

文章编号:CN23 - 1249(2002)04 - 0006 - 04

410 t/h 燃煤锅炉的优化燃烧试验

吴东垠¹,冯志红²,崔江敏³,杨金社³

(1. 中国科学院力学研究所,北京 100080;2. 河北电力勘测设计院,河北 石家庄 050031;
3. 河北电力职业培训中心,河北 石家庄 050031)

摘要:我国目前一年总耗煤量约 12 T,其中火电燃煤量占总耗煤量的较大份额。提高机组效率,减少二氧化碳等的排放历来被人们所重视,本文介绍了某 410 t/h 锅炉的优化燃烧试验,可以对锅炉的优化燃烧试验有一定的指导意义。

关键词:锅炉;一次风速;燃烧效率;煤粉细度

中图分类号:TK227.1 **文献标识码:**A

Research on 410 t/h Coal - fired Boiler Optimization Combustion

WU Dong - yin¹, FENG Zhi - hong², CUI Jiang - min³, YANG Jin - she³

(1. China Science Academy, Beijing 100080, China)

Abstract: There are 12 000 billion tons of coal consumed in China every year, and most of them are used for electric power. People have been paying attention to Improving unit efficiency and reducing CO₂ Constantly. A 410 t/h boiler optimization combustion research is introduced herein, and it may be a reference for boiler design.

Key words: boiler; primary air; combustion efficiency; pulverized coal fineness

0 引言

能源和环境问题直接关系到国民经济的可持续发展。一个国家国民生产总值和它的能源生产和消费量大致成正比,在我国由于人口众多,虽然自 90 年代以来能源生产已经名列世界前茅,但人均能源消费却仅有发达国家的 10 %左右。与此同时,我国使用能源的设备效率偏低,能源利用率不高,每万美元国民生产总值能耗名列世界之首,为同是发展中国家的印度的 2.2 倍,为欧美等发达国家的 4 至 6 倍。

我国能源生产与消费以煤和石油为主。煤炭

消费量占能源总消费量的 70 %左右,而发达国家仅占 25 %。我国目前一年总耗煤量约 12 T,年排放烟尘 2 100 万 t,其中,二氧化硫的排放量已居世界第二位。环境问题不仅关系到子孙后代,而且关系国家的国际形象和对世界所承担的义务。众所周知,北京已成功申办了 2008 年夏季奥运会,其中环境的日益改善起了不可忽视的作用。

在我国,电力行业经历了限时用电的优越以后,如今正处于限发电的尴尬之中,电厂竞价上网势在必行,目前,几乎所有的电力企业都将提高设备效率,降低供电煤耗以及污染物排放等措施提

收稿日期:2002 - 06 - 16

作者简介:吴东垠(1966 -),男,内蒙赤峰人,中国科学院力学研究所博士研究生,从事电站锅炉的运行和诊断工作,同时,参与乳化液及特种燃料的基础研究等国家自然科学基金和中科院重大项目的研究工作。

高到了前所未有的高度,其中优化锅炉燃烧工况是一个重要的环节。为了总结锅炉的优化燃烧方式,完成了某410 t/h 锅炉优化燃烧试验。

1 设备概况

某410 t/h 燃煤锅炉,设计燃烧劣质烟煤,为自然循环汽包炉,整体呈型布置。

16只直流燃烧器分置四角,其射流在炉膛中心形成一个800 mm的理想切圆。

烟气向上经过折焰角、屏式过热器、高低温对流过热器后进入尾部竖井,然后流经双烟道一级分置的省煤器、两台容克式回转空气预热器,最后进入两台静电除尘器。

锅炉配有2台DTM350/700型钢球磨煤机和2台M5-36-11N620(1/2)D型排粉机。磨煤机采用342热风作为干燥介质,煤粉经细粉分离器进入中间储仓,然后由给粉机随一次送入炉内,制粉乏气从三次风口喷入。

锅炉原设计燃用灰分53.6%,低位发热量为11 815 kJ/kg的混洗煤。投产后发现锅炉存在对流受热面磨损严重,泄露频繁和辅机的厂用电率高等问题。

通过研究论证,将燃煤热值提高到16 747~18 840 kJ/kg,在一定程度上缓解上磨损问题。但是,提高燃煤热值后,又带来主蒸汽温度偏低等问题,若调整主蒸汽温度达到设计值又将导致锅炉效率降低。

为了解决更换煤质带来的主蒸汽温度偏低等问题,又对燃烧器的布置方式进行了调整,即每角九个风口直上而下的布置顺序由原来的3、2、2、1、1、2、1、1、2改为3、2、1、2、1、2、1、1、2,三次风喷口由下倾改为水平布置。

由于原设计煤种灰分高、发热量低,410 t/h 锅炉的燃料消耗量达到了100 t/h,相当于670 t/h 锅炉燃烧燃用热值为五千大卡以上的煤种时的煤耗量。因此,磨煤机出力及排粉机容量与200 MW 机组相当。如果制粉系统容量增加一倍,制粉系统电耗也随之增加一倍。

目前,随着燃烧品质的提高,燃烧消耗量约减少三分之一,双套制粉系统同时运行的时间也大大下降,制粉系统电耗相应减少。

2 试验目的

如前所述,由于燃煤热值的提高,锅炉燃烧面临的主要问题就是协调主蒸汽温度与机械不完全损失(以下简称 q_4)和排烟损失(以下简称 q_2)之间的矛盾。若提高主蒸汽温度,要求推迟着火混合,提高火焰中心,拉长火焰,提高进入过热器受热面的烟气温度;降低 q_4 和 q_2 的运行方式则正好相反,要求煤粉及早燃烬,降低炉膛出口烟气温度。因此,燃烧调整的主要目的就是在维持正常的主蒸汽温度(530~540)的条件下,尽量降低辅机电耗,同时降低 q_4 和 q_2 ,提高锅炉净效率。

本次燃烧调整试验恰逢洗煤厂煤皮带检修,试验燃煤主要是本地区小窑煤,小窑煤着火性能优于混煤,发热量有时在20 000 kJ/kg以上。在这种情况下,主蒸汽温度问题显得更为突出。采用单制粉系统倒宝塔形给粉和正宝塔形配风的运行方式主蒸汽温度也只能维持533~535之间。如此来煤,任何有利于煤粉燃烧和燃烬的调整措施都会使主汽温度低于530。由于来煤条件的限制,继续进行优化试验的设想是在确保汽机侧主汽温度高于515的前提下,进行小窑煤的优化试验,最后测定效率和主蒸汽温度,比较优化结果。

3 测试项目与测试仪器

进行锅炉优化试验及效率测试,须对表1所列项目进行测试。

对每侧烟道选三点作为飞灰浓度场的代表点。排烟温度的测量采用多点平均法,每次至少测取九个温度点(单侧),由24点温度记录仪记录。

烟气成分的测量也采取多点平均法,即每个烟道至少12个烟气抽样点,经烟气混合器后送入9003效率仪分析。

一次风速用固定式靠背管测量,根据以往的标定结果和这次试验的部分标定结果,取平均标定系数为0.81。

每工况将温度及烟气成分记录5~10次,其它数据的记录和取样在每工况进行两次,锅炉运行表盘每15min记录一次。

表 1 测试项目一览

序号	测试项目	位置	仪器	测点数目
1	排烟温度	静电除尘器入口 垂直烟道	K型玻璃丝热电偶 24点温度记录仪	每侧烟道 16 点
2	排烟处的烟气成分 O ₂ 、 CO、RO ₂	静电除尘器入口 垂直烟道	9003 效率仪(经标定)、 奥氏仪	每侧烟道 12 点(4 ×3)
3	飞灰取样	静电除尘器入口 垂直烟道	等速取样枪	每工况单侧烟道选 3 点为代表点
4	大渣取样	炉底	水冷取样枪	2 点
5	省煤器、空气预热器处 沉降灰	相应受热面处灰斗	取样器	各 2 点
6	原煤取样	给煤机		2 点
7	煤粉细度 R ₉₀ 取样分析	给粉机下	振筛机,煤粉筛	2 点
8	一次风速	一次风管	固定式靠背管 (部分经标定) U型玻璃管压力计	16 点
9	表盘记录温度、压力和 流量等参数	相应测点处	经过热工校验	
10	风速测量	送、吸风机入口	毕托管、微压计	16 点/ 30 点

4 试验结果与分析

一共进行了包括基准工况、变一次风速、变煤粉细度、变风量及燃用混洗煤工况等共计八个工况的试验。工况 为基准(习惯)工况;工况 、 、 为变一次风速试验,工况 一次风速为 42

m/s,工况 为 38 m/s,工况 为 34 m/s;工况 和 工况 为变煤粉细度试验,一次风速均为 38 m/s,工况 的 R₉₀ = 10,工况 的 R₉₀ = 19;工况 和 工况 为边风量试验,一次风速为 38 m/s,工况 氧量为 4.7%,工况 氧量为 3.2%。各工况测试数据及计算结果如表 2 所示。

表 2 各工况测试数据及计算结果

项 目	工 况							
	400	414	410.3	410.7	407.3	412.2	398.3	412.3
蒸发量/t h ⁻¹	400	414	410.3	410.7	407.3	412.2	398.3	412.3
主汽温度/	533.3	523.4	524	526.4	528	534.5	535.8	534.2
主汽压力/MPa	9.33	9.2	9.25	9.2	9.23	9.3	9.2	9.17
给水压力/MPa	225	220	220	220	220	221	220	220
给水温度/	12.6	12.5	12.6	12.5	13	12.5	12.6	12.6
送风温度/	35.2	38.8	39.5	42.7	45.3	46	39.7	40.2
省煤器出口氧量/%	4.22	3.87	4.21	3.7	4.07	3.47	4.67	3.2
收到基低位发 热量/kJ kg ⁻¹	19 589.5	19 304.8	21 044.1	20 556	20 685.4	18 405.4	19 518.4	19 187.8
收到基灰份/%	28.5	33.71	27.6	29.64	28.68	38.1	31.97	31.8
收到基水分/%	8.04	3.77	5.55	5.43	6.06	1.86	4.76	6.08
烟气中二氧化物/%	10.46	10.74	10.66	10.54	10.17	10.98	10.19	11.02

项 目	工 况							
	9.01	8.79	8.9	9	9.35	8.42	9.35	8.49
排烟氧量/ %	9.01	8.79	8.9	9	9.35	8.42	9.35	8.49
CO/ %	0.068 5	0.072 2	0.072 6	0.071 2	0.055 8	0.058 2	0.055 1	0.078 5
排烟温度/	145.9	145.2	144.3	145.4	149.6	155	145.3	146.9
表盘排烟温度/	147.4	147.7	144.8	146.7	150.3	155.4	145	146.2
飞灰含碳量/ %	11.71	7.42	9.53	9.18	10.83	5.66	4.43	5.48
炉渣含碳量/ %	13.42	3.25	6.9	4.77	13.79	3.57	2.42	2.13
省煤器沉降灰/ %	11.04	8.99	10.34	8.22	12.76	3.44	3.01	3.74
预热器沉降灰/ %	11.29	9.03	10	9.14	13.63	3.42	4.1	2.99
煤粉细度 R_{90} / %	15.2	16.2	14.8	13.6	18.6	10	9.4	7.2
排烟温度/	135.1	131.8	130.3	129.1	131.7	136.8	131	132.5
排烟损失/ %	7.34	7.11	6.95	6.87	7.14	7.3	7.55	7.11
化学不完全损失/ %	0.38	0.4	0.4	0.39	0.31	0.32	0.33	0.44
机械不完全损失/ %	6.6	7.41	4.54	4.66	5.96	3.92	2.42	2.93
散热损失/ %	0.61	0.59	0.6	0.6	0.6	0.59	0.62	0.6
灰渣热物理损失/ %	0.25	0.27	0.21	0.23	0.23	0.3	0.25	0.26
锅炉效率 / %	84.82	87.1	87.3	87.25	85.75	87.51	88.84	88.66
燃料量 $B/t \cdot h^{-1}$	60.828	61.142	55.498	56.995	57.197	64.006	56.384	60.828
锅炉辅助机功率/ MW	4.694	4.235	4.526	4.805	4.526	5.182	5.151	5.448
实测厂用电率/ %	9.188	9.067	8.824	9.243	9.239	8.79	9.249	9.125

从表2可见,与基准工况相比,优化过程中各工况的锅炉效率均有所提高。最优工况(工况)的锅炉毛效率为89.20%,比习惯运行方式(基准工况)时的锅炉效率提高约4.1%,其净效率由80.98%提高到84.45%。主要原因是燃烧效果好,灰分可燃物降低,其中,飞灰可燃物、炉渣可燃物、省煤器沉降灰可燃物和预热器沉降灰可燃物分别由11.71%、13.42%、11.04%和11.29%降为4.43%、2.42%、3.01%和4.10%

(1) 变一次风速

根据运行经验,一次风速为36~40 m/s时锅炉效率较高。在此基础上,本次试验变一次风速工况所选的三个风速分别是34 m/s、38 m/s和42 m/s。锅炉效率在这个风速区间仅变化0.20%,锅炉效率最高为87.30%,对应一次风速为38 m/s。主汽温度随着风速增加约上升3℃。

(2) 变煤粉细度试验

对该地区小窑煤在试验台的沉降炉试验结果表明:在环境温度为1200℃时,对煤粉燃烬的影响主要来自较粗煤粉,其燃烬率较低。因此,降低煤粉细度对降低 q_4 损失非常有效。

随着煤粉细度的下降,不仅会增加制粉电耗,而且由于单磨出力下降,势必增加双磨运行时间,由表2可以知道,双磨运行时锅炉净效率比其它

优化工况低2%~4%。在评价锅炉的长期运行经济性时,尤其是对磨煤机与锅炉匹配不正常的情况,应该考虑双磨锅炉效率与单磨锅炉效率的影响。

单磨运行时锅炉净效率在 $R_{90}=12\% \sim 15\%$ 时最高,如果考虑到双磨运行时效率有所降低,则制粉的经济细度在14%~16%左右。

(3) 变风量

沉降炉上试烧小窑煤和洗混煤的燃烬率在过剩空气系数为1.1时分别达到98.6%和97.6%,说明当 $\alpha=1.1$ 后,过剩空气量对煤粉的燃烬影响很小。

炉膛出口的过剩空气系数设计推荐值为1.20,到省煤器出口为1.28,相应氧量为4.6%。除去习惯运行方式、双排双磨运行以及 $R_{90}=18.6\%$ 工况,其它工况中风量变化的影响较小。

试验表明:当含氧量为4.7%,锅炉毛效率达到最高值,净效率为84.45%时为最佳,同时主汽温度达到535.8℃。

5 结 论

为了保护环境,降低二氧化碳等的排放,提高燃煤利用率具有重要的作用。火电厂燃煤在燃煤(下转22页)

运行的经济性。

冷渣器的冷却介质一般为水、空气和烟气,其中空气和烟气可将回收的热量直接送回炉膛,将热量直接回收,下面主要探讨水作为冷却介质的情况。

2.1 从冷凝器取水,冷却介质被加热后再送回到锅炉的回热系统

这是一种比较常用的热量回收方式,可提高系统的热利用率,但由于回送的热量破坏了回热系统的平衡,在一定程度上影响了回热系统的效率,而且当底渣量较大时,回热系统处理不了过多的热量,因此,此种方式有一定的局限性。

2.2 作单独的循环系统,用于冬季供暖

这种方式的优点是对系统没有影响,但受到季节和地域的限制,考虑到锅炉负荷和停机等因素的影响,还需设有辅助供热系统,采用的较少。

2.3 单独的循环系统,将回收的热量直接送到散热塔扔掉

对于灰份较大的燃料,也有一部分机组将其作成单独回路,送到散热塔扔掉,这样做是比较可惜的。

2.4 风水联合冷渣器利用给水对渣的热量进行回收

风水联合冷渣器系统的冷渣器有 2 组埋管受热面,现在将冷渣器高温段埋管受热面内的冷却介质由除盐水改为给水,作为给水旁路送入省煤器中,为保证低温段的传热温差,低温段的冷却介质仍采用冷凝水,最终送入回热系统中。这样渣中的大部分热量就被送回了锅炉本体,大大地减少了热量损失。

3 结束语

通过对几种流化床式冷渣器的特点的介绍,对如何选取适合冷渣器提供了借鉴,并就 CFB 锅炉底渣的热量回收问题进行了探讨,具有一定参考价值。

(编辑:刘英)

(上接 09 页)

利用中占据较大的份额,本文以某电站锅炉为例,探讨了提高锅炉效率的具体措施。

通过优化燃烧调整,锅炉效率有了一定幅度的提高。但是由于设备本身的欠缺以及设备调整后降低了煤粉细度,因而主汽温度有所下降,制粉系统电耗稍有增加。以供电煤耗统计值 424.4 g/kW·h 为基准,锅炉效率、厂用电率以及主汽温度对供电煤耗的影响如下:

经过锅炉优化燃烧后,锅炉效率提高 3.47%,可使供电煤耗下降约 17.15 g/kW·h。

通过制粉系统性能试验,燃煤的经济细度 R_{90} 在 14%~16% 之间,为便于定量分析比较,取 R_{90} 为 14.8%,与原细度 18% 相比,厂用电率增加 0.196%,折供电煤耗增加 0.91 g/kW·h。

燃烧优化调整后,主汽温度有所下降。当热值超过 20 000 kJ/kg 时,主汽温度下降 12.6。按全年燃煤平均值考虑,平均主汽温度约可下降 8.6 (与额定主汽温度相比),折供电煤耗增加 0.90 g/kW·h。

考虑以上三项,经过优化燃烧后,供电煤耗可净下降 15.34 g/kW·h。相应的供电煤耗可以达

到 409.06 g/kW·h,比电厂原设计煤耗(444 g/kW·h)降低了约 35 g/kW·h。

就目前设备状况而言,锅炉运行方式最好按煤质状况和主汽温度的要求进行调整。当燃煤热值小于 17 500 kJ/kg 时,按附表进行燃烧调整可以获得较高的锅炉效率,又可以使主汽温度不低于 535。

从长远的观点看,如能对过热器进行改造,增加传热面积,锅炉效率、汽机循环效率都会有较大的增益,电厂运行的经济性还可以进一步提高。

就目前设备情况而言,最佳一次风速为 38 m/s,最佳煤粉细度 R_{90} 取 14.8%,省煤器出口氧量应取 4.7%。

参考文献

- [1] 党黎军. 整体煤气化联合发电技术进展[J]. 锅炉制造, 2000, (4), 10-17
- [2] 吴东垠, 马玉峰. 燃煤锅炉在低负荷和煤种变化时的稳定燃烧和燃烬[J]. 中国能源, 1999, (9), 40-42.

(编辑:董力宏)