

提高煤改燃气锅炉低负荷时的主蒸汽温度

Main Steam Temperature of High Coal to Natural Gas Boiler at Low Load

严建高

Jianguo Yan

上海金联热电有限公司 中国·上海 201506

Shanghai Jinlian Thermal Power Co., Ltd., Shanghai, 201506, China

摘要: 论文介绍了3台130 t/h循环流化床锅炉改造为130 t/h天然气锅炉,成为中国上海首个“煤改气锅炉”。改造成燃气锅炉调试时发现,锅炉负荷低于70 t/h以下时主蒸汽温度只有460℃左右,未能达到设计要求,经技改后提高锅炉负荷低于70 t/h以下时主蒸汽温度到520℃左右,满足汽轮机进汽要求。

Abstract: This paper introduces the transformation of three 130t/h circulating fluidized bed boilers into 130t/h natural gas boilers, becoming the first “coal to gas boiler” in Shanghai, China. It was found during the commissioning of the retrofitted natural gas boiler that the main steam temperature was only about 460℃ when the boiler load was less than 70t/h, which failed to meet the design requirements. After the technical transformation, the main steam temperature was increased to about 520℃ when the boiler load was less than 70t/h, which met the steam inlet requirements of the turbine.

关键词: 煤改燃气锅炉; 低负荷; 主蒸汽温度

Keywords: coal to natural gas boiler; low load; main steam temperature

DOI: 10.12346/peti.v4i4.6981

1 引言

为了落实《国务院关于印发大气污染防治行动计划的通知》要求,减少分散燃煤,油耗能源结构,改善空气质量,上海市人民政府办公厅下发《关于进一步大力推进燃煤(重油)锅炉和炉窑清洁能源替代工作的实施意见》的通知。上海金联热电有限公司为响应上海市清洁能源替代号召,在锅炉原有场地将3台循环流化床锅炉改造为天然气锅炉,成为上海市首个“煤改气锅炉”。2017年9月,第一台循环流化床锅炉(130 t/h)改造成燃气锅炉调试时发现,锅炉负荷低于70 t/h以下时主蒸汽温度只有460℃左右,而锅炉设计时,负荷60%~100%主蒸汽温度能够达到520℃以上,未能达到设计要求。为了提高燃气锅炉低负荷时的主蒸汽温度,公司进行技改解决了问题。

2 中国上海金联热电有限公司及燃气锅炉简介

上海金联热电有限公司创建于2007年3月,原有3台

130 t/h 高温高压循环流化床锅炉,1台 B15-8.83/0.98 背压式汽轮发电机组,1台 B6-8.83/2.0 背压式汽轮发电机组,1台 B12-8.83/0.98 背压式汽轮发电机组,向工业区140多家用户供热,满足金山工业区及周边用热需求。

2.1 背景介绍

为了落实《国务院关于印发大气污染防治行动计划的通知》要求,减少分散燃煤,油耗能源结构,改善空气质量,上海市人民政府办公厅下发《关于进一步大力推进燃煤(重油)锅炉和炉窑清洁能源替代工作的实施意见》的通知。上海金联热电有限公司为响应上海市清洁能源替代号召,在锅炉原有场地将3台循环流化床锅炉改造为天然气锅炉,成为上海市首个“煤改气锅炉”。

2.2 燃气锅炉简介

2017年9月,上海金联完成第一台130 t/h循环流化床锅炉改造成130 t/h高温高压燃气锅炉,由原来烧煤改造成纯烧天然气,以满足上海市政府更高环保排放要求。原锅炉的

【作者简介】严建高(1975-),男,中国浙江杭州人,本科,工程师,注册安全工程师,从事热电厂节能减排研究。

锅筒、旋风分离器、空气预热器不作更改,增加天然气燃烧系统,包括天然气低氮燃烧器、点火及火检系统、系统阀门仪表等及固定装置;改造下部水冷壁及集箱;更换与水冷壁下集箱连接的下降管;更换屏式过热器、低温过热器;更换上、下级省煤器管系、集箱及固定;相应更改尾部烟道护板;增加部分高温过热器受热面积;相应更改顶棚过热器;相应增加及修改平台扶梯;增加改造部分炉墙金属件、外护板;加强或增加尾部钢架及梁;锅炉型号:NG-130/9.8-Q,制造厂家:杭州锅炉集团有限公司,锅炉型式:高温高压、单汽包、自然水循环,燃烧器型式:天然气低氮燃烧器,点火方式:天然气自动点火。

3 存在问题

3.1 燃气锅炉低负荷运行时主蒸汽温度过低

2017年9月,第一台循环流化床锅炉(130 t/h)改造成燃气锅炉调试时发现,锅炉负荷低于70 t/h以下时主蒸汽温度只有450℃~470℃,而锅炉设计时,负荷60%~100%主蒸汽温度能够达到520℃以上,未能达到设计要求。

3.2 主蒸汽温度过低,不利于经济、安全运行

电站锅炉均装设过热器,过热蒸汽温度越高,朗肯循环发电效率越高,过热蒸汽温度稳定可保证电站循环效率、满足用气单位的优质生产和锅炉过热器的安全运行^[1]。由于我厂汽轮机是纯背压机组,锅炉负荷大小完全取决于外界热负荷大小,外界热负荷长期过小时,燃气锅炉长期低负荷运行时主蒸汽温度过低,达不到汽轮机进汽参数,直接影响着汽轮发电机组运行的经济性和安全性。由于受到热网用户的影响,我公司锅炉运行负荷时常会在70 t/h以下运行。根据GB/T754—2007发电用汽轮机参数系列标准,我公司主蒸汽温度设计值535℃,温度范围为525℃~540℃,进汽温度低,容易产生水击,给汽轮机运行带来安全隐患。我厂《汽轮机运行规程》规定:主汽温度降至525℃以下时,气温每降低5℃机组负荷由额定值下降1150 kW,汽温降至460℃机组减负荷到“零”。主汽温度下降到460℃以下15分钟内不能恢复时,应立即与值长(或者电气)联系故障停机。

4 提高燃气锅炉低负荷时的主蒸汽温度的因素

4.1 从运行的角度

影响汽温变化的主要因素有锅炉负荷、炉膛过量空气系数、给水温度、燃料性质、受热面污染情况、火焰中心的位置^[2]、主蒸汽温度表计不准等。

①锅炉负荷。我厂锅炉采用对流式过热器、屏式过热器、辐射式过热器系统,整个过热器系统的出口汽温变化减小。锅炉设计、制造、安装好以后,整个过热器系统的气温特性曲线已定。在锅炉低负荷时,锅炉出口主蒸汽温度也低一些,可以考虑改变汽温特性曲线,从根本上提高燃气锅炉低负荷时的主蒸汽温度,即改变锅炉结构。

②炉膛过量空气系数控制在正常范围内,对提高燃气锅炉低负荷时的主蒸汽温度关系不大。

③给水温度,高低除氧器运行正常,高压加热器一直停用,不作改变。

④燃料性质,天然气热值偏低。如果天然气的热值比设计热值低,则燃烧产生的热量也会偏低,最终也会导致主蒸汽温度降低。针对此问题QC小组将天然气进行无规律取样送到第三方进行分析,天然气设计热值 $\geq 30 \text{ MJ/m}^3$,天然气热值合格。

⑤受热面污染情况,技改项目刚试运行,受热面污染因素排除。

⑥火焰中心的位置。火焰中心位置上移将使炉膛上部和水平烟道内烟温升高,使布置在炉膛上部受热面和烟道内的过热器的吸热量增加,提高过热蒸汽温度。从锅炉燃烧原理方面分析,其他参数不变可以通过提高火焰的高度从而达到提高主蒸汽温度的作用,试验三次数据如表1所示,根据分析可以看出,通过提高锅炉燃烧火焰中心,可以提高主蒸汽温度,易操作,可行。

表1 试验数据表

锅炉负荷 (t/h)	燃烧方式	天然气流量 Nm^3/h	送风量 Nm^3/h	再循环风量 Nm^3/h	主蒸汽温度 ($^{\circ}\text{C}$)
65	不分层	5525	61990	7533	461
65	分层	5525	61990	7533	487

⑦主蒸汽温度表计不准。联系电仪检修人员更换热电偶温度计后发现与之前温度一致,因此排除。

4.2 锅炉结构因素

4.2.1 过热器受热面积不够,增加过热器受热面积

锅炉负荷在60%~100%时主蒸汽温度能够达到520℃,而在70 t/h以下温度偏低进行对比分析,发现锅炉受热面结构没有变化,只有燃气量和风量大小的变化。在过热器受热面积不变的情况,低负荷时天然气燃烧后的产生的高温烟量大量减少,通过对流换热的过热器时热量减少,最终导致主蒸汽温度减少。可以通过增加过热器受热面积,使过热器吸热能力加强,就会提高过热器出口的主蒸汽温度。并且得到锅炉特检院许可。

4.2.2 锅炉再循环风布置不当

原再循环风布置方式如图1所示,按照提高火焰燃烧高度的原理方面分析,再循环风的含氧量约3%,在原炉膛空气动力场中的作用为降低氮氧化物的产生,对天然气着火燃烧作用较小,但再循环风的压力在7500 kPa以上,若分流一部分从锅炉底部进入炉膛,使火焰产生的高温烟气在炉膛停留时间缩短,烟气流速加快,减少炉膛换热增加烟道换热,过热器的对流换热更强,有助于提高锅炉出口的主蒸汽温度。

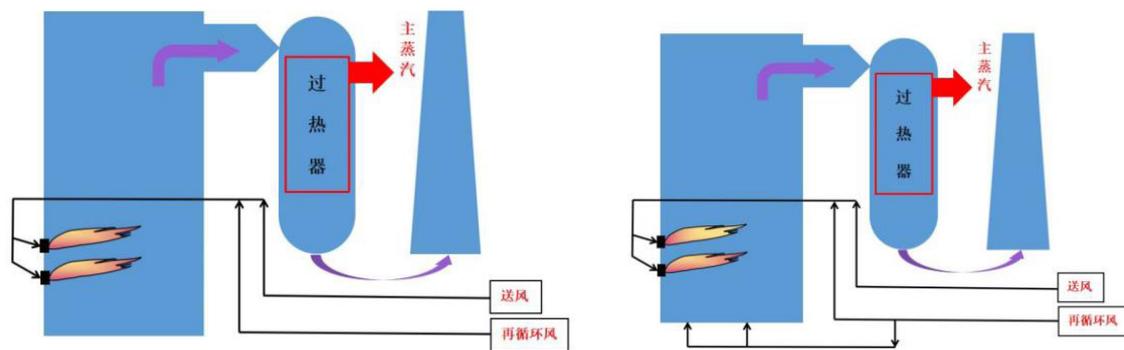


图1 原再循环风布置方式

经过公司与设计院沟通，改变再循环风的布置。总风量不变的情况，新增再循环风从锅炉底部送入炉膛，委托设计院理论计算主蒸汽温度和氮氧化物的变化。结论：新增两路再循环风从锅炉底部送入，在锅炉低负荷时理论计算可以将主蒸汽的温度提高 15℃，而氮氧化物不会增加。

5 解决对策

根据影响主蒸汽温度变化的因素，提高燃气锅炉低负荷时过热蒸汽温度，结合我厂实际情况，综合工期、成本、受热面布局空间、解决难易程度等因素，决定以下三个解决对策。

5.1 低负荷时分层燃烧

根据锅炉前墙燃烧器上下两层各两个的布置方式，不增加总风量和燃料的前提下，采取上下分层燃烧的方式，即减少下层 1、4 号燃烧器的风和燃料，相应增加上层 2、3 号燃烧器的风和燃料，从而抬高火焰的燃烧高度（约 2 m），使得锅炉过热器吸收更多的热量，来提高主蒸汽温度至 489℃。

5.2 增加底部再循环风

按照提高火焰燃烧高度的原理方面分析，再循环风的含氧量约 3%，在原炉膛空气动力场中的作用为降低氮氧化物的产生，对天然气着火燃烧作用较小^[1]，但再循环风的压力为 7500 kPa，若分流一部分从锅炉底部进入炉膛，使火焰产生的高温烟气在炉膛停留时间缩短，烟气流速加快，则炉膛烟气的换热量降低，到达过热器的对流换热量增加，提高锅炉出口的主蒸汽温度 18℃（至 505℃）。

5.3 增加过热器面积

与燃烧器厂家和锅炉厂家进行技术可行性研究。两种方式可行：①增加光管双管圈过热器，需占用锅炉空间；②将光管式双管圈过热器更换为螺旋翅片双管圈过热器。螺旋翅片双管圈过热器扩大了过热器的受热面积，体积不变，结构紧凑，减少了受压弯头和焊缝数量，降低泄漏概率，增强了传热效果，综合考虑选择方式②，将光管式双管圈过热器更换为螺旋翅片双管圈过热器。理论计算可以提高锅炉低负荷时主蒸汽温度 15℃（达到 520℃以上），但同时也会提高

锅炉高负荷时主蒸汽的温度，最高为 570℃，此时只需要开启原循环流化床锅炉的一、二级减温水，控制主蒸汽温度在合格范围内。

6 结论

在对策实施后我们对 3# 燃气锅炉主蒸汽温度随机进行了抽查检测，与实施前后主蒸汽温度进行了对比，锅炉负荷 70T/H 以下将锅炉主蒸汽温度达到 520℃以上，见表 2。

表 2 3# 燃气锅炉主蒸汽温度实施对策前后温度对比表

目标温度（℃）	实施前温度（℃）	实施后温度（℃）
520	465	526
520	460	525
520	459	523
520	458	521

7 效益分析

7.1 经济效益

对策实施费用如下：对策一：人员培训和办公用品费用大约为 2.8 万元；对策二：设计费 2 万，施工材料费 16 万，调试费 5000，培训费 2000，总计约 18.7 万；对策三：设计费 3.5 万，施工材料费 61 万，总计约 64.5 万。提升温度后，全年可以多发电 847 万 kWh；全年经济效益约：847×0.33=279 万元。综上：技改活动为公司每年创造效益大约为：279-2.8-18.7-64.5=193 万元。

7.2 安全效益

将锅炉的主蒸汽温度提高后，避免了温度低造成系统水击，也避免了事故停机。

8 燃气锅炉运行注意事项

①根据实际情况及时修订《燃气锅炉运行规程》，加强运行人员技能培训，提高运行人员操作水平。

②改进锅炉低负荷分层燃烧时风门的控制方式，将开闭

式风门改变成可调节风门；控制合理风燃比，提高锅炉效率。

③加强锅炉受热面金属材料的温度监视，特别是高负荷时严禁锅炉过热器超过金属设计允许使用温度 545℃。

④由于过热器受热面积增加，其吸热能力增强，导致锅炉尾部烟气温度降低约 5℃，提高了锅炉效率^[2]。但随着排烟温度降低，增加了烟气中水分的析出，对烟道的腐蚀面积增加，进一步做好尾部烟道防腐工作，日常生产中监督运行人员对尾部烟气积水的排放，避免烟道产生过量积水。

⑤对原锅炉一、二级减温水系统加强维护，保证减温水系统调节阀的灵敏性，方便运行人员控制锅炉主蒸汽温度。

9 结语

通过改造，提高了燃气锅炉低负荷时的主蒸汽温度，提高了经济性、安全性。燃气锅炉与循环流化床锅炉相比优点：

①烟气中粉尘浓度、NO_x、SO₂ 等明显降低。②锅炉连续运行时间大大延长，没有结焦磨损等问题 ③降低运行人员劳动强度。我厂 3 台循环流化床锅炉全改为燃气锅炉后，运行稳定，值得借鉴推广。

参考文献

- [1] 李清海,张衍国.热能工程基础[M].北京:清华大学出版社,2016.
- [2] 樊泉桂,阎维平,闫顺林,等.锅炉原理[M],第2版,北京:中国电力出版社,2014.