

【选题策划】系统创新设计思维、方法与实践

基于科学文献计量的概念设计知识图谱研究

徐江, 孙刚, 叶露, 徐静妤
(同济大学, 上海 200092)

摘要: **目的** 探究概念设计研究的知识结构关系及谱系特征。**方法** 在我国科学基金资助的文献基础上, 借助 Citespace 软件可视化, 构建概念设计研究的知识图谱。**结论** 首先, 通过作者共被引分析法, 剖析概念设计领域的代表性学者及概念设计过程模型、产品信息建模、概念设计推理技术、计算机辅助概念设计等研究主题; 其次, 运用共词分析和聚类分析法, 阐释研究领域涵盖的设计结构矩阵、设计认知、产品配置、产品进化等知识聚类; 最后, 利用引文分析法, 探测概念设计在不同发展阶段的图谱特征, 从而为基于科学文献的研究提供新视角和新思路。

关键词: 概念设计; 知识图谱; 科学基金; 文献计量

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)22-0001-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.22.001

Knowledge Map of Conceptual Design Based on Bibliometrics in View of Scientific Funds

XU Jiang, SUN Gang, YE Lu, XU Jing-yu
(Tongji University, Shanghai 200092, China)

ABSTRACT: In order to explore the knowledge structural relationship and pedigree characteristics of conceptual design research, this paper builds the knowledge map of conceptual design by Citespace V on the basis of literature supported by China scientific funds. First of all, through the method of author co-citation analysis, the key scholars in the field of conceptual design and the research topics such as conceptual design process model, product information modeling, conceptual design reasoning technology and computer-aided conceptual design are analyzed. Then, by using co-word analysis and cluster analysis, the knowledge clusters including design structure matrix, design cognition, product configuration and product evolution covered in this research field are explained. Finally, citation analysis method is used to explore the graph spectral features of different development stages of conceptual design, which provides a new perspective and a new idea for interdisciplinary design scientific review based on scientific literature.

KEY WORDS: conceptual design; knowledge map; scientific funds; bibliometrics

在知识网络时代, 知识生产模式和科学知识结构不断演化, 求知途径的科学范式得到了多样化发展^[1]。概念设计是指以设计要求和条件为输入, 以最佳方案为输出的系统性工作流程, 包含了从分析用户需求、定义产品功能到形成原理方案解、生成概念产品的一系列有目标的设计活动^[2-4]。其本身具有创新性、多样性和层次性等特点, 需要众多相关学科和系统的支撑。因此对概念设计的研究需要以跨学科和综合性

的方法形成理论性的回顾和反思, 构建系统性的知识结构^[5]。

1 研究背景

知识图谱以科学知识为对象, 以图形化的方式显现知识元或知识群间网络的互动、交叉、演化或衍生等诸多复杂关系, 为研究者把握正确的方向和找准研

收稿日期: 2018-10-09

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51675382, 51575158); 上海市设计学 IV 类高峰学科资助项目(DA17001, DB17001, DB18106); 同济大学研究生教育改革与研究项目(2018GH27003)

作者简介: 徐江(1978—), 男, 湖南人, 博士, 同济大学教授, 主要研究方向为设计计算、设计认知、设计战略。

通信作者: 孙刚(1995—), 男, 江苏人, 同济大学硕士生, 主攻设计计算。

研究的切入点提供可靠的量

化信息^[6]。刘则渊等运用多种计量学方法绘制科学知识图谱,深入描绘了该学科的主流研究领域及其演变情况^[7];陈超美等开发出知识图谱绘制工具——Citespace,有利于识别和展现某一领域的关键文献、热点研究和前沿方向^[8];许振亮等运用知识图谱等相关技术,对国际创新管理的 10 个代表性期刊进行了科学计量分析^[9];胡泽文等系统梳理了国内知识图谱在情报学和文献计量等领域的应用概况^[10]。本文在概念设计综述研究中引入知识图谱,基于国家自然科学基金视角深入研究概念设计的层次分布和发展态势,综合运用多种文献计量学方法,对概念设计内部的抽象知识进行形象表征和基础性分析,以可视化的方式展现其主题分布及内在发展逻辑,以图形化

的方式准确探测其研究前沿及演变规律。

2 数据来源和研究方法

2.1 数据来源

本文基于国家自然科学基金视角,搜集整理了 1997—2017 年间与设计学相关的 366 项国家自然科学基金项目^[17],其中约有 77 项基金项目与概念设计相关,概念设计领域的基金项目见表 1。随后搜集了隶属于该基金项目的文献数据,得到 1338 篇与设计学密切相关的期刊文献,经专家反复筛选后得到 297 篇与概念设计强相关的期刊文献,最后从 Web of Science 中导出其题目、作者、关键词、摘要、参考文献等数据,导入 Citespace V 进行分析。

表 1 概念设计领域的基金项目
Tab.1 Fund projects in the field of conceptual design

序号	名称	负责人	单位	类别
1	基于多视角的概念设计建模及表达的研究	李彦	四川大学	面上项目
2	面向模糊前端 (FFE) 的机械产品创新设想产生系统化方法研究	檀润华	河北工业大学	面上项目
3	创意设计柔性众包的动态机理研究	孙凌云	浙江大学	面上项目
4	基于复杂链接网络的设计情境认知诊断方法研究	徐江	同济大学	面上项目
5	复杂产品概念设计中功能—结构映射过程可靠性设计方法研究	潘柏松	浙江工业大学	面上项目
6	复杂机械产品设计意图驱动设计原理、方法及应用研究	冯毅雄	浙江大学	面上项目

2.2 研究方法

借助科学知识图谱,本文主要运用作者共被引分析、共词分析、引文分析等文献计量方法,借助 Citespace V 构建概念设计知识图谱。通过作者共被引分析概念设计领域的主要研究学者及其研究方向,直观地展示出关键学者间的相互关联;通过对关键理论“图元”的总结和分析,分析重要理论的内涵及其演化和发展历程;通过共词分析与聚类分析构建概念设计领域的热点知识图谱,形象地展示其总体知识结构和热点分布;通过引文分析具象化概念设计领域的知识流动过程,描述该领域知识产生、传播、应用的过程,探测其研究前沿和动态趋势。

3 概念设计知识图谱分析

3.1 概念设计的内涵

概念设计最早由 Palh 和 Beitz 于 1984 年提出,他们认为概念设计是指“在确定任务之后,通过抽象化,拟定功能结构,寻求适当的作用原理及其组合,确定出基本求解途径,得出求解方案的设计工作”^[2]。此后国内外学者对概念设计的定义进行了多角度阐述: Frence 认为“概念设计首先是要弄清设计要求和条件,然后生成框架式的广泛意义上的解”^[3];邓家赓认为概念设计是指“由分析用户需求到生成概念产

品的一系列有序的、可组织的并有目标的设计活动”^[4]。

广义上的概念设计包含了从产品的需求分析到进行详细设计之前的设计过程,包括功能设计、原理设计、形状设计、布局设计和初步的结构设计^[12]。概念设计具有创新性、多样性和层次性的特点,不同情境下的概念设计可能会获得不同求解方案,这种随机性和不确定性导致概念设计的过程异常复杂,体现出极高的智能性和创新性^[13]。

3.2 关键学者的研究方向分析

通过构建概念设计领域作者共被引图谱,可以了解该领域关键学者间的相互关联,进而判断该领域的主要研究方向及动态变化。概念设计领域的关键学者主要包括檀润华、冯培恩、李彦、邓家赓、孙守迁、唐敦兵等。

进一步整理关键学者的相关文献,深入挖掘其研究动态,发现概念设计的研究方向包括概念设计方法学、知识表达和产品信息建模、辅助工具开发等多个范畴。对概念设计过程的模型研究一直是概念设计方法学的焦点,主要的理论和方法包括以发明问题解决理论为基础的类比设计模型、概念设计认知过程模型、直觉思维和逻辑思维相结合的创新设计模型、创新思维的旋转动力学理论框架等。在产品信息建模方面,概念设计研究主要集中于对功能表达、分解和组

合。概念设计推理技术主要研究设计过程方案的求解技术，包括定性推理、基于实例的推理、神经网络、基于知识的推理和基于约束的推理等。在计算机辅助建模方面，相关学者综合运用概念设计理论与方法，开发了多种概念设计过程工具。

产品基因理论的提出和发展有助于概念设计的原理创新。产品信息理论包括产品信息基因模型、产品信息代码化和产品信息标准化 3 个部分，产品信息基因理论框架见图 1；建立的产品信息、概念、结构基因模型以及分析其在产品生命周期的演变过程，见图 2；提出的“产品基因”的概念及转录、翻译、复制以及逆转录的机理，从而建立的基于产品基因的原理方案设计过程的映射模型，见图 3；提出的能量转换型原理解的产品基因模型，见图 4。

3.3 概念设计研究热点挖掘

运用 Citespace V 的共词分析功能，生成概念设计领域的关键词共现知识图谱，共有节点 552 个，连线 1293 条，全网络的轮廓值为 0.88。对共词网络进行聚类可以发现 7 个主要聚类知识群见图 5 所示。

聚类#0——概念设计共包含 52 个成员，主要包含概念设计、映射、设计特征、模糊层次分析法、功能推理等关键词。概念设计通过抽象化拟定功能结构，寻求适当的原理组合以界定设计特征内涵；通过遗传算法、层次分析法等确定功能结构建模的映射策略，以得到合理的求解方案。

聚类#1——产品创新共包含 43 个成员，主要包含产品创新、方案评价、产品开发、模糊前端、类比

设计等关键词。产品创新的研究方法包括通过集成解决理论、约束理论、未预见发现等，综合运用功能解创新设计、零部件创新设计等，着力设计出结构新颖、性能优良的高效产品。

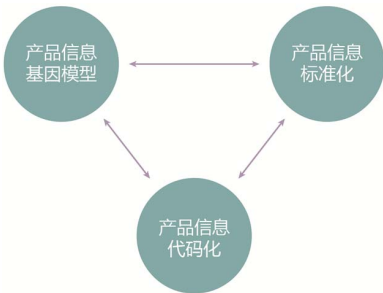


图 1 产品信息基因理论框架
Fig.1 Theoretical framework of product information gene

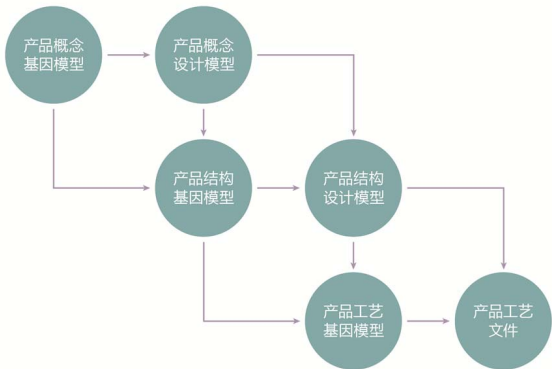


图 2 产品基因模型的演变过程
Fig.2 Evolution process of product gene model

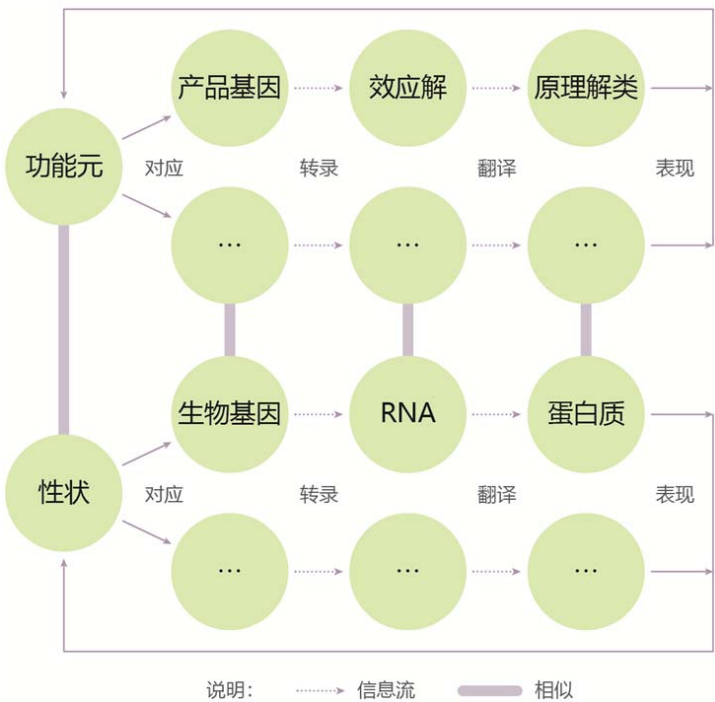


图 3 基于产品基因的原理方案设过程的映射模型
Fig.3 The mapping model of process is based on the principle of product gene

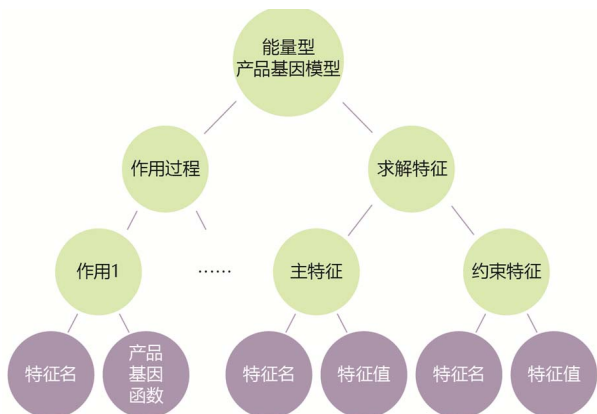


图4 能量转换型产品基因模型

Fig.4 Energy conversion product gene model

聚类#2——产品进化共包含 37 个成员，主要包含创新设计、产品进化、Hopfield 神经网络、旋转动力学等主题关键词。产品进化在设计知识表示和进化方面的研究，揭示了其在功能设计与原理方案设计间的桥梁作用，有利于建立基于产品基因遗传和重组的概念设计框架。

聚类#3——产品设计共包含 33 个成员，主要包含产品设计、知识库、计算机辅助设计、协同设计、汽车造型等关键词。主要研究在分析产品功能信息及结构信息的基础上，确定设计过程中的问题和冲突，再应用知识工程、语义处理原理和方法驱动产品创新设计，形成从方案产生—知识提取—创新设计的集成创新过程。

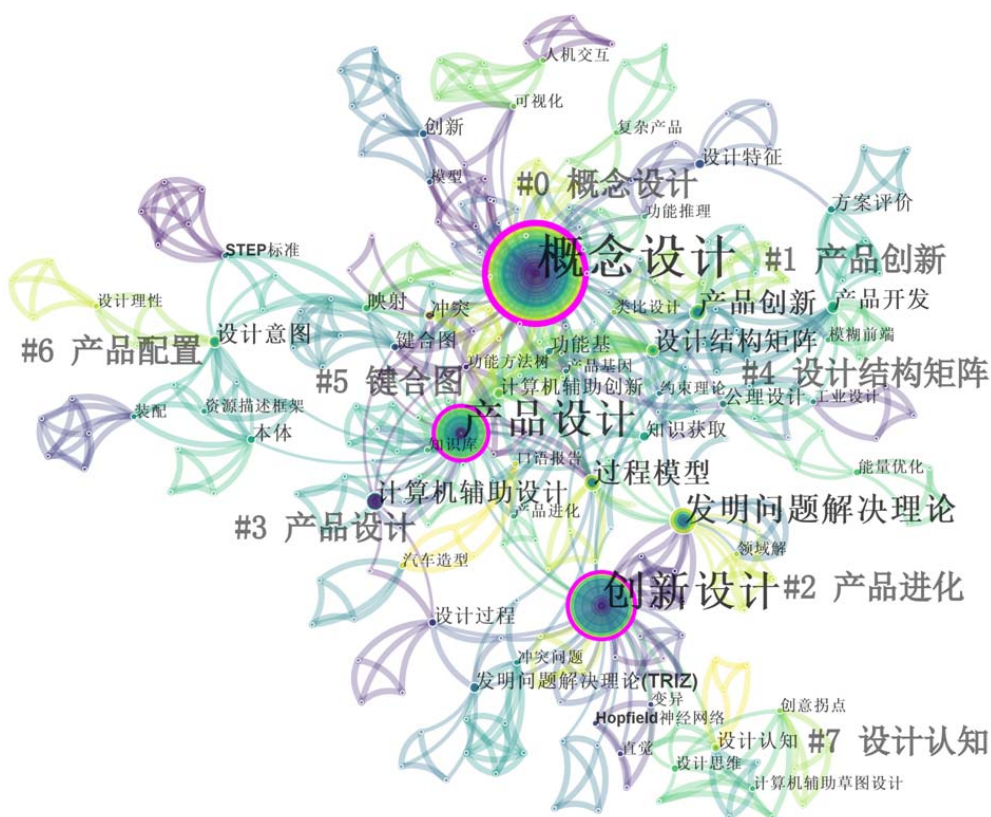


图5 概念设计领域文献关键词共现图谱

Fig.5 Co-word graph of literature in the field of conceptual design

聚类#4——设计结构矩阵共包含 32 个成员，主要包含设计结构矩阵、约束理论、公理设计、知识获取、区间数、功能基等关键词。设计结构矩阵用于描述相互依赖、制约的设计因素间的复杂关系，能完整地反映与预见潜在问题，为产品设计、评价及优化过程提供数据基础。

聚类#5——键合图共包含 30 个成员，主要包含键合图、冲突、计算机辅助创新、形式化方法、配置设计、功能方法树等关键词。基于功能—结构、功能—行为—结构、功能—效应—原理等框架，对功能表达、分解与组合的研究，使用键合图、配置设计、公

理设计、功能方法树等进行产品信息的建模和推理。

聚类#6——产品配置共包含 28 个成员，主要包含产品配置、STEP 标准、资源描述框架、设计理性、设计意图、产品性能特征建模等关键词。作为大规模定制的关键技术之一，配置设计参照多层次映射求解模型，利用 FBS 法归纳、扩展和求解产品特征与配置变量的映射关系，能快速、有效地提供设计实例。

聚类#7——设计认知共包含 23 个成员，设计认知结合设计思维过程与认知心理学领域的创造性过程，综合形象思维和抽象思维，涵盖了从行为认知、问题空间到解空间、从概念到知识的演化过程^[14]。

概念设计共词网络中存在明显的突现节点——创新设计，见图 6。其在 2007—2008 年的共现次数明显增加，表明创新设计成为新兴研究热点。创新设计主要与概念设计的关键技术和方法、设计知识的获取与表达、设计认知等领域有广泛的关联。2007—2008 年间，概念设计相关理论方法与具体的工业设计研究深度结合，计算机辅助设计等技术逐渐成熟，公理设计、设计结构矩阵和 TRIZ 等关键理论不断发展，促进了创新设计的快速发展，更为重要的是，其外延也在不断拓展^[15]。

3.4 概念设计研究趋势分析

运用 Citespace V 软件的文献共被引分析功能，生成概念设计领域的文献共被引图谱，见图 7，可以清晰地显示主要知识群的演化发展历程，间接反映出概念设计领域的知识流动过程。

3.4.1 概念设计研究趋势

概念设计引文网络具有明显的时间层次，早期的研究分布在 1994 年—2000 年，以 Wynne Hsu、Campbell MI、檀润华、孙守迁、Suwa M 等学者为代表，主要集中于概念设计基本原理框架、TRIZ 理论、设计过程等方向。这一时期，概念设计与创新设计、计算机辅助设计、公理化设计相结合，逐步构建概念

设计的基础性理论。

过渡时期主要分布于 2000—2008 年，这一阶段的研究主要集中于产品开发、行为—功能模型、过程模型、产品设计、产品演变等范畴，代表性学者包括罗仕鉴、冯培恩、檀润华、刘晓敏、Y Jin、U Roy 等。相关学者将概念设计与产品创新应用研究相结合，运用遗传算法、神经网络、FBS 模型框架、功能分析、产品基因等方法，形成了产品特征提取、特征知识库构建、概念模型生成、概念评估及决策等完整的智能概念设计系统流程。

概念设计最新研究主要分布于 2009 年至今，Prats M、Gero JS、檀润华、孙凌云、徐江等代表性学者主要集中于设计认知、设计思维、设计科学、创新设计、设计知识、计算创造力、链接表、旋转动力学等方面的研究，偏重于设计认知过程的研究和设计知识的提取及表达。

3.4.2 关键节点分析

在概念设计的引文图谱中，高频的、高中心性节点往往是该领域的奠基节点，代表着这一领域相对稳定的知识基础。对奠基节点的引用往往反映出学科内部知识采集、传播、演化和增值的过程，因此，本文深入搜索并分析图 3 中的关键节点，有助于厘清概念设计领域的知识结构，预测研究的动态趋势。

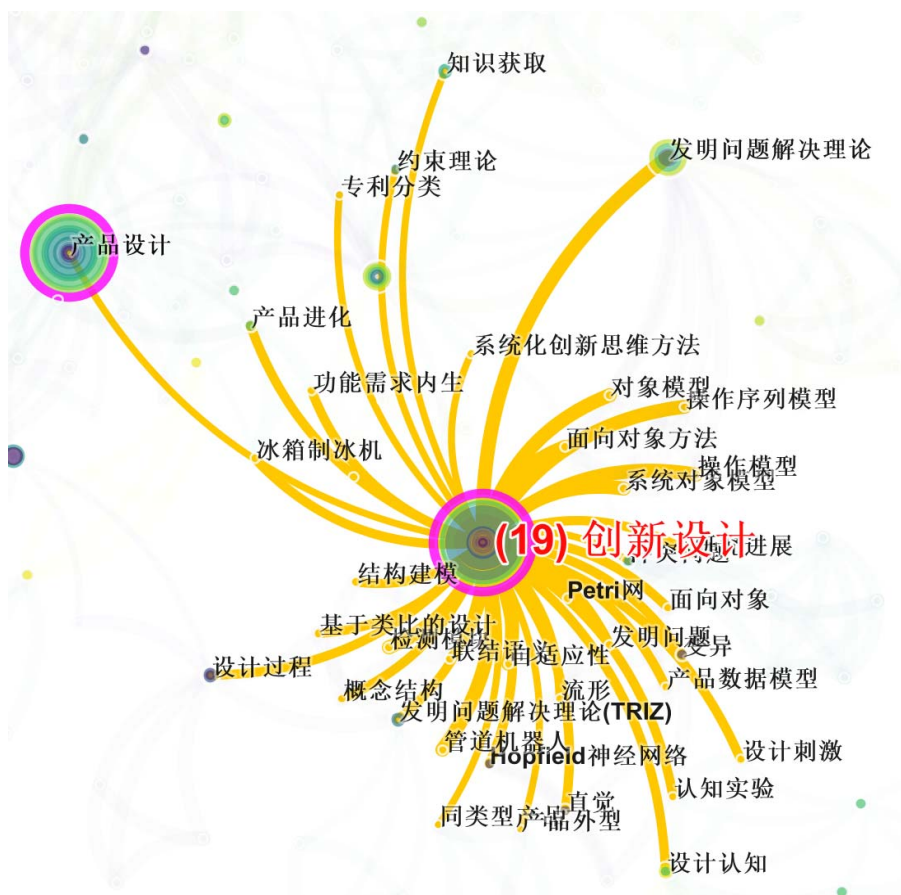


图 6 突现节点——创新设计
Fig.6 Emergent node: innovative design

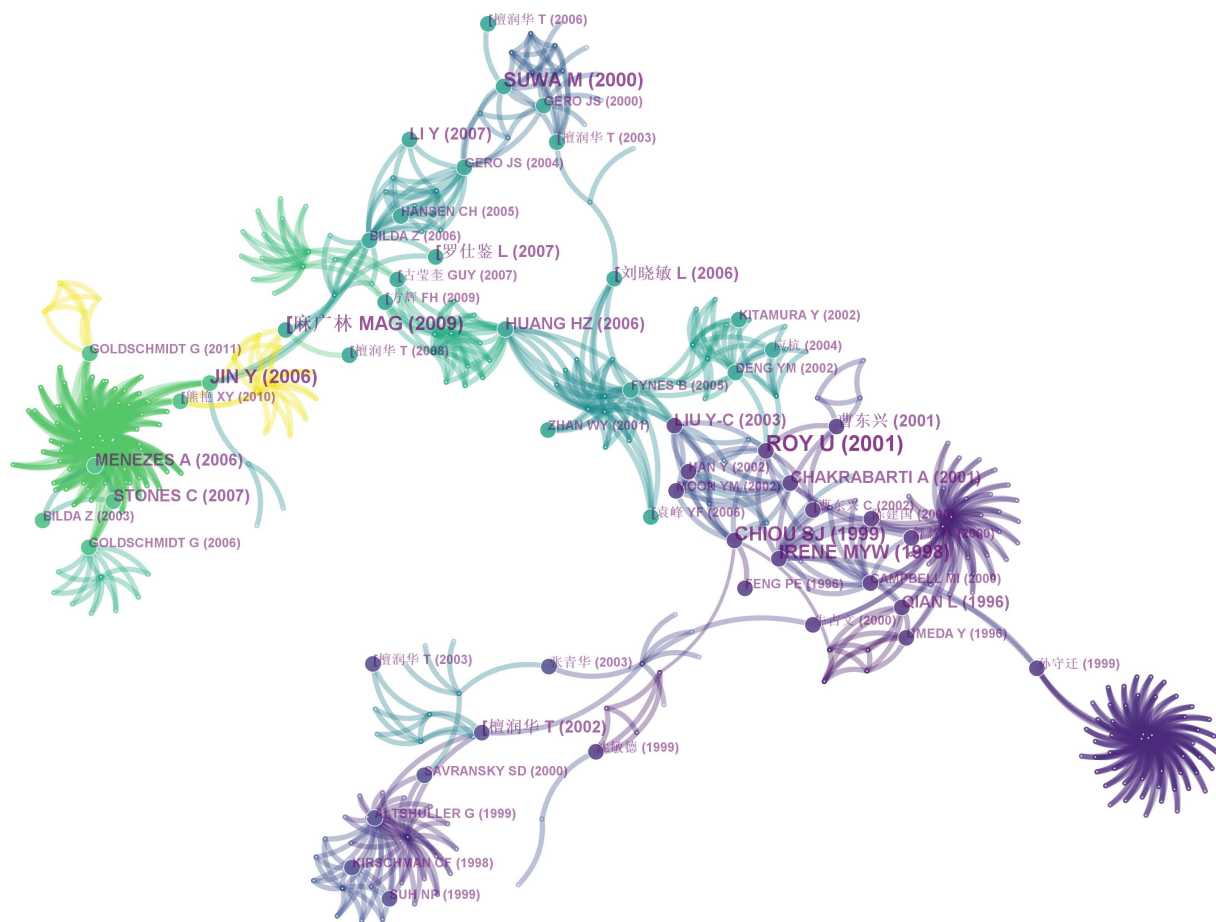


图 7 概念设计领域的文献共被引图谱

4 结语

近 20 年来,设计领域科学基金资助的文献集中反映了设计研究的热点和趋势。本文通过作者共被引分析、共词分析和引文分析等方法,梳理了概念设计过程模型、产品信息建模、设计原理创新及概念设计推理技术等研究主题,获取了产品信息建模、设计知识提取与功能建模、设计结构矩阵、产品配置以及设计认知等典型知识聚类的谱系特征。提出了结合科学文献计量和数据可视化的方法来厘清跨学科设计研究的宏观知识和微观知识结构、演变规律和发展趋势,有望为设计科学理论研究提出新视角,有助于构建科学的设计研究体系。

参考文献:

- [1] 郭湧. 当下设计研究的方法论概述[J]. 风景园林, 2011(2): 68—71.
GUO Yong. General Review on the Methodology of Current Design Research[J]. Landscape Architecture, 2011(2): 68—71.
- [2] PAHL G, BEITZ W. Engineering Design[M]. London: The Design Council, 1984.

- [3] FRENCH M J. Conceptual Design for Engineers[M]. London: The Design Council, 1985.
- [4] 邓家祺, 韩晓建, 曾硝, 等. 产品概念设计——理论与方法与技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
DENG Jia-ti, HAN Xiao-jian, ZENG Xiao, et al. Product Concept Design: Theory, Method and Technology[M]. Beijing: China Machine Press, 2002.
- [5] 徐江. 设计科学知识图谱[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2018.
XU Jiang. Knowledge Graph of Design Science[M]. Beijing: Science and Technology of China Press, 2018.
- [6] 陈悦, 陈超美, 刘则渊, 等. CiteSpace 知识图谱的方法论功能[J]. 科学学研究, 2015, 33(2): 242—253.
CHEN Yue, CHEN Chao-mei, LIU Ze-yuan, et al. The Methodology Function of Cite Space Mapping Knowledge Domains[J]. Studies in Science of Science, 2015, 33(2): 242—253.
- [7] 刘则渊. 科学学理论体系建构的思考——基于科学计量学的中外科学学进展研究报告[J]. 科学学研究, 2006, 24(1): 1—11.
LIU Ze-yuan. Thinking about the Construction of "Science of Science" Theory System: the Report about the Progress of "Science of Science" Which based on Scientometrics in China and Foreign Countries[J]. Studies in Science of Science, 2016, 24(1): 1—11.

- [8] CHEN C. 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.
- [9] 许振亮, 陈悦, 葛莉, 等. 基于知识图谱的国际创新管理前沿与热点的分析[J]. 管理评论, 2009, 21(5): 13—18.
XU Zhen-liang, CHEN Yue, GE Li, et al. Analysis of the Front and Hotspot in the International Innovation Management Based on Knowledge Mapping[J]. Management Review, 2009, 21(5): 13—18.
- [10] 胡泽文, 孙建军, 武夷山. 国内知识图谱应用研究综述[J]. 图书情报工作, 2013, 57(3): 131—137.
HU Ze-wen, SUN Jian-jun, WU Yi-shan. Research Review on Application of Knowledge Mapping in China[J]. Library and Information Service, 2013, 57(03): 131—137.
- [11] 徐江, 欧细凡, 苏浦捷, 等. 设计学科相关领域国家自然科学基金资助项目分析[J]. 装饰, 2018(5): 100—103.
XU Jiang, OU Xi-fan, SU Pu-jie, et al. Analysis of Approved Projects from National Natural Science Foundation of China in the Related Field of Design Discipline[J]. Zhuangshi, 2018(5): 100—103.
- [12] 孙守迁, 包恩伟, 陈衢, 等. 计算机辅助概念设计研究现状和发展趋势[J]. 中国机械工程, 1999(6): 105—109.
SUN Shou-qian, BAO En-wei, CHEN Heng, et al. State of the Art of Research on Computer Aided Conceptual Design[J]. China Mechanical Engineering, 1999(6): 105—109.
- [13] 邹慧君, 汪利, 王石刚, 等. 机械产品概念设计及其方法综述[J]. 机械设计与研究, 1998(2): 6—9.
ZOU Hui-jun, WANG Li, WANG Shi-gang, et al. Summary of Conceptual Design and Its Methods for Mechanical Products[J]. Machine Design & Research, 1998(2): 6—9.
- [14] 李彦, 李文强. 创新设计概论[M]. 北京: 科学出版社, 2013.
Li Yan, LI Wen-qiang. Introduction to Innovative Design[M]. Beijing: Science Press, 2013.
- [15] 路甬祥. 创新设计与中国创造[J]. 全球化, 2015(4): 5—11.
LU Yong-xiang. Innovative Design and Chinese Creativity[J]. Globalization, 2015(4): 5—11.