情感化智能设计研究现状及发展趋势

林丽，郭主恩，阳明庆
（贵州大学 机械工程学院，贵阳 550025）

摘要：目的 对情感化智能设计的研究现状进行梳理和分析，总结面临的挑战及问题，对未来研究方向提出展望。**方法** 通过情感化设计和智能设计相关概念及特点的分析，归纳了情感化设计和智能设计融合的价值，并从情感需求获取、产品方案生成及设计评价三个方面阐述了情感化智能设计的研究现状。**结果** 定义了情感化智能设计概念，总结了情感化智能设计当前面临的问题与挑战，梳理出情感化智能设计的发展趋势。**结论** 情感化智能设计的发展，推动着情感化设计效率的提升、设计品质提高及在智能设计中对用户情感的关注。虽然目前情感化智能设计仍面临众多挑战，但随着智能技术的发展，将会在设计研究及应用领域起着重要作用。

关键词：人工智能；情感需求；产品生成；设计评价
中图分类号：TB472 **文献标识码：**A **文章编号：**1001-3563(2023)16-0022-10
DOI：10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.16.003

Current Status and Development Trends of Emotional Intelligent Design Research

LIN Li, GUO Zhu-en, YANG Ming-qing
(School of Mechanical Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

ABSTRACT: The work aims to review and analyze the current research status of emotional intelligent design, summarize the challenges and issues it faces, and propose future research directions. By summarizing the concepts and characteristics related to emotional intelligent design, the value of the integration of emotional design and intelligent design was summarized. And the research status of emotional intelligent design was expounded from three aspects: emotional need acquisition, product scheme generation and design evaluation. The concept of emotional intelligent design was defined, the current problems and challenges of emotional intelligent design were summarized, and the development trend of emotional intelligent design was sorted out. The development of emotional intelligent design promotes the efficiency of emotional design and the attention to user emotions in intelligent design. Although emotional intelligent design still faces many challenges, with the development of intelligent technology, it will play an important role in the research and application of design.

KEY WORDS: artificial intelligence; emotional needs; product generation; design evaluation

建设质量强国是推动高质量发展、促进我国经济由大向强转变的重要举措，也是满足人民美好生活需要的重要途径[1]。2023 年 2 月 6 日，中共中央、国务院印发了《质量强国建设纲要》，明确提出发挥工业设计对质量提升的牵引作用[2]。众多相关政策的出台，也进一步说明了国家对工业设计的重视程度。工业设计中的产品创新设计在制造领域前端不可或缺，是体现我国制造业创新能力的重要角色，是产业升级发展的重要基础。产品的创新设计，最终都是服务于人的需求。尤其是当功能满足用户需求时，产品对用户的情感取悦，是以人为中心的关注重点，也是情感化设计的主要立足点[3]。而随着人工智能和机器学习

收稿日期：2023-04-28
基金项目：贵州省科技计划（黔科合基础-ZK[2021]重点 055）；贵州大学培育项目（贵大培育[2019]06）
作者简介：林丽（1973—），女，教授，博士生导师，主要研究方向为情感化设计、智能设计、感性工学。
通信作者：郭主恩（1996—），男，博士生，主要研究方向为情感化智能设计。

技术的不断发展和应用，为提升设计效率，降低设计中复杂的人力劳动，智能化设计同样成为了当今设计领域的热门话题之一[4]。然而，在实际的应用中，智能设计经常只注重设计效率的提升，却忽略了用户的情感需求和体验[5]。为此，情感化智能设计应运而生，引起众多学者和研究人员的关注，并加入了情感化智能设计研究队伍。所谓情感化智能设计，就是通过智能化设计手段来实现产品情感设计的方法，旨在提升设计效率的同时，满足人性化和个性化的情感需求。

本文将通过介绍情感化设计和智能设计的相关概念和特点，总结情感化设计和智能设计的融合，梳理情感化智能设计的研究内容，探讨情感化智能设计的发展趋势，为读者和相关专家把握情感化智能设计研究现状提供帮助和思路来源。

1　情感化设计和智能设计

1.1　情感化设计

情感化设计是一种设计理念和方法，从 20 世纪 80 年代开始，情感化设计一直是产品设计创新中关注的重点之一[6]。最初是由《情感化设计》作者唐纳德・A・诺曼提出，旨在通过设计产品、服务、环境等方式，使其具有情感吸引力和人性化特征，以此提升用户的情感体验和满意度[7]。情感化设计涉及诸多方面的设计元素，如色彩、形状、材质、声音及交互方式，功能、操作等，通过情感化的手法，使人与设计产生情感共鸣和感性反应[8]。情感化设计强调人与设计之间的情感联系，使设计更加贴近用户的需求和情感诉求[9]。它不仅考虑产品的实用性和功能性，更注重设计的美感、个性化和人性化特征，让用户在使用过程中产生更加深刻和积极的情感体验[10]。情感化设计的主要研究内容有感性工学、面向设计的情感计算、情感与体验设计、人机多通道交互、设计评估等五个方面。

感性工学是由日本广岛大学学者长町三生和马自达汽车集团前会长山本健一提出的理论技术[11-12]。感性工学从心理学、神经科学、人机交互、设计、工程学等学科领域借鉴理论和方法，通过实证研究和实验分析及解释人类的感知、情感、态度和行为，并将这些知识应用到产品、服务和系统的创新设计过程中，以满足人类对美感、舒适性、易用性、信任等感性需求的要求，提高人们对产品和服务的满意度和信任度[13]。

情感计算（Affective Computing）是一种通过计算机技术模拟和识别人类情感的方法[14]。情感计算将计算机科学、心理学、神经科学、语言学等学科领域相结合，通过计算机对人类语音、面部表情、生理指标等多种信息的分析和处理，推断人类的情感状态和行为[15]。在面向产品设计的情感计算中，通过情感计算以分析和识别用户的情感状态和行为，并将用户的情感状态转换为设计要素，从而设计出更加符合用户感知、情感和行为需求的产品和服务[16]。

情感与体验设计不仅关注产品或服务的实用性和功能性，也注重产品或服务的形态、色彩、材料、交互方式等方面的设计，以达到更好的情感和体验效果[17]。其主要关注用户在使用产品或服务时的情感体验，包括使用的便利性、可用性、可信度、可靠性、易记性、易操作性、美观性等方面，让用户在使用产品或服务时，既能够获得功能上的满足，也能够享受到情感上的体验，从而提高用户的满意度和忠诚度[18,19]。

在情感化设计中，人机多通道交互是一个重要的研究领域，从用户的多感官入手，使产品或服务更加智能化、自然化和易用化[20]。除了传统的视觉和听觉交互方式外，人机多通道交互是指在交互可以使用其他感官通道，例如触觉、嗅觉、味觉等，以实现更加丰富、多样化的交互体验，提高用户对产品或服务的感知和理解，增强用户对产品或服务的认知和记忆，最终增加用户的情感体验和满意度[21,22]。

设计评估是情感化设计中的一个重要研究领域，它旨在通过科学、系统的方法，评估情感化设计的效果和质量[23]，帮助设计师了解创新设计对用户需求、期望的满意程度，发现设计中存在的问题和不足之处，并优化设计，提升用户的满意度和体验[24]。

从情感化设计的主要内容分析可知，用户的情感是设计研究切入口，用户情感需求的满足是设计研究落脚点。情感化设计应用领域不仅包括产品设计，还包含交互、服务等内容。情感化设计主要研究内容及涉及的重点，见图 1。

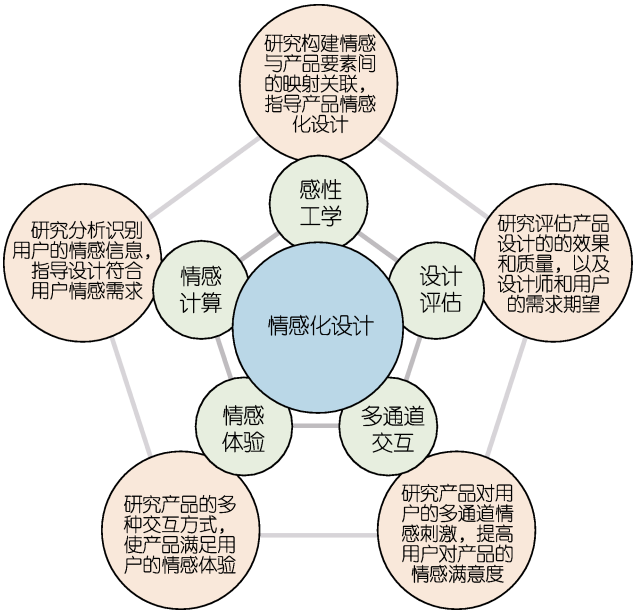

图 1　情感化设计主要研究内容

Fig.1 Main research contents of emotional design

1.2 智能设计

智能设计最早与计算机辅助设计（CAD）密切关联，20 世纪 50 年代在美国诞生第一台计算机绘图系统，开始了具有简单绘图输出功能的被动式计算机辅助设计技术。1997 年，肖人彬教授在国内首次提出了智能设计概念，指出智能设计是在设计过程中，通过将人类专家所具有的知识构建模型，利用智能技术进行自动化的处理，实现设计过程的自动化[25]。1999 年，潘云鹤院士总结了计算机辅助设计在工业设计领域的应用和发展，提出计算机辅助工业设计技术设计的研究领域，包括 CAD 技术、人工智能技术、多媒体技术、虚拟现实技术、优化技术、模糊技术、人机工程学等信息技术领域[26]。虽然智能技术高速发展，但是智能设计的内核没有改变，智能设计依旧是一种将人工智能技术应用于设计过程中的设计方法，它可通过智能化算法和工具辅助设计师进行设计，提高设计效率和设计质量[27]。

其中，智能设计基于各种数据和知识源，包括用户行为、市场趋势、设计规则等，进行自动化地生成、优化和验证设计方案[28]。应用的领域非常广泛，如产品可视化设计[29]、产品优化创新设计[30]、设计协同[31]、产品生成[32]等。按照产品设计的生命周期对智能设计进行应用分类，划分为研究分析、概念设计、详细设计、生产制造、营销销售五个阶段[33]。在产品设计研究和分析阶段，通过智能设计中的各种技术方法实现对产品、市场各方面信息的快速准确获取及分析；在产品设计的概念设计阶段，帮助设计团队快速生成、优化和验证概念设计方案，同时支持设计决策和制造可行性分析等工作，为产品设计提供更加全面科学的支持；在产品设计过程中的详细设计阶段，借助智能化设计，协助设计师实现产品的数字化建模及自动化控制，并基于优化算法、材料选择和自动化测试等手段，对产品进行全方位的优化和提升；在产品设计过程中的生产制造阶段，辅助企业实现数字化制造、自动化生产和智能化管理，提高生产效率和质量的稳定性，降低生产成本和避免资源浪费，促进企业的可持续发展；在产品设计过程中的营销销售阶段，辅助企业实现智能化营销、虚拟展示、电子商务和云端服务等，提高销售效率，降低运营成本和人力投入，详细内容见表 1。

表 1 智能设计在产品设计阶段的应用

Tab.1 Application of intelligent design in product design stage

产品设计阶段	应用内容	应用介绍
研究分析	数据收集与分析	收集和分析市场数据、用户数据、竞争对手数据等
	用户需求分析	获取用户的真实需求和偏好
	创意生成和优化	快速生成大量创意，并对其进行评估和优化
	可行性分析	模拟和分析产品的各种技术、工艺、材料等方面的可行性
	成本和消息分析	模拟和分析产品的生产成本、销售价格、市场需求等方面的数据
概念设计	创意生成和优化	对用户需求和市场趋势进行数据分析和挖掘
	概念验证	对设计方案进行可行性验证和用户体验测试
	设计优化	对设计方案细化和优化，优化设计的功能、性能和外观等方面
	制造可行性分析	对设计方案进行制造可行性分析
	产品设计决策支持	对设计方案进行评估和比较
详细设计	CAD/CAM	对产品的 3D 建模、自动化工艺设计和制造过程的数字化控制
	工艺仿真	对制造过程进行仿真模拟，分析工艺流程中的瓶颈和风险
	算法优化	利用算法和数学模型优化产品的设计
	材料选择	辅助设计师选择最优的材料，并进行材料测试和性能分析
	自动化测试	对产品进行自动化测试和检测，保证产品的质量和可靠性
生产制造	CAM/CNC	通过数字化控制，实现生产过程的自动化、精细化和高效化
	3D 打印	将数字化设计转化为物理实体，实现快速生产和原型制作
	自动化装配	实现对产品的自动化装配和质量检测
	物联网	实现全程可视化、可追溯化和智能化管理
营销销售	智能化营销	对消费者需求的精准分析和预测，制定个性化的营销策略和方案
	虚拟展示	帮助客户更好地了解产品特点和使用方法
	电子商务平台	将产品销售与物流配送等环节进行数字化和智能化管理
	云端服务	提供产品的远程监控、维修和升级等服务

1.3　情感化智能设计

情感化设计和智能设计分别从满足用户情感需求和提高产品设计效率出发开展设计，两者都为产品设计提供了框架准则。然而，在情感化设计和智能设计各自发展过程中，都遇到了各自难以解决的问题：情感化设计中，用户的情感需求数据获取是重要的基础性工作，是需耗费大量人力劳动[34]的任务，如：用户情感需求调查、生理心理情感数据测量、产品情感定位决策等。在智能设计中，最明显的优势是提升设计效率，提高设计师的生产力和创造力。然而，在追求效率的同时，经常会减少对用户情感需求的分析[35]。因此，运用智能设计中的相关技术提升情感化设计效率，采用情感化设计的相关技术改善智能设计现状中对用户情感的忽略，充分发挥各自优势，实现优势互补，是促进产品设计深入发展的重要工作。鉴于此，随着人工智能技术的发展，以及在各个领域的不断渗透，一种新的设计体系——情感化智能设计受到越来越多的学者的关注。此外，以“情感设计”为主题，在 Web of Science 核心合集中进行索引，获得了 2 762 篇与情感设计相关的文献，对这些情感文献进行分析，并基于 CiteSpace 获得文献相关发表领域的知识图谱，见图 2。从知识图谱可知，已有大量情感设计研究在计算机科学等相关学科进行发表，情感设计与智能设计的结合已成为研究的热点之一。

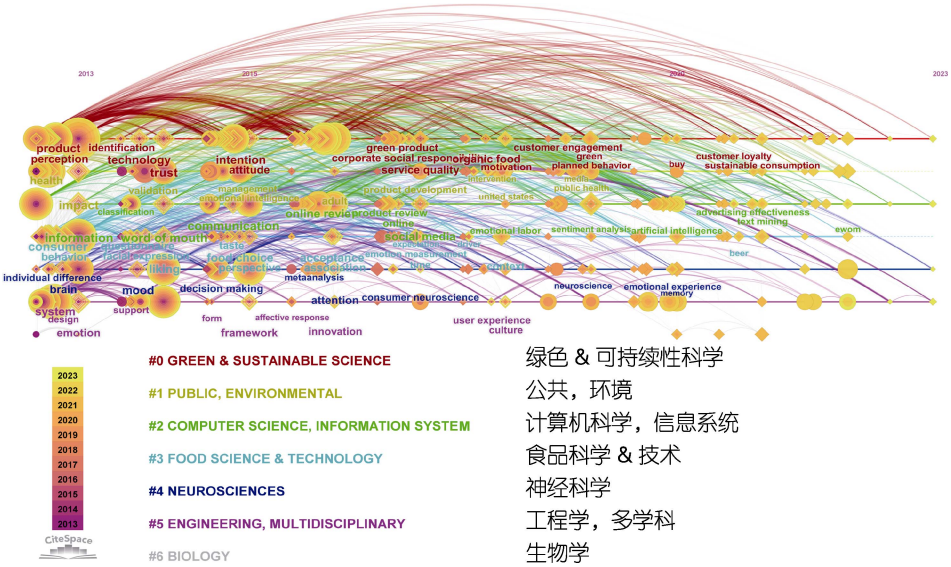

图 2　研究类别聚类时间线

Fig.2 Clustering timeline of research category

情感化智能设计的核心是将人类情感因素纳入设计过程，借助智能设计的手段开展产品情感化的设计方法。它将情感化设计的情感诉求和用户体验与智能设计的自动化、高效性和创新性有机结合，通过智能化技术力量设计满足用户情感需求的解决方案，以达到更加贴近用户需求和感受的设计效果。情感化智能设计实质以情感作为指导，智能技术作为手段，快速生成个性化、具有情感吸引力的设计方案，并通过反馈机制不断改善和优化设计。在设计过程中，情感化智能设计主要通过三个方面开展研究：用户需求获取、产品方案生成及设计评价。对用户情感需求的获取研究，旨在精准全面地获取和了解用户对设计对象的情感诉求，以便更好地开展产品深入设计。对产品方案生成研究，则基于用户情感需求，通过研究产品智能生成的方式，实现情感化设计方案的达成。对产品设计评价，聚焦于用户对产品的情感评价，实现情感和产品的映射，指导产品设计优化。情感化智能设计主要研究内容的关系，见图 3。

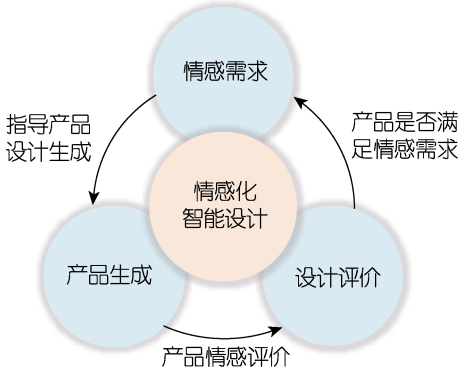

图 3　情感化智能设计主要研究内容

Fig.3 Main research contents of emotional intelligent design

2　情感化智能设计研究现状

2.1　情感需求获取研究

情感需求获取是产品设计创新的基础工作，是设

计师更好的理解用户期望，设计出符合用户情感诉求产品的前提。在传统的获取用户情感需求的方法中，主要通过调查问卷、用户访谈、观察法、数据分析等了解用户的需求。曹玉姝等[36]为了解用户对飞机涂装设计的情感需求，对目标用户发放调查问卷，并通过 Pearson 相关系数作为评价变量间相关性水平的指标，获得用户对飞机涂装感性情感认知。高志方等[37]为实现交互设计方案的评价，从用户角度判定感性需求，采用用户访谈法，邀请目标客户对感性词汇进行补充和选择，确定用户的情感需求。Timotius 等[38]通过对消费者在选择快递服务时的响应能力、准确性等数据进行分析，获得消费者的情感需求偏好，以改善电子商务平台的服务。传统的情感需求获取方法在产品情感化研究和设计创新中起到了重要的作用，但也面临着一些问题：一是情感需求的获取通常采用质性研究方法，易造成数据主观性强，可靠性和有效性有限的问题；二是由于时间、地点和人员等的限制，获取的数据量和质量有限，难以覆盖所有消费者的情感需求；三是基于文本、音频、视频的情感数据源具有多样性、非结构化等特点，情感信息的挖掘难度大，效率低。

因此，为改善传统情感需求获取方法的不足，学者开始尝试使用智能化手段与新的感性测量技术相结合的方式获取用户的情感需求，主要解决以下三个方面问题：减少情感需求获取的主观性；提高情感需求获取时用户的覆盖度；改善情感需求数据挖掘的低效性。Zuo 等[39]通过脑电测量研究用户的情绪状态，提取脑电特征，并经过 LSTM 网络进行训练，有效地挖掘脑电中的复杂性信息，准确解释了用户的情感状态。Jiang 等[40]为了解用户的情感需求偏好，采用模糊回归、粒子群算法等智能技术分析用户的网络评论文本，获得用户动态的情感需求信息。Lai 等[41]为了调查用户对新能源汽车与传统燃油车的外观设计情感需求的区别，爬取海量的用户评论的网络文本数据，使用长短期记忆、条件随机场和多层感知器框架挖掘文本数据，收集用户对新能源汽车外观设计的情感需求。王克勤等[42]通过无人机的在线评论分析，采用 LSTM 模型获得具有时间维度的用户情感偏好数据，为产品设计创新提供思路来源。Zhong 等[43]为解决设计创新时只考虑设计师自身的知识的局限性，通过知识图谱的方法，从海量的知识数据库中获取用户的需求，为设计师提供了一种基于知识的获取消费者需求的方法。总之，在情感化智能设计中，通过人工智能技术与传统方法的融合，极大地体现出情感需求获取方面的优势。

2.2 产品方案生成研究

在情感化智能设计中，运用人工智能、机器学习等技术，通过分析用户需求、行为和偏好等信息，自动生成符合用户情感需求的产品设计方案。这种方式不仅能提高产品设计效率，而且能根据用户个性化需求实施快速设计和修改优化，进一步提升产品的满意体验。产品方案生成的研究主要有规则生成和机器学习生成两种方式，其中规则生成是采用预先设定的规则生成设计方案，机器学习生成是基于机器学习算法分析大量数据，从中学习并生成符合用户需求的设计方案。

2.2.1 规则生成

规则生成的产品设计主要根据有感性工学、形状文法、CAD 参数化等理论及技术，通过算法的优化，实现产品方案的生成。基于感性工学理论的产品生成研究中，林丽等[44]借助网络评价数据，分析用户对产品的感性意象需求信息，并构建出词向量实现产品意象设计的参数化表达，使用随机森林算法构建出意象和产品设计参数的映射关系，以汽车为例实现意象到产品设计方案的智能生成；Kang 等[45]通过感性工学理论提取用户对文创产品的情感信息，基于符号学理论提取建筑的形状、颜色、图案等设计要素，并重构设计要素，通过交互式遗传算法对设计要素编码和解码，构建出基于感性工学理论和交互式遗传算法的产品设计生成优化方法。形状文法将形状或结构视为由一系列基本形状或结构组成的元素，并通过规则定义它们之间的关系和组合方式，Hu 等[46]提出一种基于形状文法的蜡染图案生成设计方法，通过人工神经网络构建蜡染图案设计元素的非线性认知模型，在遗传算法对模型优化基础上，依据认知模型生成新的蜡染设计方案；Alcaide-Marzal 等[47]提出一种概念产品设计三维生成方法，通过获取产品的形状规则，并结合设计师情感需求，构建情感需求和形状规则相关联的产品优化模型，以香水瓶、台灯、戒指、办公椅、咖啡机、轮毂、摩托车等作为案例，通过 Grasshopper 生成产品的新的设计方案。在基于 CAD 参数化产品生成研究中，苏建宁等[48]对鼠标形态进行生成设计研究，通过人机工程获取用户的使用习惯，获得符合用户使用需求的产品形态数据，结合参数化脚本模拟用户的使用场景，最终结合参数化设计软件及算法生形得到产品设计方案。此外，苏建宁团队还通过多种技术结合 CAD 参数化生成产品设计方案，如自然语义数据驱动参数化设计[49]、基于约束网络的参数化设计[50]、基于认知思维和蛛网结构的参数化设计[51]等。

2.2.2 算法生成

基于智能技术自动生成的设计方案为设计师提供新的灵感和思路，节省时间和精力，同时也提高设计的创新性和独特性，并可实现设计方案的快速修改和优化。算法生成主要依据大数据和相关智能技术，直接生成产品方案。Wei 等[52]为了实现景观灯的智能设计，基于大数据挖掘区域文化因素，通过层次分析获得情感因素权重，提出基于遗传算法优化迭代输出的设计机制，为提高产品设的效率提供了新的设计机

制方案。邓正根等[53]为了解决设计周期长、设计思维局限性等问题，提出了一种基于 StyleGAN 的产品智能设计方法，将图像概念草图和风格输入，以设计师的设计需求和情感需求为目标，快速生成产品设计方案及相应的设计细节，为智能设计中产品生成进行了新的探索。Chen 等[54]提出了一种基于文本驱动的三维模型风格化方法，以文本、图片或三维模型等自动生成产品设计方案，且生成的方案具有 SVBRDF 材质、法线贴图和灯光等元素。随着对抗生成网络[55]的发展，在产业中也有很大的实际应用。阿里巴巴推出的智能生成平台[56]基于对抗生成网络、强化学习、序列模型等算法，实现了文生图、图文生图、生成式图像超分、生成式图像卡通化等功能，通过智能生成平台，不仅得到符合用户功能需求的方案设计，还能够依据用户的情感偏好进行设计方案的优化改良。此外，百度平台开发的文心一言[57]、Adobe 公司开发的 Firefly[58]、微软[59] 开发的 Visual ChatGPT 等平台都是智能设计的创意生成在平面设计上和图片生成的具体应用，通过智能生成，满足用户的功能需求和取悦用户的情感需求。

2.3　设计评价研究

在情感化智能设计中，设计评价的主要作用是对设计方案实施客观、全面的分析和评估，以确定设计方案是否符合用户的情感需求和设计目标，同时发现设计中存在的问题和不足，有目的地通过设计改进和优化，提高设计方案的质量和效果。情感化智能设计中的设计评价主要分为两个方面，一是借助于传统设计评价方法，将评价数据通过智能技术处理，实现高效的设计评价；二是直接对产品进行情感的识别和定位，实现设计情感的智能化评价。

2.3.1　数据驱动的设计评价

传统的设计评价主要有基于外显测量的方法和内隐测量方法，如外显测量的问卷调查、头脑风暴、小组访谈；内隐测量的眼动测量、脑电测量等，它们在设计研究中具有重要的意义，为设计的改良提供了数据来源。然而，基于外显测量的设计评价方法较为主观，导致数据的分析和最终的意象评价会有偏差，而内隐测量方法则分析及数据特征的提取较为繁琐，需构建基于数据的评价模型，而且对某些隐含特征数据，无法构建线性数学模型。为了解决传统设计评价数据分析繁琐、难以探究深层次的隐含信息等问题，学者们开始尝试基于智能技术进行数据处理，建立基于智能算法的评价模型。虽然数据处理的过程为黑箱状态，但可挖掘更多深层次的特征数据，极大地减少在分析数据特征时所耗费的时间成本和人工成本。

此外，传统的调查问卷和小组访谈等设计评价方法，获取的文本数据量较少，且不能全方位地覆盖产品用户。因此，学者们运用网络在线评价文本数据，分析定位用户对产品的情感需求及评价。李少波等[60]提出一种基于在线评论数据驱动的产品感性评价方法，以手机为例，获取电商平台上购买者真实的使用评论，从认知心理学角度，通过 TF-EPA 方法获取用户对产品的感性评价。Jin 等[61]使用 Kano 集成的模型挖掘用户的在线评论，根据聚类算法和语法关系获得用户对产品的满意度评价信息，为设计师的情感化设计提供见解。此外，基于文本数据获取用户在情感评价中，学者也尝试使用自然语言处理技术进行产品评估，Wang 等[62]为了解用户对产品形态的反映和情感偏好，将自然语言处理技术和模糊多准则决策相结合，构建评论数据的词向量，实现用户感性意象的表达。对内隐测量方法，是一种客观地获取用户对设计的评价数据的方法，但因内隐数据具有非线性、隐含特征多、处理繁琐等问题，智能技术的发展为更好地处理内隐测量数据提供了支持。因此，随着内隐测量技术的普适化及智能技术的发展，学者关注于通过智能技术处理内隐测量数据。丁满等[63]为研究用户对产品色彩的设计评价，通过眼动测量和脑电测量相结合的方式获取评价数据，并结合 BP 神经网络构建“产品色彩-生理信号-情感意象”的评价模型，实现用户对产品色彩的情感认知内隐数据的分析。Guo 等[64]为减少设计师和用户间对产品设计认知的隔阂，将设计师知识传递到用户，并通过眼脑融合实验来测量用户的认知评价，基于 XGBoost 算法分析实现对内隐评价数据的分析和处理。

2.3.2　智能设计评价

智能设计评价主要通过产品图片等表征产品信息的数据直接输入算法，实现算法识别产品的情感信息评价。在智能设计评价研究中，杨雯丹等[65]通过分析具有突破性创新设计方案和非突破性设计方案，统计特征因子的变化趋势，借助人工神经网络对数据进行融合，以情感需求为基准，构建出创新设计方案事前评价模型，为全面分析设计方案提供参考。李彦龙等[66]提出一种基于 BP 神经网络的汽车外观设计评价方法，将用户的情感评价与产品外观构建关联，在多情感指标体系下分析产品设计要素，通过对 20 款汽车的外观设计作为训练样本，8 款汽车的外观设计作为验证样本作为案例，获得了较为准确的外观设计评价信息。朱斌等[67]提出一种基于深度学习的产品意象识别方法，通过语义差异法获得产品的情感意象数据集，将数据集中的图片和意象分别作为输入和输出，使用卷积神经网络 VGGNet 进行训练，训练后的模型能有效输出产品的情感意象。现有智能设计评价研究借助相关算法模型，通过大量“产品-评价”数据的学习，构建智能化的设计评价模型。在“产品-评价”数据集构建基础工作过程中，需用户或者设计师的参与，会耗费大量的时间和精力，因此，针对以上问题，Guo 等[68]在构建智能评价模型时，以汽车外观的色彩

设计为例，借助半监督学习算法构建模型，通过色彩认知数据的增强及少量样本的训练，实现 25152 个汽车产品色彩设计的情感评价，极大地减少基础工作所耗费的大量人力。

3 面临的问题及未来发展趋势

3.1 面临的问题及挑战

虽然近年来情感化智能设计成为了热点研究领域，且已开展众多相关研究，但依旧面临着一些问题和挑战。

1）情感化智能设计数据不足的问题。情感化智能设计需要大量的情感数据和情感知识作为基础，但目前情感数据的质量和数量都存在一定的欠缺，将会限制情感化智能设计的应用范围和效果。

2）情感识别精度有待提高的问题。情感化智能设计的核心是情感识别，但是通过智能技术进行情感识别的精度仍需进一步提高，尤其是在识别复杂情感和非语言形式情感时，识别效果的提升空间较大。

3）人机协作有限的问题。情感化智能设计是计算机与人类设计师协作的结果，人机协作更加高效和自然是一个具有挑战的问题。

综上所述，情感化智能设计面临的问题与挑战不局限于以上三个方面，还涉及情感化智能设计与可持续发展、情感化智能设计在智能制造的结合等方面。因此，情感化智能设计的研究方兴未艾，还需大量研究者的进一步探索和实践。

3.2 未来发展趋势

在情感化智能设计面临的问题及挑战总结基础上，结合现有情感化智能设计研究基础及与新技术新领域的融合现状，情感化智能设计的研究热点和未来发展方向将从以下方面展开。

1）基于智能算法的三维设计生成。在基于算法的创意生成中，现有研究主要集中于平面设计的生成，虽然已有研究尝试使用深度学习技术实现三维产品设计的生成，但效果较差，分辨率较低，且不能生成复杂的三维数据。因此，随着深度学习技术的发展，通过草图或平面图生成三维造型，或通过三维造型的训练与学习，按照情感需求输出三维造型的设计，将是未来的研究热点。

2）全流程情感化智能设计方案解决。现有的情感化智能设计研究只满足于设计流程的某个（单一）方面，为全面提升情感化智能设计的效率，开发全流程情感化智能设计解决方案势在必行。也就是借助深度学习技术实现情感需求获取、设计方案生成和设计评价输出，形成全流程情感化智能设计，实现三者的有机融合，亦是未来情感化智能设计的发展方向。

3）加强人机设计交互的实现。现有的情感化智能设计及传统的设计流程，人机协作较弱，如实时交互、设计方案体验与优化、计算机与设计师共同协作等问题的解决，提升情感化智能设计中人机设计交互体验及协作效率，将是值得探索的问题之一。

4）应用领域的拓展。情感化智能设计的应用较为广泛，从狭义的设计概念来看，可应用于产品设计、平面设计、服装设计等。以广义的设计概念而言，情感化智能设计可应用于建筑设计、营销策略设计、服务设计等方面。除此之外，对具体的设计来说，还需要考虑设计要素间和设计要素内的关联，将色彩、形状、材质等综合考虑。然而从目前的研究来看，情感化智能设计的研究处于初始阶段，未来的研究及应用领域将会在多方面和多要素展开。

4 结语

情感化智能设计是设计学、心理学、计算机科学等多学科知识的融合，是跨学科研究的一个典型案例。它结合了用户的情感需求，借助智能技术提升设计效率、设计品质的新方向。随着智能技术的快速发展，以及产品设计对用户情感满足的注重，情感化智能设计在设计领域有着巨大的发展前景。

鉴于此，本文对情感化智能设计的概念进行了定义和总结，分析了情感化智能设计在设计流程中情感需求获取、产品方案生成及设计评价三个方面的研究现状，总结了情感化智能设计面临的问题和挑战，并提出未来的发展趋势。本文对情感化智能设计领域的相关研究进行了较为全面的梳理和归纳，随着人工智能技术不断向更高层次的发展，在越发注重人类精神性情感需求的时代，持续优化智能设计方法、技术、步骤及流程，提升设计效率和满足用户需求，还需深层次的探索。

参考文献：

[1] 赵亦希，李永兵，潘尔顺. 聚焦优质制造，助推质量强国——解读《优质制造》[J]. 中国机械工程，2018, 29(19): 2389-2393.
ZHAO Yi-xi, LI Yong-bing, PAN Er-shun. Focusing on High-Quality Manufacturing and Promoting a Strong Quality Country-Interpretation of "Quality Manufacturing"[J]. China Mechanical Engineering, 2018, 29(19): 2389-2393.

[2] 佚名. 中共中央 国务院印发《质量强国建设纲要》[J]. 中华人民共和国国务院公报, 2023(5): 4-14.
Anonymous. The Central Committee of the CPC and the State Council Print and Issue the Outlines for Building China into a Strong Nation in Quality Construction[J]. Gazette of the State Council of the People's Republic of China, 2023(5): 4-14.

[3] 付业君，蒋鹏，李树. 基于情感化设计的产品设计方向与实践[J]. 包装工程, 2021, 42(12): 228-231.

FU Ye-jun, JIANG Peng, LI Shu. Product Design Direction and Practice Based on Emotional Design[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(12): 228-231.

[4] 赵乐，杨观赐，徐杰，等. 认知计算与智能设计研究综述[J]. 包装工程, 2022, 43(8): 9-17.
ZHAO Le, YANG Guan-ci, XU Jie, et al. Cognitive Computing and Intelligent Design[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(8): 9-17.

[5] 荆伟. 人工智能驱动下的设计产业融合创新探究[J]. 包装工程, 2021, 42(16): 79-84, 93.
JING Wei. The Fusion and Innovation of Design Industry which Driven by Artificial Intelligence[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(16): 79-84, 93.

[6] 陈永康，江雨豪，何人可，等. 基于文献计量学的情感化设计研究进展、热点与趋势分析[J]. 包装工程, 2022, 43(6): 32-40.
CHEN Yong-kang, JIANG Yu-hao, HE Ren-ke, et al. Emotional Design Trends and Research Progress: A Scientometric Analysis-Based Study[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(6): 32-40.

[7] PEA R. User Centered System Design: New Perspectives on Human-Computer Interaction[J]. Journal educational computing research, 1987, 3(1): 129–134.

[8] 张毅，阳柠妃. 感性工学与情感化设计的设计方法比较研究[J]. 南京艺术学院学报(美术与设计), 2017(5): 178-181.
ZHANG Yi, YANG Ning-fei. Comparative Study on Design Methods of Perceptual Engineering and Emotional Design[J]. Journal of Nanjing Arts Institute (Fine Arts & Design), 2017(5): 178-181.

[9] DOZIO N, MARCOLIN F, SCURATI G W, et al. A Design Methodology for Affective Virtual Reality[J]. International Journal of Human-Computer Studies, 2022, 162: 102791.

[10] 唐纳德・A・诺曼. 设计心理学 3 情感化设计[M]. 何笑梅，欧秋杏，译. 北京：中信出版社. 2015.
NORMAN A D. Design Psychology 3 Emotional Design[M]. HE Xiao-mei, OU Qiu-xing, Translate. Beijing: Citic Press. 2015.

[11] NAGAMACHI M. Kansei Engineering: A New Ergonomic Consumer-Oriented Technology for Product Development[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 1995, 15(1): 3-11.

[12] NAGAMACHI M. Kansei Engineering as a Powerful Consumer-Oriented Technology for Product Development[J]. Applied Ergonomics, 2002, 33(3): 289-294.

[13] 林丽，郭主恩，阳明庆. 面向产品感性意象的造型优化设计研究现状及趋势[J]. 包装工程，2020，41(2): 65-79.
LIN Li, GUO Zhu-en, YANG Ming-qing. Current Research Situation and Trend of Product Image-Based Modeling Optimization[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(2): 65-79.

[14] PICARD R W. Affective Computing[M]. Cambridge: MIT Press, 2000.

[15] PICARD R W. Affective Computing: Challenges[J]. International Journal of Human-Computer Studies, 2003, 59(1-2): 55-64.

[16] 李洁，袁萍，张瑢. 从工业美学到智能美学[J]. 包装工程, 2022, 43(2): 29-34.
LI Jie, YUAN Ping, ZHANG Rong. From Industrial Aesthetics to Intelligent Aesthetics[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(2): 29-34.

[17] 曹晓丹，束霞平. 体验经济时代的产品设计方向分析[J]. 包装工程, 2018, 39(4): 242-244.
CAO Xiao-dan, SHU Xia-ping. Analysis of Product Design in the Age of Experience Economy[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(4): 242-244.

[18] 吴天宇，赵祎乾，李亚军，等. 基于用户需求分类的产品色彩情感体验设计[J]. 包装工程，2022，43(16): 209-217.
WU Tian-yu, ZHAO Yi-qian, LI Ya-jun, et al. Emotional Experience Design of Product Color in User Needs Classification[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(16): 209-217.

[19] SUK J, KIM K O. Differences in Consumers' Evaluation of Product Design Values by Thinking Style[M]// STEPHANIDIS C., Ed. HCI International 2018–Posters' Extended Abstracts. Cham: Springer International Publishing, 2018: 285-289.

[20] 吴联凡，陆定邦，吴耀，等. 多感官设计的可视化分: 研究进展、热点与趋势[J]. 包装工程，2022，43(22): 205-220.
WU Lian-fan, LU Ding-bang, WU Yao, et al. Visualization Analysis of Multi-Sensory Design: Research Progress, Hotspot and Development Trend[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(22): 205-220.

[21] 李洋，康文惠，黄进，等. 基于笔式交互的人机混合 CAD 概念设计[J]. 计算机集成制造系统, 2022, 28(7): 2050-2063.
LI Yang, KANG Wen-hui, HUANG Jin, et al. Conceptual Design of Man-Machine Hybrid CAD Based on Pen-Based Interaction[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2022, 28(7): 2050-2063.

[22] WANG An-yuan, YE Jun-nan. Human-Computer Natural Interaction Design Practice Based on Unconscious Design Concept[M]//KUROSU M., Ed. Human-Computer Interaction. Theory, Methods and Tools. Cham: Springer International Publishing, 2021: 3-15.

[23] SARIS W E, GALLHOFER I N. Design, Evaluation, and Analysis of Questionnaires for Survey Research: Saris/Design[M]. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2007.

[24] NGOC H N, LASA G, IRIARTE I. Human-Centred Design in Industry 4.0: Case Study Review and Opportunities for Future Research[J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 2022, 33(1): 35-76.

[25] 肖人彬，周济，查建中. 智能设计: 概念、发展与实践[J]. 中国机械工程, 1997, 8(2): 74-76.
XIAO Ren-bin, ZHOU Ji, ZHA Jian-zhong. Intelligent Design: Concept, Development and Practice[J]. China Mechanical Engineering, 1997, 8(2): 74-76.

[26] 潘云鹤，孙守迁，包恩伟. 计算机辅助工业设计技术发展状况与趋势[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,

1999, 11(3): 248-252.
PAN Yun-he, SUN Shou-qian, BAO En-wei. The Current Developing Situation and Trend of Computer Aided Industrial Design Technology[J]. Jouraal of Computer Aided Design & Computer Graphics, 1999, 11(3): 248-252.

[27] 徐千尧, 吴琼, 宫未. 基于美学计算的智能设计方法分析与启示[J]. 装饰, 2022(9): 17-22.
XU Qian-yao, WU Qiong, GONG Wei. Analysis and Enlightenment of Intelligent Design Method Based on Aesthetic Calculation[J]. Art & Design, 2022(9): 17-22.

[28] 陆继翔, 余隋怀, 陆长德. 面向工业设计的智能设计体系[J]. 机械设计, 2020, 37(4): 140-144.
LU Ji-xiang, YU Sui-huai, LU Chang-de. Intelligent Design System for Industrial Design[J]. Journal of Machine Design, 2020, 37(4): 140-144.

[29] 周淼, 蒋澜, 杨越茗. 艺术风格智能认知辨识及其机械设计应用研究[J]. 机械设计与制造, 2023(1): 111-115, 119.
ZHOU Miao, JIANG Lan, YANG Yue-ming. Research on Intelligent Cognitive Identification of Artistic Style and Its Application in Mechanical Design[J]. Machinery Design & Manufacture, 2023(1): 111-115, 119.

[30] ADAPA S K, JAGADISH N A. An Exhaustive Review on Intelligent Computer-Aided Process Planning in Context with Various Optimisation Techniques (OPTE-2021-1994)[J]. International Journal of Materials and Product Technology, 2023, 66(2): 209.

[31] SONG Jia-ye, ZHANG Ze-qun, TANG Dun-bing, et al. Designing and Modeling of Self-Organizing Manufacturing System in a Digital Twin Shop Floor[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2023: 1-17.

[32] ZHOU Hong-gen, SHENG Su-shan, LIU Jin-feng, et al. Research on Intelligent Generation Method of Process Dimension Based on Feature Constraint[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2021, 116(3-4): 1003-1021.

[33] LIECHTY J C, MABEY C S, MATTSON C A, et al. Trade-off Characterization between Social and Environmental Impacts Using Agent-Based Product Adoption Models and Life Cycle Assessment[J]. Journal of Mechanical Design, 2023, 145(3): 032001.

[34] DEMIREL H O, GOLDSTEIN M H, LI Xin-gang, et al. Human-Centered Generative Design Framework: An Early Design Framework to Support Concept Creation and Evaluation[J]. International Journal of Human–Computer Interaction, 2023: 1-12.

[35] ZHANG Shu-you, XU Jing-hua, GOU Hua-wei, et al. A Research Review on the Key Technologies of Intelligent Design for Customized Products[J]. Engineering, 2017, 3(5): 631-640.

[36] 曹玉姝, 崔庆康, 项松. 基于感性工学的通用飞机涂装设计方法研究[J]. 包装工程, 2023, 44(2): 48-55.
CAO Yu-shu, CUI Qing-kang, XIANG Song. Research on General Aircraft Painting Design Method Based on Kansei Engineering[J]. Packaging Engineering, 2023, 44(2): 48-55.

[37] 高志方, 吕靖雯, 彭定洪. 面向用户感性需求的人机交互设计方案评价方法[J]. 系统科学与数学, 2023, 43(3): 610-628.
GAO Zhi-fang, LYU Jing-wen, PENG Ding-hong. User Kansei Needs-Oriented Evaluation Method for Human-Computer Interaction Design Solutions[J]. Journal of Systems Science and Mathematical Sciences, 2023, 43(3): 610-628.

[38] TIMOTIUS E, SUNARDI O, SOENANDI I A, et al. Buyers-Sellers' Value of Courier Services: Assessment in the Indonesian C2c E-Commerce[J]. International Journal of Retail & Distribution Management, 2023, 43(03).

[39] ZUO Xin, ZHANG Chi, HÄMÄLÄINEN T, et al. Cross-Subject Emotion Recognition Using Fused Entropy Features of EEG[J]. Entropy, 2022, 24(9): 1281.

[40] JIANG Hui-min, GUO Gai-cong, SABETZADEH F, et al. Model Variational Consumer Preferences Based on Online Reviews Using Sentiment Analysis and PSO-Based DENFIS Approaches[J]. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 2022, 43(3): 2407-2418.

[41] LAI Xin-jun, ZHANG Sheng, MAO Ning, et al. Kansei Engineering for New Energy Vehicle Exterior Design: An Internet Big Data Mining Approach[J]. Computers & Industrial Engineering, 2022, 165: 107913.

[42] 王克勤, 王志义, 李靖, 等. 面向产品设计改进的顾客偏好分析与预测[J/OL]. 计算机集成制造系统, 1-20 (2023-01-11) [2023-04-27]. http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5946.tp.20230105.1530.010.html.
WANG Ke-qin, WANG Zhi-yi, LI Jing, et al. Customer preference analysis and prediction for product design improvement[J/OL]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 1-20(2023-01-11)[2023-04-27]. http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5946.tp.20230105.1530.010.html.

[43] ZHONG Dai-xing, FAN Jia-shuang, YANG Gang-jun, et al. Knowledge Management of Product Design: A Requirements-Oriented Knowledge Management Framework Based on Kansei Engineering and Knowledge Map[J]. Advanced Engineering Informatics, 2022, 52: 101541.

[44] 林丽, 张云鹍, 牛亚峰, 等. 基于网络评价数据的产品感性意象无偏差设计方法[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2020, 50(1): 26-32.
LIN Li, ZHANG Yun-kun, NIU Ya-feng, et al. Unbiased Design Method for Product Kansei Image Design Based on Network Evaluation Data[J]. Journal of Southeast University (Natural Science Edition), 2020, 50(1): 26-32.

[45] KANG Xin-hui, NAGASAWA S. Integrating Kansei Engineering and Interactive Genetic Algorithm in Jiangxi Red Cultural and Creative Product Design[J]. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 2023, 44(1): 647-660.

[46] HU Tao, XIE Qing-sheng, YUAN Qing-ni, et al. Design of Ethnic Patterns Based on Shape Grammar and Artificial Neural Network[J]. Alexandria Engineering Journal,

2021, 60(1): 1601-1625.

[47] ALCAIDE-MARZAL J, DIEGO-MAS J A, ACOSTA-ZAZUETA G. A 3D Shape Generative Method for Aesthetic Product Design[J]. Design Studies, 2020, 66: 144-176.

[48] 苏建宁，张志鹏，李雄. 人体数据驱动的鼠标形态概念设计[J]. 包装工程, 2022, 43(20): 84-91, 101.
SU Jian-ning, ZHANG Zhi-peng, LI Xiong. Conceptual Design of Mouse Shape Driven by Human Data[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(20): 84-91, 101.

[49] 苏建宁，李菁楠，邱凯，等. 自然语义驱动的产品意象外观创新设计[J]. 机械设计, 2022, 39(10): 119-125.
SU Jian-ning, LI Jing-nan, QIU Kai, et al. Innovative Design of Product Image Appearance Driven by Natural Semantics[J]. Journal of Machine Design, 2022, 39(10): 119-125.

[50] 苏建宁，白睿昇，李雄，等. 基于约束网络的产品进化设计[J]. 兰州理工大学学报, 2021, 47(4): 59-65.
SU Jian-ning, BAI Rui-sheng, LI Xiong, et al. Research on Product Evolutionary Design Based on Constraint Network[J]. Journal of Lanzhou University of Technology, 2021, 47(4): 59-65.

[51] 苏建宁，沈宇浩，杨文瑾，等. 基于认知思维和蛛网结构的产品形态创新设计研究[J]. 包装工程，2021, 42(2): 14-21.
SU Jian-ning, SHEN Yu-hao, YANG Wen-jin, et al. Product Form Innovation Design Based on Cognitive Thinking and Cobweb Structure[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(2): 14-21.

[52] WEI Zhen, NIE Jing-huan. Research on Intelligent Design Mechanism of Landscape Lamp with Regional Cultural Value Based on Interactive Genetic Algorithm[J]. Concurrency and Computation: Practice and Experience, 2021, 33(16): e6273.

[53] 邓正根，吕健，刘翔，等. 基于 StyleGAN 的草图生成产品设计效果图方法研究[J]. 包装工程，2023, 44(6): 188-195.
DENG Zheng-gen, LYU Jian, LIU Xiang, et al. StyleGAN-Based Sketch Generation Method for Product Design Renderings[J]. Packaging Engineering, 2023, 44(6): 188-195.

[54] CHEN Yong-wei, CHEN Rui, LEI Jia-bao, et al. TANGO: Text-Driven Photorealistic and Robust 3D Stylization via Lighting Decomposition[EB/OL]. 2022: arXiv: 2210.11277. https://arxiv.org/abs/2210.11277

[55] GOODFELLOW I, POUGET-ABADIE J, MIRZA M, et al. Generative Adversarial Networks[J]. Communications of the ACM, 2020, 63(11): 139-144.

[56] 阿里巴巴. 鹿班[EB/OL]. (2018-04-21)[2023-03-24]. https://luban.aliyun.com/.
Alibaba. Lu Ban [EB/OL]. (2018-04-21) [2023-03-24]. https://luban.aliyun.com/.

[57] 百度. 文心一言[EB/OL]. (2023-03-16) [2023-03-24]. https://yiyan.baidu.com/.
Baidu. ERNIE Bot[EB/OL]. (2023-03-16) [2023-03-24]. https://yiyan.baidu.com/.

[58] Adobe. Adobe Firefly Preview Reel Final[EB/OL]. (2023-03-22) [2023-08-11]. https://www.adobe.com/sensei/generative-ai/firefly.html.

[59] WU Chen-fei, YIN Sheng-ming, QI Wei-zhen, et al. Visual ChatGPT: Talking, Drawing and Editing with Visual Foundation Models[EB/OL]. 2023: arXiv: 2303.04671. https://arxiv.org/abs/2303.04671

[60] 李少波，全华凤，胡建军，等. 基于在线评论数据驱动的产品感性评价方法[J]. 计算机集成制造系统，2018, 24(3): 752-762.
LI Shao-bo, QUAN Hua-feng, HU Jian-jun, et al. Perceptual Evaluation Method of Products Based on Online Reviews Data Driven[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2018, 24(3): 752-762.

[61] JIN Jian, JIA Dan-ping, CHEN Ke-jia. Mining Online Reviews with a Kansei-Integrated Kano Model for Innovative Product Design[J]. International Journal of Production Research, 2022, 60(22): 6708-6727.

[62] WANG Tian-xiong. A Novel Approach of Integrating Natural Language Processing Techniques with Fuzzy TOPSIS for Product Evaluation[J]. Symmetry, 2022, 14(1): 120.

[63] 丁满，丁婷婷，宋美佳，等. 基于内隐测量和 BP 神经网络的产品色彩情感化设计[J]. 计算机集成制造系统, 2023, 29(2): 616-627.
DING Man, DING Ting-ting, SONG Mei-jia, et al. Product Color Emotional Design Method Based on Implicit Measurement and BP Neural Network[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2023, 29(2): 616-627.

[64] GUO Zhu-en, LIN Li. Cognitive Physiological Data Analysis Based on the XGBoost Algorithm to Realize Positive Perceptual Sample Classification[J]. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 2023, 44(4): 6525-6543.

[65] 杨雯丹，曹国忠. 突破性创新设计方案评价模型[J]. 机械设计, 2022, 39(6): 127-133.
YANG Wen-dan, CAO Guo-zhong. Evaluation Model of Radical Innovative Design Scheme[J]. Journal of Machine Design, 2022, 39(6): 127-133.

[66] 李彦龙，蔡谦，孙久康，等. 基于 BP 神经网络的汽车外观设计评价方法[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2021, 49(1): 116-123.
LI Yan-long, CAI Qian, SUN Jiu-kang, et al. An Evaluation Method of Vehicle Exterior Design Based on BP Neural Network[J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2021, 49(1): 116-123.

[67] 朱斌，杨程，俞春阳，等. 基于深度学习的产品意象识别[J]. 计算机辅助设计与图形学学报，2018, 30(9): 1778-1784.
ZHU Bin, YANG Cheng, YU Chun-yang, et al. Product Image Recognition Based on Deep Learning[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2018, 30(9): 1778-1784.

[68] GUO Z, LIN L, LIU B, et al. Car Emotion Labeling Based on Color-SSL Semi-Supervised Learning Algorithm by Color Augmentation[J]. International Journal of Intelligent Systems, 2023, 2023: 4331838.

责任编辑：陈作