

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2024.09.019

谢雅辉, 丁铮. 垂直花园艺术设计对城市空气环境质量和热岛效应的影响 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2024, 46(9): 202-210.

# 垂直花园艺术设计对城市空气环境质量和热岛效应的影响

谢雅辉<sup>1</sup>, 丁铮<sup>2</sup>

1. 福州外语外贸学院 艺术与设计学院, 福州 350202; 2. 福建农林大学 风景园林与艺术学院, 福州 350002

**摘要:** 在当前全球环境污染对人类健康带来不断威胁的背景下, 提升城市环境质量成为全球决策者的紧迫任务。本研究专注于亲生物设计下的一项创新城市设计理念——花园艺术, 特别是垂直花园建筑, 通过将自然生物元素融入城市景观, 为改善城市环境质量提供了新的路径。利用模拟软件 Design Builder, 对垂直花园建筑与传统建筑进行了对比分析, 侧重评估了垂直花园中的绿色屋顶和墙壁在提高城市空气质量以及最大程度减少城市热岛效应方面的贡献。模拟结果显示, 与传统建筑相比垂直花园建筑在多个方面均具有显著优势, 可使空气温度降低 4 °C, 辐射表面温度减少 6.86%, 雨水径流减少 63.5%, 降低 40 分贝以上的噪音水平, 并能够降低总能耗和区域供冷需求。

**关键词:** 亲生物设计; 花园艺术; 垂直花园建筑; 城市环境质量; 城市热岛效应

中图分类号: S731

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文章编号: 1673-9868(2024)09-0202-09

## The Impact of Vertical Garden Art Design on Urban Air Environment Quality and Heat Island Effect

XIE Yahui<sup>1</sup>, DING Zheng<sup>2</sup>

1. College of Art and Design, Fuzhou University of International Studies and Trade, Fuzhou 350202, China;

2. College of Landscape Architecture and Art, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China

**Abstract:** Against the backdrop of escalating global environmental pollution posing an increasingly severe threat to human health, enhancing urban environmental quality has become an urgent task for global deci-

收稿日期: 2023-12-25

基金项目: 教育部人文社会科学研究项目(23YJC760030); 福建省创新战略研究计划项目(2023R0079)。

作者简介: 谢雅辉, 硕士, 讲师, 主要从事园林规划设计及环境设计理论研究。

sion-makers. This study focuses on an innovative urban design concept under biophilic design-Garden Art, particularly emphasizing vertical garden architecture. By seamlessly integrating natural biological elements into the urban landscape, this design concept opens up new avenues for improving urban environmental quality. Utilizing the simulation software Design Builder, the study conducts a comparative analysis between vertical garden architecture and traditional buildings, with a specific focus on evaluating the contributions of green roofs and walls in vertical gardens to enhancing urban air quality and minimizing the urban heat island effect. Simulation results reveal that, in comparison to traditional buildings, vertical garden architecture exhibits significant advantages across various aspects; it reduces air temperature by 4 °C, decreases radiation surface temperature by 6.86%, diminishes rainwater runoff by 63.5%, lowers noise levels by more than 40 decibels, and is capable of reducing overall energy consumption and regional cooling demand.

**Key words:** biophilic design; garden art; vertical garden architecture; urban environmental quality; urban heat island effect

随着可持续发展理念的不断深入和人们对生存质量的关注不断加强,城市环境已成为备受关注的议题<sup>[1]</sup>.在中国,尽管政府已经实施了多项环保措施,但环境状况仍然存在挑战,部分原因在于法律惩罚机制不够完善,而城市环境质量是衡量城市竞争力的关键因素之一.

城市环境不仅包括自然环境,也涵盖了人造环境,两者结合构成了城市环境的整体.在经济快速发展的背景下,车辆数量激增、人口膨胀和工业扩张导致空气污染问题日益严重.中国城市环境问题主要表现在以下几个方面<sup>[2]</sup>:

### (1) 城市空气污染问题

空气污染主要源自工业排放和汽车尾气.非法砍伐树木的行为削弱了城市植物净化空气的能力,导致空气污染问题愈发严重.全球超过半数的人口居住在城市,但许多城市的室外空气质量并未达到世界卫生组织的健康标准.空气污染不仅对人体健康构成威胁,也对城市生态系统造成显著的负面影响.长期暴露在污染空气中的植物可能会生长缓慢,甚至死亡,这进一步削弱了城市的生态平衡和生物多样性.

### (2) 城市水体污染问题

水体污染的原因与空气污染相似,包括工业废水排放和人为污染.城市生活污水是水体污染的主要来源之一,尤其是在老旧城区,由于缺乏完善的下水道系统,雨水和污水混合排放加剧了河流污染.中国的许多城市排水设施不足,导致内河道成为污水的排放渠道,甚至影响到地下水资源.据调查,中国的七大水系普遍存在不同程度的污染,大量城市河段水质低于可饮用水标准,湖泊水质普遍较差,富营养化问题严重.水体污染还会导致水生生物死亡,破坏生态平衡,影响渔业资源,进而对依赖水生资源的社区经济造成损害.

### (3) 城市噪声污染问题

近年来,噪声污染问题日益突出,群众对此的投诉不断增加.主要噪声源包括城市道路交通、建筑工地、社会生活噪声以及工业噪声.特别是高速公路、轨道交通、餐饮业、文化娱乐场所等产生的噪声对居民生活造成干扰.在一些大城市,由于地铁、机场和城际高速铁路等基础设施的建设,居民区附近的噪声污染问题尤为严重,影响了居民的正常生活,并引发了群众的持续投诉.噪声污染除了影响居民的生活质量外,长期暴露在高分贝噪声中还可能对人们的心理健康和身体健康造成不利影响,如引发心血管和睡眠障碍等疾病.

随着中国城市和城区的快速扩张,这一系列持续存在且日益严重的问题亟待解决.为此,我国提出了

发展“海绵城市”规划, 希望将生物可持续和环境友好的解决方案纳入城市设计中<sup>[3]</sup>. 目前, 提升城市环境质量的创新设计方案成为了环境研究者和建筑设计者们的研究热点, 在这一背景下, 亲生物设计崭露头角, 成为一项富有创新性的城市设计理念, 特别是垂直花园建筑受到了广泛关注<sup>[4]</sup>. 这一设计理念通过将自然生物元素巧妙地融入城市景观, 为改善城市环境质量探索了崭新的途径.

垂直花园建筑作为一种以生物学为基础的景观设计方法, 致力于模仿和借鉴自然生态系统的结构和功能, 旨在创造一个与自然融为一体的美学环境, 其设计理念已经在全球范围内得到广泛应用. 研究者们通过各种手段, 如模拟、实地调查和数据分析, 深入研究了垂直花园在改善城市环境方面的潜在作用. 这些研究涵盖了气候学<sup>[5]</sup>、生态学<sup>[6]</sup>和建筑工程<sup>[7]</sup>等多个领域, 深入剖析了垂直花园对空气质量改善、温度调节、水资源合理利用等方面的积极影响, 为垂直花园的设计原则和技术方法提供了坚实的理论基础.

基于以上问题, 本研究提出并探讨了花园艺术中的垂直花园建筑在提高城市环境质量中的融合效果. 通过在相同气候条件下对传统建筑和垂直花园建筑进行对比评估, 旨在证明垂直花园建筑在提升城市空气质量、水环境质量及声环境质量等方面具有非常重要的作用.

## 1 文献综述

### 1.1 垂直花园的概念及其相关研究

垂直花园这一概念尚无统一且权威的定义. 最初由著名的垂直绿化开创者法国植物学家、装置艺术家 Patrick Blanc 的实践延申而来, 因此他也被认为是垂直花园的发明者. 在他以往的作品中, 通过对垂直绿化技术的不断创新, 让植物不仅出现在室内墙面上, 也覆盖了建筑的部分外观墙面, 甚至作为装置悬挂于建筑的中庭空间之中. 此外, 还有一些观点将垂直花园概念扩展到包括屋顶花园在内的花园类型. 但无论是针对建筑屋顶, 还是室内外墙面的大规模覆盖或是小规模装饰, 垂直花园都能显著改善城市环境, 满足了城市环境中人们对自然栖息的追求, 有效促进了城市环境与自然生态和谐统一.

垂直花园在国外的早期形态主要是屋顶花园, 并逐渐发展变化. 屋顶花园作为垂直花园实践的直接体现, 其发展阶段也代表了垂直花园的历程. 从古代亚述庙塔上的花园开始, 屋顶花园经历了 3 个主要发展阶段<sup>[8]</sup>. 第一阶段是私家园林时期(公元前 6 世纪至 19 世纪中期), 其中最著名的巴比伦空中花园常被视为垂直花园建筑的原型. 第二阶段是屋顶花园景观设计时期(19 世纪末至二次世界大战前), 例如纽约的屋顶花园剧场, 它们以商业盈利为目的. 第三阶段是现代城市屋顶花园景观设计时期(二次世界大战后至今), 包括澳大利亚的 Phoenix 屋顶花园、泰国的屋顶康复疗养花园以及英国利兹的玛吉屋顶花园等, 如图 1 所示. 这些现代屋顶花园不仅美化了城市景观, 也成为了城市生态和文化的重要组成部分.



a. 澳大利亚Phoenix屋顶花园

b. 泰国屋顶康复疗养花园

c. 英国利兹玛吉屋顶花园

图 1 现代城市屋顶花园

建筑中基于亲生物花园艺术设计理念的提出为解决当今社会人与城市环境之间的矛盾提供了新的视角, 也逐渐成为了相关领域的研究热点. 其中, 屋顶绿化是最热门的研究方向之一. 经过欧洲城市几个世纪的实践利用后, 绿色屋顶(Green roof)在 20 世纪被瑞士建筑师 Le Corbusier 纳入现代建筑的 5 点元素

中<sup>[9]</sup>。此外, Park 等<sup>[10]</sup>探讨了绿色屋顶花园在城市排水中的作用,考虑了水量和水质的管理,并对影响植物屋顶径流水质的因素进行了讨论,回顾了有关径流中磷、氮和重金属浓度、pH 值及首次冲洗效应的数据; Almaaitah 等<sup>[11]</sup>综合统计了设计和水文变量等影响因素对屋顶绿化性能的影响; Mutani 等<sup>[12]</sup>介绍了最先进的绿色屋顶花园,强调了当前的实施条件、技术方法和优势水平,并讨论了减少建筑能耗、缓解城市热岛效应、改善空气污染、水管理、增加隔音和生态保护相关的效益。先前的这些研究主要集中在审查性能和效益方面,而没有提供技术和材料的描述; 臧鑫宇等<sup>[13]</sup>分析了生长基质和植被的理想特性,并提出了一种构建绿色屋顶花园的方法; Yıldırım 等<sup>[14]</sup>对北美地区植物屋顶应用的已知情况及其生态影响进行了综述; Calheiros 等<sup>[15]</sup>提出了一种从利润、人员和植物方面评估绿色屋顶花园的方法,该方法考虑了项目生命周期各个阶段的隐含碳足迹和经常性碳足迹,结果表明在考虑整体方法时,绿色屋顶花园是一个可行的选择。纽约市立法方案规定,新建或翻新建筑物的屋顶应配备太阳能光伏系统或绿色屋顶花园。在意大利,一些城市(例如都灵)的市政建筑规范中,绿色屋顶花园被认为是环境可持续性的解决方案之一,并且免除了建筑成本的缴纳费用。此外,意大利于 2018 年推出了“绿色奖金”,提供了与绿色区域和景观相关的税收减免政策,例如绿色屋顶花园和空中花园的税收减免政策。

### 1.2 垂直花园建筑对城市空气环境质量的影响

城市空气环境质量是城市居民生活质量的重要指标之一。随着城市化进程加速,工业和交通等活动释放的大量污染物对空气质量产生了严重影响。城市中常见的空气污染物包括颗粒物( $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$ )、二氧化氮( $NO_2$ )、二氧化硫( $SO_2$ )、臭氧( $O_3$ )、一氧化碳(CO)和二氧化碳( $CO_2$ )等。这些污染物对人体健康、生态系统和城市可持续发展构成了潜在威胁。

垂直花园建筑作为城市绿化的一种形式,通过引入大量植物,有助于去除城市中的空气污染物,如  $PM_{10}$ 、 $NO_2$ 、 $SO_2$ 、 $O_3$  和  $CO_2$ , 并通过声学阻挡来衰减噪音以及反射、吸收或干扰声波<sup>[16]</sup>。植物通过光合作用吸收二氧化碳( $CO_2$ ),释放氧气,并通过叶片表面吸附颗粒物。这些生态功能有助于改善周围空气质量,减少污染物浓度。此外,植物还能够吸收和降解一些有害气体,如甲醛、苯和氨气等,从而进一步提升城市空气环境质量。

### 1.3 垂直花园建筑对城市热岛效应的影响

城市热岛效应是城市化过程中常见的现象<sup>[17]</sup>,它表现为城市区域的气温明显高于周围郊区和乡村地区。这一现象主要由于城市中建筑和硬质表面的增加、绿地减少以及工业和交通等活动释放的热量所致。热岛效应对城市气候、生态系统和居民健康产生负面影响。

垂直花园建筑通过引入大量绿色植物,不仅能够提供阴凉的环境,还能够通过植物蒸腾作用降低周围气温。植物通过蒸腾将土壤中的水分蒸发到空气中,从而吸收热量并冷却周围环境。用植物覆盖建筑物可以减少玻璃幕墙反射的阳光量,降低环境温度,减少  $CO_2$  浓度并增加相对湿度,从而改变城市小气候并缓解城市热岛效应<sup>[18-19]</sup>。垂直花园建筑的存在有助于减缓城市热岛效应的发展,改善城市气候,提升居民的生活舒适度。因此,在城市规划和设计中垂直花园建筑的引入被认为是一种有效的手段,旨在缓解城市的空气质量问题和热岛效应。通过合理规划和布局,垂直花园建筑可以在城市环境中发挥重要作用,为居民创造更宜居的生活空间。

## 2 材料和方法

### 2.1 研究材料

研究点为位于湖北省黄冈市的黄冈居然之家垂直森林城市综合体。该项目由博埃里建筑设计事务所(中国)在中国建造的第一座垂直森林,现已全部完工。黄冈市地处湖北省东部,坐落于大别山南面,靠近长江中游北岸,气候属于亚热带季风气候,具有温暖湿润的特点。亚热带季风气候总体特征为夏热冬温,

四季分明, 雨热同期, 且夏季太阳高度角增大, 昼长, 气温较高. 黄冈垂直森林城市综合体占地 4.54 hm<sup>2</sup>, 由 5 座塔楼组成(包含两栋住宅塔楼), 项目包含的 5 栋塔楼引入“垂直森林”概念, 形成了一个集住宅、酒店和大型商业空间为一体的新型绿色综合体. 本研究主要以其中的两栋住宅塔楼为样本, 将其命名为垂直花园建筑(图 2), 并利用该建筑上的城市绿化基础设施来评估能源性能和城市环境质量.



图 2 垂直花园建筑外观图

本研究使用的植物均选自当地树种, 包括 404 株乔木(主要树种为银杏、桂花、血皮槭、女贞、腊梅等); 4 620 株灌木(主要为中灌木和小灌木, 如木芙蓉、胡颓子、南天竹、卫矛等); 2 408 m<sup>2</sup> 的多年生花草和沿阶草、佛甲草、金边麦冬等攀缘植物, 相当于 1 hm<sup>2</sup> 的森林面积, 据估计每年将吸收城市中 22 t CO<sub>2</sub>, 释放 11 t 氧气.

### 2.2 研究方法

本研究运用 Design Builder 方法进行模拟, 旨在对比传统屋顶、墙壁与垂直花园建筑屋顶、墙壁对于建筑中的能源效率以及城市环境质量的影响. 利用 Design Builder 软件对所研究地区的气候条件和相关材料进行了传统建筑和垂直花园建筑结构的模型构建. 在模型构建中, 为增加真实性和可信度, 我们采用了实际研究点(黄冈居然之家垂直森林城市综合体)的气象数据, 并通过现场收集到的建筑能耗、温度、湿度等数据, 运用 Design Builder 输入文件进行了分析. 这样的设计旨在保证模型的可靠性和准确性. 模拟研究考虑了一整年时间间隔内该城市多个阶段中传统围护结构与绿色围护结构的能耗及环保性能评估结果.

在本研究的模拟中, 使用了多个关键参数, 包括空气温度、辐射温度、雨水径流、噪音水平和空气污染物, 如图 3 所示. 空气温度在评估建筑内部温度和城市热环境方面发挥着关键作用, 而辐射温度则反映了建筑表面的热特性, 影响能源效率. 模拟中考虑的雨水径流有助于评估建筑排水系统的效果, 特别是在绿色屋顶等环境友好设计中的效果. 通过模拟噪音水平, 可以评估建筑内部的舒适性和隔音效果, 减轻城市环境中噪

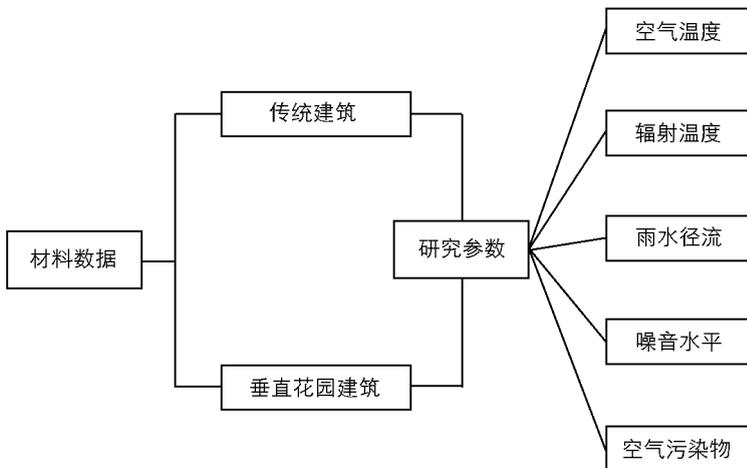


图 3 研究方法及参数

音带来的不良影响. 空气污染物的模拟有助于研究建筑对周围空气质量的影响, 提高城市环境的整体质量. 这些参数的模拟结果可以为建筑设计和城市规划提供重要的参考信息, 帮助优化建筑性能, 提高城市环境的可持续性.

### 3 结果与讨论

运用 Design Builder 方法, 将传统建筑与垂直花园建筑的相关参数平均值提取出来. 由于亚热带气候的特性, 空气温度、辐射温度选取在该地区高温季节 6、7、8 月份将传统建筑与垂直花园建筑进行比较, 如图 4、图 5 所示.

由图 4 可知, 垂直花园建筑的绿色屋顶与绿墙使环境空气温度降低多达  $4^{\circ}\text{C}$ , 与没有绿化系统的传统建筑相比, 垂直花园建筑的平均空气温度降低约 9.59%. 这是因为用植物覆盖的建筑可以减少玻璃幕墙反射的阳光量, 通过植物蒸散、遮阳和保温作用实现降温效果. 同理, 由图 5 可知, 垂直花园建筑的平均辐射温度比没有绿化系统的传统建筑低约 6.86%.

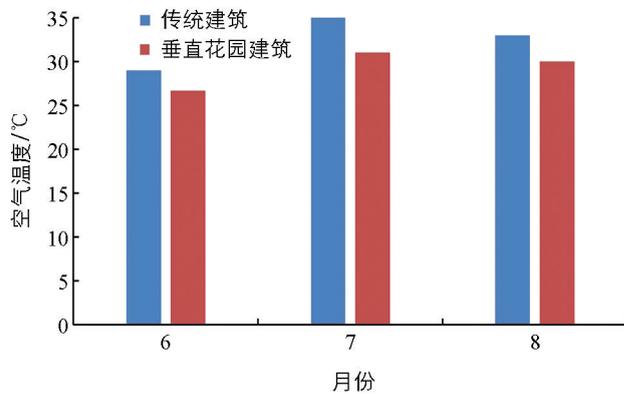


图4 传统建筑与垂直花园建筑的平均空气温度比较

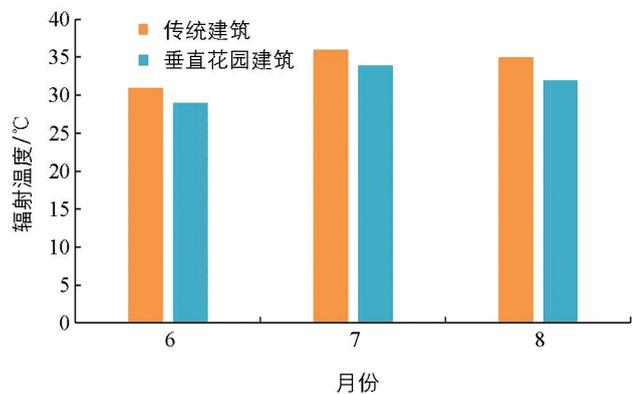


图5 传统建筑与垂直花园建筑的平均辐射温度比较

在雨水管理方面, 垂直花园建筑的绿色屋顶通过减少雨水径流和过滤污染物来管理雨水, 与传统建筑屋顶相比具有更好的效果. 图 6 显示了传统建筑与垂直花园建筑屋顶在不同降雨量下的径流减少对比结果.

图 6 中, 垂直花园建筑屋顶径流减少了 50%~83%. 与传统建筑屋顶相比, 垂直花园建筑屋顶平均径流减少了约 63.5%. 由于城市地区传统建筑通常对雨水的渗透性非常低, 在暴雨、暴风雨或融雪期间会导致排水系统在短

时间内无法满足径流峰值. 而垂直花园建筑由于绿色屋顶上的植物有助于保留雨水, 从而显著减少了暴雨和暴风雨后径流的峰值量. 此外, 本研究还发现, 与传统屋顶相比, 垂直花园建筑绿色屋顶径流的铅污染减少了 3 倍, 锌污染减少了 1.5 倍, 镉污染减少了 2.5 倍, 铜污染减少了 3 倍.

在噪音污染严重的环境中(白天大于 65 分贝, 夜间大于 60 分贝), 绿色屋顶的存在可以降低内部噪音水平, 从而提升城市居民的居住舒适度. 表 1 显示了不同场景中, 传统建筑与垂直花园建筑在隔音上的差异效果.

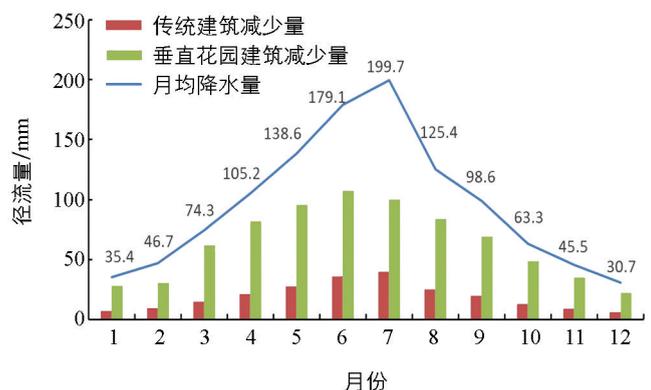


图6 传统建筑与垂直花园建筑屋顶的雨水径流减少比较

表 1 传统建筑与垂直花园建筑的降噪效果对比

模拟场景	分贝/dB	传统建筑隔音后/dB	垂直花园建筑隔音后/dB
场景 1	>90	65 左右	≤50
场景 2	80~90	50~60	≤40
场景 3	60~80	40~50	≤30
场景 4	50~60	25~30	≤20
场景 5	40 左右	20~25	≤10

由表 1 可知,垂直花园建筑的噪音水平降低较大,隔音效果明显优于传统建筑.这是因为绿色屋顶上的植物和基质可以改善隔音效果,植物作用于高频,而基质作用于低频.在讨论亲生物设计建筑对城市环境的影响时,不应忽视建筑内部的噪音防护措施.降水,尤其是雨水和冰雹,当它们撞击传统屋顶时就会成为噪音源.而用绿色屋顶覆盖建筑实际上消除了这种影响,同时还减少了道路、铁路或空中交通噪音.本研究还发现绿色屋顶可以很好地阻挡室内噪音,例如来自地下车库的噪音,从而减少对环境的滋扰.

空气污染是城市中心和高度城市化地区的主要问题之一.城市化地区交通、当地锅炉房和工业集中等因素都是导致城市中心出现 CO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、重金属和悬浮颗粒物的原因,而生长在绿色屋顶上的植物可以捕获空气中的污染物,从而减少空气污染.表 2 显示了垂直花园建筑绿色屋顶与传统屋顶对不同空气污染物的处理结果.

表 2 传统建筑与垂直花园建筑屋顶空气污染物吸收结果比较

空气污染物	传统建筑/kg	垂直花园建筑/kg
NO <sub>2</sub>	0.78	31.2
SO <sub>2</sub>	0.26	14.4
O <sub>3</sub>	0.55	27.6
CO <sub>2</sub>	0.45	22 000

表 2 结果显示,垂直花园建筑的绿色屋顶每年可处理 31.2 kg 的 NO<sub>2</sub>、14.4 kg 的 SO<sub>2</sub>、27.6 kg 的 O<sub>3</sub> 和 22 000 kg 的 CO<sub>2</sub>.对比结果表明,绿色屋顶的基质和植被可以有效吸收空气中的有害污染物.这是由于树枝、细枝和树叶大而粗糙的表面使绿色屋顶植物成为捕捉空气中悬浮灰尘污染非常有效的工具,这些植物还降低了环境温度,减慢了光化学反应,从而减少了臭氧等二次空气污染物.此外,研究表明基材层有助于去除大气中的重金属,即通过适当的基材成分和厚度,可以更有效地去除 Al、Cd、Cu、Fe、Ni、Pb 及 Zn 等重金属.

合理的建筑节能措施在降低能耗的同时,也能有效缓解城市热岛效应.在建筑围护结构设计上,通过提高热工性能可以显著降低建筑在冷热天气中的能源需求.例如,采用高效的绝热材料和合理的设计可以减少室内外温差引起的能量损失.在建筑结构的热性能参数中, $R$  值(热阻值)和  $U$  值(热传导系数)是两个常用的指标,分别用于描述建筑材料的隔热性能和单位面积材料在单位温差下传递的热量. $U$  值和  $R$  值互为倒数关系,其计算公式为:

$$R = \frac{1}{U} \quad (1)$$

对于多层材料的建筑构件,整体  $U$  值( $U_{\text{total}}$ )可以通过总热阻值( $R_{\text{total}}$ )来计算:

$$U_{\text{total}} = \frac{1}{R_{\text{total}}} \quad (2)$$

其中,  $U_{\text{total}}$  代表整个建筑围护结构中所有材料和层次的综合传热系数,  $R_{\text{total}}$  是材料层或建筑结构整体的总热阻值. 通过分别对传统建筑和垂直花园建筑的围护结构热特性进行分析, 结果如表 3 所示.

表 3 传统建筑和垂直花园建筑的热性能参数比较

结构	模型	参数		
		整体 $U$ 值/ $[\text{W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}]$	$R$ 值/ $[(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \cdot \text{W}^{-1}]$	$U$ 值/ $[\text{W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}]$
墙壁	传统建筑	3.584	0.512	2.275
	垂直花园建筑	0.342	4.436	0.312
屋顶	传统建筑	3.146	0.528	2.247
	垂直花园建筑	0.477	2.504	0.488

根据表 3 的数据显示, 在墙壁配置方面, 整体  $U$  值从传统墙壁的 3.584 降至绿色墙壁的 0.342;  $R$  值从传统墙壁的 0.512 增加到绿色墙壁的 4.436;  $U$  值从传统墙壁的 2.275 降低至绿色墙壁的 0.312. 在屋顶配置方面, 整体  $U$  值从传统屋顶的 3.146 降至绿色屋顶的 0.477;  $R$  值从传统屋顶的 0.528 增加至绿色屋顶的 2.504;  $U$  值从传统屋顶的 2.247 降至绿色屋顶的 0.488. 实验结果表明, 垂直花园建筑通过采用绿色屋顶和绿色墙壁可以有效地缓解城市热岛效应, 提高城市的舒适性和宜居性.

能源与环境之间相互制约、息息相关, 城市能源消耗对环境空气质量影响巨大, 也是改善整个城市环境的关键. 为了进一步分析花园艺术中垂直花园建筑在减少能耗和实现城市能源优化方面的优越性, 本研究也对建筑物的总能源使用情况做了详细分析, 研究结果如图 7 所示.

## 4 结语

本研究深入探讨了亲生物设计对城市环境的积极影响, 通过与传统建筑进行对比, 发现垂直花园建筑在多个方面展现出显著的优势. 具体而言, 其在降低空气温度方面取得了卓越成就, 平均降温高达  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 有效缓解了城市热岛效应的不利影响. 同时, 垂直花园建筑通过减少雨水径流, 成功

改善了城市水环境, 为降低城市内涝风险做出了重要贡献. 此外, 其绿色屋顶和墙壁的设计不仅有效降低了噪音水平, 还成功吸收了大量气态和颗粒状污染物, 显著提升了城市空气质量.

这些发现不仅为决策者和设计师提供了实质性的参考, 突显了亲生物设计的良好实践应用, 也为进一步改善城市环境质量、提高能源效率、实现资源可持续利用提供了有力支持. 本研究为景观设计师、建筑师和其他相关领域的专业人士提供了创新设计的广阔空间, 也为未来的城市规划和建设提供了新的思路. 未来研究方向可进一步探讨亲生物设计在不同气候条件下的适用性, 深入研究垂直花园建筑的长期效益, 以及不同植物种类对城市环境的影响. 通过对垂直花园建筑设计理念的不断优化和实践, 人们有望更全面地理解其在推动城市可持续发展方面的潜力, 为未来城市规划与建设提供更科学的指导.

## 参考文献:

- [1] 黄莘绒, 管卫华, 陈明星, 等. 长三角城市群城镇化与生态环境质量优化研究 [J]. 地理科学, 2021, 41(1): 64-73.

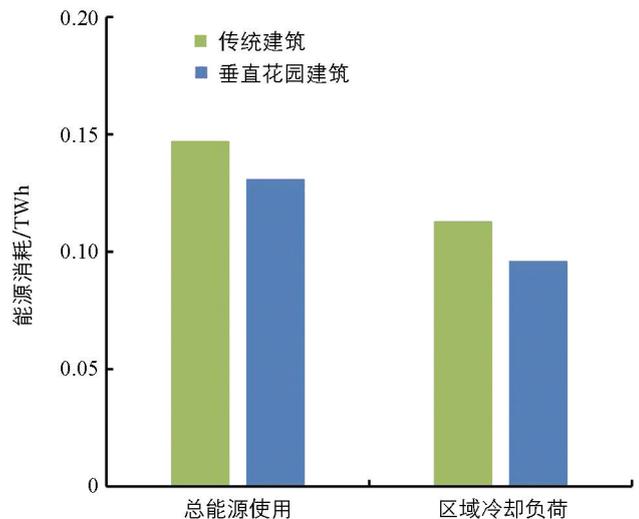


图 7 传统建筑和垂直花园建筑的总能源和区域冷却负荷比较

- [2] 冯俊琪. 平屋顶简易绿化对屋顶空气温度影响研究 [D]. 西安: 西安科技大学, 2013.
- [3] 林伟斌, 孙一民. 基于自然解决方案对我国城市适应性转型发展的启示 [J]. 国际城市规划, 2020, 35(2): 62-72.
- [4] HONG K P, HONG S H, JIN H, et al. A Study on the Foundation Characteristics of Vertical Garden [J]. The Journal of the Convergence on Culture Technology, 2020, 6(3): 301-306.
- [5] KISJAN A, ALEKSIC D. Thermal Landscapes: Rahm's Meteorological Architecture [J]. AGG+ Journal for Architecture, Civil Engineering, Geodesy and Related Scientific Fields, 2022, 10(1): 18-27.
- [6] ZHDANOVA I V, KUZNETSOVA A A, DOROFEEVA E D. Ecological and Aesthetic Aspects of Vertical Gardening and Green Roofs in Residential Buildings [J]. Izvestiya of the Samara Russian Academy of Sciences Scientific Center. Social, Humanitarian, Medicobiological Sciences, 2019, 21(64): 53-59.
- [7] LOTFI Y A, REFAAT M, EL ATTAR M, et al. Vertical Gardens as a Restorative Tool in Urban Spaces of New Cairo [J]. Ain Shams Engineering Journal, 2020, 11(3): 839-848.
- [8] 付卓群. 垂直花园绿色景观设计初探 [J]. 广东水利水电, 2014(10): 39-45.
- [9] GONZÁLEZ-AVILÉS Á B, PÉREZ-CARRAMIÑANA C, GALIANO-GARRIGÓS A, et al. Analysis of the Energy Efficiency of Le Corbusier's Dwellings: The CitéFrugès, an Opportunity to Reuse Garden Cities Designed for Healthy and Working Life [J]. Sustainability, 2022, 14(8): 4537-4555.
- [10] PARK S Y, OH D K, LEE S Y, et al. Combined Effects of Substrate Depth and Vegetation of Green Roofs on Runoff and Phytoremediation under Heavy Rain [J]. Water, 2022, 14(18): 2792-2804.
- [11] ALMAAITAH T, DRAKE J, JOKSIMOVIC D. Impact of Design Variables on Hydrologic and Thermal Performance of Green, Blue-Green and Blue Roofs [J]. Blue-Green Systems, 2022, 4(2): 135-155.
- [12] MUTANI G, TODESCHI V. The Effects of Green Roofs on Outdoor Thermal Comfort, Urban Heat Island Mitigation and Energy Savings [J]. Atmosphere, 2020, 11(2): 123-155.
- [13] 臧鑫宇, 王峤. 基于景观生态思维的绿色街区城市设计策略 [J]. 风景园林, 2017(4): 21-27.
- [14] YILDIRIM S, ÖZBURAK Ç, ÖZDEN Ö. Green Roofs, Vegetation Types, Impact on the Thermal Effectiveness: an Experimental Study in Cyprus [J]. Sustainability, 2023, 15(3): 2807-2819.
- [15] CALHEIROS C S C, STEFANAKIS A I. Green Roofs towards Circular and Resilient Cities [J]. Circular Economy and Sustainability, 2021, 1(1): 395-411.
- [16] 陈霞. 浅析屋顶花园对城市局部生态改善的优势 [J]. 现代农业研究, 2020, 26(4): 129-130.
- [17] 聂敬娣, 张俊华, 黄波. 城市热岛效应对人体健康影响研究综述 [J]. 生态科学, 2021, 40(1): 200-208.
- [18] KIM J, LEE S Y, KANG J. Temperature Reduction Effects of Rooftop Garden Arrangements: a Case Study of Seoul National University [J]. Sustainability, 2020, 12(15): 6032-6048.
- [19] 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.