

脑电研究在工业设计领域的现状与趋势分析

周志勇^{1,2}, 程建新¹, 王诗傲², 蔡瑞虹¹

(1.华东理工大学, 上海 200237; 2.上海电机学院, 上海 200240)

摘要: **目的** 分析脑电 (EEG) 领域研究现状, 为工业设计领域学者提供系统认知, 并预测其未来发展趋势, 为该领域的后续研究提供方向。**方法** 采用大数据分析方法, 选取 CNKI 数据库作为数据来源, 对国内外相关论文数据进行分类和分析, 从文献年度分布、研究层次分布、关键词分布 3 个角度进行分析, 得出脑电在工业设计领域的研究现状, 发现 EEG 在工业设计领域中的应用主要有感性工学、产品评价、交互设计和设计应用 4 个研究方向。**结论** 对感性工学、产品评价、交互设计和设计应用 4 个主要方面进行深入分析, 深入了解 EEG 在各个方面的研究发展现状和主要学者的文献, 在此基础上提出了目前 EEG 研究存在的不足以及未来的研究趋势, 为 EEG 在工业设计领域中的研究指出了方向。

关键词: 大数据; EEG; 工业设计

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)06-0219-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.06.042

Current Situation and Trend of EEG Research in Industrial Design

ZHOU Zhi-yong^{1,2}, CHENG Jian-xin¹, WANG Shi-ao², CAI Rui-hong¹

(1.East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China;

2.Shanghai Dianji University, Shanghai 200240, China)

ABSTRACT: This paper analyzes the research status of EEG field, provides systematic cognition for academics in the field of industrial design, and forecasts its future development trend, providing direction for subsequent research in this field. Using the big data analysis method, the CNKI database was selected as the data source to classify and analyze relevant domestic and foreign paper data. The analysis was conducted from the perspectives of the annual distribution of the literature, the research hierarchy distribution, and the distribution of keywords, and the brain electricity was found in the industrial design field. It is found that the application of EEG in the field of industrial design mainly includes four research directions: perceptual engineering, product evaluation, interactive design and design application. Based on a deep understanding of the current research and development of EEG in various aspects and the literature of the main scholars, the shortcomings of the current EEG research and the research trend in the future are put forward, which points out the direction for the research of EEG in the field of industrial design.

KEY WORDS: big data; EEG; industrial design

脑电 (Electroencephalogram, EEG) 是一种使用电生理指标记录大脑活动的方法, 大脑在活动时, 大量神经元同步发生的突触后电位经总和后形成的。它记录大脑活动时的电波变化, 是脑神经细胞的电生理活动在大脑皮层或头皮表面的总体反映。作为一种对神经活动进行间接测量的有效工具, 脑电 (EEG) 的相关研究广泛应用于神经科学、认知科学、认知心理学、神经科学和心理生理学。

近几年, 许多学者利用脑电能直接反映人脑生理活动这一特点, 开始在工业设计领域进行脑电实验研究。

1 文献来源与分析

1.1 文献来源

本文选取了 CNKI 数据库中的中国学术期刊全文数据库作为文献来源, 以“脑电”和“工业设计”

收稿日期: 2018-01-02

基金项目: 上海市 2015 年度“科技创新行动计划”生物医药领域产学研合作项目 (15DZ1942702, 15DZ1940103)

作者简介: 周志勇 (1984—), 男, 河北人, 华东理工大学博士生, 主要研究方向为感性工学和产品语意。

作为关键词搜索全文，时间截至2017年6月10日，最后得到文章328篇。单纯检索主题为“工业设计”时，得到22697篇文章；检索主题为“脑电”时，得到14543篇文章。由此可见有关脑电在工业设计内应用研究论文大致占了脑电研究的1/54。从文献数量上看，工业设计领域的脑电研究已具雏形，但是还没有形成规模效应，还有待进一步研究。

本文选取了elsevier数据库中的全文数据库作为文献来源，同样以“EEG”和“Industrial Design”为关键词搜索全文，时间截至2017年6月10日，最后得到文章3078篇，其中以1998年为分界点，在1998年以前发表的文章共有1000篇。从发表年份上看，国外很早就开始探索工业设计领域的脑电研究。从论文质量来判断，工业设计领域的脑电研究整体处在一个较高的水平，研究者人数也较多；从文献来源看，搜索到的论文中，有2554篇来自期刊，有626篇已经出版成书。可见，国外对于脑电的研究较为系统且全面，具有很大的参考价值。

本文采用大数据与典型案例相结合的分析方法从文献年度、研究层次分布、关键词分布3个方面进行讨论，利用EXCEL对相关数据进行处理分析，对于透视脑电研究在工业设计领域的发展历程、现状和演进趋势具有重要意义。

1.2 文献分析

1.2.1 文献年度分布

20世纪50年代末，我国学者开始了关于脑电的一系列研究，而脑电在工业设计领域的应用研究起步相对较晚，最早在《空间认知研究及其在航空航天领域中的应用》一文中，提出了把脑电应用在工业设计领域中的这一概念，之后关于脑电在工业设计领域内的研究越来越多。根据每年发布的文献量，绘制了国内外研究文献年度分布图，见图1和图2（数据截至2017年6月10日）。

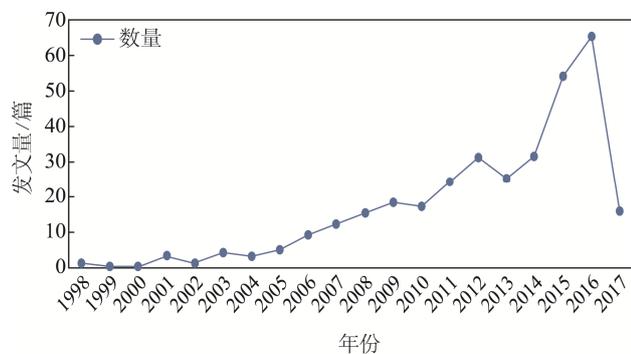


图1 国内研究文献年度分布

Fig.1 Annual distribution of domestic research literature

1.2.2 研究层次分布

文章的研究层次在一定程度上可以反映工业设

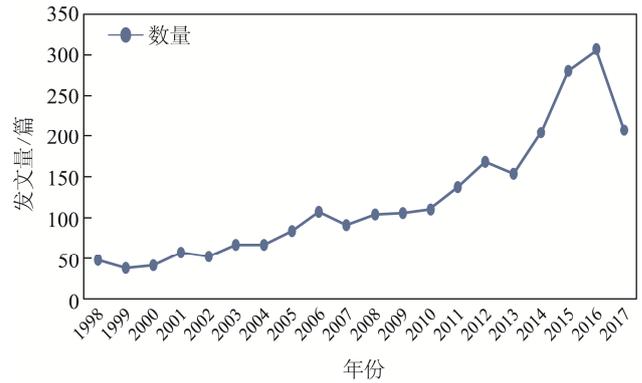


图2 国外研究文献年度分布

Fig.2 Annual distribution of foreign research literature

计领域脑电研究的开展情况与学术影响力。国内方面的论文，根据研究层次可以分为自然科学、社会科学。将搜索到的328篇文献，按照研究层次进行分类，并且选取了前10个层次，见图3。其中，工程技术（自然科学）方面的论文有193篇，在基础研究（社会科学）方面的论文有66篇。工程技术是物理、力学、材料、化工、地质等学科的综合应用。可见，脑电在工业设计领域方面的研究综合性较高，并且实验的开展得到了国家的大力支持。

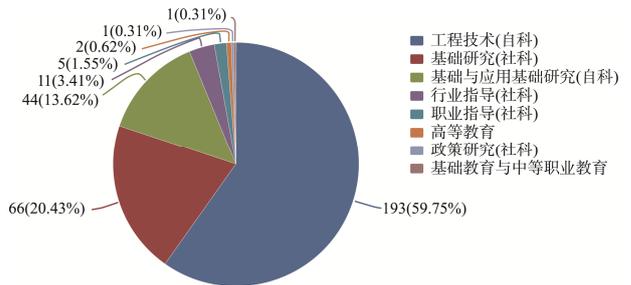


图3 文献研究层次分布

Fig.3 Literature research level distribution map

1.2.3 关键词分布

为了进一步探讨文章内容和论文特征，对搜索到的328篇国内文章进行关键词共现网络研究，绘制关键词共现图，见图4。通过观察关键词共现网络，可

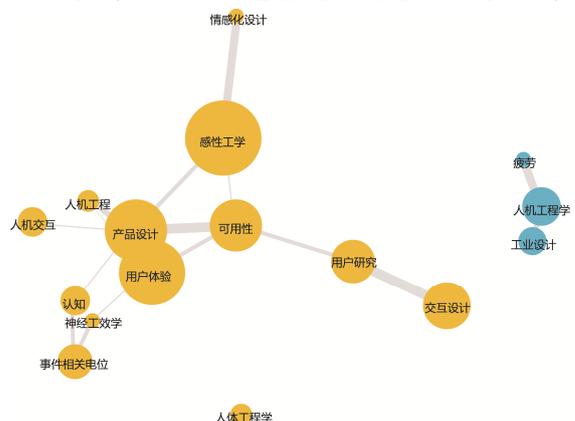


图4 关键词共现图

Fig.4 Key words co-graphs

以发现脑电在工业设计领域内的研究面还不是很广，内容相对较为局限，其中研究主要集中在感性工学、产品评价、交互设计和设计应用 4 个方面。根据这 4 个关键词，对搜索到的 3078 篇外文文献进行再次检索，其中涉及感性工学相关内容的有 442 篇文献，涉及产品设计的有 1626 篇，符合交互设计的有 1750 篇，有关设计应用的则有 2228 篇。由此可见，国外的研究也大致上涵盖这几个方面，并且就单篇论文来看，可能包括 2 个或 2 个以上的方面。

2 脑电在工业设计中主要方面的研究现状分析

2.1 脑电在感性工学中的研究

由图 4 可知感性工学是脑电研究关注的热点之一，情感要素的表达成为工业设计的研究重点。目前感性因素测量主要通过传统心理学手段展开。设计师通过调查问卷挖掘消费者心理需求，但测量结果具有很大的主观随意性，需要运用更科学的测量方法是大势所趋。

目前国内外应用脑电技术对感性工学方面的研究都是针对情绪识别方面的，Schmidt 和 Sarlo 等人^[2-3]都利用不同的诱导方式刺激被试者以产生不同的情绪，从而获取相应的脑电波信号；也可以通过脑电发现人的情绪变化。Murugappan 等人^[4]通过脑电信号划分出 4 种不同的情绪，为通过观察脑电波来判断消费者对某一产品的喜恶提供了理论基础；张弛^[5]对脑电信号提取的方法进行了深入研究和大胆尝试，为基于 EEG 的情绪识别方法提供了更准确的研究方法和一定的理论依据；乔现玲^[6]通过客观地建立产品材料质感意象模型，为后续的计算机辅助质感调和设计系统提供了理论和算法依据，可以提高产品设计的成功率。

对感性工学的研究，主要借助于脑电设备建立脑电数据与情绪之间的关系，并不断通过改进技术增加精度。其中将主观情绪与脑电数据结合，是一个大胆的尝试，也是顺应设计科学化趋势的举措。人的情绪是一个复杂的研究对象，在进行感性研究时，可以发现人的情感往往是由多种情绪组成，如何将多种情绪量化是值得研究人员思考的问题。

2.2 脑电在产品评价中的研究

产品评价是工业设计研究的重要内容。目前的产品评价大多建立在用户体验的基础上，通过用户调查问卷等形式提取设计评价点，开展后续研究。将脑电技术运用到产品评价中，可增加设计评价的科学性，为设计研究提供了新的思路。

在工业设计领域利用脑电是较为成熟的应用研究。运用脑电技术评价设计的优劣，需要多方面入手，

评价的标准也各不相同。唐帮备等人^[7]都是通过获取脑电信号判断用户情绪，得到对产品的舒适性评价；Vourvopoulos^[8]和 Victoria Meza-Kubo^[9]探索了使用认知刺激应用程序评估用户体验的可行性，以提高用户体验的满意度。

目前开展的大部分设计评价是通过用户对用户脑电与情绪的关联分析，进行定量与定性研究的结果。在运用脑电技术进行设计评价过程中，要充分考虑被试个体的个体差异性。在获取脑电信号后，需要考虑同样的脑电特征是否用于不同的被试等问题。为了更全面完整地进行设计评估，脑电技术务必与眼动追踪技术、肌电传感技术等相结合，以科学的手段完善评估方法。

2.3 脑电在交互设计中的应用研究

人机交互是一门研究系统与用户之间的交互关系的学问，也是工业设计重要的研究内容。通过脑电研究人机交互与人机交互界面，可以帮助提高系统的可用性与用户友好性。

陈世瑜^[10]和卫兵^[11]探索新的设计方法和系统，可以有效保证命令选择的正确性和稳定性，提高人一机交互效率，以及人机交互的实时性和稳定性；Silvia^[12]结合新技术，为运用脑电研究 VR 提供了新的思路，也很好解决了人机界面（HCI）与智能环境交互的问题。

近年来，随着计算机技术的发展，系统的操作命令越来越多，功能也越来越强，传统的人机交互模式已经越来越跟不上科技发展的需求。脑电技术的应用为人机交互领域打开了新的大门。脑电信号可以直接反映出人脑活动和认知特性，建立起更便捷、实用的交互系统，并将为实现设计应用奠定基础。未来的人机交互模式是“自由”“智能”“自然”的，可以判断多模态自然人机交互是下一代人机交互的发展趋势。未来如何将脑电与嗅觉、听觉、触觉等交互方式相联系，是值得进一步研究的。

2.4 脑电在设计应用中的研究

将脑电技术与设计应用结合，以脑控取代手控和音控，以新的人机交互方式进行产品设计创新，可以应用在脑控汽车、无人驾驶汽车、家居智能机器人等智能制造领域。

脑电技术在设计中的应用，可以帮助残障人士和老年人摆脱行动障碍，获得独立生活的能力，脑机控交通工具的研究能够帮助残疾人士通过自己的脑电信号直接控制车辆，实现自主无障碍驾驶，提高驾驶员的驾驶安全性和驾驶性能^[13]；高琳^[14]就目前的现状，结合脑电领域相关技术条件，设计了基于自发脑电的手功能康复装置，最大程度地开发大脑和肢体功

能潜力,使肢体功能得到最大程度的恢复。

脑电技术在产品设计中具有独特的优势,可以带给工业设计不同的开发思路,不仅可以大幅度提高产品的科技含量,更能够为新的设计理念提供技术手段。尤其依托于脑电技术设计的交互系统、智能产品可以解决一些棘手的问题,极大释放了设计的潜力。目前我国脑电技术应用主要集中在一些科研机构,并没有广泛的民用化。同时,因为脑电技术产品是通过人脑对外界环境进行有意识的判断与控制,需要一定的操作与保障,所以脑电技术的应用价值不仅仅是在它推出的产品,更应关注后续的服务支持,而这部分内容是目前研究所缺失的。

3 脑电研究在设计领域的趋势分析

在工业设计发展的过程中不断吸取科学的研究方法是设计发展的必然趋势。在工业设计领域引入脑电技术的研究,可以赋予感性的设计以理性的保障。不仅为设计提供了新的思路,拓宽了设计的宽度与广度,也提供了更加科学合理的设计研究的方法体系,对现代工业设计的发展具有深远的指导价值。基于其潜在研究价值和应用前景,我国工业设计领域的脑电研究值得进一步深入发展。具体可关注以下3个方面。

3.1 重视理论基础研究

理论基础研究是所有研究的奠基工作。工业设计领域的相关学者在借助脑电技术进行相关研究时,不仅要加强本专业理论基础研究与应用,更应多关注脑电研究的基础理论建设,充分了解脑电相关技术和脑电数据含义等内容,把握好脑电技术在研究中的比例,不盲目开展实验,并且应该积极借鉴现有的模式与相关方法,夯实工业设计领域的脑电研究基础。

3.2 探索更多结合点

随着脑电技术的发展,脑电实验被越来越多的应用在工业设计领域中。脑电实验作为一种以实验数据为基础的定量以及定性研究,在一定基础上可以为设计活动提供设计支持。在研究内容方面,目前脑电的研究涵盖了感性工学,人机工程,人机交互,用户体验等方面。就后续的研究来说,可以利用脑电探索更多的结合点,拓展研究的广度,在推动工业设计领域研究科学化与实证化的同时,丰富其研究内容与方法体系。

3.3 促进实验与设计活动相结合

脑电技术的发展与完善,脑电技术指标的丰富,数据采样频率的提升,脑电测量装置的高自动化等都使得脑电研究的场所突破了实验室的环境约束,扩展到真实的场景,促使其应用范围不断扩大。当前工业

设计领域的脑电研究大多是在实验室的模拟环境中对目标人群进行实验分析,是验证性、探索性的实验,但实际的设计活动所涉及的应用场景,往往要复杂很多。不同的环境,不同的心理状况都会对设计活动产生不一样的影响。所以脑电的相关实验应该进一步与真实的设计环境相结合,充分考虑实际的环境客观因素,人的主观因素,使脑电研究的结果具有丰富的实践意义和应用价值。

4 结语

目前,EEG的研究已经深入到心理学、生理学、医学、神经科学、人工智能等多个领域,发现了许多与认知活动过程密切相关的内容,也对研究者们提出了更大的挑战。目前,其主要应用于临床医学,由于EEG技术的时间分辨率为毫秒级,它可以展现大脑神经细胞活动在时间单位为毫秒的认知过程,是其他任何脑影像学技术所不能替代的,在治疗各种重大疾病上发挥着不可替代的重要作用。同时,也正因为脑电技术的这一特点,为其在工业设计研究与工业设计应用中的发展展现了宏伟的发展前景,也将成为今后感性研究的主流和工业设计研究发展的大趋势。

参考文献:

- [1] SUTTON S. Evoked-potential Correlates of Stimulus Uncertainty[J]. Science, 1965, 150(3700): 1187—1188.
- [2] SCHMIDT L A. Frontal Brain Electrical Activity (EEG) Distinguishes Valence and Intensity of Musical Emotions[J]. Cognition & Emotion, 2001, 15(4): 487—500.
- [3] SARLO M. Changes in EEG Alpha Power to Different Disgust Elicitors: the Specificity of Mutilations[J]. Neuroscience Letters, 2005, 382(3): 291—296.
- [4] MURUGAPPAN M. Time Frequency Analysis of EEG Signals for Human Emotion Detection[M]// 4th Kuala Lumpur International Conference on Biomedical Engineering, 2008.
- [5] 张驰. 基于脑电信号的情绪识别方法研究[D]. 北京: 解放军信息工程大学, 2015.
ZHANG Chi. Based on the EEG Signal Recognition Method[D]. Beijing: People's Liberation Army Information Engineering University, 2015.
- [6] 乔现玲. 基于感性工学的产品质感调和设计模型研究[J]. 包装工程, 2016, 37(14): 68—72.
QIAO Xian-ling. Study on Design Model of Product Quality Harmonization Based on Inductive Engineering[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(14): 68—72.
- [7] 唐帮备. 联合眼动和脑电的汽车工业设计用户体验评选[J]. 计算机集成制造系统, 2015, 21(6):1449—1459.
TANG Bang-bei. User Experience Evaluation of Au-

- tomotive Industry Design Combined with Eye Movement and EEG[J]. *Computer Integrated Manufacturing System*, 2015, 21(6): 1449—1459.
- [8] VOURVOPOULOS A. EEG Correlates of Video Game Experience and User Profile in motor-imagery-based brain-computer Interaction[J]. *Visual Computer*, 2016 (1): 1—14.
- [9] MEZA K V. Assessing the user experience of Older Adults Using a Neural Network Trained to Recognize Emotions from Brain Signals[J]. *Journal of Biomedical Informatics*, 2016(3): 202—209.
- [10] 陈世瑜. 结合眼电和脑电的人—机交互系统设计与实现[J]. *计算机应用*, 2014, 34(5): 1529—1532.
CHEN Shi-yu. Design and Implementation of Human-machine Interaction System Combined with EEG and EEG[J]. *Journal of Computer Applications*, 2014, 34 (5): 1529—1532.
- [11] 卫兵. 基于诱发脑电的人机交互系统的设计与实现[J]. *工业控制计算机*, 2009, 22(2): 25—26.
- WEI Bing. Design and Implementation of Human Computer Interaction System Based on Induced EEG [J]. *Journal of Industrial Control*, 2009, 22(2): 25—26.
- [12] KOBER S E. Cortical Correlate of Spatial Presence in 2D and 3D interactive Virtual Reality: an EEG Study [J]. *International Journal of Psychophysiology*, 2012, 83(3): 365—374.
- [13] 范新安. 脑—控车辆的人车交互及控制研究[D]. 北京: 北京理工大学, 2015.
FAN Xin-an. Brain-controlled Vehicle Interaction and Control Research[D]. Beijing: Beijing Institute of Technology, 2015.
- [14] 高琳. 基于自发脑电的手功能康复装置的设计[C]// 全国康复医学工程与康复工程学术研讨会, 2010
GAO Lin. Design of Hand Function Rehabilitation Device Based on Spontaneous EEG[C]// National Symposium on Rehabilitation Medicine Engineering and Rehabilitation Engineering, 2010.