

撤稿声明

撤稿文章名: 城市热暴露对人类影响的认知、优化设计及展望
作者: 李奇睿
• 通讯作者, 邮箱: 1245812509@qq.com

期刊名: 设计 (Design)
年份: 2024
卷数: 9
期数: 6
页码 (从X页到X页): 1524-1535
DOI (to PDF): <https://doi.org/10.12677/design.2024.96823>
文章ID: 1181563
文章页面: <https://www.hanspub.org/journal/PaperInformation?paperID=103964>
撤稿日期: 2025-3-5

撤稿原因 (可多选):

- 所有作者
 部分作者:
 编辑收到通知来自于
- 出版商
 科研机构:
 读者:
 其他:

撤稿生效日期: 2025-3-5

撤稿类型 (可多选):

- 结果不实
 实验错误
 数据不一致
 分析错误
 内容有失偏颇
 其他:
- 结果不可再得
 未揭示可能会影响理解与结论的主要利益冲突
 不符合道德
- 欺诈
 编造数据
 虚假出版
 其他:
 抄袭
 自我抄袭
 重复抄袭
 重复发表 *
 侵权
 其他法律相关:
- 编辑错误
 操作错误
 无效评审
 决策错误
 其他:
- 其他原因:

出版结果 (只可单选)

- 仍然有效.
 完全无效.

作者行为 失误(只可单选):

- 诚信问题
 学术不端
 无 (不适用此条, 如编辑错误)

* 重复发表: "出版或试图出版同一篇文章于不同期刊."

历史

作者回应:

是, 日期: 2025-03-04

否

信息改正:

是, 日期: 2025-03-05

否

说明:

“城市热暴露对人类影响的认知、优化设计及展望”一文刊登在 2024 年 12 月出版的《设计》2024 年第 9 卷第 6 期第 1524-1535 页上。因文章存在抄袭其他语种出刊篇章情况。根据国际出版流程, 编委会现决定撤除此稿件, 保留原出版出处:

李奇睿. 城市热暴露对人类影响的认知、优化设计及展望[J]. 设计, 2024, 9(6): 1524-1535. DOI: 10.12677/design.2024.96823

所有作者签名:

李奇睿

城市热暴露对人类影响的认知、 优化设计及展望

李奇睿

山东建筑大学建筑城规学院, 山东 济南

收稿日期: 2024年10月15日; 录用日期: 2024年12月23日; 发布日期: 2024年12月31日

摘要

在全球气候变化和城市发展的驱动下, 城市热暴露是当代的重大挑战, 严重影响了城市的宜居性和可持续性。为了充分应对城市高温带来的多方面挑战, 将人类置于议程的中心是至关重要的。通过系统性评述, 综述近16年122篇与人-城市热暴露相关的文章, 提供城市热暴露的广泛概述和综合评价, 定义解决对人类影响的整体途径。通过对现有研究的综述, 当前有关城市热暴露对人类影响的研究方向可分为: (1) 人-城市热暴露的研究现状; (2) 人-城市热暴露的认知; (3) 未来改善热暴露对人类影响的优化设计及展望。研究结果能够为改善城市热, 提高人类健康福祉在风景园林实践中提供新的思路和借鉴。

关键词

城市热暴露, 优化设计, 系统评价

Cognition, Optimization Strategies and Prospects of the Impact of Urban Heat Exposure on Humans

Qirui Li

The School of Architecture and Urban Planning, Shandong Jianzhu University, Jinan Shandong

Received: Oct. 15th, 2024; accepted: Dec. 23rd, 2024; published: Dec. 31st, 2024

Abstract

Driven by global climate change and urban development, urban heat exposure is a major contemporary challenge, seriously affecting the livability and sustainability of cities. To fully address the

multifaceted challenges posed by urban heat, it is crucial to put humans at the center of the agenda. Through a systematic review, 122 articles related to human-urban heat exposure in the past 16 years were reviewed, providing a broad overview and comprehensive evaluation of urban heat exposure, and defining an overall approach to solving the impact on humans. Through a review of existing research, the current research directions on the impact of urban heat exposure on humans can be divided into: (1) Research status of human-urban heat exposure; (2) Cognition of human-urban heat exposure; (3) Optimization strategies and prospects for improving the impact of heat exposure on humans in the future. The research results can provide new ideas and references for improving urban heat and improving human health and well-being in the practice of landscape architecture.

Keywords

Urban Heat Exposure, Optimization Design, Systematic Review

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

联合国《2018年世界城市化展望》报告称,全球55%的人口生活在城市地区,到2050年,城市地区预计将容纳全球60%的人口。在城市化和工业化带来的所有环境问题中,城市热岛现象长期以来一直受到学者的关注。自20世纪50年代以来,在所有居民点的气候带和地区观测到的最高和最低气温都明显升高[1]。这种全球范围和局部范围的变暖对人们的综合影响一直是有害的:即使在发达国家,高温也被视为所有自然灾害的主要致死原因[2]-[4],而热应激是一种被广泛承认的对身心健康的危害[5]。这些担忧促使我们对城市热量进行详细地评估,不仅从全球或城市范围的角度,而且也从人类的角度,重点关注城市居民直接暴露在直接环境中的热量。在人类尺度上的热暴露遵循“以受体为导向”的热方法,而不是“以来源为导向”的评估[6],旨在量化人们暴露在城市热中的时间、地点和程度,并进一步评估热暴露对人们的舒适、性能、福祉和健康的影响[7]-[9]。

近年来,越来越多的研究关注热健康风险的研究。两个与热有关的健康风险评估框架得到了广泛使用:用于热脆弱性评估的确定性-敏感性-适应性框架和Crichton风险三角的危险性-确定性-脆弱性框架(Crichton,1999年)。2014年,IPCC第五次评估报告明确了气候变化风险的概念与评估方法,指出气候变化风险是气象灾害与人类系统和自然系统相互作用的结果,由灾害的危险性、承灾体的暴露性和脆弱性决定[10]。尽管对高温、热浪以及炎热的室内外环境进行了数十年的生理学、流行病学和气候学研究,但有关人们在日常生活中经历的实际热暴露的信息却很少,因此可能存在信息不足的风险有关热暴露和健康的评估、政策和干预措施。

本综述的目的是通过广泛和系统地综述,收集和综合当前关于城市热暴露对人类生活(包括舒适、幸福、性能和健康)的影响的知识。拓展Kuras等人[8]的评论,讨论了个人热暴露研究的机遇和挑战。在此背景下,本研究综合国内外研究成果,全面性地对人-城市热暴露展开系统评价与荟萃分析,并将按下列步骤进行:(1)通过一系列严格的合格标准,填充文献样本,定义研究范围;(2)综述人-城市热暴露的研究现状,明确研究的趋势和现状;(3)认知人-城市热暴露;(4)总结优化设计,并为未来的研究提供展望。

2. 数据来源与研究方法

2.1. 文献获取与筛选

本研究在 Web of Science 中以检索式 TS = (“thermal exposure*” OR “heat exposure*” OR “thermal risk*” OR “heat comfort*”) AND TS = (“people*”) AND TS = (“city” OR “urban*”) 对英文文献进行检索(汇总时限为 2008 年 1 月~2023 年 12 月), 以“城市热”“热暴露”“热风险”“热舒适”“人”“城市”等作为关键词在 CNKI 进行交叉组合检索(汇总时限为 2008 年 1 月~2023 年 12 月), 共纳入英文文献 1142 篇, 中文文献 186 篇。浏览文献标题、关键词与摘要, 并按以下标准对文献进行筛选, 见图 1: (1) 文献类型为研究论文或综述, 筛除会议论文、研究报告等; (2) 研究内容需与相关; (3) 研究内容应包括热暴露的特性、测量或建模研究; (4) 研究对象位于城市。最终纳入符合标准的文献共 122 篇, 其中英文文献 90 篇(包括 87 篇研究论文, 3 篇综述), 中文文献 32 篇(包括 22 篇研究论文, 10 篇综述)。

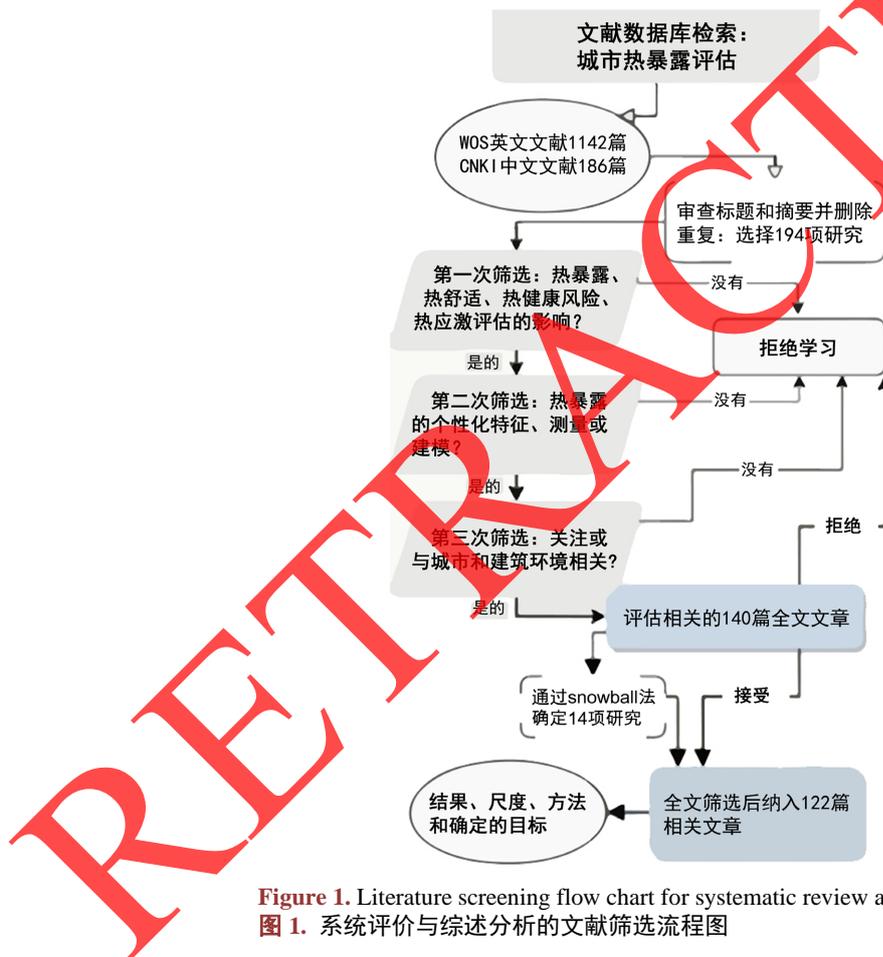


Figure 1. Literature screening flow chart for systematic review and meta-analysis
图 1. 系统评价与综述分析的文献筛选流程图

2.2. 文献数据分析

热暴露对人类生活的影响是多方面的, 涉及身体和心理的健康以及人体舒适度, 生产力和性能的各个方面的。热暴露广泛的影响使监测城市个人热暴露研究和方法源自不同学科、不同领域(如环境科学和工程、城市气候、建筑技术、公共卫生、职业卫生和体育科学), 见图 2。例如, 在建筑技术学科中, 提高能源效率以及人类表现和生产率被认为是评估个人热暴露的主要动机[11]-[13], 而环境和职业健康研究则侧

重于热的健康结果以及对建筑环境中职业安全的影响[14][15]。因此，为了提供对最新技术水平的深入分析，我们区分文献样本中的目的至关重要。此外，在每个研究领域内，监测热暴露的目标也有很大差异，这是传统热暴露研究的局限性，从空间和时间的错误表述到排除生理和心理反应[16]。这导致了个人热暴露研究中的一系列目标，例如克服传感器技术和可扩展性的技术挑战[17][18]，获得实时和瞬时评估[19][20]，或开发新的方法和框架，用于将热暴露评估整合到人们的生活和劳动力中[11]。这些针对个人热暴露的多视角方法需要根据目的结果和提出的目标对文献样本进行更详细的分类，见表1。

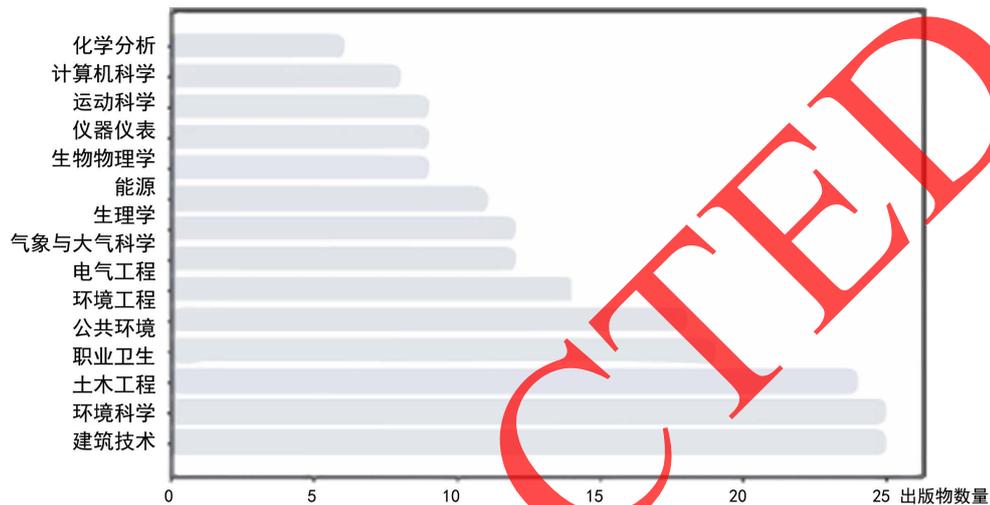


Figure 2. Evaluation model graph literature sample research field classification bar graph
图 2. 评价模型图文献样本研究领域分类条形图

Table 1. Literature sample classification summary table
表 1. 文献样本分类总结表

结果	目标	方法	尺度
<ul style="list-style-type: none"> • 人类绩效(包括身体和认知表现以及工人的生产力) • 健康(包括死亡率、发病率和福祉) • 职业安全 • 能源效率 	<ul style="list-style-type: none"> • 提高热舒适度 • 监测城市热影响 • 实时监测热暴露 • 热暴露的空间分析 • 人类活动或适应行为 • 生理反应 • 主观反馈的即时评估 • 准确性评估和标准化 	<ul style="list-style-type: none"> • 可穿戴设备 • 物联网传感器/智能手机 • 移动的测量 • 红外热成像 • 统计建模 • 机器学习 • 移动数据分析 	<ul style="list-style-type: none"> • 室内 • 室外 • 过渡区

3. 人-城市热暴露的研究现状

使用 VOS viewer 工具[21]获取文献样本中关键词的共现图，对文献样本中的驱动目标进行更深入的分析，重点关注这一多学科领域中存在的潜在联系和区别，见图3。该图直观地显示了该领域的关键词、它们在不同学科中的共现和相关性以及出现的关键副主题和主题。我们使用了两个关键词的组合来构建评估文献网络：(1) 已发表文章中作者定义的关键词，以及(2) 基于经常出现在摘要和文章参考文献标题中但不出现在文章标题中的单词短语[22]。在这个书目网络图(图3)中，每个聚类(用颜色表示)代表一组密切相关的关键词，这些关键词根据它们的相关性和共现性分组在一起。本分析中形成了三个集群，展示了人-城市热暴露评估中的主要子主题，围绕这些关键领域：(1) 建筑环境中的热舒适性评估使用新方

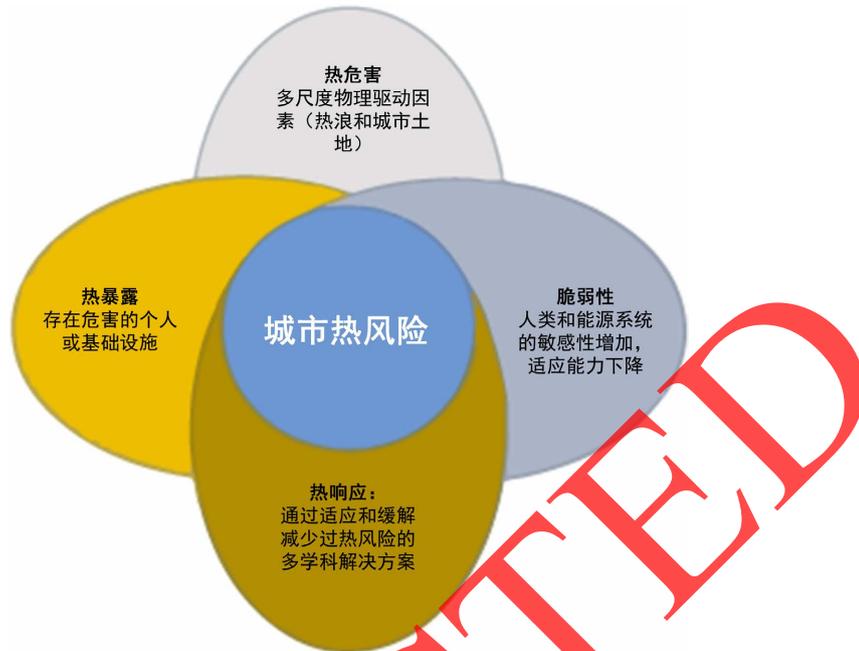


Figure 4. Urban thermal risk integrated frame diagram
图 4. 城市热风险综合框架图

本文根据研究目的将热暴露定义为因人位于城市发生热的位置而发生的暴露。这种暴露可以根据强度、持续时间和频率进行评估。与环境空气污染研究中“暴露”一词的使用一致[26]，我们对外部暴露和剂量进行了区分。我们的定义不包括内部热暴露(即内部热量)，因为这是环境热暴露和内部生理相互作用的综合影响的结果。

我们将人-城市热暴露定义为人类与城市室外环境之间的实际接触，其中气温、辐射负荷、大气湿度和气流速度共同构成身体核心温度升高、感知不适或两者兼而有之的风险。由于可能造成组织损伤和代谢紊乱，身体核心温度的升高受到临床关注。人们感知到的热不适可能会在身体核心温度发生变化或不发生变化的情况下发生，并且受多种因素的影响，包括皮肤温度、出汗率/状况、心理状态、先前的热暴露以及个人对热的期望。人-城市热暴露是将气候驱动因素和城市外环境条件与热不适和不良健康结果联系起来的概念途径的重要一步，见图 5。

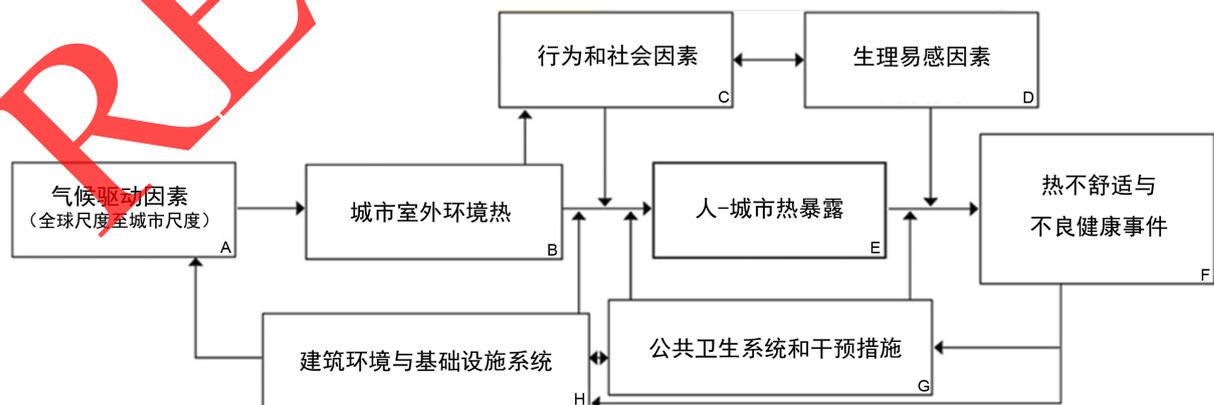


Figure 5. Conceptual path map at each stage of man-city heat exposure
图 5. 人-城市热暴露各阶段概念路径图

5. 人 - 城市热暴露优化设计实施

5.1. 城市热风险的内涵

对文献样本综述分析,进一步揭示了用于城市热暴露个人评估的不同方法,见图6。在文献中可以看到传感和建模方法的组合,52%的出版物使用一种以上的方法来评估城市热暴露。对这一多学科领域的深入回顾进一步揭示了方法学的发展主要是为了解决两个关键观点之一:(1)覆盖城市热暴露的空间和时间变化,重点是直接的热环境(外部);(2)整合和评估人为因素,重点关注热环境的暴露影响(内在)。

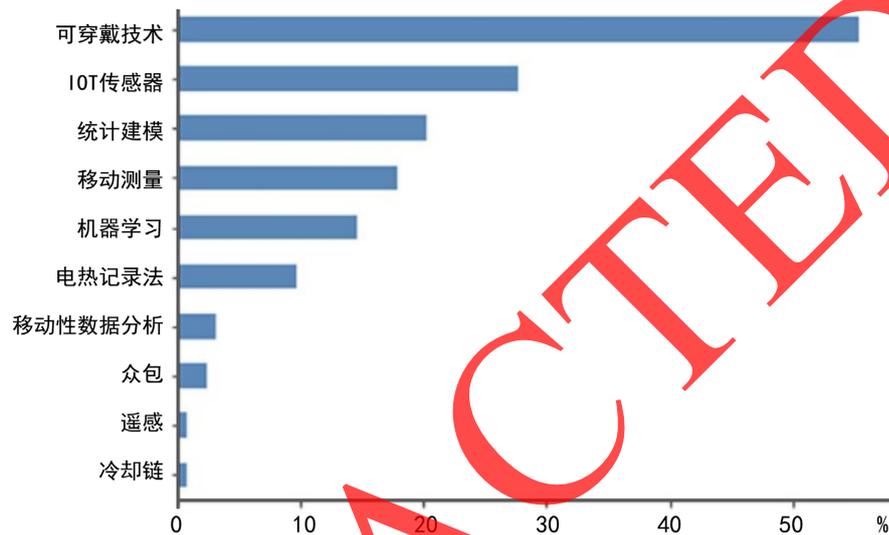


Figure 6. Statistical map of individual assessment methods for urban heat exposure
图6. 城市热暴露个人评估方法统计图

5.1.1. 建筑环境中热暴露的监测方法

从这个角度来看,研究旨在评估城市景观中热暴露的高度可变性,并解决热影响的错误分类,即缺乏全面的气象数据集时(例如缺少辐射或风速数据),或使用远离城市的气象站,都可能导致对热暴露强度、持续时间或影响的误报。针对这一缺点,新的方法集中于评估个人在生活中所经历的热环境变化,描述何时何地可能发生热暴露。基于此开发传感和建模方法,通过一系列因素(如空气温度、辐射交换、湿度和空气速度)评估热暴露的幅度、持续时间和频率。这种对热暴露的精细评估进一步促进了对城市结构和形态的作用的评估,如以“局部气候区”(LCZ)[26]为特征,确定了热暴露的日周期和年周期,并区分了热暴露的城市间和城市内变化[27][28]。然而,尽管在缩小热环境测量差距方面做出了巨大努力,但从低成本传感器收集的数据仍然在两个关键方面存在局限性:(1)全面反映热环境。传感主要集中在监测城市温度和相对湿度,作为热环境的代表(同时忽略风速和MRT对热暴露的关键影响),以及(2)准确性评估和标准化。目前,为解决准确性问题并制定部署,应比较制定物联网数据[29]或移动的测量的指导方针。

另一方面,城市热环境的建模源于数十年的微观和中尺度气候建模(已有文章先前详细描述了城市热岛[30]和热舒适度[31]的建模以及城市微气候的计算流体力学分析[32])。然而,访问从智能手机[33]和替代数据源(如基于车辆的[33][34]和移动数据[16])获得的数据提供了更准确和代表性的输入参数,以运用于热环境的建模,遵循建筑环境中人们移动的详细模式,并实现人-城市热暴露评估的愿景。

5.1.2. 以人为中心的暴露影响监测方法

这一角度旨在解决热暴露对城市居民的影响,提供解释如何以及对谁实现热暴露的信息。然而,与

四个环境参数中量化的热环境不同,人为因素要复杂得多,参数非线性地改变热暴露和结果之间的关系。这些个人因素包括但不限于年龄,性别,体重和表面积,预先存在的健康状况,活动和健身水平,心理状态,气候背景和适应性[35],以及社会经济地位(SES) [12][36]。为了应对这种复杂性,监测热暴露影响的方法在人为因素的整合方面可以是不同的,热暴露影响的三个关键方面有:(1) 热不适和热压力(通过监测生理反应) [37], (2) 热健康影响(通过监测自我报告的健康因素以及对健康影响的间接贡献者),或(3) 由生理应变引起的热损伤(通过监测生理反应,特别是核心温度) [10]。两种新兴的传感方法在所有三类中适用(图 3): (1) 可穿戴技术(即可以穿戴或集成到衣服中的设备)测量生理反应(如心率、皮肤温度和皮肤电导) [37][38]、人类活动或主观反馈,和(2) 红外热成像(即检测物体发出的红外能量的摄像机),监测生理反应(主要是身体各部位的皮肤温度) [39]和人类活动模式[40]。

5.2. 人 - 城市热暴露优化设计

5.2.1. 影响室外暴露的因素

影响室外暴露的因素可分为以下五类:天气、植被、建筑、路面、和车辆。交通是城市文脉中的一种形态因素;然而,车辆的热效应对室外热暴露的影响一直存在,只有很少有中国研究人员进行研究。

5.2.2. 绿化优化设计

植被有利于改善城热暴露。目前对这一主题的广泛研究包括多种术语,包括城市冠层配置、植被格局、景观设计、绿地、乔木布置、绿化设计、市区绿化、土地覆盖类型和绿化配置[40]-[45]。一个关键的问题是,如何实施这些设计来优化热暴露环境,也就是,应该使用什么种类的植被,在哪里种植。

研究人员通过在上海办公建筑区域进行数值研究发现,适当配置雨棚可以改善室外热条件,但未提供详细规划战略。在北京地区的研究中,树木在夏季提供舒适的热环境方面优于其他绿化配置。多项研究证实,乔木对室外热舒适的降温效果最佳,其次是大型灌木[46]。然而,有不同观点认为人工遮阳装置可能具有更显著的降温效果。在北京模拟住区研究中,特定树种的热影响表明倒圆锥形树冠适合单行绿化布局,而在寒冷地区,冬季建议种植落叶树木。其他研究则提出在建筑西外墙种植植被,与南面种植树木有所不同。

在香港和广州对常见树种进行参数化研究中,叶面积指数被确认为影响热效益的主要因素[47]。南亚地区的观叶乔木被推荐,不同树种也被建议在中国南方种植。尽管树木对室外环境冷却起关键作用,但并非用树木替代所有植被就是缓解热环境最佳选择。有研究表明与草地相比,小树林不如草地更舒适。在城市规划中,错开建筑中心种植植被和紧凑高层建筑周围分布的树木也被认为能提供最佳热舒适条件。

关于植被覆盖的影响,研究发现当树木覆盖面积大于陆地总面积的 1/3 时,可能产生约 1K 的降温效果[48]。在城市公园中,绿化覆盖率建议在 54.5%~71.6%之间。不过,在高密度城市实现超过 30%的绿化覆盖率可能不切实际。最后,研究强调了植被覆盖和街谷通风的互补性,强调需要充分研究植被与街谷参数结合的影响,以实现最佳的热环境改善效果。

5.2.3. 建筑布局优化设计

城市设计中,建筑布局的研究对于改善城市热暴露具有实际意义。建筑既可以产生遮阳区域,又可以提供通风的环境,但同时也可能阻碍风的流动。建筑风格、朝向、高度、密度、容积率、莫兰 I 等多个因素被发现对城市热舒适产生较大影响[49]-[53]。Pilotis (架空建筑)被证明有利于提供建筑下方的热友好半开放空间,在高温天气下能够减缓气温上升,而架空建筑下的风速降低可能是因为风速在建筑下放大。提升设计和建筑两端设置的设计也被推荐,其中建议试点比例在 12%至 38%之间[52]。此外,风洞试验和气象数据测量结合进行的研究更准确,特别是在高架建筑下的行人水平热感知方面的研究。不同城市

的地理特征和气候条件影响了建筑的热效应。建筑布局的密度和距离对城市通风和遮阳的效果有显著影响,建议不那么密集的建筑布局[51]。建筑之间适当的距离可以产生遮蔽场和促进建筑之间的风流。而且,人工遮阳、悬垂的 façade、扩展罐、藤架、悬臂和阳台等设计元素都被推荐[54]。

总体而言,建筑布局对城市热舒适的影响不可忽视,需要在城市设计规划的早期和设计优化的后期中进行详细研究。建议采用适当的建筑距离和建筑形态,以最大程度地提高城市热舒适条件。

5.2.4. 路面配置优化设计

城市室外下垫面的材料选择对于缓解城市热条件至关重要。不同材料在太阳曝晒下会有不同的热特性,因此采用冷路面设计成为一种有效的缓解城市热问题的方法。常见的路面配置包括土壤、砖、沥青、砂岩、大理石、混凝土、卵石混凝土、花岗岩、连锁水泥砖、沥青混凝土和瓷砖等,它们具有不同的反照率和热效应[55]-[58]。

研究表明,选择具有高反照率的材料是减缓夏季白天热舒适指数使用的有效设计。一些研究通过模拟植被、水体和人行道的冷却性能,并根据路面的反照能力进行分类,评估了不同下垫面类型和比例对城市热缓解的效果。结果显示,人行道与树冠组合的降温效果最为显著,直接影响了人体的热舒适感觉。另一项研究从红外能量的角度分析了六种城市表面材料的城市热效应[55],而另一项研究则探讨了两种透水路面的冷却效果,发现烧结陶瓷多孔砖透水铺装材料在减低近地表气温方面效果更好。

因此,选择具有高反照率和冷却性能的材料,以及采用人行道与树冠组合等设计,对于在城市设计中缓解热环境问题具有实际意义。这些研究为城市规划提供了重要的参考,以实现更舒适、可持续的城市生活环境[57]。

6. 未来展望

改善室外热暴露,实现室外热舒适并非一个静态的定义,而是一个持续追求的目标。由于不同气候区域的热暴露存在差异,因此优化设计可能需要在局部进行定制。为了提高对室外热感知的理解,近期研究通过增加特征和理论性的探讨取得了一些进展。然而,为了更准确地理解不同要素之间的联系,我们仍需更好的角色表述和更精确的评价模型。

尽管计算机技术迅猛发展,但在复杂的城市室外建筑环境和气候的恢复方面仍然存在问题。与气候相关的数值通常是通过测量或模拟得出的,而有关插值和模拟算法的研究也是必要的,以确保对热条件的更准确评估。尽管植被和建筑布局的研究较多,但城市布局却很少作为当前城市热状况的指标,因此需要更多实际应用。政府应完善城市建设政策,促进研究成果在实践中的应用。

多学科领域对城市热条件的关注日益增加,丰富了我们对这些重要问题的理解。然而,在实际的城市规划和发展中,政府应更多地采用局部室外热环境优化设计。尽管已取得了一些进展,但为了最终解决这一持续存在的问题,研究人员和政府都需要更多的努力。

7. 结论

通过系统评价与荟萃分析对人-城市热暴露研究进行回顾,总结了城市建成环境对人类影响的热暴露研究,以及如何改变城市特征以保证城市热舒适环境,并得到以下结论:

- (1) 热暴露是城市热风险中重要的表征类型,是影响城市热风险的重要途径之一。
- (2) 本文根据研究目的将热暴露定义为因人位于城市发生热的位置而发生的暴露。
- (3) 当前人-城市热暴露评估中的有三个子主题:建筑环境中的热舒适性评估的新方法组合;评估因气候变化而影响城市居民身心健康的城市温度和城市热岛;评估热应激和热应变。

(4) 当前研究人-城市热暴露的方法可分为两类：建筑环境中热暴露的监测方法与以人为中心的暴露影响监测方法。

(5) 天气、人的行为、植被、建筑、车辆和路面相互作用，影响城市室外热暴露。因地制宜地制定基于城市要素的优化设计具有重要意义。

(6) 应让更多的研究成果被政府采纳并制定相关标准规范。

注 释

文中所有图表均为作者自绘。

参考文献

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change (2014) *Climate Change 2013—The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- [2] Kovats, R.S. and Hajat, S. (2008) Heat Stress and Public Health: A Critical Review. *Annual Review of Public Health*, **29**, 41-55. <https://doi.org/10.1146/annurev.publhealth.29.020907.090841>
- [3] Coopers, P.W. (2011) *Protecting Human Health and Safety during Severe and Extreme Heat Events: A National Framework* Department of Climate Change, Commonwealth Government. <https://www.pwc.com.au/publications/pdf/extreme-heat-events-nov11.pdf>
- [4] Borden, K.A. and Cutter, S.L. (2008) Spatial Patterns of Natural Hazards Mortality in the United States. *International Journal of Health Geographics*, **7**, Article No. 64. <https://doi.org/10.1186/1476-072x-7-64>
- [5] Kjellstrom, T., Briggs, D., Freyberg, C., Lemke, B., Otto, M. and Hyatt, O. (2016) Heat, Human Performance, and Occupational Health: A Key Issue for the Assessment of Global Climate Change Impacts. *Annual Review of Public Health*, **37**, 97-112. <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-032315-021740>
- [6] Ott, W.R., Steinemann, A.C. and Wallace, L.A. (2006) *Exposure Analysis*. CRC Press.
- [7] Kuras, E.R., Richardson, M.B., Calkins, M.M., Ebi, K.L., Hess, J.J., Kintziger, K.W., et al. (2017) Opportunities and Challenges for Personal Heat Exposure Research. *Environmental Health Perspectives*, **125**, Article ID: 085001. <https://doi.org/10.1289/ehp556>
- [8] Corburn, J. (2009) Cities, Climate Change and Urban Heat Island Mitigation: Localising Global Environmental Science. *Urban Studies*, **46**, 413-427. <https://doi.org/10.1177/0042098008099361>
- [9] Bernard, T.E. and Kenney, W.L. (1994) Rationale for a Personal Monitor for Heat Strain. *AIHAJ*, **55**, 505-514. [https://doi.org/10.1202/0002-8894\(1994\)055<0505:rfapmf>2.0.co;2](https://doi.org/10.1202/0002-8894(1994)055<0505:rfapmf>2.0.co;2)
- [10] 刘君男, 陈天, 玉柳瓊. 气候变化视角下的高密度城市热健康风险识别、评估与城市设计干预——以澳门为例[J/OL]. 国际城市规划: 1-14. <https://doi.org/10.19830/j.upi.2022.135>, 2024-02-03.
- [11] Kim, J., Schiavon, S. and Brager, G. (2018) Personal Comfort Models—A New Paradigm in Thermal Comfort for Occupant-Centric Environmental Control. *Building and Environment*, **132**, 114-124. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.01.023>
- [12] Zhang, F., de Dear, R. and Hancock, P. (2019) Effects of Moderate Thermal Environments on Cognitive Performance: A Multidisciplinary Review. *Applied Energy*, **236**, 760-777. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.12.005>
- [13] Vesely, M. and Zeiler, W. (2014) Personalized Conditioning and Its Impact on Thermal Comfort and Energy Performance—A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **34**, 401-408. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.03.024>
- [14] Buller, M.J., Welles, A.P. and Friedl, K.E. (2018) Wearable Physiological Monitoring for Human Thermal-Work Strain Optimization. *Journal of Applied Physiology*, **124**, 432-441. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00353.2017>
- [15] 黄存瑞, 何依伶, 马锐, 等. 高温热浪的健康效应: 从影响评估到应对策略[J]. 山东大学学报(医学版), 2018, 56(8): 14-20.
- [16] Dias, D. and Paulo Silva Cunha, J. (2018) Wearable Health Devices—Vital Sign Monitoring, Systems and Technologies. *Sensors*, **18**, Article e2414. <https://doi.org/10.3390/s18082414>
- [17] Anderson, V., Leung, A.C.W., Mehdipoor, H., Jänicke, B., Milošević, D., Oliveira, A., et al. (2021) Technological Opportunities for Sensing of the Health Effects of Weather and Climate Change: A State-of-the-Art-Review. *International Journal of Biometeorology*, **65**, 779-803. <https://doi.org/10.1007/s00484-020-02063-z>

- [18] Jayathissa, P., Quintana, M., Sood, T., Nazarian, N. and Miller, C. (2019) Is Your Clock-Face Cozie? A Smartwatch Methodology for the *In-Situ* Collection of Occupant Comfort Data. *Journal of Physics: Conference Series*, **1343**, Article ID: 012145. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1343/1/012145>
- [19] Cosma, A.C. and Simha, R. (2018) Thermal Comfort Modeling in Transient Conditions Using Real-Time Local Body Temperature Extraction with a Thermographic Camera. *Building and Environment*, **143**, 36-47. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.06.052>
- [20] van Eck, N.J. and Waltman, L. (2014) Visualizing Bibliometric Networks. In: Ding, Y., Rousseau, R. and Wolfram, D., Eds., *Measuring Scholarly Impact*, Springer International Publishing, 285-320. https://doi.org/10.1007/978-3-319-10377-8_13
- [21] Zhang, J., Yu, Q., Zheng, F., Long, C., Lu, Z. and Duan, Z. (2015) Comparing Keywords Plus of WOS and Author Keywords: A Case Study of Patient Adherence Research. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, **67**, 967-972. <https://doi.org/10.1002/asi.23437>
- [22] 童世庐. 应对气候变化, 保障人群健康——“气候变化与人群健康”专栏之序[J]. *环境与职业医学*, 2020, 37(1): 1-2.
- [23] Simpson, N.P., Mach, K.J., Constable, A., Hess, J., Hogarth, R., Howden, M., et al. (2021) A Framework for Complex Climate Change Risk Assessment. *One Earth*, **4**, 489-501. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.05.005>
- [24] WHO (World Health Organization) (2004) International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems, 10th Revision (Vol. 1).
- [25] Eck, N.J.v. and Waltman, L. (2009) How to Normalize Cooccurrence Data? An Analysis of Some Well-Known Similarity Measures. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, **60**, 1635-1651. <https://doi.org/10.1002/asi.21075>
- [26] Gronlund, C.J. (2014) Racial and Socioeconomic Disparities in Heat-Related Health Effects and Their Mechanisms: A Review. *Current Epidemiology Reports*, **1**, 165-173. <https://doi.org/10.1007/s40471-014-0014-4>
- [27] Jazizadeh, F., Ghahramani, A., Becerik-Gerber, B., Kichkaylo, T. and Orosz, M. (2014) Human-Building Interaction Framework for Personalized Thermal Comfort-Driven Systems in Office Buildings. *Journal of Computing in Civil Engineering*, **28**, 2-16. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)jcp.1943-5487.0000300](https://doi.org/10.1061/(asce)jcp.1943-5487.0000300)
- [28] Havenith, G. (2001) Individualized Model of Human Thermoregulation for the Simulation of Heat Stress Response. *Journal of Applied Physiology*, **90**, 1943-1954. <https://doi.org/10.1152/jappl.2001.90.5.1943>
- [29] Chan, N., Stacey, M., Smith, A., Ebi, K. and Wilson, T. (2001) An Empirical Mechanistic Framework for Heat-Related Illness. *Climate Research*, **16**, 133-143. <https://doi.org/10.3354/cr016133>
- [30] Rupp, R.F., Vásquez, N.G. and Lamberts, R. (2015) A Review of Human Thermal Comfort in the Built Environment. *Energy and Buildings*, **105**, 178-205. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.047>
- [31] 陈倩, 丁明军, 杨续超, 等. 长江三角洲地区高温热浪人群健康风险评价[J]. *地球信息科学学报*, 2017, 19(11): 1475-1484.
- [32] Basu, R. (2002) Relation between Elevated Ambient Temperature and Mortality: A Review of the Epidemiologic Evidence. *Epidemiologic Reviews*, **24**, 190-202. <https://doi.org/10.1093/epirev/mxf007>
- [33] Napoli, C.D., et al (2020) ERA5-HEAT: A Global Gridded Historical Dataset of Human Thermal Comfort Indices from Climate Reanalysis. *Geoscience Data Journal*, **8**, 2-10.
- [34] Chapman, L., Bell, C. and Bell, S. (2016) Can the Crowdsourcing Data Paradigm Take Atmospheric Science to a New Level? A Case Study of the Urban Heat Island of London Quantified Using Netatmo Weather Stations. *International Journal of Climatology*, **37**, 3597-3605. <https://doi.org/10.1002/joc.4940>
- [35] Meier, F., Fenner, D., Grassmann, T., Otto, M. and Scherer, D. (2017) Crowdsourcing Air Temperature from Citizen Weather Stations for Urban Climate Research. *Urban Climate*, **19**, 170-191. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2017.01.006>
- [36] Chen, C., Hu, Z., Liu, S. and Tseng, H. (2012) Emerging Trends in Regenerative Medicine: A Scientometric Analysis in CiteSpace. *Expert Opinion on Biological Therapy*, **12**, 593-608. <https://doi.org/10.1517/14712598.2012.674507>
- [37] 霍童, 张序, 周云, 等. 基于暴露-敏感-适应性模型的生态脆弱性时空变化评价及相关分析——以中国大运河苏州段为例[J]. *生态学报*, 2022, 42(6): 2281-2293.
- [38] Ren, B.P. and Li, Y. (2018) Construction and Transformation Path of China's High Quality Development Evaluation System in New Era. *Journal of Shaanxi Normal University (Philosophy and Social Sciences Edition)*, **47**, 105-113.
- [39] Jin, Y. (2018) Economic Research on "High Quality Development". *China's Industrial Economy*, **361**, 12-25
- [40] Li, J.C., Shi, L.M. and Xu, A.T. (2019) Discussion on Evaluation Index System for High Quality Development. *Statistical Research*, **36**, 4-14.
- [41] Hong, B., Lin, B., Hu, L. and Li, S. (2011) Optimal Tree Design for Sunshine and Ventilation in Residential District Using Geometrical Models and Numerical Simulation. *Building Simulation*, **4**, 351-363.

- <https://doi.org/10.1007/s12273-011-0056-1>
- [42] Hong, B. and Lin, B. (2014) Numerical Study of the Influences of Different Patterns of the Building and Green Space on Micro-Scale Outdoor Thermal Comfort and Indoor Natural Ventilation. *Building Simulation*, **7**, 525-536. <https://doi.org/10.1007/s12273-014-0167-6>
- [43] Wu, Z., Kong, F., Wang, Y., Sun, R. and Chen, L. (2016) The Impact of Greenspace on Thermal Comfort in a Residential Quarter of Beijing, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **13**, Article 1217. <https://doi.org/10.3390/ijerph13121217>
- [44] Hong, B. and Lin, B. (2015) Numerical Studies of the Outdoor Wind Environment and Thermal Comfort at Pedestrian Level in Housing Blocks with Different Building Layout Patterns and Trees Arrangement. *Renewable Energy*, **73**, 18-27. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.05.060>
- [45] 谢盼, 王仰麟, 刘焱序, 等. 基于社会脆弱性的中国高温灾害人群健康风险评价[J]. 地理学报, 2015, 70(7): 1041-1051.
- [46] Chen, L. and Ng, E. (2013) Simulation of the Effect of Downtown Greenery on Thermal Comfort in Subtropical Climate Using PET Index: A Case Study in Hong Kong. *Architectural Science Review*, **56**, 297-305. <https://doi.org/10.1080/00038628.2012.684871>
- [47] Yan, H. and Dong, L. (2015) The Impacts of Land Cover Types on Urban Outdoor Thermal Environment: The Case of Beijing, China. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, **13**, 1-7.
- [48] Su, X., Cai, H., Chen, Z. and Feng, Q. (2017) Influence of the Ground Greening Configuration on the Outdoor Thermal Environment in Residential Areas under Different Underground Space Overburden Thicknesses. *Sustainability*, **9**, Article 1656. <https://doi.org/10.3390/su9091656>
- [49] Tan, Z., Lau, K.K. and Ng, E. (2016) Urban Tree Design Approaches for Mitigating Daytime Urban Heat Island Effects in a High-Density Urban Environment. *Energy and Buildings*, **114**, 265-274. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.031>
- [50] 武巍, 周龙, 刘钰等. 应对城市热岛效应的公园系统布局及优化研究——以高密度城市澳门为例[J/OL]. 复旦学报(自然科学版): 1-10. <https://doi.org/10.15943/j.cnki.fdxb-jns.20230222.001>, 2024-02-03.
- [51] Yang, X. and Zhao, L. (2015) Diurnal Thermal Behavior of Pavements, Vegetation, and Water Pond in a Hot-Humid City. *Buildings*, **6**, Article 2. <https://doi.org/10.3390/buildings6010002>
- [52] Zheng, S., Zhao, L. and Li, Q. (2016) Numerical Simulation of the Impact of Different Vegetation Species on the Outdoor Thermal Environment. *Urban Forestry & Urban Greening*, **18**, 138-150. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.05.008>
- [53] 梁娟, 蔺银鼎. 城市森林对周边小气候时空格局的影响[J]. 中国农学通报, 2007, 23(7): 379-385.
- [54] Zhang, A., Bokel, R., van den Dobbelsteen, A., Sun, Y., Huang, Q. and Zhang, Q. (2017) An Integrated School and Schoolyard Design Method for Summer Thermal Comfort and Energy Efficiency in Northern China. *Building and Environment*, **124**, 369-387. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.08.024>
- [55] Cheung, P.K. and Jim, C.Y. (2018) Comparing the Cooling Effects of a Tree and a Concrete Shelter Using PET and UTCI. *Building and Environment*, **130**, 49-61. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.12.013>
- [56] Rui, L., Buccolieri, R., Gao, Z., Ding, W. and Shen, J. (2018) The Impact of Green Space Layouts on Microclimate and Air Quality in Residential Districts of Nanjing, China. *Forests*, **9**, Article 224. <https://doi.org/10.3390/f9040224>
- [57] Wang, X., Li, Y., Yang, X., Chan, P.W., Nichol, J. and Li, Q. (2018) The Street Air Warming Phenomenon in a High-Rise Compact City. *Atmosphere*, **9**, Article 402. <https://doi.org/10.3390/atmos9100402>
- [58] Xu, X., Sun, S., Liu, W., García, E.H., He, L., Cai, Q., et al. (2017) The Cooling and Energy Saving Effect of Landscape Design Parameters of Urban Park in Summer: A Case of Beijing, China. *Energy and Buildings*, **149**, 91-100. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.05.052>