

建筑的神经科学研究——缘起、内容与工具

The Origin, Content and Tools of Neuroarchitecture Research

周祥

ZHOU Xiang

摘要：建筑的神经科学研究是神经科学与建筑学交叉研究发展的新趋势，为建筑学的人文研究指引了定量科学的新方向。基于国内外的研究现状，本文从研究的缘起、内容与工具3个方面说明该交叉学科方向的发展概况，阐述了脑科学发展基础上的研究缘起，包括环境心理、空间导航、健康环境、神经美学和情绪研究几个部分的研究内容；以及脑电图、脑磁图、眼动仪等技术工具在研究中的应用。

Abstract: As a new interdisciplinary trend in neuroscience and architecture, neuroarchitecture provides a new scientific and quantitative direction for humanistic studies in architecture. Based on the existing research situation, the general overview of its development is explained from three aspects including origin, content and tools. Neuroarchitecture stemmed from the development of brain science and its content includes environmental psychology, spatial navigation, healthy environment, neuroaesthetics and emotion studies. The application of technical devices, such as EEG, MEG and Eye Tracking, is also expounded upon.

关键词：建筑的神经科学研究，脑科学，寻路，神经美学，健康环境，情绪

Keywords: neuroarchitecture, brain science, wayfinding, neuroaesthetics, healthy environment, emotion

DOI:10.16414/j.wa.2023.06.003

0 引言

建筑的神经科学研究（Neuroarchitecture）是21世纪初在美国兴起的一个交叉学科研究新方向。基于神经系统（大脑）与建筑的相互作用，神经科学与建筑学可以相互启发，构成了复杂广泛的研究内容，为两个学科的发展注入了新的活力。我们从缘起、内容和工具3个方面考察这个新的研究方向，期待促进建筑学研究的新发展。

周祥

B.1973，华南理工大学博士

广东工业大学建筑与城市规划学院教授

ZHOU Xiang

B.1973, PHD, South China University of Technology

Professor, School of Architecture and Urban Planning, Guangdong University of Technology

389677575@qq.com

教育部2020年第一批产学合作协同育人项目

项目编号：202002035016

定稿日期：2023-01-17

1 缘起

神经科学以人脑和神经系统为研究对象，其中人脑是具有决定性的重要部分，狭义的神经科学就是脑科学。通过持续进化，尤其是在直立行走以来的150万年里，人类大脑加速形成了现代智慧大脑。与其他动物相比，今天的人类智慧大脑具有更大的体积、更加复杂的功能。不到1.5kg的人脑由大约1000亿个神经元或脑细胞，以及支撑它们的更大数量的神经胶质细胞和广泛的支持血管系统构成。神经元的形态类似于大树，大约具有多达1000种的不同类型。人脑主要由脑核（Central Core）、脑缘系统（Limbic System）和大脑皮质（Cerebral Cortex）3个部分构成，3个部分又可以分为执行不同功能且紧密协作的多个脑区。银河系的恒星数量约在1000亿~4000亿之间，我们可以将恒星比作脑细胞，银河系比作大脑。大脑就如同浩瀚的银河系一样，充满着无数的奥秘，吸引着科学家不断深入研究。特别是在过去25年左右的时间里，人类开始运用新技术研究自己的大脑，催生了脑科学这门崭新学科的出现，并渐次收获令人惊奇的突破和见解。

脑科学知识具有广泛的基础作用，为心理学、认知科学、社会学、经济学，甚至哲学提供了实证根据，形成了神经美学、神经现象学、神经社会学、神经经济学和神经心理学等新兴交叉学科研究方向。当前世界各国普遍重视脑科学的研究，美国第101届国会通过议案，将1990年1月1日开始的10年命名为“脑科学年”。

参考文献

- [1] EPSTEIN R,HARRIS A,STANLEY D,KANWISHER N.The Parahippocampal Place Area: Recognition, Navigation, or Encoding[J].Neuron,1999(23):115–125.
- [2] ANFA.History[EB/OL].https://anfarch.org/history
- [3] EBERHARD J PApplying Neuroscience to Architecture[J].Neuron,2009(6):62.
- [4] HIGUERA-TRUJILLO J L,LLINARES C,MACAGNO E.The Cognitive-Emotional Design and Study of Architectural Space: A Scoping Review of Neuroarchitecture and Its Precursor Approaches[J].Sensors,2021(21):2193.
- [5] MALLGRAVE H F.The Architect's Brain: Neuroscience,Creativity, and Architecture [M].Oxford:A John Wiley & Sons,Ltd,2010.
- [6] EDELSTEIN E A,MACAGNO E.Form Follows Function: Bridging Neuroscience and Architecture. In Sustainable Environmental Design in Architecture[M].New York:Springer,2012:27–41.
- [7] BATESON J E,HUI M K.The Ecological Validity of Photographic Slides and Videotapes in Simulating the Service Setting[J].J.Consum.Res,1992(19):271–281.
- [8] SCHWARZ N,STRACK F.Reports of Subjective Well-being: Judgmental Processes and Their Ethodological Implications[J].Well-Being Found. Hedonic Psychol,1999(7):61–84.
- [9] REINERMAN-JONES L,SOLLINS B,GALLAGHER S,JANZ B.Neurophenomenology: An Integrated Approach to Exploring Awe and Wonder[J].S.Afr.J.Philos,2013(32):295–309.
- [10] ELLIS E V,GONZALEZ E W,MCEACHRON D L.Chronobioengineering Indoor Lighting to Enhance Facilities for Ageing and Alzheimer's Disorder[J].Intell.Build.Int,2013(5):48–60.
- [11] ALVARSSON J J,WIENS S,NILSSON M E.Stress Recovery During Exposure to Nature Sound and Environmental Noise[J].Int.J.Environ.Res.Public Health,2010(7):1036–1104.
- [12] TILLEY S,NEALE C,PATUANO A,CINDERBY S.Older People's Experiences of Mobility and Mood in an Urban Environment: A Mixed Methods Approach Using Electroencephalography(EEG) and Interviews[J].Int.J.Environ.Res.Public Health,2017(14):151.
- [13] KIRCHBERG V.Tröndle,M.The Museum Experience: Mapping the Experience of Fine Art[J].Curator Museum J,2015(58):169–193.
- [14] 程雨濛,康健.高层居住区景评价及影响因素研究[J].建筑科学,2020,36(12):152–158.
- [15] MOSER E I,KROPFF E,moser M B.Place Cells,Grid Cells, and the

为“脑的 10 年”。1999 年,南希·坎维舍 (Nancy Kanwisher) 和她的团队发表文章,首次将大脑与建筑体验结合在一起^[1]。2003 年,美国建筑师协会 (AIA) 成立了建筑学—神经科学研究院 (Academy of Neuroscience for Architecture),旨在探索将神经科学研究与建筑学实践结合在一起,以建筑与神经系统的双向影响为研究内容的新型交叉学科方向,即“建筑的神经科学研究”,代表人物包括约翰·艾伯哈德 (John P. Eberhard)、戈登·庄 (Gordon Chong)、弗莱德·盖奇 (Fred H. Gage) 等人,他们既来自于建筑学专业,也来自于神经科学领域。研究院举办了一系列的活动,包括召开年会、资助工作坊等,取得了一大批研究成果,带动了建筑神经科学的研究发展^[2]。一系列工作坊的研究议题涉及健康设施、小学校、老年人设施、神经科学实验室等建筑类型的功能需求,参加人员包括建筑师、神经科学家以及行为科学家。经过 20 年的发展,建筑的神经科学研究逐渐成熟,构建了自己的研究内容。

2 内容

该研究院的约翰·艾伯哈德认为,建筑的神经科学研究领域主要集中在以下几个方面:(1)感觉和感知,(2)学习和记忆,(3)决策,(4)情绪和感情,(5)运动^[3]。伊格拉·特鲁希略 (Higuera-Trujillo.J.L.) 等人搜索了大量数据库,总结出近年来建筑的神经科学相关研究可以分为以下几类^[4]:第一类是具有神经科学特征的传统研究,体现了建筑的认知—情绪 (Cognitive-Emotion) 维度,包括几何学、空间现象学、地理体验、哲学、环境心理学、循证设计;第二类是新的建筑研究和实践工具,其中包括神经科学、虚拟现实、神经科学与虚拟现实结合的技术方法;第三类是建筑的神经美学,例如,美国著名建筑理论家马尔格雷夫 (Harry Francis Mallgrave) 将神经科学相关原理与建筑历史、创造力等结合论述^[5]。

经过梳理,笔者认为建筑的神经科学研究关注人在建筑环境中的主观体验,一方面为原有的环境心理 / 行为学提供新的研究方法和技术手段,带来新的知识和研究趋势;另一方面,研究人员通过实验手段,以可视化的图像方式记录实验主体处于建筑实体或者虚拟环境中的大脑神经活动,为建筑设计和研究提供了更加广阔的空间和崭新的内容。综上,建筑的神经科学研究主要内容涵盖了环境心理、空间导航、健康环境、神经美学和情绪研究 5 个方面。

2.1 环境心理学 / 行为学的研究新趋势

原有的环境心理学 / 行为学研究主要探索环境对人的影响结果,例如,我们可以观测心理和行为,确定什么样的医院是可以促进病人康复的好医院。而神经科学可以告诉我们“为什么”是这样,即产生结果背后的神经科学原理^[6]。更加重要的是,神经科学的一些领域和新的方法手段可以突破原有方法的限制,提供定量实证依据,将研究引向深入。美国环境行为学会 (EDRA) 就曾将神经科学指导下的环境行为心理确定为 2015 年年会的主题。

传统的环境心理学研究方法存在两个限制,包括选择客观刺激的有效性和主观评价的适用性。首先,在选择实验刺激物的时候,传统的选择虽然有效,但也有限^[7]。例如,在心理学实验中,为保证实验的客观性,减少干扰,通常在室内采用图片和视频作为刺激物。这种做法缺乏与实验主体的交互性,减少了视觉的沉浸感和体验的丰富性。其次,主观评价方法中针对环境体验的自我报告经常会带有偏见^[8]。因为这些主观评价仅仅记录了人类反应的意识层面内容,而很多认知和情绪层面的过程发生在无意识层面,因此主观评价的适用性也存在局限。建筑学的神经科学研究方法和技术工具尝试超越这些限制。具体做法包括:(1)虚拟现实 VR 技术可以创造沉浸式的体验,创建了在可控制实验条件下最接近现实环境的刺激物;(2)神经科学原理及研究工具手段,例如生理记录仪、功能性磁共振成像技术 (fMRI) 等工具允许研究者记录和解释人类的行为、心理和神经反应,提供具有高度客观性和连续性的检测数据^[9]。

当前,神经科学原理在建筑体验研究中的应用体现在建筑环境的光线、声音和定向等方面。自从发现眼睛的感光神经节细胞及昼夜节律对其影响以来,以光为中心的研究得到了以健康为重点的研究的补充^[10],建筑光环境对空间氛围的促进也开始有了神经科学依据。空间声学的处理也与人类的心理健康、病患康复有了深刻的关联,逐渐出现了基于神经科学的定量研究,例如,对暴露在不同声音效果中的心理压力恢复情况^[11]、室内和室外的康复环境情况^[12]、博物馆空间体验的情绪反应等^[13]。近年来对声景的诸多研究,也反映了神经科学原理应用的新趋势^[14]。

2.2 空间导航

1978 年,奥基夫 (John O'Keefe) 和纳德尔 (Lynn Nadel) 为了证明人类对空间的理性认知建立在大脑的神经生理基础之上,在大鼠走迷宫的实验中,监测其大脑神经细胞的放电情况,最终发现了位置细胞的存在,并因此获得了诺贝尔奖。位置细胞位于大脑的海马体,当哺乳动物在空间中的某个位置时,海马体中相应位置的细胞就开始放电。这种放电行为是由动物与墙面以及周围环境边界的距离所引起的,这可以让大鼠得到对外部世界的独立空间框架。科学家陆续将这个实验推广到猩猩等哺乳动物,都证实了位置细胞的存在。当前,最新的实验结果证明,与哺乳动物一致,人类脑神经与空间感知存在对应关系。因此,人类的认知地图就是某种存在于大脑中的空间地图,人在世界中所经验的物体都位于一个有大脑神经生理基础的空间框架中。

此后,科学家不断发现与空间记忆相关的哺乳动物大脑神经元,这类神经元包括头向细胞 (Head Direction Cells)、空间视角细胞 (Spatial View Cells) 等。2013 年,英国科学家证实人类在大脑的内嗅皮层具有与大鼠大脑同样的网格细胞。当哺乳动物在一定范围内的二维空间中运动时,每当到达一定的位置,就会在内嗅皮层相应的神经元发生放电。多个放电神经元形成的图形是规则的六边形网格,这些细胞被称为网格细胞。大脑中存在着一定的协调机制,促使上述几种与空间感知相对应的大脑神经元共同作用,构成了人类的空间感知系统^[15]。

自从林奇提出城市意象五元素之后,寻路行为 (Wayfinding) 成为众多建筑学研究者的研究对象。基

- [16] Brain's Spatial Representation System [J]. Annual Review of Neuroscience, 2008, 31(1):69-89.
- [17] EDWARDSEN V. Goal-directed Navigation Based on Path Integration and Decoding of Grid Cells in an Artificial Neural Network [J]. Natural Computing, 2016(2):1-15.
- [18] MORA R. The Cognitive Roots of Space Syntax. London[D]. London: University College London, 2009.
- [19] EMO B, HÖLSCHER C, WIENER J M, DALTON R C. Wayfinding and Spatial Configuration: Evidence from Street Corners. Proceedings: Eighth International Space Syntax Symposium. PUC, 2012.
- [20] 孙澄, 杨阳. 基于眼动追踪的寻路标志物视觉显著性研究——以哈尔滨凯德广场购物中心为例[J]. 建筑学报, 2019(02):18-23.
- [21] ULRICH R S. View through a Window May Influence Recovery from Surgery [J]. Science, 1984, 224 (4647):420-421.
- [22] STERNBERG E M. Healing Spaces: the Science of Place and Well-being [M]. London: The Belknap Press of Harvard University Press, 2009.
- [23] EBERHARD J P. Brain Landscape: The Coexistence of Neuroscience and Architecture [M]. Oxford: Oxford University Press, Inc, 2009.
- [24] RAM B, NIGHTINGALE C M, RUDNICKA A R, et al. Impact of the Built Environment on Self-rated Health and Wellbeing and Other Health Behaviors of People in Social, Intermediate, and Market Rent Accommodation: Baseline Characteristics of ENABLE London Study Participants [J]. The Lancet, 2016(388):98.
- [25] 张珍, 徐磊青. 虚拟自然的疗愈效益及其应用趋势 [J]. 南方建筑, 2020(4):34-40.
- [26] CHATTERJEE A. The Aesthetic Brain: How We Evolved to Desire Beauty and Enjoy Art [M]. New York: Oxford University Press, 2013.
- [27] MALLGRAVE H F. Architecture and Embodiment: The Implications of the New Sciences and Humanities for Design [M]. Routledge, 2013.
- [28] ZEKI S. Inner Vision: An Exploration of Art and the Brain [M]. Oxford: Oxford University Press, 1999.
- [29] ALBRIGHT T D. Neuroscience for Architecture [M]. Cambridge: MIT Press, 2015:197-217.
- [30] SHEMESH A, BAR M, GROBMAN Y J. Space and Human Perception: Exploring Our Reaction to Different Geometries of Spaces [C]// IKEDA Y, HERR C M, HOLZER D, et al. Emerging Experience in Past, Present and Future of Digital Architecture: Proceedings of the 20th International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research

于神经科学中位置细胞、网格细胞等空间导航神经细胞的放电行为的计算方法,不少研究已经为人工智能机器人的寻路行为提供依据。同时,为阐释各种细胞在空间记忆中的相互作用,模拟动物最终实现在空间学习中的路径寻找,研究者多采用路径整合 (Path Integration, 简称 PI) 的概念,并不断进行深化,促使人工智能体向着自主寻路的方向不断前进^[16]。而在城市空间的方向性、意向性方面,在空间句法研究中所蕴含的神经科学原理,也为城市空间的形态发展提供思路^[17]。也有学者利用生理记录仪、眼动仪等手段,研究在大型公共建筑、城市空间内部的寻路行为^[18],为标识设计、紧急疏散等环境行为提供科学依据^[19]。

2.3 健康环境

神经科学原理可以解释建筑物理环境对健康影响的根本机制。1984 年,发表在《科学》杂志的一篇文章引发了相关的研究^[20]。罗杰·乌利齐 (Roger Ulrich) 通过实验证明,医院里同样的病患,可以通过窗户看见绿植的一组,会比另外一组仅仅看见砖墙的人提前一天出院,而且服药量也相对较少。罗杰·乌利齐是第一个采用科学方法研究环境对病人康复作用的科学家,他要回答的问题并不是建筑对健康是否有利,而是窗户和户外景观如何激活了大脑的康复路径,如何影响了免疫系统和康复过程。以窗户的研究为例,建筑师可以计算开窗的大小对采光、通风、景观的影响,而神经科学家可以通过实验证明这些变化所产生的大脑神经反应、生理反应,以及免疫系统等身体反应。很显然这两者的结合,会产生交叉学科的研究,即如何利用窗户的设计增进健康。虽然现代主义建筑重视建筑与环境的关系,甚至认为好的建筑有利于人体健康和社会和谐,例如阿尔瓦·阿尔托 (Alvar Aalto) 设计的肺病疗养院就贯穿了这一设计理念,但是,从神经科学层面研究具体的科学原理还是近几年的事情。

当前,在神经层面研究医院建筑如何促进患者康复已经成为重要的研究趋势。斯坦利·格雷文 (Stanley Greven) 在南佛罗里达大学公共健康学院中所作的研究,解释了什么样的空间环境有利于新生儿的大脑发育,设计师可以采用相关原理进行新生儿重症监护室 (NICUs) 的设计^[21]。通过对大脑中记忆机制的研究,神经科学将记忆分为知识记忆与事件记忆两种,这两种记忆分别由不同的脑区管理。科学家发现有利于记忆的场所在老年人建筑设计中具有重要的作用。比如,建筑空间布局、交通组织、家具摆放等方面,都会对老年人的心理和生理健康起到积极影响,有利于缓解老年痴呆症^[22]。神经科学家通过探索大脑对建筑环境的认知规律,发现建筑中的光影、色彩、路径的合理设计,都会促进形成利于公共健康的建筑环境^[23]。近年来,国内对疗愈环境的研究^[24],也是神经科学相关原理应用到城市建筑空间体验和设计中的重要案例。

2.4 神经美学

将神经科学原理应用于美学研究的学科被称为“神经美学”,神经美学是技术如何促进艺术研究的一个例子^[25]。建筑与绘画、雕塑等形式同属于视觉艺术,通过考察视觉审美的神经生理过程,可以基本了解神经美学的实证基础。视知觉过程中,眼睛的视网膜神经细胞已经对所见物体的视觉信息进行了一定的筛选。筛选后的视神经脉冲到达大脑的另一个重要站点,丘脑的外侧膝状体核 (Lateral Genuculate Nucleus, LGN)。在这里,根据移动速度、表面颗粒度、光学波长等信息将视神经信号进行分类。分类过程中会对其中的某些信息进行加强,某些信息进行减弱。因此,视觉信息在到达大脑皮层的视觉中枢——枕叶之前,就已经被进行了加工处理。显然,在这些步骤中,我们对世界的视觉感知已经具有了特殊的特征。虽然我们把世界感知为整体,但是这个整体的视觉意识是由一系列位于大脑中不同空间与时间的微观意识所构成的。各个部分的脑神经感知具有时间顺序,先后排列为位置、色彩、形式、动作及定向。虽如此,视觉感知神经最终的处理顺序并不是线性发展的。大脑对视觉信息进行顺序分类之后,各个脑区部分同时并行处理这些信息,最终形成视觉印象以及审美知觉。所以,我们并没有把世界看作是一个静态的图像,也不是像电影一样的连续的静态图像,而是处于运动与感觉信息时刻变化状态的具有空间性的连续统^[26]。

萨米尔·泽基 (Semir Zeki) 最早开创了神经美学的研究,他通过对大脑不同区域放电的研究,探究了不同风格、美丑程度不同的艺术作品所引起的大脑反应,从而将审美过程归结为大脑不同区域共同作用的结果^[27]。在建筑审美方面的研究中,奥尔布莱特 (Thomas D. Albright) 以神经科学的视角在感知和美学上重新审视设计^[28]。有的研究者基于视觉感知神经科学规律探究建筑形态设计,也有的利用三维空间里的不同几何体来测试建筑师和非建筑师的情绪^[29]。身体图式是知觉现象学的重要概念,有学者采用神经科学的方法,研究身体图式存在的实证基础^[30]。另外,神经科学对镜像神经元的发现也解释了艺术作品中具有的情感和移情的具身特征,以及人与物的审美关系^[31]。

2.5 情绪研究

与人类的理性相对,情绪具有非确定性,更多的与艺术作品的创造性相关。19 世纪的德国艺术史家费舍尔 (Robert Vischer) 将艺术作品中的情绪与人的共情联系在一起。现代以来,基于神经科学的情绪解释具有了新的内涵,詹姆斯-朗格的情绪理论 (James-Lange theory of emotion) 将情绪与身体反应紧密结合,从神经科学层面,首先区分了身体 (或者说下意识的感知) 与大脑的神经感知,并进一步认为情绪首先起源于身体的下意识感知。潘克塞普 (Jaak Panksepp) 长期致力于人类的情绪研究,他强调了情绪与行为的关系,进一步确定了被广泛使用的 7 个情绪本能,包括探索 (seeking)、愤怒 (rage)、恐惧 (fear)、欲望 (lust)、关心 (care)、恐慌 | 伤心 (panic | grief) 和游戏 (play)^[32]。其中的探索和游戏与建筑空间有直接关系。探索说明人具有好奇心并且趋向于探索新奇事物。在建筑空间的序列中,建筑师需要不停地呈现新的空间要素,鼓励使用者前行。游戏说明人在幼年时期通过游戏获得社会交往等机会,而这种需求在成年人时期仍然存在,建筑城市中仍然要考虑在公共空间中通过游戏实现社会交往的需求。

著名的美国神经科学家安东尼奥·达马西奥 (Antonio Damasio) 也对情绪做了深入的研究。在决策失调的神经病人研究中,他提出了躯体标记假说 (Somatic Marker Hypothesis),认为情绪反应更像是身体的下意识反应,就如同我们在预见到危险临时会做出下意识的躲避动作,而这种下意识的反应广

- [30] in Asia CAADRIA 2015.Hong Kong:CAADRIA,2015:541-550.
- [31] JELIC A,TIERI G,DE MATTEIS F,et al.The Enactive Approach to Architectural Experience: A Neurophysiological Perspective on Embodiment,Motivation, and Affordances[J].Frontiers in Psychology,2016(7):481.
- [32] ROBINSON S,PALLASMAA J.Mind in Architecture: Neuroscience,Embodiment, and the Future of Design[M]. Cambridge/MIT Press,2015.
- [33] PANKSEPP J,WATT D.What is Basic about Basic Emotions?Lasting Lessons from Affective Neuroscience [J].Emotion Review,2011,3(4):387-396.
- [34] Antonio Damasio,Looking for Spinoza: Joy,Sorrow, and the Feeling Brain[M].Orlando:Harvest Books,2003.85.
- [35] ROE 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.
- [36] 陈筝,徐蜀辰,刘雨菡.从认知行为学到环境神经学:实景环境体验增强循证设计[J].城市建筑,2017(10):41-45.
- [37] BOTO E,HOLMES N,LEGGETT J,ROBERTS G,SHAH V,MEYER S S,et al.Moving Magnetoencephalography Towards Real-world Applications with a Wearable System[J].Nature,2018(555):657-661.
- [38] PU Y,CHEYNE D O,Cornwell B R,Johnson B W.Non-invasive Investigation of Human Hippocampal Rhythms Using Magnetoencephalography: A review[J].Front. Neurosci,2018(12):273.
- [39] RASKIN D C.Attention and Arousal.In Electrodermal Activity in Psychological Research[M].London:Academic Press,1973:123-156.
- [40] GRANHOLM E,STEINHAUER S R.Pupillometric Measures of Cognitive and Emotional Processes [J].Int. J.Psychophysiol,2004(52):1-6.
- [41] 陈筝,刘颂.基于可穿戴传感器的实时环境情绪感受评价[J].中国园林,2018,34(3):12-17.
- [42] SUURENBROEK E,SPANJAR G.Eye Tracking Users' Patterns: Visual Experience and Choice Behavior in Transition Zones of Amsterdam-Southeast[C]//In Proceedings of the 2018 ANFA Conference; The Academy of Neuroscience for Architecture:La Jolla,CA,USA,2018,176-177.
- [43] SUSSMAN A.Using Biometric Software to Understand the Architectural Experience and Improve design[C]// In Proceedings of the 2018 ANFA Conference; The Academy of Neuroscience for Architecture:La Jolla,CA,USA,2018,184-185.
- [44] CHALUP S K,HONG K,Ostwald M J.Simulating Pareidolia of Faces for Architectural Image Analysis[J].Int.J.Comput.Inf.Syst.Ind.Manag,2010(2): 262-278.

3 工具

建筑的神经科学研究是科学实证研究,通过“建立假设—设计实验—采集数据—结果分析”的过程实现研究目标。具体实践中通常需要使用固定或者便携的神经科学仪器设备,记录被试在现实或者虚拟的建筑环境中的神经活动或身体体验数据,并对其进行分析。因此,研究工具主要包括实验设备与分析工具两部分。根据人体的不同神经系统和研究场景,采用实验设备记录脑电波、脑磁波等数据,并使用可视化图形、数学计算、统计分析等不同的数据分析工具完成研究。

目前,神经科学研究主要集中在中央神经系统(CNS)、自主神经系统(ANS)及体干神经系统(SNS)3个方面。中央神经系统由大脑和脊髓组成,相关研究的常用设备是功能性磁共振成像(fMRI)、脑电图(EEG)和脑磁图(MEG)。fMRI设备通过检测与血压相关的磁信号变化间接测量神经活动,主要用来研究大脑记忆问题。比起其他方式,它能够更好确认大脑功能的深层结构。EEG设备测量的是大脑皮层中神经元活动产生的离子流引起的电场波动。因为大脑是由具有不同固定频率的区域网络、以及这些网络之间的关系所构成,对记录的分析通常包括在确定的频段内对功率频谱密度进行分类,这种分析通常被称为事件相关电位(ERP)研究。在具体建筑情境下,EEG说明了不同脑区的反应,以及相互的关系^[36]。当前的fMRI和EEG设备都可以是便携式的,方便在不同场合的实验使用。脑磁图(MEG)设备测量离子电流产生的磁场。虽然它不能移动,因为颅骨和头皮对磁场的扭曲小于对电场的扭曲,这一优势使脑磁图成为探索更深层次细胞结构功能的有力工具,如海马体在空间认知中的作用^[37]。

自主神经系统(ANS)是外周神经系统的一部分,控制着无意识行为。研究ANS功能最常用的设备是生理记录仪和眼动仪,监测皮电(EDA)、心率变异(HRV)和瞳孔变化等的数据。EDA测量皮肤电导率的变化,这与皮肤汗腺和交感神经系统活动有关,所以它适用于追踪情绪唤醒。EDA已被用于研究环境心理学的注意(attention)问题^[38]。HRV测量两次心跳之间时间间隔的微小变化,分析工具包括线性分析的时域和频域分析,以及非线性分析,表现为图形分析和统计分析。分析结果具有临床意义和认知—情绪意义,已被用于研究人在建筑空间中的压力等问题。眼动仪可以测量眼睛瞳孔直径,尽管瞳孔直径直接受光照水平的影响,但它也与情绪唤醒和认知负荷有关,目前被应用于建筑光环境的研究^[39]。生理记录仪综合EDA和HRV功能,目前在建筑、景观空间的情绪感知研究中得到应用^[40]。

体干神经系统(SNS)是周围神经系统中与自主运动相关的部分。眼动仪和肌电图(EMG)是SNS研究常用的设备。眼动仪可以追踪眼球注视运动的数据。在某种程度上,眼球运动确定了我们注意力的焦点,并受到认知情绪状态的影响。基于运动的参数化,各种度量标准被用于分析眼球运动。肌电图以肌肉的电活动为测量对象,通过对建筑体验中表情肌电活动数据的数理统计分析,展开基本情绪计算。建筑方面的其他研究应用了物理眼动跟踪^[41]、软件模拟眼动跟踪^[42]和面部编码技术^[43]。

4 结语

作为一个新的方向,建筑的神经科学研究在蓬勃发展的同时也存在着一些问题,并带来新的挑战。一方面,建筑学与神经科学的交叉研究还需要进一步融合。建筑学是一门传统学科,更加倾向于将建筑作为客观对象研究相关特性,例如结构、构造、声光热环境等。而神经科学是一门新兴学科,能够为建筑学的研究带来更丰富的内容和工具。对于建筑学研究者,其内容相对陌生深奥,借助神经科学拓展建筑学研究领域,是我们面临的新挑战,这既需要神经科学家的积极参与也需要建筑学研究者突破既有研究框架,确立新论点,并通过实验设计解决问题。另一方面,建筑学的神经科学研究受到实验设备的技术限制,例如,眼动仪、生理信息记录仪对最小眼跳频率、心跳波动最小差异等数据的记录精度,会影响实验结果的可信度;固定的脑科学实验设备利于大脑深层结构的认知,却不利于在建筑环境中使用;多类型实验数据的耦合分析需要综合的实验平台等。这些都为建筑学的神经科学的研究的适应性带来挑战。

虽然存在一定的问题和挑战,但建筑学的神经科学研究已经蓬勃发展,最终将促进建筑更好地服务人,服务生活。□