circ\text{C}$ 以下烧结强度高达 $27.58\text{MPa}$ ,而不易结渣的煤在 $927\sim 1093^\circ\text{C}$ 范围内的烧结强度低于 $6.9\text{MPa}$ 。

##### 1.1.4 几个反映结渣倾向的导出因子

美国CE和B&W等锅炉制造厂都各自研究和导出一些显示结渣和积灰特性的指标,现将有关结渣的指标列于附表中。CE公司在评价结渣倾向时除了采用灰熔点外,还采用:

###### (1) 碱酸比

如前所述,煤灰中碱性组分与灰熔点之间的关系呈抛物线形,碱酸比在 $0.4\sim 0.7$ (大约 $30\%\sim 40\%$ 标准含量的碱性物)时最易结渣。

###### (2) 硅铝比

当以碱酸比作为判断结渣性指标时,还需注意硅铝比。在碱酸比低的情况下,如硅铝比高,铝将发挥溶剂作用而降低 $T_{250}$ 。 $T_{250}$ 是对应于粘度为 $250\text{P}$ (泊)时的灰渣温度,一般说,灰渣粘度低于 $250\text{P}$ 时,流动性就很好。硅铝比小于 $1.7$ 不结渣,大于 $2.8$ 将

结渣。

### (3) 铁钙比

此比值在0.3~3.0范围内会影响灰渣的共熔特性，使灰熔点降低，结渣倾向增加趋向1时会严重结渣；小于0.3或大于3.0都不结渣。

### (4) 2.0重液中的铁

CE采用在比重为2.9重液中沉积下的煤灰铁含量作为衡量黄铁矿的多少。黄铁矿在燃烧过程中不起反应而离析出来，形成焦渣结在靠近燃烧器的炉膛下部水冷壁上。

### (5) 单位发热量的煤灰量

每百万英镑热单位的煤灰量被用来估量可能生成的渣和积灰的数量（当然还要依据灰的结渣和积灰特性）。

B&W用另一些指标来估计结渣倾向。

根据灰渣粘度导出的结渣指数RSV

$$RSV = T250(\text{氧化}) - T1000(\text{还原}) / (97.5 * FS)$$

式中T250(氧化)——氧化氛围下灰渣粘度25Pa·s所对应的温度

T1000(还原)——还原氛围下灰渣粘度1000Pa·s所对应的温度

FS——一个相关系数，其数值范围为1~11，取决于灰渣粘度/温度曲线上对应于200Pa·s的温度（氧化与还原氛围的中间值）

RSV由0.5变化到3.0，相对应的结渣倾向由中等到严重。

### (2) 依据灰熔化温度导出的结渣指数Rsf

$$Rsf = (\text{MaxHT} + 4 * \text{MinID}) / 5$$

式中MaxHT——氧化或还原氛围下较高的半球形温度

MinID——氧化或还原氛围下较低的开始变形温度

Rsf是一个加权平均温度，以1份氧化或还原氛围下的最大半球形温度和4份氧化或还原氛围下的最小开始变形温度来平均。Rsf低于1149℃预示严重结渣；Rsf在1232~1343℃范围内预示中等结渣倾向。

### (3) 由灰的化学成分导出的结渣指数Rsb

$$Rsb = (\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) * S\% (\text{干燥基}) / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2)$$

Rsb指数主要用于烟煤型灰，即灰中Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的含量大大高于CaO和MgO含量，Rsb值的范围从0.6以下（代表轻度结渣趋势）到2.6以上（代表严重结渣趋势）。

## 1.2 设计因素

美国电力研究协会（EPRI）曾对燃用各种不同因素煤种的锅炉作了调查，结论是结渣和积灰不仅与煤灰性质有关，而且同锅炉设计密切相关，主要是炉膛热强度（包括炉膛容积热强度和断面热强度）、煤粉在炉膛内逗留的时间、燃烧器结构型式以及受热面的布置等。同一煤种，在某台锅炉上燃烧会严重结渣，而在另一台设计不同的锅炉上可能根本不结渣。同时，锅炉设计在改善灰沉积物方面也起着重要的作用。

## 1.3 运行因素

锅炉结渣积灰与锅炉负荷、烟气温度、煤粉细度、过剩空气量等有关。

结渣、积灰随锅炉负荷及烟气温度的增加而增加。

煤粉细度对炉膛结渣的影响说法不一，其一，提高煤粉细度将使燃烧区域温度升高，从而加剧结渣，我国125MW机组的运行实践也表明，煤粉过细着火快，燃烧器区域易结渣。而在一台600MW机组上进行的试验结构却相反，其结论是粗煤粉将加重结渣。笔者认为煤粉细度应视煤种与具体的锅炉结构而定，过细不仅增加制粉电耗，而且会提高燃烧器区域热负荷而可能引起结渣；过粗不仅不利于着火和煤粒的燃尽，而且易造成炉膛上部和过热器部位结渣。所以应通过试验确定合理的煤粉细度。

较大的燃烧过剩空气能减少结渣与积灰，这是由于炉膛内还原区范围缩小以及炉膛出口温度降低。在600MW机组上的试验显示，增加过剩空气，同时将燃烧器正向倾斜，水冷壁和大屏上的沉积物明显减少。

## 2 防止结渣与积灰的措施

### 2.1 运行措施

#### 2.1.1 吹灰

对水冷壁结渣和积灰最通常的方法就是吹灰，吹灰可以防止焦渣累积，保持受热面清洁，从而使烟气分布和蒸汽温度维持在设计水平。

吹灰介质一般采用蒸汽，但对于硬焦，用蒸汽往往吹不掉，而采用水力吹灰就很有效。水力吹灰必须设计好喷嘴的尺寸、角度、水压力、水流量、喷枪移动速度以及吹灰频率，以免对水冷壁和过热器造成热冲击。据称，如能正确使用水力吹灰器，那么它对炉管寿命的影响决不会超过蒸汽吹灰（水力吹灰国内用的很少）。

据有些电厂经验，联合使用水、汽吹灰效果更佳，即水吹灰后接着再用蒸汽吹。如美国Big Stone电厂的一台400MW旋风炉，燃用北达科他褐煤，结渣严重，后来在炉膛内装了32只水力喷枪和24只附加的蒸汽吹灰器，有效地控制了积灰；在过热器部位也加装了8只水力吹灰器，同时将原来二级过热器第一、二排的14只蒸汽吹灰器也改为水力吹灰器，使过热器积灰情况大为改善。

吹灰必须做到定期定时，运行人员还需加强检查。此外，很重要的一点是维修要跟上，以确保其使用可靠。

#### 2.1.2 其他运行措施

a. 防止炉温过高。

堵塞炉底漏风，降低炉膛负压，不使空气量过大，直流喷燃器尽量利用上排喷燃器，防止火焰中心上移，以免炉膛出口结渣。

另外，保持各磨出力均匀，使直流喷燃器四角气流的动量相等，切圆合适。防止喷燃器变形，都能防止火焰偏斜，以免水冷壁结渣。

b. 防止炉内过多还原性气体生成

保持合适的空气动力场，不使空气量过小，喷燃器损坏及时修理，都能使炉内减少还原性气体，防止结焦。

c. 提高煤质，保持合适的煤粉细度。

避免燃料多变，清除煤中杂质，可减少结焦的可能性，保持合适的煤粉细度，不使煤粉过粗，以免火焰中心过高，导致炉膛出口结渣，或因煤粉落入冷灰斗又燃烧而形成结焦。

d. 控制燃烧过剩空气量。

e. 通过调整过剩空气量、燃烧器倾斜角度、烟气挡板、烟气再循环、燃烧器选型或其他可行手段来限制炉膛出口烟气温度在许可的限度内。

f. 对于四角燃烧锅炉，国内一些厂的经验是调整一二次风，减小切圆，以避免火焰C冲刷而引起水冷壁结渣。

## 2.2 改变煤质

### 2.2.1 配煤

在原来的燃煤中掺入另一种煤可改变煤的性质，达到不结渣的目的。采用此法须注意两点：

a. 两种煤按一定比例混合，配出来的煤的特性并不是这两种煤数学上的平均值，每一个配煤必须看成是一种新的煤种，其主要特性往往并不是所期望的。

b. 配煤必须均匀。配煤可在煤矿、输煤皮带上或在炉膛内进行。

### 2.2.2 精选煤

通过对原煤精选处理来降低其灰分及杂质。

## 3 总结

本文讨论了与炉膛结渣的有关因素和引起炉膛结渣的原因，并制定了防止炉膛结渣的技术措施。由于个人水平有限以上观点仅供参考。

## 4 参考文献

[1] 池作和，周昊，岑可法. 锅炉结渣机理及防结渣技术措施研究[J]. 热力发电，1999，（4）：26-30.

[2] 陈刚，丘纪华，张小可. 660MW机组锅炉炉内结渣的原因及解决措施探讨[J]. 锅炉技术，2000，（2）：25-32.

[3] 孙亦录，张时力，楚仲妍. 煤灰结渣特性综合评判模型工程应用的研究[1986，（3）：1-12.

[4] 华电十里泉发电厂300MW机组运行规程2003.

[存档文本](#)