面向性能精细表征的微气候分析及能耗计算 方法

Microclimate Analysis and Energy Consumption Calculation Method for Performance-Oriented Characterization

朱姝妍 | ZHU Shuyan 马辰龙 | MA Chenlong 刘骁 | LIU Xiao 黄雨晴 | HUANG Yuqing

中图分类号: TU119.+1 文献标志码: A 文章编号: 1001-6740 (2024) 06-0014-10 DOI: 10.12285/jzs.20240529003

摘要: 城市街区、建筑单体等不同尺度空间存在跨尺度的性能耦合情况,大尺度空间微气候的异质性将影响建 筑性能。研究依托参数化平台的城市天气生成器(UWG)程序,构建面向性能精细表征的微气候分析及能耗计 算方法,该方法以短时气象数据为依据,对UWG 模型进行精确的优化校准;基于校准后的UWG 模型生成局 地典型气象年数据(TMY),探讨城市热岛效应对局地室外热舒适度和建筑能耗的影响。研究为城市微气候条 件下的性能设计提供科学依据,强调设计师在方案阶段应充分考虑城市热岛效应的重要性,从而精细化地推动 城市可持续发展和节能降碳目标的实现。

关键词:城市天气生成器、热岛效应、微气候、建筑能耗、节能降碳

Abstract: There exist multi-scale performance couplings among different spatial scales such as urban blocks and individual buildings. The heterogeneity of macro-scale microclimates will affect building performance. This study relies on the Urban Weather Generator (UWG) software to construct a calculation method for urban microclimate and energy consumption oriented to best performance characterization. The method uses short-term meteorological data as the basis to accurately optimize and calibrate the UWG model. Based on the calibrated UWG model, local typical meteorological year data (TMY) are generated, which finely characterizes the impact of the urban heat island effect on the outdoor thermal comfort and building energy consumption. It also provides scientific evidence for performance design under urban microclimate conditions, emphasizing the importance of considering UHI during the design phase. This approach could promote more sophisticated sustainable urban development, achieving energy conservation and carbon reduction targets.

Keywords: Urban Weather Generator, Urban Heat Island Effect, Microclimate, Building energy consumption, Energy conservation and carbon reduction

一、研究背景

伴随着城市化的快速推进、地表下垫面结构 的改变以及交通和建筑排热等各类因素的影响, 城市热环境逐渐恶化,热岛现象及其负面影响日 益显现^[1],"气候适应"相关问题已经成为全球范 围内关注的焦点之一^[2-6]。一方面,高温天气给人 们的生活带来不便;另一方面,热岛效应还可能 导致空气污染物浓度升高、水资源消耗加大等问 题,对城市可持续发展和居民健康构成威胁^[7, 8]。 尤其在湿热地区,夏季高温和热岛效应相互叠 加,对室外热舒适度、能源消耗等产生了不可忽 视的影响^[9, 10]。

在推进"双碳目标"的大背景下,除了城市 层面的效应,室外热环境对于建筑设计的影响也 引起政府部门的重视:我国《绿色建筑评价标准 (GB/T 50378—2019)》条文 4.1.12 要求住区的室 外日平均热岛强度不得高于 1.5°C^[11];美国绿色

作者: 朱姝妍,华南理工大学亚热带建 筑与城市科学全国重点实验室:华 南理工大学建筑学院,工程师; 马辰龙,华南理工大学建筑设计 研究院有限公司,工程师; 刘骁(通讯作者),华南理工大学 亚热带建筑与城市科学全国重点 实验室:华南理工大学建筑学院, 副教授,硕士生导师; 黄雨晴,香港大学建筑学院,硕 十研究生。

国家自然科学基金项目 (52108011); 广东省基础与应用基 础研究基金(2024A1515012129; 2023A1515011137); 广州市科技 计划项目(2024A04J9930); 亚热 带建筑与城市科学全国重点实验室 研究课题(2024ZB06; 2022ZB11); 中央高校基本科研业务费专项资金 资助(2024ZYGXZR048)。

录用日期: 2024-08

建筑评估体系 LEED 中也有针对热岛效应 和热舒适度等方面的得分点^[12]。

不同尺度的城市空间及其性能互相耦 合影响,共同造就了异质性的城市环境, 大空间尺度的热岛效应始终影响小尺度的 建筑性能预期。建筑是城市物质空间的重 要组成部分,与周边环境存在复杂的能量 交换。通过整体的城市形态规划和布局设 计来优化室外热环境和建筑能耗^[13-17],有 利于城市可持续发展和居民生活品质提 升。在数字技术时代,尽可能精确地和全 面地表征城市热岛效应对建筑相关性能的 影响,能够最大限度地提升环境品质,创 造更宜居的城市环境。

二、城市热岛效应的常规研究方法

1. 城市热岛效应代表性研究方法及缺陷

当前各类城市热岛研究中研究方法主 要包括三种。(1)卫星遥感技术:在大尺 度的城市热岛研究中,大多以卫星遥感结 合 GIS 地理信息数据。获取大空间范围的 形态信息^[18],如将若干指数和表面特征与 陆地表面温度(LST)相关联,探索热岛效 应的分布状况^[19, 20]; (2) 气象站监测:利 用实测数据, 定义城市中心区站点与郊区 气象站(参考站点)之间的气温差,公式 表示为: $\Delta T_{urr} = T_r - T_{rural}$, 其中 ΔT_{urr} 值是城市 热岛强度指数 (Urban Heat Island Intensity Index, UHII), T; 是地块所在位置的城市气 象站点一小时的平均气温(°C), Tural 是郊 区气象站点一小时的平均气温(°C)^[21]; (3) 模拟软件: 多种建模方法可以模拟 UHII 对天气条件的影响,包括构建数值模 型,如计算流体动力学(CFD)模型、分 析或经验模型、基于物理的城市冠层模型 (UCM) 等,并结合 EnergyPlus、TRNSYS 等 模拟计算软件进行分析^[22-24]。

上述研究方法具备一定的普适性,但 基于建筑设计尺度的应用场景,始终存在 以下几项问题:

(1)卫星遥感技术分析为某一时刻的特定结果,缺乏时间上的连续性;现

场实测数据通常表现出较强的年际变化, 基于单年温度的 UHII 对建筑和环境的影 响可能呈现不稳定性,因而需要根据多 年变化来分析热岛效应对建筑能耗的影 响^[25],或者建立代表长期典型气候的典 型年气象数据 (TMY) 之后, 再探讨其 他要素的相关性^[26, 27]; (2) 基于气象站 监测的研究方法需要通过一定的实验设 备来获取数据资源,这些数据的空间覆盖 范围有限、无法很好地捕捉热岛效应对微 气候和建筑能耗影响的空间变化,一般仅 限于个别案例:(3) 模拟建立的 CFD 模型 能够预测城市街道峡谷中的气流模式,但 需要花费较大的计算成本^[28]; UCM 模型 不能很好地呈现建筑物周围的气流。却在 UHII 计算时效率高且准确。但是大多数相 关研究的最精细网格为1km,不利于街 区尺度的研究^[29, 30]。

在当前设计实践中,设计师始终缺乏 有效的工具或方法,能够将热岛效应影响 纳入设计流程之中。热环境模拟的常用软 件,如 ENVI-met 和 CFD 软件,均无法直 接快速地耦合热岛效应进行模拟分析。综 上所述,亟待建立一套对于设计师友好 的,时间设定上可以灵活自选的,并且可 以将城市热岛效应对街区尺度的区域微气 候影响耦合,合理有效地对城市街区形态 进行综合分析及优化设计的方法。

2. 基于参数化平台的城市天气生成器 (UWG)程序介绍

对于早期城市设计和场地规划的设 计决策,并不需要获取特定位置高精准 度的环境参数信息,更重要的是获取较 为合理的热环境评估结果,从而支撑以 性能寻优为导向的设计需求。当前基于 Rhino & Grasshopper 平台的城市天气生成 器(UWG)程序^[31]可以有效地满足以上 这些使用需求,它是基于 EnergyPlus 将中 尺度大气模型与建筑模拟引擎相结合的软 件,可以根据输入的城市模型,编辑与热 岛效应相关的城市、天气、景观等参数设 置,从而可以快速估计城市冠层中的热岛 效应, 兼顾考虑城市环境、建筑物和交通 等人为释放热量的影响。其输出结果是 epw 格式的城市天气文件, 因而可以直接 在建筑性能模拟中使用。

近几年一系列研究表明,可以通过参数设置来限定用地的使用功能、建筑高度 等基本规划条件,以及交通强度、绿化 潜热等相关数据,建立UWG模型,计算 UHII^[32];利用现有气象数据,优化上述参 数设置,提升UWG模型拟合现实气象数 据的准确度^[33];在此基础上,修正郊区气 象站或典型气象年(TMY)的天气文件, 使之针对性地反映所在城市场地的微气候 条件^[34]。与此同时,设计师可以在更为合 理的城市微气候条件基础之上,结合参数 化模型研究各项规划条件,从而精细地进 行群体规划和单体设计^[35, 36]。

三、耦合热岛效应分析的设计工作 流程

基于街区尺度的热岛效应分析和优 化方法,研究构建出一套以设计师作为 主导,集成参数化模型搭建、UWG计算、 数据优化、模拟分析等环节的设计工作流 程,如图1所示:

首先,将现状条件下的建筑物信息转 换为输入数据,在GH软件中对所研究的 街区形态进行建模,并搭建UWG模拟计 算程序;

第二步,根据参照时间段内城市和郊 区气象站的温、湿度对比数据,利用遗传 算法校准待研究地块的 UWG 模型,确定 所在城市特定区域的 UWG 参数设置;

第三步,获取经过 UWG 计算和校准 之后的城市区域微气候气象数据,并与 所处街区的实测微气候数据进行比较和 分析;

最后,基于 UWG 模型获取的气象数据,对典型年气象数据 (TMY)进行转换 (Morphing^[37]),通过模拟得到不同区位的 城市街区斑块所对应的性能指标,包括 UTCI 和能耗计算等,并进行耦合微气候效 应的建筑性能综合对比和分析评价。



图 1: 集成街区模型建立及热岛效应分析、室外舒适度和能耗模拟的设计工作流程

四、基于 UWG 模型的热岛效应异质 性验证

广州市作为湿热气候地区的代表性城 市,是本文的重点研究对象。为了研究不 同热岛效应强度对城市微气候及建筑物的 影响,本研究的街区形态斑块选取遵循以 下原则:(1)斑块内城市肌理应具备一定 的可泛化性,并排除单一肌理的城市斑 块(如纯住宅小区);(2)不同城市斑块间 应存在明显的开发强度差异。根据上述原 则,在主城区选取两组城市街区形态斑块 建立模型,进行 UWG 模型验证以及热岛 效应分析。

1. 城市调研和分析模型建立

根据 Oke 的研究成果,可以将城市街 区尺度限定为 500 m,加以分析微观尺度 的热现象^[38]。因此,本文选取 500 m 的 研究半径,作为每一组用于分析的城市街 区"形态斑块"的有效计算边界,此处的 "形态斑块"可以被视为模拟分析时的一 个灵活的计算单元,包含一系列建筑物的 城市形态信息,以及相关的物理参数和街 道植被信息等^[39]。

根据广州城市 GIS 数据和 Shp 格式模型,结合现场调研,记录街区分布情况以及建筑相关信息,提取出需要分析的城市 组团的形态斑块,并对其内部道路环境及 建筑体量功能等进行整合、简化,形态斑 块的边界以选区边缘最为邻近的道路作为 限定,具体的提取流程和方法如图 2 所示。

斑块一和斑块二的建筑使用功能和片 区属性定位差别较大,斑块一为城市普通 街区,包含住宅、公寓、教育等复合建筑 功能;斑块二为典型城市 CBD 中央商务 区,建筑多为高层和超高层,外立面以玻 璃幕墙为主,因而夏季空调制冷需求和能 耗较大。按照分析案例所在区位以及是否 为城市中心区、主要的建筑功能、高度分 布情况、绿地率等不同方面,将两组形态 斑块的相关信息整理为表1。

2.UWG 模型搭建及参数调优

现有 UWG 研究中,通常将温度作为 唯一的优化变量^[40],本研究选取温度和 相对湿度两个变量一起优化,将它们拟合 得到的帕累托前沿作为多目标优化的目 标,综合两个变量同步优化,可以使校准 模型的可靠性增强。此外,需要解决的是 不可微分和非线性成本函数问题,因而选 取遗传算法 (GA)用于模型校准,目标 函数为温度和相对湿度的加权方差变异系 数 (CV) 之和,CV 计算基于均方根误差 (RMSE),计算公式如下:

$$RMSE = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} (x_i \cdot \hat{x}_i)^2}}{n},$$
$$CV = RMSE / \bar{x}_i \times 100\%.$$

其中, x; 和x;是真实值和预测值, x;是真实 值的平均值^[41]。

将两组城市斑块数据分别导入 Rhino

模型,基于参数化平台搭建 UWG 模型热 岛效应模拟程序,如图 3 所示,各个模块 的具体功能如下:

(1)模型参数设置模块:结合城市调研数据对城市建筑体块设置功能、典型运行时间、外表皮热工性能等参数;

(2) UWG 计算模块:设置该组城市 斑块的关键参数用以生成 UWG 模拟计算 模型,根据郊区气象站温湿度信息,该 UWG 模型可以输出城市斑块内对应的局 地温度湿度参数模拟值;

(3)天气文件输入模块:输入城市斑 块内气象站的实测温湿度数据,与UWG 模型输出的局地温湿度数据模拟值形成数 据对,便于后续的参数优化:

(4) 优化分析模块:使用内置 NSGA-II 遗传优化算法的 Wallacei X 插件进行多目 标优化,获取帕累托最优解。

当采用遗传算法进行数据校准,寻优 后的参数设置可以辅助获取更为合理的 UWG 模型,表 2 列出了 UWG 模型中用于 校准和优化的 11 项参数名称以及对应的 取值范围等信息。模拟运行的起止时间为 夏季最热的一周(2020年7月6日0:00 至7月12日24:00),经过200代迭代, 每代50个数据的进化计算之后,得到稳 定的优化结果。

3. 优化结果分析

1) 优化前后的模型参数对比

表 3 为 UWG 模型优化前后,两组斑 块 UWG 模型的参数对比情况。城市其他 区域可以参照上述 UWG 模拟计算方法的 思路,获取与所在街区对应的 UWG 模型 参数,从而得到针对性更强的街区气象 数据,来辅助性能视角下的设计和研究 工作。

2) 优化前后数据统计及对比

为了更好地说明优化结果, 在校准过 程中拟定了参照模型, 即以优化初始(第 一代)的随机参数设置为范本, 所涉及的 表 2 所示变量没有任何突变和交叉操作。 对两组斑块优化前后的模拟结果做进一步



图 2: 街区空间形态提取流程和方法——以分析斑块一为例

| | | 表1 | | | |
|-----|----------------------|-------------------|-----|------|------|
| | 主要功能 | 高度分布 | 绿地率 | 卫星图示 | 分析图示 |
| 斑块一 | 城市普通街区:住 宅、教育、公寓等 | 24m 及以下 | 53% | | |
| 斑块二 | 城市中央商务街 区: 商务办公等 | 主要为 200 ~ 300m | 60% | | |



图 3. 参数化平台搭建的模拟程序及主要功能模块

UWG 模型参数信息统计表

| 序号 | 类型 | 参数名称 | 单位 | 分布方式 | 边界条件 |
|----|----|--------------|------------------|------|-------------|
| 1 | | 白天城市边界层高度 | m | 均匀分布 | 500 ~ 1200 |
| 2 | | 夜晚城市边界层高度 | m | 均匀分布 | 50 ~ 120 |
| 3 | 天气 | 垂直扩散的逆温高度 | m | 均匀分布 | 70 ~ 250 |
| 4 | | 循环系数 | _ | 均匀分布 | 0.6 ~ 1.2 |
| 5 | | 交换系数 | _ | 均匀分布 | 0.1 ~ 0.9 |
| 6 | | 绿化反照率 | _ | 正态分布 | 0.2 ~ 0.3 |
| 7 | 景观 | 草地吸收的太阳能潜热释放 | _ | 均匀分布 | 0.4 ~ 0.8 |
| 8 | | 树木吸收的太阳能潜热释放 | _ | 均匀分布 | 0.4 ~ 0.8 |
| 9 | | 道路反照率 | — | 均匀分布 | 0.08 ~ 0.24 |
| 10 | 城市 | 交通人为热通量 | W/m ² | 均匀分布 | 8 ~ 30 |
| 11 | | 废热 | _ | 均匀分布 | 0.1 ~ 0.9 |

两组斑块 UWG 模型优化前后的参数

斑块-斑块一 斑块二 斑块二 序号 类型 单位 参数名称 (优化前) (优化后) (优化前) (优化后) 1081 1 白天城市边界层高度 1002 1183 1200 m 2 夜晚城市边界层高度 m 75 61 62 119 3 天气 垂直扩散的逆温高度 99 100 92 219 m 4 1 17 1 08 循环系数 1 1 4 1 1 7 0.69 5 0.54 0.90 0.66 交换系数 _ 6 绿化反照率 0.21 0.28 0.25 0.29 ____ 7 景观 草地吸收的太阳能潜热释放 0.76 0.80 0.51 0.76 8 树木吸收的太阳能潜热释放 0.63 0.60 0.66 0.45 9 道路反照率 0.09 0.22 0.17 0.23 24.1 10 城市 交通人为热通量 W/m² 13.8 16.8 15 0.2 11 废执 04 04 03

参照模型和校准模型数据统计

| | | 温度 RMSE | 温度 CV (%) | 湿度 RMSE | 湿度 CV (%) | CV 加权和(%) |
|-----|------|---------|-----------|---------|-----------|-----------|
| 斑块一 | 参照模型 | 1.89 | 6.06 | 7.39 | 9.99 | 8.03 |
| | 校准模型 | 1.32 | 4.23 | 6.36 | 8.61 | 6.42 |
| 斑块二 | 参照模型 | 1.72 | 5.41 | 6.21 | 9.28 | 7.35 |
| | 校准模型 | 0.84 | 2.64 | 4.69 | 7.02 | 4.83 |

计算,所对应的 RMSE 和 CV 数据统计如 表 4 所示,本研究中温度和湿度的权重均 取 0.5。

校准后温度的 CV 值均小于 5%, 湿度 的 CV 值均小于 9%, 均优于参照模型, 因 而校准模型的温度和湿度可预测性更高; 其中, 温度的相关数值低于湿度的, 说明 校准模型对于温度的预测优于湿度的预测。 此外,斑块二的温度、湿度的 RMSE 和 CV 数值均优于斑块一,加权和分别为 6.42% 和 4.83%,说明斑块二相较于斑块一的曲 线拟合度更高,最终的数据结果也验证了 该方法对于热岛效应更显著的城市中心区 的优化效果更好、校准结果更准确。

3) 模拟数据与实测数据对比

表 2

表 3

表 4

将两个斑块校准模型的模拟数据与城 市站点的实测数据进行对比分析(图4、 图 5)。由逐时温度曲线可以看出。斑块一 与斑块二的温度曲线接近,且前者始终低 于后者,平均值曲线也很好地反馈了这一 实际现象,且平均值变化较大的时段出现 在13:00-16:00的区间范围内。从模拟 结果来看,两组虚线曲线接近,且绝大多 数时间红色曲线高于蓝色曲线,说明斑块 二的模拟温度保持高于斑块一的温度。就 平均值曲线来看,在10:00-14:00的 范围内出现了短暂的蓝色虚线超过红色的 情况,这是因为在这一时段, 斑块一 UWG 模型普遍高估了温度, 而斑块二则普遍低 估了温度,因而造成了该时间区间的误差 影响被扩大,平均值曲线发生了细微变化。

由逐时湿度曲线可以看出, 斑块一与 斑块二的湿度曲线相差较大, 普遍在 5% 左右;且前者始终高于后者,这正好与温 度的趋势相反;从平均值曲线来看,两条 实线始终呈现出均匀变化的趋势,即实际 湿度变化的范围始终保持一致。从模拟结 果来看,逐时湿度两组虚线与实线变化呈 现出高度的一致性,且基本保持蓝色虚线 高于红色虚线, 说明斑块一的模拟湿度始 终高于斑块二。逐时湿度平均值曲线显示, 两个斑块的模拟结果在 9:00-17:00 的 时间区间,尤其是斑块二的预测曲线出现 了一定的波动现象,比实际值偏大,造成 两条虚线所呈现的湿度差值变化明显减少 了,这与中心城区日间环境的变化较大有 关,因而 UWG 模型积极地反馈了日间活 动的影响。

通过两组斑块温度、湿度校准数据和 实测数据对比,可以看出UWG 模型较好 地反馈了不同地块之间温度和湿度的变化 趋势以及微气候不同引起的数值差别,虽 然在某些时段会出现一定的数据波动和增 减偏差的现象,但是对于设计阶段进行的 耦合分析来说是可以接受的。综上所述, UWG 模型可以在城市设计阶段用于分析 不同地块的温度和湿度变化,并对多个地 块之间的数据进行综合比对。



图 4. 两个斑块逐时温度模拟和实测数据对比分析



图 5: 两个斑块逐时湿度模拟和实测数据对比分析

五、耦合热岛效应的不同城市街区 斑块性能差异分析

传统的模拟分析往往运用的是典型年 气象数据(TMY),数据获取的气象站一 般位于城市郊区或者机场附近,且年代久 远并不能捕捉越来越快的城市化进程对于 气象条件产生的各种影响。利用优化校准 后的UWG 模型及参数设置,可以对TMY 数据转换,得到耦合热岛效应的气象年数 据,从而可以匹配分析案例所在城市区域 当前的全年微气候条件。基于斑块一和斑 块二优化后的数据结果,分别生成了两个 新的 EPW 文件,一个作为城市普通街区 (EPW1)的气象数据,一个作为城市商务 办公街区(EPW2)的气象数据,分别用 于不同地块在微气候影响下的室外热舒适 度 UTCI 模拟和建筑能耗模拟分析。

1. 室外热舒适度 UTCI 计算及评价

对两组斑块主要的室外人行区域进行 划分, 斑块一包括字母 A-P 所对应的区域, 斑块二则包括字母 A-U 所对应的区域;利 用 GH 软件的 Ladybug 插件并结合 UWG 插件,搭建室外热舒适度的参数化计算程 序,在郊区气象数据 TMY 和校准生成的两 个气象数据 EPW1、EPW2 基础之上,分别 计算得到测试期内有无热岛效应影响下的 外部人行区域 UTCI 数值(图 6、图 7)。

UTCI 计算结果为各地块经过网格划 分之后,计算得到的室外热舒适度平均 值。测试时间段仍为最热一周(2020年 7月6日0:00至7月12日24:00),时 间长度总计168个小时,模拟计算结果按 照UTCI 与对应的热舒适度分类标准,区分 为三类:(1)38°C~46°C,很热不舒适; (2)32°C~38°C,热不舒适;(3)26°C~ 32°C,较热不舒适。

图 8、图 9 中横坐标字母为所在人行 区域代码,采用 TMY 计算后的 UTCI 数值 所对应的不舒适小时数为蓝色柱状图所 示,而耦合 UWG 模型的 EPW1、EPW2 气 象文件计算结果为橙色柱状图。此外根据 箱型图数据分析,可以明显看出计算结果 对比和二者之间的变化趋势。

对于斑块一,相较于TMY分析数据, EPW1 分析数据增加了热不舒适的小时 数(8.2小时),减少了较热不舒适的小时 数(8.7小时);在很热不舒适范围,两组 数据分析结果呈现出一致性(相差0.5小 时)。对于斑块二,相对于TMY分析数据, EPW2 分析数据显著地增加了热不舒适的 小时数 (39.9小时),显著地减少了较热 不舒适的小时数 (37.6小时), 并且每个 研究区域处在较热不舒适阶段的时间分布 数量非常稳定,变化最小。在很热不舒适 范围,两组数据分析结果也呈现出一定差 别, EPW2 分析数据减少了一定的很热不 舒适时间 (2.3 小时), 说明在热岛效应作 用下,虽然温度增加,湿度降低,但是整 体来看,与之相应的 UTCI 数值却减小了。

2. 能耗计算及评价

参照《建筑节能与可再生能源利用通 用规范》GB 55015—2021^[42]中表 C.0.6-1 空气调节的日运行时间、表 C.0.6-2 空调区 室内温度(°C)、表 C.0.6-4 照明使用时间





图 8: 斑块一外部主要人行区域的 UTCI 计算结果统计表



图 9: 斑块二外部主要人行区域的 UTCI 计算结果统计表

(%)、表 C.0.6-8 公共建筑新风运行情况 等,对地块内的所有建筑用电情况分别设 置。基于已搭建的能耗快速计算程序^[43], 采用 TMY 和校准生成的两个气象数据 EPW1、EPW2,分别计算得到每个街区的 制冷能耗数据(表5),与之对应的伪色图 见图 10、图 11。其中制冷季是根据室外 干球温度,选取日平均温度高于 25°C 的起 止日期来确定的,广州所在的夏热冬暖气 候区建筑空调系统制冷季天数长,冷负荷 峰值及累积量具有较大影响,因而在此表 中单列。

图 10、图 11 中,(1) 表示 TMY 气 象数据下的空调制冷功率;(2) 表示 EPW1/EPW2 气象数据下的空调制冷功率; (3) 为后者减去前者的差值。热岛效应影 响下,斑块一空调制冷功率出现变化基本 均为增加(颜色为暖色),且增加较为明 显的时间段为4—11月的时间段内,逐时 增加范围在5~20W。斑块二在热岛效应

| 单位面积制冷能耗数据统计表(单位:kW/h) | | | | | |
|------------------------|------------|-------|--------------------------------------|--------------------------------|--|
| 名称 | 数据项目 | 全年 | 制冷季 (5月6日—10月17日) ^[44] | 测试时间段 (7月6日0:00—7月12日24:00) | |
| 斑块一 | TMY | 167.6 | 146.4 | 7.82 | |
| | EPW1 179.4 | | 155.6 | 8.09 | |
| | 差值 | 11.8 | 9.2 | 0.27 | |
| | 增加百分比 | 7.0% | 6.3% | 3.5% | |
| 斑块二 | TMY | 160.3 | 132.7 | 6.53 | |
| | EPW2 | 172.4 | 139.7 | 6.80 | |
| | 差值 | 12.1 | 7.0 | 0.27 | |
| | 增加百分比 | 7.5% | 5.3% | 4.1% | |

影响下,空调制冷功率局部在特定时间出现减少的现象(图 11-3 中局部的冷色色块),其余时段也均为增加,特别是在过渡季4月和5月、10月和11月初的6:00—12:00以及中午到下午6:00前这两个时段,增加效果更为长久和明显,甚至在某些时刻制冷功率的逐时增幅超过20W。

综上所述,通过短时气象数据可以

对城市街区形态 UWG 模型进行优化校 准,校准后的 UWG 模型对城市斑块内 温度的预测优于相对湿度的预测,并且 该模型针对热岛效应更强的城市中央商 务区微气候环境的拟合效果更好。通过 基于 TMY 气象数据和 UWG 模型生成的 EPW1、EPW2 气象数据的分别计算,室 外热舒适度和建筑能耗产生不同数值对





比,充分说明热岛效应对于这两个性能 指标的影响不可忽视,因而将热岛效应 与微气候分析引入设计工作流程之中非 常重要,意义深远。

六、结语与展望

本文从建筑师的视角出发,以数字化 工具为载体,探讨城市微气候条件下的街 区气候适应性设计及性能优化方法。通过 运用参数化平台的 UWG 插件进行热岛效 应影响下的微气候气象数据获取和校准, 并与实测气象数据进行对比验证;利用校 准生成的气象数据,分析两个街区形态斑 块的室外热舒适度与建筑能耗,证实在城 市设计中耦合热岛效应进行微气候分析的 必要性。最终,通过构建结合 UWG 计算 和数据优化等环节的设计工作流程,实现 设计师考虑微气候与热岛效应的自主性和 可能性,促进设计实践中全面地评估场地 布局和热环境条件,进而实现降低建筑物 能耗、减少碳排放的需求。

受限于模拟计算时长和数据获取便捷 性,当前研究主要基于短时气象数据,并 利用其校准后生成热岛效应影响下的区域 微气候数据。未来,将继续选取代表性城 市街区,开展连续实测以获取更长时间跨 度的微气候数据,并致力于提升 UTCI 和建 筑能耗计算的速度和准确性,使研究结论 更为完善。此外,当前的室外场地分析主 要针对热环境进行,未耦合风环境模拟引 擎^[45,46],在今后的研究中,将对自然通 风条件下的风速影响进一步挖掘,继续完 善软件平台中的相关程序,使模拟计算的 物理环境与现实中的外部环境更为贴合。

在当前的设计实践中,高质量和精细 化发展引发了一系列问题和矛盾:模拟分 析与设计工具无法集成,常规的城市微气 候分析方法难以指导设计,多种设计参数 与性能指标的关系不明确等。随着数字技 术的发展和变革,在设计阶段有效地进行 分析筛选和方案优化,并快速地做出合理 的科学决策成为可能。设计要素的多元统 一性也促使必须要由建筑师来统筹解决这 些问题和矛盾。因此,除了传统地关注建 筑物的本体要素与造型变化之外,建筑师 更应关注通过科学决策和精准设计来创造 和局部提升优良的空间场所和外部环境, 从根本上为实现"双碳"背景下的绿色发 展目标作出贡献。 参考文献

[1] 周淑贞,束炯.城市气象学[M].北京:气象出版社, 1994.

[2] 冷红, 陈天, 何宝杰等. 气候适应性与空间品质提升[J]. 城市规划, 2023, 47 (11): 46-50.

[3] 韩冬青,顾震弘,吴国栋.以空间形态为核心的公
 共建筑气候适应性设计方法研究[J].建筑学报,2019
 (4):78-84.

[4] Liyanage Don Rukmal, Hewage Kasun, Hussain Syed Asad, et al. Climate adaptation of existing buildings: A critical review on planning energy retrofit strategies for future climate[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2024, 199: 114476. [5] Kyprianou Ioanna, Artopoulos Georgios,

Bonomolo Anna, et al. Mitigation and adaptation strategies to offset the impacts of climate change on urban health: A European perspective[J]. Building and Environment, 2023, 238 (2008) : 110226.

[6] 舒欣, 陈晨, 唐超. 碳中和导向的气候适应性建筑 设计演绎——以英属哥伦比亚大学可持续发展互动 研究中心为例[J]. 建筑师, 2022 (02): 68-75.

[7] Eugenio Pappalardo Salvatore, Zanetti Carlo, Todeschi Valeria. Mapping urban heat islands and heatrelated risk during heat waves from a climate justice perspective: A case study in the municipality of Padua

(Italy) for inclusive adaptation policies[J]. Landscape and Urban Planning, 2023, 238 (3) : 104831.

[8] 何宝杰. 澳大利亚城市高温缓解技术与策略体系 [J]. 国际城市规划, 2023, 38 (06): 193-199.

[9] Jalali Zahra, Shamseldin Asaad Y., Ghaffarianhoseini Amir. Urban microclimate impacts on residential building energy demand in Auckland, New Zealand: A climate change perspective[J]. Urban Climate, 2024, 53 (3) : 101808.

[10] Wang Chenguang, Zhan Wenfeng, Li Long, et al. Urban heat islands characterized by six thermal indicators[J]. Building and Environment, 2023, 244 (2) : 110820.

[11] 《绿色建筑评价标准》 GB/T 50378—2019[S]. 北 京: 中华人民共和国住房和城乡建设部.

[12]《能源与环境设计先锋》标准修订版本v4 (Leadership in Energy and Environmental Design, LEED v4) [S]. 美国绿色建筑委员会(USGBC), 2013.
[13] 叶宇, 殷若晨, 胡杨,等. 精准城市形态对街道温 度的影响测度与设计应对[J]. 风景园林, 2021, 28(08): 58-65.

[14] 刘可,徐小东,王伟,等.近30年城市形态与建筑 能耗关联性研究综述[J].建筑学报,2023 (S1):120-127.

[15] Sun Cheng, Lian Wuyue, Liu Lei, et al. The impact of street geometry on outdoor thermal comfort within three different urban forms in severe cold region of China[J]. Building and Environment, 2022, 222: 109342.

[16] Oh Minseok, Jang Kee Moon, Kim Youngchul.
Empirical analysis of building energy consumption and urban form in a large city. A case of Seoul, South Korea[J]. Energy and Buildings, 2021, 245 (6):111046.
[17] 肖蔵, 张彤. 建筑体形性能机理与适应性体形设 计关键技术 [J]. 建筑师, 2019 (06):16-24.

[18] Gaitani Niki, Burud Ingunn, Thiis Thomas, et al. High-resolution spectral mapping of urban thermal properties with Unmanned Aerial Vehicles[J]. Building and Environment, 2017, 121 (2) : 215-224.

[19] Equere Victor, Mirzaei A. Parham, Riffat Saffa, et al. Definition of a new morphological parameter to improve prediction of urban heat island[J]. Sustainable Cities and Society, 2020, 1 (56).

[20] Tanoori Ghazaleh, Soltani Ali, Modiri Atoosa.
Machine Learning for Urban Heat Island (UHI) Analysis:
Predicting Land Surface Temperature (LST) in Urban
Environments[J]. Urban Climate, 2024, 55 (11) : 101962.
[21] Shi Yurong, Zhang Yufeng. Urban morphological
indicators of urban heat and moisture islands under various
sky conditions in a humid subtropical region[J]. Building
and Environment, 2022, 214 (9) : 108906.

[22] Kim Se Woong, Brown Robert D. Urban heat island (UHI) intensity and magnitude estimations: A systematic literature review[J]. The Science of the total environment, 2021, 779: 146389.

[23] Yoo Wonjae, Clayton Mark J., Yan Wei. ESMUST: EnergyPlus-driven surrogate model for urban surface temperature prediction[J]. Building and Environment, 2023, 229 (1) : 109935. [24] Ma Yichuan X., Yu Ava C. Impact of urban heat island on high-rise residential building cooling energy demand in Hong Kong[J]. Energy and Buildings, 2024, 311 (12) : 114127.

[25] Cui Ying, Yan Da, Hong Tianzhen, et al. Comparison of typical year and multiyear building simulations using a 55-year actual weather data set from China[J]. Applied Energy, 2017, 195 (4) : 890-904.
[26] Li Xiaoma, Zhou Yuyu, Yu Sha, et al. Urban heat island impacts on building energy consumption: A review of approaches and findings[J]. Energy, 2019, 174 (1) : 407-419.

[27] Singh Manan, Sharston Ryan. Quantifying the dualistic nature of urban heat Island effect (UHI) on building energy consumption[J]. Energy and Buildings, 2022, 255 (4) : 111649.

[28] Du Ruiqing, Liu Chun-Ho, Li Xianxiang, et al. Interaction among local flows, UHI, coastal winds, and complex terrain: Effect on urban-scale temperature and building energy consumption during heatwaves[J]. Energy and Buildings, 2024, 303 (10) : 113763.

[29] Mirzaei Parham A. Recent challenges in modeling of urban heat island[J]. Sustainable Cities and Society.2015, 19 (10) : 200-206.

[30] 姜之点,杨峰.街区尺度城市形态因子对建筑能 耗影响的模拟研究[J].建筑科学,2022,38(06): 140-149.

[31] Bueno Bruno, Norford Leslie, Hidalgo Julia, et al. The urban weather generator[J]. Journal of Building Performance Simulation, 2013, 6 (4) : 269-281.

[32] Boccalatte Alessia, Fossa Marco, Thebault Martin, et al. Mapping the urban heat Island at the territory scale: An unsupervised learning approach for urban planning applied to the Canton of Geneva[J]. Sustainable Cities and Society, 2023, 96: 104677.

[33] Xu Genyu, Li Jinglei, Shi Yurong, et al. Improvements, extensions, and validation of the Urban Weather Generator (UWG) for performanceoriented neighborhood planning[J]. Urban Climate, 2022, 45 (10) : 101247.

[34] Kamal Athar, Mahfouz Ahmed, Sezer Nurettin, et al. Investigation of urban heat island and climate change and their combined impact on building cooling demand in the hot and humid climate of Qatar[J]. Urban Climate, 2023, 52 (2) : 101704.

[35] Litardo J., Palme M., Borbor-Cordova M., et al. Urban Heat Island intensity and buildings energy needs in Duran, Ecuador: Simulation studies and proposal of mitigation strategies[J]. Sustainable Cities and Society, 2020, 62: 102387.

[36] Yaqubi Obaidullah, Rodler Auline, Guernouti

Sihem, et al. Creation and application of future typical weather files in the evaluation of indoor overheating in free-floating buildings[J]. Building and Environment, 2022, 216 (7772) : 109059.

[37] Detommaso, M., Costanzo, V., et al. Application of weather data morphing for calibration of urban ENVImet microclimate models. Results and critical issues[J]. Urban Climate, 2021, 38 (4) : 100895.

[38] Oke Tim R. Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations at Urban Sites [EB/OL]. World Meteorological Organization (WMO), 2016. https://library.wmo.int/index.

php?lvl=notice_display&id=9262#.Y-8lhHZBy3A. [39] Ma Rui, Wang Tao, Wang Yan, Chen Jiayu. Tuning urban microclimate: A morpho-patch approach

for multi-scale building group energy simulation[J]. Sustainable Cities and Society, 2022, 76 (4) : 103516. [40] Mao Jiachen, Fu Yangyang, Afshari Afshin, et al. Optimization-aided calibration of an urban microclimate model under uncertainty[J]. Building and Environment, 2018 143 (8) : 390-403.

[41] Shen Pengyuan, Liu Junhuan, Wang Meilin. Fast generation of microclimate weather data for building simulation under heat island using map capturing and clustering technique[J]. Sustainable Cities and Society, 2021 71. 102954

[42]《建筑节能与可再生能源利用通用规范》 GB 55015—2021[S]. 北京:中华人民共和国住房和城乡 建设部.

[43] 朱姝妍, 马辰龙, 向科, 等. 面向方案阶段能耗
 主导的建筑性能快速优化方法[J]. 建筑师,2021(06).
 69-76.

[44] 刘启明, 高朋, 魏俊辉, 等. 典型气候区典型建 筑负荷特性研究[J]. 建筑节能, 2019, 47 (04): 47-50+55.

[45] 姚佳伟,黄辰宇,付斌,等.深度强化学习支持
下风环境性能驱动的设计研究与实践[J].建筑学报,
2022 (S1); 31-38.

[46] 董玉宽,张哲,孙诗溢,等.基于微气候模拟的 城市综合公园活动空间热舒适评价研究——以沈阳 市万柳塘公园为例[J].西部人居环境学刊,2023, 38 (06):15-21.

图表来源

表 1: 卫星图示为百度地图截图 图 3: 来自搭建的 Grasshopper 程序截图 文中其他图表均为作者自绘