

广州地区大型办公类公共建筑能耗调查与分析

李志生¹, 张国强², 李冬梅¹, 梅 胜¹, 刘旭红¹, 李利新³

(1. 广东工业大学 建设学院 广东广州 510006 2. 湖南大学 土木工程学院 湖南长沙 410082 3. 中国科学院 广州能源研究所 广东广州 510640)

摘要:通过对广州市有代表性的写字楼进行3个年度全年能耗抽样调查,分析了2栋大型办公类公共建筑全年的建筑能耗组成和变化规律。指出此两栋大型办公类建筑按实际使用面积计算的全年平均总能耗为149.3 kWh/m²和115 kWh/m²,全年空调能耗占建筑总能耗的比例分别为49.2%和38.5%。由于所使用的能耗调查方法详细,调查对象具有代表性,因此,能耗分析结果可作为广州地区办公类公共建筑能耗数据库的一部分或为其提供参考。此外,通过和其他相关文献研究结果的对比,指出了夏热冬暖气候区建筑节能的途径。

关键词:夏热冬暖气候区;办公建筑;能耗特征;节能;调查

中图分类号:TU111.3 文献标识码:A 文章编号:1006-7329(2008)05-0112-06

Energy Consumption Features for Large-scale Public Office Buildings in Greater Guangzhou, P. R. China

LI Zhi-sheng¹, ZHANG Guo-qiang², LI Dong-mei¹, MEI Sheng¹, LIU Xu-hong¹, LI Li-xin³,

(1. Faculty of Construction, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, P. R. China; 2. College of Civil Engineering, Hunan University, Changsha 410082, P. R. China; 3. Guangzhou Institute of Energy Conversion, Chinese Academy of Science, Guangzhou 510641, P. R. China)

Abstract: The annual energy consumption of representative office buildings in Guangzhou, P. R. China, was surveyed over a three year period. Among the modern office buildings surveyed, two large-scale office buildings were chosen to analyze the energy consumption features and monthly energy consumption trends. Based on the actual occupied area calculation, the total annual energy consumption of the two office buildings was 149.3 kWh/m² and 115 kWh/m², respectively. The air-conditioning energy consumption in two office buildings accounted for 49.2% and 38.5% of the total energy consumption. The research results could be used as energy consumption sub-databases or references for large-scale public buildings in Guangzhou due to the accurate survey technique and representativeness of the survey objects. In addition, energy consumption in these office buildings was compared with levels described in other studies. Energy saving methods are proposed for buildings located in hot summer/warm winter climate zones.

Key words: hot summer/warm winter climate zone; office buildings; energy consumption features; energy saving; investigation

据统计,1999年我国建筑能耗占社会总能耗的比例已达到27.8%,根据发达国家的经验,建筑能耗将达到社会总能耗的35%左右^[1]。我国建筑能耗比例和总量的双重增加给我国的能源安全和经济可持续发展带来了越来越大的压力。近年来,随着能源问题的

日益恶化和可持续发展观念的深入人心,建筑能耗问题逐渐得到了重视,各种气候条件下的建筑能效标准和节能问题已成为建筑领域的研究热点^[2~5]。尽管我国的建筑节能已取得相当大的进步,但我国的建筑节能和国外发达国家相比还有不少的差距。以广州地区

* 收稿日期:2008-03-01

基金项目:国家十五科技攻关项目“居住区及其环境的规划研究”(No. 2002 BA 806 B02)

作者简介:李志生(1972-),男,副教授,工学博士,主要从事建筑节能、建筑设备优化及建筑环境研究。(E-mail): chinaheat@163.com。

为代表的亚热带气候区同时也是我国经济和建筑产业相对发达的地区,据估计,到目前为止,广州市已有建筑面积 2.66 亿 m^2 ,其中公共建筑面积超过 1 亿 m^2 ,而广州的建筑能耗已占全市总能耗 30%左右。考虑到广州的建筑节能还有很大的潜力,广州市准备在 2010 年以前,全面启动建筑节能计划,确保到 2010 年全部新建建筑节能达到 50%,并将对所有新建建筑进行节能标志,所有新建建筑将分为达标建筑(节能 50%)、节能建筑(节能 60%)和低能耗建筑(节能 65%)^[6],要达到这个目标还有很大的难度,而对建筑的能耗进行调查就是建筑节能的一项基础性的工作。目前,有学者对广州地区的民用住宅的建筑能耗进行了调查和模拟实验,提出了一些针对亚热带地区建筑被动的建筑节能方案^[7~8],对商业类建筑的节能也有一些学者进行了研究,但还没有人对广州的商业类建筑特别是办公类建筑进行系统的能耗调查和分析。一般认为,公共商业类的建筑单位面积能耗是住宅类建筑的 4~10 倍。因此,对广州的商业办公类建筑进行全年能耗调查和分析,寻找其能耗的变化和规律,既能为夏热冬暖气候地区改善室内微气候和提高室内微环境的舒适性提供依据,同时,这也是一项基础性的建筑节能统计工作,为建筑节能和可持续发展决策提供依据。

1 调查与研究方法

1.1 调查方法

本研究基本的调查方法是采用现场抽样调查法,实际调查的办公楼有 9 栋,所选的调查对象为代表未来需要的智能型甲级商业办公大楼。课题组主要成员从 2004 年 12 月开始现场调查,在相关物业管理公司的配合和支持下,根据物业公司以往年度的用电日志和电费清单对商业办公楼的能耗进行统计,统计的数据包括主要的建筑设备如水泵、制冷机组、风机、空调末端、照明设备、电梯、停车系统等耗电情况,这些数据由设备本身所安装的配电箱电表进行记录获得(如个别未安装电表的设备,则根据供电局的总有功电量综合计算获得或估算获得),记录的数据类型包括设备的数量、负荷、运行时间以及用电量等。由于广州地区的这类商业建筑没有采用集中供暖设备,没有燃油的消耗,故本研究中建筑能耗调查仅仅指电力的消耗情况,即建筑设备的电耗和整个建筑的电耗。考虑到公共建筑的总建筑面积和实际使用面积并不一致,调查时还记录了这些公共建筑的空置率(或租赁率)。由于数据采集方面的困难,本研究的能耗调查并不包括消防、喷淋水泵、加压送风机、排烟风机和消防电梯等消防方面的能耗,但这并不影响问

题的阐述和分析,因为这些设备运行机会少、时间短,相对整个建筑全年的能耗可以忽略。

1.2 能耗概况

所调查的 9 栋办公类建筑分布在广州市的各个区,均属于比较新的综合性办公楼,具有广泛的代表性,能代表当前广州市大型办公楼的能耗使用情况。这些办公楼窗墙比 0.4~0.7,具有内遮阳措施(部分建筑还具有外遮阳措施),室内照明以荧光灯、节能灯为主,100%具有景观照明和夜景照明。所用的空调方式为全空气系统、风机盘管加新风系统或局部(分体)空调系统,因为空调系统的使用情况差别比较大,所以空调能耗的差别也比较大。所调查的 9 栋办公楼建筑能耗概况见表 1。

表 1 办公类建筑按建筑面积计算的能耗概况

项目 办公楼 编号	建筑 面积 10^4m^2	空调能耗 kWh/ $(\text{m}^2 \cdot \text{a})$	照明 能耗 kWh/ $(\text{m}^2 \cdot \text{a})$	办公 设备 kWh/ $(\text{m}^2 \cdot \text{a})$	其他 kWh/ $(\text{m}^2 \cdot \text{a})$	合计 kWh/ $(\text{m}^2 \cdot \text{a})$
1	4.0	52.45	14.88	13.34	45.13	125.8
2	6.5	37.69	23.50	24.95	14.26	100.4
3	1.84	38.12	33.27	19.35	20.47	111.21
4	2.63	25.97	18.74	16.98	24.38	86.07
5	3.45	38.82	24.63	20.14	13.46	97.05
6	2.35	23.04	21.64	17.05	10.45	72.18
7	1.93	30.48	22.33	19.62	26.32	98.75
8	3.87	40.63	19.65	22.46	15.67	98.41
9	2.86	26.45	24.32	18.69	11.24	80.7

注:表 1 中的其他指生活水泵、电梯系统、消防系统以及其他无法统计的能耗。

1.3 研究对象基本情况

在本次调查中,建筑面积超过 4 万 m^2 的大型办公类建筑仅有 2 栋(见表 2),故本文选用作为大型办公类建筑的例子进行分析。所调查的两栋现代化大型办公楼都属于智能型的综合性办公大楼,都位于繁华的广州市区,一个是 $\times\times$ 投资大厦(以下简称 B_1 建筑),位于珠江新城内新兴的中央商务区(CBD),另一个是广州 $\times\times$ 大厦(以下简称 B_2 建筑),位于传统的东风路商务区。

表 2 所调查的公共建筑基本情况

建筑 名称	建筑 面积 $/10^4 \text{m}^2$	层数 地上/ 地下	冷水机组		主要设备的 节能措施
			台数	总容量/kW	
$\times\times$ 投资 大厦(B_1)	4.0	19/2	3	1 312	智能控制
广州 $\times\times$ 大厦(B_2)	6.5	28/2	3	1 863	变频技术

这 2 栋建筑属于大型或超大型的办公类建筑,建筑功能齐全,都具有地下设备层和停车场,同时,还具

有空调制冷设备、电梯、消防设备、给排水设备、照明设备、办公设备、通信设施等所有现代办公建筑的功能特征,适合于各类企业入驻办公,因此,把这2栋建筑作为大型办公类建筑进行能耗调查具有一定的代表性。

2 结果分析

办公类建筑的能耗需要有一个长期的监测过程,本文由于条件所限,每栋建筑只记录到了3年(非连续3年)的能耗数据,为分析方便,两栋建筑的能耗取3年中能耗的平均值。为了便于比较和分析,所有设备能耗和建筑能耗都按照实际使用面积来确定,即换算成单位使用面积的能耗。 B_1 和 B_2 建筑每 m^2 建筑面积全年能耗分别为125.8 kWh和100.04 kWh。考虑此两栋建筑全年的平均租赁率(使用率)只有85%左右,如按实际使用面积计算,两栋建筑全年实际的单位面积能耗分别达到149.3 kWh和115 kWh。在各种建筑设备中,电梯的能耗全年都比较均衡,其次是风机和生活水泵的能耗。全年中能耗最不均衡的是制冷与空调设备。

B_1 建筑和 B_2 建筑全年的照明设备(包括建筑的景观照明、以及办公设备如电脑等的能耗)能耗分别为38.75 kWh/ m^2 和57 kWh/ m^2 。 B_1 和 B_2 建筑全年办公设备的能耗为21.24 kWh/ m^2 和29.35 kWh/ m^2 。因此,除去办公设备的能耗, B_1 和 B_2 建筑的照明和景观能耗全年约17.51 kWh/ m^2 为27.65 kWh/ m^2 。照明能耗全年比较稳定, B_2 建筑的照明能耗之所以远大于 B_1 建筑,是由于其追求豪华的装修和过多的景观照明造成的。

两栋办公楼总能耗和空调能耗最大的时间均出现在夏季, B_1 建筑是7月份,最大的总能耗和最大的空调能耗分别为18.3 kWh/ m^2 和12.6 kWh/ m^2 ; B_2 建筑是8月份,最大的总能耗和最大的空调能耗分别为14.7 kWh/ m^2 和8.42 kWh/ m^2 。而两栋办公楼总能耗和空调能耗最小的时间均出现在冬季(在广州的冬季有时也需要使用空调,但这时候未必需要开动冷水机组的主机,可以利用室外新风负荷或冷却塔来实现室内热量的转移), B_1 建筑是2月份,最小的总能耗和最小的空调能耗分别为5.23 kWh/ m^2 和1.02 kWh/ m^2 ; B_2 建筑是1月份,最小的总能耗和最小的空调能耗分别为5.15 kWh/ m^2 和0.27 kWh/ m^2 。以月份计,全年中, B_1 建筑总能耗和空调能耗最大月与最小月的比值分别为3.5倍和12.4倍,而 B_2 建筑分别为2.85倍和31.2倍。这说明空调制冷设备能耗对建筑总的能耗施加了最大的影响,同时也表明空调能耗主要受室外气象参数的影响。如有文献表明,上海市夏

季室外气温每升高 1°C ,其用电负荷将增加12.7万kW^[9]。因为广州市7月和8月的室外气温分别为 38.1°C 和 38.0°C ,是一年中最热的时期,7月和8月的室外太阳辐射量分别507 MJ/ m^2 和490 MJ/ m^2 ,为一年中太阳辐射最猛烈的月份^[10~11]。2栋建筑均显示空调是最大的能耗终端, B_1 和 B_2 的空调能耗全年分别为61.71 kWh/ m^2 和44.34 kWh/ m^2 ,分别占到总能耗的49.2%和38.5%。从5月份起,两栋办公楼的空调能耗全部超过了照明能耗。在能耗高峰期的夏季时段,空调设备的能耗一般为50%以上,最高达到了68.3%(B_1 建筑)。可见,空调负荷对城市电网的负荷影响最大。空调能耗急剧增加的原因除了照明设备、办公设备等的负荷最终变成了空调负荷外,引起空调能耗增加的另外一个因素是室外负荷进入室内所引起的。以 B_1 建筑为例,6月份空调能耗是9.77 kWh/ m^2 ,照明能耗是3.97 kWh/ m^2 ,7月份的空调能耗是12.6 kWh/ m^2 ,相应的照明能耗是3.94 kWh/ m^2 ,照明能耗基本上没有增加,所增加的空调能耗2.83 kWh/ m^2 可认为是由于室外气温升高所导致的建筑能耗增量。

图1是办公楼单位面积总能耗逐月变化情况,月度能耗与室外平均气温的变化趋势一致,但冬季室外气温最低的1月的建筑总能耗要稍高于2月,可能是有用户使用电取暖设备。图2是单位面积空调能耗逐月变化情况。对比图1和图2,总能耗和空调能耗的变化趋势相类似。空调能耗变化比较平坦的建筑(B_1),其总能耗的变化趋势也相应平坦一些。

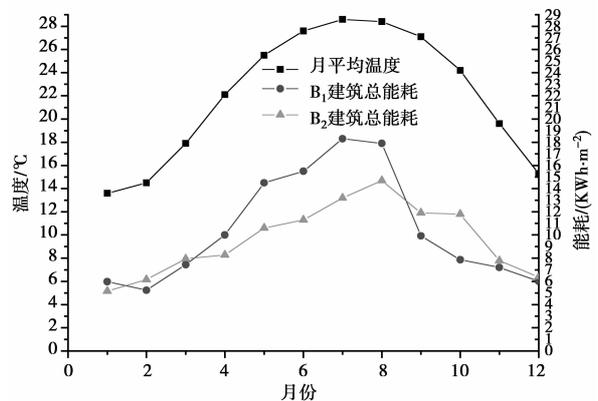


图1 商业办公楼单位面积全年能耗变化

图3是办公楼月度总能耗在全年中的比例变化,图3中的相对辐射量是指以太阳辐射最小的2月份的辐射量243 MJ/ m^2 作为基准10,其他月份与之相比的比值,单位为无量纲。由图3可知,电力负荷的高峰期主要集中在夏季,特别是7月和8月, B_1 和 B_2 办公楼能耗比例达到最大值达到14.6%和12.9%。因为办公设备、照明的负荷最终变成了空调负荷,所以,对办

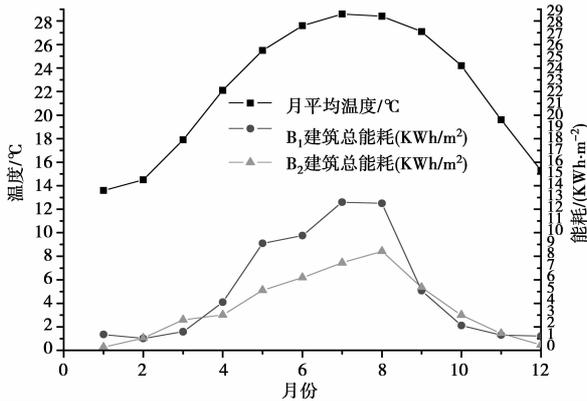


图2 商业办公楼单位面积全年空调能耗变化

公设备、照明的节能具有双重意义,即不仅这些设备本身节能有重要意义,而且还能减少空调的能耗。另外,从能耗曲线的月度变化情况来看,建筑围护结构的节能也具有重大的意义。假设空调负荷的30%是由玻璃通过辐射的形式引入的^[11],以B₁建筑为例,办公设备在7月份的能耗为1.77 kWh/m²,照明设备的能耗为3.94 kWh/m²,由辐射引起的空调能耗为3.78 kWh/m²,是办公设备能耗的2.14倍,接近于照明设备的能耗。因此,对广州这种日射强烈的地区,以大窗墙比和玻璃幕墙为特点的建筑设计风格是非常浪费能源的。

这2栋建筑的能耗数据在广州具有良好的代表性和真实性。首先,我们采取的是详细的调查方式,特别是用实际使用面积的能耗数据代替建筑面积的能耗数据,这无疑更精确,因为一般的调查数据没有涉及到建筑的实际租赁率或使用率。其次,我们使用了3年的数据,通过统计学的方法对能耗数据进行处理。如果仅使用一年或几个月的能耗数据进行分析,则由于气候、作息时间变化等因素,偶然因素比较大。第三,从能耗结果看,两栋建筑的年能耗分别为125.8 kWh和100.04 kWh,由于面积都在4万m²以上,属于大型的建筑,而且,这两栋建筑的结构、功能相类似,能耗数据相差不大,能耗特征也类似,因此,可以作为广州地区大型办公楼能耗数据的代表。可以预计,不是同类气候条件、同类建筑结构、同类空调模式、同类租赁水平的办公建筑,它们的能耗数据并不具有可比性。

3 与其他研究结果的对比

陈卫民等通过简化建筑特征和建筑负荷情况,用DeST软件模拟计算了广州地区不同建筑围护结构下大型甲级写字楼全年空调能耗情况,其结果在50~60 kWh/m²之间^[12],但他的研究并没有涉及到实际的空调能耗调查,也没有调查其他建筑设备和建筑总能耗的情况,但他提出了内遮阳建筑节能措施在广州地

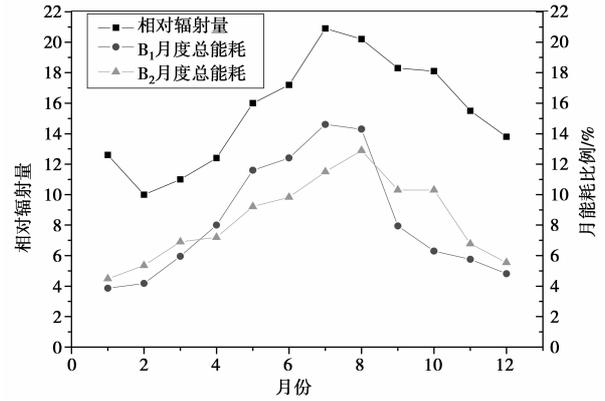


图3 商业办公楼月度总能耗与辐射量的关系

区的重要性。本文实测的两栋办公楼空调能耗全年分别为61.7 kWh/m²和44.34 kWh/m²,B₂建筑的空调能耗接近他提出的节能方案结果,可见,B₂建筑的节能措施实施得较好。陈小雁等估算了南京地区的商场照明负荷对空调能耗的影响,认为商场类建筑中的空调负荷有40%来自于室内的照明负荷,但他的研究中没有涉及到照明负荷在全年的能耗比例^[13],本文改进了他的工作,指出照明负荷在2栋建筑中分别为17.5 kWh/m²和27.65 kWh/m²,占全年总能耗的14%和24%。任俊等用DOE-2软件对广州地区的住宅空调能耗进行了分析,理论计算全年空调耗电量为32.17 kWh/m²。以26℃的室内温度实地测量,则全年的空调能耗为17~35 kWh/m²之间。住宅类建筑6-8月份的空调耗电量约占总用电量的70%,8月份的空调能耗一般占到全年空调能耗的18%左右^[8]。在我们的研究中,以B₁建筑为例,6-8月的空调能耗占全年空调能耗的56.5%,6-9月的空调能耗占同时期总能耗的50.8%,仅占全年总能耗的20.8%,可见,与同等气候条件下的住宅空调能耗相比,办公楼的空调能耗比例反而要小一些,主要原因是办公楼的照明设备和办公设备的能耗的绝对值也不小。梁珍等通过对深圳市高层办公建筑进行抽样调查,得出空调全年的能耗为22.5~51 kWh/m²之间(按建筑面积计算,下同),平均值为32.8 kWh/m²,建筑总能耗为45~195 kWh/m²之间,平均为95.8 kWh/m²^[14]。深圳和广州的气候相类似,经济发展水平也相差不大,他们的研究对广州市办公楼的能耗应该有一定的借鉴意义,但他们的研究没有考虑建筑面积和实际使用面积的差别,也没有考虑到办公类建筑实际的租赁率或使用率,导致办公类建筑能耗结果不是很准确,事实上,考虑到经济景气因素和物业管理水平,办公楼的实际使用面积与可使用面积可能相差较大,能耗调查不考虑实际的使用率或租赁率会使单位能耗的能耗偏大。本研究所做的调查按实际使用面积计算,能耗计算方法无疑

更准确。另外,本文最大的特点是考虑了办公类建筑的3个年度的年度平均能耗和逐月的月平均能耗变化,能耗调查是基于物业管理公司电费清单基础之上,并非估算得来的数据,跟别的调查或模拟的能耗相比,更准确。

4 节能分析

通过以上的分析可以得知,对办公类公共建筑,要从以下三个方面采取节能措施。(1)建筑立面应尽量减少用或不用玻璃幕墙,减少外窗的面积,特别是朝南的窗户面积,要控制建筑物的窗墙比,这方面广州已有立法方面的考虑;(2)如果要使用大面积的窗户,建议使用低辐射中空玻璃,这种玻璃允许可见光透过而阻挡热量进入室内,广州的气候除了室外温度比较高外,太阳辐射比较猛烈。广州7月的室外平均气温比5月仅增加 3.1°C ,但太阳辐射增加了30%以上,以 B_1 建筑为例,由此造成的空调能耗和建筑总能耗分别增加了38.5%和18.1%,7月份由辐射引起的空调能耗为 3.78 kWh/m^2 ;(3)减少照明的能耗和办公设备的能耗,以 B_1 建筑为例,办公设备在7月份的能耗为 1.77 kWh/m^2 ,照明设备的能耗为 3.94 kWh/m^2 ,几乎和辐射引起的空调能耗旗鼓相当,因为在空调季节,照明能耗最终要转化为空调的负荷和能耗。我们在调查中发现,广州的部分业主关注得更多的是物业是否美观、气派、富丽堂皇,租金回报是否理想,对建筑能耗考虑很少。如普遍喜欢使用大面积的玻璃幕墙或飘窗,大堂过分追求富丽明亮,装饰灯的数量超过照明灯的数量,办公设备长时间(甚至下班时间)处于待机闲置状态。从这些方面可以得知,广州的办公类建筑节能还有较大的空间。

5 结论

本文通过对大型办公类建筑3年的平均能耗进行调查并分析,可以得出如下结论:

1)在建筑的各种能耗终端中,全年能耗最均衡的是电梯,其次是风机和生活水泵的能耗,空调的能耗在全年最不均匀。

2)室外气温和太阳辐射是决定建筑能耗最重要的因素之一,建筑总能耗与室外气温和太阳辐射成正相关变化。

3)空调是办公类建筑最大的能耗终端和电力负荷终端,其次才是照明和办公设备能耗。从5月开始,空调的能耗比例超过照明能耗,建筑总能耗急剧增加。在一年中,空调的能耗非常集中,以 B_1 建筑为例,6~8月的空调能耗占全年空调能耗的56.5%,6~9月的空

调能耗占同时期建筑总能耗的50.8%,占全年总能耗的20.8%。显示减少空调能耗对降低建筑能耗乃至电网负荷有重要的意义。

4)办公类建筑全年的能耗主要集中在夏季,两栋建筑总能耗最高月与最低月的比值分别为3.5和2.85倍。因此,从能耗统计的角度证明,广州地区办公类建筑的节能主要考虑夏季的节能。办公类建筑的节能主要应从减少围护结构的传热和减少照明、办公设备的能耗方面考虑,但减少照明能耗具有双重的节能意义。

参考文献:

- [1] Y X ZHU, BR LIN. Sustainable housing and urban construction in China [J]. Energy and Building, 2004, 35(1):1289-1297.
- [2] J HOGAN, W Robert, J Huang, et al. China's energy efficiency design standard for residential buildings in the "hot-summer/cold-winter" zone. Proceedings Of The 4th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conservation in Buildings. Changsha, October 2-5, 2001[C]. Hunan, China, 2001.
- [3] V K MATHUR, I CHAND. Climatic design for energy efficiency in buildings [J]. IE (I) Journal. 2003(84): 33-28.
- [4] C SIMONSON. Energy consumption and ventilation performance of a naturally ventilated ecological house in a cold climate [J]. Energy and Buildings. 2005(37), 23-35.
- [5] T HIRANO, S KATO, S MURAKAMI, et al. A study on a porous residential building model in hot and humid regions; Part 1—the natural ventilation performance and the cooling load reduction effect of the building model [J]. Building and Environment. 2006(41), 21-32.
- [6] 李志生, 张国强, 刘建龙. 亚热带地区建筑能源效率与节能分析[J]. 广东工业大学学报, 2006, 33(1):1-8. LI Zhi-sheng, ZHANG Guo-qiang, LIU Jian-long. Building energy efficiency and energy saving analysis in subtropical climates zone [J]. Journal of Guangdong University of Technology, 2006, 33(1):1-8.
- [7] 陈明群, 吴祥生, 郑志勇, 等. 广州地区办公楼建筑窗户节能研究[J]. 建筑科学. 2004, 20(S1):260-264. CHEN Ming-qun, WU Xiang-sheng, ZHENG Zhi-yong, et al. The energy saving investigation on doors and windows of office buildings in guangzhou zones [J]. Building Science, 2004, 20(supplement):260-264.
- [8] 任俊, 刘加平. 广州居住建筑空调能耗实测研究[J]. 暖通空调. 2004, 34(5):18-24. REN Jun, LIU Jia-ping. Research on energy consumption of residential air conditioning in Guangzhou [J]. Heating

- Ventilating & Air Conditioning. 2004,34(5):18-24.
- [9] 龙惟定,白玮.我国民用建筑的空调发展前景.[EB/OL](2006-03-01)[2006-07-20] <http://paper.studa.com/2005/11-22/20051122103.html>.
- [10] 国家气象信息中心.[EB/OL](2006-06-22)[2007-08-22]. <http://cdc.cma.gov.cn/publicservice/climate.jsp?STPROVID=广东&station=59287>.
- [11] 任俊.广州地区建筑节能设计外墙及外窗技术要求[J].广州建筑.2002(6):29-31.
REN Jun. Technical measures of external wall and window for building energy conservation design in guangzhou [J]. Guangzhou Buildings. 2002(6):29-31.
- [12] 陈卫民,朱锦连.广州某广场塔楼幕墙方案节能设计分析[J].广东土木与建筑.2005(5):23-24,17.
CHEN Wei-min, ZHU Jin-lian. The energy saving design analysis of glass windows of some buildings in guangzhou[J]. Guangdong Architecture Civil Engineer-
- ing. 2005(5), 23-24, 17.
- [13] 陈小雁,李苏泷.商场照明节能潜力及其对空调能耗的影响[J].节能.2005,273(4):11-15.
CHEN Xiao-yan, LI Su-long. The energy saving potential of the mall ant its influence for the energy consumption of air-conditioners[J]. Energy Conservation. 2005,273(4):11-15.
- [14] 梁珍,赵加宁,郭骏.高层办公建筑能耗调查与节能潜力分析[J].节能技术.2001,19(1):19-21.
LIANG Zhen, ZHAO Jia-ning, GUO Jun. Investigation on shenzhen high-rise office building energy. Consumption and analysis of energy saving potentialities[J]. Energy Conservation Technology. 2001, 19(1):19-21.

(编辑 陈蓉)

(上接第111页)

5 讨论

本文回归的 WBGT 关联式的适用范围是: $26.5 \leq Ta \leq 41 \text{ }^\circ\text{C}$, $39\% \leq RH \leq 88\%$, $0 \leq SR \leq 1.059 \text{ w/m}^2$, $0 \leq V \leq 6.56 \text{ m/s}$, 基本能满足夏季计算 WBGT 指标的需要。在湿热地区本文提出的回归公式具有较高的可信度,但是否适用与其他气候区,还需要进一步的研究。

由于室外风速变化对自然湿球温度和黑球温度的影响非常复杂,本文提出的 WBGT 指标简化模型中没有考虑风速因素,但不可否认的是风速是影响人体热感觉和热舒适的重要参数,因此需要对室外动态气象要素对评价指标响应关系进行深入研究。

参考文献:

- [1] 董靛,陈启高.户外热环境质量评价[J].环境科学研究.1995,8(6):42-44.
DONG Liang, CHEN Qi-gao. Evaluation of outdoor thermal environment quality [J]. Research of Environmental Sciences. 1995,8(6):42-44.
- [2] 董靛.街谷夏季热环境研究[D].重庆:重庆建筑大学,1991.
- [3] ISO. International Standard 7243, hot environments- Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature) [S].
- [4] 绿色奥运建筑研究课题组.绿色奥运建筑评估体系[M].北京:中国建筑工业出版社,2003.
- [5] 林波荣.绿化对室外热环境影响的研究[D].北京:清华大学,2004.
- [6] JIN LING, MENG QINGLIN, ZHAO LIHUA. Thermal comfort of a courtyard in Guangzhou in summer. The 10th International Conference on Indoor Air Quality and Climate [C]. Beijing, 2005.
- [7] D. A. 麦金太尔.室内气候[M].龙惟定,等译.上海:上海科学技术出版社,1988.
- [8] D. S. MORAN, K. B. PANDOLF, Y. SHAPIRO, et al. An environment stress index (ESI) as a substitute for the wet bulb globe temperature (WBGT) [J]. Journal of thermal biology. 2001 (26):427-431.
- [9] 张文彤,闫洁. SPSS 统计分析基础教程[M].北京:高等教育出版社,2004.
- [10] 张文彤. SPSS 统计分析高级教程[M].北京:高等教育出版社,2004.

(编辑 陈蓉)