

乐山城区社区“宁静指数”构建及宁静地图绘制

陈燕, 彭琼, 林勇军, 刘舟, 周飞, 杨学峰, 凌彦群*

四川省乐山生态环境监测中心站, 四川 乐山

收稿日期: 2024年11月11日; 录用日期: 2024年12月10日; 发布日期: 2024年12月18日

摘要

研究了城市噪声问题及其对居民生活的影响。随着城市化发展, 城市声环境逐步恶化, 噪声问题日益严重。为解决此问题, 选取乐山市中心城区作为研究区域, 运用宁静评级预测工具(TRAPT)和“宁静感知理论”, 从区域混合度和物理噪声两个视角建立分析框架, 并引入了“宁静指数”指标。通过分析噪声投诉的时空分布特征及其与POI功能兴趣点数据的关系, 构建了“宁静指数”模型并绘制宁静地图, 为城市声环境管理和规划提供技术支持。

关键词

宁静指数, 宁静地图, 城市规划, 环境管理

Construction of “Tranquility Index” and Tranquility Mapping in Leshan Urban Community

Yan Chen, Qiong Peng, Yongjun Lin, Zhou Liu, Fei Zhou, Xuefeng Yang, Yanqun Ling*

Leshan Ecological Environment Monitoring Center Station of Sichuan Province, Leshan Sichuan

Received: Nov. 11th, 2024; accepted: Dec. 10th, 2024; published: Dec. 18th, 2024

Abstract

This study examines the urban noise issue and its impact on residents' lives. As urbanization progresses, the urban sound environment deteriorates, and noise pollution becomes increasingly

*通讯作者。

文章引用: 陈燕, 彭琼, 林勇军, 刘舟, 周飞, 杨学峰, 凌彦群. 乐山城区社区“宁静指数”构建及宁静地图绘制[J]. 声学与振动, 2024, 12(4): 146-155. DOI: 10.12677/ojav.2024.124014

severe. To address this issue, this paper selects the Leshan urban area to study, employing the Tranquillity Rating Prediction Tool (TRAPT) and the “Perceived Tranquillity Theory” to establish an analytical framework from the perspectives of regional mix and physical noise, and introduces the “Tranquillity Index” indicator. By analyzing the spatial-temporal distribution characteristics of noise complaints and their relationship with POI data, this paper verifies the correctness of the “Tranquillity Index” model, providing technical support for urban sound environment management and urban planning.

Keywords

Tranquillity Index, Tranquillity Map, Urban Planning, Environment Management

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着城市的发展,噪声污染被认为是一大环境风险。高分贝噪声会扰乱睡眠,淹没生活在城市地区中许多动物物种间积极有益的声音交流,进而损害人类健康、影响整个生物多样性[1]。2024年,全国生态环境信访投诉举报管理平台接到的公众投诉举报达25.5万余件,噪声扰民问题占全部生态环境污染举报的61.3%,排在各环境污染要素的第1位[2]。“实施噪声污染防治行动,加快解决群众关心的突出噪声问题”[3],打造和创建“消除杂音、睡得安心”的宁静小区[4]、安静居住小区[5],“还自然以宁静、和谐、美丽”,是公众对城市环境的新期待、新要求[6]。

城市噪声受声源、时空分布、城市形态和受众听觉灵敏度等因素的影响[7]。1996年,欧盟提出“安静区”的定义,并引入“安静适宜性指数(QSI)”,以此判定城市潜在的安静地区[8]。围绕“宁静”关键词,哈尔滨工业大学孟琪教授研究组,使用扎根理论,通过访谈形式,建立宁静感知理论,并定义了城市宁静区域[9]。“宁静指数”的创建方法有AHP层次分析法[10]、贝叶斯优化模糊聚类法[11]、多元结构分析法[12]等。TRAPT(宁静评价预测工具)使用了自然地理特征的数据源,其数据源具有易获得性和稳定性,减少了人为主观臆断特点[13],该评级预测工具在多个场景中得到应用[14]。

基于以上背景,本研究以乐山市市中区中心城区(以下简称乐山市中心城区)为研究区域,运用TRAPT和“宁静感知理论”,基于K-mean聚类分析,引入区域功能混合度[15],量化TRAPT中的参数,使用网格面积加权建立“宁静指数”,绘制乐山市中心城区居民小区昼、夜“宁静指数”地图。

2. 数据说明

2.1. 研究区域概述

研究区域乐山市中心城区,地处四川盆地向西南山地过渡地带,总体趋势西南高,东北低,属于亚热带季风性湿润气候,是全市的经济、文化、政治中心。乐山市中心城区山水相依,位于城市西南边的嘉州绿心公园,东至青果山、西接青衣江、南临成都理工大学、北靠竹公溪和柏杨西路片区,占地9.8平方公里,公园内动植物生态多样性丰富,是中国地级市中最大的城市绿心,有着“乐山城市之肺”的美称;岷江、青衣江、大渡河三江绕城,发源于青衣江的竹公溪穿城而过后汇入岷江,故乐山市中心城区被誉为“森林在城市中,城市在山水中”。

2.2. 数据来源

将乐山市中心城区按 500 m × 500 m 划分为 127 个区域网格，在每个网格内布设 1 个监测点位，用爱华 AWA 6228 声级计按照《环境噪声监测技术规范城市声环境常规监测》(HJ 640-2012)，在无雨雪、无雷电天气，风速 5.0 m/s 以下，监测点位高度距离地面 1.2 m 以上，分别在昼间工作时间和夜间 22:00~24:00 内进行，避开节假日和非正常工作日，每个监测点位测量 10 min 的等效连续 A 声级 Leq。本研究使用的 AOI(兴趣面)、POI(兴趣点)数据来自高德地图，其中将 POI 分为四个功能类别，即休闲娱乐服务、餐饮服务、社会服务、商超服务。此外，我们还提取了“海棠社区”中乐山市中心城区的噪声投诉记录，作为对 POI 数据的补充。

3. 数据描述与分析

3.1. 居民小区昼、夜噪声等效声级分析

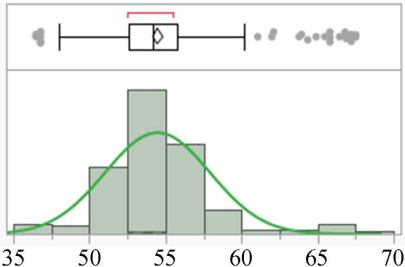
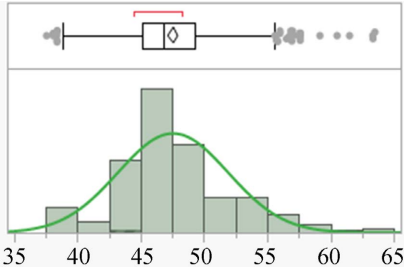
乐山市中心城区居民小区共计 434 个，分布在 127 个 500 m × 500 m 的网格内，使用 Qgis 软件计算小区面积及小区被网格分割后的面积，根据居民小区所在网格昼夜等效声级面积加权后计算得出居民小区等效声级，公式如下：

$$S_Leq = \frac{1}{S_Area} \times \sum_i^n (S_Area_{(i)} \times S_Leq_{(i)})$$

其中： S_Leq 为居民小区等效声级； $S_Leq_{(i)}$ 为 i 网格的等效声级； S_Area 为居民小区面积； $S_Area_{(i)}$ 为居民小区在 i 网格内的面积。

Table 1. Statistical table of equivalent sound level at day and night in Leshan

表 1. 乐山市城市小区昼、夜等效声级统计表

小区昼间等效声级		小区夜间等效声级	
			
均值	54.484	均值	47.555
标准差	3.449	标准差	4.353
均值标准误差	0.166	均值标准误差	0.209
95% 均值上限	54.809	95% 均值上限	47.966
95% 均值下限	54.159	95% 均值下限	47.144
Shapiro-Wilk	0.897	Shapiro-Wilk	0.958
Prob < W	<0.0001*	Prob < W	<0.0001*
数目	434	数目	434

备注：**：在 0.01 水平(双侧)上显著相关，*：在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

结果经统计：居民小区昼间等效声级均值为(54.5 ± 3.4) dBA (95% 置信区间为 54.38~54.2 dBA)，夜间

等效声级均值为 (47.5 ± 4.3) dBA (95%置信区间为 48.0~47.2 dBA), 反映了乐山市中心城区居民小区噪声相对较好, 经 Normality Test 检验, 昼间等效声级 Shapiro-Wilk $W = 0.897$, $p < 0.0001^*$, 夜间等效声级 Shapiro-Wilk $W = 0.958$, $p < 0.0001^*$, 表明测量过程未出现突发或偶发性异常数值, 数据不需要剔除, 能体现小区声环境状况, 见表 1。

3.2. 乐山市中心城区 POI (兴趣点) 分布分析

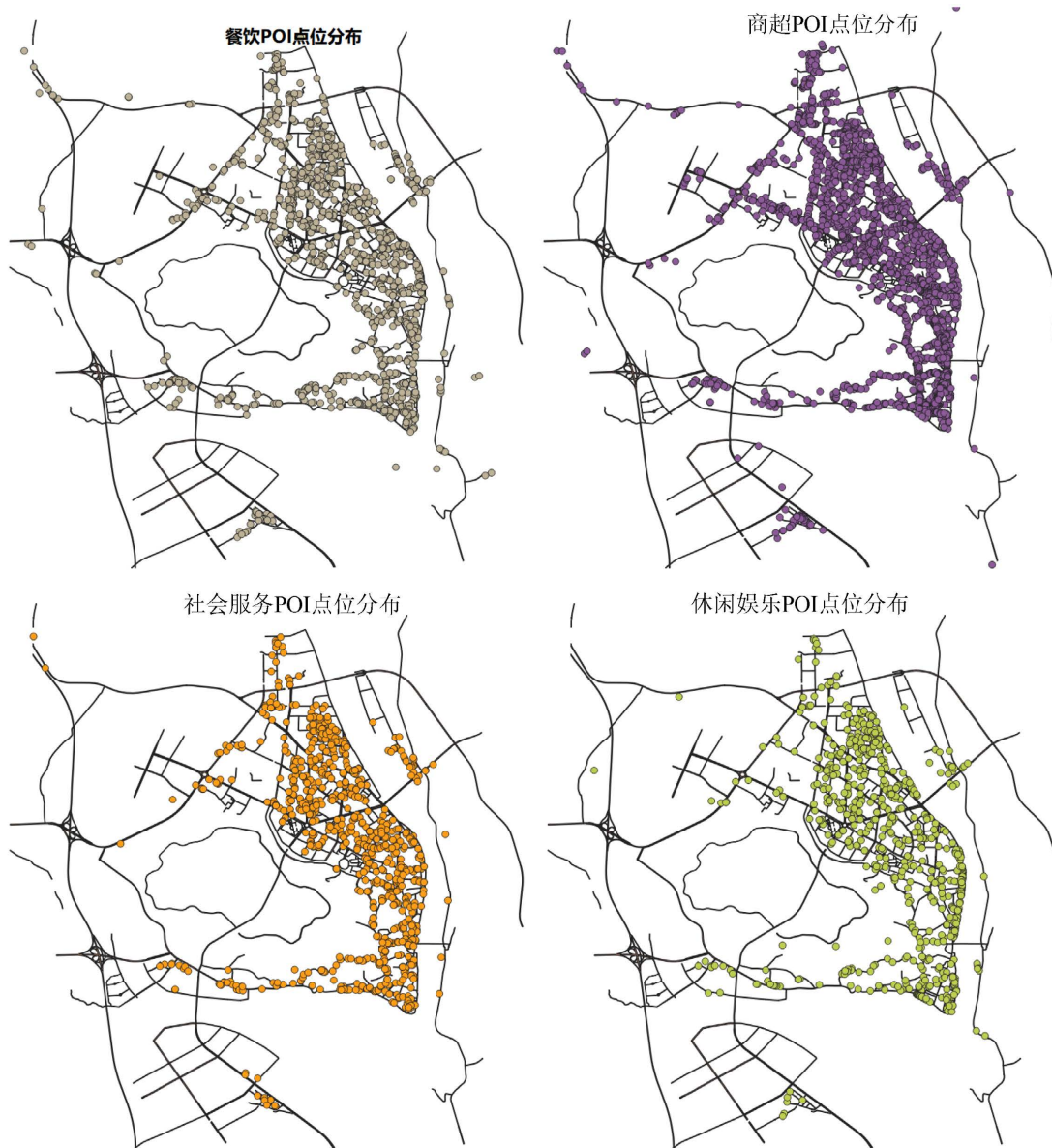


Figure 1. Distribution map of functional areas in the main urban area of Leshan
图 1. 乐山市中心城区功能区分布图

乐山市中心城区自古就以“水路通畅”而闻名, 成就了“码头文化”, 造就了居民“依山而聚, 伴水而生”的“山水休闲”生活习俗, 故乐山市中心城区居民主要聚集在城市东北部, 即岷江、大渡河、竹公溪沿河以及绿心公园外围周边, 这些区域休闲娱乐服务、餐饮服务、社会服务、商超服务等 POI (兴趣点)

数量众多、类型完善；而城市西南部高新区、高铁片区居民等新发展区域则较分散，POI(兴趣点)数量也较少且不完备，这与乐山东北低、西南高的地形特征相吻合。见图 1。

综上，居民的聚集倾向于便捷、高效，居民聚集程度越高 POI(兴趣点)分布越密集、类型越丰富。乐山市中心城区 POI(兴趣点)分布不均，呈现东北部聚集、丰富，西南分散、稀缺的特点。

3.3. “海棠社区” 投诉数据分析

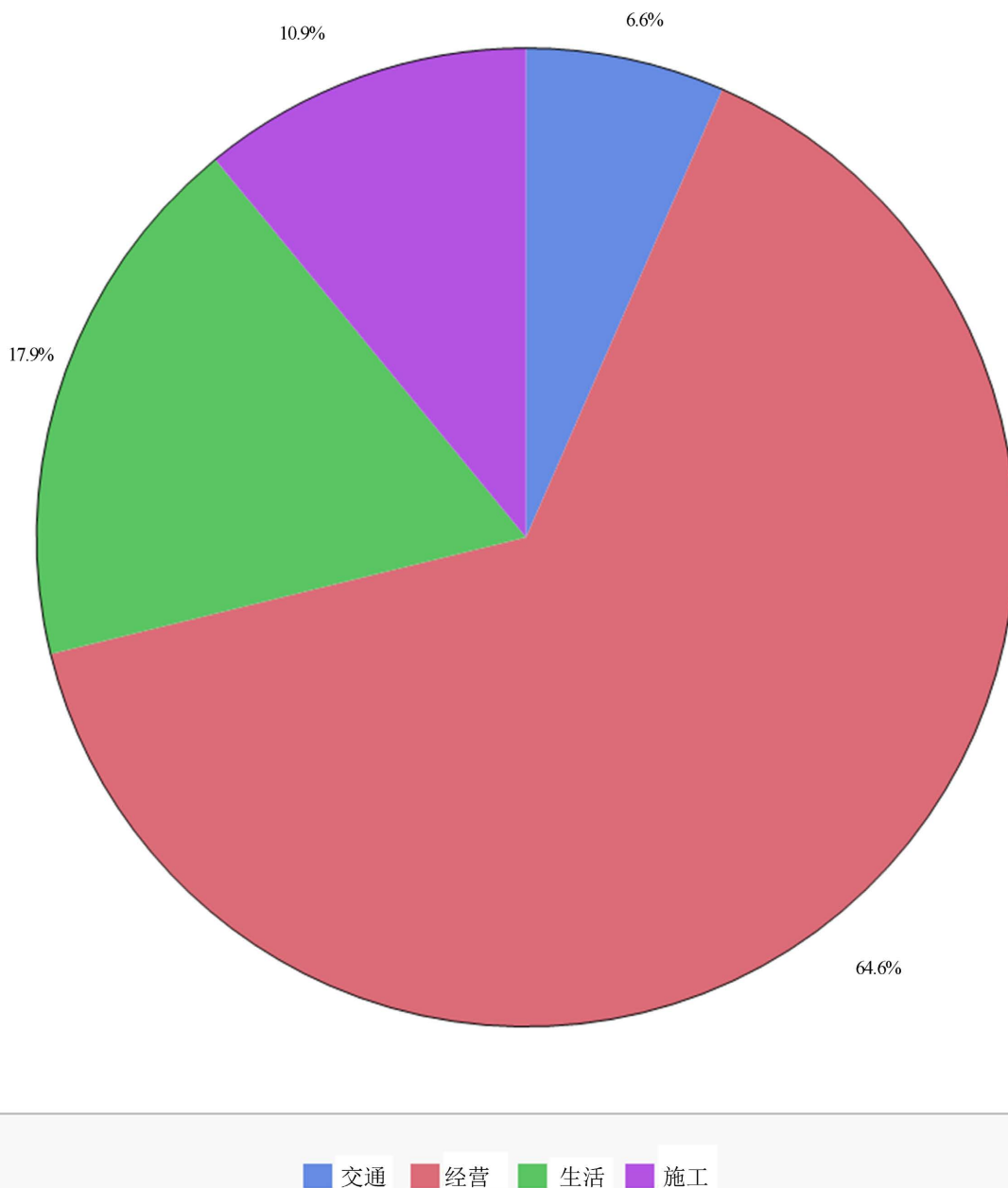


Figure 2. Statistical chart of complaints against “Haitang Community”

图 2. “海棠社区” 投诉统计图

城市噪声对居民身心健康的影响逐渐成为公众讨论的热点话题。公众参与作为多源数据的重要组成部分，体现了公众对噪声的直观感知。“海棠社区”是乐山本地综合性门户论坛，其中民意区为乐山本

地最大的网络民意聚集区，是收集城市居民对事件投诉和声音的最直接方式之一。它也是社会感知数据的重要来源。“海棠社区”平台收到信息后，将形成工单，根据投诉类别转发到政府相应部门。最后，他们会就投诉人的处理结果提供意见。该平台收集的数据具有权威性强、覆盖用户全的特点，可以直接反映乐山市城市治理中存在的问题。同时，这些数据的特征对市民进行了感官和情感导向，可以为城市规划和城市管理研究提供参考。

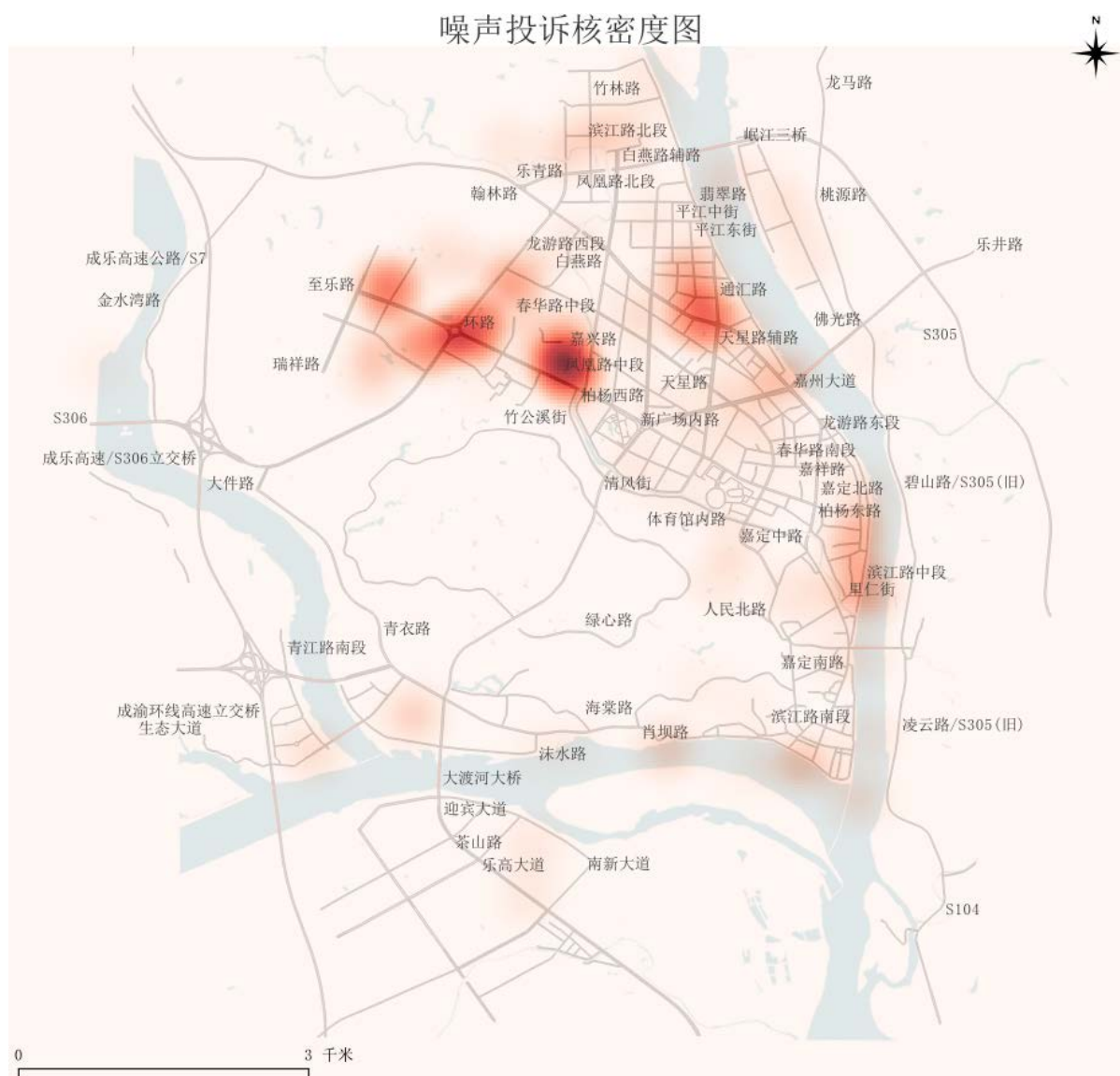


Figure 3. Noise complaint kernel density map

图 3. 噪声投诉核密度图

本研究收集了“海棠社区”2020~2023年关于乐山市中心城区的公共噪音投诉数据共计269起，从投诉类型看：其中经营性投诉173起(占比64.6%)，生活类投诉49起(占比17.9%)，施工类投诉29起(占比10.9%)，交通类投诉18起(占比6.6%)，见图2。

核密度是一种用于了解地理位置变化模式的空间数据分析程序。核密度分析是利用投诉点密度分布探索他们所在的空的关系，核密度估计方法充分利用了原始数据，结果几乎不受主观影响的因素，

具有渐进变化和揭示细节特征的能力。

通过分析噪声投诉的核心密度,颜色较深的区域表示噪声投诉的密度较高,颜色较浅的区域表示噪声投诉的发生频率较低。噪声投诉核密度图显示:噪声投诉主要集中在经营类场所(娱乐场所、餐饮、商超等)和道路交通高密度区。例如长青路环路、凤凰路中段地段投诉较多;天星路的通江片区、滨江路的城南片区附近的生活、经营性噪音投诉非常集中,符合商圈游客密度高、商业推广的实际情况。这两个片区的老社区和老市场较多,因此不可避免地会有居民对商业经营的噪音投诉。见图 3。

以上说明:居民生活对城市声环境有显著影响,居民聚集程度、POI(兴趣点)分布特征与城市声环境分布相关联。一方面居民喜欢向“交通便捷性高”、“功能选择性多样化”的地点聚集;另一方面也有 70.5%的居民认为正受到“交通便捷性高”、“功能选择性多样化”所带来的噪声影响。

3.4. K-mean 聚类分析

聚类是以数据共有的特征,将数据分成多个类别,以便于进一步观察和分析。K-mean 聚类法作为聚类分析中常用的一种聚类方法,被广泛使用。为更好地探讨噪声投诉与 POI(兴趣点)之间的关系,本研究运用 K-mean 聚类分析方法,并引入基于 POI(兴趣点)区域功能混合度指标,其值与各类 POI 类型的总数、以及每种类型的百分比有关。区域功能混合度值越高,说明该网格功能程度越高,所能提供的服务类型越多样、越完整,且该网格被某一 POI 类型主导的可能性越小。计算公式如下:

$$S = -\sum_i^n (p_{(i)} \times \log_{10} p_{(i)})$$

其中, S 为区域功能混合程度; i 为某网格内 POI 类型的数量; $P_{(i)}$ 为某一类型在所有类型中所占的比例。

Table 2. Number of complaints-regional functional mixing K-mean (K = 3) of clustering ANOVA

表 2. 投诉数量 - 区域功能混合度 K-mean (K = 3) 聚类方差分析表

源	自由度	平方和	均方	F 比	概率 > F
聚类	2	1.483	0.742	80.415	0.0001*
误差	64	0.59	0.009		
校正总和	66	2.073			

备注: **: 在 0.01 水平(双侧)上显著相关, *: 在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

Table 3. Equivalent sound level of apartment complex-regional functional mixing (K = 3) of clustering ANOVA

表 3. 居民小区等效声级 - 区域功能混合度(K = 3)聚类方差分析表

	源	自由度	平方和	均方	F 比	概率 > F
昼间方 差分析	聚类	2	144.215	72.107	4.651	0.0099*
	误差	693	10744.721	15.505		
	校正总和	695	10888.936			
夜间方 差分析	聚类	2	154.683	77.342	3.696	0.0253*
	误差	693	14502.192	20.927		
	校正总和	695	14656.876			

备注: **: 在 0.01 水平(双侧)上显著相关, *: 在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

使用 K-mean (K = 3) 聚类, 对投诉数量、居民小区等效声级与区域功能混合度进行分析, 结果表明:

投诉数量与区域功能混合度的方差统计检验结果： $F \text{ Ratio} = 80.415$ ， $p < 0.0001^*$ ；对居民小区等效声级与区域功能区混合度的方差统计检验结果：居民小区昼间 $F \text{ Ratio} = 4.651$ ， $p = 0.0099^* < 0.05$ ，夜间 $F \text{ Ratio} = 3.696$ ， $p = 0.0253^* < 0.05$ 。表明在空间维度上，区域功能混合度与噪声投诉数量、居民小区等效声级之间具有一定的相关性，即存在明显的聚集特征，呈现出 POI 功能混合度越高、功能越丰富的地方，噪音投诉越多的趋势，见表 2、表 3 和图 4。

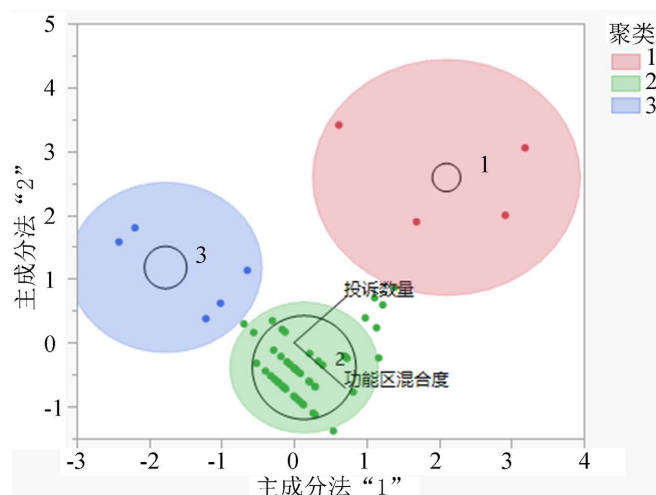


Figure 4. K-mean clustering diagram of the number of complaints-regional functional mixing degree
图 4. 投诉数量 - 区域功能混合度 K-mean 聚类图

4. 指标体系建立与噪声地图的绘制

4.1. “宁静指数”体系的建立

1) 宁静评价预测(TRAPT): 指小区声景环境的感知。

$$TR = 10.55 + 0.041 \times S - 0.146 \times S_{Leq} + MF$$

其中， TR 为宁静评价预测值； S 为功能混合度与投诉数量的聚类参数的距离，作为自然特征所占的百分比； MF 为功能混合度与投诉数量的聚类参数的类别，作为调节参数。

2) 宁静指数(Tranquility Index): 指 i 小区宁静感知经过归一化处理，形成 60~100 区间的指数。

$$TRI_{(i)} = 60 \times e^{-\frac{TR_{(i)} - \min(TR)}{\max(TR) - \min(TR)} \times \ln(0.6)}$$

其中， $TRI_{(i)}$ 为宁静指数值； $\min_{(TR)}$ 为宁静评价预测中最小值； $\max_{(TR)}$ 为宁静评价预测中最小值。

4.2. “宁静指数”地图的绘制

Table 4. Top 10 of “Tranquility Index” at day and night in Leshan urban district

表 4. 乐山市中心城区居民小区昼、夜“宁静指数”前 10 排名

排名	小区名称	日间指数	小区名称	夜间指数
1	半山别院小区	100	七星海棠	100
2	三江新港	98	学生宿舍	97
3	乐天家园	98	海棠花苑	97

续表

4	惠安苑	98	海棠苑	97
5	江鳞御景	98	半山枫景	97
6	新光花园	98	锦绣星城	93
7	乐水上城	98	电子花苑	92
8	三江华府	98	三江新港	92
9	嘉州新城学府花园 2 期	97	乐天家园	92
10	邦泰名门外滩	96	惠安苑	92

根据上述方法,使用 2023 年乐山区域噪声数据,绘制了乐山市中心城区居民小区昼、夜“宁静指数”地图。“宁静指数”的数值越高说明小区越安静,数值由低到高在地图上呈现为从红色到绿色,见图 5。2023 年乐山市中心城区小区昼、夜“宁静指数”前 10 排名,见表 4。

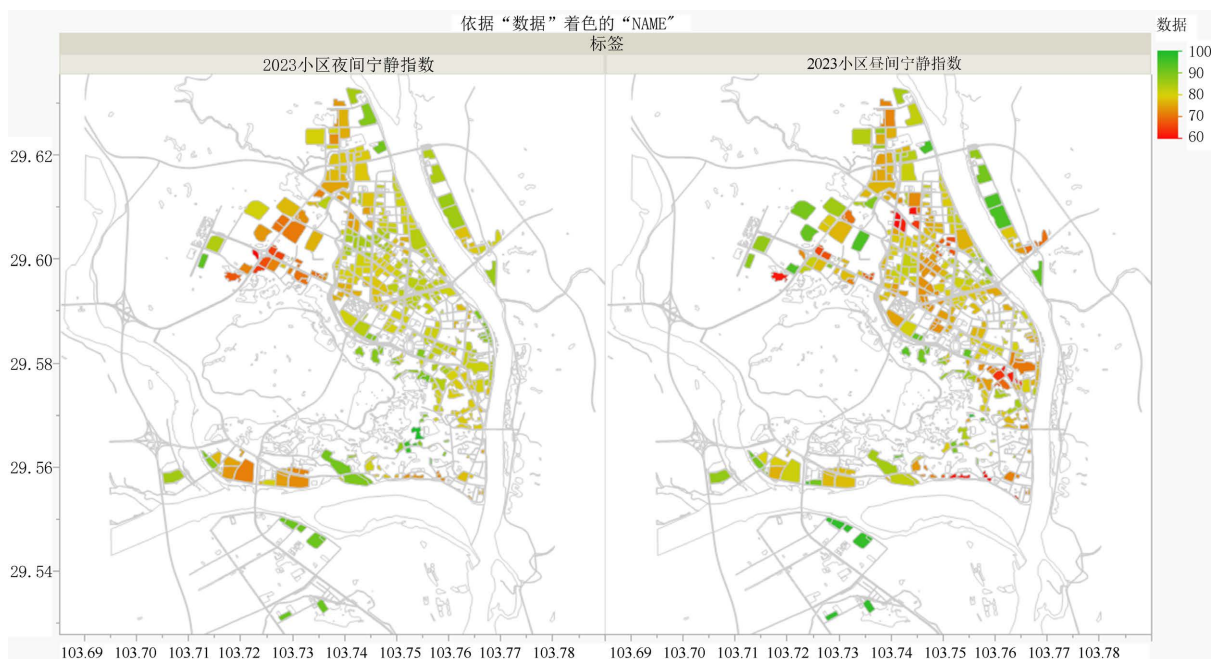


Figure 5. Day and night “Tranquility Index” map of Leshan urban district in 2023

图 5. 2023 年乐山市中心城区小区昼、夜“宁静指数”地图

5. 结论与意义

从地理位置看,乐山市中心城区主体功能分布不均匀,主要沿岷江、大渡河及竹公溪沿岸分布,呈东北密集、西南分散的特点;从空间维度看,乐山市中心城区的居民小区声环境等效声级和噪声投诉数量与区域功能区混合度之间具有明显的聚集特征,体现在功能混合度越高、服务越丰富的地方,噪声投诉越多;从投诉类型看,噪声投诉主要集中在“经营类”的投诉,说明公众在希望“出行更便捷”、“服务更多样”的同时,也将其认为是“噪声污染”的主要来源。

建议:

- 1) 加快疏解城市主体功能。健全、完善新发展区域主体功能建设,使区域功能由高密度区域向低密

度区域进行疏解。

2) 优化城市空间格局。合理规划休闲娱乐、餐饮服务、社会服务、商超服务等功能主体, 设置小区安全距离。

3) 加强高噪声区域的管理。对繁华商业区、交通流量大的道路, 通过科学管理减少噪声污染, 增加居民的幸福感受。

“宁静指数”直观反映公众对城市声环境的感知和感受, 通过绘制“宁静地图”, 为政府创建“宁静小区”及管理城市声环境提供技术支持, 同时使公众参与度更高效、更直观。

基金项目

感谢乐山市 2023 年科技计划项目(23SZD025)资助。

参考文献

- [1] 联合国环境规划署. 2022 年前沿报告: 噪声、火灾和物候不匹配——新兴环境问题[EB/OL]. <https://www.unep.org/zh-hans/resources/2022nianqianyanbaogaogaoyinhuozaihewuhoubupipei>, 2022-02-17.
- [2] 中华人民共和国生态环境部. 2024 年中国环境噪声污染防治报告[R]. <https://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjzk/hjzywr/202408/W020240829356736814731.pdf>, 2024-08-29.
- [3] 中共中央国务院. 中共中央国务院关于深入打好污染防治攻坚战的意见[EB/OL]. https://www.mofcom.gov.cn/zcfb/zgdwjmywg/art/2022/art_19e9611933cf4a18bf862d6175fa64a3.html, 2021-11-02.
- [4] 中华人民共和国生态环境部. 《关于推进宁静小区建设的指导意见(征求意见稿)》环办便函(2024)320 号[EB/OL]. https://www.mee.gov.cn/xxgk/xxgk/xxgk06/202410/t20241008_1087440.html, 2024-10-08.
- [5] 吴艳聪. 宁静小区的创建探讨[J]. 厦门科技, 2022(6): 17-20.
- [6] 中华人民共和国生态环境部. 《“十四五”噪声污染防治行动计划》环大气〔2023〕1 号[EB/OL]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2023-01/10/content_5736095.htm, 2023-01-03.
- [7] Guo, L., Cheng, S., Liu, J., Wang, Y., Cai, Y. and Hong, X. (2022) Does Social Perception Data Express the Spatio-Temporal Pattern of Perceived Urban Noise? A Case Study Based on 3,137 Noise Complaints in Fuzhou, China. *Applied Acoustics*, **201**, Article ID: 109129. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2022.109129>
- [8] 欧盟. 欧盟环境噪声指令(2002/49/EC) [S]. 2002: 12-25.
- [9] Yan, W., Meng, Q., Yang, D. and Li, M. (2024) Developing a Theory of Tranquility in Urban Public Open Spaces for Future Designs. *Applied Acoustics*, **217**, Article ID: 109824. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2023.109824>
- [10] 程志坚, 朱志刚, 吴枫琪, 蔡泽藩, 孙椿兴, 等. 基于层次分析法-模糊综合评价法的住宅舒适度评价体系研究[J]. 武汉工程大学学报, 2024, 46(3): 337-342, 348.
- [11] 曾宇, 姚琨, 任爽, 卢文武, 等. 贝叶斯优化模糊聚类地级行政区声环境[J]. 应用声学, 2024, 43(2): 385-392.
- [12] Yang, D., Cao, X. and Meng, Q. (2022) Effects of a Human Sound-Based Index on the Soundscapes of Urban Open Spaces. *Science of the Total Environment*, **802**, Article ID: 149869. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149869>
- [13] Pheasant, R.J., Horoshenkov, K.V. and Watts, G.R. (2010) Tranquillity Rating Prediction Tool (TRAPT). *Acoustic Bulletin*, **35**, 18-24.
- [14] Watts, G. (2017) The Effects of “Greening” Urban Areas on the Perceptions of Tranquillity. *Urban Forestry & Urban Greening*, **26**, 11-17. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.05.010>
- [15] Si, Y., Xu, L., Peng, X. and Liu, A. (2022) Comparative Diagnosis of the Urban Noise Problem from Infrastructural and Social Sensing Approaches: A Case Study in Ningbo, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **19**, Article No. 2809. <https://doi.org/10.3390/ijerph19052809>