

doi:10.3969/j.issn.1674-4764.2013.01.024

城市居住区室外热环境的分析方法

罗庆,余九一,王汉斌,汤小敏

(重庆大学 三峡库区生态环境教育部重点实验室,重庆 400045)

摘要:针对建筑室外热环境模拟研究中对物理模型过于简化的问题,提出了一种基于数字图像分析的室外热环境模拟方法,实现了图像处理技术与数学模型的结合,有效地分析了室外热环境分布情况,并在测试结果和模拟结果的对比分析中得到证实,研究结果为室外热环境的研究方法提供了新的参考。

关键词:室外热环境;图像分析;居住区

中图分类号:X87 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2013)01-0147-06

Analysis Method for Outdoor Thermal Environment of Residential Community

Luo Qing, Yu Jiuyi, Wang Hanbin, Tang Xiaomin

(Key Laboratory of the Three Gorges Reservoir Region's Eco-Environment, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China)

Abstract: The physical model was simple in current outdoor thermal environment research, thus a new analysis method based on image processing was presented. With the combination of image processing and mathematical model, the new method was used to analyze the outdoor thermal environment of residential area and was validated by the comparison between the data from experiment and simulation. The results provide a new method for the simulation of outdoor thermal environment.

Key words: outdoor thermal environment; image processing; residential community

由于城市居住区热环境的研究涉及了一些复杂建筑、材料和环境等因素,为了进行相关研究,一些研究工作采用了简化的方式,例如对单体建筑进行室外热环境研究^[1],或者对室外热环境中的单一因素进行分析^[2-9]。另外一些研究工作则是针对分析区域进行了最大限度的简化,然后采用 CFD 建模的方式进行分析^[10-12],虽然该方法的求解结果具有较详细的分布信息,但是由于室外区域的构成情况通常是比较复杂的,特别是对一些研究区域较大情况,因此,采用 CFD 建立计算机模型时,必然会对物理模型进行了简化,从而丢失了物理模型的部分原始信息。同时,在 CFD 求解室外区域热环境中涉及到的太阳直射、散射能量在区域中的详细分布,天空视

角系数的分布等信息仍然存在一定的困难。

针对居住区当前室外热环境研究中存在的问题,本文采取了一种新的分析方法^[13],该方法采用了数字图像分析的基本原理,将分析区域的原始信息,例如建筑布局、建筑材料、绿化分布、水体分布等信息根据它们的像素值的差异性识别出来,这样在计算模型建立过程中最大限度的保留了物理模型的原始信息,并将这些因素的热物理参数信息融入到整体的居住区室外热环境模型中去。

1 图像分析方法

1.1 图像分析的基本原理

主要用到真彩色图像(RGB),它是利用 Red、

收稿日期:2012-02-24

基金项目:国家自然科学基金(51178481、50808182、50838009);中央高校基本科研业务费(CDJZR10210008)

作者简介:罗庆(1976-),男,博士,主要从事建筑热环境研究,(E-mail)luoqing96@163.com。

Green、Blue 3 个单色分量表示 1 个像素颜色^[14-15], 并结合物体的光谱特性分布, 分析每一种物体特定的颜色像素值, 并根据其像素值的分布特点, 对图像进行识别, 就能识别出某一类的下垫面物体。本文引入了数字图像处理的原理, 如图 1 所示, 并利用它的数据结构来储存和提取居住区热环境的相关信息。

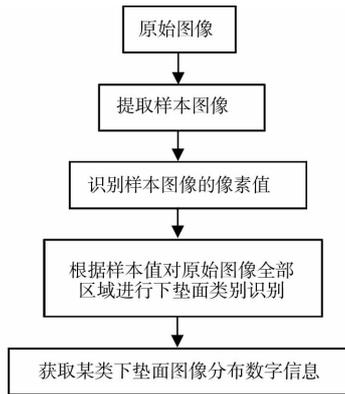


图 1 图像分析的基本原理

1.2 图像识别过程

根据上述的基本原理, 对某居住区的实际案例进行相关分析。图 2 是某小区的原始数字图像, 其颜色的像素值数据结构为: $400 \times 400 \times 3$, 即它是由 3 个 400×400 的数学矩阵构成, 该分析区域的实际尺寸为 $1\ 600\ \text{m} \times 1\ 600\ \text{m}$ 。

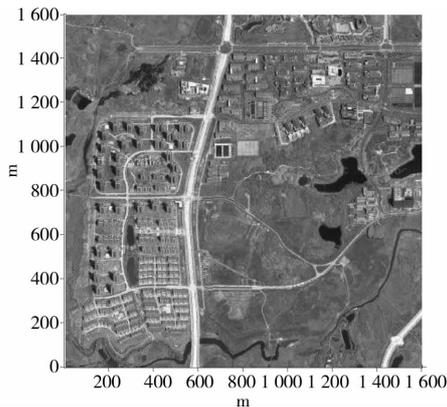


图 2 分析区域的原始图像

根据该区域识别的不同下垫面的样本值, 分别设置图像识别标识值, 在全部图像区域内对 R、G、B 3 个图层进行识别, 找出对应的下垫面材料分布。以下是不同下垫面识别标识值分布:

植被区域: $P_{\text{vegetation-area}} = [V_R \in (30, 70)] \cap [V_G \in (40, 115)] \cap [V_B \in (30, 80)]$

建筑区域: $P_{\text{building-area}} = [V_R \in (89, 102)] \cap [V_G \in (73, 87)] \cap [V_B \in (59, 80)]$

硬化路面: $P_{\text{road-area}} = [V_R \in (80, 140)] \cap [V_G \in (54, 90)] \cap [V_B \in (80, 150)]$

水体区域: $P_{\text{water-area}} = [V_R \in (0, 30)] \cap [V_G \in (10, 31)] \cap [V_B \in (180, 223)]$

图 3~6 是对图 2 中全部像素值识别后得到的各类下垫面的图像分布, 根据这些识别后的图像, 可以设置各类下垫面的热物性数据, 为后期的室外热环境数学模型的分析过程提供基础数据。

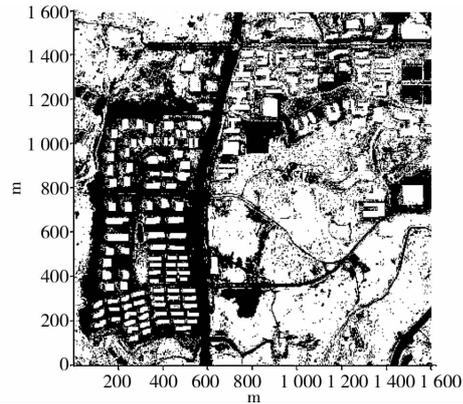


图 3 图像识别后的硬化路面

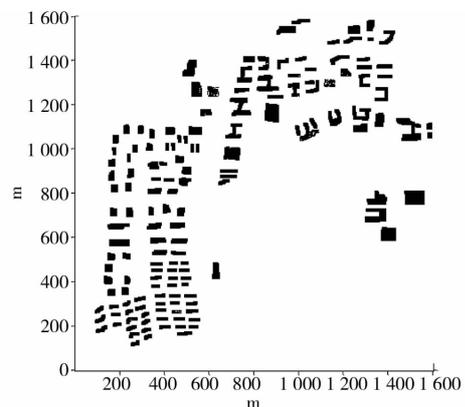


图 4 图像识别后的建筑分布

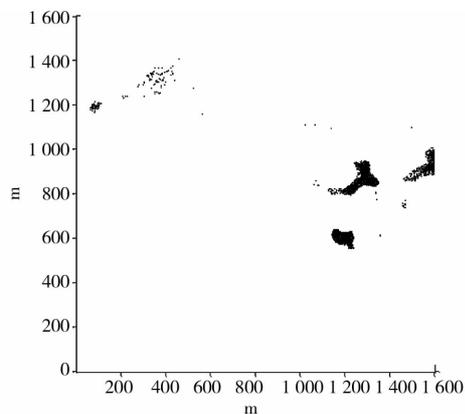


图 5 图像识别后的水体分布

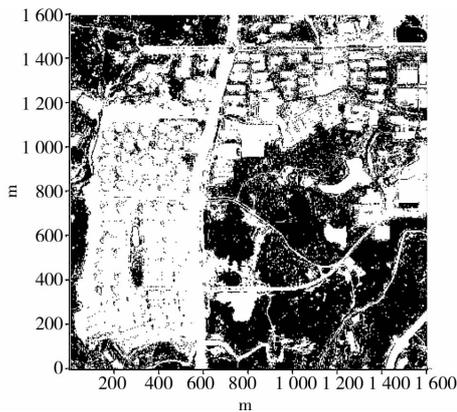


图 6 图像识别后的植被分布

1.3 图像分析与数学模型的结合

通过识别得到的下垫面材料分布后,对各类下垫面材料设置相应的热物理属性参数^[16-17],这样在整个图像区域内得到了包括不同材料密度、比热、导热系数等参数的图像分布,并将这些数据信息全部储存在不同的 400×400 像素的数学矩阵中,每一个矩阵都对应一个数据文件,在利用室外热环境数学模型进行分析时,分别调用相应的数据文件。数字图像和数学模型的基本结合点是像素单元,所有的计算过程都是在像素单元内完成的,其基本的计算思路如图 7 所示。

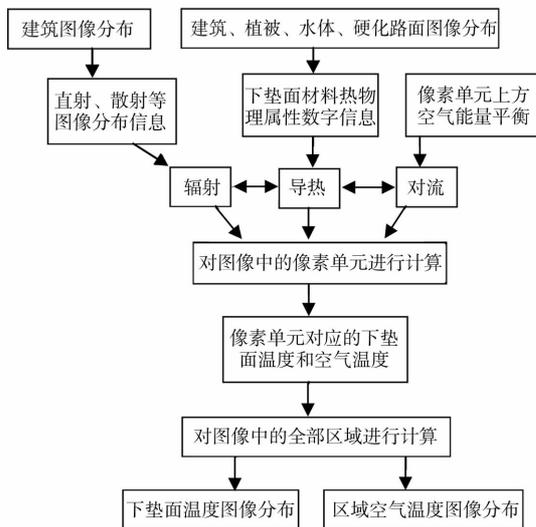


图 7 数学模型与图像分析方法结合框图

2 数学模型的建立

2.1 下垫面导热模型

2.1.1 建筑外围护结构导热解析 对建筑外围护结构(图 8)采用的基本计算公式是一维非稳态导热方程:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) \quad (1)$$

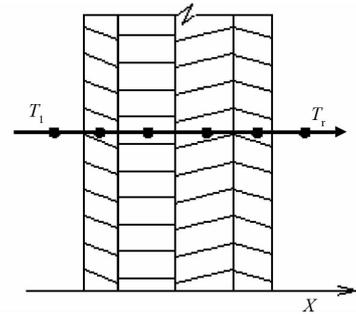


图 8 建筑外围护结构图

$$\text{边界条件: } -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = \alpha_r (T_r - T) + (1 - \rho) \cdot Q_{WT} -$$

$$Q_s \quad (x = \text{外壁}), \quad (2)$$

式中: α_r 为室外空气与外壁的对流换热系数; Q_{WT} 为外壁接受到的总辐射量; ρ 为反射率; Q_s 为外壁长波辐射。

室内侧忽略辐射并设定室内空气温度恒定,边界条件:

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = \alpha_i (T_i - T) \quad (x = \text{内壁}). \quad (3)$$

2.1.2 地面导热解析 图 9 是地面导热模型,采用类似的方法可以分析,并对水分蒸发问题进行了综合考虑:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + q_v, \quad (4)$$

q_v 为水分蒸发过程中带走的热量^[17],在本研究中将此项的影响作为内部热源处理。

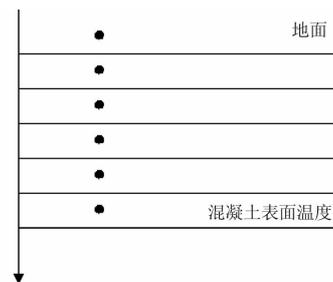


图 9 地面传热模型

相应地,地面导热的边界条件为:

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = \alpha_G (T_G - T) + (1 - \rho) \cdot Q_{GT} - Q_s$$

$$(x = \text{地面}). \quad (5)$$

Q_{GT} 为地面接受到的总辐射量。

对于地下,则设定第一类边界条件: $T = \text{const}$ ($x = \text{地下}$)。 (6)

2.2 辐射模型

2.2.1 直射辐射模型 地面及建筑水平面接收到的太阳直射辐射能量可以表达为^[18]:

$$I_{s,z} = I_B \sin B, \quad (7)$$

$I_{s,z}$ 为平面上的直射辐射; B 为太阳高度角。

垂直面上的太阳直射辐射:

$$I_{C,z} = I_B \cos B \cos A, \quad (8)$$

$I_{C,z}$ 为垂直面上的直射辐射强度; A 为太阳方位角。

2.2.2 天空散射辐射模型 天空散射辐射能量的确定^[19]:

$$Q_D = I_D \cdot SVF, \quad (9)$$

I_D 为散射辐射; SVF 为研究区域内每个像素单元对天空的视角系数, 可以通过数字图像计算求解。

2.2.3 建筑间的长波辐射和反射辐射 周边建筑表面对分析面上的长波辐射, 可以采用^[13]:

$$Q_{L_i} = \epsilon_{ave} \sigma T_{ave}^4 A_i (1 - SVF), \quad (10)$$

σ 为斯蒂芬波尔兹曼常数; ϵ_{ave} 为平均辐射面的发射率; T_{ave} 为周边建筑平均表面温度; A_i 为分析面的面积。

通过周边建筑表面对直射和散射等能量反射到分析面上的能量值采用式(11)计算^[18]。

$$Q_{A_i} = A_i \rho_{ave} Q_{ave} (1 - SVF) \quad (11)$$

Q_{ave} 为直射和散射平均能量强度之和; ρ_{ave} 为周边建筑平均反射率^[16]。

2.3 空气能量平衡模型

区域(每个像素单元内对应的空气)内空气的热平衡式:

$$Q_i = Q_{F,i} + Q_{C,i}. \quad (12)$$

Q_i 为区域内气体的蓄热量; $Q_{F,i}$ 为空气运动所带来的热量; $Q_{C,i}$ 为空气与下垫面的对流换热量。

区域内部空气温度变化, 即:

$$Q_i = \rho_i C_{pi} V_i \frac{\partial T_i}{\partial t}, \quad (13)$$

ρ_i 、 C_{pi} 、 V_i 、 T_i 分别为 i 区域气体的密度、比热、体积、温度, i 为时间。

2.4 室外热环境模型的求解

首先, 根据原始图像的分类识别, 获取建筑、材料等信息, 并储存在数据文件中, 便于后期计算时调用。其次, 以像素单元为分析对象, 将空气平衡过程、辐射换热、导热热量传递三者实现耦合计算, 即将计算得到的地面温度同时被空气能量模型、辐射模型调用; 辐射模型的计算结果被导热模型调用等。通过三者之间计算结果的相互调用, 完成整个小区室外热环境动态分析, 求得不同时刻小区下垫面的温度和空气温度等参数。

3 案例分析

3.1 模拟计算

综合上述分析方法, 对图 2 中所示的案例进行逐小时计算, 计算时间为 2011 年 9 月 27 日 8:00 到 28 日 7:00, 图 10 是该分析区域下垫面在几个典型时刻的温度分布。从计算结果可以看出, 在人工硬化路面区域具有明显的温度差异性图像, 同样由于受到人工下垫面的强烈影响, 其对应上方的空气温度相对较高。

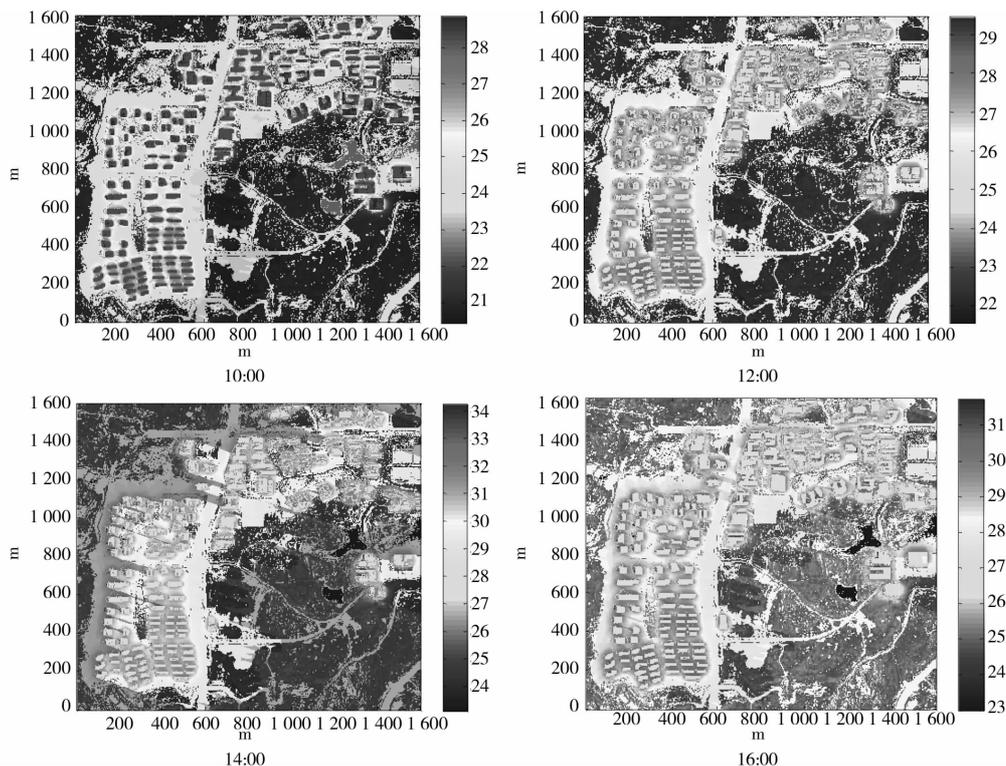


图 10 典型时刻下垫面温度图像分布

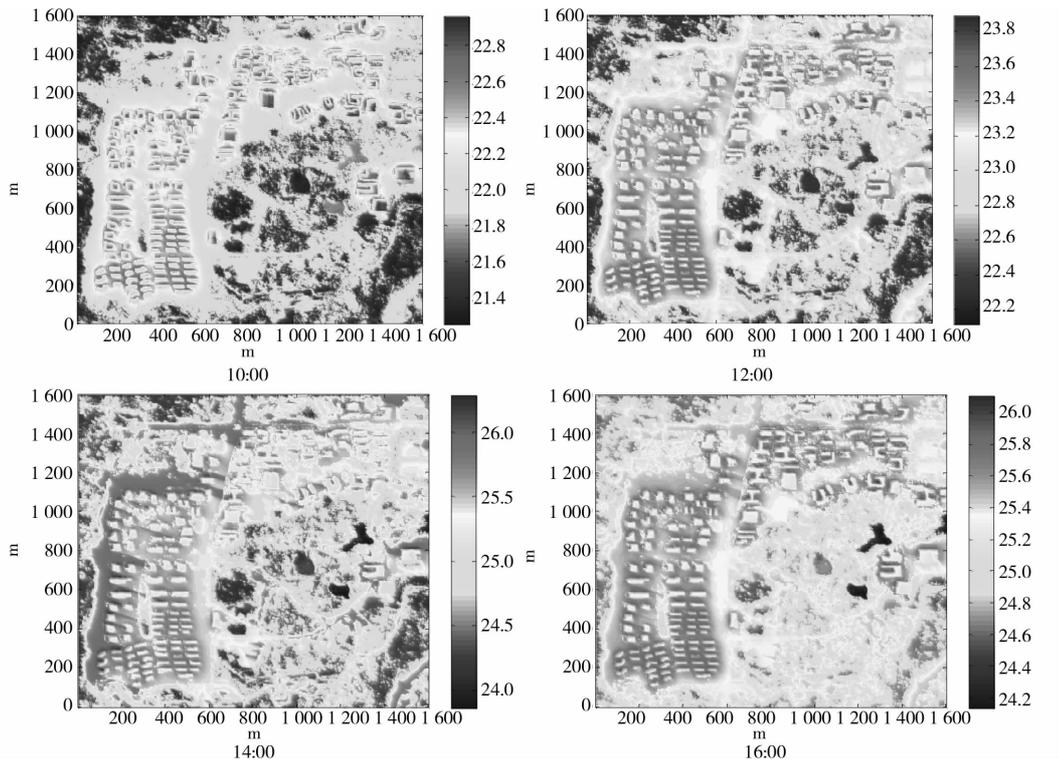


图 11 典型时刻空气温度图像分布

3.2 测试与模拟结果对比分析

针对模拟分析的案例,在相同时间内,对案例的中 2 个典型点进行了同步的逐小时测试(图 12),测试时间为 2011 年 9 月 27 日 8:00 到 28 日 7:00。下垫面表面温度的测试采用红外表面测温仪(型号:MS6530B),对应的空气温度测试采用温湿度记录仪(型号:AZ8721)。

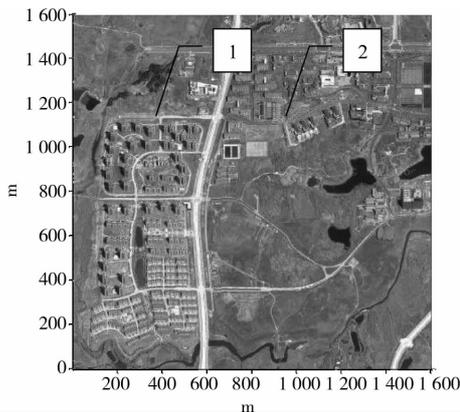


图 12 典型测试点分布

将测试点的下垫面和空气温度值与模拟分析中对应的下垫面和空气温度进行对比分析,可以得到图 13、图 14 的分布结果,其结果显示测试结果和模拟结果比较接近,证明了该分析方法的合理性。

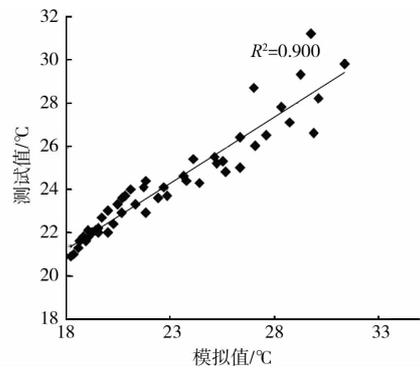


图 13 下垫面温度测试值与模拟值对比

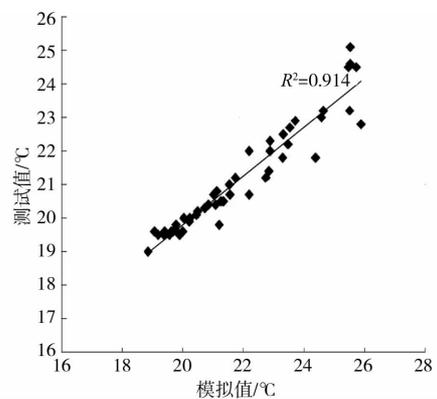


图 14 空气温度测试值与模拟值对比

4 结 论

利用数字图像的基本原理,根据样本图像提供的基础颜色像素值,从原始图像中识别出不同类型的下垫面材料属性,提取了物理模型中的基本信息,为数学模型提供了基础数据,并以像素单元为基本的分析对象,实现了图像与数学模型的结合,有效的分析了居住区室外热环境的分布情况,为室外热环境研究方法提供了新的参考。

参考文献:

- [1] Li X T. Numerical analysis of outdoor thermal environment around buildings [J]. Building and Environment, 2005, 40: 853-866.
- [2] Lin B R. Numerical simulation studies of the different vegetation patterns effects on outdoor pedestrian thermal comfort [J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2008, 96: 1707-1718.
- [3] Khaled A. Outdoor airflow analysis and potential for passive cooling in the traditional urban context of dubai [J]. Renewable Energy, 2011, 36: 2494-2501.
- [4] Doulos L. Passive cooling of outdoor urban spaces the role of materials [J]. Solar Energy, 2004, 77: 231-249.
- [5] Lin Z P. Seasonal effect of pavement on outdoor thermal environments in subtropical Taiwan [J]. Building and Environment, 2007, 42: 4124-4131.
- [6] Chen H. Study on mitigation measures for outdoor thermal environment on present urban blocks in Tokyo using coupled simulation [J]. Building and Environment, 2009, 44: 2290-2299.
- [7] Fazia A T. Effects of asymmetry, galleries, overhanging facades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons [J]. Solar Energy, 2007, 81: 742-754.
- [8] Marta J N, Oliveira P. Numerical analysis of the street canyon thermal conductance to improve urban design and climate [J]. Building and Environment, 2009, 44: 177-187.
- [9] Giridharan R. Urban design factors influencing heat island intensity in high-rise high-density environments of Hong Kong [J]. Building and Environment, 2007, 42: 3669-3684.
- [10] Yang L N. Thermal conditions and ventilation in an ideal city model of Hong Kong [J]. Energy and Buildings, 2011, 43: 1139-1148.
- [11] Chen H. Study on outdoor thermal environment of apartment block in Shenzhen, China with coupled simulation of convection, radiation and conduction [J]. Energy and Buildings, 2004, 36: 1247-1258.
- [12] Xie X M. The impact of urban street layout on local atmospheric environment [J]. Building and Environment, 2006, 41: 1352-1363.
- [13] 罗庆. 基于数字图像分析的室外热环境研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2006.
- [14] 李百战, 姚润明, 罗庆. 图像处理技术在城市建筑太阳能规划设计中的应用[J]. 重庆大学学报, 2007, 30(8): 95-100.
- Li B Z, Yao R M, Luo Q. Image processing method in urban buildings solar energy design [J]. Journal of Chongqing University, 2007, 30(8): 95-100.
- [15] 李百战, 罗庆, 姚润明. 城市地面对天空热辐射角系数问题的求解[J]. 重庆大学学报, 2006, 29(2): 86-89.
- Li B Z, Luo Q, Yao R M. Solution on configuration factor from ground to sky [J]. Journal of Chongqing University, 2006, 29(2): 86-89.
- [16] 王厚华. 传热学[M]. 1 版. 重庆: 重庆大学出版社, 2006.
- [17] 连之伟. 热质交换原理与设备[M]. 3 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.
- [18] 赵荣义, 范存养. 空气调节[M]. 3 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 1994.
- [19] Francisco. Modeling microclimate in urban environments and assessing its influence on the performance of surrounding buildings [J]. Energy and Buildings, 2004, 36: 403-413.

(编辑 王秀玲)