

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2023.11.002

邓艺杰, 鄧阳. 基于热舒适性和能源效率的花园艺术对城市小气候的影响与实证分析 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2023, 45(11): 13-21.

# 基于热舒适性和能源效率的花园艺术对城市小气候的影响与实证分析

邓艺杰<sup>1</sup>, 鄧阳<sup>2</sup>

1. 周口师范学院 设计学院, 河南 周口 466000; 2. 上海师范大学 美术学院, 上海 200233

**摘要:** 随着人口增长、城市扩张以及全球变暖, 城市地区较高的气温对人类生活的各个方面产生了不同程度的影响, 例如人类健康、水消耗、能源使用和空气质量。因此, 关注设计对开放空间热舒适度的影响非常重要。本研究旨在探究基于热舒适性和能源效率的花园艺术对城市小气候的影响, 并通过实证分析提供科学依据。研究方向是建立城市小气候模拟模型, 利用数值模拟和计算流体力学方法, 对不同花园艺术设计在城市小气候中的影响进行模拟和仿真, 以评估其在改善城市热环境和降低能耗方面的效果。首先, 在 ENVI-met(用于模拟地表-植物-空气相互作用的整体三维模型)中模拟了一个具有当前基础花园布局的真实小区, 并通过将模拟结果与实际测量温度进行比较, 验证了 ENVI-met 模型的可靠性。然后, 通过模拟同一 CBD 区域不同花园设计方案, 评估并比较了其对城市小气候和人体热舒适度的差异。最后, 将不同的花园设计方案输出到动态建筑能源模拟软件中, 以获得案例区域内建筑的能耗数据。研究表明, 花园艺术的不同设计方案会导致植物在降温、增湿、遮光等方面存在明显差异, 从而影响其对热舒适性和能源效率的贡献。这些评估结果可以为城市规划和设计提供科学依据, 指导花园艺术设计的选择和优化, 以实现更好的热舒适性和能源效率。

**关键词:** 热舒适性; 能源效率; 花园艺术; 城市小气候;

城市规划; 可持续发展

中图分类号: TU986; P463.3

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文章编号: 1673-9868(2023)11-0013-09

## Effect of Thermal Comfort and Energy Efficiency Based Garden Art on the Urban Microclimate with Empirical Analysis

DENG Yijie<sup>1</sup>, ZHI Yang<sup>2</sup>

1. School of Design, Zhoukou Normal University, Zhoukou Henan 466000, China;

2. School of Fine Arts, Shanghai Normal University, Shanghai 200233, China

收稿日期: 2023-09-01

基金项目: 河南省哲学社会科学规划年度项目(2021CYS065); 国家社科基金艺术学项目(22BG118).

作者简介: 邓艺杰, 讲师, 主要从事环境设计、传统村落景观保护研究。

**Abstract:** With the rapid growth of population, urban expansion, and the challenges of global warming, urban areas have experienced rising temperature, which significantly affects the various aspects of human life, including health, water consumption, energy usage, and air quality. Consequently, there is a pressing need to explore the influence of design on thermal comfort in open spaces. This research aims to investigate the impact of garden art on urban microclimate with a focus on thermal comfort and energy efficiency, and provide empirical evidence to inform scientific decision-making. The research direction involves the establishment of an urban microclimate simulation model. Utilizing numerical simulation and computational fluid dynamics methods, various garden art design solutions are simulated and evaluated to assess their effectiveness in enhancing the urban thermal environment and reducing energy consumption. Firstly, A real urban neighborhood, featuring a representative garden layout, served as the basis for the initial simulation in ENVI-met (a holistic 3D model for simulating surface-plant-air interactions), a comprehensive 3D model was used to simulate the surface-plant-air interactions. The reliability of the ENVI-met model was validated through comparison of simulation results with actual measured temperatures. Subsequently, diverse garden design scenarios were simulated within the same central business district (CBD) area to evaluate and compare their effects on urban microclimate and human thermal comfort. Additionally, a dynamic building energy simulation software was employed to obtain energy consumption data for the buildings in the case area, and integrate the influence of various garden art designs. The study's findings indicate that different garden art design options can significantly influence cooling, humidification, and shading of plants, and consequently impact the thermal comfort and energy efficiency. These results offer a scientific basis for urban planning and design, guiding the selection and optimization of garden art designs to enhance thermal comfort and energy efficiency in urban environments.

**Key words:** thermal comfort; energy efficiency; garden art; urban microclimate; urban planning; sustainability

目前,全球超过一半的人口生活在城市地区。城市化带来的居民数量急剧增长,导致了与城市发展结构和基础设施密度相关的环境变化。例如,随着新建筑物的增加,不透水表面的面积也随之增加,而绿化面积的比例则减少。这样的结果使得小气候条件发生了明显的变化,从而造成了广泛的城市热岛现象,尤其在市中心地区表现得最为显著。

由于人口和高层建筑数量的不断增加,公园和植被的区域空间不断减少,产生了许多环境问题<sup>[1-3]</sup>。在全球范围内,人们在建筑物中使用了三分之一的能源,而城市热岛效应等环境问题会进一步影响建筑物的能源需求。因此,检测城市上空不断升高的气温并改善这种状况已变得至关重要。在大多数大城市,到处都是高层建筑,这是经济和工业活动以及人口增长的反映和结果。与低层建筑相比,高层建筑每平方米的能耗更高。造成建筑物高能源强度的因素有很多,包括结构、空调、占用率、气候以及更大的环境压力(如城市热岛效应)。与低层建筑相比,高层建筑更容易受到气候因素的影响,需要缓冲效应来保护。

在城市发展进程逐步加快的今天,环境问题变得尤为突出,城市绿地也变得尤为珍贵。所以,在建筑设计时,将花园艺术融入于建筑设计中,一方面可以有效增加城市绿地,另一方面,可以通过植物小气候效应以自然的方式去调节建筑内环境,也可有效减少城市能源消耗,改善生活环境。

将花园艺术设计,即绿色屋顶、绿色墙壁以及各种树木植被形式的绿化,引入城市空间,是抵消城市热岛效应最常用的方法之一。花园艺术设计中的绿色植物减少了到达地球表面的太阳辐射,从而降低了气温。它可以防止基质升温,具体取决于所使用的绿色植物的类型,并通过遮阴和蒸散影响城市小气候条件。

花园艺术设计的使用是城市空间改造中侵入性最小的形式之一, 因此不会违反现有建筑的现状, 特别是城市中心的历史建筑。

目前越来越多的研究采用花园艺术设计来改善城市小气候并解决建筑领域日益增长的能源需求。崔凤娇等<sup>[4]</sup>进行了实验和数值研究, 以评估公园种植的植被的降温效果, 他们得出研究结论, 树冠提供的遮阳效果可直接缓解城市热岛效应, 而树叶的蒸发冷却效果则可间接解决城市热岛问题。徐宁<sup>[5]</sup>指出, 对城市几何形状稍作改动, 例如在建筑环境中引入小型公园能显著改善城市小气候。Tien 等<sup>[6]</sup>对街道两旁的一排树木进行了流体动力学模拟计算, 结果显示行人层的气温降低了 1 °C。周宏轩等<sup>[7]</sup>的研究结果表明, 建筑的布局与城市的小气候以及能源性能之间存在量的相关性, 并为城市规划者和设计者提供了建议, 如减少城市热岛效应和减少能源使用的策略。另外, 熊瑶等<sup>[8]</sup>的研究结果表明, 城市街区的布置和植被配置可以显著降低空气污染物浓度, 改善小气候。宋云帆等<sup>[9]</sup>研究了城市形态的各种参数(建筑面积类型、建筑间距等)与城市气温的相关性。同样, 周涵宇等<sup>[10]</sup>研究了影响中国不同气候带建筑节能性能的多个参数。还有研究者尝试使用机器学习来寻找最合适的建筑形式, 以减少碳足迹<sup>[11]</sup>。Guo 等<sup>[12]</sup>重点研究了景观空间中的植被结构、叶面积指数和叶面积密度等绿化指标对于景观空间格局和小气候的影响。Tsoka 等<sup>[13]</sup>使用 Green CTTC 模型研究了雅典街道的小气候改善策略, 其中考虑了汽车交通的热负荷。Dissanayake 等<sup>[14]</sup>通过模拟同一社区的不同树木布局(簇状、等间隔或分散), 评估了室外小气候的差异及其对人体热舒适度的影响, 得出的结论是, 由于在炎热、干旱、沙漠环境中遮阳的重要性, 两棵树的等间距排列为附近提供了最大的小气候和人类热舒适度, 其次是集群式树木排列(没有树冠重叠)。Sun 等<sup>[15]</sup>以伦敦奥林匹克公园东村为例, 提供了一种定量工具来评估小气候并优化建筑物周围树木的设计和布局, 以提高行人舒适度。

基于以上研究, 本文通过热舒适性和能源效率的花园艺术设计, 探究了其对于城市小气候的影响, 并进行了实证分析。通过建立城市小气候数值模型, 模拟和仿真了不同花园艺术设计对城市小气候的影响, 并评估了其在改善城市热环境和降低能耗方面的效果。研究表明, 合适的花园艺术设计可以显著改善城市的热舒适性, 减轻热岛效应, 提高能源效率。本研究可为城市规划和设计提供科学依据, 有助于改善城市热环境, 提升居民的热舒适性, 同时降低能源消耗, 实现可持续发展目标。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究区

上海位于中国东部沿海的长江三角洲地区, 东临东中国海, 北、西与江苏、浙江两省相接, 介于东经 120°52′至 122°12′, 北纬 30°40′至 31°53′之间。上海市是中国最发达、人口最稠密的城市之一。截至 2020 年, 上海市的常住人口为 2 487.09 万人。该地区属湿润的亚热带季风气候, 四季特征分明, 其中夏季气温较高(6 月初至 8 月下旬)。近年来, 该地区夏季频繁出现 37 °C 以上的极端高温现象, 因此提高人体热舒适度成为公众普遍关心的问题。研究区位于上海中心城区, 是一个比较大型的 CBD, 人口较为密集。该研究场地的特点是具有高层建筑、狭窄的街道和常规化的绿植。

### 1.2 方案策略

为了评估花园艺术设计对城市小气候和人体热舒适度的影响, 规划并模拟了以下 4 种不同的 CBD 花园设计策略。这些方案策略是基于缓解城市地区城市热岛效应的可行性、易用性和高效率而设计, 并且在小气候模拟中进行了分析研究。分别是:

方案 A: 基础场景, 即当前 CBD 区域, 包括高层建筑、混凝土路面和沥青面、草地和树木。

方案 B: 在方案 A 的基础上, 在研究区增加约 50% 的绿墙。

方案 C: 在方案 A 的基础上, 在研究区增加约 50% 的屋顶绿化。

方案 D: 在方案 A 的基础上, 添加 100% 树木, 且将屋顶绿化增加至 100%, 绿墙增加至 100%。



方案 A 至 D 的布局分示意图别图 1 所示. 花园艺术采用绿化种植园设计, 屋顶绿化高度为 60 cm 左右, 墙壁绿化高度为 30 cm 左右. 植物种类选择耐晒耐寒, 不需要过多水分的本地植物. 例如: 佛甲草、矮生紫薇、金叶佛甲草、常青藤、金叶景天、吉祥草、石竹等, 并使用 ENVI-met 中的默认叶面积密度(LAD)设置. LAD 包含树冠高度、树冠直径、树冠状况以及反映特定物种固有树冠密度的遮光系数. 这种关系代表了对一棵健康树的叶面积的估计. 在小气候模拟中, Envi-met 考虑 3 个不同的 LAD 值: 高 LAD(1.1)、中 LAD(0.6)和低 LAD(0.3). 因此, 利用式(1)可以计算这些树木的 LAD 值.

$$\text{叶面积密度(LAD)} = \text{单侧叶面积(m}^2\text{)} / \text{参考体积(m}^3\text{)} \quad (1)$$

在式(1)中, 参考体积选择为  $1 \text{ m}^3$ .

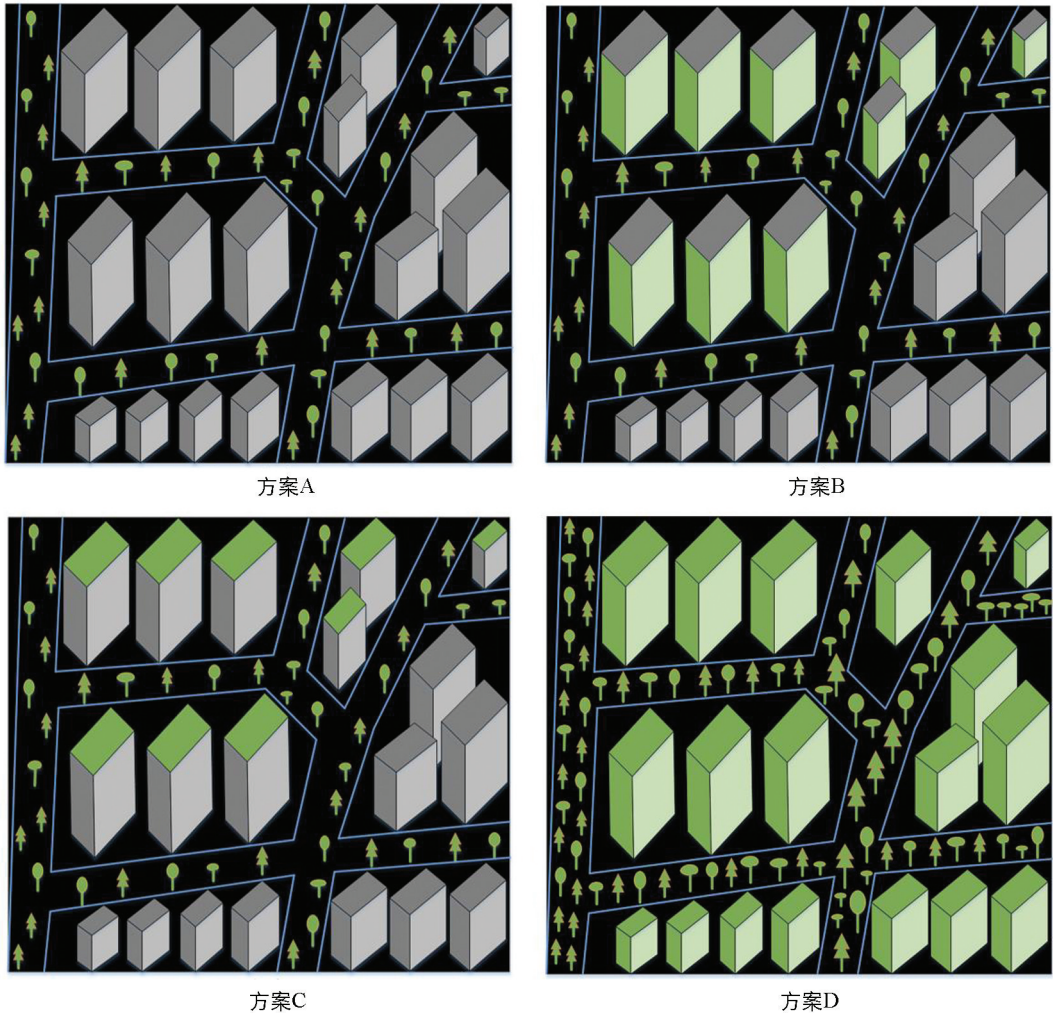


图 1 不同设计方案的场景布局示意图

### 1.3 小气候数值模拟模型

小气候数值模拟是现阶段探索城市小气候的常用工具. 与传统使用测量仪器实验的小气候研究相比, 数值模拟可以更快、更准确地进行模拟和预测. 本研究使用的小气候数值模拟在 3D 城市气候建模工具(Envi-met 软件 V5)中进行. 该软件模拟城市设计领域中建筑物、植被和其他物体的小气候影响. 本文中, 以  $5 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$  的分辨率对研究区中 70 万平方米的 CBD 区域进行建模. 首先将当前的土壤属性、建筑体量数据、道路属性和当前的植被质量集成到软件中. 然后使用上海气象站的空气温度( $T_a$ )、相对湿度(RH)、风向(WD)、风速(WS)、球温( $T_g$ )生成输入数据, 并采用 JTR04 温度计采集球形温度数据(表 1). 本研究根据上海市气候特征, 选取 2022 年 7 月 28 日和 29 日共 48 h 作为夏季典型最热日进行模拟. 前 24 h 用作初始化时间, 后 24 h 用于数据分析. 选择了两天的模拟,

因为这种方法是生成有效输出的代表之一。

表 1 使用 ENVI-met 进行模拟的参数信息

测量参数	测量范围	测量精度
空气温度( $T_a$ )	-50 至 100 °C	±1%
相对湿度( $RH$ )	0 至 100%	±4%
风向( $WD$ )	0 至 355°	±5°
风速( $WS$ )	0.1 至 80 m/s	±0.1 m/s
球温( $T_g$ )	-20 至 120 °C	±0.5 °C

最后, 模型模拟结果应与实测数据进行验证, 才能判断模型的有效性. 因此, 用实际数据验证模型, 并分别使用公式(2)至(4)中的均方根误差( $RMSE$ )、平均绝对百分比误差( $MAPE$ )和决定系数( $R^2$ )对模型性能进行统计评估. 其中,  $RMSE$  描述了实测值和模拟值之间的平均差异.  $RMSE$  始终为非负值, 值为 0 表示与数据完美拟合.  $MAPE$  为 0 表示完美模型,  $MAPE$  大于 100% 则表示劣质模型, 所以  $MAPE$  的值越小说明模型的精确度越高.  $R^2 \leq 1$ ,  $R^2$  的值越接近 1, 表示模型越完美, 一般  $R^2$  值大于 0.5 被认为是可接受的.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_1^n (T_a - T_w)^2} \quad (2)$$

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_1^n \left| \frac{T_a - T_w}{T_a} \right| \quad (3)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_1^n (T_a - T_w)^2}{\sum_1^n (T_a - \bar{T}_w)^2} \in [0, 1] \quad (4)$$

其中,  $n$  表示样本数;  $T_a$  表示空气温度;  $T_w$  表示模型模拟的温度;  $\bar{T}_w$  表示模型模拟温度的平均值.

#### 1.4 人体热舒适度计算

本研究采用生理等效温度(Physiological Equivalent Temperature, 简称 PET)来评估花园的热舒适度, 它是评估室外热感知最为广泛使用的指数. 将测量的小气候的气象参数: 平均辐射温度( $T_{mrt}$ ), 气温( $T_a$ ), 相对湿度( $RH$ )和风速( $V$ ), 以及个人参数, 包括代谢率(设置为静坐水平(58 W/m<sup>2</sup>))、服装隔热数据(设置为典型的夏季服装(0.5 m<sup>2</sup> K/W)), 个人数据(设置为典型的中国男性, 35 岁(身高 1.7 m, 体重 70 kg)), 输入 RayMan 模型 1.2 计算 PET 指数.

其中, 平均辐射温度( $T_{mrt}$ )是评价人体热舒适度的重要参数, 也是计算  $PMV$ 、 $SET$ 、 $PET$  等不同热舒适度指数输入的的必要参数.  $T_{mrt}$  将环境中的短波和长波辐射通量对人类的生理影响转换为摄氏度单位, 代表假设的球体周围的太阳平均辐射温度.  $T_{mrt}$  使用以下公式计算(基于 ISO 7726 标准):

$$T_{mrt} = \left[ (T_g + 273)^4 + \frac{1.10 \times 10^8 V_a^{0.6}}{\epsilon D^{0.4}} (T_g - T_a) \right]^{\frac{1}{4}} - 273 \quad (5)$$

其中,  $T_g$  为球温,  $T_a$  为空气温度,  $V$  为风速,  $\epsilon$  为地球发射率(根据前人的研究, 本文的发射率选择为 0.95),  $D$  为球形温度计的直径(本研究中为 0.05 m).

球温是一种用于测量热环境中人体热舒适度的指标. 球温是通过球形温度计(globe thermometer)测得的温度, 该温度计模拟了人体在太阳辐射下的热感受. 球温的测量是通过将球形温度计暴露在环境中, 使其吸收周围的热辐射能量, 然后测量球温的变化. 通过观察球温的变化, 可以了解人体在该环境下的热感受, 进而评估热舒适度和热环境的影响. 球形温度是研究热岛效应、城市小气候、建筑物热舒适性等领域

常用的指标之一。

$PET$  是国外学者在 20 世纪 90 年代根据慕尼黑个人能量平衡模型开发的,是一种用于评估人体在复杂气象条件下的热舒适性的指标。简单来说, $PET$  值越高,天气越热。因其考虑了环境中的多个因素,包括环境温度、相对湿度、风速以及太阳辐射等,同时还考虑了人体自身的代谢率,从而能够更准确地评估人体在不同气候条件下的热舒适性。为此,本文采用  $PET$  作为 CBD 花园设计方案中<sup>[16]</sup>热舒适度的评价指标。 $PET$  的计算公式如下:

$$PET = T_a + 0.36 * (T_{mrt} - 14.75) + 0.1 * RH - 0.5 \quad (6)$$

其中, $T_a$  为空气温度; $T_{mrt}$  为平均辐射温度; $RH$  为相对湿度。

## 1.5 建筑能耗模拟

在此步骤中,基于模拟的小气候数据,本文采用 DesignBuilder(v7.0.2.006)模型<sup>[17]</sup>进行了一系列建筑能耗模拟。该 CBD 研究区域的建筑物的物料特征信息输入 DesignBuilder 模型来模拟能耗。建筑能耗模拟包括研究区域建筑 2022 年 7 月 28 至 29 日的总能耗。就建筑物而言,大楼设有锅炉,提供暖气和生活热水。在夏季,每个单位均使用分体空调,设定温度为 22 °C。该建筑没有机械通风,假设建筑的气密性为每小时换气 0.5 次,这对于自然通风的住宅建筑来说是一个中等的速度。灯光活动时间选择在 18:00 至 23:59 之间。建筑物中使用的常规设备包括笔记本电脑、电视、洗衣机等。

## 2 结果与分析

本部分包含 Envi-met<sup>[18]</sup>模型在 2022 年 7 月 28 日至 29 日的小气候模拟结果、所研究 CBD 区域的建筑能效模拟结果以及 RayMan 模型模拟计算得到的  $PET$  值,以下是具体研究情况。

### 2.1 小气候模拟结果

在本研究中,通过比较一系列实际测量数据和相应的模拟结果来评估 ENVI-met 模型的准确性,评估值如表 2 所示。从表中可以看出,模型数据与实际数据相吻合,分别为  $R^2 = 0.986$ ,  $RMSE = 0.32$  和  $MAPE = 0.25$ 。可以得出结论,该模型与实际测量数据具有很强的相关性,表明 Envi-met 模型成功得到验证,意味着该模型可以用于下一步不同花园设计方案的模拟。

表 2 基于实测和模拟的  $T_a$  值的 ENVI-met 性能指标模拟结果

评估指标	评估值	评估指标	评估值	评估指标	评估值
$R^2$	0.986	$RMSE$	0.32	$MAPE$	0.25

### 2.2 设计方案比较

#### 2.2.1 气温和相对湿度

空气温度  $T_a$  和相对湿度  $RH$  之间的关系彼此成反比,即随着  $T_a$  增加, $RH$  值减小。图 2、图 3 显示了 4 种方案下两天(28 日、29 日)中平均  $T_a$  和  $RH$  的变化情况。所有方案都有相似的  $T_a$  和  $RH$  模式,即每个方案中的平均  $T_a$  值从 7:00 到 13:00 快速增加,然后在 14:00 达到最大值,而  $RH$  值在此时达到最小值。此时,蒸发量和太阳辐射吸收也较低。 $T_a$  值持续一个小时直到下午 15:00,然后在下午 16:00 开始下降,而  $RH$  值则开始上升。

根据 ENVI-met 模拟结果,与方案 A(基本情况)值相比,方案 B 至 D 的气温在 12:00 至 19:00 的时间范围内出现最大下降。大部分点的最大降温出现在 14:00 和 17:00。方案 B、C 相比方案 A,气温降低幅度较小。即便是两者中降幅较大的方案 B,其在 14:00 的最大降温也是降低了 1.65 °C。然而,这个数字并不客观,因为研究区建筑物高度大多在 15 m 至 60 m 之间,部分建筑物高度超过 100 m。而安装在高层建筑顶部的部分绿色屋顶很可能不会有助于行人高度(1.5 m)的  $T_a$  减少。与前面两个相比,方案 D(100%绿色屋顶,100%绿墙,100%树木)的应用,使  $T_a$  值显著降低,最大气温降低 3.15 °C。图 4 显示了方案 B 至



D 中的  $RH$  值相对于方案 A 有所增加, 最大增幅出现在 12:00 至 19:00 时间范围内, 这也是  $T_a$  最大减少时间段. 可以看出, 随着绿化程度的增大其平均相对湿度增幅也相应地提升. 相对湿度的最大增加发生方案 D 中, 其增幅高达 8.9%.

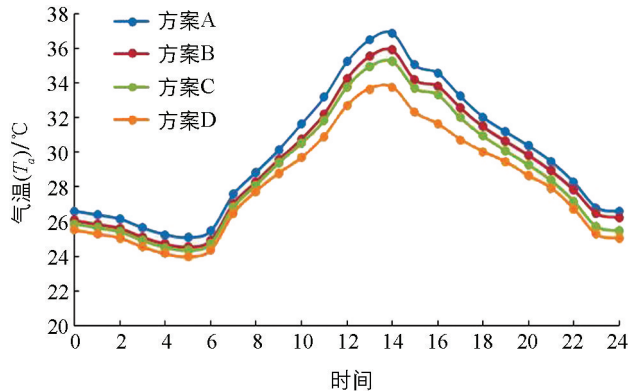


图 2 不同策略的气温日变化

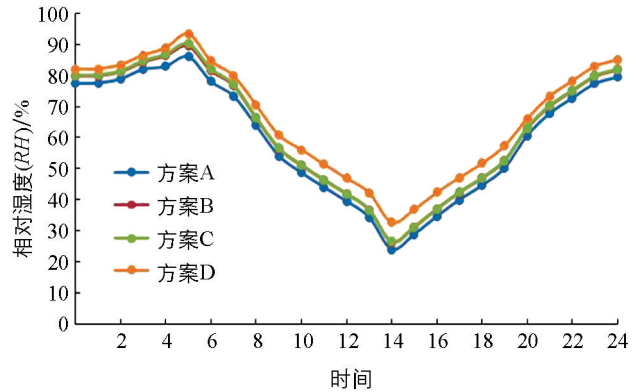


图 3 不同策略的相对湿度日变化

从模拟结果可以看出, 建筑物裸露部分的温度降低幅度高于阴影部分. 绿墙在炎热的日子里充当屏障, 阻挡太阳辐射并防止热量进入建筑物内部. 墙壁的表面温度与建筑物墙壁的热损失直接相关. 墙壁的表面温度越高, 通过墙壁的热量损失就越高, 这可能会增加建筑物内部的温度. 由于绿色墙控制热传递, 因此可以将其视为建筑物节能的被动技术. 通过应用绿墙, 建筑物冷却所需的能源可减少高达 32%. 树叶提供了免受太阳辐射的保护, 同时释放出水蒸气, 从而增加了相对湿度. 图 3 和图 4 表明, 通过实施这些方案, 最高气温可降低 3.15 °C, 最高相对湿度可提升 8.9%. 4 种方案相对湿度的效果排名为: 方案 D > 方案 C > 方案 B > 方案 A, 结果表明不同的花园艺术设计对于空气温度  $T_a$  和相对湿度  $RH$  具有不同的影响效果.

### 2.2.2 平均辐射温度

图 4 显示了不同方案下的平均辐射温度  $T_{mrt}$  每小时变化情况. 一般来说, 所有方案的平均辐射温度曲线在总体趋势上都是相似的. 在所有 4 个花园艺术设计方案中, 极端  $T_{mrt}$  的持续时间从 12:00 开始, 持续 4 h 直到 16:00. 在此期间,  $T_{mrt}$  值随时间变化而波动, 夜间和清晨,  $T_{mrt}$  值相对较低.

从图中可以看出, 所有方案的  $T_{mrt}$  均在 12:00、14:00 和 16:00 达到峰值. 对比不同方案的峰值, 方案 A 的  $T_{mrt}$  值最高, B 至 D 方案的峰值  $T_{mrt}$  均低于方案 A, 方案 D 的  $T_{mrt}$  值最低. 这是由于前面几个方案中绿植面积较少, 导致建筑表面暴露在太阳直接辐射下的总面积较大. 研究表明树木的叶子在降低温度方面发挥着重要作用, 因为它可以防止太阳辐射到达地面并被反射, 从而提供防辐射保护. 与树木相比, 绿色屋顶(方案 C)、绿色墙壁(方案 B)以及基础方案 A 更多地暴露在太阳辐射下, 因此, D 方案的  $T_{mrt}$  值降幅最为显著.

### 2.2.3 人体热舒适度

从模型中我们可以得到方案 A 至 D 的最大、最小以及  $PET$  平均值, 具体如表 3 所示. 由表 3 可知, 与基础情况(方案 A)相比, 其他几个方案均有不同程度的下降. 方案 B 和 C 中的  $PET$  平均值分别下降 1.0 °C 和 2.4 °C; 而方案 D 的  $PET$  平均值比方案 A 低 5.1 °C, 是所有方案中降低幅度最多的.

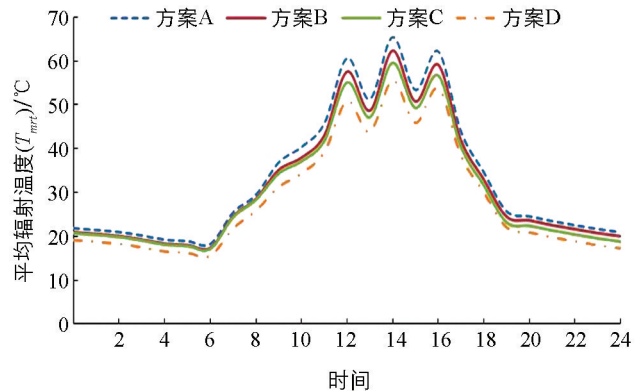


图 4 方案 A 至 D 的平均辐射温度时间曲线

表 3 方案 A 至 D 的 PET 值比较

单位: °C

设计方案	最小 PET	最大 PET	平均 PET
方案 A	33.2	45.4	39.3
方案 B	32.4	44.2	38.3
方案 C	31.5	42.3	36.9
方案 D	29.3	39.1	34.2

该研究发现植被面积每增加 10%，白天气温就会降低 0.05~0.15 °C。该过程涉及绿地植被如何通过蒸散和遮阴影响气温。植被可以将太阳辐射转化为潜热而不是显热。另外，方案 D 中的树木和灌木对 PET 的调节能力较强，其提供的阴影也可以对其周围区域产生冷却效果。该研究结果表明花园艺术设计是改善热环境的有效途径，更大的植被覆盖可以显著减少气温波动并为居民维持稳定的热舒适度。

#### 2.2.4 建筑能源绩效结果

根据小气候模拟中 Envi-met 模型获得的各个方案的气温模拟结果，选择该 CBD 区域的建筑物，通过比较冷却需求，检测每种方案下的能源性能。建筑能源性能模拟包括 2022 年 7 月 28、29 日的能耗以及两日的平均总能耗，结果如图 5 所示。

由图 5 可知，方案 A 中的平均总能耗为 0.806 kWh/m<sup>2</sup>；方案 B 中的平均总能耗为 0.789 kWh/m<sup>2</sup>；方案 C 中的平均总能耗为 0.778 kWh/m<sup>2</sup>；方案 D 中的平均总能耗为 0.693 kWh/m<sup>2</sup>。与方案 A 相比，方案 D 中的

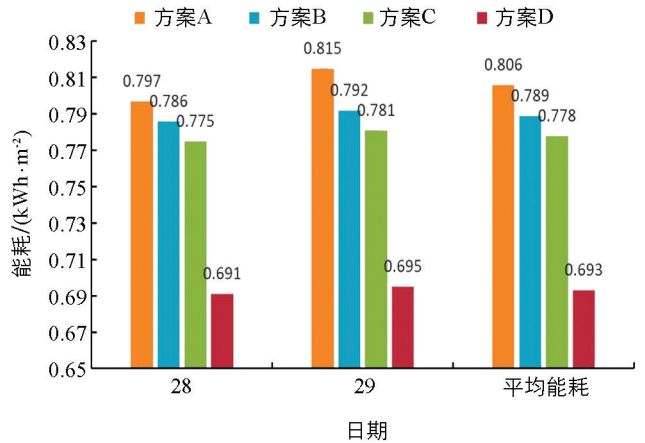


图 5 不同方案的建筑能源性能模拟结果

建筑平均总能耗降低了 14%。这是由于方案 D 暴露在太阳辐射下的建筑表面积比其他方案小，因其多种种植物结构的绿化设计可以拦截 80%~90% 的太阳辐射，更有效地改善建筑空间的遮阳效果，从而减少建筑物的日均冷负荷消耗。

### 3 结论

全球气候变暖和城市热岛现象导致城市居民的生活环境变差。为此，研究者们采取了各种缓解措施，其中包括实施花园艺术设计。花园艺术设计将植物通过蒸发蒸腾和通过其冠层对表面进行遮阳来调节小气候，并对人体热舒适度产生积极影响。因此，本文提出并分析了基于热舒适性和能源效率的花园艺术对城市小气候的影响。首先就花园艺术设计对城市小气候的影响以文献综述的形式进行了阐述。然后通过数值模型模拟和仿真，评估了不同花园艺术设计在改善城市热环境和降低能耗方面的效果和效率。最后比较了不同设计方案的模拟结果，并分析了其对城市气温、相对湿度、平均辐射温度、人体热舒适度以及建筑能耗等参数的影响程度。实验结果显示，采用合适的花园艺术设计，如增加绿墙、增加屋顶绿化、添加树木等可以显著降低城市热岛效应，改善城市的热舒适性。同时，通过合理配置植被、控制建筑布局等措施，能够有效减少能源消耗，提高能源效率。研究结果可以用于评估不同花园艺术设计的效果，同时也为城市规划和设计提供了科学依据。

尽管取得了积极的结果，但这项研究仍然存在一些局限性。研究地点在中国上海进行，该地气候特征四季分明，夏热冬温，属于典型的亚热带季风气候，但该研究结果是否适用于其他类型的气候条件还需进一步研究。花园设计方案被分为 4 类，而没有考虑设计方案中不同植物特征的影响。例如，



所有木本植物、草类和其他类型的绿化植物都被视为绿地,未细分植物种类及形状特征。此外,文中收集了研究地夏季两天的温度,还可用更多季节日期的数据从更多视角分析花园艺术设计对城市小气候的影响机理。

### 参考文献:

- [1] 刘水霞. 环境工程中大气污染问题与防治分析 [J]. 地质研究与环境保护, 2023, 2(1): 58-60.
- [2] 宋洁, 易琴. 生活污水对湿地光合细菌种类和丰度的影响——以马鞍溪湿地公园为例 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2021, 43(11): 59-68.
- [3] 李东靖. 建筑设计中新技术以及新材料的实施策略 [J]. 工程管理与技术探讨, 2023, 5(1): 99-101.
- [4] 崔凤娇, 邵锋, 齐锋, 等. 植被对城市热岛效应影响的研究进展 [J]. 浙江农林大学学报, 2020, 37(1): 171-181.
- [5] 徐宁. 多学科视角下的城市公共空间研究综述 [J]. 风景园林, 2021, 28(4): 52-57.
- [6] TIEN P W, MOHAMMADI M, CALAUTIT J K. Providing Comfortable Environment in Skygardens within High-Rise Buildings: Analysis of the Impact of Vegetation on Wind and Thermal Comfort [J]. Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, 2021, 9(2): 1-28.
- [7] 周宏轩, 吴岳, 王昭清, 等. 居住区绿地影响室外热环境的研究进展 [J]. 生态科学, 2022, 41(4): 242-250.
- [8] 熊瑶, 张建萍, 严妍. 基于气候适应性的苏州留园景观要素研究 [J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2020, 44(1): 145-153.
- [9] 宋云帆, 闵文彬, 彭骏. 成都城市下垫面变化对地表热场的影响 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2022, 44(7): 197-206.
- [10] 周涵宇, 刘刚, 王立雄, 等. 不同气候区遮阳控制策略的节能与舒适度优化 [J]. 重庆大学学报, 2021, 44(9): 67-76.
- [11] 广兴海. 工业建筑设计节能设计分析 [J]. 工程研究与实用, 2023, 4(7): 164-166.
- [12] GUO T Y, ZHAO Y, YANG J H, et al. Effects of Tree Arrangement and Leaf Area Index on the Thermal Comfort of Outdoor Children's Activity Space in Hot-Humid Areas [J]. Buildings, 2023, 13(1): 214.
- [13] TSOKA S, TSIKALOU DAKI K, THEODOSIOU T, et al. Urban Warming and Cities' Microclimates: Investigation Methods and Mitigation Strategies—A Review [J]. Energies, 2020, 13(6): 1414.
- [14] DISSANAYAKE C, LWG K, UGD W. The Influence of Planting Arrangement on Outdoor Thermal Comfort [J]. International Review for Spatial Planning and Sustainable Development, 2023, 11(3): 78-101.
- [15] SUN B, ZHANG H, ZHAO L A, et al. Microclimate Optimization of School Campus Landscape Based on Comfort Assessment [J]. Buildings, 2022, 12(9): 1375.
- [16] 黄怀海. 湖畔花园在自然环抱中生长——成都蒙彼利埃小学改扩建设计 [J]. 建筑学报, 2023(7): 78-80.
- [17] SINGH RAJPUT T, THOMAS A. Optimizing Passive Design Strategies for Energy Efficient Buildings Using Hybrid Artificial Neural Network (ANN) and Multi-Objective Evolutionary Algorithm through a Case Study Approach [J]. International Journal of Construction Management, 2023, 23(13): 2320-2332.
- [18] 张燕, 李肇旗, 嵇栋岚, 等. 吐鲁番亚尔村传统聚落气候适应性分析 [J]. 中外建筑, 2023(9): 84-89.

责任编辑 任剑乔