

异质性视角下的街区复合环境与步行行为研究* ——以杭州为例

A STUDY ON NEIGHBORHOOD COMPOUND ENVIRONMENT AND WALKING BEHAVIOR FROM THE PERSPECTIVE OF HETEROGENEITY: TAKING HANGZHOU AS AN EXAMPLE

陈前虎 方丽艳 邓一凌

CHEN Qianhu; FANG Liyan; DENG Yiling

【摘要】基于杭州典型街区居民步行活动数据,利用社群属性、物质环境、心理感知三组变量构建两水平泊松回归预测模型,探索街区复合环境对步行日常事务、独步健身、步行交友聚会三类活动的影响。结论为,三类步行活动呈现由低到高的街区异质性特征,反映了城市步行行为环境的演进规律;社群属性、物质环境与心理感知因素分别构成步行行为环境的倾向因素、促成因素与强化因素,并呈现交互作用;街区土地使用策略对步行行为选择的影响是基础性和关键性的,但更富效率的作用还有赖于体系化、协同化的精细管理与相关策略的配合。最后,从街区环境的规划定位、营造方法与管理机制三个层面提出了可步行街区的建设策略与建议。

【关键词】可步行性;街区环境;步行行为;异质性

ABSTRACT: Using the data from a survey on resident's travel by walking in typical neighborhoods of Hangzhou, this paper develops a two-level Poisson regression model with community attributes, physical environment, and psychological perception as explanatory variables to examine the effects of the neighborhood compound environment on the three types of walking activities (i.e., daily affairs, leisure and sports, and social gathering). The results show that, the three types of walking activities exhibit the characteristics of neighborhood heterogeneity from low to high, reflecting the evolution law of the urban neighborhood environment and walking behavior. Community attributes, physical environment, and psychological perception respectively constitute the predisposing,

enabling, and reinforcing factors of the walking behavior and environment, and have interactive effects. The impact of land use strategy on walking behavior is fundamental and critical. However, only the systematic and refined management and the coordination of related policies can make it more efficient. In the end, the paper puts forward a set of strategies and suggestions for the construction of walkable neighborhood from the three aspects of neighborhood environment: planning position, creation methods, and management mechanisms.
KEYWORDS: walkability; neighborhood environment; walking behavior; heterogeneity

21世纪以来,城市可步行性的研究已引起世界范围内城市规划、交通工程以及公共健康等学科领域的持续关注。众多研究表明,适宜步行的社区对于促进健康^[1-3]、提高房价^[4]、减少社会犯罪^[5, 6]、激励创新和鼓励公民参与等都有着不可忽视的作用。

从已有研究来看,城市的可步行性受建成的物质环境影响,但同时也受社群、心理等诸多因素作用。在美国^[7-11]、加拿大^[12]、澳大利亚^[13, 14]、欧洲^[15, 16]等城市,众多研究利用计量模型建立起了不同空间尺度下物质环境可步行性与步行行为的相关关系,论证了密度、多样性、设计等要素复合形成的可步行指数(walkability score)与步行行为之间的数学一致性。如森德奎斯特等人^[15](K Sundquist, et al)在瑞典的实证研究表明,可步行性高的街区比低的街区居民一周交通性步行和休闲步行的平均发生率分别高出77%和28%,步行时间平均多50min。朗宁汉等人^[13](V Learnihan, et al)研究表明,相比区级单元(suburb)和人口普查单元(census collection district),15min步行范围尺度下的可步行指数的影响力最大。社群属性对步行行为的影响在众多研究中也得到论证,其中年龄、性别以

* 浙江省自然科学基金(LY15D010004)、国家社科重大招标项目(16ZDA018)资助。

陈前虎(1971-),男,浙江工业大学建筑工程学院执行院长,浙江工业大学城市化协同创新中心主任,教授,中国城市规划学会乡村规划与建设学术委员会委员。

方丽艳(1988-),女,浙江工业大学建筑工程学院硕士研究生,浙江大学建筑设计研究院规划师。

邓一凌(1987-),男,浙江工业大学建筑工程学院讲师。

及收入水平的影响往往是显著的,但存在地域上的差异^[17]。越来越多的研究人员开始关注心理感知因素的作用及其对可步行性的影响,认为心理因素会影响人们的步行出行频率^[7, 14, 18]。近年来,国内的相关研究也逐渐增多,主要集中在城市形态、街区土地利用与居民出行关系^[19, 20],轨道交通站点、生活社区以及商业街的可步行性及其影响因素等方面^[21-24]。这些研究从不同视角对城市可步行性进行了广泛的探索,但物质环境、社群属性与心理感知等因素究竟如何交互作用并影响人们的步行行为的相关研究相对缺乏。

近十多年来,伴随城市化、机动化和住房市场化的快速发展,城市特别是大城市社会空间分异加剧,社区内部的均质化与社区之间的异质化两种趋向正同时发生,并深刻地影响着人们的出行行为。随着多层建模(hierarchical modeling)方法的发展^[25],关注社会、空间与心理等复合因素作用下的街区环境异质性演变及其对居民出行行为的影响研究愈益迫切。

本研究以杭州为例,采用统计描述分析和多水平泊松(Poisson)回归模型,对街区邻里尺度^①的物质环境、社群属性以及心理感知等因素在步行日常事务、独步健身、独步交友聚会等三类步行活动上的影响进行比较和量化分析。目的是基于街区异质性的视角,分析不同步行行为与街区复合环境之间的关系,揭示步行行为演进规律,探讨步行行为的环境影响机制,研究步行行为选择的干预策略。

1 研究对象

本研究选取杭州市辖区不同年代建造的12个控规单元的65个住宅小区作为实证研究对象(图1)。研究假设不同单元街区之间存在步行行为异质性,并根据初步调查结果,按照社群的经济社会地位和街区物质环境的可步行程度(表1)将其分为四种不同类型的街区单元(图2)。

研究采用多阶段分层抽样调查,于2015年1月至2015年6月期间,对65个案例小区进行个体步行活动、步行心理及社群属性的访谈式调查,发放问卷2032份,回收2032份,整理有效问卷

1632份;利用SPSS(Statistical Product and Service Solutions)软件建立居民步行活动的基础数据库。

2 研究设计及初步分析

2.1 研究变量及特征

研究的自变量分为空间水平变量(level j)和



图1 案例控规单元及小区区位
Fig.1 Location of regulatory planning units and neighborhoods

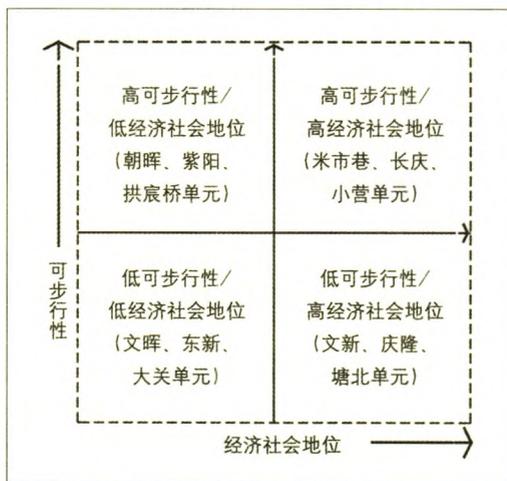


图2 案例控规单元分类
Fig.2 Classification of regulatory planning units

表1 控规单元步行指数与房价水平汇总

Tab.1 Walkability score and housing price level of regulatory planning units

项目	长庆	紫阳	小营	朝晖	大关	米市巷	拱宸桥	文晖	东新	庆隆	塘北	文新
步行指数	4.05	0.03	5.37	4.74	-2.87	0.07	0.04	-3.26	-1.19	-2.48	-3.05	-3.38
房价(万/m ²)	3.0	2.5	3.3	2.5	2.3	2.8	2.8	2.5	2.5	3.8	3.2	3.2

注:(1)参考弗兰克(Frank, 2005, 2006, 2010)提出的可步行性指数(walkability score)来测度空间的适宜步行程度,由控规单元5项指标确定。计算公式为:步行指数=Z-交叉口密度+Z-街道界面活性程度+Z-平均开发容积率+Z-土地利用混合率+Z-汽车禁入区域占比。各指标通过Z值标准化。(2)房价数据通过查询统计杭州房产网2015年1月案例小区的房价均值得到。

表2 街区邻里单元空间属性描述性统计分析汇总(N=65)
Tab.2 Descriptive statistics for spatial attributes of neighborhood units (N=65)

项目	密度	多样性	设施邻近度	集中商业500m服务半径覆盖(“覆盖”=1)	集中商业1000m服务半径覆盖(“覆盖”=1)	交叉口密度(个/km ²)	汽车禁入区域占比(%)	街道界面活性(%)
均值(Mean)	1.82	0.57	27.73	—	—	13.13	8.39	34
标准差(SD)	0.03	0.12	5.98	—	—	5.75	3.90	19
占比(%)	—	—	—	47.06%	89.46%	—	—	—
最小值	1.70	0.21	9.00	0.00	0.00	3.82	5.00	0.00
最大值	2.03	0.86	44.00	1.00	1.00	30.57	19.00	81.00

表3 步行心理特征描述性分析(N=1632)
Tab.3 Descriptive analysis on psychological characteristics of walking (N=1632)

项目	最小值	最大值	均值±标准差
行为态度(2项)	4	10	8.23±1.233
控制认知(2项)	2	10	7.48±1.445
选择偏好(5项)	10	25	19.04±3.091

表4 环境感知特征描述性分析(N=1632)
Tab.4 Descriptive analysis on environmental perception characteristics (N=1632)

项目	最小值	最大值	均值±标准差
舒适性(5项)	5	28	16.01±3.327
便捷性(2项)	2	10	6.91±1.544
连续性(2项)	3	10	6.73±1.570
愉悦性(2项)	3	10	7.05±1.454

个体水平变量(level i)。空间水平变量为物质环境要素,主要由控规单元图则结合场地调查进行修正获得;个体水平变量包括心理感知要素和社群属性,通过问卷调查获得。研究的因变量为个体步行活动特征。

2.1.1 物质环境要素特征

借鉴可步行性研究经验^[1, 2, 7~18, 26~28],考虑不同步行活动的空间尺度可能,选取以下8项指标表达街区邻里尺度土地使用和场所设计特征(表2)。

土地使用特征变量包括密度、多样性、设施邻近度、集中商业覆盖。密度是决定总体出行强度的重要因素,用总体开发容积率表示;多样性^②用土地利用混合熵值表征;设施邻近度以调查受访者所在小区到达10类日常设施的平均感知时间距离并赋值计算获得^③;集中商业覆盖指“500m或1km内是否有大型超市”,用哑元变量表示。场所设计特征包括交叉口密度、汽车禁入区域占比、街道界面活性程度。交叉口密度表征街道的网络连通性;汽车禁入区域占比表征完全步行区域供给水平;街道界面活性程度指积极的功能界面在整个定义路段中所占的比例。

结果表明,除密度外,其余7项指标的街区

差异性显著,尤其是街道界面活性、交叉口密度等指标,新区比老小区明显偏低。

2.1.2 心理感知要素特征

影响步行行为的心理因素很多,可以归纳为步行行为心理和环境感知心理两大类^[7, 8, 11, 13, 14, 29, 30]。采用李克特(Likert scale)五级量表设计问题,在“非常不同意”和“非常同意”之间相应赋予1~5的分值。

(1) 步行行为心理。

采用3类指标共9项要素进行评价。步行行为态度:步行的喜好程度;若步行环境宜人会尽量选择步行而非小汽车出行。步行控制认知:安全步行路线的熟悉程度;日常出行目的地的步行可达性。街区选择偏好:居民择居时对于住址方便上学、靠近工作地、公交出行方便、靠近商业等服务设施、社区环境适宜步行5项因素的重要性评价。

结果表明,步行行为态度均值为8.23,其中74.2%的居民喜欢步行,91.2%的居民表明在步行友好的环境中更愿意选择步行而非小汽车出行;步行控制认知均值为7.48,其中61.2%的居民日常出行目的地都在可接受范围内,67.3%的居民熟悉小区周边安全的步行路线;街区选择偏好均值为19.04,其中约50%的居民认为该5项因子是其择房考虑的主要因素(表3)。

(2) 环境感知心理。

采用4类指标共11项要素进行评价。舒适性:气候遮蔽设施、环境质量、步道宽度、违章占道;便捷性:路径便捷不绕路、步行专用道;连续性:步行空间连续不被车行打断、公交换乘设施;愉悦性:视觉景观、沿街功能丰富。

结果表明,居民对环境感知评价都在一般及以下。大部分居民认为杭州市步行道变窄(72.3%)、空气质量污浊(75.8%)、违章占道(77.1%)是降低舒适性的重要原因;其余三大性能指标各单项评估一般及以下的约占70%(表4)。

2.1.3 社群属性

(1) 家庭特征:以3~4口之家为主;整体

家庭收入水平较高；66.2%的家庭至少有1辆汽车；63.5%家庭住房面积都在61~120m²之间。

(2)个体特征：受访者男女均衡；以中青年为主；教育程度高，约48.3%接受过本科及以上学历；主要为一般基层和专业技术人员(表5)。

2.1.4 步行活动特征

已有研究表明，相比步行时间，步行频率与建成环境的相关关系往往更显著^[14]。本研究调查受访者7天内发生在从家到居住地周边目的地的三类步行活动的天数，包括日常事务、独步健身和交友聚会。其中，步行日常事务是指步行到达10类日常设施的活动，只要1天内有1类设施活动发生，就算频率1次；独步健身是指纯粹以健身为目的的个人步行活动；步行交友聚会是指以步行方式出门参加社交活动，如广场集体舞、朋友聚会等。

统计表明，本次调研区内的杭州市居民步行日常事务频率为3.74天/周(median=4; SD=3.677)，独步健身频率为3.40天/周(median=3; SD=4.899)，步行交友聚会频率为1.61天/周(median=1; SD=2.474)，呈现出“必要性步行活动(日常事务)>自发性步行活动(独步健身)>社会性步行活动(交友聚会)”的频率特征；从四类街区居民出行活动的比较分析(表6)来看，步行日常事务频率最高的是“高可步行/低经济社会地位”街区，而独步健身与步行交友聚会频率最高的都是“高可步行/高经济社会地位”街区。

2.2 研究方法

(1)模型设计。

本研究经分层抽样调查所获得的数据存在“个体-小区”两层次嵌套结构特质，呈现组内同质与组间异质的特点——个体步行行为在小区内趋同而在小区间趋异，有违传统的最小二乘回归(OLS)个体测量值相互独立的假设^[31~33]。为此，必须考虑个体步行行为空间自相关和同一小区受访个案具有相同空间属性的事实，突破以往单水平研究空间均质性假设的局限，采用随机截距两水平泊松回归模型对不同出行目的的步行频率进行建模。模型采用“迭代广义最小二乘法”(IGLS)进行参数估计，对参数进行Wald检验，具体设计如下：

$$y_{ij} \sim \text{poisson}(\pi_{ij})$$

$$\begin{cases} \log(\pi_{ij}) = \alpha_1 x_{1ij} + \alpha_2 x_{2ij} + \dots + \alpha_n x_{nij} + \\ \beta_{0j} + \beta_1 x_{1j} + \beta_2 x_{2j} + \dots + \beta_n x_{nj} \\ \beta_{0j} = \gamma_{00} + \mu_{0j} \end{cases}$$

$$\mu_{0j} \sim N(0, \sigma^2_{\mu_0})$$

y_{ij} 表示j小区居民i的步行频率； x_{mj} 和 x_{nj} 分别

为个体水平和空间水平的固定解释变量； α_m 、 β_n 分别为自变量 x_{mj} 和 x_{nj} 的系数； γ_{00} 为平均截距； μ_{0j} 表示未被直接观测到的空间水平的随机误差项，服从均值为0，方差 $\sigma^2_{\mu_0}$ 为正态分布，方差的大小反映了步行频率小区间的差异程度。

(2)模拟过程。

应用MLwin2.26软件，采用逐步回归的思路，按照以下四步将三组变量逐次引入模型，通过计算检验每一步已引入模型解释变量的贡献值，逐步回归筛选并剔除引起多重共线性的变量，以保证最后得到最优的解释变量集。

第一，拟合两水平“空模型”。不包含任何解释变量，评估步行行为在各小区间是否存在异质性。

第二，拟合纳入“社群属性”的随机截距两水平泊松模型。在两水平“空模型”中纳入所有“社群属性”，观察其显著性，去除无统计意义的因子。

表5 社群属性特征描述性分析汇总(N=1632)

Tab.5 Descriptive analysis on community attributes (N=1632)

项目	变量	占比(%)	项目	变量	占比(%)	
性别	女=0	52.0	人口数	1~2人	23.5	
	男=1	48.0		3~4人	61.8	
年龄	20~30岁(Age1)	40.4		5~6人	14.7	
	31~40岁(Age2)	33.3		60m ² 以下(Area1)	24.8	
	41~50岁(Age3)	11.5		61~90m ² (Area2)	35.3	
	51岁以上(Age4)	14.7		91~120m ² (Area3)	28.2	
文化程度	大专及以下(Edu1)	51.7	住房面积	121~160m ² (Area4)	10.0	
	本科(Edu2)	39.0		161m ² 以上(Area5)	1.7	
	研究生(Edu3)	9.3		家庭收入	10万以下(Inc1)	21.8
职位	机关事业单位(Pos1)	9.1			10~15万(Inc2)	27.0
	一般员工(Pos2)	38.0			15~25万(Inc3)	26.2
	技术人员(Pos3)	21.1	25~35万(Inc4)		15.0	
	个体户(Pos4)	11.3	35万以上(Inc5)		10.0	
	退休(Pos5)	13.5	小汽车		0辆	33.8
	其他(Pos6)	7.1		1辆	58.6	
		2~3辆		7.6		

表6 四类街区不同步行活动频率均值

Tab.6 Mean frequency of different walking activities in four types of neighborhoods

街区类型	不同步行活动频率(天/周)		
	日常事务	独步健身	交友聚会
高可步行/高经济社会地位	3.32	4.45	1.78
高可步行/低经济社会地位	4.50	2.72	1.53
低可步行/高经济社会地位	4.05	3.63	1.64
低可步行/低经济社会地位	2.82	2.84	1.44

第三, 拟合纳入“物质环境要素”的随机截距两水平泊松模型。控制显著的“社群属性”并进一步纳入小区物质环境解释变量, 观察步行行为的街区异质程度, 以及社群属性影响效应的变化, 并具体分析物质环境要素对步行行为的影响。

第四, 拟合纳入“心理感知要素”的随机截距两水平泊松模型。在上述预测模型中进一步纳入步行心理感知要素, 以检验其对物质环境及社群属性的影响及程度。

上述研究旨在揭示: (1)宏观上, 三类步行行为是否存在街区异质性, 各自的显著性程度及表现特征; (2)中观上, 物质环境、社群属性和心理因素是否解释三类步行行为的街区异质性, 解释能力及相互关系如何; (3)微观上, 哪些具体的街区环境要素与步行行为之间存在相关性, 正负效应如何。

3 模型结果

按上述设计, 分别拟合三类步行出行频率模型^④, 输出结果如表7~表9所示。其中: 表7以独步健身为例, 纪录其模型拟合的全过程, 包括“两水平空模型—纳入社群属性的两水平模型(模型1)—纳入物质环境要素的两水平模型(模型2)—纳入心理感知要素的两水平模型(模型3)”四步; 表8、表9是三类步行频率模拟结果比较简表。

3.1 独步健身频率预测模拟分析

第一步, “个体-小区”两水平“空模型”显示街区异质性参数 $\sigma^2_{\mu_0}$ (S.E.)为0.209, 显著不为0, 表明独步健身行为在小区间存在明显的街区异质性, 有必要通过构建多层模型纳入不同层次变量来解释这种异质性。

表7 独步健身频率多水平泊松预测模型参数估计

Tab.7 Multi-level Poisson regression models for predictors of weekly frequency of walking for leisure and sports

解释变量	模型1			模型2			模型3		
	系数B	统计量(Wald)	显著性(Sig.)	系数B	统计量(Wald)	显著性(Sig.)	系数B	统计量(Wald)	显著性(Sig.)
社群属性(level i)									
Age3(ref:age1)	0.163	3.275	0.071*	0.178	4.054	0.045**	—	—	—
Age4(ref:age1)	0.409	30.103	0.000***	0.407	30.463	0.000***	—	—	—
物质环境要素(level j)									
密度				—	—	—	—	—	—
多样性				0.086	3.482	0.063*	—	—	—
交叉口密度				0.153	9.754	0.002***	—	—	—
街道界面活性程度				0.354	44.025	0.000***	—	—	—
设施邻近度				0.059	4.064	0.024**	—	—	—
汽车禁入区域占比				0.186	4.630	0.031**	—	—	—
集中商业500m覆盖				—	—	—	—	—	—
集中商业1000m覆盖				0.281	3.085	0.080*	—	—	—
心理感知要素(level i)									
步行态度							0.255	33.218	0.000***
行为控制认知							0.345	61.364	0.000***
选择偏好							—	—	—
舒适性							0.125	9.314	0.002***
便捷性							—	—	—
愉悦性							0.062	2.808	0.095*
连续性							—	—	—
截距	1.587		0.000	1.383		0.000	1.029		0.000
街区异质性参数 $\sigma^2_{\mu_0}$ 及标准误(S.E.)	0.193 (0.053)			0.085 (0.029)			0.000		
AIC系数	773.571			754.892			447.093		
-2 Log likelihood	771.561			752.882			445.083		
调整后的McFadden's pseudo R ²	0.0142			0.0183			0.426		

注: 空模型赤池系数(AIC)为792.866, 街区异质性参数 $\sigma^2_{\mu_0}$ 及标准误(S.E.)分别为0.209和0.055。

*代表Sig.<0.1, **代表Sig.<0.05, ***代表Sig.<0.01; 空格代表对应的要素未纳入模型, “—”代表纳入模型中不显著的要素。

表8 三类步行频率分步预测模型拟合优度和组间差异比较

Tab.8 Comparison on adjusted McFadden's pseudo R² and group variance of the three models

分模型	步行日常事务			独步健身运动			步行交友聚会		
	Adj. R ²	$\sigma^2_{\mu 0}$	ρ	Adj. R ²	$\sigma^2_{\mu 0}$	ρ	Adj. R ²	$\sigma^2_{\mu 0}$	ρ
空模型	—	0.090	—	—	0.209	—	—	0.119	—
模型1	0.011	0.071	0.211	0.014	0.193	0.076	0.023	0.089	0.252
模型2	0.042	0.021	0.767	0.018	0.085	0.593	0.019	0.087	0.269
模型3	0.253	0.000	1.000	0.426	0.000	1.000	0.014	0.075	0.370

注： ρ 表征纳入解释变量后，对步行活动街区异质性的解释能力。公式为： $\rho = \frac{\sigma^2_{\mu 0空} - \sigma^2_{\mu 0非空}}{\sigma^2_{\mu 0空}}$ 。

第二步，在两水平空模型中纳入所有社群属性解释变量(模型1)，结果显示，街区异质性参数为0.193，相应地，表征异质性解释能力的系数 ρ 为0.076(表8)。其中，只有年龄与居民独步健身频率显著正相关，即年龄变量能够解释独步健身行为在街区间7.6%的异质性。

第三步，在两水平空模型中控制显著的“社群属性”要素——年龄，进一步纳入物质环境要素(模型2)，结果显示，街区异质性参数 $\sigma^2_{\mu 0}$ 由空模型的0.209变为0.085，显著减小， ρ 为0.593，表明显著的“社群属性”和“物质环境要素”能够解释59.3%的街区异质性(表8)。从具体要素看，“多样性”、“交叉口密度”、“街道界面活性程度”、“设施邻近度”、“集中商业1000m覆盖”、“汽车禁入区域占比”等物质空间要素呈显著正相关，而“年龄”这一有效社群属性的显著性得到了进一步增强。

第四步，在模型2中纳入心理感知变量(模型3)拟合结果显示，街区异质性参数变为0， ρ 为1，即有效的社群属性、物质环境和心理感知变量能够100%解释街区异质性。其中，步行态度、行为控制认知、舒适性呈强显著正相关。同时，纳入心理感知变量后，有效物质环境要素和社群属性的显著水平从模型2的“显著”变为模型3的“不显著”，削弱效应非常明显，换句话说，一旦人们对周边步行环境好坏形成总体感知，将直接决定其步行行为的选择与习惯，由此可见步行心理因素在影响居民独步健身中起到的强化性作用。

另外，看赤池系数(AIC)^⑨和拟合优度即调整后R²的变化，从空模型到模型3，分别呈显著下降和上升态势，拟合度越来越好，模型3的拟合优度达到了0.426。这一事实进一步表明，对独步健身来说，相关社群属性、物质环境与心理感知都是影响步行行为的重要因素，但人们对环境的心理感知能强化出行倾向。

3.2 三类步行行为活动模拟结果比较分析

表8和表9从异质性视角揭示了三类步行行为活动与街区复合环境之间关系：

(1) 三类步行行为都存在街区异质性，但反映街区环境总体差异的空模型异质性参数数值呈现出“随活动必要性程度升高而降低”的特征。如日常事务作为必要性活动，频率最高，但异质性参数值最低(0.090)；而独步健身和交友聚会作为非必要的自发性、社会性活动，街区异质性参数值明显较高。

表9 三类步行频率预测模型变量参数(回归系数B及显著性)估计结果比较

Tab.9 Comparison on estimate results of variable parameters (Coefficient B and Sig.) of the three types of walking frequency prediction model

解释变量	步行日常事务	独步健身运动	步行交友聚会
社群属性(level i)			
性别(ref: 男)	+0.138***		
人口数			-0.090**
年龄(ref: 20-30岁)	Age3: + 0.221*** Age4: + 0.250***	Age3: +0.163* Age4: +0.409***	Age2: -0.366*** Age4: -0.893***
收入(ref: 10万以下)			Inc4: +0.215* Inc5: +0.300**
住房面积(ref: 60m ² 以下)			Area2: +0.260*** Area5: +0.677**
物质环境要素(level j)			
多样性		+0.086*	
交叉口密度	-0.081**	+0.153***	
街道界面活性程度	+ 0.216***	+0.354***	-0.099**
设施邻近度	+ 0.129***	+0.059**	
汽车禁入区域占比		+0.186**	+ 0.370**
集中商业500m覆盖(YES)	+ 0.173***		+0.106**
集中商业1000m覆盖(YES)		+0.281*	
心理感知要素(level i)			
步行态度		+0.255***	
控制认知		+0.345***	
选择偏好	+0.135***		+0.065**
舒适性		+0.125**	
便捷性	+0.224***		+0.084*
愉悦性		+0.062*	
连续性	+0.085***		

注：社群属性、物质环境以及心理感知各要素参数估计结果分别摘录自模型1、2、3。

(2) 三类步行活动频率的街区异质性受到三类街区环境要素的作用, 但机制与程度不同。日常事务与独步健身相比, 社群属性对街区异质性的解释力更强, 但心理因素要弱一些, 物质环境因素的解释能力都达到过半水平; 交友聚会的街区异质性目前主要受社群属性和部分心理因素的影响控制, 但本次研究假设的三类环境变量整体上还无法完全解释街区异质性(模型三参数 $\sigma^2_{\mu_0}$ 不为0, ρ 只有0.370)。与独步健身相似, 日常事务和交友聚会两类步行活动在纳入心理感知变量后, 都不同程度呈现对物质环境和社群属性变量影响的削弱效应。

(3) 三类步行活动频率与有效微观环境要素之间存在显著的相关性, 并呈现不同的环境价值指向。第一, 步行日常事务与性别、年龄呈显著正相关, 女性、年龄较大的群体更愿意选择步行; 与街道界面活性程度、设施邻近度和集中商业500m覆盖呈强显著正相关, 但与交叉口密度显著负相关, 反映出“多样、邻近、可达、便捷”以及不被过多的交叉口机动车干扰等因素在步行日常事务中的重要性; 这些物质环境需求特征在心理感知层面得到了进一步证实。第二, 独步健身与40岁以上的年龄正相关, 尤其是50岁以上的中老年群体; 与反映“多样、活性、可达、

不被汽车干扰、舒适、愉悦”的物质空间及其心理感知等街区环境特征正相关。第三, 步行交友聚会频率与收入、住房、年龄、家庭人口数显著相关, 呈现出明显的社会发展水平相关特征; 与街道界面活性程度负相关(可能是路边随意摆摊、停车等导致街道环境嘈杂), 与汽车禁入区域占比、集中商业500m覆盖呈显著正相关, 呈现出明显的“不被机动车干扰”的街区环境指向。第四, 密度与三类步行活动都不相关, 这一结论与研究区域总体开发强度差异性较小的现实状况相符。

4 结论、讨论与建议

4.1 结论与讨论

基于上述研究, 可以得到一个关于步行行为演进规律、环境影响机制与选择干预策略的体系性结论:

(1) 街区异质性映射不同步行活动特质, 反映城市街区复合环境与步行行为的演进过程(图3)。那些必要性的短距离活动, 如步行前往小区附近办理日常事务, 它们的发生不因社群不同而大异, 也不会随时间推移而大变, 步行频率的街区异质性程度往往较低; 而那些自发性的独步健身活动, 只有在人们有愿意、有时间并且地点场所可能的情况下才会发生, 这类步行活动对街区整体环境要求较高, 其较高的异质性往往反映城市不同时期街区环境在物质空间与社群属性上的高度差异性。随着社会发展水平的提高以及公共空间活动条件的改善, 一些社会性活动, 如街道或广场上聚会、聊天、交友等频率也会稳定增长; 目前这类社会性活动还是比较浅层次的, 主要局限于广场舞或熟人之间的约定性活动。社会性活动涉及包括社会资本属性^⑥在内的更为复杂的城市街区环境^[34, 35]。

(2) 社群属性、物质环境与心理感知因素分别构成步行行为环境的倾向因素、促成因素与强化因素, 并呈现交互作用(图4)。社群属性的影响往往是倾向性的, 它反映了不同个体对于不同步行活动的适应与偏好程度, 也决定了不同时期城市街区环境的基本特征与格局——社会越发展, 自发性和社会性活动需求就越多, 物质环境起到促成作用, 居民的生活习性与质量在很大程度上取决于建设城市的方式和多样性程度。心理感知因素起到强化作用, 它起因于不同个体对物质环境改变的反应, 但沉淀于地域观念与文化, 是街区环境根深蒂固的影响力量; 事实上, 居民每次出行并不是相互独立的, 而是在时间、空间及出行方式选择上均会受到上一次出行的影响。

(3) 街区土地使用策略对步行行为选择的影

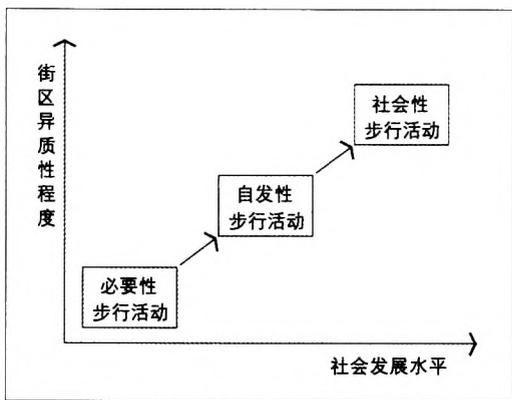


图3 步行行为活动演进规律
Fig.3 Evolution law of walking activity

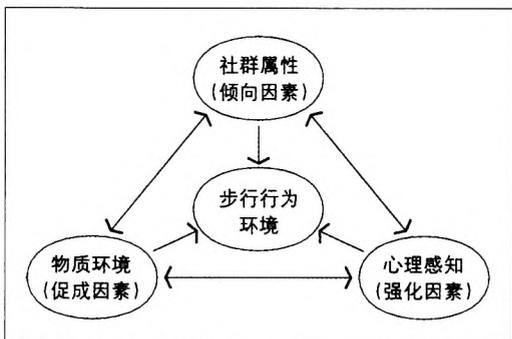


图4 步行行为环境影响机制
Fig.4 Influencing mechanism of walking behavior environment

响是基础性和关键性的，但更富效率的作用还有赖于体系化、协同化的精细管理与相关策略的配合(图5)。与发达国家城市经验不同，在本次研究中，多样性、交叉口密度和街道界面活性等物质环境指标并没有鼓励所有的步行活动，有些甚至出现负效应。可能的推论是：宏观上，城市公共交通滞后，出行方式与出行结构落后；微观上，在普遍缺乏交通需求管理、街道环境嘈杂的高密度城区，小尺度、混合的土地利用特征诱发了小汽车的出行，助长了小汽车购物或办理日常事务，造成了机动车与步行活动的冲突。

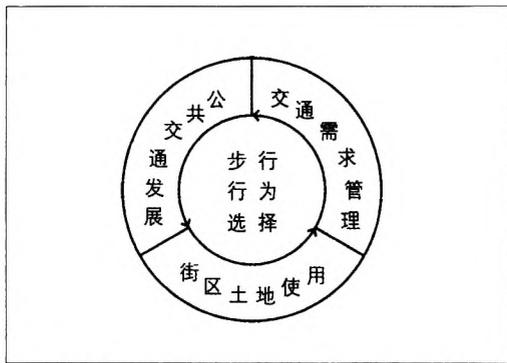


图5 步行行为选择干预策略

Fig.5 Intervention strategy of walking behavior choice

4.2 可步行街区建设策略与建议

新型城镇化需要技术支撑，但更具可持续的推动力来自街区层面社会行为的转变。建议政府、社区和规划师三方协力，从街区环境的规划定位、营造方法与管理机制三个层面重塑街区步行环境，推动社会行为转变：

(1)在规划定位上，遵循步行行为演进规律，树立更加全面的步行活动发展目标。长期以来，国内对步行活动意义的认知主要停留在如何放弃小汽车，减缓拥堵等交通工程层面，而对于促进健康，尤其是鼓励公民参与交往，增进社会资本积累等方面的认识不足。按照马斯洛需求理论，当人们满足了低层次的步行日常服务需要之后，那些更高级的、社会化程度更高的步行需要，如健身休闲、交友聚会的公共交往需要就会成为重要的社会激励因素。随着我国快速步入小康社会，应该在街区环境发展目标中强化“公共性、社交性”的步行活动需求，让更多的人从必要性、自发性步行活动进一步参与上升到社会性步行活动当中，从而实现居民更高级的社会需要。这也是中央提出“打破围墙、开放公共空间”的战略初衷。

(2)在营造方法上，顺应步行行为影响机制，建立更加系统的步行环境优化策略。鼓励步行是一项复杂的系统工程，街区环境优化需要从关注物质空间、关心社群属性及关爱心理感知等多方协同入手。首先，从人的角度出发，针对不同步行活动的物质空间需求特征，不断提高步行环境的可达性、便捷性、舒适性和愉悦性，增强街区空间的多样性、活力感和场所精神，在诱导人们出来步行的同时，鼓励人们不断提升步行层次。比如，严格限制小区步行出入口所在街道的消极界面，使大量的日常事务活动紧贴布置，避免跨马路；在“舒适步行范围”内积极打造“点(街头公园广场)、线(连续而不被汽车干扰)结合”的步行空间体系，对于激发自发性和社会性步行活动至关重要。其次，要打破千篇一律的社区建设标准，依据不同社区的人群社会属性，适

时进行一些差异化和针对性的公共设施供给，做到“因人而异，按需设置”。再则，社区层面要加强教育和社会营销，强化鼓励人们步行的环境和政策背景，倡导良好的公共社会环境意识，改变人们对环境的认知，这些旨在优化心理感知的软措施将在很大程度上改变人们出行的态度和行为习惯，从而促进步行。

(3)在管理机制上，响应步行行为干预策略，倡导更加协同的步行选择激励政策。在小汽车使用成本相对人们支付水平足够低的情况下，土地利用变量本身将难以影响人们的出行方式。因此，公共部门在鼓励、保障与维持宜步行城市环境的同时，一要加大公共交通及其环境建设的力度；二要加强对小汽车使用成本的动态定价管制，按照不同分区提高小汽车的使用成本，并通过对小汽车费用政策的阶段性评估与调整，将小汽车的使用控制在合适的水平。最直接的办法，一是提高小汽车拥有环节的各类税费，如增加汽车交易税，征收固定车位的环境影响费；二是提高小汽车使用环节的各种成本，如控制减少路面停车，增加停车费用等。

(感谢浙江工业大学城乡规划2011、2012年级同学在问卷调研与数据库建设整理中的大力帮助!)

注释(Notes)

- ① 本次调查中样本街区的大多数居民认为舒适步行半径约为500m。根据受访者住址信息，划定以小区主入口为圆心，步行500m路径形成的缓冲区确定为“舒适步行范围”。
- ② 本研究统计居住(R)、公共管理与公共服务设施用地(A)以及商业服务设施用地(B)这三类用地分布的均衡程度。
- ③ 通过问卷调查获得居民分别到达幼儿园、社区医院、餐馆、农贸市场、公交站点、公园、便利超市、水果店、银行邮局、健身房或体育馆10类日常设施的时间，将所获得数据信息赋值：1~5min(4分)，6~10min(3分)，11~20min(2分)，21~30 min(1分)，>30min(0)，并计算平均分值得设施邻近

度。

- ④ 参数检验统计量(Wald)值表示因子对因变量变异性的解释度; Sig.值表示统计上的显著性意义; Wald值越大, Sig.值越小。研究采用0.1为检验统计量的临界值, 即当Sig.值>0.1时, 认为该因子对因变量的解释力度很低, 无统计意义。
- ⑤ AIC信息准则是衡量统计模型拟合优度的一种标准, AIC值越低模型拟合度越优。首创于日本统计学家赤池弘次。
- ⑥ 研究表明, 表征个体社会关系网络、邻里信任交往、社会活动参与等方面的社会资本属性是影响包括交友聚会这类社会性出行活动的重要因素, 本次模型建构未能涉及。

参考文献(References)

- 1 MARSHALL W E, PIATKOWSKI D P, GARRICK N W. Community Design, Street Networks, and Public Health[J]. *Journal of Transport & Health*, 2014, 1(4): 326-340.
- 2 BAHRAINY H, KHOSRAVI H. The Impact of Urban Design Features and Qualities on Walkability and Health in Under-Construction Environments: The Case of Hashtgerd New Town in Iran[J]. *Cities*, 2013, 31: 17-28.
- 3 RENALDS A, SMITH T H, HALE P J. A Systematic Review of Built Environment and Health[J]. *Family & Community Health*, 2010, 33(1): 68-78.
- 4 LEINBERGER C B, ALFONZO M. Walk this Way: The Economic Promise of Walkable Places in Metropolitan Washington, D.C.[R].DC: The Brookings Institution, 2012.
- 5 GILDERBLOOM J I, RIGGS W W, MEARES W L. Does Walkability Matter? An Examination of Walkability's Impact on Housing Values, Foreclosures and Crime[J]. *Cities*, 2015, 42: 13-24.
- 6 KNUDSEN B B, CLARK T N. Walk and Be Moved How Walking Builds Social Movements[J]. *Urban Affairs Review*, 2013, 49(5): 627-651.
- 7 DILL J, MOHR C, MA L. How Can Psychological Theory Help Cities Increase Walking and Bicycling?[J]. *Journal of the American Planning Association*, 2014, 80(1): 36-51.
- 8 CERIN E, SIT C H P, BARNETT A, et al. Walking for Recreation and Perceptions of the Neighborhood Environment in Older Chinese Urban Dwellers[J]. *Journal of Urban Health*, 2013, 90(1): 56-66.
- 9 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]. *British Journal of Sports Medicine*, 2010, 44(13): 924-933.
- 10 Kahn M E, Morris E A. Walking the Walk: The Association Between Community Environmentalism and Green Travel Behavior[J]. *Journal of the American Planning Association*, 2009, 75(4): 389-405.
- 11 SAELENS B E, HANDY S L. Built Environment Correlates of Walking: A Review[J]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2008, 40(7S): 550-566.
- 12 MCCORMACK G R, FRIEDENREICH C, SANDALACK B A, et al. The Relationship Between Cluster-Analysis Derived Walkability and Local Recreational and Transportation Walking Among Canadian Adults[J]. *Health*

& Place, 2012, 18(5): 1079-1087.

- 13 LEARNIHAN V, VAN NIEL K P, GILES-CORTI B, et al. Effect of Scale on the Links Between Walking and Urban Design[J]. *Geographical Research*, 2011, 49(2): 183-191.
- 14 OWEN N, CERIN E, LESLIE E, et al. Neighborhood Walkability and the Walking Behavior of Australian Adults[J]. *American Journal of Preventive Medicine*, 2007, 33(5): 387-395.
- 15 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.
- 16 VAN DYCK D, CARDON G, DEFORCHE B, et al. Neighborhood SES and Walkability Are Related to Physical Activity Behavior in Belgian Adults[J]. *Preventive Medicine*, 2010, 50: S74-S79.
- 17 HEINEN E, VAN WEE B, MAAT K. Bicycle Use for Commuting: A Literature Review[J]. *Transport Reviews*, 2010, 30(1): 105-132.
- 18 NAESS P. Residential Location Affects Travel Behavior: But How and Why? The Case of Copenhagen Metropolitan Area[J]. *Progress in Planning*, 2005, 63(2): 167-257.
- 19 韦亚平, 潘聪林. 大城市街区土地利用特征与居民通勤方式研究——以杭州城西为例[J]. *城市规划*, 2012 (3): 76-84.
WEI Yaping, PAN Conglin. Urban Land-Use Characteristics and Commuters' Travel Pattern: A Case Study of West Hangzhou[J]. *City Planning Review*, 2012 (3): 76-84.
- 20 潘海啸, 沈青, 张明. 城市形态对居民出行的影响——上海实例研究[J]. *城市交通*, 2009, 7(6): 28-32.
PAN Haixiao, SHEN Qing, ZHANG Ming. Impacts of Urban Forms on Travel Behavior: Case Studies in Shanghai[J]. *Urban Transport of China*, 2009, 7(6): 28-32.
- 21 徐嘉青, 康琦. 商业街的空间与界面特征对步行者停留活动的影响——以上海市南京西路为例[J]. *城市规划学刊*, 2014(3): 14.
XU Leiqing, KANG Qi. The Relationship Between Pedestrian Behaviors and the Spatial Features Along the Ground-Floor Commercial Street: The Case of West Nanjing Road in Shanghai[J]. *Urban Planning Forum*, 2014(3): 14.
- 22 吴桥蓉, 华陈睿, 王达琳. 公共设施布置与慢行出行行为的关系[J]. *城市规划*, 2014(7): 57-60.
WU Jiaorong, HUA Chenrui, WANG Dalin. Relationship Between Public Facility Layout and Slow Traffic Travel Behavior[J]. *City Planning Review*, 2014 (7): 57-60.
- 23 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): 16.
LU Yintao. Walkability Evaluation Based on People's Use of Facilities by Walking[J]. *Urban Planning Forum*, 2013 (5): 16.
- 24 陈泳, 何宁. 轨道交通站地区宜步行环境及影响因素分析——上海市12个生活住区的实证研究[J]. *城市规划学刊*, 2012 (6): 96-104.
CHEN Yong, HE Ning. Analysis of Walkable Environment

- and Influential Factors in Rail Transit Station Areas: Case Study of 12 Neighborhoods in Shanghai[J]. Urban Planning Forum, 2012 (6): 96-104.
- 25 BHAT C R. A Multi-Level Cross-Classified Model for Discrete Response Variables[J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2000, 34(7): 567-582.
- 26 Boarnet M G. A Broader Context for Land Use and Travel Behavior, and A Research Agenda[J]. Journal of the American Planning Association, 2011, 77(3): 197-213.
- 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 Lotfi S, Koohsari M J. Neighborhood Walkability in a City Within a Developing Country[J]. Journal of Urban Planning and Development, 2011, 137(4): 402-408.
- 29 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.
- 30 ALFONZO M, BOARNET M G, DAY K, et al. The Relationship of Neighbourhood Built Environment Features and Adult Parents' Walking[J]. Journal of Urban Design, 2008, 13(1): 29-51.
- 31 GOULIAS K G. Transportation Systems Planning: Methods and Applications[M]. CRC Press, 2002.
- 32 杨珉, 李晓松. 医学和公共卫生研究常用多水平统计模型[M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2007.
- YANG Min, LI Xiaosong. Multilevel Statistical Models for Research in Medicine and Public Health[M]. Beijing: Peking University Medical Press, 2007.
- 33 张文彤, 董伟. SPSS 统计分析高级教程[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- ZHANG Wentong, DONG Wei. Advanced Course of SPSS Statistical Analysis[M]. Beijing: Higher Education Press, 2004.
- 34 DI CIOMMO F, COMENDADOR J, LÓPEZ-LAMBAS M E, et al. Exploring the Role of Social Capital Influence Variables on Travel Behaviour[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2014, 68: 46-55.
- 35 Rogers S H, Halstead J M, Gardner K H, et al. Examining Walkability and Social Capital as Indicators of Quality of Life at the Municipal and Neighborhood Scales[J]. Applied Research in Quality of Life, 2011, 6(2): 201-213.

(上接第29页)

- Features[J]. City Planning Review, 2016(6):23-31.
- 18 陶希东. 跨省区域治理: 中国跨省都市圈经济整合的新思路[J]. 地理科学, 2005(5):529-536.
- TAO Xidong. Trans-Provincial Regional Governance: New Idea on Economic Conformity for Trans-Province Metropolitan Circle of China[J]. Scientia Geographica Sinica, 2005(5):529-536.
- 19 陶希东. 20世纪美国跨州大都市区跨界治理策略与启示[J]. 城市规划, 2016(8):100-104.
- TAO Xidong. Cross-Border Governance of Interstate Metropolitan Areas in the United States in the 20th Century: Strategies and Enlightenment[J]. City Planning Review, 2016(8):100-104.
- 20 杨保军. 我国区域协调发展的困境及出路[J]. 城市规划, 2004(10):26-34.
- YANG Baojun. Problems and Solutions of Regional Coordinated Development[J]. City Planning Review, 2004(10):26-34.
- 21 江苏省住房和城乡建设厅, 江苏省城镇化和城乡规划研究中心. 江苏临沪地区跨界衔接规划研究[Z]. 2015.
- Jiangsu Provincial Department of Housing and Urban-Rural Development, Urbanisation and Urban Rural Planning Research Center of Jiangsu. Cross-Boundary Coordination Plan of the Area Neighbouring Shanghai in Jiangsu[Z]. 2015.
- 22 江苏省住房和城乡建设厅, 江苏省城镇化和城乡规划研究中心. 徐州都市圈规划(2016-2030)[Z]. 2016.
- Jiangsu Provincial Department of Housing and Urban-Rural Development, Urbanisation and Urban Rural Planning Research Center of Jiangsu. Planning of Xuzhou Metropolitan Area(2016-2030)[Z]. 2016.
- 23 江苏省城镇化和城乡规划研究中心, 南京市城市与交通规划设计研究院股份有限公司. 宁镇一体化规划研究[Z]. 2016.
- Urbanisation and Urban Rural Planning Research Center of Jiangsu, Nanjing Institute of City & Transport Planning Company Limited. Research on Integrated Planning of Nanjing and Zhenjiang[Z]. 2016.