

基于人体多模态数据的建筑空间认知与健康环境营造

Cognition and Healthy Environment Creation in Built Environment Based on Human Multimodal Data

武悦
WU Yue

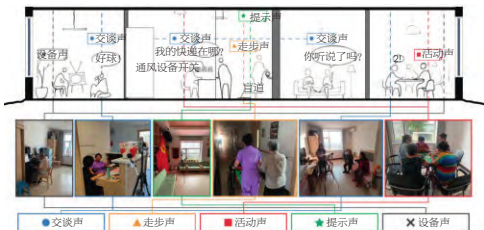
武悦
哈尔滨工业大学教授
研究方向：健康环境营造、医疗建筑设计、人因技术支持的建筑设计干预
WU Yue
Professor, Harbin Institute of Technology
Research Direction: Healthy Environment Creation, Healthcare Architecture Design, Human Factors Supported Architectural Design Interventions
wuyuehit@hit.edu.cn

国家自然科学基金
项目批准号：52378012

本文图表除注明外均由武悦绘制、提供

收稿日期：2024-09-16

1 人因工程学在老年人中的应用



2 人因工程学在残疾人中的应用，为残疾人设计的训练系统，引自参考文献[3]



3 人因工程学在儿童中的应用



作者简介：哈尔滨工业大学教授（青年拔尖）、博士生导师。哈尔滨工业大学本博连读。长期从事建筑环境人因工程设计与健康环境营造工作，承担国家自然科学基金、黑龙江省自然科学基金优秀青年项目、省重点研发、省双一流学科协同创新重点项目等10余项项目。主编论著5部，发表论文60余篇，授权专利4项。获黑龙江省社会科学优秀成果奖。

1 人一机一环协同的新型智能计算范式

随着人类社会的快速发展与城市化进程的加速，城市发展新阶段要求建筑设计重视人的体验和 健康需求。在健康中国战略导向下，建筑学科开始关注以人的需求为中心，如何提升人居环境品质与宜居性成为相关学科研究的重点方向。

依托于体表和近体可穿戴设备，智能可穿戴技术催生了一种概念和物理上以人为中心、人机协同的新型智能计算范式，也就是人一机一环境的协同^[1]。通过融合人因工程学、心理学、计算科学、神经科学等多学科知识，优化人机交互系统。在建筑领域，人一机一环境协同研究日益广泛，特别是在空间设计与环境营造方面，通过科学的设计方法使设计的环境更好地适应人，提高人在建成环境中的空间认知和健康效益。

近年来，国内外学者对人机环协同在建筑及城市中的应用进行了大量研究。环境心理学研究表明，合理的空间布局和清晰的导向标识能够显著提升用户的空间认知能力^[1]。在健康环境方面，研究则关注室内空气质量、声光热环境等因素对人体健康的影响，以及如何通过设计手段改善这些环境因素，促进人类的身心健康^[2]。

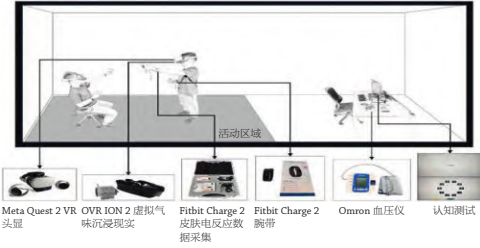
2 建筑空间认知与健康环境营造

2.1 建筑空间认知

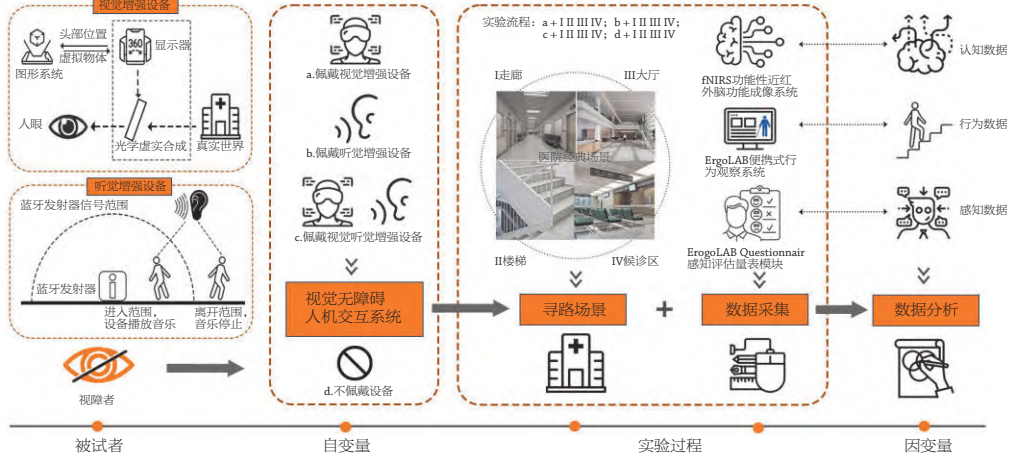
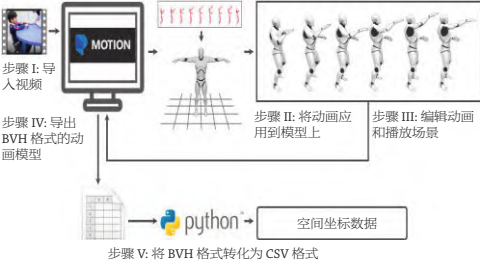
空间布局是影响空间认知的首要因素。通过优化空间结构、设置合理的路径和节点、采用易于识别的导向元素，帮助使用者快速建立空间模型。例如，在综合医院的设计过程中，遵循医疗流程，注重患者流线，解决垂直交通问题，结合明确的导向系统，能够显著提高患者的寻路效率，降低迷路和焦虑情绪。环境信息是空间认知的重要来源，通过调节环境刺激，如声音、色彩、材质、光照等，影响人的感知和情绪，进而优化空间体验。

人因工程学的进步特别促进了对老年人、残疾人、儿童等特殊人群研究的深入（图1-3），而神经科学、计算科学、心理学等跨学科研究也为建筑空间的认知提供了更为精细化和专业化的可能性。然而，以往研究采用问卷调查和访谈等定性方法无法全面分析、模拟和预测人体多重感官对环境的反应。针对这一局限性，近年来，研究者们开始采用虚拟现实和增强现实技术（图4），结合生理指标监测、脑电、行为追踪、动作捕捉等定量分析方法，深入研究不同感官在空间认知中的作用机制（图5）。

如图6所示，针对视障人群在医疗建筑中的空间认知问题，将视觉和听觉增强技术应用在基于Unity 3D构建的典型环境三维虚拟建筑空间仿真模型，招募患有眼部疾病的被试者，配带有GPS的光学透射式头盔AR设备和蓝牙耳机，通过眼动交互和语音交互的形式完成4个典型医院空间的寻路任务。通过智能穿戴设备对其进行生物信息反馈采集，使用fNIRS功能性近红



5 动作捕捉技术，引自参考文献[4]



外脑功能成像系统，获取被试在不同视听设计条件刺激下的脑功能区的神经变化活动，揭示视障者多模态交互机理，构建反映视障者的空间认知水平的量化表达体系。

2.2 健康环境营造

健康主要包括生理健康和心理健康两个方面。世界卫生组织将健康定义为“健康是一种身体、精神以及社会交往的良好状态，而不仅仅是消除疾病或羸弱”^[5]。近年来随着环境研究的开展，人们逐渐认识到不良建筑环境的危害。有文献表明，噪声与全世界范围内几种疾病的不断增加有关^[6]，并且对心血管发病率和死亡率有着更严重的影响^[7]。环境也能带来积极的影响，充足的自然采光和人工照明均有助于改善抑郁、焦虑等健康状况指标，并促进睡眠和改善作息节律。

生理健康状态的评估可通过监测一系列关键生理指标实现，涉及心电图、皮肤电活动、脑电波、皮质醇水平及睡眠质量等^[8-9]。这些指标在人体对不同环境刺激的自主神经系统反应方面展现出显著的敏感度。而心理健康状态的评估则依赖于多模态数据的采集与数据融合技术，以揭示个体在特定空间环境中的情感状态、疲劳程度、工作效能和注意力集中等心理活动。综合这些评估结果，可为建筑设计提供基于科学的指导，以便更好地满足人体健康的需求。目前已有针对住区、学校、医院、养老等不同类型的建筑进行了健康环境营造的尝试，并取得了显著成效。

3 未来研究展望

在此基础上，未来研究将进一步探索环境设计与人体健康之间的深层次联系。研究者们正致力于探索更为智能化的设计策略，以期在建筑环境中实现对人体健康的全方位促进。未来将通过更大样本量的实证研究，结合人工智能算法，实现对个体在不同环境下的生理与心理健康状态的精准预测。同时，为完善主动健康型建筑的设计方法提供理论依据，也为高品质建筑环境的营造和评价提供参考。此外，跨学科合作的加强，将推动形成更为综合的环境健康评估体系，为建筑环境的优化提供更为坚实的科学基础。□

注释

- 1) 包含人的因素（人体形态、人体机械力学、人的生理特征、人的心理特征）、人机系统（人与机都有各自的能力、优势与限度）和作业环境（物理环境、化学环境、生物环境、美学环境、社会环境）。

参考文献

[1] 聂聪.基于环境心理学的大尺度交通建筑集散空间认知研究[D].北京:北京大学,2020.
[2] ZHANG S,ZHENG J,WU Y.Field study of air environment perceptions and influencing factors in waiting spaces of general hospitals in winter cities[J]. Building and Environment,2020:107203.
[3] TARIQ A,RANA T,NAWAZ M.Virtual reality for disabled people: A survey[C]//2018 12th International Conference on Open Source Systems and Technologies (ICOSST).IEEE,2018:17-21.
[4] YILDIRIM M,GLOBA A,GOCER O,et al.Multisensory nature exposure in the workplace: Exploring the

restorative benefits of smell experiences[J].Building and Environment,2024,262:111841.
[5] Constitution of the World Health Organization[EB/OL]. [2024-09-12].https://www.who.int/about/governance/constitution.
[6] ARAÚJO ALVES J,NETO PAIVA F,TORRES SILVA L,et al.Low-frequency noise and its main effects on human health—A review of the literature between 2016 and 2019[J].Applied sciences,2020,10(15):5205.
[7] HAHAD O,GILAN D,MICHAEL M,et al.Noise annoyance and cardiovascular disease risk: results from a 10-year follow-up study[J].Scientific Reports,2024,14(1):5619.
[8] 周天夫.基于患者应激恢复性测评的医院室内环境优化研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2020.
[9] CLEMENT-CARBONELL V,PORTILLA-TAMARIT I, RUBIO-APARICIO M,et al.Sleep quality,mental and physical health: a differential relationship[J].International journal of environmental research and public health,2021, 18(2):460.