

基于多年街景图片的城市街道步行设施改善评价

——以中国45个城市为例

张书杰¹ 李文竹¹ 龙瀛^{1,2,3,*} 周雅婧⁴ 潘支明⁴ (1.清华大学建筑学院,北京,100084; 2.清华大学恒隆房地产研究中心,北京,100084; 3.清华大学生态规划与绿色建筑教育部重点实验室,北京,100084; 4.自然资源保护协会,北京,100034)

【摘要】城市街道步行友好性对城市品质至关重要,受到社会的广泛关注。目前城市街道步行友好性现状研究较多,但其纵向改善情况仍有待探讨。以城市街道步行设施为研究对象,从时间维度探讨了近年各城市街道步行友好性的改善情况,并从设施指标、城市分级、城市政策3方面进行分析。方法上,研究基于百度时光机多年街景图片数据,选取10项代表性指标,通过人工虚拟审计对中国45个城市进行步行设施改善情况对比研究,共25,766个评价点位,每个城市不少于500个。研究结果表明,①专用自行车道和街道家具两项指标的现状及改善评分均不理想,亟需城市政府的关注并改进提升;②步行设施改善情况与其评估期前的实际情况及评估期内可改善提升的空间有关,“现状—改善”的二维评价体系能够客观真实反映城市步行设施建设情况;③“现状—改善—政策”三维评价结果能够反映城市政策在步行设施纵向改善中的不足,有助于辅助街道步行政策的修订落实和街道设施的改质提升。

【关键词】步行友好性;纵向比较;街景图片;多年对比;评价指标;政策

【中图分类号】TU984 **【文献标识码】**A

0 引言

近年来,随着城镇化规模的不断扩大,人们对机动车和公共交通的需求持续增长,缓解城市交通拥堵与碳中和、碳减排仍是未来的城市研究问题。我国也在第七十五届联合国大会中提出CO₂排放力争于2030年前达到峰值,努力争取2060年前实现碳中和的愿景。非机动车建设和城市街道步行友好性提升成为缓解交通拥堵、减少城市交通碳排放的有效方法之一,鼓励人们更多地采用步行交通方式,减少机动车出行,对城市交通绿色低碳和可持续发展有显著的改善^[1],也对城市品质提升和城市宜居具有重要作用^[2]。

近年来,关于步行环境的实践探索愈加丰富。国家重视绿色出行,“十四五”规划明确提出建设自行车道、步行道等慢行网络,进一步提出加快推动绿色低碳

发展的要求。北京、上海等多个城市也陆续推出慢行交通的相关方案与规划,加快城市慢行网络及步行设施建设。国际上不少国家城市也在尝试新的步行规划与政策。美国丹佛市制定了以可步行城市(Walkable City)为关键性目标的市中心区域规划^[3],通过城市宏观尺度、街区和街道中观尺度、建筑和街道家具微观尺度三个层级共同努力实现步行空间的整体连续。荷兰市政当局、中央政府和社会团体通过“城市步行空间”这一多方合作组织,在设计实体生活环境时充分考虑行人^[4],通过设计步行设施的空间布局以引导步行,并探索试验城市环境中的步行政策。

目前国内外对城市步行环境的研究主要集中在特征评估和在此基础上内容与方法的创新研究。特征评估方面,一方面关注可能诱发或阻碍步行行为的建成环境特征^[5]和影响机制^[6],如步行安全、密度和可达性、步行网络连接性评估^[7]以及基于环境干预的影响机制实验^[6],另一方面关注步行体验的建成环境特征^[8],如步行评价^[9]、步行指数^[10]、街道环境指数^[11]、环境质量^[12]、空间品质^[13]等。内容与方法方面,基于建成环境特征评估的基础,从研究数据、研究内容、研究对象和研究方法上进一步探讨,基于可穿戴传感器^[14]、网络开源API^[15-16]、

基金项目:自然资源保护协会资助项目:Walkability for Main Chinese Cities 2021

* 通讯作者:龙瀛(1980-),男,博士,清华大学建筑学院副教授,博士生导师,主要研究方向:大数据分析可视化。E-mail: ylong@tsinghua.edu.cn。

众包^[17]、量表与问卷调查^[18]等方式获得图片数据和调查数据,通过研讨会^[19]、环境审计^[20]、虚拟环境审计^[21]、机器学习^[22]等方法,对布局合理性和步行性^[23]、人群感知^[24]、城市设计应用^[25]、城市空间品质变化^[26]等多人群、多对象、多角度进行研究。其中,基于街景图片数据的虚拟环境审计对城市环境和城市可步行性的研究已经经过多方检验,与传统的环境审计在结果上具有高度一致性,是城市建成环境评估广泛运用的方式之一,且具有效率高、成本低等优点^[27],同时街景图片的时光机功能还能弥补传统审计对于建成环境变化情况评估的不足,具有独特的优越性。

总体而言,目前对于中国城市街道步行友好性的研究在内容上关注空间品质或步行指数,但在步行设施视角的研究较少;方法上,侧重环境当时当刻的评估,改善情况纵向比较的方法路径仍有待研究。但是,步行设施在城市规划与城市街道设计中具有非常重要的基础作用,改善情况的评价也有助于及时总结反思过往经验与不足。因此,本研究在已有研究及实践的基础上,以街道步行设施为研究对象,基于多时相百度街景图片数据,通过人工虚拟环境审计与指标

评价方法,探索步行友好性纵向评价研究路径,并结合评估期内的步行政策,描述我国城市步行友好性近年的改善情况。研究既能够探索在时间维度上对城市街道步行设施改善情况评价的路径与方法,也能通过实证研究初步了解近年来中国主要城市步行设施建设与改善的进展及不足,提供后续的改进方向和建议,并有助于辅助街道步行友好性及步行设施相关政策的修订和落实,为城市街道步行设施的规划设计提供数据支持。

1 研究范围与方法

1.1 研究范围

根据《2018 城市建设统计年鉴》中城区人口规模及城市街道变化情况,在人口 1000 万人以上、500~1000 万人、300~500 万人、300 万人以下 4 类城市,选取具有时间跨度不少于 3 年街景图片的城市,最终保留的研究城市为 45 个(图 1)。研究范围为城市的中心城区,即行政范围内的最大集中城镇建设用地范围^[28],因为该范围内数据量充足,且属于各城市人口最为密集的区域,改善力度相对较大,可反映出的街景图片变化情况较大,便于纵向比较评估。

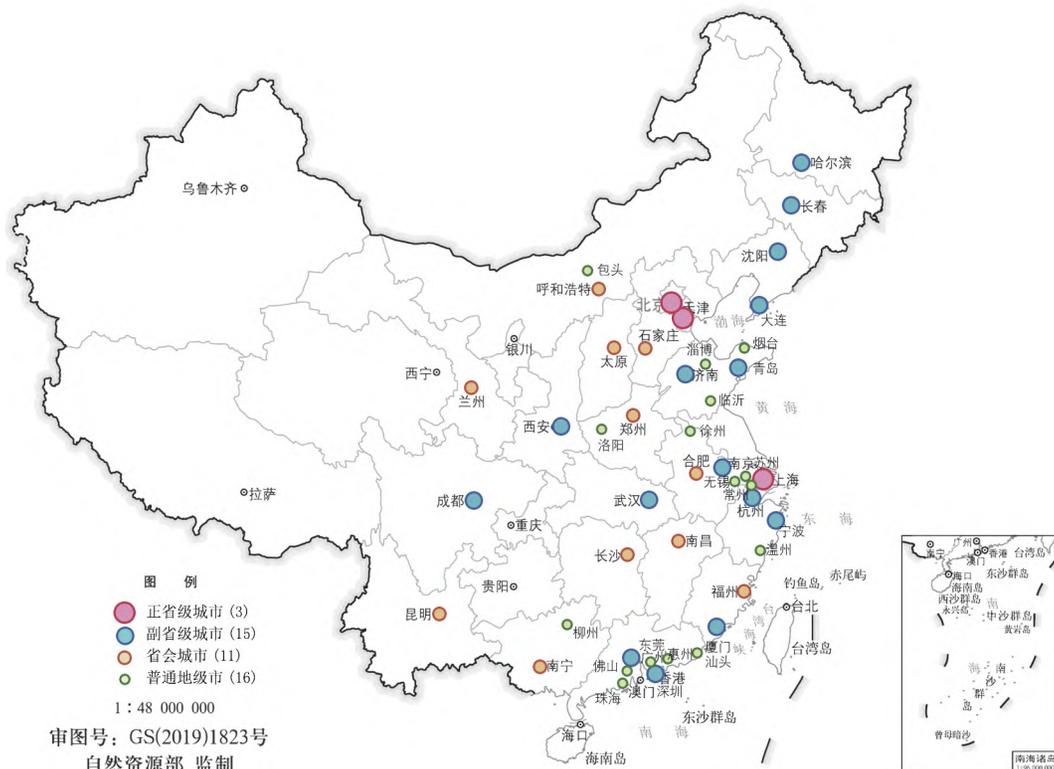


图 1 研究城市分布

资料来源:底图来源于自然资源部标准地图服务系统;标注点及数据为作者自绘

1.2 评价标准

在借鉴龙瀛等学者提出的街道步行环境指数及相关参考文献^[18,29-35]的基础上,总结筛选出街道设施指标和步道设施指标 2 大类共 10 项,并采用德尔非法邀请相关专家学者与从业者确定了各项指标在评价体系中的权重^[29](表 1、表 2),以发挥专家在相关领域的专业知识,并尽可能保证相对的客观性。正式评价中,若某指标符合评价标准,则计 1 分,否则计 0 分。

1.3 研究数据与方法

基于开源的百度在线地图数据平台,调整角度、焦距等参数得到街景图片最佳抓取角度后,通过 python 代码获取 45 个城市、多个街景点、不同年份、四个方向的街景图片。

由于数据原因,各城市可获得的街景图片时间跨度为 3~6 年不等,为保障街景年份时间差大于 3 年,45 个城市的评价年份并不一致,如北京市评价首尾年份分别为 2013 年、2019 年,相差 6 年,珠海市评价首尾年份分别为 2014 年、2017 年,相差 3 年。根据各个城市可获取数据的不同,选取该城市街景图片最早的年份作为该城市的评估基期(2013 年、2014 年或 2015 年),选取该城市 2016 年及以后街景图片数量最多、与评估基期的时间差不少于 3 年的年份作为该城市的评估末期,并确保每个城市有效评估点位至少为 500 个。最终确定各个城市评估年份及评估数量(表 3),评价数据共 25,766 个点位,每个点位包括评估基期和评估末期两个年份、

前后左右四个方向的 8 张街景图片,共 206 128 张,结合评价标准构建虚拟审计平台(图 2)。

在评价过程中,针对评估末期 4 张街景图片评价得到该点位步行设施的现状评分,针对评估基期和评估末期 2 个年份 8 张街景图片的对比评价得到该点位步行设施的改善评分,再根据评价结果对各城市步行设施现状及改善的分项指标和综合评价进行计算。需要说明的是,考虑到各个城市并非每年匀速改善,本研究评价的城市改善情况仅代表在可获取数据范围内整体改善程度的比较,并非年均改善程度比较。评价的城市现状情况仅代表可获取数据范围内最新年份的情况,不代表该城市当前的现状情况。计算公式为:

某城市步行设施现状 =

$$\frac{\sum_{i=1}^{n_1} (A_{ij}w_a + B_{ij}w_b + \dots + F_{ij}w_f)}{n_1} + \frac{\sum_{i=1}^{n_2} (G_{ij}w_g + H_{ij}w_h + \dots + J_{ij}w_j)}{n_2}$$

某城市步行设施改善 =

$$\frac{\sum_{i=1}^{n_1} (A_{il}w_a + B_{il}w_b + \dots + F_{il}w_f)}{n_1} + \frac{\sum_{i=1}^{n_2} (G_{il}w_g + H_{il}w_h + \dots + J_{il}w_j)}{n_2}$$

表 1 城市街道步行设施评价指标及权重

指标	权重	参考文献
街道设施指标	指标 A 有过街设施 11.30	Dannenberg, 2005 [30]; Steinmetz-Wood, M, 2019 [27];
	指标 B 有街道绿化 8.56	Steinmetz-Wood, M, 2019; Millstein RA, 2019 [31]; Shaaban K, 2019 [32]
	指标 C 有连贯建筑物 7.50	Steinmetz-Wood, M, 2019
	指标 D 有机非隔离设施 10.62	Andrew G, 2011 [33]
	指标 E 有专用自行车道 9.70	Aziz H M A, 2018 [34]; Steinmetz-Wood, M, 2019
步道设施指标	指标 F 有步道 11.89	Kelly C M, 2013 [15]; Steinmetz-Wood, M, 2019
	指标 G 有街道家具 8.64	Dong W, 2019 [35]
	指标 H 步道宽度适宜 11.08	Dannenberg, 2005; Shaaban K, 2019
	指标 I 步道无长期占道 11.44	Shaaban K, 2019
	指标 J 步道无失修迹象 9.27	Dannenberg, 2005; Shaaban K, 2019
	总计	100

资料来源: 作者自绘

表 2 城市街道步行设施评价指标评分标准

评分指标	现状评价标准			改善评价标准		
	评分标准及评分依据	得分规则	说明	评分标准及评分依据	得分规则	
照片情况	①照片过暗无法评分;②高速路无法评分;③拍摄点距步道距离较远或过暗无法判断	不计分	对于①②,勾选该选项,并对 A-J 项不做评价;对于③,勾选该选项,并对第 G-J 项不做评价	—	不计分	
A 有过街设施	①信号控制标识;②过街天桥;③地下通道;④人行横道标线;⑤行人安全岛	符合任一项则计 1 分	①对常理上应有过街设施但在照片上由于视角等原因看不到时,不给分;②如果图中有多条道路,只要其中有一条路有过街设施就可以得分	①过街设施翻新,如人行横道标线重新喷漆等;②过街设施增加,如增加行人安全岛	符合任一项则计 1 分	
B 有街道绿化	步道旁有连贯的行道树(步道一侧出现就可以得分,若是无步道的路旁行道树则不能得分)	符合则计 1 分	①注意北方冬天的行道树树叶会脱落,应仔细识别;②若路旁只有一两棵稀疏的树木,则不给分,需要是成排的、连贯的树木;③草地及灌丛不算街道绿化,因为无法提供树荫	①行道树数量增加(不包括由于树木长大导致树冠增大的情况)	符合则计 1 分	
街道设施指标	C 有连贯建筑物	步道旁有连贯的建筑物,可以对步道形成一定的围合感	符合则计 1 分	步道一侧出现即可	①步道两侧建筑物从无到有	符合则计 1 分
	D 有机非隔离设施	①隔离栅;②连贯的、间距小于汽车宽度的花坛,能起到隔离汽车的作用;③阻车桩	符合任一项则计 1 分	步道一侧出现即可	①机非隔离设施增加;②隔离设施翻新,如隔离栅更新等	符合任一项则计 1 分
E 有专用自行车道	①有明显标识(自行车简笔画);②铺装(红色或绿色的铺装)	符合任一项则计 1 分	应区分非机动车道和专用自行车道。若只有白色实线作为区分,而没有上述自行车道标识,不算作专用自行车道	①新增自行车道;②原有非机动车道改造为专用自行车道	符合任一项则计 1 分	
F 无步道	无步道	符合则计 1 分	机非混行的道路算是“无步道”	①新增步道	符合则计 1 分	
有步道	G 有街道家具	①有摆在街道两旁的椅、凳等;②有边缘可坐的花坛(花坛边缘需具有一定的厚度,可容纳行人坐下);③其他设施附带的椅凳(如宣传栏旁边附带的椅凳、公交车亭的椅凳)	符合任一项则计 1 分	①部分公交车亭并无座位,应注意区分;②商铺门口摆放的临时座椅不算作街道家具	①增设街道家具	符合则计 1 分
	H 步道宽度适宜	从路沿石开始的步道宽度可以满足轮椅、婴儿推车、两人并肩同行	符合则计 1 分	只要步道不是极端的窄,即可得分	①步道拓宽	符合则计 1 分
步道设施指标	I 步道无长期占道	①无小商小贩占道经营;②非机动车辆和大量自行车停放;③无杂物堆放(如晾晒衣服、废弃家具等);④植物(类似树坑、灌木丛等)、公共设施(如垃圾箱、路灯、座椅、变电箱等)占道后仍能满足两人并肩同行	符合所有项则计 1 分	①正在施工的工地不算是占道现象;②步道上有大广场,若停车线内停机动车不算占道行为,若停车线外停机动车则算作占道行为,若无停车线停机动车也算作占道行为	①树坑、灌木、路灯等影响路人行走的街道设施被移除 ②车辆、小摊贩等流动性物品被移除	符合任一项则计 1 分
	J 步道无失修迹象	①无道路铺砖(明显的/多处)破损;②无路面(明显的/多处)开裂	符合所有项则计 1 分	①只针对步行道,机动车道不在评价范围内;②步道上的污渍不算做步道失修。步道失修仅关注步道铺装本身的破损情况	①步行道重新铺装(即使原来与现在铺装都很完整)	符合则计 1 分

资料来源:作者自绘

$$\text{某城市各指标现状(以指标 A 为例)} = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} A_{ij}}{n_1}$$

$$\text{某城市各指标改善(以指标 A 为例)} = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} A_{il}}{n_1}$$

其中, n_1 代表该城市 A-F 项指标打分有效点数(排除由于照片过暗或道路为高速路无法评价的情况), n_2 代表该城市 G-J 项指标打分的的有效点数(排

除由于照片过暗、道路为高速路、或拍摄点距步道距离较远或过暗无法判断的情况), A、B……J 代表步行友好性现状评价分项指标评价得分(为便于评价, F 指标得 1 分代表无步道, 计算中考虑指标正负作用, 将 F 指标得分互换, 即 1 分代表有步道), i 代表不同街景点位, A_{ij} 、 B_{ij} …… J_{ij} 代表不同街景点各项指标的现状评价得分结果, A_{il} 、 B_{il} …… J_{il} 代表不同街景点各项指标的改善评价得分结果, w_a 、 w_b 、 w_c …… w_j 代表步行设施评价分项指标的权重。



图 2 虚拟审计平台-基于街景影像对街道步行环境进行人工审计

资料来源: 内部网站截图

1.4 评价过程与检验

评价环节, 邀请 7 位城市规划专业背景的审计员, 完成街道步行设施现状情况及改善情况的人工评价, 同时, 为保证审计结果个体差异最小, 进行三轮检验。

首先, 检验 7 位审计员预实验结果。预实验中, 每人对深圳 200 个点位进行预审计, 一方面, 对预实验审计结果逐一进行核对查看是否有明显审计错误的情况, 并进行再次培训, 直至符合要求。另一方面, 将审计员的审计结果视作图像像素, 对不同审计员的打分结果进行两两对比, 以排除个人审计因素的影响, 计算公式为:

$$IoU = \frac{NS}{NU}$$

其中, IoU 为检验结果, NS 为两个审计员审计结果相同部分的数量, NU 为审计总数 [审计点位数 \times 20 (现状指标数量 10 个 + 改善指标数量 10 个), 本研究中 $NU = 4000$]。审计员之间两两对比的 IoU 检验结果几乎均在 80% 以上 (计算机检测任务中一般约定, 如果 $IoU \geq 0.5$, 则检测正确), 一致性较高, 7 位审计员对评价指南的认知基本一致, 符合审计要求。

其次, 初步检验 7 位审计员正式审计结果。正式审计过程中, 虚拟审计平台后台记录每个审计员审计时在各个审计点位界面最后一次页面的停留时间。我们认为, 审计页面停留时间小于 5s 可能存在审计员未仔细观察街景图片各要素的情况, 故筛选并计算每个审计员审计页面停留时间大于 5s 的点位比例。计算结果发现 5 位审计员该比例在 91% ~

97%,符合审计要求。另2位审计员在初次审计完成后重新进行了一轮校对,系统后台记录了检查时间,导致页面停留时间较短,故对另2位审计员着重进行第3轮的检验。

再次,对7位审计员的正式审计结果每隔100

点进行抽查,并对7位审计员进行反馈,要求其根据抽查结果不符的内容对全部审计结果进行核查并最终修改。

综合上述预实验及三轮检验,我们认为本次数据审计结果有效可信。

表3 评估城市及其街景图片评估年份和评估数量

城市	评估基期	评估末期	时间跨度(年)	评分数量(个)	n ₁ (个)	n ₂ (个)	城市	评估基期	评估末期	时间跨度(年)	评分数量(个)	n ₁ (个)	n ₂ (个)
包头	2014	2018	4	500	497	447	宁波	2014	2017	3	500	470	418
北京	2013	2019	6	1120	1096	932	青岛	2014	2017	3	500	488	455
常州	2014	2017	3	646	626	576	厦门	2014	2019	5	500	486	440
成都	2014	2019	5	500	468	426	汕头	2014	2019	5	500	498	478
大连	2013	2019	6	500	472	452	上海	2013	2017	4	1473	1400	1289
东莞	2014	2019	5	500	493	429	深圳	2013	2017	4	500	488	428
佛山	2015	2019	4	500	482	423	沈阳	2013	2019	6	500	472	441
福州	2014	2017	3	500	484	453	石家庄	2014	2019	5	500	449	411
广州	2013	2019	6	871	846	828	苏州	2014	2017	3	607	583	535
哈尔滨	2014	2017	3	818	801	741	太原	2014	2019	5	500	473	413
杭州	2014	2017	3	500	469	404	天津	2013	2017	4	500	495	418
合肥	2014	2017	3	500	468	360	温州	2014	2017	3	500	495	449
呼和浩特	2014	2018	4	500	497	460	无锡	2013	2017	4	500	491	411
惠州	2014	2019	5	500	499	470	武汉	2014	2019	5	500	479	423
济南	2014	2017	3	500	483	435	西安	2014	2019	5	668	640	558
昆明	2014	2019	5	500	481	425	徐州	2014	2018	4	500	479	420
兰州	2014	2019	5	500	492	459	烟台	2014	2017	3	557	545	522
临沂	2015	2018	3	500	498	419	长春	2014	2019	5	500	484	448
柳州	2014	2018	4	500	495	455	长沙	2014	2017	3	889	853	765
洛阳	2014	2018	4	500	494	419	郑州	2014	2019	5	500	473	378
南昌	2014	2017	3	500	495	434	珠海	2014	2017	3	500	474	456
南京	2014	2017	3	617	582	529	淄博	2014	2018	4	500	488	448
南宁	2014	2019	5	500	487	415							
数量总计												25766	
n ₁ 总计												24928	
n ₂ 总计												22438	

资料来源:作者自绘

2 城市街道步行设施改善情况评价分析

2.1 街道步行设施指标评价结果

通过四分位箱线图^①(Boxplot)^[36]对城市街道步行设施相关指标进行分析,以比较指标之间的得

分差异(图3)。

结果发现,各城市在街道绿化、连贯建筑物、有无步道、步道宽度适宜这四项指标的表现一贯较好。步道失修指标是现状较好,改善也较好的指标,但由于步道失修状况随时间而不断变化,因此

应持续保持对该指标的关注。机非隔离设施指标虽现状表现一般,改善情况城市间差异较大,但整体上是近年改善最好的指标,若能继续保持这一发展趋势,相信在未来会有更好的表现。过街设施、

步道占道两项指标现状稍差,改善情况也一般,需要在未来持续进行改进。专用自行车道和街道家具两项指标的现状评分及改善评分均不理想,亟需城市政府的关注以对现状进行改进提升。

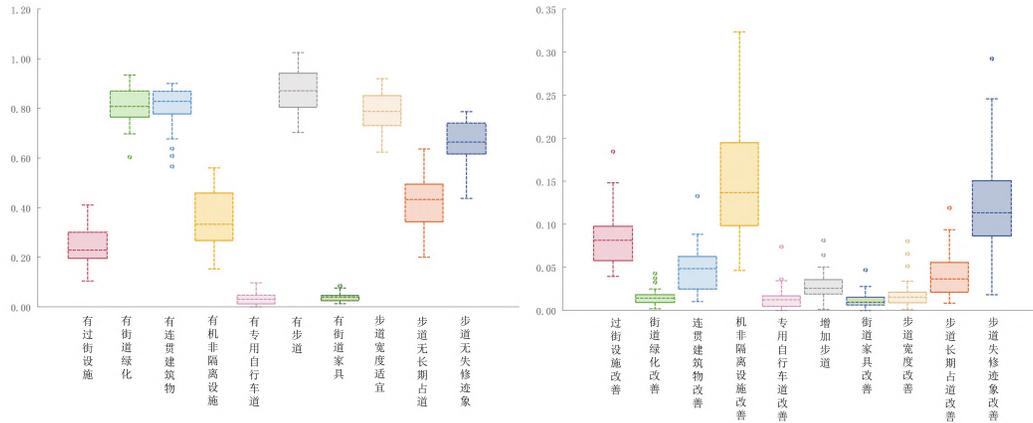


图3 城市街道步行设施指标分析情况(左:现状评估结果,右:改善评估结果)

资料来源:作者自绘

2.2 街道步行设施城市评价结果

各城市步行设施现状与改善情况的得分如图4、图5所示。改善排名前十的城市分别为北京、长春、武汉、郑州、深圳、兰州、成都、厦门、汕头、沈阳。但城市街道步行设施的改善并非一蹴而就,而与其过去的实际情况以及空间的改善提升性有关。相对于其他城市,上海在2017年的步行设施建设情况较好,但其在2013~2017年的评估期间的改善情况相对较低,这说明上海2013年步行设施建设已经达到较好水平,在评估期内步行设施可改善提升的空间有限。因此,本研究建立了“现状—改善”的二维评价体系,以期更加客观、相对综合地描述城市街道步行设施的建设与改善情况。

通过自然间断点分级法将现状和改善情况的评估结果分为A、B、C、D四级,并构建二维评价体系(表4),将其分为“好”“较好”“可改进”“改善中”“较差”五大类。其中,“A-A/B/C/D”代表相对于其他城市来说,该城市现状评价好,因此尽管其可能在评估期内改善情况较差,但这是因为其在评估期伊始已经达到相对较好的水平,可改善空间相对较小,不能简单地认为该城市步行设施改善情况较差,在此区间的城市有11个。“B-A”“B-B”代表该城市现状评价较好,虽表现不如“A-”级城市,但其

改善情况好,可以预见若继续保持目前的改善趋势,该城市未来很快会达到更好的水平,5个城市属于此列。“B-C”“B-D”有7个城市,现状评价较好但改善情况稍差,仍有改进提升的空间。“C/D-A”“C/D-B”有5个城市,现状评价相对较差,但改善情况较好,若保持目前趋势,可以达到更好水平。“C/D-C”“C/D-D”级城市现状评价较差,改善情况同样较差,是值得重点关注的城市,其余17个城市属于此列。

从街道步行设施现状结果来看,除北京、成都、兰州、厦门、深圳、武汉、郑州、杭州、石家庄、西安、上海11个城市现状已经达到相对较好的水平外,其余34个城市仍有较大的改善空间,可通过城市更新、街道整治或相关政策进行改善提升。

2.3 街道步行友好政策评价结果

在过往几年中,城市步行道与慢行系统政策已得到诸多城市与社会的广泛关注,并相继出台相关政策导则以支持步行道与慢行系统的建设与发展。基于本文步行设施研究视角及纵向改善情况比较的研究目的,对45个城市各自评估期内^②实行的步行街道政策等级进行分类和统计(表5),政策等级表明该城市对慢行系统和街道步行友好性的重视程度和政策力度。

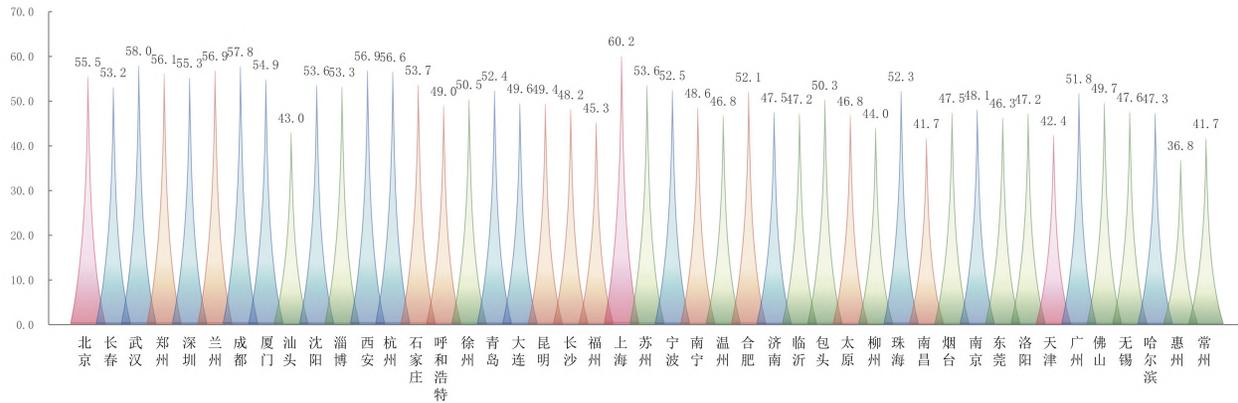


图4 中国主要城市街道步行设施现状得分

资料来源:作者自绘

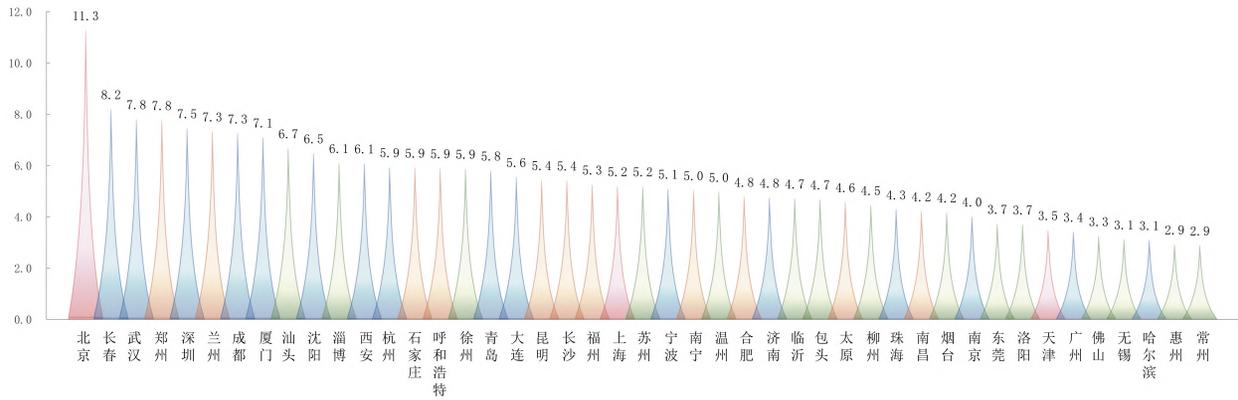


图5 中国主要城市街道步行设施改善得分

资料来源:作者自绘

表4 城市“现状—改善”二维评价结果

城市街道步行设施“现状—改善”二维评价结果	现状评级			
	A (53.8~60.2)	B (49.8~53.7)	C (44.1~49.7)	D (36.8~44.0)
A (6.8~11.3)	北京、成都、兰州、厦门、深圳、武汉、郑州	长春	/	/
B (5.4~6.7)	杭州、石家庄	沈阳、徐州、淄博、青州	大连、昆明、长沙、呼和浩特	汕头
C (4.1~5.3)	上海	合肥、苏州、珠海、宁波、包头	济南、温州、烟台、太原、福州、柳州、南宁、临沂	南昌
D (2.9~4.0)	/	广州、佛山	无锡、东莞、哈尔滨、洛阳、南京	常州、惠州、天津

资料来源:作者自绘

在“现状—改善”二维体系评价结果的基础上,引入城市政策维度,构建“现状—改善—政策”三维评价体系,以进行宏观政策颁布与执行情况的评

估,其中,政策与现状的评级结果与相互关系反映了该城市步行友好政策的颁布情况,体现的是基于政策颁布而产生的表现结果;政策与改善的评级结

果与相互关系反映了该城市步行友好政策的执行情况,体现的是基于政策颁布而贯彻战略意图完成政策目标的改善过程。共分为 8 类,详细的评价标准与评价结果如图 6、表 6 所示。

从城市评价结果与政策评价结果对比来看: 改善评级较高的 8 个城市,以及现状已经达到相对较好水平的 11 个城市,其评估期内政策颁布也较为全面丰富,政策颁布力度大,政策执行效果好。其余

城市在政策颁布与政策执行方面均有改善空间。

3 城市街道步行设施改善策略

城市评价结果评级较低反映的是该城市宏观政策规划颁布与执行审查的缺失,以及微观设施建设与监管的不足。基于上述评价与分析,研究从宏观城市政策和微观设施提升两方面针对性提出如下建议。

表 5 城市街道政策评估

级别	类型	城市	数量
A	有该城市单独的慢行系统相关的街道规划、手册或导则	北京、上海、石家庄、沈阳、大连、长春、苏州、无锡、徐州、常州、杭州、温州、合肥、厦门、济南、烟台、郑州、武汉、广州、汕头、深圳、珠海、惠州、成都、兰州、南京、淄博	27
B	在该城市相关规划/其他文件中提到慢行系统	天津、太原、宁波、长沙、东莞、佛山、昆明、西安、南昌、青岛	10
C	仅有该省的慢行系统相关的街道规划、手册或导则	无	0
D	仅在该省全域其他相关规划/其他文件中提到慢行系统	哈尔滨、福州、洛阳、呼和浩特、包头、南宁、柳州	7
E	仅在该省其他城市有慢行系统相关规划、手册或导则	临沂	1

资料来源: 作者自绘

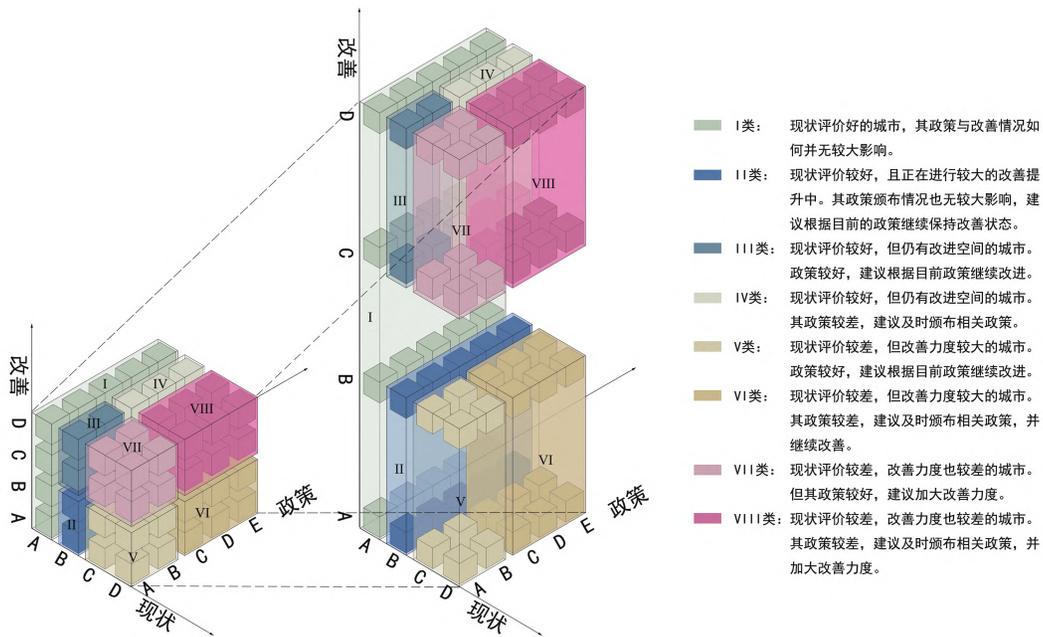


图 6 城市街道步行友好性“现状—改善—政策”三维评价体系

资料来源: 作者自绘

表 6 城市街道步行友好性“现状—改善—政策”三维评价结果

三维评价结果	城市	数量
I 类	北京、成都、兰州、厦门、深圳、武汉、郑州、杭州、石家庄、西安、上海	11
II 类	长春、沈阳、徐州、淄博、青岛	5
III 类	合肥、苏州、珠海、宁波、广州、佛山	6
IV 类	包头	1
V 类	大连、昆明、长沙、汕头	4
VI 类	呼和浩特、南昌	2
VII 类	济南、温州、烟台、太原、无锡、东莞、常州、惠州、天津	9
VIII 类	福州、柳州、南宁、临沂、哈尔滨、洛阳、南京	7

资料来源:作者自绘

3.1 宏观城市政策:建议各城市重视步行设施相关政策与街道导则的制定与实施

根据“现状—改善—政策”三维评价结果,发现目前存在三种类型城市,并提出相应建议:(1) 针对政策匮乏城市,应首先颁布相关政策进行宏观规划,如慢行系统规划,街道步行导则等,通过对本城市进行专业的步行街道设计,首先从政策层面予以重视,推动当地街道步行友好性发展。包括 IV、VI、VIII 3 类政策较差的 10 个城市。(2) 针对政策相对完善但改善力度不足的城市,应加大改善力度,包括步行设施的建设与维护、街道设施形式的提质升级等,切实落实相关政策的执行与落地。包括 III、IV、VII、VIII 4 类改善力度较差的 23 个城市。(3) 针对政策完善改善力度也较大的城市,应关注落实政策执行结果与监督审查:对于 II、V2 类 9 个城市,相关政策已颁布,改善力度也较大,但却并未达到较好的现状结果,建议予以监督审查,保证当地街道步行友好性政策的落地质量。

3.2 微观设施提升:建议各城市针对性建设提升步行设施

根据箱线图指标分析结果,未来值得重点关注提升的步行设施是专用自行车道和街道家具,所有城市均应重点关注提升。针对前者,建议增设专用自行车道、增设标识和铺装,并加强交通管制与监督,分离慢行空间,理顺人车关系;针对后者,建议增加街道休憩节点,或结合已有的公交站、花坛等进行设置,给予街道空间行人休憩空间,同时应加强街道家具设施的清洁与维护工作。

过街设施建设和步道占道情况仍需改善。过街设施的有无是行人步行最重要的功能之一,其建

设情况能够增强行人便捷性,根据研究结果,在十项指标中,过街设施的现状与改善情况较为一般,特别是佛山、烟台、常州、无锡、天津、济南、昆明、石家庄、合肥、惠州 10 个城市需要重点关注该项指标,可通过加大建设、改善维护等方式进行改质提升;步道占道影响行人的正常通行路线,广州、珠海、惠州、佛山、洛阳、南昌、南京、无锡、常州、天津 10 个城市需要重点关注,增加停车场或路边停车线建设与划定,加大监管与惩罚力度,归还步行空间。

步道失修影响市容市貌,尽管本次评价较高,但由于步道失修状况随时间而不断变化,因此应持续保持对该指标的关注,特别是广州、南京、惠州、温州、无锡、常州、东莞、佛山、宁波、洛阳 10 个城市应加大关注力度。

4 总结

城市步行友好性已经得到国家和社会的广泛关注,目前在该领域已有较多政策支持和实践实施。但近年来城市步行友好性的改善情况如何,还需通过相关评价来进行检验,以为后续的改进提供方向和建议。

因此,本文以街道步行设施为研究对象,基于人工虚拟环境审计平台,首先对多年街景图片进行纵向比较,证实了在时间维度上对城市街道步行设施改善情况评价与研究路径的可行性,并以中国 45 个城市为例进行了实证测度与评价。其次,本文对 10 项城市街道步行设施指标进行评价,在设施与指标层面上明确各类步行设施近年来的建设与改善情况。第三,本文通过“现状—改善”二维评价体系对步行设施建设与改善情况进行评价与描述,将城

市分为“好”“较好”“可改进”“改善中”“较差”五大类型,以期相对客观综合地在城市尺度上评价其步行设施建设和改善的水平。第四,本文结合城市步行设施政策,从政策颁布与执行两方面进行评估,描述宏观政策对城市步行友好性改善的影响。最后,基于上述研究与分析,本文从宏观与微观的角度针对性提出城市政策与设施提升两方面策略,以期对城市街道步行设施改质提升提出建议。

通过本文研究,能够初步了解近年来城市步行设施建设与改善的进展及不足,并有助于辅助街道步行政策与规划的修订落实,有助于城市更新、城市设计、以及步行设施的改质提升。

此外,本研究也存在一些不足和提升空间。指标体系方面,仅包括了静态的、基于街景图片易于评估的指标,还可引入其他更大评价维度的评价指标,如过街时长等设施管理因素、声环境等感官感受等;城市评级方面,本研究是对城市之间的相对性进行研究,即 A 级代表相对其他城市来说较好,但由于缺少绝对的标准值,并不能代表该城市已经处于较好的水平,因此,本研究中“现状—改善”评价为“A-A”级的城市仍有改进空间,如单项指标的提升,设施的美化等;另外,还可引入深度学习方法实现更省人力物力的更大规模测度。△

【注释】

①箱线图能显示出一组数据的上限、下限、中位数(Q2)、及上(Q3)下(Q1)四分位数,可用作显示一组数据的分散情况。箱体表示数据的集中范围(Q1到Q3的数据范围),也可比较几组数据的形状,反映正常值数据分布集中还是分散。具体计算方法为:将一组数据从大到小排列, Q_i 所在位置 $A_i = i(n+1)/4$, 其中 $i=1,2,3,n$ 表示序列中包含的项数。若 A_i 为整数,则 Q_i 为第 A_i 项;若 A_i 为小数,则 $Q_1=0.25 \times$ 第 $[A_1]$ 项 $+0.75 \times$ 第 $[A_1]+1$ 项; $Q_2=0.5 \times$ 第 $[A_2]$ 项 $+0.75 \times$ 第 $[A_2]+1$ 项; $Q_3=0.75 \times$ 第 $[A_3]$ 项 $+0.25 \times$ 第 $[A_3]+1$ 项。

②统计评估期内的政策是为了更好地证明该政策理论上对该评估期内的改善情况是正向作用,统计的政策类型包括步行和自行车交通系统规划/导则/标准/蓝皮书、慢行交通系统规划、城市道路交通文明畅通提升行动计划、街道设计导则等。各城市评估期即表 2 中评估基期与评估末期之间的年份。

【参考文献】

[1] LABDAOUI K, MAZOUZ S, ACIDI A, et al. Utilizing thermal

comfort and walking facilities to propose a comfort walkability index (CWI) at the neighbourhood level [J]. *Building and Environment*, 2021, 193: 107627.

[2] SHAMSUDDIN S, HASSAN N R A, BILYAMIN S F I. Walkable Environment in Increasing the Liveability of a City [J]. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2012, 50(1): 167-178.

[3] 王辰, 邓浩. 迈向可步行城市: 丹佛经验 [J]. *建筑与文化*, 2015(3): 94-97.

[4] Ministry of the Interior and Kingdom Relations. Government Gazette of the Kingdom of the Netherlands [EB/OL]. [2021-02] (2021-12). <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stert-2021-4664.html>.

[5] 卢银桃, 王德. 美国步行性测度研究进展及其启示 [J]. *国际城市规划*, 2012, 27(01): 10-15.

[6] CAMBRA P, MOURA F. How does walkability change relate to walking behavior change? Effects of a street improvement in pedestrian volumes and walking experience [J]. *Journal of Transport & Health*, 2020, 16: 100797.

[7] 刘涟涟, 尉闻. 步行性评价方法与工具的国际经验 [J]. *国际城市规划*, 2018, 33(04): 103-110.

[8] EWING R, HANDY S. Measuring the unmeasurable: Urban design qualities related to walkability [J]. *Journal of Urban design*, 2009, 14(1): 65-84.

[9] 自然资源保护协会. 2015 年中国城市步行友好性评价报告 [EB/OL]. [2014-08] (2021-11). <http://www.nrdc.cn/Public/uploads/2016-12-02/58416d12760d3.pdf>.

[10] 吴健生, 秦维, 彭建, 等. 基于步行指数的城市日常生活设施配置合理性评估——以深圳市福田区为例 [J]. *城市发展研究*, 2014, 21(10): 49-56.

[11] 自然资源保护协会, 清华大学建筑学院. 中国城市步行友好性评价——城市活力中心的步行性研究 [EB/OL]. [2019-05] (2021-11). <http://www.nrdc.cn/Public/uploads/2019-10-23/5db00acc2661c.pdf>.

[12] 郝新华, 龙瀛. 街道绿化: 一个新的可步行性评价指标 [J]. *上海城市规划*, 2017, 1: 32-36+49.

[13] 唐婧娴, 龙瀛, 翟炜, 等. 街道空间品质的测度变化评价与影响因素识别——基于大规模多时相街景图片的分析 [J]. *新建筑*, 2016, 5: 110-115.

[14] YOON J, CHUN J, KIM H. Investigating the Relation between Walkability and the Changes in Pedestrian Policy through Wearable Sensing [J]. *Sustainability*, 2020, 12(24): 10447.

[15] KELLY C M, WILSON J S, BAKER E A, et al. Using Google Street View to audit the built environment: inter-rater reliability results [J]. *Annals of Behavioral Medicine*, 2013, 45(suppl_1): S108-S112.

[16] 闵忠荣, 丁帆. 基于百度热力图的街道活力时空分布特征分析——以江西省南昌市历史城区为例 [J]. *城市发展研究*, 2020, 27(02): 31-36.

[17] HANIBUCHI T, NAKAYA T, INOUE S. Virtual audits of streetscapes by crowdworkers [J]. *Health & Place*, 2019,

- 59: 102203.
- [18] CHOI Y, SEO M J, OH S H. Walkability analysis of Busan's urban residential zones [J]. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 2016, 20(6): 2535-2547.
- [19] CARBONE R, SAGANEITI L, SCORZA F, et al. Increasing the Walkability Level Through a Participation Process [J]. *Lecture Notes in Computer Science*, 2018, 10964: 113-124.
- [20] BABB C, CURTIS C. Institutional practices and planning for walking: A focus on built environment audits [J]. *Planning Theory and Practice*, 2015, 16(4): 517-534.
- [21] 龙瀛, 周垠. 图片城市主义: 人本尺度城市形态研究的新思路 [J]. *规划师*, 2017, 33(02): 54-60.
- [22] 甘欣悦, 余天唯, 龙瀛. 街道建成环境中的城市非正规性基于北京老城街景图片的人工打分与机器学习相结合的识别探索 [J]. *时代建筑*, 2018(1): 62-68.
- [23] ZHANG Z, FISHER T, FENG G. Assessing the Rationality and Walkability of Campus Layouts [J]. *Sustainability*, 2020, 12(23): 10116.
- [24] YU R, CHEUNG O, LAU K, et al. Associations between perceived neighborhood walkability and walking time, wellbeing, and loneliness in community-dwelling older Chinese people in Hong Kong [J]. *International journal of environmental research and public health*, 2017, 14(10): 1199.
- [25] FRANK L D, SALLIS J F, SAELENS B E, et al. The development of a walkability index: application to the Neighborhood Quality of Life Study [J]. *Br J Sports Med*, 2010, 44(13): 924-933.
- [26] 李智, 龙瀛. 基于动态街景图片识别的收缩城市街道空间品质变化分析——以齐齐哈尔为例 [J]. *城市建筑*, 2018, 6: 21-25.
- [27] STEINMETZ-WOOD M, VELAUTHAPILLAI K, O'BRIEN G, et al. Assessing the micro-scale environment using Google Street View: the virtual systematic tool for evaluating pedestrian streetscapes (virtual-STEPS) [J]. *BMC public health*, 2019, 19(1): 1-11.
- [28] 龙瀛, 赵健婷, 李双金, 等. 中国主要城市街道步行指数的大规模测度 [J]. *新建筑*, 2018(3): 4-8.
- [29] 龙瀛, 李莉, 李双金, 等. 中国城市活力中心的街道步行环境指数测度 [J]. *南方建筑*, 2021, 1: 114-120.
- [30] DANNENBERG A L, CRAMER T W, GIBSON C J. Assessing the walkability of the workplace: a new audit tool [J]. *American Journal of Health Promotion*, 2005, 20(1): 39-44.
- [31] 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): 1-15.
- [32] SHAABAN K. Assessing sidewalk and corridor walkability in developing countries [J]. *Sustainability*, 2019, 11(14): 3865.
- [33] RUNDLE A G, BADER M D M, RICHARDS C A, et al. Using Google Street View to audit neighborhood environments [J]. *American journal of preventive medicine*, 2011, 40(1): 94-100.
- [34] AZIZ H M A, 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.
- [35] DONG W, CAO X, WU X, et al. Examining pedestrian satisfaction in gated and open communities: An integration of gradient boosting decision trees and impact-asymmetry analysis [J]. *Landscape and urban planning*, 2019, 185: 246-257.
- [36] DAVID A. ANDERSON, DENNIS J. Sweeney, Thomas A. Williams, *Statistics for business and economic* [M]. West Publishing Company, 1996.
-
- 作者简介: 张书杰(1995-), 女, 清华大学建筑学院博士研究生, 主要研究方向: 定量城市空间、生态空间。
- 收稿日期: 2022-03-17
- (下转第73页)

Recognition of Regional Relations Mode Based on Mobile Signaling Data: A Case Study of Chongqing and Its Surrounding Areas

LENG Bingrong, LI Jizhen, WANG Ying, PENG Zhenyu

【Abstract】 Mobile signaling data as an important data source attached to residents' individual travel behavior, using mobile signaling data to study regional relation mode has inherent advantages. In view of the current research situation that few mobile signaling data in different periods are used to analyze regional relation patterns, starting from the connotation of regional relations, this study deconstructs regional relations into three dimensions: relation strength, relation direction and relation type, and constructs a regional relation pattern analysis framework based on mobile signaling data combined with the identification method of mobile signaling data. Mobile signaling data in different periods such as weekdays, weekends and holidays represent different regional relation types. By constructing relation intensity index and relation direction index, regional relation modes are divided into commuting type, commercial type, recreational type and comprehensive type. Finally, taking Chongqing and its surrounding areas as an example, this paper uses China Unicom mobile signaling data to carry out empirical research. It is found that the connection mode between the central urban area of Chongqing and the surrounding areas is mainly recreational type, the important node cities and portal cities in the main urban metropolitan area are mostly comprehensive type, and the northeast and southeast of Chongqing are mostly commercial type. In the surrounding areas, the regional connection mode between 22 prefecture level cities such as Chengdu, Dazhou and Guang'an and Chongqing is comprehensive type, while Zunyi, Yichang and Nanchong are recreational type. In the future, we should focus on improving the industrial cooperation ability in the region, accelerate the promotion of convenient life policy tools, promote the cooperative development of adjacent areas and improve the level of integrated development.

【Keywords】 Mobil Signaling Data; Regional Relation; Mode Recognition; Chongqing and Surrounding Areas; Planning Responses

(上接第 64 页)

Evaluation on the Improvement of Pedestrian Facilities with Multi-year Street View Images

ZHANG Shujie, LI Wenzhu, LONG Ying*, ZHOU Yajing, PAN Zhiming

【Abstract】 The walkability of urban streets affects the quality of urban public space and urban livability. And it has been widely concerned worldwide. There are many studies on the assessment of current situations of cities. However, due to insufficient data availability, research on longitudinal comparison is still limited. In this study, we take the pedestrian facilities of urban streets as the research object, discuss the improvement of the walkability of urban streets in recent years from the time dimension, and analyze the results from three aspects: facility indicators, urban classification, and urban policies. Based on multi-year street view images of Baidu Maps, we selected 10 representative indicators. Then we recruited 7 auditors to conduct a virtual audit of the built environment of street views and assessed both the current and the improved situation of 45 cities in China. To ensure the reliability of evaluation results, there are 25,766 evaluation points in total and no less than 500 points in each city. The research results show that ① the current and improvement situation of the two indicators of bicycle lane and street furniture are not ideal, which urgently need the attention of the city government to improve the current situation. The remaining indicators have different performances in different cities; ② The improvement of pedestrian facilities is related to the actual situation before the evaluation period and the improvement space during the evaluation period. Therefore, the evaluation of the improvement situation should not only focus on the improvement but also the current. The two-dimensional evaluation system of "current-improvement" can objectively and truly reflect the construction of urban pedestrian facilities; ③ The three-dimensional evaluation results of "current-improvement-policy" can reflect the shortcomings of urban policies in the improvement of pedestrian facilities. It is helpful to assist in the revision and implementation of policies related to pedestrian friendliness and the improvement of pedestrian facilities. Improvements can be made through urban policy promulgation, policy implementation, policy supervision, etc.

【Keywords】 Walkability; Longitudinal Comparison; Street View Images; Multi-Year Comparison; Evaluation Indicators; Policy