基于文献计量学的界面设计可用性中外对比研究

叶露露[1]，陈永康[2*]
（1.义乌工商职业技术学院，浙江 义乌 322000；2.同济大学，上海 200092）

摘要：目的 全面对比分析国内外学界界面设计可用性研究的异同，发现我国目前研究现状及问题。**方法** 将国内外数据库 Web of Science（WOS）以及 China National Knowledge Infrastructure（CNKI）作为数据来源，通过科学文献计量学对现有文献资料进行可视化分析。**结论** 界面设计可用性研究国内外文献产出趋势较为一致，总体呈上升趋势，但近年来波动较大且有下降的发展趋势；工科、计算机相关学科的优势院校为研究主体；国内外的热点研究主题既有相似性又有异质性，相似性方面表现在研究主题总体一致均形成了四个主要研究聚类、国内外学界均重视用户研究，强调从用户角度出发以及均呈现出较强的学科交叉融合特性；异质性方面表现在国际学界更加重视基础理论研究，而国内学界则更多是具体的应用研究，国内学界数据收集、分析方法有待充实；研究创新性以及研究特色不强，亟需发展自己的研究特色是现阶段我国研究的主要局限。

关键词：界面设计；可用性；知识图谱；Citespace；VOSviewer
中图分类号：TB472 **文献标识码：**A **文章编号：**1001-3563(2023)24-0228-11
DOI：10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.24.025

Comparative Study on the Usability of Interface Design Based on Bibliometrics

YE Lu-lu[1], *CHEN Yong-kang*[2*]
(1.Yiwu Industrial & Commercial College, Zhejiang Yiwu 322000, China;
2.Tongji University, Shanghai 200092, China)

ABSTRACT: The work aims to compare and analyze the similarities and differences in usability of interface design in China and abroad, and find out the current research status and problems in China. WOS and CNKI databases were used as data sources, and the existing literature was visualized by scientific bibliometrics. The trend of literature output of interface design usability research in China and abroad is consistent, with an overall upward trend, but it fluctuates greatly and has a downward trend in recent years. The dominant universities in engineering and computer related disciplines are the research subjects. Hot research topics in China and abroad have both similarity and heterogeneity and the similarity is shown in the overall consistency of research topics. For example, four main research clusters have been formed, Chinese and foreign academic circles attach importance to user research, emphasis is put on the perspective of users, and strong interdisciplinary integration characteristics are presented. In terms of heterogeneity, the international academic circle pays more attention to basic theoretical research, while Chinese academic circle emphasizes more specific applied research and the academic data collection and analysis methods in China need to be enriched. Its innovation and research characteristics are not strong, so it is necessary to develop its own research characteristics, which is the main limitation of research in China at present.

KEY WORDS: user interface design; usability; knowledge graph; Citespace; VOSviewer

收稿日期：2023-07-11
基金项目：2023 年金华市哲学社会科学研究项目“创新驱动背景下金华市非遗数字化活化路径研究”（YB202342）；2022 年义乌工商职业技术学院年度规划课题“品牌建设视域下金华农村电商高质量发展对策与路径研究”（XJND2022011）
*通信作者

用户界面（User Interface，简称 UI）是用户与计算机信息系统交互的媒介，也是信息产品的功能载体及主要特征[1]。可用性则是用户在特定使用情景中能够有效、满意地达到产品服务系统特定使用目标的程度[2]。如何保证用户在较短的时间内，对系统状态做出准确判断并高效、正确地操作是界面设计可用性研究的核心问题[3]。用户界面的可用性直接影响着用户的操作绩效以及使用的正确率，可用性的界面设计在很大程度上可以提高系统整体性能以及用户体验[3]。

近年来，用户界面设计可用性研究（User Interface Design Usability Research，以下简称 UID-UR）越来越受关注，经过近 30 年的发展，国内外 UID-UR 研究文献量庞杂繁多，并且知识结构多元复杂，具有很强的学科交叉特性，仅通过传统综述法总结分析难以把握国内外 UID-UR 的热点研究主题以及研究路径的演化[4]，也难以对比分析国内外 UID-UR 研究的差异所在；第二，中国 UID-UR 研究起步较晚，需要在与国外研究的对比中明确自身特点，认清自身不足，从而得以提升和发展。因此，将 WOS 及 CNKI 数据库中收录的 UID-UR 相关文献作为数据来源，通过科学文献计量学对检索数据进行知识结构可视化，通过对比分析国内外研究的异同，进而为我国学者 UID-UR 的后续研究提供参考和借鉴。本文通过回答以下三个方面问题展开国内外 UID-UR 研究现状分析：

1）UID-UR 的研究主体，国内外哪些人、哪些机构在主要研究 UID-UR?

2）UID-UR 国内外学界各自的热点研究主题是什么?国内外学界在研究热点主题以及未来前沿趋势上有何异同?

3）UID-UR 国内外高影响文献研究主题及其研究范式是否有所差异?

1　研究设计

1.1　数据来源

本文选择了数据库中收录的界面设计可用性研究相关文献作为研究的主要数据来源。同时，为了全面比较中外学者在界面设计可用性研究中的异同，本文分别选择 WOS 及 CNKI 数据进行对比分析。国际研究方面，在 WOS 核心合集中选择 SSCI、SCI、A&HCI 为检索源，检索时间设置为全年份，为避免跨学科文献的丢失，未对文献来源进行精简。设置检索条件为 TS=(User Interface Design OR User Interface OR UI) AND TI=(Usability OR Usability Testing)，剔除字段信息缺失以及重复数据得到 1 008 篇有效文献。国内研究方面选择国内收录范围最全的中国知网（CNKI）来检索获取 UID-UR 相关文献数据。在 CNKI 高级检索进行数据收集，为保证检索结果的准确性，检索界面中设置检索条件为：（“篇关摘”=“界面设计”+“用户界面”+“界面”）AND（“主题”=“可用性”），为保证数据的全面性，未设定筛选时间范围。剔除字段信息缺失数据后共得到 733 篇有效文献，以 Refworks 格式导出为 TXT 纯文本文件用于进一步量化分析。

1.2　研究方法

为获得更加严谨、全面的数据指标，研究综合使用了 VOSviewer（V1.6.16）及 CiteSpace（V5.8.R3）这两款文献计量可视化软件作为研究工具对检索所得数据进行实证分析。CiteSpace 和 VOSviewer 均是运行于 JAVA 程序的引文计量分析可视化工具，可以有效建立文献知识单元之间的映射关系，通过视觉信息清晰地展示知识的宏观结构。VOSviewer 具有先进的图形表示能力，适用于大规模数据定位研究主题的重点和热点[5]。CiteSpace 直观地展示了某一学科或研究主题在特定时期的发展趋势以及演变过程[6]，近年来被广泛应用于文献计量分析[7]。

2　国内外 UID-UR 文献计量结果及分析

2.1　UID-UR 文献年度产出趋势分析

统计学术文献产出随时间发展的变化规律是衡量研究主题发展趋势的重要方法，可以有效评估该学科的研究动态[8]。将检索所得 UID-UR 数据清洗去重后进行字段提取得到图 1。由图 1 发文量曲线及趋势线可知，国内外学界文献产出趋势较为一致，总体呈上升趋势，但近年来波动较大，且有下降的发展趋势。国内外学界的峰值均产生于 2019 年，一定程度上反映了该领域于 2019 年到达了研究阶段的成熟期。WOS 数据库第一篇文献发表于 1991 年，1991—2006 年为国际学界研究的起步阶段，2007—2015 年为研究的增长期，文献产出增速较快，达 53 篇/年，2016—2020 年为研究成熟期但产出波动较大；而国内学界研究则起步较晚，国内第一篇 UID-UR 文献发表于 1997 年，且一直到 2004 年文献产出均未超过 10 篇/年、增速较慢，属于 UID-UR 的起步期。2005—2010 年为 UID-UR 的发展期，文献产量稳步增长，2011—2020 年为 UID-UR 的成熟期，年均产出达 54 篇/年，并于 2019 年达到峰值 66 篇/年。与国际学界趋势一致，该阶段文献产出整体波动幅度较大且有回落趋势。

2.2　研究机构及高产作者分布

全球范围内共有 1 264 个机构在检索范围内开展了 UID-UR 的相关研究。对发文机构文献产量进行统计得到，首尔大学（15 篇）、卡内基梅隆大学（14 篇）、阿姆斯特丹大学（14 篇）、多伦多大学（12 篇）、马里兰大学（11 篇）、印第安纳大学（10 篇）、特文特大学（10 篇）、延世大学（10 篇）、台湾成功大学（9 篇）、曼彻斯特理工大学（9 篇）为主要产出机构，是世界

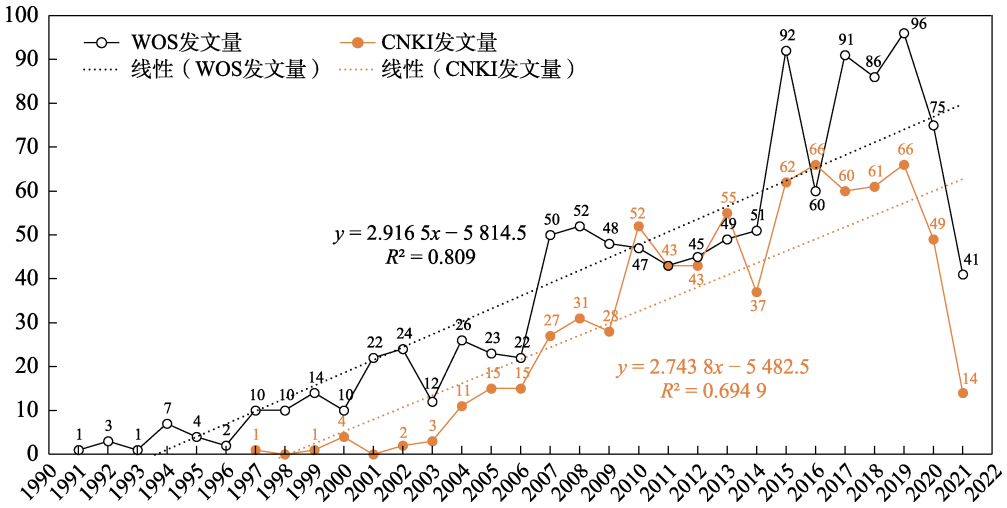

图 1 UID-UR 文献年度产出分布图

Fig.1 Distribution map of the annual publication volume of UID-UR

范围内 UID-UR 研究的主要贡献单位。国内研究方面，湖南大学（40 篇）、西北大学（36 篇）、浙江大学（31 篇）、东南大学（31 篇）、上海交通大学（26 篇）、华南理工大学（21 篇）、北京邮电大学（21 篇）、浙江理工大学（19 篇）、江南大学（17 篇）、华东理工大学（16 篇）等机构为 UID-UR 的主要高产机构。从国内外学界研究机构学科分布情况来看，工科、计算机相关学科的优势院校为 UID-UR 的研究主体。

对作者进行消歧处理后进行统计分析，国际学界涉及 UID-UR 研究的作者共有 3 616 位、国内共有 943 位，但高产作者均不多。国际学界文献产出 TOP5 的作者为 Jaspers, Monique w. m.（阿姆斯特丹大学，14 篇，总被引 689）、Ji, Yong Gu（延世大学，6 篇，总被引 133）、Kuebler, Andrea（维尔茨堡大学，5 篇，总被引 325）、Mattia, Donatella（圣卢西亚基金会，4 篇，总被引 224）以及 Seffah, Ahmed（扎耶德大学，3 篇，总被引 331）；国内学界文献产出 TOP5 的作者为华庆一（西北大学，5 篇，总被引 107），其次为周睿（西华大学，5 篇，总被引 58）、张侃（中国科学院，4 篇，总被引 100）、刘名卓（华东师范大学，3 篇，总被引 40）以及李永峰（江苏师范大学，3 篇，总被引 38）。检索范围内以上作者的文献总被引量也处于世界/国内前列，可以被认为是国内外学界 UID-UR 研究领域的核心作者。

2.3 研究热点分析

文献的关键词是作者对其研究成果的高度概括，通常包含研究对象、研究视角与研究方法等内容，高频共现的关键词反映了长期以来 UID-UR 的研究热点[9]。分别将 WOS、CNKI 数据导入 VOSviewer，设置共现频次为 3 以上，对同义关键词进行合并清洗后得到国内外 UID-UR 的关键词共现聚类图（见图 2~3）。其中，国外研究关键词共现图谱共有 253 个结点、3 057 条连线，共形成了 4 个主要聚类，即：#1——可用性测试（行为实验法）、#2——用户研究、#3——健康医疗设计、#4——可用性测试（生理实证法）;国内文献关键词共现聚类图共有 216 个结点、2 898 条连线，同样形成了 4 个主要聚类，即#1——可用性测试（行为实验法）、#2——用户研究与情感化设计、#3——可用性测试（生理实证法）、#4——交互设计与用户体验。

国际研究方面，综合关键词聚类图谱各聚类内容来看：聚类#1——可用性测试（行为实验法）共包含 63 个聚类成员，主要包含 SUS、qualitative research、task analysis、user evaluation、efficiency、errors、workload、human factors、safety 等关键词。行为实验法通过设计实验任务邀请被试者参加实验进行数据收集，一般主要收集任务绩效数据以及用户主观体验数据进行分析评估，如任务耗费时间、任务正确率、认知负荷、满意度、用户体验等[10]。主观体验数据主要使用经典问卷量表通过用户主观报告的方式进行采集，如聚类中出现的 SUS 量表（System Usability Scale，SUS 系统可用性量表）。该量表由学者 Brooke 于 1986 年开发，具备较高的信效度（其 Cronbach’s α 通常超过 0.90），以及相对较短的长度（10 道测试题目）。因此被认为是可用性测试的经典量表，近年来被广泛应用于界面设计的可用性测试中[11]。然而，一般而言用户主观报告的准确性容易受到周围环境、用户主观偏好以及时间压力等因素影响[12]。因此，行为实验法也存在数据真实性、客观性的问题，但因其成本低、耗时少、易于操作而被广泛使用，目前行为实验法也是可用性测试主要的实验研究方法之一[13]。

聚类#2——用户研究共包含 62 个聚类成员，主要包含 TAM（技术接受模型）、user behavior、user satisfaction、user acceptance、model、privacy、trust、elderly、system usability、perceived usefulness 等。该

聚类主要关注以用户视角通过模型研究法进行可用性测试研究，如聚类中出现的 TAM（Technology Acceptance Model，技术接受模型）、perceived usefulness、user acceptance、model 等。TAM 模型由 Davis 于 1989 年提出，被广泛用于预测用户对创新技术或新产品的使用和接受程度[14]，模型包含五个主要变量：实际行为、行为意图、态度、感知有用性和感知易用性[15]。模型研究法常被用来研究和评估人机信任、用户使用意愿、用户满意度以及系统可用性等主题[16-18]，聚类中出现的高频词反映出模型研究法作为一种重要的研究方法用于探索用户行为、态度以及体验的前因变量进行可用性设计，也反映了可用性研究注重以用户为中心的特点[19]。

聚类#3——健康医疗设计共包含 44 个聚类成员，主要包含 M-health（移动健康应用）、brain-computer interface、P300、patient、children、health information systems、personal health records、quality-of-life 等，呈现出很强的包容性视角，也更加关注老年人、儿童、病人等特殊群体[20]。结合高频关键词的特征，可以将聚类 3 的研究热点概括为健康医疗系统界面设计的可用性研究。在健康医疗系统设计场景下，由于其用户人群的特殊性以及产品系统的复杂性，健康医疗系统作为一种救命的设计往往要求较高的可用性指标[21]。医疗系统界面设计较高的可用性指标有助于提升界面操作效率、提高安全性，有助于避免用户因错误操作而受到意外伤害甚至死亡的情况[22-23]。此外，系统界面设计的高可用性也有助于提升潜在收益，提高系统易用性以及用户满意度等[24]。

聚类#4——可用性测试（生理实证法）共包含 85 个关键词，主要包括 usability test、empirical-evaluation、user-centred design、eye-tracking、heuristic evaluation、cognitive load、EEG（脑电实验）以及 user experience 等。在 UID-UR 研究中生理实验法是一种重要的研究方法，其主要特征是通过对用户生理数据的客观采集进行可用性测试研究。UID-UR 研究中常用的生理实验法主要包括眼动追踪、EEG/EPR（脑电信号采集）、皮肤生理电信号采集以及面部表情采集分析等。眼动数据是用户认知以及注意力分布的有效反映，可有效反映用户与图形界面交互背后的深层机制，因此常被用于检验界面设计的可用性[25]。眼动追踪最常用的指标是瞳孔直径、总注视时间、首次注视时间、注视百分比以及凝视路径等[26]。脑电信号能够真实地反映用户认知加工过程[27]，因此近年来脑电实验也被广泛应用于 UID-UR 研究中。ERP 脑电实验中常见的 ERP 成分有 N200、P300、N300 等（N、P 代表波的正负，数字代表该成分出现的时间），如聚类中出现的 P300 成分，一般被认为与用户情绪状态相关，正负向情绪均能刺激诱发 P300 成分，且负向情绪刺激将诱发更大波幅的 P300 成分[28]。生理测量法可以实时、客观地捕捉用户心理状态以及微妙的情绪变化，可有效避免主观报告中用户模糊或不确定的描述对结果准确性造成的影响。生理测量、主观测量二者相结合的可用性评估方式正表现出巨大的发展潜力[29]。

国内研究方面：聚类#1——可用性测试（行为实

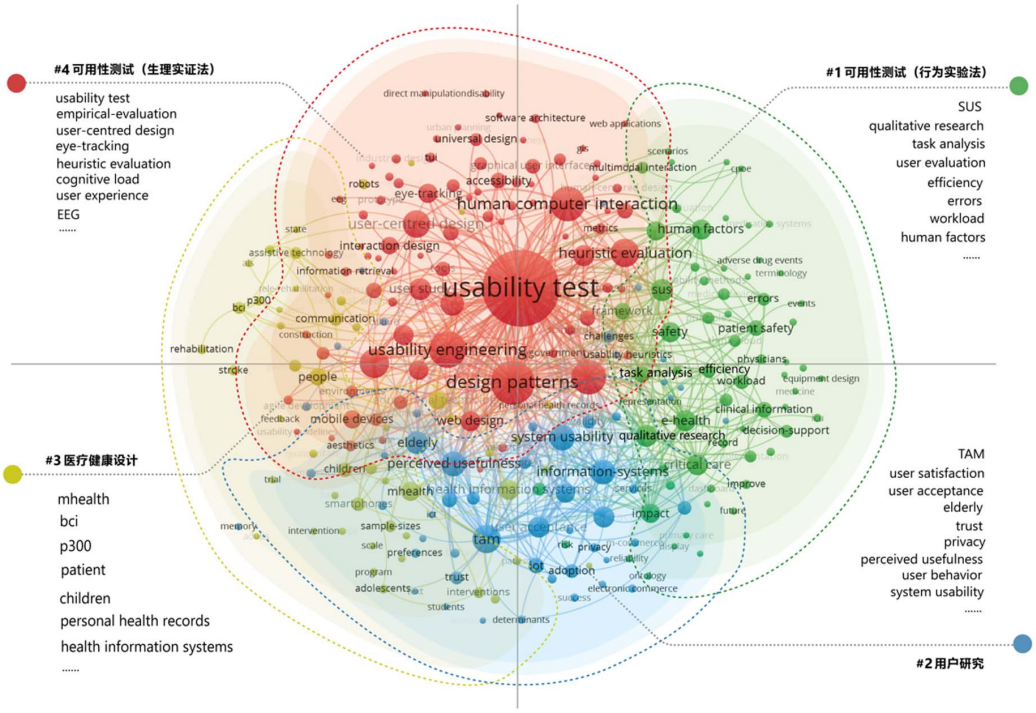

图 2　WOS UID-UR 文献关键词共现聚类图

Fig.2 Key word co-occurrence cluster diagram in WOS UID-UR literature

验法），主要由可用性评估、任务模型、AHP（层次分析法）、技术接受模型（TAM）、可用性评价模型、启发式评估、工作负荷、体感交互、工效学等 59 个关键词构成。该聚类反映出国内的 UID-UR 研究与实践均以行为实验法为重要研究方法，基于人因工效学，通过任务测试、启发式评估结合经典模型来进行界面设计的可用性测试。聚类#2——用户研究与情感化设计，共包含 47 个聚类成员，主要包含界面范式、用户满意度、用户需求、Kano 模型、感性工学、情感化设计、自适应界面、人性化设计、可视化、模式等。从高频关键词来看，该聚类反映出国内的 UID-UR 研究从用户的需求出发，不仅关注界面使用绩效、工作负荷等可用性指标，同时也注重用户情感体验以及满意度的测试评估。聚类#3——可用性测试（生理实证法），主要包含 69 个成员，主要包含可用性指数、视觉认知、迭代设计、眼动追踪、客观评价、数字鸿沟、用户模型、可用性评估、设计评估等。结合高频关键词的特征，可以将聚类 3 的研究热点概括为利用生理实验法（以眼动追踪为主）及相关评估指标的方法，进行界面设计方案的可用性测试，从而调整和优化设计方案[30]。聚类#4——交互设计与用户体验，共包含 41 个关键词，主要包括交互设计、用户体验、信息架构、心智模型、医疗设备、移动医疗、健康管理以及认知负荷等。在 UID-UR 研究中，保证良好的用户体验是可用性测试的主要目的，与国外学界一致，医疗健康系统设计同样是国内学界可用性研究的热门主题。

对比图 2、图 3 的关键词聚类图可以看出，国内外 UID-UR 研究在热点研究主题上呈现出一定的相似性与异质性。相似性方面：第一，国内外学界 UID-UR 的热点研究主题总体一致，主要集中在设计学、心理学、人因工效学等领域，在关键词聚类方面也同样形成了四个主要聚类（见图 2~3），这四个聚类构成了 UID-UR 的热点研究主题以及完整的研究方法闭环[31]。第二，国内外学界 UID-UR 均重视用户研究，强调从用户角度出发，主要通过用户实验收集数据、分析数据，以获得后续设计方案的依据。其共同关键词包括“用户研究”“用户模型”“用户需求”“用户满意度”等。第三，国内外 UID-UR 高频关键词均呈现出很强的学科交叉融合特性，共同关键词包括“人因工程”“遗传算法”“人工智能”“大数据”“新媒体”及“层次分析法”等。事实上，也正是学科交叉带来了新知识、新方法和新视角，为解决 UID-UR 问题提供了更多可能性[32]。而在异质性方面：第一，在研究内容层面，国际学界更加重视基础研究，而国内学界则更侧重应用研究，具体对象的界面可用性评估以及设计改进较为常见，较少出现基础理论、方法、工具的开发研究。第二，在研究方法层面与国外学界相比，国内学界生理指标和主观报告相结合的研究有待发展，其中生理指标的方法主要集中在眼动追踪，像国际学界聚类中出现的脑电指标（EEG、P300）在国内应用较少，数据收集、分析方法有待充实。整体而言，国内外学界在研究热点主题上相似性较高，反映了我国 UID-UR 研究创新性以及研究特色均不够明显，整体上还是以跟随国际学界研究热点为主，亟需发展自己的研究特色[33]。

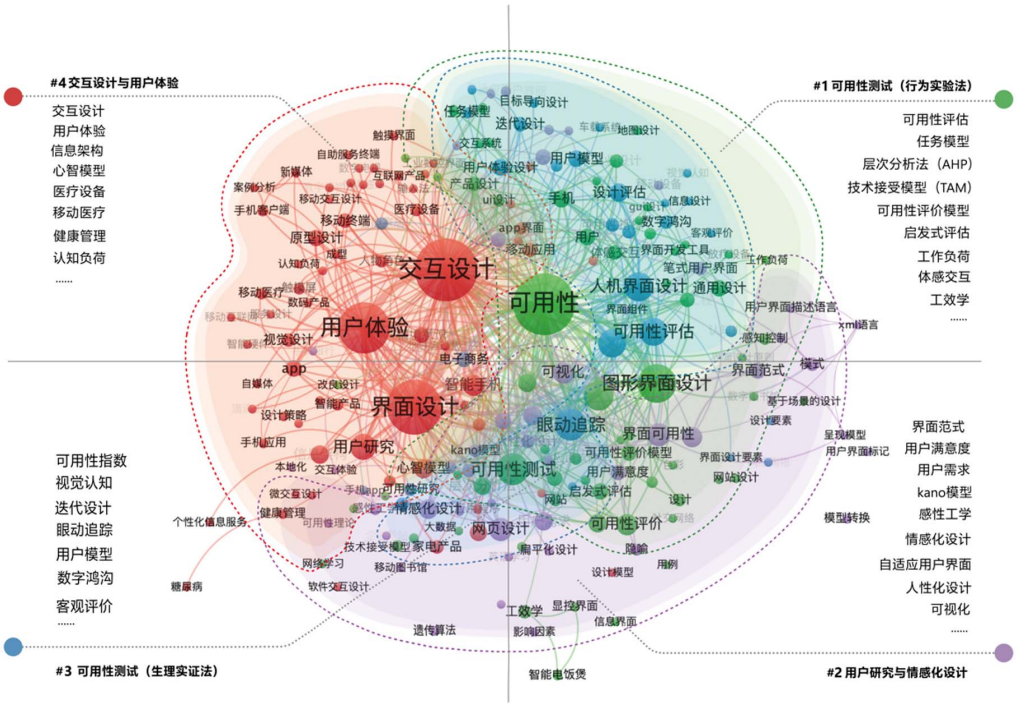

图 3 CNKI UID-UR 文献关键词共现聚类图

Fig.3 Key word co-occurrence cluster diagram in CNKI UID-UR literature

2.4　研究热点的演变及未来前沿趋势

为了进一步研究 UID-UR 研究的前沿主题和发展趋势，分别对关键词的平均出现时间进行了统计分析，得到图 4 和图 5（关键词共现时区图），直观反映了检索范围内每个时间段 UID-UR 的主题演变以及关键词的发展趋势[34]。从图 4 可以发现，WOS 数据中平均出现时间晚于 2016 的关键词主要有 augmented reality（增强现实）、health information technology（健康信息技术）、usability metrics（可用性指标）、P300（脑电 P300 成分）、eye tracing（眼动追踪）visually impaired（视力损伤）、multimodal interface（多模态界面）、automated driving（自动驾驶）、electronic health record（电子医疗记录）、robotics（机器人）和 heuristics（启发式评估）等。从图 5 可见，CNKI 近期出现的高频关键词则是案例分析、新媒体、启发式评估、虚拟现实、用户满意度、人因工程、手势交互、工作负荷、通用设计、层次分析法、车载系统等。图 6、图 7 列出了突现强度 Top20 的关键词，其中深色部分表征了文献关键词引用频次相对突出的年份，反映了研究的变化趋势[35]。Timezone 时区图（图 4~5）以及 Burst 关键词高密度突现（图 6~7）均为关键词引入时间维度的分析指标，二者互相佐证参照可以获得更加客观准确的结果[35]。

如图 6，将 Top20 突现关键词按时间排序可以看出，WOS 研究热点分成了 3 个明显的区间。从 3 个区间的关键词演变情况来看，早期的 UID-UR 研究是

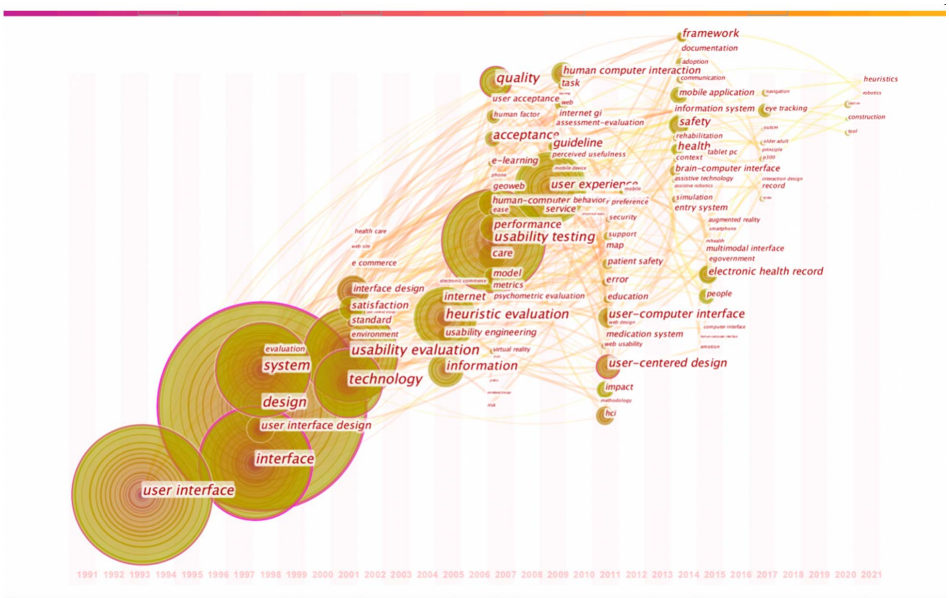

图 4　WOS UID-UR 关键词时区图
Fig.4 Key word timezone view of WOS UID-UR

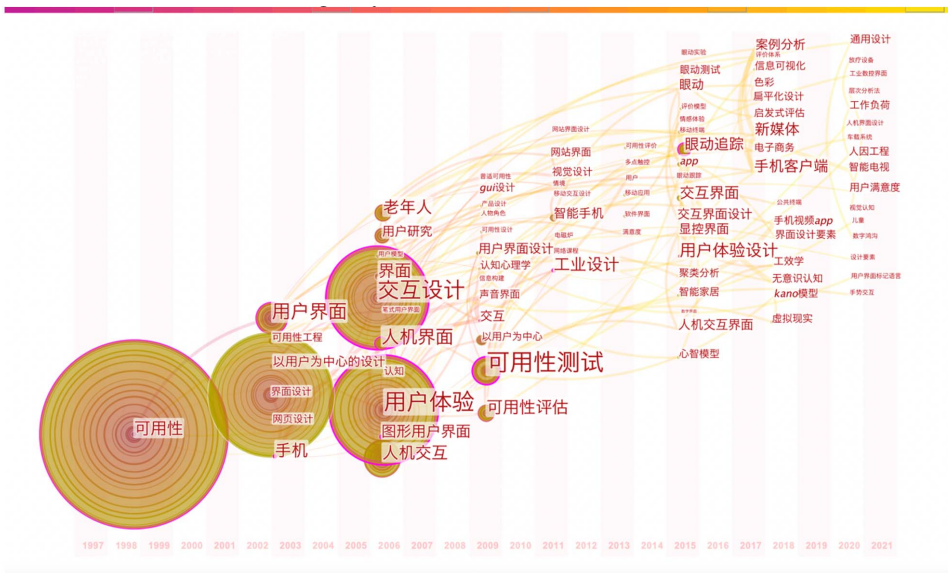

图 5　CNKI UID-UR 关键词时区图
Fig.5 Key word time zone view of CNKI UID-UR

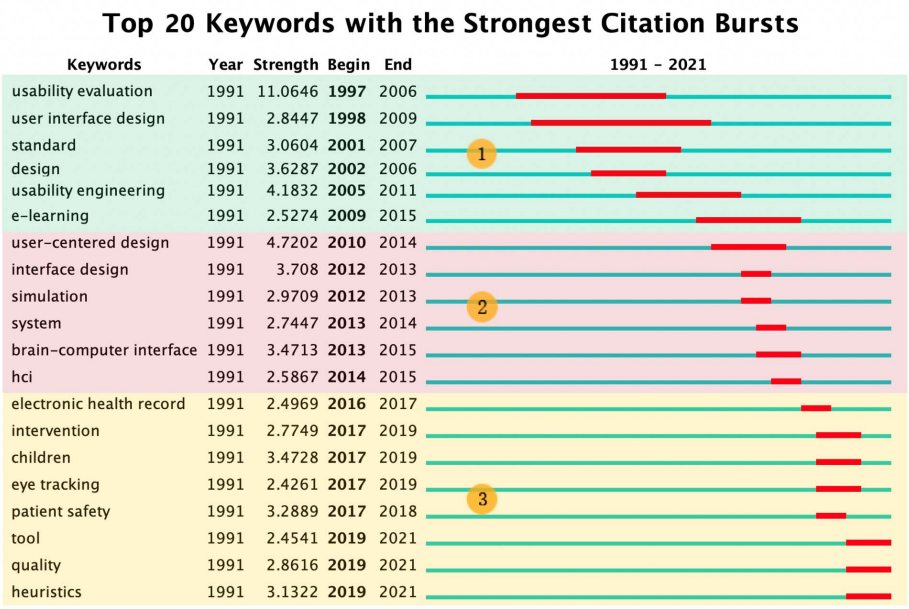

图 6 WOS 关键词 Burst Term
Fig.6 Key word Burst Term of WOS

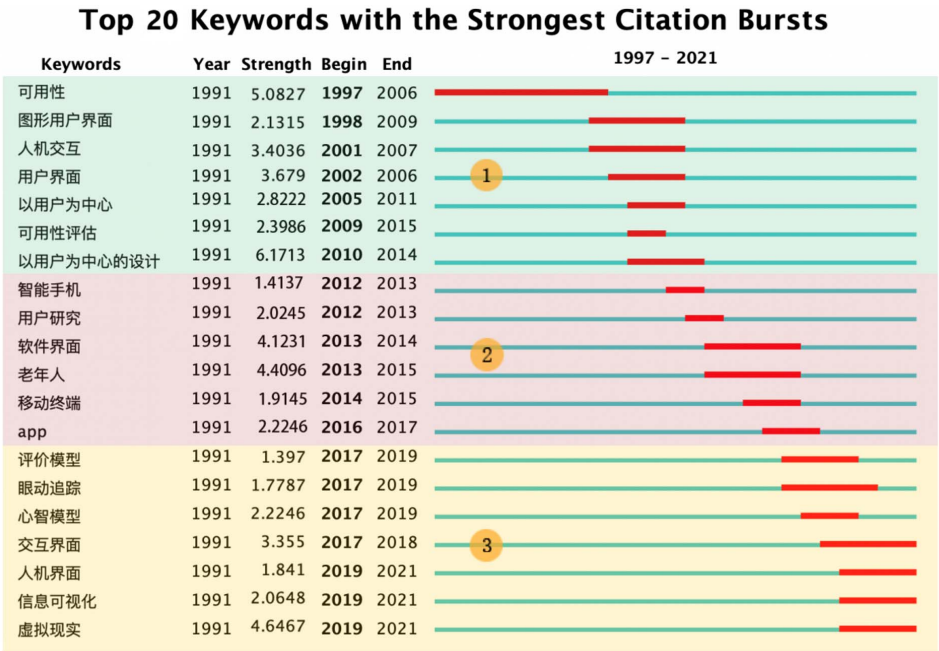

图 7 CNKI 关键词 Burst Term
Fig.7 Key word Burst Term of CNKI

以工程学方法为基础进行的，例如提出了新的技术、新的交互方式等。自 2011 年以来，研究视角及重点逐渐转移到以包容性设计为重点的可用性评估以及用户心理因素的研究（例如老年人、儿童、文化、用户需求、习惯和残疾人）；同时研究对象上也呈现出从单一的图形用户界面向多模态、高复杂性的脑机交互界面、自然用户界面演进的变化趋势，具有很强的学科交叉融合特性，这也与图 4 时区图所得结果相吻合。综合分析时区图以及高密度突现词可以看出，国际学界未来研究内容将依次重点集中在 tool and metrics（新工具、新指标）、health information technology（健康信息技术）、eye tracing and P300（生理实验法）、multimodal interface（多模态界面）、automated driving（自动驾驶）和 heuristics（启发式评估）等方面[36]。而国内的研究动态也同样可以大致分为 3 个发展区间（图 6），关键词从早期的可用性评估，人机交互过渡到老年人、用户研究、移动终端，最后再到信息可视化、虚拟现实等，依旧呈现出从单一图形界面向虚拟多模态交互界面转变的态势。将 Burst 高密度突现词结合时间-关键词聚类图谱来看，国内学界未

来的研究重点将集中在评价模型、虚拟现实、启发式评估、信息可视化、心智模型、手势交互、车载系统以及以眼动追踪为代表的生理实验法等方面，与国际学界研究前沿趋同性较强，特色与创新同样不够明显[30]。

2.5　高影响力文献分析

为了进一步分析国内外学界 UID-UR 的研究范式是否有所差异，对检索文献内容本身进行深入分析。将检索范围内 UID-UR 近五年的相关文献按照被引总量进行排序，分别提取了国内外学界近五年每年总被引量排名前三的文献，如表 1 所示。整体而言，在研究范式上国内外学界整体较为一致，国内外学界皆将行为实验法与生理实验法作为界面设计可用性研究的主要方法，研究工具和方法并没有太大差异。这一现象也与前文关键词聚类结果相吻合[33,37-39]。

表 1　WOS 及 CNKI 近五年高被引文献
Tab.1 Highly cited literature in WOS and CNKI in the last five years

WOS 文献	文献来源	被引量	CNKI 文献	文献来源	被引量
LA Jibb (2017)	Journal of Pediatric Oncology Nursing	38	卢纯福（2017）	包装工程	16
R Li (2017)	Displays	25	张宝（2017）	设计	14
YL Lin (2017)	BMC Medical Informatics and Decision Making	16	胡杰（2017）	华中师范大学	6
I Asghar (2018)	Computers in Human Behavior	27	李晓英（2018）	机械设计与制造	11
A Barišić (2018)	Computer Languages, Systems & Structures	16	赵欣（2018）	图学学报	10
HM Salman (2018)	IEEE Access	16	金三人（2018）	合肥工业大学	7
GA Wildenbos (2019)	International Journal of Medical Informatics	38	张宇宏（2019）	包装工程	8
S Kim (2019)	Applied Ergonomics	26	代欣（2019）	天津工业大学	7
M Rzeszewski (2019)	Applied Geography	17	陶宇（2019）	工业设计	6
R Abiri (2020)	IEEE Transactions on Human-Machine Systems	4	潘飞（2020）	北京理工大学	3
MT Medina-Juliá (2020)	Frontiers in Human Neuroscience	3	侯冠华（2020）	国家图书馆学刊	3
BA Zardari (2020)	Universal Access in the Information Society	2	邵洁然（2020）	包装工程	2
M François (2021)	International Journal of Industrial Ergonomics	2	邬锦雯（2021）	包装工程	2
H Yang (2021)	Robotics and Autonomous Systems	1	李源枫（2021）	计算机辅助设计与图形学学报	1
C Altin Gumussoy (2021)	International Journal of Human–Computer Interaction	1	张瑞杰（2021）	机械设计	1

国内外研究范式的差异主要体现在国际学界侧重使用生理实验法，尤其是脑电实验较国内学界而言应用更加广泛，整体内容也更加重视基础理论研究，同时也体现出定性、定量相结合的特征，数据分析和处理的指标更加丰富。如：Medina-Juliá M T 等[40]基于脑电 P300 的 BCI 拼写器的不同视觉配置，通过实验评估了三种拼写器尺寸的可用性。结果发现中型拼写器的效果和效率明显更好，且中型拼写器的满意度明显最高，小型拼写器的满意度最低。Zardari 等通过综合使用启发式评价、用户体验问卷和眼动跟踪组成的互补的评价方法展开研究。结果发现启发式评估可以发现更多的可用性问题，眼动数据也有助于识别界面元素的复杂性，综合多种可用性测试方法有助于发现更多、更准确的界面设计可用性问题[41]。Abiri 等[42]在 28 名健康参与者中进行了一个基于脑电图的二维光标控制实验，对平台的可用性进行了不同的客观和主观衡量，结果显示，个人的可视化能力与他们的精神控制水平之间存在正相关，个人的可视化能力与他们对光标的心理可控性水平之间呈正相关。相比较而言，国内研究在实验中使用的指标较为单一，早期侧重使用定性研究，近年来更加侧重使用眼动实验进行界面设计的可用性评估。整体内容上也更加侧重具体的应用研究，具体对象的界面设计可用性评估及设计改进较为常见。如：张宝等[43]结合可用性理论以及 SUS 可用性量表构建了用户界面色彩的可用性评价模型。侯冠华[44]采用眼动实验，收集了老年人的眼动数据以及主观体验数据，考察了界面布局设计对老年人检索绩效以及用户体验的影响。潘飞等[45]基于眼动实验和 SUS 量表构建了界面设计可用性测试模型，通过实验获取了用户的眼动数据，证明了改良方案的操作绩效以及可用性得分均有明显提升。

3　结论及讨论

1）UID-UR 研究国内外文献产出趋势较为一致，总体呈上升趋势，但近年来波动较大且有下降的发展趋势。国内外学界的峰值均产生于 2019 年，反映了该领域已于2019年到达了研究阶段的成熟期。Jaspers Monique w. m、Ji Yong Gu、Kuebler Andrea、Mattia 以及 Donatella、Seffah Ahmed 为国际学界的核心作者；华庆一、周睿、张侃、刘名卓以及李永峰为国内学界的核心作者，工科、计算机相关学科的优势院校

为 UID-UR 的研究主体。

2）通过关键词聚类可见，国内外 UID-UR 的热点研究主题呈现出一定的相似性与异质性。相似性方面表现在研究主题总体一致均形成了四个主要研究聚类、国内外学界 UID-UR 均重视用户研究，强调从用户角度出发，以及均呈现出较强的学科交叉融合特性；异质性方面表现在国际学界更加重视基础理论研究，而国内学界则更多是具体的应用研究，以及国内学界数据收集、分析方法有待充实。在研究前沿趋势上，国际学界未来研究重点集中在 tool and metrics（新工具、新指标）、health information technology（健康信息技术）、eye tracing and P300（生理实验法）、multimodal interface（多模态界面）、automated driving（自动驾驶）和 heuristics（启发式评估）等方面；而国内学界未来的研究重点将集中在评价模型、虚拟现实、启发式评估、信息可视化、心智模型、手势交互、车载系统以及以眼动追踪为代表的生理实验法等方面。研究创新性以及研究特色不强，亟需发展自己的研究特色是现阶段我国 UID-UR 研究的主要局限。

3）在研究范式上，国内外学界研究方法较为一致、差异并不明显，差异主要体现在国际学界侧重使用生理实验法，尤其是脑电实验法，整体内容也更加重视基础理论研究；而国内学界在具体实验中研究指标相对较为单一，生理实验法主要以眼动实验为主，研究内容上更加侧重 UID-UR 的应用研究。

参考文献：

[1] 朱睿. 手写板支持的笔式交互界面的研究与应用[D]. 济南: 山东师范大学, 2009.
ZHU Rui. Research and Application on Handwriting Tablet Supported Pen-based User Interactive Interfaces [D]. Jinan: Shandong Normal University, 2009.

[2] 赵盈娜. 基于眼动追踪技术的手机天气软件可用性研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2018.
ZHAO Ying-na. Usability Research on Weather Applications Based on Eye-tracking[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2018.

[3] 牛亚峰. 基于脑电技术的数字界面可用性评价方法研究[D]. 南京: 东南大学, 2015.
NIU Ya-feng. Usability evaluation methods research of digital interface based on brain electrical technology[D]. Nanjing: Southeast University, 2015.

[4] 石京民, 李健. 基于 CiteSpace 的国内外企业社会责任研究比较分析[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2019, 21(1): 65-73.
SHI Jing-min, LI Jian. Comparative Analysis of Corporate Social Responsibility Research at Home and Abroad Based on CiteSpace[J]. Journal of Beijing Institute of Technology (Social Sciences Edition), 2019, 21(1): 65-73.

[5] VAN ECK N J, WALTMAN L. Software Survey: VOSviewer, a Computer Program for Bibliometric Mapping [J]. Scientometrics, 2010, 84(2): 523-538.

[6] 刘佳, 李紫梦, 程悦, 等. 我国口腔护理相关研究的文献计量学分析[J]. 护士进修杂志, 2020, 35(8): 673-678.
LIU Jia, LI Zi-meng, CHENG Yue, et al. Bibliometric Analysis on Oral Caring Based on Citespace Software [J]. Journal of Nurses Training, 2020, 35(8): 673-678.

[7] CHEN Chao-mei. CiteSpace II: Detecting and Visualizing Emerging Trends and Transient Patterns in Scientific Literature[J]. Journal of the American Society for Information Science and Technology, 2006, 57(3): 359-377.

[8] 李杰, 刘家豪, 汪金辉, 等. 基于FSJ的火灾安全学术地图研究[J]. 消防科学与技术, 2019, 38(12): 1760-1765.
LI Jie, LIU Jia-hao, WANG Jin-hui, et al. Academic Map of Fire Safety Science Based on the Fire Safety Journal[J]. Fire Science and Technology, 2019, 38(12): 1760-1765.

[9] 李兴源, 陈业华. 基于 CiteSpace 的国内社会科学研究中熵的应用分析[J]. 科技管理研究, 2018, 38(13): 259-266.
LI Xing-yuan, CHEN Ye-hua. A Visual Analysis of the Entropy Application in the Field of Domestic Social Science Using CiteSpace[J]. Science and Technology Management Research, 2018, 38(13): 259-266.

[10] TAN Zheng-yu, DAI Ning-yi, SU Ya-ting, et al. How does Frame-Loss Affect Users' Perception of Smoothness?[J]. CCF Transactions on Pervasive Computing and Interaction, 2021, 3(2): 199-221.

[11] BORSCI S, FEDERICI S, BACCI S, et al. Assessing User Satisfaction in the Era of User Experience: Comparison of the SUS, UMUX, and UMUX-LITE as a Function of Product Experience[J]. International Journal of Human-Computer Interaction, 2015, 31(8): 484-495.

[12] CONLEY Q, EARNSHAW Y, MCWATTERS G. Examining Course Layouts in Blackboard: Using Eye-Tracking to Evaluate Usability in a Learning Management System[J]. International Journal of Human–Computer Interaction, 2020, 36(4): 373-385.

[13] WANG Jia-hui, ANTONENKO P, CELEPKOLU M, et al. Exploring Relationships between Eye Tracking and Traditional Usability Testing Data[J]. International Journal of Human–Computer Interaction, 2019, 35(6): 483-494.

[14] AL-EMRAN M, MEZHUYEV V, KAMALUDIN A. Technology Acceptance Model in M-Learning Context: A Systematic Review[J]. Computers & Education, 2018, 125: 389-412.

[15] DAVIS F D, BAGOZZI R P, WARSHAW P R. User Acceptance of Computer Technology: A Comparison of Two Theoretical Models[J]. Management Science, 1989, 35(8): 982-1003.

[16] CHI O H, JIA Shi-zhen, LI Ya-fang, et al. Developing a Formative Scale to Measure Consumers' Trust Toward Interaction with Artificially Intelligent (AI) Social Ro-

bots in Service Delivery[J]. Computers in Human Behavior, 2021, 118: 106700.

[17] ACIKGOZ F, VEGA R P. The Role of Privacy Cynicism in Consumer Habits with Voice Assistants: A Technology Acceptance Model Perspective[J]. International Journal of Human–Computer Interaction, 2022, 38(12): 1138-1152.

[18] RHEU M, SHIN J Y, PENG Wei, et al. Systematic Review: Trust-Building Factors and Implications for Conversational Agent Design[J]. International Journal of Human–Computer Interaction, 2021, 37(1): 81-96.

[19] DE KERVENOAEL R, HASAN R, SCHWOB A, et al. Leveraging Human-Robot Interaction in Hospitality Services: Incorporating the Role of Perceived Value, Empathy, and Information Sharing into Visitors' Intentions to Use Social Robots[J]. Tourism Management, 2020, 78: 104042.

[20] WILDENBOS G A, PEUTE L, JASPERS M. Aging Barriers Influencing Mobile Health Usability for Older Adults: A Literature Based Framework (MOLD-US)[J]. International Journal of Medical Informatics, 2018, 114: 66-75.

[21] BITKINA O V, KIM H K, PARK J. Usability and User Experience of Medical Devices: An Overview of the Current State, Analysis Methodologies, and Future Challenges[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2020, 76: 102932.

[22] JASPERS M W M. A Comparison of Usability Methods for Testing Interactive Health Technologies: Methodological Aspects and Empirical Evidence[J]. International Journal of Medical Informatics, 2009, 78(5): 340-353.

[23] EDWARDS P J, MOLONEY K P, JACKO J A, et al. Evaluating Usability of a Commercial Electronic Health Record: A Case Study[J]. International Journal of Human-Computer Studies, 2008, 66(10): 718-728.

[24] WILDENBOS G A, JASPERS M W M, SCHIJVEN M P, et al. Mobile Health for Older Adult Patients: Using an Aging Barriers Framework to Classify Usability Problems[J]. International Journal of Medical Informatics, 2019, 124: 68-77.

[25] MA Xue-er, ZHUANG Xiang-ling, MA Guo-jie. Transparent Windows on Food Packaging do not always Capture Attention and Increase Purchase Intention[J]. Frontiers in Psychology, 2020, 11: 593690.

[26] JOSEPH A W, MURUGESH R. Potential Eye Tracking Metrics and Indicators to Measure Cognitive Load in Human-Computer Interaction Research[J]. Journal of Scientific Research, 2020, 64(1): 168-175.

[27] DING Yi, GUO Fu, ZHANG Xue-feng, et al. Using Event Related Potentials to Identify a User's Behavioural Intention Aroused by Product Form Design[J]. Applied Ergonomics, 2016, 55: 117-123.

[28] CLAYSON P E, CARBINE K A, BALDWIN S A, et al. Methodological Reporting Behavior, Sample Sizes, and Statistical Power in Studies of Event-Related Potentials: Barriers to Reproducibility and Replicability[J]. Psychophysiology, 2019, 56(11): 1-17

[29] COURTEMANCHE F, LÉGER P M, DUFRESNE A, et al. Physiological Heatmaps: A Tool for Visualizing Users' Emotional Reactions[J]. Multimedia Tools and Applications, 2018, 77(9): 11547-11574.

[30] JUAN T. Research on the Usability of News APP Interface Based on Eye Tracking Technology[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(14): 247-52.

[31] SHNEIDERMAN B. Promoting Universal Usability with Multi-Layer Interface Design[J]. ACM SIGCAPH Computers and the Physically Handicapped, 2002(73-74): 1-8.

[32] KIM S, NUSSBAUM M A, GABBARD J L. Influences of Augmented Reality Head-Worn Display Type and User Interface Design on Performance and Usability in Simulated Warehouse Order Picking[J]. Applied Ergonomics, 2019, 74: 186-193.

[33] 赵欣, 丁怡, 侯文军, 等. 复杂信息系统界面可用性指标体系研究[J]. 图学学报, 2018, 39(4): 716-722.
ZHAO Xin, DING Yi, HOU Wen-jun, et al. On the Usability Evaluation Index System of Complex Information System Interface[J]. Journal of Graphics, 2018, 39(4): 716-722.

[34] CHEN Chao-mei, DUBIN R, KIM M C. Emerging Trends and New Developments in Regenerative Medicine: A Scientometric Update (2000 - 2014)[J]. Expert Opinion on Biological Therapy, 2014, 14(9): 1295-1317.

[35] KLEINBERG J. Bursty and Hierarchical Structure in Streams[J]. Data Mining and Knowledge Discovery, 2003, 7(4): 373-397.

[36] GUNESEKERA A, BAO Yu-kun, KIBELLOH M. The Role of Usability on E-Learning User Interactions and Satisfaction: A Literature Review[J]. J Syst Inf Technol, 2019, 21: 368-394.

[37] LI Rui, CHEN Y V, SHA Chun-fa, et al. Effects of Interface Layout on the Usability of In-Vehicle Information Systems and Driving Safety[J]. Displays, 2017, 49: 124-132.

[38] YANG Hao, ZHANG Ji-tao, WANG Yue-ran, et al. Exploring Relationships between Design Features and System Usability of Intelligent Car Human-Machine Interface[J]. Robotics and Autonomous Systems, 2021, 143: 103829.

[39] 卢纯福, 胡明艳, 唐智川, 等. 跑步机人机界面可用性评估及再设计研究[J]. 包装工程, 2017, 38(22): 1-5.
LU Chun-fu, HU Ming-yan, TANG Zhi-chuan, et al. Usability Evaluation and Redesign of Treadmill Human-Machine Interface[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(22): 1-5.

[40] MEDINA-JULIÁ M T, FERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ Á, VELASCO-ÁLVAREZ F, et al. P300-Based Brain-Computer Interface Speller: Usability Evaluation of

Three Speller Sizes by Severely Motor-Disabled Patients[J]. Frontiers in Human Neuroscience, 2020, 14: 583358.

[41] ALI ZARDARI B, HUSSAIN Z, ARAIN A A, et al. QUEST E-Learning Portal: Applying Heuristic Evaluation, Usability Testing and Eye Tracking[J]. Universal Access in the Information Society, 2021, 20(3): 531-543.

[42] ABIRI R, BORHANI S, KILMARX J, et al. A Usability Study of Low-Cost Wireless Brain-Computer Interface for Cursor Control Using Online Linear Model[J]. IEEE Transactions on Human-Machine Systems, 2020, 50(4): 287-297.

[43] 张宝, 刘克涛, 董磊, 等. 基于可用性的用户界面色彩研究[J]. 设计, 2017(10): 110-111.
ZHANG Bao, LIU Ke-tao, DONG Lei, et al. Research on User Interface Color Based on Usability[J]. Design, 2017(10): 110-111.

[44] 侯冠华. 数字图书信息界面布局影响老年人信息检索交互绩效的眼动实证研究[J]. 国家图书馆学刊, 2020, 29(5): 21-32.
HOU Guan-hua. Eye Empirical Research on Effect of Information Interface Layout on Digital Book in Information Retrieval Interactive Performance for Aged People[J]. Journal of the National Library of China, 2020, 29(5): 21-32.

[45] 潘飞, 姜可, 王东琦. 基于眼动追踪技术的购票网站可用性设计研究[J]. 包装工程, 2020, 41(24): 243-247.
PAN Fei, JIANG Ke, WANG Dong-qi. Usability Design of Ticket Purchase Website Based on Eye Tracking[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(24): 243-247.

责任编辑：马梦遥

（上接第 196 页）

[11] 李鹤森, 柳宝铉. 服务设计视角下企业战略创新评价体系设计研究[J]. 工业设计, 2021(12): 59-61.
LI Hesen, LIU Bao-xuan. Research on Design of Corporate Strategic Innovation Evaluation System from the Service Design Perspective[J]. Industrial Design, 2021 (12): 59-61.

[12] 张曦, 胡飞. 服务设计的一般性策略流程研究[J]. 包装工程, 2018, 39(2): 42-47.
ZHANG Xi, HU Fei. General Strategy Process of Service Design[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(2): 42-47.

[13] THALER R H, SUNSTEIN C R. Nudge: improving decisions about health, wealth, and happiness[M]. New Haven: Yale University Press, 2008.

[14] 周延风, 张婷. 助推理论及其应用研究述评与未来展望——行为决策改变的新思路[J]. 财经论丛, 2019 (10): 94-103.
ZHOU Yan-feng, ZHANG Ting. A Literature Review and Future Research Prospects of the Theory and the Applications of Nudging: A New Tool to Change Behaviors and Decision Making[J]. Collected Essays on Finance and Economics, 2019(10): 94-103.

[15] 美 桑斯坦 卡斯, 马冬梅. 为什么助推[M]. 北京: 中信出版社, 2015.
MA Dong-mei. Why nudge? [M]. Beijing: CITIC Press, 2015.

[16] MARTEAU T M, OGILVIE D, ROLAND M, et al. Judging Nudging: Can Nudging Improve Population Health?[J]. BMJ, 2011, 342(jan25 3): d228.

[17] 白仲航, 孙慧慧, 张俊磊. 基于 TRIZ 和类比设计的服务接触点优化应用研究[J]. 包装工程, 2020, 41(16): 91-97.
BAI Zhong-hang, SUN Hui-hui, ZHANG Jun-lei. Service Contact Point Optimization Based on TRIZ and Analog Design[J]. Packaging Engineering, 2020, 41 (16): 91-97.

[18] 邓成连. 触动服务接触点[J]. 装饰, 2010(6): 13-17.
DENG Cheng-lian. Touch Service Contact Point[J]. Art & Design, 2010(6): 13-17.

[19] 茶山. 关于服务设计接触点的研究——以韩国公共服务设计中接触点的应用为中心[J]. 工业设计研究, 2015(1): 111-116.
CHA Shan. Research on Service Design Touchpoints—Centering on the Application of Contact Points in Korean Public Service Design[J]. Industrial Design Research, 2015(1): 111-116.

[20] 白仲航, 邢丽, 赵芳华. 从可供性视角看待情感三层次理论在产品设计中的应用[J]. 包装工程, 2020, 41(22): 21-26.
BAI Zhong-hang, XING Li, ZHAO Fang-hua. Application of the Emotional Hierarchy Theory in Product Design from the Perspective of Affordance[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(22): 21-26.

责任编辑：陈作