

◇ 研究报告 ◇

喷泉视听感知对城市开放空间声景评估的影响*

苏 嫫 康 健[†]

(Institute for Environmental Design and Engineering, The Bartlett, University College London UCL,
London WC1H 0NN, UK)

摘要:为了更好地指导在城市开放空间中通过设计和运用喷泉来改善声景,有必要深入理解喷泉视听感知对声景评估的作用机制。因此,该研究通过在一个带有中央喷泉的典型开放空间(伦敦罗素广场)中进行实地调查,探索了喷泉视听感知对空间整体声景评估的影响及其在空间上的差异。水景和水声分别为喷泉的视觉和听觉刺激。喷泉视听感知包含“感”(水景在多大程度主导视野和水声是否是最主导的声源)和“知”(对水景和水声从“非常差”到“非常好”的接受程度)两方面。空间因素包含表征空间有序变化的“与喷泉的距离”和表征空间特征区划的“是否位于喷泉核心观赏区”两个变量。结果表明:喷泉视听感知对空间整体声景评估的影响主要来自于对喷泉水景和水声的接受程度而非水景和水声的主导性。并且,对水景的接受程度和对水声的接受程度在影响空间整体声景评估上各有侧重:对水声的接受程度更能影响声景协调和声景愉悦性,对水景的接受程度更能影响声景品质和声景事件感。空间因素(“与喷泉的距离”和“是否位于喷泉核心观赏区”)会显著降低水景和水声的主导性,但是受访者对水景和水声的接受程度不受空间因素的影响,能够在整个场所内保持稳定;此外,喷泉视听感知的空间差异不是导致空间整体声景评估产生空间差异的原因。

关键词: 声景;喷泉;视听感知;空间差异;城市开放空间

中图法分类号: TU986.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-310X(2021)05-0668-08

DOI: 10.11684/j.issn.1000-310X.2021.05.003

The influence of fountain's audiovisual perception on the soundscape evaluation of urban open space

SU Hua KANG Jian

(Institute for Environmental Design and Engineering, The Bartlett, University College London UCL, London WC1H 0NN, UK)

Abstract: Understanding how fountains' audiovisual perception affects the overall soundscape evaluation can better guide our use of fountains to improve soundscape in urban open spaces. In this study a field survey was conducted in London Russell Square, a typical open space with a central fountain, to explore how fountain's audiovisual perception influences the overall soundscape evaluation and the spatial difference of such influences. Fountain's audiovisual perception includes two aspects "Sensation" and "Interpretation". "Sensation", in this paper, is defined as to what extent waterscape dominates the visual field and whether water is the most dominant sound source. "Interpretation" is to rate the acceptance degree of waterscape and water sound from "very bad" to "very good". Spatial factors include two variables, gradual distancing from the fountain, and locating inside or outside of the core fountain viewing area. It has been found that it is the acceptance

2020-12-27 收稿; 2021-01-24 定稿

*Soundscape Indices (SSID)-ERC Advanced Grant-Jian Kang(740696)

作者简介: 苏嫫(1996-),女,四川江油人,硕士,研究方向:建筑声学,可持续建筑。

[†]通信作者 E-mail: j.kang@ucl.ac.uk

of fountain's waterscape and water sound rather than its dominance that affects the influence of fountain's audiovisual perception on the overall soundscape evaluation. There is also varying emphasis regarding how the acceptance of waterscape and water sound influences the overall soundscape evaluation. The acceptance of water sound affects soundscape appropriateness and pleasantness more, while that of waterscape affects the overall soundscape quality and eventfulness. Spatial factors significantly reduce the dominance of waterscape and water sound, but the acceptance degree is not affected by spatial factors and remains stable throughout the site. The spatial difference of fountain's audiovisual perception does not result in the spatial difference of the overall soundscape evaluation.

Keywords: Soundscape; Fountain; Audiovisual perception; Spatial difference; Urban open space

0 引言

喷泉是城市开放公共空间中常见的设计元素,其美学价值可以增添场所的视觉吸引力,喷泉水声则从声环境的角度提升场所品质。因此,喷泉可以成为结合声景理论和实践运用的设计工具。深入理解喷泉声景的信息属性对揭示声景作用的机制有着重要意义。

喷泉对声景的改善作用已被大量研究^[1-11],这些研究中的大部分是针对喷泉水声改善或掩盖交通噪声的能力。Brown等^[1]最早提出可以将水声引入城市环境中以掩蔽噪声。之后的研究发现,在城市空间中添加喷泉水声可以减小交通噪声的响度,从而提高声景品质^[2],并且不同频率的喷泉水声所带来的掩蔽效果和宁静感知是不同的^[3]。Jeon等^[4]进一步发现当水声比噪声水平低3 dB时,其掩蔽效果更佳。另一部分研究借助语义处理探索了水声特征及其对声景情感特性的影响,试图从喷泉水声增加积极情感特性的角度向喷泉改善声景提供证据。比如,水声的清晰度将影响声景偏好^[5]。将更加悦耳的水声使用在交通噪声中,声景整体的愉悦性和事件感将得以提升^[6],这种来自水声的愉悦感与水声的时间变化正相关^[7]。而具有较低尖锐度和较高时间变化的喷泉水声则能够为环境带来放松和平和的感受^[8]。国内也有研究探讨了水声景的感知,其中一部分涉及国内公共空间水声景和古典园林水声的分析^[12-15],另一部分以国外城市声景特色为参考,提出了水景元素对优化我国规划设计的潜力^[16-17]。但是,以喷泉为重心的声景研究略缺乏。

需要注意的是,不仅听觉可以影响声景评估,对环境外观的视觉感知也会影响声景评估^[18]。因此,更加需要将喷泉视为一个提供视听感知的整体而非仅提供水声的环境元素,才能提高声景理论在实

践中的适用性。一些研究已经将水景的视觉和听觉刺激同时纳入考量^[5,19-22]。其中,视听一致性往往是被关注的重点,已被大量报告能显著改善声景品质。最近一项对自然声的研究发现,当水景可见时,水声的愉悦性和与场所的协调更高^[21]。然而,这些研究通常使用客观属性评估视觉成分。大量研究停留在“声源是否可见”的层面,少数受控条件下的研究讨论了照片或视频中水景的客观百分比^[5,23],基于主观感知的水景视觉效果(例如主观接受程度和在视野中的占比)对空间整体声景评估的作用尚未得到充分研究。另外,鉴于喷泉常常以“点状”分布的形式呈现在景观规划中,喷泉视听感知在较大场所范围内是否能保持稳定将极大影响喷泉的实用性,因此需要进一步讨论。

本文的目的是研究喷泉视听感知如何影响城市开放空间的声景评估及其在空间上的差异。从喷泉水声和水景的主导性和对其的接受程度两方面收集感知信息,进行分析以识别影响空间整体声景评估的有效因素。考虑到空间有序变化(与喷泉的距离)和空间特征区划(是否位于喷泉核心观赏区),进一步对喷泉感知的空间差异进行检查。

1 方法

为了解决以下两个研究问题,建立了如图1所示研究框架:(1) 喷泉视听感知对空间整体声景评估的影响;(2) 喷泉视听感知的空间差异(虚线表示如果喷泉视听感知存在空间差异,则另外检查是否通过该空间差异的中介效应实现了空间对整体声景评估的影响)。采用现场调查的方法,对真实环境和现场受访者的观点进行记录和分析。该方法可以了解到现实生活中的喷泉声景的评估信息,保证了更高的生态有效性。

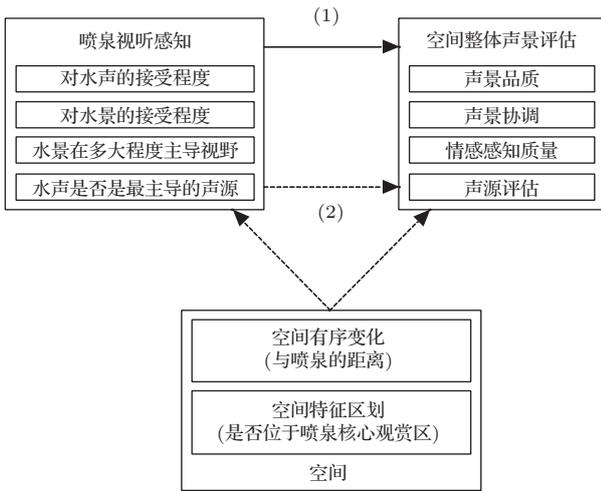


图1 研究框架

Fig. 1 Research framework

1.1 研究区概况

为了获得更加准确的研究结果,应选择水声明显且具有观赏性水景的喷泉,并且以喷泉为中心同一半径处的环境背景条件(声环境和视觉环境)应尽可能相似。因此,本研究的现场调查地点选择了伦敦市区的罗素广场(Russell Square),该广场的喷泉和平面布置能够满足上述要求。罗素广场为花园式广场,整体呈正方形(150 m × 150 m),边缘种植了高大的树木将该区域围合起来。广场周围是交通街道,街道对面为5~8层的建筑物(见图2(a),图像©Google,Maxar Technologies,地图数据©2020 Google)。广场的中心为一处地面喷泉景观,喷泉的水从地面喷出并伴随明显的落水声。喷泉核心观赏区外布满绿化,以草坪为主,树木稀疏。

4条小径中心对称地呈辐射状延伸至广场边缘,将场内绿化分割为均匀的4部分(见图2(b),在字母A~D处拍摄了图3中的照片,虚线圈内为喷泉核心观赏区)。广场内的主要声音来源是水声、人声和交通噪声。

1.2 调查问卷

为了研究喷泉视听感知如何影响城市开放空间的声景评估,在调查问卷中分别设置了喷泉感知相关题项和声景评估题项。

调查问卷可分为4部分:

第一部分着重于受访者对环境声源的评估,要求受访者评估以下内容:(1)声景中可以识别到的声源类型(“您目前在多大程度上听到以下4种类型的声音”:交通噪声,其他噪声,人声,自然声——从1“一点儿也不”至5“完全主导”进行评价);(2)感知到的最显著的单一声源(一个开放式问题:“请确定您认为在声环境中最突出的单一声源”);(3)该最显著声在多大程度上主导了声环境(您目前在多大程度听到该声源?——从1“一点儿也不”至5“完全主导”进行评价)。

第二部分涉及受访者对喷泉视听的感知,包括以下内容:(4)对喷泉水声的接受程度(“从听觉的角度,您如何评价该喷泉?”——从1“非常差”至5“非常好”进行评价);(5)对喷泉水景的接受程度(“从视觉的角度,您如何评价该喷泉?”——从1“非常差”至5“非常好”进行评价);(6)喷泉在多大程度主导视野(“您认为喷泉水景多大程度主导您的



图2 罗素公园

Fig. 2 Russell Square

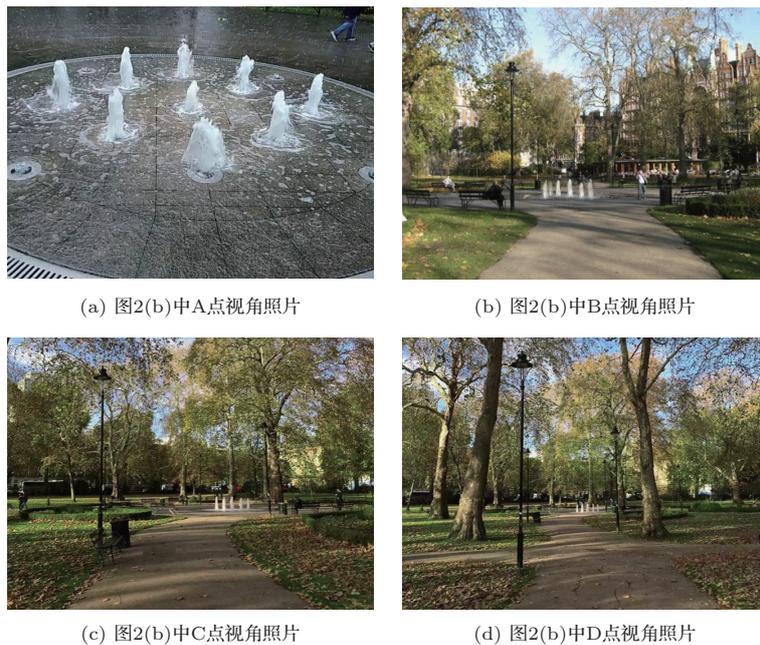


图3 从图2(b)中标注的字母A~D处拍摄的喷泉视角照片

Fig. 3 Photos taken towards the point of view of the fountain from Letter A~D marked in Fig. 2(b)

视野?”——从1“一点儿也不”至5“完全主导”进行评价)。为了避免受访者更倾向于关注水声而忽略了他们原本会注意到的声音,导致出现感知偏差^[24],没有设置直接询问喷泉水声主导性的题项。该变量将通过处理开放式问题(2)的结果获得,具体处理过程见1.5节。

第三部分要求受访者评估以下内容:(7) 8个情感感知质量(“对于下面的8个度量,您在多大程度上同意或不同意当前周围声音环境是……(愉快的、有活力的、多事件的、混乱的、恼人的、平静的、平淡无事的、单调的)”——从1“非常不同意”至5“非常同意”进行评价)。

第四部分涉及以下内容:(8) 声景品质(“总体上,您如何评价目前周围的声环境”——从1“非常差”至5“非常好”进行评价);(9) 声景协调(“总体上,目前周围的声环境多大程度上与现场协调”——从1“一点儿也不”至5“完美地”进行评价)。除开放性问题(2)以外,上述所有题目均使用李克特5级量表进行评估。另外,还包括人口统计数据相关题项(性别,年龄,职业,教育程度)。该问卷也属于正在进行的Soundscape Indices-SSID项目的一部分,该项目旨在完成新的声景指标,以对现有的分贝指标集进行补充,从而推动声景学科的实践运用^[25-26]。

此外,受访者的位置将由调查员标记在座标图

上,位置数据将用于研究空间差异。调查完成后,按照标记的受访者的位置坐标生成两个空间变量:(1) 与喷泉的距离;(2) 是否位于喷泉核心观赏区(如图2(b)所示)。这两个变量分别表征了空间的有序变化和特征区划。具体而言,喷泉核心观赏区通常在设计中被规划为以喷泉为中心的小范围景观区。在罗素广场中,位于该区域的受访者通常会选择坐在面向喷泉的长椅上休息停留,他们能够不受任何视线遮挡看见完整的喷泉,并且能听到高水平的水声。非该区域的受访者由于绿化和构筑物的影响不容易看到完整的喷泉。同时,这部分受访者较少将注意力集中在喷泉上,而是更多关注周边小范围内的绿化景致。

调查员随机邀请在场人员参加问卷调查,在喷泉核心观赏区和非核心观赏区分别收集不少于30份问卷。

1.3 声学测量

声学测量是研究中重要的一部分,提供了调查场所声环境的基本情况。尤其本文就喷泉视听感知的空间差异展开了进一步研究,因此更有必要在场所内不同位置进行声学测量。在调查开始时使用传声器和Nti Audio XL2声级计实施了15 min的声音录制。测量传声器分别安装在距离喷泉约0.5 m、

25 m、50 m, 离地面 1.5 m 的三脚架上。

在 3 份录音中分别选择了 1 min 稳定的声样本用于声学分析, 表 1 列出了在 3 个位置获得的平均 (L_{Aeq})、最小 (L_{min}) 和最大 (L_{max}) 声压级, 图 4 为 3 个声样本的频谱图。

表 1 分别来自不同位置声级计的 3 个 1 min 声样本的 L_{Aeq} 、 L_{min} 和 L_{max}

Table 1 Values of L_{Aeq} , L_{min} , and L_{max} for 1-minute sounds excerpt at three different positions

声样本编号	声级计与喷泉的距离	$L_{Aeq}/$ dB(A)	$L_{min}/$ dB(A)	$L_{max}/$ dB(A)
1	0.5 m	74.3	69.1	88.9
2	25 m	67.7	63.0	73.9
3	50 m	62.2	53.3	81.2

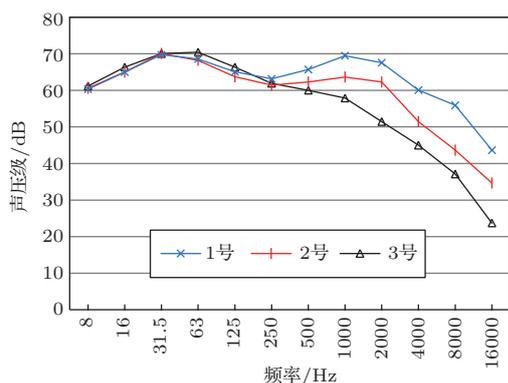


图 4 3 个声样本的频谱图

Fig. 4 The spectrum of three 1-minute sounds excerpts

1.4 受访者

在罗素广场共收集了 98 份问卷, 在喷泉核心观赏区和非核心观赏区均收集到超过 30 份问卷, 可以满足空间差异研究的最低样本量需求。女性样本占整体的 56%, 男性占 43%。受访者的平均年龄为 33 岁 ($SD = 1.53$, 最小值 = 18, 最大值 = 72)。34% 的受访者为学生, 53% 的受访者有职业, 其余受访者为无业/退休/其他。就教育水平而言, 超过 80% 的受访者具有本科及以上学历。另外, 45% 的受访者是伦敦本地人。

1.5 统计分析

对该问卷的信度和效度进行检验。克隆巴赫 α 信度系数为 0.713, 信度可接受; $KMO =$

$0.701 > 0.6$, 巴特利特球形检验近似卡方值为 550.817 ($p = 0.000 < 0.05$), 满足因子分析的要求。

对于“最显著的单一声源”这一开放性问题的回答, 受访者共报告了 4 类声源: 水声、交通声、人声、自然声。根据题项 (3) 的结果, 这 4 类最显著声的声音水平主观评估无显著差异 ($F = 1.267, p = 0.291 > 0.05$)。按照“水声是否为最显著声”将该题项的结果处理为“水声是否是最主导的声源”名义变量, 并对其进行哑变量处理。

为了探索喷泉声景的评价维度, 进行因子分析提取主成分。对于几项关键的声景描述符实施逐步回归分析, 以研究喷泉视听感知对空间整体声景评估的影响。另外, 使用中介效应分析进一步确定喷泉视听感知影响整体声景评估的空间效果。所有统计分析均使用统计软件 SPSS 26.0 进行。

2 结果及讨论

为了减少变量, 对情感感知质量题项集合进行主成分分析。适应性检验结果为 $KMO = 0.703 > 0.6$, 巴特利特球形检验近似卡方值为 170.401 ($p = 0.000 < 0.05$), 满足因子分析的要求。8 个情感特性被简化为特征值大于 1.0 的两个正交变量, 分别解释了数据集中 38.3% 和 23.0% 的方差。成分分数通过回归方法计算得到。第一个简化变量可以表示“声景愉悦性”, 第二个简化变量可以表示“声景事件感”, 符合 Rådsten-Ekman 等^[6] 建议的模型, 即水声景的感知可以以愉悦性和事件感作为主要的维度进行解释。

为了探索喷泉视听感知的 4 个变量、声景品质、声景协调、两个简化的情感特性(愉悦性和事件感)、声源评估的 4 个变量(交通噪声、其他噪声、人声、自然声)之间的关系, 对这些变量再次进行主成分分析。适应性检验结果为 $KMO = 0.642 > 0.6$, 巴特利特球形检验近似卡方值为 313.583 ($p = 0.000 < 0.05$), 满足要求。结果将变量集合简化为特征值大于 1.0 的 4 个维度, 分别解释了 23.2%、13.3%、13.3%、12.4% 的集合方差。成分分数通过回归方法计算得到。对水声的接受程度、对水景的接受程度、声景品质、声景协调、和声景愉悦性 5 个题项属于维度一。该成分与 5 个题项均呈正相关, 因此该维度可以被标记为“喷泉声景的正面性”。第二个维度用水景在多大程度主导视

野和水声是否是最主导的声源进行解释。主导程度越高,该成分分数更高,因此该维度代表了“水景和水声的主导性”。第三个维度与人声和事件感正相关。这表明该部分代表“社交环境”。第四个维度用其他噪声和交通噪声进行解释,因此该维度被标记为“噪声评估”。

根据上述主成分分析的结果对图1所示的研究框架的空间整体声景评估项进行细化和调整:保留声景品质和声景协调评估项,使用“愉悦性”和“事件感”作为简化的情感感知质量,另外,将声源评估的重心放在噪声评估上。调整后的空间整体声景评估项见表2因变量栏。

表2 线性回归分析(逐步方法)

Table 2 Linear regression analysis (step-by-step method)

因变量	自变量	R^2	Var/%	F	p
声景品质	对水声的接受程度	0.247(2nd)	24.7	13.943	0.000
	对水景的接受程度	0.209(1st)			
	水景在多大程度主导视野				
	水声是否是最主导的声源				
声景协调	对水声的接受程度	0.234(1st)	23	26.221	0.000
	对水景的接受程度				
	水景在多大程度主导视野				
	水声是否是最主导的声源				
声景愉悦性	对水声的接受程度	0.247(1st)	24.7	17.634	0.000
	对水景的接受程度				
	水景在多大程度主导视野				
	水声是否是最主导的声源				
声景事件感	对水声的接受程度	0.075 (1st)	7.5	6.957	0.011
	对水景的接受程度				
	水景在多大程度主导视野				
	水声是否是最主导的声源				
噪声评估	对水声的接受程度	0.142(2nd)	14.2	7.031	0.001
	对水景的接受程度				
	水景在多大程度主导视野				
	水声是否是最主导的声源				

2.1 喷泉视听感知对空间整体声景评估的影响

为了识别出最能解释声景评估项(声景品质、声景协调、声景愉悦性、声景事件感、噪声评估)的喷泉相关变量,将“对水声的接受程度”、“对水景的接受程度”、“水景在多大程度主导视野”、“水声是否是最主导的声源”作为自变量,使用逐步线性回归进行分析,并获得喷泉视听感知解释的空间整体声景评估的方差百分比(%Var),结果见表2。当声景品质作为因变量时,最能预测喷泉声景品质的是“对水声的接受程度”($\beta = 0.326, t = 2.860, p < 0.01$)和“对水景的接受程度”($\beta = 0.234, t = 2.059, p < 0.05$)。两者均具有正面影响,共同解释了25%的声景品质($F = 13.943, p < 0.001$)。当声景协调作为因变量时,最能对其进行预测的是“对水

声的接受程度”($\beta = 0.483, t = 5.121, p < 0.001$),解释了23%的声景协调($F = 26.221, p < 0.001$)。对水声的接受程度越高则声景协调越高。将声景愉悦性和事件感分别作为因变量的逐步分析结果表明,愉悦性由“对水声的接受程度”进行预测是最佳的($\beta = 0.417, t = 4.199, p < 0.001$),其解释了愉悦性的17%($F = 17.634, p < 0.001$)。声景事件感由“对水景的接受程度”进行预测是最佳的($\beta = 0.274, t = 2.607, p < 0.05$),占事件感方差的8%($F = 6.207, p < 0.05$)。另外,当噪声评估作为因变量时,最能预测噪声评估的是“水声是否是最主导的声源”($\beta = -0.288, t = -2.863, p < 0.01$)和“水景在多大程度主导视野”($\beta = -0.235, t = -2.343, p < 0.05$),两者共

同解释了14%的噪声评估($F = 7.031, p < 0.01$)。即,喷泉视听刺激的主导程度越高,噪声水平的主观评估值越低。

总体上,喷泉视听感知对空间整体声景评估的影响主要来自于对喷泉水声和水景的接受程度,水声和水景的主导性的影响相对较少(仅对噪声评估产生影响)。值得注意的是,对水景的接受程度和对水声的接受程度在影响空间整体声景评估上各有侧重:对水声的接受程度更能影响声景协调和声景愉悦性,对水景的接受程度更能影响声景品质和声景事件感。

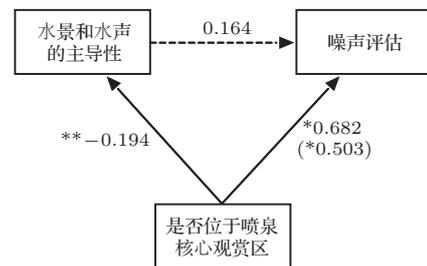
2.2 喷泉视听感知的空间差异

首先确定喷泉视听感知在整个场所范围内是否存在空间差异,即喷泉视听感知是否会受到“与喷泉的距离”或“是否位于喷泉核心观赏区”两空间因素的影响。回归分析的结果表明受访者与喷泉的距离能显著影响水景在多大程度主导视野($R^2 = 0.182, F = 22.157, p < 0.001$)和水声是否是最主导的声源($OR(95\%CI) = 0.723(0.623 \sim 0.840) p < 0.001$),但不影响受访者对水景和水声的接受程度。通过单样本t检验和卡方检验,发现位于喷泉核心观赏区的受访者比位于非该区域的受访者看到的喷泉更多($t = 3.792, p = 0.000$),水声被报告为主导声的频率更高($\chi^2 = 14.966, p = 0.000$),但对水景和水声的接受程度不存在差异。因此,空间因素(“与喷泉的距离”和“是否位于喷泉核心观赏区”)不影响对喷泉视听刺激的接受程度,但会显著影响其主导性,距离越远或位于非喷泉核心观赏区均会导致视听刺激的主导性下降。

由于前述结果表明噪声评估会受到水景和水声的主导性的影响,因此噪声评估也可能在空间上存在差异。通过回归分析进行确定,结果表明噪声评估不受距离的影响,但在空间区划上存在显著差异($R^2 = 0.051, F = 4.478, p < 0.05$),喷泉核心观赏区的噪声评估显著低于非该区域的噪声评估。

为了确定噪声评估在空间区划上的差异是否通过水景和水声的主导性的中介来达到,因此,以噪声评估为因变量、空间区划因素(是否位于喷泉核心观赏区)作为自变量,水声和水景的主导性为中介变量进行了中介效应分析,结果见图5。结合Sobel检验的结果,得出空间区划对噪声评估的影响不是通过“水景和水声的主导性”中介变量起作用

的。噪声评估在空间上的差异可能是由于场所声源变化造成。结合图4可以看出,随着与喷泉的距离增加,声样本在高频区间的声压级逐渐降低。距离喷泉约0.5 m处的声样本的频谱以31.5 Hz和1000 Hz为主导;距离喷泉约25 m处和50 m处的声样本以低频成分为主导;距离喷泉约50 m处的声样本的低频区间声压级高于另两个测量点的相应值。由此推断,非喷泉核心观赏区距离喷泉更远因此高频水声更弱,更靠近外围道路交通因此存在更多低频交通声,该声源变化一定程度导致了噪声评估值的增加。



(*在0.05的水平上显著, **在0.01的水平上显著)

图5 中介效应分析

Fig. 5 The mediating effect analysis

3 结论

本文基于现场调查进行分析,得出以下结论:

(1) 喷泉视听感知对空间整体声景评估的影响主要来自于对喷泉水景和水声的接受程度而非水景和水声的主导性。并且,对水景的接受程度和对水声的接受程度在影响空间整体声景评估上各有侧重:对水声的接受程度更能影响声景协调和声景愉悦性,对水景的接受程度更能影响声景品质和声景事件感。

(2) 空间因素(“与喷泉的距离”和“是否位于喷泉核心观赏区”)会显著降低水景和水声的主导性,但是受访者对水景和水声的接受程度不受空间因素的影响,能够在整个场所内保持稳定;此外,喷泉视听感知的空间差异不是导致空间整体声景评估产生空间差异的原因。

致谢 该SSID(Soundscape Indices)项目得到了欧洲研究委员会(ERC)的资助(编号740696)。谨向SSID项目团队的研究人员们致谢,感谢他们对本文在数据收集工作和意见反馈上的帮助和贡献。另外,感谢所有受访者对本研究的无私支持。

参 考 文 献

- [1] Brown A L, Rutherford S. Using the sound of water in the city[J]. *Landscape Australia*, 1994, 16(2): 103–107.
- [2] Nilsson M E, Alvarsson J, Rådsten-Ekman M, et al. Auditory masking of wanted and unwanted sounds in a city park[J]. *Noise Control Engineering Journal*, 2010, 58(5): 524–531.
- [3] Watts G R, Pheasant R J, Horoshenkov K V, et al. Measurement and subjective assessment of water generated sounds[J]. *Acta Acustica united with Acustica*, 2009, 95(6): 1032–1039.
- [4] Jeon J Y, Lee P J, You J, et al. Perceptual assessment of quality of urban soundscapes with combined noise sources and water sounds[J]. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 2010, 127(3): 1357–1366.
- [5] Jeon J Y, Lee P J, You J, et al. Acoustical characteristics of water sounds for soundscape enhancement in urban open spaces[J]. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 2012, 131(3): 2101–2109.
- [6] Rådsten-Ekman M, Axelsson Ö, Nilsson M E. Effects of sounds from water on perception of acoustic environments dominated by road-traffic noise[J]. *Acta Acustica united with Acustica*, 2013, 99(2): 218–225.
- [7] Ekman R M, Lundén P, Nilsson M E. Similarity and pleasantness assessments of water-fountain sounds recorded in urban public spaces[J]. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 2015, 138(5): 3043–3052.
- [8] Galbrun L, Ali T T. Acoustical and perceptual assessment of water sounds and their use over road traffic noise[J]. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 2013, 133(1): 227–237.
- [9] Leung T M, Chau C K, Tang S K, et al. Developing a multivariate model for predicting the noise annoyance responses due to combined water sound and road traffic noise exposure[J]. *Applied Acoustics*, 2017, 127: 284–291.
- [10] de Coensel B, Vanwetswinkel S, Botteldooren D. Effects of natural sounds on the perception of road traffic noise[J]. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 2011, 129(4): EL148–EL153.
- [11] Axelsson Ö, Nilsson M E, Hellström B, et al. A field experiment on the impact of sounds from a jet-and-basin fountain on soundscape quality in an urban park[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2014, 123: 49–60.
- [12] 张秦英, 胡杨, 李丹丹. 基于声漫步的天津水上公园声景观评价研究[J]. *中国园林*, 2019, 35(9): 48–52.
Zhang Qinying, Hu Yang, Li Dandan, Research on soundscape of Tianjin Water Park based on soundwalks[J]. *Chinese Landscape Architecture*, 2019, 35(9): 48–52.
- [13] 莫尔科夫基纳·达莉雅, 刘海龙, 许晓青. 水声景与人的感知研究[J]. *中国园林*, 2020, 36(7): 99–104.
Morkovkina D, Liu Hailong, Xu Xiaoqing. Research on water soundscape and people's perception[J]. *Chinese Landscape Architecture*, 2020, 36(7): 99–104.
- [14] 谢辉, 程语, 葛煜喆, 等. 中国古典园林水声景的空间营造手法探析[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2019, 43(3): 123–130.
- Xie Hui, Cheng Yu, Ge Yuzhe, et al. The spatial construction of water soundscape in Chinese classical gardens[J]. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*, 2019, 43(3): 123–130.
- [15] 张圆, 康健, 金虹. 高密度城市公共开放空间的恢复性效益研究——以沈阳市为例[J]. *建筑学报*, 2015(S1): 152–157.
Zhang Yuan, Kang Jian, Jin Hong. Study on restorative benefits of public open space in high-density city: take Shenyang as an example[J]. *Architectural Journal*, 2015(S1): 152–157.
- [16] 蒿奕颖. 声景中声掩蔽效应导向的规划设计[J]. *新建筑*, 2014(5): 36–39.
Hao Yiyang. Urban design and planning from the perspective of “masking effects” in soundscape[J]. *New Architecture*, 2014(5): 36–39.
- [17] 刘芳芳, 康健, 刘松祚. 英国城市声景特色研究及其对我国的启示——以英国谢菲尔德市为例[J]. *建筑学报*, 2013(S1): 142–146.
Liu Fangfang, Kang Jian, Liu Songfu. The research of urban soundscape features in UK and its use for reference in China: a case study on the city of Sheffield in UK[J]. *Architectural Journal*, 2013(S1): 142–146.
- [18] Viollon S. Two examples of audio-visual interactions in an urban context[J]. *Acta Acustica united with Acustica*, 2003, 89: S58.
- [19] Lugten M, Karacaoglu M, White K, et al. Improving the soundscape quality of urban areas exposed to aircraft noise by adding moving water and vegetation[J]. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 2018, 144(5): 2906–2917.
- [20] Carles J L, Barrio I L, de Lucio J V. Sound influence on landscape values[J]. *Landscape and Urban Planning*, 1999, 43(4): 191–200.
- [21] Hong J Y, Lam B, Ong Z T, et al. Effects of contexts in urban residential areas on the pleasantness and appropriateness of natural sounds[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2020, 63: 102475.
- [22] Hong J Y, Jeon J Y. Designing sound and visual components for enhancement of urban soundscapes[J]. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 2013, 134(3): 2026–2036.
- [23] Pheasant R J, Fisher M N, Watts G R, et al. The importance of auditory-visual interaction in the construction of ‘tranquil space’[J]. *Journal of Environmental Psychology*, 2010, 30(4): 501–509.
- [24] Schafer R M. Our sonic environment and the soundscape[M]. *The Tuning of the World*. Destiny Books, 1994: 3–259.
- [25] Kang J, Aletta F, Oberman T, et al. Towards soundscape indices[C]. *Proceedings of the 23rd International Congress on Acoustics*, Aachen, Germany, 2019: 9–13.
- [26] Mitchell A, Oberman T, Aletta F, et al. The soundscape indices (SSID) Protocol: a method for urban soundscape surveys—Questionnaires with acoustical and contextual information[J]. *Applied Sciences*, 2020, 10(7): 2397.