

“人本转向”下的城市步行环境测度与评价方法研究进展

杨文越, 朱钰娴

华南农业大学林学与风景园林学院, 广州 510642

摘要 对城市步行环境已有研究进行梳理, 将其测度和评价方法归纳为客观和主观2大类。客观方法主要从中宏观尺度对城市步行适宜性进行测度, 对微观步行环境的测度相对较薄弱; 主观方法则主要应用于中微观尺度步行环境评价, 不仅关注行人对客观建成环境的主观感知, 同时还考虑了个人的步行能力、步行偏好以及社会经济属性的影响。在具体方法和数据方面, 客观测度方法主要基于GIS技术和数据, 主观评价方法主要基于问卷量表和实地参与式手段。研究方法的发展趋势方面, 随着3D GIS模型、街景图像数据和机器学习方法的应用, 客观方法开始从二维平面的步行适宜性测度转向三维立体测度, 研究尺度亦从中宏观转向微观的人本尺度, 从人本视角考虑更多精细化、满足视觉审美需求的步行环境要素; 主观方法则转向结合机器学习、大数据算法、虚拟现实技术和可穿戴式生理传感器等新的技术与方法获取行人对步行环境的主观感知。提出了人本转向下未来中国城市步行环境测度与评价的研究趋势。

关键词 步行环境; 步行适宜性; 人本转向

步行作为人类最基本、最普遍的交通方式和体力活动, 不仅绿色节能环保, 而且有益身心健康。城市步行环境与居民日常生活密切相关, 是城市建成环境的重要组成部分。高质量的步行环境既能

改善城市交通, 促进城市公平和可持续发展, 又能增加人们体力活动机会, 增加社会交往和提升社区活力, 对城市健康、公平、可持续发展和居民生活品质的提高起着关键作用^[1-4]。

收稿日期: 2023-07-17; 修回日期: 2023-10-20

基金项目: 教育部人文社会科学研究项目(21YJC840032); 广东省普通高校特色创新类项目(2021WTSCX013); 广东省自然科学基金面上项目(2022A1515011259)

作者简介: 杨文越, 副教授, 研究方向为建成环境与出行行为、公众健康, 电子信箱: yangwenyue900780@163.com

引用格式: 杨文越, 朱钰娴. “人本转向”下的城市步行环境测度与评价方法研究进展[J]. 科技导报, 2024, 42(3): 75-88; doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2024.03.007

近20年来,关于步行环境与步行行为、居民健康和社会公平等话题日益成为地理、交通和规划等多学科共同关注的热点^[5-9]。相关研究中通过不同方法和指标对城市步行环境进行测度,主要形成了客观测度方法和主观评价方法两大类。客观测度方法包括基于GIS的步行适宜性测度、步行环境审计和基于街景图像数据和机器学习的虚拟审计等;主观评价方法包括问卷量表评价法、基于参与式方法的步行路径实时感知、虚拟环境主观评价、偏好感知评价法和基于传感器技术的体验感知等。传统的客观测度方法主要关注中宏观尺度的建成环境特征(如密度、土地利用多样性、街道连通性、步行目的地距离等),以社区、街区或交通分析小区作为空间分析单元对城市步行环境进行测度^[10-15]。

近年来,一些新的客观测度方法结合新的技术手段开始关注微观尺度的城市步行环境,并逐渐转向基于人本视角探究与行人联系更加密切、更多维度和更精细化的环境设计和视觉特征,如天空可视率、绿视率、围合度等^[6, 16-18]。主观评价方法基于人们对步行环境的主观认知、体验和真实感受^[19],存在较大的个体差异,受个人步行能力、态度偏好、情绪体验以及如性别、年龄等社会经济属性的影响^[20-25]。它更侧重于中微观尺度的步行环境,即行人直接接触和能够被感知的社区或街道步行环境,具有小范围、精细化、人本尺度的特点。主观方法以人的步行体验和主观感受为出发点,凸显人的步行需求和偏好,深入人的心理感知层面,考虑了更多以人为本、立体全面的感知环境变量,例如感知的社区安全、气候温度、舒适度等^[17, 20]。客观测度方法的尺度微观化和主观评价方法的广泛应用充分体现了该研究领域的“人本转向”。以人为本是城市规划、更新与设计核心理念。在为人民创造更加幸福美好生活和人民城市建设背景下,未来步行环境研究将朝向精细化、人本尺度的趋势发展。

在城市高质量发展背景下,居民对健康、美好、高品质生活的追求不断提高,城市步行环境的重要性愈发凸显,基于人本视角、微观尺度的城市步行环境测度与评价方法将发挥更重要的作用。为此,

本文在对已有城市步行环境的相关理论和传统测度与评价方法进行梳理归纳的基础上,从人本视角出发,综述步行环境测度与评价的方法及其人本转向发展趋势。

1 步行环境测度与评价方法的理论基础

1.1 步行适宜性与建成环境的理论关联

近年来,学界对于建成环境如何支持和鼓励体力活动的研究愈发关注。西方城市规划学者认为,在中宏观尺度上,密度、土地利用多样性、街道连通性、街区规模和美观性等相互关联的建成环境特征与居民出行行为密切相关^[26]。一般来说,具有相对较高的密度和土地利用多样性,且街道网络连通性较高、尺度宜人、街景美观、日常生活设施可达性良好的建成环境会促进更多步行活动^[27-29]。

为此,在研究人员综合了各种客观建成环境特征对城市步行适宜性(walkability)进行测度^[10-11, 30-31]。其理论依据可追溯至Cervero和Kockelman^[32]提出的影响出行需求的建成环境“3Ds”,即密度(Density)、多样性(Diversity)和设计(Design)。随后,Cervero等^[33]在“3Ds”的基础上提出“5Ds”进一步完善测度社区步行环境的指标,增加了目的地的可达性(destination accessibility)与到达公共交通的距离(distance to transit)。

1.2 人本视角下的步行环境测度与评价理论基础

人本视角下的步行环境相关理论更倾向于以人为本,从微观尺度、三维立体的角度归纳总结了与行人的步行需求、感知和体验更为相关的步行环境特征。这些特征对步行行为起关键作用。

1) 步行潜在环境影响框架。

支持步行的环境可以使行人获得良好的步行体验,促进人们的步行活动。为此,有部分研究基于人本尺度研究归纳影响步行过程的环境因素,通过多方面要素反映环境对步行的支持程度^[34-36]。其中,影响较大的是Pikora等^[34]提出的步行潜在环境影响框架。该理论框架对微观尺度影响步行的

主要环境要素进行了归纳,包括功能性、安全性、美观性和目的地4方面。功能性方面主要关注步行路径的铺装、宽度和路面情况;安全性方面包括影响个人安全和交通安全感知的环境要素(如照明、监控、步行障碍、路缘宽度);美观性方面归纳了反映景观和行人舒适度的环境特征,如整洁度、景观节点、行道树、街道维护程度;目的地方面考虑了社区步行范围内的公园、商店、学校、公共交通等地点。

2) 步行需求层次模型。

有研究认为,人们步行与否并不仅仅取决于环境的支持程度,而且与环境特征是否满足其需求相关^[37]。Alfonzo^[38]从行人需求视角出发,在社会生态模型的基础上提出了步行需求层次模型,从基本层次到最高层次依次为可行性、可达性、安全性、舒适性、愉悦性。可行性与个体步行能力相关,包括个体特征(年龄、健康和身体能力)、经济能力和家庭责任等;可达性包括影响步行可达的环境因素,如土地利用多样性、目的地数量、路网距离和步行设施等;安全性包括影响个人感知安全的交通和社会环境特征,如视线距离、监控、涂鸦、废弃用房等;舒适性和愉悦性直接影响行人体验,前者关注减缓步行压力的设计特征,如交通安宁措施、街道家具、行道树(遮荫),后者通常考虑街景的丰富度、吸引力和独特性,包括公共空间、历史建筑、流动摊位、户外用餐区等。

3) 城市设计特征框架。

城市设计特征也是微观步行环境的重要组成部分,主要通过公共空间、街道、建筑等小尺度空间的功能、布局、外观来反映,可以体现步行环境的空间品质。Ewing等^[39]意识到城市设计质量可引起人们产生积极情绪从而获得良好的步行体验,分别从印象性、视觉封闭性、人本尺度、透明度和复杂性5个设计维度归纳了特色建筑、户外用餐、远景线、主要建筑色彩、公共艺术装置、历史建筑比例、首层带窗比例等环境特征。此外,还有研究提出了影响步行体验的三维竖向城市设计要素,例如绿视率、天空可视率^[18, 40]。

4) “5Cs”和“7Cs”评价框架。

人的主观感知是步行环境评价不可或缺的关键因素。伦敦规划咨询委员会(London Planning Advisory Committee)从感知视角和需求出发,认为行人友好型场所应该是连通(Connected)、便利(Convenient)、舒适(Comfortable)、愉悦(Convivial)和显著的(Conspicuous),提出了步行环境评价的“5Cs”框架。随后,Moura等^[41]在“5Cs”的基础上增加了共存性(Coexistence)和保证性(Commitment),形成了“7Cs”评价框架。与步行需求层次模型相比,这2个框架侧重于通过步行基础设施(路面质量、行人安全标识)和社会环境要素(如存在聚会性场所、公共设施等)来分别判定步行环境是否舒适和愉悦。

5) 环境感知理论。

环境心理学学者认为,在人与步行环境相互作用的过程中,步行环境影响个体的认知、感受和依恋^[42],人们对环境的心理感知可能会支持或阻碍步行。一般来说,人们对步行环境的质量感知越满意,其对环境产生依恋的可能性就越大,也更加愿意步行^[43-44]。因此,可以通过人的主观感受来反映步行环境的感知质量水平。Mehta^[45]认为,影响行人感知的微观环境特征包括3个部分,分别是物理环境特征(如人行道、行道树、建筑立面等)、土地利用特征(如商店类型和规模、商店和服务的独特性、支持步行的商业)和社会环境特征(如社区聚集场所、街道活力、影响安全的环境要素)。人们对这些环境特征的主观感受构成了街道的整体感知质量,即实用性感知、安全感、舒适感、愉悦感、归属感等。有的学者还关注了与人的感官体验相关的环境特征,包括气候环境、声环境和视觉环境特征,如感知的湿度、声音响度、绿化、街景等^[7, 46]。

综上,随着认识和研究的不断深入,该领域研究人员对步行环境的测度与评价由最开始关注城市建成环境逐步转向关注行人本身以及与其步行行为密切相关的街道步行环境。相应地,研究方法也由客观测度为主转向客观测度与主观评价相结合,由宏观、单一尺度转向微观、多维尺度,由GIS转向与大数据算法、虚拟现实技术等多种方法相结合(图1)。

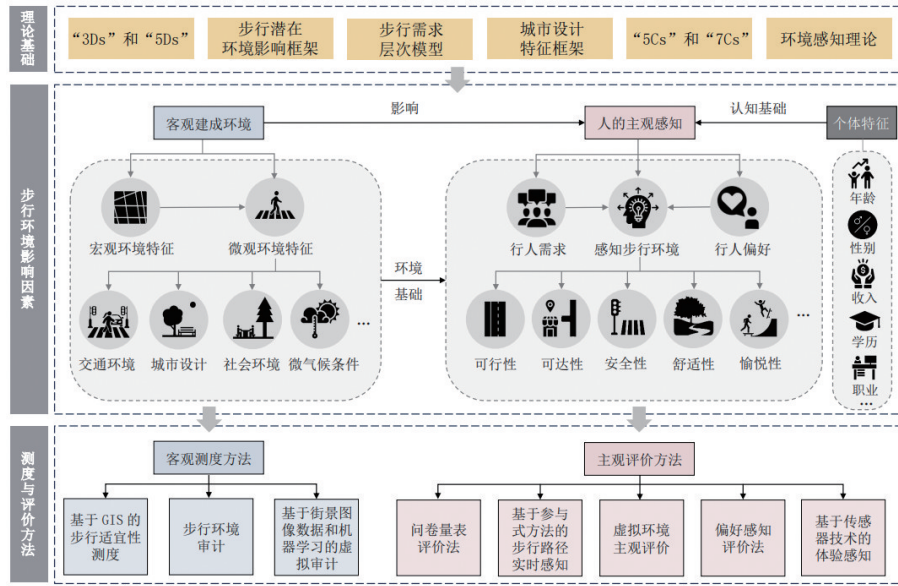


图1 人本视角下的步行环境测度与评价理论基础和方法

2 步行环境客观测度方法

2.1 基于GIS的步行适宜性测度

基于GIS的步行适宜性测度是利用GIS数据和技术对社区步行适宜性或街道步行适宜性进行的客观测度^[47]。该方法主要应用于中宏观层面的城市步行环境测度。近年来,有一些创新性的研究开始从3D视角探索步行适宜性测度。

1) 社区步行适宜性测度。

基于GIS数据与技术,通过与步行相关的建成环境要素(如居住密度、人口密度、交叉口密度、土地利用组合、目的地可达性等)构建步行适宜性指数,对交通分析区、人口普查区、社区/街区等面域空间单元的步行环境进行客观定量测度^[13,31,48-50]。首个步行适宜性指数由Frank等^[11]提出(表1)。其他研究人员在此基础上根据研究需要对构建该指

表1 基于GIS的步行适宜性测度方法

测度方法	研究	空间尺度	测度指标	具体方法
步行适宜性指数		交通分析区、人口普查区、社区/街区	土地利用组合、净住宅密度、交叉口密度、净零售面积等	基于与步行相关的建成环境要素构建步行适宜性指数,主要采用z-score等标准化方法对指数进行加权计算
社区步行适宜性测度	Walk Score	社区、地点	目的地、人口密度、交叉口密度、街区长度	对于查询地址,基于道路网络和POI等数据分析出其通往附近便利设施(如商店、餐馆、学校等)所有的步行路线,根据路网距离对便利设施赋分。步行5 min(约400 m)以内的便利设施被赋予最高分,更远距离的便利设施基于距离衰减函数加权,步行超过30 min的便利设施不计分,最后标准化为0~100的步行得分
基于3D GIS模型的步行适宜性测度	3D GIS 空间建模测度步行环境	街道	街道与墙体比例、天空可视比例、远景线、路径遮荫面积、可视地标数量	通过3D GIS技术对建筑、树木等步行环境要素进行建模,应用模型客观测度街景特征

数的部分建成环境和计算公式进行了调整或修正^[10,12,14,51-52]。

除步行适宜性指数以外,步行得分(Walk Score)也是一种广泛应用于步行环境测度的指数^[53-54]。该指数由美国Walk Score®公司开发提出,基于开源地图和POI数据计算每个查询位置到达预选目的地(如商店、咖啡馆、书店等)的路网距离而赋分(0~100分),同时考虑人口密度和道路指标(如街区长度和交叉口密度)。得分越高,代表步行适宜性越好。Walk Score®是一个基于网络平台免费访问的工具,操作界面简易友好,是便捷有效的步行适宜性测度方法。

2) 基于3D GIS模型的步行适宜性测度。

近年来,得益于计算机和GIS技术的快速发展,部分学者进一步应用3D GIS技术从人本视角测度街道步行环境。Yin^[55]通过3D空间建模方法探究了远景线和天空可视比例对纽约市布法罗街道步行适宜性的影响作用。Taleai等^[56]在2D的GIS分析基础上,通过构建3D GIS模型对路径的阴影面积和可视地标数量进行分析,以识别步行潜力最大的路段。3D GIS模型可以对建筑、树木等对象进行建模,更加全面直观地展示建筑高度、体积和密度以及物理环境的形态、规模等空间关系,有利于从视觉水平更好地理解复杂的环境关系。

综上,传统的社区步行适宜性测度方法主要关注于中宏观层面的二维建成环境变量,一般应用于较大尺度、较大研究范围的城市步行环境评价,具有成本较小、过程便捷、易于推广、结果客观且可对不同地理背景的区域进行比较的优势。然而,该方法较难测度微观和立体的建成环境特征,且数据来源、精度和统计标准、口径均可能影响测度结果。相比而言,基于3D GIS模型的步行适宜性测度方法更加全面和综合地考虑了与行人密切相关的城市设计特征,增加对竖向空间关系的分析,可弥补传统方法的不足。

2.2 步行环境审计

步行环境审计(environment audit)方法是由受过培训的调查人员到实地现场对步行环境及其相关指标进行观察、评分和统计,从而对步行环境进

行直接、系统和综合的客观测度。目前,许多研究已经在不同地理环境背景下根据研究目的开发了测度社区、开放空间、步行路径等多种步行环境的审计工具(指标清单)^[35-36,57-61]。其中,步行与骑行环境的系统性观察(SPACES)、欧文-明尼苏达清单(IMI)、行人环境数据观察(PEDS)、行人街景微观审计(MAPS)等审计工具与指标清单被广泛应用于社区步行环境规划建设中^[36, 62-67]。这些方法主要关注与步行目的地可达性、人行道条件、步行环境安全性等方面相关的中微观环境要素(表2)。相较而言,路径步行环境审计聚焦于人行道或步行路径,主要关注路径本身的设计、维护和设施配置,简化了需要审计的对象,更为省时。对于开放空间步行环境审计,其审计指标与社区、路径步行环境审计有较大差异,除了关注可达性等基本特征外,审计对象侧重于娱乐设施和景观特征,如水体类型、游乐场类型、开放程度等。

步行环境审计方法侧重于较小研究范围和微观尺度的步行环境测度。相较于传统GIS测度方法,该方法立足于行人日常直接接触的步行环境和调查人员的实地审计,更注重从人的角度去测度和评价步行环境,更能真实地反映社区或街道环境的步行适宜程度。但该方法相对耗时,成本较高,需要实地投入大量人力和物质资源,且调查人员之间的评价标准差异可能会导致结果带有一定主观性,难以对不同区域的评价结果进行科学、客观的比较。

2.3 基于街景图像数据和机器学习的虚拟审计

随着互联网技术和街景图像数据的应用兴起,计算机视觉技术和大数据算法自动捕捉、识别和理解图像的数据与信息,可以一次性对大范围步行环境进行虚拟审计^[19,72-74],形成了能够有效弥补实地环境审计短板的虚拟审计方法。

在已有的研究中,Rahman^[75]通过是否存在人行横道、街道家具、维护良好的路面以及街道遮荫占比50%以上等15个微观变量构建街道步行适宜性指数,使用谷歌街景图像数据对悉尼市人行道步行环境进行虚拟审计。Koo等^[17]以行人街景微观审计缩短版(MAPS-mini)为标准,结合街景图像数据和机器学习自动审计亚特兰大市的步行环境要素。

表2 主要的步行环境审计方法

方法类型	主要应用范围	主要审计指标与环境要素	审计工具(指标清单)
社区步行环境审计	社区	土地利用类型、人行道整体环境(如是否存在人行道或人行天桥、路灯和路标等街道设施维护情况等)、道路条件(如道路状况、车道数量等)、交通环境安全(如交叉口设计类型、是否存在交通控制设施和交通安宁措施等)、社会环境安全(如是否存在监控、涂鸦、空间失序等)、环境是否美观(如景观节点的维护情况、建筑带窗比例、围合度、整洁度等)	SPACES ^[59, 64-65] 、 IMI ^[35, 62] 、 PEDS ^[58, 63, 66] 、 MAPS ^[36, 67]
开放空间步行环境审计	公园	公园规模和数量、元素丰富度(如路径、功能分区类型、水体类型、游乐场地类型等)、整体环境质量(如设施的维护情况、整洁度、遮荫率、开放程度等)、可访问性、公园内的步行可达性	BRAT-DO ^[57] 、 EAPRS ^[60, 68]
路径步行环境审计	人行道/步行道、街道	交叉口设计(如信号灯、人行横道、交通安宁措施)、路径设计情况(路面情况和是否存在安全岛护柱、其他相接的路径、行道树等)、基础设施配置情况(如是否存在照明、休息设施、标识标志、公共交通站点、商店等)、街道维护情况和吸引力(如路面质量、气味、噪音、废弃建筑、公共艺术等)	TASM ^[61] 、 PEQI ^[69] 、 PEAT ^[70-71]

注: SPACES: Systematic Pedestrian and Cycling Environmental Scan, 步行与骑行环境的系统性观察; IMI: Irvine - Minnesota Inventory, 欧文-明尼苏达清单; PEDS: Pedestrian Environmental Data Scan, 行人环境数据观察; MAPS: Microscale Audit of Pedestrian Streetscapes, 行人街景微观审计; BRAT-DO: Bedimo-Rung Assessment Tool-Direct Observation, 贝迪莫-朗直接观察评估; EAPRS: Environmental Assessment of Public Recreation Spaces Tool 公共娱乐空间环境评价; TASM: a Tool for Assessing Sidewalk Maintenance, 人行道维护评估; PEQI: Pedestrian Environmental Quality Index; 行人环境质量指数; PEAT: the Path Environment Audit Tool, 路径环境审计。

此外,不少学者使用该方法自动理解微观尺度的场景特征,计算出街道的绿视率、天空可视率、开放度、围合感等视觉环境特征^[16, 40]。Yin 等^[40]基于谷歌街景图像应用机器学习算法计算3个方向的天空可视比例,以此衡量行人视觉水平的围合度。Ma 等^[18]通过绿度、开放度、围合感、步行适宜性和可成像性5个街景指标测度步行环境的空间品质。

综上,基于街景图像数据和机器学习的虚拟审计是一种新兴的客观测度方法,可以自动化高效审计城市全域街道的步行环境,极大地降低了实地审计花费的人力、财力和时间成本。其主要围绕微观步行环境,基于人本视角重点关注影响步行体验和舒适度的视觉环境特征,这些环境特征更能反映城市步行环境的空间品质。但其技术和数据门槛较高,常用于较小范围的重点研究区域,例如城市的中心区域。目前能采集的数据类型也较为单一,因此计算结果往往不能完全反映环境的步行适宜性。同时,图片质量、地理可用性和获取图片的频率,以及图片中需要识别和提取的要素被遮挡或模糊不清也会影响方法的开展和结果。

3 步行环境主观评价方法

3.1 问卷量表评价法

问卷量表评价法是通过问卷调查的方式,让居民对步行环境相关的评分量表进行主观感知评价,从而获取居民对社区步行环境的看法。研究人员已经开发了一系列问卷量表^[29, 76-79],如邻里环境步行适宜性量表(neighborhood environment walkability scale, NEWS)、感知居住环境质量指标(perceived residential environment quality indicators, PREQIs)、国际体力活动问卷环境模块(international physical activity questionnaire environment module, IPAQ-E)是研究人员经常使用的社区步行环境评价量表。IPAQ-E也称为体力活动邻里环境量表(physical activity neighborhood environment scale, PANES)。

NEWS和PANES量表主要包括居民对社区居住密度、土地利用多样性、目的地可达性、街道连通性、步行基础设施、安全、美观性等环境特征的感知^[2, 3, 80-81]。PREQIs除了关注感知物理环境特征外,

还增加了对社会关系和环境背景方面的感知,如社交情况、生活节奏、环境氛围、情感体验(归属感、认同感)等^[82]。Kim等^[3]在美国应用PANES量表通过居住密度、土地利用混合、公共交通可达性、人行道覆盖情况、自行车基础设施和休闲设施6个关键特征调查老年人对社区步行适宜性的感知。Ferreira等^[80]通过PREQIs量表探究了感知的社区物理空间和社会环境质量与交通步行的关系。Koohsari等^[2]采用NEWS-A量表收集居民对社区支持步行的环境变量评分。NEWS-A是NEWS的精简版^[29]。还有研究根据研究目的和需求考虑地理背景和群体差异性,提出NEWS的地区改编版和适用群体修正版,如澳大利亚版(NEWS-AU)^[83]、面向中国老年人的中国版(neighborhood environment walkability scale for Chinese seniors, NEWS-CS)^[84]、面向青少年及其父母的青少年版(NEWS-Y)^[77]。不同版本关注的感知环境特征各有侧重,如中国老年版关注与高密度城市发展相关的感知环境要素(如天桥/隧道、购物中心、小贩占道现象等),并针对性地增加了与老年人步行更为相关的潜在环境要素,包括与健康服务和社交活动相关的目的地(如医院、社区或长者中心、教堂、寺庙等)、休憩设施、过街安全等;青少年版则关注社会安全(如陌生人)和娱乐设施(如游泳池、篮球馆)等环境要素。此外,也可通过安全性、舒适性、审美性等感知环境质量指标获取人们对步行环境的主观感知和满意度^[85-86]。

综上,问卷量表评价法允许根据不同研究目的和群体需求修正量表和设定问卷,获取不同社会经济属性群体对步行环境的差异性感知评价和步行需求,具有较高的灵活性。但其调研结果十分依赖问卷设计,取决于问卷问题和量化指标的合理设置;同时受个体的主观因素影响较大,譬如居民对环境感知的记忆偏差问题。此外,在回收问卷时,自我报告和电话访谈的方式较难保证回答的有效性和回收率。

3.2 基于参与式方法的步行路径实时感知

基于参与式方法的步行路径实时感知是通过参与式手段(街头调查、随行访谈等)即时获取受访者对实际路径步行环境的认知、体验和感受。该方

法调查的空间尺度一般是行人身体感受和人眼所及的范围,因此更加关注立体多维的微观步行环境特征,例如实时路况、微气候环境、路面整洁度、过街设施等。

1) 街头调查即时感知。

街头调查即时感知指在参与者结束特定路径步行时,通过纸质问卷当场收集参与者对既定义环境变量的评分数据。并且在问卷中还可添加开放式问题,以便确定路线中还有哪些地方需要改进或受到行人的喜爱。Kelly等^[20]采用该方法在英国利兹市进行路径步行环境研究,发现需要改进的环境特征主要包括过街便利性、道路网络设计、垃圾箱配置以及交通流量。Ma等^[7]以香港为例,对行人的街道环境满意度以及微气候环境感知进行调查,发现行人满意度及其感知的气温、空气质量和声音响度直接影响行人舒适度。

2) 随行访谈实时感知。

随行访谈实时感知是由研究者陪同受访者沿着步行路线边走边访谈,从而获取行人感知和步行体验的方法。Dean等^[87]采用该方法沿途向受访者提出开放式问题,包括路线的环境、转变路线的原因(例如喜欢这条路线的原因、穿过公园的时间和原因等),探究影响受访者步行行为及其路线选择的重要因素。

综上,基于参与式方法的步行路径感知方法强调即时性和多维环境的实地感知,一方面改进了问卷量表评价法的不足,另一方面可以快速地从使用者的角度获取其关注和偏好的特征,更好地认识人与环境的互动,可能使研究人员关注到忽略的步行环境要素,进而支持参与式规划和设计。但这类方法只适用于小规模的研究范围,难以大面积复制推广使用;且其评价结果很大程度上取决于路线的选取和关注的环境要素,以及如何通俗地向行人展示问题并使其理解。

3.3 虚拟环境主观评价

虚拟环境主观评价是通过图片直观地展示步行环境,由受访者对虚拟的环境及其要素进行主观感知和判断的方法。Tabatabaie等^[46]以丹佛为例,结合视觉评估方法通过在线调查获取受访者对虚

拟步行环境的感知判断,确定居民对步行路线和街景特征的感知偏好,从而探究城市住宅街景对步行的吸引力。也有学者利用街景图像通过在线问卷调查受访者对街道视觉步行适宜性的评价,进而验证机器学习技术客观测度步行环境的可靠性和有效性^[8]。如今,机器学习技术和大数据算法进一步为模拟人对视觉场景的主观感知提供了方法和技术支持。Naik等^[19]基于人对虚拟街道环境的感知安全评价数据提出预测街景感知安全性的场景理解算法——“Streetscore”,为模拟人对城市感知安全性的评价提供了新的计算工具。有研究通过深度学习算法开发了人机对抗评分框架(human-machine adversarial scoring framework)。该框架结合志愿者对图片展示的虚拟步行环境进行主观打分来训练模型,使模型理解志愿者对虚拟步行环境及其要素的主观认知和偏好,由此形成能够模拟量化主观感知的虚拟环境评价方法^[188-89]。

与步行路径实时感知方法相比,虚拟环境主观评价可以借助线上调查减少实地调查成本,并且扩大研究范围和样本量。但由于静态的图片展示难以充分反映环境的动态变化特征以及行人与步行环境的互动,因此评价结果可能具有一定的片面性和偏差。

3.4 偏好感知评价法

偏好感知评价法是结合叙述性偏好法(stated preference, SP)调查人们步行环境偏好特征的方法^[90]。叙述性偏好法是由受访者对现有或假设的步行环境选择方案进行偏好评价,在此基础上使用离散选择模型分析方案各个环境要素的重要程度,从而确定人们偏好的步行环境特征及其偏好程度^[20, 22]。

有些研究中通过文本或图片的方式呈现具有不同特征的步行环境选择方案来调查行人的环境偏好特征^[5, 20, 22, 91]。由于3D虚拟环境视频能够提供动态且更为完整的场景画面,一些学者采用该方式对步行环境进行可视化。Perdomo等^[23]通过3D虚拟视频模拟小范围环境调查行人对环形交叉路口特征的偏好。Kasraian等^[92]以多伦多为例,通过3D虚拟环境视频展示具有不同街道设计特征的步行

环境来调查行人的环境设计特征偏好并评价街道的步行适宜性。近年来,结合虚拟现实技术(virtual reality, VR)向人们提供沉浸式的步行环境方案设计逐渐受到关注,该方式允许受访者以第一人称自行切换视角观察步行环境,能够获取更贴合实际的步行环境偏好评价^[24, 93],但成本较高,一般适用于小规模范围。

综上,与虚拟环境主观评价对整体步行环境质量的感知评价不同,偏好感知评价法主要关注行人的环境偏好特征。相较于步行路径实时感知方法,该方法不需要依赖实地的步行环境,对于步行环境特征和要素的分析更加全面丰富,例如现有步行环境不存在但可能是影响人们步行行为的关键要素。同时3D虚拟环境视频、VR等可视化技术在向受访者表达调查问题方面更加高效、准确和直观。但该方法具体关注的步行环境要素是评价结果的决定因素。

3.5 基于传感器技术的体验感知

基于传感器技术的体验感知是指依托传感器技术量化行人的情绪体验,以此反映感知的步行适宜性。该方法首先需要根据研究目的和测度指标设定实地场景,然后要求参与者佩戴传感器沿着预定义的路径步行,通过生理指标反映行人对路径步行环境的主观感受(包括身体和情绪两方面)。这些生理指标包括皮肤电活动(electrodermal activity, EDA)、心率(heart rate, HR)、加速度(accelerometry)等^[25, 94]。该方法可以监测和识别出行人感知到的不利于步行的环境因素,从而为居民的路径规划和步行环境优化提供科学依据。Kim^[94]基于可穿戴式传感技术,结合数据分析方法判断行人步态模式是否异常来识别建成环境是否存在步行障碍。Nirjhar等^[25]通过可穿戴式生理传感器和加速度传感器捕获行人的身体和情绪反应,在量化行人对步行环境的感官体验基础上探讨阻碍步行的环境因素。国内也有研究人员采用该技术在广州市新旧城区的街道对行人的主观感受进行实时测量,发现多样的步行空间、宜人尺度的街道家具和绿化与步行者的积极情绪呈正相关^[24]。

基于传感器技术的体验感知可以捕捉并量化

个人对步行环境因素瞬时的运动和生理反应,通过更加科学的手段来获取人的实际主观感受,弥补了基于参与式方法的路径感知未能及时记录不同个体即时反应的不足。然而,该方法的样本数量往往较少,其结果容易受个体特征影响,主观依赖性较高。由于技术成本较高,推广难度大,目前相关应用案例较少。

4 结论

基于GIS的步行适宜性测度是最传统的一种步行环境客观测度方法,主要从中宏观尺度对二维的城市步行环境特征进行客观测度,具有低成本、操作简单、易于推广的优势,可以快捷地实现较大研究范围的步行环境测度,为规划编制和相关政策制定提供科学依据。但该方法较少关注人本尺度的步行环境要素。步行环境审计方法虽然补充了对微观步行环境的考虑,但需要耗费较高的时间、人力成本。近年来,基于街景图像数据和机器学习的虚拟审计这一新兴方法在一定程度上弥补了实地审计的不足,增加了与人的视觉审美感知更为相关的三维环境测度,但其技术和数据门槛较高。步行环境主观评价方法是基于人的主观认知、体验和真实感受对步行环境进行评价。早期研究主要通过问卷和访谈获取人们对步行环境的感知评价,通常成本较高,耗时较多,过程繁杂,效率较低。近年来,在新的数据和技术支持下,出现了虚拟环境评价和偏好感知评价等方法,为深入认识和了解人们步行需求和偏好特征提供了更加高效科学和直观生动的方式,促进在步行环境规划和指标体系构建方面实现公众参与,充分发挥人在干预建成环境和提升景观设计中的主观能动性。

综上,步行环境的测度与评价已逐渐从中宏观尺度转向微观尺度,从关注建成环境转向关注行人的主观感受和体验,以及人与步行环境之间的互动。由此,“人本转向”将是未来城市步行环境研究的重点,研究趋势主要有以下2方面。

1) 理论创新方面,将持续深化对步行环境内涵、要素、影响因素与效应机理的认识,尤其是探究

步行环境与社会环境、人之间的互动与关联,不断丰富和创新步行环境与步行适宜性理论体系。步行环境研究已从最初的对步行环境本身的研究转向为对人类相关行为活动、身体健康和心理健康的影响研究,未来将进一步转向步行环境的社会效应与公平性研究。这些创新性的研究将会持续推进步行环境测度与评价方法的不断发展,呈现出科学化、精细化和人本主义的趋势。

2) 方法技术方面,将结合理论创新继续借助计算机科学、数据科学、新仪器等推动城市步行环境测度与评价方法的发展,不断加强新方法、新技术和新数据在步行环境研究中的融合应用。这将催生出更多新颖的主客观相结合、传统数据与大数据相结合、现实与虚拟环境相结合、多个维度相结合的方法,促使相关研究由关注静态的步行环境转向为关注动态变化的步行环境,由关注客观、物理的步行环境转向为关注人对步行环境的感知与体验。这些转变与发展趋势也将进一步推动步行环境研究在现实场景和实践项目中的应用,为以人为本的城市规划设计提供科学依据。

参考文献(References)

- [1] Duncan M. The influence of pedestrian plans on walk commuting in US municipalities[J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2023, 172: 103664.
- [2] Koohsari M J, Yasunaga A, Oka K, et al. Place attachment and walking behaviour: Mediation by perceived neighbourhood walkability[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2023, 235: 104767.
- [3] Kim B, Barrington W E, Dobra A, et al. Mediating role of walking between perceived and objective walkability and cognitive function in older adults[J]. *Health & Place*, 2023, 79: 102943.
- [4] 杨文越. 城市交通出行碳排放及其影响机理[M]. 北京: 商务印书馆, 2020.
- [5] 刘珺, 王德, 朱玮, 等. 新旧城区休闲步行环境质量比较——以上海市鞍山新村和江湾新城为例[J]. *地理研究*, 2015, 34(11): 2195-2204.
- [6] 周垠, 龙瀛. 街道步行指数的大规模评价——方法改进及其成都应用[J]. *上海城市规划*, 2017(1): 88-93.
- [7] Ma X, Chau C K, Lai J H K. Critical factors influencing the comfort evaluation for recreational walking in urban

- street environments[J]. *Cities*, 2021, 116: 103286.
- [8] Zhou H, He S, Cai Y, et al. Social inequalities in neighborhood visual walkability: Using street view imagery and deep learning technologies to facilitate healthy city planning[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2019, 50: 101605.
- [9] Jeon J, Woo A. Deep learning analysis of street panorama images to evaluate the streetscape walkability of neighborhoods for subsidized families in Seoul, Korea[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2023, 230: 104631.
- [10] Coffee N T, Howard N, Paquet C, et al. Is walkability associated with a lower cardiometabolic risk[J]. *Health & Place*, 2013, 21: 163–169.
- [11] Frank L D, Schmid T L, Sallis J F, et al. Linking objectively measured physical activity with objectively measured urban form[J]. *American Journal of Preventive Medicine*, 2005, 28(2): 117–125.
- [12] Ribeiro A I, Hoffmann E. Development of a neighbourhood walkability index for porto metropolitan area. How strongly is walkability associated with walking for transport[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2018, 15(12): 2767.
- [13] Yang W, Zhou S, Zhen X. How does neighborhood walkability affect obesity? The mediating role of commute mode[J]. *Journal of transport and land use*, 2021, 14(1): 737–759.
- [14] 卢银桃. 基于日常服务设施步行者使用特征的社区可步行性评价研究——以上海市江浦路街道为例[J]. *城市规划学刊*, 2013(5): 113–118.
- [15] 杨文越, 甄新瑜. 多尺度步行环境对居民肥胖的影响机理——以广州为例[J]. *地理科学*, 2022, 42(5): 938–950.
- [16] Li Y, Yabuki N, Fukuda T. Integrating GIS, deep learning, and environmental sensors for multicriteria evaluation of urban street walkability[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2023, 230: 104603.
- [17] Koo B W, Guhathakurta S, Botchwey N. Development and validation of automated microscale walkability audit method[J]. *Health Place*, 2022, 73: 102733.
- [18] Ma X, Ma C, Wu C, et al. Measuring human perceptions of streetscapes to better inform urban renewal: A perspective of scene semantic parsing[J]. *Cities*, 2021, 110: 103086.
- [19] Naik N, Philipoom J, Raskar R, et al. Streetscore—predicting the perceived safety of one million streetscapes, 2014[C]//IEEE, 2014: 793–799.
- [20] Kelly C E, Tight M R, Hodgson F C, et al. A comparison of three methods for assessing the walkability of the pedestrian environment[J]. *Journal of Transport Geography*, 2011, 19(6): 1500–1508.
- [21] Frehlich L, Friedenreich C, Nettel-Aguirre A, et al. Test-retest reliability of a modified International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) to capture neighbourhood physical activity[J]. *Journal of Human Sport and Exercise*, 2018, 13(1): 174–187.
- [22] Lusk A C, Da Silva Filho D F, Dobbert L. Pedestrian and cyclist preferences for tree locations by sidewalks and cycle tracks and associated benefits: Worldwide implications from a study in Boston, MA[J]. *Cities*, 2020, 106: 102111.
- [23] Perdomo M, Rezaei A, Patterson Z, et al. Pedestrian preferences with respect to roundabouts—A video-based stated preference survey[J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2014, 70: 84–91.
- [24] 陈志敏, 黄榕, 黄莹, 等. 街道空间宜步行性的精细化测度与导控——基于虚拟现实与可穿戴生理传感器的循证分析[J]. *中国园林*, 2022, 38(1): 70–75.
- [25] Nirjhar E H, Kim J, Winslow J F, et al. Sensor-based detection of individual walkability perception to promote healthy communities[J]. *Smart Health*, 2023, 29: 100414.
- [26] Handy S L, Boarnet M G, Ewing R, et al. How the built environment affects physical activity: Views from urban planning[J]. *American Journal Of Preventive Medicine*, 2002, 23(Suppl 2): 64–73.
- [27] Saelens B E, Sallis J F, Frank L D. Environmental correlates of walking and cycling: Findings from the transportation, urban design, and planning literatures[J]. *Annals of Behavioral Medicine*, 2003, 25(2): 80–91.
- [28] Saelens B E, Handy S L. Built Environment correlates of walking[J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2008, 40(7): 550–566.
- [29] Cerin E, Saelens B E, Sallis J F, et al. Neighborhood environment walkability scale: Validity and development of a short form[J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2006, 38(9): 1682–1691.
- [30] Leslie E, Coffee N, Frank L, et al. Walkability of local communities: Using geographic information systems to objectively assess relevant environmental attributes[J]. *Health & Place*, 2007, 13(1): 111–122.
- [31] Sundquist K, Eriksson U, Kawakami N, et al. Neighborhood walkability, physical activity, and walking behavior: The Swedish Neighborhood and Physical Activity (SNAP) study[J]. *Social Science & Medicine*, 2011, 72

- (8): 1266–1273.
- [32] Certero R, Kockelman K. Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design[J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 1997, 2(3): 199–219.
- [33] Certero R, Sarmiento O L, Jacoby E, et al. Influences of built environments on walking and cycling: Lessons from Bogotá[J]. *International Journal of Sustainable Transportation*, 2009, 3(4): 203–226.
- [34] Pikora T, Giles-Corti B, Bull F, et al. Developing a framework for assessment of the environmental determinants of walking and cycling[J]. *Social Science & Medicine*, 2003, 56(8): 1693–1703.
- [35] Day K, Boarnet M, Alfonzo M, et al. The irvine-minnesota inventory to measure built environments[J]. *American Journal of Preventive Medicine*, 2006, 30(2): 144–152.
- [36] Millstein R A, Cain K L, Sallis J F, et al. Development, scoring, and reliability of the Microscale Audit of Pedestrian Streetscapes (MAPS)[J]. *BMC Public Health*, 2013, 13(1): 403.
- [37] Mateo-Babiano I. Pedestrian's needs matter: Examining Manila's walking environment[J]. *Transport Policy*, 2016, 45:107–115.
- [38] Alfonzo M A. To walk or not to walk? The hierarchy of walking needs[J]. *Environment and Behavior*, 2005, 37(6): 808–836.
- [39] Ewing R, Handy S. Measuring the unmeasurable: Urban design qualities related to walkability[J]. *Journal of Urban Design*, 2009, 14(1): 65–84.
- [40] Yin L, Wang Z. Measuring visual enclosure for street walkability: Using machine learning algorithms and Google Street View imagery[J]. *Applied Geography*, 2016, 76: 147–153.
- [41] Moura F, Cambra P, Gonçalves A B. Measuring walkability for distinct pedestrian groups with a participatory assessment method: A case study in Lisbon[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2017, 157: 282–296.
- [42] Rollero C, De Piccoli N. Place attachment, identification and environment perception: An empirical study[J]. *Journal of Environmental Psychology*, 2010, 30(2): 198–205.
- [43] Bonaiuto M, Fornara F, Ariccio S, et al. Perceived residential environment quality indicators (PREQIs) relevance for UN-HABITAT city prosperity index (CPI)[J]. *Habitat International*, 2015, 45(1): 53–63.
- [44] Mendes De Leon C F, Cagney K A, Bienias J L, et al. Neighborhood social cohesion and disorder in relation to walking in community-dwelling older adults[J]. *Journal of Aging and Health*, 2009, 21(1): 155–171.
- [45] Mehta V. Walkable streets: Pedestrian behavior, perceptions and attitudes[J]. *Journal of Urbanism*, 2008, 1(3): 217–245.
- [46] Tabatabaie S, Litt J S, Muller B H F. Sidewalks, trees and shade matter: A visual landscape assessment approach to understanding people's preferences for walking [J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2023, 84: 127931.
- [47] Leslie E, Butterworth I, Edwards M. Measuring the walkability of local communities using Geographic Information Systems data[C]//The 7th International Conference on Walking and Liveable Communities. Melbourne: the ACCESS Company, 2006.
- [48] 陈曦, 冯建喜. 基于步行性与污染物暴露空间格局比较的建成环境健康效应——以南京为例[J]. *地理科学进展*, 2019, 38(2): 296–304.
- [49] 王莹亮, 肖健, 李琪, 等. 城市建成环境对老年人步行出行的影响分析——基于重庆市江北区12个住区的实证[J]. *上海城市规划*, 2022(3): 122–128.
- [50] Yang W, Zhen X, Gao W, et al. An examination of the impact of neighbourhood walking environments on the likelihood of residents of dense urban areas becoming overweight or obese[J]. *Canadian Geographies / Géographies canadiennes*, 2020, 64(4): 619–633.
- [51] Kuzmyak J R, Baber C, Savory D. Use of Walk Opportunities index to quantify local accessibility[J]. *Transportation Research Record*, 2006, 1977(1): 145–153.
- [52] 黄建中, 胡刚钰, 李敏. 老年视角下社区服务设施布局适宜性研究——基于步行指数的方法[J]. *城市规划学刊*, 2016(6): 45–53.
- [53] Hall C M, Ram Y. Walk score[®] and its potential contribution to the study of active transport and walkability: A critical and systematic review[J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2018, 61: 310–324.
- [54] Koohsari M J, Sugiyama T, Hanibuchi T, et al. Validity of Walk Score[®] as a measure of neighborhood walkability in Japan[J]. *Preventive Medicine Reports*, 2018, 9: 114–117.
- [55] Yin L. Street level urban design qualities for walkability: Combining 2D and 3D GIS measures[J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2017, 64: 288–296.
- [56] Taleai M, Taheri Amiri E. Spatial multi-criteria and multi-scale evaluation of walkability potential at street

- segment level: A case study of tehran[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2017, 31: 37–50.
- [57] Bedimo-Rung A L, Gustat J, Tompkins B J, et al. Development of a direct observation instrument to measure environmental characteristics of parks for physical activity [J]. *Journal of Physical Activity & Health*, 2006, 3(Suppl 1): 176–189.
- [58] Clifton K J, Livi Smith A D, Rodriguez D. The development and testing of an audit for the pedestrian environment[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2007, 80(1/2): 95–110.
- [59] Pikora T J, Bull F C L, Jamrozik K, et al. Developing a reliable audit instrument to measure the physical environment for physical activity[J]. *American Journal of Preventive Medicine*, 2002, 23(3): 187–194.
- [60] Saelens B E, Frank L D, Atffrey C, et al. Measuring physical environments of parks and playgrounds: EAPRS instrument development and inter-rater reliability[J]. *International Journal of Management Education*, 2006, 3(Suppl 1): 190–207.
- [61] Williams J E, Evans M, Kirtland K A, et al. Development and use of a tool for assessing sidewalk maintenance as an environmental support of physical activity [J]. *Health Promotion Practice*, 2005, 6(1): 81–88.
- [62] Alfonzo M, Guo Z, Lin L, et al. Walking, obesity and urban design in Chinese neighborhoods[J]. *Preventive Medicine*, 2014, 69: 79–85.
- [63] Hajna S, Dasgupta K, Halparin M, et al. Neighborhood walkability: Field validation of geographic information system measures[J]. *American Journal of Preventive Medicine*, 2013, 44(6): 55–59.
- [64] McGrath L J, Hinckson E A, Hopkins W G, et al. Associations between the neighborhood environment and moderate-to-vigorous walking in New Zealand children: Findings from the URBAN study[J]. *Sports Medicine*, 2016, 46(7): 1003–1017.
- [65] Pikora T J, Giles-corti B, Knuiam M W, et al. Neighborhood environmental factors correlated with walking near home[J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2006, 38(4): 708–714.
- [66] Wimbardana R, Tarigan A K M, Sagala S. Does a pedestrian environment promote walkability? Auditing a pedestrian environment using the pedestrian environmental data scan instrument[J]. *Journal of Regional and City Planning*, 2018, 29(1): 57–66.
- [67] Sallis J F, Cain K L, Conway T L, et al. Is Your neighborhood designed to support physical activity? A brief streetscape audit tool[J]. *Prev Chronic Dis*, 2015, 12: E141.
- [68] Van Dyck D, Sallis J F, Cardon G, et al. Associations of neighborhood characteristics with active park use: An observational study in two cities in the USA and Belgium [J]. *Preventing Chronic Disease*, 2013, 12: 26.
- [69] Sousa A, Santos B, Goncalves J. Pedestrian environment quality assessment in portuguese medium-sized cities[J]. *Materials Science and Engineering*, 2019, 471(6): 62033.
- [70] Troped P J, Cromley E K, Fragala M S, et al. Development and reliability and validity testing of an audit tool for trail/path characteristics: The path environment audit tool (PEAT)[J]. *Journal of Physical Activity & Health*, 2006, 3(Suppl 1): 158–175.
- [71] Zoellner J, Hill J L, Zynda K, et al. Environmental perceptions and objective walking trail audits inform a community-based participatory research walking intervention[J]. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 2012, 9: 6.
- [72] 杨俊宴, 吴浩, 郑屹. 基于多源大数据的城市街道可步行性空间特征及优化策略研究——以南京市中心城区为例[J]. *国际城市规划*, 2019, 34(5): 33–42.
- [73] Kim S, Woo A. Streetscape and business survival: Examining the impact of walkable environments on the survival of restaurant businesses in commercial areas based on street view images[J]. *Journal of Transport Geography*, 2022, 105: 103480.
- [74] 周梦茹, 魏寒宾, 边兰春. 街道空间步行环境测评研究——以北京什刹海历史文化街区为例[J]. *上海城市规划*, 2021(3): 74–80.
- [75] Rahman A. A GIS-based, microscale walkability assessment integrating the local topography[J]. *Journal of Transport Geography*, 2022, 103: 103405.
- [76] Alexander A, Bergman P, Hagströmer M, et al. IPAQ environmental module; reliability testing[J]. *Journal of Public Health*, 2006, 14(2): 76–80.
- [77] Rosenberg D, Ding D, Sallis J F, et al. Neighborhood environment walkability scale for youth (NEWS-Y): Reliability and Relationship with Physical Activity[J]. *Preventive Medicine*, 2009, 49(2/3): 213–218.
- [78] Saelens B E, Sallis J F, Black J B, et al. Neighborhood-based differences in physical activity: An environment scale evaluation[J]. *American Journal of Public Health* (1971), 2003, 93(9): 1552–1558.
- [79] Sallis J F, Kerr J, Carlson J A, et al. Evaluating a brief

- self-report measure of neighborhood environments for physical activity research and surveillance: Physical activity neighborhood environment scale(PANES)[J]. *Journal of Physical Activity & Health*, 2010, 7(4): 533-540.
- [80] Ferreira I A, Johansson M, Sternudd C, et al. Transport walking in urban neighbourhoods—Impact of perceived neighbourhood qualities and emotional relationship[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2016, 150: 60-69.
- [81] Koohsari M J, McCormack G R, Shibata A, et al. The relationship between walk score[®] and perceived walkability in ultrahigh density areas[J]. *Preventive Medicine Reports*, 2021, 23: 101393.
- [82] Bonaiuto M, Fornara F, Bonnes M. Indexes of perceived residential environment quality and neighbourhood attachment in urban environments: A confirmation study on the city of Rome[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2003, 65(1/2): 41-52.
- [83] Cerin E, Leslie E, Owen N, et al. An Australian version of the neighborhood environment walkability scale: Validity evidence[J]. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 2008, doi: 10.11819/cpr20170908a.
- [84] Cerin E, Sit C H, Cheung M, et al. Reliable and valid NEWS for Chinese seniors: measuring perceived neighborhood attributes related to walking[J]. *The international journal of behavioral nutrition and physical activity*, 2010, 7(1): 84.
- [85] 陈泳, 毛婕, 奚文沁, 等. 机动化时代大城市居民步行行为特征与需求分析——以上海中心城区为例[J]. *现代城市研究*, 2016(7): 103-112.
- [86] 申洁, 黄嘉欣, 周婕, 等. 基于多维理论的城市住区建成环境步行性评价体系构建及应用——以武汉市为例[J]. *现代城市研究*, 2021(10): 51-57.
- [87] Dean J, Biglieri S, Drescher M, et al. Thinking relationally about built environments and walkability: A study of adult walking behavior in Waterloo, Ontario[J]. *Health & Place*, 2020, 64: 102352.
- [88] Wang L, Han X, He J, et al. Measuring residents' perceptions of city streets to inform better street planning through deep learning and space syntax[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2022, 190: 215-230.
- [89] Yao Y, Liang Z, Yuan Z, et al. A human-machine adversarial scoring framework for urban perception assessment using street-view images[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2019, 33(12): 2363-2384.
- [90] Liao B, van den Berg P E W, van Wesemael P J V, et al. Individuals' perception of walkability: Results of a conjoint experiment using videos of virtual environments [J]. *Cities*, 2022, 125: 103650.
- [91] Tilt J H. Walking trips to parks: Exploring demographic, environmental factors, and preferences for adults with children in the household[J]. *Preventive Medicine*, 2010, 50: S69-S73.
- [92] Kasraian D, Adhikari S, Kossowsky D, et al. Evaluating pedestrian perceptions of street design with a 3D stated preference survey[J]. *Environment and planning B: Urban Analytics and City Science*, 2021, 48(7): 1787-1805.
- [93] Zhu W, Guo S, Zhao J. Planning participants' preferential differences under immersive virtual reality and conventional representations: An experiment of street renewal[J]. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 2021, 48(7): 1755-1769.
- [94] Kim H. Feasibility of DRNN for identifying built environment barriers to walkability using wearable sensor data from pedestrians' gait[J]. *Applied Sciences*, 2022, 12(9): 4384.

Review on measurement and assessment methods for urban walking environment in the context of "human-oriented turn"

YANG Wenyue, ZHU Yuxian

College of Forestry and Landscape Architecture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

Abstract This study reviews the methods of measuring and assessing walking environments, which are classified into two categories: objective method and subjective method. The objective method is mainly based on GIS technology and data to measure neighborhood walkability at a meso or macro urban scale, which is relatively weak in measuring micro walking environment. The subjective method is mainly based on questionnaire scales and on-site participatory approaches to assess the walking environment at meso and micro scales, focusing on the pedestrian's subjective perception of the objective built environment, and considering the impact of individual walking ability, walking preference, and socio-economic attributes. With the rise and application of 3D GIS models, street view image data, and machine learning methods, objective methods have shifted from two-dimensional walkability measurement to three-dimensional measurement. Meanwhile, the research scale has also shifted from macro-scale to micro-scale, concentrating more on people and considering more refined walking environment elements that meet visual aesthetic needs from a human-oriented perspective. The subjective method turns to combine new technologies and methods such as machine learning, big data algorithm, virtual reality technology, and wearable physiological sensors to obtain the pedestrian's subjective perception of the walking environment. In the end, we propose future research trends and prospect the measurement and assessment of urban walking environments in China in the context of a human-oriented turn.

Keywords walking environment; walkability; human-oriented turn ●



(责任编辑 卫夏雯)