

2 种典型锅炉结渣问题分析和对策研究

陈振龙

(神华集团有限责任公司, 北京 100011)

摘要: 锅炉结渣分为燃烧器区结渣和屏区结渣 2 种。详细分析了灰熔点指标、综合结渣指数 R_z 和 RTSQ 综合判断模型 3 种结渣判别指标。针对燃烧区和屏区不同的结渣问题, 从运行优化、燃烧掺配、设备优化以及设计优化等方面进行了防结渣措施的探讨, 并对燃用高、低灰熔点煤的新建锅炉的防结渣设计提出了合理的建议。

关键词: 锅炉; 燃烧器区; 屏区; 沾污; 结渣

中图分类号: TK224; TD849

文献标识码: A

文章编号: 1006-6772(2011) 05-0070-04

中国动力用煤的质量偏差, 灰分与硫含量都比较高。一般电站锅炉燃用煤种多变, 经常会发生炉内受热面沾污或结渣现象。根据结渣位置和造成危害的不同可将锅炉结渣分为燃烧器区结渣和屏区结渣 2 种。

燃烧器区结渣与屏区沾污结渣都会出现高温腐蚀现象, 燃烧器区高温腐蚀多为硫酸盐型和硫化物型, 而屏区受热面的高温腐蚀主要是硫酸盐型。在硫含量高时, 沾污后的水冷壁和高温过热器等受热面会发生灰渣和烟气复杂的化学反应, 产生高温腐蚀, 导致管壁减薄, 易引起锅炉爆管。燃烧器区结渣不可避免地会促进屏区沾污和结渣的发生。对锅炉典型结渣进行分区研究, 准确掌握 2 个典型区域结渣的形成原因、典型特征和有效判别指标, 可为电站锅炉操作人员分析结渣问题, 进而采取针对性的防治措施提供依据。

1 结渣预测

目前, 预测电站锅炉结渣特性时, 主要从煤灰物理特性(灰熔点、灰粘度、灰烧结强度、渣型特征)、灰成分(SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , SO_3 等) 和锅炉热负荷(q_v , q_F , q_B) 三方面着手。应用较多的结渣判别指标有灰熔点指标、综合结渣指数 R_z 和 RTSQ 综合判断模型。

1.1 灰熔点指标

灰熔点指标一般包括灰的变形温度 DT、软化温度 ST 和流动温度 FT, 其中在弱还原性气氛中测定的软化温度 ST 是判别煤灰结渣特性的主要指标。哈尔滨电站设备成套设计研究所曾对中国 250 个动力用煤的灰渣特性进行分析, 并用三段最优分割法确定经验判据, 该判据具有 65% 的分辨率, 其判别标准为: $\text{ST} > 1390\text{ }^\circ\text{C}$, 轻微结渣; $\text{ST} = 1260 \sim 1390\text{ }^\circ\text{C}$, 中等结渣; $\text{ST} < 1260\text{ }^\circ\text{C}$, 严重结渣。此外, DT, ST, FT 的间隔对结渣也有一定影响, DT、ST 之差在 $200 \sim 400\text{ }^\circ\text{C}$ 时为长渣, 煤灰的粘度随温度变化缓慢变化, 在炉膛中易于结渣; DT、ST 之差在 $100 \sim 200\text{ }^\circ\text{C}$ 时为短渣, 灰渣粘度随温度急剧变化, 很短时间内即结渣。美国 ASME 标准还用 FT 和 DT 来衡量灰渣在水冷壁上的附着力^[1], 当 $\text{FT} - \text{DT} < 149\text{ }^\circ\text{C}$ 时, 水冷壁结渣附着力较强, 不易用吹灰器清除, 吹灰效果差; 当 $\text{FT} - \text{DT} > 149\text{ }^\circ\text{C}$ 时, 水冷壁结渣呈疏松状, 易用吹灰器清除。

1.2 综合结渣指数 R_z

煤灰的化学组成比较复杂, 通常以各种氧化物的质量分数表示, 可以分为酸性氧化物和碱性氧化物 2 种。许多研究者根据煤的结渣过程和结渣机理, 由灰中各矿物质含量之间的关系导出了各种结渣特性指数, 根据这些结渣指数的大小来判定结渣

倾向,综合结渣指数 R_z 计算公式如下:

$$R_z = 1.24(B/A) + 0.28(SiO_2/Al_2O_3) - 0.0023ST - 0.019S_p + 5.4 \quad (1)$$

式中,碱酸比 $B/A = (CaO + MgO + Fe_2O_3 + K_2O + Na_2O) / (SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2)$, 硅比 $S_p = SiO_2 / (SiO_2 + Fe_2O_3 + CaO + MgO)$, 灰分化学式表示其对应物质的质量分数。

R_z 的判别标准为: $R_z < 1.5$, 轻微结渣; $R_z = 1.5 \sim 2.0$, 中等结渣; $R_z > 2.0$, 严重结渣。

1.3 RTSQ 综合判别法

灰熔点和灰成分指标是从煤质特性的角度对锅炉结渣进行预测,煤的实际结渣状况还与锅炉设计和运行参数有关,而表征锅炉设计和运行状况的最重要参数是炉膛容积热负荷 q_v 和炉膛截面热负荷 q_F 。RTSQ 综合判断模型就是利用多种判断指标(熔点结渣指数 R_T 、变形温度 DT 、软化温度 ST 、硫分结渣指数 R_s 、硅比 S_p 、粘度结渣指标 R_N) 和 q_v, q_F 对煤种结渣特性进行综合评价,其判别标准为:

$$\begin{aligned} q_v \leq q_v(D), q_F \leq q_F(D) & \quad \text{不结渣} \\ q_v(D) < q_v(G), q_F(D) < q_F(G) & \quad \text{中等结渣} \\ q_v \geq q_v(G), q_F \geq q_F(G) & \quad \text{严重结渣} \end{aligned}$$

从理论上讲,上述 3 种结渣判别指标主要用于预测燃烧器区结渣,进而推断屏区沾污和结渣的严重程度。灰熔点和灰成分指标属于易得和易判指标,RTSQ 综合判断模型则需要委托专业实验室进行。

2 结渣防治措施

锅炉结渣是一个复杂的过程,涉及的因素较多,不仅与燃用煤种的成分和物理、化学特性有关,还与锅炉的设计参数有关(如燃烧器的布置方式、炉膛热负荷、炉内空气动力结构等),同时还受锅炉运行工况的影响(如运行氧量、煤粉细度、炉内温度水平、配风方式以及炉内空气动力场的状况等)。这些因素总的来说可分为两大类:一是燃用煤种的特性和锅炉的设计参数;二是锅炉的运行工况。在锅炉燃煤结渣特性评价的基础上,对锅炉典型的两区结渣进行分类讨论和分析,可以更好地防治锅炉结渣。

2.1 燃烧器区结渣的防治措施

对于电厂来说,比较简单和低成本防结渣措施就是优化运行,但在煤质和设备一定的情况下,单靠运行调整并不一定能够解决比较严重的锅炉结渣问题,这就需要从优化配煤和进行必要的设备

改造等方面减轻锅炉结渣;对于准备燃用高结渣特性煤的新建锅炉,则需要从锅炉设计时就开始选择有利于降低锅炉结渣可能性的参数。

2.1.1 运行优化

(1) 调平一次风速,均匀热负荷

若锅炉在运行中操作不当,各燃烧器热负荷不均匀,切圆位置偏斜,或者一、二次风混合不良,都会造成局部氧气供应不足和炉内气流充满度不佳,在炉膛内或局部区域产生还原性气氛,使灰中熔点较高的 Fe_2O_3 还原成熔点较低的 FeO ,而 FeO 又易与 CaO, MgO 等高熔点灰分生成熔点仅为 $1000 \sim 1200^\circ C$ 的低熔点共晶体^[2],同时,煤中的 FeS_2 被氧化生成 FeO ,灰熔点大大降低,引起严重结渣。对于这类由于燃烧器热负荷分配不均、火焰偏斜造成的结渣,可以通过调整煤粉管上的可调缩孔调平同层各角一次风速,均匀各层燃烧器热负荷的方式加以消除。

(2) 调整运行氧量、煤粉细度和配风方式

氧量、煤粉细度和配风方式是锅炉运行调整中需要调整的 3 个主要参数,在减缓燃烧器区结渣所作的运行调整中应重点考虑。

①适当提高运行氧量。锅炉运行氧量偏低,会在炉内燃烧器区形成大面积的还原性气氛,使低灰熔点煤更易熔融,其原理与局部还原性气氛影响形成的结渣相同。陕西榆林银河上河电厂 135 MW 机组锅炉在投入运行初期由于管式空预器的吊装孔没有密封,导致空预器大量漏风,锅炉运行氧量仅为 2.0%,炉内严重缺氧,熔融渣从燃烧器喷口即开始滴落,锅炉冷灰斗也被熔融的流渣覆盖,为锅炉的安全运行造成极大隐患,后将吊装孔堵塞后氧量恢复正常,结渣现象也随之消除。因此,在燃用低灰熔点煤时,适当提高运行氧量是电站锅炉较普遍做法。

②降低煤粉细度。煤粉粗时,火炬拖长,粗粉因惯性作用会直接冲刷水冷壁,另外,粗煤粉燃烧温度要比烟温高很多,熔化比例高,冲墙后易引起结渣。广东沙角 C 厂在煤粉细度未调整前平均煤粉细度 R_{90} 达到 42% 以上,锅炉满负荷运行 34 h 就发生掉大渣、炉膛水冷壁管爆破的事故,锅炉蒸汽温度无法控制,调整后平均煤粉细度提高到 25% 左右,炉膛结渣情况明显减轻,整台锅炉运行情况有了很大好转。在磨煤机出力裕度允许的情况下,适当降低煤粉细度不但可以减缓结渣,对提高锅炉的

经济性也比较有利。

③优化配风方式。优化锅炉的配风方式可以优化一、二次风的混合,避免出现局部还原性气氛,与燃烧器热负荷分配配合使用,还可以改变火焰中心位置、降低燃烧器区热负荷,减缓结渣。对于采用旋流燃烧器的墙式对冲锅炉来说,通过对单个燃烧器的旋流强度、火焰扩展角和一、二次风配比的控制即可实现对炉膛结渣水平的控制。

另外,对于低灰熔点易着火煤,适当提高一次风速,对于减轻燃烧器喷口附近的结渣和保护喷口的效果比较明显。提高吹灰器的使用可靠性,对易结渣部位有选择地加强吹灰,也是减轻结渣的有效措施。

2.1.2 掺烧高灰熔点煤

锅炉中掺烧一定比例的高灰熔点煤,可以较明显地减缓结渣,对于沿海燃用煤种较杂的电厂锅炉尤为有效。广东台山电厂1号锅炉设计燃用低灰熔点神华煤,炉内结渣严重,后改在中层(C层)燃烧器掺烧高灰熔点石炭煤,约占总煤量的20%,锅炉结渣大幅度减轻。华能太仓电厂3号、4号炉燃用低灰熔点蒙煤时燃烧器区结渣较重,掺烧30%高灰熔点大同烟煤后结渣减轻。

2.1.3 调整设备

考虑到燃煤采购成本,有些电厂如坑口电厂采取掺烧方式解决结渣问题可能不太经济,在燃烧调整效果不明显又不能采取掺烧措施的情况下,进行必要的设备调整尤为重要。电厂常见的减缓燃烧器区结渣的方法主要有以下几种:

(1) 减小切圆

锅炉的切圆大小主要影响炉内煤粉气流的稳燃和结渣,实际切圆偏大则会引起燃烧器区结渣,实际切圆偏小则会影响着火稳定性。一般来说,冷态条件下实测的燃烧器切圆与炉膛截面的当量直径比的范围为0.4~0.8,综合考虑煤质特性及稳燃、结渣问题,建议对于易结渣煤和烟煤选取偏小值,对于难结渣煤和无烟煤选取偏大值^[9]。

(2) 减小卫燃带面积

锅炉燃烧器区结渣并不仅由低灰熔点煤引起,在某些燃用较高灰熔点的低挥发分贫煤和无烟煤锅炉上也会出现较严重的结渣,这主要是由于锅炉在设计过程中过多地考虑了燃烧器的稳燃性能,燃烧器区水冷壁敷设了过多的大块卫燃带。因此,在锅炉设计过程中对卫燃带面积的计算和敷设应谨

慎,敷设时只需在背火侧按“品”字型敷设小块的卫燃带即可。

(3) 燃烧器改造

燃烧器区结渣还与燃烧器类型和布置方式密切相关,不少电厂通过燃烧器改造解决了燃烧器区的结渣问题。一般来说,水平浓淡燃烧器的防结渣和稳燃能力均较好,在一次风喷口背火侧设置偏置侧边风的技术在防结渣方面的作用也较好。

(4) 合理选择和布置吹灰器

对于炉膛吹灰器没有布置或布置不足的电站锅炉,需要增加炉膛墙式吹灰器的数量以强化燃烧器区吹灰。对于燃烧器区结渣较大、质地较硬的情况,可以考虑采用水力吹灰器。

2.1.4 优化设计

优化设计主要是针对新建锅炉而言,从设计角度考虑防止锅炉燃烧器区结渣的措施,以免引起投运后运行调整和设备改造方面的困难,思路与设备改造的思路大致相同。对于低灰熔点、较高挥发分的烟煤和褐煤锅炉,除了采用较小的切圆、较低的炉膛热负荷外,还应考虑采用水平浓淡燃烧器和侧边风技术,或者WR燃烧器分段布置、同心正(反)切圆燃烧系统,在煤场考虑留有足够的场地和配备足够的混煤配煤和输煤设备;对于灰熔点较高的低挥发分贫煤和无烟煤锅炉,在选用有较高稳燃能力的燃烧器的基础上,应慎重选择卫燃带面积和卫燃带的敷设方式;对于灰熔点较低的贫煤和无烟煤锅炉,应考虑采用液态排渣炉。此外,还应在炉膛燃烧器区预留足够的吹灰器孔,严重时可安装水力吹灰器;磨煤机应有足够的裕量,以提高其煤质适应能力和降低煤粉细度、减缓结渣能力。

2.2 屏区结渣的防治措施

屏区结渣是在锅炉燃用低灰熔点煤的情况下才出现的,燃用高灰熔点煤时不会出现屏区结渣。因此,防治屏区结渣应从防治燃烧器区结渣开始,再辅以必要的屏区结渣控制措施即可。

2.2.1 运行优化

防治屏区结渣时,运行优化调整的不同之处在于防治屏区结渣需要降低火焰中心高度和炉膛出口烟温;采用的方法主要为降低煤粉细度、提高运行氧量、正塔配煤、倒塔配风等,这仅对存在于屏区的结渣有用。若屏区和燃烧器区同时存在结渣,上述运行调整方式可能加剧燃烧器区结渣,要求先治理好燃烧器区结渣后再采用上述调整方法治理屏

区结渣,另外,掺烧一定比例的高灰熔点煤也是解决2种结渣比较可行的方法。

2.2.2 优化设计

(1) 合理选择锅炉最上层燃烧器中心线与屏底的距离 H ,按有关标准规定选取炉膛出口烟温,即取 $DT-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $ST-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 中的较小值。中国一些锅炉设计选用的 H 值见表1^[4]。

表1 锅炉设计选用的 H 值

燃用煤种	蒸发量/($\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$)	H/m
贫煤、无烟煤	670	14.5 ~ 15.7
烟煤	670	~ 13
洗中煤、烟煤	1000	15 ~ 18.3
烟煤	2000	~ 20
褐煤	3000	26 ~ 29

(2) 增加水平烟道受热面的吹灰器数量和屏区布置吹灰器。新疆华电红雁池电厂200 MW机组锅炉由于水平烟道吹灰器数量不足,导致在燃用低灰熔点准东煤时高温过热器和高温再热器沾污严重又不能及时清除,积灰落至折焰角斜坡堆积,并将高温过热器和高温再热器管淹没,严重影响了烟气的正常流通,后在水平烟道增加一层4只吹灰器,积灰问题得到解决。

3 结 论

将电站燃煤锅炉炉内结渣分成燃烧器区和屏区进行研究,针对2个不同区域的结渣问题,对在役锅炉和新建锅炉分别从运行优化、设备优化以及设计优化等方面进行防结渣措施探讨。

(1) 燃烧器区结渣一般因锅炉燃用低灰熔点煤

引起,但锅炉在燃用高灰熔点煤时采取了过度的稳燃措施也可能产生严重的结渣问题;而屏区结渣一般在燃用低灰熔点煤的锅炉上出现,且燃烧器区结渣一般会加剧该区域的结渣。

(2) 对于在役锅炉,掺烧高灰熔点煤、提高运行氧量和降低煤粉细度对缓解两区结渣都比较有利;正塔配风、倒塔配煤可以减缓燃烧器区结渣,正塔配煤、倒塔配风可以减轻屏区结渣;若两区结渣同时存在,则需考虑必要的设备调整,在解决燃烧器区结渣的基础上进一步减轻屏区结渣。

(3) 对于新建锅炉,在预测锅炉燃煤结渣特性的基础上,对于易结渣煤,应从切圆直径、燃烧器类型和布置方式、炉膛热负荷、吹灰器布置几个方面考虑燃烧器区结渣防治措施;从控制炉膛出口烟温和最上层燃烧器中心线与屏底距离的角度考虑屏区结渣防治措施,另外还应考虑配备完善的煤场配煤设施。对于不易结渣的低挥发分煤,在卫燃带面积和敷设方式的选择上应慎重。

参考文献:

- [1] 岑可法,樊建人,池作和,等. 锅炉和热交换器的积灰、结渣、磨损和腐蚀的防止原理与计算 [M]. 北京: 科学出版社,1994.
- [2] 张庆. 锅炉结渣的原因分析及防治对策 [J]. 华东电力,1997(9): 29-31.
- [3] 陈刚. 煤粉锅炉运行中防止炉内结渣的措施 [J]. 电站系统工程,2000,16(2): 110-112,128.
- [4] 尹鹤龄,徐明厚,袁建伟. 燃煤锅炉炉内结渣的原因分析及解决措施 [J]. 湖北电力,1995(2): 3-9,35.

Analysis on two kinds of typical boiler slagging and anti-slagging methods

CHEN Zhen-long

(Shenhua Group Co., Ltd., Beijing 100011, China)

Abstract: Boiler slagging involving burners zone slagging and plate superheater zone slagging is studied. Analyze in details three kinds of indexes which are ash fusion temperature index, comprehensive slagging index R_z , RTSQ model, with those indexes to distinguish slagging situation. Operation, equipments and design optimization, combination of boiler coal and so on are analyzed in order to prevent different slagging between burners zone and plate superheater zone. Provide helpful anti-slagging suggestions for new boilers which fuel high or low fusion temperature coal.

Key words: boiler; burner zone; plate superheater zone; fouling; slagging