

招远市城市声环境质量的时空分异与功能区特征研究

李佳玲 王罗静 罗希
上海电力大学 上海 201306

摘要：城市噪声污染已成为影响居民生活质量的重要环境问题。本研究以山东省招远市412个区域噪声监测点为研究对象，基于单一时点监测数据，综合运用描述性统计、功能区分类、超标评价、空间聚类及地图可视化等方法，系统分析了招远市声环境的空间分布特征、不同功能区的噪声差异及超标状况，为中小城市噪声污染防治提供了实证依据。结果表明：招远市整体噪声水平为 49.19 ± 5.81 dB，总体超标率为8.5%，空间分异显著。其中，工业区噪声均值最高（50.54dB），农村居民点最低（47.05dB），超标点主要集中在自然区域（超标率50.0%）、公共机构（18.6%）和城市居民区（13.2%），工业区和商业区因执行标准较宽松未出现超标。同时，本研究聚类分析识别出4类噪声模式，得出工业噪声是主导因素，并绘制了噪声分布地图，直观显示出噪声高值区沿工业园区和主干道呈集聚分布。研究认为，招远市声环境质量总体良好，但部分自然区域和公共机构的噪声超标需引起重视，建议加强敏感区域的噪声管控，优化功能区规划，并完善噪声监测网络。

关键词：声环境质量；空间分异；功能区；噪声超标；招远市

1 引言

随着城市化进程加速，噪声污染已成为仅次于空气污染的第二大环境健康风险因素。我国噪声治理形势严峻，而城市噪声具有明显的空间异质性和功能区差异性，精准识别噪声分布特征与超标风险是精细化治理的前提。中小城市噪声分布规律具地域性，招远市作为以黄金产业为支柱的县级工业城市，其声环境研究对同类城市具参考价值。现有研究监测样本量有限，本研究依托412个覆盖全市各类功能区的监测点，结合GIS空间分析与聚类方法，弥补县级工业城市研究不足，明确招远市声环境空间分异、功能区差异及超标状况，为噪声治理提供依据。

2 数据与方法

2.1 研究区概况

招远市位于山东半岛西北部，总面积1432平方公里，常住人口约54万，素有“中国金都”之称，以黄金产业为主，辅以轮胎制造等工业，工业区集中在东北部和南部，居民区分布于城区及周边乡镇。



图1 招远市及周边乡镇分布图[1]

2.2 数据来源

本研究数据来源于烟台市生态环境部门公开的烟台公共数据开放网^[2]，采集于2024年8月27日，为单一时点数据，包含412个监测点的地点名称、编号及等效连续A声级，覆盖各类功能区，空间分布均匀，可支撑空间分布特征分析。

2.3 研究方法

依据《声环境质量标准》（GB3096-2008）^[3]中声环境功能区的划分原则，结合监测点名称中的关键词，本文将412个监测点划分为工业区、商业区、城市居民区等9类功能区，并采用对应功能区昼间噪声限值评价超标状况，运用描述性统计、单因素方差分析、K-means聚类及地理编码可视化等方法，分析噪声分布特征与差异，统计显著性水平 $\alpha = 0.05$ 。

表1 各功能区昼间噪声限值

功能区	噪声限值 (dB)
工业区	65
商业区、交通干线两侧	60
居民区（城市和农村）、公共机构、文化休闲区	55
自然区域	50
其他类	55

3 结果与分析

3.1 噪声总体特征

招远市412个监测点噪声值的基本统计量如表2所示。噪声值范围为37.8dB至62.7dB，平均值为49.19dB，标准差为5.81dB。中位数为50.30dB，略高于均值，最

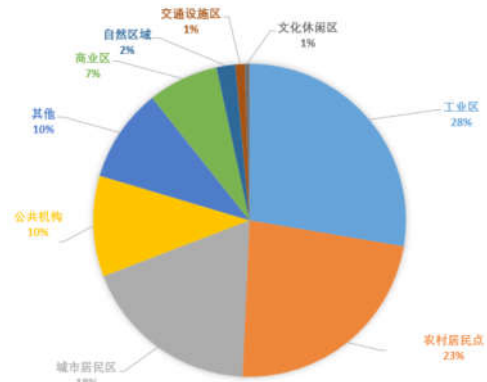
小值出现在公共机构“农行城北储蓄所”（37.8dB），最大值出现在公共机构“招远市公路管理局入口”（62.7dB）。

表2 噪声值描述性统计

统计量	分贝数值 (dB)
样本量 $sum = \sum_{i=1}^N x_i$	412
平均值 $\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$	49.19
标准差 $s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$	5.81
最小值 $\min(X_k)$	37.8
最大值 $\max(X_k)$	62.7
中位数	50.30

3.2 不同功能区噪声差异

功能区分类显示，412个监测点的功能区分布呈现明显的梯度特征（图2）。其中，工业区监测点数量最多，占比超四分之一，凸显了招远市以工业为主导的用地结构。农村与城市居民区合计占比超过四成，反映了城乡并存的居住格局。公共机构、商业区、自然区域、交通设施区及文化休闲区依次递减，后两类占比均不足1%。整体分类覆盖了全市主要用地类型，样本具有良好的代表性。



各功能区监测点数量分布

图2 各功能区监测点数量分布

设研究区域内共布设N个监测点，测得噪声声压级数据为 $\{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ （单位：dB）。根据土地利用类型将监测点划分为K个功能区，第k个功能区包含 n_k 个监测点，其噪声数据集记为 $X_k = \{x_{k1}, x_{k2}, \dots, x_{kn_k}\}$ ，满足 $\sum_{k=1}^K n_k = N$

对于第k个功能区，其样本均值 \bar{x}_k 和样本标准差 s_k 分别为：

$$\bar{x}_k = \frac{1}{n_k} \sum_{j=1}^{n_k} x_{kj}, \quad s_k = \sqrt{\frac{1}{n_k - 1} \sum_{j=1}^{n_k} (x_{kj} - \bar{x}_k)^2}$$

计算可得各功能区噪声值的箱线图如图3所示。

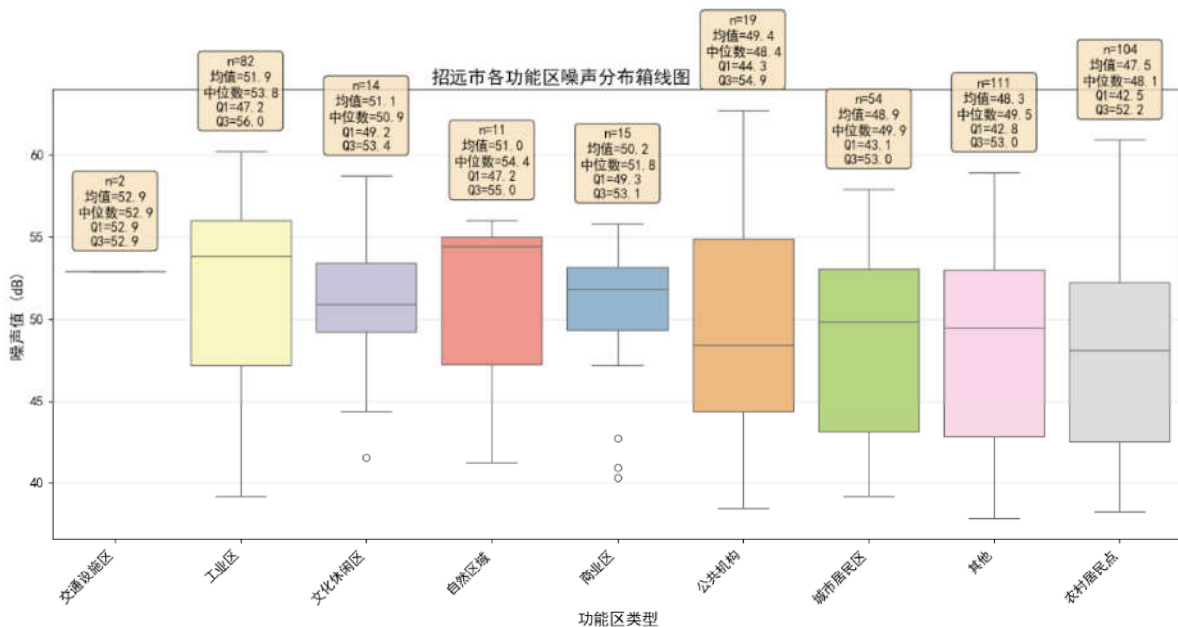


图3 招远市各功能区噪声分布箱线图

从图中可以看出：招远市各功能区噪声水平差异显著。工业区噪声最高（中位数51.90dB）且内部变异最

大，部分点位接近60dB；农村居民区噪声最低（中位数45.70dB），但存在受工业影响的离群点。公共机构与

其他类中位数接近工业区，前者超标点多邻近工业区或交通干线，后者可能包含工业特征点位。商业区整体集中，文化休闲区最为安静（均为47.9dB）。交通设施区和自然区域样本量少，参考价值有限。总体而言，工业噪声是主导因素，部分敏感功能区受到明显的工业或交通辐射。

为检验不同功能区噪声均值是否存在显著差异，并识别差异来源，本研究进行单因素方差分析（ANOVA）^[4]，核心公式为： $F = \frac{MSB}{MSW}$ （其中 $MSB = \frac{SSB}{K-1}$ 、 $MSW = \frac{SSW}{N-K}$ ，SSB为组间离差平方和，SSW为组内离差平方和，K为功能区数量，N为总样本量），结果显示不同功能区噪声均值存在极显著差异（ $F = 2.85$ ， $df1 = 8$ ， $df2 = 403$ ， $p = 0.004 < 0.01$ ）。

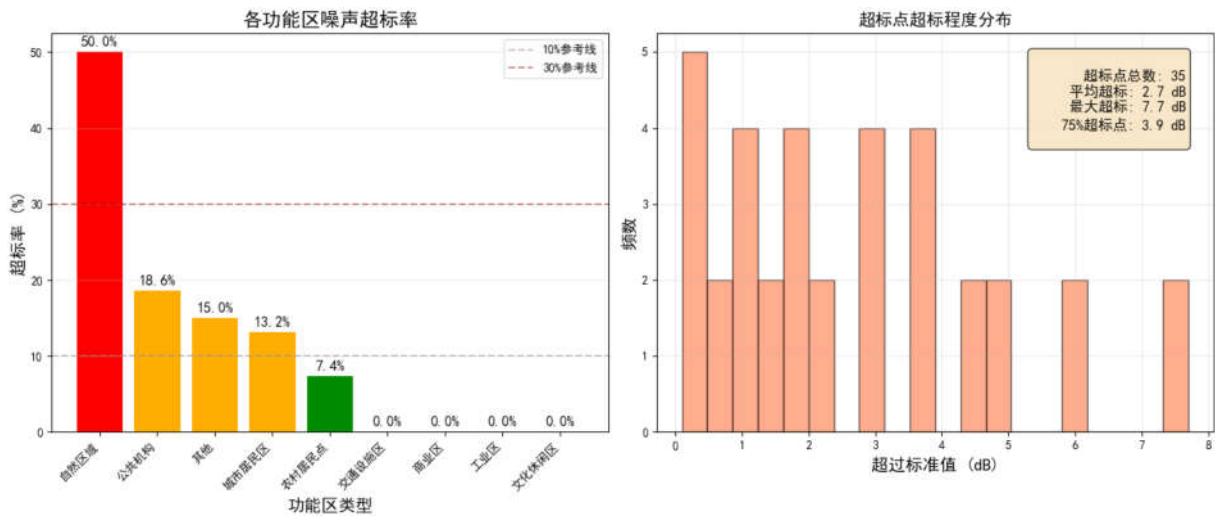


图4 超标点超标程度分布图与各功能区超标率直方图

3.4 相关性分析

对噪声实测值、标准限值、超标值及用地类型（是否工业、是否居住、是否商业）进行Pearson相关性分析并绘制热力图（图5），计算公式为：

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

热力图中，颜色越红表示正相关越强，颜色越蓝表示负相关越强，格内数字为相关系数r，显著性水平标注为： $p < 0.05$ ， $p < 0.01$ ， $p < 0.001$ 。

结果显示：噪声值与工业用地属性呈显著正相关（ $r = 0.23$ ， $p < 0.001$ ），与居住用地属性呈显著负相关（ $r = -0.16$ ， $p < 0.001$ ）；标准限值与工业用地属性呈高度正相关（ $r = 0.96$ ），反映工业用地噪声标准阈值较高；超标值与噪声实测值呈正相关，与标准限值呈负相关，印证

之后，采用 Tukey HSD 方法进行事后多重比较，核心公式为： $HSD = q_\alpha (K, N - K) \sqrt{\frac{MSW}{n}}$ （ q_α 为临界值， n 为样本量），检验仅显示农村居民点与工业区噪声均值差异极显著（平均差 = -3.49dB， $p < 0.001$ ）。

3.3 噪声超标分析

按照2.3节的标准，计算各监测点是否超标。结果显示（图4），412个监测点中，共有35个点超标，总体超标率为8.5%，平均超标值为2.7dB，无严重超标点。从空间分布来看，超标点分布呈现两种类型：一类集中在城区中部和北部的公共机构与居民区密集区域；另一类为自然区域超标点（如凤凰岭公园），主要分布在城区外围，受邻近道路或工业区影响。

了标准越严格、实测值越高，超标风险越大。

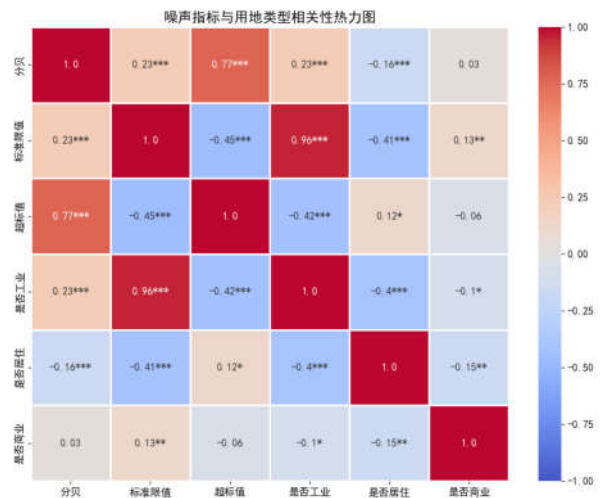


图5 噪声指标与用地类型相关性热力图

3.5 噪声空间分布特征

3.5.1 基于地点特征的聚类分析

基于监测点名称中提取的三个数值特征（是否含工业、商业、居民关键词），采用K-means聚类算法（ $k = 4$ ，通过肘部法则确定），将412个监测点划分为4类噪声模式。聚类结果显示：工业主导类噪声均值最高（51.83dB），居民主导类噪声均值最低（48.00dB），其他类和商业主导类噪声均值居中，进一步验证工业噪声是主导因素。

表3 各聚类噪声统计及主要功能区

聚类编号	点数	平均噪声 (dB)	标准差	主要功能区
0	158	48.00	5.64	居民区
1	154	48.86	5.77	其他
2	85	51.83	5.57	工业区
3	15	50.21	5.06	商业区

3.5.2 噪声分布地图

对412个监测点进行地理编码，全部成功获取坐标，将点位绘制于招远市地图上，绘制交互式噪声分布地图^[5]（图6）。地图上，以绿、黄、橙、红四色分别表示噪声 $< 45\text{dB}$ 、 $45\sim 50\text{dB}$ 、 $50\sim 55\text{dB}$ 、 $\geq 55\text{dB}$ 。从地图上可以直观看出：高噪声点（红色，73个）集中在东北部工业区和主干道两侧；中高噪声点（橙色，142个）围绕工业区辐射分布，形成圈层结构；低噪声点（绿色，124个）主要分布于西南部农村地区，空间格局与工业布局高度吻合。

总体而言，工业区是主要噪声源，交通干线起传导作用，远离工业区的农村和自然区域则保持相对宁静。这与邓惠章^[6]提出的“工业—交通耦合噪声空间模型”基本一致，也符合中小城市噪声空间衰减的一般规律。这一空间格局为噪声治理提供了明确的空间指向，优先在东北部工业区与居民区之间设置噪声缓冲区，并加强交通干线两侧的隔音措施。

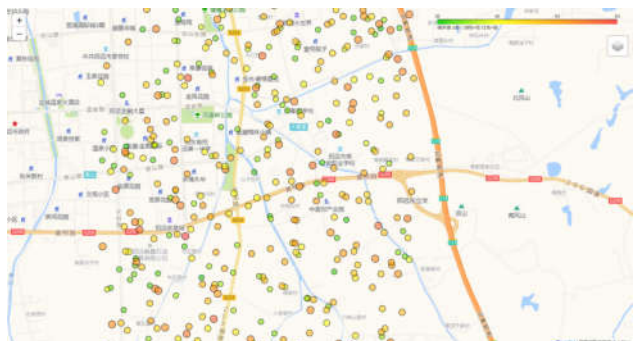


图6 招远市噪声分布地图

4 结论与建议

基于上述分析与讨论，可归纳出本研究的主要结论如下。（1）招远市噪声平均值为 $49.19\pm 5.81\text{dB}$ ，总体

声环境质量良好，但空间分异显著。工业区噪声最高（50.54dB），农村居民点最低（47.05dB）。（2）超标率为8.5%，自然区域超标率最高（50.0%），其次为公共机构（18.6%）和城市居民区（13.2%）；工业区和商业区因执行标准较高，未出现超标。（3）单因素方差分析表明，不同功能区噪声均值存在极显著差异（ $F = 2.85$ ， $df_1 = 8$ ， $df_2 = 403$ ， $p = 0.004 < 0.01$ ）。Tukey HSD事后检验显示，农村居民点噪声均值显著低于工业区（平均差 = -3.49dB ， $p < 0.001$ ），其他功能区之间差异不显著。（4）基于地点特征的聚类分析识别出4类噪声模式，其中工业集聚类噪声均值高达52.24dB，显著高于其他聚类，工业噪声是主导因素。（5）噪声分布地图直观显示，高噪声点（红色和橙色点，共215个，噪声 $\geq 50\text{dB}$ ）在东北部工业区和主干道沿线呈集聚分布，低噪声点（绿色点，124个，噪声 $< 45\text{dB}$ ）主要分布于西南部农村地区，空间格局与工业布局高度吻合。

基于上述结论，提出以下建议：（1）加强敏感区域保护：按照声环境分区管控思路，对自然区域、学校、医院等优先保护区实施严格噪声管控，在交通干线与工业区边界设置隔音屏障与绿化缓冲带，降低噪声干扰。（2）优化功能区规划：在新建居民区时，应避免紧邻工业区，保留不少于50米的噪声缓冲区。对于现有靠近工业区的居民区，可推动加装隔音窗，降低室内噪声影响。（3）完善监测网络：增加固定监测站点，特别是对自然区域和公共机构进行长期监测，及时掌握声环境变化。（4）公众参与：鼓励居民通过环保热线举报噪声扰民问题，形成社会共治。

未来可结合长时间序列数据，分析招远市噪声年度变化趋势，并引入高分辨率遥感影像和路网数据，构建更精细的噪声预测模型（如基于机器学习的预测模型）。同时，可开展居民主观满意度调查，将客观监测数据与主观感受相结合，为噪声治理提供更全面的决策依据。

参考文献

- [1]山东省招远市地图[EB/OL].[2026-04-23].
- [2]烟台市生态环境局.招远市噪声数据[EB/OL].[2024-08-27].
- [3]环境保护部,国家质量监督检验检疫总局.声环境质量标准:GB3096-2008[S].北京:中国环境科学出版社,2008.
- [4]邓敏,刘启亮,艾廷华,等.空间聚类分析及应用[M].北京:科学出版社,2011.
- [5]高德软件有限公司.高德地图地理/逆地理编码API[EB/OL].[2026-02-02].
- [6]邓惠章.基于道路交通噪声预防的用地布局模式研究[J].城市规划学刊,2024(S2):112-117.