

高密高异质性城市街区景观对心理健康影响评价及循证优化设计

Assessing the Impact of High-density High-heterogeneity Urban District Landscape on Psychological Health and Optimizing via Evidence-based Design

陈筝

CHEN Zheng

中图分类号：TU986
文献标识码：A
文章编号：1673-1530(2018)01-0106-06
DOI：10.14085/j.fjyl.2018.01.0106.06
收稿日期：2017-10-17
修回日期：2017-12-01

陈筝 /1983 年生 /女 /四川人 /博士 /同济大学建筑与城市规划学院景观学系助理教授、硕士生导师 /研究方向为健康设计（上海 200092）
CHEN Zheng, who was born in 1983 in Sichuan Province, is an assistant professor and master supervisor in the Department of Landscape Architecture, College of Architecture and Urban Planning(CAUP), Tongji University. Her research focuses on health design (Shanghai 200092).

摘要：高密高异质性城市环境不仅影响空间审美感受，也影响着城市居民的心理健康。实证研究表明通过引入绿色自然、优化空间设计可缓解这种负面影响。本文结合已有的神经认知学和医学研究，将风景园林学科核心价值之一环境愉悦体验提升到公共健康高度。我们利用神经生物测量等一系列先进技术量化环境体验，并在医学和神经认知学已有实证证据的基础上进一步进行健康影响评价，提出基于健康影响评价的循证设计方法。具体包括测量高密高异质性街道中不同环境空间要素组合对人的健康影响，分析识别具体案例中最容易诱发压力和认知负荷的空间要素，针对性地提出设计干预策略并依托增强现实 / 虚拟现实技术进行绩效预估。研究整合了技术量化环境体验和环境神经健康评价这 2 个密切联系的学术前沿，其成果可以直接指导具体案例的循证设计优化。

关键词：环境体验；健康影响评价；高密城市街区；压力缓解；循证设计方法

基金项目：国家自然科学基金青年基金“基于环境实景感知实证模型的景观视觉规划设计方法研究”（编号 51408429）；住房城乡建设部科学技术计划与北京未来城市设计高精尖创新中心开放课题资助项目（编号 UDC2017010521）；中央高校基本科研业务费专项资金：高密城市街区景观对心理健康影响评价及循证优化设计（编号 22120170016）

Abstract: Not only do high-density and high-heterogeneity urban environments impair our environmental aesthetic experience, they also influence our psychological health. These negative impact of high density urban environments, as revealed by evidences, can be mitigated by design strategies such as increasing visible green, improving scenicness and safety and etc. We are advancing one of the core value of landscape architecture from positive environmental experience to public well-being by incorporating with cognitive neuroscience and medical research. Evidence-based design and state-of-art techniques (such as neurological-physical measures) were used in assessing the health impact of different environmental combinations within high dense and heterogenic urban district. The assessment would facilitate diagnosing potential spatial components that stimulate high stress and high cognitive load. Based on the diagnosis, proper design interventions would be proposed and their potential performance would be pre-evaluated via augmented/virtual reality. This study integrated two interrelated academic frontiers—evidence-based health design and health assessment via environmental neuroscience. The expected evidence-based design approach can be applied directly to case-specific design and optimization.

Keywords: environmental experience; human health impact assessment; high-density urban district landscape; stressreduction; evidence-based design

Fund Items: National Natural Science Foundation of China(NSFC) “An Evidence-based Model of in Situ Environmental Perception and Its Application to Visual Resource Analysis, Management and Design”(No.51408429); Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People’s Republic of China & Beijing Advanced Innovation Center for Future Urban Design Open Program (UDC2017010521); The Fundamental Research Funds for the Central Universities : Assessing the Impact of High-density Urban District Landscape on Psychological Health and Optimizing via Evidence-based Design (22120170016)

1 背景

优美宜人的城市景观环境不仅给人审美愉悦感受，更和公共健康息息相关，是当前中国城市建设风景园林学科的重要问题。以审美愉悦体验为核心的环境感受，一直被国内外学者认为是风景园林学科的核心问题之一^[1-2]，它是一种与生存密切相关的直觉判断^[3]。近20~30年流行病学研究发现优美的环境和公共健康密切相关^[4]，城市景观设计开始受到医学和公共健康领域的重视^[5]。

改善快速城市化引起的健康及环境问题，是风景园林学科的核心问题，也是当前国内外风景园林学科发展和城市人居环境研究前沿^[6-10]。2016年2月出台的《中共中央国务院关于进一步加强城市规划建设管理工作的若干意见》中明确提到，现阶段城市建设管理工作的总体目标是“实现城市有序建设、适度开发、高效运行，努力打造和谐宜居、富有活力、各具特色的现代化城市，让人民生活更美好”^[11]。

高密高异质性城市景观容易诱发各种心理疾病，而优美的景观环境对公共健康有保护机制。尽管城市给人们带来了便利的生活和更好的就业机会，但越来越多的证据表明快速的城市生活和高密度高异质性城市街区景观环境，容易诱发广泛性焦虑、心境障碍和精神障碍等各种心理疾病^[12]。高复杂度、高异质性景观风貌给视、听等多维感官带来认知负荷和压力升高，进而诱发各种心理问题^[13]。

虽然诸多证据表明在城市街区中提高可视化自然、环境宜人性等规划设计干预可有效缓解压力反应并提高认知能力从而改善人的身心健康^[14-16]，但是在实际规划设计中如何快速识别出能引起人情绪压力的空间要素却是一个难题。本文旨在通过神经生物测量，快速而有效地识别出引起人情绪压力的空间点及其要素特征，评价其对认知和健康影响，并在此基础上提出设计改进建议。

2 国内外理论和实证研究进展

2.1 恢复性绿色自然可缓解城市环境诱发的长期压力及相应健康问题

由于其高密和高异质性等特征，城市环

境容易诱发人的长期压力反应影响健康^[13]，而丰富自然要素的恢复性环境可以有效缓解这种压力反应，从而促进公共健康。绿色自然要素能够有效地缓解城市环境诱发的情绪压力^[14]，对负面情绪起到一定的调节作用^[16]，并且能够进一步抑制炎症^[13]和焦虑反应^[16-17]。

更多接触自然可以缓解上述应激反应的“恢复性（restorative）”影响，促进城市居民的健康。一项绿地布局和流行病分布的空间统计研究证据表明在公园1km半径内居住、经常接触绿地的居民，其冠心病、颈项及肩周疾病、背部疾病、抑郁、焦虑、上呼吸道感染、气喘、偏头痛、头晕、肠道疾病、尿路感染等诸多疾病的发病率显著低于居住在离公园更远地区的居民^[17-18]。

2.2 景观优美度等设计考量对健康有直接影响

在作者对130个实验进行系统性梳理的基础上发现^[19]，绝大部分文献主要旨在量化评价自然和城市在健康影响方面的差异，很少考量空间设计对健康的影响。值得注意的是，有实验表明即使是类似绿化程度的环境，自然与自然之间、城市与城市之间，对人的恢复性健康影响也存在较大差异，并不能简单地认为自然环境一定比城市环境好^[20]。

最新证据表明风景优美程度可能比自然绿化对健康的影响更为直接。一项英国流行病学研究对英国全境疾病进行统计分布，同共基于20多万张风景照片众包（crowdsourcing）数据的风景优美程度打分和英国了绿化覆盖率进行了多元回归分析^[4]。研究结论发现在控制经济等外部变量之后，优美程度对健康有显著影响；当进一步控制优美度后，绿化覆盖率对健康的影响主要是城乡之间的差异。

街道界面等设计要素都会影响我们对于环境的安全性评价，从而通过改变压力应激影响健康。当人们对环境的不安全感升高时，容易提高人的警觉度，诱发“下丘脑—垂体—肾上腺”压力应激反应。对街安全性的研究发现^[21]，街道界面、临街建筑的体量和高宽比、行道树树冠比例等设计因素会显著影响人们对于街区安全性的判断，从而激发压力应激反应。

2.3 神经生物技术可以评价测量环境体验对健康影响

近年来，国际研究前沿开始引入眼动仪、脑电波、肌电、心电等生理检测技术，用以辅助以问卷和照片打分为主要数据收集手段的传统心理感受研究。这些技术的引入突破了原有仅能使用照片打分、认知地图和问卷访谈等间接方式来探索认知过程的方法，使实时采集人的实景实地感受信息成为可能。通过对环境视觉认知者脑电心电皮电等生理信号的采集，可以实时捕捉观察受测者对于建筑、开放空间、绿色植物等多种不同特征环境的生理反应及其健康影响。目前这种生理测量技术已运用于街道设计^[22]、校园设计^[23-24]、公路景观^[25]、城市环境^[26]、室内^[27]等空间设计研究领域。

3 研究方法

本研究旨在利用神经生物测量等一系列先进技术量化环境体验，并在医学和神经认知学已有实证证据的基础上进一步进行健康影响评价，提出基于健康影响评价的循证设计方法。具体包括测量高密高异质性街区中不同环境空间要素组合对人的健康影响，分析识别具体案例中最容易诱发压力和认知负荷的空间要素，针对性地提出设计干预策略并依托增强现实/虚拟现实技术进行绩效预估。

主要采用循证设计的“知识—诊断—干预—评估—知识”路径，就具体案例提出解决策略，并通过对个案的量化荟萃分析归纳总结出普适性结论。其中诊断是重点，也是主要创新点。在分析诊断中，我们先利用生理测量，识别街区环境中造成健康影响的重要节点。在确定了若干节点基础上，进一步锁定节点中具体哪些空间要素组合导致了认知过程中能耗和负荷增加，并对此采取相应的对策。

我们将研究分解成街区和节点两个尺度，分别进行了预实验，接下来的章节将就两个预实验结论及相应的进展予以进一步介绍。

4 街区尺度负面情绪影响源的空间诊断

4.1 研究目的

街区尺度负面情绪影响源的空间诊断旨在通过神经生物测量锁定引起情绪，特别是

负面情绪的空间节点，并进行相应规划干预。

在街区尺度，通过便携式生物反馈仪，采集实时实景下，实际环境使用群体的自主神经反应（皮电、心电、皮温、呼吸等），通过情感计算^[28-29]来解析受环境影响下人的生理情绪和压力变化，并与问卷量表和标签等主流方法进行三角互证（triangulation），检验在实景环境下生物指标情感计算的信度。通过和 GPS 时间序列数据融合，实现情绪反应和地理数据的空间匹配，制作情绪地图进行环境情绪压力诊断。

在诊断识别基础上，针对具体案例通过优化布局主要活动空间、优化交通组织等规划策略，对识别的高健康负影响节点进行干预。并结合社区参与等手段对绩效进行评估。研究主要用到“情感地图”技术融合 GPS 时空间轨迹的新技术。作者在对大量实验结论进行综述和量化荟萃分析的基础上^[19]，对此技术进行了小样本前期预实验。

4.2 预实验及其发现

由于现有的文献主要集中于室内静坐时照片或录像刺激的神经生物指标采集或者对于实景行走的访谈或问卷数据采集，我们并不知道神经生物指标是否可以用于实景环境行走条件下。我们预实验的目的旨在确定神经生物指标对于确定环境感受的有效性和可靠性。

在预实验中，我们选取了校园中一段大约 10 分钟的步行环境，里面包括教学区、运动健身区、生活区、自然休闲区等。我们招募了 4 位被试（图 1），每位被试在同样的路线上行走 3 次，一共获得 12 组 10 分钟数据。我们采集了心电、脑电、皮电、皮温、呼吸、皱眉肌肌电数据，采样率为 256 帧每秒。获得的数据在 matlab 平台，再经过数据重采样、滤波降噪预处理、时频分析等信号分析后，利用美国精神卫生署（National Institute of Mental Health，简称 NIMH）的情绪生理测量技术^[29]，将神经生物信号数据线性拟合成能够描述 1 帧每秒的情绪效价（正情绪或负情绪）和唤醒度（情绪的强烈程度），再进一步和 GPS 收集的 1 帧每秒地理位置信息做数据融合。

预实验的生理测量结果表明（图 2），情感地图技术较好地识别引起负面情绪压力的



1 实验者穿戴实验装置
Participants with wearable bio-sensors



2 基于预实验采集数据所绘情感地图
Affective map based on biofeedback data collected during environmental walk in pilot study

健康负影响源（红色的环境 2, 3 和 4）和正面情绪促进源（绿色的 1, 6, 7 和 8）。其中环境 2 和 3 由于周边建筑体量过大、人车混行并且人需要穿行停放车辆较多的场地，故容易引起负面情绪压力。环境 4 因需要横穿有较多车辆的主要车行交通通道，故也容易引起负面情绪压力。其中环境 6、7、8 都紧邻开放绿地，而环境 1 紧邻篮球场地，有较多有趣的活动。在生理测量的同时，我们也采用了访谈式标签制图^[30]以及环境莱克特（Likert）情绪量表等常用的环境评价手段，发现与生理测量结果吻合非常好。

通过情绪刺激源识别，我们对引起负面情绪的空间进行了设计改进。当我们识别出环境 3 后，我们通过和被试一起观看行走录像，并对被试进行深入访谈，理解被试在环境 3 情绪压力的主要来源。通过访谈我们了解到，环境 3 主要因为周围建筑体量较大，缺乏人性尺度设计，加上原有停车空间考虑不够，导致人行道被占用，所以穿越时引起明显不适。在这种因素下，我们尝试对环境 3 进行了改进设计，将停车和人行空间分开（图 3）。

4.3 预实验意义和下一阶段研究

预实验发现目前主要应用在实验室照片录像刺激下的神经生物信号能较好地反映实景环境行走下的情绪及其负面压力。我们的预实验成果先后在德国 Real Corp 城市规划和区域发展信息地理科技年会^[31]、英国 MMP 情

绪及移动性空间研究会议^[32]、中国环境行为学年会^[33]、中国人类工效学学会年会^[34]等多个国际会议中取得良好反映。

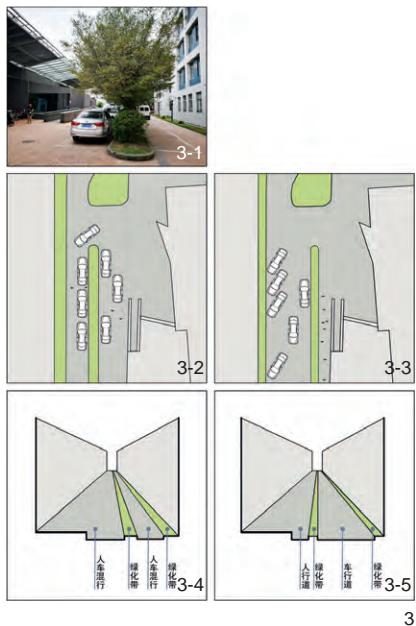
鉴于预实验人群样本过少（4 人），实验环境相对单一，下一阶段的研究计划会扩展到城市街道，将选取具有典型特征的城市街道，探索高密高异质性的城市空间和城市街道中导致负面情绪的主要空间节点，并尝试通过设计缓解这种负面影响。

5 节点尺度认知压力源的空间诊断

5.1 研究目的

节点尺度认知压力源空间诊断旨在进一步深入了解引起环境情绪压力的认知神经学机制，以及具体引起认知压力的环境要素空间特征，以此指导设计。

在节点尺度，利用脑电和眼动深入剖析具体环境认知过程，有效识别影响健康的关健空间要素组合，并进行相应设计干预。然后，通过专家调查识别出高密高异质性的环境节点。在此基础上，利用脑电仪和眼动仪，在实验室环境下采集使用者的脑电信号，结合环境恢复性量表、数字广度测试等信度校核，综合考察环境暴露前后的认知负荷和注意力耗损情况。将心理物理实验数据与脑电信号和眼动信号进行特征匹配，进一步计算脑功能网络的效率和能耗，进行注意力耗损评价，并通过脑电眼动的注视时间热点图识别潜在



3 对高诱发负情绪环境 3 的设计干预

Design intervention towards environment 3 which triggered high negative emotions

3-1 环境 3 现场照片

Photo of existing condition of environment 3

3-2 环境 3 现状平面图

Existing plan of environment 3

3-3 环境 3 改进平面图

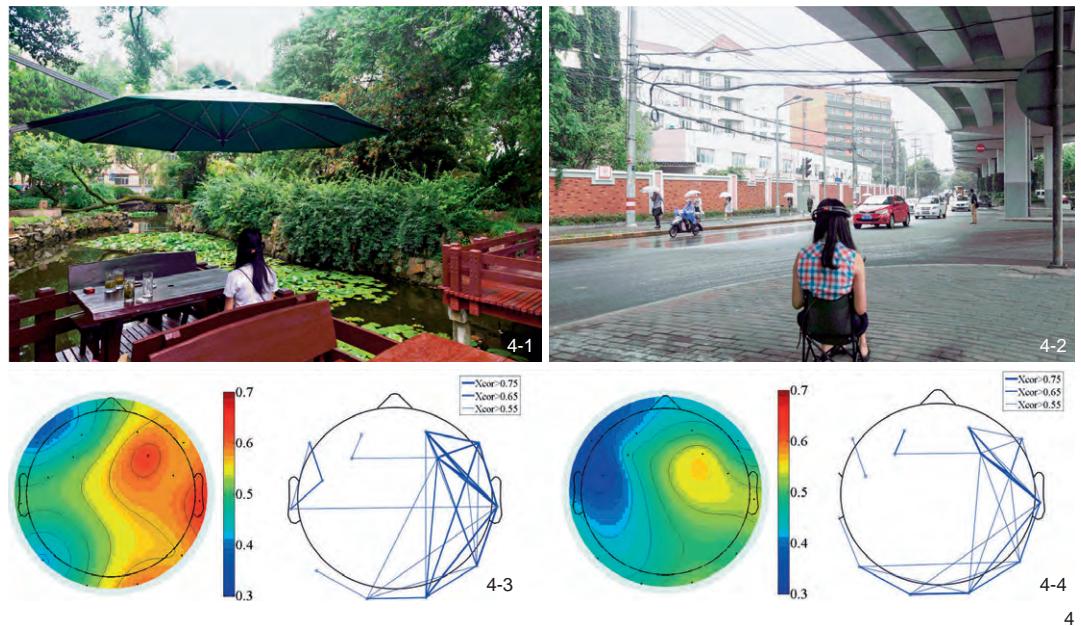
Proposed plan of environment 3

3-4 环境 3 现状剖面图

Existing section of environment 3

3-5 环境 3 改进剖面图

Proposed section of environment 3



4 高低恢复性实景环境及相应脑功能网络效率

High and low restorative environments and correspond brain functional connectivity of the participants sitting in them

4-1 高恢复性自然实景环境

High restorative natural environment

4-2 低恢复性城市实景环境

Low restorative urban environment

4-3 自然实景环境中脑功能网络效率

In situ natural environmental experience and the brain functional connectivity of the participants sitting in the environment

4-4 城市实景环境脑功能网络效率

In situ urban environmental experience and the brain functional connectivity of the participants sitting in the environment

的高认知负荷要素。在诊断识别基础上，针对具体案例进行设计优化，如绿化引入、景观整治、视觉引导、噪声降低等。并结合选择增强现实（适用于现状环境复杂、设计调整简单的情况）或虚拟现实（适用于现状环境简单、设计调整复杂的情况）技术对绩效进行评估。

5.2 预实验及其发现

我们通过对采集的脑电数据进行时序相关和功能网络分析，其分析结果表明环境的有序度可影响人的认知负荷，进而影响健康。

我们选取了 32 位健康被试并随机分配到在初期行走实验和问卷中表现的能激发有高正面和高负面情绪的 2 种环境中。被试在上述环境中静坐 20 分钟，观察周围环境。我们测量他们全程实景静坐体验时的脑电信号（EEG），并测量他们在静坐前后的情绪变化、体验和注意力疲劳（图 4）。

我们的研究发现，在高正面情绪的环境

中，人脑功能网络能更为有效，同时大脑能耗更少（图 5）。通过进一步对比，我们发现这种大脑效率和环境有序度感受统计相关，而在上述两个环境中，高速运动的车辆、刺眼的光照、刺耳的喇叭声等都会明显地影响有序度。

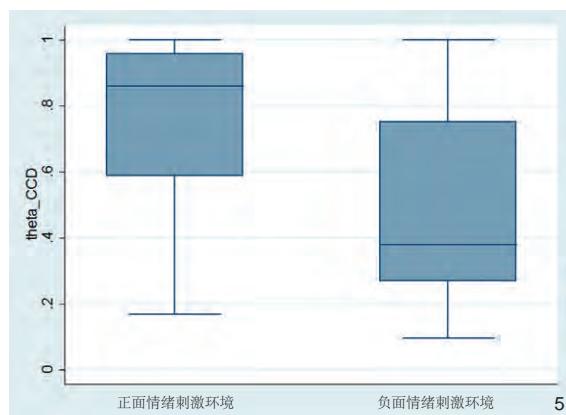
在此研究基础上，我们提出了整治街道景观改善景观有序度，并通过增加垂直绿化、水池、吸音墙等手段隔离或减缓负面环境影响源，以降低环境认知负荷，缓解环境引起的负面情绪和压力。

5.3 预实验意义和下一阶段研究

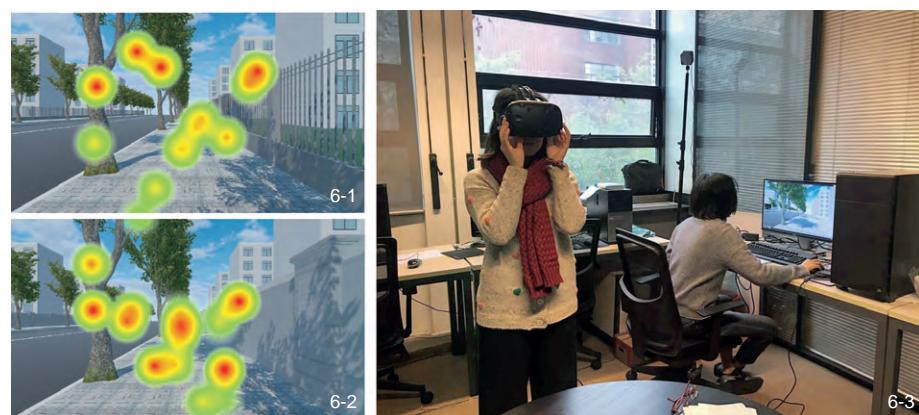
预实验证实了环境和谐感受对于认知注意力的促进影响，为设计美学价值提供了强有力的神经学和医学证据。环境的和谐性一直是设计的核心议题，也是环境心理学的核心议题，同时也是环境对于认知注意力恢复性影响的核心因素^[35]，但它通过什么机制造

成影响仍然不得而知。通过实时实景环境体验的脑电记录，预实验发现这种环境和谐感也许反映了更深层的大脑活动，即自然信息能够被更高效地（以低频波的形式）信息传递。这种高效的信息传递，同时表现为和高级认知相当的（较高的）底层视觉低频波，以及大脑内部之间突出的低频段信息传递。预实验成果除了在国内风景园林^[36]和建筑规划学术期刊^[37]发表，同时受到生物医学界的肯定，发表在生物及医学 SCI3 区期刊^[38-39]。

在下一阶段，在探索了高恢复性的自然环境和低恢复性的城市环境对认知负荷和注意力耗损差异以及相应脑功能影响的基础上，我们进一步利用眼动和虚拟现实拓展探索这些差异究竟是受到哪些具体空间要素影响导致。研究选取了更为丰富环境组合，如不同开放程度的街道空间、同一容积率和建筑密度下不同空间组合等，更具针对性地探索具体环境空间中



5 正面情绪刺激环境和负面情绪刺激环境对脑功能网络效率的影响
The impact of positive emotional stimuli and negative emotional stimuli on human brain functional connectivity



6 对于绿视率和街道界面的虚拟现实实验
Visual reality experiment on the impact of green view ratio and street facade
6-1 绿视率和街道界面要素组合一及其眼动热力图
The combined impact of green view ratio (scenario 1) and street façade on eye-tracking heatmap
6-2 绿视率和街道界面要素组合二及其眼动热力图
The combined impact of green view ratio (scenario 2) and street façade on eye-tracking heatmap
6-3 虚拟现实实验
Visual reality experiment

对于影响认知负荷和注意力耗损的主要景观要素。在第一期的研究中，我们采用了眼动和虚拟现实技术研究不同绿视率和街道界面要素条件下街道的环境恢复性影响评价及因果机制分析（图 6-1、6-2）。我们进一步计划同同济大学软件学院计算机视觉团队合作（图 6-3），采用团队带头人劳伦特·伊缇（Laurent Itti）著名的显著性检测技术^[40]，具体分析街道感受的认知原理。

6 结语

实证证据表明高密高异质性城市环境对心理健康有负面影响^[13]。如何在不影响城市空间功能的前提下优化绿化空间布局及设计，缓解高密城市街区环境对健康的负面影响，是风景园林学科的核心问题和研究前沿，也是当前中国城市建设的重点问题。

本研究探索了如何通过神经生物手段来测量评价在行走和静坐等实时实景体验环境中，高密高异质性城市街区环境对城市居民心理情绪和认知水平等的健康影响。通过这种测量，我们可以识别造成负面压力的空间环境压力源以及具体场景空间要素的特征，并在此基础上通过规划设计干预尽可能减小负面影响。通过在高密高异质性城市街区开

放空间中重新整合优化流线、增加环境有序度等手段可有效地降低压力应激及其引起的免疫下降等健康相关的连锁反应。这种健康影响可较好地通过神经生物手段来测量，并通过循证设计有效导入规划设计实践。

这种基于神经生理证据的健康实证研究的新思潮，在国际环境设计领域引起了研究范式革命。美国建筑师协会（American Institute of Architects，简称 AIA）2003 年成立了建筑神经科学分会（the Academy of Neuroscience for Architecture，简称 ANFA），美国风景园林学科评估委员会（Landscape Architecture Accreditation Board，简称 LAAB）也将健康纳入最新的学科核心考量要素。美国环境行为学会（Environmental Design and Research Association，简称 EDRA）更将 2015 年年会主题确定为“头脑风暴：环境行为和神经科学的动态互动”（BrainSTORM: Dynamic Interactions of Environment-Behavior and Neuroscience），2016 年年会 4 个主题报告全部与环境设计的健康实证研究有关。中国也有不少学者系统性介绍了这种新的研究范式，并开展了一系列研究^[7-8, 20, 36-37]。这种基于神经生物和医学实证研究的新趋势，将会显著加强风景园林规划设计实践的理论和科学基础，

巩固和提高风景园林在相关行业中的竞争力和专家地位。

注释：

[1] 刘滨谊. 三元论—人类聚居环境学的哲学基础 [J]. 规划师, 1999, 58 (2) : 81-84.
Liu Binyi. Trialism—the Philosophical Basis for Studies of Human Inhabitation Environment[J]. Planners, 1999, 58(2): 81-84.

[2] FEIN A. A Study of the Profession of Landscape Architecture[M]. Princeton: The Gallup Organization, Inc., 1972.

[3] KAPLAN S, KAPLAN R. Cognition and Environment :

Functioning in An Uncertain World[M]. New York: Praeger, 1982.

[4] SERESINHE C I, PREIS T, MOAT H S. Quantifying the Impact of Scenic Environments on Health[J]. Scientific Reports, 2015(5): 168-199.

[5] GILESCORTI B, VERNEZ MOUDON A, REIS R, et al. City Planning and Population Health:a Global Challenge[J]. The Lancet, 2016, 388(10062): 2912-2924.

[6] KUO F E. PLENARY I: The Science of Nature and Health: Discoveries and Design Recommendations from the Frontier[M]. EDRA47: Shiftin grounds. Raleigh, USA.

- 2016.
- [7] 谭少华, 郭剑锋, 江毅. 人居环境对健康的主动式干预: 城市规划学科新趋势 [J]. 城市规划学刊, 2010 (4) : 70-74.
- Tan Shaohua, Guo Jianfeng, Jiang Yi. Impact of Human Settlements On Public Health: New Frontier in Urban Planning Research[J]. Urban Planning Forum, 2010(4): 70-74.
- [8] 李树华, 张文秀. 园艺疗法科学研究进展 [J]. 中国园林, 2009, 25 (8) : 19-23.
- Li Shuhua, Zhang Wenxiu. Progress in Horticultural Therapy Scientific Research[J]. Chinese Landscape Architecture, 2009, 25(8): 19-23.
- [9] 陈筝, 帕特里克·A·米勒. 走向循证的风景园林: 美国科研发展及启示 [J]. 中国园林, 2013, 29 (12) : 48-51.
- Chen Zheng, Patrick A Miller. Landscape Architecture Towards Evidence-based Design: A Lesson from Research Progress in United States[J]. Chinese Landscape Architecture. 2013, 29(12): 48-51.
- [10] 金广君, 张昌娟. 城市设计: 从设计景观到设计健康 [J]. 城市规划, 2008, 247 (7) : 56-61.
- Jin Guangjun, Zhang Changjuan. Urban Design: from Design Landscape to Design Health[J]. City Planning Review, 2008, 247(7): 56-61.
- [11] 中共中央国务院. 中共中央国务院关于进一步加强城市规划建设管理工作的若干意见 [N]. 人民日报, 2016-02-06 (6) .
- The State Council, People's Republic of China. The Comments of the State Council, People's Republic of China on Improving Urban Planning, Construction and Management Affairs[N]. RENMIN RIBAO, 2016-02-06(6).
- [12] SETHI B B, GUPTA S C, MAHENDRU R K, et al. Mental Health and Urban Life: A Study of 850 Families[J]. The British Journal of Psychiatry, 1974, 124(580): 243-246.
- [13] TOST H, CHAMPAGNE F A, MEYER-LINDENBERG A. Environmental Influence in the Brain, Human Welfare and Mental health[J]. Nature Neuroscience, 2015, 18(10): 1421-1431.
- [14] JIANG B, CHANG CY, SULLIVAN W C. A dose of nature: Tree Cover, Stress Reduction, and gender differences[J]. Landscape and Urban Planning, 2014, (132): 26-36.
- [15] TAYLOR A F, KUO F E, SPENCER C, et al. Is Contact with Nature Important for Healthy Child Development? State of the Evidence[M]. Children and Their Environments: Learning, Using and Designing spaces. 2006.
- [16] ULRICH R S. Aesthetic and Affective Response to Natural Environment[M]//ALTMAN I, WOHLWILL J F. Human Behaviour and Environment: Advance in Theory and Research. New York: Competence center of urban and regional planning, 1983: 85-125.
- [17] MAAS J, VERHEIJ R A, GROENEWEGEN P P, et al. Green Space, Urbanity, and Health: How Strong is the Relation?[J]. Journal of Epidemiology and Community Health, 2006, 60(7): 587-592.
- [18] MAAS J, VERHEIJ R A, DE VRIES S, et al. Morbidity is Related to a Green Living Environment[J]. Journal of Epidemiology and Community Health, 2009, 63(12): 967-973.
- [19] 陈筝, 翟雪倩, 叶诗韵, 等. 恢复性自然环境对城市居民心智健康影响的荟萃分析及规划启示 [J]. 国际城市规划, 2016, 31 (4) : 16-26.
- Chen Zheng, Zhai Xueqian, Ye Shiyun, et al. A Meta-analysis of Restorative Nature Landscapes and Mental Health Benefits on Urban Residents and Its Planning Implication[J]. International Urban Planning, 2016, 31(4): 16-26
- [20] HERZOG T R, MAGUIRE P, NEBEL M B. Assessing the Restorative Components of Environments[J]. Journal of Environmental Psychology, 2003, 23(2): 159-170.
- [21] HARVEY C, AULTMANHALL L, HURLEY S E, et al. Effects of Skeletal Streetscape Design on Perceived safety[J]. Landscape & Urban Planning, 2015, 142: 18-28.
- [22] JIANG B, LARSEN L, DEAL B, et al. A Dose-response Curve Describing the Relationship between Tree Cover Density and Landscape Preference[J]. Landscape and Urban Planning, 2015, 139: 16-25.
- [23] CHEN Z, SCHULZ S, NING X, et al. China: Bio-sensory Real-time Affective Mapping[J]. Access by Design, 2016, 146: 30-31.
- [24] BENJAMIN S, BERGNER J-P E, MARTIN MEMMEL, RANIA RASLAN, DINA TAHA, MANAR TALAL, PETER ZEILE. Human Sensory Assessment Methods in Urban Planning—a Case Study in Alexandria [C]//MANFRED SCHRENK V P, PETER ZEILE, PIETRO ELISEI. Proceedings REAL CORP 2013 Tagungsband. Rome, Italy, 2013.
- [25] LIN CT, CHUNG IF, KO LW, et al. EEG-based Assessment of Driver Cognitive Responses in a Dynamic Virtual-reality Driving Environment[J]. Biomedical Engineering, IEEE Transactions on, 2007, 54(7): 1349-1352.
- [26] ROE J J, ASPINALL P A, MAVROS P, et al. Engaging the Brain: The Impact of Natural versus Urban Scenes Using Novel EEG Methods in an Experimental Setting[J]. Environmental Sciences, 2013, 1(2): 93-104.
- [27] RAANAAS R K, EVENSEN K H, RICH D, et al. Benefits of Indoor Plants on Attention Capacity in an Office Setting[J]. Journal of Environmental Psychology, 2011, 31(1): 99-105.
- [28] PICARD R W. Affective Computing[M]. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1997.
- [29] LANG P J. The Emotion Probe. Studies of motivation and attention[J]. The American psychologist, 1995, 50(5): 372-385.
- [30] GROAT L N, WANG D. Architectural Research Methods[M]. New York: J. Wiley, 2002.
- [31] CHEN Z, SCHULZ S, HE X, et al. A Pilot Experiment on Affective Multiple Biosensory Mapping for Possible Application to Visual Resource Analysis and Smart Urban Landscape Design[M]. Hamburg: REAL CORP, 2016: 29-37.
- [32] CHEN Z, SCHULZ S, YU J. A Pilot Experiment of In-situ Bio-sensory Affective Mapping of College Campus[M]. Mobility, Mood and Place: Habitats for Happy and Healthy Ageing Edinburgh, 2016: 61.
- [33] CHEN Z, SCHULZ S, QIU M, et al. Bio-sensory Affective Mapping for Urban Design[M]. Chongqing China: Environment and Behavior Research Association Conference 2016, 2016.
- [34] CHEN Z, YANG Y, NING X, et al. Affective Mapping: An Innovative Tool for Multisensory Experience Design[M]. Shanghai: Human Factors in Design, 2016.
- [35] KAPLAN S. The Restorative Benefits of Nature: Toward an Integrative Framework[J]. Journal of Environmental Psychology, 1995, 15(3): 169-182.
- [36] 徐磊青, 孟若希, 陈筝. 迷人的街道: 建筑界面与绿视率的影响 [J]. 风景园林, 2017, (10): 27-33.
- Xu Leiqing, Meng Ruoxi, Chen Zheng. Fascinating Streets: The Impact of Building Facades and Green View[J]. Landscape Architecture. 2017 (10): 27-33.
- [37] 陈筝, SCHULZ S, 吴杭彬, 等. 面向城市设计的环境实景感知实证研究 [J]. 南方建筑, 2016 (4) : 10-14.

(编辑 / 陈汪丹)