

# 基于人机对抗模型的街景特征与可步行性关系研究

## Exploring the Relationship between Streetscape Characteristics and Walkability Based on Human-Machine Confrontation Model

黄敏虹 谢伊文 陈嘉林 刘京一\*

HUANG Minhong, XIE Yiwen, CHEN Jialin, LIU Jingyi\*

基金项目: 广州市科技局基础与应用基础研究项目 (编号: 2023A04J2007)

### 摘要

基于涉及街道景观要素与街道可步行性关系的研究还存在一定缺失, 以广州市天河区代表性综合街区华师-体育中心片区为对象, 对城市街区的可步行性进行研究。综合马斯洛需求层次理论和“步行需求层次”模型, 选取安全性、舒适性、社交性、美观性为指标建立街景特征评价指标体系。通过 Insta360 ONE X2 全景相机采集、图像语义切割、人机对抗模型评分、SPSS 分析 (Pearson 相关性分析、多元线性回归分析) 等多种方法, 研究街景特征与可步行性关系。结果表明, 4 类街景特征与可步行性均具有一定相关性, 其中, 舒适性方面的绿视率对街道可步行性的影响最为显著。基于分析结果, 街道空间可以从安全性、舒适性、社交性和美观性的街景特征层面进行步行性优化提升, 如在安全性方面, 建议增设护栏或绿化带, 增设、整合标识牌等。

### Abstract

There still needs more research on the relationship between street landscape elements and street walkability. Combining Maslow's hierarchy of needs theory and the 'walkability hierarchy' model, safety, comfort, sociability, and aesthetics were selected as indicators to establish a street scene feature evaluation index. Through methods such as collecting data with the Insta360 ONE X2 panoramic camera, image semantic segmentation, adversarial model scoring, and SPSS analysis (Pearson correlation analysis, multiple linear regression analysis), the relationship between street scene features and walkability was studied. The results show that the four types of street scene features are all correlated with walkability, with the green view rate in terms of comfort having the most significant impact on street walkability. Based on the results of the analysis, street spaces can be optimized for walkability from the perspective of safety, comfort, sociability, and aesthetics of street scene features, such as suggesting the addition of fences or green belts, and integrating signage.

### 文章亮点

1) 使用人机对抗模型, 综合了使用主体主观感受和客观指标; 2) 构建综合性街区研究的完整指标体系, 对综合性街区的步行环境进行定性和定量的双重分析; 3) 绿视率对街道可步行性的影响最为显著。

### 关键词

街景图像; 语义分割; 人机对抗;  
街景特征评价

### Keywords

Street view image; Semantic segmentation; Man-machine confrontation; Streetscape feature evaluation

收稿日期: 2023-10-24

修回日期: 2023-12-15

在可持续发展的背景下, 如何使城市街道朝着行人友好型、步行优先型方向发展是值得关注与研究的课题<sup>[1]</sup>。现今, 城市更新研究逐步回归人本视角<sup>[2]</sup>, 切实关注作为主体的人的基本要求<sup>[3-4]</sup>。纵观目前国内的城市街区改造研究, 研究

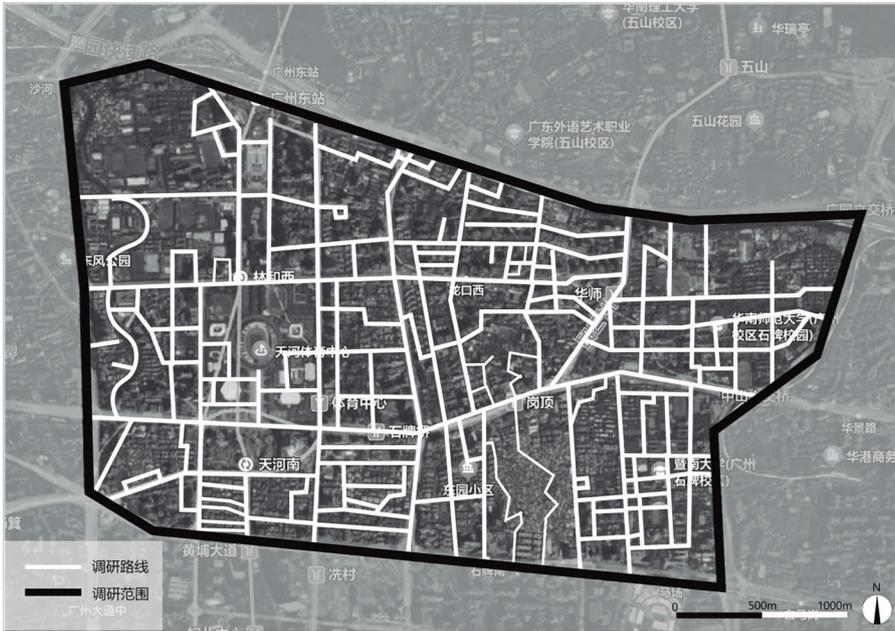


图1 研究区域  
Fig.1 Study area

方法由以往的文献综述法、问卷调查法和实地调研法等<sup>[5-7]</sup>向应用街景数据、空间句法、多源大数据等新兴定量研究手段转变<sup>[8-10]</sup>。但多为针对宏观的城市层面或单一类型街区进行研究，对综合性街区的研究较少<sup>[11]</sup>。

近十年来，新兴的街景图像为城市研究提供了丰富的数据<sup>[12]</sup>，有助于人们了解街景视觉特征并提供城市物理环境详细视觉信息，为城市感知研究带来了新的契机<sup>[13]</sup>。已有研究成果证实，街景图像分割是评价周边建筑环境主观认知的客观手段<sup>[14]</sup>。以往学者也在街景数据的基础上，从多种客观视角对城市物理环境主观认知进行评估，包括道路的安全性<sup>[15]</sup>、可步行性测度<sup>[16]</sup>和街道的空间品质<sup>[17]</sup>，并已取得积极成果。而在城市感知方面，现有研究证明，基于机器学习模型的城市感知研究是可行的<sup>[18-20]</sup>。但现有研究仍存在以下不足：

1) 街景图像数据主要通过调动百度图像来获取<sup>[21]</sup>，并不是以人的真实视角去获取街景空间信息，与真实的人行走在街区有一定的差异。而通过使用全景相机进行实地数据收集以及机器学习得到感知数据能更加接近真实情况。

2) 国外已有相对成熟的可步行性测度方法<sup>[22-23]</sup>，但我国仍在探索符合国情的评价方法，目前主要有主观感知法<sup>[24]</sup>和客观评定法<sup>[25]</sup>。在实际应用中，大规模的主观调查费时费力，而小规模的评价结果因存在误差，较难客观地反映真实的可步行性水平。人机对抗是目前运用机器学习对街景图像进行分析的方法之一<sup>[26-28]</sup>，获取的样本数量更大、精度更高，综合了使用主体主观感受和客观指标，给城市空间的步行性评价带来了更大的打分空间。

3) 当前国内学者对于城市步行系统、步行空间与环境的研究大多是针对商业步行街、居住区等单一类用地<sup>[29-30]</sup>，缺乏对综合性街区研究的完整指标体系和综合性街区的步行环境进行定性和定量的双重分析<sup>[31]</sup>。

因此，本项目以广州市天河区具有代表性的综合街区——华师-体育中心片区为研究对象，通过机器学习，对街区进行客观的可步行性评分，使用安全、舒适、社交、美观4类指标衡量街景特征，并对可步行性与街景特征的关系进行回归分析，为该街区步行性的提升提供科学评估与指导，以此推动城市更新工作高质量发展。

## 1 研究方法

### 1.1 研究场地

广州市天河区体育中心-华师片区东起华南快速干线，西起广州大道，北至广园快速路，南至黄埔大道，总面积约567.8 hm<sup>2</sup>（图1）。该研究区域内涵盖教育、商业和住宅等用地，用地类型多样，具有较高的人口密度和较大的人流，交通路网较为完备，具有很强的代表性。该片区的街景数据质量较高，便于开展可步行性相关研究。

### 1.2 数据采集与处理

#### 1.2.1 街景图像收集与图像分割

本研究使用Insta360 ONE X2全景相机采集全景图像，并将相机高度维持在1.65 m左右，确保最大限度还原行人视野及水平视线，收集白天9:00—14:00人车流量较为稳定时刻下研究区域主要步道的街景图像数据。将采集到的全景图像进行东南西北4个方向的变换，最终得到9 365张有效街景图像。经过视角处理获得图片大小为512×512像素的图像集。

接着通过FCN全卷积神经网络对街景图像进行语义分割，识别街景中建筑、道路、植物等19种要素，计算各指定要素像素所占图片总像素的比例<sup>[32]</sup>，进一步计算街景特征指标。例如，将绿色植物在图像中所占像素的比例代表绿视率；将图像中行人所占像素的比例代表人群聚集度。并使用SPSS软件，包括Pearson相关性分析、多元线性回归分

析等方法，分析街景特征指标计算结果。

### 1.2.2 基于人机对抗模型的街道可步行性评分

本研究将机器学习应用于城市感知中，使用人机对抗模型对可步行性进行打分，以实现使用主体主观感受与客观指标的结合。评分系统中嵌入随机森林算法的迭代反馈机制，能够在算法辅助下，随被试打分图片的增多而给出图片的推荐分，以及对推荐分与实际得分差异大小进行判断<sup>[33]</sup>。借助 ArcGIS 平台，按照街景图像总体采样点空间及数量分布，随机选取 1 000 幅街景图像作为评价样本，并且按照 1 : 1 的男女比例邀请 30 名市民，根据 4 个可步行性指标所对应的问题（表 1），从 0~100 分为图像样本打分。最终以 30 名参与者对 1 000 张照片的评分均值作为预测研究区域步行感知评价的基础数据集。

### 1.3 街景特征指标体系构建

#### 1.3.1 选取街景特征指标

基于以人为本理念，建成步行友好环境的前提是满足人的步行需求。马斯洛（Maslow）的需求层次理论指出，从基础到高级，人的需求可以被依次划分为 5 个层次：生理需求、安全需求、社交需求、尊重需求和自我实现需求。当低级的客观物质层面需求得到满足时，则开始转向高级的主观精神层面的需求<sup>[34-35]</sup>。阿尔方索（Alfonzo）在马斯洛的基础上，提出了“步行需求层次”模型，即可及性、可达性、安全性、舒适性和愉悦性，进一步阐述了行人的需求。在“步行需求层次”模型中，不是所有的需求都是按照层次等级才可达，人在满足部分低层次要求的同时，也会考虑其他更高层次的需求。但无法满足低层次需求可能会导致步行满意度急剧下降<sup>[36]</sup>。扬盖尔（Jan Gehl）根据行走目的将行走分为必要性出行、选择性出行和社会性出行，他认为城市设计的核心是人，城市设计应当满足人的生理及心理需求<sup>[37]</sup>。

综合国内外步行需求研究，结合步行需求层次理论和可步行性影响因素，本研究将指标选取放在重要的和易量化的特征上。因此，本研究从人的步行需求出发，选取了生理需求层次方面的安全性，以及精神需求层次方面的舒适性、社交性和美观性，作为街道景观的特征指标。从不同层次的步行需求开展研究，能够更为全面地了解行人的步行体验以及街区的可步行性。

#### 1.3.2 构建指标体系

综合马斯洛需求层次理论和“步行需求层次”模型，本研究指标构建的第一层级为安全性（表 2）。人行道是影响行人感知安全性的重要因素<sup>[38]</sup>。当人行道过于狭窄时，行人和车辆之间的距离较近，容易导致人们感到不安。另外，机动车也是威胁行人安全的主要因素之一，大量行驶的机动车通常会降低行人的安全感<sup>[39]</sup>。更为复杂的交通环境要求更多的交通标志以确保交通安全。因此，本研究选择人行道指数、机动车干扰指数和交通标识指数作为评估街道安全性的 3 个指标。

第二层级是舒适性，良好的街道空间能为步行者提供舒适的步行体验和愉悦的视觉感知。已有研究表明，街道绿视

表 1 常见街景特征感知

Tab.1 Common perceptual street scene features

指标	感知维度问题描述
安全性	在此环境中，您是否感到安全
舒适性	在此环境中，您是否感到舒适
社交性	在此环境中，你是否愿意去社交
美观性	在此环境中，您是否感到美观

率水平会对行人的心理感受和生理反应产生一定影响，较高的绿视率能够刺激人们产生更为积极的心理反应<sup>[40]</sup>。此外，开阔的天空视角和透明的界面设计可以扩展视野，从而有助于身心放松。因此，选取街道绿视率、界面围合度 2 项指标衡量街道舒适性。

第三层级是社交性，街道空间能为行人提供社会交往空间，激发更多的社会交往行为，满足其社交需求。维卡斯·梅赫塔（Vikas Mehta）<sup>[41]</sup>将社交行为分为被动社交行为、短暂社交行为和持续社交行为，其包含的类型非常广泛，难以一一研究。简·雅各布斯（Jane Jacobs）<sup>[42]</sup>认为接触是持续、深度交往的社会互动行为的开始。Edward T. Hall<sup>[43]</sup>认为公共空间中使用者的物理距离与他们的社会联系程度相关。聚集程度是社交性的重要体现，人们的聚集程度可以反映出街道空间中的人的非随机特性和聚集特性<sup>[44]</sup>，因此采用人群集聚度作为表现街道社交性的指标。

第四层级是美观性，美观的街道景观界面能够吸引行人驻足并营造良好的步行体验，街道的美观性能侧面反映研究地区给人带来的愉悦性。色彩是美的一种直观展现，色彩的丰富程度以及景观的丰富程度<sup>[45]</sup>会影响人们对于美的感知。因此，以景观丰富度和色彩丰富度 2 个指标来评估街道的美观性。

## 2 可步行性评价分析

### 2.1 人机对抗模型下街道可步行性的评分结果

首先将得到的 9 365 张图片进行数据清洗，在计算指标数值时发现，某些指标存在算数溢出问题，因此将此部分数据剔除。最终得到模型建立的有效数据为 7 447 份，并对这些数据进行编号，通过随机数表法随机抽取 1 000 张图片进行人机对抗，利用统计学手段得到该地区关于步行性的人机对抗评分（表 3）。统计结果表明，该区域的各指标平均分从高到低依次为舒适性、安全性、美观性、社交性。其中社交能力的平均得分明显低于其他评价指标，仅 62.83 分。研究结果揭示，该研究区域的社交活跃度较低，环境设计缺乏促进交流的意图。因此在街区可步行性提升中，应注重打破空间设计的冷漠，促进交往和空间的互动。

### 2.2 街景特征指标计算结果

#### 2.2.1 安全性

基于 SPSS 软件对街道安全性的 3 个指标进行分析。结果显示，步行道比例的数值区间为 0~0.530，机动车干扰指

表 2 街景特征评价指标体系

Tab.2 Street scene feature evaluation index

一级指标	二级指标	计算公式	量化解释
安全性	人行道指数	$SR I_n = \frac{W_n}{R_n}$	$W$ 为街景图片中步行道的像素量, $R$ 为街景图片中步行道和车行道的像素量之和
	机动车干扰指数	$VI I_n = \frac{V_n}{N_n}$	$V$ 为街景图片中机动车的像素量, $N$ 为街景图片中车行道的像素量
	交通标识指数	$TS I_n = \frac{T_n}{R_n}$	$T$ 为街景图片中交通信号灯及交通指示牌的像素量之和, $R$ 为街景图片中车行道和步行道的像素量之和
舒适性	街道绿视率	$GI I_n = \frac{G_n}{A_n}$	$G$ 为街景图片中植物的像素量, $A$ 为街景图片的像素量
	界面围合度	$SE I_n = \frac{S_n}{F_n}$	$S$ 为街景图片中天空的像素量, $F$ 为街景图片中建筑和墙体的像素量之和
社交性	人群集聚度	$CC I_n = \frac{P_n}{A_n}$	$P$ 为街景图片中人群的像素量, $A$ 为街景图片的像素量
美观性	景观丰富度	$LR I_n = 1 - \sum_{k=1}^n P_k^2$	$P_k$ 为 $k$ 类型的斑块在景观中出现的概率, $n$ 为景观中斑块类型总数
	色彩丰富度	$CR I_n = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n q_i}{(\sum_{i=1}^n q_i)^2}$	$q_i$ 是街景图片中第 $i$ 类要素的像素量

数的数值区间为 0~0.904, 以及交通标识指数的数值区间为 0~0.142。该地区的人行道指数为 0.031, 平均占比仅有 3.1%。该区域人行道的样本量分布呈现“断崖式跌落”, 几乎所有街道的人行道指数都集中在 0~0.020 (图 2), 并且数值越大, 分布的样本量就越小。这表明该地区的人行道数量较少, 甚至有些地方缺少人行道的设置。

机动车干扰指数的平均数值为 0.177, 即机动车占车行道的比例是 17.7%, 机动车干扰情况为中等程度。车辆干扰指数的样本量在 0 到 1 内呈现下降式分布 (图 3), 即在研究地区, 步行者受机动车辆干扰程度较低。

交通标识设备在步行道和车行道中所占的比重更小, 平均交通标识指数为 0.006, 占比仅为 0.6%。此外, 交通标识指数样本量分布呈现“断崖式跌落”的特点 (图 4), 几乎所有样本都集中在指数 0~0.002。这一分布特征表明, 大多数的道路仅有极少量的交通指示牌, 甚至可能完全没有。

### 2.2.2 舒适性

据数据统计, 该研究区域的平均绿量达到 0.250, 即植物在人眼观察范围中占据高达 25% 的比例。此外, 该研究区域的沿街可视绿量数值范围为 0~0.876, 且街道绿视率的样本分布呈现“单峰波动”特征 (图 5), 表明区域内大多数街道的绿视率在 0.100~0.400 内, 该区域范围内普遍具有较好绿化水平。

不同于街道绿视率的单峰波动特性, 界面围合度的样本量显示出更强的集中性, 呈现出“垄断性”的特点, 即绝大多数街道的界面围合度集中在 0~0.600 (图 6), 表明整个中心城区的界面围合数值分布较为统一, 整体的天空可视域较好。

### 2.2.3 社交性

该研究区域的人群集聚度指数数值分布在 0~0.500, 平均值仅为 0.042, 可知街道空间人群活跃度相对较低。从频数分布上来看 (图 7), 0~0.020 的低值区间内集中了

表 3 可步行性人机对抗评分结果

Tab.3 Walkability Human-Machine confrontation scoring results

数据类型	安全性	舒适性	社交性	美观性
个案数	1 000	1 000	1 000	1 000
平均值	73.49	74.34	62.83	73.06
中位数	80.00	80.00	66.00	80.00
众数	80.00	80.00	80.00	80.00
范围	90.00	90.00	99.00	89.00

41% 的街道; 低于平均值的街道在该区域的数量占比高达 62%。由此可见, 在街道空间的活动人群偏少, 街道空间应有的活力未被彰显。

### 2.2.4 美观性

经统计, 景观丰富度指标的数值区间为 0.367~0.857, 色彩丰富度的数值区间为 -5.099~-3.292。其中, 景观丰富度占比的平均数值达到 0.730, 即该地区在人眼可视范围内的景观丰富度为 73%, 这表明该地区的景观种类较为丰富。景观丰富度指标的样本量呈现出类正态分布的特征, 集中分布在数值 0.600~0.850。景观丰富度较低的地区占比极低, 表明该区域环境的景观丰富度较高 (图 8)。

色彩丰富度的样本量数值分布呈现出明显的“纺锤形”结构, 即低值和高值区域的街道数量较少, 中间区域的街道样本量最多 (图 9), 样本量集中分布在数值 -5.000~-4.000, 其平均数值为 -4.434。这一特征表明该地区街道的色彩丰富度属于中等水平。

## 2.3 街景特征与可步行性相关性分析

本研究采用 Pearson 相关系数 (Pearson Correlation Coefficient) 来测度 8 个二级指标与可步行性之间的相关性。Pearson 相关系数的绝对值越接近于 1, 表明该指标与可步行性相关性越强; 反之, 越接近 0, 二者的相关性越弱。

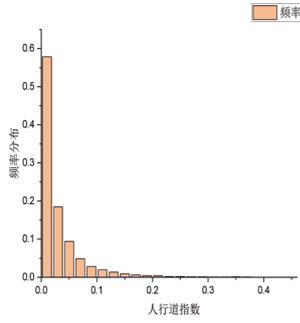


图2 人行道指数指标样本量分布图  
Fig.2 Sample size distribution map of pedestrian index indicators

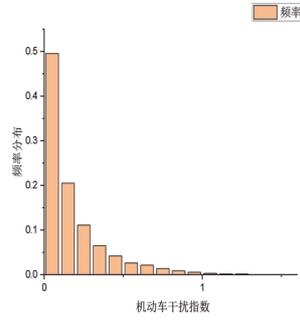


图3 机动车干扰指数指标样本量分布图  
Fig.3 Sample size distribution map of motorvehicle interference index indicators

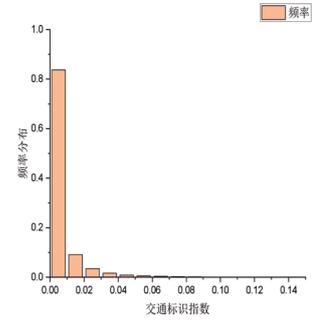


图4 交通标识指数指标样本量分布图  
Fig.4 Sample size distribution map of traffic signage index indicators

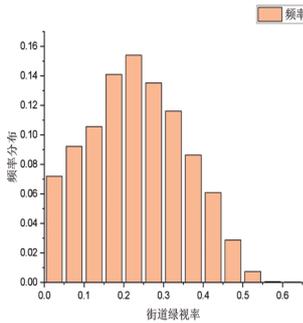


图5 街道绿视率指标样本量分布图  
Fig.5 Sample size distribution map of street green visibility indicators

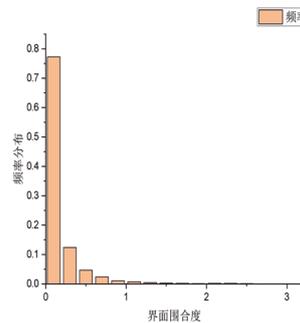


图6 界面围合度指标样本量分布图  
Fig.6 Sample size distribution map of interface fenestration indicators

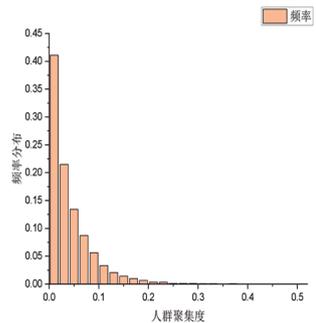


图7 人群聚集度指标样本量分布图  
Fig.7 Sample size distribution map of crowd aggregation indicators

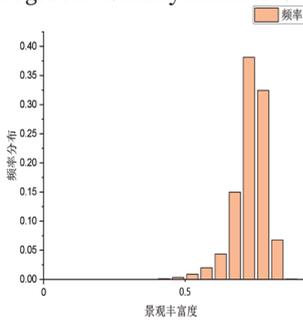


图8 景观丰富度指标样本量分布图  
Fig.8 Sample size of distribution map for landscape richness indicators

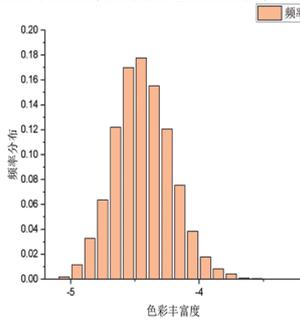


图9 色彩丰富度指标样本量分布图  
Fig.9 Distribution of sample size for color richness indicators

将研究区域可步行性得分与8项二级指标作相关性分析发现,8种关系都在0.01级别,说明8项二级指标都与可步行性存在明显相关性。其中,除界面围合度、机动车干扰指数与可步行性呈负相关外,其余指标呈正相关。通过比较相关性系数大小发现,街道绿视率和人群聚集度对步行性的影响较大(表4),因此可以通过适当提高街道的绿视率或者合理规划人群的聚集度,来提升该地区的可步行性。

## 2.4 多元回归分析结果

利用熵权法<sup>[46]</sup>确定8个二级指标的占比权重,进而确定所设一级指标的权重(表5)。下一步,将表3中所得到的1000份数据的安全性、舒适性、社交性和美观性4个指标的平均值,分别记为 $A_s$ 、 $E_s$ 、 $S_s$ 、 $M_s$ ,可步行性评分记

为 $Z$ ,利用以下公式计算可步行性评分:

$$Z=0.62227A_s+0.16651E_s+0.10105S_s+0.11017M_s \quad (1)$$

经计算得到1000张随机选取的图片的可步行性评分均为72.507。

为了更清晰地展示最终的方程,本研究将8个二级指标分别记为符号 $J$ 、 $Y$ 、 $B$ 、 $D$ 、 $H$ 、 $N$ 、 $P$ 、 $S$ ,采用多元线性回归分析对研究区域的可步行性进行预测。在此数据基础上,将8个二级指标作为自变量进行多元回归分析,从而利用多元回归方程得到7447份数据的可步行性评分,最终取平均值,得到整个研究区域的可步行性分值。保留各个二级指标数据的小数点后五位数值,建立多元回归方程模型。该方程的显著性 $P=0.000<0.05$ (表6),拟合优度为0.455,拟合

表4 各二级指标与可步行性的相关性分析

Tab.4 Correlation analysis between secondary indicators and walkability

相关系数	街道绿视率	界面围合度	人行道指数	机动车干扰指数	交通标识指数	人群聚集度	景观丰富度	色彩丰富度
可步行性	0.375	-0.123	0.128	-0.285	0.170	0.315	0.279	0.109

表5 各级指标所占权重

Tab.5 The weight assigned to each level of indicators

指标体系	一级指标	一级指标权重 /%	二级指标	二级指标权重 /%
可步行性 评价	安全性 (A)	62.227	人行道指数	14.719
			机动车干扰指数	15.555
			交通标识指数	31.953
	舒适性 (E)	16.651	界面围合度	11.833
			街道绿视率	4.818
	社交性 (S)	10.105	人群聚集度	10.105
			景观丰富度	6.054
	美观性 (M)	11.017	色彩丰富度	4.963

表6 回归方程模型显著性检验

Tab.6 Significance test of regression equation model

模型	平方和	自由度	均方	F	显著性 P
回归	13 619.148	8	1 702.393	152.329	0.000
残差	16 324.787	1 461	11.176		
总计	29 943.935	1 469			

程度较高,证明了该模型建立有效,可以进一步得到最终的模型方程。

通过进行多元线性回归分析,得到可步行性与二级指标的关系,如以下方程所示:

$$Z=74.135J+11.711Y+347.565H+66.990B+48.806D-112.535N+6.226S-148.389P+181.783 \quad (2)$$

基于此方程可以得到研究区域 7 447 张图片的可步行性评分,最终通过统计全部图像数据的可步行性分数,取平均值,得到研究区域的可步行性得分为 74.240。这与上述人机对抗得分较为相近,表明该得分较为可靠,说明街景特征指标体系以及多元回归方程建立有效,该区域可步行性处于中等水平。

### 3 讨论

#### 3.1 可步行性提升策略

综合街景特征指标计算结果与数据分析结果,本研究得出以下结论:安全性、舒适性、社交性、美观性这 4 类街景特征与可步行性具有一定相关性。其中,舒适性方面的街道绿视率对街道步行性的影响最为显著;在安全性方面,人行道指数、交通标识指数与可步行性呈正相关,机动车干扰指数与可步行性呈负相关,人行道指数越高、交通标识数量越多,机动车干扰指数越低,安全性就越高,则可步行性越高;

在舒适性方面,街道绿视率与可步行性呈正相关,界面围合度呈负相关,绿视率越高、界面围合程度越低,则可步行性越高;在社交性方面,一定范围内,越高人群聚集度更能激发场地活力,街道可步行性就越高;在美观性方面,街道的色彩丰富程度、景观丰富程度与可步行性呈正相关,景观丰富程度与色彩丰富程度越高,则可步行性越高。

综上,本研究提出以下基于街景特征的可步行性提升策略:

1) 在安全性方面,建议在部分难以满足步行需求的道路上增设步行道或拓宽原有步行道,以提高步行道比例。对于部分不便进行人行道改造的道路,可以通过增设护栏或绿化隔离带的方式,营造低干扰的人行道界面。此外,标识设施数量的不足会不利于行人掌握交通情况,建议增设引导标识牌。考虑到人行道空间有限,可以在增加标识牌数量的同时整合标识牌,控制立杆数量。通过上述手段可以降低机动车对行人的干扰性,提升行人的步行体验。

2) 在舒适性方面,对街道栏杆、围墙等进行景观化处理,或利用地面标识、绿植等方式进行柔性隔离,打破围合界面;另一方面,对沿街建筑进行立体绿化以及对街边绿化进行竖向空间优化设计,丰富植物层次,进一步提升行人的舒适感。

3) 在社交性方面,为了提高步行者停留的意愿,可以考虑在尺度合理的步行街道旁设置休憩设施以及街头艺术装置,增加步行者聚集交流的场景。激发街道社交活力,更需

依托沿街店铺打造社交空间，通过对街头店铺铺面的个性化设计与关怀设计，增加步行者的停留意愿和交流可能，从而营造良好的街道社交环境。

4) 在美观性方面，建议对沿街商铺、广告牌和标识牌等提供色彩搭配指导，有效改善沿街景观色彩杂乱无序的情况。同时协调重点建筑的立面色彩及形式，保障沿街环境的色彩协调性。此外，可对街道立体界面进行设计，营造丰富的景观层次，增强街道空间的景观丰富性。

### 3.2 研究不足

1) 由于研究技术条件限制，在街景特征指标体系构建上，本研究未能完善社交性方面的指标研究，单用人群聚集度衡量社交性过于绝对和笼统，期望未来可以获取人群在街道上的聚集时间，并处理转化为可视化数据，更加精确地对社交指数进行计算。

2) 在分割提取图像要素的过程中，可能存在错误分类现象，对于景观斑块、色彩等精细的环境变量可能无法识别，下一步应注重提升模型的准确性和精密度。

3) 本研究缺乏对街道动态特征的测度，没有考虑到动态的人车混行问题，未来可尝试引入如人群轨迹等动态数据，提升研究的可信度。

## 4 结论

以华师-体育中心片区为研究对象，借助马斯洛步行需求层次理论和“步行需求层次”模型，从安全性、舒适性、美观性和社交性4个方面构建街景感知特征指标体系，通过全景相机采集、图像语义切割、人机对抗模型评分、SPSS分析等多种方法，研究街景特征与可步行性关系。研究发现安全性、舒适性、社交性和美观性4类街景特征与可步行性具有一定相关性，绿视率对街道步行性的影响最为显著。基于分析结果，街道空间可以从安全性、舒适性、社交性和美观性的街景特征层面进行步行性优化，以提升行人的步行体验。本研究为更好地了解行人在街道的步行感受提供了科学的理论指引与技术指导路线，该理论与技术普适性较强，适用于大部分街区；并且为协助管理者制定相应的政策和规划，促进步行友好的城市建设提供理论和实践支撑。

注：图片均为作者自绘。

### 参考文献：

[1] J·H·克劳福德, 甘海星. 步行城市——一个可持续发展计划 [J]. 世界建筑导报, 2000 (1) : 12-25+68.  
[2] 胡燕, 倪一舒, 高源, 等. 街道城市设计导则中“以人为本”的理念体现——以我国北京、上海、南京、广州四城市为例 [J]. 城市规划, 2020, 17 (8) : 7-10.  
[3] 赵宝静. 浅议人性化的街道设计 [J]. 上海城市规划, 2016 (2) : 59-63.  
[4] 曲辰光, 邓春风. 基于街道使用者视角下的街道设计 [J]. 中外建筑, 2019 (4) : 149-152.  
[5] 刘丙乾. 基于多源数据的北京历史文化街区街道可步行性研究

[D]. 北京: 北京工业大学, 2020.

[6] 苏雅珏, 冯悦. 基于步行者视角的历史街道可步行性测评研究——以广州龙骧大街为例 [J]. 美与时代 (上), 2023 (4) : 88-92.

[7] 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) : 113-118.

[8] 杨皓凯. 基于场景深度学习的城市街谷步行适宜性的影响评价研究 [C]// 中国城市规划学会. 人民城市, 规划赋能——2022 中国城市规划年会论文集 (05 城市规划新技术应用). 北京: 中国建筑工业出版社, 2023: 11

[9] 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.

[10] 刘迎宾. 深圳市桃源街区可步行性测度及验证研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2013.

[11] 徐煜辉, 杨洁. 基于步行心理需求视角的街区规划策略研究 [C]// 中国城市规划学会. 城乡治理与规划改革——2014 中国城市规划年会论文集 (06 城市设计与详细规划). 北京: 中国建筑工业出版社, 2014: 571-579

[12] DUBEY A, NAIK N, PARIKH D, et al. Deep Learning the City: Quantifying Urban Perception at a Global Scale [C]// LEIBE B, MATAS J, SEBE N, et al. Computer Vision: ECCV 2016. Switzerland: Springer Cham, 2016.

[13] YAO Y, LIANG Z, YUAN Z, et al. A human-machine adversarial scoring framework for urban perception assessment using street-view images [J]. International Journal of Geographical Information Science, 2019, 33 (12) : 2363-2384.

[14] 龙瀛. 街道城市主义新数据环境下城市研究与规划设计的新思路 [J]. 时代建筑, 2016 (2) : 128-132.

[15] 肖通, 李德平, 万义良, 等. 基于街景影像和手机信令数据的城市街道安全性研究 [J]. 地理与地理信息科学, 2022, 38 (1) : 71-78.

[16] 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.

[17] 王林森, 郑重, 周素红, 等. 基于街景感知的城市空间品质对空间活力的影响作用研究 [J]. 规划师, 2022, 38 (3) : 68-75.

[18] 佟旭. 基于百度街景数据的苏州古城区街道绿化研究 [J]. 城市住宅, 2021, 28 (11) : 50-53.

[19] 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, 25 (8) : 24-29.

[20] 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]. 国际城市规划, 2023, 38 (6) : 39-47.

[21] 张丽英, 裴韬, 陈宜金, 等. 基于街景图像的城市环境评价研究综述 [J]. 地球信息科学学报, 2019, 21 (1) : 46-58.

[22] 刘连连, 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 (4) : 103-110.

[23] 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 (1) : 10-15.

[24] YIN L, WANG Z X. Measuring visual enclosure for street walkability: Using machine learning algorithms and Google Street View imagery [J]. Applied Geography, 2016, 76: 147-153.

[25] 叶洋, 费腾. 基于街景图像的街道空间步行品质评价研究 [J]. 当代建筑, 2020 (11) : 123-125.

[26] 刘智谦, 吕建军, 姚尧, 等. 基于街景图像的可解释性城市感知模型研究方法 [J]. 地球信息科学学报, 2022, 24 (10) : 2045-2057.

- [27] 李昂, 杨珂. 基于街景图像的轨道交通站域可步行性评价——以重庆市为例 [J]. 建筑与文化, 2023 (10) : 109-111.
- [28] YAO Y, LIANG Z, YUAN Z, et al. A human-machine adversarial scoring framework for urban perception assessment using street-view images[J]. International Journal of Geographical Information Science: IJGIS, 2019, 33 (12) : 2363-2384.
- [29] 董世永, 龙晨吟. 基于模糊综合评价的住区可步行性测度方法及发展策略研究——以重庆典型住区为例 [J]. 西部人居环境学刊, 2015, 30 (1) : 106-112.
- [30] 赵未坤. 社区尺度可步行性研究进展 [C]// 中国城市规划学会. 杭州市人民政府. 共享与品质——2018中国城市规划年会论文集(06城市交通规划). 北京: 中国建筑工业出版社, 2018: 7.
- [31] 张琪. 珠江新城核心区可步行性综合评价框架构建及作用机理的定量研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2017.
- [32] 杨玉茹. 基于街景图像和机器学习的街道空间品质评价与优化研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2022.
- [33] 陈崇贤, 李海薇, 林晓玲, 等. 基于计算机视觉的夜间户外环境情绪感知特征研究 [J]. 中国园林, 2023, 39 (2) : 20-25.
- [34] 宋汶军. 基于多源数据分析的城市街区可步行性环境研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2022.
- [35] 李易焯. 基于步行需求层次的厦门岛城市街道可步行性评价 [D]. 泉州: 华侨大学, 2022.
- [36] ALFONZO A M. To Walk or Not to Walk? The Hierarchy of Walking Needs[J]. Environment and Behavior, 2005, 37 (6) : 808-836.
- [37] 扬·盖尔. 交往与空间 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [38] 黄志强, 张航, 章云睿, 等. 街道视觉可步行性评估及其对居民步行活动的影响——以南京市为例 [C]// 中国城市规划学会, 成都市人民政府. 面向高质量发展的空间治理——2021中国城市规划年会论文集(05城市规划新技术应用). 北京: 中国建筑工业出版社, 2021: 13.
- [39] 刘玲君, 郑曦. 基于多源大数据与语义分割模型的街道可步行性测度 [C]// 中国风景园林学会. 中国风景园林学会 2022 年会论文集. 北京: 中国建筑工业出版社, 2023: 7
- [40] 汪美会. 基于街景影像和深度学习方法的街道绿视率研究 [C]// 南京市国土资源信息中心, 江苏省测绘地理信息学会. 南京市国土资源信息中心 30 周年学术交流会议论文集. 南京: 南京市国土资源信息中心, 《现代测绘》编辑部, 2020: 3
- [41] 维卡斯·梅赫塔. 街道: 社会公共空间的典范 [M]. 金琼兰, 译. 北京: 电子工业出版社, 2016: 13-20.
- [42] 简·雅各布斯. 美国大城市的死与生 [M]. 金衡山, 译. 南京: 译林出版社, 2006: 64-79.
- [43] HALL E T. The hidden dimension[M]. Garden City, NY: Doubleday, 1966.
- [44] MEHTA V. Lively streets: Determining environmental characteristics to support social behavior[J]. Journal of Planning Education and Research, 2007, 27 (2) : 165-187.
- [45] 缪岑岑. 基于街景图片数据的城市街道空间品质测度与影响机制研究 [D]. 南京: 东南大学, 2019.
- [46] 田蔚然, 徐燕玲, 黄莹. 层次分析法和熵权法在城市街道景观评价中的比较分析 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2020, 45 (9) : 147-153.

---

## 作者简介:

黄敏虹/2001 年生 / 女 / 广东汕头人 / 本科 / 华南农业大学 (广州 510642) / 专业方向为园林

谢伊文/2002 年生 / 女 / 广东云浮人 / 本科 / 华南农业大学 (广州 510642) / 专业方向为数学与应用数学

陈嘉林/2004 年生 / 女 / 广东潮州人 / 本科 / 华南农业大学 (广州 510642) / 专业方向为城乡规划

(\* 通信作者) 刘京一/1989 年生 / 男 / 江苏徐州人 / 博士 / 华南农业大学 (广州 510642) / 副教授 / 研究方向为风景园林规划设计 / E-mail:380069609@qq.com