



专题
研讨

上海 10 幢大型公共建筑 节能状况调研

同济大学 潘毅群 殷荣欣
上海市节能监察中心 楼振飞

摘要 基于现场调研数据,对 10 幢大型公共建筑的单位面积能耗、围护结构、空调系统及冷热源等进行了分析和评价,通过同类型建筑间能耗的比较,找出能耗差异的主要原因并提出了节能措施。将 10 幢建筑的能耗与上海商业建筑数据库、美国商业建筑的相关能耗统计数据进行了对比分析,提出有效的节能措施。

关键词 大型公共建筑 节能 调研 单位面积能耗 空调系统

Energy efficiency investigation of 10 large
public buildings in Shanghai

By Pan Yiqun , Yin Rongxin and Lou Zhenfei

Abstract Based on the field investigation data, analyses and evaluates the energy consumption per unit floor area, building envelope, air conditioning system and cold and heat sources of these buildings. Through comparing energy consumption among the similar buildings, finds the causes for the difference of the energy consumption and proposes several measures for improving energy efficiency. Compares the energy consumption of the 10 buildings with the data from Shanghai Commercial Building Database and commercial buildings in USA, and presents some effective energy saving measures.

Keywords large public building, energy efficiency, investigation, energy consumption per unit area, air conditioning system

Tongji University, Shanghai, China

0 引言

随着我国经济的高速发展、城市规模的不断扩大,建筑能耗持续增长。从 2004 年建筑能耗统计数据来看,全国公共建筑能耗占总建筑能耗的 22%。全国大型公共建筑面积约为 4 亿 m²,占公共建筑面积的 7.5%,大型公共建筑总电耗为 500 亿 kWh,占公共建筑总电耗的 20%^[1]。2007 年 5 月下旬上海市节能监察中心对上海市 10 幢大型公共建筑的设计和运行管理环节进行了节能监察,以了解并掌握现有公共建筑能源利用状况,以及节能方面存在的问题和节能潜力。

这 10 幢公共建筑包括剧院建筑(建筑 A、B)、火车站(建筑 H)、机场(建筑 C)、广播大楼(建筑 D)、科技馆(建筑 E)、购物中心(建筑 I)、政府办公

楼(建筑 F、G、J)等,多数是上海的标志性建筑。

笔者首先对这 10 幢公共建筑进行了建筑信息调查和能耗相关数据采集,其次对 10 幢公共建筑的围护结构、设备配置和运行管理、单位面积能耗等进行了分析和评价。通过对 10 幢公共建筑单位面积建筑运行能耗的横向比较,以及与国内外商业建筑的单位面积能耗的纵向比较,挖掘其节能潜力,提出有效的节能措施,从而降低其运行能耗。

潘毅群,女,1970 年 12 月生,博士,教授
200092 同济大学中德工程学院
(021) 69584741 65983785
E-mail: yiqunpan@tongji.edu.cn

收稿日期:2009-06-22
一次修回:2009-11-09
二次修回:2010-05-05

1 10 幢公共建筑能耗对比

公共建筑的运行能耗主要包括建筑照明、办公电器设备、电梯等公共服务设备以及特殊服务设备,空调系统风机、制冷机及其附属设备(水泵及冷却塔),锅炉及其附属设备等的能耗。由于上海市地处夏热冬冷地区,不是集中供暖地区。但是对于公共建筑来说,冬季仍然需要供暖以满足人员舒适性需求,特别是办公楼、酒店、剧院等性质的公共建

筑。对 10 幢建筑的围护结构、空调系统形式及冷热源类型等三方面进行了调查分析,并对相同类型建筑的运行能耗进行横向对比,进而挖掘相关方面的节能潜力。

1.1 建筑运行能耗

表 1 是统计计算得出的各个建筑的能耗数据,其中年单位面积平均一次能耗和年单位面积能耗(标准煤)的计算基于表 2、3。

表 1 部分公共建筑的年均能耗

建筑编号	建筑面积/ m ²	年均耗电量/ (kWh/a)	年均耗天然气量/ (m ³ /a)	年均耗煤气量/ (m ³ /a)	年均耗柴油量/ (kg/a)	年单位面积 平均一次能耗/ (MJ/(m ² ·a))	年单位面积电耗/ (kWh/(m ² ·a))	年单位面积能耗 (标准煤)/ (kg/(m ² ·a))
A	39 964	8 569 000				2 241	214	77
B	61 000	5 752 933		705 067		1 169	94	40
C	280 000	60 316 667				2 251	215	77
D	46 500	5 856 160		57 250	146 333	1 470	126	50
E	98 000	11 832 885	409 069			1 424	121	49
F	85 531	7 373 938	452 260			1 107	86	38
G	67 686	5 223 653		266 670	236 080	1 019	77	35

注:1)建筑 H,I,J 均为新建建筑,没有完整一年的能耗数据,故未对这 3 个建筑进行年均能耗分析。

2)建筑 C 由能源中心提供冷量和热量(蒸汽),表中未列出这两项,而其年单位面积平均一次能耗包括这两项。

表 2 2001—2008 年中国供电煤耗

	年份							
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
供电标准煤耗/ (g/(kWh))	385	383	380	376	370	366	357	349

表 3 各种能源折合标准煤参考系数

能源	平均低位发热量	折合标准煤系数
电力(当量)	3 596 kJ/(kWh) (860 kcal/(kWh)) (每 kWh 电的含热量)	0.122 9 kg/(kWh)
电力(等价)	0.357 kg/(kWh) (2007 年火力发电 的供电标准煤耗计算)(发电过程每 kWh 电所消耗的能源量)	0.357 0 kg/(kWh)
天然气	38 931 kJ/m ³ (9 310 kcal/m ³)	1.330 0 kg/m ³
煤气	15 890 kJ/m ³ (3 800 kcal/m ³)	0.542 8 kg/m ³
柴油	42 652 kJ/kg (10 200 kcal/kg)	1.457 1 kg/kg

从表 1 可以看出,绝大部分建筑的年单位面积平均一次能耗在 1 000 ~ 1 500 MJ/m² 范围内,建筑 A 和 C 的能耗较高。对于建筑 A 来讲,其空调系统能耗占很大的比例,从建筑围护结构方面来讲,该建筑的玻璃幕墙部分占了 70% 以上,从而造成建筑负荷偏大,尤其是建筑供暖负荷;另一方面,虽然该建筑在冬季供暖阶段采用蓄热电锅炉在低谷电阶段运行,在一定程度上降低了供暖费用,但从一次能源的角度与常规的燃气(油)锅炉相比,其运行能耗偏高,同时热水供回水在蓄热过程中的热损失较大。建筑 C 的机场航站楼装有一些能耗较大的设备,如行李运输机等,其能耗无法与一般办公楼相比较。

从空调系统能耗方面来看,所调查的公共建筑

的空调系统运行电耗占整个建筑运行电耗的 30.4% ~ 58.0%,如图 1 所示。尤其是对于剧院性质的公共建筑 A 和 B,其空调系统电耗占整个建筑运行电耗的主导地位。办公建筑 G 的空调系统电耗为 40.7 kWh/(m²·a),占整个建筑运行电耗的 52.7% 左右,与其他被调查的办公建筑(空调系统能耗 10 ~ 50 kWh/(m²·a))相比^[1],则属于空调能耗较高的办公建筑。清华大学建筑技术科学系 1998 年对北京市的大型公共建筑进行了详细的调查,具体分析结果显示,商场、办公楼和星级酒店的空调系统电耗分别占整个建筑电耗的 50%、37%、43.6%^[4]。

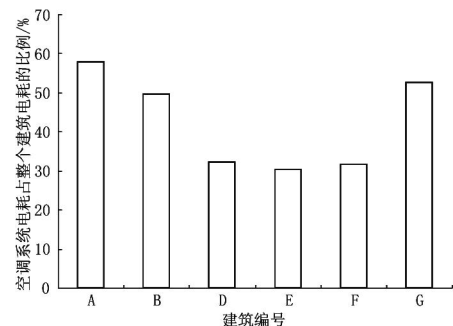


图 1 部分公共建筑的空调系统电耗占整个建筑电耗的比例

1.2 建筑围护结构

建筑 C、E、J 的外围护结构为全玻璃幕墙,其余建筑的外墙大部分由非透明部分和透明部分(玻璃

幕墙)构成。表 4 给出了 10 幢公共建筑的围护结构性能参数及立面玻璃和天窗透明部分所占的比例。参照 GB 50189—2005《公共建筑节能设计标准》^[5]可知,大部分建筑外围护结构的外窗(立面玻璃)及天窗部分的传热系数和遮阳系数均不满足标准所规定限值,只有建筑 I 的围护结构参数基本满足限值要求。

表 4 10 幢公共建筑的围护结构参数

建筑编号	围护结构类型	外墙			透明部分所占比例/%	
		墙体传热系数/ (W/(m ² ·K))	立面玻璃			
			传热系数/ (W/(m ² ·K))	遮阳系数 S _c		
A	1	0.76	2.57	0.67	70	
	2	0.76	1.65	0.51	70	
B	1	1.57	5.48	0.94	31	
C	1		5.36	0.94	100	
D	1	1.50	5.01	0.55	40	
	2	1.97	5.01	0.55	40	
	3	2.00	5.01	0.55	40	
E	1	0.61	1.64	0.50	100	
	2	0.58	5.22	0.94	100	
F	1	0.41	5.01	0.55	42	
G	1	1.58~1.62	6.03	0.83		
H	1区	1	0.97	5.82	0.94	29
	2		5.82	0.94		
	2区	1	0.69	5.82	0.94	南向 60°,其他朝向为 0
	2		5.82	0.94	南向 60°,其他朝向为 0	
	3区	1	1.72	5.74	0.94	37
	2	1.72	5.48	0.94	37	
I	1	0.47	2.80	0.30	31~47	
J	1		2.70	0.81	100	

建筑编号	围护结构类型	屋面			透明部分所占比例/%
		屋面不透明部分传热系数/ (W/(m ² ·K))	天窗		
			传热系数/ (W/(m ² ·K))	遮阳系数 S _c	
A	1	0.76	2.57	0.67	
B	1	1.57	5.48	0.94	31
C	1		5.67	0.94	
D	1	0.79			
	2	0.81			
	3	0.50			
E	1	0.58	1.61	0.50	8
F	1	0.41	5.01	0.55	42
G	1	0.65~1.01			
H	1区	1	0.75		
	2区	1	0.61		
	3区	1	0.78		
I	1	0.66	1.61	0.50	18
	2	0.63	1.61	0.50	18
J	1	0.51	1.90	0.85	70

表 1 中所示建筑 A 的年单位面积折算标准煤能耗是建筑 B 的 2 倍左右,由于该 2 幢建筑的类型相

同,在年均能耗方面有一定的可比性。从建筑的围护结构方面看,建筑 A 的玻璃幕墙部分占了整个建筑立面的 70%,建筑 B 的玻璃幕墙部分占 31.1%。虽然建筑 A 的玻璃性能相比建筑 B 来说有很大的改善,但其传热系数和遮阳系数仍不满足《公共建筑节能设计标准》所规定的限制。对于上海等夏热冬冷地区,夏季供冷季节通过玻璃的辐射得热负荷占整个建筑负荷的比例较大,尤其是对于窗墙比很大的建筑而言;但从另外一方面来看,如果能够很好地对玻璃幕墙进行遮阳方面的节能改造及自然采光方面的优化设计,那么可以在很大程度上降低整个建筑的空调和照明能耗。

1.3 建筑的空调系统及冷热源

10 幢公共建筑的主要制冷设备是冷水机组,部分区域采取分体式空调,热源是燃油、燃气锅炉及蓄热电锅炉。具有高大空间建筑的空调系统大部分为全空气系统,其末端送风形式有所不同,例如剧院、展馆类建筑 A、B、E;对于办公类建筑 F、G 和 J,空调系统多采用风机盘管或分体式空调。

表 5 所示为 10 幢公共建筑的冷源配置。10 幢建筑中除建筑 D 外,制冷设备的 COP 都能满足《公共建筑节能设计标准》对冷水(热泵)机组制冷性能系数的要求,达标率达到 90%。从单位面积装机容量来看

表 5 10 幢公共建筑的冷源配置

建筑编号	制冷机类型	制冷机 COP	《公共建筑节能设计标准》规定限值	是否达标	总制冷量/kW	单位面积装机容量/(W/m ²)
A	离心机	4.88	4.7	达标	5 276	132.0
B	离心机	5.30	5.1	达标	6 331	103.8
C	离心机	5.38	5.1	达标	85 815	306.5
	离心机	5.12	5.1	达标		
D	离心机	4.70	5.1	未达标	4 220	90.8
	活塞机	2.65	4.0	未达标		
E	离心机	5.86	5.1	达标	8 511	86.8
	离心机	5.75	4.7	达标		
F	离心机	5.18	4.7	达标	7 562	88.4
	离心机	5.30	5.1	达标		
G	螺杆机	5.34	4.6	达标	9 426	139.3
	螺杆机	5.05	4.6	达标		
H	离心机	5.48	5.1	达标	38 560	93.4
I	热泵机组	3.20	2.8	达标	1 973	113.7
J	离心机	5.20	5.1	达标	10 548	186.0

注:总制冷量为被调查建筑内所有冷水(热泵)机组的制冷量总和。量来看,50%被调查建筑低于 110 W/m²,80%低于 140 W/m²。2003 年上海市部分公共建筑的调研结果显示,49%被调查建筑的制冷设备的单位面积装机容量低于 150 W/m²,24%左右的建筑低于 110 W/m²^[6]。表 5 所示建筑 C 和 J 的装机容量分别为

306.5 W/m² 和 186 W/m², 尤其对于机场建筑 C 来说, 其单位面积装机容量几乎为其他被调查建筑的 1.6~3.5 倍, 导致其年平均一次能耗大大超过其他类型公共建筑。

2 10 幢公共建筑能耗情况与国内外建筑的比较

2.1 与上海商业建筑数据库比较

上海商业建筑数据库是同济大学与上海市节能监察中心合作建立的基于互联网的实时在线数据库, 主要收集上海市各商业建筑的有关数据, 其中包括建筑信息、空调系统设备参数以及运行能耗数据等。从 2005 年 5 月至 2005 年 7 月共收集了上海市 95 幢商业建筑的信息, 这些信息构成了数据库的基本数据^[7]。

在这 95 幢建筑中, 纯办公建筑有 20 幢, 其余都包含商场、餐饮、银行等设施。建筑面积从 10 000 m² 到 247 000 m² 不等, 平均为 71 000 m²。图 2 显示了这些建筑的单位面积能耗分布, 由图可知, 绝大部分建筑的单位建筑面积一次能耗在 600~2 400 MJ/(m²·a) 之间, 平均值为 1 356 MJ/(m²·a), 被调查建筑 F 和 G 的单位面积一次能耗非常接近, 分别为 1 107 MJ/(m²·a) 和 1 019 MJ/(m²·a), 均低于数据库的平均值; 而建筑 D 的单位面积能耗为 1 470 MJ/(m²·a), 略高于数据库的平均值, 这幢建筑建成较早, 围护结构保温性能较差, 设备系统效率较低, 而且不排除有一些能耗较高的专用设备, 这些都可能是其能耗较高的原因。而建筑 A 和 B 属于剧院建筑, 建筑 E 属于展馆建筑, 建筑 C 属于机场建筑, 与数据库中建筑的功能不同, 无法相互比较, 因此没有在图中标出。

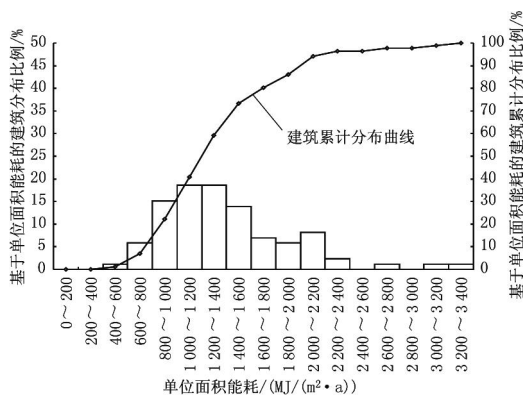


图2 上海商业建筑数据库中建筑的单位面积能耗分布

2.2 与美国相关建筑比较

美国能源部 (DOE) 在全美实施了商业建筑能

耗调查 (CBECS, commercial building energy consumption survey)^[8], 收集了大量不同的商业建筑的能耗资料, 表 6 所列为 2003 年对 4 645 幢建筑调查的相关结果。

表 6 美国商业建筑能耗统计数据

建筑类型	范围	单位面积耗电量 / (kWh/(m ² ·a))
办公楼	全美	186.2
公共活动类	全美	134.5
所有建筑 ¹⁾	全美	160.4
	供冷度日数 $CDD < 2\ 000$ ·d 和供热度日数 $HDD < 4\ 000$ ·d 气候带的建筑 ²⁾	199.1

1) 包括办公楼、学校、医院、食品销售、住宅、教堂、仓库等。

2) 上海平均 30 a 的供冷度日数 CDD 是 1 870 ·d, 供热度日数 HDD 是 3 314 ·d, 符合表中所示的范围。

由于中国和美国的能源结构存在很大差异, 不能从一次能源的角度来直接比较同类型建筑的能耗, 而通过比较两者的直接电力消耗, 可了解该 10 幢建筑的能耗水平与美国的差异。比较表 1 和表 6 可知, 相比于美国同类型、相似气候条件下的商业建筑能耗水平, 所调查的 10 幢建筑中办公楼类型的单位面积耗电量均大大低于美国同类型建筑; 建筑 A, B, E 基本属于公共活动类型, 其中 A 的能耗高于美国的平均水平, 而 B 和 E 低于美国平均水平。对于建筑 A, 主要由于其冬季供暖期间采用蓄热电锅炉, 利用上海市峰谷电价差来降低运行费用, 因此该建筑的单位面积耗电量远远大于同类型建筑 B。由于 CBECS 不包括机场建筑, 因此建筑 C 的能耗无法进行对照比较。

3 节能潜力分析

根据所调查的 10 幢公共建筑的基本情况和能耗情况, 以及相互比较和与上海同类型建筑、国外同类型建筑的比较, 可知除个别建筑外, 其他被调查建筑的单位面积能耗与上海 95 幢商业建筑接近, 同时也低于国外相似气候条件下的同类型建筑平均能耗水平。但是上海市节能监察中心在现场初步调查中发现, 这些建筑仍有节能潜力, 可以通过一些措施进一步降低能耗, 包括:

1) 改善建筑围护结构保温性能, 尤其是玻璃幕墙部分, 通过内外遮阳改造、贴隔热膜等措施, 降低围护结构负荷, 进一步降低整个建筑的负荷。

2) 照明系统采用节能灯, 并利用部分建筑的透明玻璃幕墙, 优化自然采光策略, 进一步降低建筑的照明能耗, 同时降低照明带来的建筑冷负荷。

3) 通过加强空调系统运行管理、应用变频调速技术、优化控制系统等措施,降低空调系统运行能耗。

4) 加强能源计量和数据记录,对终端能耗进行细分,以便分析用能设备的分项能耗(照明、冷水机组、风机、水泵等),寻找节能潜力较大的设备和系统,作为改造依据。

4 结论

4.1 10 幢公共建筑围护结构大部分不满足《公共建筑节能设计标准》的要求,对不满足规定限值的建筑,需要进行围护结构热工性能的权衡计算。从节能潜力方面来讲,可以通过对既有建筑的围护结构进行节能改造,诸如外保温、内外遮阳改造等措施,降低建筑运行能耗。

4.2 公共建筑的制冷设备效率基本上能满足《公共建筑节能设计标准》,达标率为 90%;80% 被调查建筑的单位面积装机容量低于 140 W/m^2 ,除了建筑 C 和 J 等特殊类型建筑外,平均单位面积装机容量为 105 W/m^2 ,低于 2007 年 9 幢公共建筑的 128.7 W/m^2 的统计数据^[9]及 1997 年上海 200 幢公共建筑的 127 W/m^2 的统计数据^[10]。

4.3 所调查的 10 幢公共建筑中的一半建筑的运行能耗水平接近上海商业建筑的平均能耗,个别建筑由于其建筑使用性能的特殊性(C 和 J),数据库中无类似相关建筑能耗数据,无法进行比较。

4.4 所调查的公共建筑总体平均单位面积能耗低于国外相似气候条件下的同类型建筑,但不能说明这些建筑没有节能潜力。可以通过改善建筑围护

结构保温性能、空调系统节能改造、完善建筑系统的运行管理、实施终端能耗计量等措施,进一步降低建筑运行能耗。

参考文献:

- [1] 清华大学建筑节能研究中心. 中国建筑节能年度发展研究报告[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2009
- [2] 中华人民共和国国家统计局. 中国能源统计年鉴 2008[M]. 北京:中国统计出版社,2009
- [3] 中国电力年鉴编辑委员会. 2008 中国电力年鉴[M]. 北京:中国电力出版社,2008
- [4] 薛志峰,江亿. 北京市大型公共建筑用能现状与节能潜力分析[J]. 暖通空调,2004,34(9):8-10
- [5] 中国建筑科学研究院,中国建筑业协会建筑节能专业委员会. GB 50189—2005 公共建筑节能设计标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2005
- [6] 李峥嵘,彭姣,王宝海,等. 上海市公共建筑能耗与运行管理现状调查[J]. 暖通空调,2005,35(5):134-136
- [7] 陈晨,潘毅群,黄治钟,等. 上海市商用建筑信息数据库的初步建立与应用[C]//上海市制冷学会 2005 年学术年会,2005
- [8] Energy Information Administration. Commercial buildings energy consumption survey [EB/OL]. [2007] <http://www.eia.doe.gov/emeu/cbecs/contents.html>
- [9] 杨晓敏. 上海地区公共建筑能耗现状与节能分析[D]. 上海:同济大学,2007
- [10] 龙惟定,潘毅群,范存养,等. 上海公共建筑能耗现状及节能潜力分析[J]. 暖通空调,2004,24(1):13-16

· 书讯 ·

《室内热对流与通风》

《室内热对流与通风》(赵鸿佐著)2010 年 3 月由中国建筑工业出版社出版。本书前 4 章主要阐述热对流分析基础。此部分注意根据工程应用分析的特殊需要,在相关的理论方法上作了一些必要的填平补齐的论证,以为工程应用提供一个比较具体有效的工具和基础。第 5 章专论非等温房间的重要工程技术指标——热分布系数(或其倒数通风能量利用效率或通风温度效率)的函数表达方法。第 6 章系统阐明应用热对流分析方法从理论上求解高余热工业建筑(热车

间)自然通风的具体计算模式与方法,并通过与系列实证材料的对比证明它是合理、简便而有效的。自然通风及置换通风中的热对流作用的强弱程度及主从地位虽各不相同,但是两者又都是同属于下进上排的置换式换气系统,因此本书在最后一章中讨论了置换通风的性能与效果。本书是一部系统论述室内热对流分析方法、内容及应用的专著,可供高校相关专业本科生、研究生及工程技术人员参考使用。

(本刊)