

引用格式: 路晓东, 崔晓鸥, 祝培生, 等. 临干道城市公共空间声景情感维度探析[J]. 声学技术, 2023, 42(6): 804-810. [LU Xiaodong, CUI Xiaou, ZHU Peisheng, et al. Emotional dimension analysis of soundscape in urban public space adjacent to road[J]. Technical Acoustics, 2023, 42(6): 804-810.] DOI: 10.16300/j.cnki.1000-3630.2023.06.014

临干道城市公共空间声景情感维度探析

路晓东, 崔晓鸥, 祝培生, 谢庄秀

(大连理工大学建筑与艺术学院, 辽宁大连 116023)

摘要: 城市高密度发展背景下, 很多中国公共空间临交通干道布置, 交通噪声严重影响空间品质。侧重感知体验提升的声景营造逐渐形成共识, 声景情感维度成为重要评价参量。以大连市中山公园为样本, 将其划分为临干道区域和内部区域, 依据 ISO 12913 完成问卷调查及数据分析。研究表明, 与欧洲的研究不同, 中国典型公共空间的声景情感维度依次是“事件感”“愉悦感”。临干道区域的声景情感偏于“事件感强”“不愉悦”, 内部区域则偏于“事件感强”“相对愉悦”。ISO 声景情感维度与传统的声压级指标之间存在较弱的相关性, 说明两者从不同方面反映了声环境特征。二者的结合, 可更科学地评价城市公共空间声环境。文中的研究可为临干道公共空间的优化设计提供借鉴与参考。

关键词: 声景; 情感维度; 临干道公共空间; 声漫步法

中图分类号: TU984.18 X121

文献标志码: A

文章编号: 1000-3630(2023)-06-0804-07

Emotional dimension analysis of soundscape in urban public space adjacent to road

LU Xiaodong, CUI Xiaou, ZHU Peisheng, XIE Zhuangxiu

(School of Architecture and Fine Arts, Dalian University of Technology, Dalian 116023, Liaoning, China)

Abstract: Under the background of high-density urban development, many public spaces in China are adjacent to roads, and traffic noise seriously affects the space quality. The construction of soundscape focusing on improving perceptual experience has gradually become a consensus, and the emotional dimension of soundscape is an important evaluation parameter. By taking Zhongshan Park in Dalian city as a sample, which is divided into the internal area and the area adjacent to road, the questionnaire survey and data analysis is completed according to ISO 12913. It is found that, unlike European researches, the first soundscape dimension of public space in China is the sense of "event" rather than "pleasure". The soundscape of the area adjacent to road tends to be "strong event sense" and "unpleasant", and the internal area tends to be "strong event sense" and "relatively pleasant". The correlation between ISO soundscape dimension and sound pressure level index is significant but not strong, indicating that the two parameters reflect the characteristics of sound environment from different aspects. However, their combination can evaluate the soundscape of urban public space in a more scientific way. This research can provide a reference for the optimization design of the adjacent to road.

Key words: soundscape; emotional dimension; public space adjacent to road; soundwalk

0 引言

城市公共空间是居民进行公共交往, 举行各种活动的开放性场所。在城市高密度发展背景下, 很多公共空间临交通干道布置, 而中国城市 1/3 主干道的交通噪声级超过 70 dB(A)^[1]。世界卫生组织认

为交通噪声已成为第二大污染源, 引发诸多疾病, 威胁公共健康^[2]。城市公共空间声环境已经影响了空间品质的提升。已有的优化措施主要集中在噪声控制^[3], 但越来越多的研究表明, 在声压级低于 70 dB 的区域, 降低声音能量级并不一定能改善其声舒适度^[4]。声景作为“特定场景中个人或群体感知、体验及(或)理解的声环境”^[5], 侧重于从感知的视角来评估声环境。积极的声景营造可以提供更具可持续性和生态性的解决方案^[6-8]。深入分析临干道城市公园的声景特点, 对城市公共空间的设计具有重要意义。

环境心理学家的研究表明, 当人们被要求自由

收稿日期: 2023-01-08; 修回日期: 2023-04-09

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51878110, 52278092)。

作者简介: 路晓东(1977—), 男, 山东宁阳人, 博士, 教授, 研究方向为城市噪声环境。

通信作者: 路晓东, E-mail: lxd3721@dlut.edu.cn

地描述如何感知环境时，会做出一定的情感反应^[9]。了解了声景在使用者中产生的情感反应情况，可以对建筑环境设计做出更好的决策。在Russell^[9]所提出的情感环形模型基础上，Axelsson等^[10]使用语义细分法，由100位被试对50个城市声音录音片段以116个形容词量表进行测度，确定了声景主要有两个正交感知维度，即愉悦感(Pleasantness)和事件感(Eventfulness)。Cain等^[11]开展的独立研究也得到两个正交维度，分别为平静感(Calmness)和活力感(Vibrancy)，可视为将正交的愉悦感和事件感在同一平面上旋转了45°。相关研究证实了这种声景情感维度环形模型在跨语言、文化和环境中是普遍存在的^[12-14]。Lu等^[15]使用18个形容词对，由62个被试在现场对中国公共空间的研究也取得了一致的结论。

之后，声景情感维度的测度得到简化，由8个环形分布属性组成的模型及其标准化评价量表相继被瑞典声景品质协议(Swedish Soundscape-Quality Protocol)^[16]和国际标准化组织(ISO/TS 12913^[17-18])采纳，声景情感维度模型如图1所示。在图1中的8个属性中，愉悦感与环境所带来的愉快或不愉快的程度有关；事件感与人类和其他活动的数量有关，多事件感的环境意味着较多的人类活动，如市中心的声景，而少事件感的环境则少有人类活动，例如荒野中的声景；混乱的声景是多事件感而恼人的；平静的声景是无事件感而愉快的；充满活力的声景是愉悦而多事件感的；单调的声景是恼人的而无事件的^[18]。

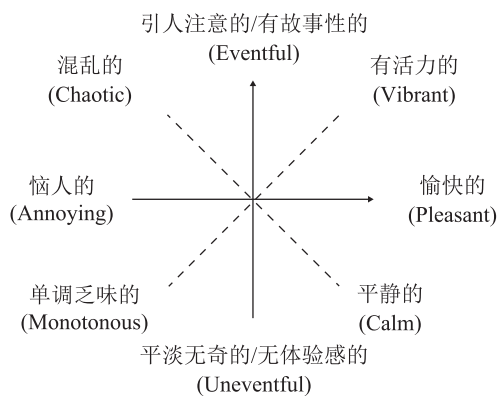


图1 声景情感维度模型^[17]

Fig.1 Soundscape emotional dimension model^[17]

由此，声景情感维度具有了更强的适用性，可以全面综合地完成声景评价，方便快捷地获取每个维度的量化数据，准确反映特定场景的影响，并可以体现其他声景评价参量所包含的信息^[19]，获得研究者的广泛认可，为公共空间的设计与优化提供了支持。Erfanian等^[20]通过对英国伦敦公共空间声景

感知分析，研究了人口素质及心理健康与声景情感维度的关系。Hong等^[21]借助城市街道所进行的声景情感维度调研，探讨了城市功能对声景情感维度的关键作用，并建立了声景预测模型。Kang等^[22]对城市绿地空间进行声景情感维度属性调研，侧重于空间分布的可视化。上述研究成果虽然探究了城市公共空间的声景情感维度，但大都忽略了不同区域的声景感知差异，以及相应优化策略的区别，同时场地中交通噪声的主导性不强，对中国临干道公共空间声景营造的借鉴作用有限。

对临干道城市公共空间而言，不同区域的交通噪声主导程度有差异，声源构成亦有区别，应采取针对性的声景营造策略。本文旨在通过距离干道远近不同公共空间的对比，探究声景情感维度构成的差异，为声景营造提供借鉴与参考。本文研究的具体问题包括：(1)临干道城市公共空间的声景情感维度能否被提取；(2)距离干道远近不同，公共空间声景情感维度的区别，以及设计中该采取的应对策略。研究选取了典型的综合性公园，进行了现场调研问卷，以及数据分析。

1 实验设计与分析方法

1.1 样本区域

大连中山公园位于大连市沙河口区，占地面积为0.11 km²，临近多个中心商业区，周边居住人口密集，是城市重要的大型公共活动空间。内部公共设施齐全，包含多个不同大小的广场、健身活动区以及完善的步道线路。公园东临东北快速路，南临黄河路，均为交通流量大、车速快的城市主干道。园内树木种类众多，绿化情况较好。

1.2 问卷设计

根据ISO/TS 12913—2^[17]，被试按照一定的路线，在场地中进行声景漫步，由现场对特定地点逐一完成体验，以问卷调查的方式，确定对其声景的理解。

ISO/TS 12913—2中共提供了三种数据收集的方法，每种方法的侧重点各有不同。方法A为结构性问卷，方法B为结构式和开放式结合的问卷；方法C为叙事性访谈。方法A和B常用于现场进行的声景评估，即“此时此地”的感知，方法C被用作非现场调查的声景评估，主要针对熟悉调查区域的居民。本文主要使用了方法A进行声景情感维度调研。被试基于自己的感知对所处环境，对8个形容词属性通过里克特五级量表进行测度(-2: 完全不

同意; -1: 不同意; 0: 中立; 1: 同意; 2: 完全同意)。8个英语形容词在其他语言中的准确翻译一直是关注重点,但尚未取得共识。本文为便于中文语境下的理解,对其中两个属性,即Eventful和Uneventful的翻译,借鉴了相关研究^[23],采用意译的方法,分别使用了“引人注意的/有故事性的”“平淡无奇的/无体验感的”进行表述。其他六个属性则采用了直译的方法,包括愉悦的(Pleasant)、恼人的(Annoying)、平静的(Calm)、混乱的(Chaotic)、有活力的(Vibrant)、单调乏味的(Monotonous)。

1.3 测点选择

欧盟Life计划资助的研究课题QUADMAP认为应“根据不同的用途、功能以及噪声源的位置距离等要素划分出同质分析单元(Homogeneous Units of Analysis),同质分析单元之间的声学及环境要素的要求可能有所不同”^[24]。就本文而言,基于调研分析,将中山公园划分出了两个区域,即临干道区域(距道路约45 m)和内部区域。

临干道区域中间有一条人行步道和若干休闲座椅,步道两边植被较多;内部区域分布着多个广场以及健身活动区,有很多老年人在此进行跳舞、健身、演奏音乐等各种活动。声景漫步的路线及测点如图2所示。调查选取了声景具有代表性10个的测点,其中测点1、2、3、4、5、6位于临干道区域中,测点7、8、9、10位于内部区域中,声景漫步

路线总长度约为980 m。

1.4 实验组织

实验在10月份下午(14:00—16:00)进行,温湿度适宜,天气晴朗。被试均为在校研究生,共20名,其中男生8名,女生12名,年龄在22~29岁。经听力测试,听力均正常。实验前对被试进行问卷的讲解与答疑,以确保实验的正确性与一致性。实验分为4组,每组配备一位引导员,分别从相反的漫步路线(从测点1至测点10和从测点10至测点1),依次完成在各测点的体验。每个测点先静默聆听3 min,感知周围的声环境后填写调查问卷。调查共发放问卷200份,有效收回200份,其中临干道区域120份,内部区域80份。

参照ISO/TS 12913—2,被试在每个点静默聆听的同时,由引导员测量同时间的连续等效A声级 L_{Aeq} 及统计声级(L_{10} 、 L_{50} 、 L_{90})。每个点的测量时间为5 min,测量仪器为AWA6228一级声级计。由测试数据可知,临干道区域噪声级均值 $L_{Aeq}=66.38$ dB,标准差 $\sigma_{SD}=3.76$ dB,内部区域的噪声级均值 $L_{Aeq}=67.81$ dB,标准差 $\sigma_{SD}=5.29$ dB,二者基本一致,均值 L_{Aeq} 的差值仅为1.43 dB。

1.5 数据分析方法

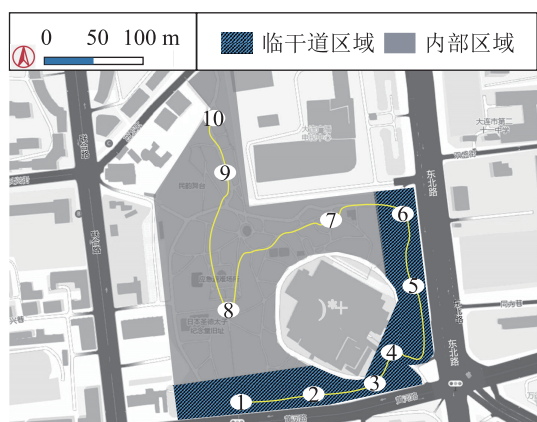
本文采用两种方法对获得的问卷数据进行分析。首先沿用Axelsson等^[10]使用的主成分分析,验证临干道城市公共空间的声景情感维度能否被提取。需要指出的是,使用该方法,往往需要更多的形容词属性。若仅使用8个形容词属性仍能提取声景维度,将证明其通用性,同时验证中文翻译的有效性。

其次,使用ISO/TS 12913—3^[18]的方法,计算声景情感维度得分,并分析中国城市公共空间的声景特点。该方法假定里克特量表的各等级为等距分布,且感知属性完全按照45°间隔分布,将每份数据中8个属性的测度得分转化为坐标点,投射到以愉悦感 S_p 维度和事件感 S_e 维度正交的二维坐标当中, S_e 和 S_p 的计算公式为

$$S_e = [(e-u) + \cos 45^\circ \times (c_h - c_a) + \cos 45^\circ \times (v-m)] \times 1 / (4 + \sqrt{32}) \quad (1)$$

$$S_p = [(p-a) + \cos 45^\circ \times (c_a - c_h) + \cos 45^\circ \times (v-m)] \times 1 / (4 + \sqrt{32}) \quad (2)$$

其中: p 为“愉悦的”得分; a 为“恼人的”得分; c_a 为“平静的”得分; c_h 为“混乱的”得分; e 为



(a) 声漫步路线图



(b) 测点

图2 声景漫步路线及测点

Fig.2 Soundwalk route and survey sites

“引人注意的/有故事性的”得分； u 为“平淡无奇的/无体验感的”得分； v 为“有活力的”得分； m 为“单调乏味的”得分。

本文使用了基于ISO/TS 12913—3^[18]的可视化工具Soundscapy完成声景情感维度计算，将每份问卷数据标记在二维平面上，显示声景感知的细微差别和多样性^[25]。

2 声景情感维度分析

2.1 声景情感维度提取

对临干道区域和内部区域得到的问卷数据分别进行主成分分析以提取声景情感维度。在KMO检验和Bartlett的球形度检验中，临干道区域KOM值为0.773，内部区域为0.806，均大于0.7，说明了问卷的有效性；Bartlett检验的 P 值都小于0.01，说明检验结果有意义，数据适合进行因子分析。通过方差最大化旋转，分别确定两个区域的主成分。在临干道区域得到两个特征值大于1的主成分，总方差解释率为71.42%，在内部区域也得到了两个，总方差解释率为67.8%。内部区域的总方差解释率略低于临干道区域，表明其声景相对临干道区域更复杂。

两个区域的分析结果有相同之处，提取的第一主成分均为事件感维度，都包括“引人注意的/有故事性的”“平淡无奇的/无体验感的”“有活力的”“单调乏味的”四个属性。两个区域的第二个主成分均为愉悦感维度，都包括“愉悦的”“恼人的”“平静的”“混乱的”四个属性。每个维度下所包含的形容词属性与Axelsson的结论^[10]基本一致。这说明，中文翻译基本传达了英语所包含的信息。同时，两个区域也有所区别。临干道区域愉悦感维度解释度(34.26%)略低于事件感维度(37.16%)，而内部区域愉悦感维度的解释度(22.49%)明显低于事件感维度的解释度(45.31%)。

需要说明的是，本文中两个维度的主次顺序不同于欧洲既有的研究结论^[10,14]，即认为愉悦感是第一维度。对于本文中两个区域的事件感都是第一维度，这可能与中国广场中存在丰富的声事件有关，如广场舞活动声音、音乐声、交通声等。

图3为两个区域的事件感维度和愉悦感维度的荷载图。图3中浅色圆点表示了事件感维度的形容词属性，深色圆点表示了愉悦感维度的形容词属性。图3中的各属性数据在分析前进行了同向化处理，以保证同一维度的形容词属性集中于坐标轴一侧。由椭圆虚线框可见，内部区域的愉悦感维度各

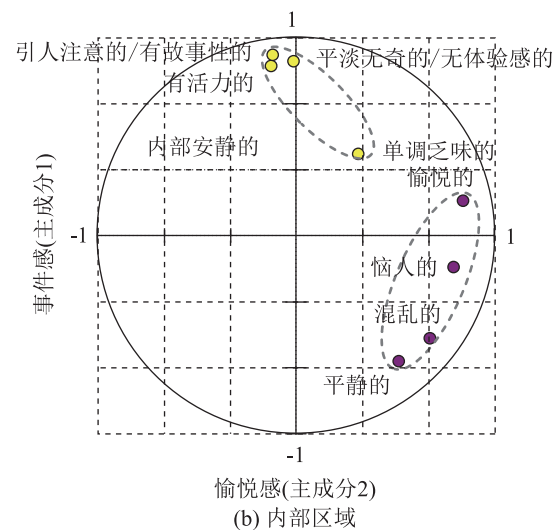
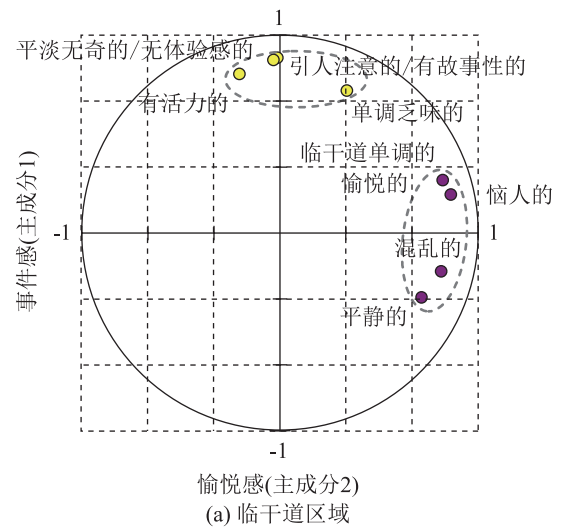


图3 声景情感维度荷载图

Fig.3 Load diagram of soundscape emotional dimensions

属性更分散，也验证了内部区域愉悦感维度的解释度低于临干道区域愉悦感维度的解释度。

2.2 ISO声景情感维度得分分析

依据ISO/TS 12913—3，完成声景情感维度得分计算，10个测点的ISO愉悦度均值为-0.041 1，标准差为0.331，ISO事件感均值为0.302，标准差为0.390。每个测点的得分如图4所示。其中，对愉悦感，临干道区域的测点4、5低于该区域其他四个测点(测点1、2、3、6)，这是因为测点4处于广场入口，直接面对城市道路，测点5距离道路近，而另四个测点距道路稍远，且有密植的绿化相隔；对事件感，内部区域的测点8、9得分最高，这与测点附近的广场舞活动有关。

使用Soundscapy工具完成每个测点的维度得分的可视化表达，结果如图5所示，横轴为ISO愉悦感，纵轴为ISO事件感，取值范围为-1~+1，值越大，代表愉悦度和事件感越强，误差等的标准差为

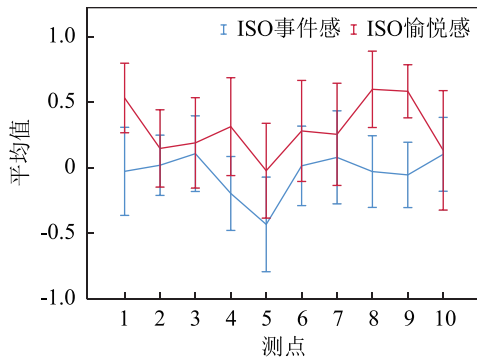
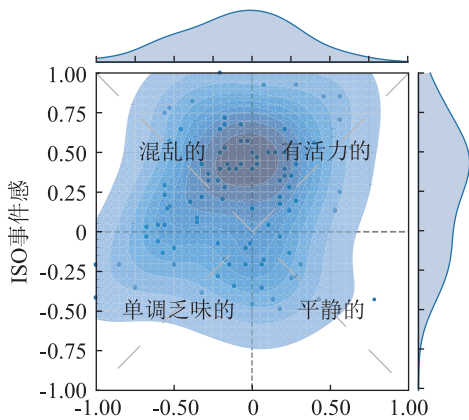


图4 每个测点的声景维度得分

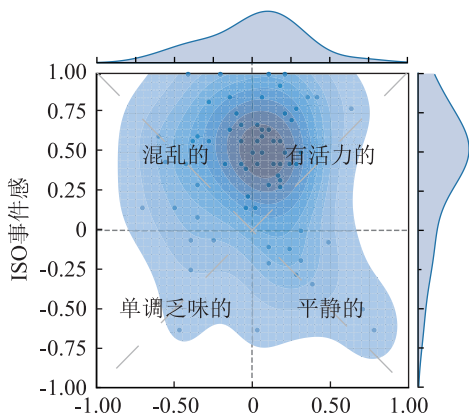
Fig.4 ISO soundscape dimension score for each test point

±1。每个数据点对应着由一份调查问卷计算到的数据，不同深浅填充是由数据点生成的密度图。每个图中上侧及右侧的曲线图展示了在各自坐标轴的偏度。

图 5(a)为临干道区域 ISO 声景情感维度分布图，可见数据点主要集中在纵轴的正向，说明其声景是“多事件”的，同时偏于横轴的负向，说明普遍认为声景是“不愉悦”的。这与临干道区域存在



(a) 临干道区域



(b) 内部区域

■ 区域临干道

图5 ISO 声景情感维度分布图

Fig.5 ISO soundscape dimension distribution

较大交通噪声有关。图 5(b)为内部区域声景情感维度分布图，可见数据点更多地集中在纵轴正向和横轴正向，这说明人们普遍认为在内部区域是“多事件感”的，稍显“愉悦”的，这与内部区域存在着大量的广场舞音乐声有关。

图 6 是由图 5 中的数据排除异常值的干扰取中位数所生成的分布曲线，可以更明显看到两个区域声景感知的区别。虽然临干道区域的声压级与内部区域的声压级相差很小，但其愉悦感较内部区域有大幅降低，事件感也有一定程度的降低。考虑到两个区域声源感知的不同，可以认为临干道区域的交通噪声，较之广场中人们活动的声音，会引起更多不愉悦的情感反应。

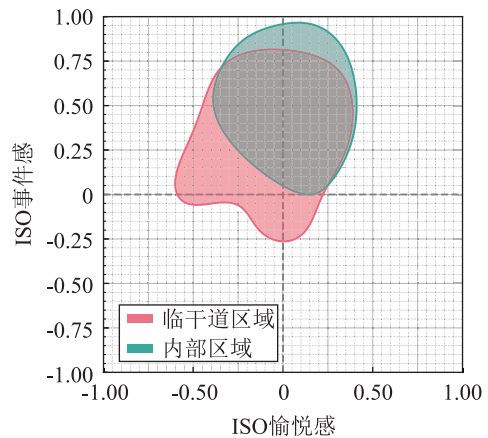


图6 临干道区域与内部区域的ISO声景情感维度对比

Fig.6 Comparison of ISO soundscape emotional dimensions between the internal area and the area adjacent to road

对 ISO 声景情感维度与传统声压级指标的关系进行探讨。由表 1 的皮尔逊(Pearson)相关分析(样本量为 40)可见，所测得的声压级指标都与 ISO 声景情感维显著相关，其中与 ISO 愉悦感多为弱相关(-0.15~-0.225)，与 ISO 事件感多为中度相关(0.287~0.356)。这也可由图 7 得到验证。一般认为声环境超过 65 dB 会产生严重的烦恼^[26]，故以该值为区间界线，对比图 7 中两个声压级区间的 ISO 声景情感维度可知，超过 65 dB 的区间，事件感有明显增强，而愉悦感略有降低。

表1 声压级与声景情感维度的相关性

Table 1 Correlation between sound pressure level and soundscape emotional dimension

情感维度	皮尔逊相关系数 r			
	L_{Aeq}	L_{10}	L_{50}	L_{90}
ISO 愉悦感	-0.173*	-0.150*	-0.190**	-0.225**
ISO 事件感	0.343**	0.356**	0.315**	0.287**

注：**表示 P 值在 0.01 级别，相关性显著；*表示 P 值在 0.05 级别，相关性显著。

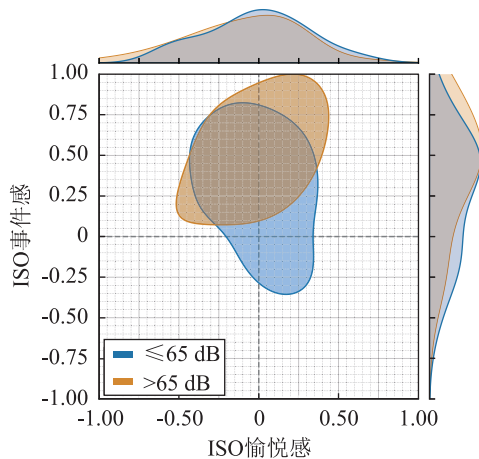


图7 两种声压级区间下ISO声景情感维度分布
Fig.7 Distributions of ISO soundscape emotional dimensions under two sound pressure level intervals

3 结论

本文以大连市中山公园为研究对象，将中山公园划分为临干道区域与内部区域，通过声景情感维度提取和对ISO声景情感维度得分的分析，探究了临干道城市公共空间声景感知特征。

基于主成分分析的声景情感维度提取表明，无论是临干道区域还是内部区域，事件感维度为第一维度，愉悦感维度为第二维度；临干道区域和内部区域的声景情感维度分别解释了总方差的71.42%和67.8%，表明内部区域的声环境更为复杂。此外，本文对情感维度属性英文的翻译，可在中文语境下被较为准确地理解。

基于ISO标准进行的声景情感维度的分析表明，临干道区域的声景偏于“事件感强”“不愉悦”，内部区域则偏于“事件感强”“相对愉悦”；ISO声景情感维度得分与传统的声压级指标之间有显著的相关性，但相关性不显著，说明二者从不同方面反映了声环境特征，可以将二者有机结合，以更综合、更科学地评价城市公共空间声景。

由此，对临干道城市公共空间的声景营造可提出初步策略。对于临干道区域，需通过控制交通噪声、降低声压级，同时注重绿化及休憩空间的设置。对于内部区域，需加强内部区域中典型的人群活动声音(如广场舞音乐声等)的管理，以降低声压级；同时，进行调研与试验，探讨如何引导人群活动，以营造中国特色的、愉悦的“事件感”。

由于样本数量有限，数据量较少，结论具有一定的局限性。在下一步研究中，将会对更多城市公共空间进行调研，明确影响因素，为声景优化与营造提出更加详尽的策略和方法。

参 考 文 献

- [1] 中华人民共和国环境保护部. 2017年中国环境噪声污染防治报告[R/OL](2017-06-01)[2023-05-21]. https://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjzk/hjzywr/201706/t20170601_415153.shtml.
- [2] WORLD HEALTH ORGANIZATION. Burden of disease from environmental noise: Quantification of healthy life years lost in Europe[R]. Copenhagen: World Health Organization. Regional Office for Europe, 2011.
- [3] ISMAIL M, OLDHAM D. Computer modelling of urban noise propagation[J]. Building Acoustics, 2003, 10(3): 221-253.
- [4] 康健, 杨威. 城市公共开放空间中的声景[J]. 世界建筑, 2002(6): 76-79.
KANG Jian, YANG Wei. Soundscape in urban open public spaces[J]. World Architecture, 2002(6): 76-79.
- [5] Acoustics-soundscape-part 1: Definition and conceptual framework: ISO 12913-1: 2014[S]. Technical Report, International Organization for Standardization, 2014
- [6] 苗畅, 孟琪. 基于行为模式的城市开放空间声景研究[J]. 时代建筑, 2022(1): 74-79.
MIAO Chang, MENG Qi. Soundscape studies in urban open spaces based on behavior patterns[J]. Time + Architecture, 2022(1): 74-79.
- [7] Van KAMP I, KLAEBOE R, KRUIZE H, et al. Soundscapes, human restoration and quality of life[C]// Inter-Noise and Noise-Con Congress and Conference Proceedings, 2016: 1205-1215.
- [8] 谢辉, 何益, 刘畅. 声景介入下的历史街区更新设计策略研究: 以重庆市弹子石老街为例[J]. 现代城市研究, 2021, 36(9): 55-62.
XIE Hui, HE Yi, LIU Chang. The renewal design strategy of historical district integrated with the soundscape intervention: a case study of Danzishi historical district in Chongqing[J]. Modern Urban Research, 2021, 36(9): 55-62.
- [9] RUSSELL J A. A circumplex model of affect[J]. Journal of Personality and Social Psychology, 1980, 39(6): 1161-1178.
- [10] AXELSSON Ö, NILSSON M E, BERGLUND B. A principal components model of soundscape perception[J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 2010, 128(5): 2836-2846.
- [11] CAIN R, JENNINGS P, POXON J. The development and application of the emotional dimensions of a soundscape[J]. Applied Acoustics, 2013, 74(2): 232-239.
- [12] GE J, HOKAO K. Applying the methods of image evaluation and spatial analysis to study the sound environment of urban street areas[J]. Journal of Environmental Psychology, 2005, 25(4): 455-466.
- [13] RAIMBAULT M, LAVANDIER C, BÉRENGIER M. Ambient sound assessment of urban environments: field studies in two French cities[J]. Applied Acoustics, 2003, 64(12): 1241-1256.
- [14] JEON J Y, HONG J Y, LAVANDIER C, et al. A cross-national comparison in assessment of urban park soundscapes in France, Korea, and Sweden through laboratory experiments [J]. Applied Acoustics, 2018, 133: 107-117.
- [15] LU X D, TANG J, ZHU P S, et al. Spatial variations in pedestrian soundscape evaluation of traffic noise[J]. Environmental Impact Assessment Review, 2020, 83: 106399.
- [16] AXELSSON Å, NILSSON M E, BERGLUND B. The Swedish soundscape-quality protocol[J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 2012, 131(4): 3476.

- [17] Acoustics-soundscape part 2: Data collection and reporting requirements: ISO 12913-2: 2018[S]. Technical Report, International Organization for Standardization, 2018
- [18] Acoustics-soundscape part 3: Data analysis: ISO 12913-3: 2019 [S]. Technical Report, International Organization for Standardization, 2019
- [19] ALETTA F, KANG J, AXELSSON Ö. Soundscape descriptors and a conceptual framework for developing predictive soundscape models[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2016, **149**: 65-74.
- [20] ERFANIAN M, MITCHELL A, ALETTA F, et al. Psychological well-being and demographic factors can mediate soundscape pleasantness and eventfulness: a large sample study[J]. *Journal of Environmental Psychology*, 2021, **77**: 101660.
- [21] HONG J Y, JEON J Y. Comparing associations among sound sources, human behaviors, and soundscapes on central business and commercial streets in Seoul, Korea[J]. *Building and Environment*, 2020, **186**: 107327.
- [22] KANG J A, ALETTA F, MARGARITIS E, et al. A model for implementing soundscape maps in smart cities[J]. *Noise Mapping*, 2018, **5**(1): 46-59.
- [23] LI M, HAN R, XIE H, et al. Mandarin Chinese translation of the ISO-12913 soundscape attributes to investigate the mechanism of soundscape perception in urban open spaces[J]. *Applied Acoustics*, 2023, **215**: 109728.
- [24] QUADMAP. Guidelines for the identification, selection, analysis and management of quiet urban areas [EB/OL]. [2022-12-24]. <https://1library.net/document/y4m6165y-guidelines-identification-selection-analysis-management-quiet-urban-areas.html>.
- [25] MITCHELL A, ALETTA F, KANG J A. How to analyse and represent quantitative soundscape data[J]. *JASA Express Letters*, 2022, **2**(3): 037201.
- [26] LAMBERT J, SIMONNET F, VALLET M. Patterns of behaviour in dwellings exposed to road traffic noise[J]. *Journal of Sound and Vibration*, 1984, **92**(2): 159-172.