

燃气锅炉节能环保改造

Energy Saving and Environmental Protection Transformation of Gas Boiler

朱航科

Hangke Zhu

中国航发动力股份有限公司动能中心 中国·陕西 西安 710021

Kinetic Energy Center of AVIC Power Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710021, China

摘要: 在能源“双控”和“双碳”背景下,高耗能企业和大型能源转换设备的节能需求和环保需求同等重要。论文以公司两台 50 t/h 燃气蒸汽锅炉低氮改造案例为基础,验证了企业发展中能源、能耗和生态保护可以实现多赢的局面。同时,论文中燃气锅炉低氮改造的成功案例,也可以作为同行业在后期节能环保改造中的借鉴和推广。

Abstract: Under the background of energy “Dual control” and “Dual carbon”, the energy-saving needs of high energy-consuming enterprises and large-scale energy conversion equipment are as important as environmental protection needs. Based on the two 50 t/h gas-steam boilers’ low-nitrogen retrofit cases, the paper verifies that the energy, energy consumption and ecological protection can achieve win-win situation in the development of the enterprise. At the same time, the successful case of gas-fired boiler low-nitrogen retrofit in this paper can also be used for reference and promotion in the later energy-saving and environmental protection retrofit of the same industry.

关键词: 燃气锅炉; 低氮改造; 燃烧器; FGR

Keywords: gas-fired boiler; low nitrogen transformation; burner; FGR

DOI: 10.12346/eped.v1i1.6891

1 引言

中国是能源消费大国,随着工业化进程的发展,能源消费呈现快速增长,从 2006 年到 2020 年,中国能源消费总量从 28.6 亿 t 标准煤增长至 49.8 亿 t 标准煤。由于经济社会发展阶段、产业结构以及现阶段中国在世界产业链的位置等因素影响,目前中国整体能效水平不高。“十三五”末中国单位 GDP 能耗是世界平均水平的 1.5 倍,能效利用水平还有较大的提升空间。

为了应对能源敞口式消费引发的能源安全、环境及气候变化问题,国家提出实施能耗总量和强度“双控”制度,十八大报告进一步指出要“推动能源生产和消费革命,控制能源消费总量”。“十四五”期间,随着 2030 年碳达峰和 2060 年碳中和“双碳”目标的提出,能源双控目标叠加新冠疫情后经济复苏的强烈需求矛盾,对企业的能源发展方向带来更深一步的影响。

航发动力是中国大、中、小型军民航空发动机,大型舰船用燃气轮机动力装置的生产研制和修理基地,肩负着中国航空动力事业发展与振兴的历史重任。作为大型央企,企业每年消耗能源总量约 40 万 t 标准煤。因此,不管是在能源“双控”的约束下,还是在“双碳”目标的指引下,企业的能源使用方式和技术改进方向都具有较大的指引意义。

2 项目背景

航发动力 XH 公司锅炉房 2014 年建成有两台 50 t/h 燃气蒸汽锅炉(内部编号分别为 5#、6# 锅炉),锅炉型号为 SZS50-1.25-Y.Q,采用鼓风机强制送风,单燃烧器微正压室燃方式。公司两台燃气蒸汽锅炉主要用于公司全年生产用蒸汽,以及厂房和办公区域冬季采暖。锅炉房每年生产蒸汽约 15 万吨,消耗天然气总量约 1100 万标准立方。锅炉房为全年连续运行。非采暖季时,单台锅炉运行,平均

【作者简介】朱航科(1983-),男,中国陕西西安人,硕士,高级工程师,从事热能与动力专业研究。

负荷约 10%~20%。采暖季时两台锅炉同时运行,运行负荷 70%~90%。根据生产及采暖用户需求,锅炉房分汽缸至各用户端蒸汽供出压力为 0.3~0.45 MPa。

两台燃气锅炉于 2014 年正式投运,投运后锅炉运行稳定,负荷满足运行需求,锅炉经检测的运行能效达到 95%,以安装在锅炉烟囱上的烟气在线监测装置监测数据为依据,两台燃气锅炉烟气中的氮氧化物(NO_x)排放浓度约为 100 mg/m^3 ,符合 GB13271—2014《锅炉大气污染物排放标准》规定的限值要求。

“十三五”后期,企业对高耗能设备及大型能源转换设备的节能需求进一步展现,对锅炉烟气排放中 NO_x 的环保排放指标管理进一步提升。同时,天然气等化石能源燃烧除了产生大量的 CO_2 ,也是温室气体氧化亚氮(N_2O)的重要来源。公司作为地处省会城区的大型央企,在肩负着为国家国防、地方经济做出重要贡献的同时,也承担着为地方环境改善、地方生态的可持续发展不断努力的艰巨使命。综合各方面因素后,公司决定对两台燃气锅炉实施低氮燃烧改造工作。

3 典型做法

3.1 整体思路

为了确保对两台燃气锅炉的低氮燃烧改造工作能一次成功,即在保证燃气锅炉总体效率不降低的前提下,实现锅炉运行中 NO_x 排放浓度显著降低,同时减少烟气中生成的 N_2O 含量。

通过查阅大量资料,调研走访、组织技术讨论和专家论证,初步讨论采用“低氮燃烧器+烟气再循环(FGR)系统”。首先采用新式低氮燃烧器,确保其 NO_x 排放浓度可以控制在 60 mg/m^3 以下。再辅助以烟气再循环 FGR 系统,抽取一定比例的烟气参与贫氧燃烧,从而使燃气锅炉运行过程中 NO_x 浓度能够稳定控制在 $\leq 30 \text{ mg/m}^3$ 范围内。在采用 FGR 系统的同时,从锅炉省煤器后端抽取一定比例的高温烟气重新送入锅炉参与燃烧,相当于对锅炉省煤器后端烟气余热进行重复回收利用,理论上可以适当提高锅炉运行效率。

新型低氮燃烧器为保证更低的氮氧化物排放,通常采用更多的贫氧烟气参与燃烧,同时对风、烟、气的控制也更加精细,所使用的燃烧器体型也更大。因此,无法对现有燃烧器进行改造,只能更换新的燃烧器。如果需要将 NO_x 排放浓度进一步降低,则必须通过“低氮燃烧器+烟气再循环(FGR)”技术方案。在新燃烧器选型以及 FGR 系统新选配再循环风机的过程中,需要对燃气锅炉热负荷、以及锅炉烟气阻力等重新进行计算校核,才能保证改造一次成功。本次改造设定目标为改造后锅炉运行效率不低于 95%,改造后锅炉运行各负荷段 NO_x 排放指标不高于 30 mg/m^3 。

3.2 实施原则

燃气锅炉低氮改造实施原则以安全性为基本原则,兼顾

与锅炉的匹配性及运行效率,主要包括三个方面。

3.2.1 燃烧器设备选型原则

燃烧器设备选型的安全性主要依靠燃烧方式和燃烧器设备本身来保证。公司燃气锅炉蒸发量为 50 t/h,目前采用扩散式燃烧方式。若要实施低氮改造,在燃烧方式的选择上也需选用扩散式燃烧方式。

就燃烧器设备本身而言,进口燃烧器在定型并进入中国市场时需要取得中国特种设备检测研究院出具的《燃烧器型式试验报告》,该报告从燃烧器使用的燃料、机构设计、泄漏试验、安全试验、耐热性等多方面严格测试,确保燃烧器设备本身的安全性和燃烧效率。

3.2.2 现场改造施工原则

燃气锅炉低氮燃烧改造中,燃烧器的设计和生产制造需要根据锅炉炉型重新进行热力计算和燃烧匹配,安装和调试对施工主体的专业性要求较高。

为降低安全和质量风险,确保现场改造施工阶段的安全性,依据《西安市环境保护局 西安市质量技术监督局关于规范燃气锅炉低氮改造工作的通知》(市环发[2017]114号)文件规定以及国家质检总局的相关要求,实施低氮改造的主体单位应该是原锅炉厂家、专业燃烧器厂家或其授权的单位。

3.2.3 燃烧器点火及调试原则

实施低氮改造后期,需要对燃烧器进行点火试验和系统整体调试。为保证点火及调试过程的安全性,要求由燃烧器厂家有资质专业人员进行调试操作,同时通过燃气锅炉点火控制程序和程序中严格设置的各项检测与连锁装置来保证过程安全。严禁私自改动和解列燃烧器运行程序。

锅炉每次启动前、点火失败、安全程序检测失败中断,或者停炉后都严格执行强制吹扫程序,防止天然气大量积聚造成爆燃事故。整个调试过程严格符合《锅炉安全技术监察规程》和《燃气燃烧器型式试验证书》的要求,从而保证燃气锅炉点火调试过程中的安全性,以及达到最佳运行效率。

3.3 实施内容

3.3.1 燃烧器改造

拆除燃气锅炉原有的旧燃烧器,重新安装新超低氮燃烧器。更换燃烧器时,对锅炉前墙与燃烧器连接的喉口、连接法兰及炉膛底部混凝土进行重新浇注和制作。以 5# 锅炉为例,改造前、后的燃烧器照片分别如图 1 和图 2 所示。

3.3.2 烟气再循环系统改造

拆除燃气锅炉原有烟气再循环风机和烟道,根据新燃烧器的性能参数和锅炉热力负荷计算书,从燃气锅炉省煤器出口开孔 $400 \text{ mm} \times 700 \text{ mm}$ 以天圆地方与烟道连接。通过再循环风机抽取大约 20% 的烟气量送入鼓风机出口,采用电动风门和变频器调节,使空气与一定比例的烟气混合均匀后,进入锅炉参与燃烧。改造后的照片分别如图 3 和图 4 所示。



图 1 5# 锅炉燃烧器改造前



图 2 5# 锅炉燃烧器改造后



图 3 省煤器后端取烟气



图 4 烟气再循环风机及烟道

3.3.3 锅炉控制系统改造

新的低氮燃烧器采用 4 个中心火焰喷嘴和 10 个外环火焰喷嘴，与燃烧器回火筒和稳焰盘配合。通过横向和纵向的不同排列方式，使燃料尽可能均匀分布，在燃烧器上形成分

散燃烧区域，避免热负荷过于集中，降低局部燃烧温度，达到控制 NO_x 排放的目的。新的燃烧器控制点更多，对风、烟、气的调节和控制更加精细，其控制系统也更加复杂。新燃烧器与控制系统部分照片分别如图 5、图 6 和图 7 所示。



图 5 燃烧器喷嘴



图 6 燃烧器控制线路



图 7 PLC 控制柜

3.3.4 燃气锅炉低氮改造调试

选用超低氮燃烧器+烟气再循环(FGR)技术实施改造后,锅炉调试和参数设置极为关键,需要依次按负荷从大到小及从小到大的顺序对锅炉各个负荷段的排放和燃烧情况逐一进行调试和对比,确定最优参数设置并固化运行。设置12个负荷段以满足公司非采暖季锅炉长期低负荷运行的需要。控制系统12段负荷参数如图8所示,控制系统组态画面如图9所示。

3.3.5 烟道带水问题解决措施

由于采用炉外烟气再循环,从锅炉省煤器后端抽取一定比例的高温饱和湿烟气送入鼓风机出口风道,与锅炉原有的鼓风机送风系统低温空气混合后,将会出现大量的冷凝水析出。导致鼓风机风道内带水,风道腐蚀严重。若长期如此运行,对锅炉燃烧器和炉膛也将产生较大危害。烟道带水引发的影响照片分别如图10和图11所示。

天然气燃烧后的主要产物为 CO_2 和 H_2O 。高温饱和烟

气的焓湿能力较强。虽然烟气湿度大,却不会有大量明水直接析出。只有当饱和湿烟气遇冷降温后,含有较大水分的气体变得过饱和后,才会将多余的水分析出而产生明水。

解决这一问题,可通过适当提高鼓风机入口空气温度,或者采用空气预热等方式适当提高送入炉膛的混合空气温度。使鼓风机入口空气从饱和含湿气体变为未饱和含湿气体,进而使混合气体温度高于环境露点温度,从而大幅降低烟气与空气混合后的冷凝水析出,解决烟道带水问题。

本项目采用在鼓风机入口消音器外侧加装换热器的方式来实现。通过适当改造,利用高位差和余热动能,将锅炉连续排污膨胀器不断排水的余热废水接入至鼓风机入口换热器,从而提高鼓风机入口空气温度。空气温度提高约 $3\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 5\text{ }^{\circ}\text{C}$,即可以显著缓解风道带水问题。同时,提高鼓风机入口空气温度,相当于增加空气预热器,对锅炉的节能运行也产生了积极的影响。鼓风机入口改造前如图12所示,改造后如图13所示。

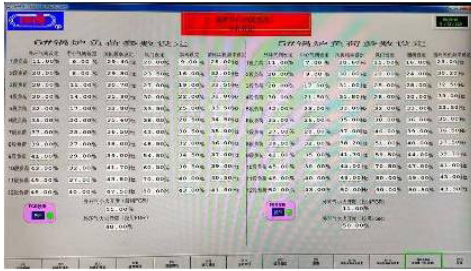


图8 锅炉12段负荷参数

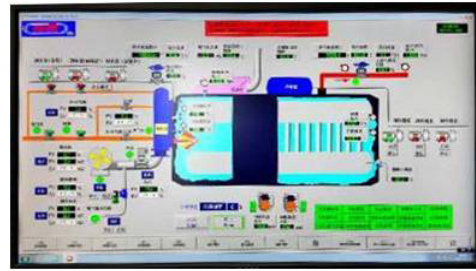


图9 新燃气锅炉组态画面



图10 烟道法兰连接处滴水



图11 烟道法兰连接处腐蚀

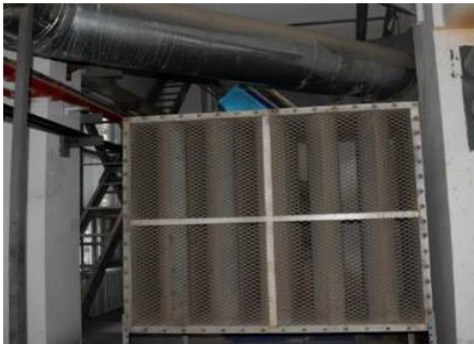


图12 鼓风机入口改造前



图13 鼓风机入口加装换热器后

4 实施效果

4.1 氮氧化物排放情况

采用“超低氮燃烧器+烟气再循环(FGR)”方案实施改造后,锅炉在各个负荷段的燃烧运行稳定,锅炉烟气 NO_x 排放从改造前 100 mg/m^3 左右,稳定降低到改造后 30 mg/m^3 以下,平均排放值达到 24 mg/m^3 左右,降氮效果十分显著。锅炉氮氧化物年度排放量从改造前的 11.62 t/a 降低到改造后的 2.83 t/a ,氮氧化物年度排放量降幅达到 75.6% ,为地方生态的可持续发展作出巨大贡献。

4.2 锅炉能耗情况

改造完毕后,通过市级特种设备检验检测院现场对两台锅炉进行能效测试,两台锅炉的能效与改造之前相比没有降低,锅炉能效达到 95.7% 以上。且实现了公司锅炉房天然气能耗总量和单耗指标的“双降”。

①从锅炉房的天然气能耗总量上看,改造前锅炉房每年天然气耗量约 1100 万 Nm^3 ,改造后在公司生产用蒸汽及新增采暖面积未减少的情况下,次年锅炉房全年天然气总耗量为 1018 万 Nm^3 ,燃气总耗量比改造前降低 7.5% ,节能量十分显著。

②从天然气单耗上看,两台燃气锅炉每产一吨蒸汽的天然气耗量从改造前的 70 Nm^3 左右,降至改造后的 66 Nm^3 左右,吨蒸汽单耗降低 5.7% ,节能空间较大。

4.3 燃烧器降噪效果

考虑之前锅炉燃烧器高负荷运行时,燃烧器气流噪声严重困扰现场工作环境,本次改造过程中,特意对燃烧器加装了用吸音材料制作的消音器,使燃烧器现场运行环境大为改善。锅炉高负荷运行时燃烧器的噪音水平由原来的 80 dB 以上降低到 65 dB 以下,降噪效果十分明显。

5 推广效果

随着国家能源管理“双控”机制的不断加强,“双碳”目标逐年逼近,能源消耗总量和能源强度的矛盾,以及生态保护和企业碳达峰碳中和之间的矛盾会变得日益尖锐。不管是集团公司内部,还是市场上大量的存量燃气锅炉都将面临着向更节能、更环保方向发展的的问题。尽管市场上燃气锅炉低氮改造案例已经较多,也不乏改造效果良好者。然而,像 50 t/h 这样大吨位及以上的燃气锅炉低氮改造是比较少见的,而作为如此大吨位的蒸汽锅炉低氮改造案例就更是寥寥无几。公司两台 50 t/h 燃气锅炉低氮改造后 NO_x 排放浓度显著降低,锅炉运行效率不降反升,改造后锅炉运行安全稳定,可以作为类似大型燃气锅炉低氮改造可借鉴的成功案例来进行推广,对大吨位燃气蒸汽锅炉节能环保改造有着较大的推广价值。

特别需要提出的是,本案例中提出的对于烟道带水问题的解决措施,在普遍采用“超低氮燃烧器+烟气再循环(FGR)”的系统改造方案中是不可回避的问题。本案例的解决方案在不增加额外动力和能耗的情况下,采用锅炉废热很好地解决了这个问题,并且有着比较显著的节能效果,这在大型能源转换设备的节能减排改造中是十分难能可贵的,值得同行业推广学习。

参考文献

- [1] 姬海民,李红智,姚明宇,等.低 NO_x 燃气燃烧器结构设计及性能试验[J].热力发电,2015(2):115-118.
- [2] 朱航科.天然气锅炉低氮燃烧改造问题分析研究[J].中国资源综合利用,2019(1):115-118.
- [3] 苏毅,揭涛,沈玲玲,等.低氮燃气燃烧技术及燃烧器设计进展[J].研究与开发,2016(4):3.