

【专题：设计哲学问题研究及应用】

工业设计决策问题研究

杨延璞¹, 陈登凯², 成沛瑶³

(1.长安大学, 西安 710064; 2.西北工业大学, 西安 710072; 3.哈尔滨工业大学(深圳), 深圳 518055)

摘要: **目的** 对工业设计过程的决策问题进行分析。**方法** 通过分析工业设计决策的特点, 建立了工业设计决策的语义模型, 综述了其研究现状与相关设计决策方法, 指出了工业设计决策面临的问题与挑战, 给出了未来可能的研究方向。**结果** 工业设计决策的模糊性、感性与理性并存、多阶段性、非线性与动态性等特点, 决定了设计决策将面临网络化、动态性、多模态、冲突性、不确定性等挑战, 使得未来研究将从多源数据融合、多阶段联合决策、共识驱动决策、智能决策及借助更多的数学理论和方法等多方面, 推动工业设计决策的科学化、客观化与智能化发展。**结论** 工业设计决策是创新设计过程的重要组成部分之一, 梳理工业设计过程的决策问题, 将对工业设计方法论体系的完善起到补充与推动作用, 减少工业设计过程的无效迭代。

关键词: 工业设计; 设计评价; 设计决策; 问题研究

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)22-0001-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.22.001

Decision-making Problems of Industrial Design

YANG Yan-pu¹, CHEN Deng-kai², CHENG Pei-yao³

(1.Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2.Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China;
3.Harbin Institute of Technology (Shenzhen), Shenzhen 518055, China)

ABSTRACT: The work aims to analyze the decision-making problems in industrial design. Through analyzing the decision-making characteristics of industrial design, a semantic model of decision-making was established to review the current research and relevant design decision-making methods, point out the problems and challenges faced by industrial design decision-making, and provide the possible research directions in the future. Industrial design decision-making carried the characteristics of fuzziness, combination of emotional and rational elements, multi-stage, non-linearity, and dynamics, further determining that the design decision-making was required to face the challenges on networking, dynamics, multi-modality, conflict and uncertainty. Therefore, the future research would focus on multi-source data fusion, multi-stage joint decision-making, consensus-driven decision-making, intelligent decision making, and more mathematical theories and methods to promote the scientific, objective and intelligent development of industrial design decision-making. Industrial design decision-making is one of the important parts in innovative design process. The investigation on decision-making problems in industrial design process will complement and promote the perfection of the theoretical system of industrial design method and reduce the ineffective iteration of industrial design process.

KEY WORDS: industrial design; design evaluation; design decision-making; problem research

《中国制造 2025》提出, 坚持“创新驱动、质量为先、绿色发展、结构优化、人才为本”的基本方针,

将创新摆在了国家发展全局的核心位置。而工业设计的核心是创新, 创新设计是科技成果转化现实生产

收稿日期: 2020-09-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(51805043); 陕西省青年科技新星项目(2019KJXX-059); 长安大学中央高校基金项目(300102259202)

作者简介: 杨延璞(1984—), 男, 河南人, 博士, 长安大学副教授, 主要从事设计决策、工业设计理论与方法等方面的研究。

力的关键环节,集技术、人本、艺术、文化和商业模式创新于一体。这种多领域交叉特征使得工业设计的创新过程呈现复杂、多解性,创新成果固化通过发散—收敛、搜索—筛选实现,包含“问题”、“解”与“决策”三个作用单元^[1-2]。设计决策作为创新设计的组成部分,对创新设计的成败至关重要,设计决策和估计的失误可能给整个设计带来灾难性后果^[2]。

工业设计决策过程常由工程师、营销人员、用户、企业管理层等合作完成,由于主观偏好、背景知识和经验等的不同,决策群体认知背景存在差异,决策标准广泛多样。同时由于工业设计过程感性与理性并存的特点,使得设计决策变得复杂、模糊,充满不确定性。梳理工业设计过程的决策问题,将对工业设计方法论体系的完善起到补充与推动作用,减少工业设计过程的无效迭代。

1 工业设计决策的特点

工业设计关注用户,用户的生理和心理需求的满足是工业设计的出发点和落脚点。生理需求的满足依赖功能的物化与实现,心理需求则是用户体验经济和以用户为中心的理念下工业设计的焦点。以此出发,功能和情感的差异化塑造成为设计开发的重要策略,面向用户需求的问题求解成为工业设计工作的重要核心。

工业设计过程的输入是用户需求,输出是用户满意解,中间过程由设计师借助创造性思维对设计资源、设计策略、设计约束等综合演绎,推动设计行为的执行、设计进程的进行和设计成果的固化。“分析-综合-评估”(Analysis-Synthesis-Evaluation, ASE)^[3]是典型的设计进程之一,设计师对需求进行分析,提出解决方案并进行综合、评估,并通过设计决策实现设计进程间的转换。这是多领域、多学科知识和资源的综合应用过程,使得工业设计决策呈现如下特点。

1) 模糊性。由于工业设计过程的不良定义(Ill-defined)特性^[4],设计问题的求解是从弱构(Ill-structure)到良构(Well-structure)转化的过程^[5]。设计任务前期的设计信息无法准确获取与描述,设计过程依赖专家经验实现设计编码与解码,设计结果对设计问题的响应效果难以准确度量,用户的反馈量化计算困难,这些问题的存在影响设计决策过程的准确性和客观性。

2) 感性与理性并存。感性是人对某件事物产生的心理感觉与意象,与人的情感相关;理性则是理智逻辑的分析和判断。工业设计的多学科交叉特性决定了设计过程没有纯粹的感性思维或理性思维,感性思维必然会上升到理性思维的层次,理性思维必然以感性思维为基础^[6]。感性与理性交叉融合,引发人们产生浅层情感认知与深层逻辑理解,通过平衡与妥协做出综合判断。

3) 多阶段性、非线性与动态性。工业设计过程是包括技术、社会 and 认知进程的复合进程^[7],多领域设计知识在其中交融、演化,这使得设计进程呈现多阶段性、非线性与动态性的特点。设计过程可按照时期、层面、阶段、任务和活动划分为多个粒度,各粒度之间存在相互交叉、融合、演化等相互作用,下游粒度的执行依赖于对上游粒度的决策,上游粒度的执行结果决定下游粒度的选择与输入。

2 工业设计决策的语义模型

问题求解是驱动设计的重要方式^[8]。工业设计问题的求解过程包含问题初始状态、目标状态和求解策略^[9],历经概念设计、方案设计、详细设计等阶段,通过不断修正和深化形成用户满意解。该过程是问题与方案共进过程^[10-11],共进的基础在于决策,设计决策是联系问题空间与解空间的重要纽带。为有效描述工业设计决策问题,引入语义模型建立问题空间-设计决策-解空间的相互关系,见图1。图1显示了九种语义联系,分别是综合、细化、替代、展开、质疑、响应、支持、反对、提示。

1) 问题空间。问题空间反映用户需求,当需求不满足时,问题空间对解空间和设计决策产生质疑。设计过程的渐进特征决定了问题空间会在求解过程被设计师综合、细化、替代或展开。

2) 解空间。解空间是设计师创造性思维的体现,对设计过程的任一问题解空间都需对其响应,从而可能产生一个或多个解。解空间中元素可进一步细化或综合形成新的解集。

3) 设计决策。设计决策是对问题求解的筛选,通过对某一解的支持、反对或对多个解的提示综合形成解空间。设计决策的目的是在设计过程中去除不可行的解,实现问题空间和解空间的有效映射。

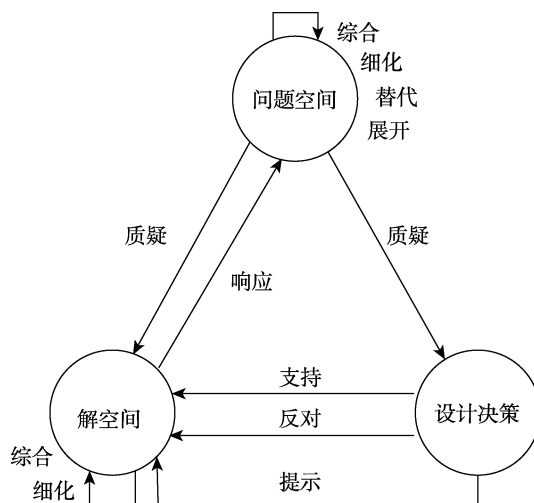


图1 问题空间-设计决策-解空间语义模型
Fig.1 Semantic model of problem space-design decision-making-solution space

3 工业设计决策研究现状

设计决策过程一般包含有限个方案集、各方案的属性集及决策专家集,则其问题可描述为对不同方案依据不同专家结合属性集给出的决策信息进行综合和排序,以确定最优方案的过程。设计决策的基础是设计评价,当前设计决策研究主要从实验评价、数学评价、在线评价三个方面进行。

1) 实验评价。实验评价通过采集评价人员对产品设计的美观体验相关的生理和心理数据进行方案优选,常用方法包括利用眼动仪获取评价者眼动数据^[12-13]、利用脑电仪采集评价者脑电数据^[14-15]及这两种方法的混合应用^[16]等。

2) 数学评价。数学评价则通过设定评价指标,由评价者对设计方案进行打分,利用数学公式计算得到客观量化的结果,如粗糙集评价法^[17]、层次分析法^[18]、主成分分析法^[19]、支持向量回归^[20]、神经网络^[21]、深度学习^[22]等。

3) 在线评价。在线评价是网络信息化发展的必然趋势,其特点是以语言信息为主。因此,在线评价主要途径是通过数据挖掘技术,对在线用户评价数据进行获取、聚类处理与分析挖掘,获取隐藏在网络上海量数据中的信息,相关研究方法包括大数据^[23]、自然语言处理^[24]、文本挖掘^[25]等。

设计评价的基础是对用户的认知数据获取,通过合理、有效的数据分析与处理,为设计决策形成有价值的参考。因此,评价过程的客观性和科学性就显得尤为重要。以上三方面研究均借助量化工具对设计方案的用户感知进行分析,其对设计决策的支撑作用,见图2。

4 工业设计决策方法

设计方案的群体决策问题可分解为指标权重及专家权重确定、决策信息集成、方案排序三个步骤,其理论基础是模糊理论、系统理论、运筹学、计算机科学等。因此,根据工业设计决策的特点与语义模型,论文从研究现状出发总结当前工业设计决策的主要方法,包括权重确定方法、决策信息集成方法与方案排序方法。

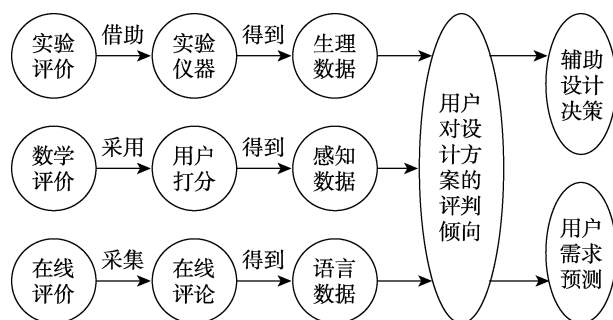


图2 设计评价对设计决策的支撑作用

Fig.2 Supporting effect of design evaluation on design decision-making

1) 权重确定方法。权重确定方法有主观赋权法和客观赋权法,主观赋权法包括德尔菲法(Delphi)^[26]、层次分析法^[27]、优序图法^[28]等,客观赋权法包括熵值法^[29-30]、主成分分析法^[31]、因子分析法^[32]、多目标优化法^[33-34]等。

2) 决策信息集成方法。决策信息集成是对指标和评价专家权重值综合处理成统一的表达模式,目的是将个体信息集结为群体信息,从而实现对设计方案的排序优选,代表性的方法有逼近理想解排序法(Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution, TOPSIS)法^[35-36]、表达现实的淘汰与选择法(ELimination and Choice Expressing REality, ELECTRE)^[37-38]、多准则妥协解排序法(VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje, VIKOR)法^[39-40]等。

3) 方案排序方法。设计方案排序可用简单的数值排序实现,相对复杂的为模糊信息的排序,如基于模糊数^[41]、区间数^[42]、直觉模糊数^[43]、语言信息^[44]的排序方法等。

5 工业设计决策面临的问题与挑战

现代设计环境日益复杂,众包(Crowdsourcing)^[45]、云平台等^[46]在线协作创新模式逐渐得以应用,大数据技术逐步用于用户在线数据分析与挖掘^[47],使得设计决策成为一种充满挑战性的任务,呈现出网络化、动态性、多模态、冲突性、不确定性等特性,具体归纳如下。

1) 网络化。随着多种网络协作创新模式的应用,工业设计多主体与客体间组成复杂的系统,表现为用户群体数量庞大,参与设计师知识背景各异,且他们的相互关系存在复杂性,决策数据量的增加对设计主体与客体决策信息的集结与处理成为难题。

2) 动态性。多阶段设计过程间决策信息的链接方式具有动态发展与非线性特质,决策主体与客体、决策方式与结果会随着设计进程的推进而动态演化,以某一次决策意见作为设计方案选定依据可能影响最终设计决策结果的准确性和客观性。

3) 多模态。对于同一设计方案的决策数据可能存在多种形式,如声音、视频、文字、脑电、眼动等多模态测量,这些数据之间的相互融合与一致性关系需要给出合适的处理方法。

4) 冲突性。工业设计方案的筛选一般由群体做出决策,而决策群体普遍存在社会经验、知识背景、教育经历等方面的差异,当多个主体给出不一致意见时即形成冲突,集结带有冲突的决策数据会产生与直觉不一致的结果,从而产生认知与决策的偏差。因此,在设计方案筛选时需考虑决策数据间的一致性问题。

5) 不确定性。由于用户感知的模糊特性,用户难以对设计方案进行准确描述与分析,设计决策过程

的方案偏好信息、属性值信息、属性权重、专家权重可能存在部分未知或全部未知,使得多个方案对比分析时呈现出不确定性特点,从而使用户的评价数据集结变得更为复杂。

6 前沿发展方向

工业设计决策问题已得到广泛关注且取得了一系列进展,但面对当前问题与挑战,未来仍存在以下发展方向。

1) 基于多源数据融合的决策。目前工业设计决策研究均关注单源数据,鲜有有效的方法对多维用户数据(如实验数据、用户线上与线下评价数据等)进行综合集成。这无法满足未来在大体量、多维度、全面化评价数据支撑下的设计开发需求,设计决策数据的获取方式需要根据设计特点进行优化配置,多源设计决策数据的融合处理方式是未来的可能研究方向之一。

2) 多阶段联合决策。工业设计过程一般包括多个阶段,前后不同阶段之间存在信息交流与反馈,线性设计模式在当前复杂的设计环境下并不适用。考虑工业设计的多阶段特点,将多阶段决策信息与数据进行综合考虑,将会使最终决策结果更为客观、全面和可靠。已有部分研究已考虑到该问题^[48],但对多设计阶段之间的意见交互及对设计决策结果的影响研究考虑尚不够全面,未来尚需深入研究。

3) 共识驱动的决策。工业设计过程的决策人员常具有多学科背景,知识背景、社会阅历、决策经验等的差异性决定了设计决策的异质性特征,决策信息多源异构会引发设计决策过程的矛盾冲突与不一致性。因此,当群体决策成为一种趋势,如何对设计决策中的共识进行检测、识别并促进共识达成,将成为研究者需关注的重要问题之一。笔者已对工业设计决策中的共识问题进行了初步研究^[49-50],但当决策数据集发生改变时,共识的识别与达成仍是一个难点。

4) 智能决策。随着网络化技术的发展,工业设计过程的决策数据日益复杂和多样,传统以人为主导的决策数据处理方法已难以满足大数据环境下的数据量级和维度要求,这使得融合大数据和人工智能技术的决策方法日益得到重视,建立自动识别、判断、推理并能做出实时决策与预测的智能化系统,将有利于实现设计需求预测、设计过程监测及设计结果用户满意度的动态检测。

5) 借助更多的数学理论和方法。目前,模糊理论已成为工业设计决策问题的重要基础理论之一,为解决设计决策中的模糊、不确定、不准确问题提供了有效的方法。而复杂网络、大数据等理论在设计决策中已有应用,但应在进一步深刻理解其原理和应用基础上进行适应性改进和创新。

7 结语

设计决策是工业设计过程必不可少的环节之一,它能够帮助设计师实现对设计目标的准确定位,集结多方决策人员的意见并进行综合处理,获取各设计方案的优劣顺序,确定各方案的用户需求满意程度,推动设计进程良性发展。随着设计环境日趋复杂,工业设计过程的异质性问题日益突出,决策数据呈现多元、多源、高维等特点,这将对设计过程带来挑战。关注工业设计决策问题,利用科学的实验手段、数学方法与系统化工具,从多源数据融合、多阶段联合决策、共识驱动决策、智能决策及借助更多的数学理论和方法等多方面推动工业设计决策的科学化、客观化与智能化发展,将对工业设计理论和方法的完善和发展起到积极有益的作用,为设计实践活动的有效开展提供重要支持。

参考文献:

- [1] 谭正棠, 赵江洪. 论工程机械造型设计决策的认知与行为[J]. 包装工程, 2015, 36(22): 62-66.
TAN Zheng-tang, ZHAO Jiang-hong. The Cognition and Behavior in the Decision-making Process of Engineering Machinery Design[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(22): 62-66.
- [2] 张成林. 基于决策的概念设计过程模型[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 1993, 2(5): 136-140.
ZHANG Cheng-lin. A Decision-based Process Model for Conceptual Design[J]. Journal of Computer-aided Design & Computer Graphics, 1993, 2(5): 136-140.
- [3] BRAHA D, MAIMON O. The Design Process: Properties, Paradigms, and Structure[J]. Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, 1997, 27(2): 146-166.
- [4] KRUGER C, NIGEL C. Solution Driven Versus Problem Driven Design: Strategies and Outcomes[J]. Design Studies, 2006, 27(5): 527-548.
- [5] 刘玲玲. 基于多维特征和整体性认知的产品设计方法研究[D]. 南京: 东南大学, 2017.
LIU Ling-ling. Product Design Method Based on the Multi-dimension Features and the Integrative Cognition[D]. Nanjing: Southeast University, 2017.
- [6] 李启光. 产品设计中感性因素与理性因素的研究[D]. 湖南大学, 2003.
LI Qi-guang. The Study of the Sensitivity Factor and the Logic Factor in the Product Design [D]. Changsha: Hunan University, 2003.
- [7] 刘征, 孙凌云, 鲁娜. 面向过程的工业设计知识地图构建[J]. 机械工程学报, 2010, 46(8): 181-187.
LIU Zheng, SUN Ling-yun, LU Na. Construction of Process-oriented Industrial Design Knowledge Map[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2010, 46(8):

- 181-187.
- [8] 赵江洪. 设计艺术的含义[M]. 长沙: 湖南大学出版社, 2005.
- ZHAO Jiang-hong. The Meaning of Design Art[M]. Changsha: Hunan University Press, 2005.
- [9] 王知行, 林琳, 钟诗胜, 等. 知识管理系统中的 CBR 技术及其应用[J]. 计算机集成制造系统, 2003, 9(7): 551-554.
- WANG Zhi-xing, LIN Lin, ZHONG Shi-sheng, et al. Case-based Reasoning Technology in Knowledge Management[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2003, 9(7): 551-554.
- [10] DORST K, CROSS N. Creativity in the Design Process: Co-evolution of Problem Solution [J]. Design Studies, 2001, 22(5): 425-437.
- [11] 刘征, 鲁娜. 基于问题方案共进模型的设计知识获取方法[J]. 中国机械工程, 2011, 22(10): 1207-1213.
- LIU Zheng, LU Na. Method of Design Knowledge Acquisition Based on Co-evolution Model of Problem & Solution[J]. China Mechanical Engineering, 2011, 22(10): 1207-1213.
- [12] 李运, 郭钢. 基于多项眼动数据的产品造型方案评选模型[J]. 计算机集成制造系统, 2016, 22(3): 658-665.
- LI Yun, GUO Gang. Selection Model of Product Shape Schemes Based on Multiple Eye Movement Data[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2016, 22(3): 658-665.
- [13] LIN C J, CHANG C C, LEE Y H. Evaluating Camouflage Design Using Eye Movement Data[J]. Applied Ergonomics, 2014, 45(3): 714-23.
- [14] YEH Y C, LIN C W, HSU W C, et al. Associated and Dissociated Neural Substrates of Aesthetic Judgment and Aesthetic Emotion during the Appreciation of Everyday Designed Products[J]. Neuropsychologia, 2015, 73: 151-160.
- [15] GUO Fu, DING Yi, WANG Tianbo, et al. Applying Event Related Potentials to Evaluate User Preferences toward Smartphone Form Design[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2016, 54(C): 57-64.
- [16] 唐帮备, 郭钢, 王凯, 等. 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, GUO Gang, WANG Kai, et al. User Experience Evaluation and Selection of Automobile Industry Design with Eye Movement and Electroencephalogram[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2015, 21(6): 1449-1459.
- [17] ZHU Guo-niu, HU Jie, QI Jin, et al. An Integrated AHP and VIKOR for Design Concept Evaluation Based on Rough Number[J]. Advanced Engineering Informatics, 2015, 29(3): 408-418.
- [18] HSIAO S W, HSU C F, LEE Y T. An Online Affordance Evaluation Model for Product Design [J]. Design Studies, 2012, 33(2): 126-159.
- [19] 杨程, 孙守迁, 刘征, 等. 基于主成分分析的产品外观设计决策模型[J]. 中国机械工程, 2011, 22(18): 2218-2223.
- YANG Cheng, SUN Shou-qian, LIU Zheng, et al. Decision-making Model of Product Design Based on Principal Component Analysis[J]. China Mechanical Engineering, 2011, 22(18): 2218-2223.
- [20] 丁满, 徐芙蓉, 赵芳华, 等. 基于进化定律和支持向量回归的产品造型意象评价方法[J]. 机械设计, 2018, 35(11): 105-110.
- DING Man, XU Fu-rong, ZHAO Fang-hua, et al. Product Modeling Image Evaluation Method Based on Evolutionary Law and Support Vector Regression[J]. Journal of Machine Design, 2018, 35(11): 105-110.
- [21] SHIEH M D, YEH Y E. Developing a Design Support System for the Exterior Form of Running Shoes Using Partial Least Squares and Neural Networks[J]. Computers & Industrial Engineering, 2013, 65(4): 704-718.
- [22] 王亚辉, 余隋怀, 陈登凯, 等. 基于深度学习的人工智能设计决策模型[J/OL]. 计算机集成制造系统. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5946.TP.20180921.1101.008.html>.
- WANG Ya-hui, YU Sui-huai, CHEN Deng-kai, et al. Artificial Intelligence Design Decision Making Model Based on Deep Learning[J/OL]. Computer Integrated Manufacturing Systems, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5946.TP.20180921.1101.008.html>.
- [23] 杨程, 谭昆, 俞春阳. 基于评论大数据的手机产品改进[J/OL]. 计算机集成制造系统. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5946.TP.20190606.1053.008.html>.
- YANG Cheng, TAN Kun, YU Chun-yang. Phone Product Improvement Based on Big Data of Comment[J/OL]. Computer Integrated Manufacturing Systems, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5946.TP.20190606.1053.008.html>.
- [24] Yiru Jiao, Qing-Xing Qu. A Proposal for Kansei Knowledge Extraction Method Based on Natural Language Processing Technology and Online Product Reviews[J]. Computers in Industry, 2019, 108: 1-11.
- [25] W M Wang, Z Li, Z G Tian, et al. Extracting and Summarizing Affective Features and Responses from Online Product Descriptions and Reviews: a Kansei Text Mining Approach[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2018, 73: 149-162.
- [26] H A Linstone, M Turoff. The Delphi Method: Techniques and Applications[M]. Reading Mass: Addison-Wesley, 1975.
- [27] Saaty T L, Alexander J, Conflict Resolution. The Analytic Hierarchy Process[M]. New York: Praeger, 1989.
- [28] 刘文远, 武丽霞, 王宝文. 基于优序图加权的多维稀疏模糊推理方法[J]. 计算机工程, 2009, 35(11): 210-212.
- LIU Wen-yuan, WU Li-xia, WANG Bao-wen. Multidimensional Sparse Fuzzy Reasoning Method Based on Weight of Precedence Chart[J]. Computer Engineering, 2009, 35(11): 210-212.
- [29] G Yari, A R Chaji. Maximum Bayesian Entropy Method for Determining Ordered Weighted Averaging Operator

- Weights[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2012, 63(1): 338-342.
- [30] Ting-Yu Chen, Chia-Hang Li. Objective Weights with Intuitionistic Fuzzy Entropy Measures and Computational Experiment Analysis[J]. *Applied Soft Computing*, 2011, 11(8): 5411-5423.
- [31] Liu B, Shen Y, Zhang W, et al. An Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy Principal Component Analysis Model-Based Method for Complex Multi-Attribute Large-Group Decision-Making[J]. *European Journal of Operational Research*, 2015, 245(1): 209-225.
- [32] Bartholomew D J, Steele F, Galbraith J, et al. Analysis of Multivariate Social Science Data. *Statistics in the Social and Behavioral Sciences Series*[M]. Taylor & Francis, 2008.
- [33] Fanyong Meng, Qiang Zhang. Induced Continuous Choquet Integral Operators and Their Application to Group Decision Making[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2014, 68(1): 42-53.
- [34] Yulan Wang, Huayou Chen, Ligang Zhou. Logarithm Compatibility of Interval Multiplicative Preference Relations with an Application to Determining the Optimal Weights of Experts in the Group Decision Making[J]. *Group Decision & Negotiation*, 2013, 22(4): 759-772.
- [35] Zhongliang Yue. TOPSIS-based Group Decision-Making Methodology in Intuitionistic Fuzzy Setting[J]. *Information Sciences*, 2014, 277(2): 141-153.
- [36] Ting-Yu Chen. The Inclusion-based TOPSIS Method with Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy Sets for Multiple Criteria Group Decision Making[J]. *Applied Soft Computing*, 2015, 26: 57-73.
- [37] Ting-Yu Chen. An ELECTRE-based Outranking Method for Multiple Criteria Group Decision Making Using Interval Type-2 Fuzzy Sets[J]. *Information Sciences*, 2014, 263(3): 1-21.
- [38] Hatami-Marbini A, Tavana M. An Extension of the ELECTRE I Method for Group Decision-Making under a Fuzzy Environment[J]. *Omega*, 2011, 39(4): 373-386.
- [39] Xiao-Yue You, Jian-Xin You, Hu-Chen Liu, et al. Group Multi-Criteria Supplier Selection Using an Extended VIKOR Method with Interval 2-Tuple Linguistic Information[J]. *Expert Systems with Applications*, 2015, 42(4): 1906-1916.
- [40] Yiicenu G N, Demirel N. Group Decision Making Process for Insurance Company Selection Problem with Extended VIKOR Method under Fuzzy Environment[J]. *Expert Systems with Applications*, 2012, 39(3): 3702-3707.
- [41] Feng Zhang, Ignatius J, Chee Peng Lim, et al. A New Method for Ranking Fuzzy Numbers and Its Application to Group Decision Making[J]. *Applied Mathematical Modeling*, 2014, 38(4): 1563-1582.
- [42] Geetha S, Nayagam V L G, Ponalagusamy R. A Complete Ranking of Incomplete Interval Information[J]. *Expert Systems with Applications*, 2014, 41(4): 1947-1954.
- [43] Zeshui Xu. Intuitionistic Fuzzy Aggregation Operators[J]. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2007, 15(6): 1179-1187.
- [44] Herrera R, Martinez L. A 2-Tuple Fuzzy Linguistic Representation Model for Computing with Words[J]. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2000, 8(6): 746-752.
- [45] Kosa Goucher-Lambert, Jonathan Cagan. Crowdsourcing Inspiration: Using Crowd Generated Inspirational Stimuli to Support Designer Ideation[J]. *Design Studies*, 2019, 61: 1-29.
- [46] 初建杰, 李雪瑞, 余隋怀. 面向工业设计全产业链的云服务平台关键技术研究[J]. *机械设计*, 2016(11): 129-132.
- CHU Jian-jie, LI Xue-rui, YU Sui-huai. Key Technologies of Cloud Service Platform Oriented to the Whole Chain of Industrial Design[J]. *Journal of Machine Design*, 2016(11): 129-132.
- [47] Yiru Jiao, Qing-Xing Qu. A Proposal for Kansei Knowledge Extraction Method Based on Natural Language Processing Technology and Online Product Reviews[J]. *Computers in Industry*, 2019, 108: 1-11.
- [48] 张发明, 熊洁旖. 基于动态加权网络凝聚度的交互式评价信息集结法[J]. *管理学报*, 2018, 15(8): 1231-1239.
- ZHANG Fa-ming, XIONG Jie-yi. A Method of Information Aggregation in Interactive Evaluation Based on Dynamic and Weighted Network Coherence[J]. *Chinese Journal of Management*, 2018, 15(8): 1231-1239.
- [49] 杨延璞, 顾蓉, 古玉锋. 基于 PAM 聚类的工业设计方案评价共识度达成方法[J]. *计算机集成制造系统*, 2017, 23(7): 1386-1393.
- YANG Yan-pu, GU Rong, GU Yu-feng. Method for Reaching a Consensus in Industrial Design Evaluation Based on Pam Clustering[J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2017, 23(7): 1386-1393.
- [50] Yan-pu Yang. A Method for Consensus Reaching in Product Kansei Evaluation Using Advanced Particle Swarm Optimization[J]. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2017: 1-8.