

司睿, 林姚宇, 肖作鹏, 等. 基于街景数据的建成环境与街道活力时空分析——以深圳福田区为例 [J]. 地理科学, 2021, 41(9): 1536-1545. [Si Rui, Lin Yaoyu, Xiao Zuopeng et al. Spatio-temporal analysis of built environment and street vitality relationship based on street-level imagery: A case study of Futian District, Shenzhen. Scientia Geographica Sinica, 2021, 41(9): 1536-1545.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2021.09.005

基于街景数据的建成环境与街道活力时空分析 ——以深圳福田区为例

司睿¹, 林姚宇^{1,2}, 肖作鹏^{1,2}, 叶宇³

(1. 哈尔滨工业大学(深圳)建筑学院, 广东 深圳 518055; 2. 深圳市城市规划与决策仿真重点实验室, 广东 深圳 518055; 3. 同济大学建筑与城市规划学院, 上海 200092)

摘要: 建成环境对街道活力的影响是国内外城市研究的热点议题。然而, 对于建成环境要素的测度与评估多偏重于二维建成环境指标, 尚未充分挖掘三维建成环境指标。以深圳市福田区为例, 采用街景数据、路网数据、POI 数据及移动互联网位置服务数据, 建立周末分时段模型, 探讨商业街道和生活街道活力的时空分布特征及建成环境对其产生的影响。结果表明: ① 商业街道上居民全天活动的峰值时段为 18:00~20:00, 生活街道上居民全天活动的峰值时段为 11:00~13:00。② 深圳市福田区街道活力总体呈现多中心结构, 随时间变化显现出明显的空间差异。③ 不同的建成环境指标对街道活力的作用时段与影响程度存在差异。提高功能混合度有利于提升商业街道凌晨、上午和夜间的活力及生活街道午后和傍晚的活力; 过宽的相对步行宽度对生活街道活力提升有抑制作用, 更安全的步行环境对商业和生活街道夜间活力提升有促进作用; 界面连续程度高的商业街道午后及夜间的活力更强, 界面多样性丰富的生活街道白天活力更强。

关键词: 街景; 三维建成环境; 街道活力; 热力图; 深圳市

中图分类号: K901 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2021)09-1536-10

建成环境与街道活力间的相互作用关系是地理及规划等学科的热点议题, 众多研究从不同侧面探讨了街道活力的来源、概念范畴及外在表征。20 世纪 60 年代, Jacobs 率先提出街道活力源自人与场所相互交织、人在场所内发生的多样性活动^[1]; 扬·盖尔等主张街道活力由交往空间内的自发性活动和社会性活动所激发^[2-4]。蒋涤非认为城市活力由经济活力、社会活力、文化活力三者构成^[5]; 龙瀛等主张街道活力是城市社会活力的表现之一^[6,7]; 姜蕾则提出街道活力是影响街道容纳功能和活动多样化程度的特性^[8]。近年随着人本主义理念的深入, 越来越多的研究回归到 Jacobs 和扬·盖尔所讨论的街道多样性理论和社会交往活动理论, 街道活力具体表征为街道上的人数或人群活动强度

的时空分布^[7-11]。本文从城市社会活力的维度来理解街道活力, 关注街道空间与设施对于人活动的支持, 将街道活力量化为人群在特定时间段内、特定街道范围内停留、缓步状态下的活动强度^[7,11]。

在人本主义及新数据浪潮的冲击下, 多源数据逐渐被应用于街道活力的测度中。移动位置数据、手机信令数据及 GPS 等数据被用以实现对街道活力的动态采集与可视化表现、对活力街道的识别评价及对其影响因素探究中^[7,9,11,12]。较于其他数据, 基于 LBS 的位置数据更适用于刻画大规模连续时空的街道活力强度。一是基于移动终端产生的位置数据空间定位更加精准, 且具有全天候作业、覆盖面积广的特点^[13]; 二是居民在使用移动设备操作应用时通常处于缓步或停驻状态, 该数

收稿日期: 2020-06-27; **修订日期:** 2020-12-09

基金项目: 国家自然科学基金(41571145)、哈尔滨工业大学科研创新基金(HIT.NSRIF.2020073)、深圳市基础研究(JCYJ20190806144618382)资助。[Foundation: National Natural Science Foundation of China (41571145), Research and Innovation Fund of Harbin Institute of Technology (HIT.NSRIF.2020073), Shenzhen Basic Research Fund (JCYJ20190806144618382).]

作者简介: 司睿(1992-), 女, 新疆乌鲁木齐人, 博士研究生, 主要从事时空行为与城市规划方面的研究。E-mail: issirui@foxmail.com

通讯作者: 肖作鹏。E-mail: tacxzp@foxmail.com

据能够较为客观地感知居民交往活动的时空信息^[11]。目前已有研究运用 LBS 位置数据探讨街道活力^[11,14],但是研究以典型街道、街区尺度为主,其他尺度的街道活力研究仍然欠缺。

已有大量研究致力于揭示建成环境对街道活力的影响。一些学者构建基于空间要素的街道活力量化评价框架,然而各研究的指标体系存在差异,指标的选择也存在争议^[8,15];也有学者探讨街道活力的影响因素,高密度开发、高功能混合度、高交通临近性、高设施可达性及高路网可达性等都被认为是提升街道的途径^[7-12,16]。然而鉴于数据采集及分析方法上的困难,对街道建成环境的大规模测度也多停留于二维,较少将三维环境要素纳入到建成环境与街道活力的互动框架之中。近年来,计算机视觉领域的发展为大规模提取三维建成环境指标提供可能。有不少研究采用计算视觉技术,对地图平台所提供的街景数据进行自动化处理,提炼出众多三维建成环境特征指标,用于街道环境品质的评估^[17,18]、环境舒适度测度^[19]及城市健康环境测量^[20]等应用中。

为弥补以上不足,采用移动位置服务数据提取出深圳市福田区周末街道的活力强度,对比商业和生活类型街道 24 h 的活力强度时空特征。利用街景数据测度可步行性和舒适性等三维指标,将二维和三维建成环境指标整合至分时段模型中。以期多角度揭示三维建成环境要素对于街道活力背景效应的时空差异,为优化建成环境及激发城市活力提供学术研究支撑。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区域与研究对象

案例地为深圳市福田区(图 1),面积约为 78.66 km²,截至 2019 年末常住人口约为 166.29 万人^[21],是深圳重点开发和建设的中心城区。福田区具有建设密度高多样性强的特点,行政、居住、商业、办公及休闲等设施在此集聚,建成环境空间差异明显,对于深圳市存量街道建成环境现状的描述具有一定代表性。

研究以街道为基本分析单元。首先,通过 OpenStreetMap(www.openstreetmap.org)获取福田区路网,对路网进行拓扑化处理并在交叉口处打断^[7,16]。在更充裕的可支配时间下,居民更有可能产生自发性活动^[22],因此重点考察周末休息日 24 h



图 1 深圳市福田区商业街道、生活街道空间分布

Fig.1 Spatial distribution of commercial and living streets in Futian District, Shenzhen

内的活动强度与建成环境的关系。考虑到周末城市街道的使用频率,选择商业街道和生活街道为研究类型。然后,以道路中心线为基准,依据道路等级建立缓冲区,主干道半径 55 m,次干道半径 50 m,支路半径 30 m^[23]。该范围基本能从功能和空间出发,包含街道建筑围合的三维空间、对街道活力有影响的店铺及开敞空间^[9]。接着,以缓冲区内地图兴趣点(Point of interest, POI)类型比重为标准对街道功能筛选。其中,设施数量大于 3 且中小零售、餐饮等商业比重超过 50% 为商业街道^[24];设施数量大于 3,且生活服务型商业(便利店、理发店、干洗店等)、公共服务设施(社区政所、社区活动中心)以及服务本地居民的小规模零售、餐饮比例超过 50% 的为生活街道^[24]。结果显示,商业街道和生活街道分别为 85 条和 91 条。

1.2 城市街道活力强度测度

城市街道活力强度数据源自百度地图开放平台(<https://lbsyun.baidu.com/>),具体计算过程如下。第一,注册和获取百度地图移动版开发密钥(AK)并配置集成开发环境。通过安卓模拟器利用百度安卓(Android)地图软件开发工程包(SDK)调用城市热力图接口,实时获取 2020 年 8 月 22 日至 23 日 2 d 福田区的热力图数据,爬取时间间隔为 1 h,共截取热力图 48 张。第二,在完成坐标转换与投影校正的基础上,参照官方图例对色值和亮度共同表征人口数量等级的定义,对热力图进行重分类。使用 ArcGIS10.2 的栅格计算器的 Con 函数提取 3 个波段 TIF 所代表的 RGB 像素点,再用栅格转面工具对重分类的栅格数据进行矢量化处理,

得到对应的热力强度。第三,将矢量化后的热力图与道路缓冲区相交^[13,14],得到每段道路内带有活力等级的 i 个单元的面数据,以面积为权重做加权平均得到每段道路的连续型活力强度数据 $\bar{H}$ ^[14]。

$$\bar{H} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i H_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \quad (1)$$

式中, $\bar{H}$ 为道路活力强度, H_i 为街道内第 i 个单元所对应的活力强度等级, S_i 为单元 i 的面积, n 为道路缓冲区内的各等级面数据数量。

1.3 建成环境指标测度

1.3.1 二维建成环境指标的测度

1) 街道周边区域功能混合度 ($MixUsed_k$)。采用街道缓冲区内深圳市福田区 2018 年的 POI 兴趣点的区位熵^[25] 来表征街道的功能多样性。POI 兴趣点数据获取于地图运营商,数据涵盖了公司企业、住宅、餐饮服务、住宿服务、旅游观光、文体休闲、购物、交通设施、科研教育、政府机构及公共服务共 11 类,子类 30 类。其中购物包括购物中心、超市、便利店和专营市场;公共服务包括医疗卫生、电信邮政、传媒机构、福利机构、事物所、公共厕所和其他专业服务等。熵值越大,表示街道各种设施功能分配越平均,熵值越小,功能混合度就越低。

$$MixUsed_k = - \frac{\left(\sum_{i=1}^M p_{ki} \ln p_{ki} \right)}{\ln M} \quad (2)$$

式中, p_{ki} 为单元 k 内第 i 类 POI 数量占当前空间单元内 POI 数量的比重, M 为当前空间单元内 POI 的种类。

2) 目的地可达性和交通邻近性。运用 ArcGIS10.2 软件中的传输网络分析 (Network Analyst) 中的路径分析 (Route Analysis) 工具批量计算道路质心距休闲娱乐设施、商业设施及公共交通站点的最近的路网距离。

3) 路网可达性。国内外皆有研究证实基于拓扑计算的路网形态变量与城市空间活力具有相关性,良好的通达度是街道活力的空间基础^[16,26]。其中,接近度 (Closeness) 是空间句法中重要的变量,指空间系统中某一元素与其他元素之间的聚集或离散程度,衡量空间作为目的地吸引到达交通的能力^[27]。接近度越高的空间,对区域交通流有更大

的吸引力。搜索半径 R 表征计算某路段路网形态时的空间范围,搜索半径设定为空间句法提供各尺度路网形态特征比分析的思路^[26]。接近度通常算法是网络上给定的链路或节点到局部半径内其他节点的距离的倒数,本文采用英国卡迪夫大学建立的 sDNA (Spatial Design Network Analysis, <https://sdna.cardiff.ac.uk/sdna/>) 中的 Network Quantity Penalized by Distance (NQPD) 工具基于实际路网对搜索半径进行优化。

$$NQPD(x) = \sum_{y \in R_x} \frac{p(y)}{d(x,y)} \quad (3)$$

式中, $p(y)$ 为半径 R 内节点 y 的权重, $p(y)$ 的取值在 0 至 1 之间,若在离散空间分析中, $p(y)$ 取值则为 0 或 1, $d(x,y)$ 为节点 x 到节点 y 的最短拓扑距离。有文献证实,1 km 是深圳城市居民周末基本休闲空间^[22], R 为 1 km。

参考影响时空行为的建成环境因素研究^[28,29],并依据城市街道活力的相关理论整理计算得到二维建成环境指标 6 个 (表 1)。

1.3.2 三维建成环境指标的测度

本研究使用街景数据来测量三维建成环境。首先,基于研究区域的矢量路网,每隔 100 m 获取采样点的坐标及街道长轴方向。然后,编写 Python 程序,设定街景图片宽度、高度、位置点坐标、水平视角与垂直视角,调用百度街景应用程序接口 (<http://lbsyun.baidu.com>)。各采样点获取前后 2 个视角的街景图,于 2020 年 2 月开始共获取街景图片 31 124 张。接着,运用机器学习中的语义分割算法 SegNet (<http://mi.eng.cam.ac.uk/projects/segnet>),对街景图片的道路、人行道、建筑、交通标示、机动车及自行车等 19 个因素的面积比例进行测算。SegNet 是一种完全可训练的联合特征学习和图像映射到像素级语义标签的方法,其架构使用一组编码器和解码器,以像素级分类器作为核心可训练引擎,通过大样本标记和训练实现对象识别。参考前人研究^[18,30],对三维建成环境梳理得到可步行性和舒适性 6 个变量 (表 1)。最后,使用 ArcGIS 地理处理功能计算相对步行宽度、交通安全设施占比、建筑连续程度和界面多样性。

1.4 计量模型

采用多元线性回归模型解释街道二三维建成环境变量对各时段街道活力强度因变量的影响,

表 1 深圳市福田区街道建成环境变量描述性统计

Table 1 Descriptive statistics of streets' built environment variables in Futian district, Shenzhen

变量类型	变量	商业街道		生活街道		说明
		均值	标准差	均值	标准差	
便利性	设施数量/(个/100 m)	9.53	10.14	10.12	5.31	单元内每100 m的设施点数量, 反映设施分布
	功能混合度	0.46	0.31	0.52	0.25	单元内POI混合状态, 反映土地利用多样性
	最近娱乐休闲设施距离/m	192.40	134.85	186.56	173.40	街道质心至最近娱乐休闲设施的实际距离, 反映到达目的地的便捷程度
	最近商业设施距离/m	95.29	148.28	147.49	112.41	街道质心到最近商业设施的实际距离, 反映到达目的地的便捷程度
可达性	最近公共交通站点距离/m	230.71	161.73	259.98	179.40	街道质心至最近公交站或地铁站的实际距离, 反映公共交通站点的邻近性
	接近度	0.26	0.08	0.25	0.09	对半径内的每个网络链路, 计算网络数量并除以到达该网络的距离, 然后对半径内的该项求和, 反映街道中心性和拓扑整合力
可步行性	相对步行宽度	0.41	0.23	0.43	0.33	单元内步行道占比/马路占比的均值, 反映步行空间尺度
	交通安全设施占比	0.03	0.02	0.02	0.03	单元内栏杆和柱占比总和的均值, 反映交通安全程度
舒适性	天空开敞度	0.09	0.05	0.11	0.08	单元内天空占比的均值, 反映视觉开敞程度
	建筑连续程度	0.14	0.08	0.11	0.07	单元内建筑占比的标准差, 反映街道建筑界面的连续性
	街道高宽比	2.36	2.17	1.90	2.24	单元内建筑占比/(道路占比+人行道占比)的均值, 反映空间的紧凑程度
	界面多样性	0.03	0.01	0.03	0.01	单元内可视空间元素种类/道路长度, 反映界面丰富性

公式如下:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \cdots + \beta_n X_n + \varepsilon \quad (4)$$

式中, Y 为某一时段内街道活力强度均值, β_0 是常数项, $\beta_1 \cdots \beta_n$ 为回归系数, $X_1, X_2 \cdots X_n$ 为街道周边的建成环境因子, ε 为残差项。

2 研究区街道活力强度的时空变化特征

2.1 街道活力强度的时间变化特征

本研究将活力强度在(5,7] 统称为高活力街道, 活力强度在(2,5] 的街道统称为中等活力街道, 其余为低活力街道。以此为标准, 统计研究区内商业和生活街道 24 h 活力等级比例, 并展示其在时间层面的动态变化(图 2)。无论是商业街道还是生活街道, 福田区居民的主要活动时间都在 6:00~22:00。6:00~11:00 活动逐步增加, 10:00~21:00 变化相对稳定, 21:00 后快速下降, 这在一定程度上反映居民周末活动的时空规律。

商业街道与生活街道的活力比例变化存在差异。商业街道的活力高值随时间波动幅度更大, 其出行峰值位于 18:00~20:00 之间。2:00~4:00 中等活力比例仍大于 10%, 原因在于福田区消费经济

繁荣, 市民夜生活比较丰富。生活街道中等活力比例更高, 其活力最高值位于 11:00~13:00 之间, 10:00~20:00 高等和中等活力比例加和在 98% 上下, 说明深圳中心城区生活街道利用效率高, 居民周末活动持续时间较长。

2.2 街道活力强度的空间变化特征

深圳市福田区街道活力整体表现为多中心结构, 街道活力的高值热点区域随时间推移而变化(图 3)。午夜至清晨时段, 无高活力街道, 中等活力街道数量较少且分散, 多为毗邻城中村和高强度居住区的次干道和支路。早晨至上午时段, 中高活力范围明显扩张, 活力集聚中心分布于交通枢纽附近或居住社区中心, 较低值主要集中在大型园区和自然景观周边。日中至晚上 21:00 前, 高热力强度街道呈现“多节点”集聚的特点, 多条综合商业街道成为活力中心。21:00 后, 街道活力强度整体下降, 进入活力消散期。受营业时间与居民作息时间影响, 部分商业街道活力下降明显, 生活街道活力范围明显缩小但重心无显著改变。

3 街道建成环境对街道活力强度的影响

考虑到自变量之间的相关性, 首先进行共

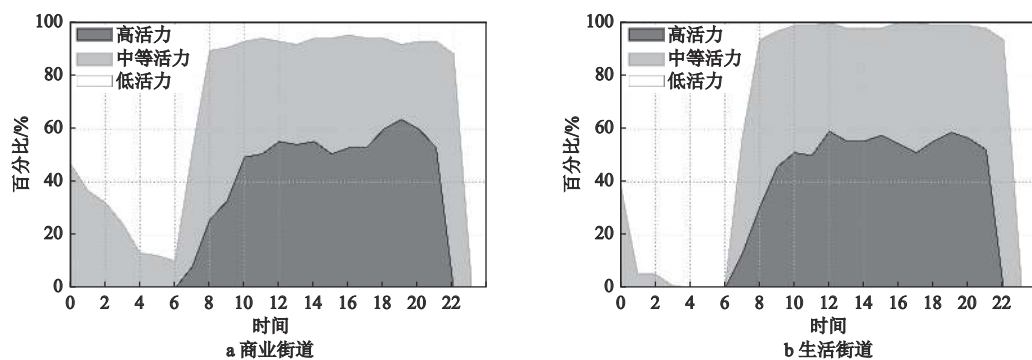


图2 深圳市福田区街道活力强度分级占比逐时变化

Fig.2 Hourly change of street vitality intensity classification proportion in Futian District, Shenzhen

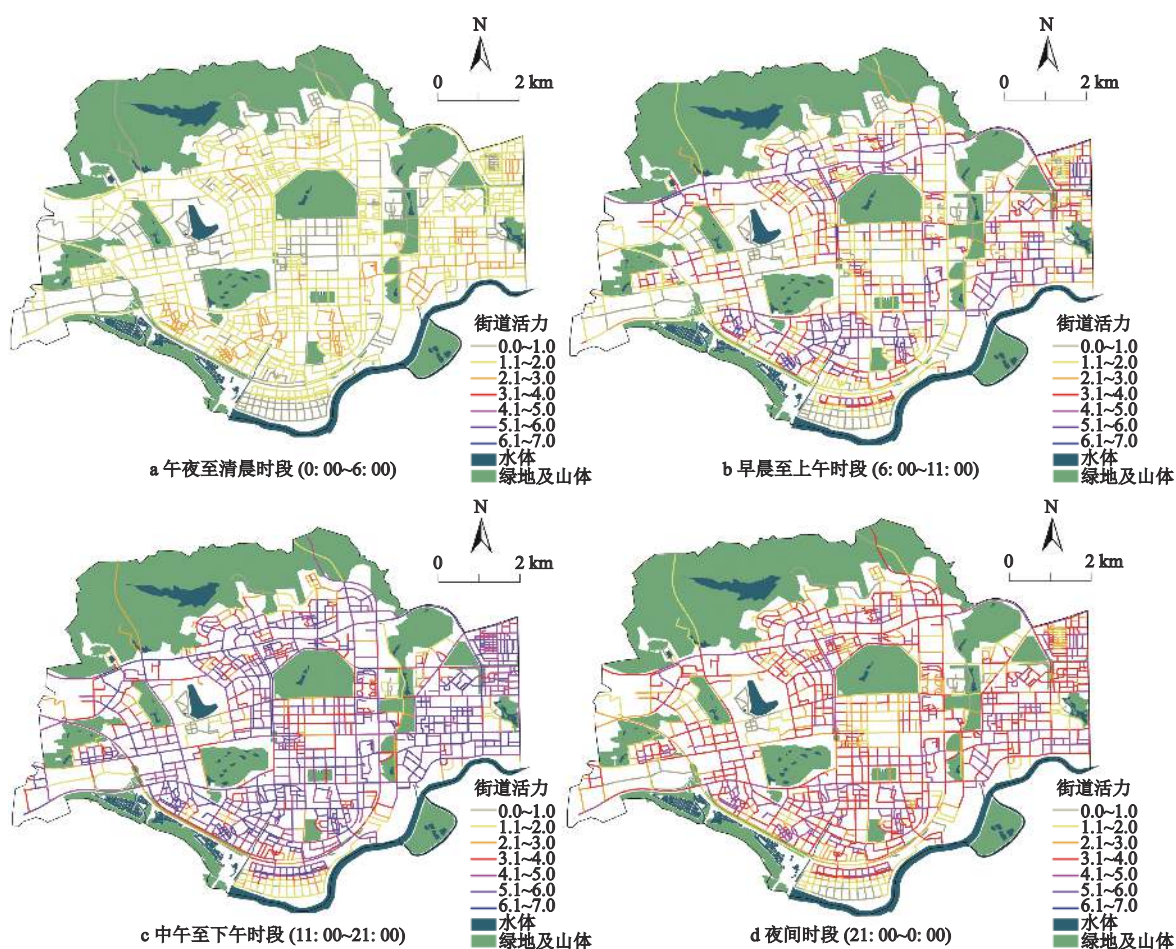


图3 深圳市福田区周末街道活力强度空间变化

Fig.3 Spatial distribution of street-level vibrancy intensity at the weekend in Futian District, Shenzhen

线性分析,然后建立回归模型。依据活力强度的变化特征,建立4个分时段模型(表2、表3),并以全日模型作对比,通过标准化的相关系数及显著水平分析建成环境对2类街道活力的时空效应。

3.1 二维街道建成环境对街道活力强度影响的类型差异

3.1.1 便利性

就商业街道而言,功能混合度与街道活力在凌晨、早上和夜晚3个分时段模型中都呈现正相

表 2 建成环境对深圳市福田区商业街道活力强度的影响

Table 2 Impact of the built environment on the vitality intensity of commercial street in Futian District, Shenzhen

变量类型	变量	全天	分时段模型			
			0:00~6:00	6:00~11:00	11:00~21:00	21:00~00:00
便利性	设施数量	0.028	0.058	0.120	-0.023	0.030
	功能混合度	0.212**	0.205**	0.258**	0.176	0.192*
	最近娱乐休闲设施距离	0.043	-0.111	0.072	0.085	0.008
	最近商业设施距离	-0.141	-0.095	-0.036	-0.184	-0.130
可达性	最近公共交通站点距离	-0.294***	-0.166*	-0.258**	-0.323***	-0.274***
	接近度	0.216**	0.172*	0.228**	0.202*	0.225**
可步行性	相对步行宽度	-0.033	-0.214**	-0.057	0.047	-0.069
	交通安全设施占比	0.170*	0.197**	0.180*	0.133	0.235**
舒适性	天空开敞度	-0.206*	-0.230**	-0.198*	-0.180	-0.199*
	建筑连续程度	0.184*	0.113	0.117	0.213*	0.203*
	界面多样性	-0.011	-0.029	0.016	-0.020	0.055
	街道高宽比	0.276**	0.468***	0.348***	0.159	0.202*
	截距项	2.855***	1.424***	2.534***	3.957***	2.449***
	样本量	85	85	85	85	85
	调整后的 R^2	0.650	0.699	0.597	0.556	0.607

注: 数值为回归系数; **、*、* 分别表示在0.01、0.05、0.1的显著性水平下通过检验。

表 3 建成环境对深圳市福田区生活街道活力强度的影响

Table 3 Impact of the built environment on the vitality intensity of living streets in Futian District, Shenzhen

变量类型	变量	全天	分时段模型			
			0:00~6:00	6:00~11:00	11:00~21:00	21:00~00:00
便利性	设施数量	0.068	0.170	0.113	0.001	-0.004
	功能混合度	0.156*	0.082	0.140	0.175*	0.130
	最近娱乐休闲设施距离	-0.193*	-0.039	-0.104	-0.248**	-0.340***
	最近商业设施距离	-0.378***	-0.392***	-0.279*	-0.351***	-0.361***
可达性	最近公共交通站点距离	0.143	0.165	0.118	0.121	0.115
	接近度	0.185*	0.226**	0.074	0.187*	0.157*
可步行性	相对步行宽度	-0.207**	-0.087	-0.185*	-0.231**	-0.255***
	交通安全设施占比	0.064	0.020	0.133	0.028	0.215**
舒适性	天空开敞度	0.111	-0.018	0.195*	0.115	0.104
	建筑连续程度	0.004	-0.166	-0.136	0.140	-0.070
	界面多样性	0.213*	0.074	0.253*	0.231*	0.106
	街道高宽比	0.346**	0.574***	0.398**	0.176	0.304**
	截距项	2.560***	0.892*	2.663***	3.581***	2.672***
	样本量	91	91	91	91	91
	调整后的 R^2	0.593	0.518	0.419	0.559	0.619

注: **、*、* 分别表示在0.01、0.05、0.1的显著性水平下通过检验。

关关系,这与高功能混合度环境与活力高度相关的观点一致^[31]。但在 11:00~21:00 时段功能混合度对活力的正向影响不显著。原因在于,周末营业时间内居民的购物选择增加,既可选择混合度较高的综合商业街道、也能够选择专业零售等单一业态的特色商业街道来满足购物休闲需求^[32]。与商业街道不同,功能混合度与生活街道的活力仅在 11:00~21:00 时段存在较显著的相关关系,在其它时段皆不显著,说明生活街道活力更依赖于街道周边小范围内的设施多样性,午饭后居民可能更倾向于在设施多元的生活街道停留。

由于主要使用时间的差别^[32],最近娱乐休闲设施距离与生活街道活力的关系在 11:00~21:00、21:00~0:00 时段显著,距离的增加会抑制街道活力,说明休闲娱乐设施在下午及夜间吸引活动发生。最近商业设施的距离与生活街道活力在全天各时段皆呈显著负相关关系,显示居民在全天时间内对各类商业设施皆有使用需求,服务设施与居民需求越匹配越能促进生活街道活力。

3.1.2 可达性

公共交通设施邻近性与商业街道活力呈正向关联,与生活街道活力无显著相关关系。这与前人研究相符,消费活动更容易在公交可达性更优的街道聚集^[31],而到最近公交站距离的增加会增添距离成本。高接近度在全天大部分时间显著促进商业与生活街道的活力,说明接近度高的街道由于中心性强出行成本低^[27],容易促进步行可接受范围内人群聚集从而推动街道活力。

3.2 三维街景的建成环境对街道活力影响的类型差异

居民在商业街道有购物、休憩、表演、展示和驻足等行为,生活性街道则包括基本需求购物、与人交往和运动等,这些活动的实现需要三维建成环境支持^[2,3]。

3.2.1 可步行性

在 0:00~6:00,相对步行宽度的增加会一定程度降低商业街道活力,其余时段则关系不显著。午夜时段高活力商业街道多为高强度居住片区周边红线宽度较窄的次干路或支路,呈现出相对步行宽度较小的特征;与商业显著时段不同,相对步行宽度与 0:00~6:00 的生活街道活力无显著相关关系,但在其他各时段高相对步行宽度会一定程度降低活力。可解释为过宽的步行道会抑制其边界

效应的发挥,从而降低生活街道的社会性逗留发生的概率^[1]。

围栏等安全设施可为驻留行人提供安全舒适的庇护也能为非机动车和行人提供路权保障。安全设施占比提升可以促进商业街道午夜、早晨及夜晚的活力,而在 11:00~21:00 无显著性,因为在人流量最大的商业营业时间,围栏可能会抑制部分人行过街及沿路上下客需求^[24];交通安全设施占比在 21:00~0:00 显著正向影响生活街道活力,说明安全性高的步行环境更能促进生活街道的夜间活力。

3.2.2 舒适性

天空开敞度在全日平均、凌晨、上午及夜间表现出对商业街道活力的负向影响。这是由于天空开敞度受绿化遮挡、建筑物围合的共同作用,一方面,高活力商业街道具有建设强度大的特征,天空可视面积相应较少^[24];另一方面,深圳属于亚热带地区,全天舒适度受气候影响程度高,天空开敞度低遮阴效果好的街道使用率更高^[33,34];天空开敞度对于两类街道的影响方向相反、显著时段存在差异,天空开敞度仅在 7:00~11:00 显著正向影响街道生活活力。可以认为,提升天空开敞度有提升晨间居民买菜、锻炼及社交活动的可能,从而促进生活街道活力。

高建筑连续程度在 11:00~00:00 会一定程度正向影响商业街道活力,说明沿用相似的建筑高度和建筑退界,形成连续的街道界面、强化沿街建筑的整体识别性^[24],能够促进商业街道营业时间的使用频率;7:00~21:00 界面多样性显著正面影响生活街道活力,建筑连续程度的影响不显著,说明生活类街道休闲活动主要发生在视觉丰富而不是界面整齐的街道^[2,29];街道高宽比的提升会促进 2 类型街道全天平均街道活力,这与深圳市的高强度建设环境有关,也说明更紧凑空间能强化街道两侧的活动关系。

4 结论与讨论

本文采用矢量化后百度热力图,以深圳市福田区为例,系统分析街道活力的时空分布特征。运用路网数据和 POI 数据测度二维建成环境,采用街景图片度量三维建成环境,分为 4 个时段分别探究建成环境对周末街道活力的影响,建成环境与街道活力关系背后的作用机制存在类型和时间差异,主要结论如下。

1)深圳市福田区商业与生活街道活力的时间变化存在相似的规律,但二者也存在差异。商业街道活力峰值处于傍晚,生活街道活力峰值处于正午。商业街道活力持续时间更长,生活街道中高活力比例更高;空间分布整体呈现出多中心结构,其多中心结构在上午比其他时段更明显。

2)模型估计结果表明,二维建成环境显著影响街道活力。便利性方面,与传统研究结论不同,提高街道周边设施功能混合未必能高效提升全天各时段活力。高功能混合度仅能促进生活街道11:00~21:00时段的活力,却能促进该时段以外的其他时段内商业街道的活力。可达性方面,高公交临近性会对商业街道活力产生影响,较强的路网中心性会正面影响2类街道的活力。

3)三维建成环境背景效应存在差异。可步行性方面,更紧凑的街道促进生活街道活力,更安全的步行空间提升夜间商业和生活街道活力;舒适性方面,提升建筑连续程度能够促进商业街道活力,而提升界面的多样性有利于生活街道活力的增强。高天空开敞度负向影响商业街道活力却正向影响早上的生活街道活力。

营造城市街道活力需要区分街道类型和活动时间,对建成环境特征重点采取措施。① 调整沿街业态的功能混合度。分时段调控沿街设施的营业时间,在夜间提高设施的业态多样性促进商业街道的活力;午后塑造以餐饮、零售生活服务、休闲娱乐及公共服务设施为主的积极界面促进生活街道活力。② 营造安全紧凑的步行空间。围栏等街道安全设施对步行者的心理安全感有着极其重要的影响,交通安全设施增加都有助于促进夜间活力;此外,生活街道不宜设置过宽的步行道。③ 塑造舒适宜人的街道界面。商业街道应更重视界面的连续性和纯净性,生活街道则应提供更丰富的界面要素,为步行者带来新奇的视觉体验。

本文从街道的便利性、可达性、可步行性和舒适性出发理解城市街道活力机制,指出三维建成环境信息对于活力的作用路径,验证建成环境对于空间活动背景作用的时间及类型差异。研究能够为街道活力理论提供新实证案例,并可为相关学科优化建设环境提供研究支撑。本文的不足之处在于热力图数据无法识别具体行为和个体属性,只能探讨整体趋势不能探讨个体差异;其

次,对街景的精细化识别还有待提高。未来需要从居民生活空间单元与居民实际生活的互动关系角度对居住和商业街道活动进行综合思考^[35,36];进一步运用深度学习算法构建层级化模型来学习复杂的抽象概念,更为精准地抽取图像特征、检测空间特征。

参考文献(References):

- [1] Jacobs J. The death and life of American cities[M]. New York: Random House, 1961.
- [2] 杨·盖尔. 交往与空间(第四版)[M]. 何人可译. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009. [Jan Gehl. Communication and space (4th ed). Translated by He Renke. Beijing: China Building Industry Press, 2009.]
- [3] Mehta V. Lively Streets: Determining environmental characteristics to support social behavior[J]. *Journal of Planning Education and Research*, 2007, 27(2): 165-187.
- [4] Montgomery J. Making a city: Urbanity, vitality and urban design[J]. *Journal of Urban Design*, 1998, 3(1): 93-116.
- [5] 蒋涤非. 城市形态活力论[M]. 南京: 东南大学出版社, 2007 [Jiang Difei. The theory of city form vitality. Nanjing: Southeast University Press, 2007.]
- [6] 陈品, 马水静. 关于城市街道活力的思考[J]. 建筑学报, 2009(增刊2): 121-126. [Chen Pin, Ma Shuijing. Research on the vitality of urban streets. Architectural Journal, 2009(S2): 121-126.]
- [7] 龙瀛, 周垠. 街道活力的量化评价及影响因素分析——以成都为例[J]. *新建筑*, 2016(1): 52-57. [Long Ying, Zhou Yin. Quantitative evaluation on street vibrancy and its impact factors: A case study of Chengdu. *New Architecture*, 2016(1): 52-57.]
- [8] 姜蕾. 城市街道活力的定量评估与塑造策略[D]. 大连: 大连理工大学, 2013. [Jiang Lei. Quantitative assessment and shaping strategy of vitality of urban streets. Dalian: Dalian University of Technology, 2013.]
- [9] 方永华. 基于多源大数据的城市街道活力测度与影响机制研究[D]. 南京: 东南大学, 2018 [Fang Yonghua. The measurement and influence mechanism of city street vitality. Nanjing: Southeast University, 2018.]
- [10] 黄丹, 戴冬晖. 生活性街道构成要素对活力的影响——以深圳典型街道为例[J]. *中国园林*, 2019, 35(9): 89-94. [Huang Dan, Dai Donghui. Effect of living street's elements on vitality taking typical streets in Shenzhen as an example. *Chinese Landscape Architecture*, 2019, 35(9): 89-94.]
- [11] 钮心毅, 吴莞姝, 李萌. 基于LBS定位数据的建成环境对街道活力的影响及其时空特征研究[J]. *国际城市规划*, 2019, 34(1): 28-37. [Niu Xinyi, Wu Wanshu, Li Meng. Influence of built environment on street vitality and its spatiotemporal characteristics based on LBS positioning data. *Urban Planning Inter-*

- national, 2019, 34(1): 28-37.]
- [12] Ye Y, Van Nes A. Quantitative tools in urban morphology: Combining space syntax, spacematrix and mixed-use index in a GIS framework[J]. *Urban Morphology*, 2014, 18(2): 97-118.
- [13] 吴志强, 叶锺楠. 基于百度地图热力图的城市空间结构研究——以上海中心城区为例[J]. *城市规划*, 2016, 40(4): 33-40. [Wu Zhiqiang, Ye Zhongnan. Research on urban spatial structure based on Baidu heat map: A case study on the central city of Shanghai. *City Planning Review*, 2016, 40(4): 33-40.]
- [14] 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(2): 31-36. [Min Zhongrong, Ding Fan. Analysis of temporal and spatial distribution characteristics of street vitality based on Baidu thermal diagram: The case of the historical city of Nanchang City, Jiangxi Province. *Urban Development Studies*, 2020, 27(2): 31-36.]
- [15] 苟爱萍, 王江波. 基于SD法的街道空间活力评价研究[J]. *规划师*, 2011, 27(10): 102-106. [Gou Aiping, Wang Jiangbo. SD method based street space vitality evaluation. *Planners*, 2011, 27(10): 102-106.]
- [16] 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. [Ye Yu, Zhang Zhaoxi, Zhang Xiaohu et al. Human-scale quality on streets: A large-scale and efficient analytical approach based on street view images and new urban analytical tools. *Urban Planning International*, 2019, 34(1): 18-27.]
- [17] Zhang F, Zhou B, Liu L et al. Measuring human perceptions of a large-scale urban region using machine learning[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2018, 180: 148-160.
- [18] Tang J, Long Y. Measuring visual quality of street space and its temporal variation: Methodology and its application in the hutong area in Beijing[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2019, 191: 103436.
- [19] Richards D R, Edwards P J. Quantifying street tree regulating ecosystem services using Google Street View[J]. *Ecological Indicators*, 2017, 77: 31-40.
- [20] Wang R, Helbich M, Yao Y et al. Urban greenery and mental wellbeing in adults: Cross-sectional mediation analyses on multiple pathways across different greenery measures[J]. *Environmental Research*, 2019, 176: 108535.
- [21] 深圳市统计局, 国家统计局深圳调查队. 深圳统计年鉴2020[M]. 北京: 中国统计出版社, 2021. [Statistics Bureau of Shenzhen Municipality, Survey Office of the National Bureau of Statistics in Shenzhen. *Shenzhen statistical yearbook 2020*. Beijing: China Statistics Press, 2021.]
- [22] 刘志林, 柴彦威. 深圳市民周末休闲活动的空间结构[J]. *经济地理*, 2001, 21(4): 504-508. [Liu Zhilin, Chai Yanwei. The leisure spatial structure of Shenzhen citizens on weekends. *Economic Geography*, 2001, 21(4): 504-508.]
- [23] 中华人民共和国建设部. 城市道路交通规划设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 1995. [Ministry of Construction of the People's Republic of China. Code for transport planning and urban road. Beijing: China Planning Publishing House, 1995.]
- [24] 上海市规划和国土资源管理局, 上海市交通委员会, 上海市城市规划设计研究院. 上海市街道设计导则[M]. 上海: 同济大学出版社, 2016. [Shanghai Municipal Planning and Land Resources Administration, Shanghai Municipal Transportation Commission, Shanghai Urban Planning and Design Institute. *Shanghai street design guidelines*. Shanghai: Tongji University Press, 2016.]
- [25] Song Y, Merlin L, Rodriguez D. Comparing measures of urban land use mix[J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2013, 42: 1-13.
- [26] Karimi K. A configurational approach to analytical urban design: 'Space syntax' methodology[J]. *Urban Design International*, 2012, 17(4): 297-318.
- [27] 古恒宇, 沈体雁, 周麟, 等. 基于GWR和sDNA模型的广州市路网形态对住宅价格影响的时空分析[J]. *经济地理*, 2018, 38(3): 82-91. [Gu Hengyu, Shen Tiyan, Zhou Lin et al. Measuring street layout's spatio-temporal effects on housing price based on GWR and sDNA model: The case study of Guangzhou. *Economic Geography*, 2018, 38(3): 82-91.]
- [28] 张文佳, 鲁大铭. 影响时空行为的建成环境测度与实证研究综述[J]. *城市发展研究*, 2019, 26(12): 9-16+26. [Zhang Wenjia, Lu Daming. Measuring built environment for spatiotemporal behavior studies: A review. *Urban Development Studies*, 2019, 26(12): 9-16+26.]
- [29] 齐兰兰, 周素红. 邻里建成环境对居民外出型休闲活动时空差异的影响——以广州市为例[J]. *地理科学*, 2018, 38(1): 31-40. [Qi Lanlan, Zhou Suhong. The influence of neighborhood built environments on the spatial-temporal characteristics of residents' daily leisure activities: A case study of Guangzhou. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(1): 31-40.]
- [30] 杨俊宴, 吴浩, 郑屹. 基于多源大数据的城市街道可步行性空间特征及优化策略研究——以南京市中心城区为例[J]. *国际城市规划*, 2019, 34(5): 33-42. [Yang Junyan, Wu Hao, Zheng Yi. Research on characteristics and interactive mechanism of street walkability through multi-source big data: Nanjing central district as a case study. *Urban Planning International*, 2019, 34(5): 33-42.]
- [31] 塔娜, 曾屿恬, 朱秋宇, 等. 基于大数据的上海中心城区建成环境与城市活力关系分析[J]. *地理科学*, 2020, 40(1): 60-68. [Ta Na, Zeng Yutian, Zhu Qiuyu et al. Relationship between built environment and urban vitality in Shanghai downtown area based on big data. *Scientia Geographica Sinica*, 2020, 40(1): 60-68.]
- [32] 柴彦威, 沈洁, 翁桂兰. 上海居民购物行为的时空特征及其影响因素[J]. *经济地理*, 2008, 28(2): 221-227. [Chai Yanwei, Shen Jie, Weng Guilan. A study on activity space of shopping of Shanghai residents: Temporal and spatial characteristics and relative influencing factors. *Economic Geography*, 2008, 28(2):

- 221-227.]
- [33] Chen L, Ng E, An X et al. Sky view factor analysis of street canyons and its implications for daytime intra-urban air temperature differentials in high-rise, high-density urban areas of Hong Kong: A GIS-based simulation approach[J]. *International Journal of Climatology*, 2012, 32(1): 121-136.
- [34] Yin L, Wang Z. Measuring visual enclosure for street walkability: Using machine learning algorithms and Google Street View imagery[J]. *Applied Geography*, 2016, 76: 147-153.
- [35] Millward H, Spinney J, Scott D. Active-transport walking behavior: Destinations, durations, distances[J]. *Journal of Transport Geography*, 2013, 28: 101-110.
- [36] 肖作鹏, 柴彦威, 张艳. 国内外生活圈规划研究与规划实践进展述评[J]. *规划师*, 2014, 30(10): 89-95. [Xiao Zuopeng, Chai Yanwei, Zhang Yan. Overseas life circle planning and practice. *Planners*, 2014, 30(10): 89-95.]

Spatio-temporal Analysis of Built Environment and Street Vitality Relationship Based on Street-level Imagery: A Case Study of Futian District, Shenzhen

Si Rui¹, Lin Yaoyu^{1,2}, Xiao Zuopeng^{1,2}, Ye Yu³

(1. School of Architecture, Harbin Institute of Technology (Shenzhen), Shenzhen 518055, Guangdong, China;

2. Shenzhen Key Laboratory of Urban Planning and Decision Simulation, Shenzhen 518055, Guangdong, China;

3. College of Architecture and Urban Planning, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: The last decades have witnessed a steady increase in studying urban vitality. However, the information that could depict 3D space has not been included in studies. This research attempts to incorporate street view imagery data to elaborate the spatiotemporal variability of vibrancy in Futian District, Shenzhen. As for the street-level physical environment, attributes are extracted from street view images by deep machine-learning algorithms SegNet. 2D built environment indicators of streets were extracts from the Open Street Map and POI points. A multivariate econometric are framed to examine the association between urban environment and the vitality at the street level of commercial streets and residential streets. The results showed that: 1) The peak hours of activity on commercial streets are 18:00 to 20:00, and the peak hours of activity on living streets are 11:00 to 13:00. 2) Futian District Street Vitality Shows Polycentric Structure, whose distribution had shown obvious spatial differences with time. 3) Variations in the temporal and degree effects of different built environment indicators on street vitality. Increasing the mix of facilities contributes to the morning and nighttime vibrancy of commercial streets, as well as the afternoon vibrancy of living streets. More compact streets have a positive impact on commercial streets' vitality, and safer pedestrian environments have a positive impact on both living and commercial streets' vitality. Improving the building continuity will promote the vitality of commercial streets. Higher interface richness increases the vitality of living streets in afternoon and evening. An increase in the richness of the interface will promote the daytime vitality of the residential street.

Key words: street-evel imagery; three-dimensional built environment; street vitality; thermal map; Shenzhen