

文章编号:1673-9469(2025)03-0097-09

DOI:10.3969/j.issn.1673-9469.2025.03.013

基于脑电-眼动的乡村线状空间感知效能研究

任洪国¹,李振宇¹,刘颖^{1,2*},邵惠彬¹

(1.河北工程大学 京津冀空间智能感知协同技术创新中心,河北邯郸 056038;

2.新疆生产建设兵团兴新职业技术学院,新疆乌鲁木齐 830074)

摘要:为客观评估乡村线状公共空间改造对使用者生理与情感的影响,结合脑电图、眼动追踪技术及感知恢复量表,量化分析了36名被试者在主街道、巷道、小径及河流场景改造前后的生理舒适度、视觉关注度及主观情感响应。结果显示,改造后的乡村线状公共空间使被试者的顶叶和枕叶区域的脑电活动显著增强,双侧瞳孔直径平均扩大4.02%,视觉驻留时间延长4.01%,感知恢复量表评分在远离性、魅力性、延展性以及兼容性维度均显著提升。研究表明,通过文化符号传承、生态设计及人本化优化,乡村线状公共空间的感知效能与环境品质显著提升。本研究创新性地融合多模态生理数据与主观评价,为乡村公共空间设计提供了科学化、循证化的决策依据。

关键词:脑电图;眼动追踪技术;感知恢复量表;线状公共空间

中图分类号:TU024

文献标识码:A

Research on the Perceived Effectiveness of Rural Linear Spaces Based on Electroencephalography and Eye-Tracking

REN Hongguo¹, LI Zhenyu¹, LIU Ying^{1,2*}, SHAO Huibin¹

(1. Jingjinji Spatial Intelligent Perception Collaborative Innovation Center, Hebei University of Engineering, Handan, Hebei 056038, China;

2. Bingtuan Xingxin Vocational and Technical College, Urumqi, Xinjiang 830074, China)

Abstract: In order to objectively evaluate the impact of rural linear public space transformation on users' physiology and emotion, this study combined electroencephalography (EEG), eye-tracking technology and Perceptual Recovery Scale to quantitatively analyze the physiological comfort, visual attention and subjective emotional response of 36 subjects before and after the transformation of main streets, roadways, paths and river scenes. The results showed that the reformed rural linear public space significantly enhanced the EEG activity in the parietal and occipital lobes of the subjects. The average pupil diameter of both sides was expanded by 4.02%, and the visual residence time was prolonged by 4.01%. The scores of the perceptual recovery scale were significantly improved in the dimensions of being away, fascination, extent and compatibility. The research shows that through the inheritance of cultural symbols, ecological design and humanistic optimization, the perception efficiency and environmental quality of rural linear public space have been significantly improved. This study innovatively integrates multimodal physiological data and subjective evaluation, and provides a scientific and evidence-based decision-making basis for rural public space design.

Key words: electroencephalography; eye-tracking technology; Perceived Restorativeness Scale; linear public space

收稿日期:2025-03-18

基金项目:河北省高等学校科学研究计划重点项目(ZD2022092);中央引导地方科技发展资金项目(246Z6101G)

第一作者:任洪国(1979—),男,黑龙江齐齐哈尔人,博士,教授,从事感性建筑方面的研究。

*通信作者:刘颖(1978—),女,河北邯郸人,硕士,副教授,从事建筑设计与理论方面的研究。

乡村公共空间作为居民日常生活、思想交流、社会交往的重要场所,承载着促进社区和谐、传承乡土文化、整合社会关系等多元价值^[1]。其中,线状公共空间中的街道与河流作为乡村空间网络的骨架结构,不仅是居民与游客进行空间移动的基础,也是村落中人文资源、景观资源最丰富的空间类型。目前对于乡村公共空间的研究多集中在其布局规划、景观设计等方面^[2-3],对于乡村线状空间的感知效能研究相对较少。现有的环境评价研究多采用主观评价和使用后评价的方法,通过语义分析法,借助词汇收集、问卷设计、评定实验和因子分析等手段,将感性的主观评价量化为数据,从而对建筑及其空间环境进行定量分析^[4]。这些方法难以精准捕捉使用者动态的认知与情绪响应,导致空间优化缺乏更为直观和客观的定量分析手段。感性建筑学作为一门交叉学科,结合了感性工学与建筑学的核心理念,运用先进的认知科学与信号采集技术,深入探索人类对建筑空间的感知与情绪反应,从而实现对建筑环境的优化设计^[5]。脑电图(electroencephalography, EEG)与眼动追踪技术为环境感知研究提供了新路径,可通过神经活动与视觉行为数据客观量化注意力分配、情绪波动等潜意识的感知过程^[6-7]。EEG和眼动追踪技术已在城市景观评估、大型公共建筑空间体验以及室内环境设计等领域得到了广泛应用,积累了丰富的研究成果^[8-10]。然而,这些技术在自然特征显著、空间尺度开阔且人文内涵独特的乡村空间环境中的应用仍较为有限。

为了更好地理解使用者在乡村空间设计中的需求,需要对现有环境进行科学评价,从而揭示人与空间的互动关系。因此,在本项研究中,研究者通过EEG和眼动追踪技术的实验,聚焦乡村公共空间中的主街道、巷道、小径及河流线状要素,为乡村线状公共空间的改造提供科学依据,帮助设计者更好地理解村民的情感需求和视觉偏好,从而优化空间设计,提升居住者的生活质量和幸福感。

1 材料和方法

1.1 被试者

本研究采用被试内单因素两水平设计,通过G*Power软件(版本3.1.9.7)进行样本量计算。基于配对样本 t 检验,设置中等效应量 $d=0.5$ 、显著性水平 $\alpha=0.05$ 和统计功效 $1-\beta=0.8$,计算出最小样本量 $N=34$ 。为覆盖潜在数据脱落(如设备信号干扰或无效眼动数据),最终招募36名建筑学专业背景且拥有乡村生活经历的学生包括18名男性和18名女性,年龄为 (25 ± 5) 岁。

1.2 要素设计与实验场景

线状公共空间是指沿着河滨、溪谷、山脊线等自然走廊,或者废弃铁路线、沟渠、道路等人工走廊所建立的线性开敞空间,涵盖所有可供行人和骑车者进入的自然景观线路与人工景观线路^[11]。本研究聚焦乡村环境下的四类典型线状公共空间:主街道、巷道、小径、河流。

为更好地满足人们对乡村线状公共空间的情感需求,在乡村线状公共空间改造过程中,研究者通过文化符号传承、生态设计及人本化优化,打造既富有地域特色又契合现代生活需求的乡村线状公共空间^[12-14]:(1)在文化符号传承层面,乡村线状公共空间的改造通过融入传统建筑风格、民俗符号及乡土材料,赋予空间独特的地域辨识度;(2)在生态设计层面,乡村线状公共空间的改造通过本土植物绿化、透水材料应用和湿地修复等技术手段,构建可持续的绿色空间体系;(3)在人本化优化层面,乡村线状公共空间的改造以步行体验优化为核心,完善休憩设施、强化社交功能,同步提升空间安全性与舒适性。乡村线状公共空间的改造实践从现状问题出发,采取系统性的改造策略。如表1所示,针对主街道、巷道、小径和河流等乡村线状公共空间,采取了具体的改造策略和关键措施,以解决功能单一、功能分区混杂、基础设施老化等问题。

表1 乡村线状公共空间改造策略及关键措施

Tab. 1 Strategies and key measures for the renovation of rural linear public space

空间类型	现状问题	改造策略	关键措施
主街道	功能单一、人车混行	交通分流与功能嵌入	增设非机动车道、复合功能设施、优化植被布局
巷道	路面破损、照明缺失	微改造与在地活化	规整线路、植入文化符号、改善基础设施
小径	通达性差、缺乏特色	田园野趣与慢行优先	优化道路铺装、点缀农趣小品、融入文化符号
河流	驳岸硬化、亲水空间封闭	生态修复与场景营造	软化驳岸、配置滨水植物、增设亲水平台

图 1 为乡村线状公共空间改造前后对应的实验场景。改造前的场景通过实地拍摄获取,改造后的场景则基于数字化建模技术构建。具体流程如下:首先使用 SketchUp Pro 软件按照 1:1 的比例进行三维建模;随后在 Mars 2022 软件中添加植被纹理、水体反光等生态材质,并结合动态光影效果以增强场景的真实感和生态感。

1.3 实验流程

本实验于 2024 年 12 月 1 日—15 日,在河北工程大学京津冀空间智能感知协同技术创新中心的认知数据实验室进行,实验周期为 15 d。为减少外部变量干扰并确保实验标准化,严格控制实验环境。实验过程中,实验室的照明、温度和湿度均保持恒定。针对噪声可能对脑电信号产生的影响,实验全程采用隔音屏障和声学优化措施,以最大限度降低环境因素对实验结果的潜在干扰。

实验流程如图 2 所示。实验开始前,在为被试者佩戴实验设备时,研究人员向其说明研究目的以消除顾虑,并详细讲解实验要求,告知被试者需注视屏幕图片并保持头部稳定。整个实验时长约为 780 s。实验操作时,对被试者眼睛进行 9 点校准,确保准确度在 95% 以上,随后展示乡村线状公共空间改造前后的图片,每张展示 20 s,间隔 15 s,其间插入灰色图片以供被试者短暂视觉休息。实验结束后,收集被试者对乡村线状公共空间改造的主观问卷。

1.4 数据指标提取

1.4.1 脑电数据指标

本研究采用标准化的脑电数据处理流程,确保从原始脑电信号中提取准确可靠的信息。具体处理步骤如下:(1)使用 Python 3.12.6 对 EEG 数据进行预处理,预处理包括去除噪声、伪迹去除和阻抗校正,以消除眼动、肌电等非脑源性噪声的影响。(2)通过独立成分分析进一步分离并识别出特定的脑电成分。(3)鉴于脑电数据在被试者间存在个体差异,本研究对被试者的 EEG 数据实施了归一化处理。在此基础上,运用统计分析方法评估不同条件下脑电信号 α/β 功率谱的显著性差异。

1.4.2 眼动数据指标

在实验过程中,本研究利用 aSee Pro 桌面式眼动追踪系统收集了被试者观看乡村线状公共空间改造前后设计场景图时的眼球追踪数据,并使用 Python 3.12.6 对这些数据进行了预处理,包括离群值去除、漂移校正和数据对齐。在本研究中,研究者重点关注瞳孔直径、注视时长、眼动热点图以及兴趣区域(Area of Interest, AOI)的数据。

1.4.3 主观问卷指标

Kaplan 在其研究中探讨了自然环境对人类心理的重要作用,并发展出注意力恢复理论,指出恢复性环境具有远离性、魅力性、延展性和兼容性四大核心特征,这些特征能够有效促进注意力恢复^[15]。



图 1 实验场景

Fig. 1 Experimental scene

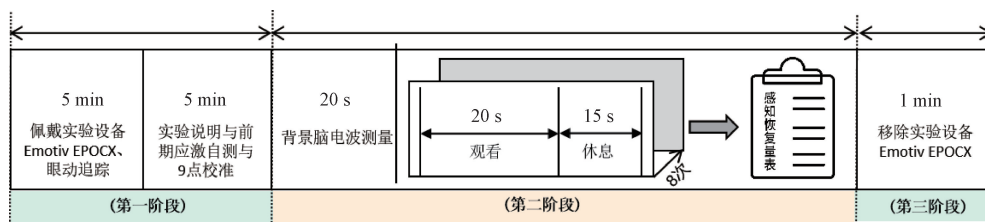


图 2 实验流程

Fig. 2 Experimental process

基于该理论开发的感知恢复量表(Perceived Recovery Scale, PRS)可用于评估景观恢复性效果。因此,本研究通过 PRS 对比乡村线状公共空间改造前后的环境恢复性水平,探讨设计干预对被试者心理感知恢复的影响。

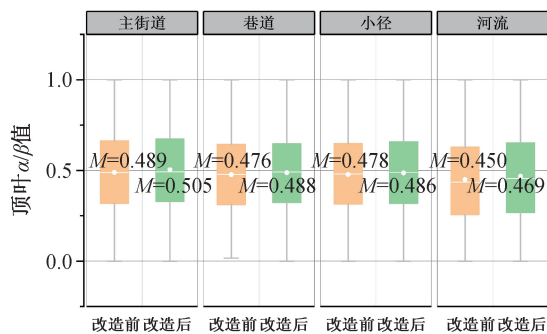
1.5 数据分析方法

本研究共收集了 36 名被试者的 EEG、眼动追踪数据和主观问卷数据。被试者的生理数据采样率均超过 95%,满足数据质量要求,证明了数据的可靠性与有效性。为选择合适的参数统计方法,本研究首先通过正态性检验评估数据是否符合正态分布假设。若两个相关变量的差值符合正态分布,使用配对样本 t 检验进行验证,否则使用威尔科克森符号秩检验。由于样本数量为 36 ($n = 36 < 50$),采用夏皮罗-威尔克检验法对数据正态性进行评估^[16]。

正态性检验结果如表 2 所示,左、右眼瞳孔直径、注视时长、远离性、魅力性、延展性与兼容性指标差值的显著性 p 值均 < 0.05 ,表明数据为偏态分

表 2 夏皮罗-威尔克检验法正态性检验结果

不同指标差值	统计	自由度	显著性
额叶差值	0.994	147	0.803
颞叶差值	0.990	147	0.391
顶叶差值	0.993	147	0.687
枕叶差值	0.983	147	0.064
远离性差值	0.963	147	0.000
魅力性差值	0.948	147	0.000
延展性差值	0.934	147	0.000
兼容性差值	0.957	147	0.000
左眼瞳孔直径差值	0.908	147	0.000
右眼瞳孔直径差值	0.847	147	0.000
注视时长差值	0.941	147	0.000



(a) 顶叶

布,因此采用威尔科克森符号秩检验乡村线状公共空间改造前后各项指标的变化情况。额叶、颞叶、顶叶与枕叶指标差值的显著性 p 值均 > 0.05 ,表明其数据符合正态分布假设,适合采用配对样本 t 检验进行差异性分析。

2 结果

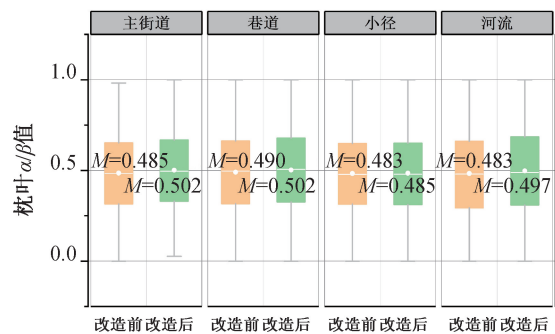
2.1 脑电图处理结果

以乡村线状公共空间场景(设计前、设计后)作为自变量,以额叶、颞叶、顶叶以及枕叶脑电区域 α/β 功率谱数据作为因变量。配对样本 t 检验表明,顶叶($p = 0.005$)和枕叶($p = 0.019$)脑区活动存在显著变化($p < 0.05$),而额叶与颞叶脑区活动则无显著差异。

为探讨乡村线状公共空间设计前与设计后被试者顶叶与枕叶数据的具体变化,如图 3 所示为被试者的顶叶与枕叶区域乡村线状公共空间数据箱线图,图中 M 为 36 名被试者 α/β 的均值。基于顶叶与枕叶 α/β 值的空间改造效应分析,四个场景的神经响应呈现显著改善。顶叶区域中,河流景观改造后 α/β 值增幅最大,达 4.22%;主街道次之,增幅 3.27%;巷道增幅 2.52%;小径增幅最小为 1.67%。枕叶区域响应模式不同,主街道增幅达 3.51%;河流增幅为 2.90%;巷道增幅 2.45%;小径增幅为 0.41%。

2.2 眼动追踪处理结果

以乡村线状公共空间场景(设计前、设计后)作为自变量,以左眼瞳孔直径、右眼瞳孔直径、注视时长的眼动数据作为因变量,运用威尔科克森符号秩检验对被试者的眼动指标进行了统计分析,结果表明左眼瞳孔直径和右眼瞳孔直径在乡村公共空间设计前后均存在显著性差异($p \approx 0.001 < 0.05$),这可能反映了被试者在认知负荷或



(b) 枕叶

图 3 脑电图顶叶与枕叶区域改造前后箱线图

Fig. 3 EEG box plot before and after the transformation of parietal lobe and occipital lobe area

注意力分配上的变化。注视时长也显示出显著性差异($p=0.006<0.05$),这可能与视觉搜索策略或信息处理效率的变化有关。

对主街道、巷道、小径及河流四类线状公共空间的专项分析显示,被试者在观看不同环境场景后,瞳孔直径和注视时长均呈现显著变化(图 4)。具体而言,主街道场景引发最强烈的反应,被试者左右眼瞳孔直径分别增长 6.30%和 6.01%,注视时长增加 6.25%;巷道场景次之,被试者左右眼瞳孔增幅分别为 3.87%和 4.13%,注视时长增加 1.60%;小径场景变化最小,被试者仅左眼瞳孔直径微增 1.60%,右眼基本不变,注视时长增加 1.78%;河流场景则表现出与主街道相当的显著效果,被试者左右眼瞳孔直径分别增长 5.08%和 5.21%,注视时长增幅达 6.64%。

为进一步探讨各空间类型的改造效果,本研究结合乡村线状公共空间改造前后热点图对空间要素进行深入讨论,如图 5 所示。改造后乡村线状公共空间的热点分布呈现显著优化:主街道通过绿化带、步道及公共服务设施的整合,形成连贯热点带,取代了原有分散的通行焦点;巷道因墙面装饰与休憩设施的引入,热点由入口向内部延伸,形

成了连续热点;小径通过粮仓组团等景观节点的序列设计实现热点连续性,提升视觉吸引力;河流改造后,亲水平台与河岸景观带成为核心热点,增强了人与水体的互动性。这些变化表明,空间功能细化与美学元素的融入是提升行人参与度的关键。

为深入探讨被试者对乡村空间设计要素的关注度,使用 aSeeStudio 软件对改造前与改造后不同乡村场景设计要素进行 AOI 划分。如图 6 所示,为绿植、墙面、地面、水体等环境要素的 AOI 划分,揭示被试者在不同环境要素间的视觉注意力分配特征。表 3 为 AOI 内被试者的首次注视前时长、首次注视时长以及总注视时长^[17],为深入理解被试者对乡村线状公共空间设计要素的偏好和反应提供了数据支持。与改造前相比,被试者对于水体要素的首次注视前时长缩短了 26.72 s,这意味着水体要素在视觉注意方面的吸引力增强。就首次注视时长而言,被试者对墙面的首次注视时长增长 231.51%,对地面的首次注视时长增长 21.34%,而在其他分类中,配套设施和小品等细节设计的首次注视时长增长率为 96.10%,表明这些要素在早期吸引被试者注意力方面产生了显著增

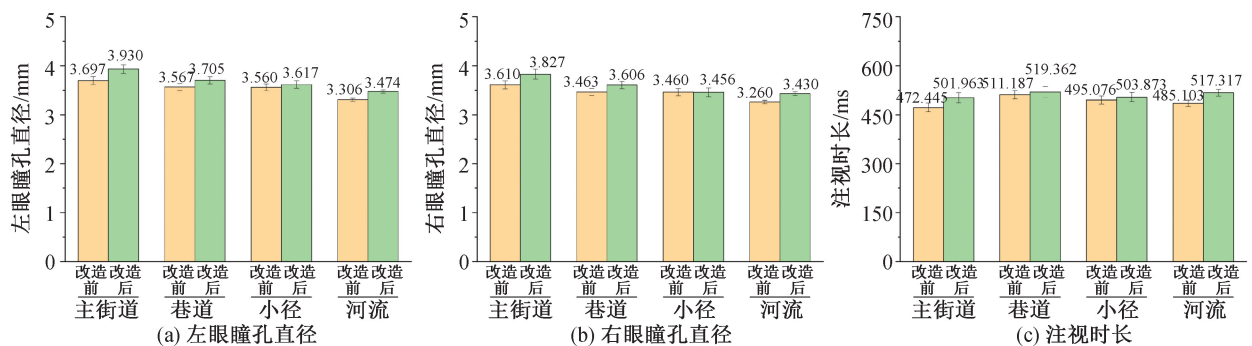


图 4 眼动追踪数据改造前后柱状图

Fig. 4 Eye-tracking data before and after the transformation of histogram

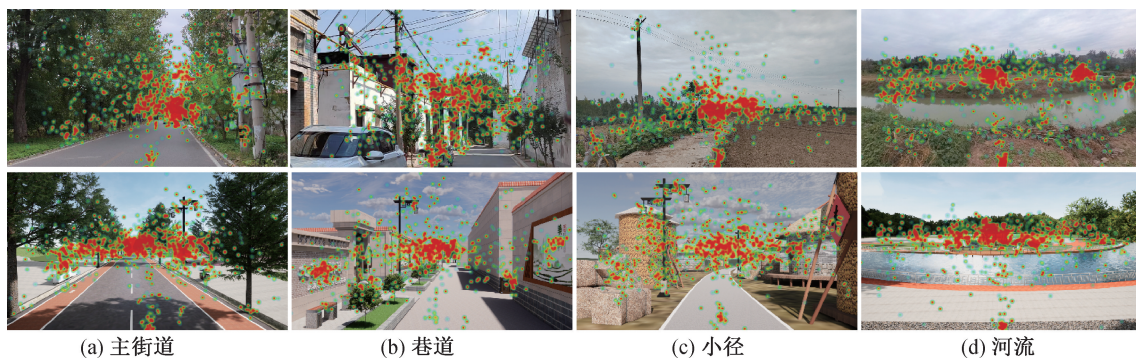


图 5 眼动追踪热点图

Fig. 5 Eye-tracking hotspot map

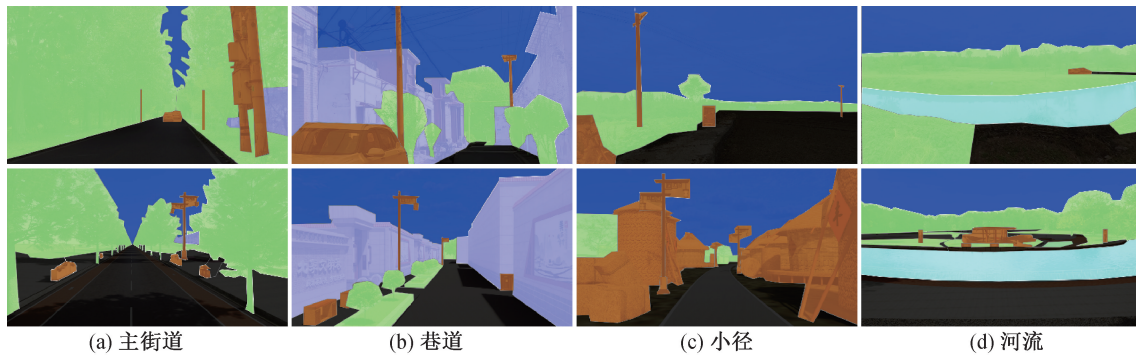


图6 AOI划分

Fig. 6 Area of interest division

表3 改造前后眼动AOI场景提升情况

Tab. 3 The improvement of eye-tracking AOI scene before and after transformation

改造前后	指标	天空	绿植	墙面	地面	水体	其他
改造前	首次注视前时长/s	324.921	162.446	83.195	457.716	170.583	601.231
	首次注视时长/s	69.681	88.899	16.222	57.823	12.213	53.895
	总注视时长/s	257.532	1 144.821	225.954	222.331	74.245	184.841
改造后	首次注视前时长/s	337.076	436.240	213.664	464.154	143.859	544.582
	首次注视时长/s	55.111	91.287	53.777	70.165	13.547	105.686
	总注视时长/s	251.345	619.629	404.68	276.474	35.499	628.253

强的效果。绿植作为核心生态要素,尽管被试者对其总注视时长有所下降,但它依旧维持着相对较高的视觉关注度。此外,在其他类别中的配套设施、小品等要素,被试者对它们的总注视时长增幅达到 239.89%,这进一步印证了功能优化对被试者持续性注意的强化作用。

2.3 被试者评价结果

在本研究中,运用威尔科克森符号秩检验对PRS的四个维度进行了统计分析,具体包括远离性、魅力性、延展性和兼容性。检验结果显示,四个维度的假设检验结果均显著($p \approx 0.000 < 0.05$)。图7展示了乡村线状公共空间各个场景改造后的数值分布明显高于改造前。从主观问卷的结果来看,设计改造有效地改善了人们对于乡村线状公共空间各个场景的感受和认知,使得改造后的场景在这四个维度上更能满足人们的期望或需求。

2.4 相关性分析

为了更深入的理解乡村线状公共空间如何影响人的情感体验,对脑电数据、眼动数据与主观偏好之间的相关性进行分析,讨论生理、视觉与情感数据之间是否存在一致性。由1.5论述可知,眼动

数据与主观问卷数据均不完全满足正态分布,因此在相关性分析过程进行斯皮尔曼相关性检验得出相关系数。相关系数 ρ_s 的值在-1到+1之间,其中接近 ± 1 表示极强相关,其值在 ± 0.6 到 ± 0.8 之间表示强相关,其值在 ± 0.4 到 ± 0.6 之间表示中等程度相关,其值在 ± 0.2 到 ± 0.4 之间表示弱相关,而其值接近0表示极弱相关或无相关^[18]。

由图8可知,顶叶与枕叶相关性较高($\rho_s = 0.64$),额叶与颞叶亦存在关联($\rho_s = 0.47$),这与Befara等人的研究发现一致,表明不同脑区在视觉信息处理过程中存在功能耦合^[19]。左、右眼瞳孔直径呈现极高相关性($\rho_s = 0.84$),双眼的同步性十分明显,与双眼的视觉输入和大脑的处理机制密切相关。此外,脑部区域与瞳孔直径直接关联普遍较弱,这可能反映了不同生理指标在信息处理中的特异性。主观问卷维度内部多呈现中高相关性(如兼容性与魅力性, $\rho_s = 0.8$),但该类维度与脑部区域、瞳孔直径的整体关联性仍较弱,这种差异可能源于测量层次的不同,生理指标反映的是即时的、无意识的神经活动,而主观评价则涉及更高层次的认知加工^[5]。后续研究可借鉴跨模态分析框架,进一步探讨主客观指标间的复杂关系。

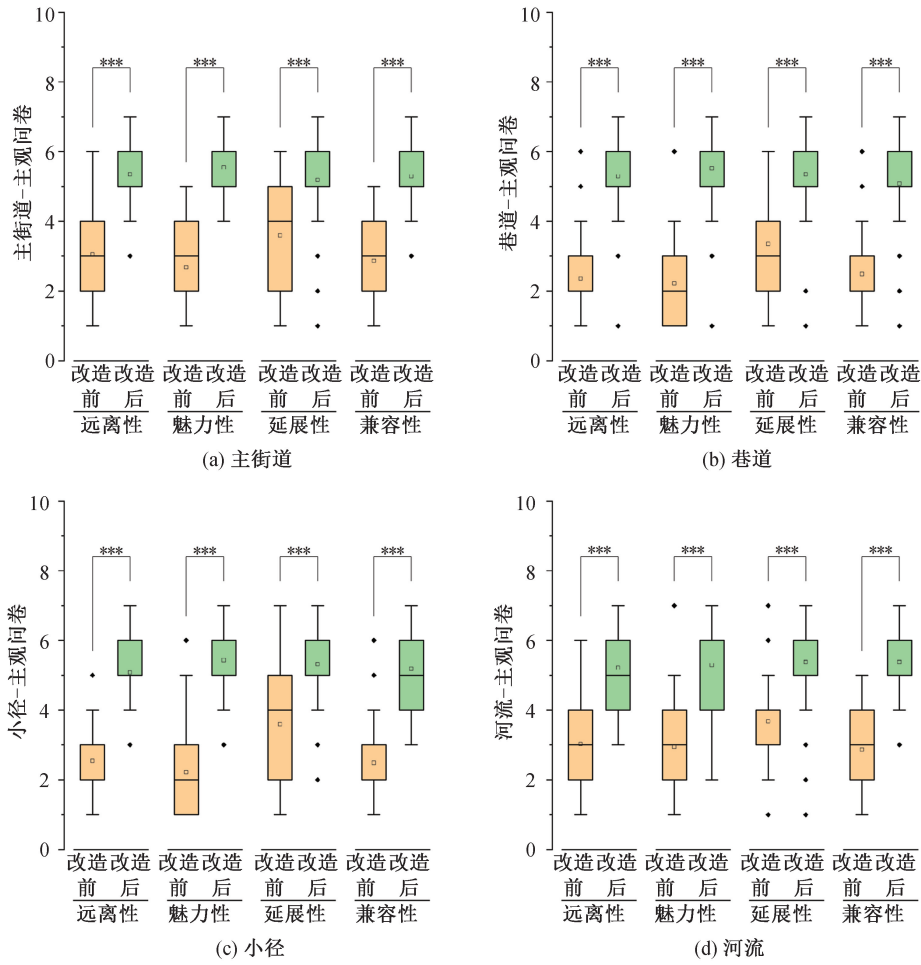


图7 线状公共空间改造前后主观问卷箱线图

Fig. 7 Subjective questionnaire box plot before and after linear public space transformation

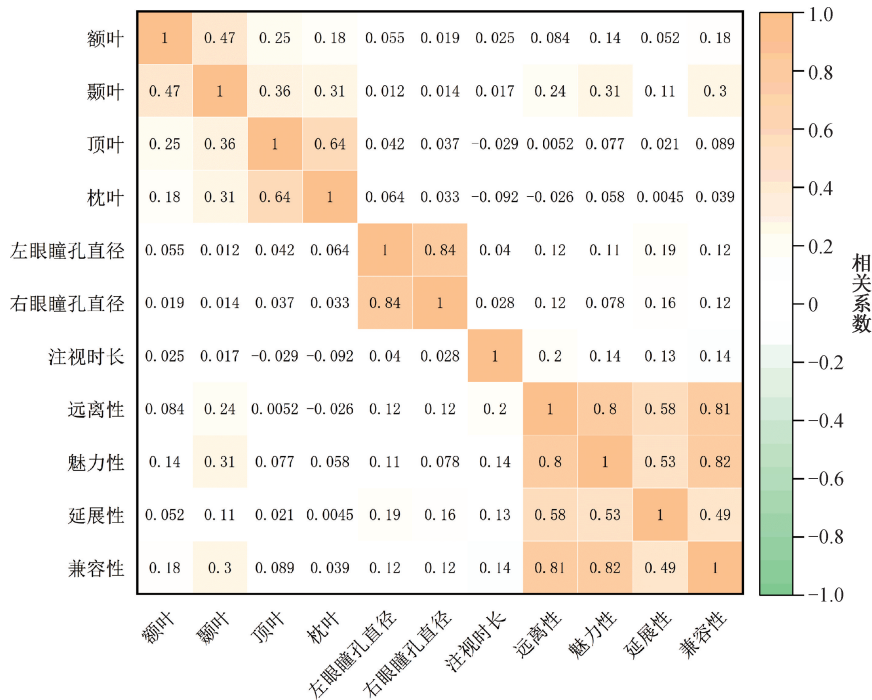


图8 主观问卷与生理数据相关性

Fig. 8 Correlation between subjective questionnaire and physiological data

3 讨论

3.1 脑电图结果深度解读

研究发现被试者的顶叶和枕叶在设计前后的脑电活动发生了显著变化。顶叶与空间认知和注意力调控相关。以河流景观改造后为例,被试者大脑顶叶区域的 α/β 值增幅最大,可能是水流形态、沿岸植被布局等景观设计要素,促使被试者大脑顶叶区域积极参与对空间信息的重新编码与整合,增强了对环境中物体空间位置、运动轨迹以及空间关系的感知与处理能力。枕叶作为视觉信息处理的核心脑区,其设计后 α/β 值的变化反映了空间设计对视觉信息加工进程的深刻影响。在主街道设计中,引入的不同种类的街景设施和色彩鲜明的非机动车道增强了视觉元素的丰富度,从而激发了枕叶视觉神经元群体更为活跃的电生理响应,加速了视觉信息从初级视皮层向高级视中枢的传递与解析^[20]。这同时也佐证了改造前过高的植被覆盖率可能遮挡视线,降低街道安全感,甚至可能因植被过度密集导致负面感知^[21]。小径在枕叶区域的表现增幅较小,说明小径设计在视觉特征创新与视觉信息增益方面相对不足,未能充分激活枕叶的深度视觉处理功能,导致其对个体视觉认知的影响较为微弱。

3.2 眼动追踪结果深度解析

研究发现在视觉关注方面,被试者在观看改造后的场景时,其双侧瞳孔直径显著增加,且注视时长延长,这一现象在视觉感知和心理学领域具有重要意义。被试者瞳孔直径的变化表明,优化后的空间结构可能通过提升信息密度和视觉吸引力增强了认知负荷与注意力集中度。已有研究指出,当人们面对新颖、复杂或具有吸引力的视觉刺激时,瞳孔会自动扩张以获取更多信息^[22],同时可能伴随注意力资源的分配调整。被试者注视时长的延长反映了空间改造对信息获取效率的优化。热点图揭示了不同空间类型对人注意力改善程度的提升存在显著差异,功能主导型巷道需通过适度增加休憩设施提升注意力,而生态主导型河流则需要强化亲水互动等感官体验设计才能触发更深层次的认知投入。AOI进一步揭示了注意力分配模式的转变,由于亲水设计,人们对于水体要素的首次注视前时长得以缩短。在其他要素方面,如配套设施、小品等的总注视时长大幅度增长,这

表明具备实用性的设施能够使人保持长期的关注。同时,墙面装饰具有突出性,显著强化了人们早期的视觉加工过程。

3.3 被试者评价结果与空间设计的紧密联系

PRS结果显示,改造后的乡村线状公共空间在主观情感层面获得了显著的改善,被试者对改造后场景的满意度和认同感显著提高。远离性的提升表明改造后的空间能更好地帮助居民摆脱日常压力,实现精神上的放松与解脱。通过在环境中引入自然元素与创造独处空间,能够帮助人们在自然与宁静中找到放松和恢复的空间,从而提升对压力源的远离感。魅力性的增强意味着空间具有更强的吸引力和独特性,提升魅力性需要深入挖掘当地的文化特色、自然景观优势,将其融入到空间设计中。延展性的提高反映出空间内容丰富度的提升。在乡村公共空间中需创造出满足不同人群多样化需求的公共空间,增加多样化的功能区域。兼容性的改善则表明空间可以提供与人的喜好和活动相一致的条件。设计师可以在乡村公共空间中融入当地传统民俗活动元素,激发村民对本土文化的热爱和参与热情。

4 结论

1)本研究通过EEG与眼动追踪技术的多模态融合,实现了乡村线状公共空间感知效能的客观量化评估与设计优化验证,证实基于文化符号传承、生态设计及人本化优化的改造策略能有效提升被试者的生理舒适度与情感体验。

2)就本研究结果而言,在乡村线状公共空间改造中,应采取差异化策略:主街道运用“交通分流与功能嵌入”策略优化空间组织;巷道采用“微改造与在地活化”方式强化场所认同;小径通过“田园野趣与慢行优先”理念提升景观趣味性;河流实施“生态修复与场景营造”方案重塑人水互动关系。

参考文献:

- [1] WEN L, SIMA L. Analysis of outdoor activity space-use preferences in rural communities: An example from Puxiu and Yuanyi village in Shanghai [J]. Land, 2022, 11 (8): 1273.
- [2] 王桂芹,曾珍妮,许文婷. 城乡融合背景下休闲型乡村公共空间规划研究[J]. 重庆大学学报(社会科学版), 2025, 31(1): 35-45.

- [3] 李敏,许沉风,苏同向,等. 基于色彩心理学的乡村公共空间植物景观色彩多系统预测及耦合分析——以南京市浮山村为例[J]. 园林,2024,41(11):110-117.
- [4] CAO J, ZHANG M. Evaluation of urban waterfront landscape quality based on semantic differential method: A case of Zhonghuamen section of Qinhuai River in Nanjing [J]. *Journal of Nanjing Forestry University*, 2020, 44(6): 221.
- [5] REN H G, SUN M Q, ZHANG J. Research contents, methods and prospects of emotional architecture based on a systematic literature review[J]. *Buildings*, 2024, 14(4): 997.
- [6] 李哲,陈菲菲,韩笑,等. 基于脑电分析技术的景观关注度主成分化解析——以南京市玄武湖公园为例[J]. 中国园林, 2021, 37(7): 60-65.
- [7] CHAO G, YING Z, KANG W, et al. Research advances and prospects of eye tracking[J]. *Acta Automat Sinica*, 2022, 48(5): 1173-1192.
- [8] HERMAN K, CIECHANOWSKI L, PRZEGALIŃSKA A. Emotional well-being in urban wilderness: Assessing states of calmness and alertness in informal green spaces (IGSs) with muse—Portable EEG headband[J]. *Sustainability*, 2021, 13(4): 2212.
- [9] SALAMA A M, SALINGAROS N A, MACLEAN L. A multimodal appraisal of Zaha Hadid's Glasgow Riverside Museum—criticism, performance evaluation, and habitability[J]. *Buildings*, 2023, 13(1): 173.
- [10] KIM S, PARK H, CHOO S. Effects of changes to architectural elements on human relaxation-arousal responses: Based on VR and EEG[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021, 18(8): 4305.
- [11] LITTLE C E. *Greenways for America*[M]. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1990.
- [12] 冯之煜,李龙飞. 促进老龄参与:沟通生态视域下的乡村公共空间设计策略——以杭州市青柯村为例[J]. 南京艺术学院学报(美术与设计), 2024(5): 203-208.
- [13] 葛岩,沈璇,蔡纯婷. 健康街道设计的理论、方法与实践[J]. 上海城市规划, 2020, 2(2): 49-56.
- [14] 戚露曦. 《唤起河流的脉搏》河道景观改造设计[J]. 建筑结构, 2020, 50(16): 149.
- [15] KAPLAN R. *The experience of nature: A psychological perspective* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.
- [16] HANUSZ Z, TARASINSKA J. Normalization of the Kolmogorov-Smirnov and Shapiro-Wilk tests of normality [J]. *Biometrical Letters*, 2015, 52(2): 85-93.
- [17] 杨箫,李早,叶茂盛,等. 基于视觉量化的传统村落落水口景观游客视觉行为偏好分析[J]. 园林, 2024, 41(3): 104-112.
- [18] COHEN J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*[M]. New York: Routledge, 2013.
- [19] BEFFARA B, HADJ-BOUZIANE F, HAMED S B, et al. Dynamic causal interactions between occipital and parietal cortex explain how endogenous spatial attention and stimulus-driven salience jointly shape the distribution of processing priorities in 2D visual space[J]. *NeuroImage*, 2022, 255: 119206.
- [20] ZHAO Y, KUAI S, ZANTO T P, et al. Neural correlates underlying the precision of visual working memory [J]. *Neuroscience*, 2019, 425.
- [21] ZHANG L, TAN P Y, RICHARDS D. Relative importance of quantitative and qualitative aspects of urban green spaces in promoting health [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2021, 213: 104131.
- [22] SNOWDEN R J, O' FARRELL K R, BURLEY D, et al. The pupil's response to affective pictures: Role of image duration, habituation, and viewing mode [J]. *Psychophysiology*, 2016, 53(8): 1217-1223.

(责任编辑 张爱丽)