

75t/h 循环流化床锅炉飞灰含碳量高的原因分析及验证

许学剑 王磊 方东旭

甘肃省酒泉市肃州区东风场区，甘肃酒泉，732750；

摘要：循环流化床锅炉通常简称为 CFB 锅炉，它的燃烧过程采用的是低温燃烧技术，这一技术不仅环保高效，而且被认为是一种清洁燃烧技术。通过在较低的温度下进行燃烧，能够有效减少有害气体的排放，同时具备出色的脱硫和脱硝性能，有助于降低大气污染从而保护环境。为解决 75t/h 循环流化床锅炉出现飞灰含碳率偏高这一现象，采用燃烧调整的方法来判断影响因素，结果表明这种办法不能有效地改善该炉型飞灰含碳率过大的状况；然后分别从煤种的变化、燃煤粒度的变化这两个方面入手找出导致飞灰含碳率过大的原因，并且通过改变燃煤粒径验证了分析的正确性。

关键词：循环流化床锅炉；飞灰含碳量；燃烧调整；煤质；燃煤粒径；环保特性

DOI: 10. 64216/3080-1508. 25. 05. 029

1 75t/h 循环流化床锅炉运行概况

随着循环流化床技术的发展，循环流化床锅炉由于其突出的优点而越来越引起人们重视和研究，并得到了快速发展，但同时也暴露出一些问题：一是燃烧设备中存在着严重的水冷壁管子磨损现象；二是运行过程中普遍存在的飞灰含碳量高（约 6%~8%）的问题。本文选取了河南某电厂的一台正在使用的 75t/h 循环流化床锅炉作为分析对象进行深入探讨。该锅炉结构尺寸如表 1 所示。

表 1 75t/h 循环流化床锅炉结构尺寸

名称	数值
锅炉型号	YG-75/5.29-M20
炉膛宽度/m	5.71
炉膛深度/m	3.17
顶棚管标高/m	26.2
炉膛出口中心标高/m	23.8
炉膛浇注料拐点/m	8.7
水冷壁拐点/m	8.7
上二次风喷口标高/m	10.12（前 4 后 3 布置）
下二次风口标高/m	7.55（后 1 布置）
下二次风喷口标高/m	6.75（前 2 后 1 布置）

该炉 2017 年改造之后一直运行比较平稳，飞灰含碳率与改造前相比没有太大的波动。2018 年 6 月下旬，锅炉正常运行过程中无任何不正常现象出现时开始缓慢升高，至七月份起飞灰含碳率由原来 14~18% 上升为 25~32%，导致飞灰含碳率急剧增高的原因分析对于改善经济性具有重要意义^[1]，本文根据前期对本台锅炉的掌握情况及燃烧调节记录数据，寻找出造成飞灰含碳率增高的主要原因，并进行了验证。

2 飞灰含碳量高的原因分析

对于循环流化床锅炉而言，在保证其它条件（如给水温度等）均正常情况下，可以采取如下措施来减少飞灰中的含碳量：一是适当增加物料在炉膛内的停留时间；二是尽量使燃料在炉内快速燃烧，以减小其燃烬时间。基于此思路，本论文分别采用改变一二次风风量大小及配比关系以及控制炉内料层厚度、氧量的方式来进行相应的燃烧调整试验，并将结果与未做相应调整前的结果进行了比较。根据上述燃烧调整方案所得到的测试数据可知，尽管经过多次的燃烧调整之后，但是并未发现明显的改善效果，这表明由于受制于电厂自身的各种因素的影响，使得运行人员无法从根本上消除导致飞灰中含碳量增大的不利因素。由此推断出可能的原因是来自于煤种的变化或入炉原煤颗粒尺寸的变化引起的。

2.1 煤质变化的影响

为了研究入炉煤性质对锅炉燃烧的影响，在统计了各台机组 6 月份及 8 月份不同日期入炉煤的成分后得出如下结论 6 月份入炉煤中，从 23 日以前到 23 日后，两者间有较大的差别；而 8 月份入炉煤中的挥发份含量均低于 6 月份，但灰分高于 6 月份。

由于入炉煤中挥发份含量的变化使煤粉延迟着火并增加了燃尽的时间；入炉煤中灰分含量的不同又直接影响了煤炭与空气的混合过程及其燃尽时间，高灰分则会阻碍交通与氧气的接触，增加燃料着火和燃尽的困难^[2]。

2.2 燃煤粒径的影响

该厂锅炉的实际入炉煤是混煤（原煤）中以鹤壁贫煤为主，燃煤细颗粒含量比例较大，并且 $100\ \mu\text{m}$ 以下的细颗粒占的比例也很大：由于皮带给煤机将给到锅炉的煤料进行挤压的原因，使得进到锅炉内的煤料大部分都呈一团状或块状。

当煤粉粒径较小时，在 130m 高的燃烧室中由于没有足够的飞行距离和足够长的时间来充分地进行热化学反应就随烟气排出。^[3]

3 飞灰中残碳的生成

飞灰中未燃碳的重要组成部分为密相区内扬析出来的细小焦炭颗粒。煤粒进入高温流化床以后，在受热过程中首先发生水蒸气分解和部分氧化过程（主要是煤粒表面）以及随后剧烈地放热的挥发份析出过程，此时煤粒体积膨胀到一定程度时由于内部的压力作用，使得煤粒出现破壳现象从而导致煤粒碎裂成大量微米级的小块体，同时伴随着煤粒与周围介质之间的化学反应及物理吸附等复杂的相互作用关系的发生。煤粒经破碎之后形成的大量细微粒子在其后续的挥发份析出过程之中，因所含挥发份极少或已全部析出，因此具有了比原始煤粒更低的反应活性并且难以被完全燃烧掉，这部分焦炭颗粒便是我们通常所说的“惰性的”、“难燃”的焦炭颗粒。按焦炭的反应性能不同可以大致将其划分为两大类：一类反应性强一些，有的甚至仍有少量没有析出的挥发份，这一类焦炭颗粒在炉内的停留时间短些，多见于较大飞灰颗粒之中；另一类则恰恰相反，其焦炭的大部分挥发份早已析出了，而且又经历了多次循环燃烧，因而其焦炭反应性随停留时间增长不断降低，这一类焦炭颗粒往往存在于较小的飞灰颗粒之中。

4 循环流化床锅炉飞灰碳含量的影响

4.1 环境影响

首先，高飞灰的碳含量水平是影响大气质量的关键因素之一。当高飞灰中碳含量较高时，它会在大气中形成细小颗粒物，这些颗粒物在空气中弥漫，不仅会对空气质量造成严重影响，还会对人体健康构成潜在威胁。在 CFB 锅炉的燃烧过程中，由于种种原因，如燃烧温度控制不当、燃料质量不均等，导致产生的飞灰中碳含量普遍偏高。这些飞灰中，往往夹杂着一些未完全燃烧的碳质颗粒，它们随着飞灰一同被排放到大气层中。这些碳质颗粒在大气中与其他污染物质如硫氧化物、氮氧化物等发生复杂的化学反应，形成微小的污染物颗粒。其

次，飞灰碳含量这一指标不仅与工业生产过程中产生的废气排放密切相关，而且与全球气候变化之间存在着紧密的联系。随着全球气候变化的加剧，大气中的二氧化碳浓度不断上升，而飞灰碳含量作为大气污染物的一个重要组成部分，其变化趋势与气候变化密切相关。因此，研究飞灰碳含量对于了解气候变化的影响、评估大气污染程度以及制定相应的环境保护政策具有重要意义。同时，飞灰碳含量的变化还受到多种因素的影响，如能源结构、燃烧技术、排放控制措施等，这些因素共同作用于飞灰碳含量，进而影响气候变化。最后，高飞灰的碳含量若超过环境标准，将不可避免地对土壤和水体造成严重的污染。同时，高碳含量灰的排放还会导致水体富营养化，引发水华等水环境问题，进一步加剧水体污染的严重性。

4.2 能源效率影响

CFB 锅炉的飞灰碳含量与其能效之间存在着密切的关联，飞灰中的碳含量直接影响着锅炉的燃烧效率以及整体的热能转换率。当飞灰中的碳含量较高时，意味着在燃烧过程中有较多的未燃尽碳存在，这会导致锅炉的热效率降低，因为这部分碳没有完全转化为热能，从而浪费了能源。同时，过高的飞灰碳含量还会增加锅炉的排放污染，对环境造成不利影响。因此，控制 CFB 锅炉飞灰中的碳含量，对于提高锅炉的能效和减少环境污染具有重要意义。飞灰碳含量这一指标，是衡量燃料在燃烧过程中是否充分的一个重要参数，直接反映了燃料燃烧的完全程度，这一指标的高低对于能源的利用效率和转换效能的优劣有着至关重要的作用。当飞灰碳含量较低时，意味着燃料燃烧得更加充分，能够更有效地将化学能转化为热能，从而提高能源的利用效率；反之，如果飞灰碳含量较高，则说明燃料燃烧的不完全，能量转化效率低下，不仅浪费了能源，还有可能对环境造成污染。因此，控制飞灰碳含量，是提高能源利用效率和转换效能的关键所在。

4.3 经济影响

CFB 锅炉在燃烧过程中产生的飞灰中碳含量，对于整个锅炉的经济效益确实产生了一定程度的影响。第一，通过优化燃烧过程，减少飞灰中碳的生成，可以有效的降低燃料的消耗量，从而在长期运行中大幅度减少企业的燃料成本支出。这不仅有助于提高企业的经济效益，还可以促进节能减排，符合国家绿色发展的战略要求。

第二,通过有效降低飞灰中的碳含量,不仅可以显著提升环保性能,减少对环境的污染,还可以从另一个角度带来实际的经济效益,即降低运维成本。这是因为飞灰中的碳含量较高时,会增加设备磨损和能源消耗,进而导致运行成本的增加。因此,通过技术手段减少飞灰中的碳含量,可以在确保设备正常运行的同时,减少能源的浪费,降低能源消耗,从而有效降低运维成本,为企业带来更多的经济效益。

5 验证

经研究发现:飞灰含碳率上升的原因一方面与煤种相关;另一方面可能和燃煤粒度有关。由于更换不同品种煤炭会导致额外增加生产费用等其他因素的影响,所以本论文选择改变燃煤粒径作为变量来进行上述结论的论证。试验前后燃煤颗粒粒径配比数据如表2所示。试验前后飞灰含碳量变化情况如表3所示。

表2 飞灰含碳量变化情况

掺配情况	日期	取煤量/g	5mm 以上粒径		1-5mm 粒径		1mm 以下粒径	
			含量/g	占比	含量/g	占比	含量/g	占比
粒径改变前	2018-08-29	1.409	455	32.3%	467	35.3%	457	32.4%
	2018-08-31	1.679	394	23.5%	624	37.2%	661	39.4%
	2018-09-03	1.847	719	38.9%	583	31.6%	545	29.5%
粒径改变后	2018-09-06	1.379	344	24.9%	684	49.6%	351	25.5%
	2018-09-07	1.609	462	28.7%	699	43.4%	448	27.8%
	2018-09-08	1.147	361	31.5%	527	45.9%	259	22.6%

从表2可以看出,1mm以下燃煤颗粒比例较之前有明显变化,基本在22.6%~27.8%,从3次化验结果来看,细粉颗粒度整体上较之前有明显改善。

从表3可以看出,飞灰含碳量化验结果也有较大改善,飞灰含碳量较掺配试验前降低7%左右。

表3 飞灰含碳量化验结果

掺配情况	取样日期	飞灰含碳量	备注
粒径改变前	2018-08-29	28.46%	试验期间每天取6个灰样,其中白班3h取一个灰样,20:00和07:00各取一个灰样;6个灰样等量混合均匀化验,飞灰取样一个位置
	2018-08-31	30.49%	
	2018-09-03	27.67%	
粒径改变后	2018-09-06	21.96%	
	2018-09-07	23.79%	
	2018-09-08	21.37%	

通过上述试验可以看出,当燃煤颗粒1mm以下的含量为19.5%~39.4%,飞灰含碳量为27%~30%;燃煤颗粒中1mm以下粒径比例在22%~27%时,飞灰含碳量基本控制在22%~24%。

6 结论

(1)通过采用不同的燃烧调节方式并不能有效的减小锅炉排烟中的飞灰含量。

(2)通过对入炉煤种的变化及不同颗粒度的煤进入磨机后进行比较研究,找到了导致飞灰中可燃物增多的主要原因。

(3)改变细粉粒径比例,飞灰含碳量较之前降低

了7%左右,验证了上述分析的正确性。

参考文献

- [1]章明铁.祁晓峰.夏继胜.循环流化床锅炉飞灰含碳量的分析[j].锅炉制造.2008(6):18-20.
- [2]周强泰.周克毅.冷伟.锅炉原理[M].3版.北京:中国电力出版社.2013.
- [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.2007,28(11):24-28.

作者简介:许学剑(1991—),男,汉族,四川泸州人,本科,锅炉运行技师。