

基于某 660MW 超临界机组锅炉飞灰含碳量运行调整的研究

郭文军

中国神华胜利发电厂 内蒙古 锡林浩特 026000

【摘要】：针对某 660MW 超临界机组锅炉飞灰含碳量的增加，对锅炉的安全性和经济性影响进行研究，围绕燃烧器的结构特性、煤种品质特性、煤粉细度、燃烧时炉内氧量不足、配风方式不合理、燃烧时间和锅炉负荷及调整方式等影响因素进行了充分分析，同时对机组正常运行过程中如何控制飞灰含碳量升高提出了有效措施。结果表明，采取本文提出的优化调整措施，锅炉飞灰含碳量降低到 2.4% 以下，锅炉效率提升了 0.12% 左右。

【关键词】：超临界机组；含碳量；运行调整

1 引言

对火电煤粉锅炉而言，锅炉机械不完全燃烧热损失仅次于排烟热损失，约占锅炉热效率的 0.5%~3%。机械不完全燃烧损失增大，主要就是由于飞灰含碳量偏高造成的。飞灰含碳量增高，会造成炉膛出口烟温升高，位于该区域的受热面管壁超温、爆管可能性增大。同时，由于烟速的不合理调整和吹灰的不及时，造成飞灰可能在尾部烟道沉积形成尾部烟道再燃烧事故，给整个锅炉安全运行带来极大的威胁。此外，虽然烟气经电除尘出去 99% 的烟尘，但是仍有一部分排入大气，造成环境污染。可见，研究如何降低飞灰含碳量是非常必要。

2 飞灰含碳量升高的原因分析

某 660MW 燃煤发电机组，锅炉为哈尔滨锅炉厂有限公司制造，型号为 HG2141/25.4-HM15，锅炉型式为超临界参数、摆动式燃烧器四角切圆燃烧直流炉。燃用设计煤种为高水分、高挥发分、中低硫、低灰褐煤。六台中速磨煤机，低氮直流燃烧器，煤粉细度 $R_{90}=35\%$ 。一、二次风呈间隔排列为均等配风，在最上层燃烧器上方 7 米配有 6 层燃烬二次风喷口，用于消除烟温偏差。

锅炉运行过程中，煤粉气流在炉内的燃烧不充分时，势必造成飞灰含碳量升高，使锅炉机械不完全燃烧热损失增大，效率下降。根据燃烧理论和实际运行经验，引起飞灰含碳量偏高的主要因素有：燃烧器的结构特性、煤种品质特性、煤粉细度、燃烧时炉内氧量不足、配风方式不合理、燃烧时间和锅炉负荷及调整方式等，这几个因素相互影响、互相制约。

2.1 燃烧器结构特性的影响

该电厂锅炉主燃烧器上方约 7 米处布置 6 层类椭圆形穿透性强的分离 SOFA 喷口，风量经调试标定合理分配。沿高

度方向从下至上形成三大区域，分别为约总风量 70-80% 的氧化还原区、主还原区以及占约总风量 20-30% 的燃尽区。这种纵向空气分级因主燃烧区缺氧燃烧及分级燃烧后炉内火焰拉长火焰中心上移，使主燃烧区温度降低，不利于煤粉燃尽，控制不当造成飞灰含碳量大幅升高。

2.2 设备缺陷的影响

设备安装过程中，由于二次风门挡板开度偏差、一次风节流缩孔磨损等造成一、二次风速、风量的不平衡引起炉膛火焰偏斜等，造成飞灰含碳量升高。

2.3 燃用煤种的影响

2.3.1 挥发份的影响

煤粉燃烧过程是在挥发成份燃烧完之后才开始焦炭的燃烧。对于高挥发份燃煤，挥发份燃烧释放出大量热量，形成炉内高温氛围，有利于焦炭的迅速着火和燃尽，机械不完全燃烧损失减小，飞灰含碳量较低；相反，对于低挥发分燃煤，则容易引起飞灰含碳量的升高。

2.3.2 水分的影响

对于高水分燃煤，由于燃烧时放出的有效热量相对减少，则会降低炉内燃烧温度，并增加着火热，不利于焦炭的燃尽，造成灰中残留碳增加。

2.3.3 灰分的影响

由于燃料中的灰分在燃烧过程中不但不能释放热量，而且还要吸收热量，使燃烧温度降低，从而降低了燃烧的强度，使残留碳增加；另外，过多的灰分会阻碍煤中碳和氧气发生化学反应，也会使残留碳增多。特别是燃用高灰分的劣质煤，由于发热量低，燃料消耗量大，大量灰分在燃烧过程中吸收更多的热量，使炉内烟气温度降低，着火推迟，火焰稳定性差，煤粉不能燃尽，使飞灰含碳量升高。

2.3.4 煤粉细度的影响

煤粉细度对煤粉的燃烧和燃尽性能有较大影响,降低煤粉细度相当于增加燃烧煤粉的表面积是控制飞灰含碳量升高的有效措施。反之,煤粉颗粒粒径越大,其燃尽性能越差,势必造成煤粉燃尽时间延长,飞灰含碳量升高,不完全燃烧损失增大,从而降低锅炉效率。

2.3.5 过量空气系数的影响

锅炉燃烧所需的氧量供应主要来自二次风,如果二次风量偏小,势必影响炉内的燃烧工况,使炉内易出现缺氧燃烧现象,在缺氧状态下,碳粒发生不完全氧化反应和还原反应,造成不完全燃烧,导致飞灰含碳量增大。因此,保证一定的过量空气系数是必需的。采用低氮燃烧器来控制 Nox 排放,氧量一般被取 2.5% 下限运行,造成含碳量升高较大,因环保指标牺牲锅炉效率较大。

2.3.6 配风方式的影响

煤粉在炉内燃烧过程大致分为着火、燃烧、燃尽三个阶段,在着火阶段即是加热一次风和煤粉;燃烧阶段即是二次风混入,煤粉和氧气剧烈反应阶段;燃尽阶段即是碳粒燃烧阶段,配风即是二次风如何混合的方式,二次风混入早了,即增加了着火所需热量,延迟了着火时间;混入迟了,造成缺氧燃烧,减少了燃尽时间^[1]。

2.3.7 锅炉负荷及其调整方式的影响

锅炉低负荷时,燃料消耗量相应减少,使得炉膛平均温度降低,影响煤粉的着火,煤粉不容易燃尽又造成飞灰含碳量上升;反之,煤粉在高热负荷时,则容易燃尽,有利于降低飞灰含碳量,但锅炉热负荷过高,烟气流速增大,流速增加,煤粉在炉内停留时间相对缩短,也不利于煤粉的燃尽。

另外,当前机组以 AGC 方式运行,受电网要求影响,在火力发电机组参与调峰的大背景下,燃煤机组的负荷调整频繁、调整幅度大,造成燃料量及风量频繁大幅波动,使锅炉长期处于不稳定运行工况,含碳量升高。

2.3.8 一次风速的影响

该厂机组一次风速达 28m/s 左右,风速偏高,这直接导致煤粉气流的着火点偏远,着火推迟,燃烧过程缩短,既不利于稳燃,又影响了燃尽;一次风中较大的煤粉颗粒获得动能过大,飞出煤粉气流,落到周围的缺氧区,影响燃尽;火焰不能均匀的充满炉膛,会发生偏移,炉膛中心烟气流速过快,缩短了煤粉在炉内停留时间。

2.3.9 磨煤机运行方式的影响

磨煤机运行方式直接影响到炉膛温度,炉膛内的火焰集中程度,火焰中心位置。该电厂机组在低负荷时再热汽温偏低,为保证机组再热蒸汽参数在规定范围内运行,往往通过改变磨煤机的运行方式,6 台磨运行时,会选用一套最上层的制粉系统并采用较高的过量空气系统,这样导致炉膛火焰中心上移,进一步影响了飞灰含碳量的增加。

2.3.10 燃烧器摆角的影响

主汽温度在正常运行中,亦可采用通过燃烧器摆角来改变火焰中心位置作为调节汽温的辅助手段,本方法同时会对飞灰含碳量造成影响。燃烧器上摆会导致炉膛火焰中心上移,部分燃料未燃尽便随烟气离开炉膛,使飞灰含碳量的增加。

2.3.11 热一次风温度的影响

热一次风温度的高低直接关系到煤粉气流的初温和炉内的燃烧工况。该厂燃用的是高水分煤种,势必要提高热一次风温度来增加磨的干燥力和输送能力,操作过程中如果机组处于低负荷或者操作人员调整不当就会造成热一次风温度降低,影响炉膛煤粉的着火和燃尽,使得飞灰含碳量增大。

2.3.12 炉膛负压的影响

炉膛负压过大时,造成煤粉气流速度过快时,引风机电耗增加,煤粉气流在炉膛内来不及充分燃烧就离开,飞灰含碳量增加,使机械未完全燃烧热损失增加^[2]。

通过对飞灰含碳量的影响因素的分析可以发现,有些因素在运行过程中是难以改变的,比如燃烧器结构特性、实际燃用煤质、电网负荷调整方式等,同时也有些因素是通过运行调整和设备维护来加以控制的,主要从以下几个方面来组织良好的燃烧过程,降低飞灰含碳量:

- (1) 锅炉过量空气系数控制与配风调整;
- (2) 磨煤机的运行组合方式及煤粉细度控制;
- (3) 运行经济调整对火焰中心与炉内停炉时间控制。

3 控制飞灰含碳量升高的措施

3.1 维持合理的过剩空气系数

供应充足而又适量的空气是保证燃料完全燃烧的必要条件,若氧量不足,燃烧不充分,飞灰含碳量就会增大,也易造成炉膛严重结焦,影响锅炉安全。若氧量太大,排烟损失增大,锅炉效率降低,同时氮氧化物排放量增大^[3]。

通过在额定工况下做的变氧量试验，试验结果表 1

表 1 飞灰含碳量与氧量变化关系

工况	1	2	3	4	5
氧量%	2.5	3	3.5	4	5
飞灰含碳量	3.45	3.18	2.56	2.09	1.75

从试验数据可以看到，飞灰含碳量随着试验氧量的增大而有下降趋势。飞灰含碳量变化区间为 1.75-3.45%，在氧量 5% 工况达最低 1.75%；但是，此工况下的炉膛出口 NO_x 含量最高 440 mg/Nm³，虽然在各工况下最终的 NO_x 排放量均满足排放标准，但是要求加强运行中氧量控制，尤其是机组负荷变动及时调整送风量，应控制在 3.5-4% 较为合理，并视炉膛结焦、NO_x 情况具体调整，避免高负荷氧量过小、低负荷氧量过大。

3.2 煤粉运行方式及煤粉细度控制

由于该电厂磨煤机采用的是静态分离器，在正常运行过程中无法进行细度调整；所以本文针对磨煤机的运行组合方式进行了试验研究。在 660MW 额定工况下，保持其他参数基本稳定的情况下，根据该变磨煤机的不同运行分组方式，研究飞灰含碳量的变化情况如表 2。

表 2 磨组运行方式与飞灰含碳量的关系

机组负荷	660MW			
过量空气系数%	3.2			
磨的组合方式	A、B、C、	B、C、D、	A、B、C、	
	D、E、F	E、F、G	D、E、G	

参考文献:

- [1] 韩伟. 锅炉飞灰可燃物影响因素分析与控制[Z]. 会议论文, 2014-7-13.
- [2] 许建国. 影响燃煤锅炉飞灰可燃物的因素分析[J]. 宁夏电力, 2011.
- [3] 王莺歌. 大型电站锅炉飞灰含碳量的调整与控制[J]. 东北电力技术, 2007.
- [4] 文大缀, 熊伟, 邢希东. 600MW 燃煤锅炉降低飞灰含碳量偏高的燃烧调整试验研究[J]. 锅炉技术, 2016.
- [5] 叶学民, 彭波. 燃煤电站锅炉飞灰含碳量偏高的原因分析及解决措施[J]. 锅炉技术, 2004.

飞灰含碳量%	2.73	4.42	5.8
炉膛出口 NO _x 浓度 mg/Nm ³	398	430	407

通过不同的磨煤机组合运行方式对飞灰含碳量有着明显影响，磨煤机隔层投运较相邻磨煤机投运方式下，飞灰含碳量升高 1.5% 左右。所以在正常运行中要尽量避免磨的隔层燃烧，有效控制火焰中心与煤粉在炉内停留时间^[4-5]。

3.3 一次风和二次风的控制

(1) 机组正常运行期间，为避免主燃烧器区缺氧，任何负荷工况下运行磨煤机周界风和辅助风门开度都保持在 45% 以上，燃尽风门不超过 50%；高负荷时保证二次风箱压力，保证主燃烧器区燃烧需氧。同时锅炉负压不能过高，控制在 ±50 Pa 之内，使煤粉在炉膛内有足够的燃烧时间；严密关闭各孔、门，保持水封正常，减小锅炉漏风，尤其低负荷时段，避免漏入冷风增大降低炉膛温度，保证煤粉燃烧足够的炉内停留时间。

(2) 根据煤质合理控制一次风压，降低一次风速，尤其避免上层磨超出力、高风量运行；采取下层磨煤机运行降低火焰中心；在充分保证制粉系统安全的前提下提高一次风温。每台磨煤机大修后 1 周内完成，确保对四角出粉管一次风速、风量的测量，完成对煤粉细度的检测与调整。

4 结束语

针对该燃煤发电机组锅炉飞灰含碳量影响因素进行分析，并通过运行过程中的燃烧调整试验研究，根据试验结果制定了相应的优化调整措施，确保得锅炉飞灰含碳量降低到 2.4% 以下。在保障锅炉设备的安全运行的前提下，锅炉效率提升了 0.12% 左右。