

街道慢行品质的多维度评价及导控策略

——基于多源城市数据的整合分析

□ 樊 钧, 唐皓明, 叶 宇

【摘 要】在新型城镇化背景下,日益提升的空间品质需求需要更人性化、宜步行的街道。在当前城市设计的实施及评估中,急需一套综合、快速的评价方法来评估街道的慢行品质,以协助更精准的设计导控。研究以苏州古城区为例,探索多源大数据支撑下的大规模且精细化的分析方法。通过空间网络分析和聚类算法实现形态组构评价,通过兴趣点数据 (PoIs) 实现功能多样性评价,通过街景数据和深度学习实现视觉感知评价,通过位置服务数据 (LBS) 实现场所行为活动评价,进而基于层次分析法 (AHP) 整合前三方面的内容,并结合活力高低实现多维度下的慢行品质评价和特征街道画像。基于各维度情况,研究对不同类型的潜力街道给出针对性导控策略。该分析方法实现了慢行品质这一难以评价要素的精细化度量,在实践上具有普适性和易用性。

【关键词】慢行品质;街景数据;多源城市数据;街道画像

【文章编号】1006-0022(2019)14-0005-07 **【中图分类号】**TU984 **【文献标识码】**B

【引文格式】樊钧,唐皓明,叶宇.街道慢行品质的多维度评价及导控策略——基于多源城市数据的整合分析[J].规划师,2019(14):5-11.

Public Service Facilities Planning Logic and Strategy, Tongzhou District, Beijing/Liu Xiujie, Wan Chengwei

【Abstract】Fair and equal development of public service facilities is critical for the functioning of sub-civic center of Beijing for Tongzhou district. Its planning and construction will be uniquely represented by “high start, high standard, high quality, high coordination”. The paper argues that the planning and construction of Tongzhou district shall break traditional model and be systematic in urban-rural equal development. With orientations by vision, need, problems, reform, and theory, the paper puts forwards strategies from facility provision, space configuration, implementation insurance. It provides an even, leap, high-quality development solution for Tongzhou district to better play the role of sub-civic center of Beijing.

【Keywords】Sub-civic center, Public service facility, Equal development, Tongzhou

1 研究背景

1.1 人本尺度下的街道慢行品质

在以人为本的新型城镇化背景下,我国公共空间建设呈现出由“速度优先”向“品质追求”转变的新形势,并随之掀起了街道重塑的浪潮。这一情况与西方城市公共空间设计与营造的发展历程相吻合,是城市建设方式向集约精细、人性化发展的必然需求^[1]。与此同时,城市居民对于街道空间品质的关注从“形态导向”转向“生活导向”,街道空间规划和导控也从以往满足功能性的交通需求、注重美学性的城市美化,向提升生活性的空间使用、日常性的空间感受转变,进而催生了对人本尺度下街道慢行品质的关注与提升需求。

在本次研究中,人本尺度 (Human-scale) 指人看得见、摸得着、感受得到的与人体密切相关的空间尺度,是对目前网格、街区和地块等尺度的深化与必要补充^[2]。而人本尺度下的街道慢行品质不局限于视觉感知上的空间品质,而是从人的生活需求和日常使用角度出发,囊括空间形态、场所活动、功能混合和视觉感知等多个维度。

1.2 已有进展与局限

从20世纪60年代开始,简·雅各布斯对人本尺度的城市形态进行了思考,此后凯文·林奇^[3]、威廉·怀特^[4]、克莱尔·马库斯^[5]及扬·盖尔^[6]等学者和设计师在定性研究与设计实践上开展了对人本尺度城市空间的

【基金项目】国家自然科学基金青年项目 (51708410)、国家自然科学基金重点项目 (51838002)、上海市浦江人才计划 (17PGC107)

【作者简介】樊 钧,苏州规划设计研究院交通所所长,同济大学建筑与城市规划学院博士研究生。

唐皓明,同济大学建筑与城市规划学院硕士研究生。

叶 宇,通讯作者,同济大学建筑与城市规划学院助理教授、硕士生导师。

探索。这些探索是对功能主导的现代主义城市规划与设计的反思,对现有研究有指导意义,但由于缺乏对量化数据与模型的深入研究,不利于大规模、精细化设计实践与导控。Fruin^[7]、Naik^[8]等人后续通过量化研究,专门针对街道慢行品质的某一方面加以深入研究,但缺乏综合性的评估考量。

面对“城市双修”、“微更新”和“美丽街区”等人本尺度下的城市规划与设计实践需求,街道空间慢行品质研究需要注意两个问题:①需要连续、大规模及高精度的街道空间与画像,而非少量的几个街道剖面;②在形态、功能、感知和行为等多维度下进行整合分析,实现对慢行品质要素的多方面考虑。只有解决以上两个问题,才能够真正助力于街道慢行品质导控实践研究。

1.3 新数据带来的新可能

随着新城市科学的发展,新数据、

新技术的出现有利于解决以往以主观经验为主的街道品质评价客观性不足的问题^[7],保证后续设计尺度的精确性,如利用街道基础数据和 sDNA^[9] 软件进行道路空间形态适应性的分析等。在涌现出的一系列新数据和新技术中,街景数据由于数据开放且贴近行人视角,已实现了绿化可见度^[10] 等大规模且精细度高的感知维度评价。

借助新数据和新技术,本次研究从形态、功能、感知和行为等多维度去理解街道空间的复杂性,选取路网数据和空间网络分析技术对街道组织结构进行分析,选取 POIs 数据对道路的主导功能和功能多样性进行分析,选取街景数据和深度学习技术进行街道品质的感知评价,选取 LBS 定位数据确定人群的行为活动,以更好地进行街道慢行品质的量化评价和完成街道画像。这些选取的新数据和新技术具有开放性、普遍性的特征,有助于弥补现有量化分析的不足。

2 街道慢行品质相关研究回顾

关于街道慢行品质的研究,经历了从定性讨论到定量评价的过程,从早期简·雅各布斯^[11] 通过观察调研提出街区尺度和街道多样性的重要性,到阿兰·雅各布斯^[12] 对“伟大的街道”的分类和特征描述,再到近些年基于现场社会调研^[6]、街景数据^[8] 等逐渐深化的要素定量评价分析。目前,典型的定量研究主要从街道环境要素和使用者的适应性两方面展开评价(表 1)。

现有研究大多专注于街道空间品质的单一维度叠合,少数研究者如唐婧娴^[18] 等人综合了两个维度进行街道品质测度。但街道空间具有复杂性,需要更全面综合的评价模型,过去的研究限于数据和技术难以实现。而当下的新技术环境特别是机器学习技术的成熟,有可能实现大规模、高精度及多维度的街道慢行品质分析。

3 街道慢行品质多维度评价方法

3.1 评价对象

随着城市的发展,苏州古城面临着空间品质提升的挑战,其规划急需从以车为本的规划转型为以人为本的规划,尤其要注重慢行系统的改善提升。研究以苏州古城外城河内街道为研究对象(街道段数量为 2 872 段,覆盖面积为 14.2 km²),以人群活动数据、兴趣点位置数据和街景图片数据等为主要数据来源,运用空间网络分析、机器学习等技术,实现大规模、高精度的古城街道慢行品质评价,为旧城更新提供支撑。

3.2 评价方法步骤

研究步骤包含数据收集、多维度评价、慢行品质与街道画像、针对性导控策略四个阶段(图 1)。

3.2.1 数据收集

在数据收集阶段,研究小组于 2018 年秋季对研究区域的 2 872 段街道的街景

表 1 街道相关定量研究

分析角度	街道环境要素		使用者的适应性	
	二维平面分析	三维空间分析	街道设施服务	街道使用感受
街道特征	街道尺度、组织结构等	绿化率、高宽比、空间活力等	设施均好性、多样性等	街道安全感、步行舒适度、通透性、整洁度和绿视率等
数据来源	现场调研、OSM 街道数据	现场调研、街景数据、GPS 数据等	现场调研、POIs 数据	录像、街景照片
典型研究	Hillier ^[13] 等人得出街道的网格尺度、断面宽度等参数,对车辆和行人使用街道有影响	扬·盖尔 ^[14] 等人强调要利用街道两侧建筑的首层立面提供良好的行走氛围;Kendall ^[15] 等人利用卷积神经网络工具 (SegNet),智能分割识别街景中的绿化、建筑和天空等要素	简·雅各布斯 ^[11] 通过观察和访谈,强调小街段用途混合的重要性;Ye ^[16] 等人以深圳为案例,利用大规模兴趣点 (POIs) 数据和城市形态数据,探讨了街道密度、餐饮设施与城市活力的相关性	Ewing ^[17] 等人构建了围合度等五项基于步行者感受的街道测度指标;唐婧娴 ^[18] 等人结合图像数据和使用者的主观评价,对北京和上海的街道空间品质进行了测度;Ye ^[19] 等人结合机器学习、街景图像和空间句法,对街道的人本尺度绿视率及其可接触度开展测度
研究特点	考虑了道路对人、车不同使用的适应性	现场调研样本数据较小,受偶发影响大;街景图像识别效果较好,覆盖范围广	现场调研较费时费力,POIs 数据全面丰富,需要剔除与街道活动不相关的兴趣点	传统的 SP 法受访者较少,且难以获得场地基础数据,大规模转化的操作性低

图片开展了收集。街道总长为 354.9 km, 研究抓取了 47 422 个采样点上 94 844 张百度街景图片数据 (图像分辨率为 480 × 360 像素), 平均采样间距约为 20 m。此外, 研究还收集了工作日和周末共 10 个时间段的 LBS 数据, 抓取了 POIs 数据点 38 049 个。

研究收集的路网基础数据来源于开源的 OSM 地图 (<http://extract.bbbike.org/>), POI 兴趣点抓取于高德地图。街景数据首先基于路网拓扑计算, 保证街景图像能平行于街道的长轴方向, 随后再由 Python (是一种计算机程序设计语言) 经 HTTP URL 调用百度街景 API (<http://api.map.baidu.com/lbsapi/>) 获得, 通过输入视线垂直和水平方向的角度, 以及视点位置数据, 可以抓取每一个样本点的街景视图。其中, 垂直角度为零, 即平视的街景视角; 水平角度根据路网形态, 抓取平行于道路的前后两张街景视图。此外, LBS 数据由 Python 经 HTTPS 调用腾讯出行平台位置服务 API (<https://apis.map.qq.com/>) 获得。

3.2.2 多维度评价

多维度评价综合了街道慢行品质的环境要素和使用者的适应性两方面, 从形态、功能、感知和行为四个维度进行评价。

(1) 在形态维度上, 研究基于 sDNA 对道路的空间组织结构进行了步行适宜性的评价与聚类。sDNA 是由卡迪夫大学提出的量化分析工具, 可以基于拓扑、角度或米制距离的变化进行分析。由于基于角度距离的可达性^[9]被证实与实际观察到的人车行为分布具有良好的相关性, 本次研究采用基于角度距离的中间性 (Angular Betweenness) 作为道路网络可达性的度量值。不同的分析半径反映出街道组织结构对相应距离出行的适应性, 500 m 常被认为是步行舒适距离, 大尺度的半径则更适宜车行等通勤交通。研究选择 500 ~ 10 000 m 的半径对苏州全市街道进行连续分析, 在聚类算法的协助下以更大范围的分析视角考虑从步

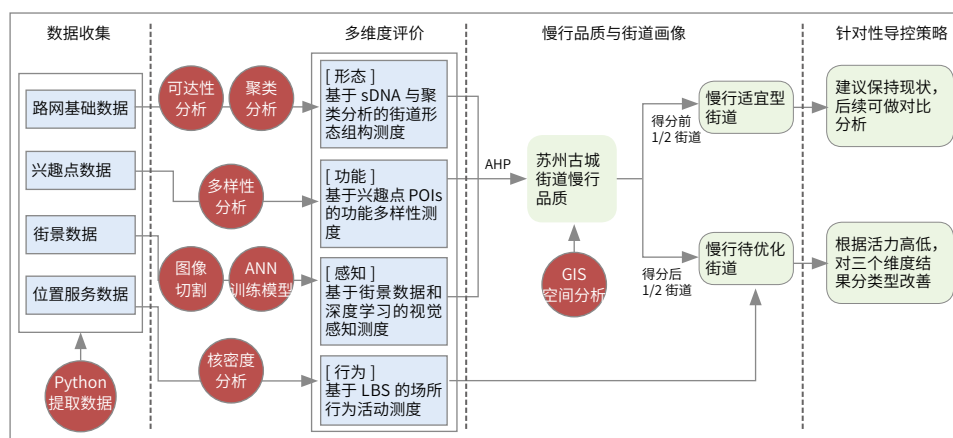


图 1 评价步骤

行距离到车行距离的街道空间组织构成特征。

(2) 在功能维度上, 研究基于 POIs 分析了街道设施的多样性^①, 并运用 ArcGIS, 基于香农指数对街道设施的多样性开展量化评价, 计算公式如下:

$$H' = -\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad \text{公式 (1)}$$

其中, s 表示总的物种数, P_i 表示第 i 个物种占总数的比例。当群落中只有一个族群存在时, 香农指数为最小值 0。

(3) 在感知维度上, 研究首先基于街景数据和机器学习进行了街道空间感知评价, 并运用卷积神经网络工具 (SegNet) 对要素类别进行了图像切割。这种方法可以测度天空、建筑、绿化和道路等不同街景要素的占比。考虑到现有研究在国内城市中直接运用这一工具的识别效果良好, 故未基于国内图片数据开展进一步的图像标定。其次, 再运用机器学习领域的人工神经网络算法 (Artificial Neural Network, 简称 “ANN”) 构建评价模型。ANN 是一种模仿生物神经网络功能的数学算法, 一个典型的 ANN 包括了多个神经元 (人工节点) 多层互联所形成的一个类似生物神经网络的网状结构。这一非线性的架构使其可以集体地、并行地计算函数的各个部分, 对于复杂、多样而又相互关联的建成环境要素分析较为适宜, 因此其能够基于相对小样本的街景评价来训练评价模型, 进而对所有街景照片进行大规模评价打分。最后, 计算每一条街道段的空间感知评价分数,

得分越高, 人本尺度的感知越好。

(4) 在行为维度上, 研究基于 LBS 数据对人群在街道的行为活力进行分析。研究分别选取了工作日与周末 7 点、11 点、15 点、19 点和 22 点共 10 个时间段收集人群位置信息, 保证了数据的代表性。随后, 利用 ArcGIS 对人群位置进行核密度分析, 观察人群聚集程度高的地区, 再与路网做空间连接分析 (Spatial Join Analysis), 便于下一步构建评价模型。

3.2.3 慢行品质与街道画像

为了从形态、功能和感知三个维度对街道慢行品质进行综合评价, 研究运用 AHP 层次分析法, 寻求了近二十余位有规划、建筑背景的专家以及硕士、博士研究生, 对三个维度进行打分, 具体的判断矩阵如下:

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \quad \text{公式 (2)}$$

$$A = (a_{ij})_{n \times n} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad \text{公式 (3)}$$

在确定维度权重后 (表 2), 经计算获得苏州古城街道慢行品质得分结果, 同时获得古城的街道画像。研究将得分前 1/2 的街道视为慢行适宜型街道, 将得分后 1/2 的街道视为慢行品质待优化的街道。随后, 再根据街道行为活力的高低, 与形态、功能、感知后 1/2 的结果进行叠加分析, 得到六类街道: 高活力—低适应型街道、高活力—缺设施型街道、高活力—低品质型街道、低活力—低适应型街道、低活力—

缺设施型街道、低活力—低品质型街道。

3.2.4 针对性导控策略

研究最后选取养蚕里弄、幽兰路和西大街某巷段等六条对应不同类型的重点街道进行个案分析，提出相应的导控策略。

表 2 维度权重结果

维度类别	层次比重
基于 sDNA 与聚类分析的街道形态结构特质测度	0.352
基于 POIs 的街道功能多样性分析	0.281
基于街景数据的街道视觉感知评价	0.367

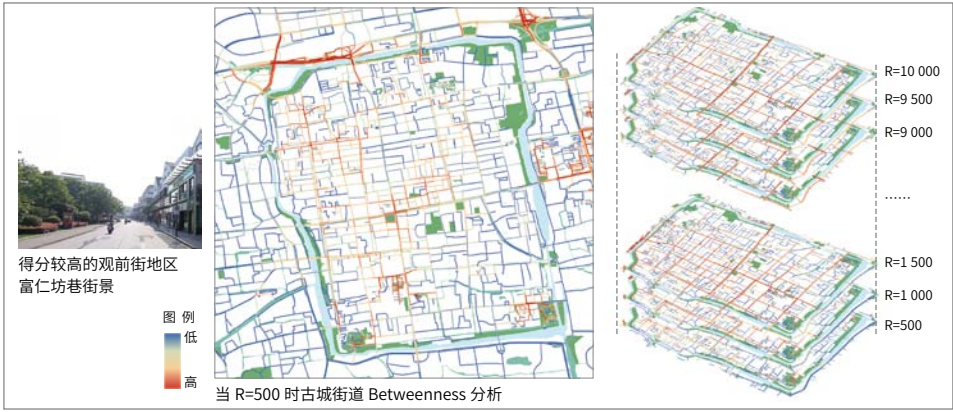


图 2 古城街道 sDNA 中间性分析

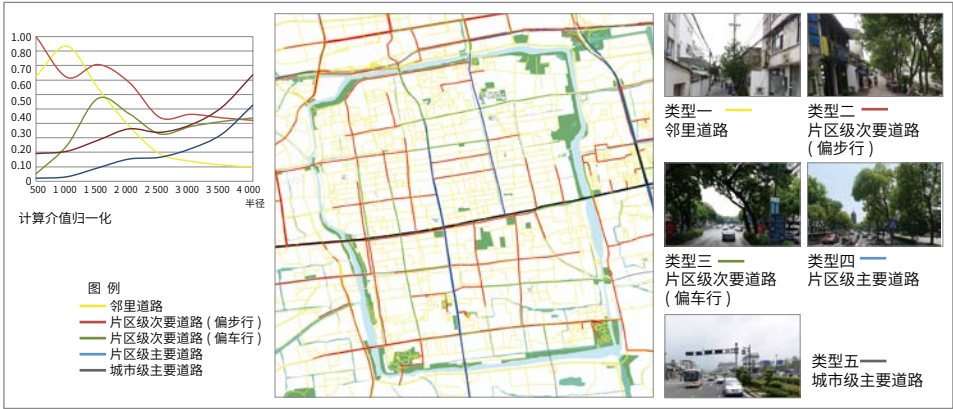


图 3 苏州古城街道聚类结果

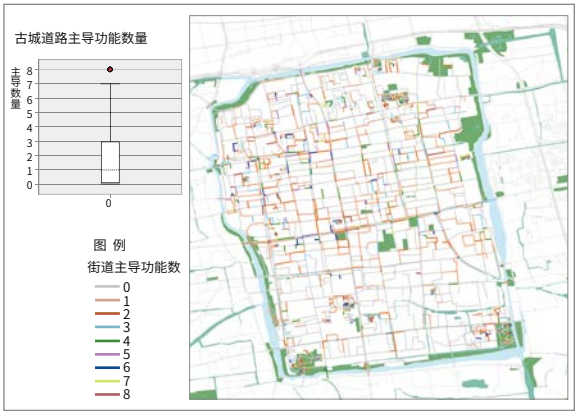


图 4 苏州古城街道主导功能分析



图 5 苏州古城街道设施功能多样性分析

4 苏州古城街道慢行品质评价实践

4.1 基于 sDNA 与聚类分析的街道形态结构特质评价

研究对苏州全市街道进行半径 500 m、1 000 m、1 500 m……9 000 m、9 500 m、

10 000 m 等中间性分析后，截取古城街道结果 (图 2)。由此可以观察到当 R=500 m 时观前街地区、古城西北角、西南角和桂花公园附近邻里道路较密集，街道空间较适宜步行或骑行等慢行交通。

因本次研究侧重街道慢行品质的分析，故后续街道画像评价只使用了 sDNA R500 的结果，但最后街道的导控策略考虑了基于聚类分析所抽取的街道空间结构特征。具体来说，研究运用 SPSS 对中间性分析结果进行归一化处理，采用聚类分析 (图 3) 发掘了古城内街道的典型类型。古城内以邻里道路为主，主要是保存完好的各类小街巷和部分城市支路；片区级偏向步行的次要道路为仓街、郑长巷和养育巷等道路，适宜慢行交通；片区级偏向车行的次要道路主要为人民路北段、白塔西路等；片区级主要道路为人民路南段、齐门路两条城内主要交通性道路，而干将西路和干将东路为城市级主要道路，承担连接古城与新区的交通职能。

4.2 基于 POIs 的街道功能多样性分析

研究将抓取到的 38 049 个 POIs 数据，根据性质分为医疗、科教、体育休闲、生活服务、购物、餐饮、交通和景点八大类设施，随后以道路中心线为基准，分析不同街道段 50 m 半径内的缓冲区中单位长度 POIs 的种类和数量。若单类 POI 的密度超过分析区域 75% 的，视为街道的主导功能 (图 4)。数值越高，表示该街道的主导功能越多，其中也有无主导功能的街道。主导功能的中位数为 1，下四分位为 3，通过研究可以观察到部分街道存在多种主导功能，其设施的服务能力较强。

为了更准确地分析街道功能的多样性，研究运用 ArcGIS，基于香农指数开展量化评价 (图 5)，由此可以得出人民路、凤凰街和新市路两侧的 POI 功能多样性较强，苏州大学内部、古城东北角住区、东南角住区、第四中学和苏州中学附近区域的 POI 功能多样性差。

4.3 基于街景数据的街道空间品质感知评价

在获取了苏州古城近期的街景图像后,研究运用 SegNet 开展图像识别。SegNet 可以提取图像特征,识别出天空、道路、建筑、绿化和车辆等要素类型,在此基础上可计算每张图片中不同要素所占的比例(图6)。对苏州古城具体街景的要素占比进行识别,可以为评价模型的建立和导控策略的制定提供基础。

为了获取对街道的主观感知,研究小组邀请规划专家及专业学生对街景打分。首先,机器筛选出1500张具有苏州古城街道代表的照片,然后手工精选出500张最具代表性的比较样本,基于JAVA编写相应的评价程序,邀请专家及学生对样本进行两两比较(5000次/人×10人/次),选出感知度更高的街景图片(图7)。

其次,运用 The Elo Rating System^② 算法,将两两比较的系列结果转化为每张街景图片的实际分值,为之后的统计分析提供分析基础。随后,运用 ANN 算法计算得出这些相对小样本的街景品质评价结果,训练自动化的品质评价模型,用于对苏州古城街景的全面打分(图8)。

4.4 基于 LBS 的街道行为活力分析

从苏州古城工作日和周末的人口分布可以看到(图9),平江历史文化街区、苏州大学、观前街和阊胥路等地区是全天的人群热点地区。研究将人群热点以古城街道为单位进行显示,便于下一步构建慢行品质评价和完成街道画像,由此可以观察到观前街、苏州大学、人民路与干将东西路附近的街道人群密度较高。

4.5 街道慢行品质评价与街道画像

基于形态、功能和感知三个维度的分析,研究使用 AHP 层次分析法对苏州古城区内的各个街道段进行慢行品质综合评价(图10),并开展全面画像,将总得分前1/2的街道视为慢行适宜型街道。随后,选取总得分后1/2的街道,视为

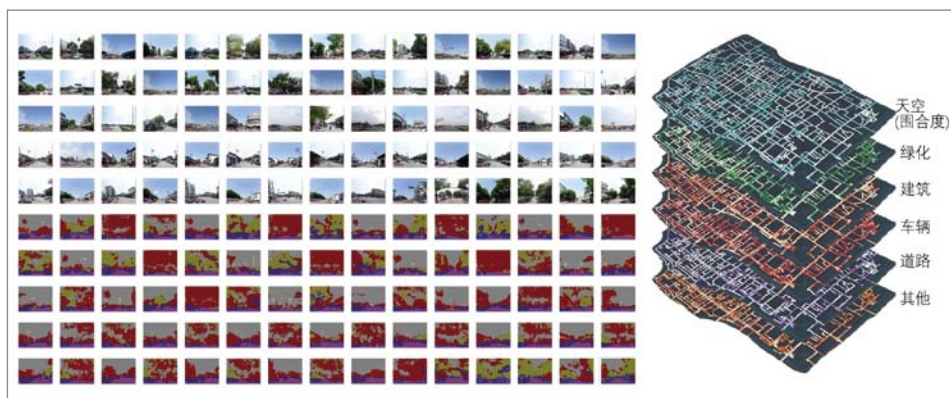


图6 苏州古城街道街景要素分布



图7 街景图片打分示意



图8 苏州古城街道街景打分

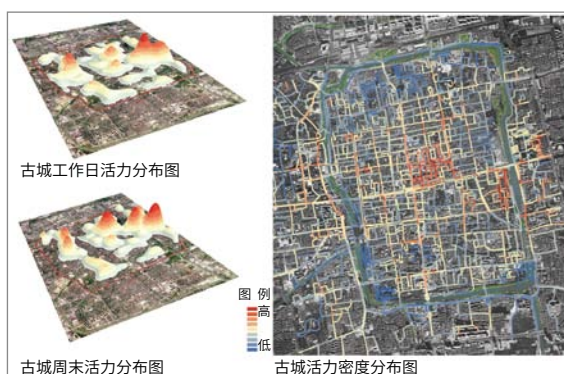


图9 苏州古城街道行为活力结果



图10 苏州古城街道慢行品质评价结果



图 11 六类待改善的古城街道画像

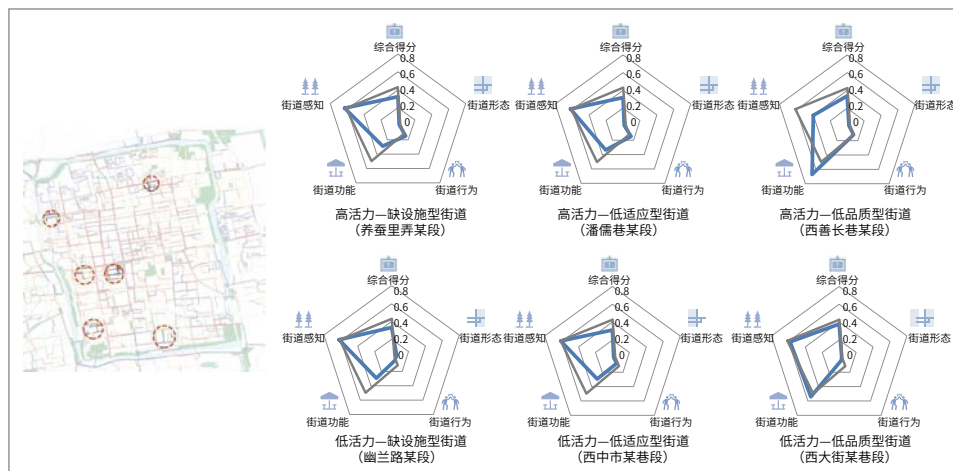


图 12 六类街道雷达图

急需改进的街道，并根据人群活力的高低，分类型进行改善。

研究将人群活力与三个维度做叠合分析（图 11），叠合高活力街道与得分后 1/2 街道的功能、特征和品质因素，得出三类街道数量均较少，说明在古城内人群活动多的区域，设施、街道形态与街景给人的感受均较好；叠合低活力街道与得分后 1/2 街道的功能、特征和品质因素，得出三类街道在古城不同区域均有所分布，

其中低活力—缺设施型街道的数量最多。虽然研究不能直接论证设施的多样性差影响了人群活动，但是后续从街道更新的角度可以考虑适当在这类街道增加与居民日常使用相关的各类设施。

4.6 街道个案的针对性导控策略展示

根据六类街道画像类型，研究选取了六条街道段进行个案分析，并根据其得分低的原因提出相应的导控策略（图 12）。

由于高活力街道意味着更高频的市民活动，在同等情况下，建议优先改进高活力的三类街道：①养蚕里弄某段为高活力—缺设施型街道，无街道主导功能，建议根据两边用地具体情况，在未来城市更新中考虑混合土地使用的设置与便民设施的设置。②潘儒巷某段为高活力—低适应型街道，由于是断头路，导致了步行性低，建议未来在街道更新中考虑打通邻近街巷，整治道路界面，优化步行流线，以更好地适应活动人群的需求。③西善长巷某段为高活力—低品质型街道，由于绿化较少、天空要素占比高，使得步行感受差，且其在街道组构特质分类中属于偏车行的片区次要道路，建议通过增加街道家具等方式提升步行感受。未来，研究也可进一步对比单一维度优化后对活力和品质高低的影响。

后续若条件允许，也可以考虑进一步改善低活力的三类街道：①幽兰路某巷道为低活力—缺设施型街道，无街道主导功能，建议根据周边居民实际需求适当增加服务设施。②西中市某巷段为低活力—低适应型街道，未来街道更新可适当考虑在其和北边道路间增加支路。③西大街某巷段为低活力—低品质型街道，建议优化街景品质，提升街道活力。

5 讨论与展望

5.1 多维度街道慢行品质评价

本次研究提出的多维度街道慢行品质的评价方法相较于传统的定性、单一维度的定量研究，具有综合性、普适性的优点。首先，不同于以往新数据和新技术的点状运用尝试，本次研究综合整合了街道品质评价的环境要素和使用适应性，从形态、功能、感知和行为等多维度进行系统性的评价。其次，开源的分析技术以及 PoIs 数据、街景数据、LBS 数据和 OSM 数据等相较于人工踏勘拍照，能大大节省时间，高效地大规模展开分析，可以运用在多个城市中，在保持人本尺度精细度的同时，获得城市

乃至区域尺度的慢行品质评价。

在新数据的多样性、空间精度和普遍性都不断增强的大背景下,“街道城市主义”“人本城市主义”等理念正逐渐从口号式的呼吁和探索性的研究,转化为规划设计实践中的切实运用。新城市科学背景下新数据和新技术的涌现,正在为品质和活力导向的城市设计与导控带来新的可能。相对于传统的定性研究和基于小样本数据的统计分析,利用大规模、多源城市数据的“厚数据模型”,可以高效、快速和科学地实现问题导向下的城市分析,助力于城市规划和城市设计实践的科学化,更好地协助“品质”“活力”导向下的相关规划与城市设计。

5.2 适用城市设计与“城市双修”等实践运用

这一分析框架在当下总体城市设计和“城市双修”等需要开展大规模分析且兼具人本尺度的规划设计实践中具有很强的操作性^[20-21],特别是纳入了街景数据和机器学习的视觉感知评价,丰富了以往城市数据局限于2D层面的问题,补充了3D层面的视角,进一步完善了传统小样本数据分析涉及面小的缺陷,为后续的设计提供了数据支撑。

这一综合化、自动化的分析框架也能助力于美丽街区建设和街道微更新等人本尺度规划实践,既能基于全城街道进行大规模品质分析,又能对与品质相关的要素属性做针对性分析,根据具体街道个案找出问题所在,为街道更新的选点和导控策略提供依据。

5.3 研究局限与未来探索

本次研究的亮点在于进行了多维度的街道品质评价,但受限于数据源与研究局限,仍有一定不足。在数据收集方面,部分适宜居民步行的巷道不宜采样车通行,缺少街景数据,后续考虑进行现场补拍。街景数据受限于采样车的视角,对于行人更为常用的人行道空间的反映

会有所偏差。此外,LBS的信用还需增强,其定位与采样方面可能存在一定的误差。在未来的研究中,需扩大分析范围及内容,进一步研究街道慢行品质与实际出行行为及居民健康的相关性,为人本导向的规划设计实践提供更多维度的支撑。■

[注 释]

- ①每条街道段上POIs的设施种类越多,各类数量越平均,其香农指数越高,也就是设施的多样性越好。
- ②Elo Rating System是由匈牙利裔美国物理学家Elo创建的一个衡量各类对弈活动选手水平的评分方法,可将多名选手两两比较的胜负情况转化为线性可比的分值,是当今对弈水平评估的公认的权威方法,被广泛应用于国际象棋、围棋和足球等运动,近年来也逐渐被运用于两两比较类型的社科研究中来。

[参考文献]

- [1] 卢济威.新时期城市设计的发展趋势[J].上海城市规划,2015(1):3-4.
- [2] 龙瀛,叶宇.人本尺度城市形态:测度、效应评估及规划设计响应[J].南方建筑,2016(5):41-47.
- [3] Lynch K. Good City Form[M]. Cambridge: MIT Press, 1984.
- [4] Whyte W H. The Social Life of Small Urban Spaces[M]. US: The Conservation Foundation, 1980.
- [5] Clare Cooper Marcus, Carolyn Francis. People Places: Design Guidelines for Urban Open Space[M]. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1997.
- [6] Gehl J. Cities for People [M]. New York: Island Press, 2010.
- [7] Fruin J. Pedestrian: Planning and Design[M]. New York: Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, 1971.
- [8] Naik N, Philipoom J, Raskar R, et al. Streetscore-Predicting the Perceived Safety of One Million Streetscapes[C]// In 2014 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, 2014.
- [9] Chiaradia A, Cooper C, Webster C. sDNA a Software for Spatial Design Network Analysis[EB/OL]. <https://www.cardiff.ac.uk/sdna/>, 2014-06-15.
- [10] 叶宇,张灵珠,颜文涛,等.街道绿化

品质的人本视角测度框架——基于百度街景数据和机器学习的大规模分析[J].风景园林,2018(8):24-29.

- [11] Jacobs J. The Life and Death of Great American Cities[M]. New York: Random House, 1961.
- [12] Allan B Jacobs. Great Streets[M]. Cambridge: MIT Press, 1995.
- [13] Hillier B, Penn A, Banister D, et al. Configurational Modelling of Urban Movement Network[J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 1998(1): 59-84.
- [14] Gehl J, Kaefer L J, Reigstad S. Close Encounters with Buildings[J]. Urban Design International, 2006(1): 29-47.
- [15] Kendall A, Badrinarayanan V, Cipolla R, et al. Bayesian SegNet: Model Uncertainty in Deep Convolutional Encoder-Decoder Architectures for Scene Understanding[EB/OL]. <https://arxiv.org/abs/1511.02680>, 2015-11-20.
- [16] Ye Y, Li D, Liu X. How Block Density and Typology Affect Urban Vitality: An Exploratory Analysis in Shenzhen, China[J]. Urban Geography, 2018(4): 631-652.
- [17] Ewing R, Handy S. Measuring the Unmeasurable: Urban Design Qualities Related to Walkability[J]. Journal of Urban Design, 2009(1): 65-84.
- [18] 唐婧娴,龙瀛.特大城市中心区街道空间品质的测度——以北京二三环和上海内环为例[J].规划师,2017(2):68-73.
- [19] Ye Y, Richards D, Lu Y, et al. Measuring Daily Accessed Street Greenery: A Human-scale Approach for Informing Better Urban Planning Practices[J]. Landscape and Urban Planning, 2018. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2018.08.028.
- [20] 龙瀛,沈尧.数据增强设计——新数据环境下的规划设计回应与改变[J].上海城市规划,2015(2):81-87.
- [21] 叶宇,庄宇,张灵珠,等.城市设计中活力营造的形态学探究——基于城市空间形态特征量化分析与居民活动检验[J].国际城市规划,2016(1):26-33.

[收稿日期] 2019-01-03