

(上接第 24 页)

90%的燃气锅炉,仍可节能 10%~12%,且由于烟气冷凝热回收利用装置提高了锅炉进水温度,从而提高了锅炉本体燃烧效率,使锅炉低热值总效率超过 100%,锅炉高热值总效率超过 95%,锅炉房总节能率达 25.6%。同时,每吨锅炉每天还产生 1 t 烟气冷凝水,对排烟中 CO_x 和 NO_x 等气体有一定净化作用,并经简单处理回收利用,可实现节能减排和节水。1 个供暖季即可回收烟气冷凝热回收利用装置增加的初投资。

目前北京市供热面积达 6.3 亿 m^2 ,供暖季天然气用量 61 亿 m^3 ,95%天然气锅炉房未进行烟气

热回收节能改造,排烟温度在 150~200 $^{\circ}\text{C}$ 以上,造成能源浪费和环境污染。

若将烟气余热回收利用技术和装置推广应用于北京市所有天然气锅炉房的节能改造中,按节气量 10%计,则可节约天然气 6.1 亿 m^3/a ,节约燃料费 12.5 亿元/a,并相应减少 NO_x 排放 2 421 t/a,减少 CO_2 排放 152.5 万 t/a,可产生 871.4 万 t/a 烟气凝结水。若将该装置推广应用到我国工业与民用天然气热能动力设备中,包括天然气发电、燃气锅炉、燃气直燃机等高能耗设备中,节能减排、社会环境经济效益巨大。

天然气锅炉烟气余热利用节能改造工程实测分析^{*}

北京建筑工程学院 王随林[☆] 潘树源 穆连波 史永征 葛海霞
秦 波 刘明科 张学景 费玉敏

摘要 针对天然气锅炉等热能动力设备排烟温度高,造成能源浪费和环境污染的现状,应用自主研发的高效紧凑防腐型烟气冷凝热能回收利用装置,对一既有锅炉房进行了烟气余热回收利用节能改造和跟踪实测。分析了锅炉耗气量、排烟温度及热效率的变化,结果表明,排烟温度由 150~200 ℃ 降到 50 ℃ 以下,仅烟气余热回收装置就使锅炉热效率提高 10% 以上,且由于该装置提高了锅炉进水温度,从而提高了锅炉本体燃烧效率,使锅炉低热值总效率超过 100%,锅炉高热值效率超过 95%,锅炉房总节能率达 25.6%。

关键词 天然气锅炉 烟气冷凝 余热回收 排烟温度 热效率 节能

Measurement and analysis of an energy saving retrofitting project of flue gas heat recovery from gas-fired boiler

By Wang Suilin[★], Pan Shuyuan, Mu Lianbo, Shi Yongzheng, Ge Haixia,
Qin Bo, Liu Mingke, Zhang Xuejing and Fei Yumin

Abstract The high exhaust gas temperature of the thermal power equipment, such as gas-fired boilers, causes energy waste and environment pollution. Using a new self-developed efficient compact and anticorrosive condensing heat recovery device in an existing boiler room, makes energy saving retrofitting on the boiler room and followed field measurement. Analyses the changes of boiler gas consumption, exhaust gas temperature and heat efficiency. The results show that the exhaust gas temperature is reduced from 150 – 200 ℃ to below 50 ℃, and that the condensing exhaust gas heat recovery device could exclusively increase the heat recovery efficiency by more than 10%. Moreover, the device increases inlet water temperature of the boiler, the combustion efficiency is increased, so the overall low heat value efficiency is more than 100%, the high heat value efficiency is more than 95%, and the total energy saving rate could reach 25.6%.

Keywords gas-fired boiler, smoke condensation, waste heat recovery, exhaust gas temperature, heat efficiency, energy saving

[★] Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing, China

①

0 引言

普通天然气热能与动力设备排烟温度均很高,燃气锅炉排烟温度在 130~250 ℃ 以上,直燃机排烟温度在 170 ℃ 以上,天然气发电和热电联产排烟温度在 260 ℃ 以上,造成能源浪费和环境污染。

在天然气热能与动力设备尾部增设烟气冷凝热回收利用装置,在被加热介质进口温度为 40 ℃

左右时,可以将排烟温度降到 50 ℃ 以下,若被加热介质温度更低(如热泵系统联合运行),排烟温度可降得更低。回收利用排烟显热和燃气燃烧时产生的大量水蒸气的凝结潜热,可节能、减排和节水(烟气冷凝水对烟气中的 CO_x 和 NO_x 等有一定的净化作用,经简单处理后可回收利用)。近年来,北京

①[☆] 王随林,女,1956 年 1 月生,博士,教授
100044 北京市西城区展览馆路 1 号北京建筑工程学院
(010) 68322117
E-mail: suilinwang@bucea.edu.cn
收稿日期:2011-04-20

^{*} 北京市科委重大科技成果转化落地项目(编号: Z090009040409003)

供热节能实践表明,烟气余热回收利用是投入低、收益大、直接有效的供热节能方式。

目前,国外同类产品成本高、体积大、阻力大,有时需要另加风机等耗能动力设备,不适宜国产化推广;国内同类产品及设备防腐性能和换热效率及流动阻力等方面有待进一步技术创新。

笔者所在课题组经过 10 年科技攻关,研发出具有自主知识产权、处于国际领先水平的高效紧凑防腐型烟气冷凝热能回收利用装置。对一些天然气锅炉房和直燃机房等进行了节能改造,并进行跟踪实测分析,为天然气锅炉等热能动力设备的节能改造提供示范和参考。

1 工程概况

北京某住宅小区热水供暖锅炉房,共 10 台天然气锅炉,总装机容量 21 700 kW,其中 3 台装机容量 700 kW 的锅炉,供暖面积 3.45 万 m² (2009 年扩大到 3.6 万 m²),节能改造前,锅炉排烟温度

为 150~170 ℃;7 台装机容量 2 800 kW 的锅炉,供暖面积为 35 万 m²,节能改造前,排烟温度为 150~200 ℃。从 2006 年底开始,采用高效紧凑防腐型烟气冷凝热能回收利用装置,对燃气锅炉进行分批节能改造,目前已经运行了 5 个供暖季。

2 烟气余热回收利用节能改造方案

基于该小区锅炉供热运行工况和节能潜力、设备换热能力和两侧流动阻力及锅炉房系统安装维修等工程建设条件,考虑最大可能回收利用全部烟气热能、运行调节灵活方便、安装简单、节约投资,采用每台锅炉均分别配置烟气热能回收利用装置、无旁通烟道的节能改造方案。

3 节能改造工程跟踪实测结果

3.1 耗气量的变化

对 3 台 700 kW 燃气锅炉进行烟气热能回收利用节能改造和跟踪检测,得到 2006—2010 年锅炉房耗气量统计数据,见表 1。

表 1 2006—2010 年天然气供暖锅炉耗气量

供暖日期	安装热回收装置情况	供暖季耗气量/(m ³ /季)	供暖时间/d	供热面积/m ²	供暖季室外平均温度/℃	室内外平均温差/℃	供暖负荷增加率/%	单位面积日用气量/(m ³ /(m ² ·d))	供暖季(按 126 d 计)单位面积用气量/(m ³ /(m ² ·季))	供暖季(按 126 d 计)单位面积节气量/(m ³ /(m ² ·季))	节气率/%	以改造前供热负荷为基准的节气量/(m ³ /季)
2006-11-15—2007-03-20	1 台,运行 60 d	307 890	126	34 500	2.07	15.93	0	0.071	8.924	作为基准		作为基准
2007-11-17—2008-03-24	2 台	282 462	128	34 500	1.84	16.16	1.4	0.063	7.945	0.979	11.0	33 788
2008-11-07—2009-03-16	3 台,第二代	275 284	130	34 500	1.29	16.71	4.9	0.058	7.353	1.571	17.6	54 216
2009-11-01—2010-03-21	3 台,第三代	323 509	141	36 000	-0.68	18.68	17.2	0.053	6.643	2.281	25.6	78 697

注:北京市供暖季室外平均温度数据由北京市气象局提供。

4 个供暖季的实测数据显示,对锅炉房进行烟气热能回收利用节能改造后,不仅烟气热能回收利用装置提高了燃气利用热效率,而且由于烟气热能回收提高了锅炉进水温度从而提高了锅炉燃气燃烧效率,使得锅炉房节气率高达 25.6%,以 2006—2007 年供暖季的供热负荷为基准的节气量高达 78 697 m³/季,单位面积用气量由改造前 8.9 m³/(m²·季)减少到 6.6 m³/(m²·季),节气量约为 2.3 m³/(m²·季)。同时减少了 NO_x 和 CO₂ 等的排放,每吨锅炉每天还产生 1 t 烟气冷凝水,可回收利用,节能、节水、环保效果显著。

3.2 排烟温度的变化

2009—2010 年供暖季 3 台 700 kW 锅炉的烟气热回收利用装置烟气侧与水侧进、出口温度的检测数据见图 1。由图 1 可看出,供暖季锅炉排烟平均温度约为 150 ℃,烟道中心温度平均为 160 ℃,在锅炉的进水温度约为 40 ℃的条件下,经烟气冷凝热能回收利用装置后排烟温度降至 50 ℃以下。

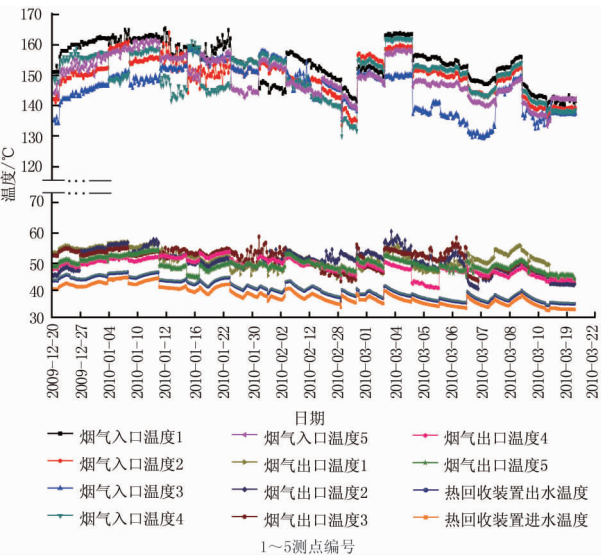


图 1 2009—2010 年供暖季烟气热能回收装置烟气侧与水侧进、出口温度

3.3 供暖季锅炉热效率的变化

2009—2010 年供暖季,3 台 700 kW 锅炉进行烟气热回收节能改造前、后锅炉热效率的跟踪监测

数据见图 2, 锅炉热效率随热回收装置进水温度的变化如图 3 所示, 其中锅炉本体热效率近似等于节能改造前锅炉热效率。

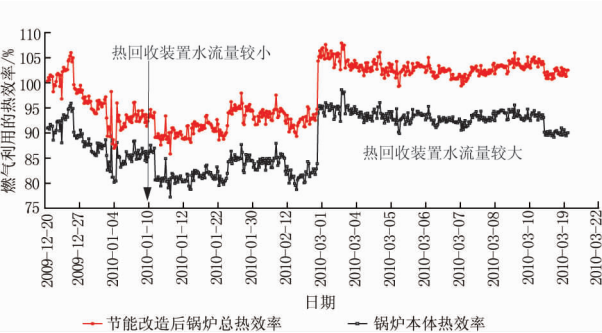


图 2 2009—2010 年供暖季烟气余热回收利用节能改造前、后锅炉热效率的变化

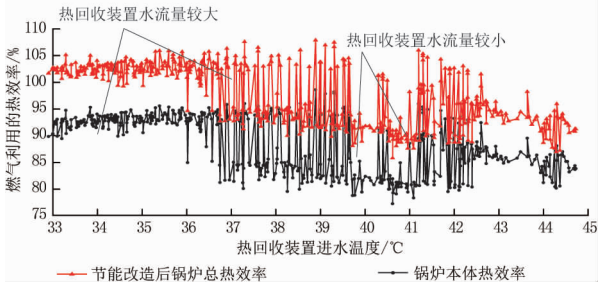


图 3 锅炉热效率随热回收装置进水温度的变化

由图 2 可看出, 在整个供暖期内, 锅炉本体热

效率平均为 87.6% 以上, 烟气冷凝热能回收利用装置提高燃气利用热效率 10% 以上, 锅炉低热值总效率平均为 97.6%, 部分工况超过 100% 达到 107%。

由图 3 可看出, 进入热回收装置的水温越低, 热回收装置燃气利用的热效率越高, 在实测范围内, 进水温度每降低 1℃, 热回收装置节能率提高约 0.5%, 因此, 对采用改变供水温度的质调节的集中供热系统, 供暖初、末期供回水温度较低, 锅炉节能潜力更大; 进入热回收装置的水量越大, 热回收装置燃气利用的热效率越高; 热回收装置节能率还与燃气耗量等有关, 需要优化设置锅炉房运行工况。

3.4 烟气冷凝热能回收利用装置的节能减排与节水效果

由以上跟踪监测数据得到, 燃气锅炉房安装烟气冷凝热能回收利用装置可提高锅炉热效率 10%~12.5%, 锅炉低热值总效率部分工况超过了 100%。同时, 每吨锅炉每天产生 1 t 烟气冷凝水, 烟气冷凝水对烟气中 CO_x 和 NO_x 等有一定的净化作用, 经简单处理即可回收利用。烟气热回收装置本身阻力很小(18~20 Pa), 利用锅炉原有余压即可保证锅炉运行, 无需增加任何动力设备。监测典型工况数据结果见表 2。

表 2 锅炉烟气冷凝热能回收改造典型工况检测数据

烟气入口平均温度/℃	烟气出口平均温度/℃	烟气进出口平均温差/℃	原效率/%	效率提高值/%	锅炉总效率/%	凝结液量/(kg/d)	烟气阻力/Pa
156.18	51.79	104.39	93.58	11.08	104.66	1 134.00	20
140.57	45.44	95.13	93.23	12.10	105.33	1 129.68	18

3.5 排烟温度和热效率高的锅炉的节能改造效果

7 台 2 800 kW 燃气锅炉在第 5 个供暖季典型工况下的跟踪监测数据见图 4、5。由图 4、5 可看出, 对排烟温度 190~200℃、热效率已达 95% 的

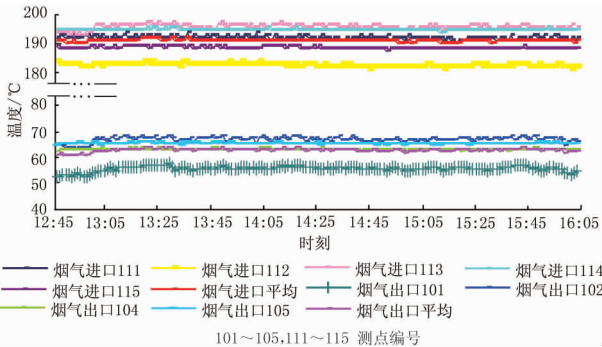


图 4 排烟温度和热效率高的锅炉烟气冷凝热能回收装置烟气进、出口温度

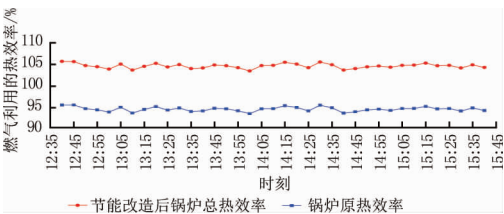


图 5 排烟温度和热效率高的锅炉烟气冷凝热能回收节能改造后的热效率

锅炉, 采用烟气冷凝热能回收利用装置后, 仍能节能 9.8%, 使锅炉总效率达到 105%。

4 结论与应用前景

通过对天然气锅炉房烟气冷凝热能回收利用节能改造和连续 5 个供暖季的跟踪实测表明, 烟气温度能从 150~200℃ 降至 50℃ 以下, 对热效率超过