

自行车出行行为影响因素的研究现状与展望

李少英*, 庄财钢, 梁孔华, 郭恩彤

(广州大学地理科学与遥感学院, 广州 510006)

摘要:提高自行车出行分担率有助于优化城市交通出行结构、促进“双碳”目标的实现。探讨自行车出行行为影响因素对规划建设友好骑行环境、提高居民骑行意愿具有重要的指导意义。论文对近 24 年来国内外自行车出行行为的影响研究现状与趋势、影响因素、建模方法和建模尺度进行文献综述与归纳凝练。研究发现:①该领域研究在 2007 年以来呈快速增长态势,其中美国和中国发文量位居世界前二。②社会经济、自然环境、建成环境和道路交通因素成为学者们研究自行车出行行为影响机制关注的焦点。③随着共享自行车的兴起,利用骑行 GPS 时空大数据研究自行车出行的影响因素成为热点,其建模方法和建模空间尺度与基于居民出行调查数据的研究存在显著差异。最后,总结当前自行车出行行为影响因素研究所存在的局限性,并指出大样本和精细尺度下的个体社会经济属性挖掘、主观人本感知因素分析以及我国后疫情时代下的骑行行为等是该领域未来的重要研究方向。

关键词:自行车出行行为;影响因素;建模方法;空间尺度

DOI:10.48014/cgsr.20220726001

引用格式:李少英,庄财钢,梁孔华,等. 自行车出行行为影响因素的研究现状与展望[J]. 中国地理科学评论,2023,1(1):1-15.

0 引言

与传统的机动车出行相比,自行车出行作为一种健康环保、灵活便捷、经济实惠的交通方式,在减少交通碳排放、缓解城市拥堵问题、提高城市内部公交资源利用率以及增强城市交通韧性等方面发挥着至关重要的作用^[1-3]。近年来,“有桩”公共自行车与“无桩”共享单车(以下统称共享自行车,公共自行车以下统称公自)等共享微出行在我国的大量涌现,扭转了过去慢行交通分担率逐年下降的趋势。但与此同时,我国居民机动车保有量仍在不断增加。相比之下,居民自行车出行的比重仍然较低,城市交通出行结构不合理的现象依旧突出^[4,5]。究其原因,主要在于城市慢行交通系统规划不够完善、骑行资源的管理与分配

不够合理导致自行车出行的益处难以普惠大众。因此,深入探讨自行车出行行为的影响机制,制定提高居民骑行意愿的空间政策,规划建设人本导向的友好型骑行环境,是让自行车回归城市的关键,同时也是实现我国“双碳”目标以及优化城市交通出行结构亟须解决的重要科学问题。

近年来,尤其是共享单车兴起以后,自行车出行在城市交通中所发挥的积极效应逐渐被重视,相关微出行研究也逐渐成为国内外学者关注的热点。当前,自行车出行行为影响因素研究在内容上与方法上均取得重要进展。为此,本文首先将尝试通过文献计量的方法对国内外自行车出行行为影响因素研究的现状与趋势进行梳理;之后,归纳已有文献在社会人口、自然环境、建成环境与交通出行这 4

* 通讯作者 Corresponding author: 李少英, lsy@gzhu.edu.cn

收稿日期:2022-07-26; 录用日期:2022-08-24; 发表日期:2023-03-28

基金项目:本研究得到了国家自然科学基金项目(资助号:41871290,42271467)的资助。

类影响因素下的研究进展,总结基于出行调查数据与骑行 GPS 时空大数据两种不同数据源下自行车出行影响分析的主要建模方法与建模的空间尺度。最后,提出该领域研究尚待解决的一些科学问题和未来主要研究方向,以期为后续研究提供思路借鉴。

1 自行车出行行为影响因素研究现状与趋势

为了准确地把握国内外自行车出行行为影响的研究进展,本文基于 Web of Science 数据库,通过文献主题检索发表于 1998—2021 年的英文文献。在检索过程中,选取自行车相关单词作为关键词,出行行为相关单词作为限定词,进行联合检索,其中关键词包括 cyclists/riders、bicycle/bike/bike sharing、free-floating/dockless bikeshare/bike/bicycle、public/docked bikeshare/bike/bicycle、bike sharing system/programs、bike sharing usage;限定

词包括 cycling benefits、bikeability、bicycle/built environment、travel/trip activity/patterns/demand/behavior、physical activity、urban green space、street greenness、street morphology、air pollution、traffic congestion、safety、transit、metro/bus station、urban planning、non-motorized transport,初步检索获得 9285 条文献记录。进一步对研究的学科领域进行限定并剔除与研究主题不符的文献,最终精炼检索得到 1596 篇文献。

从文献的发表年份上看,自行车出行行为影响因素研究在 2007 年以前发展缓慢,年均发文量不足 5 篇;但在此之后,这一领域研究呈快速的增长态势,发文量的年平均增速达 37.6% (仅 2020 年受新冠疫情影响,发文量出现负增长)。相关文献的大量涌现与共享自行车的兴起及绿色低碳出行理念的推广密切相关。共享自行车相关文献的发文量与总发文量占比的逐年提升也说明了其对这一领域研究的发展有显著的促进作用(图 1)。

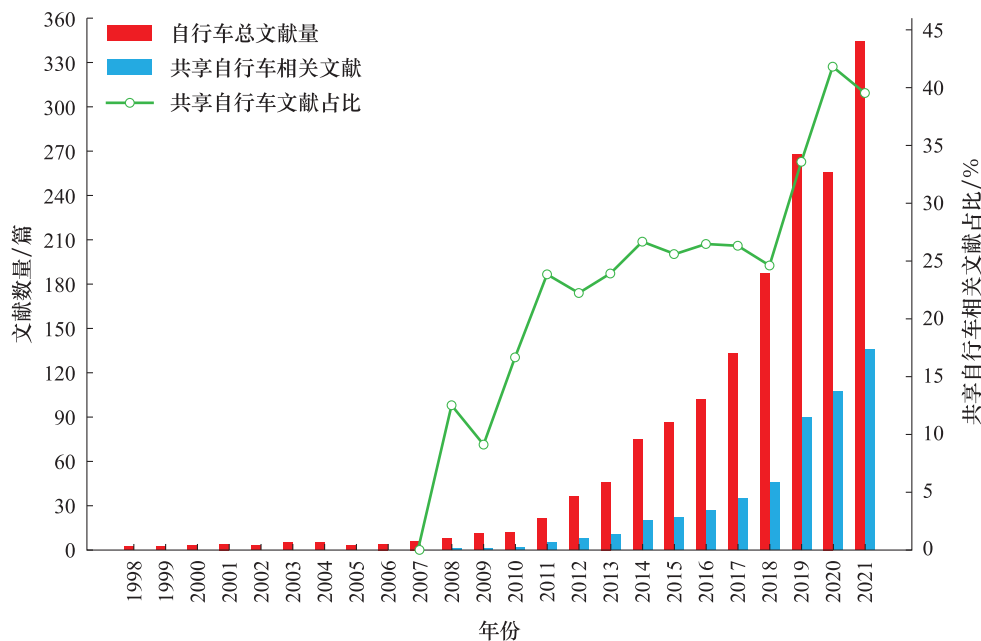


图 1 1998—2021 年自行车出行行为影响因素相关论文变化趋势

Fig. 1 Changes in papers related to factors influencing bicycle travel behavior, 1998—2021

在世界范围内,自行车出行行为影响因素研究主要集中于欧洲、北美洲与亚洲,其余大洲的总发文量占比不足 10% (图 2(c))。在国家层面上,中美两国学者的发文量位居世界前二(分别为 783 与 823),并与其他国家拉开巨大的差距(排名第三的加拿大发文量仅为 267)。进一步统计发现,截至

2021 年,仍在运营的共享自行车系统数量位居世界首位的是中国,达到 697 个;其次为美国,但数量仅为 174 个,不足中国的四分之一。相应地,美国共享自行车相关的发文量也仅为中国的一半(图 2(a))。这说明,共享自行车的兴起,极大地推动了中国在该研究领域的发展。通过对比发文量排名前 30 的国家

发现,尽管共享自行车系统数量与共享自行车相关文献量的相关性不强(Spearman 系数为 0.37),但自行车总文献量与共享自行车文献量则呈较强的相关

性(Spearman 系数为 0.75),表明共享自行车出行研究已逐渐成为自行车出行行为影响因素研究的一个重要分支(图 2(b))。

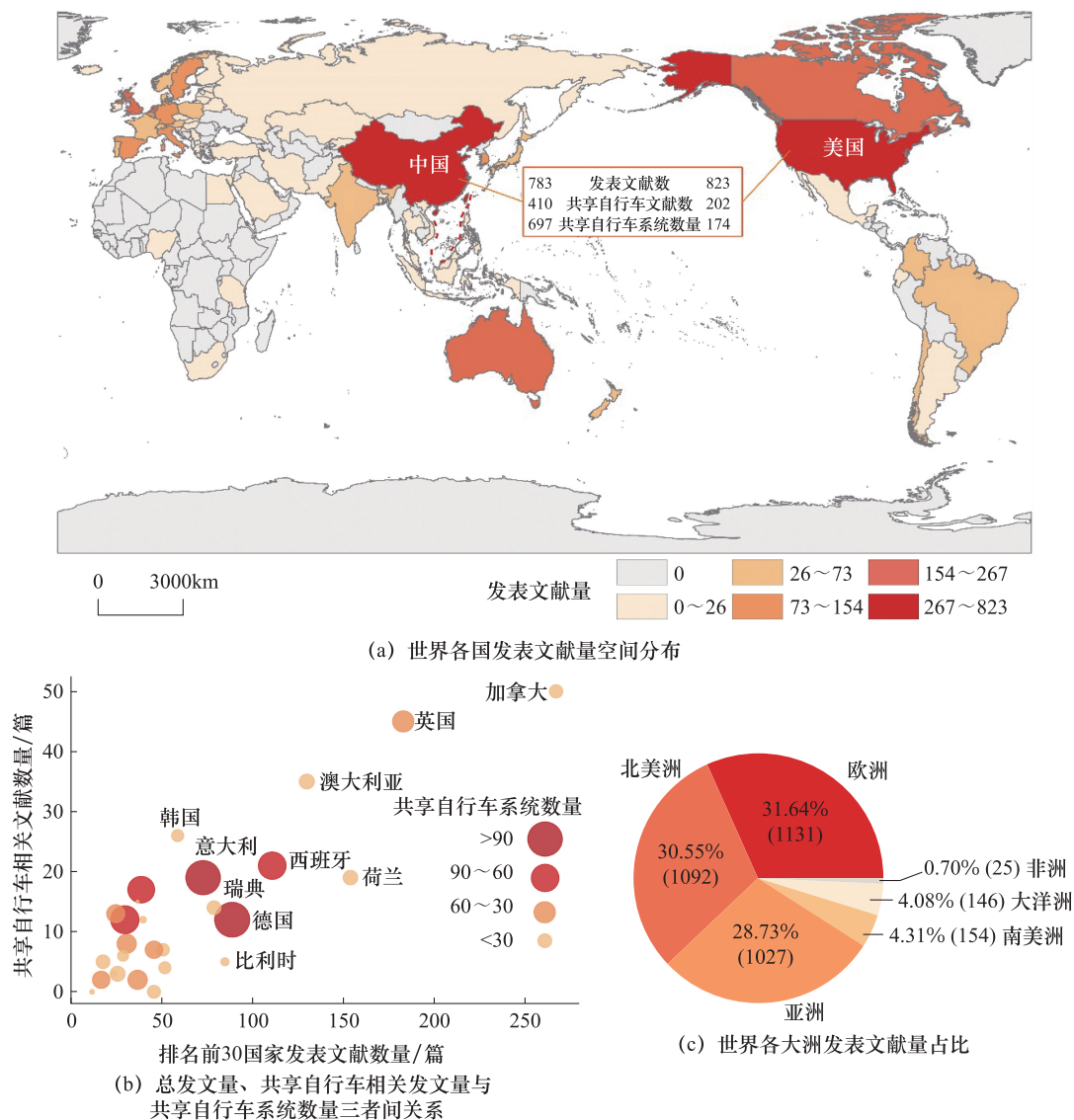


图 2 自行车出行行为影响因素研究世界范围分布

Fig. 2 Worldwide distribution of studies on factors influencing bicycle travel behavior

注:1. 该图基于自然资源部地图技术审查中心标准地图服务网站下载的审图号为 GSS(2016)1667 号的标准地图制作,底图无修改。

2. 公自与共享单车运营数量数据获取自 The Meddin Bike-sharing World Map(<http://www.bikesharingworld.com/>)2021 年中的统计数据

这一研究领域的文献主要发表在地理类,交通运输类与环境生态类的期刊上。刊文量前 15 的期刊占总发文量的 63.8%,其中,交通运输类期刊《Transportation Research Record》刊文量最多,环境生态类期刊《Sustainability》次之,交通地理类期刊《Journal of Transport Geography》排名第三。在平均引用次数方面,综述类期刊《Transport Re-

views》排名第一并远高于排名次之的交通运输类期刊《Transportation》(图 3)。尽管上述期刊在学科领域划分上存在差异,但也体现了自行车出行行为影响因素研究正朝着学科交叉的方向发展:地理时空大数据已被广泛运用于交通运输领域,旨在改善当前城市出行结构以促进居民的绿色低碳出行。

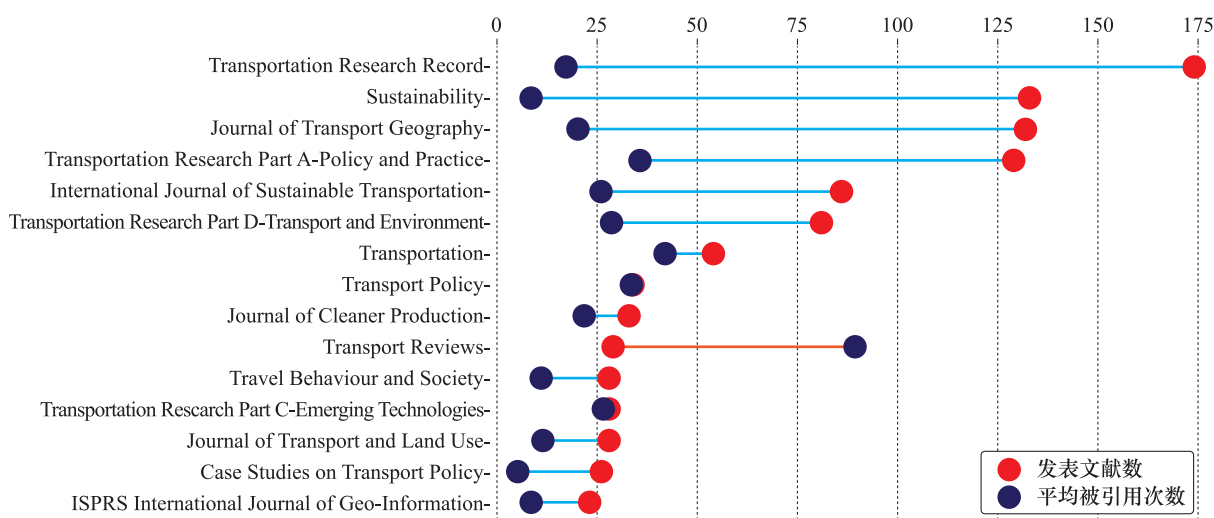


图3 1998—2021年自行车出行行为影响因素研究刊文量前15的期刊

Fig. 3 Top 15 journals for research on factors influencing bicycle travel behavior, 1998–2021

通过运用文献分析工具 VOSviewer, 对研究领域内文献的标题、摘要与关键词进行分词提炼, 对高频出现的单词进行聚类与时序分析, 进而揭示主要的研究方向与演变趋势。在 1998—2021 年间, 该领域内的研究主题主要包括三大类, 本文使用各类别中出现频率最高的单词 (即 Cycling、Cyclist 与 System) 分别进行指代。在研究方向上 (图 4(a)), Cycling 类与 Cyclist 类的网络空间距离较近, 表明两者间的研究存在诸多关联, 但它们的侧重点有所不同, cycling 类更偏向于通过对调查手段 (survey) 探讨个体骑行行为的选择 (choice)、感知 (perception) 与益处 (benefit), 而 Cyclist 类则更关注骑行者的安全性 (safety), 探讨可能影响骑行安全的因素, 诸如速度 (speed)、交通 (traffic) 与设施 (facility) 等。System 类则围绕着共享自行车系统, 从单车站点 (station) 或骑行网络 (network) 的供需状况 (demand), 结合土地利用 (land use) 等建成环境属性研究自行车出行行为。从演变趋势上看 (图 4(b)), 2017 年以前, 基于调查数据的 Cycling 类与 Cyclist 类是主要的研究热点。在此之后, 随着共享自行车在全球范围内的兴起与其所产生的骑行时空大数据的出现, System 类逐渐成为领域内研究的主流。

2 自行车出行行为的影响因素

与机动车 (包括私家车、出租车、公交车、摩托车等) 或轨道交通出行相比, 出行里程的长短是影

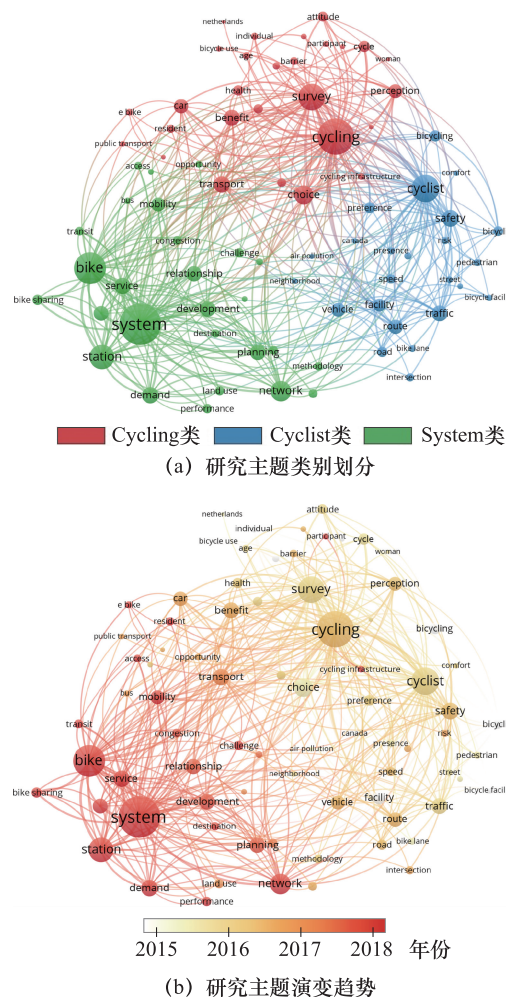


图4 1998—2021年自行车出行行为影响因素研究关键词

Fig. 4 Keywords for research on factors influencing bicycle travel behavior, 1998–2021

响自行车出行的主要因素:随着出行距离的增加,人们选择骑行的可能性也会随之下降^[6]。而与同样为慢行出行的步行相比,骑行设施健全与否、骑行环境友好与否则是人们选择骑行的重要变量^[7]。从文献分析看,社会人口、自然环境、建成环境和交通出行因素是国内外学者们研究自行车出行行为影响机制关注的焦点。下文将从这四个方面对研究成果进行总结。

2.1 社会人口因素

在早期研究中,相关学者主要通过调查或访谈数据分析人们的社会属性对骑行行为的影响^[8-11]。共享自行车兴起之后,由于骑行用户所产生的出行数据中缺少详细的社会属性信息,部分学者尝试结合人口与社会经济普查数据进行探讨^[12-14]。已有关于社会人口影响因素的研究主要从性别、年龄、教育以及收入水平这四个方面展开。

在性别方面,众多实证研究发现,私人自行车骑行群体中的男性比例要高于女性,其原因与地域文化、骑行安全性、家庭责任(诸如接送子女)等因素有关^[8-11]。但也有研究指出,在通勤距离较短、骑行设施健全的条件下,女性骑行的比例会得到提高^[8]。而在共享自行车的相关研究中,诸多学者发现,公自在欧美地区男女用户比例失衡的现象依然存在,女性使用群体的占比远低于男性^[15-17];而 Gu 等^[18]与朱玮等^[19]的研究发现,我国共享单车用户群体在性别组成上已逐渐趋于平等。

在年龄方面,18~34 岁的年轻人是最主要的骑行群体,在年轻人口占比更高的城市,自行车出行的比重也会有所增加^[10,14,18]。尽管共享自行车出于安全考虑限制了未成年人的使用^[12],但 Rietveld 和 Daniel^[9]通过对私人自行车使用群体的调查发现,12 岁以上的未成年人也是一个重要的骑行群体,骑行甚至是他们首要的出行方式。对于年龄大于 50 岁的老年群体,大部分研究表明,他们往往受限于身体条件而不倾向于选择自行车出行^[20,21];此外, Ma 等^[13]的研究发现,相较于公自,需要依靠智能手机与移动支付才能租赁的共享单车对老年人具有一定的使用门槛,同样抑制了他们的使用。在教育水平方面,已有研究普遍认为受教育程度与自行车的使用频率呈正相关性^[9,21,22]。其中,高校学生是

最活跃的骑行群体,具有较大的骑行需求与骑行潜力^[21,23]。也正因如此,共享单车首选高校作为试验田,并逐渐形成当前风靡全球的运营模式。

在收入水平方面,不少学者在早期私人自行车的出行研究中发现,高收入与拥有私家车或驾驶证的人群使用自行车的频率更低^[9,11,24,25]。但也有学者认为,不同的收入群体对骑行行为的影响十分有限^[20,23]。然而,在共享自行车出现之后,诸多研究发现,发达国家的中高收入群体对自行车的使用频率有了明显的提升,其原因一方面是因为共享自行车在短程出行上更灵活便利,能够避免交通拥堵;另一方面则是与骑行资源的分配不平等有关^[26-28]。如 Rixey^[26]指出低收入社区周边的公自站点数量太少, Murphy 和 Ushaer^[27]认为办理公自租赁卡的所需押金较高,这些因素都阻碍了低收入群体的日常使用。相比之下, Shaheen 等^[21]和 Xin 等^[29]发现,中低收入人群是中国共享自行车的主要用户群体,这一定程度反映了我国在交通资源分配上更加公平。

2.2 自然环境因素

自然环境对私人与共享自行车出行的影响研究结论基本一致。已有研究主要从长期的气候特征、短期的天气变化、地形坡度三个方面的因素探讨自然环境对自行车出行的影响。

气候特征对自行车出行的长期影响主要体现在季节与气温的年变化对骑行行为的周期性影响,总体表现为人们骑行意愿的年际变化随着所处地区纬度的升高而增大。在热带与亚热带地区,由于常年气温较高,四季变化并不显著,当地居民骑行意愿的年际变化较小^[11]。而在温带地区,由于纬度的升高,季节变化明显,当地居民更倾向于在气温较高的夏秋季使用自行车出行,而在冬季骑行意愿则降至最低^[11,30,31]。

对于短期的天气变化,又可进一步细分为温度的日变化以及各类天气状况对自行车出行的影响。已有研究普遍认为,在体感适宜的条件下,气温的升高对骑行意愿与骑行距离均有促进作用,但这种促进作用会随着温度的升高而逐渐减弱^[11,30,32,33]。当气温过高或过低时,则会抑制自行车出行^[31,34]。在降水、大风、雾霾等不利天气下,人们使用自行车

出行的意愿也会极大降低^[12,27,30,33-37]。其中,降水被认为是在短时间内影响骑行最显著的因素,Shen等^[34]发现降水会大幅减少通勤高峰时段居民对共享单车的使用,Reiss^[36]则指出大雨过后,至少需要3小时公自的使用量才能恢复到平均水平。

此外,大量研究表明,地形坡度对自行车出行存在负面影响^[38-40]。例如,Rodriguez和Joo^[38]指出,起伏的地形会显著增加骑行通勤时间与体力消耗,进而降低人们使用自行车通勤的意愿;而Lazarus等^[41]发现公自用户骑行轨迹的高度差普遍较小;其他学者也发现坡度与自行车骑行量均呈显著的负相关关系^[39,40]。

2.3 建成环境因素

建成环境通常是指为人类活动而提供的人造环境,该因素对自行车出行的影响备受城市规划领域学者的关注。由Ewing和Cervero^[42]所提出的5D指标框架被广泛应用于表征影响自行车出行的建成环境。因此,本文将围绕密度(Density)、多样性(Diversity)、目的地可达性(Destination accessibility)、设计(Design)与接驳距离(Distance to transit)这五个方面综述当前的研究进展。

在密度维度上,已有研究常用人口密度、容积率、就业密度或用地密度分析其对自行车出行的影响。许多研究表明,高人口密度或高容积率的建成环境对骑行有促进作用,这与人口集聚所产生的更多出行需求有关^[12,32,40,43-46]。而就业密度在工作日对共享自行车骑行的影响则更为显著,体现了公自与共享单车均在促进居民骑行通勤上发挥积极作用^[32,43]。不同类型的用地密度对骑行行为的影响存在不同的时间模式。在工作日早晚高峰,住宅与商业办公用地密集的区域骑行更为频繁^[14,34,39,44,47]。在工作日晚间或休息日,休闲娱乐与购物餐饮用地密集的区域则更吸引居民骑行前往^[12,14,44,47-50];且已有研究发现,相比于公自,灵活便捷、即借即停的共享单车在多样化的非通勤出行上更受居民青睐^[13,52]。

在多样性维度上,现有研究普遍认为,用地混合度与自行车出行量呈正比关系,用地混合度越高的区域往往会产生更多骑行^[12,14,34,49-51]。而Zhang等^[48]以新加坡的共享单车为例,进一步发现人们更

倾向于从用地混合度低的区域骑往用地混合度高的区域。

在目的地可达性维度上,相关研究通常借助道路密度、交叉口数量与路网形态进行测算。在道路密度较高的区域,路网的连通性与可达性往往也更优,进而能够吸引更多骑行活动,这是以往研究得到的普遍共识^[43,51]。也有一些学者进一步发现,城市次干道密度对骑行的促进作用要强于主干道^[12,50]。而交叉口数量对骑行的影响则呈现两种不同的观点:不少学者认为更多的交叉口意味着更为密集的路网与更强的可达性,因此对骑行有正向影响^[40,53]。但也有学者认为,密集的交叉口会降低骑行的流畅性,频繁地过街也会降低骑行的安全性,进而抑制骑行行为^[12,14,32,54]。一些学者则尝试将空间句法理论应用于相关研究,通过计算路网的形态学指标,发现路网的中心性、邻近度与可达范围对自行车出行有促进作用,而绕行率则存在抑制作用,并指出这些形态指标对骑行的影响存在阈值效应^[54,55]。

在设计维度上,学者们往往关注骑行设施、街道景观等因素。其中,在骑行设施方面,具备专用型或分隔式自行车道的路网被证明更能促进骑行^[14,34,45];完善的单车停放设施被证明能够提高居民的骑行比重^[8,46,56]。同时,El-Assi等^[32]对多伦多的研究发现,公自用户更倾向于骑行前往规模更大的公自站点,以便能够找到停车桩归还单车,且这一现象在工作日尤为明显。相比之下,共享单车用户则更关心能否顺利地租借到单车,因此更多的骑行聚集于单车供应量充裕的区域^[34,48]。在街道景观方面,现有研究证明街道的绿视率与天空开阔度对自行车出行有积极影响,且良好的街景绿化与宽敞的街道视野能够提高骑行的舒适度^[40,50,57]。此外,平整的路面铺装、醒目的交通标志、安全的过街设施以及充足的照明条件被证明在提高居民的骑行意愿方面作用显著^[11,39,56,58,59]。

在接驳距离维度上,现有研究主要关注地铁与公交站点分布对自行车出行的影响。在较早的研究中,Zhao^[60]发现距离公共交通站点越近,人们选择私人自行车通勤的意愿越低,表明公共交通对私人自行车具有替代效应。而共享自行车与城市公共交通则具有较好的互补关系,众多研究已表明,

区域内的接驳站点越密集,共享自行车的骑行量越高^[13,19,43,47,54]。但也有学者发现,这种互补效应在公共交通发达的市区较为明显,而在市郊则逐渐减弱,甚至产生相反作用^[14]。此外,伴随着共享单车与地铁接驳模式的盛行,也有不少学者将这种复合出行方式作为研究对象并探究其影响机制^[14,40,61,62]。

2.4 交通出行因素

骑行者作为道路交通中的弱势群体,骑行安全性是影响出行体验与出行意愿的重要因素,并且学生、女性与老年群体对安全问题更加敏感^[15,21,23]。在已有研究中,道路机动车流量与自行车骑行量间被证明存在显著的正向关系,在通勤高峰或城市主干道,高密度的机动车与自行车流量更可能同时出现^[55,57]。而“机非混行”被人们认为是降低骑行安全的主要因素^[63],能够在独立且不被占用的自行车道或严格限速的街道上骑行则被认为更加安全可靠^[64,68]。此外,人们在使用自行车过程中往往缺乏必要的防护措施,道路机动车尾气等空气污染物对骑行者健康的影响逐渐被学者所关注。现有研究表明,在通勤高峰使用自行车出行存在着更高的空气污染物暴露风险^[55,65],且 Zhao^[60]发现空气污染会降低人们使用私人自行车的出行意愿;而曹小曙等^[38]则指出,由于刚性的通勤需求或空气污染不易被感知,空气质量下降其对居民骑行公自的影响并不显著。

除了路况因素外,多样化慢行交通方式的涌现同样影响着自行车出行。在共享单车出现并被广泛推广之后, Ma 等^[13]通过对比传统公自与共享单车在同一时段下的影响机制发现,两者在出行量上相互影响、相互促进,呈互补关系,但共享单车在投放量上远大于公自,且“无桩”的优势使其在空间上的分布更广、对路网的渗透能力更强,由此,传统公自的市场份额被不断挤占。近年来,随着共享单车这一运营模式的日益成熟,其他共享微出行如共享电动滑板车、共享电动车也开始在国内外的一些城市投入运营,一些学者也尝试就这些共享微出行对自行车骑行产生的影响进行探讨。其中, McKenzie^[69]通过对比华盛顿公自与共享电动滑板车的出行模式发现,公自会员用户以通勤出行为主,其与

共享电动滑板车出行呈互补关系,但公自非会员与电动滑板车用户则更多以休闲出行为主,两者间存在竞争关系; Zhu 等^[70]通过对比新加坡共享单车与共享电动滑板车的出行特征也得到类似结果。而相比于电动滑板车,已有研究发现,共享电动车在出行时空特征与自行车更为接近,同时,电动车省力与快速(省时)的特点也使其在出行体验上优于自行车,甚至对公共交通、出租车等出行方式具有替代作用^[71]。但与此同时,共享电动车高昂的运维成本、更大的安全风险、对机动车道的侵占以及对公交资源的竞争也在很大程度上制约其推广^[72],尤其是在交通配套设施更为健全的一线城市。

3 自行车出行行为影响因素分析的建模方法与空间尺度

自行车出行行为研究的数据源主要可分为两类:一类是基于问卷或访谈所获取的居民出行调查数据,另一类则是由交通刷卡、共享单车租赁以及运动健身类 APP(如 Strava)用户上传产生的骑行时空大数据。由于两类数据源在数据特征方面的不同,使其应用于自行车出行行为影响分析时所采用的建模方法与建模的空间尺度存在显著差异。

3.1 基于居民出行调查数据的建模

基于居民出行调查获取骑行行为数据往往囊括了个体社会经济属性信息,但这种数据存在获取成本较高、样本量较小的缺点。在建模方法上,运用此类数据的研究主要基于离散选择模型与结构方程模型展开。其中,离散选择模型的一般原理为随机效用理论,常用于揭示不同要素对行为选择影响的重要程度和方向^[66]。如学者 Moudon 等^[10]运用二元逻辑回归分析建成环境对美国骑行者的影响; Lin 等^[63]也运用该方法对比了北京、台北与东京三地的通勤者使用公自与地铁接驳的意愿及影响因素。此外,为了探讨人们选择不同出行方式(诸如步行、骑行、公交、驾车等)的影响要素,一些学者使用多项式逻辑回归进行建模^[18,36,56];部分研究则运用多层次逻辑回归探索不同尺度(诸如个体尺度、社会尺度等)变量对骑行行为的综合影响^[15,60,64]。而结构方程模型整合了因果分析与路径

分析,能够有效地探索与验证不同变量之间的直接与间接关系,常用于分析难以观察的潜在变量(诸如满意度、行为意向等)的影响^[65]。在相关研究中,一些学者基于理性行动理论及其衍生方法,采用结构方程模型对影响居民使用共享自行车意向的因素进行探讨^[19,58,59,66]。

在建模尺度上,运用出行调查数据所开展的研究主要在受访者的个体尺度上进行探讨。围绕不同受访者的社会经济属性与出行偏好分析骑行行为特征是相关研究的特点,耦合研究区内的社会与自然环境数据其目的也是服务于个体骑行行为研究^[8,18,36]。但也有一部分学者通过大规模的互联网问卷调查或借助国家层面的出行行为普查等方式,尝试将区域(如国家、省域、市域、街道/乡(镇)等)尺度与个体尺度相结合,探讨骑行行为影响因素的空间异质性^[7,9,22,56]。近年来,随着居民出行调查的日益精细化,开展多尺度综合分析也逐渐成为此类研究的发展趋势。如 Mertens 等^[60]与 Charreire 等^[64]通过选取欧洲 5 个不同城市街区作为研究区,整合国家、城市街区与个人三个不同的空间尺度构建综合模型,并进一步分析自行车出行行为影响的尺度效应。

3.2 基于骑行 GPS 时空大数据的建模

与传统的出行调查数据相比,基于 GPS 所生成的骑行数据具备时空分辨率高、数据量大、客观性强等优势。尽管此类数据仍存在诸如缺乏个体属性信息、人群覆盖度不足等缺陷,但由于其能更精确地与建成或自然环境数据进行耦合分析,因此已被广泛地运用于自行车出行行为研究。在建模方法上,已有研究常运用此类数据对自行车骑行量与其影响因素开展分析,分析模型呈现出由简单的全局、线性模型向复杂的局部、非线性模型的发展趋势。虽仍有不少研究基于多元线性回归模型探讨共享自行车出行量与环境因素之间的关系^[25,37,57,52,67-68],但有学者指出共享自行车骑行量更近似于泊松分布,因此他们尝试运用泊松回归模型并取得更好效果^[33,38]。而针对研究数据中存在部分因变量(骑行量)为 0、数值分布过于分散或方差远大于均值等现象,部分学者引入了诸如负二项回归、零膨胀负二项回归、Tobit 回归等广义线性模型

进行分析,以减少异常值所产生的负面影响^[12,30,31,45,50]。此外,一些学者使用分布滞后回归、空间自回归以及一些混合效应模型进行分析,旨在降低居民日常骑行行为存在的时空自相关性对建模结果的影响^[10,28,30,32,43];而一些学者为了揭示骑行行为可能存在的局部时空异质性,运用了地理探测器、时空地理加权回归等方法进行建模^[11,41,47,48,69]。在最新的一些研究中,也有部分学者尝试运用机器学习方法(诸如随机森林、梯度提升决策树等)探讨骑行时空模式与环境因素之间的复杂关系^[40,42,44,46,51]。这些方法与传统的回归模型相比,具备能够更有效地拟合存在偏态分布或异常值的数据、分析影响因素的全局非线性与阈值效应等优势。

在建模尺度上,根据不同的研究目的,多样化的空间尺度被尝试应用于使用骑行时空大数据所开展的相关研究。诸如,由于绝大多数骑行大数据并不包括社会经济属性信息,一些学者希望将自行车出行与人口社会经济进行耦合分析。因此,这些研究选择相关社会经济普查的最小空间单元(诸如街道/乡(镇)级的行政区划、交通小区等)作为建模尺度^[10,11,40,42,50]。在公自的相关研究中,公自站点的自行车使用量与周边环境之间的关系受到众多学者的关注,他们普遍采用以公自站点为中心,创建一定距离的缓冲区作为建模单元进行分析。但关于缓冲区半径的划定,不同学者持有不同观点:国外学者通过平均步行速度与最优步行时间估算出 400 米为合理的步行距离,并将其作为缓冲区半径^[25,37];而以国内城市作为案例区的相关研究则普遍以 300 米作为缓冲区半径^[43,68-70];还有部分学者认为将缓冲区半径划定为 200 米能够有效地避免与邻近公自站点在空间上的重叠^[28]。在共享单车出现后,由于其不再受限于固定的单车站点进行租赁,一些学者发现在格网尺度上能够更好地统计并分析共享单车使用量与环境之间的相互作用^[32,41,44,45,48,49]。对于格网尺度的大小,现有研究采用了从 100 米到 600 米的不同划分方式,但仅有部分学者对其划分依据进行解释。其中, Wang 等^[44]发现其研究区内 90% 的共享单车骑行距离大于 200 米,认为将 200 米作为格网大小能够更全面地捕获用户的 OD 轨迹,而过大的格网将造成信息损失;而 Gao 等^[47]则运用地理探测器探究了可塑性

面积单元问题(MAUP)对共享单车 OD 分布与建成环境关系的影响,发现当格网尺度为 600 米时,建成环境对共享单车骑行的影响较为稳定。此外,为了分析建成环境对“共享单车+地铁接驳”这种复合出行方式的影响,相关研究常以地铁站点周边区域作为建模单元^[12,38,47,57]。还有一些学者发现共享自行车骑行存在着明显的空间聚集现象,认为通过分区规划的方法更有利于提高骑行资源的利用率。因此,他们运用社区发现算法,基于骑行 OD 点构建骑行社区,并以此作为建模的空间尺度^[46,67]。最新的少数研究尝试从人本视角出发,提出了基于道路尺度的建模方法。这些研究通过汇总不同道路的单车骑行量并对道路周边环境进行量化,进而探讨构建友好型骑行环境所需的条件^[50-52]。

4 总结与讨论

面向我国“双碳”重大国家战略的应用需求,深入开展自行车出行行为的影响机制研究具有重要的意义。近年来,共享自行车的兴起推动了中国在自行车出行影响研究领域的发展。而利用具有高时空分辨率、大样本量的骑行 GPS 时空大数据开展研究自行车出行的影响研究已成为热点。尽管已有相关研究已取得重要进展,但仍存在如下的一些科学问题尚待深入研究。

4.1 精细尺度下的大样本个体社会经济属性与自行车出行行为研究

在现有研究所使用的数据源中,传统的居民调查数据存在获取成本高、样本量小、空间信息匮乏等缺点,难以在精细尺度下挖掘个体社会经济属性与自行车出行为间的关联关系。相比之下,共享自行车所产生的 GPS 时空数据具备大样本与精细化等优势,但此类数据所记录的个体属性或活动信息却十分有限^[71]。近年来,一些学者通过手机信令数据耦合房价等社会经济数据的方式,对居民个体的社会经济属性进行推断,并探讨不同人群间的出行模式差异^[72,73]。也有少量成果尝试利用共享单车数据与建成环境数据推断骑行者的出行目的^[71,74]。这些研究为精细分析个体社会经济属性与骑行行为间的关系提供了新的思路。然而,由于缺乏一种

能够同时揭示分异人群的自行车出行行为和社会经济属性的多模态数据,利用海量时空大数据对两者进行关联分析的研究非常罕见。而揭示两者间的关系对后续开展自行车出行选择决策精细化模拟具有重要意义,是未来研究亟须解决的科学问题。

4.2 人本感知因素与自行车出行行为研究

自行车出行行为是一个复杂的决策过程^[66],其决策结果除了受个体社会经济与客观环境的影响外,人本感知因素的影响同样不可忽视^[58]。尽管一些学者从心理学与社会学角度对影响居民骑行意愿的感知因素进行了探讨,但这些结果难以落实到具体的城市交通规划中^[19,59]。近年来,社会感知数据的涌现为研究人对地理环境的主观认知提供了新的手段,为人本导向下的智慧城市规划提供了独特的视角^[75,76]。最新的一些研究利用街景数据对街道空间特征进行大规模、高精度的测度,证明了街景图片可以有效地量化人对街道空间品质的主观感知。同时,以传感器为基础的物联网技术的发展,促进了城市单元体的微气候环境观测技术的进步,使街道微气候环境数据感知成为可能^[77]。虽然已有研究尝试利用街景数据测度街景绿化对自行车出行的影响^[38,47,53],但综合探讨人本感知的街道空间品质对自行车出行影响的研究则较为罕见。尽管众多研究揭示了降雨、气温等宏观天气因素对骑行行为的影响显著^[30,32],但少有研究关注人体对街道微气候环境的主观感知进而对自行车出行产生的影响。随着社会感知技术以及衍生数据的多元化和精细化发展,探讨人本感知因素与自行车出行行为的关系是后续领域内的一个重要研究方向。

4.3 后疫情时代下的自行车出行行为研究

自 2020 年 1 月以来,新冠肺炎疫情在全球范围内的爆发与蔓延给人们的生活带来巨大的冲击。而为了遏制病毒在人际间的传播,严格的出行管控措施在各国间被广泛推行,居民的日常出行行为也随之受到深远的影响^[78]。在自行车出行方面,国外的相关研究发现,在疫情封锁期间,人们骑行的比重与意愿有所下降;但在疫情解封之后,自行车出行的恢复速度相比于其他出行方式更快,骑行分担率也有所提升,在增强城市交通韧性上作用更

大^[79,80]。Teixeira 等^[3]进一步指出,与疫情出现前相比,骑行能够更好地保持社交距离,进而降低病毒感染风险,是人们在疫情后选择自行车出行的新动机。然而,上述研究均以国外作为案例区,新冠肺炎疫情这一重大公共卫生事件对于国内居民骑行行为的影响机制却鲜有被探讨。在我国坚持“动态清零”总方针的大背景下,研究并揭示疫情防控区内居民的出行需求与出行规律,尤其是在公共交通停摆下的骑行出行模式,对制定有效的防疫方案、遏制病毒的快速扩散、保障人民的正常生产生活均有重要意义,这也是后续自行车出行影响研究的另一个重要方向。

利益冲突:作者声明无利益冲突。

参考文献(References)

- [1] Handy S, Van Wee B, Kroesen M. Promoting cycling for transport: research needs and challenges[J]. *Transport Reviews*, 2014, 34(1): 4-24.
<https://doi.org/10.1080/01441647.2013.860204>
- [2] Zhang Y, Mi Z. Environmental benefits of bike sharing: A big data-based analysis[J]. *Applied Energy*, 2018, 220: 296-301.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.03.101>
- [3] Teixeira J F, Silva C, e Sá F M. The motivations for using bike sharing during the COVID-19 pandemic: Insights from Lisbon[J]. *Transportation Research Part F Traffic Psychology & Behaviour*, 2021, 82: 378-399.
<https://doi.org/10.1016/j.trf.2021.09.016>
- [4] 刘清春, 赵培雄, 袁玉娟, 等. 碳中和目标下的城市绿色交通体系构建研究——以济南市为例[J]. *环境保护*, 2021, 49(Z2).
<https://doi.org/10.14026/j.cnki.0253-9705.2021.z2.004>
- [5] 舒诗楠, 边扬, 荣建, 等. 短距离下小汽车出行向自行车出行转移意向 MIMIC 模型[J]. *北京工业大学学报*, 2019, 45(10): 998-1008.
<https://doi.org/10.11936/bjtxxb2018020010>
- [6] Winters M, Buehler R, Götschi T. Policies to promote active travel: evidence from reviews of the literature[J]. *Current Environmental Health Reports*, 2017, 4(3): 278-285.
<https://doi.org/10.1007/s40572-017-0148-x>
- [7] Aziz H M, 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.
<https://doi.org/10.1007/s11116-017-9760-8>
- [8] Dickinson J E, Kingham S, Copsey S, et al. Employer travel plans, cycling and gender: will travel plan measures improve the outlook for cycling to work in the UK? [J]. *Transportation Research Part D Transport & Environment*, 2003, 8(1): 53-67.
[https://doi.org/10.1016/S1361-9209\(02\)00018-4](https://doi.org/10.1016/S1361-9209(02)00018-4)
- [9] Rietveld P, Daniel V. Determinants of bicycle use: Do municipal policies matter? [J]. *Transportation Research Part A Policy & Practice*, 2004, 38(7): 531-550.
<https://doi.org/10.1016/j.tra.2004.05.003>
- [10] Moudon A V, Lee C, Cheadle A D, et al. Cycling and the built environment, a US perspective[J]. *Transportation Research Part D Transport & Environment*, 2005, 10(3): 245-261.
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2005.04.001>
- [11] Stinson M A, Bhat C R. Frequency of bicycle commuting: internet-based survey analysis[J]. *Transportation Research Record*, 2004, 1878(1): 122-130.
<https://doi.org/10.3141/1878-15>
- [12] Tu Y, Chen P, Gao X, et al. How to make dockless bikeshare good for cities: Curbing oversupplied bikes [J]. *Transportation Research Record*, 2019, 2673(6): 618-627.
<https://doi.org/10.1177/0361198119837963>
- [13] Ma X, Ji Y, Yuan Y, et al. A comparison in travel patterns and determinants of user demand between docked and dockless bike-sharing systems using multi-sourced data[J]. *Transportation Research Part A Policy & Practice*, 2020, 139: 148-173.
<https://doi.org/10.1016/j.tra.2020.06.022>
- [14] Guo Y, He S Y. Built environment effects on the integration of dockless bike-sharing and the metro[J]. *Transportation Research Part D Transport & Environment*, 2020, 83: 102335.
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102335>
- [15] Wang K, Akar G. Gender gap generators for bike share ridership: Evidence from Citi Bike system in New York City[J]. *Journal of Transport Geography*, 2019, 76: 1-9.
<https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2019.02.003>

- [16] Zhao J, Wang J, Deng W. Exploring bikesharing travel time and trip chain by gender and day of the week[J]. *Transportation Research Part C Emerging Technologies*, 2015, 58: 251-264.
https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.01.030
- [17] Fishman E, Washington S, Haworth N, et al. Factors influencing bike share membership: An analysis of Melbourne and Brisbane[J]. *Transportation Research Part A Policy & Practice*, 2015, 71: 17-30.
https://doi.org/10.1016/j.tra.2014.10.021
- [18] Gu T, Kim I, Currie G. To be or not to be dockless: Empirical analysis of dockless bikeshare development in China[J]. *Transportation Research Part A Policy & Practice*, 2019, 119: 122-147.
https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.11.007
- [19] 朱玮, 庞宇琦, 王德, 等. 上海市闵行区公共自行车出行特征研究[J]. *上海城市规划*, 2012(06): 102-107.
https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-8985.2012.06.022
- [20] Wardman M, Tight M, Page M. Factors influencing the propensity to cycle to work [J]. *Transportation Research Part A Policy & Practice*, 2007, 41(4): 339-350.
https://doi.org/10.1016/j.tra.2006.09.011
- [21] Xin F, Chen Y, Wang X, et al. Cyclist satisfaction evaluation model for free-floating bike-sharing system: a case study of Shanghai [J]. *Transportation Research Record*, 2018, 2672(31): 21-32.
https://doi.org/10.1177/0361198118770193
- [22] Shaheen S A, Martin E W, Cohen A P, et al. Public Bikesharing in North America During a Period of Rapid Expansion: Understanding Business Models, Industry Trends & User Impacts[R]. MTI Report 12-29, 2014.
- [23] Howard C, Burns E. Cycling to work in Phoenix: Route choice, travel behavior, and commuter characteristics [J]. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 2001, 1773: 39-46.
https://doi.org/10.3141/1773-05
- [24] Pucher J, Buehler R. Why Canadians cycle more than Americans: A comparative analysis of bicycling trends and policies[J]. *Transport Policy*, 2006, 13(3): 265-79.
https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2005.11.001
- [25] Eriksson L, Forward S E. Is the intention to travel in a pro-environmental manner and the intention to use the car determined by different factors? [J]. *Transportation Research Part D Transport & Environment*, 2011, 16(5): 372-376.
https://doi.org/10.1016/j.trd.2011.02.003
- [26] Murphy E, Usher J. The role of bicycle-sharing in the city: Analysis of the Irish experience[J]. *International Journal of Sustainable Transportation*, 2015, 9(2): 116-125.
https://doi.org/10.1080/15568318.2012.748855
- [27] Rixey R A. Station-level forecasting of bikesharing ridership: Station network effects in three US systems[J]. *Transportation Research Record*, 2013, 2387(1): 46-55.
https://doi.org/10.3141/2387-06
- [28] Ogilvie F, Goodman A. Inequalities in usage of a public bicycle sharing scheme: socio-demographic predictors of uptake and usage of the London (UK) cycle hire scheme[J]. *Preventive Medicine*, 2012, 55(1): 40-45.
https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2012.05.002
- [29] Shaheen S A, Zhang H, Martin E, et al. China's Hangzhou public bicycle: understanding early adoption and behavioral response to bikesharing[J]. *Transportation Research Record*, 2011, 2247(1): 33-41.
https://doi.org/10.3141/2247-05
- [30] Scott D M, Ciuro C. What factors influence bike share ridership? An investigation of Hamilton, Ontario's bike share hubs [J]. *Travel Behaviour And Society*, 2019, 16: 50-58.
https://doi.org/10.1016/j.tbs.2019.04.003
- [31] Nankervis M. The effect of weather and climate on bicycle commuting [J]. *Transportation Research Part A Policy & Practice*, 1999, 33(6): 417-431.
https://doi.org/10.1016/S0965-8564(98)00022-6
- [32] El-Assi W, Salah Mahmoud M, Nurul Habib K. Effects of built environment and weather on bike sharing demand: a station level analysis of commercial bike sharing in Toronto [J]. *Transportation*, 2017, 44(3): 589-613.
https://doi.org/10.1007/s11116-015-9669-z
- [33] Gebhart K, Noland R B. The impact of weather conditions on bikeshare trips in Washington, DC [J]. *Transportation*, 2014, 41(6): 1205-1225.
https://doi.org/10.1007/s11116-014-9540-7
- [34] Shen Y, Zhang X, Zhao J. Understanding the usage of dockless bike sharing in Singapore [J]. *International Journal of Sustainable Transportation*, 2018, 12(9): 686-700.
https://doi.org/10.1080/15568318.2018.1429696

- [35] Corcoran J, Li T, Rohde D, et al. Spatio-temporal patterns of a Public Bicycle Sharing Program: The effect of weather and calendar events[J]. *Journal of Transport Geography*, 2014, 41: 292-305.
<https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2014.09.003>
- [36] Reiss S, Bogenberger K. Validation of a relocation strategy for Munich's bike sharing system[J]. *Transportation Research Procedia*, 2016, 19: 341-349.
<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.12.093>
- [37] 曹小曙, 闵家楠, 黄晓燕. 降雨和空气污染对城市居民公共自行车使用的影响研究——以西安市为例[J]. *人文地理*, 2019, 34(01): 151-158.
<https://doi.org/10.13959/j.issn.1003-2398.2019.01.019>
- [38] Rodriguez D A, Joo J. The relationship between non-motorized mode choice and the local physical environment[J]. *Transportation Research Part D Transport & Environment*, 2004, 9(2): 151-173.
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2003.11.001>
- [39] Mateo-Babiano I, Bean R, Corcoran J, et al. How does our natural and built environment affect the use of bicycle sharing? [J]. *Transportation Research Part A Policy & Practice*, 2016, 94: 295-307.
<https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.09.015>
- [40] Wang R, Lu Y, Wu X, et al. Relationship between eye-level greenness and cycling frequency around metro stations in Shenzhen, China: A big data approach[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2020, 59: 102201.
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102201>
- [41] Lazarus J, Pourquier J C, Feng F, et al. Micromobility evolution and expansion: Understanding how docked and dockless bikesharing models complement and compete—A case study of San Francisco [J]. *Journal of Transport Geography*, 2020, 84: 102620.
<https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2019.102620>
- [42] Ewing R, Cervero R. Travel and the built environment: A meta-analysis[J]. *Journal of The American Planning Association*, 2010, 76(3): 265-294.
<https://doi.org/10.1080/01944361003766766>
- [43] Chen E, Ye Z. Identifying the nonlinear relationship between free-floating bike sharing usage and built environment [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 280: 124281.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124281>
- [44] Gao F, Li S, Tan Z, et al. Understanding the modifiable areal unit problem in dockless bike sharing usage and exploring the interactive effects of built environment factors[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2021, 35(9): 1905-1925.
<https://doi.org/10.1080/13658816.2020.1863410>
- [45] Du Y, Deng F, Liao F. A model framework for discovering the spatio-temporal usage patterns of public free-floating bike-sharing system [J]. *Transportation Research Part C Emerging Technologies*, 2019, 103: 39-55.
<https://doi.org/10.1016/j.trc.2019.04.006>
- [46] Zhang Y, Thomas T, Brussel M, et al. Exploring the impact of built environment factors on the use of public bikes at bike stations: Case study in Zhongshan, China [J]. *Journal of Transport Geography*, 2017, 58: 59-70.
<https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2016.11.014>
- [47] Wang Y, Zhan Z, Mi Y, et al. Nonlinear effects of factors on dockless bike-sharing usage considering grid-based spatiotemporal heterogeneity[J]. *Transportation Research Part D Transport & Environment*, 2022, 104: 103194.
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103194>
- [48] Zhang X, Shen Y, Zhao J. The mobility pattern of dockless bike sharing: A four-month study in Singapore[J]. *Transportation Research Part D Transport & Environment*, 2021, 98: 102961.
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102961>
- [49] Lin P, Weng J, Hu S, et al. Revealing spatio-temporal patterns and influencing factors of dockless bike sharing demand[J]. *IEEE Access*, 2020, 8: 66139-66149.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2985329>
- [50] Gao F, Li S, Tan Z, et al. How Is Urban Greenness Spatially Associated with Dockless Bike Sharing Usage on Weekdays, Weekends, and Holidays? [J]. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2021, 10(4): 238.
<https://doi.org/10.3390/ijgi10040238>
- [51] 高枫, 李少英, 吴志峰, 等. 广州市主城区共享单车骑行目的地时空特征与影响因素[J]. *地理研究*, 2019, 38(12): 2859-2872.
<https://doi.org/10.11821/dlyj020190081>
- [52] Chen M, Wang D, Sun Y, et al. A comparison of users' characteristics between station-based bikesharing system and free-floating bikesharing system: Case study in Hangzhou, China. *Transportation*, 2020, 47 (2): 689-704.
<https://doi.org/10.1007/s11116-018-9910-7>

- [53] Xu Y, Chen D, Zhang X, et al. Unravel the landscape and pulses of cycling activities from a dockless bike-sharing system[J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2019, 75:184-203.
https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2019.02.002
- [54] Meng S, Zacharias J. Street morphology and travel by dockless shared bicycles in Beijing, China[J]. *International Journal of Sustainable Transportation*, 2021, 15(10):788-798.
https://doi.org/10.1080/15568318.2020.1813853
- [55] Caigang Z, Shaoying L, Zhangzhi T, et al. Nonlinear and threshold effects of traffic condition and built environment on dockless bike sharing at street level[J]. *Journal of Transport Geography*, 2022, 102:103375.
https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2022.103375
- [56] Zacharias J. Environmental correlates of dock-less shared bicycle trip origins and destinations [J]. *Journal of Transport Geography*, 2021, 92:103013.
https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2021.103013
- [57] Ito K, Biljecki F. Assessing bikeability with street view imagery and computer vision[J]. *Transportation Research Part C Emerging Technologies*, 2021, 132:103371.
https://doi.org/10.1016/j.trc.2021.103371
- [58] Chandra S, Jimenez J, Radhakrishnan R. Accessibility evaluations for nighttime walking and bicycling for low-income shift workers[J]. *Journal of Transport Geography*, 2017, 64:97-108.
https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2017.08.010
- [59] Jaber A, Juhász J, Csonka B. An Analysis of Factors Affecting the Severity of Cycling Crashes Using Binary Regression Model [J]. *Sustainability*, 2021, 13(12):6945.
https://doi.org/10.3390/su13126945
- [60] Zhao P. The impact of the built environment on bicycle commuting: Evidence from Beijing[J]. *Urban Studies*, 2014, 51(5):1019-1037.
https://doi.org/10.1177/0042098013494423
- [61] Wu X, Lu Y, Gong Y, et al. The impacts of the built environment on bicycle-metro transfer trips: A new method to delineate metro catchment area based on people's actual cycling space[J]. *Journal of Transport Geography*, 2021, 97:103215.
https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2021.103215
- [62] Guo Y, He S Y. The role of objective and perceived built environments in affecting dockless bike-sharing as a feeder mode choice of metro commuting[J]. *Transportation Research Part A Policy & Practice*, 2021, 149:377-396.
https://doi.org/10.1016/j.tra.2021.04.008
- [63] 钱佳, 汪德根, 牛玉. 城市居民使用市内公共自行车的满意度影响因素分析——以苏州市为例[J]. *地理研究*, 2014, 33(02):358-371.
https://doi.org/10.11821/dlyj201402014
- [64] Mertens L, Compennolle S, Deforche B, et al. Built environmental correlates of cycling for transport across Europe[J]. *Health & Place*, 2017, 44:35-42.
https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2017.01.007
- [65] Cao Z, Gao F, Li S, et al. Ridership exceedance exposure risk: Novel indicators to assess PM_{2.5} health exposure of bike sharing riders [J]. *Environmental Research*, 2021, 197:111020.
https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111020
- [66] 王灿, 王德, 朱玮, 等. 离散选择模型研究进展[J]. *地理科学进展*, 2015, 34(10):1275-1287.
https://doi.org/10.18306/dlkxjz.2015.10.008
- [67] Lin J J, Zhao P, Takada K, et al. Built environment and public bike usage for metro access: A comparison of neighborhoods in Beijing, Taipei, and Tokyo[J]. *Transportation Research Part D Transport & Environment*, 2018, 63:209-221.
https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.05.007
- [68] Charreire H, Roda C, Feuillet T, et al. Walking, cycling, and public transport for commuting and non-commuting travels across 5 European urban regions: Modal choice correlates and motivations[J]. *Journal of Transport Geography*, 2021, 96:103196.
https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2021.103196
- [69] McKenzie G. Spatiotemporal comparative analysis of scooter-share and bike-share usage patterns in Washington, DC[J]. *Journal of transport geography*, 2019, 78:19-28.
https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2019.05.007
- [70] Zhu R, Zhang X, Kondor D, et al. Understanding spatiotemporal heterogeneity of bike-sharing and scooter-sharing mobility[J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2020, 81:101483.
https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2020.101483
- [71] Guidon S, Becker H, Dediu H, et al. Electric bicycle-sharing: A new competitor in the urban transportation

- market? An empirical analysis of transaction data[J]. *Transportation Research Record*, 2019, 2673 (4): 15-26.
<https://doi.org/10.1177/0361198119836762>
- [72] Campbell A A, Cherry C R, Ryerson M S, et al. Factors influencing the choice of shared bicycles and shared electric bikes in Beijing [J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2016, 67: 399-414.
<https://doi.org/10.1016/j.trc.2016.03.004>
- [73] 吴兆龙, 丁晓. 结构方程模型的理论、建立与应用[J]. *科技管理研究*, 2004(06): 90-92, 95.
<https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-7695.2004.06.031>
- [74] 杨鸿麟, 曹小曙, 李涛, 等. 城市居民使用共享单车的行为意愿及影响因素分析——以西安市为例[J]. *干旱区资源与环境*, 2019, 33(06): 78-83.
<https://doi.org/10.13448/j.cnki.jalre.2019.171>
- [75] 辜智慧, 叶凡, 崔志祥, 等. 基于 Infomap 算法的城市骑行社区结构及活力影响因素分析——以深圳市为例[J]. *住区*, 2022(01): 43-50.
<https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-9073.2022.01.006>
- [76] 罗桑扎西, 甄峰, 尹秋怡. 城市公共自行车使用与建成环境的关系研究——以南京市桥北片区为例[J]. *地理科学*, 2018, 38(03): 332-341.
<https://doi.org/10.13249/j.cnki.sgs.2018.03.002>
- [77] Wu C, Kim I, Chung H. The effects of built environment spatial variation on bike-sharing usage: A case study of Suzhou, China[J]. *Cities*, 2021, 110: 103063.
<https://doi.org/10.1016/j.cities.2020.103063>
- [78] Wu C, Chung H, Liu Z, et al. Examining the effects of the built environment on topological properties of the bike-sharing network in Suzhou, China[J]. *International Journal of Sustainable Transportation*, 2021, 15 (5): 338-350.
<https://doi.org/10.1080/15568318.2020.1780652>
- [79] Li S, Zhuang C, Tan Z, et al. Inferring the trip purposes and uncovering spatio-temporal activity patterns from dockless shared bike dataset in Shenzhen, China [J]. *Journal of Transport Geography*, 2021, 91: 102974.
<https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2021.102974>
- [80] Xu Y, Belyi A, Bojic I, et al. Human mobility and socioeconomic status: Analysis of Singapore and Boston[J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2018, 72: 51-67.
<https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2018.04.001>
- [81] 关庆锋, 任书良, 姚尧, 等. 耦合手机信令数据和房价数据的城市不同经济水平人群行为活动模式研究[J]. *地球信息科学学报*, 2020, 22(1): 100-112.
<https://doi.org/10.12082/dqxxkx.2020.190406>
- [82] Xing Y, Wang K, Lu J J. Exploring travel patterns and trip purposes of dockless bike-sharing by analyzing massive bike-sharing data in Shanghai, China[J]. *Journal of Transport Geography*, 2020, 87: 102787.
<https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2020.102787>
- [83] 柴彦威, 申悦, 陈梓烽. 基于时空间行为的人本导向的智慧城市规划与管理[J]. *国际城市规划*, 2014, 29(6): 31-37.
- [84] 刘瑜. 社会感知视角下的若干人文地理学基本问题再思考[J]. *地理学报*, 2016, 71(4): 564-575.
<https://doi.org/10.11821/dlxb201604003>
- [85] 叶宇, 张昭希, 张啸虎, 等. 人本尺度的街道空间品质测度——结合街景数据和新分析技术的大规模、高精度评价框架[J]. *国际城市规划*, 2019, 34(1): 18-27.
- [86] Van Wee B, Witlox F. COVID-19 and its long-term effects on activity participation and travel behaviour: A multiperspective view[J]. *Journal of Transport Geography*, 2021, 95: 103144.
<https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2021.103144>
- [87] Hu S, Xiong C, Liu Z, et al. Examining spatiotemporal changing patterns of bike-sharing usage during COVID-19 pandemic [J]. *Journal of Transport Geography*, 2021, 91: 102997.
<https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2021.102997>
- [88] Wang H, Noland R B. Bikeshare and subway ridership changes during the COVID-19 pandemic in New York City[J]. *Transport Policy*, 2021, 106: 262-270.
<https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2021.04.004>

Research on Factors Influencing Bicycle Travel Behavior: Advances and Prospects

LI Shaoying^{*}, ZHUANG Caigang, LIANG Konghua, GUO Entong

(School of Geography and Remote Sensing, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China)

Abstract: Increasing the share of bicycle travel can help optimize the current urban transport structure and promote the early realization of Carbon Peak and Carbon Neutrality goals. It is essential to explore the factors that influence bicycle travel behavior in order to build a cycling-friendly environment and increase residents' willingness to ride. This article has reviewed and summarized the current situation and trends of bicycle travel behavior research, influencing factors, modelling methods and modelling scales over the past 24 years. This study found that: (1) research in this area has been growing rapidly since 2007, with the US and China ranking as the top two countries in the world in terms of the number of articles published. (2) Socio-economic, physical environment, built environment and road traffic factors have become the focuses of scholars' attention in examining the influence mechanism of bicycle travel behavior. (3) With the rise of bike-sharing, the application of bike-sharing GPS Spatio-temporal big data to research the influence factors of bicycle travel has become a hot topic. Its modeling methods and spatial scales of modeling are significantly different from those based on residential travel survey data. Finally, the limitations of the current research on the impact factors of bicycle travel behavior are analyzed. In addition, it is pointed out that individual socio-economic attributes extraction under large samples and fine scales, subjective human perception factors analysis and cycling behavior in the post-pandemic era in China are important research directions in this field.

Keywords: Bicycle travel behavior; influencing factors; modelling methods; spatial scale

DOI: 10.48014/cgsr.20220726001

Citation: LI Shaoying, ZHUANG Caigang, LIANG Konghua, et al. Research on factors influencing bicycle travel behavior: Advances and prospects[J]. Chinese Geography Sciences Review, 2023, 1(1): 1-15.

Copyright © 2023 by author(s) and Science Footprint Press Co., Limited. This article is open accessed under the CC-BY License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

