

# 330 MW 机组锅炉结焦原因分析及对策

卢广宇

(大唐桂冠合山发电公司, 广西 合山 546501)

**摘要:**为提高机组运行的安全性和经济性,分析造成锅炉结焦的主要原因是入炉煤灰熔点偏低,运行氧量不足,燃烧切圆直径过大,火焰刷墙,风粉配合不佳及卫燃带敷设面积过大,燃烧器布置方式与燃用煤种不相适应。解决的对策是合理掺配燃用煤种,提高入炉煤灰熔点,保持充足的运行氧量,采用合适的燃烧切圆直径,减少卫燃带敷设面积,将燃烧器改为一次风集中布置方式;改造后 1 号炉运行稳定,消除了炉内大量结焦、结大焦现象。结论:保持充足的运行氧量及采用合适燃烧切圆直径,将燃烧器改为一次风集中布置方式是解决锅炉严重结焦的主要途径。

**关键词:** 330 MW 机组; 锅炉结焦; 运行氧量; 燃烧器改造

**Abstract:** In order to improve the security and economical efficiency of unit operation, the main cause of slag buildup is analyzed that is low ash fusion temperature of the as fired coal, lacking oxygen content, too large diameter of firing tangential circle, flame brushing against wall, poor cooperation of pulverized coal and air flow, too large refractory belt area, and the layout of burner incompatible with burning coal. The countermeasures are proposed that is blending burning coal in a reasonable way, increasing ash fusion temperature of the as fired coal, maintaining adequate oxygen content, using appropriate diameter of firing tangential circle, reducing the area of refractory belt, and adopting concentrated disposal of primary air for burner. After the transformation, the operation of No. 1 furnace is stable, and the phenomenon of slag buildup and large coke is eliminated. So the above-mentioned is the major way to solve the serious slag buildup of boiler.

**Key words:** 330 MW unit; slag buildup; oxygen content; burner retrofit

**中图分类号:** TK228 **文献标志码:** B **文章编号:** 1003-6954(2011)01-0083-04

## 0 引言

合山发电公司 2×330 MW 机组锅炉为东方锅炉厂设计制造的 DG1004/18.5-Ⅱ 1 型亚临界压力,一次中间再热,自然循环,单炉膛,尾部双烟道结构,采用挡板调节再热汽温,固态排渣,全钢架悬吊结构,平衡通风,半露天岛式布置。锅炉燃烧系统为固定直流式煤粉燃烧器,四角布置、切向燃烧,假想切圆直径为 D790 mm。燃烧器配制粉系统形式为钢球磨中间储仓式热风送粉系统,共 4 台磨煤机,干燥剂为热风加乏气再循环热风送粉。

燃烧器设计采用一、二次风间隔布置方式,每角共布置 15 层喷口。共设有 5 层一次风喷口,一层燃尽风喷口,7 层二次风喷口(其中 3 层布置有燃油装置),2 层三次风喷口、顶二次风方向反切 15°,A、B 层改造后一次风采用横置钝体直流燃烧器,C、D、E 层一次风均采用百叶窗式水平浓淡燃烧器,燃用设计煤种为混合煤(50%贵州煤与 50%合山煤)。

机组自 2004 年 9 月投产以来炉膛结焦问题一直未能有效解决,表现在高负荷运行时多次发生掉大焦引起锅炉灭火,MFT 动作停炉事故,如仅 2009 年 10 月至 2010 年 3 月,2 号炉就发生五起掉大焦引起 MFT 动作停炉事故。炉膛结焦使水冷壁传热热阻增加,水冷壁吸热不足,锅炉出力降低,炉内换热减弱导致炉膛出口烟温上升,排烟温度升高,燃烧损失增大,结焦严重影响锅炉运行的安全性和经济性,因此对造成锅炉结焦的主要原因进行分析,采取有效措施治理改造,以提高机组运行安全性和经济性。

## 1 原因分析

### 1.1 燃用煤质的影响

锅炉燃用煤种设计值:低位发热量  $Q_{net} = 18\,840$  kJ/kg 挥发分  $V_{daf} = 23.1\%$ ,灰分  $A = 34.8\%$ ,实际混合煤低位发热量平均值约 17 000 kJ/kg 灰分平均值 A 约 39.5%,挥发分平均值  $V_{daf}$  约 16.5%,混合煤低位发热量低于设计值 1 840 kJ/kg 挥发分低于设计

值约 6.5%，灰分高于设计值约 4.5%。合山煤是典型高灰、高硫、高水份、低热值的（三高一低）劣质烟煤，由于贵州烟煤难以采购，1、2号炉主要燃用煤种为贵州无烟煤与合山本地煤，贵州无烟煤挥发分低、不易着火且燃尽度极差。挥发分偏低使煤粉引燃困难，着火推迟，燃烧不稳，煤粉难以燃尽，灰分高使煤的燃尽度变差，可燃质相对减少，发热量降低，受热面积灰结渣增加，根据对实际入炉煤灰熔点的化验结果表明，灰的软化温度  $ST=1\ 150\sim 1\ 268\ ^\circ\text{C}$ ，即  $ST$  最低为  $1\ 150\ ^\circ\text{C}$ ，最高为  $1\ 268\ ^\circ\text{C}$ ，平均值约为  $1\ 200\ ^\circ\text{C}$  左右，国内一般以煤的灰熔点高低判断结渣的倾向程度，当  $ST<1\ 350\ ^\circ\text{C}$  为强结渣性煤种， $ST>1\ 350\ ^\circ\text{C}$  为弱结渣性煤种，实际入炉煤灰熔点只有  $1\ 200\ ^\circ\text{C}$  左右，远低于  $1\ 350\ ^\circ\text{C}$ ，属于强结渣性煤种，入炉煤灰熔点偏低使结渣的倾向大大增加，是锅炉结焦的一个重要原因。

### 1.2 运行氧量的影响

炉内运行氧量对锅炉结焦有举足轻重的影响，增加运行氧量可大大减轻炉膛结焦，但氧量过大使炉膛温度下降，燃烧不稳， $\text{NO}_x$  排放量增加，尾部受热面低温腐蚀严重，排烟热损失增大，锅炉效率下降；由于 1、2号炉空气预热器堵灰较重，烟气差压大，满负荷运行引风机开度高于 90% 才能维持炉膛负压，经实测 1、2号炉满负荷运行平均氧量为 4.2% 左右，而 DCS 显示却为 5% 左右，锅炉燃烧理论表明，最佳运行氧量应达到 4.3%~4.5%，燃烧中存在氧量不足现象，由此产生还原性气氛使灰熔点降低而加剧结焦形成。

### 1.3 燃烧切圆的影响

1、2号炉四角切向燃烧，设计假想切圆直径为  $D790\ \text{mm}$ ，根据广西电科院对 1、2号炉冷态空气动力场试验结果表明，1号炉假想切圆直径为  $10\ \text{m}$ ，2号炉假想切圆直径为  $9\ \text{m}$  左右，分别是设计假想切圆直径的 12、11 倍左右，切圆过大使火焰刷墙程度增加且一次风煤粉气流因补气条件差而受到邻组喷嘴气流冲击，易偏转贴墙而引起结焦；通过模拟炉内射流流场结果来看，炉膛内高温气流主要分布在四面水冷壁附近，停炉检查发现燃烧器区域水冷壁管被气流冲刷、管壁减薄现象，说明存在燃烧切圆过大，气流刷墙严重。

### 1.4 风粉配合的影响

1、2号炉运行中均存在多台给粉机给粉不均匀、

下粉不畅的问题，所用给粉机为国产叶轮式给粉机，目前国产叶轮式给粉机普遍存在这一现象，使燃烧器各角喷口一次风粉气流煤粉浓度分配不均匀，加上一二次风速不平，势必造成有些燃烧器缺风，有些燃烧器缺煤的现象，使燃烧器偏离最佳工况工作；燃烧器的负荷分配直接影响炉内空气动力场及温度场，当风粉分配不均时，就会产生炉膛火焰偏斜，局部区域热负荷过高；炉内有些区域或有的角燃烧相对缺风，有的却多风富氧燃烧，即存在粉少风多、粉多风少的现象，这样煤粉浓度高、缺氧燃烧的区域就会产生还原性气氛，使灰熔点降低而加剧结焦形成。

### 1.5 敷设卫燃带的影响

1、2号炉大修中在燃烧器区域四面水冷壁各敷设了  $163.8\ \text{m}^2$  卫燃带，在三次风喷口上部敷设了  $83\ \text{m}^2$  卫燃带。虽然敷设卫燃带减少了燃烧器区域水冷壁吸热程度，提高了炉膛温度，火焰中心上移，有利于提高汽温及燃烧稳定性，但由此也加剧了结焦的形成，特别是燃用灰熔点低的煤种，处于熔融状态的煤粉气流冲刷水冷壁或卫燃带并在上面粘结沉积，形成焦块，卫燃带表面粗糙及隔热作用还会加剧结焦的形成，使焦块连成一大片；当焦块过重落下就会砸坏冷灰斗及发生灭火停炉事故，严重威胁锅炉的安全运行。

### 1.6 燃烧器布置方式的影响

1号炉大修中对燃烧器进行了改造，2号炉由于各种原因没有对燃烧器改造，燃烧器仍采用一、二次风间隔布置方式，与目前燃用的低挥发分、高灰分、低热值的混合劣质煤种明显不相适应。通过对比就是最好的证明，因为目前 1号炉与 2号炉有很多相同点：炉膛结构、燃用煤种及掺烧比例相同，运行氧量为 4.2%~5%，煤粉细度  $R_{90}$  为 4.5% 左右，一次风速基本保持在  $22\sim 26\ \text{m/s}$  风速与目前燃用的煤种相适应，两炉都存在多台给粉机下粉不畅的问题，卫燃带敷设面积与位置基本相同，1号炉燃烧器改造之前与 2号炉同样存在高负荷运行大量结焦及因掉大焦引起 MFT 动作停炉现象，改造后两台炉高负荷运行结果却大相径庭：1号炉只有轻微结焦，2号炉仍大量结焦、结大焦。因此可排除由上述相同因素造成 2号炉结焦为主要原因，主要原因是燃烧切圆过大、火焰刷墙；燃烧器采用一、二次风间隔布置方式与目前燃用煤种不相适应；由于一、二次风混合过快，所需着火热大而燃用煤种又是挥发分极低、燃尽性极差的劣质烟煤，大量的煤粉颗粒只是到达水冷壁附近才开始燃

烧,原来在火焰中心区未燃尽的碳再进一步燃烧就会造成水冷壁附近热负荷高,并形成缺氧区,缺氧燃烧结果使煤粉难以燃尽及还原性气氛增加,使灰熔点降低,熔融的灰渣粘附在卫燃带或水冷壁上形成焦块,使炉内发生大量结焦。

## 2 解决对策

### 2.1 合理掺配燃用煤种

煤种问题是产生结焦的主要原因之一,因此应根据锅炉设计煤种进行燃煤的组织 and 选用,确保煤质的相对稳定,尽量降低其焦结性及粘结性指标,使入炉煤灰熔点控制在  $1350^{\circ}\text{C}$  以上;实际运行中若燃煤煤质发生较大的变化,应进行必要的燃烧特性评价,同时要做好运行调整,确定合理的掺烧比例,以达到提高灰熔点、降低灰粘度的目的,避免炉膛出现大面积结焦。

### 2.2 保持合适的运行氧量及加强受热面吹灰

运行氧量充足使煤粉能充分燃烧,并使炉膛壁面处的烟温降低,炉壁处的沉积物减少,使水冷壁结焦的趋势减少;运行氧量不足,炉内还原性气氛增加,灰熔点降低导致结焦发生,应保证炉内实际运行氧量达  $4.5\% \sim 5\%$ ,以抑制还原性气氛,防止结焦。由于 1、2 号炉空气预热器堵灰较重,应在停炉时对预热器蓄热元件进行清洗或更换,并加强对空气预热器吹灰力度,维持炉膛负压,保证炉内供给氧量充足。

运行中应严格吹灰操作,坚持每班对炉膛、过热器、再热器及烟道吹灰一次,保证受热面干净,减少结焦。

### 2.3 采用合适的燃烧切圆直径

1 号炉燃烧器改造中,为减少炉内贴壁气流存在,将一次风切圆改为对冲布置,二次风假想切圆直径改为  $D760\text{ mm}$ ,三次风假想切圆与二次风方向一致,切圆直径改为  $D600\text{ mm}$ ,这样切圆缩小后可减少炉内气流刷墙程度,合适的切圆直径会获得较为理想的炉内空气动力工况,有利于气流在炉内形成旋转火球,高温烟气补充到燃烧器射流根部,使着火稳定,防止气流偏斜贴壁而结焦。

### 2.4 保持良好的风煤配合

解决给粉机给粉不均匀、下粉不畅的问题,避免燃烧器各角喷口风粉分配不均,炉膛火焰偏斜,局部区域热负荷过高;保持良好的炉内空气动力场及温度

场,避免在燃烧器喷口及水冷壁附近形成还原性气氛,造成局部严重的结焦。由于燃用煤种为劣质烟煤,为稳定煤粉气流燃烧,减少着火热,应推迟二次风与一次风过早混合,以保证空气与煤粉的良好混合。

### 2.5 合适的卫燃带敷设面积

卫燃带敷设过多增加了炉膛热负荷,加剧了结焦的形成,使火焰中心上移,炉膛出口烟温升高,考虑到汽温低及对燃烧稳定性的影响,可将卫燃带分割布置,将连成一体卫燃带纵横分割成许多格子式的独立小块,以防止渣块在卫燃带上蔓延开来,连成一片过重落下,砸坏冷灰斗及造成 MFT 动作停炉事故。

### 2.6 燃烧器改为一次风喷口集中布置方式

根据中国长期燃用无烟煤及劣质贫煤的实践经验,燃烧器一般都采用一次风集中布置方式。1 号炉燃烧器改造是将 2 层一次风喷口集中布置,并采用一次风切圆对冲布置,而二次风喷口采用分层布置方式,由于一次风在向火面,一次风可以直接吸收上游射流的辐射和湍流传热,二次风布置在一次风的外侧,可减缓一次风气流的刷墙程度,从而减轻水冷壁结焦。一次风集中布置方式由于燃烧集中,煤粉浓度较高,所需着火热小,着火条件好,相对提高了着火区温度,有利于保持较高的炉温。二次风采用分层布置,一、二次风喷口保持较大的距离,以推迟一、二次风混合,待一次风煤粉气流着火稳定后再高速喷入二次风,使二次风卷吸的高温烟气与煤粉气流强烈扰动混合,有利于在燃烧器出口某一位置形成局部的“三高”区(高氧量、高温、高煤粉浓度),使煤粉尽量燃烧完全,由此大大减少了不完全燃烧所产生的还原性气氛,减轻了炉膛结焦,因而一次风集中布置适用于低挥发分、难着火及难以燃尽的劣质烟煤,2 号炉目前燃烧器布置方式只适用于燃烧挥发分较高的烟煤(如图 1 所示)。

## 3 改造效果

实践表明,1 号炉燃烧器改造后,炉底排渣基本上是较细的、均匀的渣灰,焦结现象很少,消除了改造前炉内大量结焦、结大焦现象。改造运行 2 年以来燃烧效果良好,未发生掉大焦引起锅炉灭火事故,锅炉热效率也明显提高,因此建议对 2 号炉燃烧器进行改造,采用较小的燃烧切圆直径以避免火焰刷墙,并将燃烧器改为一次风集中布置方式,以适应燃用的劣质

烟煤,从而根本上解决高负荷运行时炉内大量、严重的结焦问题,改善锅炉安全运行状况及提高锅炉热效率。

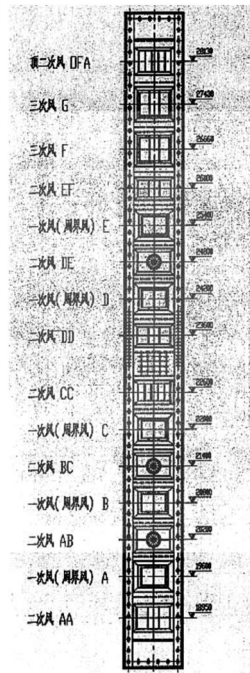


图 1 燃烧器一、二次风间隔布置简图

### 4 结 语

锅炉结焦是一个复杂的物理化学过程,它与燃料煤种、炉膛结构、运行氧量、炉内空气动力场及温度场、燃烧切圆直径、风煤配合、吹灰使用、燃烧器布置方式等许多因素有关,通过对锅炉结焦原因进行具体分析,针对性地采取有效措施治理改造,可大大减轻炉膛结焦的程度,避免炉内大量结焦、结大焦而危及锅炉安全运行,并由此改善锅炉运行状况,提高运行安全性及锅炉热效率。

本次锅炉改造的成功经验,对大型火电机组节能及优化运行具有一定的参考价值。

### 参考文献

- [1] 容奎恩,袁振福,刘志敏,等. 电站锅炉原理 [M]. 北京: 中国电力出版社, 1998.
- [2] 华东电机工程学会. 锅炉设备及其系统 [M]. 北京: 中国电力出版社, 1999.

(收稿日期: 2010-10-12)

(上接第 57 页)

基础抗上拔力与 Tfd2006 程序的计算结果吻合,这个数值是基础实际允许的抗上拔力,同时可以发现,修正前计算得出的基础抗上拔力远远大于修正后的值,是修正后的 1.21 倍。因此,在设计基础时,如果以修正前的基础抗上拔力为依据,势必造成因上拔力不够而导致杆塔倾倒的情况发生。

行,如果设计时按照现行《架空送电线路基础设计技术规定》中  $h_1$  的意思表述,计算出来的基础上拔力将远远大于基础的实际抗拔力,在设计裕度不大的情况下,基础将因上拔力不足影响杆塔的安全运行,按照所提理论表述对基础上拔稳定计算公式进行修正,才真正符合基础设计剪切法和土重法的计算原理。

### 参考文献

- [1] 张殿生. 电力工程高压送电线路设计手册 (第二版) [Z]. 北京: 中国电力出版社, 2003.
- [2] 鲁先龙,程永锋,张宇. 输电线路杆塔原状土基础抗拔力承载力计算探讨 [D]. 中国电机工程学会论文集, 2007.
- [3] 王学明. 送电线路掏挖基础抗拔力理论计算公式推导 [D]. 中国电机工程学会论文集, 2007.
- [4] DL/T 5219-2005, 架空送电线路基础设计技术规定 [S].

(收稿日期: 2010-09-06)

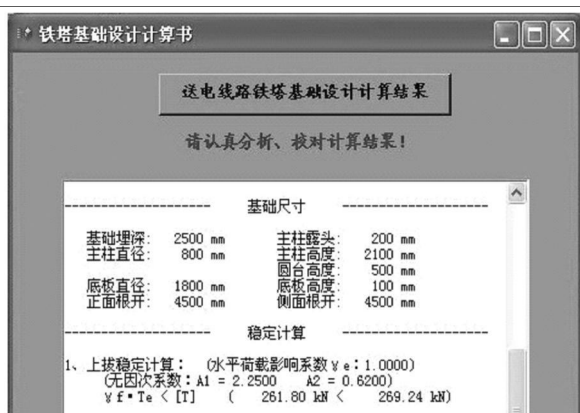


图 4 土重法 Tfd2006 程序计算结果

### 3 结 论

基础的上拔稳定关系到输电线路的安全稳定运