

建成环境影响出行安全研究进展

陈春^{1,2}, 杨钦智¹, 李媛媛^{3*}

1. 重庆交通大学智慧城市学院, 重庆 400074

2. 重庆交通大学生态人居与绿色交通研究中心, 重庆 400074

3. 重庆市国土整治中心, 重庆 400024

摘要 建成环境与行人的出行安全有关。梳理了建成环境影响出行安全的要素分析, 评述了城市发展模式、密度、土地利用、道路环境以及交通管理设施5个方面的研究进展。对中国未来的建成环境与出行安全的研究提出建议和展望。

关键词 建成环境; 出行行为; 交通安全; 健康城市

道路交通伤害是重要的全球性公共卫生问题之一, 在世界范围内每年约有120万起与交通有关的伤害发生, 在这些伤害中, 有50%以上都涉及到行人。中国经历了人类历史上规模最大、速度最快的城镇化、机动化进程。过去20年城镇化率提高了24.4%, 汽车保有量从2000年的1610万辆增加到2019年的2.61亿辆。与此同时, 道路交通事故频发, “十二五”期间全国共发生造成人员伤亡的99.8万起道路交通事故, 导致29.7万人死亡、108.7万人受伤, 平均每年发生道路交通事故20万起, 造成5.9万人死亡、21.7万人受伤^[1], 其中城市道路交通事故在全国道路交通事故数中的占比持续上升。截至2019年, 中国城市道路里程占全国道路总里程的7.5%, 而城市道路交通事故数量占全国道路交通事故总量的45.8%^[2]。城市道路也是发生车辆

碰撞行人的主要区域, 2007—2016年中国行人事故伤亡人数占城市交通事故伤亡总人数的比例超过30%, 每年有上万名行人因交通事故受伤甚至死亡^[2]。在鼓励人们采取慢行交通、积极步行的同时, 如何有效控制行人交通事故的发生, 保障行人生命安全和健康, 将是城市规划和交通安全领域共同的研究热点, 也是“以人为本”推动城市高质量发展的应有之义。

步行出行的安全性受到由人、车、道路、环境、管理等要素构成的复杂动态系统的影响, “人”和“车”是主观可控制变量, 道路、环境、管理3项是客观要素^[3-5]。目前关于行人出行安全的研究主要包括以下方面: 一是人的特征和行为, 包括驾驶员和行人的特征(年龄、性别、是否残疾等)以及是否有不安全行为^[6]; 二是车辆特征, 包括车辆类型、行驶

收稿日期: 2022-04-13; 修回日期: 2022-10-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(42071218)

作者简介: 陈春, 教授, 研究方向为土地利用与交通安全, 电子信箱: chenchun@pku.edu.cn; 李媛媛(通信作者), 硕士, 研究方向为建成环境与交通安全, 电子信箱: Lyuan78@163.com

引用格式: 陈春, 杨钦智, 李媛媛. 建成环境影响出行安全研究进展[J]. 科技导报, 2022, 40(22): 43-54; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2022.22.005

速度、车流量、高峰时间^[7];三是道路特征如道路类别、车道数、交叉口和公交车站的密度等^[8];四是天气状况等自然环境和照明营造的可视环境^[7];五是交通管理和交通安全设施,如限速牌、交通控制装置、安全岛等^[9]。传统的交通安全领域对道路、环境影响交通安全的研究,多是从微观的角度例如交叉口^[10]、人行横道^[11]、信号灯^[8]、照明情况^[10]等方面考虑,未能全面、系统地考虑城市发展模式、土地利用、密度等中、宏观建成环境要素对步行出行安全的影响。在学科交叉融合的趋势下,单一学科的知识、方法、工具等已不足以破解一些重大科学难题,亟待从多学科的角度开展交通安全的研究。值得注意的是,近年来国际地理和规划学术界密切关注建成环境对出行安全的影响,但相对而言,中国地理和规划学界对建成环境影响出行安全的研究较少,仅有少量研究开始关注土地利用对出行安全的影响。

本文旨在从建成环境概念入手,对国际上建成环境影响出行安全的相关进展予以系统评述,同时结合中国研究现状,探讨中国在建成环境与出行安全领域的未来研究方向。主要聚焦以下问题:第一,目前国际上关于建成环境影响出行安全的研

究,涉及到哪些建成环境要素?有何重要的研究发现?存在什么问题?第二,中国建成环境影响出行安全研究的现状如何,未来在理论和应用上应该从哪些方面突破?

1 国外关于建成环境影响出行安全的研究现状

建成环境(built environment)指人为建设、改造的各种建筑物和场所,以及那些可以通过政策、人为行为改变的环境^[12],由土地利用、交通组织、空间设计和具体的建设等一系列要素组合而成^[13]。本文选择 Web Of Science(SCI)核心合集为检索数据库,检索了时间为2000—2022年,关键词为建成环境、交通安全或交通事故的共441篇文章,使用 citespace 分析其关键词发现(图1),国外现有关于建成环境与出行安全的研究形式大多为针对某个特定群体,从行人行为或感知上,使用不同研究方法开展建成环境对出行安全的影响研究。其研究分为3种类型:第一种注重研究不同人群,尤其是儿童^[14-15]、老年人^[16-17]等弱势群体;第二种注重选用不同研究方法,例如大数据机器学习^[18]、算法优

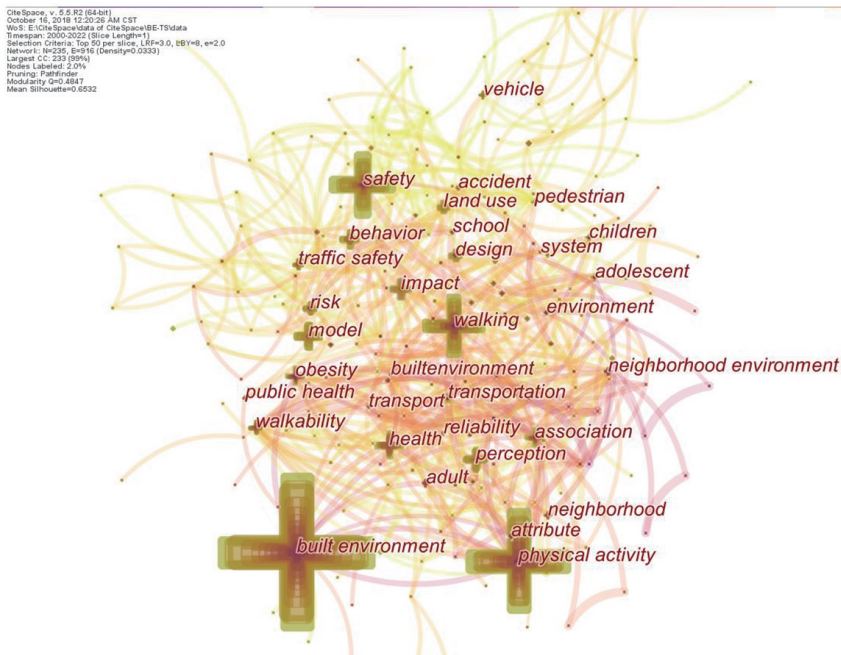


图1 建成环境对出行安全影响研究的关键词共现图谱

为明显^[34]。总体看来,城市发展模式对行人出行安全的研究仍存在悬而未决的问题,目前的研究认为紧凑的城市对行人安全有积极作用,而在这影响关系中,城市发展模式究竟是直接影响出行安全还是通过中介因素间接影响出行安全尚不明确。

2.2 密度

关于密度对于行人安全的研究,可以分为人口(居住)密度、经济(就业)密度和设施密度(图3)。在人口(居住)密度上,人口密度对行人出行安全究竟是积极影响还是消极影响,尚存在不同观点:一方面在人口密度大的区域,人流量大,往往会发生更多的行人碰撞^[35];另一方面,在人口过度稀疏的区域,却可能因为缺乏管理而发生更多的行人碰撞^[36]。由此可见,人口密度作为影响行人安全的重要因素,其作用力处于两个极端,人口密度大即是人流量较大,在人群比较密集时,发生轻微交通事故的几率较大;而对于人口密度小的区域,地广人稀,大多道路缺乏管理,并且人少的地方会使驾驶员放松警惕,加快行车速度,从而易发生较为严重的交通事故。因此,实现人口密度的均衡是减少交通事故发生的重要手段。在经济(就业)密度上,有研究发现就业密度和活动中心密度均与行人出行安全问题呈正相关关系^[37]。在经济密度较高的区

域,具有很强的吸引力,从而吸引大量的行人和车辆,导致高人流量和车流量,引发更多的出行安全问题。设施密度主要指的是教育设施、公交站点等设施的密度。有研究表明教育设施和行人碰撞呈正相关关系^[38],如学校密度与青少年的出行事故呈正相关关系^[39-40],但家距离学校近的区域与青少年出行事故负相关^[41],也就是说学校周围是人-车事故发生的高发地段,但如果学校与家的距离更近,发生青少年交通事故的情况会相应减少。公交站点的密度对行人的出行安全也有着显著的影响^[41-42],公交站点与出行安全的关联主要在于,公交车在站点停留时容易遮挡行人的视野,导致行人在横过马路时对道路上的危险判断受到阻碍,因此引发了更多的出行安全问题^[39]。总体看来,密度对于行人安全的研究目前存在争议,影响出行安全的究竟是密度本身还是伴随密度而产生的其他变量、增加密度是否可以促进行人出行安全等问题在现有的研究中仍存在相悖的结论。

2.3 土地利用

土地利用混合度是利用各类用地的占地面积和组合情况来衡量的。关于土地利用混合度对行人出行安全的影响,不同学者得出了不同的研究结果。Chen等^[43]研究发现土地利用混合度与行人出

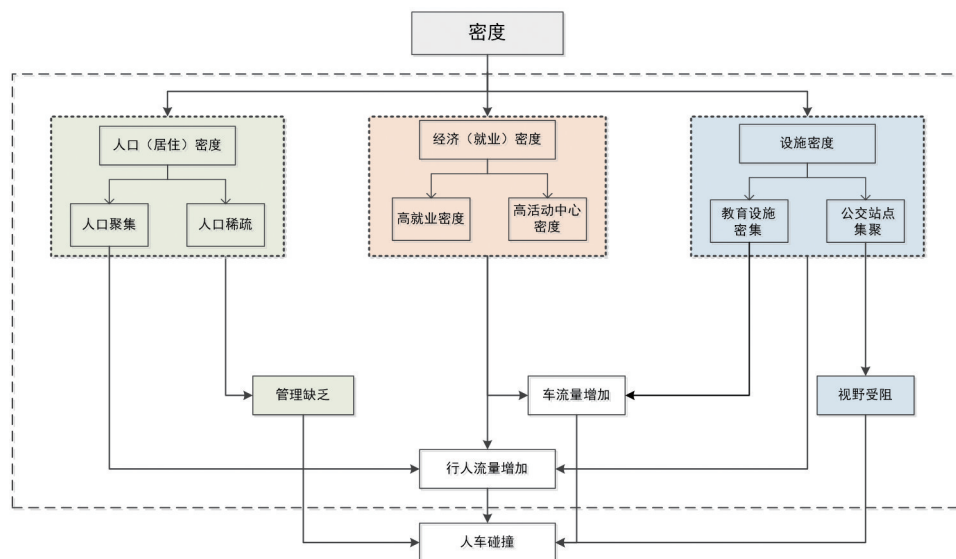


图3 密度影响行人出行安全的示意

行过程中发生交通碰撞的概率成正相关关系,即混合度越高,发生碰撞的几率越高;而Wang等^[41]则发现土地利用混合度越高,发生行人碰撞事故的几率越低。土地利用混合度体现了道路的主要属性,针对不同地区不同人群的需求,土地利用混合度的高低对人流、车流的聚集影响程度不同,从而导致土地利用混合度在行人出行安全的影响研究中产生了不同的研究结果。

同理,商业、工业、住宅用地等不同类型用地的规模也会对行人的出行安全产生影响,并且产生不同的研究结果:在商业用地的研究中,有研究表示大卖场、商场等形成了人群的吸引中心,与行人碰撞率正相关^[40,42],也有研究表明商业用地与出行安全呈非线性关系,当商业用地范围超出8%时,与出行安全呈负相关关系^[44],这是由于商业用地是为满足人群的需求而设,商业用地的分布影响行人过街需求以及人群聚集,在大多数情况下,商业用地的增加会导致更多的交通事故,但当大量的商业用地集聚形成了商业街或大型商场,此时交通事故会因交通管制严格而更少发生;在工业用地的研究中,有的研究发现工业用地的规模与行人碰撞频率之间呈负相关关系^[42-43],有的研究则产生了相反的结果^[44]。究其原因是大型工业用地促使了更多大货车的出现,由于施工过程中,对工地的管理比较松散,而大型货车本身的构造容易导致司机视野受限,因此容易发生交通事故。但这与工程的大小以及工程类型有关系,大型工程往往因更多的材料运输需求,更容易增加交通事故的风险;在住宅用地的研究中,有研究发现住宅用地与行人的出行安全呈负相关关系^[44],而住宅单元的数量与行人的出行安全呈正相关关系^[45],除此之外,Agran等^[44]研究发现居住在高密度住宅区的儿童交通事故伤害率是低密度住宅区的3倍。就住宅用地而言,作为人们出行的起点,住宅用地的占比决定了该区域的人流大小,从而对行人出行安全产生影响。因此,在不同的实证研究中,因为研究区的地域和经济特性不同,土地利用混合度以及不同类型的用地规模与行人出行安全之间的关系存在结论差异,有待进一步论证。

2.4 道路环境

2.4.1 行人基础设施

行人基础设施是实现人车分离的主要依托,也是构建行人友好型道路的基础,主要涉及到人行道、安全岛、安全护栏、照明设施等要素。Retting等^[46]研究发现,行人与道路的隔离以及提高行人能见度的设施,可以显著降低行人与车辆碰撞的发生率。无论是从行人的角度还是司机的角度来看,通过隔离设施将车辆和行人区别开来,会增强行人对危险的识别以及司机对行人的辨别,且能够最大限度地降低行人为图便利,不走行人过街设施,横穿马路造成伤害的可能。总的来说,行人与道路之间隔离设施的增加会相应地减少交通事故的发生。然而人车分离了并不能完全解决行人安全问题,能见度对行人的伤亡有着更程度的影响。在这个方面有学者通过分析人行横道、道路和人行道之间的缓冲区和街道照明设施等要素与行人出行安全的关系,发现天黑时的交通照明不足、道路和人行道之间缺乏缓冲区等均与行人的出行安全有显著关系^[47]。交通照明对行人出行安全的影响主要发生在夜间,较弱的能见度是引起行人出行安全的最大风险,尤其是对视力下降的老年人。美国死亡分析报告系统(FARS)数据分析发现,在其他因素不变的情况下,行人发生碰撞死亡的人数随着照明度的降低而增加^[48]。在天黑的第一个小时常常会频繁发生行人碰撞,因为此时的人流量较大,会有大量的行人过街活动,而且在此时发生的行人碰撞事件更为致命^[49],道路照明则能够很大程度上提高行人出行的安全性。Isola等增加了安全岛要素来评估建成环境与行人出行安全的关系,发现通过合理设置安全岛、高能见度的人行道等人行基础设施能够增加行人的出行安全^[50]。还应注意,基于行人基础设施而设置的行道树、商业标志以及人行道与道路之间的绿化带^[51]等,虽然有助于改善道路景观,但会影响行人与驾驶员的能见度或分散注意力,导致驾驶员在面对突如其来的行人时来不及做出反应,从而引发碰撞。总体来看,增加人车隔离以及提升行人能见度是减少交通事故发生的重要举措,但目前交通行为学领域对此的关注较少,还有待进

一步研究。

2.4.2 道路设计

道路设计主要通过影响行车速度和交通量来影响行人出行安全,包括道路的几何设计和路网设计。道路的几何设计是指道路的宽、窄、曲、直等几何形态,适宜、合理的设计既能够保证驾驶员的安全,同时确保行人的安全。早期的规划认为更宽、更直、更平坦的道路可以减少驾驶员在行驶途中的错误,通过拓宽和拉直道路延长了视线距离,使驾驶员更容易识别和应对道路右侧的危险,从而减少事故的发生率。当时的研究认为,为了高速而设计的洲际公路系统通常比其他道路等级的碰撞率要低^[52],高速公路的宽度和道路曲线的平缓改善了农村地区的公路安全,尤其是双车道农村公路^[53]。但后来有研究表明,更宽更直的道路容易使驾驶员行车速度加快,加大人-车碰撞的风险。即使控制了交通量,道路加宽也是以牺牲安全为代价的^[53],缩窄车道反而能减少行人交通事故。例如,Swift等^[54]通过研究多个行人碰撞事故的建成环境影响特征后,发现街道宽度和碰撞率的相关性最高,最安全的街道反而是窄的和缓慢的。Ukkusuri等^[39]也调查了车道宽度和车道数量等要素,发现两者的增加都与行人伤亡增多有关。根据目前在道路几何设计对行人安全影响方面的研究可以看出,道路的宽窄(包括道路数量)、曲折可影响车辆行驶速度,进而影响行人出行安全。

从行人安全的角度考虑,路网设计中的路网模式、交叉口形态、交叉口密度等都是十分重要的因素。从路网模式来看,Guo等^[55]利用贝叶斯空间建模研究了路网模式对交通安全的影响,研究发现与不规则街道布局相比,规则网络模式是最不安全的,因其有更加明显的集中点和连接性,发生行人碰撞的几率更大。从交叉口的形态来看,四向交叉口和三向交叉口的密度对行人的碰撞有正相关关系^[53],且三向的交叉口相对四向的交叉口发生交通事故要少^[56]。究其原因是四向交叉口有着比三向交叉口更加复杂的道路形态,行人的方向和车行的方向均更为复杂,因此会造成更多的人车碰撞事故。环形交叉口最初被认为是老式交通圈的代表,

但随着现代交通的发展出现了现代环形交叉口,现代环形交叉口通过交叉口的曲率来降低速度、减少碰撞,尤其是直角和左转正面碰撞。环形交叉口比其他交叉口发生碰撞的频率更低,Persaud等^[57]通过研究发现将交叉口转化为环形交叉口后,发生交通事故的频率降低了39%,而涉及行人伤亡的车祸减少了76%。因为在环形交叉口,车辆围绕环形中心进行旋转,减少了冲突点,从而减少了碰撞。从交叉口密度来看,有学者发现交叉口密度高有更高的行人碰撞发生几率^[58],但也有研究发现交叉口密度越高碰撞率越低^[59],原因在于驾驶员在经过道路连接点时会更加集中自己的注意力,在交叉口发生交通事故的概率会随之降低^[49],而当区域交通管理较为宽松时,驾驶员会放松警惕,由此会产生相反的结果,由此可见,交叉口密度对出行安全的影响在不同地区会产生不同的研究结果,还需更多的实证研究。

总体上,现有的研究中,对于道路设计的研究主要集中在交通行为学领域,而对行人出行安全,该领域主要关注道路设计中的微观区域,导致道路的几何设计与路网设计与交通事故的研究目前仍存在悬而未定的问题,还有待进一步研究。

2.5 交通管理设施

交通管理设施包括限速标识、禁止违规停车标识、信号灯等,一方面通过约束行人和车辆来控制交通流量和交通速度,另一方面通过对街边停车等进行管制来提高行人和车辆之间的能见度,进而影响行人的出行安全。

对车辆的约束一般采用速度限制标识来实现。这是因为速度是行人交通伤害的一个关键因素,速度管理是降低行人交通风险的有效措施。在涉及行人的机动车碰撞中,车速与伤害严重程度和死亡率有明显关系^[60-61]。要减少速度所产生的行人碰撞,除了前文提到的缩窄道路外,还可以通过设置速度控制标识/警告标识等限制车辆速度^[62]。Zeg-eer等^[63]对比研究了1000个有人行横道标识的人行横道和1000个没有标识的人行横道,发现没有标识的人行横道以及没有停车标志的区域发生交通事故的几率更大。通过控制标识/警告标识提高驾

驾驶员的警惕性,控制驾驶车辆的速度,从而可能减少行人伤亡,此外,对街边停车的管制是因为街边停车在发生的行人碰撞事故中占比较大^[64],尤其是儿童最可能从停着的车辆中冲出,导致交通事故的发生。因此,路边是否划定停车区域也影响行人出行安全。

对行人的约束主要利用交通信号灯、行人过街倒计时信号等设施,这也是目前普遍采用的方式。过街信号灯是影响行人出行安全的重要因素,在没有交通信号灯等设施的交叉口,信号灯可以提高行人过街的安全性。根据澳大利亚的一项报告,安装信号灯使当地的行人交通碰撞率明显降低^[65]。交通信号灯和行人过街倒计时信号的相互配合能够及时分开行人和车辆^[66],并能够有效减少行人与车辆的冲突。

总体看来,交通管理设施是促进行人出行安全的有效措施,也是交通安全工程领域的共识,但在实践中常常存在一定偏差,原因在于在交通安全工程领域,缺乏对土地利用和行人出行行为之间关系的分析,应加强学科交叉融合,综合考虑城市各要素对交通安全的影响,促进人们出行安全。

3 国外对建成环境与出行安全的研究存在的问题

3.1 基于出行安全的建成环境要素体系尚未建立

现行国外关于建成环境的研究多是在“3D”和“5D”基础上进行扩展,不同的研究给出了不同的建成环境要素,缺乏统一的建成环境要素谱系,测定方法也存在不足。因为这一局限性,目前建成环境影响出行安全的研究也缺乏系统性,各区域之间也难以比较、对照。在建成环境指标量化方面,原有的量化测定方法均存在局限性。

3.2 存在相悖结论或悬而未决的问题

建成环境和出行安全之间的关系不仅是简单的变量关系,具有一定的复杂性,在实证研究中出现了相悖的结论或悬而未决的难题。建成环境究竟是通过能见度、交通量和交通速度作为中介因素间接影响出行安全还是直接影响出行安全尚不明

确。例如城市发展模式方面,目前的研究认为紧凑的城市对行人安全有积极作用,但这个作用是直接产生的还是通过交通速度、车辆行驶里程等中介因素间接产生的还有待进一步研究。人口密度、土地混合度、不同用地类型与行人出行安全之间究竟是存在正相关还是负相关或者非线性关系,在不同的实证研究中有着不同的结论,有待进一步的论证。

3.3 不同学科的侧重点不同,交叉性有待加强

目前国际地理和规划界对建成环境影响出行安全的研究中,对人的主观行为在其中起到的作用研究不够,即建成环境是否对人的行为产生影响进而影响安全;而交通行为学领域更关注人的行为,如驾驶员行为、骑行者行为、行人行为是否安全,而对行人安全行为的关注主要集中在过街处、交叉口、隔离带等微观区域,对整体建成环境影响行人行为安全的关注不够。

4 中国建成环境影响出行安全研究存在的问题与展望

4.1 研究现状与问题

研究建成环境对出行安全的影响,其目的是改变建成环境从而从源头上预防交通安全事故的发生,为主动道路交通安全规划服务。关于出行安全的研究也一直是中国传统交通安全领域的研究热点,但目前国内在建成环境对出行安全的影响方面的理论与实证研究仍然处于起步阶段,仍待深化以达到有效指导实践的目的。

1) 没有结合中国城市现状展开建成环境与出行安全的系统研究

在快速城镇化进程中,中国城市的面积和人口规模大幅增长,不少城市形成了单中心城市结构模式,“摊大饼”式的城市蔓延现象明显,城市通勤距离和通勤时间显著增加。同时,单中心的城市结构导致大多数的就业岗位集中在市中心,市中心密度过高。而在城镇化和机动化叠加的影响下,由于机动车交通需求压力和不当的价值取向,城市马路越来越宽。以上这些建成环境的变化均会对行人出行安全产生影响。但国内关于这方面的研究严重

滞后,相关理论也并不完善,目前仅柳林、谢玻等^[67-71]开展了土地利用对出行安全的研究,关于建成环境影响出行安全的系统性研究仍然不足。

2) 实践领域中规划和交通安全的融合性不够

尽管王岩等^[71]在2006年就引入了“主动道路交通安全规划”的概念,提出在城市规划、土地利用、综合交通规划和道路网络规划等阶段将安全作为主要规划目标和评价指标,但目前国内城市规划与道路安全规划的衔接实践领域亦是滞后。例如,对于人行横道、人行信号灯等能够提高行人安全性是交通安全工程领域的共识,但在实践中存在没有在合适的位置设置人行横道或信号灯,而是事故发生后才在相应位置加设人行横道和信号灯的现象。原因在于在交通安全工程领域,缺乏对土地利用和行人出行行为之间关系的分析,而这恰恰是地理和规划领域尤其是城市地理学所擅长的。

4.2 研究展望

基于对国内外现状研究的判读,结合中国国情,对未来中国在建成环境影响出行安全领域的研究提出以下建议。

1) 建立考虑出行安全的建成环境要素体系,夯实建成环境与出行安全的研究基础。

中国目前对于建成环境影响出行安全的研究严重滞后,不仅是因为学科交叉融合有待加强,也是因为现有国内外研究对建成环境要素的梳理存在差异,缺乏影响出行安全的建成环境要素统一体系。因此,为解决国内研究理论缺失问题,不仅需要加强地理学和城乡规划学、交通运输工程学科的交叉融合,综合考虑城市未来发展模式,进一步展开建成环境与出行安全系统的研究,也有必要开展影响出行安全的建成环境要素谱系的研究,包括研究建成环境要素的尺度和层次,分析要素类型、形态、功能及关系,构建多尺度的建成环境分类体系;解析建成环境构成要素的语境,解析核心要素特征与相互关系,建立建成环境各要素的表达形式,综合采用街景地图(图4)、遥感数据等多源数据构建建成环境各要素的提取途径及计算方法;研制包含分类、编号、名称、内涵、形态、提取方法等的建成环境基础信息谱系。在此基础上,在中国大量开展实

证研究,分析现存的相悖结论的原因,进一步完善理论框架,解决悬而未决的问题。



注:街景地图源于从一个位置拍摄多个方向的图像,这种图像记录一个区域建成环境特征的永久信息,比基于现场的调查更快速有效,能将周边住宅商业等土地利用情况、道路宽度、公交车站、人行道、人行横道、信号灯、障碍物等快速识别出来。

图4 重庆市渝中区人民路与莆田路交叉口街景地图截取
(资料来源:腾讯街景地图)

2) 深化基于人的行为的建成环境影响出行安全的机理研究。

开展建成环境与出行安全的系统研究,其出发点是建成环境的变化会对行人出行安全产生影响,事实上,建成环境要素也会通过影响驾驶员和行人的行为从而影响交通安全,但目前的研究较少有将建成环境、出行行为、出行安全三者联系起来的研究。未来,可以从宏观层面,分析事故易发热点区不同缓冲尺寸范围内的建成环境特征,调查缓冲区范围内行人步行活动时空特征,分析“建成环境-行人活动-出行安全”之间的耦合机理;从微观层面,利用3D仿真模拟软件测量不同建成环境中一定车流量、车速情况下行人的心率、眼动和反应时间等心理生理反应作为行为反应指数,观测并评估行人步行行为的安全性,开展基于行人行为反应的“建成环境-行为特征-步行行为安全性”的室内模拟试验研究(图5)。

3) 加强学科交叉,将交通安全贯穿于城市的规划、建设、管理全过程。

人民群众的生命安全和身体健康是头等大事,交通安全是关系生命安全的重要组成部分。目前国内交通安全与城市规划的脱节,导致了事故发生后的“被动交通安全改善”,这种事后补救的方法经

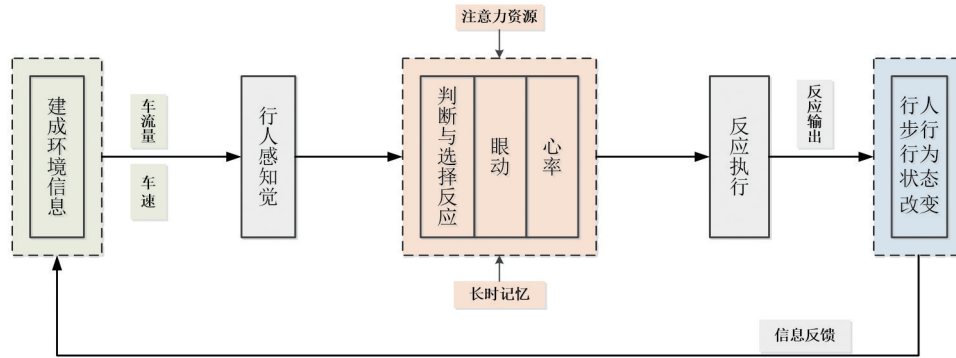


图5 “建成环境-行为特征-步行行为安全性”室内模拟试验研究过程

济社会成本过高,而且即使找到缺陷整体改造的花费太高,对潜在的交通安全风险不易发现^[71]。因此,应加强地理学和城乡规划学、交通运输工程学科的交叉融合,综合考虑城市发展模式、密度(人口密度、经济密度、设施密度)、土地利用混合度、行人基础设施、道路设计、交通管理设施等建成环境要素对交通安全的影响,将城市规划和交通工程相衔接,建立从宏观到微观的主动交通安全体系。将交通安全融入城市总体规划、详细规划、土地利用、综合交通规划、道路网络规划,融入到道路设计、道路景观设计、道路运营、交通管理的全周期过程各环节,在规划、建设、管理等实践领域实现城市规划与交通安全的衔接,从城市建成环境层面减少交通事故的发生,以建成环境的优化来促进人的出行安全。

参考文献(References)

- [1] 国务院安全生产委员会. 道路交通安全“十三五”规划[EB/OL]. [2022-09-20]. http://www.mem.gov.cn/awhsy_3512/gwyawh/201709/t20170907_246388.shtml.
- [2] 赵琳娜, 贾兴无, 戴帅. 中国城市道路交通安全特点解析[J]. 城市交通, 2018, 16(3): 9-14.
- [3] 陆化普. 城市交通管理评价体系[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
- [4] 张殿业. 道路交通安全管理评价体系[M]. 北京: 人民交通出版社, 2005.
- [5] 谭少华, 李英侠. 住区街道步行安全影响因素实证研究[J]. 城市问题, 2014(8): 50-54.
- [6] Roll J, McNeil N. Race and income disparities in pedestrian injuries: Factors influencing pedestrian safety inequity[J]. Transportation Research Part D-Transport and Environment, 2022, 107: 103294.
- [7] Zahabi S, Strauss J, Manaugh K, et al. Estimating potential effect of speed limits, built environment, and other factors on severity of pedestrian and cyclist injuries in crashes[J]. Transportation Research Record, 2011(2247): 81-90.
- [8] Osama A, Sayed T. Macro-spatial approach for evaluating the impact of socio-economics, land use, built environment, and road facility on pedestrian safety[J]. Canadian Journal of Civil Engineering, 2017, 44(12): 1036-1044.
- [9] Grigoropoulos G, Hosseini S A, Keler A, et al. Traffic simulation analysis of bicycle highways in urban areas[J]. Sustainability, 2021, 13(3): 1016.
- [10] Van Cauwenberg J, Van Holle V, Simons D, et al. Environmental factors influencing older adults' walking for transportation: A study using walk-along interviews[J]. International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity, 2012, 9: 85.
- [11] Aziz H, Nagle N N, Morton A M, et al. Exploring the impact of walk-bike infrastructure, safety perception, and built-environment on active transportation mode choice: A random parameter model using New York City commuter data[J]. Transportation, 2018, 45(5): 1207-1229.
- [12] 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(2S): 64-73.
- [13] Frank L D, Schmid T L, Sallis J F, et al. Linking objectively measured physical activity with objectively measured urban form: Findings from SMARTRAQ[J]. American Journal of Preventive Medicine, 2005, 28(2S2): 117-125.

- [14] Gitelman V, Levi S, Carmel S, et al. Exploring patterns of child pedestrian behaviors at urban intersections[J]. *Accident, Analysis and Prevention*, 2018, 122: 36–47.
- [15] Vansteenkiste P, Zeuwts L, Cardon G, et al. A hazard-perception test for cycling children: An exploratory study [J]. *Transportation Research: Part F*, 2016, 41: 182–194.
- [16] Daniela K, Wolfgang S. Older People’s perceptions of friendliness and traffic safety: An experiment using computer-simulated walking environments[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2015, 12(8): 10066–10078.
- [17] Gálvez-Pérez D, Guirao B, Ortuño Padilla A, et al. The influence of built environment factors on elderly pedestrian road safety in cities: The experience of madrid[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, 19(4): 2280.
- [18] Yang Y, Chung H, Kim J S, et al. Local or neighborhood? Examining the relationship between traffic accidents and land use using a gradient boosting machine learning method: The case of Suzhou Industrial Park, China[J]. *Journal of Advanced Transportation*, 2021: 8246575.
- [19] Liu H, Wei H, Zuo T, et al. Fine-tuning ADAS algorithm parameters for optimizing traffic safety and mobility in connected vehicle environment[J]. *Transportation Research Part C—Emerging Technologies*, 2017, 76: 132–149.
- [20] Sun Y, Zhang J, Wang X, et al. Recognition method of drinking-driving behaviors based on PCA and RBF neural network[J]. *Promet*, 2018, 30(4): 407–417.
- [21] Alisan O, Tuydes-Yaman H, Ozguven E E. Tabu-Search-Based combinatorial subset selection approach to support investigation of built environment and traffic safety relationship[J]. *Transportation Research Record*, 2022, doi: 10.1177/03611981221108161.
- [22] Jongeneel-Grimen B, Busschers W, Droomers M, et al. Change in neighborhood traffic safety: Does it matter in terms of physical activity? [J]. *PLoS One*, 2013, 8(5): 62525.
- [23] Esteban-Cornejo I, Conway C Carlson J A, Conway T L, et al. Parental and adolescent perceptions of neighborhood safety related to adolescents’ physical activity in their neighborhood[J]. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 2016, 87(2): 191–199.
- [24] Hu L, Wu X H, Huang J, et al. Investigation of clusters and injuries in pedestrian crashes using GIS in Changsha, China[J]. *Safety Science*, 2020, 127: 104710.
- [25] Jones D K, Evenson K R, Rodriguez D A, et al. Addressing pedestrian safety: A content analysis of pedestrian master plans in north carolina[J]. *Traffic Injury Prevention*, 2010, 11(1): 57–65.
- [26] Cervero R, Kockelman K M. Travel demand and the 3Ds: Density, diversity and design[J]. *Transportation Research*, 1997, 2(3): 199–219.
- [27] Ewing R, Cervero R. Travel and the built environment: A meta-analysis[J]. *Journal of the American Planning Association*, 2010, 76(3): 265–294.
- [28] Handy S, Cao X, Mokhtarian P L. Self-Selection in the relationship between the built environment and walking: Empirical evidence from Northern California[J]. *Journal of the American Planning Association*, 2006, 72(1): 55–74.
- [29] Hamidi S, Ewing R, Preuss I, et al. Measuring sprawl and its impacts[J]. *Journal of Planning Education and Research*, 2015, 35(1): 35–50.
- [30] NHTSA. Traffic safety facts 2011: A compilation of motor vehicle crash data from the fatality analysis reporting system and the general estimates system[R]. Washington: NHTSA, 2011.
- [31] Ewing R, Pendall R, Chen D. Measuring sprawl and its transportation impacts[J]. *Transportation Research Record*, 2003, 1831(1): 175–183.
- [32] Ewing R, Schweiber R, Zegeer C V. Urban sprawl as a risk factor in motor vehicle occupant and pedestrian fatalities[J]. *American Journal of Public Health*, 2003, 93(9): 1541–1545.
- [33] Dumbaugh E, Rae R. Safe urban form: Revisiting the relationship between community design and traffic safety [J]. *Journal of the American Planning Association*, 2009, 75(3): 309–329.
- [34] Yeo J, Park S, Jang K, et al. Effects of urban sprawl and vehicle miles traveled on traffic fatalities[J]. *Traffic Injury Prevention*, 2015, 16(4): 397–403.
- [35] Moudon A V, Lin L, Jiao J F, et al. The risk of pedestrian injury and fatality in collisions with motor vehicles, a social ecological study of state routes and city streets in King County, Washington[J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2011, 43(1): 11–24.
- [36] Graham D, Glaister S. Spatial variation in road pedestrian casualties: The role of urban scale, density and land-use Mix[J]. *Urban Studies*, 2003, 40(8): 1591–1607.
- [37] Ding C, Chen P, Jiao J F. Non-linear effects of the built environment on automobile-involved pedestrian crash Frequency: A machine learning approach[J]. *Accident*

- Analysis & Prevention, 2018, 112: 116–126.
- [38] Agran P F, Winn D G, Anderson C L. The role of the physical and traffic environment in child pedestrian injuries[J]. *Pediatrics*, 1996, 98(1): 1096–103.
- [39] Ukkusuri S, Hasan S, Aziz H M A. Random parameter model used to explain effects of built–environment characteristics on pedestrian crash frequency[J]. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2011, 2237: 98–106.
- [40] Narayanamoorthy S, Paleti R, Bhat C R. On accommodating spatial dependence in bicycle and pedestrian injury counts by severity level[J]. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2013, 55: 245–264.
- [41] Wang Y, Kockelman K M. A poisson–lognormal conditional–autoregressive model for multivariate spatial analysis of pedestrian crash counts across neighborhoods[J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2013, 60: 71–84.
- [42] Miranda–Moreno L F, Morency P, El–Geneidy A M. The link between built environment, pedestrian activity and pedestrian–vehicle collision occurrence at signalized intersections[J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2011, 43: 1624–1634.
- [43] Chen P, Zhou J. Effects of the built environment on automobile–involved pedestrian crash frequency and risk[J]. *Journal of Transportation Health*, 2016, 3(4): 448–456.
- [44] Ukkusuri S, Miranda–Moreno L F, Ramadurai G, et al. The role of built environment on pedestrian crash frequency[J]. *Safety Science*, 2012, 50: 1141–1151.
- [45] Siddiqui C, Abdel–Aty M, Choi K. Macroscopic spatial analysis of pedestrian and bicycle crashes[J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2012, 45: 382391.
- [46] Retting R, Ferguson S, McCart A. A review of evidence–based traffic engineering measures designed to reduce pedestrian–motor vehicle crashes[J]. *American Journal of Public Health*, 2003, 93: 1456–1463.
- [47] Hanson C S, Noland R B, Brown C. The severity of pedestrian crashes: An analysis using google street view imagery[J]. *Journal of Transport Geography*, 2013, 33: 42–53.
- [48] Sullivan J M, Flannagan M J. The role of ambient light level in fatal crashes: Interferences from daylight savings time transitions[J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2002, 34(4): 487–89.
- [49] Griswold J, Fishbain B, Washington S, et al. Visual assessment of pedestrian crashes[J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2011, 43(1): 301–306.
- [50] Isola P D, Bogert J N, Chapple K M, et al. Google street view assessment of environmental safety features at the scene of pedestrian automobile injury[J]. *Journal of Trauma & Acute Care Surgery*, 2019, 87(1): 82–86.
- [51] Tanja C, Giovanni S, Paolo C, et al. Built environment features and pedestrian accidents: An italian retrospective study[J]. *Sustainability*, 2019, 11(4): 1064–1078.
- [52] Dumbaugh E. Safe streets, livable streets[J]. *Journal of the American Planning Association*, 2005, 71(3): 283–300.
- [53] Zegeer C V, Council F M. Safety relationships associated with cross–sectional roadway elements[J]. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1995: 29–36.
- [54] Swift P, Painter D, Goldstein M. residential street typology and injury accident frequency[R]. Longmont: Longmont Planning Department, 2006.
- [55] Guo Q, Xu P P, Pei X, et al. The effect of road network patterns on pedestrian safety: A zone–based Bayesian spatial modeling approach[J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2017, 99: 114–124.
- [56] Marks H. Subdividing for traffic safety[J]. *Traffic Quarterly*, 1957, 11(3): 308–325.
- [57] Persaud B N, Retting R A, Garder P E, et al. Crash reductions following installation of roundabouts in the United States[R]. Arlington, VA: Insurance Institute for Highway Safety, 2002.
- [58] Hadayeghi A, Shalaby A S, Persaud B N, et al. Temporal transferability and updating of zonal level accident prediction Models[J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2006, 38(3): 579–589.
- [59] Ladrón de Guevara F, Washington S P, Juteak O, et al. Forecasting crashes at the planning level: Simultaneous negative binomial crash model applied in Tucson, Arizona[J]. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2004, 1897: 191–199.
- [60] Zhao H, Yin Z Y, Chen R, et al. Investigation of 184 passenger Aar – Pedestrian accidents[J]. *International Journal of Crashworthiness*, 2010, 15(3): 313–320.
- [61] Charles V, Zegeer. Pedestrian crash trends and potential countermeasures from around the world[J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2012, 44(1): 3–11.
- [62] Khayesi, Margie, Peden, Margaret M. World report on road traffic injury prevention[R]. Geneva: World Health Organization, 2004.
- [63] Zegeer C V, Seiderman C, Lagerwey P, et al. Pedestrian facilities users guide—providing safety and mobility[R]. Chapel Hill, NC: Highway Safety Research Center.

- 2002.
- [64] Box P C. Curb-Parking problems: Overview[J]. Journal of Transportation Engineering, 2004, 130(1): 1-5.
- [65] Geoplan Urban&Traffic Planning. Evaluation of pedestrian road safety facilities[R]. Sydney: Road Safety Bureau, Roads&Traffic Authority, 1993.
- [66] Sullivan J M, Flannagan M J. The role of ambient light level in fatal crashes: Interferences from daylight savings time transitions[J]. Accident Analysis & Prevention, 2002, 34(4): 487-89.
- [67] 柳林, 宋广文, 周素红, 等. 城市空间结构对惠州市中心城区交通事故影响的时间差异分析[J]. 地理科学, 2015, 35(1): 75-83.
- [68] 王成, 谢波. 土地利用视角下城市交通事故驱动机理的研究进展[J]. 地理科学, 2020(9): 1597-1606.
- [69] 谢波, 庞哲, 安子豪. 基于交通安全视角的城市土地混合利用模式研究[J]. 城市发展研究, 2020, 27(8): 19-24.
- [70] 王雪松, 袁景辉. 城郊公路路网特征交通安全影响研究[J]. 中国公路学报, 2017, 30(4): 106-114.
- [71] 王岩, 杨晓光. 主动道路交通安全规划体系[J]. 系统工程, 2006, 24(1): 30-35.

International research progress on the impact of built environment on travel safety and its enlightenment

Chen Chun^{1,2}, Yang Qinzhil¹, Li Yuanyuan^{3*}

1. College of Smart City, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China

2. Centre of Ecological Habitat and Green Transportation, Chongqing 400074, China

3. Chongqing Land Consolidation and Rehabilitation Center, Chongqing 400024, China

Abstract With the rapid urbanization and motorization in China, road traffic accidents occur frequently. The improvement of built environment can effectively reduce the travel risk of pedestrians. However, at present, it draws little attention in China. Therefore, based on the existing literature and research, this paper systematically combs the related research on the impact of built environment on travel safety, and systematically reviews the research progress in this field from five aspects including urban development mode, density, land use, road environment and traffic management. This paper puts forward suggestions and prospects for the future study of built environment and travel safety in China, and appeals to urban planning academia to increase the research and attention on the impact of built environment on traffic safety.

Keywords built environment; travel behavior; traffic safety; healthy city ●



(责任编辑 卫夏雯)