

doi:10.11918/j.issn.0367-6234.2015.02.006

城市综合体建筑人为排热及热湿气候动态预测

穆 康¹, 刘 京^{1,2}, 李芳芳¹, 卢 振³, 刘俊跃³, 张建利¹

(1. 哈尔滨工业大学 市政环境工程学院, 150090 哈尔滨; 2. 城市水资源与水环境国家重点实验室(哈尔滨工业大学), 150090 哈尔滨; 3. 深圳市建筑科学研究院有限公司, 5180492 广东 深圳)

摘 要: 为研究具备复合功能类型的城市综合体建筑人为排热规律及室外大气动态热平衡情况,建立了针对多种建筑类型及用能形式并存的区域热气候动态预测模型,并以深圳市某实际城市综合体项目为研究对象进行分析.结果表明:典型计算日内,该城市综合体在全天大部分时间段里都存在建筑人为排热,其排热规律主要体现各类建筑空调制冷系统的使用特点;整个计算期间内,建筑人为全热排热量占区域内总全热排热量的比例最大,约为 62.1%;城市综合体热岛强度日均值和整个计算期间峰值比单一城市功能区相应值高约 0.1~0.45 ℃,建筑人为排热是城市综合体区域内独特热气候形成的主要影响因素.

关键词: 城市综合体; 建筑人为排热; 动态预测模型; 室外热湿气候; 热岛强度

中图分类号: TU119

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2015)02-0031-06

Dynamic prediction on building anthropogenic heat release and thermal climate in urban complex

MU Kang¹, LIU Jing^{1,2}, LI Fangfang¹, LU Zhen³, LIU Junyue³, Zhang Jianli¹

(1. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, 150090 Harbin, China;

2. State Key Laboratory of Urban Water Resource and Environment(Harbin Institute of Technology), 150090 Harbin, China;

3. Shenzhen Institute of Building Research Co. Ltd., 518049 Shenzhen, Guangdong, China)

Abstract: To study the building anthropogenic heat emission law and outdoor atmospheric dynamic thermal balance in urban complex which has multiple functions, an urban complex thermal climate dynamic prediction model is developed and applied to an actual planning project in Shenzhen. The results show that the heat release from building happens in most of the time of a typical calculation day, and the heat release law follows the operation law of the corresponding type of air conditioning refrigeration system. During the whole calculation period, the building anthropogenic heat accounts for the largest proportion of the total heat released, which is about 62.1%. The heat island intensity daily average value and maximum value in the whole calculating period of the urban complex area is 0.1~0.45 ℃ larger than that of the common urban area with a single building type. The above results suggest that the anthropogenic heat discharge from building is one of the main factors for the formation of hot and wet climate in this urban complex area.

Keywords: urban complex; building anthropogenic heat release; dynamic prediction model; outdoor thermal climate; heat island intensity

与单一功能为主的住宅社区、商业区等不同,城市综合体一般由三种或三种以上功能类型的建筑群组成,各部分之间相互依存而形成紧凑有机

整体,其体量和容积率普遍比单一功能城市区域要高;从用能特点看,城市综合体中多种形式的能源系统并存,其能源应用和排热随时间、空间的变化规律都与单一功能的城市区域不同,因而城市综合体被认为是一种新的可持续的城市生长方式而得到越来越广泛的应用^[1-2].城市综合体的上述特点也导致了其区域大气热湿气候的特征、形成规律与单一功能的城市区域情况完全不同^[3].

收稿日期: 2014-07-06.

基金项目: 深圳建科院开放课题(YN2012001-1).

作者简介: 穆 康(1986—),女,博士研究生;

刘 京(1972—),男,教授,博士生导师.

通信作者: 穆 康, mukanghit@163.com.

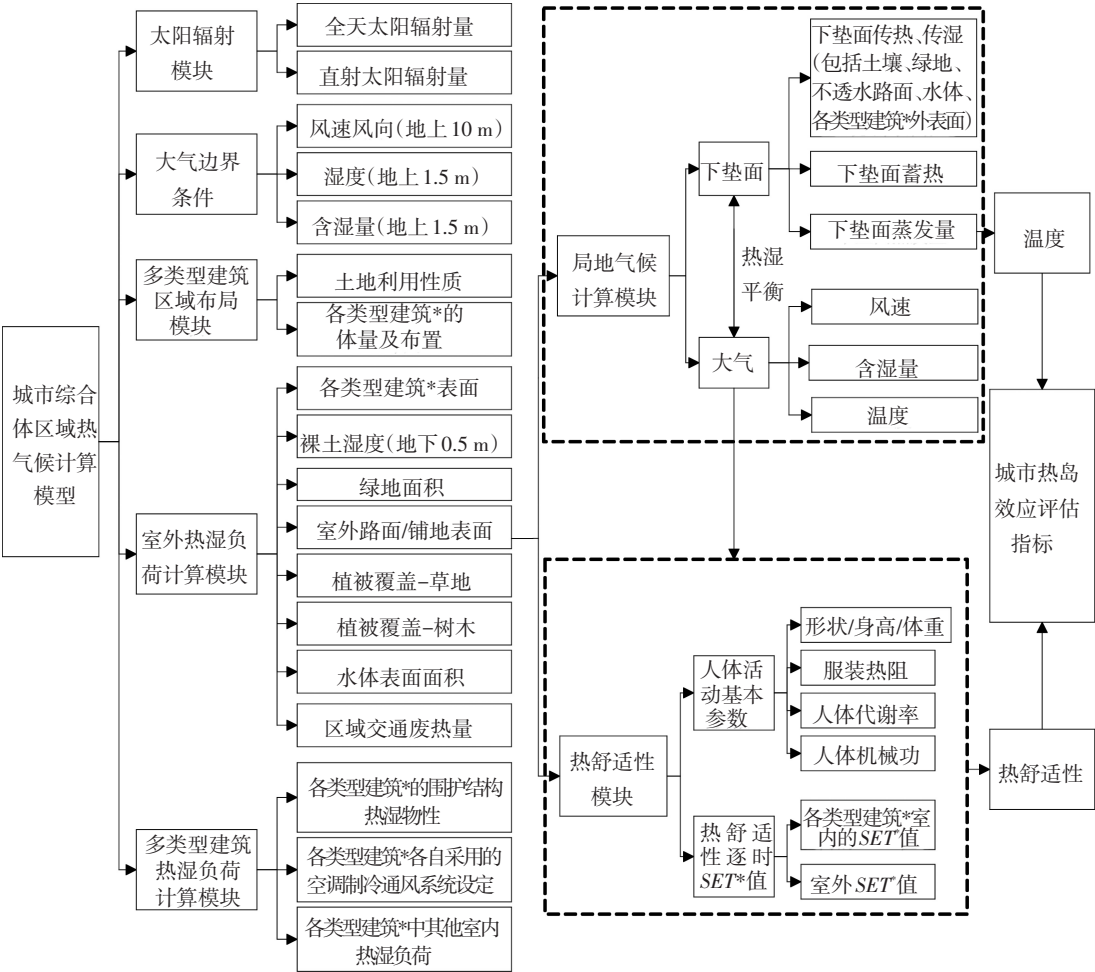
Bueno 等^[4]对图卢兹市内的居住区和商业区、Ohashi 等^[5]对东京办公区进行了热排放与气温值的计算;陈宏等^[6]以东京具有代表性的商务街区作为研究对象分析各类人为排热对区域热环境的影响.以上研究均以单一类型建筑街区为主要对象,对多种建筑类型并存的复杂城市综合体室外热气候的研究相对有限.

本文结合城市综合体的功能特性和用能特点,基于已有城市区域热气候预测模型,开发出针对多类型建筑并存的城市综合体热气候预测模型,然后将此计算模型应用于深圳市某实际项目来研究城市综合体内建筑人为排热和热湿气候随时间变化规律.

1 城市综合体建筑人为排热及热湿气候动态预测数值模型

本研究基于已开发的城市区域热气候预测模型^[7-9],该模型仅针对单一功能城市区域,由局地

气候模块、建筑热湿负荷计算模块、太阳辐射计算模块以及热舒适性模块等部分组成,各模块间紧密联系、相互影响,从而获得城市区域内热湿气候和能量交换的动态计算结果,此模型已通过实测研究验证了其合理性^[10].在此模型基础上,本研究在对现有城市综合体构成进行调研的基础上^[2],分别建立居住、办公、商业金融、宾馆、体育、文化娱乐、学校、图书馆、医疗等 9 类城市综合体内常见建筑类型的相关数据库,将原有的单一建筑类型城市区域热气候预测模型中的各计算模块进行相应扩充,构建成新的城市综合体热气候预测模型.该新模型可按照实际城市综合体区域内各类型建筑的组合关系和比重,将不同类型建筑围护结构热湿物性、空调制冷系统种类与运行时间、室内空调设定温湿度、换气次数、室内逐时显热潜热散热量等数据同时输入,实现了多类型并存时的建筑负荷、人为排热量、相应的城市综合体内热湿气候之间动态耦合模拟.模型基本框架见图 1.



各类型建筑*: 1 居住类建筑; 2 办公类建筑; 3 商业类建筑; 4 学校类建筑; 5 图书馆类建筑; 6 宾馆类建筑; 7 医疗类建筑; 8 体育馆类建筑; 9 娱乐类建筑.

图 1 城市综合体区域热气候计算模型基本框架

某类型建筑内房间热湿负荷计算:

$$C_p \rho V_{m,i} \frac{d\theta_{m,i}^r}{dt} = \sum A_{m,i,j} \alpha (\theta_{m,i,j} - \theta_{m,i}^r) + C_p \dot{m}_{m,i} (\theta^o - \theta_{m,i}^r) + H_{g,m,i} - H_{a,m,i}, \tag{1}$$

$$\rho V_{m,i} \frac{dX_{m,i}^r}{dt} = \dot{m}_{m,i} (X^o - X_{m,i}^r) + L_{g,m,i} - L_{a,m,i}. \tag{2}$$

式中: C_p 为空气比热, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$; ρ 为空气密度, kg/m^3 ; V 为容积, m^3 ; θ 为温度, $^{\circ}\text{C}$; t 为时间, s ; A 为室内各壁面面积, m^2 ; $\dot{m}$ 为新风量, kg/h ; H_g 为建筑内部人员、照明、电器设备等的产热量, W ; H_a 为空调系统制冷量, W ; X 为含湿量, g/kg ; L_g 为建筑内部产湿量, g/h ; L_a 为空调系统除湿量, g/h ; 另外, 下标变量 m 为建筑类型; i 为该类型建筑中的某房间; j 为房间内某壁面, 上标变量 r 代表室内参数, o 代表室外参数。

由某类型建筑空调制冷系统带来的排热量如式(3)所示, 区域内所有建筑向大气排放的全热、显热及潜热排热量计算如式(4)~(6)所示, 同时考虑系统不同, 排热高度的空间差异对排热计算的影响:

$$Q_{m,l} = (1 + 1/\text{COP}_{m,l}) \cdot H_{\text{total},m} \cdot \text{IP}_{m,l}, \tag{3}$$

$$Q_{\text{total}} = \sum_{m=1}^M \sum_{l=1}^L Q_{m,l} \cdot \eta_m, \tag{4}$$

$$Q_{\text{sensible}} = \sum_{m=1}^M \sum_{l=1}^L Q_{m,l} \cdot \eta_m \cdot \varepsilon_l, \tag{5}$$

$$Q_{\text{latent}} = \sum_{m=1}^M \sum_{l=1}^L Q_{m,l} \cdot \eta_m \cdot (1 - \varepsilon_l). \tag{6}$$

式中: Q 为空调排热量, W ; H_{total} 为空调全热负荷, W ; COP 为制冷机组性能系数; IP 为制冷机组负荷相关系数^[9]; η 为某类型建筑面积占区域内总建筑面积百分比; ε 为某类型制冷机组系统的显热比^[9]; M 为计算对象区域所包含建筑类型总数; L

为计算对象区域中各类建筑采用的空调制冷系统类型总数, 本模型中考虑了包括离心式冷水机组、空气源热泵机组等多种常见制冷机组系统的排热特性。另外, 下标变量 l 为制冷机组类型。

2 实际城市综合体热湿气候动态评估

2.1 概要

以深圳市某实际规划项目为模拟对象, 该规划项目用地中民用建筑总面积约占 132.94 万 m^2 , 建筑容积率为 1.89 , 是一个典型的城市综合体, 主要包括 3 种类型建筑: 商业建筑、居住建筑和办公建筑。

计算期间选取夏季典型月^[11] 7 月—8 月的 4 周时间, 计算期间内平均气温接近 28°C , 最高气温为 34°C ; 除个别日期外, 整个计算期间内的含湿量值也较高, 平均值达到 $20.53 \text{ g}/\text{kg}$, 平均相对湿度达到 75% ; 另外, 计算期间内平均风速水平适宜, 约为 $2.76 \text{ m}/\text{s}$; 水平面全天太阳辐射强度为 $159 \text{ W}/\text{m}^2$, 最大值达到 $1314 \text{ W}/\text{m}^2$ 。综上, 该地区在计算期间内表现出高温、高湿、太阳辐射强的特点。

通过对区域内的建筑物布局进行统计分析, 将不规则的建筑布局简化为整齐的方形建筑群, 确定该区域内各种下垫面的覆盖率分别为: 29% (建筑)、 41% (不透水人工路面)、 14% (草地) 和 16% (树木)。各类型建筑围护结构热工参数、空调制冷系统设定参数等参考当地建筑节能设计标准^[12-13], 主要计算条件见表 1, 各类型建筑的负荷日变化率^[12-13] 如图 2~4 所示。另外, 城市交通产生的汽车废热排放也必须考虑。根据文献^[14] 中给出的繁忙路段机动车尾气排放的废热量和日变动比率, 并考虑到城市发展规模、同一城市内部具体区域交通性质的差异, 本对象区域交通废热峰值按 $8 \text{ W}/\text{m}^2$ 取值, 其日变化率见图 5。

表 1 城市综合体区域内各类型建筑参数及空调参数设定

建筑类型	各类型建筑面积占地块 总建筑面积百分比/%	新风量/ ($\text{m}^3 \cdot (\text{h} \cdot \text{人})^{-1}$)	空调制冷系统类型	室内空调温、 湿度设定条件	空调启闭 时间/h	空调系统 排热高度
居住	37	30	分体式空调	26°C ; 70%	17:00—23:00	各楼层顶部高度
办公	52	30	电动水冷式冷水机组	26°C ; 60%	08:00—18:00	屋顶排热
商业	11	20	电动水冷式冷水机组	26°C ; 60%	09:00—21:00	屋顶排热

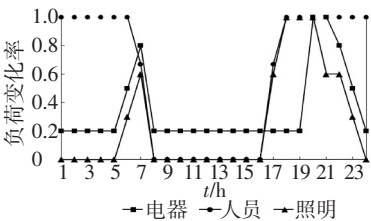


图 2 负荷日变化率(居住建筑)

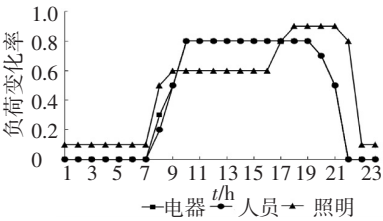


图 3 负荷日变化率(商业建筑)

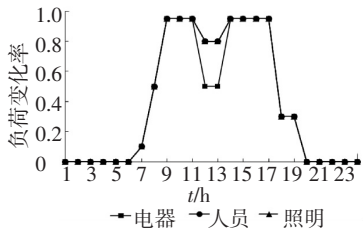


图 4 负荷日变化率(办公建筑)

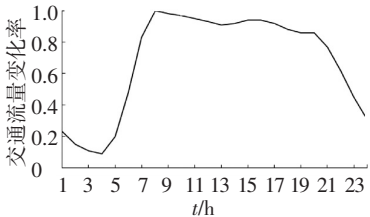


图 5 交通流量日变化率

2.2 计算结果及分析

基于建立的城市综合体区域热气候计算模型,开发出了相应动态预测软件,利用此计算模型及模拟软件,并结合深圳实际规划项目来研究城市综合体区域内的热气候.图 6 为软件部分计算参数输入界面示意图.



图 6 计算参数输入界面

2.2.1 城市综合体典型日各类建筑人为排热计算

不同类型建筑的功能不同,其建筑围护结构及室内人员活动规律也不同,导致不同类型建筑内部的负荷逐时变化规律、采用空凋制冷系统的形式等都存在明显差异,最终使得各类建筑人为排热随时间变化规律和数值大小上也各有不同,选取计算期间内室外平均温度最高的第 11 日作为典型日,对此城市综合体居住、办公、商业建筑人为排热的逐时变化量进行模拟计算和分析,其结果与当日气象数据见图 7.

对建筑排热的时间分布规律进行分析,办公、商业、居住建筑的排热时间分别集中于各自空调系统启闭时间段 08:00—18:00、09:00—21:00、17:00—23:00 内,因此,单一类型建筑排热随时间分布变化规律主要受该类型建筑功能特点影

响,其建筑排热时间相对集中;与单一类型建筑区域不同,由于城市综合体区域内同时包含 3 种功能类型建筑,因此该区域内建筑排热随时间分布较为分散,该城市综合体在全天大部分时间 8:00—23:00 里都存在较大的建筑人为排热,从而对区域内室外热湿气候产生了长时间持续性的影响.

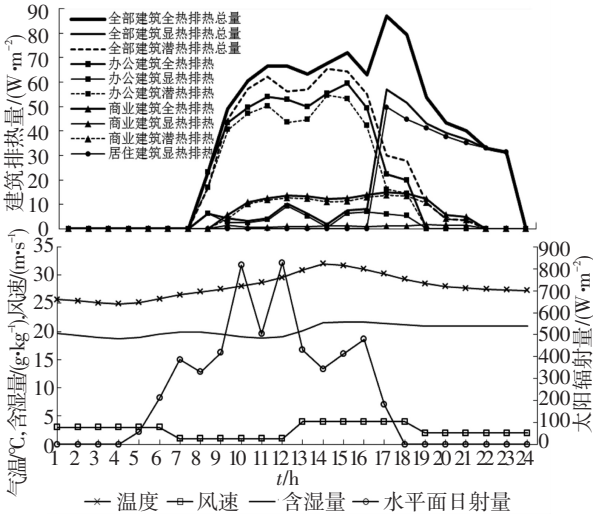


图 7 典型日气象参数变化及建筑人为排热量逐时变化曲线

另外,从建筑排热的峰值大小和出现时间来看,城市综合体建筑的显热、潜热排热峰值约为 57 W/m^2 和 65.5 W/m^2 ,分别出现在 17 点和 14 点,这是因为按设定条件,居住建筑采用分体式空凋机形式,建筑人为排热全部以显热形式向外排放,显热排热的规律主要体现居住建筑空凋制冷系统的使用特点;而办公建筑与商业建筑采用电动水冷式冷水机组形式,以显热和潜热两种建筑人为排热形式向外排放,其中潜热排热占总排热量 70%~80% 的较大比例,潜热排热的规律主要体现办公和商业建筑空凋系统的使用特点.由于各类型建筑所占比重及排热时间规律不同,全热排热的峰值出现在 17 点,由居住、办公及商业建筑的排热共同构成,约为 86.9 W/m^2 .可以发现由于不同类型建筑排热错峰的效果,实际上的排热强度要低于 $125\sim 190\text{ W/m}^2$ 等很多文献中单一类型建筑区内空凋排热估算值^[4,15].

2.2.2 城市综合体典型日大气长期动态热平衡分析

为了实现对城市综合体区域这一相对开放的室外空间进行热量平衡和转换分析,本研究以近地边界层顶端为上边界建立一个假想的封闭空间,其内部热量平衡关系见图 8.其中,由于研究对象封闭空间的外部气象参数不易确定,左右侧边界处的温度差、含湿量相差不大,并且侧边界处的

面积相比上下侧水平边界的面积很小可以忽略,因此该研究不考虑流经左右侧边界处的热量。

根据以上能量关系,采用文献[9]提出的研究方法,可得整个计算期间内,此城市综合体区域对应的大气空间内全热通量收支的日平均值变化情况,见图 9。设进入区域大气空间的热量(或流出冷量)为正,流出的热量(或流入冷量)为负。

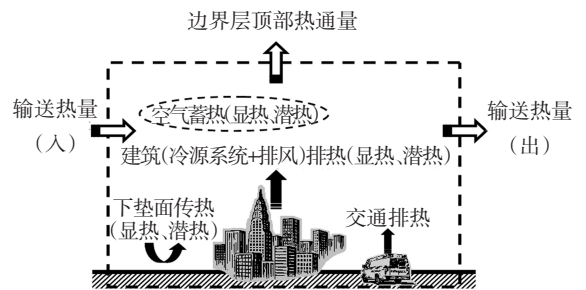


图 8 城市冠层内热收支概念图

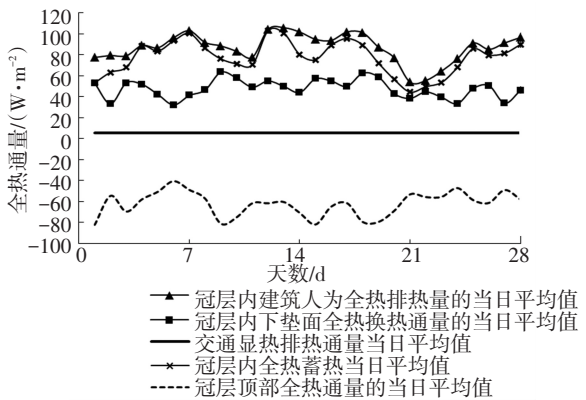


图 9 单位区域面积大气全热收支日变化

城市综合体冠层内全热排热主要包括建筑人为排热、下垫面排热及交通排热等部分,在整个计算期间,建筑人为全热排热日平均值为 77 W/m^2 ,该部分全热排热总量占区域内总全热排热量的比例最大,约为 62.1%;下垫面全热换热的日平均值为 48 W/m^2 ,该部分全热排热总量占区域内总全热排热量的比例约为 34%;交通排热的日平均值为 5.43 W/m^2 ,该部分排热总量占区域内总全热排热量的比例为 3.9%,另外,全热得热总量中除了大约 44.7%的热量排出至大气边界层之外,其他 55.3%的全热排热量成为大气空气块的蓄热部分,最终造成该区域的持续高温高湿状态。

由以上数据分析及图 9 所示,城市综合体内建筑排热受空调系统使用规律影响而随时间变化,且其日均值及排热总量所占比例最大,成为该区域内全热得热的最主要来源;居于其次的是该区域内下垫面换热量,其日均值和排热总量所占比例也保持较高水平,分析原因主要是由于该区域内不透水人工路面覆盖率为 41%,而草地和树

木覆盖率仅为 14%和 16%,高覆盖率的不透水人工表面一方面大大削弱了城市下垫面水分蒸发作用,另一方面不透水人工表面日射吸收率高于树叶和草地,导致其在白天吸收大量的太阳辐射并通过对流换热向大气释放更多热量。综上,整个计算期间建筑排热和下垫面换热均保持较大强度并各自具备时间分布特点,它们是城市综合体热气候形成并长期波动的主要因素。

2.2.3 城市综合体与单一城市功能区域的局地热岛强度对比分析

为进一步分析城市综合体区域热湿气候的特点,利用已建立的计算模型,分别对包含多类型建筑的实际城市综合体、以及仅包含单一建筑类型的城市功能区等多个算例在计算期间内的平均局地热岛强度进行对比计算,各算例中除了各类建筑热湿负荷模块的相关设置不同以外,区域内气象数据、下垫面参数、建筑布局等其他参数的设定均相同。

其中平均局地热岛强度通过以下两个工况进行对比计算,以反映对象区域的城市化进程对热气候的影响:1)实际工况对应于本文 2.1 节中所设定的深圳市某实际规划项目的城市综合体下垫面构成和城市人为排热参数的实际算例,反映该区域热气候现状;2)基准工况对应于对象区域之外的郊区状况以作为实际工况的对比算例(郊区以居住建筑为主,其建筑容积率为 0.7,各种下垫面的覆盖率分别为 12%(建筑)、10%(不透水人工路面)、41%(草地)和 37%(树木)).平均局地热岛强度=(同一计算期间实际工况下 1.2 m 高度平均气温)-(同一计算期间基准工况下 1.2 m 高度平均气温)。

表 2 中给出了各算例在白天、夜间及全天不同时间段内的平均局地热岛强度计算值.总体来看,所有算例在白天时段的热岛强度值均小于夜间值,且全天平均局地热岛强度值处于较高水平.深圳市气象局采用相同指标实测发布的夏季平均城市热岛强度值为 $1.17\text{ }^{\circ}\text{C}$ [16],说明本文各算例的模拟结果较为合理,其中实际城市综合体区域热岛强度值要偏高于深圳市平均水平.不同性质的城市区域体现出来的热岛强度规律不同:居住区白天的热岛强度值最低,比办公、商业等公共建筑区域低 $0.25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,而夜晚的热岛强度值则要高 $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右.以办公或商业建筑为代表的公共建筑区域表现出与居住建筑相反的特点.对比之下,实际城市综合体受到各类型建筑人为排热不同时间规律的共同影响,白天和夜间的热岛强度

值都维持在较高水平,因而城市综合体全天的热岛强度平均值在各算例中最大.同时,城市综合体在整个计算期间的热岛强度峰值也比其他算例要高 0.1~0.45℃.

表 2 计算期间内不同时段各算例的平均局地热岛强度值℃

算例	日平均值	白天时段平均值 (8:00—20:00)	夜间时段平均值 (21:00—7:00)	计算期间内峰值
1: 实际城市综合体(居住 37%、办公 52%、商业 11%)	1.32	1.02	1.65	3.79
2: 居住区(居住 100%);	1.22	0.79	1.72	3.66
3: 办公区(办公 100%);	1.21	1.06	1.39	3.53
4: 中心商业区(商业 100%)	1.22	1.04	1.43	3.34

3 结 论

1) 由典型日数据可以看出,不同于单一类型建筑排热时间相对集中,该南方典型城市综合体在全天大部分时间段里都存在建筑人为排热,全热排热峰值出现在 17 点约为 86.9 W/m²,区域内建筑人为排热的规律主要体现各类建筑空调制冷系统的使用特点.

2) 整个计算期间,建筑人为排热总量占区域内总全热排热量的比例最大,约为 62.1%,其次是下垫面换热量,所占比例为 34%,说明建筑人为排热和下垫面换热是城市综合体高温气候形成的主要因素.

3) 与单一城市功能区的热岛强度值相比,城市综合体在白天和夜间时段的热岛强度值均处于较高水平,使得城市综合体的热岛强度无论是日均值还是整个计算期间峰值都比单一城市功能区相应的热岛强度值高约 0.1~0.45℃.

参考文献

[1] 董贺轩,卢济威. 作为集约化城市组织形式的城市综合体深度解析[J]. 城市规划学刊,2009(1):54-61.

[2] 施瑛,潘莹. 高效低耗集约化的城市综合体研究[J]. 华中建筑,2010,28(6):36-39.

[3] ICHINOSE T, SHIMODOZONO K, HANAKI K. Impact of anthropogenic heat on urban climate in Tokyo[J]. Atmosphere Environment, 1999, 33(24/25):3897-3909.

[4] BUENO B, NORFORD L, PIGEON G, et al. Combining a detailed building energy model with a physically-based urban canopy model[J]. Boundary-Layer Meteorology, 2011, 140(3):471-489.

[5] OHASHI Y, GENCHI Y, KONDO H, et al. Influence of air-conditioning waste heat on air temperature in Tokyo during summer; numerical experiments using an urban

canopy model coupled with a building energy model[J]. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 2007, 46(1):66-81.

[6] CHEN Hong, OOKA R, HUANG Hong, et al. Study on mitigation measures for outdoor thermal environment on present urban blocks in Tokyo using coupled simulation[J]. Building and Environment, 2009, 44(11):2290-2299.

[7] 刘京,姜安玺,王琨,等. 城市局地-建筑耦合气候评价模型的开发应用[J].哈尔滨工业大学学报,2006,38(1):38-40,55.

[8] 朱岳梅,姚杨,马最良,等. 室外环境热舒适性模型的建立[J].建筑科学,2007,23(6):1-3.

[9] 朱岳梅,刘京,姚杨,等. 建筑物排热对城市区域热气候影响的长期动态模拟及分析[J].暖通空调,2010,40(1):85-88.

[10] 朱岳梅,刘京,荻岛理,等. 城市冠层模型的扩展与验证[J].建筑科学,2007,23(2):84-87,103.

[11] 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.

[12] SZJG29—2009 公共建筑节能设计标准-深圳市实施细则[S].北京:中国建筑工业出版社,2009.

[13] SJG 10—2003 深圳市居住建筑节能设计规范[S].深圳:深圳市建设局,2003.

[14] 佟华,刘辉志,桑建国,等. 城市人为热对北京热环境的影响[J].气候与环境研究,2004,9(3):409-421.

[15] 田喆,朱能,刘俊杰. 城市气温与其人为影响因素的关系[J].天津大学学报:自然科学与工程技术版,2005,38(9):830-833.

[16] 深圳市国家气候观测台(市气候中心),深圳市 2012 年城市热岛监测公报[EB/OL].(2013-02-25)[2014-07-15] <http://www.szbm.gov.cn/article/QiHouYeWu/qhgcyg/csqhgb/2013/02/25/512b2d318507c.html>.

(编辑 赵丽莹)