POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

Street space visual quality evaluation method of tourism sites based on street view images

Original
Street space visual quality evaluation method of tourism sites based on street view images / Huang, J., Liang, J., Yang, M., Li, Y.. - In: DIQIU XINXI KEXUE. - ISSN 1560-8999. - ELETTRONICO. - 26:2(2024), pp. 352-366. [10.12082/dqxxkx.2024.220404]

Availability:
This version is available at: 11583/2996894 since: 2025-01-23T20:57:07Z

Publisher:
Science Press

Published
DOI:10.12082/dqxxkx.2024.220404

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

10 September 2026

Vol. 26 No. 2 February 2024 ISSN 1560-8999

地球信息科学学报

Journal of Geo-information Science

第26卷 第2期 月刊 总第198期

2024

专刊：

地球信息科学技术在旅游休闲领域的应用

《中文核心期刊要目总览》收录期刊
中国科学引文数据库核心期刊(CSCD)
中国科技论文统计源期刊
CNKI数据库收录期刊

EI 数据库收录期刊
SCOPUS 数据库收录期刊
GEOBASE 数据库收录期刊
JST数据库收录期刊

ISSN 1560-8999

9 771560 899243 02

中国科学院地理科学与资源研究所
中国地理学会 主办

科学出版社 Science Press 出版

地球信息科学学报

（Diqiu Xinxi Kexue Xuebao）

第26卷　第2期　（总第198期）　2024年2月

目　　次

“地球信息科学技术在旅游休闲领域的应用”专刊导言……蒋依依，牟乃夏，李　渊，等 (225)

研究笔谈与综述

地球信息科学在旅游休闲领域研究的辩证审视 ……蒋依依，邓　宁，高秉博，等 (227)

地理大数据在旅游领域的创新应用及学科影响和研究展望 ……蒋依依，高　洁，郭佳明，等 (242)

网络科学理论与方法在旅游领域中的应用：研究进展与展望 ……郑允豪，张　毅，牟乃夏，等 (259)

遗产价值视角下旅游者空间感知与计算研究综述 ……李　渊，梁嘉祺，赵　龙，等 (274)

空间格局测度与可利用性评价

基于XGBoost算法的亚热带地区生态旅游适宜性评价方法研究 ……黄　钦，谭　翠，杨　波 (303)

随机森林算法在区域生态旅游适宜性评价中的应用研究 ……谭　翠，黄　钦，杨　波，等 (318)

社交媒体影响下城市休闲空间分布新特征:基于小红书打卡地与POI的对比分析 ……顾晋源，杨东峰 (332)

基于街景图像的旅游地街道空间视觉品质评价方法 ……黄竞雄，梁嘉祺，杨盟盛，等 (352)

香港共享住宿分布与城市功能空间及路网形态的关联研究 ……蒋一菲，张宏磊，李咪咪，等 (367)

街道尺度下北京城市公共体育设施空间配置研究 ……张　磊，窦旺胜，秦　波 (381)

基于多源异构数据的胶东经济圈旅游资源供需匹配时空特征 ……刘　佳，纪晓萌，陆嘉欣，等 (393)

行为时空规律揭示与方法探索

基于旅伴效应的游客就餐行为分析 ……牟乃夏，卞书娣，王艳慈，等 (408)

基于轨迹数据的遵义市红色旅游者时空行为模式研究 ……刘　俊，陈佳淇，冯　冰，等 (424)

基于复杂网络的鼓浪屿旅游街区关联规则识别与特征分析 ……吴莞姝，薛　影，赵　凯，等 (440)

基于手机定位数据的游客步行行为特征及与旅游区功能布局关系研究 ……吴莞姝，党煜婷，钮心毅 (460)

网络游记文本中旅游行程链提取方法 ……阮　陵，葛军莲，张　翎，等 (477)

融合文本主题和社交关系的社交网络用户住所位置推测方法 ……高嘉媛，熊　伟，陈　莘，等 (488)

用户情绪感知研究

基于深度学习的城市酒店双因素体验特征及其差异机制分析 ……贾添羽，张　郴，鲁方圆，等 (499)

城市街道景观色彩对游客情感感知影响——基于街景图像的研究 ……齐子吟，李君轶，贺　哲，等 (514)

中国城市居民心理压力程度时空格局及与休闲设施供给的关系 ……高非凡，刘　逸，李志刚 (530)

《地球信息科学学报》征稿简则 ……《地球信息科学学报》编辑部 (542)

封二：中国科学院资源与环境信息系统国家重点实验室简介

封三：南京师范大学虚拟地理环境教育部重点实验室简介

JOURNAL OF GEO-INFORMATION SCIENCE
Vol.26 No.2 (Series No.198) February, 2024

CONTENTS

A Dialectical Examination of Geo-information Science in the Field of Tourism and Recreation ……JIANG Yiyi, DENG Ning, GAO Bingbo, et al (227)
Big Geodata in Tourism Research: Innovative Application, Disciplinary Influence, and Research Prospect ……JIANG Yiyi, GAO Jie, GUO Jiaming, et al (242)
Research Progress and Prospects on the Applications of Theories and Methods in Network Science to Tourism Domains ……ZHENG Yunhao, ZHANG Yi, MOU Naixia, et al (259)
Literature Review of Tourists' Spatial Perception and Computation from the Perspective of Heritage Value ……LI Yuan, LIANG Jiaqi, ZHAO Long, et al (274)
Research on the Evaluation Method of Ecotourism Suitability in Subtropical Regions Based on XGBoost Algorithm ……HUANG Qin, TAN Cui, YANG Bo (303)
Application of Random Forest Algorithm in Regional Ecotourism Suitability Assessment ……TAN Cui, HUANG Qin, YANG Bo, et al (318)
New Features of Urban Leisure Space Distribution under the Influence of Social Media: A Comparison between Xiaohongshu Check-ins and POI ……GU Jinyuan, YANG Dongfeng (332)
Street Space Visual Quality Evaluation Method of Tourism Sites Based on Street View Images ……HUANG Jingxiong, LIANG Jiaqi, YANG Mengsheng, et al (352)
The Spatial Correlation between the Distribution of Shared Accommodation and the Urban Road Network and Functional Space in Hong Kong ……JIANG Yifei, ZHANG Honglei, LI Mimi, et al (367)
Study on Spatial Allocation of Public Sports Facilities in Beijing at Residential Community Scale ……ZHANG Lei, DOU Wangsheng, QIN Bo (381)
Research on Matching Supply and Demand of Tourism Resources in Jiaodong Economic Circle Based on Multi-source Heterogeneous Data ……LIU Jia, JI Xiaomeng, LU Jiaxin, et al (393)
Understanding the Dining Behavior of Foodie Tourists under the Influence of Travel Partner Effects ……MOU Naixia, BIAN Shudi, WANG Yanci, et al (408)
Spatial-temporal Behavior Pattern of Red Tourists in Zunyi City Based on Trajectory Data ……LIU Jun, CHEN Jiaqi, FENG Bing, et al (424)
Identification and Feature of Association Rules of Tourist Blocks in Gulangyu Islet Based on Complex Network ……WU Wanshu, XUE Ying, ZHAO Kai, et al (440)
Characteristics of Tourists' Walking Behavior and Its Relationship with the Functional Layout of Tourist Areas Based on Mobile Phone Positioning Data ……WU Wanshu, DANG Yuting, NIU Xinyi (460)
A Method of Itinerary Chain Extraction from Online Travel Notes ……RUAN Ling, GE Junlian, ZHANG Ling, et al (477)
Home Location Prediction Method for Social Network Users Integrating Text Topic and Social Relationship ……GAO Jiayuan, XIONG Wei, CHEN Luo, et al (488)
Analysis of Two-Factor Experience Characteristics and Difference Mechanism of City Hotel Based on Deep Learning ……JIA Tianyu, ZHANG Chen, LU Fangyuan, et al (499)
The Influence of Urban Streetscape Color on Tourists' Emotional Perception Based on Streetscape Images ……QI Ziyin, LI Junyi, HE Zhe, et al (514)
Spatial-temporal Pattern of Residents' Psychological Distress Degree and its Relationship with Leisure Facilities in China ……GAO Feifan, LIU Yi, LI Zhigang (530)

期刊基本参数:CN11-5809/P*1996*M*16*318*zh+en*P*￥60.00*600*20*2024-2

《地球信息科学学报》编委会

顾　　问 Advisors (以拼音字母为序)

陈运泰 Chen Yuntai　傅肃性 Fu Suxing　高　俊 Gao Jun　郭华东 Guo Huadong　胡敦欣 Hu Dunxin　姜景山 Jiang Jingshan　李德仁 Li Deren
李焯芬 Chack-fan Lee　梁　怡 Leung Yee　刘燕华 Liu Yanhua　孙志鸿 Sun Chin-Hong　童庆禧 Tong Qingxi　王家耀 Wang Jiayao　王钦敏 Wang Qinmin
杨元喜 Yang Yuanxi　叶嘉安 Anthony Gar-on Yeh　张镜湖 Zhang Jen-Hu　张祖勋 Zhang Zuxun

主　　编 Editor in Chief　徐冠华 Xu Guanhua

副 主 编 Associate Editors　陆　锋(执行) Lu Feng　宫辉力 Gong Huili　刘纪远 Liu Jiyuan　林　珲 Lin Hui　闾国年 Lv Guonian　高　星 Gao Xing　耿艳辉(专职) Geng Yanhui

编　　委 Editorial Board (以拼音字母为序)

陈　军 Chen Jun　陈秀万 Chen Xiuwan　陈　曦 Chen Xi　党安荣 Dang Anrong　高　星 Gao Xing　葛　咏 Ge Yong　龚健雅 Gong Jianya
宫辉力 Gong Huili　宫　鹏 Gong Peng　耿艳辉 Geng Yanhui　李满春 Li Manchun　李荣兴 Li Rongxing　李小娟 Li Xiaojuan　李　新 Li Xin
梁顺林 Liang Shunlin　林　珲 Lin Hui　刘高焕 Liu Gaohuan　刘纪远 Liu Jiyuan　刘仁义 Liu Renyi　刘荣高 Liu Ronggao　刘耀林 Liu Yaolin
陆　锋 Lu Feng　闾国年 Lv Guonian　马荣华 Ma Ronghua　毛志华 Mao Zhihua　裴　韬 Pei Tao　邵全琴 Shao Quanqing　盛业华 Sheng Yehua
施　闯 Shi Chuang　史文中 Shi Wenzhong　苏奋振 Su Fenzhen　苏红波 Su Hongbo　孙九林 Sun Jiulin　汤国安 Tang Guoan　童小华 Tong Xiaohua
徐　冰 Xu Bing　徐冠华 Xu Guanhua　杨晓梅 Yang Xiaomei　游　雄 You Xiong　王劲峰 Wang Jinfeng　王　桥 Wang Qiao　王英杰 Wang Yingjie
邬　伦 Wu Lun　吴　升 Wu Sheng　杨必胜 Yang Bisheng　杨崇俊 Yang Chongjun　岳天祥 Yue Tianxiang　张继贤 Zhang Jixian　钟耳顺 Zhong Ershun
周成虎 Zhou Chenghu　周国清 Zhou Guoqing　周启鸣 Zhou Qiming　朱阿兴 Zhu Axing　庄大方 Zhuang Dafang

编 辑 部 Editorial Office　耿艳辉(主任) Geng Yanhui　蒋树芳 Jiang Shufang　黄光玉 Huang Guangyu

地球信息科学学报
(Diqiu Xinxi Kexue Xuebao)
（月刊，1996年创刊）
第26卷　第2期（总第198期）2024年2月25日出版

Journal of Geo-information Science
(Monthly, Published Since 1996)
Vol. 26 No. 2 (Series No. 198) February 25, 2024

编　　辑　《地球信息科学学报》编辑委员会
地址：北京市朝阳区大屯路甲11号
邮编：100101　电话：010-64888891
E-mail:dqxxkx@igsnrr.ac.cn
http://www.dqxxkx.cn
主　　编　徐冠华
主　　管　中国科学院
主　　办　中国科学院地理科学与资源研究所
中国地理学会
出　　版　科学出版社
地址：北京东黄城根北街16号，邮编：100717
印刷装订　北京宝昌彩色印刷有限公司
总 发 行　科学出版社
地址：北京东黄城根北街16号，邮编：100717
电话：010-64017032
E-mail: journal@mail.sciencep.com
国外发行　中国国际图书贸易总公司
地址：北京399信箱　邮政编码：100044
广告发布登记　京朝工商广登字20170208号

Edited by　Editorial Board of Journal of Geo-information Science
Add: 11A, Datun Road, Chaoyang District, Beijing 100101, China
Tel: 86-10-64888891
E-mail: dqxxkx@igsnrr.ac.cn
http: //www.dqxxkx.cn
Editor-in-Chief　Xu Guanhua
Superintended by　Chinese Academy of Sciences
Sponsored by　Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS
Geographical Society of China
Published & Distributed by　Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
Tel: 86-10-64017032
E-mail: journal@mail.sciencep.com
Printed by　Beijing Baochang Color Printing Co., Ltd
Overseas Distributor　China International Book Trading Corporation
Add: P. O. Box 399, Beijing 100044, China

国际标准连续出版物号：ISSN 1560-8999　国内邮发代号：82-919　定价：60.00元
国内统一连续出版物号：CN 11-5809/P　国外发行代号：QR 1706　国内外公开发行
（购买本刊请扫右侧二维码）

引用格式：黄竞雄,梁嘉祺,杨盟盛,等.基于街景图像的旅游地街道空间视觉品质评价方法研究[J].地球信息科学学报,2024,26(2):352-366.
[Huang J X, Liang J Q, Yang M S, et al. Street space visual quality evaluating method of tourism sites based on street view images[J]. Journal of Geo-information Science, 2024,26(2):352-366.] **DOI:**10.12082/dqxxkx.2024.220404

基于街景图像的旅游地街道空间视觉品质评价方法

黄竞雄[1,2],梁嘉祺[1,3],杨盟盛[1,3],李　渊[1,3*]

1. 厦门大学建筑与土木工程学院,厦门 361005；2. 清华大学建筑学院,北京 100084；3.厦门市建筑遗产保护智能技术集成应用重点实验室,厦门 361005

Street Space Visual Quality Evaluation Method of Tourism Sites Based on Street View Images

HUANG Jingxiong[1,2], LIANG Jiaqi[1,3], YANG Mengsheng[1,3], LI Yuan[1,3*]

1. School of Architecture and Civil Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China; 2. School of Architecture, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 3. Xiamen Key Laboratory of Integrated Application of Intelligent Technology for Architectural Heritage Protection, Xiamen 361005, China

Abstract: Street space is the main space that affects tourists' experience of tourism sites. The visual quality of street space is crucial to the development of tourism. However, the evaluation method of visual quality needs further exploration. This paper selected Gulangyu, the famous tourism site in Xiamen, as a study case. First, we established a quantitative model of visual quality combining the existing research on street space and the visual elements of tourism sites. Then, we collected street view data of each intersection by traveling like tourists, corrected imaging parameters, and encoded the street view images. Second, based on the deep learning method (Fully Convolutional Networks, FCN), we segmented the collected street view images semantically and extracted the visual elements in street view data. Finally, by combining with GIS, we set up a geographic information database to analyze the visual and spatial characteristics of each sampling point's visual elements. This database was aimed at providing a basis for further evaluation of the visual quality of street space. It was aggregated using the street line as the smallest unit. In our study, we calculated the visual quality indicators to evaluate the street space in Gulangyu. The results show that: (1) There is obvious spatial differentiation in the visual elements of street space in Gulangyu; (2) Building density, street width, and vegetation sketches are the basic visual elements that shape the visual quality of street space; (3) The distribution of botanical parks, major docks, and commercial facilities significantly impacts the street space's visual quality. In detail, green plants, buildings, roads, sky, and street facilities show the differences between a center and a roundabout. While the

收稿日期：2022-06-12；**修回日期**：2022-08-06

基金项目：国家自然科学基金项目(42171219、52078444)；福建省自然科学基金项目(2020J01011)。[**Foundation items:** National Natural Science Foundation of China, No.42171219, 52078444; Natural Science Foundation of Fujian Province, No.2020J01011.]

作者简介：黄竞雄(1996—)，男，福建泉州人，博士生，主要从事街道视觉感知与旅游行为的模拟研究。
E-mail: huangjx22@mails.tsinghua.edu.cn

***通讯作者**：李　渊(1979—)，男，湖北荆门人，博士，教授，主要从事计算性设计及环境行为模拟研究。
E-mail: liyuan79@xmu.edu.cn

distribution of pedestrians shows differences between the east and the west. The green view rate, enclosure, sky openness, and diversity of street space also have obvious center-roundabout spatial differentiation. Moreover, there is an obvious spatial agglomeration effect in the green view rate, crowding degree, and diversity of street space. The agglomeration points are mainly parks, docks, and commercial streets. The method in this paper provides a new collection method in street visual quality evaluation. The visual element extraction accuracy based on FCN is fairly high, which can provide a reference for street view images and other types of image data analysis. This paper provides a valuable reference for street space management and planning, resource integration and allocation, human flow guidance, and regulation in tourism sites.

Key words: street view images; Full Convolutional Networks, street space; visual elements; visual quality; evaluation method; GIS; Gulangyu

***Corresponding author:** LI Yuan, E-mail: liyuan79@xmu.edu.cn

摘要：街道空间是旅游者在旅游地的主要接触空间，良好的街道视觉品质对旅游产业的可持续发展至关重要，而如何建构视觉品质评价方法则需要进一步探索。本文以厦门市鼓浪屿作为研究区域，首先建立街道空间视觉品质量化模型，采用人工模拟旅游者行进的方式采集街景数据，进行成像参数校正和图像编码；其次，采用全卷积网络进行图像语义分割和视觉要素提取，获得街道环境视觉参数；最后，根据量化模型将视觉参数聚合到地理要素中，建立地理信息数据库进行街道空间视觉品质评价。结果表明：① 鼓浪屿街道空间视觉品质存在明显的空间分异性；② 建筑密度、街道宽度与植被小品是塑造街道空间视觉品质的基础视觉要素；③ 植物类公园、主要交通枢纽、主要商业设施的分布对街道空间视觉品质产生显著影响。本文为街道视觉品质评价工作提供了可供迁移应用的数据采集方式和研究方法，基于全卷积网络的街景图像语义分割精度较高，能够为街景图像以及其他类型的图像数据分析提供参考。在管理实践上，本文可以为旅游地街道空间的管理与规划、资源整合与配置、人流引导与调控等工作提供有价值的借鉴。

关键词：街景图像；全卷积网络；街道空间；视觉要素；视觉品质；评价方法；地理信息系统；鼓浪屿

1 引言

街道是旅游者游览过程中接触最频繁的空间，良好的街道空间品质关系到旅游地的形象和旅游者的到访意愿，是其蓬勃发展的重要保障[1]。街道视觉品质是街道空间品质评价体系的组成部分，起源于景观视觉环境评价（Landscape Visual Environment Assessment），反映街道空间各视觉组成要素在“量”和“质”2个方面对街道空间使用主体和城市发展的适宜程度[2]。在实践中，由于旅游地不同区域的开发程度及建设情况各有不同，街道的视觉品质往往不均衡。面向旅游发展的实际诉求，对街道空间视觉品质进行量化评价有助于街道品质优化工作的效益最大化，对均衡旅游者分布、优化旅游者体验等也可以起到重要作用[3]。

量化街道空间视觉品质，首先要理解构成街道空间的基本要素。从19世纪末至今，国内外众多研究对街道空间的构成提出了自己的见解。芦原义信在《街道的美学》[4]中对街道空间的组成元素进行了深入剖析，从构成建筑基本概念的墙、门、柱到街道、广场、花园，涵盖了具体的功能分区、室外雕塑、夜景空间、地标建筑等。扬·盖尔[5]认为建筑立面、街道界面在街道的空间要素构成中处于重要地位，而阿兰·B·雅各布斯[6]则着重从平面、剖面、节点图等不同图示入手，解释街道构成中边界、景观以及街道与建筑互动的关系。Smith和赵和生[7]通过分析街道空间的构图，采用图形认识的方式从城市的复杂结构中提炼出抽象的模式，以深入阐述街道空间中存在的问题。因而，对街道空间视觉品质的评价既应注重景观美学意义，应考虑其景观生态学意义[8]。伴随研究的深入，当前关于街道视觉品质的研究并不满足于单一的是否“美”的衡量标准，而是扩展到综合的景观品质评定。结合多种景观要素的视觉指标确定街道使用者的感受，逐渐成为主流研究范式[9-10]。

在人本主义思潮的影响下，与街道视觉品质评价的相关研究热度逐渐上升。由于行人在街道空间中通行和停留时间较长，对街道品质的感知较为细致，其重要性愈加凸显[11-12]。现有文献中，常见以街道空间步行品质、街道空间感知品质为主要对象的研究，其衍生视角包括可步行性及其影响因素[13]、步行指数[14]、绿视水平[15]、疗愈水平[16]或街道美学水平[17]等的测度。随着数据获取渠道和处理方式的

增多，学者们从不同角度进行街道空间品质评价工作[18-19]。从研究视角上看，主体视角通过与行人的直接交互获得关于感知体验的评价以构建品质研究模型，多采用问卷访谈[20]、回忆日志[21]、经验评价[22]、计量统计模型[23]等；客体视角则通过对空间组成要素的量化建构评价体系，评估环境对行为的支持程度，常见基于街景图像[15]、摄影图像[24]、虚拟场景[25]等数据，采用机器学习[26]、神经网络[27]、统计模型[28]等技术方法进行。

在评价指标体系建构方面，近年来，学者们结合城市设计品质模型，以不同的指标体系概括街道的空间构成，形成符合研究目标的量化评价体系。从围绕“密度（Density）、多样性（Diversity）、设计（Design）”的3D概念到增补了“目的地可达性（Destination Accessibility）和交通距离（Distance to Transit）”的高品质建成环境的5D理论[29]，诸多研究围绕这一理论建构指标体系开展评价。例如，叶宇等[30]对应城市设计品质模型，建构了绿视率、围合度、天空开敞度、可步行性、可意向性5个评价维度。在此基础上，也有学者结合案例地的特征加入道路的机动化率[31]、视觉熵[32]、多样性[33]等指标对街道环境进行量化测度。对现有研究涉及的相关评价指标归纳如表1所示。

在数据来源方面，街景数据为街道视觉品质研究提供了支持。常见的街景数据多通过车载摄像头采集，较为全面地反映了人本尺度下城市街道环境的特征[27]。然而，车载摄像头拍摄的街景视角与行人视角存在一定差异，车行过程中拍摄的街道环境可能会受到街边障碍物的遮挡，不同的季节和天气也易对图像的成像质量产生影响。同时，由于旅游景区、步行街道等对机动车的行驶进行了限制，采集数据的车辆无法获取其街景数据。故以该类数据源进行街道空间视觉品质评价研究时，存在一定的局限性。围绕旅游者的视觉感知，可以通过模拟其在街道中行进的方式进行街景图像的采集[24]，这种基于现实情况的准实验模拟方法为贴近行人视角开展街道空间视觉品质研究提供了技术方向。进一步地，街景数据需要通过图像语义分割量化视觉要素，以便于进行后续研究。常用的语义分割方法包括FCN、U-Net、SegNet、Deeplab、PSPNet等，其中全卷积网络（Fully Convolutional Networks, FCN）能够接受任意尺寸的图像输入，在内存开销与计算时间等方面表现良好，为高效精准地识别和提取街景图像组成要素提供了工作基础[38]。

在现实需求方面，对旅游地街道空间视觉品质的评价不仅关乎管理规划问题，而且有助于指导和调控旅游地的人流动向，进而对其可持续发展产生积极影响。旅游者主要通过视觉从环境中获取信息产生认知，以指导旅游行为。实证研究中，对街道空间的优化议题离不开对行人的行为分析，这已成为学界共识。在关于足迹行为的旅游者空间行为研究发展成熟之际，学者们正积极探索从数字足迹到感知行为的空间行为研究范式，体现了以人为本研究的层层递进[39]。因此，为充分考虑街道视觉品质对旅游者行为决策的可能影响，本文将街道交叉口作为采样点进行街景图像采集与分析。

整体而言，由于主体视角的研究已有较多的积累，当前研究焦点转向从客体视角直接对街道空间环境品质进行量化评价，而围绕人本主义的研究前沿将更加关注街道空间视觉品质对行为决策的影

表1 现有研究涉及的街道空间视觉品质评价指标

Tab. 1 Evaluation indicators on street visual quality from existing research

相关研究	评价指标	涉及视觉要素
韩君伟和董靓[32]	视觉熵、色彩丰富指数、街道宽度、沿街建筑高度、天际线变化指数、天空开阔指数	天空、建筑、机动车道、非机动车道、街道设施
周韬等[34]	贴线率、天空占有率、建筑占有率、绿化占有率	绿植、天空、建筑
Tang和Long[35]	墙面连续性、交叉口横截面宽高比、绿化占有率、天空开敞度、围合度	绿植、天空、建筑、机动车道、非机动车道、街道设施、交通工具、行人
Ye等[33]	绿色视觉、天空视野、建筑界面、步行空间、机动化程度、多样性	绿植、天空、建筑、机动车道、非机动车道、街道设施
郑屹和杨俊宴[31]	绿色视觉指数、天空开敞指数、色彩氛围指数、色彩丰富指数	绿植、天空、建筑、墙壁、地形、车辆、机动车道、步行道、街道设施、行人
Ma等[36]	绿视率、天空开敞度、围合度、可步行度、可意向性	绿植、天空、建筑、车行道、步行道、道路铺装、标志物
Qiu等[37]	围合度、空间尺度、复杂度、可意向性	绿植、建筑、墙壁、道路铺装、标志物、街道设施

响。基于此认知，本研究由客体视角出发，提出适用于旅游地街道空间视觉品质评价的方法体系，并以鼓浪屿为例进行实证研究。其结论将为进一步探索街道空间视觉品质对旅游者行为决策的影响提供参考，并用于指导旅游地街道空间设计、规划、管理与优化策略的生成。

2 研究设计

2.1 研究框架

旅游地街道空间视觉品质评价的研究框架如图1所示。① 聚焦街道空间的决策节点，选取旅游地主要街道的交叉口作为采样点。模拟旅游者视角采集旅游地实景数据，并进行成像参数校准和地理坐标匹配。② 对所获得的图像进行编码，采用FCN框架对街景数据进行语义分割和精度检验，提取并计算视觉参数。③ 基于采样点和采样路段将参数聚合到地理要素上，形成旅游地街道环境视觉品质与视觉特征的地理信息数据库，进行分析和讨论。

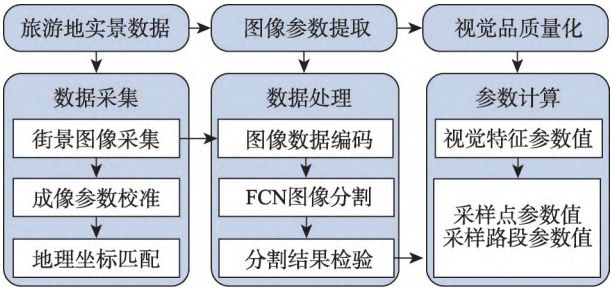


图1　街道空间视觉品质评价研究框架

Fig. 1　Research framework of street visual quality evaluation

2.2 评价指标体系

考虑到旅游者在旅游地街道中常以步行作为主要通行方式，评价指标的选择和视觉参数的计算应围绕步行行为进行，且能够反映旅游者在街道空间中面临的真实环境。现有研究指出，由街道到建筑之间存在街道空间、街道与建筑的过渡空间、建筑外界面3类要素[40]，为了紧扣对整体街道环境的量化评价目标，需要对这3类空间进行解析。首先，街道空间多由两侧空间要素围合形成，从其基本定义出发，旅游者在街道空间中最先感受到的是空间的尺度、关系和边界[40]，因而构成街道空间基本尺度的街道的宽度、两侧建筑立面的高度、街道空间的宽高比是反映街道空间的主要参数。其次，街道与建筑的过渡空间是由街道向建筑的延伸和渗透，多伴有顶棚、店招、灯杆、休憩设施等街道设施。在旅游地中，这类街道设施的设置与商业、文娱等业态的发展存在关联，街道设施的设置对其功能提升和形象重塑具有重要意义[41]，体现了街道视觉品质中的多样性。最后，建筑外界面由建筑立面或墙面等构成，是旅游者由近及远观察的重要空间要素。考虑到建筑外界面的视觉品质评价体系应与前述研究目标结合，以获得具备可行性的量化指标，建筑外界面的测度仍聚焦在其界面的尺度上。

综上所述，综合考虑旅游地街道环境的组成要素，绿视率、围合度与天空开敞度作为基本的街道视觉品质评价指标被大多数研究接受，围合度可视为街道宽高比在街景评价中基于图像衍生而来的细化指标，将道路两侧的建筑、墙面、绿植等视为均质界面，以衡量街道空间尺度对人的视觉体验产生的影响。此外，旅游者视野范围中行人占比的多寡反映了街道环境的拥挤程度，足以影响旅游者对街道空间视觉品质的评价。综上所述，本文以绿视率、围合度、天空开敞度、拥挤程度和多样性5项指标建立评价体系，各项指标包含的视觉要素及其计算公式，如表2所示。

3 研究区概况、数据采集与处理

3.1 研究区域

本研究选择厦门市鼓浪屿作为研究区域（图2）。鼓浪屿是国家5A级旅游景区，与厦门岛隔鹭江相望，面积约1.88 km^2，研究尺度适中。2017年7月8日，鼓浪屿正式获准列入世界遗产名录，这对于鼓浪屿的旅游体验和可持续发展提出了更高的要求，也更考验其精细化治理的水平。因此，以鼓浪屿作为研究区域符合旅游地研究主体特征，是具有代表性的研究案例地。

3.2 数据采集

街景图像的采集方法如图3所示。① 由于街道交叉口是旅游者在街道空间中产生行为决策的重要节点，决定了其所能接收到的视觉信息和下一步的走向，进而影响到对街道空间的整体感知[42]。参照已有研究[42-43]，从鼓浪屿各街道交叉口向各个街道方向采集街景图像。② 人的视觉感知是在街道中进行缓慢移动而获得的，旅游者在静止状态下与缓慢

表2 旅游地街道空间视觉品质评价指标

Tab. 2 Visual quality evaluation indicators of street space in tourism sites

评价指标	视觉要素	计算公式	公式编号
绿视率 G_i	绿植	$G_i=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}T_n(i\epsilon N^*)$	(1)
围合度 E_i	建筑、墙、绿植、道路	$E_i=\frac{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}A_n+\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}T_n}{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}R_n}(i\epsilon N^*)$	(2)
天空开敞度 O_i	天空	$O_i=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}S_n(i\epsilon N^*)$	(3)
拥挤程度 C_i	人	$C_i=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}H_n(i\epsilon N^*)$	(4)
多样性 V_i	店招、顶棚等其它设施	$V_i=\frac{\sum_{i=1}^{n}B_n+\sum_{i=1}^{n}Ce_n(i\epsilon N^*)}{n}$	(5)

注：G_i 为街景图像的绿视率；T_n 为图像中识别为树木、草地、植物等绿植像素的比例，其总和表示每幅街景图像中绿植像素的总数；E_i 为街景图像的围合度；A_n 为图像中建筑(墙)像素的比例；R_n 为图像中道路像素的比例，表征围合度是识别为建筑(墙)和绿植像素面域的占比与识别为道路像素面域的占比的比值；O_i 为街景图像的天空开敞度；S_n 为图像中识别为天空像素的比例，其总和表示每幅街景图像中天空像素的总数；C_i 为街景图像表征场景的拥挤程度；H_n 为图像中识别为人的像素的比例，其总和表示每幅街景图像中人像素的总数；V_i 为街景图像的多样性，B_n、Ce_n 是包括店招、顶棚等在内的所有被识别的街道设施所占的面域像素的比例，其总和表示每幅街景图像中街道设施像素的总数；n 为每幅街景图像的像素总数。

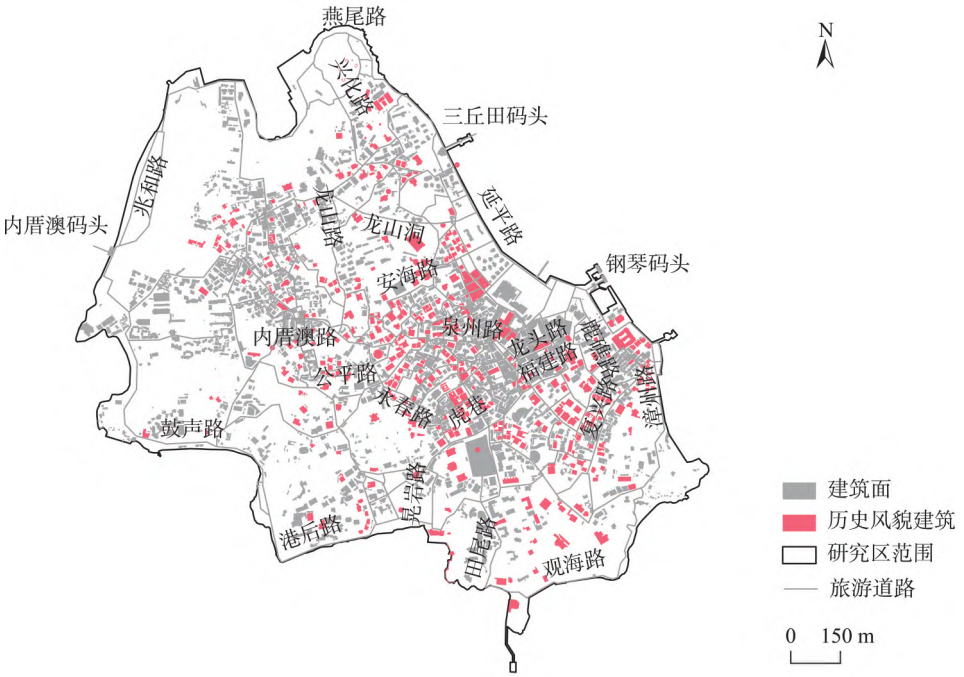


图2 鼓浪屿区域概况

Fig. 2 Overview of Gulangyu

行进的过程中视野所包含的范围不同，例如在纵向上，静止时最大视野范围可达到水平线以上25°、水平线以下35°，行进过程中最大视野范围可达到水平线以上20°、水平线以下40°。为保障街景图像尽可能接近旅游者的真实视野，拍摄视角应满足上述视野要求。最后，图像采集范围参考鼓浪屿管委会发布的鼓浪屿全景图，结合鼓浪屿各街道的概况，确认包括龙头路、福建路、鼓山路等共30余条鼓浪屿核心道路列入研究范围。在ArcGIS 10.7中建立路网的地理信息数据库，根据各路段的交汇情况对街道的交叉口进行打断，共获得路网的线要素358条、交叉口采样点227个。

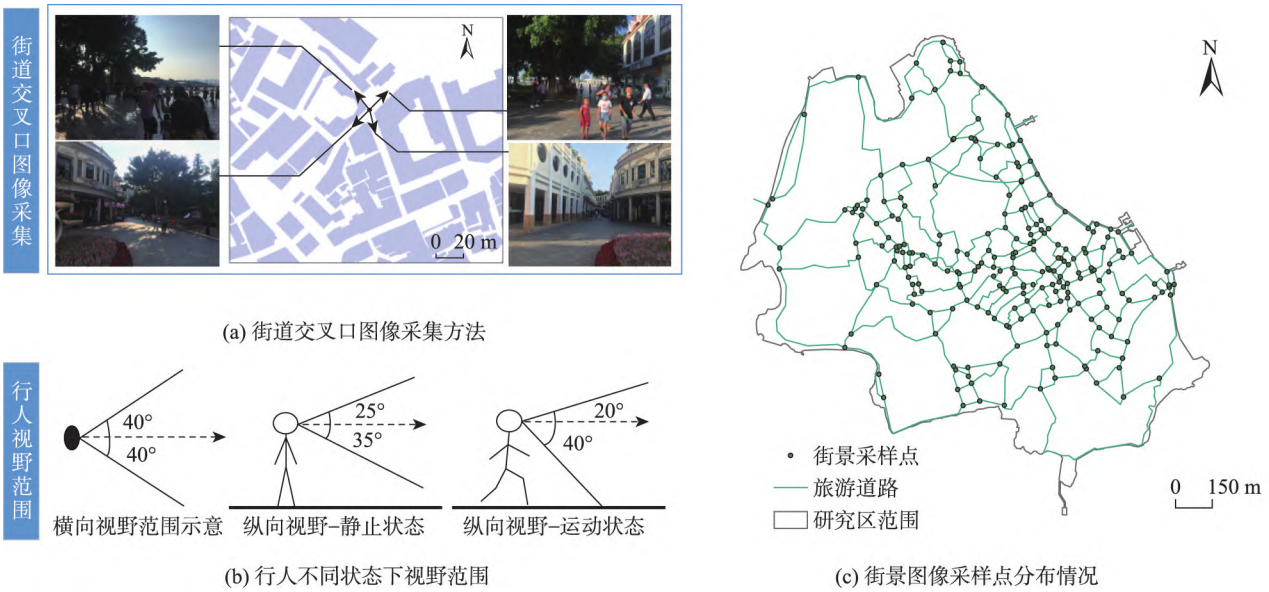


图3　街景图像采集方法与采集范围

Fig. 3　Collection method and range of street view images

街景图像的采集工作于2021年10月下旬至11月上旬的晴朗白天进行，共采集了来自227个采样点的852张街景图像。经过采集视角与拍摄条件的比对，选择其中的739张作为街景图像研究的原始数据，进行数据编码、图像分割与参数计算。

3.3 数据处理

3.3.1 图像数据编码

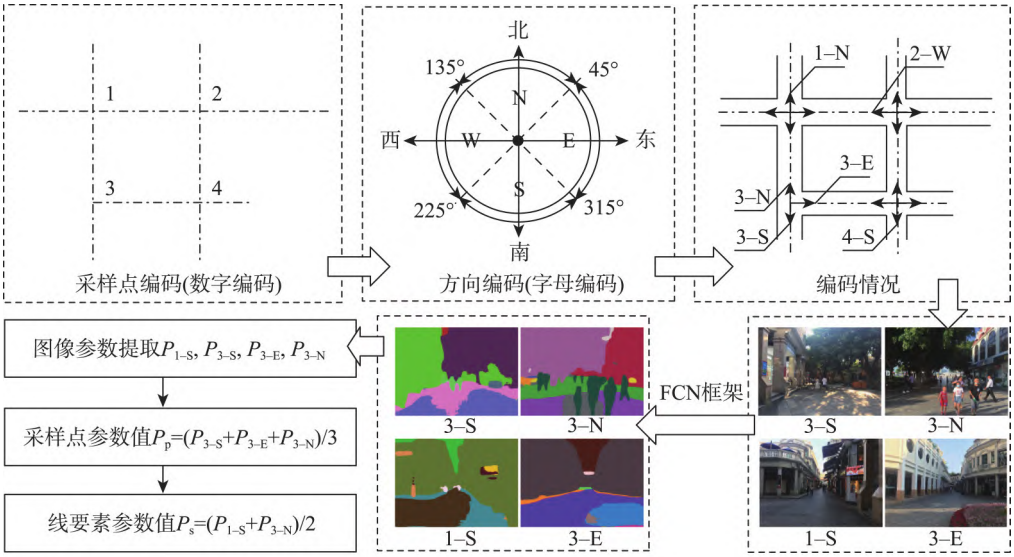
逻辑上，各采样点的参数值为该点上各方向图像参数的平均值，这种计算方法被广泛采用，其可行性已被证实。然而，仅将街景图像的视觉参数聚合到采样点上，难以真实重现旅游者在街道交叉口时所面向的街道空间及各交叉口的具体情况。基于上述考虑，为精确反映旅游者所面对的选择集情况，对各采样点进行数字编码，并根据采样点面向的不同方向进行字母编码。数字编码与ArcGIS中各采样点的FID相同，字母编码则根据街景图像所反映的视野内容相对于采样点的方向进行确定，若该图像所反映的街景位于采样点南偏西45°—南偏东45°范围内，则字母编码为“S”。同理，分别确定“W”、“N”、“E”的代表方位。其中，若同一节点存在朝向相同或近似的2个街道交叉口，则以其相对方向作为方向编码的标准。

根据这2项编码的结果，对街景图像以“采样点编码–方向编码”的准则进行编码。编码完成后，在数据库中记录同一线要素两端的采样点对应的街景图像编码，作为该街道线要素的起始节点与结束节点。对不同类型交叉口与线段要素的视觉参数计算方法和图像的编码原则示意，如图4所示。

3.3.2 图像分割与检验

本研究选用的Yao等[44]采用ADE_20K开放图像数据集进行训练的FCN模型框架，其在街道层面的训练数据集的像素对比精度为0.814，在测试数据集的对比精度为0.668，属于同类框架中精度较高的训练结果，该模型框架（图5）最多可以从街景图像中识别出150类要素。考虑到计算资源开销，对采集到的街景图像缩放到1000像素×750像素，并对图像数据的亮度、对比度、色彩等进行自适应标准化，尽量减少环境中光线、色差等无关因素对图像识别产生的影响。

将处理后的图像输入FCN模型中进行处理，并对分割结果进行整理和要素归纳，获取包括天空、道路、建筑（墙）、绿植（树木、草地）、人、道路设施等在内的视觉要素进行参数计算。使用Adobe Photoshop CC 2015以绿植、天空、道路和建筑等街景图像的主要构成要素为例，对街景图像进行目视判别并对比结果，检验其识别精度。随机选择不同场景下的街景图像样本5张，对FCN框架计算结果与目视解译结果进行对比，验证结果如表3所示。可以发现，该框架在鼓浪屿街景图像数据集中的语义分割表现较好，根据样本误差均值计算，总体精度可达97.6%，满足研究要求。



注：数字编码为数据库中各点的FID，字母编码根据图像内容相对采样点的方向，其编码和具体含义分别为：E（东）、S（南）、W（西）、N（北）。P_{1-S}指代对应编码为1-S的图像所提取得到的视觉参数值，其余解释相同。P_p指代采样点的视觉参数值，P_s指代线要素的视觉参数值。

图4 街景图像编码及空间视觉参数计算方法

Fig. 4 Street view image coding and visual parameter calculation method

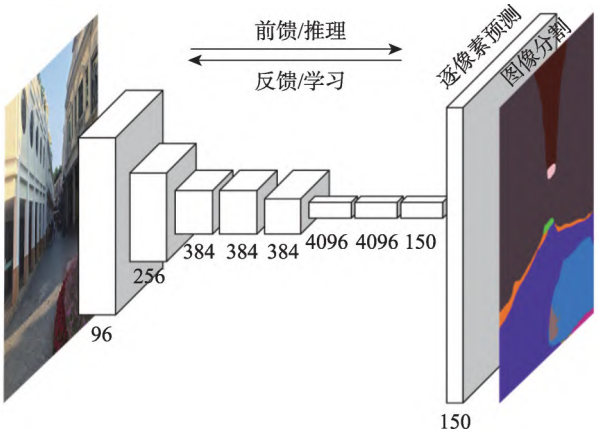


图5 全卷积网络结构示意图

Fig. 5 Fully Convolutional Networks architecture

3.3.3 参数计算

对各地理要素的视觉参数进行计算，计算公式如式(6)所示。

$$P=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}P_n \qquad (n\in\{1,2,3,\cdots,n\}) \qquad (6)$$

式中：P 为待计算的各地理要素的视觉参数；P_n 为参与计算的各街景图像的视觉参数。计算采样点视觉参数时，参与计算的为该点上采集的所有图像；计算街道视觉要素时，参与计算的为该线要素两端朝向该要素的街景图像。通过该计算模型的处理，使得各交叉点的采样结果能够大致反映以街道线段要素为单元的视觉品质量化结果，并简化了基于线段要素进行行为决策机理揭示和建模的流程，提升操作的可行性。

4 结果及分析

4.1 街道空间视觉要素分析

根据上述指标，将视觉要素数据聚合到各交叉口采样点中，对视觉要素的提取和计算结果进行可视化。如图6所示，各视觉要素在空间分布上呈现出明显的分异，尤其在岛屿中心与环岛路线间最显著。

根据视觉要素量化结果，其空间分布具体表现为：① 绿植要素：鼓浪屿环岛沿线的街道，以及临近岛屿中心的龙山路等视野内绿植占比较高；岛屿中心西侧如内厝澳路、岛屿中心东侧如龙头路等路段绿植占比较低，呈现出“中心低环岛高”的特点；② 建筑要素：龙头路片区和内厝澳路片区建筑要素分布较为集中，建筑密度较高；而环岛沿线的街道则建筑要素分布较少，呈现出与绿植相反的“中心高环岛低”的特点；③ 道路要素：视野中道路面积占比较高的路段主要为三丘田码头（游客使用）与钢琴码头（市民使用）间的通行街道、西北侧的内厝澳码头以及各码头周边街道。而岛屿中心道路要素的视野占比较少，呈现出“中心低码头高”的特点。

表3　视觉要素识别准确度验证结果

Tab. 3　Visual segmentation accuracy validation　（%）

编码	实景图像	目视解译	程序判别 / 目视判别（结果差异）			
			绿植	天空	道路	建筑
6-N			35.52 / 38.75（3.23）	21.02 / 22.87（1.85）	32.36 / 35.07（2.71）	2.28 / 0.00（−2.28）
11-E			20.07 / 20.77（0.70）	32.79 / 34.44（1.65）	22.39 / 28.15（5.79）	10.16 / 8.09（−2.07）
36-S			4.33 / 7.70（3.37）	8.13 / 8.72（0.59）	25.34 / 32.00（6.66）	38.96 / 35.47（−3.49）
38-S			42.26 / 47.12（4.86）	19.69 / 19.96（0.27）	25.40 / 22.06（−3.34）	1.52 / 0.00（−1.52）
94-S			26.07 / 26.33（0.26）	24.18 / 25.66（1.48）	19.54 / 20.33（0.79）	4.11 / 2.89（−1.22）

④ 天空要素：鼓浪屿环岛沿线的街道天空要素占比较高；岛屿中心区域呈现出高低错落的特征，虽有少数采样点有较高的天空要素占比，但相对而言中心区域整体显示的天空要素占比较低，呈现出“中心低环岛高”的特点；⑤ 行人要素：人流分布较密集的区域是三丘田码头附近，岛屿中心东侧的龙头路片区行人要素占比适中，岛屿西侧各采样点行人均较少，呈现出“东侧高西侧低”的特点；⑥ 设施要素：设施分项中，占比较高的区域集中在龙头路片区，体现出鼓浪屿主要商业街道设施的相对完备；而设施要素在环岛街道和西侧街道中占比均较低，即呈现出“龙头高环西低”的特点。

上述结果体现了鼓浪屿的绿植、建筑、道路、天空、道路设施体现出明显的“中心–环岛”差异，表现为中心区域街道空间绿化植被较少、建筑密度较高、道路宽度较窄、天空视野较差、道路设施较为完备；环岛街道空间大体上与之相反。而鼓浪屿的行人要素则体现出较为明显“东–西”差异，岛屿东侧的行人较西侧更多，并且集中在三丘田码头附近。

4.2 街道空间视觉品质分析

考虑到交叉点上所有方向视野中的视觉要素占比平均值难以反映旅游者在实际环境中面临的选择情况。在游览过程中，旅游者在交叉口向各个方向收集到的视觉信息内容是街道空间视觉要素的整合，为旅游者做出路径选择与行为决策提供依据，故需进一步以不同方向的路段线要素作为基本单位，进行街道空间视觉品质的量化评价分析。据此，对各采样点向不同方向的街景数据进行分离和聚合，并根据表2计算各视觉品质量化分项的结果(图7)。

5类评价指标的量化结果呈现明显的空间分异，具体包括：① 绿视率：鼓浪屿北侧街道绿视率较高，这部分街道主要围绕燕尾山生态公园和兆和山公园。环岛街道空间由于分布着较为丰富的行道树与绿化植被，同样呈现较高的绿视率。绿视率较低的路段集中在岛屿中心龙头路等区域，该区域地面以硬质铺地为主，绿植总体上布置较少；② 围合度：鼓浪屿中心区域围合度较高，这与该区域较高的建筑密度或较窄的街道宽度有关。由岛屿中心

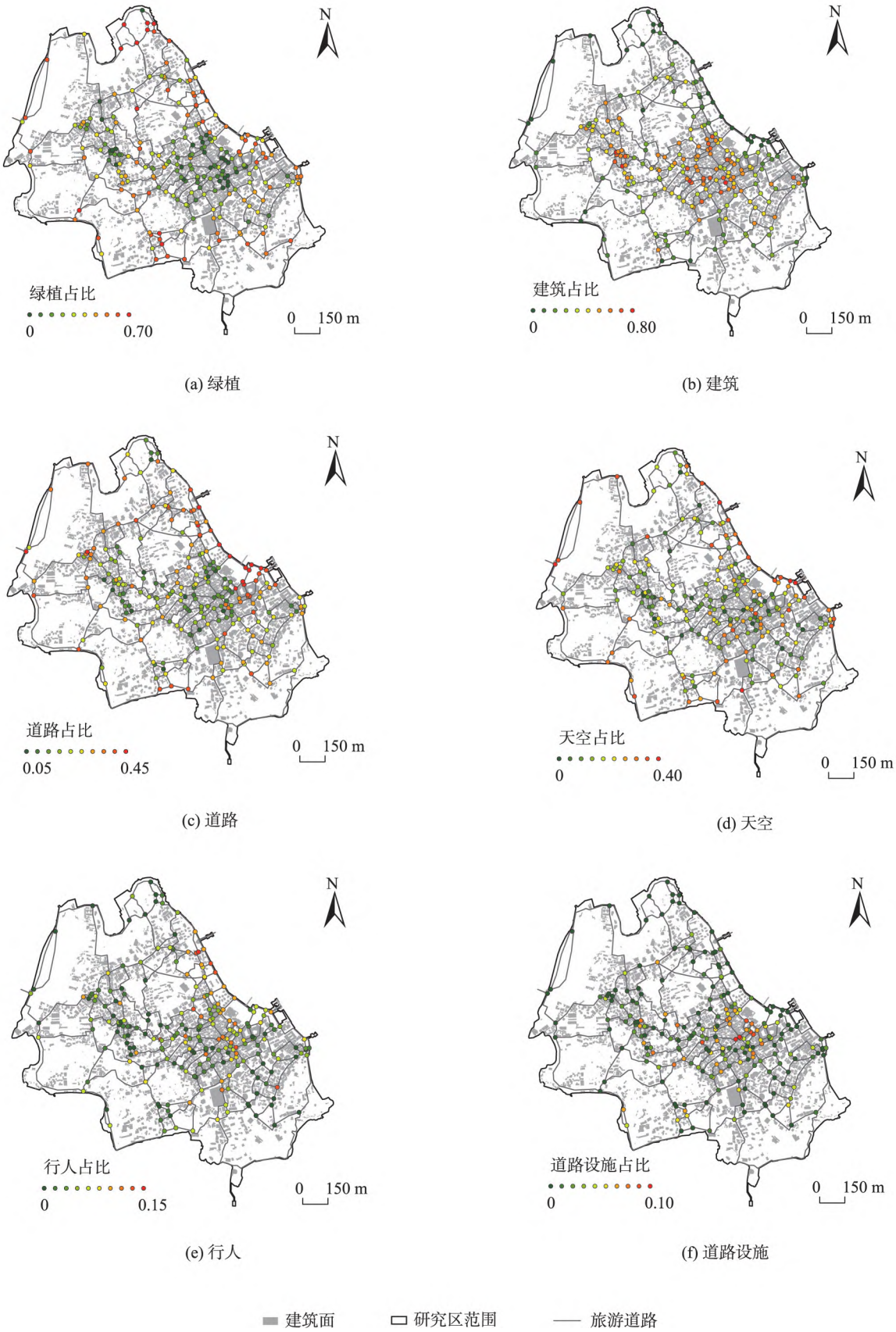


图6 街道空间采样点视觉要素分析

Fig. 6 Analysis of visual elements of each sampling points

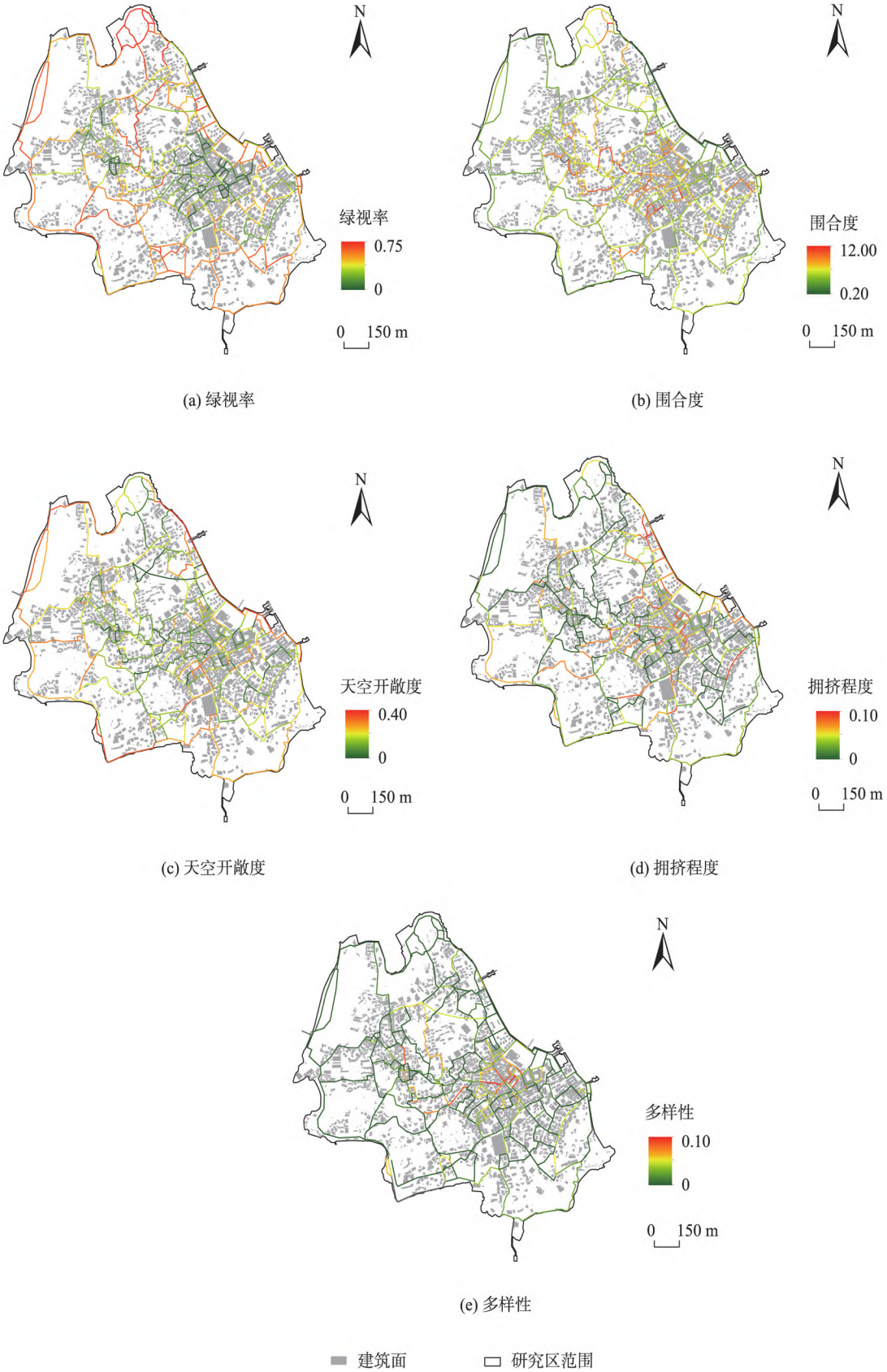


图7　街道空间视觉品质分析

Fig. 7　Analysis of visual quality of street space

向外围合度逐渐降低，围合度较低的路段主要集中在环岛街道上，与滨海步道视野开阔、建筑密度较低、街道较宽的特点相契合；③ 天空开敞度：天空开敞度在环岛区域较高，一定程度上也反映了环岛街道本身道路宽敞、建筑密度低的特点。岛屿中心和北侧天空开敞度较低，主要原因是中心区域较高的建筑密度和北侧区域较密的森林植被；④ 拥挤程度：拥挤程度较高的街道主要以三丘田码头为核心向岛屿中心的龙头路与街心公园区域延伸。三丘田码头是面向旅游者开放的主要登岛码头，大量旅游者在此地段集散。龙头路地段则是受到旅游者青睐的商业街区，而街心公园集中了龙头路地段主要的休憩设施，包括石桌、石凳、绿化小品等，可以吸引旅游者在此停留休息，故视野中拥挤程度相对较高；⑤ 多样性：多样性在空间上呈现明显的聚集点，即岛屿中心的泉州路与龙头路街道。主要原因在于，龙头路片区的商业发达，街道设施丰富，这与前述旅游者的聚集原因能够相互验证。而龙头路区域之外的商业欠发达地区，其多样性则表现为显著的低值区域。

综上所述，鼓浪屿中心区域绿视率较低、围合度较高、天空开敞度较低、多样性较好，环岛街道空间绿视率适中、围合度较低、天空开敞度较高、多样性较差。北侧因公园植被而呈现出最高的绿视率，三丘田码头因游客集散而呈现出最高的拥挤程度，龙头路等因商业发达而呈现出最高的多样性。可见建筑密度、街道宽度与植被小品是塑造街道空间视觉品质的基础要素，而植物类公园、主要交通枢纽、主要商业设施的分布则会对街道空间视觉品质产生显著影响，旅游地的规划、改造、管理过程中应当着重关注这些要素。

5 讨论

由研究结果可知，鼓浪屿中心区域与环岛街道空间的空间分异，以及二者间过渡的居民区共同形成了鼓浪屿街道空间的“核心-边缘”格局（图8）。具体而言：①街道空间视觉要素存在明显的空间分异，绿植、建筑、道路、天空、设施要素表现为“中心-环岛”差异，行人要素则体现出“东-西”差异；② 街道空间的绿视率、围合度、天空开敞度、多样性同样存在明显的“中心-环岛”空间分异；③ 街道空间的绿视率、拥挤程度和多样性存在明显的空间集聚效应，集聚点主要为公园、码头、商业街道；④ 建筑密度、街道宽度与植被小品是塑造街道空间视觉品质的基础视觉要素；⑤ 植物类公园、主要交通枢纽、主要商业设施的分布对街道空间视觉品质产生显著影响。

鼓浪屿街道空间的“核心-边缘”格局从实证角度呼应了地理学领域经典的“核心-边缘”理论，该理论常用于解释区域发展水平空间差异和区域经济空间结构演变模式[45-46]。已有的研究主要是探讨区域内部核心-边缘区旅游经济发展关系的不平等，对旅游区域核心-边缘空间结构的形成与演变研究较少；多局限于现象的定性描述，在理论内涵的挖掘与量化研究方面尚不够深入[47]。本文基于街景图像开展的街道空间视觉品质评价，是从街道角度对旅游地区域空间结构差异进行量化的积极探索，同时从视觉要素和视觉品质视角对旅游地“核心-边缘”空间格局的形成与演变提供了更丰富的内涵解释。此外，鼓浪屿的街道空间视觉要素的空间格局也在一定程度上体现了旅游地区域经济发展的“资源诅咒（Resource Curse）”特征[48]。正如

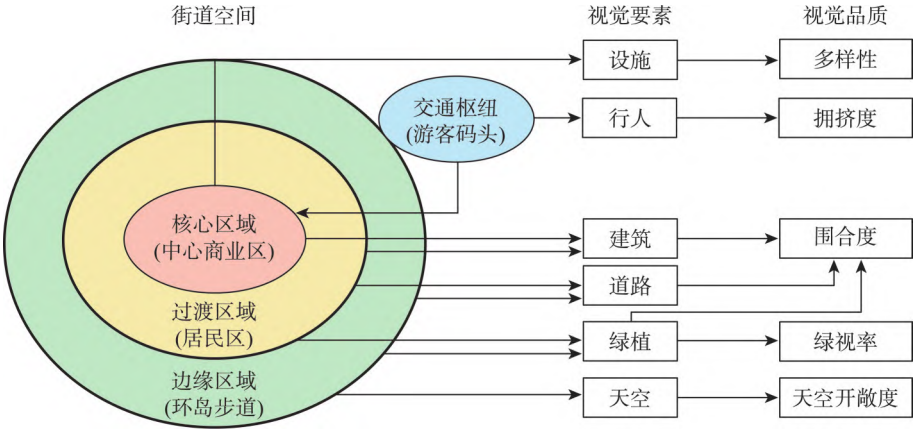


图8 街道空间与视觉品质的关联机制

Fig. 8 Correlation mechanism between street space and visual quality

郭文炯借助核心-边缘理论解析“资源诅咒”的空间结构[49]，本文的研究结果从视觉资源角度建构起“核心-边缘”空间格局与资源空间分布的内在关联。一方面，独特的视觉要素空间分布差异促进了街道空间的“核心-边缘”格局；另一方面，视觉要素在空间上的集中分布也在一定程度上形成了空间制约，限制了区域旅游发展的多元空间。例如，边缘区域在拥有丰富自然资源的同时经济发展活力受限，核心区域商业活动引发连锁品牌、当地餐饮等的“寻租效应”[50]。这一方面显示了鼓浪屿街道空间格局的不均衡，另一方面指示了鼓浪屿街道空间与旅游发展规划可优化的方向。

基于本文的研究结果与上述讨论，进一步提炼影响街道空间视觉品质的核心要素以及要素间在空间上的潜在关联性。① 交通枢纽与中心商业区呈现的高拥挤度与高多样性，体现了已有研究中被广泛证实的服务设施、商业、交通与旅游者出行选择行为的高度相关性[51-52]。主要交通入口成为旅游者空间上的集散中心，其周边的街道交叉口成为影响人流走向的关键节点。因此，理解、引导、调控旅游者行为轨迹需要重视围绕交通枢纽分布的街道空间视觉品质。② 旅游者的选择性游览与停留是深度体验、感受旅游地文化的重要前提，交通枢纽与商业设施的空间分布应当得到旅游地管理者与规划人员的重视。③ 海岛型旅游地应充分整合山海资源[53]，加强视觉空间的联动与交互，避免边缘化和割裂感，为旅游者提供更加丰富的视觉景观选择，为旅游地多元化的旅游路线设计提供更多的创新空间。④ 旅游地存在人流分布不均衡的特点，人流分布的差异容易引起集聚区域的空间黏滞性，进一步降低其他区域的人员流动性，导致旅游地空间的冷热分异而不利于可持续发展。因此，旅游地应当合理利用景观资源，优化视觉要素空间格局，通过空间结构优化过渡或平衡视觉品质差异，增强秩序性、层次性和观赏性，进一步提升全岛旅游的普及性。⑤ 街道空间品质与其所承担的功能存在潜在关联。对于海岛型旅游地，街道空间的商业功能集中体现在中心区域，街道空间的景观性和休闲功能则主要体现在环岛区域，两者间的街道空间则主要承担了居民的居住功能。建筑作为旅游地文化符号的重要组成部分承担了提供中心商业区核心吸引力和过渡区居住空间的重要角色，在提高街道空间视觉品质同时提供了地方经济的发展空间、地方文化的传承空间和地域景观的展示空间。

6 结论

本文聚焦旅游地街道空间视觉品质，提出采用街景图像进行视觉品质评价的工作流程和研究方法：① 结合现有研究与旅游地空间特征建立视觉品质量化模型；② 以人工模拟旅游者行进的方式采集各旅游街道交叉口的街景数据，采用FCN架构对采集到的街景图像进行语义分割，提取街景图像中的视觉要素参数并检验其精度；③ 在GIS中建立地理信息数据库，对各采样点的视觉要素视野占比情况进行可视化，分析视觉要素的空间特征，为进一步的街道空间视觉品质评价提供基础；④ 将数据以街道线要素为最小单位进行聚合，计算各街道空间的视觉品质指标并可视化，进行量化评价与分析讨论。

在研究视角上，本文以街景图像表征客观环境，建立旅游地主要旅游街道交叉口的街景数据库与街道空间视觉品质量化评价指标体系。在数据采集方面，本文摆脱了以往依托车辆、监控摄像、遥感影像等非行人视角获取街景的方式，以人工模拟旅游者行进的方式采集街景图像，使数据源更加贴近旅游者感知的真实场景。在研究方法上，本文采用FCN进行图像语义分割与视觉要素识别，该方法能为街景图像以及其他类型的图像数据分析提供参考。在管理实践方面，本文的研究结果具备一定的迁移应用价值，能为其他步行性的旅游地或海岛型旅游地的管理规划提供有价值的借鉴，例如视觉要素的空间格局与山海资源的充分整合、人流分布的合理调控、交通枢纽的位置设定和商业设施的平衡分配等。

受限于研究目的和方法，本研究存在一定局限：① 本文仅考虑了对街景图像的客观数据分析，但对于街道空间的视觉品质评估不应脱离街道使用者的主体视角。因此，后续研究可以结合问卷调查进行主观视角的街道视觉评估，并进一步探究其与选路行为偏好的关系；② 考虑到对旅游者行为决策的关键性影响，本文选取了街道交叉口进行街景图像采集，对于街道完整空间形态与视觉要素的涵盖有限，后续研究可以同时采取从街道中点向两侧拍摄的方式补充街景数据采集视角；③ 本文作为对旅游地街道空间视觉品质评价研究的阶段性探索，依据旅游者在各节点对整体街道环境的视觉感知情况提取主要的视觉要素类型，在量化时考虑多种要素的组合。然而，旅游者在进行实际评估时可能会考虑更加微观的细节要素，例如建筑的艺术形式、街道的色彩要素、街道设施的形态、构筑物的材

质与构型等。后续研究可以尝试通过人因实验进一步细化和甄别影响旅游者感知街道空间视觉品质的微观要素,以开展进一步的评价研究。

参考文献(References):

[1] 刘海龙.文化遗产的“突围”——德国科隆大教堂周边文化环境的保护与步行区的营造[J].国际城市规划,2009,24(5):100-105. [Liu H L. The breakout of cultural heritage site: The protection of the surrounding cultural environment and the creation of pedestrian zone of Cologne Cathedral[J]. Urban Planning International, 2009,24(5):100-105.] DOI:10.3969/j.issn.1673-9493.2009.05.019

[2] 龙瀛,盛强,杨鑫,等.“基于新数据、新技术的城市空间品质提升研究”主题沙龙[J].城市建筑,2018(6):6-11. [Long Y, Sheng Q, Yang X, et al. Overview of the salon themed on improvement of quality of public space in cities with new data and emerging technologies[J]. Urbanism and Architecture, 2018(6):6-11.] DOI:10.19892/j.cnki.csjz.2018.06.002

[3] 李渊,黄竞雄,李莹.海岛旅游地国土空间开发适宜性评价与优化策略——以普陀山为例[J].城市建筑,2021,18(4):39-44. [Li Y, Huang J X, Li Y. Suitability evaluation and optimization strategy for land development in island tourism destinations: A case of Putuo Mountain[J]. Urbanism and Architecture, 2021,18(4):39-44.] DOI:10.19892/j.cnki.csjz.2021.04.09

[4] 芦原义信.街道的美学(下)[M].尹培桐,译.南京:江苏凤凰文艺出版社,2017. [Ashihara Y. The aesthetic townscape[M]. Nanjing: Jiangsu Phoenix Literature and Art Press, 2017.]

[5] 扬·盖尔.交往与空间[M].何人可,译.北京:中国建筑工业出版社,2002. [Gehl J. Life Between Buildings[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2002.]

[6] 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. [Jacobs A B. Great streets[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2009.]

[7] Smith P F, 赵和生.街道空间构图的美学问题[J].新建筑,1988(2):46-49. [Smith P F, Zhao H S. Aesthetic problems of street space composition[J]. New Architecture, 1988(2):46-49.]

[8] 汤晓敏,王祥荣.景观视觉环境评价:概念、起源与发展[J].上海交通大学学报(农业科学版),2007,25(3):173-179. [Tang X M, Wang X R. Landscape visual environment assessment(LVEA): Concept, origin and development[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University (Agricultural Science), 2007,25(3):173-179.] DOI:10.3969/j.issn.1671-9964.2007.03.001

[9] Kim J H, Lee S, Hipp J R, et al. Decoding urban landscapes: Google street view and measurement sensitivity [J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2021, 88:101626. DOI:10.1016/j.compenvurbsys.2021.101626

[10] Li X J, Zhang C R, Li W D, et al. Assessing street-level urban greenery using Google Street View and a modified green view index[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2015,14(3):675-685. DOI:10.1016/j.ufug.2015.06.006

[11] Cervero R, Kockelman K. Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 1997,2(3):199-219. DOI:10.1016/S1361-9209(97)00009-6

[12] 刘涟涟,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(4):103-110. [Liu L L, Wei W. International experiences of tools and approaches for assessment of walkability[J]. Urban Planning International, 2018(4):103-110.] DOI:10.22217/upi.2016.039

[13] 吴培阳,于长明.用可步行性环境分析法塑造步行友好城市的基本单元——来自北京回龙观住区的案例研究[J].西部人居环境学刊,2020,35(5):91-99. [Wu P Y, Yu C M. Using the walkability environment analysis method to shape the basic unit of walkable city: The case study from Beijing Huilongguan residential area[J]. Journal of Human Settlements in West China, 2020,35(5):91-99.] DOI:10.13791/j.cnki.hsfwest.20200513

[14] 周垠,龙瀛.街道步行指数的大规模评价——方法改进及其成都应用[J].上海城市规划,2017(1):88-93. [Zhou Y, Long Y. Large-scale evaluation for street walkability: Methodological improvements and the empirical application in Chengdu[J]. Shanghai Urban Planning Review, 2017(1):88-93.] DOI:10.3969/j.issn.1673-8985.2017.01.015

[15] Long Y, Liu L. How green are the streets? An analysis for central areas of Chinese Cities using Tencent Street View [J]. PLoS One, 2017,12(2):e0171110. DOI:10.1371/journal.pone.0171110

[16] 徐磊青,胡滢之.疗愈街道 一种健康街道的新模型[J].时代建筑,2020(5):33-41. [Xu L Q, Hu Y Z. Healing street A new model of healthy street[J]. Time + Architecture, 2020(5):33-41.] DOI:10.13717/j.cnki.ta.2020.05.007

[17] 福井亘,谷桃衣,高林裕.京都市御池通での景観構成要素の評価と街路景観について[J].ランドスケープ研究,2020,83(5):603-608. [Fukui W, Tani M, Takabayashi Y. Impression of streetscape from evaluation elements in Oike-dori street, Kyoto City[J]. Landscape Research, 2020,83(5):603-608.] DOI:10.5632/jila.83.603

[18] 里德·尤因,苏珊·汉迪,江雯婧.测量不可测的:与可步行性相关的城市设计品质[J].国际城市规划,2012,27(5):43-53. [Ewing R, Handy S, Jiang W J. Measuring the unmeasurable: Urban design qualities related to walkability [J]. Urban Planning International, 2012,27(5):43-53.]

[19] Ewing R, King M R, Raudenbush S, et al. Turning highways into main streets: Two innovations in planning methodology[J]. Journal of the American Planning Association, 2005,71(3):269-282. DOI:10.1080/01944360508 976698

[20] 李渊,高小涵,杨林川,等.基于有序Probit模型的遗产地

居民步行环境满意度研究——以鼓浪屿为例[J].中国园林,2020,36(11):90-94. [Li Y, Gao X H, Yang L C, et al. Research on walking environment satisfaction of residents based on Ordered Probit Model: A case study of Gulangyu[J]. Chinese Landscape Architecture, 2020,36(11): 90-94.] DOI:10.19775/j.cla.2020.11.0090

[21] 韩亚楠,张希煜,段雪晴,等.北京朝阳区双井街道：基于儿童生活日志调研和空间观测的社区公共空间儿童友好性评估[J].北京规划建设,2020(3):43-48. [Han Y N, Zhang X Y, Duan X Q, et al. Shuangjing street, Chaoyang District, Beijing: Child-Friendliness evaluation of community public space based on children's life log survey and space observation[J]. Beijing Planning Review, 2020 (3):43-48.]

[22] 李昆澄,李欣.“城市双修”理念的街道质量评估方法研究——以武汉街道为例[J].城市建筑,2019,16(4):83-87,90. [Li K C, Li X. Research on street quality assessment method with the concept of urban "renovation and restoration": A case study of Wuhan streets[J]. Urbanism and Architecture, 2019,16(4):83-87,90.] DOI:10.19892/j.cnki.csjz.2019.04.016

[23] 杜娅薇,齐鹏,叶青.基于主成分分析法的高校校园步行环境评价[J].西部人居环境学刊,2020,35(4):97-103. [Du Y W, Qi P, Ye Q. Evaluation of university campus walking environment based on principal component analysis[J]. Journal of Human Settlements in West China, 2020, 35(4):97-103.] DOI:10.13791/j.cnki.hsfwest.20200413

[24] 李渊,黄竞雄.基于绿视衰减曲线的历史街区步行环境绿视感知评价——以厦门市中山路同文片区为例[J].风景园林,2020,27(11):110-115. [Li Y, Huang J X. Evaluation of green view perception of walking environment in historical blocks based on green view attenuation curve: A case study of Tongwen area, Zhongshan Road of Xiamen [J]. Landscape Architecture, 2020,27(11):110-115.] DOI: 10.14085/j.fjyl.2020.11.0110.06

[25] 徐磊青,孟若希,黄舒晴,等.疗愈导向的街道设计：基于VR实验的探索[J].国际城市规划,2019,34(1):38-45. [Xu L Q, Meng R X, Huang S Q, et al. Healing oriented street design: Experimental explorations via virtual reality [J]. Urban Planning International, 2019,34(1):38-45.] DOI:10.22217/upi.2018.496

[26] 叶宇,仲腾,钟秀明.城市尺度下的建筑色彩定量化测度——基于街景数据与机器学习的人本视角分析[J].住宅科技,2019,39(5):7-12. [Ye Y, Zhong T, Zhong X M. Quantitative measurement of architectural color at city scale: A humanistic perspective analysis based on street view data and machine learning[J]. Housing Science, 2019,39(5):7-12.] DOI:10.13626/j.cnki.hs.2019.05.002

[27] 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 Y, Zhang Z X, Zhang X H, et al. Human-scale quality on streets: A large-scale and efficient analytical approach based on street view images and new urban analytical tools[J]. Urban Planning International, 2019,34(1):18-27.] DOI:10.22217/upi.2018.490

[28] 崔成,任红艳,赵璐,等.基于街景影像多特征融合的广州市越秀区街道空间品质评估[J].地球信息科学学报,2020,22(6):1330-1338. [Cui C, Ren H Y, Zhao L, et al. Street space quality evaluation in Yuexiu District of Guangzhou City based on multi-feature fusion of street view imagery[J]. Journal of Geo-Information Science, 2020,22(6):1330-1338.] DOI:10.12082/dqxxkx.2020.200072

[29] Ewing R H. Characteristics, causes, and effects of sprawl: A literature review[M]// Marzluff J M, Shulenberger E, Endlicher W, et al. Urban Ecology. Boston, MA: Springer US, 2008:519-535. DOI:10.1007/978-0-387-73412-5_34

[30] 叶宇,黄鎔,张灵珠.多源数据与深度学习支持下的人本城市设计：以上海苏州河两岸城市绿道规划研究为例[J].风景园林,2021,28(1):39-45. [Ye Y, Huang R, Zhang L Z. Human-oriented urban design with support of multi-source data and deep learning: A case study on urban greenway planning of Suzhou creek, Shanghai[J]. Landscape Architecture, 2021,28(1):39-45.] DOI:10.14085/j.fjyl.2021.01.0039.07

[31] 郑屹,杨俊宴.基于大规模街景图片人工智能分析的精细化城市修补方法研究[J].中国园林,2020,36(8):73-77. [Zheng Y, Yang J Y. Research on elaborate urban repair planning approach based on AI analysis of large-scale street-view big data[J]. Chinese Landscape Architecture, 2020,36(8):73-77.] DOI:10.19775/j.cla.2020.08.0073

[32] 韩君伟,董靓.街道景观视觉评价量化指标及其有效性分析[J].西南交通大学学报,2015,50(4):764-769. [Han J W, Dong L. Quantitative indices of streetscape visual evaluation and their validity analyses[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2015,50(4):764-769.] DOI: 10.3969/j.issn.0258-2724.2015.04.028

[33] Ye Y, Zeng W, Shen Q M, 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. DOI:10.1177/2399808319828734

[34] 周韬,郑文晖,陈启泉.城市街道景观特征与连续性评价方法研究[J].风景园林,2019,26(3):99-104. [Zhou T, Zheng W H, Chen Q Q. Urban street landscape characteristics and continuity evaluation method[J]. Landscape Architecture, 2019,26(3):99-104.] DOI:10.14085/j.fjyl.2019.03.0099.06

[35] Tang J X, 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. DOI:10.1016/j.landu

rbplan.2018.09.015

[36] Ma X Y, Ma C Y, Wu C, et al. Measuring human perceptions of streetscapes to better inform urban renewal: A perspective of scene semantic parsing[J]. Cities, 2021, 110:103086. DOI:10.1016/j.cities.2020.103086

[37] Qiu W S, Li W J, Liu X, et al. Subjectively measured streetscape perceptions to inform urban design strategies for Shanghai[J]. ISPRS International Journal of Geo-information, 2021,10(8):493. DOI:10.3390/ijgi10080493

[38] Long J, Shelhamer E, Darrell T. Fully Convolutional Networks for semantic segmentation[J/OL]. https://arxiv.org/abs/1411.4038, 2021-10-11. DOI:10.48550/arXiv.1411.4038

[39] 李欣,李渊,任亚鹏,等.融合主观评价与眼动分析的城市空间视觉质量研究[J].建筑学报,2020(S2):190-196. [Li X, Li Y, Ren Y P, et al. Research on the urban spatial visual quality based on subjective evaluation method and eye tracking analysis[J]. Architectural Journal, 2020(S2):190-196.]

[40] 张章,徐高峰,李文越,等.历史街道微观建成环境对游客步行停驻行为的影响——以北京五道营胡同为例[J].建筑学报,2019(3):96-102. [Zhang Z, Xu G F, Li W Y, et al. The impact of the micro-scale built environment of historic street on visitor's walking behaviors: A case study on Wudaoying Hutong in Beijing[J]. Architectural Journal, 2019(3):96-102.] DOI:10.3969/j.issn.0529-1399.2019.03.014

[41] 刘敏,刘爱利.基于业态视角的城市建筑遗产再利用——以北京南锣鼓巷历史街区为例[J].旅游学刊,2015,30(4):115-126. [Liu M, Liu A L. Urban architectural heritage reuse from the perspective of industrial types: A case study of Nanluoguxiang street in Beijing City[J]. Tourism Tribune, 2015,30(4):115-126.] DOI:10.3969/j.issn.1002-5006.2015.04.011

[42] 李渊,黄竞雄,梁嘉祺,等.文化遗产地商业街道空间视觉吸引力及其感知的影响因素研究——以鼓浪屿龙头路为例[J].西部人居环境学刊,2022,37(2):114-121. [Li Y, Huang J X, Liang J Q, et al. Research on visual attraction and influencing factors of perception of commercial street space in cultural heritage site: Taking Gulangyu Longtou Road as an example[J]. Journal of Human Settlements in West China, 2022,37(2):114-121.] DOI:10.13791/j.cnki.hsfwest.20220216

[43] 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. [Ye Y, Zhang L Z, Yan W T, et al. Measuring street greening quality from humanistic perspective: A large-scale analysis based on Baidu street view images and machine learning algorithms[J]. Landscape Architecture, 2018,25(8):24-29.] DOI:10.14085/j.fjyl.2018.08.0024.06

[44] Yao Y, Liang Z T, Yuan Z H, 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. DOI:10.1080/13658816.2019.1643024

[45] 汪宇明.核心—边缘理论在区域旅游规划中的运用[J].经济地理,2002,22(3):372-375. [Wang Y M. Core-periphery geographical theory in regional tourism planning[J]. Economic Geography, 2002,22(3):372-375.] DOI:10.3969/j.issn.1000-8462.2002.03.029

[46] Weaver D B. Peripheries of the periphery: Tourism in Tobago and Barbuda[J]. Annals of Tourism Research, 1998, 25(2):292-313. DOI:10.1016/S0160-7383(97)00094-7

[47] 史春云,张捷,尤海梅,等.四川省旅游区域核心—边缘空间格局演变[J].地理学报,2007,62(6):631-639. [Shi C Y, Zhang J, You H M, et al. Core-periphery spatial structure and its evolution of tourism region in Sichuan Province [J]. Acta Geographica Sinica, 2007,62(6):631-639.] DOI:10.3321/j.issn:0375-5444.2007.06.008

[48] Auty R M. Sustaining development in mineral economies: The resource curse[M]. London: Routledge, 1993.

[49] 郭文炯."资源诅咒"的空间结构解析:核心边缘理论视角[J].经济地理,2014,34(3):17-23. [Guo W J. Analysis of the spatial structure of "resource curse": Based on the core-periphery theory[J]. Economic Geography, 2014,34(3):17-23.] DOI:10.15957/j.cnki.jjdl.2014.03.006

[50] Baland J M, Francois P. Rent-seeking and resource booms [J]. Journal of Development Economics, 2000,61(2):527-542. DOI:10.1016/S0304-3878(00)00067-5

[51] 陈海波,汤腊梅,许春晓.海岛度假旅游地重游者动机及其市场细分研究——以海南国际旅游岛为例[J].旅游科学,2015,29(6):68-80. [Chen H B, Tang L M, Xu C X. A study of the motivations of repeat visitors in island resorts and its market segmentation: A case study of HAINAN[J]. Tourism Science, 2015,29(6):68-80.] DOI:10.16323/j.cnki.lykx.2015.06.005

[52] 郑耀星,林文鹏,储德平.海岛型旅游地空间竞争与区域合作研究[J].旅游学刊,2008,23(12):58-62. [Zheng Y X, Lin W P, Chu D P. A study on the spatial competition and regional cooperation in island-type tourism destinations [J]. Tourism Tribune, 2008,23(12):58-62.] DOI:10.3969/j.issn.1002-5006.2008.12.015

[53] 李渊,郭晶,黄竞雄,等.海岛型旅游地空间形态对旅游者行为的影响研究——以福建省5个旅游岛为例[J].旅游学刊,2022,37(6):27-42. [Li Y, Guo J, Huang J X, et al. Research on the influence of the spatial form of island-type tourism destination on tourists' behavior: The case of five tourism islands in Fujian[J]. Tourism Tribune, 2022,37(6):27-42 .] DOI:10.19765/j.cnki.1002-5006.2022.00.002

本文图文责任编辑:蒋树芳 黄光玉