

刘梦萱, 杨春侠, 范兆祥. 城市空间微气候与人群行为关系的研究综述与展望 [J]. 风景园林, 2022, 29 (6) : 121-127.

## 城市空间微气候与人群行为关系的研究综述与展望

# Review and Prospect of the Relationship Between Urban Space Microclimate and Crowd Behavior

刘梦萱 杨春侠\* 范兆祥

LIU Mengxuan, YANG Chunxia\*, FAN Zhaoxiang

开放科学 (资源服务)  
标识码 (OSID)



中图分类号: TU986

文献标识码: A

文章编号: 1673-1530(2022)06-0121-07

DOI: 10.14085/j.fjyl.2022.06.0121.07

收稿日期: 2021-11-10

修回日期: 2022-04-11

刘梦萱 / 女 / 同济大学建筑与城市规划学院  
在读博士研究生 / 研究方向为城市设计、城市滨水公共空间设计、城市微气候

LIU Mengxuan is a Ph.D. candidate in the College of Architecture and Urban Planning (CAUP), Tongji University. Her research focuses on urban design, urban waterfront public space design and urban microclimate.

杨春侠 / 女 / 博士 / 同济大学建筑与城市规划学院副教授 / 研究方向为城市设计、城市滨水公共空间设计

通信作者邮箱 (Corresponding author Email): yang\_arch@163.com

YANG Chunxia, Ph.D., is an associate professor in the College of Architecture and Urban Planning (CAUP), Tongji University. Her research focuses on urban design and urban waterfront public space design.

范兆祥 / 男 / 同济大学建筑与城市规划学院在读博士研究生 / 研究方向为体育建筑设计、室内热环境与能耗

FAN Zhaoxiang is a Ph.D. candidate in the College of Architecture and Urban Planning (CAUP), Tongji University. His research focuses on sports architecture design, indoor thermal environment and energy consumption.

**摘要:** 随着城市微气候研究逐步向精细化发展, 微气候与人群行为关系的研究已成为其中重要的组成部分之一。对相关成果进行梳理, 有助于研究者充分了解城市微气候环境对人群行为的作用机制, 从而自下而上、科学合理地进行规划和设计城市公共空间。以 Web of Science 核心合集数据库及中国知网 (CNKI) 数据库为源, 从文献数量、机构合作网络、期刊分布三方面对相关研究进行概述, 通过对文献的共被引聚类分析, 发现目前研究的脉络主要向客观热舒适指标和环境行为学 2 个方面延伸和发展。从微气候、空间、行为 3 个方面挖掘研究热点: 在微气候层面, 探讨了 PET、WBGT 等综合指标和温度、太阳辐射等分项要素对人群行为的影响; 在空间层面, 则涵盖宏观空间和微观空间 2 个层面; 在行为层面, 则涉及游憩、体力活动和步行 3 种行为类型。以此为基础, 提出 3 个值得继续探索的议题: 微气候、空间、行为互动关系的系统研究; 新方法、新技术在微气候与人群行为关系研究中的运用; 各气候区及地区间研究探索的平衡。以期为后续微气候与人群行为的研究提供借鉴与指导。

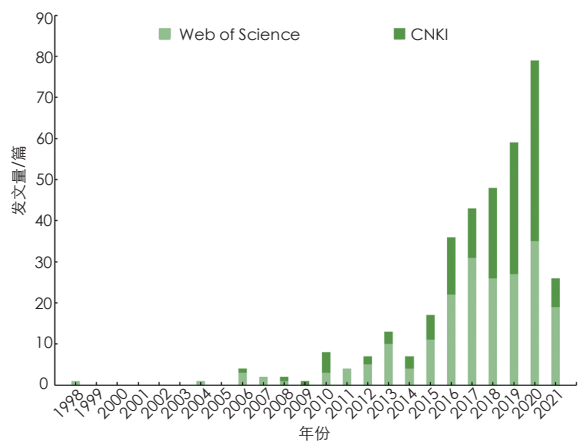
**关键词:** 城市空间; 微气候; 户外活动; 公共空间; 热舒适指标; 热适应

**Abstract:** With the increasingly refined development trend of urban microclimate research, the research on the relationship between microclimate and crowd behavior has become an important part thereof. Sorting out relevant results will help researchers fully understand the action mechanism of urban microclimate environment on crowd behavior, and thus enable them to plan and design urban public spaces from the bottom up scientifically and reasonably. With the Web of Science Core Collection database and the CNKI database as the data source, this research summarizes relevant researches from the three aspects of literature quantity, institutional cooperation network and journal distribution and, through the co-citation cluster analysis of relevant literature, finds that the current research context mainly extends and develops toward the two directions of objective thermal comfort indices and environment-behavior studies. Additionally, the research mines hotspots from the three aspects of microclimate, space and behavior: in terms of microclimate, it discusses the influence of comprehensive indices (PET, WBGT, etc.) and sub-elements (temperature, solar radiation, etc.) on crowd behavior; in terms of space, it covers both macroscopic and microscopic spatial elements; in terms of behavior, three types consist of recreation, physical activity and walking. Based on this, the research proposes three issues worthy of further exploration, namely systematic research on the interaction between microclimate, space and behavior, application of new methods and technologies in research on the relationship between microclimate and crowd behavior, and balance of research and exploration between various climatic zones and regions, in hope of providing and guidance for subsequent researches on the relationship between microclimate and crowd behavior.

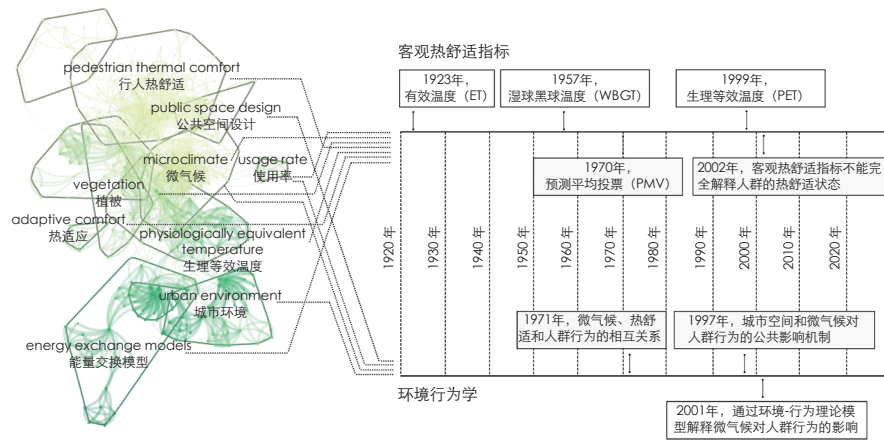
**Keywords:** urban space; microclimate; outdoor activity; public space; thermal comfort index; thermal adaptation

城市的快速发展和扩张对生态环境造成了破坏, 由此产生的城市问题受到人们的广泛关注。微气候是城市生态环境的重要组成部分,

适宜的规划和设计能改善城市环境的微气候。并且, 微气候是影响城市户外空间使用的关键因素之一, 人们选择舒适的微气候环境进行户



1 城市空间微气候与人群行为关系研究在不同数据库的文献数量分布图  
Distribution of the number of literature in different databases on the relationship between urban spatial microclimate and crowd behavior



2 微气候与人群行为关系的研究脉络图  
Research context diagram of the relationship between microclimate and crowd behavior

外活动。因此，良好的城市户外空间环境可以促进人们进行自发性活动和社交性活动，进而增加城市空间使用效率，提升城市活力。

目前，国内外针对微气候的研究多聚焦于微气候与城市形态、景观绿化之间的关系，如城市街道形态<sup>[1-2]</sup>、肌理形态<sup>[3-4]</sup>、空间要素布局<sup>[5]</sup>、植被<sup>[6]</sup>等对微气候的调节作用。此外，已有研究者针对微气候、热舒适等领域进行系统的文献分析，梳理出该领域较为完善的发展历程<sup>[7-9]</sup>。相比之下，微气候与人群行为关系的研究则刚刚起步。Elnabawi和Hamza<sup>[9]</sup>从城市空间的使用行为角度，对2009—2019年的户外热舒适文献进行综述，总结出微气候与主观热感觉、人群行为关系的综合框架。本研究试图从微观角度出发，从微气候、空间和行为三方面挖掘研究热点，并在既有研究的基础上，提出值得探索的议题。本研究有助于研究者和设计者更加充分地了解城市微气候环境对人群行为的作用机制，从人本角度出发，科学合理地规划和设计城市公共空间，提升城市空间的使用效率。

## 1 研究文献概述

本研究以Web of Science核心合集数据库为主要文献来源，辅以中国知网(CNKI)数据库作为补充和对比，从城市空间微气候与人群行为关系的相关文献中寻求研究脉络及热点。文献检索日期为2021年8月12日，时

间跨度为1998—2021年，英文文献检索主题为TS= Microclimate AND (Behavior OR Activity\* OR Adaptation OR Pedestrian\*)，并将类别限定于建筑学(Architecture)、城市研究(urban studies)等相关领域，在对检索结果进行人工筛选后，最后共获取文献209篇。中文文献检索主题为(“微气候”OR“小气候”)AND(“行为”OR“活动”)，剔除不相关文献及新闻资讯等条目后，共获得文献159篇。

### 1.1 研究数量分析

从文献数量年度分布来看(图1)，城市空间微气候与人群行为关系的相关研究呈现不断增长的趋势。截至2021年，大致可以分为3个阶段：第一阶段为2006年前，该阶段研究文献数量很少，仅有2篇英文文献，未出现中文文献；第二阶段为2006—2014年，研究数量有所增加；第三阶段为2015—2021年，研究开始呈现快速增长态势，在2020年达到顶峰(79篇)，且中文文献的比重开始逐步上升，可见国内外研究者对该研究的关注度在不断提高。

### 1.2 机构合作网络分析

城市空间微气候与人群行为关系研究的英文文献发文量较多的学术机构有香港理工大学(中国)、佩鲁贾大学(意大利)、新加坡国立大学(新加坡)等，并且形成了以慕尼黑工业大学(德国)和香港理工大学(中国)为主的2个较大的合作网络，二者均针对各自

所在的地区展开研究。前者的研究多关注不同热环境下人群的行为偏好，如人群对遮阴设施的选择等<sup>[10-12]</sup>，后者则更为关注地域化的人体舒适度模型的建立<sup>[13-14]</sup>。中文文献发文量较多的学术机构有哈尔滨工业大学、同济大学、西安建筑科技大学和华南理工大学等，但还未形成较大的合作网络。

### 1.3 主要期刊分析

城市空间微气候与人群行为关系研究的英文文献共来源于43种期刊和会议论文集，研究集中在建筑学、城市规划学科，其中*Building and Environment*发文量最多，达到65篇；*Sustainable Cities and Society*发文量次之，为26篇；*Energy and Buildings*、*Urban Forestry and Urban Greening*、*Landscape and Urban Planning*也同样为发文量较大的期刊，发文量分别为20篇、8篇、8篇。中文文献来源于中国16所大学的硕博论文和26种期刊，其中发文量最多的院校为哈尔滨工业大学，占总发文量的16.98%；西安建筑科技大学和华南理工大学次之，分别占总发文量的6.92%、5.03%；发文量前3位的期刊为《中国园林》《风景园林》和《建筑科学》。

## 2 研究脉络分析

对文献的共被引分析能够得出研究的知识基础<sup>[15]</sup>。由此可以看出(图2)，现有的研究脉络主要可以划分为两大部分，即客观热

舒适指标的延伸和环境行为学的延伸。

## 2.1 客观热舒适指标的延伸

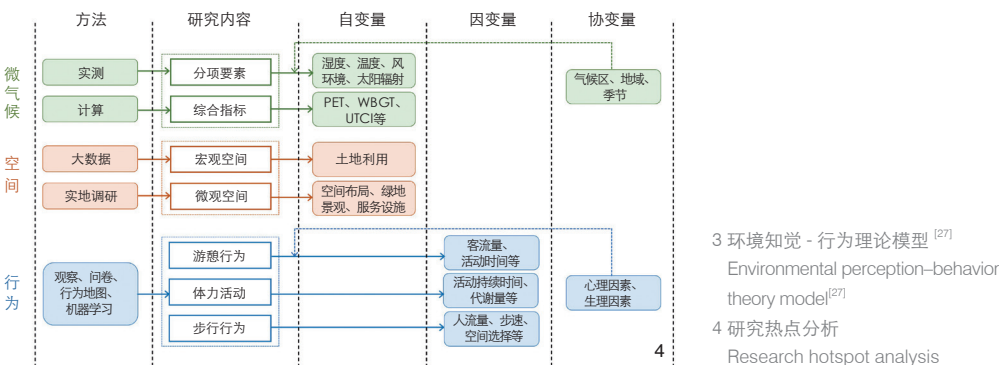
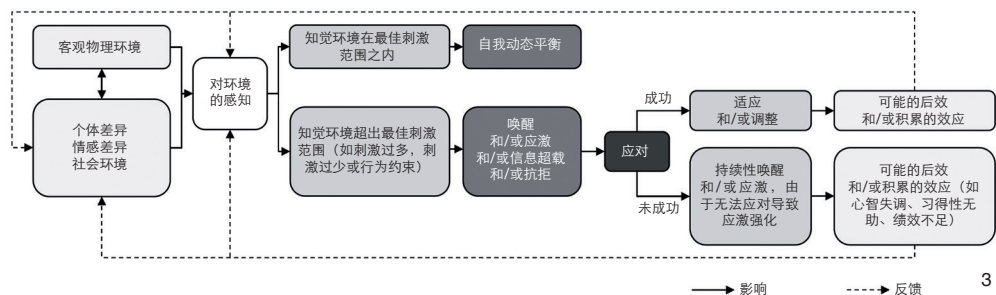
早期研究在探讨微气候与人群行为的关系时多通过能量平衡模型制定人体热舒适的客观评价指标，这些指标多以室内空间为基础建立。随着人们对城市热环境越来越关注，研究者希望将这种热舒适指标扩展至室外空间。起初研究者试图将室内的指标直接用于室外，但在进行了大量的实地调查后，发现这种依赖实验室建立的客观指标往往不能真实地反映室外空间的热舒适度，更不能反映实际空间的使用情况。人群在真实的物质空间中的行为选择是复杂的，人们选择合适的场所进行活动，其追求的应是更多样化的热舒适状态。因此，一部分学者开始针对当地的实际情况，对客观热舒适指标进行修正<sup>[16-19]</sup>；而另一部分学者，则开始关注微气候、热舒适等要素是如何影响户外空间使用的，并探究其影响模型。

## 2.2 环境行为学的延伸

此类研究是从空间与行为的关系方面开展的。研究者在关注物质空间形态对行为影响的同时，发现在这种影响机制中，微气候也是其中重要的因素，从而展开相应的研究。扬·盖尔<sup>[20]</sup>最早研究了户外微气候、热舒适和行为之间的关系，克莱尔·库珀·马库斯等<sup>[21]</sup>在《人性场所》中提出阳光、气温、风速等微气候因素对广场中使用者的舒适性产生重要影响，并表明人对微气候的反应是无意识的，这常常导致不同气候条件下人们对城市空间使用方式的不同。与客观热舒适指标的延伸不同，环境行为学的延伸不但关注微气候对人群行为的影响，也更加关注空间和微气候对人群行为的共同影响机制。目前，此方面的研究大多集中在空间评价体系的建立<sup>[22-23]</sup>和空间的设计方法<sup>[24-26]</sup>等方面。

## 3 研究热点内容辨析

保罗·贝尔等<sup>[27]</sup>提出的环境知觉-行为的理论模型，是对环境与行为互动关系较为全面的理论解释(图3)。其认为在客观物理环境刺激下，人群通过知觉获取环境信息，唤醒感知，进而影响人采取相应的行为。目前，微气候与行为关系的研究均在一定程度



上基于此理论模型，其中客观物理环境可以划分为微气候环境和物质空间环境两部分，而人的感知则受到所处行为状态的影响，因此本研究从微气候、空间、行为3个方面总结目前研究中的热点内容(图4)。

### 3.1 微气候方面研究热点

#### 3.1.1 综合指标

由研究脉络的分析可知，目前大部分针对微气候与人群行为关系的研究是从客观热舒适指标，即反映微气候舒适度的综合指标中发展出来的。

1998—2002年，欧盟曾在“城市开放空间场地再发现”(rediscovering the urban realm and open spaces, RUROS)<sup>[28]</sup>项目中发现：在实地调查中，被81%的人认为“舒适”的城市环境，在通过“预测平均投票”(predicted mean vote, PMV)计算后，仅有60%的人会感到舒适。可见，人群对于城市空间的实际热舒适评价与客观热舒适指标所预测的热指数并不相同，由此研究者开始逐步探索人群实际热舒适条件与客观热舒适指标的联系，从而预测空间中人群的使用行为<sup>[29]</sup>。目前常用的综合指标包括生理等效温度(physiological equivalent temperature, PET)、湿球黑球温度<sup>①</sup>(wet bulb globe temperature, WBGT)、通用热气候指标

(universal thermal climate index, UTCI)等；人群实际热舒适评价主要通过调查问卷获取，常用的调查问卷形式有热舒适投票(thermal comfort vote, TCV)、热感觉投票(thermal sensation vote, TSV)和热偏好投票(thermal preference vote, TPV)3种。

此外，已有学者在研究中调查、观察不同微气候条件下的空间使用和人群的热适应行为，并与舒适度指标建立关系。如Lin<sup>[30]</sup>提出在炎热潮湿气候区，在寒冷季节的PET与广场使用人数呈正相关，而在炎热季节呈负相关，在感到过热时，70%以上的人选择去树荫下避暑。并且，后续研究中Yang等<sup>[31]</sup>发现在新加坡，当感到过热时，80.8%的人选择移动至阴影处，32.5%的人选择打开遮阳伞或戴帽子。

#### 3.1.2 分项要素

对户外空间行为产生影响的微气候分项要素主要包括空气湿度、温度、风环境及太阳辐射4个方面。多数研究显示，湿度对人群行为的影响权重较小，但在高温高湿的环境下，湿度的影响权重却明显提升<sup>[32]</sup>；温度是影响人群活动水平和类型的重要变量<sup>[33]</sup>。Oliveira等<sup>[34]</sup>在对地中海气候的里斯本进行调查后提出：温度对于人群的影响很难与其

表1 微气候分项要素和综合指标相关研究内容总结<sup>[30, 41-46]</sup>  
 Tab. 1 Summary of research contents related to microclimate sub-elements and comprehensive indices<sup>[30, 41-46]</sup>

气候特征	代表城市	季节	分项要素	综合指标	行为类型	行为要素	数据获取方法		参考文献
							微气候	人群行为	
亚热带海洋性气候	中国台湾台中	四季	温度、平均辐射温度	—	游憩行为	空间使用人数	实地测量	从高处每隔 10 min 拍摄一次照片	[30]
亚热带季风气候	中国上海	夏	风环境、太阳辐射	—	游憩行为	空间选择	实地测量	全景拍摄及行为注记法	[41]
亚热带季风性湿润气候	中国成都	夏	—	WBGT	游憩行为	空间使用人数	实地测量	拍照记录	[42]
亚热带海洋性气候	巴西库里提巴	夏、秋、冬	—	UTCI	步行行为	服装选择	实地测量	问卷调查	[43]
温带大陆性气候	美国纽约	春、夏	太阳辐射	—	步行行为	步行人数、步行街道选择	气象站数据	视频信息数据	[44]
热带雨林气候	马来西亚莎阿南	冬	温度	—	体力活动	体力活动类型	实地测量	观察记录与访谈	[45]
温带季风气候	中国哈尔滨	春	风速、太阳辐射	PET	体力活动	体力活动水平	实地测量	实时观察记录	[46]

注：“—”代表研究中未提及此项内容

他热环境因素分开，尤其会受到风环境的影响，并且温度的影响会因季节的改变而不同。如在寒地城市哈尔滨，在季节交替时影响人群出行意愿的是日照条件，而在冬季则是室外温度<sup>[35]</sup>。此外，多数研究证明风环境和太阳辐射是影响人群行为的重要因素。Yang等<sup>[36]</sup>提出风环境对城市公共空间的休闲运动、坐憩等行为均有一定影响，其中风环境又包括风速、风向、风频等要素，它们共同对人群活动产生影响。因此，在目前的研究中多提取一段时间内的平均风速及最大风速为指标，分析其对人群行为的影响；太阳辐射多以平均辐射温度为指标，该指标可以通过实测的总辐射、黑球温度<sup>②</sup>（black globe temperature）等进行计算，或利用Rayman等工具通过输入当地气象数据、天空可视因子（sky view factor, SVF）进行估算<sup>[37-38]</sup>。并且，为公共空间提供遮阴设施是降低太阳辐射量的最佳方式，阴影区域最大程度可减少432 W/m<sup>2</sup>的太阳辐射量<sup>[39]</sup>，在炎热季节，超过75%的用户更喜欢留在阴影区域，驻留时间也比在阳光下更长<sup>[40]</sup>。

此外，目前许多研究将分项要素与综合指标相结合，从而更加全面地阐释城市空间微气候对人群不同行为类型的影响（表1）<sup>[30, 41-46]</sup>。

### 3.2 空间方面研究热点

城市空间要素与微气候环境作为物质空

间要素共同作用于人群行为，在探讨微气候对行为的影响时，往往不能忽略空间要素的影响作用，本研究将之概括为宏观空间和微观空间2个层面。

#### 3.2.1 宏观空间层面

以往的研究中，对行为产生影响的宏观空间要素包括路网密度、开发强度等，对微气候产生影响的宏观空间要素包括建筑密度、建筑高度与建筑面宽等，鲜有人验证空间、微气候与行为三者之间的复杂关系。目前的研究中，宏观层面的行为数据多以大数据调查的行人流量和人类活动强度为基础，如Kim等<sup>[47]</sup>提出微气候对行人流量的影响因土地利用方式而异，其中住宅区比商业区及混合功能区具有更多显著影响行人流量的微气候因素。

#### 3.2.2 微观空间层面

通过总结既有文献中微观空间层面微气候与人群行为的互动关系，将对其产生影响的空间要素概括为空间布局、绿地景观和服务设施3个部分（表2）<sup>[48-56]</sup>。

值得注意的是，以往的研究常常量化服务设施对人群行为的影响，如座椅数量和密度可在一定程度上增加驻留的人数，但将微气候对行为的影响考虑进去后，研究者提出相较温度和阳光2个因素而言，座椅的设置

数量重要性较低<sup>[53]</sup>。Teixeira<sup>[50]</sup>提出植被虽然可以降低地表温度，提升微气候舒适度，但对人群行为产生影响的并不是绿地和植物数量，而是植物配置模式。此外，虽然屋顶绿化可以为城市提供良好的生态环境，但其并不会对人群行为产生影响<sup>[57]</sup>。

### 3.3 行为方面研究热点

人群对微气候的适应行为受到个体差异的影响，主要包括心理因素差异和生理因素差异2个方面。其中，心理因素包括热偏好<sup>[58]</sup>、个人对天气的期望<sup>[59]</sup>等，生理因素则包括人群活动状态<sup>[55]</sup>、代谢量<sup>[46]</sup>等方面，并且心理因素和生理因素与个体年龄<sup>[60-61]</sup>、性别<sup>[61]</sup>等方面呈现显著的相关性，以上要素与微气候要素、空间要素共同作为自变量影响着空间的使用。在目前的研究中，针对空间使用的热点行为类型包括游憩行为、体力活动和步行行为3种。

#### 3.3.1 游憩行为

探讨微气候与游憩行为的关系旨在提高旅游景区、城市公共空间的吸引力、访问量和驻留人数等。该方面的研究多与旅游资源管理学科交互，微气候作为重要的影响因素被纳入旅游资源系统中，以促进旅游经济发展。研究者通过探讨微气候与客流量变化的关系，确定景区的开发策略、景观设置、开

放时间；通过调查游客的舒适度阈值，建设既满足行为舒适度需求，又可高效使用的旅游环境，如陈睿智等<sup>[42]</sup>提出，当 WBGT 小于 30 °C 时，舒适度宜人，游憩行为更多受其他要素决定；当 WBGT 在 30 °C 和 31 °C 之间时，对游憩行为产生负面影响；当 WBGT 大于 31 °C 时，将不再有游憩行为产生。

此外，游客和当地居民的游憩行为对微气候的适应有明显的差异，Xi 等<sup>[62]</sup>通过对哈尔滨市冬、夏两季人群户外热适应行为的调查证明，在相同的微气候环境下，游客和当地居民的活动水平、活动时间和服装选择均有显著差异，对此应在后续研究中予以区分。

### 3.3.2 体力活动

体力活动是促进公共健康的重要途径之一。早期体力活动往往依赖室内环境，而随着城市空间的不断发展，研究者希望通过优化户外公共空间的方式，吸引更多的人群在户外进行体力活动，提升人群的体力活动水平。微气候条件也成为其中重要的吸引要素之一，既有研究证明，温度<sup>[63]</sup>、风速<sup>[64]</sup>、太阳辐射<sup>[64]</sup>等气候要素均会对人群的体力活动水平产生影响。相较于游憩行为，体力活动更关注行为持续的时间、频率、代谢量、强度等方面，如赵晓龙等<sup>[60]</sup>通过对春季寒地城市公园的调研，表明温度、风速、太阳辐射与人群的体力活动水平有显著的关联性，在低温、低湿、高太阳辐射量的条件下能够促进中强度体力活动的发生，并且提出适应于不同强度体力活动的植物群落结构配置模式<sup>[65]</sup>。

此外，还有部分学者对老年人<sup>[66]</sup>、儿童<sup>[67]</sup>、大学生<sup>[68]</sup>的体力活动特征展开了系统的研究，针对性地提出相应的微气候优化、环境设计策略。

### 3.3.3 步行行为

步行行为可分为休闲步行行为和交通步行行为。其中，对休闲步行行为的观察研究多从城市绿道、公园等层面展开，如 Liang 等<sup>[54]</sup>利用机器学习对冬季滨水广场中的步行行为进行提取分析，认为人群平均步行速度与体感温度呈负相关，且活动设施作为空间吸引点，可以在个人意愿层面引发空间内行人步行速度的突变。

表 2 微观空间要素总结<sup>[48-56]</sup>  
Tab. 2 Summary of microscopic spatial elements<sup>[48-56]</sup>

空间要素	相关结论	数据获取方法		参考文献	
		微气候	人群行为		
空间布局	功能分布	静态活动区应具有理想的微气候条件，动态活动区和交通区可以在微气候较差的区域	实地测量	拍照及观察记录	[48]
	围合模式	在密集的城市环境中，改善开放空间的围合模式可以延长人们在户外停留的时间	城市气候特征	问卷调查及访谈	[49]
绿地景观	植物配置模式	植物配置模式而非绿地和植物数量影响人群行为	实地测量	问卷调查及观察记录	[50]
	多层绿化系统	引入多层绿化系统，平均辐射温度下降 1 °C ~ 3 °C，可以有效增加人群户外停留时间	实地测量及模拟	观察及推导	[51]
	水体	夏季炎热和潮湿的气候下，大型水体比树荫对人群的停留更具吸引力	实地测量	问卷调查及观察记录	[52]
	休憩座椅	温度和太阳辐射对休憩行为的影响高于座椅数量	实地测量、记录阳光照射处和阴影处的分布情况	观察记录	[53]
服务设施	活动设施	在相同微气候条件下，活动设施作为空间吸引点，可以在个人意愿层面引发空间内行人步行速度的突变	实地测量	视频拍摄及计算机视觉技术分析	[54]
	遮阳设施	夏季遮阳设施可为居民提供更多与环境互动的机会	实地测量	以固定角度每隔 30 min 拍摄高分辨率照片记录现场人员的活动情况	[55]
	设施材质	木头、塑料等材质可在冬季为居民提供舒适的休憩设施	实地测量	观察记录	[56]

而对交通步行行为的研究多从街道空间、高架人行步道等层面展开。研究显示，改善微气候环境一方面可以鼓励更多的居民采用步行的交通方式，另一方面也能更多地激发选择性、社交性行为的产生。Montigny 等<sup>[60]</sup>研究了加拿大 9 个城市 11 月至次年 5 月之间的监控录像，将统计的步行人数与微气候数据进行回归分析，证明温度、阳光照射面积、降水量与步行人数具有显著的相关性，并且每当温度提高 5 °C，人流量将提升 14%。

## 4 总结与展望

### 4.1 对既有研究的总结

通过对微气候与行为关系的相关文献进行梳理和分析后，可以看出该方面的研究呈现以下趋势。

1) 研究数量呈现不断增长的态势。其中，中文文献在该方面的研究晚于英文文献，但近几年开始不断增多，所占比例明显上升，但未形成大范围机构合作网络。

2) 研究脉络主要向 2 个方向延伸。一是

客观热舒适指标的延伸：客观热舒适指标向多样化的人群热感觉发展后，逐步扩展至对人群行为的影响。二是环境行为学的延伸：从环境行为学的角度出发，发掘物质空间形态与微气候要素对人群行为的共同作用机制。

3) 从微气候、空间和行为 3 个方面总结现有研究热点。其中，微气候方面的研究可以分为综合指标（如 PET、WBGT 等）对人群行为的影响和分项要素（如温度、太阳辐射等）对人群行为的影响两方面；空间方面的研究则包括宏观和微观 2 个层面；行为研究方面，目前研究中针对的主要行为类型包括游憩行为、体力活动和步行行为 3 种，研究内容包括空间使用人数、活动水平、人流量等方面。

### 4.2 对未来研究的展望

在上述分析研究的基础上，本研究结合既有研究提出 3 个值得探索的方向。

1) 微气候、空间、行为互动关系的系统研究。微气候环境依附于空间环境展开，人群行为受到二者的共同作用，三者密不可分。目前，将微气候、空间、行为进行协同研究

表 3 行为数据获取方法总结<sup>[30, 41, 47, 70-71]</sup>  
Table 3 Summary of behavioral data acquisition methods<sup>[30, 41, 47, 70-71]</sup>

行为数据获取方法	优点	缺点	参考文献
实时拍照观察记录	简单易行	消耗较大的人力物力及时间成本	[30, 41]
大数据	数据覆盖面广	对于人群性别、年龄等个体属性无法区分；无法获取微观层面较为细致的数据	[47]
空间句法	能够更好地应用于新方案的预测；对于空间的理解更加客观	根据空间可达性进行拓扑分析，可能与实际空间使用不符	[70-71]

的文献数量还较少。因而如何在后续研究中平衡过往研究中的指标体系，排除无关要素的影响，建立全新的要素体系和影响模型，将是后续研究中的难点。此外，通过量化分析手段，定量地探讨微气候和空间要素对行为的影响机制将是可拓展的研究方向之一。

2) 新方法、新技术的运用。目前研究中，对于微气候及行为数据的获取常需耗费大量的人力物力，而基于大数据的方法往往难以获取较为精确的数据(表 3)，因此导致该方面的研究多集中于较微观的领域<sup>[72-73]</sup>。如何借助新方法、新技术去获取更准确、更大量的人群行为及微气候数据？目前已有部分研究将微气候对人群行为的影响纳入行为模拟系统中，试图将这种影响可视化，同时预测微气候影响下的空间使用情况<sup>[74]</sup>。类似的新方法、新技术的应用，将为该方面的研究提供更多的数据支持和发展方向。

3) 各气候区及地区间研究探索的平衡。目前的研究中对于不同气候区域及地理位置的关注度较不均衡。英文文献中对于亚热带城市的关注度较高，相关文献占比为 47%；对于热带城市的关注度较为薄弱，文献占比为 20%。国内的研究更多围绕东北地区的寒地城市展开，相较而言，对于华北、华中及华南地区的关注度有待提升。在日后研究中可增加对上述地区户外活动在不同空间环境中变化规律的探索，探讨如何通过改善微气候环境以提升户外空间的使用率，并细化对于老人、儿童等特殊群体的关注和研究。以此形成针对不同气候区城市环境设计的策略补充，使各气候区及地区间的研究探索更为平衡。

综上，城市微气候的研究已经逐步向精细化发展，微气候与人群行为关系的研究成

为其中重要的组成部分之一，其对提升公共空间活力、促进城市的可持续发展等方面起到关键性的作用。后续研究可通过新方法和新技术的运用，弥补现有研究的不足，并且可将更多的研究成果运用在实际的规划设计中，通过理论和实践共同推动研究的发展和进步。

**注释 (Notes):**

- ① 湿球黑球温度 (WBGT)：早期为美国职业安全与健康研究中评估炎热环境安全性的指标，后续研究者将其改良为适宜当地气候环境舒适度评价的综合指标。
- ② 黑球温度：又名实感温度，即人或物体在热环境中受辐射热和对流热综合作用时的实际感受温度，实测得到的黑球温度略高于一般空气温度值。

**参考文献 (References):**

[1] QAID A, OSSEN D R. Effect of Asymmetrical Street Aspect Ratios on Microclimates in Hot, Humid Regions[J]. International Journal of Biometeorology, 2015, 59(6): 657-677.

[2] ANDREOU E, AXARLI K. Investigation of Urban Canyon Microclimate in Traditional and Contemporary Environment: Experimental Investigation and Parametric Analysis[J]. Renewable Energy, 2012, 43: 354-363.

[3] ZHANG J, CUI P, SONG H H. Impact of Urban Morphology on Outdoor Air Temperature and Microclimate Optimization Strategy Base on Pareto Optimality in Northeast China[J]. Building and Environment, 2020, 180: 107035.

[4] KOUKLIS G R, YIANNAKOU A. The Contribution of Urban Morphology to the Formation of the Microclimate in Compact Urban Cores: A Study in the City Center of Thessaloniki[J]. Urban Science, 2021, 5(2): 37.

[5] RUI L Y, BUCCOLIERI R, GAO Z, et al. The Impact of Green Space Layouts on Microclimate and Air Quality in Residential Districts of Nanjing, China[J]. Forests, 2018, 9(4): 224.

[6] ROJAS-CORTORREAL G, ROSET J, NAVES F. The Vegetation in the Microclimate Comfort: Comparison of Species of Mediterranean Climate of Barcelona, Spain[J]. Architecture, 2015, 10(29): 59-84.

[7] 胡兴, 李保峰, 陈宏. 室外热舒适度研究综述与评估框架[J]. 建筑科学, 2020, 36 (4) : 53-61.

[8] 吴隽宇, 梁策. 风景园林视野下我国微气候研究概述与进展[J]. 南方建筑, 2019 (6) : 116-123.

[9] ELNABAWI M H, HAMZA N. Behavioural Perspectives of Outdoor Thermal Comfort in Urban Areas: A Critical Review[J]. Atmosphere, 2020, 11(1): 51.

[10] ZÖLCH T, RAHMAN M A, PFLEIDERER E, et al. Designing Public Squares with Green Infrastructure to Optimize Human Thermal Comfort[J]. Building and Environment, 2019, 149: 640-654.

[11] YIN S, LANG W, XIAO Y Q, et al. Correlative Impact of Shading Strategies and Configurations Design on Pedestrian-Level Thermal Comfort in Traditional Shophouse Neighbourhoods, Southern China[J]. Sustainability, 2019, 11(5): 1355.

[12] XIE Y X, NIU J L, ZHANG H, et al. Development of a Multi-nodal Thermal Regulation and Comfort Model for the Outdoor Environment Assessment[J]. Building and Environment, 2020, 176: 106809.

[13] XIE Y X, LIU J L, HUANG T Y, et al. Outdoor Thermal Sensation and Logistic Regression Analysis of Comfort Range of Meteorological Parameters in Hong Kong[J]. Building and Environment, 2019, 155: 175-186.

[14] DU Y X, MAK C M, HUANG T Y, et al. Towards an Integrated Method to Assess Effects of Lift-Up Design on Outdoor Thermal Comfort in Hong Kong[J]. Building and Environment, 2017, 125: 261-272.

[15] 肖明, 陈嘉勇, 李国俊. 基于 CiteSpace 研究科学知识图谱的可视化分析[J]. 图书情报工作, 2011, 55 (6) : 91-95.

[16] SHARMIN T, STEEMERS K, HUMPHREYS M. Outdoor Thermal Comfort and Summer PET Range: A Field Study in Tropical City Dhaka[J]. Energy and Buildings, 2019, 198: 149-159.

[17] LAI D Y, GUO D H, HOU Y F, et al. Studies of Outdoor Thermal Comfort in Northern China[J]. Building and Environment, 2014, 77: 110-118.

[18] NG E, CHENG V. Urban Human Thermal Comfort in Hot and Humid Hong Kong[J]. Energy and Buildings, 2012, 55: 51-65.

[19] 刘滨谊, 魏冬雪, 李凌舒. 上海国歌广场热舒适研究[J]. 中国园林, 2017, 33 (4) : 5-11.

[20] 盖尔. 交往与空间 [M]. 4 版. 何人可, 译. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.

[21] 马库斯, 弗朗西斯. 人性场所 [M]. 俞孔坚, 孙鹏, 王志芳, 等译. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.

[22] 陈菲, 林建群, 朱逊. 严寒城市公共空间冬季景观活力评价差异性研究[J]. 风景园林, 2016, 23 (1) : 118-125.

[23] 陈菲, 林建群, 朱逊. 严寒城市公共空间活力评价因子分析[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2017, 49 (4) : 179-188.

[24] 赵春丽, 杨滨章, 刘岱宗. PSPAL 调研法: 城市公共空间和公共生活质量的评价方法: 扬·盖尔城市公共空间设计理论与方法探析 (3) [J]. 中国园林, 2012, 28 (9) : 34-38.

[25] 袁青, 冷红. 寒地城市广场设计对策[J]. 规划师, 2004, 20 (11) : 59-62.

[26] 刘梦萱. 慢运动理念下寒地城市滨水空间设计研究: 以哈尔滨松花江滨水区为例 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2018.

- [27] 贝尔, 格林, 费希尔, 等. 环境心理学 [M]. 5 版. 朱建军, 吴建平, 等译. 北京: 中国人民大学出版社, 2009.
- [28] 埃雷尔, 珀尔穆特, 威廉森. 城市小气候: 建筑之间的空间设计 [M]. 叶齐茂, 倪晓晖, 译. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
- [29] NIKOLOPOULOU M, LYKOU DIS S. Thermal Comfort in Outdoor Urban Spaces: Analysis Across Different European Countries[J]. *Building and Environment*, 2006, 41(11): 1455-1470.
- [30] LIN T-P. Thermal Perception, Adaptation and Attendance in a Public Square in Hot and Humid Regions[J]. *Building and Environment*, 2009, 44(10): 2017-2026.
- [31] YANG W, WONG N H, JUSUF S K. Thermal Comfort in Outdoor Urban Spaces in Singapore[J]. *Building and Environment*, 2013, 59: 426-435.
- [32] CHOW W T L, AKBAR S N A B A, HENG S L, et al. Assessment of Measured and Perceived Microclimates Within a Tropical Urban Forest[J]. *Urban Forestry and Urban Greening*, 2016, 16: 62-75.
- [33] ZACHARIAS J, STATHOPOULOS T, WU H Q. Microclimate and Downtown Open Space Activity[J]. *Environment and Behavior*, 2001, 33(2): 296-315.
- [34] OLIVEIRA S, ANDRADE H. An Initial Assessment of the Bioclimatic Comfort in an Outdoor Public Space in Lisbon[J]. *International Journal of Biometeorology*, 2007, 52(1): 69-84.
- [35] 王碧薇. 微气候影响下寒地城市广场人群行为研究: 以哈尔滨景阳广场为例 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2019.
- [36] YANG C X, LIU M X, ZHAN M, et al. Research on the Influence of Microclimate on Recreation Behavior in Urban Waterfront Public Space: Based on Multi-agent Behavior Simulation[C]// CAADRIA. Proceedings of the 26th International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia: Volume 2. Hong Kong: CAADRIA, 2021: 417-426.
- [37] MATZARAKIS A, RUTZ F, MAYER H. Modelling Radiation Fluxes in Simple and Complex Environments: Application of the RayMan Model[J]. *International Journal of Biometeorology*, 2007, 51(4): 323-334.
- [38] 孙士博. 基于炎热气候适应性的城市公园设计策略研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2018.
- [39] LEE L S H, CHEUNG P K, FUNG C K W, et al. Improving Street Walkability: Biometeorological Assessment of Artificial-Partial Shade Structures in Summer Sunny Conditions[J]. *International Journal of Biometeorology*, 2020, 64(4): 547-560.
- [40] HUANG K-T, LIN T-P, LIEN H-C. Investigating Thermal Comfort and User Behaviors in Outdoor Spaces: A Seasonal and Spatial Perspective[J]. *Advances in Meteorology*, 2015, 2015: 423508.
- [41] 刘滨谊, 梅敬, 匡伟. 上海城市居住区风景园林空间小气候要素与人群行为关系测析 [J]. *中国园林*, 2016, 32(1): 5-9.
- [42] 陈睿智, 董靓. 基于游憩行为的湿热地区景区夏季微气候舒适度阈值研究: 以成都杜甫草堂为例 [J]. *风景园林*, 2015, 22(6): 55-59.
- [43] BRODE P, KRÜGER E L, ROSSI F A, et al. Predicting Urban Outdoor Thermal Comfort by the Universal Thermal Climate Index UTCI: A Case Study in Southern Brazil[J]. *International Journal of Biometeorology*, 2012, 56(3): 471-480.
- [44] LEE J M. Exploring Walking Behavior in the Streets of New York City Using Hourly Pedestrian Count Data[J]. *Sustainability*, 2020, 12(19): 7863.
- [45] NASIR R A, AHMAD S S, AHMED A Z. Physical Activity and Human Comfort Correlation in an Urban Park in Hot and Humid Conditions[J]. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2013, 105: 598-609.
- [46] 赵晓龙, 卞晴, 侯韞婧, 等. 寒地城市公园春季休闲体力活动水平与微气候热舒适关联研究 [J]. *中国园林*, 2019, 35(4): 80-85.
- [47] KIM H, HONG S. Differences in the Influence of Microclimate on Pedestrian Volume According to Land-Use[J]. *Land*, 2021, 10(1): 37.
- [48] LENG H, LIANG S, YUAN Q. Outdoor Thermal Comfort and Adaptive Behaviors in the Residential Public Open Spaces of Winter Cities During the Marginal Season[J]. *International Journal of Biometeorology*, 2020, 64(2): 217-229.
- [49] XUE F, GOU Z H, LAU S S Y. The Green Open Space Development Model and Associated Use Behaviors in Dense Urban Settings: Lessons from Hong Kong and Singapore[J]. *Urban Design International*, 2017, 22(4): 287-302.
- [50] TEIXEIRA C F B. Green Space Configuration and Its Impact on Human Behavior and Urban Environments[J]. *Urban Climate*, 2021, 35: 100746.
- [51] WEI J, NI Y, ZHANG Y J. The Mitigation Strategies for Bottom Environment of Service-Oriented Public Building from a Micro-scale Perspective: A Case Study in China[J]. *Energy*, 2020, 205: 118103.
- [52] 张德顺, 萨贝拉, 王振, 等. 上海 3 个公园园林小气候的人体舒适度测析 [J]. *风景园林*, 2018, 25(8): 97-100.
- [53] ZACHARIAS J, STATHOPOULOS T, WU H Q. Spatial Behavior in San Francisco's Plazas: The Effects of Microclimate, Other People, and Environmental Design[J]. *Environment and Behavior*, 2004, 36(5): 638-658.
- [54] LIANG S, LENG H, YUAN Q, et al. How does Weather and Climate Affect Pedestrian Walking Speed During Cool and Cold Seasons in Severely Cold Areas?[J]. *Building and Environment*, 2020, 175: 106811.
- [55] LI K M, ZHANG Y F, ZHAO L H. Outdoor Thermal Comfort and Activities in the Urban Residential Community in a Humid Subtropical Area of China[J]. *Energy and Buildings*, 2016, 133: 498-511.
- [56] 袁青, 邓雯, 聂博闻. 基于活动舒适性的寒地商业公共空间优化 [C]// 中国城市规划学会. 活力城乡 美好人居: 2019 中国城市规划年会论文集. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019: 11.
- [57] DETOMMASO M, GAGLIANO A, MARLETTA L, et al. Sustainable Urban Greening and Cooling Strategies for Thermal Comfort at Pedestrian Level[J]. *Sustainability*, 2021, 13(6): 3138.
- [58] CANAN F, GOLASI I, FALASCA S, et al. Outdoor Thermal Perception and Comfort Conditions in the Köppen-Geiger Climate Category BSk. One-Year Field Survey and Measurement Campaign in Konya, Turkey[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 738: 140295.
- [59] LINDNER-CENDROWSKA K, BLAZEJCZYK K. Impact of Selected Personal Factors on Seasonal Variability of Recreationist Weather Perceptions and Preferences in Warsaw (Poland)[J]. *International Journal of Biometeorology*, 2018, 62(1): 113-125.
- [60] SALATA F, GOLASI I, CIANCIO V, et al. Dressed for the Season: Clothing and Outdoor Thermal Comfort in the Mediterranean Population[J]. *Building and Environment*, 2018, 146: 50-63.
- [61] HUANG J X, ZHOU C B, ZHOU Y B, et al. Outdoor Thermal Environments and Activities in Open Space: An Experiment Study in Humid Subtropical Climates[J]. *Building and Environment*, 2016, 103: 238-249.
- [62] XI T Y, WANG Q C, QIN H, et al. Influence of Outdoor Thermal Environment on Clothing and Activity of Tourists and Local People in a Severely Cold Climate City[J]. *Building and Environment*, 2020, 173: 106757.
- [63] SILVA J P, AKLEH A Z. Investigating the Relationships Between the Built Environment, the Climate, Walkability and Physical Activity in the Arabian Peninsula: The Case of Bahrain[J]. *Cogent Social Sciences*, 2018, 4(1): 1502907.
- [64] NIU J Q, HONG B, GENG Y B, et al. Summertime Physiological and Thermal Responses Among Activity Levels in Campus Outdoor Spaces in a Humid Subtropical City[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 728: 138757.
- [65] 赵晓龙, 卞晴, 赵冬琪, 等. 寒地城市公园春季休闲体力活动强度与植被群落微气候调节效应适应性研究 [J]. *中国园林*, 2018, 34(2): 42-48.
- [66] 春明阳. 寒地住区广场微气候与老年人环境行为相关性研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2017.
- [67] 冷红, 高竹青, 袁青. 寒地城市儿童不同季节住区户外活动特征及空间规划启示 [J]. *中国园林*, 2020, 36(9): 53-58.
- [68] 王墨晗. 基于体力活动促进的寒地大学校园环境设计策略研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2018.
- [69] MONTIGNY L D, LING R, ZACHARIAS J. The Effects of Weather on Walking Rates in Nine Cities[J]. *Environment and Behavior*, 2012, 44(6): 821-840.
- [70] GOCER O, TORUN A O, BAKOVIC M. Thermal Comfort, Behavioral Mapping and Space Syntax Analysis of Outdoor Spaces in a Suburban Campus[J]. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 2018, 33(3): 853-873.
- [71] 王一, 彭智凯. 城市街区热舒适性与时空行为关联性研究 [J]. *住宅科技*, 2018, 38(1): 39-46.
- [72] XU T T, TONG Z Y, XU S. Integration of Microclimate into the Multi-agent System Simulation in Urban Public Space[J]. *Smart Cities*, 2019, 2(3): 421-432.
- [73] 王静, 杜鹏, 吴中平. 湿热气候下高层办公楼气候适应性设计: 以广东交通设计大厦为例 [J]. *南方建筑*, 2021(2): 96-102.
- [74] 李鹏利, SIDDIQUE M A, 樊柏青, 等. 下垫面覆盖类型变化对城市热岛的影响: 以北京市朝阳区为例 [J]. *北京林业大学学报*, 2020, 42(3): 99-109.

#### 图表来源 (Sources of Figures and Tables):

图 3 根据参考文献 [27] 绘制; 表 1 根据参考文献 [30] [41]~[46] 绘制; 表 2 根据参考文献 [48-56] 绘制; 表 3 根据参考文献 [30][41][47][70]~[71] 绘制; 其余图表均由作者绘制。

(编辑 / 李卫芳)