

1000MW 锅炉低 NO_x 燃烧系统改造及运行分析

陈德龙

(国电泰州发电有限公司, 江苏省泰州市高港区永安洲镇 225327)

摘 要: 本文详细介绍了某厂 1000MW 机组锅炉空气分级燃烧双尺度低 NO_x 燃烧系统改造和实施情况, 从方案设计、工程实施及运行优化等方面进行了阐述。通过燃烧系统改造, 该厂锅炉 NO_x 的排放浓度大幅降低, 达到了低 NO_x 燃烧改造的目的。本文可为国内外同类型机组的燃烧系统改造提供参考和借鉴作用。

关键词: 1000MW; 锅炉; 低 NO_x; 改造

0 引言

某电厂一期工程 2×1000MW 超超临界燃煤机组锅炉是三菱重工业株式会社提供技术支持, 由哈尔滨锅炉厂有限责任公司设计制造的变压运行直流锅炉。锅炉采用 Π 型布置、单炉膛、一次中间再热、低 NO_x PM 主燃烧器和 MACT 燃烧技术、反向双切园燃烧方式。

制粉系统采用 6 台中速磨煤机正压直吹式制粉系统, 锅炉 BMCR 工况时, 5 台运行 1 台备用, 每台磨煤机带一层 8 只煤粉燃烧器。机组主要参数见表 1、所燃煤种参数见表 2。该厂于 2012 年 10 月、2013 年 4 月分别对两台锅炉进行了燃烧器改造。

表1 锅炉主要设计参数

项目	单位	BMCR	BRL	THA
过热蒸汽流量	t/h	2980	2887	2741
过热蒸汽出口压力	MPa(g)	26.15	26.07	25.96
过热蒸汽出口温度	℃	605	605	605
再热蒸汽流量	t/h	2424	2339	2245
再热器进口蒸汽压力	MPa(g)	5.11	4.93	4.73
再热器出口蒸汽压力	MPa(g)	4.85	4.68	4.49
再热器进口蒸汽温度	℃	353	351	345
再热器出口蒸汽温度	℃	603	603	603
省煤器进口给水温度	℃	302	300	296

表2 煤质参数

参数	单位	神华煤
Mt	%	16.0
Mad	%	7.90
Aad	%	10.29
Aar	%	9.39
Vad	%	29.1
Vdaf	%	35.57
St,ad	%	0.47
FC _{ar}	%	48.07
Had	%	4.06
Q _{net,ar}	kJ/kg	22860

1 燃烧系统改造的必要性

1.1 原燃烧系统概况

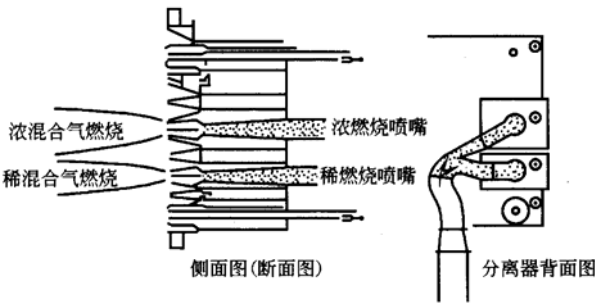


图1 PM 型低 NO_x 燃烧器

该厂原燃烧系统采用低NO_x PM主燃烧器和 MACT燃烧技术。PM型燃烧器如图 1 所示, 采用前后墙布置, 双炉膛、反向切圆燃烧方式, 每层共布置 8 只燃烧器, 前墙布置四只, 后墙布置四只。按照炉膛尺寸的大小选取的燃烧器出口射流中心线和前后墙水冷壁中心线的夹角分别为 63°和 53°。其原理为一次风和煤粉混合气流在进入燃烧器前, 先经过一个弯头进行惯性分离, 因煤粉的密度大于气体而因惯性分离成浓煤粉气流进入上面的燃料相对富的喷口, 而相对煤粉浓度较低的煤粉气流进入下面的贫燃料喷口, 实验表明这种浓淡分离燃烧方式可以降低NO_x的排放 30%左右。MACT燃烧技术是国际上第二代低 NO_x燃烧技术措施。其核心技术是控制主燃烧区的燃料与空气比为 0.8~0.9, 在主燃烧器上方设置OFA供风, 如图 2 原燃烧器布置图。该燃烧系统使主燃烧区产生的碳氢化合物被活化, 并在OFA的上部留有足够的空间, 使主燃烧器区生成的NO_x到达OFA区时, 由于缺氧而被还原成N₂。在

主燃烧器的上二次风OFA喷口上部再设置一层附加空气AA，还原区的未燃尽物进入燃尽区后与AA供风混合，被充分燃尽。

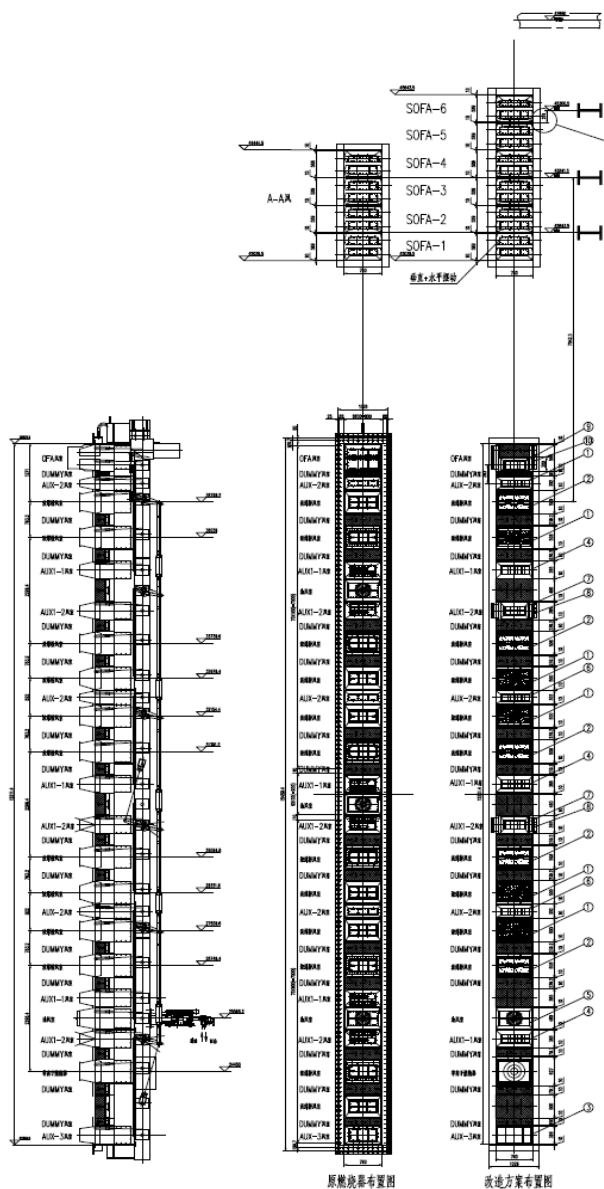


图2 燃烧器布置图

1.2 该厂锅炉燃烧系统存在的问题

原有的空气分级燃烧，使炉膛自下而上分成主燃区、还原区和燃尽区，在燃烧过程中，随着氧浓度的降低，主燃区形成了还原性气氛，致使灰熔点下降，易引起炉膛受热面结渣与腐蚀。

该厂位于华东经济发达地区，人口密集、工业集中，NO_x 排放强度大。做为央企，必须首先积极响应国家“节能减排”号召，担负其社会责任。该厂原有的燃烧器 NO_x 排放量已超出有关环保部门技术要求。通过技术改造进一步降低 NO_x 排放量，势

在必行。

2 燃烧系统改造方案

2.1 技术原理

燃烧系统改造将采用双尺度燃烧技术，即通过炉内射流组合使燃料燃烧在空间尺度上相关区域三场特性差异化，在过程尺度上相关节点区段三场特性差异化（即在两个尺度上三场特性不同于其他区域）。形成炉内利于防渣、低 NO_x、稳燃功能的三场特性。三场特性差异化就是设法扩大煤粉燃烧的温度场，气固相浓度场，烟气流场在炉膛横断面和炉膛纵面上两大区域的差异。在炉内空间上通过对燃烧器的设计组合达到三场特性的空间尺度差异化。

2.2 燃烧系统改造方案

2.2.1 燃烧系统改造后性能保证

燃烧系统改造的设计基础参数如下：燃用燃烧系统改造设计范围内的煤、100% BRL 负荷、煤粉细度 R₉₀ 为 17~25%、空气预热器漏风率不大于 8.0%，满足以上工况条件下，NO_x 排放浓度不大于 170mg/Nm³（折算 O₂ 为 6% 情况下），CO 排放浓度不大于 100μL/L，锅炉效率不低于改造前，锅炉飞灰含碳量不大于 2.0%，锅炉汽温汽压和出力达到锅炉设计值。同时保证燃烧器区域水冷壁无高温腐蚀和严重结渣。最低不投油稳燃负荷不大于 30%BRL。锅炉在 50~100%BRL 范围内运行时，能维持主蒸汽温度 605℃，炉膛出口烟温最大偏差不大于 50℃。燃烧器的使用寿命不少于 5 万小时。

2.2.2 燃烧系统改造概述

在炉膛竖直方向，保留原有八个燃烧器组件不变，风室隔舱不变，一次风标高不变，拆除 A-A 风，在主燃区上方新增分离燃尽风 SOFA 组件；保留原有的 PM 燃烧器布置方式，仅更换一次风弯头及喷口，调整高度方向上浓煤粉与淡煤粉的布置次序，喷口改为中间带稳燃钝体的形式；取消上面两层油点火燃烧器，仅保留最下层油点火燃烧器。更换主燃区的二次风喷口，适当减小端部风喷口和中间助燃风喷口的面积；采用节点功能区技术，两层一次风喷口中间加装贴壁风；为了防止还原区水冷壁高温腐蚀，在 OFA 喷口两侧加装贴壁风。

通过调整主燃烧区燃烧器的喷口面积,使风量重新合理分配,一次风速和风率能够满足入炉煤种的燃烧特性要求,主燃烧器区的二次风量适当减小,形成纵向空气分级。燃烧器的摆动机构保持不变,可以整体上下摆动 20°。

在炉膛水平截面方向,维持一次风射流方向不变,一次风仍旧为反向双切圆布置;除下端部风以外,其它二次风射流改为与一次风射流小角度偏置,反向切入方式,形成横向空气分级。

拆除原有分离燃尽风(A-A 风),在主燃烧器区上方约 7m 处新增 6 层分离燃尽风 SOFA,以获得足量的燃尽风量,SOFA 喷口可同时做上下左右摆动。燃烧系统改造如图 2 所示。

此次燃烧系统改造在 OFA、EF-L、CD-L 加装了“边界风”,总流量占锅炉总风量的 5%,这些边界风沿炉壁上升,使水冷壁表面保持氧化性气氛,可有效防止水冷壁的结渣和高温腐蚀。

3 改造效果

3.1 改造后燃烧系统运行特性

表3 空预器出口烟气成分实测平均值

负荷	甲侧			乙侧		
	O ₂ /%	CO /(μL/L)	NO _x /(μL/L)	O ₂ /%	CO /(μL/L)	NO _x /(μL/L)
1000MW	4.10	20	32	4.58	4	32
850MW	4.71	8	22	5.20	22	33
750MW	5.37	0	19	5.73	0	34

表4 不同负荷下二次风风门开度

二次风风门名称	1000MW	850MW	750MW
SOFA5/6	80	80	50
SOFA3/4	100	80	60
SOFA1/2	100	80	60
OFA	80	70	60
F-辅	30	30	30
EF-U	10	10	10
EF-L	50	50	50
DE-辅	20	20	20
油-CD	50	50	50
CD-L	70	70	70
BC-辅	20	20	20
油-AB	30	20	20
AB-L	20	20	20
A-辅	100	100	100

表5 空预器进口烟气成分实测平均值

负荷	甲侧	乙侧
	O ₂ /%	O ₂ /%
1000MW	3.23	3.68
850MW	3.54	4.01
750MW	4.12	4.49

在设计煤种条件下,分别进行了 1000MW、850MW、750MW 三种负荷测试试验。实测数据(见表 3、4、5)显示,负荷大于 900MW 时,折算后 NO_x 排放浓度为 175 mg/Nm³(折算 6%O₂,以下均同),与改造前(250 mg/Nm³)相比降低了 30%;改造后 1000MW 电负荷下,锅炉效率提高 0.94%;850MW 电负荷下,锅炉效率提高 0.64%;750MW 电负荷下(修前为 700MW),锅炉效率提高 0.96%。负荷越低,NO_x 排放浓度越小。

改造后燃烧系统运行稳定,各风门、摆动机构控制灵活。主汽温、再热汽温在各负荷下均能达到额定参数,过热蒸汽减温水量降低,再热蒸汽减温水量有所增加,但对经济性影响有限。燃烧系统改造后,A 层燃烧器在启动时等离子点火难度增大,需要油枪助燃 1~2 小时才能稳定运行,主要原因是因燃烧器改造后一二风配比有一定变化,一二次风配比不合适,可通过运行优化进行调整。

从总体上看,改造后锅炉的 NO_x 排放浓度大幅降低,为锅炉脱硝装置的经济运行提供了有力条件。机组运行的安全性与改造前相比未受影响,且调节更加灵活。同时,机组运行的经济性略有提高,改造取得了预期的效果。

3.2 燃尽风(SOFA 风)对飞灰可燃物的影响

在主燃区由于是缺氧燃烧,燃料未能完全燃烧,故火焰温度比较低,热力型 NO_x 和燃料型 NO_x 的生成量比较小,在主燃区生成的 NO_x 到达还原区后被还原成 N₂,NO_x 浓度降低;在燃尽区过量空气系数大于 1,属于氧化性气氛,使未燃碳逐渐燃尽,使得 NO_x 的生成量也略有增加,但是由于大屏吸热和空气的冷却作用,火焰温度比较低,二次生成的 NO_x 浓度相对较低。

增大高位燃尽风份额,主燃烧区配风份额相应减少,能大幅降低 NO_x 排放,但对锅炉经济性造成一定的影响。实验证明,增加燃尽风的份额,可以明显降低 NO_x 排放浓度,但同时锅炉飞灰可燃物也随之升高,使锅炉效率降低。同时,由于主燃烧区氧量的降低,火焰中心相对升高,使锅炉炉膛出口烟温升高,再热汽减温水量增加,对机组经济性带来了不利的影响。为了解决上述不利因素,通过增加下层二次风量的调整方式,可以缓解因分级燃烧带来的飞灰可燃物升高和再热汽减温水量增加的影响。

3.3 负荷、燃烧器投运方式对 NO_x 生成的影响

一般情况下, 锅炉负荷越高, 燃烧过程越剧烈, 炉内各区域和火焰中心温度越高, NO_x 生成速率越快, 同时热力型 NO_x(空气中 N 在高温情况下氧化而成)生成速度越快。

而燃烧器的投运方式对 NO_x 生成的影响更为显著, 在同一负荷下, 投入上部燃烧器比投入下部燃烧器 NO_x 的排放浓度高。其主要原因在于未投运的燃烧器, 其对应的二次风依然投入(防止烧损), 使得炉膛下部氧浓度偏高, NO_x 生成速度增加。

运行中, 根据负荷的需要, 尽可能投入下层燃烧器运行, 以控制主燃烧区的氧量浓度, 抑制 NO_x 的生成速度, 以降低 NO_x 排放浓度的目的。

3.4 改造对炉效的影响

因本次燃烧系统改造同时进行空预器改造, 改造后排烟温度大幅度降低, 炉效大幅度提高主要原因应是空预器改造决定, 理论上本次燃烧系统改造对炉效提高作用有限。

4 结论及建议

(1) 改造后锅炉炉渣含碳量较大, 煤粉不完全燃烧情况较严重, 可通过燃烧调整的方式进一步进行优化。

(2) 锅炉启动时等离子点火难度增加、提高分离器转速, 增加煤粉细度, 适当提高磨煤机出口温度, 并适当关于燃烧器附近二次风门, 可以满足着火需求。

(3) 改造后炉膛受热面结焦情况显著改善, 但燃烧器附近水冷壁区域有结焦倾向, 需及时调整一、二次风配比, 并加强该区域吹灰。

(4) 再热蒸汽减温水量增大, 在运行中通过调整尾部烟道挡板开度, 并合理吹灰, 可有效控制减温水量。

作者简介:

陈德龙(1974-), 男, 吉林梨树人, 工程师, 主要从事火力发电厂运行技术研究。