

燃气锅炉房烟囱保温 对排烟性能的影响分析

总装备部设计研究总院 李兆坚[★] 张晓航 柴 勇 宋 立

摘要 根据北京市某燃气锅炉房的实际情况,对烟囱保温状况与排烟性能的关系进行了计算分析,结果表明:减小保温层厚度会使烟囱的排烟性能下降,尤其在保温层厚度较小时,这种影响更大。对于所研究对象,在设计排烟量的情况下,当烟囱保温层厚度小于 15 mm 时,排烟系统的抽力计算值小于阻力计算值。当保温层厚度增加到 20 mm 以后,对改善排烟性能的作用较小。

关键词 燃气锅炉房 烟囱 保温 排烟性能

Relationship between heat-insulation status and smoke exhaust performance of chimney in gas-fired boiler houses

By Li Zhaojian[★], Zhang Xiaohang, Chai Yong and Song Li

Abstract Analyses and calculates the relationship between heat-insulation status and smoke exhaust performance of chimney in a gas-fired boiler house in Beijing. The results show that the smoke exhaust performance descends with the thickness reducing of heat-insulation layer, and the influence is more remarkable when the thickness is small. For the designed smoke flow, the draft is less than the resistance force of smoke flow when the heat-insulation thickness is less than 15 mm, and the improvement is small when the thickness is over 20 mm.

Keywords gas-fired boiler house, chimney, heat-insulation, smoke exhaust performance

[★] Center for Engineering Design and Research under the Headquarters of General Equipment, Beijing, China

①

0 引言

近 10 年来,为了减少大气污染,北京等不少城市实施了“煤改气”工程,燃气锅炉在我国迅速推广应用,大量燃气锅炉被用于北方城市的供暖系统。燃气锅炉房与燃煤锅炉房的特点不同,燃气锅炉通常不单独配置引风机,烟气流动主要依靠烟囱内外温差产生的抽力,因此烟囱的排烟性能对燃气锅炉正常运行有着重要影响。如果烟囱抽力没有达到要求,会使锅炉排烟不畅,从而影响锅炉的正常运行,使热效率下降、CO 浓度增加,出现回火现象,产生安全隐患,甚至使锅炉无法运行。这种排烟不畅现象在工程实践中时有发生,尤其是大气式燃气锅炉,其燃烧器不带鼓风机,因此对烟囱抽力的要求更高,更容易出现排烟不畅的问题。目前在燃气锅炉房排烟系统设计时,对烟囱的管径和流速关注较多,而对烟囱保温问题关注很少,新修订的 GB 50041—2008《锅炉房设计规范》也没有相关的规定和要求^[1],在这方面还存在一些亟待研究解决的问题,例如,对排

放废气的烟囱进行保温是否有意义?在工程实践中,为了节省投资,不少燃气燃油锅炉房采用了不保温金属烟囱,这种做法是否合理,对排烟性能有何影响,会产生什么问题等。排烟管道保温状况与排烟性能之间的关系比较复杂,以往这一问题没有得到足够重视和深入分析研究,本文将以一个实际工程为例,对这一问题进行分析研究。

1 研究对象概况

北京市某住宅小区供暖燃气锅炉房采用了 5 台大气式模块化燃气热水锅炉,总容量为 10 t/h,采用金属烟囱,5 台锅炉合用一个 D990 的烟囱,根据环保局要求,该锅炉房烟囱引到附近住宅楼顶上高空排放,因此其烟囱较长,烟囱水平段长 45 m,

①[★] 李兆坚,男,1962 年 8 月生,博士研究生,工学博士,研究员
100028 北京市 4702 信箱 4 室
(010) 66358595
E-mail: lzj. ntzj@yahoo. com. cn
收稿日期:2008-12-04
修回日期:2009-02-12

竖直段高 53 m。该锅炉房建成运行时,发现存在锅炉排烟不畅、热效率较低、烟气的 CO 浓度较高等问题,锅炉无法正常运行。通过核算发现在设计状态下烟囱的烟气流速为 6.4 m/s,满足相关设计手册的要求^[2],而且单台锅炉运行时,其排烟状况也没有改善。调查发现烟囱排烟口的烟气温度较低,只有 70~80 °C。

2 计算方法简介

2.1 计算方法

对于设计的排烟量,锅炉排烟系统的抽力应大于其总阻力,这是锅炉房排烟设计的基本要求^[2]。由于烟气在烟道流动过程中,温度逐渐降低,传热状况和流速也不断变化,为此采用分段算法进行计算分析。以 1 m 为单位,逐段计算出每一段的出口温度,并根据每一段的进口和出口烟气温度,计算出每一段的平均流速、流动阻力和竖直烟囱的抽力,参考相关设计手册^[2],主要计算公式见式(1)~(5)。

$$KF\left(\frac{t_1+t_2}{2}-t_w\right)=G\rho_n c_p(t_1-t_2) \quad (1)$$

$$K=\frac{1}{\frac{1}{\alpha_w}+\frac{\delta}{\lambda}+\frac{1}{\alpha_n}} \quad (2)$$

$$\Delta h_m=\lambda_m \frac{L}{d} \frac{\rho v^2}{2} \quad (3)$$

$$\Delta h_j=\zeta \frac{\rho v^2}{2} \quad (4)$$

$$S=(\rho_w-\rho_n)gH \quad (5)$$

式(1)~(5)中 K 为烟囱壁的传热系数, $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$; F 为该段烟囱的外表面面积, m^2 ; t_1 和 t_2 分别为该段烟囱的进口和出口温度, $^\circ C$; t_w 为室外温度, $^\circ C$; G 为烟气流量, m^3/h ; ρ_n 为在烟气平均温度下的烟气密度, kg/m^3 ; c_p 为烟气的比定压热容, $J/(kg \cdot ^\circ C)$; α_w 和 α_n 分别为烟囱外表面和内表面的表面传热系数, $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$; δ 为保温层厚度, m ; λ 为保温材料的导热系数, $W/(m \cdot ^\circ C)$; Δh_m 为沿程阻力, Pa ; λ_m 为沿程阻力系数; L 为烟囱长度, m ; d 为烟囱内径, m ; v 为烟气流速, m/s ; Δh_j 为局部阻力, Pa ; ζ 为局部阻力系数; S 为竖直烟囱的抽力, Pa ; ρ_w 为室外温度下的空气密度, kg/m^3 ; g 为自由落体加速度, m/s^2 ; H 为烟囱高度, m 。

2.2 主要计算参数

根据相关测试结果,燃气锅炉的过剩空气系数为 1.3 时其热效率最高,因此按该值进行计算^[3]。

根据实测值,该燃气锅炉的排烟温度为 160 °C。供暖期室外温度按 -7.5 °C^[4] 计算。烟道共有 4 个弯头和 4 个三通,根据文献^[2]得到下列计算条件和参数:烟囱弯头、三通和出口的局部阻力系数分别为 0.7, 0.233, 1;金属风管的沿程阻力系数为 0.03;烟囱采用岩棉保温,其导热系数为 0.06 $W/(m \cdot ^\circ C)$;标准状态下空气和烟气的密度分别为 1.293, 1.34 kg/m^3 ;烟道外表面表面传热系数按 23 $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ 估算,按管内湍流表面传热系数计算公式,并考虑辐射换热影响,得到烟道内表面表面传热系数约为 10 $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$,这与文献^[5]的研究结果基本吻合。对于燃烧器带鼓风机的燃气锅炉,其炉膛为微正压燃烧,排烟口应保持不低于 20 Pa 的负压,而对于燃烧器不带风机的大气式燃气锅炉,其炉膛为微负压燃烧,排烟口应保持一定的负压,负压值由设备厂家确定,根据对一些相关资料和工程实例的分析,该值通常不低于 40 Pa。

3 烟囱保温对排烟性能的影响分析

在设计排烟量(锅炉排烟口处为 17 800 m^3/h)的情况下,烟囱保温层厚度对烟气温度、抽力和总阻力的影响的计算结果见图 1 和图 2,图 2 中的总

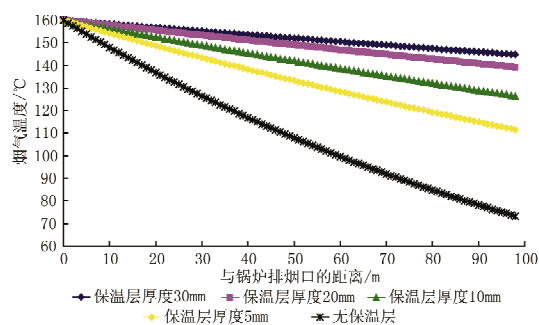


图1 烟囱保温层厚度对烟气温度变化的影响

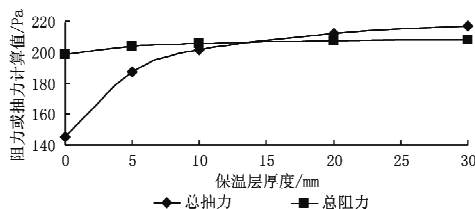


图2 烟囱保温层厚度对烟气系统阻力与抽力计算结果的影响(在设计排烟量情况下)

阻力包括了烟囱的沿程阻力、局部阻力和锅炉出口负压,并考虑了 20% 的安全系数^[2]。由计算结果可知,减小保温层厚度会使烟囱的排烟温度、抽力和阻力下降,但保温层厚度对烟囱抽力的影响比对阻力的影响更大,因此烟囱保温层厚度减小会使排

烟性能下降,尤其在保温层厚度较小时,这种影响更大。对于本文的研究对象,采用不保温烟囱会使其烟气温降大幅度增加,烟气的平均温降约为 $1^{\circ}\text{C}/\text{m}$,当保温层厚度小于 15 mm 时,其排烟系统的总抽力小于总阻力,排烟性能不能满足要求。但保温层厚度达到 20 mm 以后,保温层厚度的变化对排烟性能的影响较小。

对于采用不保温烟囱的情况,如果只开 1 台锅炉,其烟气温度变化见图 3。由于烟气流量大

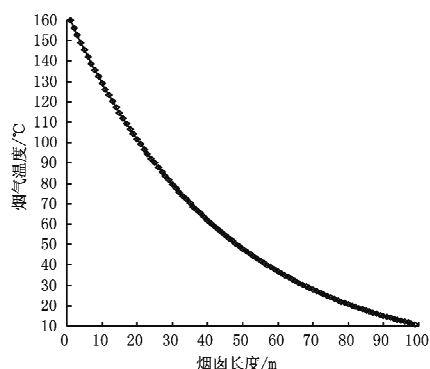


图 3 开 1 台锅炉时不保温烟囱的烟气温度变化

幅度减小,其温降大幅度增加,阻力和抽力均大幅度减小,这种状态下,烟囱抽力为 34 Pa ,而要求抽力值为 54 Pa ,依然不能满足要求。可见对于不保温烟囱,采用减少锅炉运行台数的方法并不一定能使排烟性能得到改善,换句话说,对于不保温烟囱,在烟囱较长的情况下,增加烟囱直径,并不一定能改善其排烟性能,而且由于烟气温度过低,有可能使烟囱壁面出现凝水的现象,加重排烟管道的腐蚀现象。因此,对于烟气流量较小和烟囱较长的情况,烟囱保温尤为重要,设计时应进行保温核算。该锅炉房实测的烟囱排烟温度只有 $70\sim 80^{\circ}\text{C}$,与图 1 中不保温烟囱的排烟温度基本相同,这说明了该锅炉房烟囱没有保温或保温效果很差,这是造成该锅炉房排烟不畅的一个重要原因,而该锅炉房单台锅炉运行时排烟状况没有改善的现象也进一步印证了这一分析结果。水平烟道不会产生抽力,但会增加阻力和温降,使竖直烟道的抽力下降,因此燃气燃油锅炉的水平烟道不能太长。

由于烟气温度下降会影响排烟性能,因此在设置烟气余热回收设备的情况下,不仅应考虑设备阻力对排烟性能的影响,还要考虑烟气温度大幅度下降对排烟性能的不利影响,这种情况下通常需要设

置排烟风机,在计算烟气余热回收效益时应综合考虑这一因素的影响。

4 结论

以北京市一个存在排烟问题的燃气锅炉房为例,对燃气锅炉房金属烟囱保温状况对排烟性能的影响进行计算分析,得到下列主要结论。

4.1 减小保温层厚度会使烟囱的排烟温度、抽力和阻力下降,但保温状况对烟囱抽力的影响比对阻力的影响更大,烟囱保温层厚度减小会使排烟性能下降,尤其在保温层厚度较小时,这种影响更大。对于所研究的对象,在设计排烟量的情况下,当烟囱保温层厚度小于 15 mm 时,其排烟系统的抽力计算值小于阻力计算值。当保温层厚度增加到 20 mm 以后,对改善排烟性能的作用较小。因此对于北方地区的燃气燃油锅炉房的烟囱应适当保温,否则其排烟性能可能无法满足要求。

4.2 对于不保温烟囱,在烟囱较长的情况下,增加烟囱直径会使烟气温降增加,并不一定能改善排烟性能,而且由于烟气温度过低,有可能使烟囱壁面出现凝水的现象,加重排烟管道的腐蚀现象,因此对于烟气流量较小和烟囱较长的情况,烟囱保温更为重要。

4.3 烟囱保温对于燃气燃油锅炉房是十分重要的,不仅能提高排烟性能,而且从安全和防止烟气结露、减轻金属烟囱腐蚀现象的角度来说也是必要的。因此,在设计燃气燃油锅炉房时应应对烟囱保温提出具体要求,对于烟囱较长的情况应进行烟囱保温对排烟性能的影响核算,建议《锅炉房设计规范》增加相关条文,对此进行规定。

参考文献:

- [1] 中国联合工程公司. GB 50041—2008 锅炉房设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2008
- [2] 陆耀庆. 实用供热空调设计手册[M]. 2 版. 北京:中国建筑工业出版社,2008
- [3] 王晓波,高俊茹,尹娟,等. 大气式燃气锅炉结构参数对其燃烧特性的影响[J]. 河北工业大学学报,2004, 33(5):69-71
- [4] 中国气象局气象信息中心气象资料室,清华大学建筑技术科学系. 中国建筑热环境分析专用气象数据集[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2005
- [5] 李慧君,罗忠录,程刚强,等. 天然气锅炉烟气换热特性的分析[J]. 动力工程,2006,26(4):467-471