

上海大型公共建筑分项运行 能耗参考指标研究^{*}

上海市建筑科学研究院 朱伟峰[☆] 蒋友娣

摘要 大型公共建筑,尤其是同时包含宾馆、办公、商场等多种功能区的综合性建筑,由于功能、类型不同导致用能情况存在较大的差别,难以评价其用能水平的高低。选取上海市48栋运行合理不同类型的大型公共建筑进行了详细的能源调查与审计,深入分析了这些建筑各功能区的面积及各用能设备的分项能耗,在此基础上提出了一套适合不同类型大型公共建筑的分项用能指标及其参考值,可以为评价各类型大型公共建筑的用能水平提供参考依据。

关键词 大型公共建筑 分项用能指标 运行能耗 综合性建筑 用能水平 上海

Item-based energy consumption reference indicators of large-scale public buildings in Shanghai

By Zhu Weifeng[★] and Jiang Youdi

Abstract Considerable differences in energy consumptions among large-scale public buildings with different functions and types such as hotel, office and shopping make it difficult to evaluate their level of energy consumption. Selects 48 large-scale public buildings with different types and proper operating conditions in Shanghai for energy consumption surveying and auditing. Analyses in depth the areas and energy consumption of different items of facilities of each functional zone. Proposes a set of energy consumption indicators and reference values of different items for different functional buildings, which may be used for evaluating the energy consumption level of the various types of large-scale public buildings.

Keywords large-scale public building, energy consumption indicator of different item, operation energy consumption, comprehensive building, energy consumption level, Shanghai

[★] Shanghai Research Institute of Building Sciences, Shanghai, China

①

0 引言

财政部、住房和城乡建设部于2011年5月下发了《关于进一步推进公共建筑节能工作的通知》,该通知特别强调在“十二五”期间对公共建筑要实施能耗限额管理,对新建公共建筑要实行建筑能耗指标控制。为此,尽快研究制定出一套适合上海地区的大型公共建筑分项用能指标及其参考标准非常重要。

目前,由于各大型公共建筑的功能不同导致其用能情况存在较大的差别,特别是在各商圈,有大量的综合性公共建筑,往往同时设有商场、办公、宾馆等功能区,而不同功能区全年的单位建筑面积能

耗可能相差数倍,不同功能区所占的面积比例不同,使得综合性公共建筑的全年能耗差别较大,很难对其用能水平进行横向对比。为此,笔者于2009—2011年对上海市100多幢大型公共建筑进行了走访及调研,从中筛选了58栋不同类型的大型公共建筑进行了详细的能源调查与审计,深入分析了这些大型公共建筑各功能区的面积及各用能设备的分项能耗,在此基础上研究了一套适合不同类型大型公共建筑(包括综合性公共建筑)的分项

①[☆] 朱伟峰,男,1972年12月,博士,教授级高级工程师
201108 上海市闵行区莘庄申富路568号1号楼212室
(021) 33507544
E-mail: zhuwf@sribs.jk.sh.cn
收稿日期:2013-07-28
修回日期:2013-09-09

用能指标,可以为各类型大型公共建筑的能耗对比及挖掘每个建筑物的节能潜力提供参考数据。

1 分项用能指标研究用建筑样本

对作为研究上海市典型大型公共建筑分项用能指标的基础,笔者筛选了58栋运行正常的不同类型大型公共建筑进行了详细的能源调查与审计,其中包括纯宾馆建筑12栋、纯商场建筑8栋、纯办公建筑14栋、综合商办楼18栋、综合宾馆办公楼6栋。为了使此次大型公共建筑分项用能指标研究用的建筑样本更具代表性,笔者将以上每种建筑类型中单位面积总能耗最高和最低的建筑样本去除,最终筛选出了48栋建筑样本,并以此48栋建筑的分项用能数据作为研究大型公共建筑分项用能指标的建筑样本。

2 分项用能指标研究方法

本次研究从终端用能设备的角度将建筑用能指标分为11项,分别为建筑总能耗指标、空调系统能耗指标、制冷机组能耗指标、冷源能耗指标、热源能耗指标、冷水泵能耗指标、供暖水泵能耗指标、冷却水泵能耗指标、冷却塔能耗指标、空调末端能耗指标、照明能耗指标,以上各分项用能指标均指建筑全年各分项用能总量与建筑面积的比值,并且统一采用等效电法核算各分项用能总量^[1],所有分项用能指标的单位均为 $\text{kW}\cdot\text{h}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ 。

需要指出的是,本次研究在计算以上各分项用能指标时,建筑面积均不包括车库及设备层面积。

1) 分项能耗的拟合计算公式

为了研究不同功能区面积与建筑各分项能耗的影响,笔者采用最小二乘法^[2]对建筑各功能区的面积及各分项用能数据进行最佳直线拟合,并得到各分项能耗的拟合计算公式,如下:

$$Y = C_1 X_1 + C_2 X_2 + C_3 X_3 + C_4 X_4 \quad (1)$$

式中 Y 为建筑分项能耗, $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{a}$; C_1, C_2, C_3, C_4 分别为宾馆区、办公区、商场区、车库及设备层分项用能指标, $\text{kW}\cdot\text{h}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$; X_1, X_2, X_3, X_4 分别为宾馆区、办公区、商场区、车库及设备层建筑面积, m^2 。

2) 车库及设备层用能指标的确定

式(1)中单独列出了车库及设备层面积及其分项用能指标,以便对有、无车库及设备层的建筑进行分项用能指标的相互对比。

考虑到车库及设备层用能设备相对单一,通常

以照明能耗为主,为了减少对所有建筑样本进行车库及设备层能耗统计的工作量,课题组选取了若干典型大型公共建筑,对其车库及设备层能耗进行了详细统计,最终得到各建筑车库及设备层平均能耗指标约为 $30\text{ kW}\cdot\text{h}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$,本次研究以此数据作为所有建筑样本车库及设备层总能耗和照明分项用能指标的实际数值。

3 大型公共建筑总能耗指标分析

根据能耗统计数据,本课题选取的48栋典型大型公共建筑全年单位面积总能耗如图1所示。

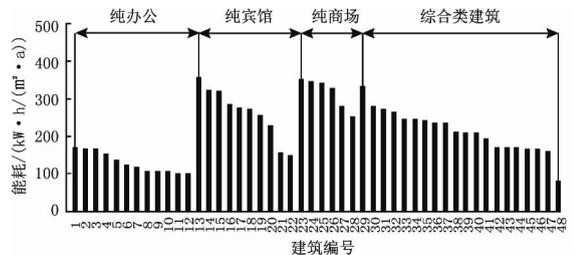


图1 建筑物全年单位面积总能耗分布

由图1可看到,建筑样本主要分为4种类型:纯办公、纯宾馆、纯商场及综合类建筑。不同建筑类型的单位建筑面积总能耗差别较大,其中纯办公建筑总体能耗最低,纯商场建筑总体能耗最高。48栋建筑中单位面积能耗指标最大值为 $355.3\text{ kW}\cdot\text{h}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$,最小值为 $79.5\text{ kW}\cdot\text{h}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ 。

笔者根据建筑物各功能区面积及建筑物的总能耗进行了拟合,得到了大型公共建筑总能耗指标参考值的拟合计算公式:

$$Y_0 = 267.0X_1 + 122.7X_2 + 334.6X_3 + 30X_4 \quad (2)$$

$$(r^2 = 0.98)$$

式中 Y_0 为建筑总能耗, $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{a}$; r^2 为判定系数,为 Y 的估计值与实际值之比, r^2 越接近1,表示样本具有越好的相关性。

由式(2)可知,宾馆区、办公区、商场区单位面积总能耗指标参考值分别为267.0, 122.7, 334.6 $\text{kW}\cdot\text{h}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ 。

4 大型公共建筑空调系统能耗指标分析

本文中的空调系统能耗指空调及供暖能耗,包括集中空调和供暖系统的冷源、热源、输配系统、空调末端等能耗。同样,将建筑物各类空调供暖能耗按等效电法进行统一折算,最终得到48栋大型公共建筑全年空调系统单位面积能耗,见图2。

由图2可以看到,48栋建筑中单位面积空调

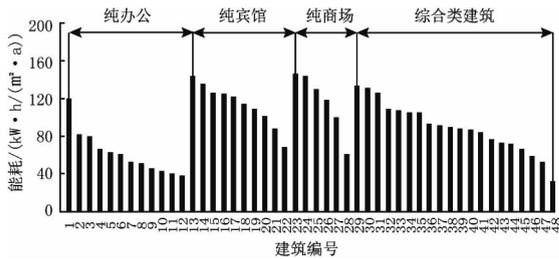


图2 建筑物全年单位面积空调系统能耗分布

系统能耗指标最大值为 $146.6 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, 最小值为 $32 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。

同样,通过对建筑物各功能区面积及建筑空调系统能耗的拟合计算,得到了大型公共建筑空调系统能耗指标参考值的拟合计算公式:

$$Y_1 = 115.4X_1 + 67X_2 + 132.9X_3 \quad (r^2 = 0.95) \quad (3)$$

式中 Y_1 为建筑空调系统总能耗, $\text{kW} \cdot \text{h}/\text{a}$ 。

由式(3)可知,宾馆区、办公区、商场区单位面积空调能耗指标参考值分别为 $115.4, 67, 132.9 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。

从上述研究得到的大型公共建筑总能耗指标及空调能耗指标可知,不同功能类型的建筑,其空调系统能耗约占建筑总能耗的 $40\% \sim 60\%$ 。为了弄清空调系统能耗的组成,笔者对空调系统能耗的各子项都进行了能耗指标的研究,以便今后对不同功能建筑的空调系统各分项能耗进行考核,进行节能诊断,发现节能潜力。笔者将空调系统各分项能耗指标划分为:制冷机组能耗指标、冷源能耗指标、热源能耗指标、冷水泵能耗指标、冷却水泵能耗指标、供暖水泵能耗指标、冷却塔能耗指标和空调末端能耗指标。

4.1 大型公共建筑制冷机组能耗指标分析

48栋大型公共建筑样本中,制冷机组形式包括离心式冷水机组和螺杆式冷水机组(以下统称制冷机)、空气源热泵机组。考虑到空气源热泵机组与制冷机能耗的可比性,笔者根据前者实际运行情况,统计了其夏季供冷时的能耗。根据统计数据,48栋大型公共建筑单位面积制冷机组能耗分布如图3所示。

由图3可以看到,48栋建筑中单位面积制冷机组能耗指标最大值为 $87.2 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, 最小值为 $7.1 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。经拟合计算,得到大型公共建筑制冷机组能耗指标参考值的拟合计

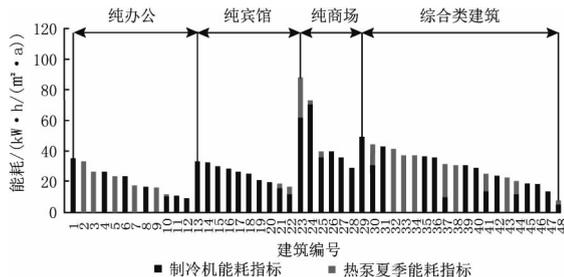


图3 建筑物全年单位面积制冷机组能耗分布

算公式:

$$Y_{1-1} = 27.9X_1 + 19.5X_2 + 50.9X_3 \quad (r^2 = 0.82) \quad (4)$$

式中 Y_{1-1} 为建筑制冷机组能耗, $\text{kW} \cdot \text{h}/\text{a}$ 。

由式(4)可知,宾馆区、办公区、商场区单位面积制冷机组能耗指标参考值分别为 $27.9, 19.5, 50.9 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。

4.2 大型公共建筑冷源能耗指标分析

由于空气源热泵系统没有冷却水泵和冷却塔,为了使不同空调系统的冷源能耗具有可比性,笔者将制冷机能耗加上冷却水泵及冷却塔的能耗视为空调冷源能耗,对于空气源热泵机组,将其夏季制冷能耗视为空调冷源能耗。48栋大型公共建筑单位面积冷源能耗分布如图4所示。

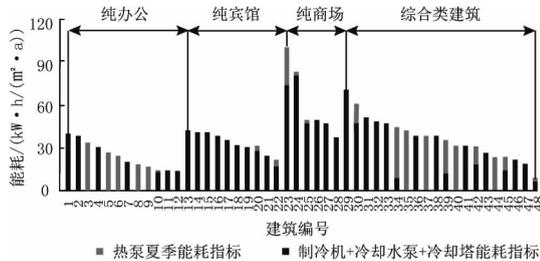


图4 建筑物全年单位面积冷源能耗分布

由图4可以看到,48栋建筑中单位面积冷源能耗指标最大值为 $99.1 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, 最小值为 $8.0 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。经拟合计算,得到大型公共建筑冷源能耗指标参考值的拟合计算公式:

$$Y_{1-2} = 34.0X_1 + 22.8X_2 + 56.1X_3 \quad (r^2 = 0.81) \quad (5)$$

式中 Y_{1-2} 为建筑冷源总能耗, $\text{kW} \cdot \text{h}/\text{a}$ 。

由式(5)可知,宾馆区、办公区、商场区单位面积冷源能耗指标参考值分别为 $34.0, 22.8, 56.1 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。

4.3 大型公共建筑热源能耗指标分析

48栋大型公共建筑冬季供暖热源包括燃气

锅炉、燃油锅炉、电锅炉、商品蒸汽及空气源热泵。其单位面积热源能耗分布如图5所示。统计数据中,对于采用同一热源供应建筑生活热水及供暖能耗的情况,笔者已将生活热水的能耗去除。

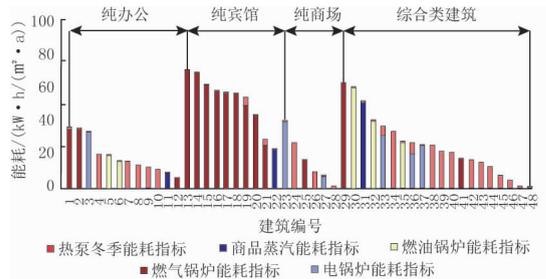


图5 建筑物全年单位面积热源能耗分布

由图5可以看到,纯商场建筑单位面积热源能耗总体最低,主要是由于纯商场建筑客流量大且室内照明负荷高,故其冬季供暖需求较少。另外,个别建筑由于冬季供暖需求极少,未配备冬季供暖设备。具备热源的建筑中单位面积热源能耗指标最大值为 $68.8 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,最小值为 $4.1 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。

经拟合计算,得到大型公共建筑热源能耗指标参考值的拟合计算公式:

$$Y_{1-3} = 49.3X_1 + 22.2X_2 + 14.3X_3 \quad (r^2 = 0.86) \quad (6)$$

式中 Y_{1-3} 为建筑热源总能耗, $\text{kW} \cdot \text{h}/\text{a}$ 。

由式(6)可知,宾馆区、办公区、商场区单位面积热源能耗指标参考值分别为 49.3 , 22.2 , $14.3 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。

4.4 大型公共建筑冷水泵能耗指标分析

48栋大型公共建筑单位面积冷水泵能耗分布如图6所示。对于空调冷水和供暖热水采用同一套水泵循环的系统,笔者根据水泵实际运行记录,将水泵输送冷水的能耗单独统计,并归为建筑冷水泵能耗。

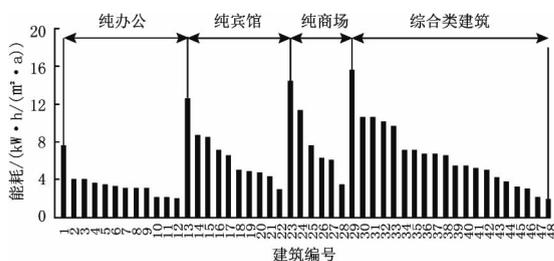


图6 建筑物全年单位面积冷水泵能耗分布

由图6可以看到,48栋建筑中单位面积冷水泵能耗指标最大值为 $15.3 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,最小值为 $1.6 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。经拟合计算,得到大型公共建筑冷水泵能耗指标参考值的拟合计算公式:

$$Y_{1-4} = 6.1X_1 + 4.3X_2 + 10.8X_3 \quad (r^2 = 0.82) \quad (7)$$

式中 Y_{1-4} 为建筑冷水泵总能耗, $\text{kW} \cdot \text{h}/\text{a}$ 。

由式(7)可知,宾馆区、办公区、商场区单位面积冷水泵能耗指标参考值分别为 6.1 , 4.3 , $10.8 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。

4.5 大型公共建筑供暖水泵能耗指标分析

48栋大型公共建筑单位面积供暖水泵能耗分布如图7所示。对于空调冷水和供暖热水采用同一套水泵循环的系统,笔者根据水泵实际运行记录,将水泵输送热水的能耗单独统计,归为建筑供暖水泵能耗。

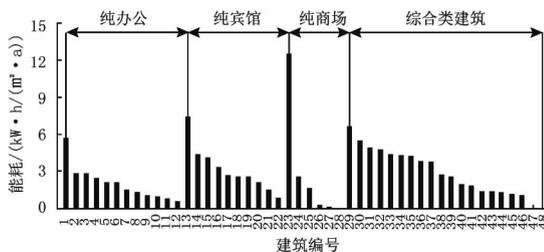


图7 建筑物全年单位面积供暖水泵能耗分布

由图7可以看到,配有供暖水泵的建筑中,单位面积供暖水泵能耗指标最大值为 $12.5 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,最小值为 $0.2 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。经拟合计算,得到了大型公共建筑供暖水泵能耗指标参考值的拟合计算公式:

$$Y_{1-5} = 3.0X_1 + 1.9X_2 + 7.8X_3 \quad (r^2 = 0.71) \quad (8)$$

式中 Y_{1-5} 为建筑供暖水泵总能耗, $\text{kW} \cdot \text{h}/\text{a}$ 。

由式(8)可知,宾馆区、办公区、商场区单位面积供暖水泵能耗指标参考值分别为 3.0 , 1.9 , $7.8 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。

4.6 大型公共建筑空调末端能耗指标分析

空调末端能耗包括空调箱、新风机组、风机盘管机组等能耗,但不包括建筑通风及排烟设备能耗。48栋大型公共建筑单位面积空调末端能耗分布如图8所示。

由图8可以看到,48栋大型公共建筑中单位

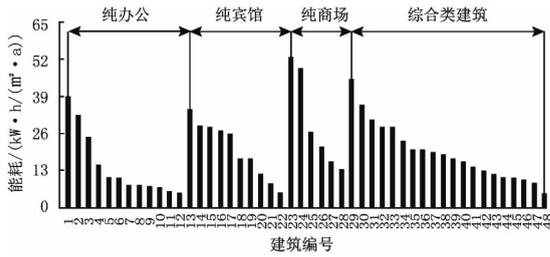


图8 建筑物全年单位面积空调末端能耗分布

面积空调末端能耗指标最大值为 $52.7 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, 最小值为 $5.1 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。经拟合计算, 得到了大型公共建筑空调末端能耗指标参考值的拟合计算公式:

$$Y_{1-6} = 21.2X_1 + 15.3X_2 + 36.7X_3 \quad (r^2 = 0.81) \quad (9)$$

式中 Y_{1-6} 为建筑空调末端总能耗, $\text{kW} \cdot \text{h}/\text{a}$ 。

由式(9)可知, 宾馆区、办公区、商场区单位面积空调末端能耗指标参考值分别为 21.2, 15.3, $36.7 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。

此外, 空调系统分项能耗指标中还包括冷却水泵能耗指标及冷却塔能耗指标, 具体研究结果见第6章。

5 大型公共建筑照明能耗指标分析

48 栋大型公共建筑单位面积照明能耗分布如图 9 所示, 不同功能类型的建筑照明能耗占总能耗的 20% 左右, 仅次于空调能耗, 是建筑能耗的重要组成部分。

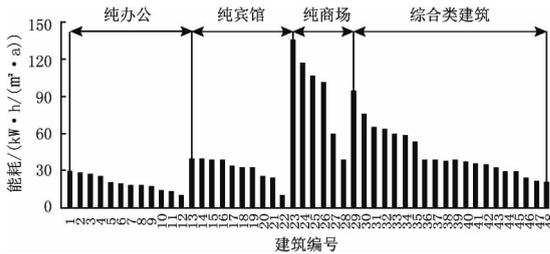


图9 建筑物全年单位面积照明能耗分布

由图 9 可以看到, 48 栋建筑中单位面积照明能耗指标最大值为 $134.3 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, 最小值为 $9.7 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。经拟合计算, 得到了大型公共建筑照明能耗指标参考值的拟合计算公式:

$$Y_2 = 34.5X_1 + 20.7X_2 + 86.3X_3 + 30X_4 \quad (r^2 = 0.95) \quad (10)$$

式中 Y_2 为建筑照明总能耗, $\text{kW} \cdot \text{h}/\text{a}$ 。

由式(10)可知, 宾馆区、办公区、商场区单位面积照明能耗指标参考值分别为 $34.5, 20.7, 86.3 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。

6 大型公共建筑分项用能指标汇总分析

建筑各分项用能指标的研究结果汇总见表 1。

表 1 大型公共建筑分项用能指标研究结果汇总

	$\text{kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$		
	宾馆区	办公区	商场区
总能耗	267.0	122.7	334.6
空调能耗	115.4	67.0	132.9
照明能耗	34.5	20.7	86.3
冷源	35.7	23.2	63.4
热源	49.3	22.2	14.3
制冷机组	27.9	19.5	50.9
冷水泵	6.1	4.3	10.8
冷却水泵	6.1	3.3	5.1
供暖水泵	3.0	1.9	7.8
冷却塔	1.7	0.4	7.3
空调末端	21.2	15.3	36.7

注:1) 各建筑车库及设备层平均能耗指标为 $30 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$;

2) 表中的数据是将建筑各种实物能耗统一采用等效电法^[1]核算折算为等效电后再处理得到的数据。

分析以上大型公共建筑分项用能指标的汇总结果, 可以看到运行正常的不同功能建筑分项用能指标的一些特点, 具体如下:

1) 商场区总能耗指标及各分项用能指标总体最高, 宾馆区次之, 办公区则最低, 且商场区总能耗指标及各分项用能指标(热源能耗指标除外)约为办公区的 2~3 倍。

2) 所有功能区中, 空调能耗指标均最高, 占总能耗的 40%~55%; 照明能耗指标仅次于空调能耗指标, 占总能耗的 13%~26%; 其中商场区的照明能耗指标最高, 达到 $86.3 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, 这与商场建筑照明功率密度较高及开启时间较长有关。

3) 不同功能区的空调系统分项能耗指标中, 制冷机组能耗指标、热源能耗指标及空调末端能耗指标占据前 3 名。

4) 商场区的热源能耗指标相对办公区和宾馆区而言均较低, 仅为 $14.3 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, 这与商场区人员密度大、室内照明负荷高有关, 导致其冬季供暖需求较少, 从而热源能耗便较低。

7 结语

(上接第7页)

本文研究得到的大型公共建筑分项用能指标可以为上海市大型公共建筑的分项能耗评价提供参考。不同类型的大型公共建筑,可以根据自身宾馆区、办公区、商场区、车库及设备层面积的大小,通过表1中提供的分项能耗指标数据得出整栋大楼各分项能耗的参考值。这为相对客观地比较不同类型大型公共建筑用能水平的高低提供了技术手段,为政府主管部门制定建筑节能相关政策提供

了技术支持,可供大型公共建筑的节能诊断和节能改造工作参考。

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 2007[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2007
- [2] 王惠文. 最小二乘回归方法及其应用[M]. 北京:国防工业出版社, 2000