

引用格式: 郑子豪,陈颖彪,千庆兰,等.基于三维模型的城市局地微气候模拟[J].地球信息科学学报,2016,18(9):1199-1208. [Zheng Z H, Chen Y B, Qian Q L, *et al.* 2016. Urban micro-climate simulation based on 3D modeling. Journal of Geo-information Science, 18(9):1199-1208.]
DOI: 10.3724/SP.J.1047.2016.01199

基于三维模型的城市局地微气候模拟

郑子豪¹, 陈颖彪^{1*}, 千庆兰¹, 李 勇², 谢锦鹏¹

1. 广州大学地理科学学院, 广州 510006; 2. 广州地理研究所, 广州 510070

Urban Micro-climate Simulation Based on 3D Modeling

ZHENG Zihao¹, CHEN Yingbiao^{1*}, QIAN Qinglan¹, LI Yong² and XIE Jinpeng¹

1. School of Geographical Sciences, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China;

2. Guangzhou Institute of Geography, Guangzhou 510070, China

Abstract: With the continuous advancement of urbanization, the aggravating urban heat island effect and a series of environmental problems caused by it is becoming severe, which hinders the progress of urbanization gradually. The urban local micro-climate study tentatively combines the burgeoning 3D modeling with micro-climate simulation, so as to help the city managers to find an effective way to improve the urban micro-climate quality through adopting the simulation data and the model generated in the study. By taking the Zhujiang New Town Western District as an example, this study builds a 3D model of the city using the CGA rules, summarizes the related sub-models of micro-climate simulation, and runs a simulation of the study area with the weather factors such as temperature, humidity, wind speed and wind direction by using the local micro-climate simulation software. At last, it integrates the results and produces a visual presentation. The micro-climate simulation result is combined with the 3D model of the study area. It gives a visual analysis on the impacts of construction height, density and layout to the local micro-climate weather distribution, and gives the corresponding development advices and planning strategy. This method has overcome the limits of previous micro-climate studies which were constrained to field measurement and depended on previous climate data. The modeling approach gives a detailed presentation of the city construction layout and structure, and integrates ENVI-met into the micro-climate simulation, thus the urban micro-climate study can be improved to incorporate the trend of integrating 3D modeling. It provides a new way of thinking and a new assistant decision-making tool for the urban planning and micro-climate simulation studies in different regions. In terms of the relationship between the structure and the layout of urban construction and urban micro-climate, it presents a more visualized result.

Key words: CityEngine; CGA; urban microclimate; ENVI-met; Zhujiang New Town

***Corresponding author:** CHEN Yingbiao, E-mail: gzhuchenyb@126.com

摘要 随着城市化进程的不断深入,城市热岛效应及其所引发的一系列环境问题日趋严重,本文尝试性地将新兴三维建模技术与微气候模拟相结合应用于城市局地微气候研究,以期获得的模拟数据及模型能够帮助城市管理者提供改善城市微气候质量的有效途径。本文选定珠江新城西区为研究区域,以规则建模手段构建城市三维模型,总结微气候模拟的相关子模型,并利用局地微气候模拟软件对研究区进行温度、湿度、风速、风向等气候要素的模拟,最后将二者的结果整合进行可视化展

收稿日期 2015-10-09;修回日期:2016-05-11.

基金项目 :广东省前沿与关键技术创新专项资金(省重大科技专项)项目(2014B010112008);广东省科技计划项目(2013B010102018);教育部人文社科规划基金项目(11YJAZH016)。

作者简介 郑子豪(1992-),男,硕士生,主要从事GIS与三维模型研究。E-mail: zhengzh@email.com

*通讯作者:陈颖彪(1969-),男,教授,主要从事GIS与RS应用技术研究。E-mail: gzhuchenyb@126.com

示。微气候模拟结果结合目标区域三维模型,能够直观地分析出建筑高度、密度和布局对目标区域城市微气候分布状况的影响,并提出相应的改善建议与规划策略。该方法克服了以往微气候研究局限于实地测量与单纯依靠过往气象数据的不足。规则建模对城市建筑布局、结构方面的具体呈现与ENVI-met在微气候分布模拟的结合,使城市局地微气候研究可以逐渐与三维建模相结合的方向发展,为不同地区的城市规划与微气候模拟研究提供了新思路与辅助决策工具。在城市建筑结构、布局对城市微气候的影响研究上也提供了更直观的可视化效果。

关键词 CityEngine; CGA; 城市微气候; ENVI-met; 珠江新城

1 引言

珠江三角洲和长江三角洲是中国两大经济发达集中地区,1978年改革开放以来这2个地区城市化进程迅猛。高速城市化引发城市热岛效应间接、直接导致了部分地区气候异常、大气污染、热死亡率递增等社会问题日益严峻^[1-3]。不科学的城市规划、建筑设计加剧恶化了原本就很脆弱的城市微气候环境,严重影响了城市人口的生活质量。酷热难耐的高温、污浊不堪的空气等一系列环境问题无时无刻不在困扰着城市居民的日常生活。在此背景下,这些深受热岛效应困扰的地区迫切需要展开城市微气候的相关科学研究,寻找能够改善城市微气候质量的有效途径^[4]。李晓莉等^[5-6]尝试把CityEngine三维建模技术运用到目前前沿的高速铁路建模方面。以CityEngine为平台,辅以C#编程语言自动创建高铁道路以及道路两侧的电力杆、电塔、信号塔、电力房等,同时还实现了高铁不同路段(如路基、隧道等)长度的统计及桥墩生成个数的统计分析。陈卓伦等^[7-9]在广州某典型住宅区采用现场定点观测和流动测量结合的方式,对该区域夏季室外温度及校区逐月用电记录进行分析。在此基础上,结合气候流体力学模拟软件ENVI-met,采用耦合动态模拟分析方法探究湿热气候区不同绿化组织结构和设计参数对室外热环境与建筑能耗的影响。林满等^[10]选取广州番禺大学城内某典型小区,利用ENVI-met进行微气候的模拟,利用观测数据与模拟数据对比分析,探讨研究区域内的微气候特征。Ariane Middeld等^[11-17]探讨城市形态和景观类型对半干旱地区亚利桑那州菲尼克斯市午后微气候的影响,利用微气候模拟软件ENVI-met来模拟菲尼克斯城典型住宅区的近地面空气温度,同时利用位于亚利桑那州立大学理工校园内的North Desert Village(NDV)的景观实验中的气象观测数据进行验证。

综上在城市局地微气候研究中,利用模型软件(如ENVI-met)进行模拟分析并结合实地监测点加密验证,较以往单纯从气象数据研究的方法更有效

并具实践意义。但随着城市快速发展,中心城区高层建筑密度不断提高,城市局地微气候的研究分析亟需从平面转向三维立体。如何针对该类区域进行微气候模拟研究将成为城市局地微气候研究的新热点。本文采用基于规则的快速三维建模软件“CityEngine 2012”与局地微气候模拟软件“ENVI-met”相结合的方式,进行城市三维热环境动态模拟与仿真实验。利用CityEngine快速构建研究区域三维模型,利用ENVI-met进行相关区域的微气候模拟并建立模型;利用三维模型与微气候模拟相结合,使微气候模拟从传统的平面表现方式转向三维立体方向;尝试将城市的建筑规划与微气候研究关联起来,为基于三维仿真技术方法进行城市微气候研究提供理论支持及技术参考。

2 研究区概况

结合ENVI-met软件模拟范围的要求,选定珠江新城西区作为研究区域(图1)。该区域位于广州市天河区西部,东起猎德大道,西至广州大道中,北接黄埔大道西,南临珠江北岸。广州新城市中轴线贯穿其中,区位优势得天独厚,占地面积约3.08 km²,核心地区面积约1 km²,其中花城广场被誉为广州的“城市会客厅”。珠江新城发展目标是成为集金融、商业、文娱、外事、行政和居住等城市一级功能设施的广州城市名片。作为广州CBD,珠江新城超高层建筑密度非常高,广州前10名的摩天大楼中,有9座均位于珠江新城,占比达90%。此外,该区域及周边还分布着大量高档住宅小区,选择珠江新城西区作为建模区域具有代表性。

3 数据源与处理方法

3.1 数据源

本文以珠江新城西区为研究区域,以CityEngine作为研究区域的三维建模软件平台,利用开源地图“OpenStreetMap”所导出的OSM数据,通过

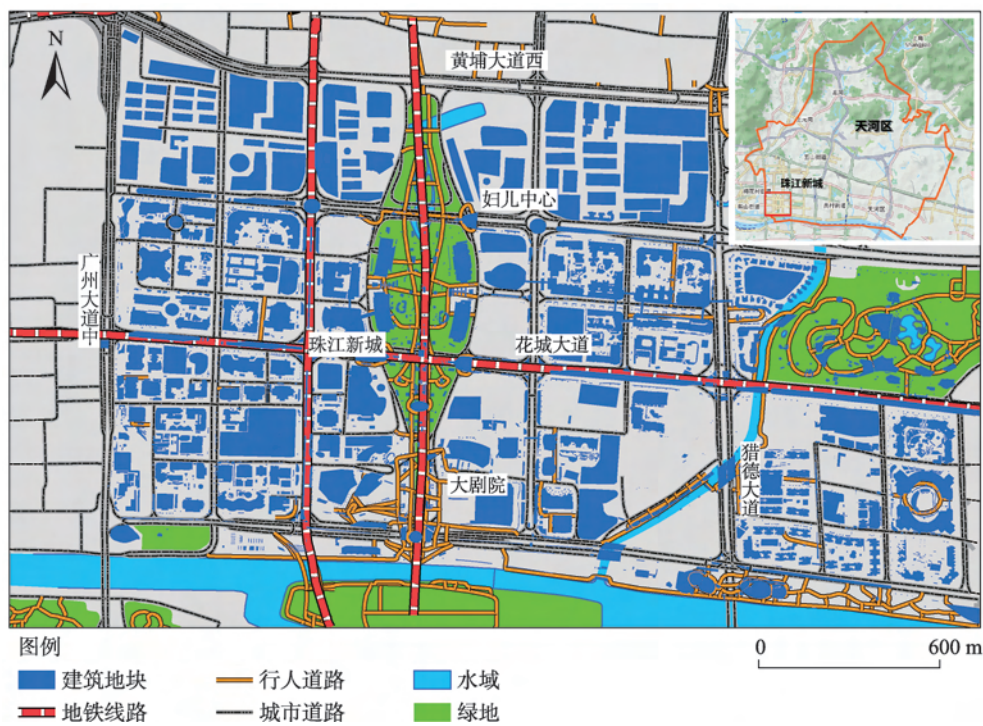


图1 珠江新城西区区位图

Fig.1 Location map of Zhujiang New Town Western District

“FME Quick Translator”进行格式转换处理,获得珠江新城及其周边矢量地图。同时,利用珠江新城0.5 m分辨率的航拍图,结合实地考察,对航拍影像中的地块进行辨别、分类。最终生成建筑、绿地、道路列全8类块。核心建筑物高度数据则通过实地考察及访问收录高楼数据的“国家和城市摩天指数排行”数据库确定。ENVI-met微气候模拟过程中所需要的环境条件及参数包括Input-Files(确定一个特定的模拟条件/环境)、Database Files(存储收集所

有跟模拟有关的文件)、Output Files(由ENVI-met产生的数据),具体如表1所示。其中,具体的参数、条件数据通过对多期已记录的气象数据进行统计分析后确定。

3.2 研究方法

基于CityEngine建模技术进行城市局地微气候模拟研究主要分为2部分:CityEngine三维建模和ENVI-met局地微气候模拟实验。前者是后者微气

表1 ENVI-met数据文件类型

Tab.1 Overview on all the files in ENVI-met

文件类型	文件列表	定义
输入文件	A1.配置文件.CF	定义一个单独模拟的设置
	A2.区域输入文件.IN	定义模拟的区域(建筑物,植物等)
	A3.序列文件.EBF	允许定义单个模拟的次序
数据库文件	B1.土壤数据库 SOILS.DAT	定义不同的自然和人工土壤的性质
	B2.配置文件数据库 PROFILES.DAT	从 SOILS.DAT 文件中以垂直的土壤三明治结构来定义不同的土壤类型
	B3.植被数据库 PLANTS.DAT	定义所有的植被
	B4.源数据库 SOURCES.DAT	定义颗粒或者气体源的输出和喷射高度
输出文件	C1.主数据文件.EDI/EDT	链接到配置文件中[LOCALDB]部分的描述
	C2.接收器文件	模型区域内用户选择的点的数据
	C3.1D-Model 文件	包含1维模型的状态
	C4.BOTworld 文件	创建BOTworld模型的链接
其它文件	D1.定义别名(MYALIAS.DAT)	使用相对文件路径,便于计算机之间模拟传输

候模拟实验的基础,后者模拟实验结果也是前者的最终目的。

在高分辨率影像、地理位置数据、CGA 建筑物规则的基础上,对研究区域的地块进行分类,利用 CGA 规则对各类地块进行规则三维建模。另外,利用历史同期气象数据及研究区域的地块分类结果进行 ENVI-met 气候模拟的数据配置编辑。微气候模拟结果利用 CityEngine 建模成果进行三维显示,表达更为直观。

3.2.1 CityEngine 三维建模

CityEngine 三维建模部分依据航拍影像数据数字化后的地块分类图,并根据地物类型特点进行 CGA 规则编写,然后将 CGA 规则赋予给目标地物的“Lot”,“Generate”之后自动生成三维结构。CGA 是计算机生成建筑“Computer Generated Architecture”的缩写^[18],是 CityEngine 核心部分,存储在规则文件“.cga”之中。CGA 规则是 CityEngine 软件规则建模语言,也是 CityEngine 所特有的一种代码语言。它的特点就是越来越详细地迭代“进化”模型,通过规则不断将原始对象细化并替换,直到达到目标要求。

实验中将研究区域地块分成 8 大类(图 2): Trees.shp(树木)、Corebuilding.shp(核心建筑)、Generalbuilding.shp(普通建筑)、Grassland.shp(草地)、Square.shp(广场)、Sidewalk.shp(人行道)、Road.shp(道路)、Rivers.shp(河流)。

CGA 规则建模相对传统建模方式最大优势是效率更高,区分对象 CGA 规则可以快速将研究区域内不同地物类型从二维转成三维的模型。在完

成贴纹理贴图以及外部导入额外的部分不规则模型后,冗余节点及面会影响三维场景运行的流畅度,为了模型加载速度和降低系统的处理负担,还需对生成的或导入的模型进行优化处理。“cleanup-Geometry(componentSelector,tol)”函数能够对模型进行优化以减少模型的节点和面数,其中“componentSelector”是优化的要素有 4 个可选值:vertices、edges、faces、all(包含点、线、面);tol 为容差值。

3.2.2 微气候模型 ENVI-met 的验证分析

城市微气候仿真软件 ENVI-met 是由德国 Michael Bruse (University of Mainz, Germany) 开发的一个免费多功能系统软件^[19-20]。ENVI-met 适合中尺度模式,尤其是城市街区规模的微气候模拟。模拟包括热流量、风流量、湍流量和辐射通量等大气过程中所涉及的环境变量交换过程的完整耦合计算,其在城市微气候环境整体数值计算上(包括各种微气候环境参量的整合计算和日循环的非稳态计算)有明显优势^[21]。ENVI-met 微气候模拟结合现场实测校正,对复杂城市街区微气候环境模拟、预测和评估有很大潜力与优势。

ENVI-met 由 4 个板块组成,分别为建模板块 (ENVI-met Eddi Version)、编程模块 (ENVI-met Configuration Editor)、计算板块 (ENVI-met V3.1 Default Config) 以及结果显示板块 (LEONARDO 3.75)。ENVI-met V3.1 内置地面、水体、植物等子模型,与其它通用 CFD 软件相比,其特点优势主要包括:利用 CFD 和热力学联合求解(风/热/湿耦合模拟)、动态模拟(随时间变化,区别于一般的稳态模拟)、高分辨率(1~5 m,可精细描述建筑、道路、植物等元素)、建模方便、定义参数少、操作简单,并且在与实测对比验证、应用现状及前景上表现颇佳。

ENVI-met 主要由一个 3D 核心模型和 1D 边界层模型组成(图 3)。核心 3D 模型区域模型在于模拟真实区域内的所有过程,它是一个有 3 个轴向(X、Y、Z)并且划分成 n 个网络单元模块。该区域内可以定义建筑物、植被等对象,其中 Z 轴由该区域内最高的建筑物高度的 2 倍决定,而 1D 模型主要由土壤层构成。另外,嵌套网格作为实际模型区域的边界偏移起到一个缓冲的作用,可以有效防止边界效应对结果的干扰。

根据实验区域的范围,确定模拟区域大小的格网(750×500×20)、格网的尺寸($dx=4$, $dy=4$, $dz=4$)、所在地(Guangzhou/China)、时区(CCT+8)、经纬度

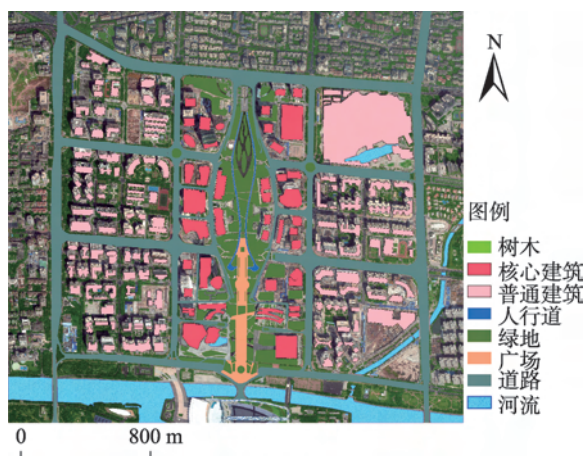


图2 各地块分类结果分布图
Fig.2 The classification results of each lot

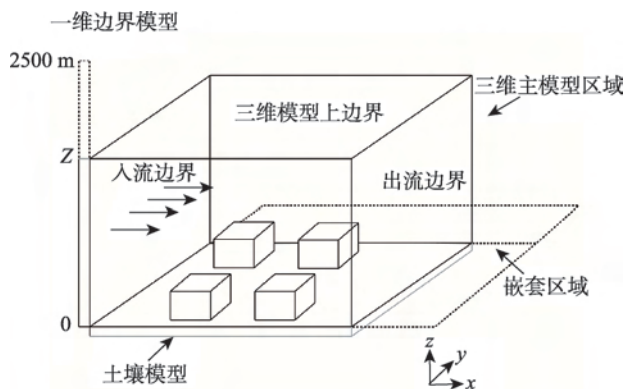


图3 ENVI-met模型布局概述示意图

Fig.3 Schematic overview of the ENVI-met model layout

(23.04/113.36)等。由于研究区域存在超高建筑物(>150 m),因此个别建筑的高度将不受整体高度的限制。利用ENVI-met提供的编辑板定义建筑物的高度、植物的种类、水域、土壤类型、地砖类型,在选择合适的下垫面后按照建筑物、植物、下垫面的顺序进行不同图层的绘制。建好的模拟底图如图4所示。模拟过程中配置代码定义了整个模拟实验最基本的参数,包括了模拟实验的名称、起始时间、时间间隔、近地面10 m高度的风速、风向、粗糙度长度、初始温度、湿度等一系列气象指标参数。图5是模拟实验中关于配置参数的核心部分,每个功能块中的信息必须要按照固定的格式进行配置。

ENVI-met模型的模拟计算时间根据模拟区域、模拟时间及运行机器的配置会有所不同。从模拟结果来看,本文研究区域实际用时是每模拟一小



图4 ENVI-met区域模型图

Fig.4 ENVI-met regional model

```
% --- Basic Configuration File for ENVI-met Version 3 ---
% --- MAIN-DATA Block ---
Name for Simulation (Text):                = ZJXC
Input file Model Area                      = [INPUT]\ZJXC.in
Filebase name for Output (Text):           = ZJXC
Output Directory:                         = [OUTPUT]
Start Simulation at Day (DD.MM.YYYY):      = 14.03.2015
Start Simulation at Time (HH:MM:SS):       = 07:00:00
Total Simulation Time in Hours:            = 10.00
Save Model State each ? min               = 60
Wind Speed in 10 m ab. Ground [m/s]      = 1
Wind Direction (0:N..90:E..180:S..270:W..) = 90
Roughness Length z0 at Reference Point    = 0.1
Initial Temperature Atmosphere [K]        = 290
Specific Humidity in 2500 m [g Water/kg air] = 7
Relative Humidity in 2m [%]               = 85
Database Plants                           = [input]\Plants.dat
( -- End of Basic Data -- )
( -- Following: Optional data. The order of sections is free. -- )
( -- Missing Sections will keep default data. -- )
( Use "Add Section" in ConfigEditor to add more sections )
( Only use "=" in front of the final value, not in the description )
( This file is created for ENVI-met V3.0 or better )
```

图5 ENVI-met的配置文件

Fig.5 The configuration file of ENVI-met

时需6~7 h。考虑模拟区域的特点,在ENVI-met提供的参数库中,选取了“时间功能块”(主要是配置在整个模拟实验过程中提供改变不同的进程时间设置。包括更新表面的温度和湿度的时间间隔、流场和湍流数据的时间间隔、更新辐射和阴影的时间间隔、更新植被数据时间间隔等)、“湍流空能块”(对研究区域中的湍流模型进行设置,“Turbulence Closure ABL”是以1D为参考的湍流封闭模型;“Turbulence Closure 3D Model”则是以3D模型为参考的湍流封闭模型;“Upper Boundary for e-epsilon”用来选择介于“开”(零梯度)和“闭”(设定值)之间的上边界)、“建筑功能块”(主要是为了对研究区域的建筑物做出更为详细的描述;建筑物是模型区域内活跃的元素,因此需要大量的数据来确保模拟的正确性。该版本的ENVI-met,所有的建筑物将被赋予同一个配置。因此,对于一个房子定义不同热属性和颜色是不切实际的。在该功能模块中分别定义了:建筑物内部温度、墙体的热传导率、屋顶的热传导率、墙体和屋顶的反射率等)这几个对整个模拟过程至关重要的模块。

4 结果与分析

模拟结果中提供了多种气象参数供查阅:其中包括了风速、压力、比湿、温度、辐射量等,且提供了二维视图和三维视图2种角度。本文根据研究需要

分别选取了空气温度、风速、风向和相对湿度4个气象参数的结果图像,进行简要分析与评估,从中归纳总结出模拟期间珠江新城西区局地微气候情况。

4.1 温度模拟结果

在模拟结果中,选取9:00–15:00对气温分布状况及变化情况进行分析。图6分别展示了研究区域9:00–15:00内4个时间点,距地面1.8 m高度水平面的空气温度分布。

从模拟的结果来看,实验期间在1.8 m高度上珠江新城西区的空气温度及其水平分布发生了较为明显的变化。从9:00到15:00,研究区域的空气温度整体呈上升趋势。上午9时,研究区域的最低气温出现在西侧的植被覆盖面积较多的区域,该区域的空气气温大部分低于290.39 K。东侧集中分布的城中村(洗村、猎德)、学校、高层写字楼和商业

房,建筑密度较高,在同一时刻,该区的空气温度高于西侧。随着时间的推移,以花城广场为界线,东侧的气温上升不显著,缓中有升。而与之对应的西侧,高温气团开始围绕着高密度建筑聚集,加之该区植被覆盖低,高温范围逐渐扩大,形成了沿猎德大道的高温带。

不同下垫面的温度情况有不同的特征,其中绿化植被的影响表现为大片的草地在蒸腾作用下,释放潜热并起降温效果;而柏油马路吸热性较区域内其它地块高,一段时间内吸收热量增多,导致温度上升较快;而由高大树木遮挡形成的阴影区域则会形成低温区域。

需要注意的是,数值模拟的边界区域由于模拟尺度及精度的影响,并不能完全模拟出城市热环境连续性的特点。因此,模拟范围的中心区域模拟结果具有更高的价值与意义。在模拟时需要格外注

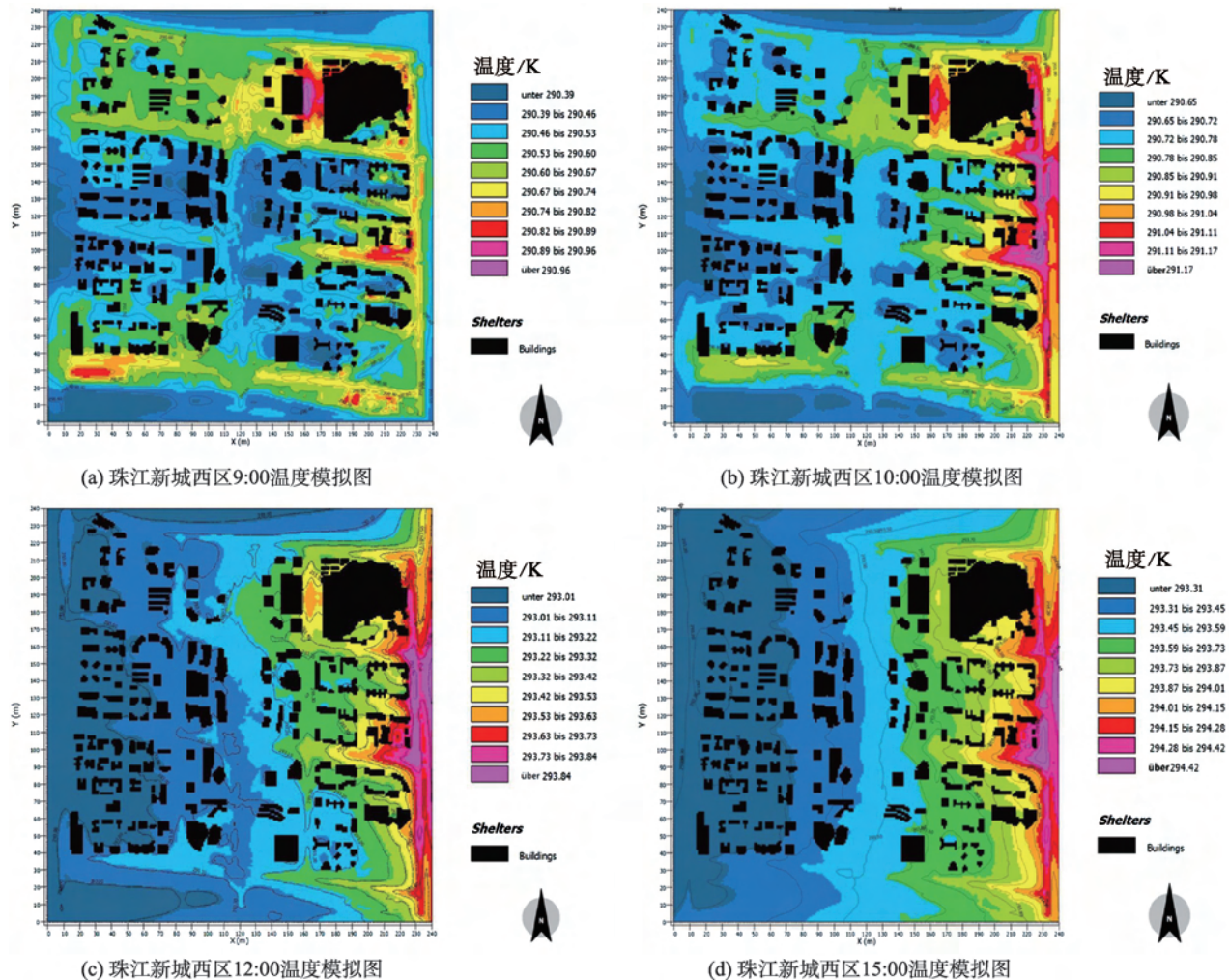


图6 珠江新城西区温度模拟图

Fig.6 The temperature distribution of Zhujiang New Town Western District

意运算时间及网格精度的取舍。

4.2 风速、湿度模拟结果

风速是指空气相对于地球某一固定地点的运动速率,在微气候的描述中是一个比较重要的参数。风速能够直观地描绘当时空气的流动情况,因此从该区域内的风速分布图能大致看出温度差异的分布。

图7可看出,平行于来风方向,风在阻碍物之间(包括但不限于建筑物)的速度较快,在阻碍物的后则较慢,即呈现一定的“峡谷效应”。因为当气流从开阔地带进入街区道路两侧高层建筑物所形成的街道层峡时,来风大量汇合而层峡相对狭小,所以风速会相应提高,加速流过层峡。在分布较为密集和复杂的研究区内部,由于阻碍物较多且表面的粗糙程度不一,都起到了减缓风速的作用,在一定程度上阻碍了空气气流从外围进入内部。当然,在实验中,因为排除了一部分环境影响的偶然性,故而相对于真实城市内部更为复杂的环境来说,数值模拟的风环境显得较稳定,这属于正常现象。

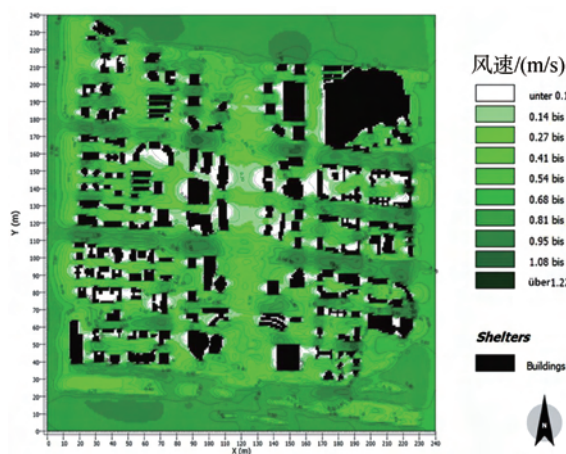


图7 珠江新城西区9:00水平面风速模拟图

Fig.7 The wind speed distribution of Zhujiang New Town Western District at 9:00

湿度是决定蒸发和蒸腾的重要数据,同时也对不同气候区的形成起着决定性的作用^[22]。在城市微气候的研究中,湿度不仅在气象研究有比较重要的意义,而且也会对人体舒适度的产生关键的影响。一般人在45%~55%的相对湿度下感觉最舒适,过热而不通风的房间里的相对湿度一般比较低,这可能会对皮肤不良,对粘膜有刺激作用;湿度过高影响人调节体温的排汗功能,人会感到闷热^[22]。因此,从人体的直观感受上来说人在高温但低湿度

的情况下(如沙漠)的感受比在温度不太高但湿度很高的情况下(如雨林)的要舒适一些。

本次模拟所选择的时间是3月,该时间段正好处于广州的“回南天”,该期间从中国南海吹来的暖湿气流,与从中国北方南下的冷空气相遇,形成静止锋,冷暖气流交汇,停滞不前,致使该区域雨水充足,空气潮湿。植被在外界风热环境的影响下产生蒸腾作用并释放水蒸气,导致植被周围局部环境的绝对湿度相应提高。在相同区域中气温与气压接近的条件下,相对湿度与绝对湿度会呈现正比关系,植被周围局部环境的相对湿度也会相应提高。而来风方向因为设定为东风,带来的湿气也会首先影响研究区域的东侧区域。综合作用下,逐渐形成了图8所示的湿度分布。

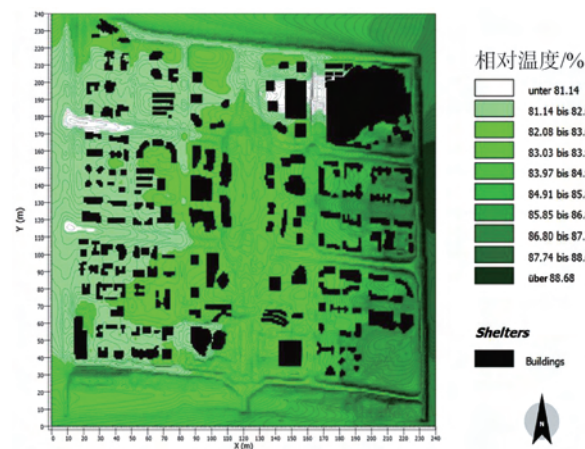


图8 珠江新城西区9:00水平面相对湿度模拟图

Fig.8 The spec.humidity distribution of Zhujiang New Town Western District at 9:00

但是值得注意的是,根据软件本身局限性说明,数值模拟实验中,由于材料热稳定性计算相对不足,将导致热辐射环境下的环境降温比正常环境降温缓慢,最终会阻碍空气相对湿度的正常提升。

4.3 微气候模拟结果与三维模型的结合

微气候模拟结果与三维模型的整合效果如图9所示。CityEngine建立的模型能够直观细致地表现整个研究区域的地块类型、建筑物结构布局情况;ENVI-met的输出结果能够直观的展示研究区域各种气象参数的分布情况。珠江新城高楼林立,绿化措施较完善,绝对温差并不明显,但不同下垫面的地块还是会存在温差。例如水域、草地、树木等区域,气温会比以柏油公路、沥青公路、水泥石砖等硬质地面为下垫面的区域稍高。而建筑密度相比建

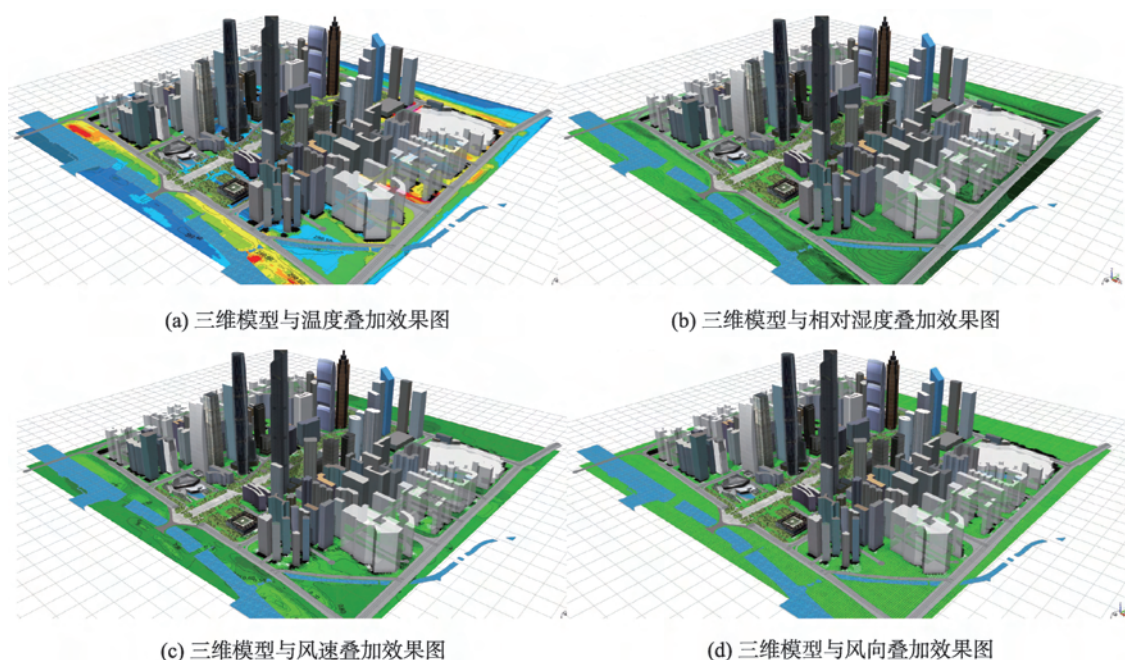


图9 珠江新城三维模型与微气候分布模拟图

Fig.9 The micro climate distribution maps stacking with the 3D model of Zhujiang New Town Western District

筑高度来说对温度影响的程度更为显著。建筑密度高的地块会更大程度地阻碍风的流动,减缓风速,改变风向,进一步对该区域温度分布产生影响。至于湿度呈现组团式的分布,主要还是与植被的关系更为密切。

CityEngine 的场景中添加 ENVI-met 的模拟结果,微气候模拟的结果能够迅速、直观地在城市三维模型中展示。各种气象数据映射在三维场景中,为城市微气候的研究提供了一种新的思路。研究者根据最后的渲染效果,可以将气象数据与城市布局以及建筑结构结合起来,更为深入地了解研究区域内规划布局、建筑、植被等因素对微气候的影响。

基于规则的快速建模和高效率的微气候模拟相结合,无论是对于城市规划,还是微气候研究,都大大缩短了研究成本与周期。对今后的城市局地微气候研究与基于微气候的城市规划研究提供了新的发展方向与参考思路。

以往的城市规划与微气候研究往往分割开来,如城市规划中最常用到的城市建模软件基本都采用基于对象方法,对于目标建筑,乃至城市整体,均利用人工一步步地从创建几何体、添加几何体、修改几何体等步骤来创建三维模型。这种人工手动建模方法虽然精度较好,但效率低下。随着城市化进程的加快以及人们对于效率的追求不断提高。在新兴建模软件与规则建模方法的挑战下,传统费

时费力的手工建模方法已经越来越无法满足需求。规则的高度可重复利用性,大大提高了建模的速率,这一转变使得建模朝着智能化、自动化方向发展。传统微气候模拟方法主要通过现场实测的方式来获取原始气象数据,再进行分析。这种实测的方式虽然真实度高,但适用性却大打折扣。因为实测对场地的硬件要求较高,通常还会受天气条件的制约,不能随时随地进行微气候的实地测量。在现实条件的限制下,迫使气候模拟的研究方法逐渐从实测转移到数值模拟上来。城市的规划、设计过程中,规则建模与微气候模拟能够克服以往的弊端,给城市微气候研究带来新视界。

5 结论与展望

实验结果表明,利用 CityEngine 这一交互建模工具可以基于 GIS 数据快速建立大范围规则模型,并且能够方便、快捷地更新与维护模型系统。同时,应用 ENVI-met 软件进行城市局部地区的微气候模拟,将城市三维模型与微气候模拟结果相结合,进行可视化展示,城市的形态布局与气候分布状况一目了然,达到更为直观、较强视觉冲击力的可视化效果。该方法提供了一个效率高、可视化强的城市规划、气候环境的评估思路,同时也可为新城市的规划设计起到辅助决策作用。

随着现代城市的发展,空间资源趋于高效利用,导致高层建筑的建设数量只会有增无减,高层建筑的气候规划策略作用日益凸显。在实际规划设计应用中,应充分认识城市规划中的建筑布局、密度间距、用地类型、通风廊道等对于局地微气候的影响。尤其在城市中心区,较高的建筑密度,涉及大多数市民与游客的切身感受,更需要合理规划城市布局。通过应用全新建模仿真技术,设计不同的规划方案,制作仿真三维模型,以便客观、科学地分析城市形态,尽可能避免规划失误,减少乃至规避规划失误所造成的损失。同时,利用环境气候分布图使该区域的气候评估与分析结果可视化,结合三维空间信息,进一步总结归纳城市气候分布及其特点等。预判在数字和二维城市规划图像中隐藏的问题,提升规划水平,实现未来城市的规划蓝图。珠江新城作为广州CBD,是城市经济、科技、文化的密集区,位于城市的黄金地带,但其周边却错落着大量高密度高层住宅小区。不同功能用地由于人口密度,绿化水平,建筑密度的差异形成相应的热效应差异,造成该区域微气候变化相对复杂。通过对该区域的三维建模与微气候模拟研究,能够让城市管理者与设计者从立体层面考虑高层建筑空间布局与形态对微气候的影响,协助管理者从立体绿化、建立城市通风廊道、合理规划用地结构等方面入手,改善中心商务区的微气候条件。

本文属于城市三维建模与城市气候学的交叉学科研究。但就目前来说,研究程度并不算深入,且气候评估和规划建议的制定不仅要依靠客观气候数据和实验结果,还取决于专家的知识、经验等,尚存在一定的主观性。文中对于研究区域气候模拟的准确性也有待现场实测或者通过其它渠道进行验证。在此基础上,若能够突破静态时间节点模拟瓶颈,将该地区规划前后的微气候状况进行连续模拟并形成动态对比,这对于城市规划及微气候研究更有理论与现实意义,更容易从中发现问题,解决问题。

参考文献(References):

- [1] 肖荣波,欧阳志云,李伟峰,等.城市热岛的生态环境效应[J].生态学报,2005(8):2055-2060. [Xiao R B, Ouyang Z Y, Li W F, et al. A review of the eco-environmental consequences of urban heat islands[J]. Acta Ecologica Sinica, 2005,8:2055-2060.]
- [2] 白杨,王晓云,姜海梅,等.城市热岛效应研究进展[J].气象与环境学报,2013(2):101-106. [Bai Y, Wang X Y, Jiang H M, et al. Progress of urban heat island effect[J]. Journal of Meteorology and Environment, 2013,2:101-106.]
- [3] 寿亦萱,张大林.城市热岛效应的研究进展与展望[J].气象学报,2012(3):338-353. [Shou Y X, Zhang D L. Recent advances in understanding urban heat island effects with some future prospects[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2012,3:338-353.]
- [4] 孟庆林,李琼.城市微气候国际(地区)合作研究的进展与展望[J].南方建筑,2010(1):4-7. [Meng Q L, Li Q. The recent progress and future trend of international and regional cooperative research on urban microclimate[J]. South Architecture, 2010,1:4-7.]
- [5] 吕永来,李晓莉.基于CityEngine平台的高速铁路建模方法的研究与实现[J].测绘,2013(1):19-22. [Lv Y L, Li X L. Exploration and realization of 3D modeling method based on CityEngine for high-speed railway[J]. Surveying and Mapping of Sichuan, 2013,1:19-22.]
- [6] 吕永来,李晓莉.基于CityEngine CGA的三维建筑建模研究[J].测绘,2013(2):91-94. [Lv Y L, Li X L. Research on 3D architectural modeling based on CityEngine CGA[J]. Surveying and Mapping of Sichuan, 2013,2:91-94.]
- [7] 陈卓伦.绿化体系对湿热地区建筑组团室外热环境影响研究[D].广州:华南理工大学,2010. [Chen Z L. Research of vegetation system's effects on outdoor thermal environment of residential communities in hot-humid climate[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2010.]
- [8] 杨小山.室外微气候对建筑空调能耗影响的模拟方法研究[D].广州:华南理工大学,2012. [Yang X S. A simulation method for the effects of urban microclimate on building cooling energy use[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2012.]
- [9] 陈铖.天津大学校园夏季室外热环境研究[D].天津:天津大学,2013. [Chen C. Research on the outdoor thermal environment at Tianjin University campus in the summer [D]. Tianjin: Tianjin University, 2013.]
- [10] 林满,王宝民,刘辉志.广州典型小区微气候特征观测与数值模拟研究[J].中山大学学报(自然科学版),2015(1):124-129. [Lin M, Wang B M, Liu Z H. Observational and numerical study on the microclimate over a typical community in Guangzhou[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2015,1:124-129.]
- [11] Middel A, Häb K, Brazel A J, et al. Impact of urban form and design on mid-afternoon microclimate in Phoenix local climate zones[J]. Landscape and Urban Planning, 2014,122:16-28.
- [12] Wong N H, Jusuf S K. GIS-based greenery evaluation on campus master plan[J]. Landscape and Urban Planning,

- 2008,84(2):166-182.
- [13] Taleb D, Abu-Hijleh B. Urban heat islands: potential effect of organic and structured urban configurations on temperature variations in Dubai, UAE[J]. *Renewable Energy*, 2013,50:747-762.
- [14] Fahmy M, Sharples S. On the development of an urban passive thermal comfort system in Cairo, Egypt[J]. *Building and Environment*, 2009,44(9):1907-1916.
- [15] Reiter S. Correspondences between the conception principles of sustainable public spaces and the criteria of outdoor comfort[C]. *Proceedings of the 21th International Conference on Passive and Low Energy Architecture*, 2004.
- [16] Lenzholzer S. Microclimate perception analysis through cognitive mapping[C]. *Proceedings of the 25th Conference on Passive and Low Energy Architecture*, 2008.
- [17] Spangenberg J O R, Shinzato P, Johansson E, Duarte D. Simulation of the influence of vegetation on microclimate and thermal comfort in the city of São Paulo[J]. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, 2008,3:1-19.
- [18] ESRI 中国. Esri CityEngine 中文教程[Z]. 2012. [ESRI China. Esri CityEngine Chinese tutorials[Z]. 2012.]
- [19] 马舰,陈丹.城市微气候仿真软件 ENVI-met 的应用[J]. *绿色建筑*, 2013(5):56-58. [Ma J, Chen D. The application of ENVI-met - a city microclimate simulation software [J]. *Green Building*, 2013,5:56-58.]
- [20] ENVI-MET. ENVI-met online documents[EB/OL]. <http://www.envi-met.com>, 2009-09-30/2014-04-15.
- [21] 王振.夏热冬冷地区基于城市微气候的街区层峡气候适应性设计策略研究[D].武汉:华中科技大学,2008. [Wang Z. Design strategies for the climate adaptability of street canyon based on urban microclimate in hot-summer and cold- winter zone[D]. Wuhan: Huazhong University of Science, 2008.]
- [22] 眭晋华,史红梅,眭广瑞.空气湿度及其影响[J].*山西科技*, 2011(3):143-144. [Sui J H, Shi H M, Sui G R. Air humidity and its influence[J]. *Shanxi Science and Technology*, 2011,3:143-144.]