

基于深度学习和多源数据的街道美感评价与影响因素分析——以上海为例

Evaluation of Street Aesthetics and Influencing Factors Using Multi-source Deep Learning Methods: The Case Study of Shanghai

方智果 刘聪 肖雨 靳澄浩 庄鑫嘉
Fang Zhiguo, Liu Cong, Xiao Yu, Jin Chenghao, Zhuang Xinjia

摘要：营造兼具交通功能和步行空间感知的美学街道空间，对于实现交通发展模式的转变至关重要。地图兴趣点、街景图像、三维建筑地图等数据的出现，为街道空间研究提供了大量新图像和数据支持，打破了数据源的限制。本文以上海市街道空间为研究对象，基于深度学习技术和 GIS 技术，以多源数据为载体，大规模进行街景美感评估以及街道物理空间、底层界面、绿化设施、宏观形态四类客体指标测度。在此基础上，通过数理推导，揭示客体指标对街道美感评价的关系。研究发现，物理空间对个体在街道三维关系的感知方面影响最大，环境设施和底层界面指标对美感感知影响次之，绿视率与美感是影响美感感知的关键因子，街道宽度、高宽比对美感的感知影响更大，店面招牌个数、建筑密度对于美感评价也具有积极影响。本研究可为优化街道空间布局提供依据，为更好地营造可步行城市与健康城市提供科学理性支撑，为相关学科优化建设环境提供实践支持。

Abstract: It is crucial to create an aesthetic street space that combines traffic function and pedestrian space perception through the environment, and supports social behavior to realize the transformation of the transportation development model. However, street aesthetic assessment and analysis are limited due to insufficient technology and availability of data sources. The emergence of data such as map points of interest (POI), street view images, and three-dimensional building maps has provided a large number of new images and data support for the street space research, breaking the limitations of data sources. This paper takes Shanghai street space as the research object, based on deep learning and GIS, using multi-source data as the carrier to conduct large-scale streetscape aesthetic evaluation and measurement of four types of object indicators: street physical space, ground floor interface, greening facility, and the macroscopic morphology. On this basis, the relationship between the object indicators and the street aesthetic assessment is revealed through mathematical derivation. It finds that physical space has the greatest influence on the perception of individuals in the three-dimensional relationship of streets; the green viewing rate is a key factor affecting the perception of street aesthetics; the street width has a greater impact on the aesthetic perception than the aspect ratio; the number of storefront signboards and building density also have a positive impact on the aesthetic evaluation. This paper can provide a basis for optimizing the spatial layout of streets, scientific and rational support for creating walkable cities and healthy cities, and practical support for optimizing the built environment in related disciplines.

关键词：上海街道；街道美感；街景图像；深度学习；多源数据

Keywords: Shanghai Street; Street Aesthetics; Street View Image; Deep Learning; Multi-source Data

国家重点研发计划 (2021YFF0900400)，教育部人文社会科学基金项目 (18YJC760012)，国家自然科学基金项目 (51808337)

作者：方智果，博士，上海理工大学，副教授。183457289@qq.com

刘聪，上海理工大学，硕士研究生

肖雨，上海理工大学，硕士研究生

靳澄浩，上海理工大学，硕士研究生

庄鑫嘉，上海山水秀建筑设计顾问有限公司，一级注册建筑师

引言

自我国提出新型城镇化战略以来，城市建设从重视增“量”转向关注提“质”。作为与日常生活最为密切的街道空间，塑造其美感一直以来是建设高品质城市的目标之一。无论是奥斯曼男爵在巴黎改造时开始严格控制街道与沿街建筑界面的尺度，还是我国历史街区街巷空间的环境设计和视觉特征注重符合个体步行行为与审美需求，国内外的城市空间都极其注重街道美感的营建。街道美景营造不仅能为城市人们带来愉悦的步行体验，使行人拥有舒适放松的状态，进而促进个体活动，提升公共健康水平，还可以促进社会交往与实体经济发展，支撑城市活力，以及缓解交通拥堵及相应的环境污染等问题。

从 1960 年代开始，学者们逐渐认识到街道美景对步行者的重要性。以简·雅各布斯 (Jane Jacobs) 为代表的一系列城市研究者开展了街道美感与个体交往以及安全等方面的关联研究^[1]。随后，设计领域的学者开始关注街道美景要素，以此来创造人性化的公共空间，如扬·盖尔 (Jan Gehl) 与威廉·怀特 (William Whyte) 等分别从个体的认知与行为需求角度研究了街道美景要素和美感^[2-5]。1990 年代以后，街道物质要素与街道问题（包括美感问题、安全

问题、绿化景观问题)的关联逐渐受到关注^[6,8]。21世纪后,人们开始关注街道美感的可持续发展及其对个体情感和感知的满足^[9,11],如谭少华和韩玲使用心理学和心理学偏好等实例验证方法,建立视觉定量分析的数学模型,并从感知满足角度对街道进行了综合评价^[11]。但总体来看,此类研究多为定性归纳,大多采用现象观察或者随机访谈的方法研究街道美感与人们活动之间的关系。

随着新数据环境的逐步发展,使用更精细的数据对街道美感进行多维探索成为可能。在街道客观指标分析研究中,一方面,研究者可以基于深度学习技术如图像分割(image segmentation)和目标检测(object detection)等来实现准确的街景图片的深度处理,以有效识别行人、汽车、车道、建筑、绿化等多种要素,测度大规模样本的街道空间构成^[12-14],打破了以往小规模、高成本的人工分析所面临的局限。例如:胡春博等(Hu et al.)基于密集连接卷积网络(DenseNet)和图像分割深度学习网络对香港的谷歌街景图像(Google Street View)进行处理,开发了一种自动量化分析街道高宽比、两侧建筑对称性的方法^[15];邵源等基于开源街景数据和目标检测机器学习算法,提出了一套人本视角下街道渗透率大规模、精细化测度和分析方法^[16]。另一方面,道路网、兴趣点和三维建筑等高精度开放数据的出现,为传统的不可测量的数据使用提供了新的机会。例如:哈维等(Harvey et al.)基于三维建筑数据与GIS技术,对街道形态相关的12个变量进行测度,分析其景观形态对街道活力的影响^[17];沈尧和卡拉米(Shen & Karami)利用街道POI数据,大规模、准确测量了街道兴趣点,定量评价了街道功能密度和混合度,并测度了街道的可步行性^[18]。

在主观感知研究方面,利用街景图片和机器学习算法开展大规模街景智能评价受到关注。例如:麻省理工学院媒体实验室(MIT Media Lab)的“城市脉冲”(Place Pulse)项目使用采集到的大规模街景图片数据和众包方法,通过在线网站(<http://pulse.media.mit.edu>),请81 630名在线参与者对110 988张城市景观图片进行了1 170 000次配对比较,进而形成机器学习数据集;萨利斯等(Salesses et al.)^[19]、乃克等(Naik et al.)^[20]、张帆等^[21]以“城市脉冲”项目数据为训练集,结合街景图像与机器学习技术,对街道空间的美感、安全感、宜人性等进行评价;刘伦等(Liu et al.)关注街道风貌特征和可识别性,利用机器学习技术和大范围的街景图像,对城市环境质量进行了大规模自动评估,包括建筑外墙的建设和维护质量以及街墙的连续性^[22]。部分学者还对主观评价与街道空间品质影响机制进行了研究,如王若宇等(Wang et al.)通过使用在线免费的腾讯街景图像,大规模评估了建筑环境的感知属性,并探索了它与老年人身心健康状况的关联^[23-24]。

上述研究分别从基于大数据的街道客观指标与主观评价两个角度进行了街道的量化分析,部分研究结合归纳演绎法分析了空间动态变化与社会属性变化之间的影响机制。但上述研究重点并非针对美感评价与物质环境的关联展开的探索,且尚未建构出系统的美感测度体系,较少考虑宏观形态要素对街道品质的影响。此外,研究仅单一利用POI数据或街景图像开展街道美感研究,综合采用不同数据源进行街道美感的精确评估和物质空间量化分析的探索较少。由此,本文尝试对经典城市设计要素与新数据新技术进行深度整合,从人的基本需求出发,构建物理空间、环境设施、底层界面、宏观形态要素的综合测度体系。兼具大规模与高精度的数据分析有助于对街道美感的深入认知,可为街道空间品质评估与设计管控提供科学支撑,为营造可步行且健康的城市提供依据。

1 研究框架与方法

1.1 研究框架

在“城市脉冲”项目数据集的基础上,笔者将人对于视觉环境的评估分数转化为人工智能评分模型,模拟并量化人对街道环境的直观美感。同时,将街景数据、业态POI等数据进行叠合,构建多源大数据综合测度平台。相较于单一维度大数据的分析,基于多源数据的街道美感研究角度更加直接,分析维度更加全面,测度精度更加细致。在测度分析的基础上,分析街道美感知在城市空间领域的分布规律和特征,并使用SPSS软件对主观感知与客体指标建构数理模型,剖析其内在的影响机制(图1)。

1.2 研究范围

上海作为我国融合近现代和中西方文化的城市,具有丰富的城市肌理形态和与之相对应的街道空间。考虑到研究对象的代表性和可操作性,笔者选取上海内环内浦东新区、徐汇区、黄浦区、虹口区的生活性道路作为研究对象。四个区域内的街道人工特征、店面招牌设施、建筑和植被高度复杂多样,包含传统的低层高密度建筑围合、低层高密度建筑围合、高层低密度建筑围合等多种街道空间形态,为街道美感研究开展提供了多元素材。

1.3 研究数据

1.3.1 路段筛选

街道数据来源为开放街道地图(OSM: Open Street Map)的路网数据,其中街道为承载人们日常社交生活的道路。根据OSM等级属性筛选,除去以下样本:高架桥、桥梁道路、居住小区内的路段;距路口0.5 m的区段;中心线左右40 m缓冲距离内无建筑的路段;街段长度小于50 m的

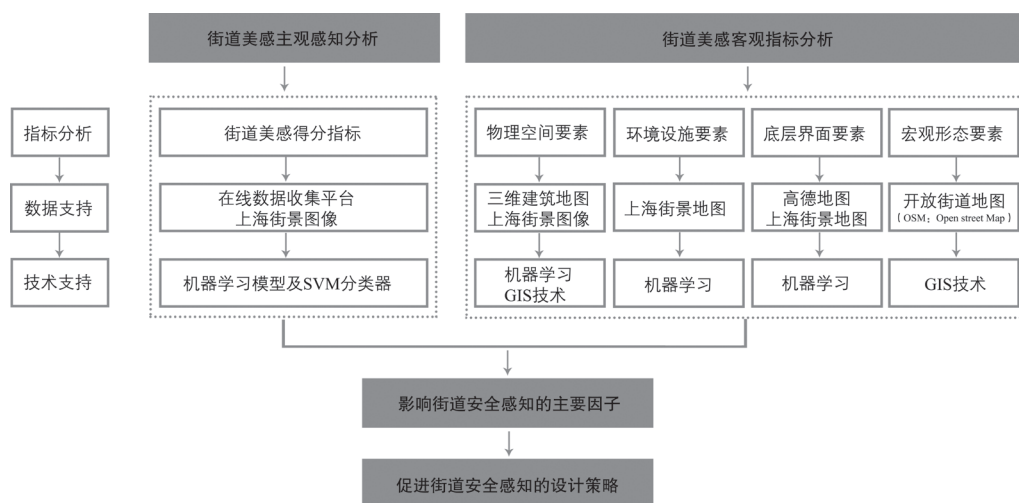


图1 本文技术路线

区段；街景采样点过少（少于4）以及无法得出合理街景相关数据的路段。最终，筛选有效路段2140条。其中，街道长度大多在100~500 m，平均长度为201 m；街道宽度大部分在10~50 m，平均宽度为35 m。

1.3.2 街景图像

通过人工对比发现，街景图像采样点间距远于或近于25 m会导致截取的图像覆盖的景观同质性过低或过高，易遗漏部分街景特征，因此笔者将间距定为25 m。对于每个定位点，将全景照片切为6张，然后选取其中4张图片，最终共收集到101 006张图像。

1.4 街道客观指标的获取

1.4.1 客观指标的选取

诺伯舒兹认为，人们对街道感官体验是多个线性串联场景审美的综合^[25]。笔者通过分析场景的构成，对街道要素进行分类，包括：（1）有控制场景框架的街道立面和横断面，对应物理空间要素如街道宽度与高宽比；（2）街道设施和绿化起装饰作用，对应环境设施要素，如绿视率、街道界面和城市管理程度均对整体街道氛围的营造具有重要作用，绿视率的高低对人们的生理和心理感知产生不同的影响^[26]，积极的界面往往具有透明性的特点，城市街道界面的文化氛围或者是界面美感对于街道美感感知可能同样具有重要的影响^[1,27]；（3）日常活动理论认为密集、多样、漫长和合法日常活动的地方可能会被认为更安全、更具美感^[28]；（4）此外，连续的街道空间会被分割街区的街道打断，其形态与路网密度、街区尺度具有关联性^[29]，因此街道美感感知与宏观城市形态要素的关联度也值得研究。

由此，在文献基础和数据可获取的前提下，结合以上分

析，笔者将影响街道美感评价的指标分为四大类型：（1）物理空间要素，如街道宽度、街道高宽比、贴线率；（2）环境设施要素，如店面招牌数量、绿视率；（3）底层界面要素，如界面通透性、功能密度；（4）宏观形态要素，如建筑密度、开放空间比例、容积率。研究还包括其他文献中较少量化的因素，如店面招牌个数、功能密度和宏观形态要素，以全面探讨街道客体指标与美感评价关系（表1）。

1.4.2 客观指标的测度

（1）物理空间要素

一是街道宽度。根据哈维等的方法，利用GIS采集的中心线和建筑基底矢量信息^[17]，由中心线向外侧做间隔1 m的一系列缓冲区（最宽为40 m），计算单侧缓冲区面积和去除建筑基底后的面积占比。查询相邻两个缓冲区比值差异最大突变点，将该情况下较小缓冲区的外墙线定义为该侧界面线，计算路段两侧到中心线距离（图2）。

二是街道高宽比。在对要素客观构成的分析中，笔者参考了胡春博等^[15]的方法，即首先从OSM网站中获取上海的地理空间街道矢量数据^[15]；然后，基于密集连接卷积网络的深度多任务学习，识别各路段上每张街景图片的高宽比类型，并将其分为4类： $0 < H/W < 1$ ， $1 < H/W < 2$ ， $2 < H/W < 4$ ， $H/W > 4$ （图3）；最后，按路段统计街道上4类高宽比类型的街景图片数量，将数量最多的一类作为该路段的高宽比类型。

三是贴线率。根据哈维等的计算方法^[17]：由于街道至少为一车道，加上人行横道单侧至少在2~3 m，因此排除单侧缓冲距离小于3 m的结果，然后取第二高的d值或就近取值。其中所有面积比例及比例的差值均为0时，代表此侧无建筑，宽度定为40 m。确定界面线后，筛选与街道边界线相交的建筑，得出与界面线相交长度与街段总长之比值。

表 1 街道的物理空间、环境设施、底层界面、宏观形态四类要素

街道特征	描述	数据来源	单位
(1) 物理空间要素			
街道宽度	将各路段双侧的街道范围线到中心线的距离相加,此宽度主要代表包含路旁空间的街道空间宽度	三维建筑数据	m
街道高宽比	利用深度学习模型识别各路段上每张街景图片的高宽比类型	街景图像	—
贴线率	筛选与街道边界线相交(容许误差为1 m)的建筑,计算它们与边界线相交的长度占街段总长的比例	三维建筑数据	%
(2) 环境设施要素			
店面招牌数量	计算街道段中所有取样点店面招牌数目均值,将其计为该路段平均店面招牌个数	街景图像	个
绿视率	定位街景图像中的植物,统计图像中植物的像素占比。各取样点的街景图像绿视率均值为该取样点的绿视率均值,各街街道段上的取样点均值为该路段的绿视率	街景图像	%
(3) 底层界面要素			
界面通透性	计算每个街景采样点的各街景图片中透明界面占构筑界面的比例	深度学习	%
功能密度	选取街道两侧55 m(能包含临街地图兴趣点)内与活力相关的POI点位进行统计分析。街道的功能密度即每100 m街段中的POI点密度	POI数据	个/km
(4) 宏观形态要素			
建筑密度	统计各路段周边方形区域内的建筑底层面积,计算该面积与方形区域面积的比值	OSM地图	%
容积率	统计各路段周边方形区域内的建筑底层面积,乘以建筑层数得到建筑总面积,计算其与方形区域面积的比值	OSM地图	—
开放空间比例	公园绿地、水面面积除以(500 m×500 m)取样区域的面积	OSM地图	%

注:“—”表示无单位。

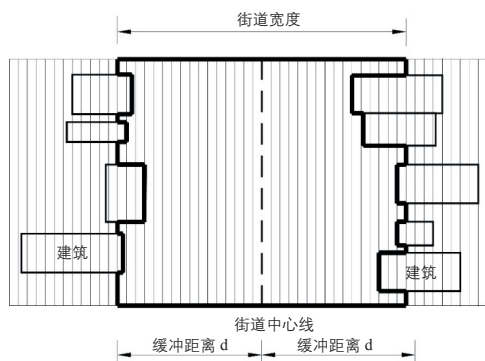


图 2 街道宽度获取方法示意图

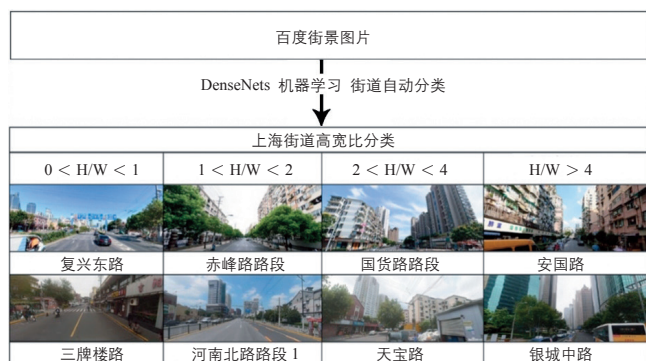


图 3 上海街景图像高宽比分类

(2) 环境设施要素

一是店面招牌个数。采用目标识别技术对其进行识别,该方法分析步骤由大规模图像获取、代表性图像的选取与标定、评价模型的训练与校核、大规模指标计算4个阶段构成(图4):首先通过开源数据标注平台 MakeSense 人工标记5 000张上海街景图像中的店面招牌特征,获得训练集数据;其次基于训练集,以残差神经网络(ResNet)为基础,采用实例分割算法 Mask R-CNN 的架构进行训练识别,建立深度学习图像识别模型;经检验,该算法能有效识别图像中的店面招牌,平均交并比(Intersection over Union)指数为0.87,展现了较高的准确率(图5);在模型训练完成后,输入所有点位的图像数据,将街道路段中所有取样点的店面招牌数目计算均值,并此数值作为路段的平均店面招牌个数,避免因取样长度与样点总数不同而造成的差异。

二是绿视率。语义场景解析是场景理解的关键技术之一,其目的是识别和分割一幅自然图形中的对象实例,本研究使用 ADE20K^① 场景解析数据并进行部分分割数据训练。以 ResNet 架构作为编码器,以 PPM + deep supervision trick^② 为解码器,获取环境、周边要素和图形本身特征,实现场景客观要素的智能分割,为每个像素预测一个类标签,模型准确率为86%(图6)。在上述技术支持下,对上海街道空间进行要素解译,输入所有

① ADE20K 是用于场景解析的数据集,其包括150种物体类型,可被用于场景感知、解析、分割、多物体识别和语义理解。

② PPM 即脉冲位置调制(Pulse Position Modulation),利用脉冲的相对位置来传递信息的一种调制方式。deep supervision trick 是在深度神经网络的某些中间隐藏层加了一个辅助的分类器,作为一种网络分支来对主干网络进行监督的技巧,用来解决深度神经网络训练梯度消失和梯度爆炸等问题。

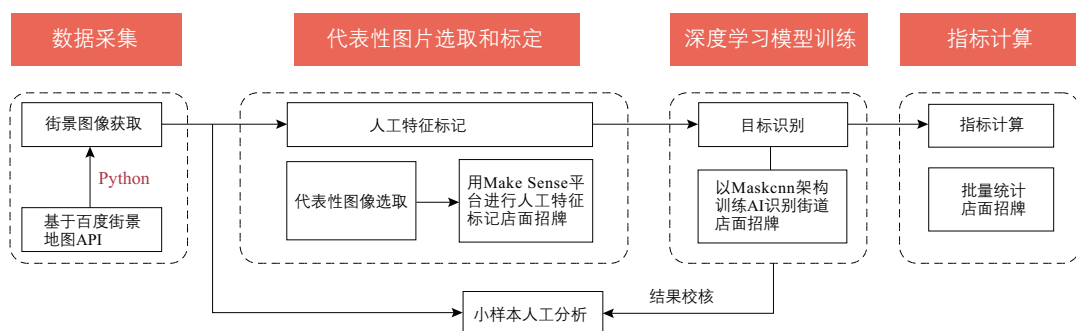


图4 目标识别技术分析框架

点位的图像数据，识别定位街景图像中的植物，统计每个街道点位对应4个方向的像素占比，计算平均值（图7）。

(3) 底层界面要素

一是界面通透性。通过 Make Sense 平台人工标记 5 000 张上海街景图像中的门洞和窗口特征，将橱窗、住宅窗、挑空廊、栅栏、街区入口/大门归为透明类，获得训练集数据。以 ResNet 网络架构为编码器，以 PPM + deep supervision trick 为解码器，对更大规模上海街道街景图像进行要素解译，建立深度学习模型，模型准确率为 91%。在模型训练完成后，输入所有点位的图像数据，识别出各个点位 4 个方向通透界面要素，如街道的开口处、玻璃界面等，得出该点上各街景图片中透明界面占构筑界面的比例（表 2）。计算公式为：

$$M = \frac{\sum_{i=1}^n F_i / F'}{n} \quad (1)$$

其中， M 为某条街道渗透率， F_i 为某采样点对应的街道底层通透界面像素点数， F' 为该采样点对应的街道底层界面像素点数， n 为采样点总数。

二是街道功能密度或混合度。根据 2019 年高德地图中的 POI 数据，将街道功能具体分为居住、商业、交通与餐饮娱乐等 9 类，然后计算街道的功能混合度。计算公式为：

$$\sum_{i=1}^n (P_i \times \ln P_i) \quad (2)$$

其中 n 表示种类， P_i 为 POI 中第 i 类 POI 的占比。为避免数据误差和偶然因素的影响，未将类别总数在 5 以下的 POI 类别计入功能混合度。信息熵越高，混合度越大，多样性越高。有效类别只有 1 类的，信息熵记为 0。

(4) 宏观形态要素

街区尺度一般不会大于 500 m，因此从 OSM 网站中对研究范围进行 500 m × 500 m 的单元取样，并按街道形态与功能，获取街道、地块、建筑的精细数据（图 8）。统计各路段周边街区内的建筑底层面积，计算其与取样街区比值，获取建筑密度数值；统计各路段周边方形区域内的建筑底层面积，乘以建筑层数得到建筑总面积，计算其与方形区域面

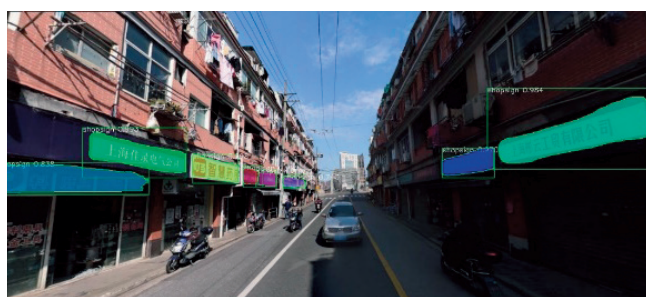


图5 基于 Maskrcnn 架构识别店面招牌

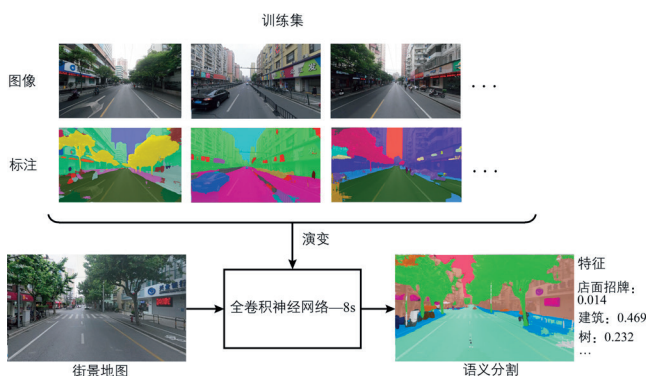


图6 基于 ResNet 的语义分割模型分析框架



图7 通过 ResNet 的街景语义模型分割绿化

积的比值，得到估算的容积率；统计出每条路段方形区域内的开放空间面积，除以方形区域面积，得出研究范围内的开放空间比例。

1.5 街道主观指标的获取

人的感知系统依托于五大感觉器官，分别为视觉 83%、听觉 11%、嗅觉 3.5%、触觉 1%、味觉 1%。人对环境的所有感知和理解，主要是通过视觉^[30]。由此，笔者借鉴胡春博等的基于大众感受进行人工智能训练打分的方法^[15]，利用街景数据和基于深度卷积神经网络（DCNN：Dynamic Convolution Neural Network）模型机器学习算法，对街景照

片开展大规模品质评价。机器学习训练样本源于“城市脉冲”项目的实验数据。首先，被实验用户对麻省理工学院众包平台随机提供的两个全球范围内的街景图片进行投票，选择哪个图片看起来更加漂亮、更无趣、更友好和更令人沮丧，从而形成学习数据集。其次，将每个图像样本 i 与其他图像 i' 进行比较，图像 i 沿某一感知指标的正率计算见公式（3），负率计算见公式（4）。

$$P_i = \frac{p_i}{p_i + e_i + n_i} \quad (3)$$

$$N_i = \frac{n_i}{p_i + e_i + n_i} \quad (4)$$

其中 P_i 和 N_i 表示图像 i 在比较中选中或没有被选中图像的个数， e_i 为图像 i 被认为等于另一个图像次数。图片 i 得分为：

$$M = \frac{10}{3} \left\{ p_i + \frac{1}{p_i} \sum_{k=1}^p p_{ki} - \frac{1}{n_i} \sum_{k=2}^N N_{k2} + 1 \right\}^{[31]} \quad (5)$$

再次，将人对于视觉环境的评估分数转化为人工智能评分模型。评价模型采用五倍交叉验证（k-fold cross validation）来进行模型选择，重复运用随机产生的子样本进行训练和验证，最终所生成的评价模型的预测准确率为 0.79。最后，利用训练好的 DCNN 深度学习模型对上海街景 101 006 张图像数据进行自动评分，按路段统计各街景图片均分（图 9）。

2 研究发现

2.1 计算结果

将本文所选上海四区街道的 3 类 10 个指标视作自变量，因变量为街道美感评价自然对数，使用多元线性回归分析街道指标对街道美感评价的影响。计算公式如下：

$$\begin{aligned} \ln beauty = & \beta_0 + \beta_1 + W + \beta_2 \times \frac{H}{W} + \beta_3 \times Line + \beta_4 \times \\ & Shop\ Sign + \beta_5 \times Green + \beta_6 \times Permeability + \beta_7 \times POI + \\ & \beta_8 \times Density + \beta_9 \times FAR + \beta_{10} \times Open + e \end{aligned} \quad (6)$$

表 2 界面通透性计算内容与说明

包含内容	说明
展示性质公共界面	沿街展示性质的透明和开敞的橱窗玻璃墙和店铺，包括：商铺门面玻璃入口、展示橱窗；办公建筑等的大堂等公共区域的透明表面；开敞式门店界面等
住宅和非公共区域的门窗和阳台区域	沿街界面的住宅和非公共区域（办公、学校等）的门窗和阳台区域
架空廊	沿街界面为建筑物的架空层，一般有柱子，包括人可通行的过道、廊道等
镂空栅栏	沿街界面为镂空的栅栏，如隔栏等
公共区域开敞入口	沿街进入地块内部开敞的公共区域入口，如居住区入口大门、公园入口、停车场入口等



图 8 500 m × 500 m 取样单元的建筑肌理、开放空间取样示意图

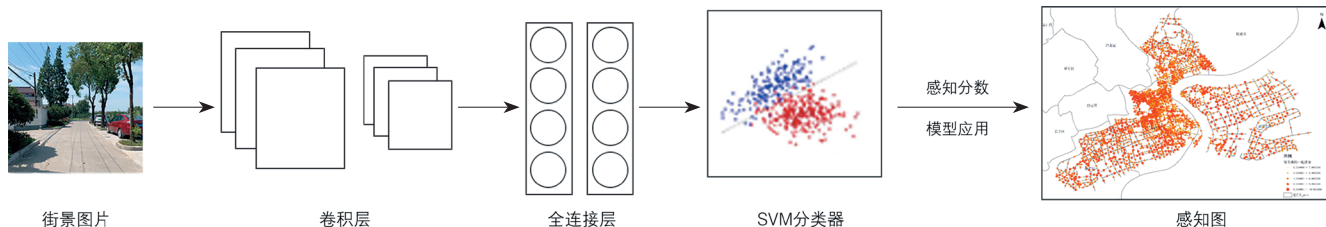


图 9 预测人类对街道图像的感知方法

其中 $\beta_1 \sim \beta_{10}$ 为回归系数, β_0 为常数项, e 是误差项目。回归后 VIF 值小于 5, 回归模型通过假设检验, R^2 为 0.545, 回归模型拟合度良好 (表 3)。此外经检验, 自变量之间相关系数均小于 0.7, 不存在共线性。

(1) 美感评价与街道物质环境的两个因子 (街道宽度和街道高宽比) 与街道美感评价在 0.001 水平上显著相关, 且为正相关, 说明: 街道宽度越大, 美感评价越强, 反之亦然; 街道高宽比与街道美感负相关, 高宽比越大, 美感评分越低。

(2) 环境设施要素中, 绿视率与街道美感评价呈现较强的正相关。芦原义信在街道景观艺术理论认为城市绿化带来了一种平静和宁静的感觉^[32]。与这些理论一致的是, “绿色”和“自然”物体有助于减缓使用者在空间中的压力, 显著影响街道的美感感知。而平均店面招牌个数与在街道美感评价在 0.001 水平上显著相关, 且为正相关, 说明平均店面招牌个数越多, 美感评价越强; 反之亦然。

(3) 界面通透性与街道美感评价相关性较弱, 且为负相关。这说明尽管封闭、实体的街道会让人感到无助, 但是过于开敞与透明的街道无助于美感的提升。这个实验数据结果与以往的研究结果不太一致, 阿兰·雅各布斯也认为“最优秀的街道的品质就是它们的边缘都是透明的”^[33]。但是, 人对通透感的感知实际上更加微妙, 因为街道边缘的建筑或者场所中的情景并非需要真正看到, 只要去想象就可以。因此, 适宜的通透感界面可让个体观察建筑内部要素体验丰富的街道特色, 但并非通透度越高, 美感感知越高。功能密度与街道的美感评价分值最低为 0.469, 推测主要是因为步行街道周围多为社区、老城中心的街巷, 周边有大量的旧房子和狭窄的街道, 涉及老旧社区改造、拆迁等问题, 因此街道总体景观质量得分不高。

表 3 美感回归结果

自变量及其符号	标准化后的回归系数	VIF	显著性 (P)
街道宽度 (W)	0.187***	1.479	0
高宽比 (H/W)	-0.088***	1.530	0
贴线率 ($Line$)	0.008	1.302	0.930
店面招牌数量 ($Shop\ Sign$)	0.065**	1.810	0.001
绿视率 ($Green$)	0.582***	1.256	0
通透性 ($Permeability$)	-0.046*	1.392	0.011
功能密度 (POI)	0.057**	1.343	0.008
建筑密度 ($Density$)	-0.115***	1.975	0
容积率 (FAR)	0.094***	1.344	0
开放空间比例 ($Open$)	-0.044	1.157	0.003

注: P 即 sig, 代表显著性, P 值越小, 相关性越显著; * 表示 $P < 0.05$, ** 表示 $P < 0.01$, *** 表示 $P < 0.001$ 。

(4) 宏观层面的建筑密度与街道的美感感知呈现最明显的负相关, 建筑界面的围合与限定才能形成街道, 由此个体感知和建筑密度有密切的联系, 但是过高的建筑密度会让个体感觉拥挤, 从而影响街道的美感感知, 这也与前文提及的绿视率是引导人的宜人感知最为重要的因子相互印证。

(5) 本文预期贴线率、开放空间比例与街道美感感知相关, 但统计分析结果表明二者与街道美感感知仅呈弱相关。因此, 下文讨论将忽略这两个因素。

2.2 上海街道美感感知地图

美感是一个包含形式美与舒适感的综合感知。统计感知得分, 将美感得分进行归一化处理, 其中美感打分为 0.8 分以上的街道仅占 3.5%, 0.5 分以下占 32.2%, 0.5~0.8 分占比为 64.3%, 平均值为 0.563 4, 标准差为 0.16。可见上海街道总体的美感尚可。以街道为可视化单元, 使用 ArcMap 软件将图像点及其感知得分连接到街道, 得到上海街道的美感感知地图 (图 10)。

从空间上看, 黄浦区北部聚集了一些得分较高的点; 徐汇区、浦东新区比黄浦区更具有美感; 虹口区尤其是虹口中心城区美感最低。将街道划分为次干道、支路、居住街道、服务性街道和步行街道五大类后分析: 人们对次干道和支路的看法相似, 认为两类街道视野开阔, 两侧绿化环境宜人, 因此两者的美感评分均较高, 分别为 0.611 和 0.612; 步行街道的美感评价分值最低为 0.469, 推测主要是因为步行街道周围多为社区、老城中心的街巷, 周边有大量的旧房子和狭窄的街道, 涉及老旧社区改造、拆迁等问题, 因此街道总体景观质量得分不高。

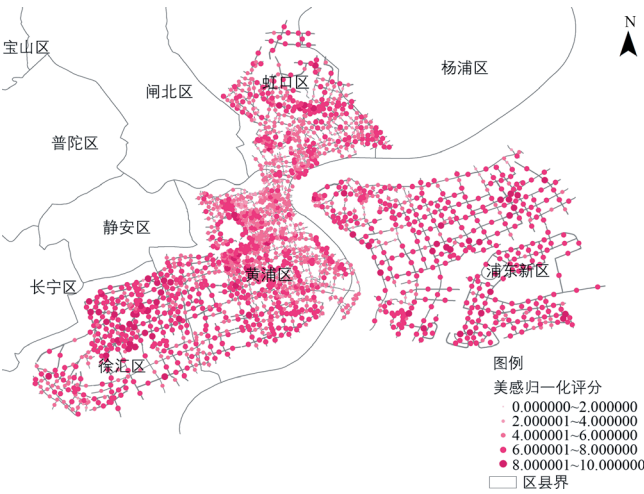


图 10 上海街道美感可视化分析

2.3 影响街道美感感知的空间指标适宜值估算

对街道物理空间指标与美感主观感知的相关程度进行多元线性回归分析,可探索各变量指标与街道美感感知之间的数据关联。所得结果见表4和图11。

2.3.1 街道宽度

扬·盖尔、西特等学者从人的视觉与知觉方面分析,认为25~30 m是街道的美学尺度,此时街道两侧沿街视觉相互连接,对步行者来说,是一个视觉感觉良好、围合性和亲密感较好的空间。通过街道美感归一评分与宽度散点图可发现,美感最高值出现在0.8分左右时,街道宽度在40~60 m。此街道宽度包含了沿街退线尺度,不包含退线的街道宽度大约在30~40 m左右。该数值与经典理论不太一致,推测其原因可能是随着汽车等机动交通盛行,街道规划与建设必须满足机动交通的快捷通畅以及步行出行与审美的多重需求,而40~60 m的街道既能满足交通需求又可提供个体舒适的行走尺度。街道空间的横剖面由车行道、人行道、间隔景观带构成,此外还包括停车带与退线空间。因此在实际设计中,需要根据街道等级和街道功能,具体分配车行与人性空间,形成一个慢行友好与拥有美学品质的街道空间。

2.3.2 街道高宽比

从散点图中可知,街道高宽比与美感评价的拟合线呈下降趋势,即人们的美感感知与街道的高宽比呈现负相关。结合数据来看,街道高宽比在2~3之间,美感感知得分较高。此结果与芦原义信等学者提出的高宽比在1左右是空间围合性良好的最佳比例的研究结果不太相符。推测一方面是因为经典高宽比来源于传统的中、低层建筑形式,而当今高层建筑已远远超出其衡量范围;另一方面,人的感知、空间的开敞和围合感不仅受高宽比的影响,还受到街道宽度

的大小影响,即在围合性比例相同时,街道宽度越大,个体感知越开敞。因此,高宽比对个体的美感感知与经典理论不太一致。此外,许多高宽比数值较大的街道在实际应用中通过对近人空间部分的处理,提供丰富的功能与活动,弱化高大体量建筑对个体美感的影响,从而提升街道的美感评价。例如天津于家堡中心区城市设计尤其关注近人空间,为保持高层建筑下近人空间的尺度感,通过顶棚突出、招牌设立、立面修饰、沿街骑楼设置等再一次限定了空间尺度,街道立面从屋檐线后退2~3 m,形成人行道顶盖的同时,提高了从私密空间到公共空间的过渡。

2.3.3 店面招牌数

从回归拟合线看,平均店面招牌个数与美感感知的散点图中的拟合线呈上升趋势,随着平均店面招牌个数的增加,美感逐渐减小。0.6~0.8分之间的美感基本都分布在10~30个数值范围内,0.8~1分最高点分布在30~50个。由此可见,将取样点范围内的街道功能密度控制在10~30个,有利于街道美感的感知。虽然文献没有针对店面招牌具体给出建议,但店面招牌与单元出入口是紧密相关的。扬·盖尔等人认为每百米15~25个商业单元或出入口的街段是最有活力的,10~14个的是步行友好的^[34-35]。近年来,国外许多新区建设也都遵循“窄单元、多入口”的街道设计原则,如荷兰阿姆斯特丹的阿尔默勒(Almere)、爪哇岛(Java Island),德国弗莱堡的雷塞尔菲尔德(Rieselfeld)、沃班(Vauban),均注重营造具有丰富场景与宜人尺度的美感街道;有的城市则专门对沿街商业面宽或出入口间距等提出要求,如挪威奥斯陆阿克布萊格(Aker Brygge)区规定,街道底层临街面每百米至少有10个以上的商业单元出入口,并通过降低租金等方式吸引小规模但受欢迎的零售商业入驻。

2.3.4 绿视率

结果表明,美感最高值出现在0.8分左右,此时绿视率为25%~45%;当绿视率大于45%时,美感增加并不明显。研究表明,绿化有助于减缓使用者在空间中的压力,影响感知美感。

姜斌等(Jiang et al.)的研究揭示,街道上最能有效缓解压力的绿视率既不是最高也不是最低,而是中等的24%~34%,超过34%绿视率的街景,其对压力缓解的效用反而下降^[36]。徐磊青等通过VR模拟全景街景发现,实验中最高绿视率值为25%,绿视率与街景疗愈作用具有正相关^[37];金慧等提出在城市公园规划中,人群活动空间设计应适当提高环境绿视率到35%以上为宜^[38]。《成都市公园城市街道一体化设计导则》和上海市《关于推进上海市公园城市建设的

表4 美感与各指标一元回归结果

模型(自变量)	非标准化系数		标准化系数			R ²
	B	标准误差	Beta	t	显著性	
街道宽度	0.004	0	0.185	8.873	0	0.117
街道高宽比	-0.02	0.004	-0.094	-4.743	0	0.117
绿视率	0.015	0	0.588	31.578	0	0.451
平均店招个数	0.003	0.001	0.071	3.203	0.001	0.131
街道功能密度	3.09E-05	0	0.052	2.656	0.008	0.021
界面通透性	-0.004	0.002	-0.049	-2.552	0.011	0.022
建筑密度	-0.004	0.001	-0.097	-4.536	0	0.136
容积率	0.041	0.008	0.096	5.121	0	0.020

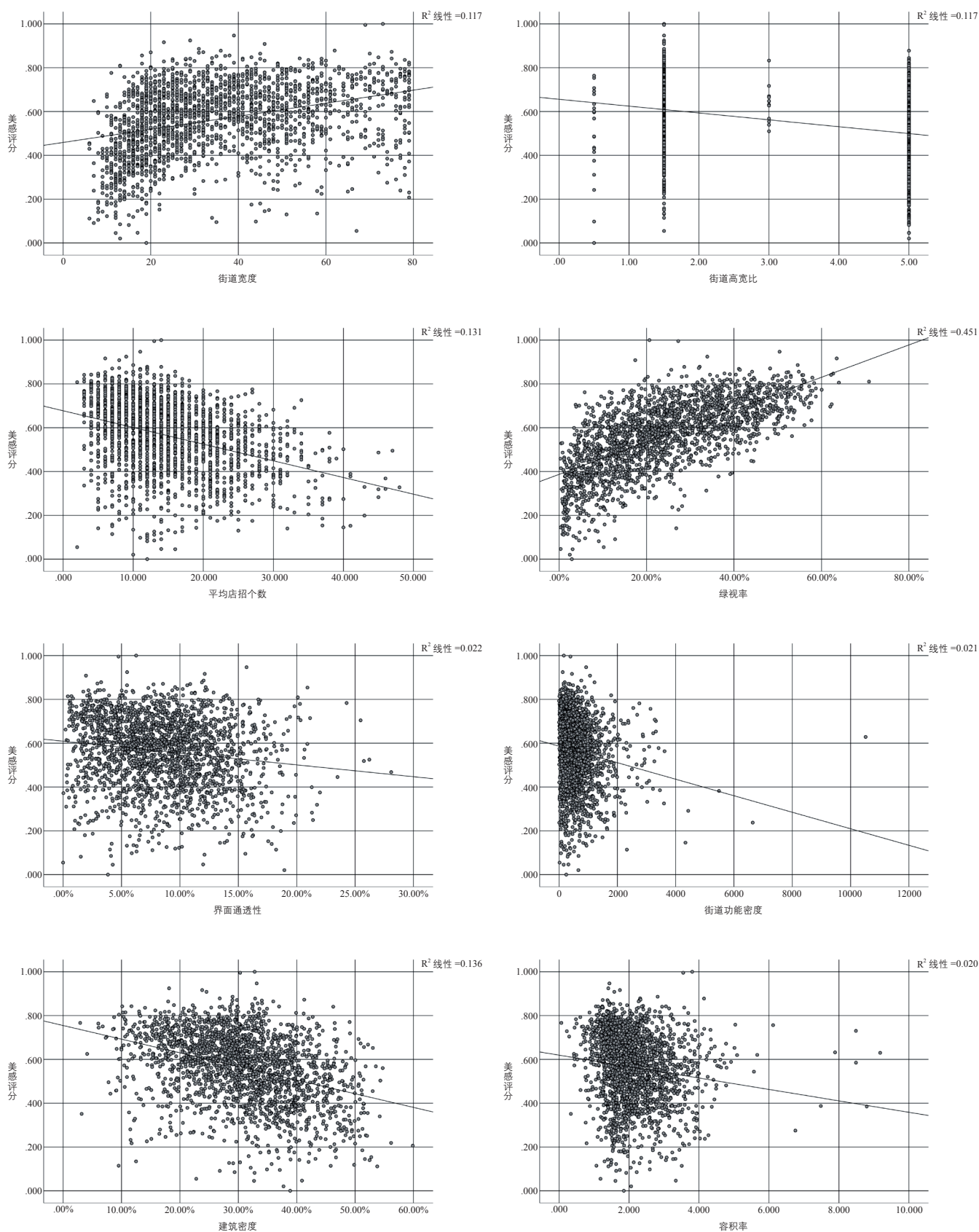


图 11 街道美感评价与街道物理指标的散点图分析

指导意见》等专项设计导则中都提出,推进各类用地复合利用,提升市民绿色感知度。

2.3.5 通透性

界面通透性的散点分布不够均匀,拟合线较为平缓,但是界面通透性对总体感知具有一定影响。感知在 0.6~0.8 分以上的界面通透性为 5%~15%;当通透性大于 15% 时,美感随着通透性增加而逐渐降低。可见,通透性与美感并非简单的线性关系,而具有相应的适宜值范围为 10%~15%。这一发现符合当代城市规划的哲学,即街道界面需要一定通透性,封闭的墙壁和反光玻璃可能会导致视线被遮挡、阳光减少和污染的积累,从而影响街道的美感,此现象被称为“墙效应”。本文研究结果从人类知觉角度印证了“墙效应”。

2.3.6 街道功能密度

功能密度与美感评价的散点图中的拟合线呈一定下降趋势。随着功能密度的增加,美感知逐渐降低。0.6~0.8 分之间的美感对应的街道功能密度为 300~1 200 个/km, 0.8~1 分最高点对应街道功能密度为 1 000~2 000 个/km。从数据来看,美感评价最高的分数即 1 分对应的功能密度在 1 500 个/km。可见,街道功能密度的大幅度增加并没有大幅提高美感,控制适宜的街道功能密度在 300~1 200 个/km,有利于提高街道美感知。

2.3.7 建筑密度

阿兰·雅各布斯认为“紧密的间距往往能够比松散的布局更易带来清晰的街道空间限定感”^[32]。保持适宜建筑密度,是提高街道空间美感的基础之一。本文结果表明,街区建筑密度适宜范围在 30%~40% 之间;当数值大于 40% 时,美感的指标随着密度的增加而降低。可见,建筑密度与美感并非简单线性关系,街区建筑密度 30%~40% 之间是比较适宜的。由于本文所统计的 500 m×500 m 的街区内还包含开放空间,实际上各地块建筑密度都会超过街区建筑密度。由此,将地块建筑密度提高到 40%~50%,或在近人空间植入功能连接体,可在吸引社会活动的同时提高街道空间的界面连续性,从而有效提升街道美感。例如与 2005 年广州的建筑密度相关规定相比,2012 年颁布的《广州市城乡规划技术规定(试行)》对商业用地建筑密度的控制由不受影响因素控制(仅规定建筑密度上限值)修正为受多影响因素控制,上限值从原标准(40%)提高至 60%。

2.3.8 容积率

容积率与美感评价的散点图中的拟合线呈一定下降趋

势。据散点图可知,美感知在 0.6~0.8 分以上对应的容积率为 2~4;当容积率大于 4 时,美感随着容积率增加而逐渐降低。容积率作为土地开发建设的重要指标,对于土地开发强度、城市空间形态、空间舒适度等方面有着至关重要的影响。大量高层、超高层建筑的出现使得容积率成倍增加,而受日照等因素的限制,建筑间距不得不相应大幅提高,空出的场地虽可作为开放空间,但若缺乏空间围合感,使人难以停留,也会影响到街道美感。由此,将容积率控制在 2~4,采用多层紧凑型布局形态,可有效营造适宜具有美感的生活街道。

3 结论与讨论

许多国家与城市陆续出台街道设计导则或标准,均包含共同的目标即让城市街道重新成为城市品质公共空间的一部分。如何通过环境营造兼具交通功能和美感的街道空间,并对社会行为提供支持从而实现交通发展模式的转型至关重要。本文一方面以促进街道美感为导向,基于街景图片和机器学习方法大规模自动评估上海街道美感品质,形成一套复杂城市场景下的街道美感评价技术,提高街道美感评价的可靠性和精准性,最终实现城市街道美感的客观定量评价。另一方面,融合街景图像、三维建筑数据、POI 等数据,以及深度学习、大数据分析可视化方法,对街道美感进行多角度、多层次精细化尺度研究。

美感评价的分析可知,宏观形态要素、街道物理指标与建筑界面均对美感知影响较大。多元统计分析还表明,绿视率是影响街道美感知的关键因子,其中街道宽度比高宽比对美感的感知影响更大;店面招牌个数、建筑密度对于美感评价也具有积极影响。需要说明的是,上述要素之间是相互关联的,功能多样的街道往往绿化和界面通透度适宜,正是各种要素的有效叠加与互补,共同影响街道的美感知。影响街道美感评价的要素很多,除本论文提出的四类之外,社会环境因素、城市管理要素、商品陈设内容、街道家具等要素受技术不足和数据源可用性的限制未加以探索,未来将进一步深入研究。UPI

注:文中图表均为作者绘制。

参考文献

- [1] JACOBS J. The death and life of great American cities[M]. New York: Vintage, 2016.
- [2] GEHL J. Life between buildings: using public space[M]. New York: Van Nostrand Reinhold, 1987.
- [3] WHYTE W H. The social life of small urban spaces[M]. Washington, DC: Conservation Foundation, 1980.
- [4] LYNCH K. Good city form[M]. Cambridge: MIT Press, 1984.
- [5] MONTGOMERY J. Making a city: urbanity, vitality and urban design[J].

- Journal of urban design, 1998, 3(1): 93-116.
- [6] HERBERT D, DAVIDSON N. Modifying the built environment: the impact of improved street lighting[J]. *Geoforum*, 1994(25): 339-350.
- [7] LILLEBYE E. Architectural and functional relationships in street planning: an historical view[J]. *Landscape and urban planning*, 1996(35): 85-105.
- [8] AMIR S, MISGAV A. A framework for street tree planning in urban areas in Israel[J]. *Landscape and urban planning*, 1990, 19(3): 203-212.
- [9] REHAN R M. Sustainable streetscape as an effective tool in sustainable urban design[J]. *HBRC Journal*, 2013, 9(2): 173-186.
- [10] 王德, 张昀, 崔昆仑. 基于 SD 法的城市感知研究——以浙江台州地区为例[J]. *地理研究*, 2009, 28(6): 1528-1536.
- [11] 谭少华, 韩玲. 城市街道美景影响因素分析——以重庆市的三条街道为例[J]. *城市问题*, 2015(2): 43-49.
- [12] YE Y, ZENG W, SHEN Q, et al. The visual quality of streets: a human-centred continuous measurement based on machine learning algorithms and street view images[J]. *Environment and planning b: urban analytics and city science*, 2019, 46(8): 1439-1457.
- [13] MIDDEL A, LUKASCZYK J, ZAKRZEWSKI S, et al. Urban form and composition of street canyons: a human-centric big data and deep learning approach[J]. *Landscape and urban planning*, 2019, 183: 122-132.
- [14] CAMPBELL A, BOTH A, SUN Q C. Detecting and mapping traffic signs from Google Street View images using deep learning and GIS[J]. *Computers, environment and urban systems*, 2019, 77: 101350.
- [15] HU C, ZHANG F, GONG F, et al. Classification and mapping of urban canyon geometry using Google Street View images and deep multitask learning[J]. *Building and environment*, 2020(167): 106424.
- [16] 邵源, 叶丹, 叶宇. 基于街景数据和深度学习的街道界面渗透率大规模测度研究——以上海为例[J/OL]. *国际城市规划*, 2022[2022-12-25]. DOI: 10.19830/j.upi.2021.241.
- [17] HARVEY C, AULTMAN L, TROY A, et al. Effects of skeletal streetscape design on perceived safety[J]. *Landscape and urban planning*, 2015, 142: 18-28.
- [18] SHEN Y, KARIMI K. Urban function connectivity: characterisation of functional urban streets with social media check-in data[J]. *Cities*, 2016(55): 9-21.
- [19] SALESSES P, SCHECHETNER K, HIDALGO C A, et al. The collaborative image of the city: mapping the inequality of urban perception[J]. *PLoS One*, 2013, 8(7): e68400.
- [20] NAIK N, P HILIPPOOM J, RASKAR R, et al. Streetscore-predicting the perceived safety of one million streetscapes[C] // *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition workshops*, 2014: 779-785.
- [21] ZHANG F, ZHOU B, LIU L, et al. Measuring human perceptions of a large-scale urban region using machine learning[J]. *GeoJournal*, 2018, 180: 148-160.
- [22] LIU L, SILVA E A, WU C, et al. A machine learning-based method for the large-scale evaluation of the qualities of the urban environment[J]. *Computers, environment and urban systems*, 2017, 65: 113-125.
- [23] WANG R, LU Y, ZHANG J, et al. The relationship between visual enclosure for neighbourhood street walkability and elders' mental health in China: using street view images[J]. *Journal of transport & health*, 2019, 13: 90-102.
- [24] WANG R, LIU Y, LU Y, et al. Perceptions of built environment and health outcomes for older Chinese in Beijing: a big data approach with street view images and deep learning technique[J]. *Computers, environment and urban systems*, 2019, 78: 101386.
- [25] 诺伯舒兹. 场所精神——迈向建筑现象学[M]. 施植明, 译. 武汉: 华中科技大学出版社, 2010.
- [26] JANSSEN M, FORS H, LINDGREN T, et al. Perceived personal safety in relation to urban woodland vegetation—a review[J]. *Urban forestry & urban green*, 2013(2): 127-133.
- [27] GEHL J, KAEFER L J, REIGSTAD S. Close encounters with buildings[J]. *Urban design international*, 2006, 11(1): 29-47.
- [28] COHEN L E, FELSON M. Social change and crime rate trends: a routine activities approach[J]. *American sociological review*, 1979(4): 588-608.
- [29] 周钰. 街道界面形态的量化研究[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018.
- [30] 奚婷霞, 匡晓明, 朱弋宇, 等. 基于人感知维度的街道更新设计引导探索——以上海市静安区彭浦镇美丽街区更新改造为例[J]. *城市规划学刊*, 2019(增刊 1): 168-176.
- [31] SALESSES P, SCHECHTNER K, HIDALGO C A. The collaborative image of the city: mapping the inequality of urban perception[J]. *PLoS one*, 2013, 8(7): e68400.
- [32] ASHIHARA Y. The aesthetic townscape[M]. Cambridge, MA: The MIT press, 1983.
- [33] 阿兰·B. 雅各布斯. 伟大的街道[M]. 王又佳, 金秋野, 译. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
- [34] City of Melbourne. Places for people: Melbourne[R]. City of Melbourne, 2004.
- [35] CARMONA M, HEATH T, Oc T, et al. Public places, urban spaces: the dimensions of urban design[M]. Kidlington: Architectural Press, 2003.
- [36] JIANG B, MAK C N S, ZHONG H, et al. From broken windows to perceived routine activities: examining impacts of environmental interventions on perceived safety of urban alleys[J]. *Frontiers in psychology*, 2018(9): 2450.
- [37] 徐磊青, 孟若希, 陈笋. 迷人的街道: 建筑界面与绿视率的影响[J]. *风景园林*, 2017(10): 27-33.
- [38] 金慧, 罗川西, 金荷仙. 城市公园绿视率对人体身心健康的影响——以杭州为例[J]. *南方建筑*, 2022(6): 43-51.

(本文编辑: 顾春雪)