

# 浅谈330MW亚临界机组低负荷结焦及积灰原因与措施

关志成 冀宇 王燕龙

北方联合电力有限责任公司达拉特发电厂 内蒙古 鄂尔多斯 014300

**摘要:** 近几年来由于燃烧煤质的变化的电力调峰市场的影响,低负荷工况锅炉侧容易出现结焦及积灰现象,导致锅炉效率下降,增加锅炉系统的热损失,掉焦也可能砸坏冷灰斗和水冷壁,使炉膛燃烧不稳,严重时造成炉膛灭火,被迫停机,对锅炉安全经济运行造成危害,对技术措施与注意事项进行分析探讨。

**关键词:** 低负荷;结焦与积灰;协调控制模式

## 1 研究背景

近年来随着蒙西电网关系能源上网电量增加和市场化运营,各机组频繁进行“深调”工况,低负荷运行频次和时间逐年增加。#4机组锅炉低负荷工况下带负荷能力以及火检闪动和掉焦垮灰次数明增加, #4机组锅炉2025年1月份火检闪动2次,掉焦垮灰11次。炉膛负压波动剧烈,波动范围为-223Pa~+194Pa,造成多次火检闪动,同时和其他机组对比可以看出, #4机组带负荷能力受限严重,机组接带最高负荷为265MW,影响效益电的同时对机组的安全运行造成严重危害<sup>[1]</sup>。

## 2 设备简介及现状

华能达拉特发电厂(以下简称:达电)#4机组为单汽包,单炉膛,具有一次中间再热的亚临界自然循环锅炉,燃烧器方式为前后墙对冲,一次风正压直吹式制粉系统。

引起锅炉炉膛负压波动大及火检闪动原因一般锅炉结焦积灰、炉底水封破坏、风烟设备故障和水冷壁泄漏等原因。从现场市调查,发现造成#4机组炉膛负压波动大和火检闪动的主要原因是锅炉结焦和积灰。结焦和积灰造成的危害是相当严重的,受热面结渣以后,轻则会使传热减弱,吸热量减少,为了保持锅炉的出力只得送进更多的空气和燃料,因而降低了锅炉运行的经济性;炉膛受热面结渣会导致炉膛出口烟温升高和过热蒸汽超温,这时为了维持汽温,运行中要限制锅炉负荷;由于结渣往往是不均匀的,因而水冷壁结渣会对自然循环锅炉的水循环安全性和强制循环锅炉水冷壁的热偏差带来不利影响;炉膛出口对流管束上结渣可能堵塞部分烟气通道,引起过热器热偏差,烟气流截面减少而维持锅炉负荷不变的情况下烟气流速增加,受热面磨损加剧,还导致引风机出力增加,炉膛负压难于维持而被迫降低机组出力运行使机组的经济性下降;另外,炉膛上

部积结的渣块掉落时,还可能砸坏冷灰斗的水冷壁,甚至堵塞排渣口而使锅炉无法继续运行。锅炉机组结焦后严重影响机组的安全和经济运行<sup>[2]</sup>。

## 3 应对措施与对策

### 3.1 对策依据

对固态排渣煤粉炉,当灰的软化温度 $T_2 > 1350^{\circ}\text{C}$ ,造成炉内结渣的可能性不大。为了避免炉膛出口处结渣,炉膛出口温度应低于 $T_2$ ,并至少留出 $50-100^{\circ}\text{C}$ 的余量。如果灰的熔点较低即 $T_2 < 1200^{\circ}\text{C}$ 时,灰粒子很容易达到软化状态,就容易发生结渣。所以通常将灰的软化温度 $T_2$ 作为衡量是否结渣的主要指标。

基于上述分析,炉膛出口烟温的合理范围应为:灰熔点 $T_2 - 100^{\circ}\text{C} \leq$ 炉膛出口温度 $\leq$ 灰熔点 $T_2 - 50^{\circ}\text{C}$ 。即炉膛出口温度应在: $1077-1127^{\circ}\text{C}$ 。但实际运行中,建议尽量接近下限(如 $\leq 1077^{\circ}\text{C}$ ),以预留安全裕度。根据达拉特发电厂主机运行规程规定以及我小组多年运行经验得出,控制炉膛出口烟温( $1077-1127^{\circ}\text{C}$ ),降低CO浓度,调整煤粉细度 $R_{90} \leq 22.5\%$ ,将减少锅炉结焦及积灰可能性,可将#4机组锅炉炉膛负压波动和火检闪动的问题下降至76%左右,那么将会极大的保证机组的安全运行与带负荷能力<sup>[3]</sup>。

### 3.2 机组结焦积灰影响因素

我们通过现场调查、分析、统计等判定方式总结以下三种影响达电#4机组锅炉结停与积灰的因素:

1) 部分磨组煤粉细度超限:经调查达电#4机组锅炉B磨煤机煤粉细度 $R_{90} = 32.3\%$ 、C磨煤机煤粉细度 $R_{90} = 27.6\%$ ,都 $> 22.5\%$ ,不符合规范要求,并且可以看出B、C磨煤机的出口温度要低于规程规定的磨煤机出口温度 $65^{\circ}\text{C}$ ,使磨煤机出力降低,机组负荷受限,对制粉系统的安全运行也造成危害。

煤粉细度不合格,煤粉太粗,燃料在炉内从着火到

燃尽时间太长,使部分未燃尽的煤粉颗粒粘结在炉膛出口或后部受热面上继续燃烧,使炉膛出口温度大于灰的熔化温度 $T_3$ 。加大了锅炉积灰和结焦的风险

2) 燃料燃烧不完全。由于达电#4机组锅炉B、C磨煤机煤粉较粗(B磨煤机煤粉细度 $R_{90} = 32.3\%$ , C磨煤机煤粉细度 $R_{90} = 27.6\%$ ),煤粉均匀性差,煤粉燃尽延迟,飞灰可燃物含量高,CO未能完全燃烧,未燃碳热损失和CO不完全燃烧热损失较设计值大。在300MW负荷下,空气预热器进口A、B两侧CO浓度约 $1800\mu\text{L/L}$ (0.18%)和 $5500\mu\text{L/L}$ (0.55%)。锅炉在当前习惯运行方式下,空气预热器进口氧量为2.00%左右,锅炉烟气氧量偏低,不利于燃料的充分燃尽。再因燃烧煤种水分高,各磨煤机出口温度普遍偏低。因CO不完全燃烧热损失较设计值大,燃料燃烧不完全,在炉内生成未完全燃烧的CO还原性气体,而在还原性气氛中,灰熔点要下降,导致锅炉结焦加速。

3) 炉膛出口温度高。达电#4机组锅炉炉膛出口温度大部份都大于 $1127^\circ\text{C}$ ,平均温度为 $1136^\circ\text{C}$ ,说明火焰中心太高,炉膛出口温度太高,超过炉膛出口温度( $1077\sim 1127^\circ\text{C}$ )。当炉膛出口温度接近或超过 $T_2$ 时,灰粒呈熔融状态,易粘附受热面形成结焦,炉内结渣,积灰可能性增大<sup>[4]</sup>。

### 3.3 对策与措施

1) 将#4机组锅炉B、C磨煤机分离器的开度由50%调至65%,以此来降低B、C磨煤机的煤粉细度。分离器开度调整后B磨煤机的煤粉细度 $R_{90} = 20.4\%$ ,C磨煤机的煤粉细度 $R_{90} = 21.3\%$ 。符合《锅炉设备使用说明书》中规定的磨煤机煤粉细度 $R_{90} = 22.5\%$ ,满足锅炉燃烧要求的同时也降低了锅炉结焦积灰的风险。

2) 降低一次风压以减少风粉流速,使燃料充分燃烧的同时保证磨煤机出口温度不低限( $60^\circ\text{C}$ ),减少一氧化碳引起的热损失使燃料充分燃烧。提高二次风来保证富氧燃烧(3.5%~5%)。实施后CO不完全燃烧热损失为0.59%,较实施前CO不完全燃烧热损失(1.49%)降低约0.90个百分点。这样#4机组锅炉氧量平均值为3.94%,符合《达拉特发电厂二期锅炉运行规程》要求的3%~5%。从CO不完全燃烧热损失降低的程度可以看出此项措施实施良好,一、二次配风合理,减少了炉内生成的未完全燃烧的CO还原性气体,使燃料燃烧较为完全,降低了#4机组锅炉结焦及积灰的风险。

3) #4机组负荷较高时尽量采用A、B、C磨煤机组合方式运行,配风方式采用上天下小。即在A、B、C磨煤机组合方式运行时A层二次风挡板开100%;B层二次

风挡板开90%;C层二次风挡板开90%;D层二风挡板开40%。用压火的方式来降低锅炉炉膛火焰中心高度,从而降低了炉膛出口温度水平,达到防止结焦的目的。采用上天下小配风方式,锅炉高过入口烟温为 $1060\sim 1070^\circ\text{C}$ ,较均衡配风方式下降 $40\sim 70^\circ\text{C}$ ,低于炉膛出口烟温 $1077\sim 1127^\circ\text{C}$ 。如果锅炉采用最上排制粉系统(D磨煤机)及B、C、D磨煤机组合运行方式时,高过入口烟温为 $1150\sim 1160^\circ\text{C}$ ,较均衡配风方式增加 $30\sim 50^\circ\text{C}$ ,较上天下小配风方式增加 $80\sim 90^\circ\text{C}$ ,大于炉膛出口烟温 $1077\sim 1127^\circ\text{C}$ 。因此采用上天下小的配风方案来压低火焰中心高度来降低炉膛出口温度,以此减少#4机组锅炉结焦及积灰风险,同时也可以看出,大负荷工况下采用A、B、C磨煤机组合方式运行,尽量减少D磨煤机运行<sup>[5]</sup>。

### 4 实施效果

通过对以上三个对策的实施,#4机组锅炉B、C磨煤机的煤粉细度降低至 $R_{90} \leq 22.5\%$ ,磨煤机出口温度基本都在 $65^\circ\text{C}$ 以上,符合规范要求,保证了制粉系统的安全,并提高了磨煤机出力,说明各项措施起到了良好效果,满足锅炉燃烧需求。CO不完全燃烧热损失由实施前的1.49%降至0.59%,减少了炉内生成的未完全燃烧的CO还原性气体,使燃料燃烧较为完全,同时采用正三角配煤倒三角配风,即上天下小配风和上小下大的配煤方式压低火焰中心高度使炉膛出口温度降至 $1060\sim 1070^\circ\text{C}$ ,低于炉膛出口烟温 $1077\sim 1127^\circ\text{C}$ 。减少了#4机组锅炉结焦及积灰的风险,#4机组锅炉结焦及积灰次数下降至近五个月以来最少次数。说明实施的措施达到了预期效果。

措施实施后,达电#4机组因锅炉结焦及积灰导致的炉膛负压波动大和火检闪动的次数下降至了每月3次以下,降低了锅炉结焦及积灰风险,提高了锅炉效率,节约了厂用电,机组接带负荷能力提高了33MW左右,如果平均每天机组接带最大负荷时间为4小时,以每月份按20天参与现货市场调频计算,增发电量 $33\text{MW} \times 4\text{h} \times 20\text{D} = 2640\text{MWh}$ ,增收利润约为 $= 316.8\text{万元}$ <sup>[6]</sup>。

### 结束语

可以看出,#4机组锅炉在对策实施后,在最大负荷下的炉膛出口温度基本保持在 $1077\sim 1127^\circ\text{C}$ 之间,符合规范要求,平均温度为 $1094.12^\circ\text{C}$ ,锅炉结焦和积灰风险不大。平均最大负荷由改进前的257.5MW提高至290.6MW,带负荷能力提升33.1MW。使机组更加安全稳定的运行,同时提高了效益电,保证了电力现货市场的竞争力。

### 参考文献

[1]孙旭昂:《煤粉锅炉技术问答》中国电力出版社

1997.

[2]陈天龙:《电厂热力设备及运行》中国电力出版社2004.

[3]于乐乐,冯伟忠.煤粉锅炉低负荷水冷壁结焦问题研究[J].上海电力学院学报,2017.

[4]沈碧璟.300 MW锅炉防止结焦技术措施[J].现代工

业经济和信息化,2021,11(02):164-166.

[5]张波,王建峰,卢佳,周海涛,张碧霄.煤粉锅炉煤质结焦性能分析与预防结焦建议[J].电力科技与环保,2021,37(01):38-41.

[6]俞兆斌,王小勇,马贵东.浅谈燃煤锅炉积灰结焦原因及防止方法[J].区域供热,2021(01):104-107.