专题：城市森林声景观

不同声环境下苏州园林视听感知偏好*

莫秋凡[1] 高 飞[1,2] 张 兴[1] 翁尉华[3] 司道光[1,2]

1 苏州科技大学建筑与城市规划学院 江苏苏州 215011
2 黑龙江省科学院自然与生态研究所 哈尔滨 150040
3 苏州园林设计院股份有限公司 江苏苏州 215164

摘要：苏州园林作为特殊的生态环境，独特的造景手法使其拥有不同于其他场景的视听景观。文章以拙政园为例，从视听感知角度出发，以问卷调查为主，眼动追踪为辅，量化比较不同声环境对景观偏好的影响。结果表明：1）不同声景元素构成的声环境对景观偏好具有重要影响，人们总体上更偏好自然声环境下的园林场景；2）多数情况下，有声环境与无声环境的视觉行为存在差异，声环境变化会显著影响观察者的视觉注意力，在人工声环境下尤为明显；3）优质视觉景观下，除人工声外，声环境的变化对视觉景观偏好无显著影响，但对声偏好与整体视听偏好均存在显著影响；4）所有声环境条件对整体视听偏好影响程度大小为听觉和谐>安静度>视觉和谐>开放性。因此，为提高拙政园游人视听景观感知体验，应聚焦声景观提升，在构建声景时应尽可能减少或控制人工声源要素，并考虑不同声源搭配是否和谐，关注不同场景下声环境的声压级范围；同时，还应注意视觉场景的协调性与开放程度。

关键词：声环境；视听偏好；眼动追踪；拙政园
DOI：10.12169/zgcsly.2023.11.13.0003

Audio-visual Perception Preference over Suzhou Gardens in Different Acoustic Environments

Mo Qiufan[1] Gao Fei[1,2] Zhang Xing[1] Weng Weihua[3] Si Daoguang[1,2]

(1. School of Architecture and Urban Planning, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou 215011, Jiangsu, China; 2. Institute of Natural Resources and Ecology, Heilongjiang Academy of Science, Harbin 150040, China; 3. Suzhou Institute of Landscape Architecture Design Co., Ltd., Suzhou 215164, Jiangsu, China)

Abstract: As a special ecological environment, Suzhou gardens have unique landscaping approaches that make them have the audio-visual landscapes different from other scenes. From the perspective of audio-visual perception, this paper quantitatively compares the influence of different acoustic environments on landscape preference based on the questionnaire survey and supplemented by eye tracking with Humble Administrator's Garden as the case study. The results show that: 1) The acoustic environment composed of different soundscape elements has an important impact on landscape preference, and people generally prefer to garden scenes in natural acoustic environment; 2) In most cases, the sound environment has

收稿日期：2023-11-13
* 基金项目：国家自然科学基金青年基金项目（52008280）；“十四五”江苏省重点学科建设项目资助（风景园林学）（082240006/002/003）；黑龙江省博士后基金面上项目；苏州市风景园林学会科研与科普专委会产学研课题；国家自然科学基金青年项目（52308029）；2022 年江苏省研究生实践创新计划（SJCX22_ 1598）
第一作者：莫秋凡（1998- ），男，硕士生，研究方向为园林与景观设计。E-mail：511494232@ qq. com
通信作者：司道光（1988- ），男，博士，讲师，研究方向为遗产保护与遗产公众感知。E-mail：wonder_ m@ 163. com

different visual behaviors from the silent environment, and the change in sound environment has a significant impact on visual attention of observers, especially in the artificial sound environment; 3) In the quality visual landscape, except for artificial acoustic environment, the changes in acoustic environment have no significant impact on visual scene but have significant impact on audio preference and overall visual preference; and 4) The influence of all acoustic environments on the overall audiovisual preference is ranked as auditory harmony> quietness> visual harmony > openness. In summary, in order to improve the audiovisual landscape perception of visitors to the Humble Administrator's Garden, the soundscape should be focused and the elements of artificial sound source should be reduced or controlled as much as possible in the construction of the soundscape, and the harmony among different sound sources should be also considered to take notice of the range of sound pressure level under the acoustic environment in different scenes. In addition, attention should be paid to the coordination and openness of the visual scene.
Keywords: acoustic environment; audiovisual preference; eye tracking; Humble Administrator's Garden

景观偏好产生于人与环境交互过程，作为景观评价的重要内容，对审美需求和景观体验具有重要意义[1]。环境感知在景观偏好中具有重要作用，优质环境在人与自然感官互动中能有效缓解压力[2-4]、恢复注意力和改善身心健康[5-7]。视听感知偏好评价是获取场地景观评价最直接有效的途径[8]，视听感知偏好分析是了解视听感知在整体环境感知中重要程度的前提，对整体景观评价有重要意义。

近年来，随着科技迅速发展，多种先进技术投入研究，景观偏好逐渐从主观价值判断进行的定性研究，转变为依靠先进技术进行客观生理数据检测的定量研究[9-10]。目前，视听认知主体特征、景观客体特征对景观偏好的影响仍是很多学者感兴趣的问题。学者们在“注意力恢复理论”框架基础上进行视听研究[11]，例如通过测量皮肤电导水平（SCL）发现，自然声景有益于心理压力恢复[12]；也有学者开发了一种共振系统，通过沉浸式视听放松训练获得生理反馈[13]。综上所述，学者们单从定性或定量角度进行研究，景观偏好程度作为主观指标，仅通过仪器反馈难以获取主观想法，仅采用问卷调查形式则缺乏客观数据的支撑。因此，本研究将二者结合，在一定程度上揭示视听感知规律，量化比较视听在环境评价中的重要程度，为后续视听研究开展提供参考价值。

现有视听感知研究多从城市公共空间[14]、森林环境[15]、高速公路[16]等方面开展，与此类场景不同，苏州园林是自然与人文景观结合的产物，对其环境的视听感知偏好评价是基于自然环境与人文历史共同作用的结果，对丰富场景感知，提高景点质量有重要意义。拙政园作为苏州古典园林中典型代表之一，景观类型丰富，从视听感知对其进行景观偏好分析能丰富古典园林遗产研究，也能提高游客体验。文章以拙政园为对象，借助眼动仪与视听偏好问卷调查，旨在解决以下问题：1）声环境的变化对视觉注意力、视听景观偏好是否存在显著影响？2）视觉景观偏好、声景观偏好对整体视听偏好影响有何具体差异？

1 研究区概况

拙政园（120°63′60.62″ E，31°33′02.79″ N）位于江苏省苏州市姑苏区，拥有远香堂、听雨轩等知名景点。在苏州古典园林中，拙政园面积最大，景观类型、声景资源更丰富，且拥有其他苏州古典园林共有特性。通过前期调研与资料收集，为满足视听资料采集的客观性，根据已有研究绘制拙政园游线及视点分布图（图1）。

2 研究方法

2.1 视觉景观与声景观资料收集

图片收集用苹果11，统一设置一倍焦距，聚焦后进行拍摄；声音录制用讯飞智能录音笔H1，其2+1麦克风阵列，信噪比高，抗干扰性强，44.1 kHz的音频采样率满足实验所需的发声物种频率范围。根据图1点位，设备置于1.5 m高的三脚架上固定，摄像视角为仰角15°，拍摄结束后在同一点位录制不少于45 s音频，录制时采用TES-1350声级计以确保各点声压级相同。将拍摄照片根据园林构成要素进行筛选，以不同主体景观分为建筑、植物、水体、假山并各精选4张用以实验（图2）。将筛选后照片与音频导入Adobe

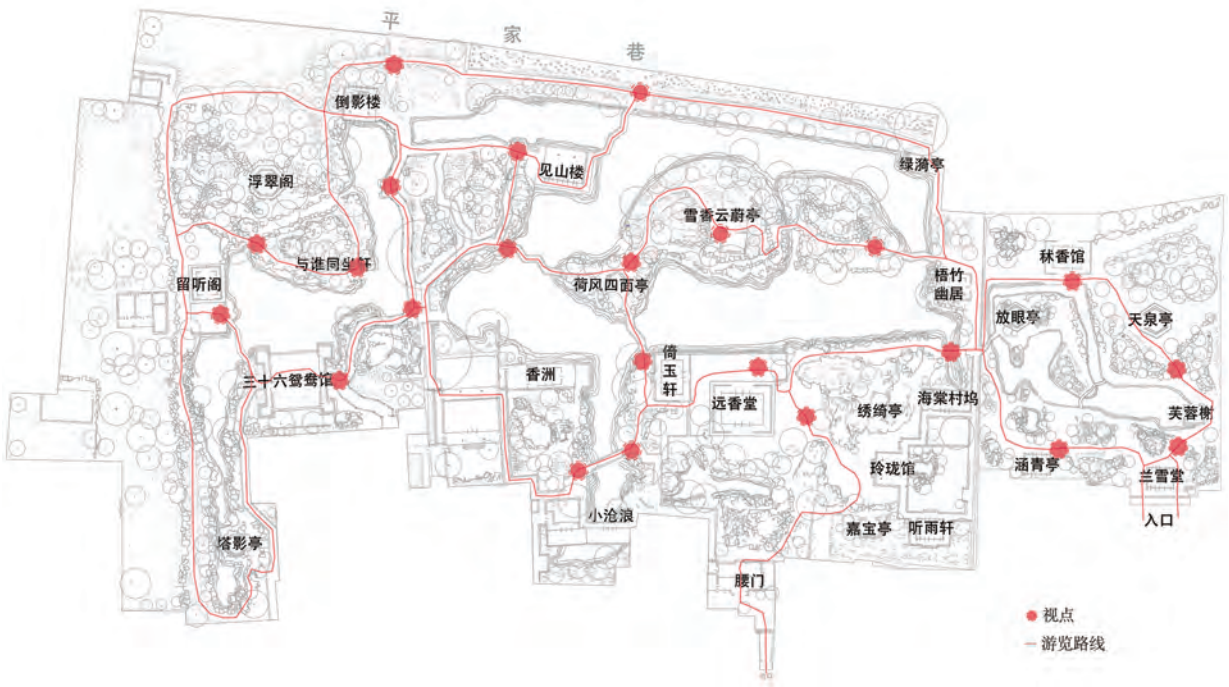


图 1　拙政园游线与视点分布



图 2　视觉刺激

Premiere Pro 软件编辑，截取 15 s 画面与音频均未受干扰部分，将音频以声景构成元素整合为自然声、人工声、混合声（表 1），将无声、自然声、人工声、混合声音频分别与 16 张视觉刺激照片进行组合，统一分辨率并导出 48 个有声视频和 16 个无声视频，将相同声环境下的 16 个视频归类为一组，共计 4 组，每两个视频间设置 5 s 间隔片缓解视觉疲劳。

表 1 样地声环境特征

声环境类型	位置	声源构成
自然声	荷风四面亭、浮翠阁等	鸟鸣声、虫鸣声、风声
人工声	秫香馆、远香堂等	人群交谈声、孩童嬉戏声
混合声	绣绮亭、天泉亭、见山楼等	鸟鸣、虫鸣声、风声、人群交谈声、孩童嬉戏声

2.2 被试者选择

研究表明，在校大学生作为实验参与者具有广泛性和科学性[17-18]。为满足条件共招募 40 人，除去 6 份为无效问卷，最终确定样本为 34 人，其中男性 11 人，女性 23 人，平均年龄为 24 岁。

2.3 问卷调查

研究表明，人们的主观评价具有一定“客观性”。视觉景观偏好是基于对某些视觉景观属性的认知判断，声景观偏好是基于对声景观属性的评价，可以进一步推断整体视听偏好是基于视觉景观偏好和声景观偏好的综合评价。根据已有研究选取影响视听景观质量的关键指标，结合园林场景特性分别对指标进行筛选（表 2），问卷采用李克特 5 级量表。

表 2 问卷指标选取

无声环境	有声环境
视觉和谐（Visual Harmony，VH）	视觉和谐
开放性（Openness，OP）	开放性
色彩丰富度（Color Richness，CR）	安静度（Quietness，QU）
植被覆盖率（Plant Coverage，PC）	听觉和谐（Acoustic Harmony，AH）
植物多样性（Plant Diversity，PD）	视听一致性（Audiovisual Consistency，AC）
整洁度（Neatness，NE）	整体视听感知（Overall Audiovisual Perception，OAP）

2.4 眼动追踪实验

实验设备选用 aSee Pro 桌面眼动仪，实验材料在屏幕分辨率为 1 920×1 080 dpi 的 DELL 显示器上呈现，为探究视觉注意力与视觉偏好关系，实验以平均注视时长、平均眼跳幅度、眼跳次数为指标并记录数据[19]。相关眼动指标描述如下：1）平均注视时间：表现为被试对刺激的关注，平均注视时间越长场景更具吸引力；2）平均眼跳幅度：眼跳扫视幅度的平均值，平均眼跳幅度越大，表明注视点间吸引力越低；3）眼跳次数：反应搜索行为的指标，眼跳次数越多，表示搜索量越大，特征越不鲜明。

实验在标准实验室中进行，要求被试者实验全程佩戴降噪耳机。流程分为两个阶段：第一阶段为实验准备，向被试者介绍仪器和注意事项，要求被试者尽可能保持静止状态进行实验；第二阶段为实验数据收集过程，分为 3 部分，即实验前进行眼动校准、随机播放一组视频、一组视频播放结束后被试者进行对应问卷填写（问卷中附有相应场景照片），此阶段共重复 4 次。

2.5 数据分析

使用 IBM SPSS 27.0 软件进行统计分析。首先，对相同声环境下不同主体景观的视听偏好得分进行整理后，对信效度进行检验，分析比较相同声与不同声环境下各主体景观的视觉景观偏好、声景观偏好和视听景观偏好得分特点；其次，对数据进行正态分布与方差齐性检验，确认满足要求后，分别对无声与 3 种有声环境下视听偏好得分进行配对样本 t 检验，分析比较加入不同声环境后视听偏好是否存在显著差异性，再进行 Spearman 相关性分析，比较视觉景观偏好、声景观偏好和整体视听偏好间关系；最后，为避免共线性问题去除对应指标，在满足方差齐性假设和正态分布前提下，以视觉景观偏好、声景观偏好指标为自变量，整体视听偏好为因变量，分别对 3 种有声环境下得分进行多元线性回归分析，再将 3 种声环境得分进行整合并进行统一多元线性回归。

3 结果与分析

3.1 不同声环境下视听偏好差异

3.1.1 可靠性和有效性测试

首先，通过 Cronbach's α 分析所得值为 0.945（>0.7），表明数据具有较高的可靠性。然后，使

用 Kaiser-Meyer-Olkin（KMO）检验所得值为 0.737（>0.7），表明可以进行后续数据分析。

3.1.2　不同声环境下景观偏好差异

由图 3 可知，加入不同声环境后，除建筑的景观偏好均分相对较稳定，其余 3 类景观偏好均分都有较大波动。为进一步探究不同声环境对景观偏好得分影响，进行配对样本 t 检验。由图 4 可知：在视觉景观偏好指标中，视觉和谐仅在人工声与混合声的样本间呈现显著差异，而开放性仅在无声与人工声的样本间呈现显著差异，多数情况下，声环境的加入对视觉景观偏好无显著影响；在声景观偏好指标中，听觉和谐、安静度指标在 3 种有声环境的样本间均呈现显著差异；此外，视听一致性和整体视听感知指标同样在 3 种有声环境样本间呈现显著差异，即声景观偏好与整体视听偏好均值在两个不同有声环境下均呈显著性差异。

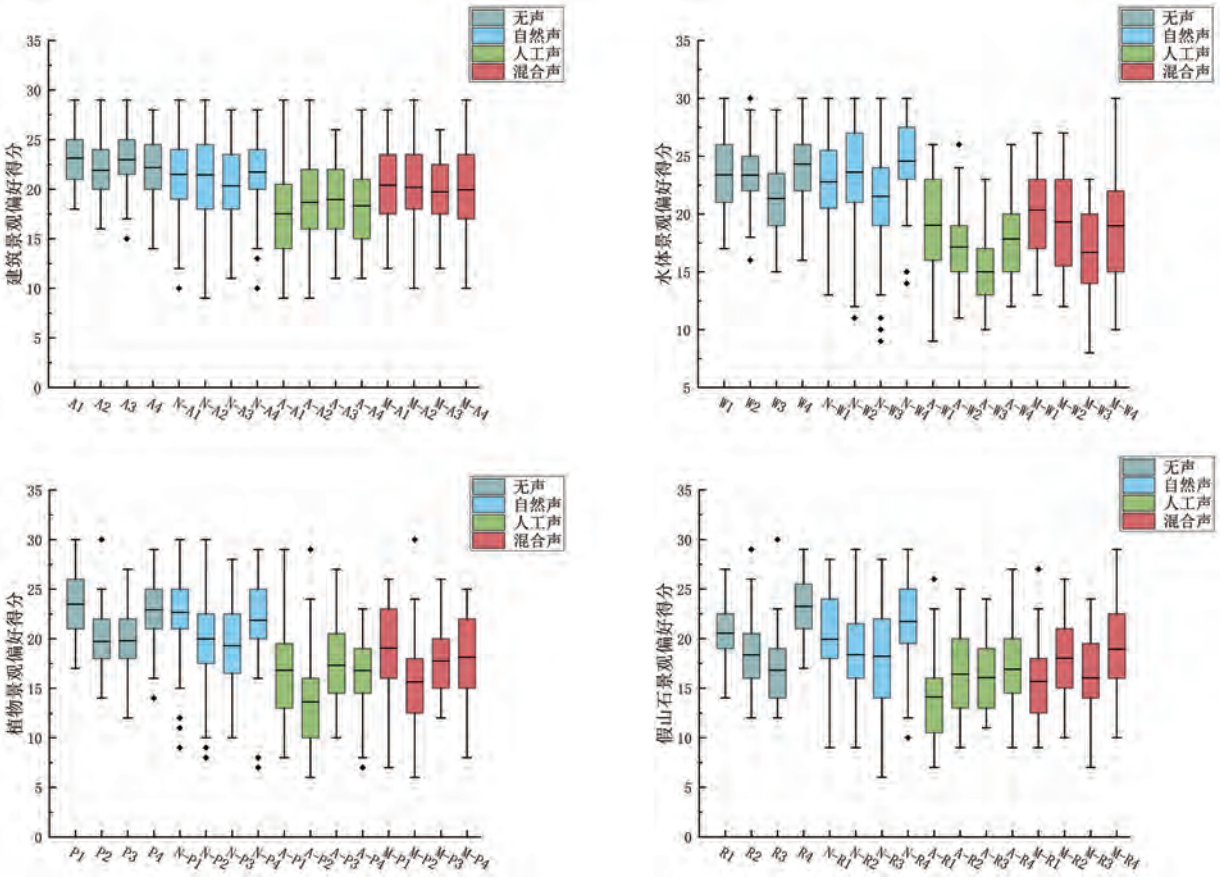
3.1.3　声环境对视觉注意力的影响

t 检验比较加入声环境后的眼动指标差异（表 3）表明，对比无声环境，加入声环境后，平均注视时间、眼跳次数均有较大的改变。从平均注视时间看，加入声环境后，注视时间呈下降趋势，除了无声与自然声、无声与混合声样本下的假山石场景未呈现显著差异，其余均有显著差异；从眼跳次数看，在加入声环境后，眼跳次数存在降低趋势，其中各个场景在加入人工声后均存在显著差异，而在加入自然声后均未呈现显著差异；从平均眼跳幅度看，除加入混合声的建筑、植物场景与加入人工声的植物场景外，其余场景均呈下降趋势，但有声场景与无声场景相比，平均眼跳幅度均无统计学差异。

3.2　不同声环境下视听偏好关系

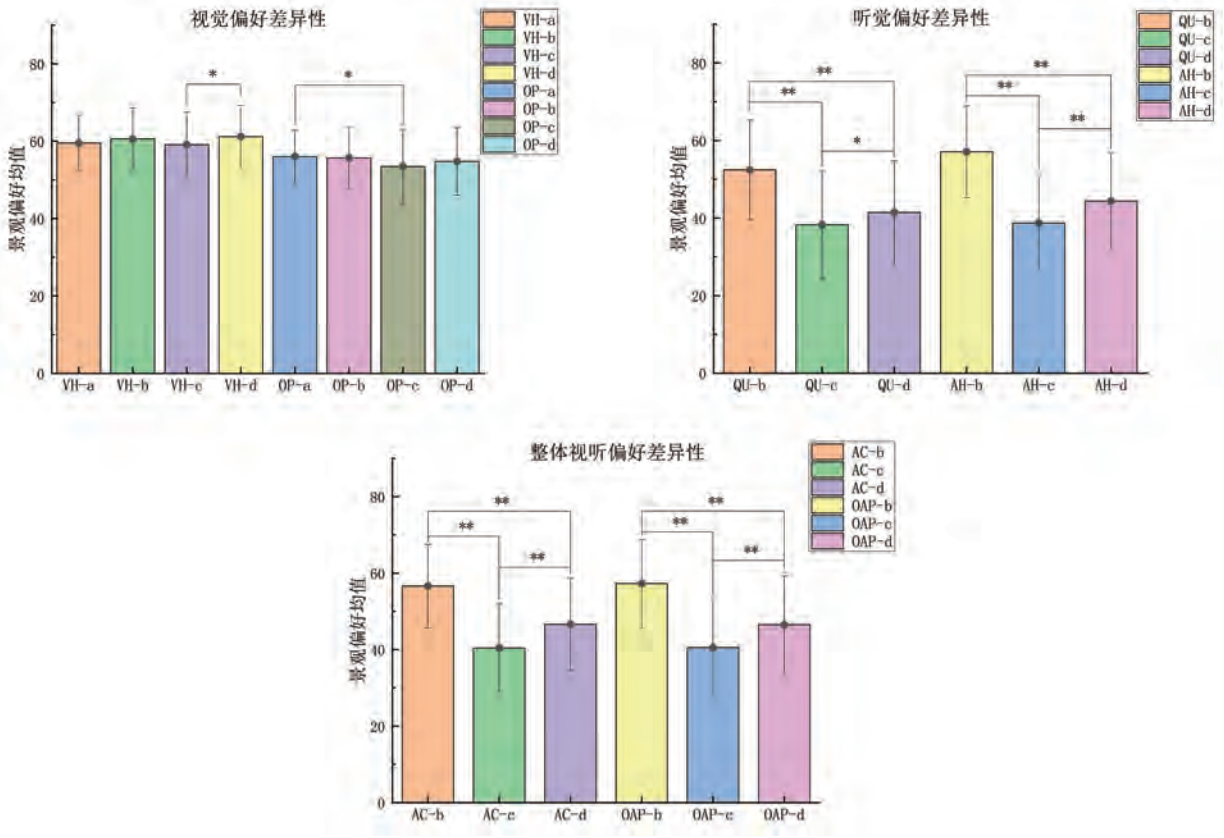
3.2.1　视觉景观偏好、声景观偏好和整体视听偏好相关性

由图 5 可知：自然声下，视觉景观偏好与声景观偏好存在内在相关性，其中视觉和谐与安静度、视觉和谐与听觉和谐在自然声环境下呈现显著正相关；开放性与安静度、开放性与听觉和谐



注：字母前缀 N-为自然声、A-为人工声、M-为混合声，无前缀即无声；字母后缀 A 为建筑，W 为水体，P 为植物，R 为假山石。

图 3　不同声环境下景观偏好均值分布



注：* 表示 $P<0.05$；** 表示 $P<0.01$；a 代表无声环境，b 代表自然声环境，c 代表人工声环境，d 代表混合声环境。

图 4 不同声环境下视听偏好差异性

表 3 眼动数据差异性

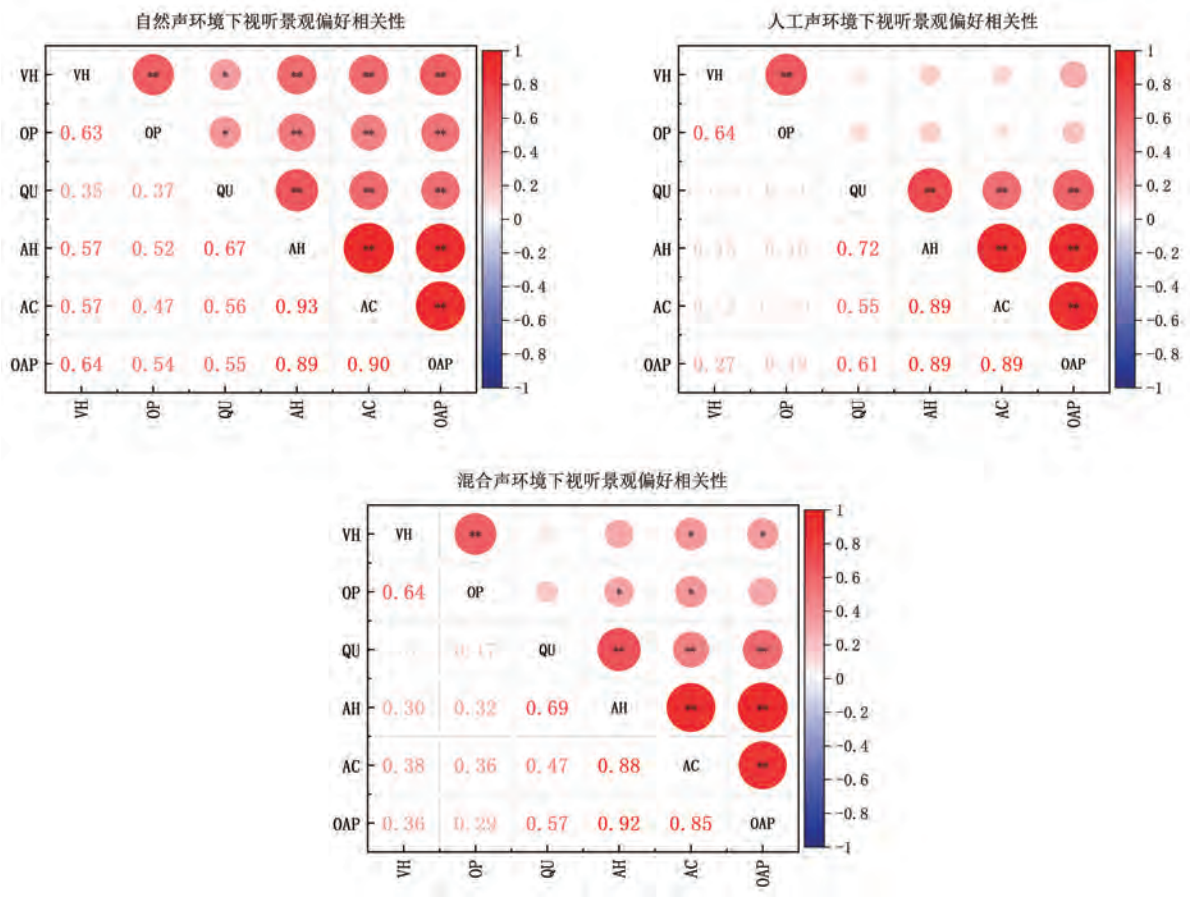
样本类型	平均注视时间/ms			眼跳次数/次			平均眼跳幅度/°		
	平均值	标准差	t	平均值	标准差	t	平均值	标准差	t
建筑—建筑(自然声)	176.978	452.243	2.315*	2.257	24.139	0.553	0.093	1.620	0.341
建筑—建筑(人工声)	481.401	449.187	6.340**	10.971	22.651	2.866*	0.301	1.572	1.133
建筑—建筑(混合声)	419.635	458.730	5.412**	14.971	21.154	4.187**	−0.040	1.828	−0.130
水—水(自然声)	320.484	583.516	3.249**	5.543	20.497	1.600	0.102	1.531	0.396*
水—水(人工声)	438.850	459.480	5.650**	12.829	18.418	4.121**	0.439	1.313	1.976
水—水(混合声)	596.979	545.868	6.470**	3.371	21.818	0.914	0.276	1.694	0.964
植物—植物(自然声)	168.682	313.503	3.183**	3.943	23.852	0.978	0.025	1.035	0.143
植物—植物(人工声)	184.076	316.203	3.444**	13.943	27.520	2.997**	−0.047	1.670	−0.162
植物—植物(混合声)	285.660	328.720	5.141**	14.943	25.176	3.511**	−0.054	1.743	−0.184
假山石—假山石(自然声)	185.604	626.779	1.752	5.343	19.093	1.656	0.177	1.291	0.812
假山石—假山石(人工声)	408.966	506.833	4.774**	16.800	17.359	5.726**	0.062	1.580	0.231
假山石—假山石(混合声)	18.427	490.528	0.222	10.429	18.696	3.300**	0.084	1.298	0.382

注:无备注样本类型即无声环境;* 表示在 0.05 级别(双尾)差异显著;** 表示在 0.01 级别(双尾)差异显著。

之间存在显著正相关;整体视听偏好与其余指标均呈现显著正相关。人工声下,视觉景观偏好与声景观偏好无内在相关性,整体视听偏好仅与安静度、听觉和谐、视听一致性间存在显著正相关。混合声下,整体视听偏好与安静度、听觉和谐、视听一致性存在显著正相关,与视觉偏好指标无显著相关性。综上所述,有声环境下整体视听偏好与声景观偏好、视听一致性偏好存在显著正相关。由相关系数值可知,整体视听偏好与听觉和谐、视听一致性存在强相关性。

3.2.2 视觉景观偏好、声景观偏好对整体视听偏好的影响

基于相关性检验结果,进一步量化比较视觉景观偏好、声景观偏好对整体视听偏好的影响。对所有声环境的视听偏好指标进行统一多元线性回归,方程拟合度为 88.6%(表 4)。单独检查时,视觉景



注：* 表示 $P<0.05$；** 表示 $P<0.01$。

图 5　不同声环境下视听偏好相关性

观偏好仅能解释 11.7%方差，声景观偏好能够解释 88.1%方差，其中听觉和谐对整体视听偏好存在显著的正向影响，其次为安静度。为深入探究 3 种声环境下视觉景观偏好、声景观偏好对整体视听偏好影响，对每种声环境下整体视听偏好分别进行多元线性回归，结果显示 3 种声环境下的回归方程拟合度均高于 80%（表 4）。单独检查时，自然声中视觉景观偏好可以解释 35.7%的整体视听偏好方差，而声景观偏好可以解释 90.4%的整体视听偏好方差；人工声与混合声中，视觉景观偏好仅可以解释的方差不足 9%，声景观偏好可以解释 79%以上的方差，声景观偏好对整体视听偏好的贡献率为视觉景观偏好 8 倍以上。

表 4　不同声环境下整体视听偏好的多元线性回归分析

有声环境	回归方程	调整后的 R^2
自然声	OAP=−2.156+0.102VH+0.0630P−0.038QU+0.906AH	0.907
人工声	OAP=−2.960+0.325VH−0.224OP−0.036QU+0.972AH	0.815
混合声	OAP=−1.287+0.244VH−0.170OP−0.101QU+1.044AH	0.857
所有声统计	OAP=1.123+0.170VH−0.149OP−0.190QU+1.156AH	0.886

注：回归方程中因变量与自变量指标均用英文缩写指代。

4　讨论

4.1　声环境对视觉景观偏好、声景观偏好与整体视听偏好的影响

有学者探讨过声景观感知对景观偏好的影响[20-22]，声环境对视觉注意力的影响[23-25]，本研究将二者结合，对“声环境的变化对视觉注意力、视听景观偏好是否存在显著影响”的问题进行细化讨论，通过添加不同声环境前后对视觉注意力和视觉景观偏好得分进行分析，探究二者间的联系。结

果表明,声环境变化会显著影响视觉注意力,对声景观偏好与整体视听偏好均有显著影响,但对视觉景观偏好无显著影响。加入不同声环境后,相同场景下不同声环境会不同程度影响人的视觉行为特征,可合理推断不同声源构成要素会影响人对同一场景下的声景观偏好与整体视听偏好[26-27],其中鸟鸣、虫鸣等自然声源要素会在一定程度上提高人对环境的感知偏好评价,而人群交谈、孩童嬉戏等人工声源要素会降低人对环境的感知偏好评价[28-29]。此外,自然声源要素中掺杂人工声源要素对人的环境感知偏好有一定负面影响,究其原因是声源频率差异,或声压级范围等有待深入研究。此外,相同声环境下,以建筑为主体的景观偏好得分最稳定,其余3类景观得分均存在较大浮动,场景偏好差异的具体原因更待进一步研究。

4.2 视觉景观偏好和声景观偏好对整体视听偏好的影响程度比较

相关研究表明,在一定条件下,听觉比视觉对景观感知影响更大[30-31]。本研究表明,3种不同声环境下声景观偏好均可有效预测整体视听偏好值,而视觉景观偏好预测能力相对较弱。对比3种声环境下的回归方程,在声环境中加入人工声源构成要素时,视觉景观偏好对整体视听偏好的影响程度呈大幅提升,由此可知,人工声源构成要素对视觉景观偏好与整体视听偏好影响较大。对比视觉景观偏好指标与声景观偏好指标的回归系数可知,同种声环境下对整体环境的感知偏好评价中,多以听觉感知为主导,在用听觉感受环境时,人会优先关注声源构成的协调性,并判断与视觉场景是否一致,当视听存在不一致情况时,视觉感知会提高占比,从而影响对环境感知偏好的评价。这为“听觉比视觉对景观感知影响更大”的研究提供了有效支持,本研究表明,声源构成要素的和谐性与场景视听一致性对整体视听景观感知体验尤为重要,这一结论重申了声景感知对景观体验的重要性。

4.3 展望

受限于条件,后续研究仍有可深入部分。有关研究表明,受教育程度、年龄对声景偏好存在影响[32],本研究因实验所需未能充分考虑年龄、职业等因素。苏州园林景观季节性差异大,而本研究所取夏季7—8月时间节点,仅适用于夏季的苏州园林,其他时间节点下苏州园林感知体验有待进一步研究。值得注意的是,实验前多次提醒被试者区分视觉景观、声景观、整体视听景观,并向被试者充分解释视听偏好指标具体含义并进行评分,但因实验室环境中无法模拟真实场景,不可排除真实园林场景下或存在更多视听因素干扰,这些因素会如何影响游客的景观感知偏好有待深入研究。就研究对象和研究内容而言,本研究聚焦于苏州园林景观,未来研究应更多关注不同类型的景观。

5 结论

声景元素构成的声环境对景观偏好具有重要影响,不同声环境下的景观偏好存在一定的差异性,人们总体上偏好自然声环境下的园林场景,而将声景中的人工要素作为消极因素。多数情况下,声环境的变化会显著影响观察者的视觉注意力与吸引力,即单一视觉场景与视听组合刺激下的视觉行为特征存在差异,人会受到声环境中声源构成要素影响而产生在视觉场景中寻找对应声的视觉行为;同一场景下,不同声源要素不仅会影响人视觉行为特征,也会影响其对整体环境感知评价。在拙政园优质视觉场景中,搭配自然声景要素对环境的感知有积极影响。在视听不一致场景中,通常会一定程度上强化人的视觉感知,从而影响对环境感知偏好评价。因此,在园林景观优化与保护的过程中,应重点关注声源构成要素,对于自然景观应优先搭配以虫鸣声、鸟鸣声、风声等为主的自然声源。所有声环境条件对整体视听偏好影响程度排序为:听觉和谐>安静度>视觉和谐>开放性。

为提高拙政园游人视听景观感知体验,在优化提升景观环境时,首先应聚焦声景观提升,尽可能减少或控制人工声声源要素;其次应考虑不同声源搭配是否和谐、与视觉场景是否一致,并关注不同场景下声环境的声压级范围是否合适;最后,应注意视觉场景内景观元素搭配的协调性与视觉场景构建的空间丰富性与层次性。

参考文献

[1] ZUBE E H, SELL J L, TAYLOR J G. Landscape perception: Research, application and theory[J]. Landscape Planning, 1982, 9(1): 1-33.

[2] MENNIS J, MASON M, AMBRUS A. Urban greenspace is

associated with reduced psychological stress among adolescents: A Geographic Ecological Momentary Assessment (GEMA) analysis of activity space[J]. Landscape and Urban Planning, 2018, 174: 1-9.

[3] YAO W F, ZHANG X F, GONG Q. The effect of exposure to the natural environment on stress reduction: A meta-analysis [J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2021, 57: 126932.

[4] AN C Y, LIU J L, LIU Q H, et al. How perceived sensory dimensions of forest park are associated with stress restoration in Beijing? [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2022, 19(2): 883.

[5] HUANG S P, QI J D, LI W, et al. The contribution to stress recovery and attention restoration potential of exposure to urban green spaces in low-density residential areas [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021, 18(16): 8713.

[6] VUJCIC M, TOMICEVIC-DUBLJEVIC J, ZIVOJINOVIC I, et al. Connection between urban green areas and visitors' physical and mental well-being[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2019, 40: 299-307.

[7] ZENG C C, LIN W, LI N, et al. Electroencephalography (EEG)-based neural emotional response to the vegetation density and integrated sound environment in a green space[J]. Forests, 2021, 12(10): 1380.

[8] 许晓青，庄安頔，韩锋. 主导音对自然保护地声景感知情绪的影响：以武陵源世界遗产地为例[J]. 中国园林，2019，35(8)：28-33.

[9] BRAMBILLA G, MAFFEI L. Perspective of the soundscape approach as a tool for urban space design [J]. Noise Control Engineering Journal, 2010, 58(5): 532-539.

[10] 黄雅冰，翁羽西，徐伟振，等. 森林公园游憩者环境偏好与脑电波关系[J]. 中国城市林业，2022，20(4)：30-36.

[11] KAPLAN R, KAPLAN S. The experience of nature: a psychological perspective[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.

[12] HEDBLOM M, GUNNARSSON B, SCHAEFER M, et al. Sounds of nature in the city: No evidence of bird song improving stress recovery [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2019, 16(8): 1390.

[13] YU B, HU J, FUNK M, et al. RESonance: lightweight, room-scale audio-visual biofeedback for immersive relaxation training [J]. IEEE Access, 2018, 6: 38336-38347.

[14] 白梓彤，赵伊琳，王成，等. 公众对北京市公园人工声景的感知[J]. 中国城市林业，2021，19(5)：16-21.

[15] JORGENSEN A. Beyond the view: future directions in landscape aesthetics research [J]. Landscape and Urban Planning, 2011, 100(4): 353-355.

[16] RUOTOLO F, MAFFEI L, DI GABRIELE M, et al. Immersive virtual reality and environmental noise assessment: An innovative audio-visual approach [J]. Environmental Impact Assessment Review, 2013, 41: 10-20.

[17] STAMPS A E. Demographic effects in environmental aesthetics: A meta-analysis [J]. Journal of Planning Literature, 1999, 14(2): 155-175.

[18] 王雁，陈鑫峰. 心理物理学方法在国外森林景观评价中的应用[J]. 林业科学，1999，35(5)：110-117.

[19] 朱玉洁，董嘉莹，翁羽西，等. 基于眼动追踪技术的森林公园环境视听交互评价[J]. 中国园林，2021，37(11)：69-74.

[20] 聂玮，黄旭，李红梅，等. 视听交互下城市绿地鸟鸣声景对感知偏好的影响[J]. 中国城市林业，2024，22(2)：64-71.

[21] LIU J, XIONG Y C, WANG Y J, et al. Soundscape effects on visiting experience in city park: a case study in Fuzhou, China[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2018, 31: 38-47.

[22] HONG X C, ZHU Z P, LIU J, et al. Perceived occurrences of soundscape influencing pleasantness in urban forests: A comparison of broad-leaved and coniferous forests [J]. Sustainability, 2019, 11(17): 4789.

[23] LIU Y P, HU M J, ZHAO B. Interactions between forest landscape elements and eye movement behavior under audio-visual integrated conditions [J]. Journal of Forest Research, 2020, 25(1): 21-30.

[24] 张圆. 城市公共开放空间声景的恢复性效应研究[D]. 哈尔滨：哈尔滨工业大学，2016.

[25] 翁羽西，朱玉洁，董嘉莹，等. 校园绿地声景观对情绪和注意力的影响：以福建农林大学为例[J]. 中国园林，2021，37(2)：88-93.

[26] DENG L, LUO H, MA J, et al. Effects of integration between visual stimuli and auditory stimuli on restorative potential and aesthetic preference in urban green spaces[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2020, 53: 126702.

[27] 黄章展，黄芳铭，周先捷. 环境偏好与环境恢复性知觉关系之研究：以山景景观爲例[J]. 户外游憩研究，2008，21(1)：1-25.

[28] GAN Y H, LUO T, BREITUNG W, et al. Multi-sensory landscape assessment: The contribution of acoustic perception to landscape evaluation [J]. Journal of the Acoustical Society of America, 2014, 136(6): 3200.

[29] GAN Y H, ZHENG Y B, ZHANG L H. Audio-visual analysis of visitors' landscape preference for city parks: A case study from Zhangzhou, China[J]. Forests, 2022, 13(9): 1376.

[30] 吴健生，袁甜，王彤. 基于三维景观指数的城市景观美学特征定量表达：以深圳市为例[J]. 生态学报，2017，37(13)：4519-4528.

[31] ZHANG Y, KANG J, KANG J. Effects of soundscape on the environmental restoration in urban natural environments [J]. Noise & Health, 2017, 19(87): 65-72.

[32] 许晓青，吴竑，冯婧婕. 基于实验与扎根理论的保护地视听感知研究：以武陵源世界自然遗产地为例[J]. 风景园林，2021，28(8)：119-124.