

城市滨河绿地典型视听环境恢复性效应评价——以杭州余杭塘河滨河绿地为例

Assessing the Restorative Potential of Characteristic Audio-Visual Environments in Urban Riparian Green Spaces: A Case Study of Yuhangtang Riverfront, Hangzhou

岑舒琪 黄焱* 李天劫

CEN Shuqi, HUANG Yan*, LI Tianjie

基金项目: 国家自然科学基金“城市绿地生态服务功能价值优化评估的关键驱动机制研究”(编号: 51208467)

摘要

为探讨城市滨河绿地不同视听环境对注意力恢复的影响,以杭州余杭塘河滨河绿地为对象,选取6种典型绿地空间,结合5类声音(无声、鸟鸣声、船舶鸣笛声、人群嘈杂声、流水声)及相应实景图片,构建多种视听组合实验条件,并利用眼动追踪技术与恢复性环境量表(RS)进行分析。结果表明,自然声(流水声、鸟鸣声)显著提升注意力恢复效能,优于无声环境,而人工声(船舶鸣笛声、人群嘈杂声)则产生负面效应。自然声可延长平均注视时间、减少注视次数、增强视觉聚焦能力,从而促进注意力恢复。并非所有视听刺激均能正向影响注意力恢复,近自然声景在滨河绿地中的积极作用尤为显著。此外,协调的视听环境对优化恢复体验至关重要。因此,滨河绿地的设计不仅应注重视觉美感,还需要通过视听等多感官交互设计手段来提升环境恢复效能,如设置流水装置和种植引鸟植物等以增强自然音效。

Abstract

To investigate the effects of audio-visual environments in urban waterfront green spaces on attention restoration, this study focused on Yuhangtang River waterfront green spaces in Hangzhou, selecting six typical green spaces and constructing multiple audio-visual experimental conditions through combinations of five sound types (silence, birdsong, ship horns, crowd noise, and flowing water) with corresponding on-site images. Eye-tracking technology and the Restorative Environment Scale (RS) were employed for analysis. Results demonstrate that natural sounds (flowing water and birdsong) significantly enhance attention restoration efficiency, outperforming silent conditions, whereas artificial sounds (ship horns and crowd noise) exhibited negative effects. Natural sounds prolonged average fixation duration, reduced fixation frequency, and strengthened visual focus, thereby promoting attention recovery. Not all audiovisual stimuli positively influenced restoration, with near-natural soundscapes showing particularly significant benefits. Coordinated audiovisual environments proved crucial for optimizing restorative experiences. Therefore, the design of the riverfront green space should not only focus on visual aesthetics, but also enhance the environmental restoration effectiveness through audio-visual and other multi-sensory interaction design strategies, such as implementing dynamic water installations and cultivating bird-attracting vegetation to enrich natural soundscapes.

文章亮点

1) 相较于单一视觉刺激,综合视听刺激可显著增强环境的恢复效应;2) 在包含自然声音的环境中,恢复效能提升更为明显;3) 人工噪声通常产生负面影响,但当声学特征与视觉元素协调时,恢复效能可得到提升。

关键词

声景; 恢复性感知; 视听交互; 感知评价; 眼动追踪; 滨河绿地

Keywords

Soundscape; Restorative perception; Audio-visual interaction; Perceptual evaluation; Eye-tracking; Riverfront green space

收稿日期: 2024-07-02

修回日期: 2025-01-05

Kaplan 夫妇的注意力恢复理论 (Attention Restorative Theory, ART) 提出, 自然环境是人们缓解压力、恢复注意力的关键机制, 能帮助人们恢复定向注意力并促进无意注意, 从而缓解精神疲劳^[1]。随着公众对健康和生态环境质量的关注日益增加, 城市公共绿地逐渐成为人们逃离城市污染、缓解“城市病”的重要场所^[2]。作为其中重要组成部分的滨河绿地, 拥有丰富的自然资源和多样的景观类型, 在提升居民健康水平和生活质量方面有着重要作用, 涉及心理调适、生理健康和社会互动等多个层面^[3]。以滨水绿地为对象开展注意力恢复性效应研究, 能够优化自然声景与视觉要素的协同配置, 契合高密度城市环境下人们的心理健康需求。

国内外关于滨水环境恢复性效应评估的模型主要有两类: 一为基于抽象心理感知的感知维度模型, 另一为基于具体环境要素的“环境元素 - 环境恢复潜力”模型^[4]。前者侧重抽象心理感知的恢复潜能, 后者则关注具体环境要素的恢复性。尽管已有不少研究应用这些模型取得了成果, 但大多数仅聚焦于滨水空间的单一视觉或听觉维度, 其评价结果可能存在偏差。有研究表明, 声音与图像的同步结合不仅能增强游客的参与感与沉浸感, 还显著影响游客偏好, 声景与视觉景观的协调一致可提升审美效能^[5-7]。同时, 视觉和听觉元素对恢复效益产生的影响也不全是积极的, 如噪声等会带来负面影响^[8]。因此, 本研究基于“环境因素 - 环境恢复潜力”模型, 探讨滨河绿地中视听交互作用的注意力恢复性效益。

目前的注意力恢复性评价主要通过主观问卷调查或脑电图、心率以及皮肤电导等生理指标监测来评估人的视听体验, 而本研究采用眼动追踪技术进行评估。与其他生理测量方法相比, 眼动仪干扰较小, 能更自然地记录用户的视觉行为, 从而定量测量不同环境中的视觉注意力表现。一些研究结合眼动数据与恢复性环境量表 (Restorative environment scale

evaluation, RS), 量化知觉恢复程度, 并通过热力图展示景观元素的恢复效果^[9]。因此, 本研究采用眼动追踪技术, 结合恢复性环境量表 (以下简称“RS 量表”), 以杭州市典型的滨水生态景观带——余杭塘河滨河绿地为对象, 探究滨河绿地中不同视听要素对注意力恢复的影响机制。研究重点包括: 1) 验证滨河绿地中单一视觉刺激与综合视听刺激对注意力恢复的差异; 2) 剖析不同视听条件下公园如何塑造视觉行为模式及其对注意力恢复的差异化影响; 3) 辨识特定声音景观对视觉注意力恢复的调节作用, 明确提升恢复效率的关键声景元素。此项研究旨在为城市滨河绿地空间的声景设计提供科学依据, 优化视听环境配置, 为公众提供情绪舒缓与心理愉悦的游赏体验。

1 研究方法

1.1 研究范围

余杭塘河滨河绿地处于浙江省杭州市余杭区, 总占地面积约 5.2 hm², 是市民日常开展游憩行为、放松身心的场所。该绿地建设项目依托余杭塘河优质的水文资源, 构建特色滨水景观体系, 通过实施码头改造及河道疏浚工程, 系统修复运河水系历史景观格局。研究区域具有多元化的景观形

态及声景资源, 这为滨河绿地生态恢复效益研究提供了典型样本。研究采用专家评估法, 组织 5 位视听觉均无障碍的风景园林专家对 5 处滨河绿地环境影像资料进行专业评估, 依据样地代表性及声景资源多样性两大指标进行量化评分, 最终选定综合评分最优的滨河绿地作为研究样区。该样区完整涵盖滨河绿地典型景观要素, 具有显著的空间表征价值。

1.2 研究工具

1.2.1 恢复性环境量表

为评估场景环境和声音对受试者心理恢复的效果, 本研究采用了相关学者^[10-11]提出的常用自评恢复性环境量表 (表 1)。RS 量表包括 8 项, 每项设有正负描述, 要求受试者想象身处于图片场景中, 根据个人感受以 9 点李克特量表打分。基于 35 名受试者 (有效数据 30 份, 男女各半) 的评分, 计算各项得分均值, 分析感知恢复性效果。

1.2.2 眼动测试指标

眼动测试通过 Tobii Studio 3.4.7 提取 4 项指标, 包括: 1) 平均注视时间 (Fixed duration mean, FDM), 即单次视线停留时长的平均值, 反映信息加工深度; 2) 总注视时间 (Fixed duration sum, FDS), 即所有注视点持续时间的总和, 表

表 1 恢复性环境量表评价
Tab.1 Restorative environment scale evaluation

序号	负面描述	分值	正面描述
1	这样的环境能激发我的坏脾气	1、2、3、4、5、6、7、8、9	这样的环境能使我更加友善
2	这样的环境使我感到非常焦虑	1、2、3、4、5、6、7、8、9	这样的环境使我感到身心放松
3	在这里我的呼吸会加快	1、2、3、4、5、6、7、8、9	在这里我的呼吸会变得舒缓
4	在这里我感到非常紧张, 以致手心出汗	1、2、3、4、5、6、7、8、9	在这里我一点都不紧张
5	我对这里一点兴趣也没有	1、2、3、4、5、6、7、8、9	我对这里非常感兴趣
6	在这里经常会有人或物来打扰我	1、2、3、4、5、6、7、8、9	在这里我不会被打扰
7	我再也不想造访此处	1、2、3、4、5、6、7、8、9	我会经常到访这里
8	我想尽快离开这儿	1、2、3、4、5、6、7、8、9	我想在这里停留更长时间

征整体认知资源投入强度；3) 平均注视次数 (Fixation count mean, FCM)，即单位时间内视线转移频率均值，体现视觉信息获取效率；4) 总注视次数 (Fixation Count Sum, FCS)，即特定区域内视线转移总次数，反映视觉探索努力程度。根据相关研究，该4项指标与受试者的注意力恢复状况密切相关，注视次数减少、平均注视时间增加，有助于恢复定向注意力，促进无意注意，诱导注意力恢复^[12-14]。此外，相关研究也证实了眼球运动与感知恢复具有积极联系^[13-14]。

1.3 实验准备

1.3.1 视听材料采集与合成

眼动追踪研究显示，使用景观照片评估与实地评估结果一致^[15]，且该方法已被广泛采纳^[16]。本研究以杭州余杭塘河滨河绿地为对象，于2023年7月一个晴朗上午9—10时，采用佳能单反相机在1.5 m视平线高度拍摄无干扰元素的照片，确保了实验材料的有效性和标准化。

对于视觉素材的收集，根据前人对滨水景观的分类^[17]，结合杭州市滨水景观实际条件，拍摄了在滨河绿地中最常见的6种典型景观场景 (图1，表2)，包括近桥步道空间 (A地点)、景亭空间 (B地点)、人工构筑物空间 (C地点)、林荫空间 (D地点)、草坪空间 (E地点) 和水上栈桥空间 (F地点)。

根据现有研究^[16]，本研究选取了5种典型声音状况作为声音样本，包括无声 (编号1)，鸟鸣声 (编号2) 和流水声 (编号5) 3种自然声音，以及船舶鸣笛声 (编号3) 和人群嘈杂声 (编号4) 2种人工声音。由于现场存在干扰，研究所用声音为从互联网上下载遵循知识完全共享许可协议 (CC0) 的双通道立体声录音，5位专家聆听并选择了符合度最高的声音材料。

将6种典型景观场景与5种典型声音状况进行两两组合，得到30个视听样本组合，每种声音持续时间为20 s^[17]。

1.3.2 受试者招募

大量环境心理学和社会学研究表

明，学生群体的评估结果与大众群体高度一致^[18]。因此，本研究选择在校大学生作为评价主体，考虑到其代表性和招募便利性。根据相关文献推荐的样本量^[19]，本研究选取35名无视觉、听觉、身体或智力障碍的志愿者 (男性17名，女性18名，平均年龄 24.1 ± 2.8 岁) 作为受试者。最终有效样本为30名 (男15人，女15人)，有5名因采样率较低被舍弃。所有受

试者匿名参与。

1.4 实验过程

实验在隔音环境下独立展开。实验前，利用Tobii X2-60_Compact眼动仪完成精准校准，确保受试者双眼同步观测。基于相关研究^[19]，采集右眼数据，全程禁言。声音信号由BOSS Sound-link扬声器输出，视觉材料则在19寸、分辨率为 1024×768 的显示器上呈现。



图1 滨河绿地空间样本

Fig.1 Sample riverside green space

表2 滨河绿地样本基本情况

Tab.2 Basic information about the riverside green sample

场地编号	场地类型	场地环境特征	声音环境
A	近桥步道空间	开阔平静水面，靠近桥	人群交谈声
B	景亭空间	硬质铺装较多，人工化程度较高	鸟鸣声
C	人工构筑物空间	墙面绘画、水畔游憩地，人工化程度较高	人群交谈声、船舶鸣笛声
D	林荫空间	林下景观，植被丰富，游憩小径	流水声、鸟鸣声
E	草坪空间	开阔草坪	大部分时间无声，有时伴有鸟鸣声
F	水上栈桥空间	视野开阔	人群交谈声

实验流程参考相关研究的实验方法^[20]进行调整,分为3个阶段:第一阶段为实验介绍,详述实验步骤与设备操作;第二阶段为仪器准备,进行眼动仪校准;第三阶段,受试者需静坐,依次完成预设的实验任务(图2)。在第三阶段,研究人员先向每个受试者播放长达20 s的嘈杂交通视频,以引起其注意疲劳,然后播放1个视听样本组合(30个场景组合分别出现20 s,出现顺序为随机),使受试者进行场景体验,接着在1 min内向受试者提出8个RS量表中的问题,并记录其评分情况;在受试者休息2 min后重复上述操作,直至30个组合评价完毕。

1.5 数据处理

通过 Tobii Studio 3.4.7 软件导出注视报告并生成眼动热点图。所有

数据统计工程通过 SPSS 24.0 软件完成。使用的统计方法包括皮尔逊(Pearson)相关性分析和多元线性逐步回归分析。

2 结果与分析

2.1 注意力集中区域

通过 Tobii Studio 3.4.7 软件,自动生成所有受试者的注视次数和注视时间的热力图(图3~4)。热力图中的颜色深浅表示受试者对不同场景元素的关注程度,其中偏红色表示注

次数最多或注视时间最长的区域,绿色则表示注视较少的区域。

分析热力图发现,在90%以上的组合中,参与者主要关注图像视野中心,尤其关注自然景观中的植物,而较少关注天空。这表明植物等自然元素因其“软魅力”成为视觉焦点。此外,视觉中心和道路尽头也是注意力集中区。比较有声和无声视频的热点图发现,各类声音能有效影响受试者的注意力:声音5引导受试者关注水体,声音2引导受试者关注植被,而人工

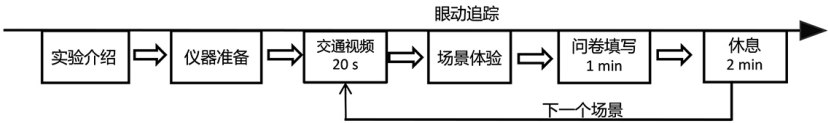


图2 实验流程
Fig.2 Experimental procedure



图3 受试者的注视次数热力图
Fig.3 Heatmap of subjects' fixation count sum



图 4 受试者的注视时间热力图

Fig.4 Heatmap of subjects' fixation duration sum

声音则会分散其注意力。

2.2 注视次数和注视时间

使用 Tobii Studio 3.4.7 软件生成平均注视时间 FDM、总注视时间 FDS、平均注视次数 FCM 和总注视次数 FCS 4 种注视指标数据，并进行统计分析（图 5~6）。与无声照片相比，添加声音 2 或声音 5 时，注视时长增加，注视次数减少，表明鸟鸣声和流水声这 2 种自然声音能增强注意力恢复效果。其中，有自然水流声音的环境不仅对游人具有更强的吸引力，还表现出最优的注意力恢复效能，明显高于无声环境或含有干扰性人工噪声的场景。

2.3 感知恢复性得分结果

统计各个组合的 RS 量表得分均值，作为其感知恢复性得分（图 7）。结果表明，声音元素显著影响场景的感知恢复性。无声（声音 1）和包含声

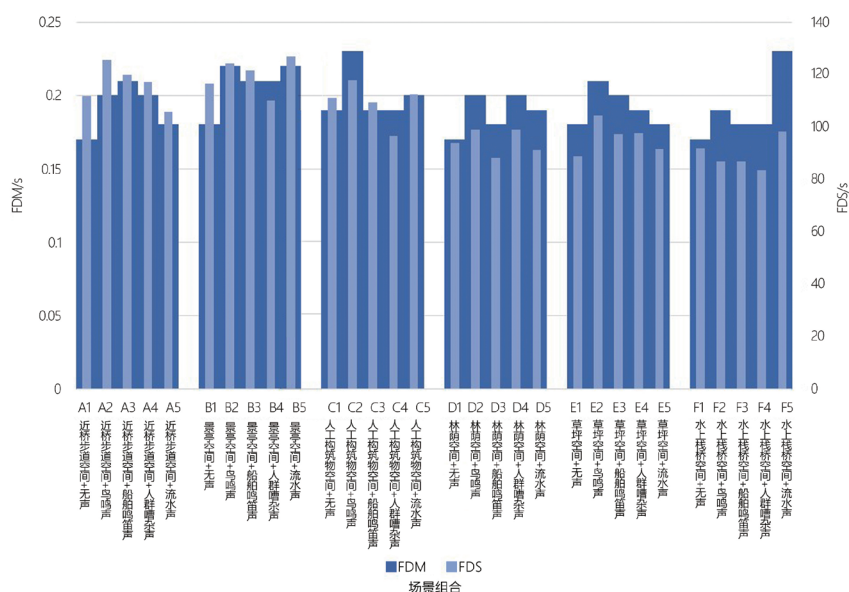


图 5 注视时间相关指标

Fig.5 Indices related to fixation duration

音 2、5 的组合得分较高，而包含声音 3 和 4 的组合得分较低。各场景在加入鸟鸣声或流水声后，感知恢复性得分有所增加，尤其是 E2（草坪空间 + 鸟鸣声）组合，其得分最高（57.33±7.51）。而在加入船舶鸣笛声、人群嘈杂声后，各场景的感知恢复性得分均显著下降，其中 B3（景亭空间 + 船舶鸣笛声）的得分最低（24.67±11.25）。

2.4 注视指标与感知恢复性的相关性

计算所有样本组合的注视指标值（FDM、FDS、FCM、FCS）与感知恢复性总得分均值 RSM 之间的皮尔逊相关系数 r （表 3），未发现 RSM 与任何其他眼动追踪数据指标之间存在显著的相关性；而 FDM 与 FDS、FDS 与 FCM 之间均呈中度线性相关，FCM

与 FCS 之间则呈高度线性相关。

考虑到人工声音的影响，进一步比较每种声音在 6 个场景中的感知恢复性得分总和，从高到低依次为流水声（333.43 分）、鸟鸣声（325.23 分）、无声（305.10 分）、人群嘈杂声（218.73 分）、船舶鸣笛声（154.10 分），由此可得带有自然声音的场景普遍具有较高的感知恢复性得分。接着，对带有非消极的无声和自然声音的组合进行相关性分析，计算 4 个指标与 RSM 之间的皮尔逊相关系数（表 4）。结果表明，FCM 和 FCS 之间高度相关，FDS 和 FCM、FCS 之间呈中度相关性；RSM 与 FCS 呈中度线性相关，且与 FCM、FDM 呈低度线性相关。进一步进行多元线性回归分析（表 5），以 FDM、FDS、FCM、FCS 为自变量，RSM 为因变量。得到回归方程为：

$$RSM=95.825-187.736 \times FDM+0.478 \times FDS+0.712 \times FCM-0.128 \times FCS$$

上述 4 个自变量能解释感知恢复性得分均值变化的 47.9%。这可在一定程度上证明上述变量之间有一定联系。

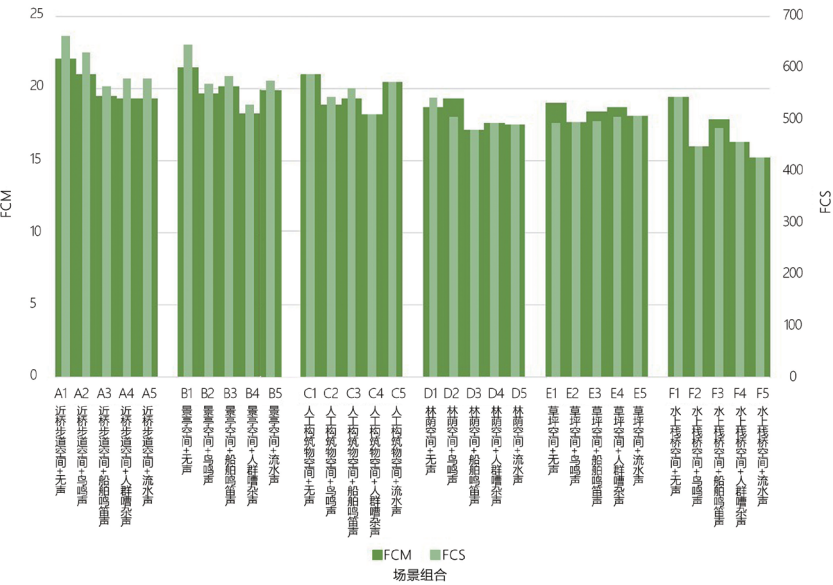


图 6 注视次数相关指标
Fig.6 Indices related to fixation count

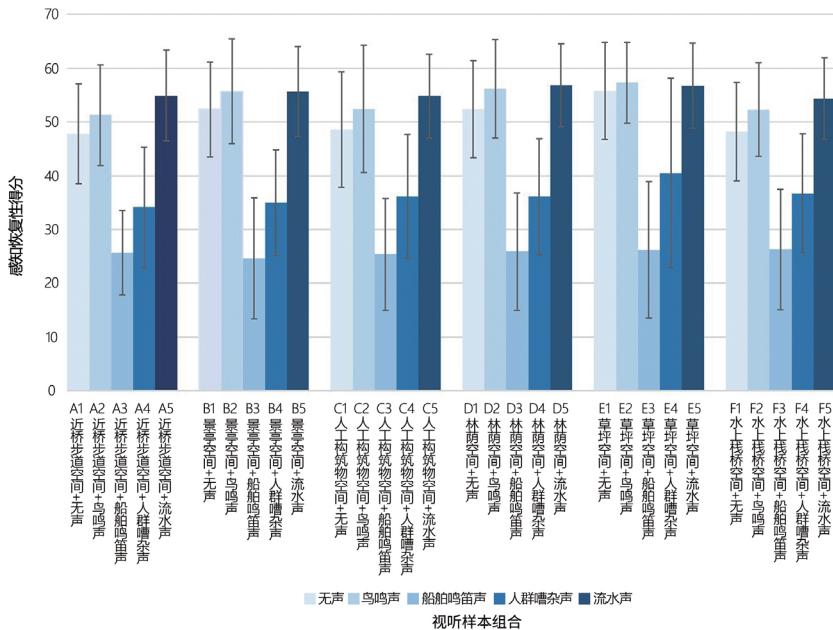


图 7 各组合的感知恢复性得分
Fig.7 Perceived restorability scores for each combination

3 讨论

在本研究中，受试者普遍聚焦于景观的特定元素，尤其是乔木、灌木和水面；水面获得的注视时间最长，植被次之，天空受到的关注度最低。声音环境显著影响视觉注意力：流水声和鸟鸣声引导受试者关注水体和植被，尤其在静谧环境下，受试者的视觉焦点更加集中；而船舶鸣笛则导致注视分散；人群声则使受试者对水域中心保持长时间注视，表明人群嘈杂声可能提升受试者对特定区域的关注度。

研究表明，人工声音显著影响恢复性感知，与前人研究^[21]一致，人工声音通常对心理舒适度产生负面影响。尽管感知恢复性得分与大多数眼动参数无显著相关性，但在自然声环境中，眼动参数与感知恢复性得分之间存在关联，表明自然声有助于感知恢复。相比之下，人工声环境可能干扰水景的完整性，抑制恢复效果。研究还发现，声音 1、2、5 的场景组合能够解释感

表 3 所有样本的注视分数与 RSM 之间的皮尔逊相关系数
Tab.3 Pearson's correlation coefficients between gaze scores and RSM for all samples

指标	平均注视时间 FDM	总注视时间 FDS	平均注视次数 FCM	总注视次数 FCS	总得分均值 RSM
FDM	1				
FDS	0.558 5 **	1			
FCM	-0.129 2	0.680 5 **	1		
FCS	-0.079 9	0.768 8 **	0.944 2 ***	1	
RSM	0.053 4	0.046 7	0.096 4	0.076 8	1

注: ***表示 $|r|>0.80$, 高度线性相关; ** 表示 $0.50 \leq |r|<0.80$, 中度线性相关; *表示 $0.30 \leq |r|<0.50$, 低度线性相关。

表 4 带有无声、自然声的场景组合中各指标与 RSM 之间的皮尔逊相关系数
Tab.4 Pearson's correlation coefficients between metrics and RSM in scene combinations with silent and natural sound

指标	平均注视时间 FDM	总注视时间 FDS	平均注视次数 FCM	总注视次数 FCS	总得分均值 RSM
FDM	1				
FDS	0.474 5*	1			
FCM	-0.316 0*	0.617 2 **	1		
FCS	-0.277 8	0.701 4 **	0.945 1 ***	1	
RSM	0.381 9 *	-0.129 6	-0.457 2 *	-0.509 5 **	1

注: ***表示 $|r|>0.80$, 高度线性相关; **表示 $0.50 \leq |r|<0.80$, 中度线性相关; *表示 $0.30 \leq |r|<0.50$, 低度线性相关。

表 5 线性相关分析结果
Tab.5 Linear correlation analysis

指标	非标准系数		标准系数		<i>t</i>	<i>P</i>	共线性检验		<i>R</i> ²	调整 <i>R</i> ²	<i>F</i>
	<i>B</i>	标准差	<i>Beta</i>				<i>VIF</i>	容差			
常数	95.825	30.801	-		3.111	0.008 **	-	-			
FDM	-187.736	159.556	-1.235	-1.177	0.260		24.682	0.041			
FDS	0.478	0.324	2.100	1.477	0.164		45.280	0.022	0.479	0.281	<i>F</i> (4, 10)= 3.480, <i>P</i> =0.073
FCM	0.712	1.120	0.421	0.635	0.536		9.845	0.102			
FCS	-0.128	0.072	-2.714	-1.788	0.097		51.558	0.019			

注: 样本量*n*为18; 因变量为RSM; D-W值为1.405; *表示 $P<0.05$, **表示 $P<0.01$ 。

知恢复性得分均值变化的 47.9%, 且感知恢复性得分与总注视时间正相关。Adam G Emfield 等^[22]的研究表明, 短暂的视觉和听觉刺激不一定改善认知表现, 但本研究表明自然声音能促进认知恢复。研究验证了 Irene van Kamp 等^[23]的理论, 表明自然声音有助于情感反应, 唤起受试者的积极情

绪, 从而提高其对环境注意力水平。受试者在注视次数减少、时间延长时, 给予更高的感知恢复性得分。特定场景组合 (如 A3、B2、B5、C2、C5、D2、D4、E1、E5、F5 等) 导致受试者注视时间显著增加, 尤其是包含声音 5 或声音 2 的组合。在景亭、人工构筑物、水上栈桥、草坪空

间加入声音 2 后注视时间明显增加; 在林荫和草坪空间, 声音 4 的加入延长了注视时长。且在包含声音 2 的场景中受试者的注视次数减少, 表明包含鸟鸣声的场景具有更佳的恢复效果。研究表明, 当声音与视觉协调一致时, 环境恢复效果最佳, 可能是因为这种组合激活了个体记忆中的视听经验。Eleanor Ratcliffe^[8]等的研究表明, 鸟鸣声能激发与自然环境相关的联想, 这与本研究结果一致。综合眼动数据和感知恢复性得分分析, 得出自然声音特别是鸟鸣声和流水声, 能有效促进注意力恢复; 鸟鸣声在景亭、林荫和草坪空间中具有更好的感知恢复效果, 而流水声在水上栈桥空间具有更好的恢复效果。这与现有研究^[24]一致, 表明自然声音尤其是鸟鸣声, 能缓解心理应激, 并具有显著的情绪安抚作用。

基于以上结果可知, 滨河绿地的设计不仅应注重视觉美感, 还需要通过视听等多感官交互设计, 提升环境对使用者的注意力恢复效能。本研究针对不同典型视听场景, 提出滨河绿地空间优化建议: 在近桥步道空间, 通过桥梁的自然回声和小型风铃或流水装置增强自然音效; 在景亭空间, 种植吸引鸟类的植物, 如芦苇 *Phragmites australis*、垂丝海棠 *Malus halliana* 等, 增加鸟鸣声以营造氛围; 在人工构筑物空间, 结合多媒体技术 (如投影和背景音乐) 创造互动体验; 在林荫空间, 保护现有树木并引入本地物种, 支持多样化动物声音; 在草坪空间, 选择能为鸟类提供栖息和觅食环境的本地植物; 在水上栈桥空间, 利用喷泉、跌水创造柔和流水声, 还可以在合适的时间播放轻柔音乐营造宁静氛围。这些措施可增强滨河绿地的恢复性功能, 创造自然和谐的环境, 促进公众的心理与生理恢复。

4 结论

本研究结合实地考察与心理实验, 系统探讨了综合视听刺激对滨河绿地使用者注意力恢复的影响。结果显示, 相较于单一视觉刺激, 综合视听刺激对使用者有更显著的恢复效果, 尤其在包含自然声音的环境中; 而人工噪声对恢复

效果产生负面影响。流水声环境在不同视听组合中表现出最高的注意力恢复效能，其次是鸟鸣声。尽管未发现其他视听组合对恢复效能产生显著差异，但当声学特征与视觉元素协调时，恢复效能得到提升。

本研究创新性地结合了眼动追踪技术与恢复性环境量表，构建了多模态数据融合的实验框架，为理解自然声景对认知功能的影响提供了数据支持。本研究拓宽了恢复性环境的研究边界，强调了自然声景在缓解都市压力和促进健康福祉中的关键作用，并为增强滨河绿地空间的恢复性功能提供了可操作性策略。

然而，本研究仍存在一定局限：理想实验条件与真实环境之间存在差异，且实际景观中的声音通常为多源声景，而本研究未涉及多种声音共同作用下的恢复效应。未来研究应更多地在实际场景中进行，并应扩展至多重声音交互的效果分析。此外，本研究表明特定声音能显著改变景观的恢复价值，尽管视觉元素在恢复性研究中占主导地位，但嗅觉与触觉等非视觉感官的感知及其相互作用对恢复体验同样重要。因此，未来研究应探索这些非视觉感官的作用机制及其对感知恢复的影响，以推动理论创新，解决复杂城市环境问题，促进声景在城市公共空间的融合，探索更多提升公众健康福祉的有效途径。

注：图片均为作者自摄自绘。

参考文献：

- [1] KAPLAN S. The restorative benefits of nature: Toward an integrative framework[J]. *Journal of Environmental Psychology*, 1995, 15 (3) : 169-182.
- [2] 钟乐, 邱文, 钟鹏, 等. 防御传染病的风景区园林应对策略设想: 基于打破传染链的视角 [J]. *中国园林*, 2020, 36 (7) : 37-42.
- [3] 姜芊孜, 王广兴, 李金煜. 城市公园生态系统文化服务的公众感知研究: 以济南市主城区城市公园为例 [J]. *风景园林*, 2022, 29 (2) : 127-133.
- [4] 孟若希, 徐磊青. 高密度环境里小型绿地恢复潜能模型评述 [J]. *城市建筑*, 2019, 16 (19) : 171-175.
- [5] WANG R, ZHAO J. A good sound in the right place: Exploring the effects of auditory-visual combinations on aesthetic preference[J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2019, 43: 126356.
- [6] 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.
- [7] WANG R, ZHAO J. A good sound in the right place: Exploring the effects of auditory-visual combinations on aesthetic preference[J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2019, 43: 126356.
- [8] RATCLIFFE E. Sound and soundscape in restorative natural environments: A narrative literature review[J]. *Frontiers in Psychology*, 2021, 12: 570563.
- [9] KANG O, KIM E J. Differences of restorative effects while viewing urban landscapes and green landscapes[J]. *Sustainability*, 2019, 11 (7) : 2129.
- [10] HAN K T. A reliable and valid self-rating measure of the restorative quality of natural environments[J]. *Landscape & Urban Planning*, 2003, 64 (4) : 209-232.
- [11] ZHAO J, XU W, YE L. Effects of auditory-visual combinations on perceived restorative potential of urban green space[J]. *Applied Acoustics*, 2018, 141: 169-177.
- [12] 翁羽西, 朱玉洁, 黄雅冰, 等. 顺光与逆光森林景观图片诱导的大学生焦虑和注意水平 [J]. *中国心理卫生杂志*, 2020, 4 (4) : 361-366.
- [13] KANG O, KIM E J. Differences of Restorative Effects While Viewing Urban Landscapes and Green Landscapes[J]. *Sustainability*, 2019, 11 (7) : 2129.
- [14] 朱玉洁, 翁羽西, 黄钰麟, 等. 眼动分析用于校园恢复性声景观初探: 以福建农林大学校园观音湖为例 [J]. *科学技术与工程*, 2020, 20 (25) : 10444-10451.
- [15] STAMPS III A E. Demographic effects in environmental aesthetics: A meta-analysis[J]. *Journal of Planning Literature*, 1999, 14 (2) : 155-175.
- [16] VAN KAMP I, VAN KEMPEN E, SWART W, et al. Soundscapes and human restoration in green urban areas[J]. *Journal of the Acoustical Society of America*, 2015, 137 (4) : 2256.
- [17] ZHU G, YUAN M, MA H, et al. Restorative effect of audio and visual elements in urban waterfront spaces[J]. *Frontiers in Psychology*, 2023, 14: 1113134.
- [18] XIANG Y, LIANG H, FANG X, et al. The comparisons of on-site and off-site applications in surveys on perception of and preference for urban green spaces: Which approach is more reliable?[J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2021, 58: 126961.
- [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] 吴思琪, 李君轶. 旅游街区日/夜景观对游客情感及行为意向的影响——基于眼动实验分析 [J]. *地理与地理信息科学*, 2023, 39 (5) : 66-73.
- [21] 李亨, 谢辉, 葛煜喆. 大型综合医院室外空间声景评价 [J]. *风景园林*, 2021, 28 (4) : 71-77.
- [22] EMFIELD A G, NEIDER M B. Evaluating visual and auditory contributions to the cognitive restoration effect[J]. *Frontiers in Psychology*, 2014, 5: 548.
- [23] KAMP I V, KEMPEN E V, SWART W, et al. Soundscapes and human restoration in green urban areas [J]. *Journal of the Acoustical Society of America*, 2015, 137 (4) : 2256.
- [24] 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.

作者简介：

岑舒琪/1999年生/女/浙江舟山人/浙江工业大学设计与建筑学院(杭州310023)/在读硕士研究生/专业方向为人居环境设计

黄焱(*通信作者)/1980年生/男/浙江嘉善人/博士/浙江工业大学设计与建筑学院(杭州310023)/副教授/研究方向为景观设计研究/E-mail: huangyan@zjut.edu.cn

李天劼/1999年生/男/浙江杭州人/浙江理工大学艺术与科技学院(杭州311199)/在读博士研究生/专业方向为人居环境设计