

引用格式: 刘宇峰, 史晓峰. 平遥古城声环境调查与评价[J]. 声学技术, 2020, 39(6): 728-735. [LIU Yufeng, SHI Xiaofeng. Investigation and evaluation of acoustical environment in Pingyao ancient city[J]. Technical Acoustics, 39(6): 728-735.] DOI: 10.16300/j.cnki.1000-3630.2020.06.013

平遥古城声环境调查与评价

刘宇峰, 史晓峰

(太原理工大学建筑学院, 山西太原 030024)

摘要: 以平遥古城为例, 对古城内四个不同性质功能区的声环境展开实地测量和主观问卷调查。调查结果表明, 县衙博物馆和明清街声环境明显超出了我国现行声环境质量标准限值; 历史文化表演声是古城特有的声源构成之一, 与自然声最受人们喜爱。基于语义差别法对古城声环境的影响因素进行了研究, 古城声环境的主要因子包括精神属性(舒适度)、社会属性(趣味性)和物理属性(动态性、强度、丰富度)。其中, 趣味性、强度和丰富度在一天内均呈现出逐渐升高趋势, 与其他声环境相比, 古城声环境丰富度更高, 且兼具趣味性与动态性。最后就古城声景现状提出一些改善建议, 或可为古城类声景营造和优化提供参考。

关键词: 平遥古城; 古城声环境; 声漫步法; 声喜好度; 因子分析

中图分类号: TU112

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2020)-06-0728-08

Investigation and evaluation of acoustical environment in Pingyao ancient city

LIU Yufeng, SHI Xiaofeng

(College of Architecture, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, Shanxi, China)

Abstract: Taking the Pingyao ancient city as an example, a field measurement and subjective questionnaire survey of the acoustic environment of four functional areas in the ancient city is conducted. The investigation results show that the sound pressure levels in the county yamen museum and the Mingqing Street obviously exceed the limits of the current acoustic environmental quality standard; the sound of historical and cultural performances is one of the unique sound sources in the ancient city, and it is most popular as natural sound. The influence factors of acoustic environment in the ancient city are studied based on the semantic difference method. The main factors of acoustic environment include mental attributes (comfort), social attributes (interest) and physical attributes (dynamic, intensity and richness), in which, the interest, intensity and richness show a gradually increasing trend in one day. And the acoustic environment of the ancient city is richer, more interesting and dynamic in comparison with other acoustic environments. At the end of this paper, some suggestions are put forward to improve the present acoustic environment of the Pingyao ancient city, which may provide a reference for the construction and optimization of soundscape of ancient city category.

Key words: Pingyao ancient city; acoustical environment of the ancient city; soundwalk approach; acoustic preference; factor analysis

0 引言

近年来, 环境问题日益突出, 人们对生活品质的要求越来越高, 拥有一个良好的生活、工作环境成为人们美好生活的前提。其中, 声环境也得到人们越来越多的重视, 针对声环境的研究尤其是其在公共空间中展开的研究屡见不鲜。康健等^[1]通过在高校餐厅的问卷调查, 结合对混响时间的测量分

析, 为高校餐厅声环境的改善指出了声屏障、声吸收等多种手段; 武捷等^[2]通过对公园声景的客观测量和主观评价, 验证了城市公园中的人工声和机械声是影响周边住宅最主要的噪声源; 秦鑫等^[3]通过对患者和医护人员的主观调查, 认为对语言声相关声源的控制是病房拥有良好声环境的关键; 康健等^[4]利用实地采集的村镇特色声在实验室中进行虚拟现实评价, 指出加强绿化等手段可以有效地控制噪声, 达到乡村声景营造目的; 周旻^[5]采用声漫步法采集人们对城市历史街区标志声的认同感, 提出了具有声景元素的城市设计方案。

随着声环境研究方向的拓宽, 学者们加大了对声喜好度和声满意度等指标的探索, 已有研究为公园搭建出声满意度和声喜好度的预测模型^[6-7]; 任欣

收稿日期: 2020-04-08; 修回日期: 2020-06-04

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(51708383)、山西省高等学校科技创新项目(2019L0158)

作者简介: 刘宇峰(1994—), 男, 山西吕梁人, 硕士研究生, 研究方向为建筑声学。

通讯作者: 史晓峰, E-mail: xiaofengshi@hotmail.com

欣^[8]分析了声喜好度和声舒适度的影响因素，提出除控制声源外还可以通过增加喜好度较高的声元素实现对乡村声景的规划设计；周志宇等^[9]通过对不同典型历史街区调查发现主导声音各不相同，并对其喜好度的影响因素展开分析；还有学者在对园林声环境的研究中，针对声景观的喜好度和满意度进行主观调查，指出园中声景设计不合理之处^[10]。此外，在宗教性建筑空间和皇家园林的研究中也有学者涉足^[11-13]。迄今为止，在有关景区声景的研究中，以古城为研究对象的文献较少，而以往关于古城的研究也大都是从视觉景观和历史沿革入手，很少有从听觉角度切入的探索。基于上述背景，本文以平遥古城为研究对象，对城内不同性质的功能区进行主、客观调查，总结出每个测区的声景特点，运用 SPSS 软件分析得出声喜好度的影响因素，探讨了视听景观的重视度与满意度之间的关系，最后归纳出影响古城声环境的主要因子，并就古城声景现状提出了一些优化方案，为古城类声环境的发展与保护提供了一定的理论参考。

1 研究对象

平遥古城，始建于西周宣王时期，后被不断修葺、完善，其中明清时期最为显著，被誉为“保存最完好的四大古城”之一。本研究以平遥古城为例，有三个原因：

(1) 平遥古城是山西省最富盛名的地标之一，亦属世界文化遗产，既享有如此盛誉，平遥古城就应为其它古城树立良好典范，而古城的声环境质量是其综合环境质量的有力保障。

(2) 城内拥有迄今为止汉民族地区保存最完好的古代居民群落，为了解古城声环境的历史与发展提供了较大的可能性。

(3) 平遥古城功能分区图如图 1 所示。古城内部街巷通达，功能布局清晰，城西南和城东北均以



图 1 平遥古城功能分区图

Fig.1 Functional zoning map of Pingyao ancient city

居民区为主，城东南是以景点为主的商业区，城西北是以平遥电影宫为中心的室外活动区。城中的人流熙攘声、商业声、自然声等声景观组成丰富，为声环境的研究提供了一个好的研究对象。

2 研究方法

2.1 主要声源与评分项的确定

为准确获取平遥古城声环境评价信息，采用语义差别法(Semantic Differential, SD)法制作语义差别评价的七级量表。SD 法是美国心理学家 C. E. Osgood 提出的一种语义差分方法，评价等级两端往往是意义完全相反的形容词，中间分作若干等级，评价者依据真实感受给出相应的评分，在声景领域中应用甚广^[14-16]。在问卷调查前，通过预实验对拟定的 22 组用来描述声音特性的形容词对进行筛选，将剩余词对作为问卷的语义评分项，预实验采用声漫步法(Soundwalk Approach)。“Soundwalk”的概念最早由加拿大作曲家 R. M. Schafer 提出，参与者需要保持高度的声音敏感性在预先设定好的路线上进行漫步，对沿途的声音作出判断与评价^[17]。此前，有学者运用该方法确定了研究的主要声源^[18-19]。

依据古城内功能分区的特征选取四个样点作深入研究，每一个功能区均选取两个样点。城东北居民区的火神庙为样点 1，样点 2 为商业区的明清街(南大街)，样点 3 是城内客流量最大的景点——平遥县衙博物馆，城西南居民区选择沙巷街旁的西巷为样点 4。由于调研期间平遥电影宫未举办任何活动，城西北未选取任何样点研究。按照 4 个样点的分布情况，绘制声漫步路线如图 2 所示。调研小组沿路线前行并记录沿途的主要声音，依据真实感受完成语义量表。实验结果表明，漫步过程中的主要声音有交通运输(自行车、电瓶车、汽车、步行)



图 2 声漫步路线图

Fig.2 The route of soundwalk experiment

噪声、社会生活噪声(商业声、交谈声、导游讲解声、社区噪声)、自然声(鸟声、风声)、历史文化表演声和建筑施工噪声,将这五类声音确定为问卷调查的主要声音。另外,根据语义评价量表的完成情况,剔除了5组不易理解或不易做出判断的形容词组(美好—丑陋,安全—不安全,缓慢—急促,亲切—冷漠,友好—不友好),剩余17组形容词对被确定为平遥古城声环境的评分项。

2.2 声压级测量与问卷设计

本次调研时间为2019年11月16日~2019年11月17日,室外气温为16℃,湿度为56%。测量仪器为HS6298B型噪声频谱分析仪,校准误差 ≤ 0.2 dB,所有测量值均为A声级,对四个样点进行四个时段的声压级测量:上午9:00,中午12:00,下午16:00,晚上20:00。测点于地面以上约1.5 m,与四周墙面的距离大于1 m,每个时段测量一次,每次连续测量5 min。

问卷包括四方面内容。(1)被调查者的基本信息:性别、年龄、身份(游客/本地居民);(2)被调查者对各类声音的感知频率(满分5分,分值越高发生越频繁)和喜好度的评分(满分5分);(3)对古城的视觉景观、声景观和整体环境进行满意度评价(满分5分),并对视觉景观和声景观的重视度进行排序(1表示重视度为第一,2表示重视度为第二);(4)由17组形容词对组成的语义量表,中间分为七个连续等级,分值依次为-3、-2、-1、0、1、2、3分。问卷中所有分值均取整数,并记录填写时间与地点。

3 调查结果分析

3.1 客观测量

声压级测量结果如表1所示。西巷居民区是城内较为古老的原住居民区,参照人们的出行习惯可知,该区域一天内声压级的变化符合日常的潮汐规律:晚上出行量最小,其声压级最低,为40.4 dB(A);上午和中午是出行密集时段,其声压级高出晚上7~8 dB(A);下午时,居民的流动性减弱,其声压级也逐渐降低。据考察,火神庙周边的院落多被改建为民宿,四个时段内的声压级均处于50~55 dB之间,相较于西巷居民区,火神庙居民区的商业元素较多,外来人员流动性较大,声压级均值超过了西巷居民区。中午时,其声压级到达峰值,游客入住量的增大可能是声压级上涨的主要原因;相比昼间,多数景区在夜间并不开放,城内的游客量减小许多,其声压级到达最小值。

表1 各样点声压级测量值
Table 1 Measured sound pressure levels at various points

时间	声压级/dB(A)			
	西巷居民区	火神庙居民区	明清街	县衙博物馆
上午	47.7	52.2	68.7	69.1
中午	48.7	54.5	69.9	57.0
下午	43.7	51.3	71.3	70.9
晚上	40.4	50.0	71.8	58.7
平均值	45.1	52.0	70.4	63.9

明清街是古城内最繁华的商业区,也是四个样点中声压级测量值最高的测区。游客的数量随着一天中时刻的推移而增多,城内的商业活动也愈加频繁,使该区域在一天中的声压级始终呈增长的趋势,并且每个时段的声压级均稳定于70 dB(A)左右。县衙博物馆的开放时间受限,一天内声压级的变化幅度较大,其中,上午和下午均在70 dB(A)上下浮动,中午和晚上处于58 dB(A)左右。据观测,上午是衙门街(县衙门前街道)的交通高峰期,本地居民的流动性较大,出行方式以电瓶车为主,其声压级较高;下午是县衙纳客量的高峰,这个时段县衙内的历史文化表演是声压级升高的主要原因;而中午恰好避开了交通高峰和表演时段,其声压级较低,为57 dB(A);冬季18:00后,县衙闭馆,衙门街上偶有行人、电瓶车经过,所测声压级也较低,为58.6 dB(A)。

依据我国现行声环境质量标准^[20],1类环境功能区的昼间噪声限值为55 dB(A),2类环境功能区的昼间噪声限值为60 dB(A)。西巷居民区和火神庙居民区属1类环境功能区,其整体声环境质量达标;明清街和县衙博物馆属2类环境功能区,其中,明清街的平均声压级超出限值约10 dB(A),县衙博物馆在中午和晚上的声压级值在噪声限值以内,但上午和下午的声压级均超出限制约10 dB(A),显然,县衙博物馆和明清街的声环境均未达标,需采取一定的措施加以控制。

3.2 主观问卷

本次问卷发放总量为210份,收回有效问卷206份。其中,明清街的问卷量为63份,县衙博物馆为52份,西巷居民区为46份,火神庙居民区为45份;上午收回68份,中午收回66份,下午收回72份。表2为被调查者的基本信息分布情况。

表2 问卷基本信息分布表(人)
Table 2 Basic information of the questionnaires(人)

性别		身份		年龄/岁			
男	女	本地居民	游客	<18	18~30	30~50	>50
99	107	71	135	42	77	48	39

3.2.1 声源构成

声源的构成可以直观地反映出该调研区的特色声和主要声源，而各类声源的发生频率很大程度上可以反映声源的构成情况。问卷中以分值的形式表示各类声源的发生频率(分值越高，其发生频率越高，满分为 5 分)。表 3 即为各调研区的声源构成的得分情况。沙巷街作为古城内的一条交通辅道，具有一定的载流量，附近的居民出行比较频繁，出行方式也比较丰富，社会生活噪声和交通运输噪声便成为西巷居民区发生频率最高的两种声音，另外，该区域还存在一定的自然声(3.0 分)，但几乎不存在建筑施工噪声和历史文化表演声。火神庙居民区与西巷居民区情况相似，也存在一定的自然声，几乎没有历史文化表演声的发生，且其主要的声音也是社会生活噪声，交通运输噪声次之，但民俗区不定期的改建、修整使建筑施工噪声偶有发生。

表 3 不同区域的声源构成
Table 3 The composition of sound sources at various areas

主要声源	得分				平均值
	西巷居民区	火神庙居民区	明清街	县衙博物馆	
社会生活噪声	3.6	3.8	4.4	4.3	4.0
交通运输噪声	3.5	3.3	3.1	4.2	3.5
建筑施工噪声	1.7	2.9	1.6	1.4	1.9
自然声	3.0	3.0	1.5	1.7	2.3
历史文化表演声	1.5	1.3	2.0	3.5	2.1

明清街是游客集散和商业活动的中心区域，其发生频率最高的一项是社会生活噪声，高出其余四类声音至少 1.0 分，显然，社会生活噪声是明清街的主要声音。由于明清街的主要功能设定为步行街，因而受交通运输噪声的影响较小，其发生频率趋于中间值。另外，在明清街，历史文化表演声很少会被听到，建筑施工噪声和自然声也几乎听不到。

县衙博物馆是城内人流量最大的景点，其声音主要来自于游客。数据表明，由此产生的社会生活噪声是县衙发生频率最高的一项，交通运输噪声和历史文化表演声次之，且明显高于自然声和建筑施工噪声。这表明社会生活噪声、交通运输噪声和历史文化表演声是县衙博物馆的主要声音。其中历史文化表演声得分为 3.5 分，远高于该声音在其它三个样点处的分值，可以认为历史文化表演声是县衙博物馆的特色声。

3.2.2 声喜好度及其影响因素

对各类声音的喜好度取平均值进行统计可知，

自然声和历史文化表演声的分值最高。其中，有 80% 的问卷在对自然声的喜好度评价中给出了 4 分及以上的评分；对于历史文化表演声的喜好度，有 70% 的评价在 4 分及以上，显然，人们对自然声和历史文化表演声的喜爱程度最高。社会生活噪声和交通运输噪声的平均值都在 3 分以下，这表示人们可能对两种声音产生了听觉麻木感。尽管古城中的建筑施工噪声很少，但其喜好度的得分仍然最低，这反映出在人们潜意识里就非常讨厌施工所产生的噪声，因此在喜好度影响因素的研究中对此类声音不作探讨。

此前的研究发现被调查者的某些基本信息(如年龄，性别等)会显著影响部分声音的喜好度^[11,21]。本次研究将被调查者的性别、身份、年龄作为自变量，以声喜好度为因变量，输入 SPSS 软件展开分析，对性别和身份因素采取 Mann-Whitney U 秩和检验，对年龄因素进行 Spearman 秩相关分析。

结果如表 4 所示，自然声的喜好度($p=0.041$)和历史文化表演声的喜好度($p=0.044$)在性别因素上均存在显著性差异，男性与女性在历史文化表演声喜好度上的均值差为 0.40，在自然声喜好度上的均值差为-0.36，说明男性对历史文化表演声的喜好度普遍高于女性，而女性对自然声的喜好度明显高于男性，这种喜好规律可能源自于男性好动活跃与女性偏好安静的特点。对身份因素的检验表明，社会生活噪声($p=0.016$)和交通运输噪声($p=0.002$)的喜好度均存在显著性差异，本地居民与游客在两类声音喜好度上的均值差分别为 0.48 和 0.71，说明本地居民对社会生活噪声和交通运输噪声的喜好度都要明显高于游客，这可能与这两类声音在古城内普遍存在而使本地居民产生听觉疲劳有关，相较之下，游客的心情更容易受到这两类声音的影响。

表 4 声音声喜好度与被调查者基本信息的关系
Table 4 The relationship between sound preference and respondents' information

主要声源	<i>p</i>			均值差		相关系数
	性别	身份	年龄	性别	身份	
社会生活噪声	0.396	0.016*	0.712	0.19	0.48	0.153
交通运输噪声	0.265	0.002*	0.034*	-0.18	0.71	-0.114
自然声	0.041*	0.648	0.472	-0.36	-0.13	0.126
历史文化表演声	0.044*	0.602	0.028*	0.40	-0.30	0.108

注：*表示在 0.05 水平上显著相关。

在年龄因素上，交通运输噪声喜好度的 p 值为 0.034，相关系数为-0.114，说明随着年龄的增大，人们对交通运输噪声的喜好度明显下降；历史文化

表演声喜好度的 p 值为 0.028, 相关系数为 0.108, 说明年龄越大对这类声音的喜好程度越高。依据问卷时的访谈记录, 游客在古城内漫步游玩时, 突然感知到身边存在某些交通行为, 很可能会打破这种美好意境, 年纪越长越易产生不安、焦躁的心理; 而当古城内出现历史文化表演时, 人们的注意力就会被吸引过去, 中老年游客的反应尤为强烈。由此可以推断, 这两种声音的喜好度规律很大程度上源自于随年龄增长逐渐产生对交通行为的畏惧心理和对历史文化表演形式的喜爱程度。

3.2.3 视觉景观与声景观

人们对视觉景观的重视度普遍高于声景观^[22], 但这个共性是否会影响到人们对这两项内容满意度的评价, 还需进一步研究验证。本次问卷以视觉景观满意度和声景观满意度为平遥古城整体环境满意度的分项评价指标, 结果表明整体环境满意度为 83%, 视觉景观满意度为 87%, 声景观满意度为 75%。显然, 人们对平遥古城整体环境的评价等级为良, 相较于声景观, 古城的视觉景观才是在整体环境的评价中发挥着提升效应的重要内容。对视觉景观重视度与声景观重视度的比值进行统计可知, 65% 的人群认为视觉景观更重要, 17% 的人群更加注重声感知, 而认为两者同等重要的问卷占到总量的 18%, 显然, 人们对声景观的重视度远不如视觉景观。

为便于运用 SPSS 软件分析, 取视觉景观与声景观的重视度之比和满意度之比为变量进行 Kruskal-Wallis 检验, 输出 p 值为 0.024, 说明人们对视觉景观重视度和声景观重视度的差别确实会影响对二者满意度的评价。就此分析存在的显著差异性, 本文以满意度之比和重视度之比为因变量, 对性别与身份因素进行 Mann-Whitney U 秩和检验, 对年龄进行 Spearman 秩相关分析, 继续验证视觉景观和声景观的满意度与重视度是否受被调查者基本信息的影响, 并明确其影响趋势。

检验结果如表 5 所示, 重视度之比在性别和身份因素上 ($p > 0.05$) 均无显著性差异, 但满意度之比在身份因素上表现出显著性差异, 其均值差为 -0.12, 说明相较于本地游客, 游客认为古城视觉景观与声景观的差别更大, 这也符合游客的普遍游览习惯。Spearman 秩相关分析结果表明, 满意度之比 ($p = 0.028$) 和重视度之比 ($p = 0.041$) 皆与年龄因素呈现出显著性差异。其中, 重视度之比的相关系数为 0.181, 说明随着年龄的增长, 相较于视觉景观, 人们对声景观的重视度越来越高; 满意度之比的相关

表 5 视觉对声景的满意度比值和重视度比值与被调查者基本信息的关系

Table 5 The satisfaction ratio and attention ratio of visual landscape to soundscape based on respondents' information

因变量	p			均值差		相关系数
	性别	身份	年龄	性别	身份	年龄
视觉景观与声景观的满意度之比	0.861	0.039*	0.028*	0.06	-0.12	0.193
视觉景观与声景观的重视度之比	0.804	0.072	0.041*	0.06	0.38	0.181

注: *表示在 0.05 水平上显著相关。

系数为 0.193, 说明相较于视觉景观, 年龄的增长减弱了听觉上的满意度。年龄增长导致人耳敏感性逐渐降低可能是人们越来越注重听觉体验的根本原因, 以挑剔的心理对声景观的质量提出了越来越高的要求。可以看出, 视听景观重视度的差别对这两项内容满意度评价的影响其实源自于年龄的差别对其造成的影响。

乡村和公园整体环境的评价都会受到视听交互作用的影响^[8,23], 本次研究将对平遥古城的整体环境进行验证。对整体环境、视觉景观和声景观的满意度进行单因素方差分析表明, 整体环境的满意度与视觉景观满意度和声景观满意度均呈显著正相关 (p 值均小于 0.05, 相关系数都大于 0)。通过进一步的简单效应分析得到视觉景观与声景观交互项的 p 值等于 0.012, 表明平遥古城的视觉景观和声景观之间也存在一定的交互作用, 影响着对其整体环境的评价。

3.2.4 主要因子

因子分析法可以从多个评价指标中筛选、归纳出数个主因子以达到简化、降维的目的, 本研究选用该方法对语义量表进行分析。其中, 可靠性分析结果显示 Cronbach's Alpha 系数为 0.76, 说明问卷数据内部一致性较高, 属于高信度; 另外, 通过 KMO 和 Bartlett 球形检验, 得出 KMO 系数为 0.707, 说明因子分析结果的有效性较高。设定排除的小系数绝对值为 0.5, 表 6 为经最大方差法旋转后的成分矩阵表。将 17 组形容词对分为 5 类, 即表明影响平遥古城声环境的主要因子有 5 个, 其方差解释率总计 62%, 在声环境相关研究中属于较高水平。其中, 因子 1 的方差解释率为 17.17%, 与舒适性相关, 包括放松—焦虑、喜爱—讨厌、和谐—冲突、愉悦—不愉悦; 因子 2 的方差解释率为 16.69%, 与趣味性相关, 包括有特色—无特色、有趣—无趣、有共鸣—无共鸣和有信息—无信息; 因子 3 的方差解释率为 11.25%, 与动态性相关, 包括起伏—平稳、集中—分散、刺耳—柔和和人造—自然; 因子 4 的

方差解释率为 9.23%，体现了声音的强度，包括响亮—低沉、强—弱和喧闹—安静；因子 5 的方差解释率为 7.66%，体现了声音的丰富度，包括多样—单一、模糊—清晰，可见声音种类的多少一定程度上会影响语言交流的清晰度。

5 个因子的方差解释率相当，说明这 5 个因子对于平遥古城的声环境具有足够的代表性，涵盖了精神属性(舒适度)、社会属性(趣味性)、物理属性(动态性、强度、丰富度)，与类似研究中覆盖的评价区间基本吻合，且无论哪个因子都不能单独主导平遥古城声环境的总评价值。大学校园声环境的主要因子为生活、交流、空间感，古城声环境缺乏生活气息^[24]，但丰富度相对较高，且兼具趣味性和动态性；乡村声景的主要因子为休闲娱乐指标、音质本身的动态性指标、环境知觉指标、交流与空间感^[8]，而商业性更强的古城，其声环境明显缺乏环境感知的特性，但其声环境的丰富度更高；商业街声景的主要因子为喜好度、交流性、强度、趣味性、丰富性^[25]，相较于古城声环境缺乏一定的动态性；旅游风景区声景观的主要因子为和谐静谧感、亲切感、缓和感、明快感^[13]，古城声环境的丰富度和趣味性相对较高，而开敞性质的旅游风景区所带来的明快感是古城所不具备的。

表 6 基于 147 个样本旋转后的因子分析矩阵表
Table 6 Factor analysis matrix table based on the rotation of 147 samples

主要因子	方差解释率/%	形容词对	KMO 系数
因子 1	17.17	放松—焦虑	0.79
		喜欢—讨厌	0.78
		和谐—冲突	0.78
		愉悦—不愉悦	0.73
因子 2	16.69	有特色—无特色	0.83
		有趣—无趣	0.77
		有共鸣—无共鸣	0.74
		有信息—无信息	0.72
因子 3	11.25	起伏—平稳	0.76
		集中—分散	0.68
		刺耳—柔和	0.58
		人造—自然	0.52
因子 4	9.23	响亮—低沉	0.71
		强—弱	0.63
		喧闹—安静	0.62
因子 5	7.66	多样—单一	0.78
		模糊—清晰	0.61

注：平均 KMO 系数为 0.707，总方差解释率为 62.00%

通过对问卷中 5 个因子的总得分取平均值，计算出各均值依次为，因子 1(2.7)、因子 2(1.8)、因子 3(-1.3)、因子 4(0.8)和因子 5(0.9)，说明在平遥古城

中，声音舒适性非常高、趣味性很高、强度和丰富度较高，动态性不足。为进一步验证 5 个因子的合理性以及影响因素，以被调查者的基本信息(性别、身份、年龄)为自变量，对 5 个主要因子的评价价值进行方差检验。另外，本研究还将问卷填写时间也作为自变量进行分析，以探索古城声环境在一天中的变化规律。

检验结果如表 7 所示，因子 1($p=0.019$)和因子 3($p=0.027$)均与性别因素呈现出显著相关性，其中，因子 1(舒适性)的均值差为-1.635，因子 3(动态性)的均值差为-1.022，说明女性对于舒适性的评价高于男性，但对于动态性的评价低于男性。因子 1($p=0.013$)和因子 2($p=0.047$)均在身份因素上存在显著性差异，因子 1(舒适性)的均值差为-2.430，因子 2(趣味性)的均值差为-2.210，说明游客对舒适性和趣味性的评价高于本地居民。在年龄因素上，只有因子 5 ($p=0.025$)存在显著性差异，通过比较各年龄段的平均得分可知，50 岁以上人群给出的评分明显低于其余三个年龄段，年龄增长导致人耳敏感性降低从而减弱了对声音的捕捉，可能是该年龄段丰富度评价较低的主要原因。因子 2($p=0.003$)、因子 4($p=0.046$)和因子 5($p=0.012$)在问卷填写时间上都表现出显著性差异。结合每个因子各时段的平均得分可知，因子 2(趣味性)在下午的分值明显高于其余两个时段，说明下午时城内的声音更加有趣，包含的信息量也更高；因子 4(强度)在上午的分值明显低于中午和下午，说明上午时城内声音的强度最弱；因子 5(丰富度)在下午的分值最高，中午次之，上午最低，说明下午时城内存在的声音种类达到最大。总的来说，古城内声音的趣味性、强度和丰富度随着一天内时刻的推移，总体上都呈现出逐渐升高的趋势。

表 7 主要因子与被调查者基本信息的关系
Table 7 The relationship between main factors and basic information of respondents

主要因子	性别		身份		年龄	时间
	p 值	均值差	p 值	均值差	p 值	p 值
因子 1	0.019*	-1.635	0.013*	-2.430	0.653	0.053
因子 2	0.172	1.072	0.047*	-2.210	0.260	0.003*
因子 3	0.027*	-1.022	0.100	1.748	0.863	0.659
因子 4	0.214	0.867	0.959	-1.087	0.451	0.046*
因子 5	0.274	-0.476	0.297	0.965	0.025*	0.012*

注：*表示在 0.05 水平上显著相关。

4 结论

从声源构成上讲，游客的行为和商业活动是古

城的主要噪声源, 社会生活噪声是古城中最主要的声音, 交通运输噪声次之, 历史文化表演声是古城特有的构成声源之一, 自然声仅在居民区偶有发生, 部分民宿改建活动会造成些许建筑施工噪声。声喜好度的分析表明: 历史文化表演声和自然声是最受人喜爱的声音, 历史文化表演声和自然声的喜好度在性别因素上均存在显著性差异; 社会生活噪声和交通运输噪声的喜好度在身份因素上均存在显著性差异, 某些声音的喜好度评价很可能来自于产生这类声音的行为活动的喜好评价。视听景观的分析表明, 平遥古城整体环境的评价等级为良, 但其视听景观间存在一定的交互作用, 影响着对其整体环境的评价, 并且视听景观重视度的差别对这两项内容满意度评价的影响其实源自于年龄的差别。

古城声环境的主要因子包括舒适度、趣味性、动态性、强度和丰富度, 且无论哪个因子都不能单独主导平遥古城声环境的总评价值。其中, 趣味性、强度和丰富度在一天内均呈现出逐渐升高的趋势, 与其他声环境相比, 古城声环境丰富度更高, 且兼具趣味性与动态性。进一步分析表明, 声舒适性和动态性与性别显著相关, 舒适性和趣味性与身份显著相关, 年龄增长降低了人耳敏感性, 减弱了对声音的捕捉, 使丰富度评价显著下降。

参照我国现行的声环境质量标准, 明清街和县衙博物馆的测量噪声值明显不达标。结合现场访谈可知, 人群交谈声和商业叫卖声是发生最频繁的社会生活噪声, 电瓶车和景区观光车是交通运输噪声的主要来源。问卷统计结果表明, 平遥古城内声音的总体评价为: 舒适性非常高、趣味性很高、强度和丰富度较高、动态性不足。针对目前古城声景中存在的问题, 在不破坏古城景观原貌的前提下, 可以采取以下措施进行声景观优化, 使本地居民能有更舒适的生活环境, 外来游客能有更美好的旅游体验。

(1) 适当地增加喜好度高的声景元素来优化声源的构成。在景区引入鸟鸣声、流水声等自然声, 丰富声景元素的同时提高环境感知度; 在商业街增设有声小品或流动性的特色表演活动来提升声景观的动态性; 在交通密集区添加一些趣味景观转移人们听觉上的注意力, 从而达到掩蔽效果; 在城内普及平遥文化的宣传活动, 为古城声景增添一些生活气息。另外, 提高视觉景观的优美性也可在一定程度上提升对古城整体景观的满意度。

(2) 通过引导性、控制性、鼓励性措施完成声景营造活动。对景区周边街道的车流实行动态控制, 尤其在衙门街的上午时段; 支持和落实景区游

览的预约政策, 对集中性人流进行削弱; 优化景区观光车的游览路线, 避免不必要的交通噪声; 对商业区的叫卖行为进行一定的约束以减少社会生活噪声的发生; 在人群密集区增设防治噪声重要性的标语, 通过提高人们保护声景观的意识间接地达到声景优化的目的。

(3) 通过减少喜好度低的声景元素或阻隔这类声音的传播以实现部分区域的噪声防治。对商业街和景区外围承载重要交通作用的路面进行一定的吸声处理(如嵌入吸声材料); 在古城内适当地增植绿化、架设声屏障等。

参 考 文 献

- [1] 康健, 韩志慧, 孙建邦. 高校餐厅声环境[J]. 建筑科学, 2017, 33(2): 47-53.
KANG Jian, HAN Zhihui, SUN Jianbang. Sound environment of restaurants in colleges[J]. Building Science, 2017, 33(2): 47-53.
- [2] 武捷, 陆凤华, 晋美俊. 城市公园声环境对周边住宅影响性研究[J]. 建筑科学, 2014, 30(6): 33-36, 123.
WU Jie, LU Fenghua, JIN Meijun. A study on the effect of the urban parks' acoustical environment to its neighboring residents[J]. Building Science, 2014, 30(6): 33-36, 123.
- [3] 秦鑫, 康健, 金虹. 综合医院候诊区声环境主观评价研究[J]. 建筑科学, 2011, 27(12): 53-60.
QIN Xin, KANG Jian, JIN Hong. Subjective evaluation of acoustic environment of waiting areas in general hospitals[J]. Building Science, 2011, 27(12): 53-60.
- [4] 康健, 金虹, 邵腾. 中国严寒地区村镇物理环境研究进展[J]. 科技导报, 2016, 34(18): 106-112.
KANG Jian, JIN Hong, SHAO Teng. The physical environment of villages and towns in severe cold regions in China[J]. Journal of Science and Technology, 2016, 34(18): 106-112.
- [5] 周旻. 城市历史街区声景观研究——以广州西关地区为例[J]. 装饰, 2015(7): 136-137.
ZHOU Min. Research on urban historical soundscape in Xiguan area of Guangzhou[J]. Decoration, 2015(7): 136-137.
- [6] 范梦池. 城市公园声景观评价与预测[D]. 杭州: 浙江大学, 2019.
FAN Mengchi. Evaluation and prediction of soundscape of urban park[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2019.
- [7] 洪昕晨, 王欣, 段芮, 等. 基于声漫步法的森林公园声景喜好度评价研究[J]. 声学技术, 2018, 37(6): 584-588.
HONG Xinchun, WANG Xin, DUAN Rui, et al. Evaluation of soundscape preference in forest park based on soundwalk approach [J]. Acoustic Technology, 2018, 37(6): 584-588.
- [8] 任欣欣. 视听交互作用下的乡村声景研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2016.
REN Xinxin. Rural soundscape research under the audio-visual interactions[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2016.
- [9] 周志宇, 康健, 金虹. 历史街区声喜好及其影响因素研究[J]. 建筑科学, 2012, 28(8): 40-45, 88.
ZHOU Zhiyu, KANG Jian, JIN Hong. Study on sound preference evaluation and its influencing factors in urban historical areas[J]. Building Science, 2012, 28(8): 40-45, 88.
- [10] 欧达毅, 乌云巴根, 曾晓彬, 等. 拙政园声景观调查与评价[J]. 建筑科学, 2016, 32(8): 138-142.
OU Dayi, Wuyunbagen, ZENG Xiaobin, et al. A survey and assessment on the soundscape of the humble administrator's garden[J]. Building Science, 2016, 32(8): 138-142.

- [11] 张东旭, 刘大平, 康健. 汉传佛教寺院声环境安静度评价及其影响因素研究[J]. 应用声学, 2014, 33(3): 216-227.
ZHANG Dongxu, LIU Daping, KANG Jian, et al. Evaluation of quietness and its influential factors in Chinese Buddhist temples[J]. Applied Acoustics, 2014, 33(3): 216-227.
- [12] 黄凌江, 康健. 历史地段的声景——拉萨老城案例研究[J]. 新建筑, 2014(5): 26-31.
HUANG Lingjiang, KANG Jian. Soundscape in historic environment: A case study of Lhasa[J]. New buildings, 2014(5): 26-31.
- [13] 黄龙妹. 避暑山庄声景研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2019.
HUANG Longmei. Study on the soundscape of mountain resort[D]. Hangzhou: Zhejiang A & F University, 2019.
- [14] OSGOOD C E, SUCI G J, TANNENBAUM P H. The measurement of meaning[M]. University of Illinois press, 1957.
- [15] 范宏宏, 李晖, 任家豪. 基于SD法的宣化古城声景观评价研究[J]. 华中建筑, 2018, 36(11): 42-46.
FAN Honghong, LI Hui, REN Jiahao. The sound landscape evaluation of Xuanhua ancient city based on SD method[J]. Central China Architecture, 2018, 36(11): 42-46.
- [16] KANG J, ZHANG M. Semantic differential analysis of the soundscape in urban open public spaces[J]. Building and Environment, 2009, 45(1): 150-157.
- [17] SCHAFER R M. The tuning of the world: toward a theory of soundscape design[M]. Philadelphia: University of Pennsylvania Press, 1977.
- [18] 籍仙荣, 陆凤华, 王亚平. 大学校园户外学习空间的声舒适性研究——以5栋山西高校图书馆的室外空间为例[J]. 应用声学, 2017, 36(4): 311-316.
JI Xianrong, LU Fenghua, WANG Yaping. Acoustic comfort in university campuses' outdoor learning spaces: based on 5 university libraries' outdoor space in Shanxi[J]. Applied Acoustics, 2017, 36(4): 311-316.
- [19] 刘物. 武汉市居住区公共空间声景观分析及优化研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2017.
LIU Chang. A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of master of landscape architecture[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2017.
- [20] 中国环境科学研究院. 声环境质量标准: GB 3096—2008[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2008.
Chinese Academy of Environmental Sciences. Environmental quality standard for noise: GB 3096—2008[S]. Beijing: China Environmental Sciences Press, 2008.
- [21] 唐征征, 康健. 地下商业街声喜好研究[J]. 新建筑, 2016(2): 126-130.
TANG Zhengzheng, KANG Jian. Research on sound preference of underground commercial streets[J]. New Architecture, 2016(2): 126-130.
- [22] 李睿, 欧达毅. 大学校园声景观调查与研究[J]. 建筑科学, 2017, 33(8): 59-67.
LI Rui, OU Dayi. Survey and study on the soundscape of university campus[J]. Architecture Science, 2017, 33(8): 59-67.
- [23] 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.
- [24] 李竹颖, 林琳. 基于语义细分法的校园声景观评价因子提取——以中山大学南校区为例[J]. 规划师, 2015, 31(S1): 285-288.
LI zhuying, LIN Lin. Assessment factors extraction of campus soundscape based on semantic differential method: a south campus of Sun Yat-sen University case[J]. Planner, 2015, 31(S1): 285-288.
- [25] 于博雅. 城市商业街声景观研究[D]. 天津: 天津大学, 2017.
YU Boya. Study of the soundscape in urban shopping streets[D]. Tianjin: Tianjin University, 2017.