

文章编号:1673-9469(2025)04-0105-08

DOI:10.3969/j.issn.1673-9469.2025.04.015

情感量化视角下的乡村庭院空间布局优化设计

王琦欣¹,王清勤²,索瑞^{3*}

(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. 中国建筑科学研究院有限公司,北京 100013;3. 河北工程大学 校团委,河北 邯郸 056038)

摘要: 为了探讨不同庭院空间布局对居民情绪恢复与压力缓解的影响,以冀南传统民居庭院为例,采用虚拟现实技术构建四种典型庭院场景,并结合眼动追踪和心率变异性等生理指标评估庭院设计对情绪调节的效果。结果显示,高绿化率且植物多样性的庭院设计显著提升副交感神经活性,增强情绪恢复能力。高绿化庭院的 LF/HF 比值(0.68 ± 0.06)显著低于无绿化庭院(1.40 ± 0.21),pNN50($29.60\%\pm 1.76\%$)显著高于无绿化庭院($15.98\%\pm 1.28\%$)。眼动追踪结果显示,高绿化场景提高了视觉专注度和舒适性。研究表明,具有高绿化率、丰富植物景观及适度开放感的庭院能有效促进情绪恢复与生理放松,这体现了自然要素在乡村庭院环境优化中的关键作用。

关键词: 乡村庭院;虚拟现实;眼动追踪;空间布局;心率变异性

中图分类号: TU986.2

文献标识码: A

Optimizing Rural Courtyard Spatial Layout from the Perspective of Emotional Quantification

WANG Qixin¹, WANG Qingqin², SUO Rui^{3*}

(1. Collaborative Innovation Center for Spatial Intelligence Perception in the Beijing-Tianjin-Hebei Region, Hebei University of Engineering, Handan, Hebei 056038, China; 2. China Academy of Building Research, Beijing 100013, China; 3. Communist Youth League Committee, Hebei University of Engineering, Handan, Hebei 056038)

Abstract: This study explores the impact of courtyard layout on emotional recovery and stress relief, using traditional southern Hebei courtyards as a case study. Four typical courtyard scenarios were created using virtual reality technology, with eye-tracking and heart rate variability measurements to assess the emotional regulation effects. The results show that courtyards with high greenery and plant diversity significantly enhance parasympathetic nervous activity and emotional recovery. In high-greenery courtyards, the LF/HF ratio (0.68 ± 0.06) was significantly lower than that in non-greenery courtyards (1.40 ± 0.21), while pNN50 ($29.60\%\pm 1.76\%$) was significantly higher compared to non-greenery courtyards ($15.98\%\pm 1.28\%$). Eye-tracking also indicated improved visual focus and comfort. The study highlights the key role of natural elements in promoting emotional recovery and relaxation in rural courtyard environments.

Key words: rural courtyard; virtual reality; eye tracking; spatial layout; heart rate variability

乡村庭院作为居民与自然互动的重要空间,在长期的生活实践中承担着社交交往、文化传承、情绪调节与心理恢复等多重功能^[1]。然而,在乡村现代化与建设性开发同步推进的背景下,庭院空间在持续的建设用地扩张与集约利用过程中逐

渐被挤占,绿地面积显著减少,生态等功能随之退化,进而对居民的健康状况与人居环境质量产生不利影响^[2-3]。在此背景下,如何在乡村人居环境优化过程中重构庭院空间的生态属性与情感价值,已成为当前乡村空间设计亟需回应的重要议题^[4]。

收稿日期:2025-05-31

基金项目:中央引导地方科技发展资金资助项目(246Z6101G)

第一作者:王琦欣(1997—),女,陕西西安人,硕士研究生,从事感性建筑学方面的研究。

* 通信作者:索瑞(1994—),女,河北磁县人,博士,讲师,从事情感心理学方面的研究。

现有研究主要从空间布局^[5]、地域文化和植物配置^[6-7]等维度对传统庭院进行探讨,揭示了庭院空间的文化与生态价值,但其在促进情绪恢复与心理健康方面的潜在作用尚未引起足够重视,缺乏系统性研究。随着情绪量化技术的不断发展,以情感建筑为代表的跨学科研究成为建筑学与情感工程融合的前沿方向,并在推动环境空间设计范式转型方面发挥重要作用^[8]。当前,心率变异性(Heart Rate Variability, HRV)、眼动追踪(Eye Tracking, ET)及脑电(Electroencephalography, EEG)等生理信号监测手段被广泛应用于评估环境因素对个体心理状态的影响^[9]。相关研究表明,绿色空间在缓解压力、促进情绪恢复方面具有显著作用^[10]。例如,翟宇佳等^[11]研究发现,小微绿地的空间尺度与功能类型对青年群体的恢复感知产生显著影响,草地类绿地的恢复效益优于广场类空间;Fu等^[12]通过对乡村社区街道环境的实证研究指出,中高绿化率与半封闭感的空间在视听整合条件下可增强愈合感知与生理响应;张静等^[13]通过模拟实验指出,不同宽高比的乡村胡同空间显著影响个体的情绪舒适度,其中当 D/H 处于1~3区间时,被试者在主观情绪评分与心率变异性指标上表现出更积极的情绪状态和更平稳的生理反应;Chen等^[14]利用可穿戴设备监测情绪状态,发现植被配置有助于提升HRV水平与视觉舒适度;Wang等^[15]在VR模拟实验中发现,自然型绿地显著优于硬质铺装空间,开放性与植物覆盖度是关键影响因素;Zhang等^[16]指出,自然窗景能在短时间内提升大学生的放松感与HRV水平,进而改善其认知效率。尽管上述研究为绿色空间的情绪效应提供了重要实证基础,但其研究对象多聚焦于城市公共空间,对乡村庭院空间在情绪恢复方面的系统探讨仍相对缺乏。

本研究以冀南传统庭院为例,基于虚拟现实(Virtual Reality, VR)技术模拟了四种典型布局场景,结合心电与眼动追踪等多模态生理测量手段,系统评估不同庭院布局对居民情绪恢复与生理反应的影响。相较于以主观问卷为主的传统研究方式,本研究引入生理与行为数据,实现对情绪反应的客观测量,重点探讨庭院中的绿化率和空间布局对人的心理状态的影响。

1 研究对象与实验内容

1.1 研究对象

通过实地调研,系统梳理了河北省邯郸市复

兴区东望庄村合院型住宅的空间布局特征,内容涵盖院落建筑形式、绿化配置与围合特征等方面。调研结果表明,该村住宅多为单层砖混结构,屋顶以平顶为主,立面多采用白墙灰裙,体现出冀南地区传统村落建筑的典型特征。庭院格局以“两甩袖”式合院为主,布局多为围合或半开放型,绿化率较高,植物以乔灌结合为主,局部庭院设置功能性硬质铺装,增强了空间的使用性与景观层次。

结合上述调研结果,提取典型空间特征作为建模依据,基于三维建模软件构建四类虚拟庭院场景(图1),分别为:(1)无绿化+硬质景观+封闭型布局;(2)低绿化率+单一植物种类+半开放型布局;(3)中等绿化率+多样植物种类+围合型布局;(4)高绿化率+丰富植物种类+半开放型布局。四组样本庭院空间围绕绿化率、植物种类与空间围合度三项核心变量设定,具体空间特征详见表1。



图1 四组不同布局的庭院空间全景图

Fig. 1 The diagram panoramic views of four different courtyard layouts

1.2 实验平台搭建

如图2所示,本研究搭建了一套多模态实验平台,用于虚拟环境中个体感知与生理反应的同步采集与分析。平台基于HTC VIVE Pro虚拟现实头盔,集成aGlass眼动追踪模块,结合aSeeStudio软件,实现对被试者在四类虚拟庭院场景中的眼动行为进行高精度追踪,包括注视位置、注视持续时间及视线轨迹。同时配置了TMSI SAGA便携式心电采集设备,通过SAGA User Application软件实

表 1 四组不同布局庭院空间特征

Tab. 1 Spatial characteristics of four different courtyard layouts

庭院类型	绿化率/%	植物种类	布局形式与特征
无绿化+硬质景观+封闭型布局	0	无植物	封闭型,以硬质铺装为主导,功能性弱,围墙高约 3.25 m
低绿化率+多样植物种类+半开放型布局	10~20	草坪+低矮灌木	半开放型,具有一定的私密性,空间紧凑,绿化与硬质空间均衡,功能分区较明确,围栏作为空间边界(高约 1.2 m)
中等绿化率+丰富植物种类+围合型布局	30~50	草坪+灌木+乔木	围合型,绿化与硬质空间均衡,强调空间秩序感与功能划分,绿化覆盖率适中,功能分区丰富,舒适性强,矮墙作为围合结构(高约 2.25 m)
高绿化率+丰富植物种类+半开放型布局	≥60	草坪+灌木+乔木+地被植物	绿化覆盖率高,植被层次丰富,空间渗透性强。围栏作为围合结构(高约 1.2 m)



图 2 虚拟仿真平台与实验场景

Fig. 2 Virtual simulation platform and experimental scenario

时记录心电信号,捕捉个体在不同空间体验过程中的生理响应特征。该平台可实现行为数据与生理数据的同步采集,为后续空间知觉与个体反应关系的量化研究提供技术基础。

1.3 实验设计

本研究采用多维感知分析方法,将“主观情感评价”与“客观生理测量”相结合,综合运用眼动追踪、基于心电图的 HRV 分析和问卷调查,全面评估不同庭院设计对情绪恢复的影响(图 3)。鉴于实验依托虚拟现实技术开展空间感知评估,被试者需具备较强的空间理解能力和对环境要素的感知辨识能力,故选取建筑专业背景人群以确保实验数据的稳定性与质量要求。本次庭院空间虚拟感知实验,共招募 28 名具有建筑专业背景的被试者(男女各 14 名),年龄为 20~30 岁,其中 75%具有硕士及以上学历。所有被试均视力正常、无色觉障碍及心血管或自主神经系统疾病。样本量通

过 G * Power 软件进行估算,基于重复测量方差分析方法,设定中等效应量、显著性为 0.05 和统计功效为 0.8。研究已获河北工程大学附属医院医学伦理委员会批准,所有参与者均签署知情同意书,实验流程符合国家《涉及人的生命科学和医学研究伦理管理办法》要求(批件号:2023 [K] 110,日期为 2024 年 6 月 23 日)。

在实验开始前,被试者首先完成静息状态下的心电数据采集,随后佩戴 VR 头显与眼动追踪设备,并接受实验流程及任务内容说明。为确保被试者沉浸感与舒适性,实验前设置预校准与休息阶段,以消除设备佩戴及环境适应对生理指标的潜在干扰。既有研究表明,3 min 的超短时 HRV 数据在 SDNN 和 RMSSD 等核心指标上与标准 5 min 测量结果高度一致,具有良好的信效度,可作为心理状态评估的可靠时间窗^[17]。因此,实验采用随机顺序,使每位被试依次体验四种虚拟庭院场景,单场景体验时长设定为 3 min,以控制潜在

顺序效应。实验过程中同步记录 HRV 数据、注视点热图及情绪恢复相关指标。实验结束后,被试者填写主观情绪恢复问卷,并完成结束引导及设备回收(图 3)。

本研究基于情感恢复理论及庭院空间设计相关文献,提出以下实验假设,以探讨不同庭院布局对情感恢复和压力缓解的影响。

假设 1:不同庭院布局(封闭、半开放、围合式)对主观情绪恢复(放松、专注状态恢复、愉悦)具有显著影响;假设 2:不同布局会显著影响 HRV 等生理指标;假设 3:同一布局中,不同绿化率会显著影响情绪评价;假设 4:不同植物多样性配置会显著影响个体的生理反应。

1.4 主观情感量表的设计

为系统评估被试者在不同庭院环境中的情绪恢复效果,本研究构建了由主观与客观指标构成的综合评估体系。其中,主观情绪状态通过感知恢复量表(Perceived Restorativeness Scale, PRS)与情绪状态量表(Profile of Mood States, POMS)进行测量^[18-19]。PRS 量表涵盖“吸引度”“逃离感”“兼容性”和“凝聚感”四个维度,用以评价环境在缓解心理疲劳与恢复注意力方面的潜力;POMS 量表则从愉悦感、焦虑减轻、放松感、专注感与舒适感等方面对个体情绪状态进行定量评估。为进一步获取被试者对空间特征的主观评价,本研究设计了一组环境满意度评价题项,涵盖绿化率、植物种类、空间布局及整体设计等要素,采用 7 点李克特量表进行评分。

1.5 眼动与心电指标提取

本研究选取总注视持续时间(Total Fixation Duration, TFD)、注视次数(Fixation Count, FC)、注视点热图(Fixation Heatmap, FH)和心率变异性(Heart Rate Variability, HRV)作为研究指标,用以评估不同庭院设计对情感恢复和生理响应的影响^[20-21]。其中,TFD 用于衡量特定环境元素的视觉吸引力,注视时间越长,表明该元素对被试者具有更强的视觉吸引特性。FC 反映视觉探索频率,注视次数越多,说明环境在整体上更具视觉引导性与吸引力。FH 呈现被试在不同场景中的视觉关注分布特征。HRV 作为表征自主神经系统活动水平的重要生理参数,可多维度揭示个体的心理与情绪状态。其中,LF/HF 比值反映交感与副交感神经的平衡状态,数值越低通常意味着更好的情绪调节与恢复能力;pNN50 作为副交感神经活动的敏感指标,其较高值通常与更佳的情绪恢复状态相关。

2 数据分析

2.1 主观情感量表的结果分析

本研究基于 PRS 与 POMS,从环境恢复感、即时情绪体验与环境满意度三个维度,评估了 4 组不同庭院布局对被试者主观体验的影响。如图 4(a)所示,感知恢复性维度评分在不同庭院布局间存在明显差异,场景 4 的平均得分最高,为 5.69 ± 1.68 ;场景 1 得分最低,为 3.63 ± 0.51 ;场景 2 和场景 3 的得分分别为 3.77 ± 1.08 与 5.41 ± 1.20 。对

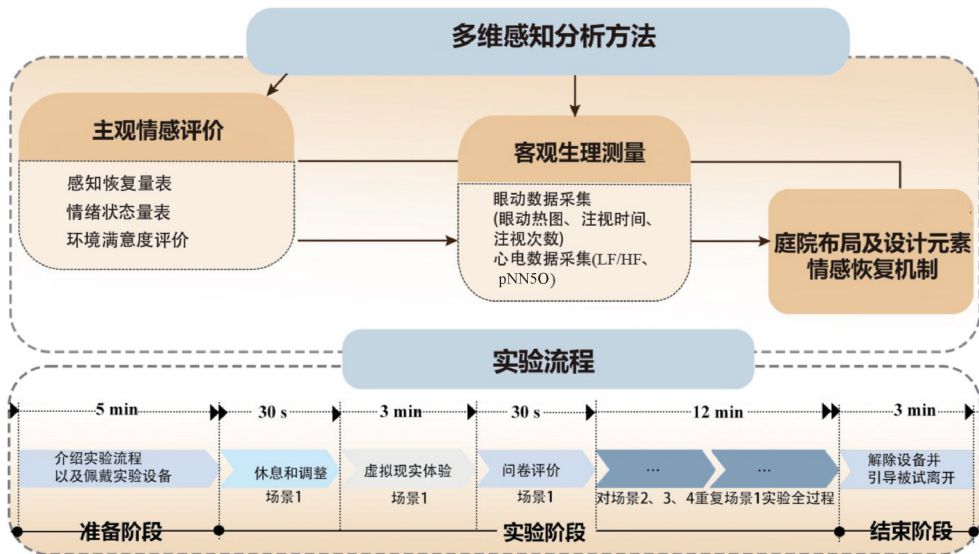


图 3 研究方法与实验流程

Fig. 3 Research method and experimental procedure

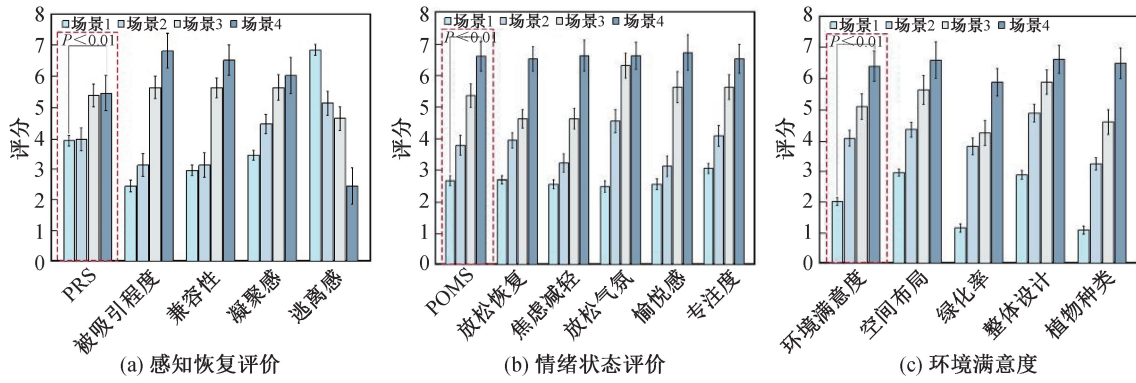


图 4 不同庭院布局对心理与环境感知评价

Fig. 4 Psychological and environmental perception evaluation of different courtyard layouts

数据进行单因素方差检验后发现,不同庭院布局在恢复性评分上存在显著差异($p < 0.01$)^[22]。结果表明,绿化率高于 60%且采用半开放布局的庭院,在恢复性评分上显著优于绿化率较低或缺乏自然要素的庭院。

情绪状态维度如图 4(b)所示,场景 4 的得分最高,为 6.43 ± 1.47 ,场景 1 得分最低,为 2.81 ± 0.48 ,场景 2 与场景 3 分别为 3.77 ± 0.96 和 5.35 ± 1.14 ,得分趋势基本与感知恢复性一致。单因素方差检验结果显示,4 组不同庭院布局之间存在显著差异($p < 0.01$)。评分结果显示,绿化率较高且空间通透性良好的庭院空间在情绪状态维度中得分更优,被试者普遍体验到更积极的情绪反应与心理放松。

环境满意度维度如图 4(c)所示,场景 4 得分最高(6.37 ± 1.50),场景 1 得分最低(2.00 ± 0.39),场景 2 与场景 3 分别为 4.04 ± 0.75 和 5.06 ± 1.23 。通过单因素方差检验后同样发现,4 组不同庭院布局在环境满意度维度上的评分差异显著($p < 0.01$)。结果表明,被试者对绿化覆盖率高、空间布局合理且植物种类丰富的庭院场景表现出更高的环境满意度。

2.2 眼动数据分析

眼动热图分析结果如图 5 所示,庭院绿化率、植物多样性与空间围合度对视觉关注具有显著影响,封闭硬质空间的注视范围较小且分布零散,而高绿化、半开放布局的庭院则表现出更集中的注视热点与更广的视觉覆盖。场景 1 的注视热点分布零散,主要集中于墙面与门窗,缺乏视觉引导性,这显示出封闭硬质空间在视觉吸引力方面的不足。场景 2 的注视区域集中于有限的植物配置,虽初步展现绿化的视觉效应,但因植物种类单一,

视觉停留时间较短、空间层次感不明显。在场景 3 中,注视热点集中于植物交错区域,视线流动性增强,表明多样化植物配置增强了空间的识别性。场景 4 中被试者的注视区域覆盖最广,视线自然分布于乔木、花坛等节点,注视持续时间最长,显示其在视觉吸引力与空间探索性方面最为优越。

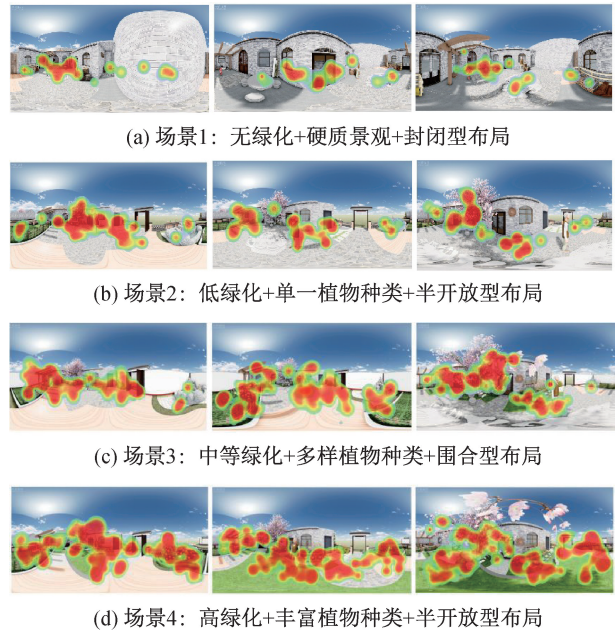


图 5 四种不同布局庭院注视点热图

Fig. 5 Fixation heatmaps of four different courtyard layouts

注视时长反映了被试者对特定区域的视觉关注深度,注视次数则体现了视觉探索的活跃程度。两者相互作用,较高的注视时长通常伴随较少的注视次数,该场景对于被试者的吸引程度更大^[23-24]。本研究中,场景 1 与场景 2 的平均注视时长为 0.42 s 和 0.45 s,注视次数为 8.43 次和 6.78 次;场景 3 与场景 4 的注视时长为 0.44 s 和 0.47 s,注视次数降至 6.9 次和 5.61 次。根据 ANOVA 分析,注视时长与注视次数在不同场景中存在显著

差异 ($F = 15.28, p = 0.0012$)。整体趋势表明,高绿化率与半开敞布局的庭院有助于延长被试者的注视停留时间,从而增强视觉集中度与空间沉浸感。

2.3 心电指标分析

LF/HF 比值与 pNN50 是衡量自主神经系统调节状态的核心指标,其中 LF/HF 比值反映交感神经与副交感神经的平衡关系,较低数值通常表征个体处于更放松的生理状态,而 pNN50 则衡量心率变异性,数值越高,说明副交感神经活跃度越高,心理恢复效果越佳^[25]。如图 6 所示,四组庭院场景 LF/HF 比值随绿化率提升呈递减趋势,反映出绿色元素在缓解生理压力方面具有积极作用。具体而言,场景 1 和场景 2 的 LF/HF 比值分别为 1.40 ± 0.21 和 1.04 ± 0.26 ,而场景 3 的数值降低至 0.88 ± 0.14 ,场景 4 的比值最小为 0.68 ± 0.06

($F = 18.73, p < 0.001$)。这表明高绿化率和丰富植物种类能够显著增强环境的恢复效益,有助于降低交感神经活动水平,从而促进生理放松。同时, pNN50 值的变化趋势进一步验证了这一结论,场景 4 的 pNN50 最高为 $29.60\% \pm 1.76\%$,场景 3 和场景 2 次之,分别为 $24.46\% \pm 1.42\%$ 、 $23.59\% \pm 1.75\%$,而场景 1 最低,仅为 $15.98\% \pm 1.28\%$ ($F = 10.56, p = 0.0002$)。结果表明,绿化率与植物多样性的提升可有效增强自主神经调节功能,显著促进生理放松与情绪恢复。

2.4 主客观相关性分析

图 7 展示了不同庭院设计下被试者的主观心理反应与客观生理指标之间的相关性分析。结果显示,心理反应 (PRS、POMS、环境满意度) 与生理反应 (LF/HF、pNN50) 之间存在显著的相关性。PRS 与 POMS 之间呈高度正相关 ($r = 0.82$,

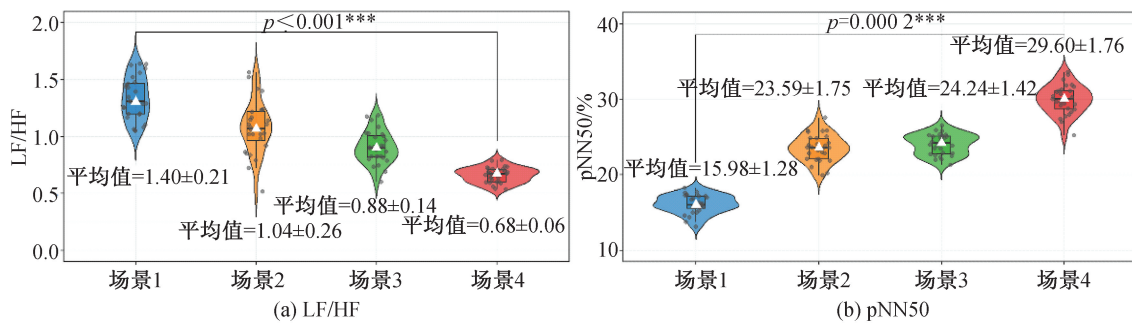


图 6 不同庭院布局下心率变异性指标比较

Fig. 6 Comparison of heart rate variability indicators across different courtyard layouts

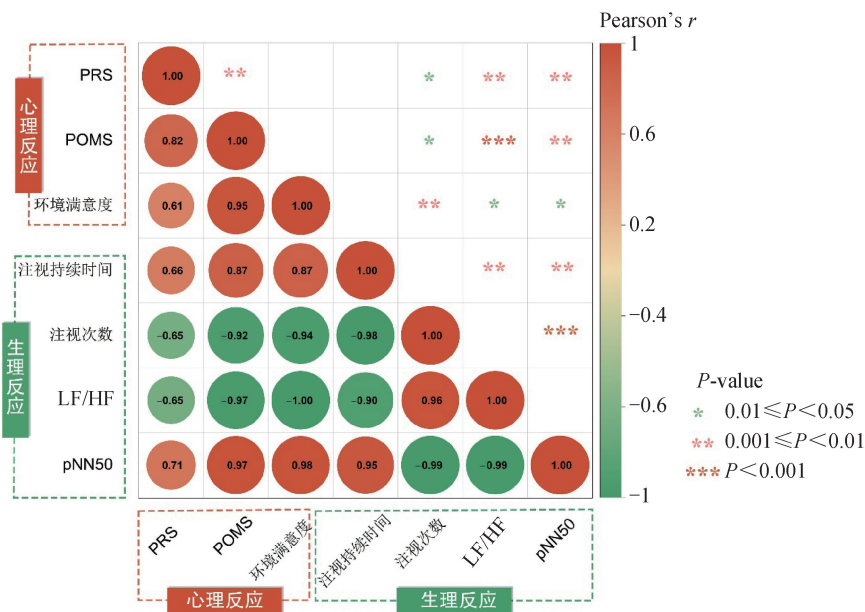


图 7 主客观相关性分析

Fig. 7 Analysis of the correlation between subjective and objective measures

$p < 0.01$), 环境满意度亦分别与 PRS、POMS 呈显著正相关($r = 0.61, p < 0.05; r = 0.95, p < 0.001$), 表明情感恢复水平与环境满意度相互促进。同时, 注视持续时间与 PRS、POMS 也表现出显著正相关关系($r = 0.66, p < 0.01; r = 0.87, p < 0.001$), 被试者在庭院设计中的视觉聚焦对其情感恢复具有重要影响。在生理指标层面, LF/HF 与所有心理反应呈显著负相关($r = -0.65, p < 0.01; r = -0.97, p < 0.001$), 表明情感恢复过程中, 较低的 LF/HF 比值反映出更强的副交感神经调节, 有利于情绪平稳与心理放松。综上, 研究揭示了心理与生理反应的相互关系, 强调了庭院设计中视觉注意力和环境满意度对情感恢复和生理调节的重要作用。

3 结论

1) 庭院布局形式显著影响被试者的情感恢复, 其中半开放型布局在放松感与愉悦感方面评分最高, 体现出适度开放空间对心理舒适度的积极作用($F = 22.4141, p < 0.001$)。

2) 不同庭院布局对被试者的生理反应具有显著影响。其中, 高绿化率与植物多样性显著提升了 pNN50 指标, 表明副交感神经活性增强, 从而有助于生理层面的情绪恢复($F = 10.56, p < 0.001$)。

3) 绿化率对主观情绪变化具有显著的正向效应。绿化率较高的乡村庭院空间能够有效提升被试者放松感、愉悦感与整体心理舒适水平($F = 209.1672, p < 0.001$)。

4) 多样化植物配置在提升视觉层次感与生态感知方面优于单一植物种植方式。结果进一步表明, 植物种类的丰富性有助于增强被试者的心理放松与生理调节, 凸显其在乡村庭院疗愈功能中的关键作用($F = 10.56, p < 0.001$)。

参考文献:

- [1] FU E, ZHOU J, REN Y, et al. Exploring the influence of residential courtyard space landscape elements on people's emotional health in an immersive virtual environment[J]. *Frontiers in Public Health*, 2022, 10: 1017993.
- [2] 曹智, 黄奕嘉. 乡村地域系统视角下农村土地利用问题解析与优化路径[J]. *地理科学进展*, 2024, 43(9): 1853-1864.
CAO Z, HUANG Y J. Rural land use problems and optimization approaches from the perspective of rural territorial system[J]. *Progress in Geography*, 2024, 43(9): 1853-1864.
- [3] 郭小燕, 刘学录, 王联合国. 以提高生态系统服务为导向的土地利用优化研究——以兰州市为例[J]. *生态学报*, 2016, 36(24): 7992-8001.
GUO X Y, LIU X L, WANG L G. Land use optimization in order to improve ecosystem service: a case of Lanzhou City[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(24): 7992-8001.
- [4] 张鑫焱, 冀佳. 庭院景观设计对改善农村人居环境的影响研究[J]. *中国农业资源与区划*, 2024, 45(6): 222-233.
ZHANG X Y, JI J. Research on farmers' willingness to participate in rural living environment based on sor model[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2024, 45(6): 222-233.
- [5] 杨立立. 基于地域文化特色的新农村景观设计研究[J]. *建筑工程技术与设计*, 2018(11): 1133.
YANG L L. Research on new rural landscape design based on regional cultural characteristics[J]. *Architecture Engineering Technology and Design*, 2018(11): 1133.
- [6] 杨婷, 季菲菲, 吉文丽, 等. 地域文化在城市景观设计中的表达——以吴起城区景观为例[J]. *西北林学院学报*, 2013, 28(3): 240-244.
YANG T, JI F F, JI W L, et al. Expression of local culture in urban landscape design a case study of Wuqi urban landscape[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2013, 28(3): 240-244.
- [7] 唐赛男, 王成, 孙睿霖, 等. 乡村庭院植物景观演变特征研究[J]. *中国城市林业*, 2018, 16(3): 6-11.
TANG S N, WANG C, SUN R L, et al. Evolution characteristics of rural courtyard plant landscapes[J]. *Journal of Chinese Urban Forestry*, 2018, 16(3): 6-11.
- [8] 任洪国, 张璐佳. 基于回归分析的环境设计感知要素与审美情感关系研究[J]. *河北工程大学学报(自然科学版)*, 2025, 42(2): 107-112.
REN H G, ZHANG L J. Relationship between environmental design perception elements and aesthetic emotions based on regression analysis[J]. *Journal of Hebei University of Engineering (Natural Science Edition)*, 2025, 42(2): 107-112.
- [9] REN H, SHI M, ZHANG J. Research contents, methods and prospects of emotional architecture based on a systematic literature review[J]. *Buildings*, 2024, 14(4): 997.
- [10] SHI H, LUO H, WEI Y, et al. The influence of different forest landscapes on physiological and psychological recovery[J]. *Forests*, 2024, 15(3): 498.
- [11] 翟宇佳, 余静瑶, 范彬彬, 等. 城市小微绿地尺度与类型对青年人感知偏好与感知恢复效益的影响[J]. *新建筑*, 2024(6): 37-42.
ZHAI Y J, YU J Y, FAN B B, et al. The effect of spatial scale and type of urban small green spaces on young

- people's perceived preference and restoration[J]. *New Architecture*, 2024(6): 37-42.
- [12] FU E, REN Y, LI X, et al. Research on the healing potential of rural community streets from the perspective of audiovisual integration: a case study of four rural communities in China[J]. *Frontiers in Public Health*, 2022, 10: 861072.
- [13] 张静, 李世坤, 黄珉哲. 乡村胡同宽高比的情感舒适度量化研究[J]. *河北工程大学学报(自然科学版)*, 2025, 42(2): 101-106.
- ZHANG J, LI S K, HUANG M Z. A quantitative study on the emotional comfort degree of the distance-to-height ratio of rural hutongs[J]. *Journal of Hebei University of Engineering (Natural Science Edition)*, 2025, 42(2): 101-106.
- [14] CHEN Z, LIU S. Real-time environmental affective experience assessment via wearable sensors[J]. *Chinese Landscape Architecture*, 2018, 34(3): 12-17.
- [15] WANG X, RODIEK S, WU C, et al. Stress recovery and restorative effects of viewing different urban park scenes in Shanghai, China[J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2016, 15: 112-122.
- [16] ZHANG Y, TANG Y, WANG X, et al. The effects of natural window views in classrooms on college students' mood and learning efficiency[J]. *Buildings*, 2024, 14(6): 1557.
- [17] WU L, SHI P, YU H, et al. An optimization study of the ultra-short period for HRV analysis at rest and post-exercise[J]. *Journal of Electrocardiology*, 2020, 63: 57-63.
- [18] LI Y, LI W, LIU Y. Remedies from nature: exploring the moderating mechanisms of natural landscape features on emotions and perceived restoration in urban parks[J]. *Frontiers in Psychology*, 2025, 15: 1502240.
- [19] ULRICH R S, SIMONS R F, LOSITO B D, et al. Stress recovery during exposure to natural and urban environments[J]. *Journal of Environmental Psychology*, 1991, 11(3): 201-230.
- [20] AMATI M, PARMEHR E G, MCCARTHY C, et al. How eye-catching are natural features when walking through a park? Eye-tracking responses to videos of walks[J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2018, 31: 67-78.
- [21] PENG Y L, LI Y, CHENG W Y, et al. Evaluation and optimization of sense of security during the day and night in campus public spaces based on physical environment and psychological perception[J]. *Sustainability*, 2024, 16(3): 1256.
- [22] MIRZOHREH S T, PANAHI P, HEIDARI F. Exploring heart rate variability in polycystic ovary syndrome: implications for cardiovascular health: a systematic review and meta-analysis[J]. *Systematic Reviews*, 2024, 13(1): 194.
- [23] YANG F Y, CHANG C Y, CHIEN W R, et al. Tracking learners' visual attention during a multimedia presentation in a real classroom[J]. *Computers & Education*, 2013, 62: 208-220.
- [24] ELSADEK M, LIU B, LIAN Z. Green facades: Their contribution to stress recovery and well-being in high-density cities[J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2019, 46: 126446.
- [25] SEDGHIKHANSHIR A, ZHU Y, BECK R M, et al. Exploring the impact of green wall and its size on restoration effect and stress recovery using immersive virtual environments[J]. *Building and Environment*, 2024, 262: 111844.

(责任编辑 王利君)