

上海大型公共建筑锅炉使用现状和节能案例^{*}

上海市建筑科学研究院 林春艳[☆]

摘要 根据上海地区 130 栋大型公共建筑的能耗调研数据,分析了上海地区大型公共建筑中燃油/燃气锅炉的使用情况和能耗水平。介绍了两个酒店锅炉系统节能改造案例,分析了空气源热泵替代锅炉、烟气热回收、锅炉油改气等节能改造方法的改造效果。探讨了上海地区适用的供暖系统形式。

关键词 大型公共建筑 锅炉 能耗 节能改造 空气源热泵 锅炉油改气

Boiler application in large-scale public buildings in Shanghai and cases of boiler system energy saving

By Lin Chunyan[★]

Abstract Analyses the application and energy consumption of oil/gas fired boiler systems of 130 large-scale public buildings in Shanghai based on the energy survey data of these buildings. Presents the cases of boiler system energy efficiency renovation in two hotels, analyses the effects of the energy efficiency renovation methods for boiler systems, such as the replacement with air source heat pump, heat recovery of fume and replacement of oil with gas. Discusses the applicable system for heating in Shanghai.

Keywords large-scale public building, boiler, energy consumption, energy efficiency renovation, air source heat pump, replacement of oil with gas for boiler

★ Shanghai Research Institute of Building Sciences, Shanghai, China

①

0 引言

随着我国经济的高速发展,建筑能耗尤其是大型公共建筑能耗是社会能源消费的重点。因此大型公共建筑节能工作成为建筑节能工作的关键^[1]。

在上海,大量大型公共建筑诸如宾馆或具有宾馆功能的商办楼使用燃气/燃油锅炉。本文通过 2011 年开展的对上海地区 130 栋大型公共建筑的调研工作和数据统计,分析上海大型公共建筑中燃油/燃气锅炉的应用情况和能耗水平。在大型公共建筑中,锅炉通常承担着冬季供暖和提供全年生活热水两个功能,因此往往需要全年运行,运行时间较长。但由于仅冬季需供暖,在全年大多数时间,锅炉仅仅用于制备生活热水,因此存在锅炉的实际使用负荷率较低、能耗费用较高的问题。针对上海大型公共建筑中锅炉的这类使用模式,本文分析了节能典型

案例,讨论了锅炉的改造和合理的应用方式。

1 上海大型公共建筑锅炉使用情况

根据 2011 年对上海地区 130 栋大型公共建筑的调研工作,获得的数据覆盖了多种建筑类型(见图 1,2),包括宾馆 33 栋、商场 12 栋、办公楼 25 栋、综合性商办楼(主要功能为商场和办公)40 栋、超市 11 栋以及其他同时包含宾馆、办公、商场等的

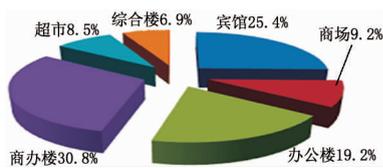


图 1 调研建筑使用功能分类(按数量分)

①[☆] 林春艳,女,1985 年 1 月生,大学,工程师
201108 上海市申富路 568 号
(021) 54832538
E-mail:lynn.loplin@yahoo.com

收稿日期:2013-07-28

一次修回:2013-09-09

二次修回:2013-10-07

^{*} 上海市科委研发平台专项“公共建筑节能专业技术服务平台建设”课题资助项目(编号:12DZ2294100)



图2 调研建筑使用功能分类(按功能面积分)

综合性楼宇 9 栋^[2], 合计调研建筑面积为 6 619 736 m²。

调研数据显示, 大型公共建筑中冬季采用锅炉供暖的占 47%, 其中燃油/燃气锅炉占 38%, 电锅炉占 9%, 其次为空气源热泵, 占 26%, VRF 占 6%, 其他形式如溴化锂直燃机、集中蒸汽等均各占 5%, 如图 3 所示。

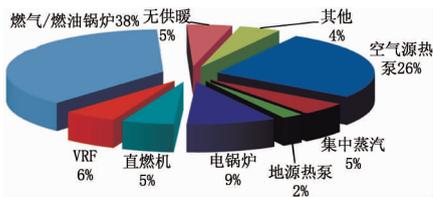


图3 调研建筑供暖系统形式

在大型公共建筑中, 宾馆类建筑冬季需要 24 h 供暖, 同时需要 24 h 提供生活热水, 热负荷比其他类型建筑都大。根据调研数据统计, 宾馆大多采用燃气/燃油锅炉的形式(见图 4)。从图 4 可见, 宾馆建筑中, 热源形式为锅炉的占 76%, 其中燃气/燃油锅炉占 73%, 采用集中蒸汽供暖的占 9%, 采用地源热泵供暖的占 6%。

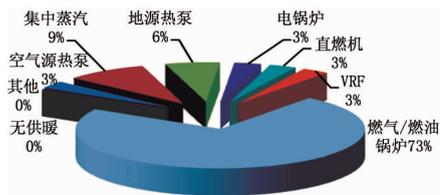


图4 宾馆建筑热源形式统计

统计其中 69 栋大型公共建筑的审计数据, 将锅炉能耗(包括天然气、煤气、柴油或原油等)折合为等效电耗, 其占建筑总电耗的比例如图 5 所示。图 5 中前 17 栋均为宾馆建筑或含有宾馆功能的综

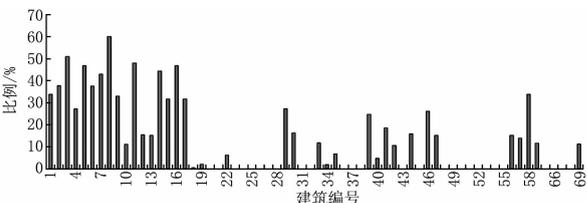


图5 锅炉能耗折合等效电所占比例

合楼, 锅炉能耗折合等效电所占比例普遍较高, 最高达到 60%。根据对上海市大型公共建筑调研数据的分析, 用热单位如使用燃油/燃气锅炉, 则锅炉能耗占建筑能耗的比例普遍较大。

2 上海 SJ 酒店锅炉节能案例

2.1 上海 SJ 酒店概况

上海 SJ 酒店为五星级宾馆, 占地面积 7 614 m², 总建筑面积约为 71 728 m², 地下 3 层, 地上 38 层, 地上部分建筑面积为 5.56 万 m², 共设客房 422 间。功能区设有室内游泳池、SPA 馆等。

SJ 酒店制冷站主要设备为 4 台离心式冷水机组, 单台额定制冷量为 1 934 kW(550 rt), 单台额定功率为 402 kW。供暖采用燃油锅炉 3 台, 单台蒸发量为 6 t/h, 锅炉燃烧头额定功率为 12 kW, 两用一备。锅炉制备蒸汽, 供应洗衣房、厨房餐饮、客房生活热水、员工生活热水和游泳池等。

2.2 上海 SJ 酒店能耗情况

将 SJ 酒店的能耗统一折合成标准煤, 结果见图 6, 7。

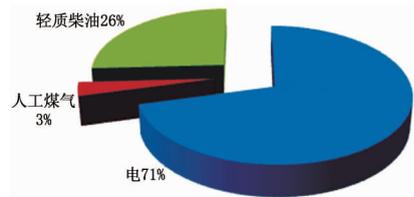


图6 SJ酒店建筑能源种类分布



图7 2011年SJ酒店能耗费用分布

SJ 酒店的柴油主要为锅炉所用, 满足冬季供暖, 以及供日常生活热水、洗衣房、游泳池等使用。从图 6, 7 可见, SJ 酒店柴油所占能耗比例不高, 但是能耗费用比例较高。

根据设计参数, 结合实际使用能耗数据, 对锅炉蒸汽使用情况进行分析, 结果见表 1。从表 1 可以看到, 冬季空调供暖占 30%, 其余均为酒店日常使用。

2.2.1 小锅炉与空气源热泵匹配, 替代大型锅炉

SJ 酒店配置了 3 台 6 t/h 的燃油锅炉。实际

表 1 酒店锅炉蒸汽使用情况分析

	折合柴	所占比		折合柴	所占比
	油/t	例/%		油/t	例/%
空调供暖	308	30	洗衣房	133	13
客房生活热水	220	21	餐厅	205	20
员工生活热水	29	3	咖啡厅	133	13
游泳池	1	0			

上,酒店日常仅运行 1 台。洗衣房由于大型熨烫机设备的要求,需要保证 250 kPa(2.5 kg/cm²)压力的蒸汽供应。除洗衣房外,其他用热区域的需求均为 35~60 °C 温度区间内的热水,且无蒸汽压力要求。

故建议调整 SJ 酒店供热模式,在夏季与过渡季节等空气源热泵效率较高时期,通过加装空气源热泵热水机组直接制取热水,满足客房生活热水、员工生活热水、厨房热水等日常使用需求。

通过计算可知,SJ 酒店保证客房区生活热水、餐饮区热水、洗衣房热水、员工生活热水、游泳池热水供应每年至少耗油 540 t,按照 8 081 元/t 的油费计算,每年油费约 436 万元;夏季锅炉耗油约 270 t,折合油费约 218 万元。如使用空气源热泵机组,按照机组 COP=3 计算,每年耗电约 77 万 kW·h,统计得 SJ 酒店平均电价为 0.72 元/(kW·h),每年电费共计 55 万元。如对酒店现在使用的燃油锅炉系统进行改造,每年可节约能耗费用共计 163 万元。

同时若有针对性地选择小型锅炉,锅炉实际负荷与锅炉额定负荷更匹配,可避免现在大型锅炉长期在低负荷区域运行的情况,提高锅炉用能效率。

2.2.2 锅炉烟气热回收

SJ 酒店锅炉常年运行,锅炉的使用产生 180~220 °C 的烟气,高温烟气的排放造成了大量热能浪费,同时影响环境。因此建议在锅炉排烟管上加装

$$\text{天然气量} = \text{轻质柴油耗量} \times 1\,000 \times \text{轻质柴油热值} \times \text{轻质柴油热效率} \div (\text{天然气热值} \times \text{天然气热效率}) \quad (1)$$

式(1)中轻质柴油热值取 45 209 kJ/kg,轻质柴油热效率取 82%,天然气热值取 39 934 kJ/m³,热效率取 92%,计算可得每 1 000 t 轻质柴油需要约 100 万 m³ 天然气替代。按照 SJ 酒店费用统计,柴油使用均价约为 8 081 元/t,天然气使用均价约为 3.6 元/m³,改造后每年能耗费用可减少 440 万元。

2.3 改造效果分析

对提出的锅炉节能建议进行汇总,见表 2。由

热管余热回收器,回收烟气热量预热生活用水。

烟道热管余热回收器构造如图 8 所示。下部为烟道,上部为水管路,中间为隔板。工作时,烟气流经余热回收器的热管下端,热管吸热后将热量导至上端,放热将水加热。冷水被加热后变为 50~60 °C 的生活热水,流入蓄热水箱,分别供入用户端^[3]。

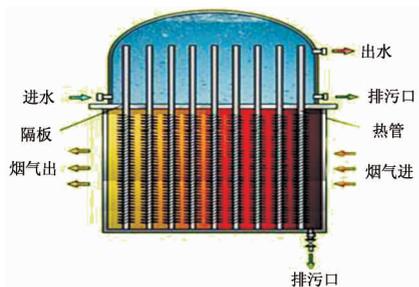


图 8 烟道热管余热回收器构造

系统预计可产生热量 10 MW·h/月,约可节约 1 t 轻质柴油,每年可减少能耗费用约 9 万元。

2.2.3 锅炉油改气

由于油价日益提高,燃油锅炉运行成本也日益提高。而且,使用燃气作为锅炉燃料,运营管理成本低,燃烧完全,可有效延长锅炉本体的使用年限。同时,根据文献[4],天然气的碳氧化物、硫化物等污染物的排放量都明显小于轻质柴油。锅炉油改气改造周期较短,对锅炉的改造涉及更换燃油燃烧机为燃气燃烧机、拆除油路及油库、补充燃气管路。根据计算,燃气锅炉运行能耗费用比燃油锅炉大幅下降,而且由于硫化物等污染物排放减少,节约了运行维护成本,并且获得良好的社会效益。

实施锅炉油改气所需天然气量计算公式如下:

表 2 可见,针对 SJ 酒店锅炉系统的一系列改造可实现节油 282 万 t,约合标准煤 412 t,节能效果明显。

3 HK 酒店锅炉系统改造

3.1 HK 酒店项目概况

HK 酒店是一家综合四星级酒店。建筑总高 96.3 m,地上 31 层,地下 1 层,标准层面积 1 595 m²,总建筑面积约 60 000 m²。1 层为大堂与办公室,2~11 层主要为客房,13~31 层主要为写字楼,12 层为设备层。

表2 SJ酒店节能改造方案汇总

改造内容	具体措施	节约燃气量/ 万 m ³	节约燃油量/t	减少能耗费用/ (万元/a)	备注
夏季采用空气源热泵提供生活热水	空气源热泵制备生活热水,小型锅炉制备洗衣房、供暖等用蒸汽	27	270	163	使用燃油锅炉
锅炉烟气热回收	在锅炉排烟管上加装热管余热回收器,回收烟气热量预热生活用水		12	9	
锅炉燃油改燃气				440	

HK酒店冷源采用冷水机组,热源采用柴油蒸汽锅炉,提供酒店客房区域部分日常生活热水和全楼冬季建筑供热。

酒店高层(13层以上)为写字楼,运营时间为08:00—20:00,根据全天气温的变化和人员活动规律,用热峰值出现在09:00—11:00;低区(11层以

下)为酒店客房,全天运营,根据全天气温的变化趋势和住店人员活动规律,客房区域用热峰值一般出现在21:00—23:00。高区和低区的功能不同,因而高低两区的用热峰值时间相互错开。

将HK酒店的能耗统一折合成标准煤,结果见表3。

表3 HK酒店能耗

	消耗量			折合成标准煤		费用	
	2009年	2010年	平均	数值/t	比例/%	数值/万元	比例/%
柴油	787.9 t	760.5 t	774.2 t	1 128	36	625.6	50
电	637.3 万 kW·h	623.4 万 kW·h	630.35 万 kW·h	1 891	60	567.3	45
煤气	25.1 万 m ³	29.4 万 m ³	27.3 万 m ³	136	4	58.7	5

3.2 锅炉节能改造

3.2.1 采用空气源热泵制备生活热水

HK酒店原使用蒸汽-水间接换热器直接供热,无蓄水设备,并利用高位水箱的自然压力实现无动力供水。生活热水系统经过改造,采用2个不锈钢保温水箱储存热水,通过变频恒压供水系统供水。选取8台直热式空气源热泵热水器并联运行且互为备用,总额定制热量为600 kW。为保障酒店高舒适性的运行要求,在热泵热水器系统中加入电加热辅

助设备,在热水用量比较大、环境温度较低或部分机组发生故障时作为备用热源。水箱内配有四段式水位开关,系统根据用户数量调整运行水位。

3.2.2 空气源热泵替代锅炉供暖

根据单位建筑面积热负荷指标、建筑面积、人员活动规律分别估算高低两区在白天和夜间的供暖负荷,分别为1 458 kW和753 kW(见表4)。根据计算负荷,选择空气源热泵替代锅炉,作为冬季供暖热源。

表4 HK酒店热负荷估算

区域	层数	单层面积/m ²	设计负荷/(W/m ²)	白天		夜间		
				使用率	热负荷/kW	使用率	热负荷/kW	
低区	客房(4~11层)	8	1 595	46	0.6	355	0.6	355
	大堂、餐厅等(1~3层)	3	4 045	50	0.4	241	0.2	73
	地下室	1	6 000	56	0.2	67	0.1	34
高层	客房区	6	1 595	29	0.6	165	0.6	165
	办公室	13	1 595	30	1	630	0.2	126
总计						1 458		753

3.3 改造效果汇总

改造前后逐月能耗对比见表5。从表5可见,

改造后,逐月能耗较原系统有明显下降。总能耗下降达41%。

表5 HK酒店改造前后逐月能耗对比

		月份											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
改造后	电/(万 kW·h)	86.8	63.2	58.5	27.4	34.1	43.4	59.9	60	46	33.7	35	49.6
	人工煤气/万 m ³	2.9	2	1.1	0.7	1.14	0.66	0.49	0.48	0.66	0.9	0.38	0.29
	折合标准煤/t	277.0	201.0	181.8	86.2	108.8	134.0	182.5	182.7	141.8	106.2	107.2	150.5
	年总计/t	1 859.7											
改造前	电/(万 kW·h)	42.8	40.7	37.7	38.6	47.1	58.5	80.2	85.2	72.9	46.1	35.1	38.4
	人工煤气/万 m ³	2.14	2.09	2.08	1.8	2.17	2.22	0.72	3.71	3.34	3.07	2.93	3.12
	轻质柴油/t	128.7	101.2	103	76.2	45	50.9	45.1	29.3	34.5	39.4	39.1	68.1
	折合标准煤/t	328.5	281.8	275.4	237.3	219.4	262.5	310.6	319.6	288.1	213.4	179.1	232.4
	年总计/t	3 148.1											

4 结语

酒店类建筑应当细化分析自身实际需求,调整供暖设备和系统,减少能耗,降低运行成本。从文中节能案例可见,对于没有蒸汽需求的酒店,酒店内的供暖需求可由空气源热泵满足。对于需要使用蒸汽的酒店,可保留蒸汽锅炉,但应合理计算,适当采用空气源热泵等形式加以替代,供应生活热水,满足常规用热需求,与锅炉匹配运行。

上海的气候条件可以在大多数条件下满足空气源热泵的正常高效运行。采用空气源热泵不仅能够满足建筑对于生活热水的需求,同时系统可依据不同负荷要求进行切换,保证高效运行,节能效果较好。

建议用热单位,尤其是对热水需求量较大而对蒸汽压力没有要求的单位在设计系统或系统更新时更多地考虑采用热泵形式替代传统锅炉,实现供暖系统的节能、经济运行。

参考文献:

- [1] 徐强. 上海市公共建筑用能特征和节能策略[J]. 建筑节能, 2008(5): 9-10
- [2] 朱伟峰, 周聪, 蒋友娣, 等. 上海市大型公共建筑分项用能指标的探讨[C]//2012年第18届全国暖通空调制冷学术年会论文集, 2012
- [3] 魏澄, 丁琦, 魏巍, 等. 燃气锅炉供热现存问题及节能技术应用实例分析[J]. 暖通空调, 2005, 35(10): 104-110
- [4] 方品贤, 江欣, 奚元福. 环境统计手册[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1985: 99-101