

基于设计科学的产品设计研究方法综述

陈波, 林春花, 孙秋霞
(西南石油大学, 成都 610500)

摘要: **目的** 智能设计需要符合设计规律的推理机制。目前工业设计师主要是以个人主观意图进行设计, 面对国家经济发展的需求, 有必要在设计实践的同时, 采用科学的方法探究设计规律。 **方法** 采用文献研究方法对比分析设计科学、管理科学、情报学、工程科学领域中有关产品设计方法的研究成果, 从设计科学的内涵、研究对象、研究范式和研究方法进行综述, 重点对设计思维、设计知识研究方法进行了分析。 **结论** 设计科学是采用科学的研究方法研究人的思维、设计对象、设计过程和设计结果。设计科学研究方法不仅需要规范性研究范式, 也需要描述性研究范式, 采用基于科学范式的科学方法探究设计规律, 才能真正助推智能设计、设计科学和设计学科的发展。

关键词: 设计科学; 研究范式; 研究方法; 设计思维; 设计知识

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)18-0020-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.18.003

Summary of Product Design Research Methods Based on Design Science

CHEN Bo, LIN Chun-hua, SUN Qiu-xia
(Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China)

ABSTRACT: The reasoning mechanism in accordance with design laws is required by intelligent Design. At present, industrial designers mainly rely on their personal subjective intentions to design. Facing the demands of national economic development, it is necessary to adopt scientific methods to explore the design laws during design practice. Research results of product design method in the fields of design science, management science, information science and engineering science were compared and analyzed by literature research method. The connotation, research object, research paradigm and research methods of design science were reviewed, and the research methods of design thinking and design knowledge were analyzed in detail. Design science adopts scientific research methods to study people's thinking, design object, design process and design results. The research method of design science needs a normative and descriptive research paradigm. Using scientific methods based on scientific paradigms to explore design laws can really help the development of intelligent design, design science and design disciplines.

KEY WORDS: design science; research paradigm; research method; design thinking; design knowledge

设计一直被看作艺术实践或工艺,设计师在创造过程中不受束缚,表达设计者的主观意图,而非严谨的学科体系。设计活动中缺乏理论基础和标准化的方法工具。自 2015 年进入《中国制造 2025》第一个阶段以来,我国制造业在业务升级和技术升级,信息化推动制造业转型方面取得了很大进展。随着工作的深入,智能制造中智能设计、智能加工、智能装配三大

关键环节日益重要和急迫,而智能设计的关键在于设计知识的构建、获取、流动、集成与重用,这正是设计科学主要研究的内容。Herbert A. Simon 于 1969 年最先提出了“设计科学”的概念,提出了设计科学是关于设计知识的体系,内涵是从自然科学中提取知识供设计师谨慎使用^[1]。1996 年 V. Hubka 和 W. Ernst Eder 共同提出了设计科学的罗盘模型,将设计科学分为设

收稿日期: 2019-08-12

作者简介: 陈波 (1965—), 男, 东北人, 硕士, 西南石油大学教授, 主要研究方向为设计学理论、人机工程学、智能设计、通用设计。

计过程知识(设计方法论)和设计对象知识(针对某一领域的技术)[2]。2015年"Design Science"创刊号发表了"Design Science: Why, What and How",表达了二十多名国际学者对设计科学的看法,并指出了发展方向[3]。1998年国家学科目录增设了“艺术设计”,2011年国务院学位委员会、教育部印发了《学位授予和人才培养学科目录》,将“设计艺术学”升格为一级学科“设计学”(代码1305),标志着人们对设计学交叉学科属性的认同。国内外设计科学形成了不同的流派[4],一是美、英、日的创造性设计学派,认为设计包含了创造、分析和决策三大要素,强调创新性方法研究、系统工程、人机工程、市场分析等;二是德国、北欧机械设计方法学学派,强调总体设计、详细设计;三是俄罗斯、东欧学派的新设计法学派,强调基础,提倡发散、变性、收敛三步设计流程;四是中国设计学派,强调系统、综合和适应性统一。目前,设计科学研究主要基于科学原理的规范性设计方法,指出了如何设计,适合自动化设计,忽略了设计师掌握的知识、创造性思维能力、分析能力对设计的影响,存在行为—结构关联的客观规律,这是需要描述性理论支持的自治智能设计。这是目前设计理论和方法应用受到很大限制的一个原因[5]。关于“设计科学”的研究与争论持续到今,尚未形成共识。

1 设计科学的内涵与研究对象

设计科学是学习、研究和积累设计及其操作的知识。从字面意思可理解为“设计”和“科学”;从过程来看,设计是设计过程的活动和时序逻辑的关系。科学是对客观世界某一类事物原理知识的集合,具有特定性、规律性、系统化、可验证等特点。

1.1 设计科学的内涵

目前,大家共同认可 Palambros 提出的“设计既是技艺,也是科学”这一观点。Kristi Bauerly 认为,设计在艺术层面上是产生创意;在科学层面上是分析、评估、预测和优化设计创意的体系[3]。荷兰学者 Eekels 认为,设计是主体(智力、思维的人)和客体(设计对象、设计结果)的总和[6]。Terry Knight 认为,设计科学是指“设计的科学”,设计本身不是科学,设计作为科学是部分可形式化、部分可验证[3]。Coleen Seifert 认为,“设计的科学”是以设计为研究对象,研究设计思维过程以及影响设计的因素、创意来源、形成和交流模式[3]。李响认为,设计科学包括设计主体(人)、设计动作(过程)、设计结果(人造物)的知识集合[6]。侯悦民指出了设计科学是关于设计知识体系的新科学。与自然科学的区别在于面向目标,基于技术规则,符合自然规律和社会规律,具有前瞻性。设计科学的内涵是基于分析的设计以及对设计思维、设计过程的认知研究[3]。与心理学、社会科学、管理

科学的区别是以设计为研究对象的科学活动。

总之,设计科学是采用科学的研究方法研究人的思维、设计对象、设计过程和设计结果。

1.2 设计科学的研究对象

设计科学的研究对象主要集中在对“人的研究”和“物(事)的研究”。Yan Jin 认为,设计科学涉及人的行为和人造物两个层面。Colleen Seifert 指出了应使用科学的方法和测试,找出影响设计的因素。从学科的角度研究设计科学,可以探究形成优秀设计的影响因素[3]。Jonathan Cagan 认为,设计科学应该研究人如何发挥创造性,克服思维定式,构建动态设计空间。Yong Se Kim 认为,设计科学的研究对象包括产品(物)和服务(事)。P. John Clarkson 认为,设计研究应探究设计过程中形成好设计的特征[3]。谢友柏指出了设计是设计行为和行为产物的总称,实质是设计知识的流动和重用,这也是当今设计学科要解决的问题[7]。Wei Chen 认为,应采用科学的方法研究提出一个集成交叉学科的原理、方法、工具框架[5]。Saecma Ahmed-Kristensen 指出了设计科学研究的重点是用户、设计者、设计过程和管理过程,以及产品本身的复杂性。侯悦民认为,设计研究内容包含人、事、产品的知识、方法、工具、管理等动态系统[3]。总之,设计科学的研究对象是设计知识,是有关文化、社会、思维中的设计知识、设计知识流动的方法和工具等。

2 设计科学研究范式

2.1 研究范式及分类

Nigel Cross 指出了设计研究需要从建立科学的研究范式开始[8]。范式是看待和解释世界的基本方式,是指某一特定学科的学者共有的基本世界观,由其特有的观察视角、基本假设、概念体系和研究方式构成的。从认识论角度出发,研究的范式一般分为客观经验主义范式、诠释经验主义范式和批判理论范式三种类型。客观经验主义研究范式源自自然科学,被称为科学的研究或实证的研究(规范性方法研究),指出了应该如何做。诠释经验主义研究范式采用解释性研究方法,强调是什么。

2.2 设计科学的研究范式

设计科学的研究范式是以解决问题为导向的,不同于其他科学。规范性理论适合于自动化设计;对于探索结构形成过程的客观规律,需要提出支持自治智能设计的描述性设计理论。

当前的设计理论基本停留在研究层面,不具备客观性和普遍性,很难应用于工业领域,其原因是以客观经验主义范式的规范性方法为主,不利于设计重用,适应性差。Steven M. Smith 指出了目前很难建立一个名为科学的设计科学,其主要原因是,设计研究

普遍采用了“如果这么做会怎样”的研究范式^[5]。在实际工程设计中,统一设计需求,不同的设计者基于其自身掌握的知识及创造性思维能力和分析能力,可能提出不同的工作原理和结构方案。这说明需要描述性理论探究设计中存在的行为——结构关联的客观规律,探索结构形成的客观规律,是区别于其他科学的设计科学独有的研究问题。自然界的事物并不是遵循“应该”形成的,而是关于“是”的自治过程,描述性理论提供了关于设计的“是”的知识,研究与设计目的无关的普遍规律。以描述性设计理论为科学依据的规范性设计方法,具备客观性和必要性。

Alex Duffy 指出了建立科学的设计研究关键在于理解设计的本质,整合、集成设计各个层面,凝聚一个体系,构建一个学说。Joan E. Van Aken 打破了现行的科学分类,将科学分为形式科学(如哲学、数学)、解释科学(自然科学、部分社会科学领域)和设计科学(工程科学、管理学等)^[3]。黄丹俞认为,设计科学的研究范式是以解决问题为导向,从第三者的角度,开发可靠的人造物系统中的“技术规则”等知识体系^[9]。Aline Dresch 等人在“Design Science Research”中提出了设计科学的研究范式的十二个步骤^[6]。李响提出了“以模型为中心”的设计科学范式。侯悦民通过对目前的设计研究范式进行对比分析,指出了设计科学的研究范式不仅要进行规范性设计理论研究,还要发展描述性设计理论^[5]。

总之,描述性研究范式可以梳理人造物设计的客观规律,人工设计时代,描述性设计理论对设计效率、设计质量有影响,不是必须的。而智能设计模式下,规范性理论是设计自动化的理论基础,描述性理论为自治智能设计提供科学的依据。设计科学研究应兼顾这两种研究范式。

3 设计科学研究方法

P. John Clarkson 认为,好设计的设计过程特征没有搞清楚。Chris McMahon 指出了目前的设计研究,都是设计者基于自己狭窄的专业领域研究,避开了实际问题,研究方法和工具只能用在特例,取得的成果不具备通用性,缺乏可信性。Steven M. Smith 指出了应采用科学的研究方法进行设计研究,即建立可操作的理论模型,可解释观察的现象,可预测发生的现象^[3]。祝帅指出了设计科学研究应从参照美术史论研究范式走向实证主义研究范式,即借鉴社会学的研究方法使其量化^[10]。Kristin L. Wood 指出了设计科学的研究特点包含:(1)设计的内在机制和原理;(2)具有普遍意义的指导性;(3)科学方法和相关设计研究方法的应用;(4)关于设计理论、过程、方法和实践的研究进展;(5)交叉学科的研究方法,设计科学知识的产生、验证和流动;(6)从人类活动、影响人类生存和社会的角度,研究设计与艺术、人文学科和社会科

学,具有伴随性和内在相关性规律^[5]。

目前对设计科学的研究争论主要体现在两个方面:采用科学的方法研究设计,即设计的科学(Science of Design, SoD);人造物本身形成的客观规律,采用科学、规范的方法,探索设计客观规律的设计科学(Design Science, DS)。Nigel Cross 对设计发展历史进行了研究总结,提出了设计科学 DS 是采用科学方法,研究人造物从功能到结构的演变过程的规律。设计的科学 SoD 是指,通过科学探索的方法改进人类对设计的理解,关注人如何运用知识进行设计,以及人和物的交互过程^[8]。

国内外主要的设计科学研究方法,可以分为针对设计的研究 RID、通过设计做研究 RTD 和基于分析的设计研究^[11]。针对设计的研究(Research Into Design, RID)是将设计作为科学的研究对象,基于设计实践和成果,从探索设计历史与设计美学等方面,对设计规律进行研究,总结设计在发展历程中沉淀下来的,反映了设计传统和本质理论的知识。王受之、何人可、邹其昌等学者做了大量的工作。通过设计做研究(Research Through Design, RTD)是指基于心理学和认知科学等设计认知研究(行为研究),研究设计实践中的整合信息、生成概念、反馈评估,通过测试、视觉实验等有目的地研究如何获取设计知识,即产品自身属性(形式、功能等)和设计过程知识(解决方案)。RTD 是目前在设计研究领域很有影响力的独立研究范式,主要研究热点是设计知识、设计思维等。基于分析的设计主要集中在工程领域,以数学分析方法为基础的优化设计、可靠性设计、有限元分析等为代表。

3.1 关于设计思维的研究方法

设计思维是人在设计中独特的创意思考方式及综合处理问题的能力。Herbert A. Simon 提出了设计是一种思维方式^[1]。哈佛大学 ROWE 在 1987 年出版的《设计思维》中,首次使用了设计思维这一概念^[12]。在“中国知网”的中国期刊全文数据库中,以关键词“设计思维”作为检索,其年度分布情况,见表 1—2。

当前对设计思维的研究,主要是基于认知科学的中心假设,运用计算机技术、认知心理学、认知神经科学,同时结合哲学、社会学、语言学等,从思维形式、思维行为以及人类的互动与情感等方面,探索设计者的思维规律。

1) 基于认知心理学的设计思维研究方法。口语分析法是最常用的一种设计思维研究方法,常用的口语分析法包括出声思考法和潜在语义分析法等。Nigel Cross 认为,设计知识的基础存在于设计师式的认知、思考和行为方式中,提出了基于杰出设计者认知能力的设计师式的认知方式^[8]。具体采用社会科学的访谈和观察研究,通过对项目的横向比较分析,推演认知规律。Pieter Jan STAPPERS 指出了设计师通

表 1 关键词中包含“设计思维”一词的期刊文献的年度分布情况 (1979—2018 年)

Tab.1 Annual distribution of periodical documents including "design thinking" in key words (1979-2018)													
年份	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989		
文献数量	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3		
年份	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000		
文献数量	3	4	2	3	2	1	6	9	10	11	15		
年份	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011		
文献数量	9	11	19	29	39	46	52	68	98	104	107		
年份	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	总计					
文献数量	119	130	184	216	243	253	250	2047					

注：检索年限为 2019 年 8 月 1 日

表 2 关键词中包含“设计思维”一词的学位论文的年度分布情况 (1999—2018 年)

Tab.2 Annual distribution of dissertations containing "design thinking" in key words (1999-2018)												
年份	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	
硕士论文	0	0	0	1	1	2	3	4	13	11	11	
博士论文	0	0	0	0	2	0	0	0	0	3	0	
年份	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	总计		
硕士论文	14	10	11	24	16	23	20	24	28	216		
博士论文	1	2	1	1	0	1	1	1	2	15		

注：检索年限为 2019 年 8 月 1 日

过原型、草图、模型等表达手段，建立了设计知识与产品间的联系，原型是贯穿整个设计和设计研究的核心，设计者通过创建原型，获取潜在的设计知识，再通过原型，将设计知识扩展到相邻的学科中，提出了以实践为基础的自生式的设计研究方法 (Generative Design Research)。刘征描述了设计师在读、写草图时认知活动的基本过程，在分析了草图认知与设计创新之间关系的基础上，提出了以设计师需求为导向的计算机辅助草图设计系统，在人机交互符号系统以及全流程支持方面，应具备的基本条件^[13]。熊艳等人研究了手绘草图与设计认知活动之间的内在联系，得到了协助产品形态创新的设计规律^[14]。

2) 基于认知神经科学的设计思维研究方法。认知神经科学非常适合研究设计的相关问题，结合神经科学和心理学实验，阐明在神经层次上如何实现心理

功能，从而深入理解设计者的认知过程。具体方法采用神经成像技术 (脑电图技术 EEG、功能磁共振成像技术 fMRI)，分析设计者执行设计任务时的脑部生理反应成像，基于人脑的生理基础，从神经科学的角度推理和评价设计中的知识表征理论^[15]。

3) 基于计算机技术的设计思维研究方法。结合认知理论和计算机技术，模拟、评价、修正心理表征结构和知识加工过程，可以提高心理表征和过程的精度。HUANG Y 等人采用了神经网络系统模拟设计者的草图绘制行为，触发了设计者生成不同的设计概念^[16]。张文莉等人将自适应机制引入了交互进化计算中，来捕捉、跟踪设计者的意图^[17]。TAURA 等人采用计算机仿真技术生成了创新概念^[18]。

3.2 关于设计知识的研究方法

设计知识是人对客观规律的认识，是用于设计和决策各种信息与经验的综合。在“中国知网”的中国期刊全文数据库中，以关键词“设计知识”作为检索，其年度分布情况，见表 3—4。

表 3 关键词中包含“设计知识”一词的期刊文献的年度分布情况 (1979—2018 年)

Tab.3 Annual distribution of periodical documents including "design knowledge" in key words (1979-2018)													
年份	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989		
文献数量	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1		
年份	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000		
文献数量	0	2	0	0	3	2	6	7	3	9	10		
年份	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011		
文献数量	7	4	18	18	15	19	24	19	17	21	20		
年份	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	总计					
文献数量	23	23	19	25	17	22	13	368					

注：检索年限为 2019 年 8 月 1 日

表 4 关键词中包含“设计知识”一词的学位论文的年度分布情况 (1999—2018 年)

Tab.4 Annual distribution of dissertations containing "design knowledge" in key words (1999-2018)												
年份	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	
硕士论文	0	0	0	1	3	1	0	1	0	1	3	
博士论文	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
年份	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	总计		
硕士论文	2	0	1	3	3	5	1	3	1	29		
博士论文	1	1	0	0	0	0	0	1	2	9		

注：检索年限为 2019 年 8 月 1 日

谢友柏指出了现代设计具有的三个属性,围绕设计知识的获取、流动、重用分享提出了设计科学的四个基本定律^[7]。国际组织 OECD 将知识分为:事实知识 (Know-what)、原因知识 (Know-why)、技能知识 (Know-how) 和资源知识 (Know-who)^[19]。Hubka 和 Eder 将设计知识分为设计对象知识 (Object Knowledge) 和设计过程知识 (Process Knowledge),这一划分在设计学界也得到了广泛的认可^[20-21]。Polanyi 将知识分为显性知识 (Explicit Knowledge) 和隐性知识 (Tacit Knowledge),并明确了两种知识的区别^[22],这一划分在许多领域取得了普遍的共识。谭建荣等人将设计知识具体划分为设计原理、经验、规范、过程、已有产品 (包含模型)、数据、信息与用户需求等^[23]。目前,设计知识研究主要集中在管理科学、情报学、工程科学领域,在设计科学领域研究较少。

1) 设计知识表达 (建模)。知识建模是通过一套抽象的便于计算机识别的模型,来表达各类知识,用于知识的存储、表达和应用知识解决各种工程问题。在设计学领域,很多学者提出了以功能 F、行为 B、结构 S 作为本体来构建知识模型。Gero 提出了 FBS 模型,基于经验构建了设计师理解设计的过程原型,即功能 F—行为 B—结构 S 关系^[24]。Goel 等人提出了基于案例推理模式 (CBR) 的 SBF 模型,来表达产品设计中的结构—行为—功能之间的映射问题,适合于设计知识共享和重用的需求^[25]。Umeda 等人认为,状态和结构可以相互替代,提出了 FBSt 模型,用于描述概念设计中功能 F—行为 B—状态 S 的映射关系^[26]。Deng 等人认为,环境因素 E 对功能建模有影响,提出了 FEBS 模型,并将功能具体划分为以产品为中心的技术功能和以人为中心的目的功能^[27]。Pahl 和 Beitz 将实现功能的基本原理效应 E 作为联接功能和结构的桥梁,提出了 FES 模型,表达了概念设计阶段的映射关系^[28]。Vermass 和 Dorst^[139-140]认为,要增加客户的主观需求 P,提出了 PFBS 模型^[29]。目前,国内在设计知识模型、模型库的构建都是基于各个领域的技术,缺少专业的知识转化统一模型。

2) 设计知识获取与重用。设计实例本身已包含了大量成功的设计经验和知识,基于实例推理技术,不仅可以省去大量的经验和知识的获取与表达,减少产品开发的设计成本,缩短产品的开发周期,而且可以大大提高设计的效率及成功率。基于实例推理 (Case-Based Reasoning, CBR) 技术,是一种基于以往成功实例相似或类比的问题解决机制,在知识获取领域,实例推理可以实现领域知识的提取,泛化实例、精华知识库、挖掘新知识。邹涛采取了特征向量的案例表达方法,提出了基于驱动情境的案例重用的框架^[30]。谭浩按照公理设计理论机制,获取了设计知识,构建了产品造型设计情境知识模型^[31]。邓君提出

了基于案例设计方法在 ICAID 系统中的总体应用模式^[32]。王继欣基于遗传算法和实例推理,构建了机械产品智能系统,建立了多层次遗传算法实例库,采用可拓学原理对已成功的成型机械产品进行了实例的物理参数和功能参数划分,将它们储存并创建实例推理的实例库^[33]。朱上上提出了基于构建设计知识和用户知识匹配模型的产品建模方法^[34]。设计过程中很大部分是对过去知识的重用,即使是创新性设计也达到了 20% 左右的知识重用率^[35]。Grant 将知识重用分为知识获取和知识集成^[36]。1998 年首次召开的以知识重用为主题的国际会议,一致认为知识重用就是将过去的产品设计知识和经验用于当前的产品设计中^[37]。美国 Eberts 等人提出了基于神经网络建模的设计知识获取方法^[38]。欧洲商学院 Dilger 等人通过侧重于人思维层面的设计案例过程分析,提出了基于案例的计算机辅助设计知识获取的理论与方法^[39]。Smith 等人提出了以问题为导向,通过任务分析将获取的设计知识直接导入到相应数据库的技术^[40]。韩国 Lim 等人提出了模糊设计知识提取技术^[41]。日本 Yamamoto 等人提出了一种基于映射的产品知识获取方法,通过相应的映射关系,自动寻找与之匹配的设计知识^[42]。王亚英等人提出了基于粗集理论的新规则知识获取方法^[43]。车君华提出了基于公理设计的产品设计知识表达与获取方法^[44]。刘征等人提出了基于知识流的产品创意知识获取方法,提出了由多粒度模型建立创意知识流,对知识流节点操作获取需要的设计知识^[45]。张惠等人提出了一种基于关联规则,获取专利文献中的产品功能与结构的相关知识的方法^[46]。钟秀琴等人提出了基于本体的几何学知识获取及知识表示^[47]。Finger 指出了现有计算机辅助系统的局限性,研究不同设计过程知识重用的需求^[48]。Duffy 等人提出了一种面向过程的设计重用模型^[49]。Rezayat^[3]从产品设计关键特征技术入手,提出了用于获取 Web 上的用户需求知识的基于 Web 的设计重用方法^[50]。沈斌等人提出了多类型、多层次设计知识重用的概念模型^[51]。石鑫基于过程本体构建了设计过程本体层次模型,针对设计过程本体知识重用给出了实施模式和流程^[52]。王体春等人提出了一种基于公理化设计的设计实例知识重用方法,建立了多级设计实例的层次模型和基于多级实例的知识重用模型,实现了多级设计实例的重用,提高了大型复杂产品的设计效率^[53]。

3) 设计知识流。在产品设计过程中,设计知识在设计者之间以及设计实体与资源单元之间的流动,称为设计知识流。设计的本质是产品设计中的设计知识流动过程。具体建模方法主要是基于工作流的知识流建模方法、基于 Petri 网的知识流建模方法和基于活动网络图的建模方法 (关键路径法 CPM 等)。Nonaka 构建了本体论和认识论两个维度的二维知识流模型,描述了组织内部显性知识和隐性知识在不同

本体之间的流动过程^[54]。Nissen 拓展了 Nonaka 的二维知识流模型,增加了知识生命周期和知识流时间维度的知识流动三维模型^[55]。张晓刚和李树明提出了基于工作流的知识流建模方法^[56]。傅柱等人提出了概念设计中基于角色模型的工作流和知识流整合模型^[57]。杨琨等人提出了通过知识流与设计流的多层次往复映射关系,实现不同设计目标的产品创新求解模型^[58]。周密和韩立岩构建了知识流与 Petri 网的映射关系^[59]。张执男提出了意图 P 功能、原理 W、结构 S、行为 B 的 PFWSB 知识流本体模型;在分析知识流驱动力和阻力因素的基础上,提出了设计知识流动力学分析模型;基于设计知识流网,给出了多维设计知识流分析矩阵,提出了面向产品设计知识流控制策略与方法^[60]。浙江大学刘玉生自主开发设计了知识建模系统,通过 Human-Machine-Human (HMH) 方式,加速了设计知识的流动、共享、协同和复制^[61]。

总之,目前设计科学的研究方法主要集中在设计的科学 SoD 和设计科学 DS 两个方面,后者主要集中在工程领域。通过设计来研究 RTD 范式下的研究方法是目前的主流方法,主要研究领域包括设计知识的研究以及设计思维等。采用计算机技术实现设计知识数字化、标准化集成封装,基于符合设计规律的设计知识流动机制,加速知识流动、重用和共享,创新出新的知识,形成智能设计的推理机制,提升设计质量和效率。

4 结语

采用科学的研究方法发现设计相关的知识、设计规律不是最终的目的,如何运用设计知识和设计规律来指导设计,实现需求目标和提升设计竞争力才是最终的目的。设计学科在国内属于新兴学科,目前在工业设计界采用的研究方法仍带有较强的主观性、抽象性、经验性等人文色彩,从用户角度的实证性研究不多,缺少从科学层面探究设计规律。应该借鉴其他学科,采用科学的研究范式和方法,在理解设计科学内涵的基础上探究设计规律,实现不同领域专业设计知识和设计过程知识的数字化、标准化建模与集成,建立加速设计知识流动的机制,实现知识的共享和重用,为智能设计奠定坚实的科学基础,这也是设计科学重要的研究内容。

参考文献:

- [1] SIMON H A. 人工科学[M]. 北京: 商务印书馆, 1987.
SIMON H A. The Science of the Artificial[M]. Beijing: The Commercial Press, 1987.
- [2] VLADIMIR H, ERNST E. Design Science, Introduction to the Needs, Scope and Organization of Engineering Design Knowledge[M]. Germany: Springer, 1996.
- [3] 侯悦民, 季林红. 设计科学的内涵、研究对象及方法[J]. 科技导报, 2017, 35(22): 101-104.
HOU Yue-min, JI Lin-hong. On Design Science[J]. Science and Technology Review, 2017, 35(22): 101-104.
- [4] 蔡郭生, 王笃雄. 基于现代机械设计理论方法特点与研究进展的探讨[J]. 赤峰学院学报(自然科学版), 2012, 28(3): 94-95.
CAI Guo-sheng, WNAG Du-xiong. Discussion on the Characteristics and Research Progress of Modern Mechanical Design Theory and Method[J]. Journal of Chifeng University(Natural Science Edition), 2012, 28(3): 94-95.
- [5] 侯悦民, 季林红. 设计科学: 从规范性到描述性[J]. 科技导报, 2017, 35(22): 25-34.
HOU Yue-min, JI Lin-hong. Design Science: from Normative towards Descriptions[J]. Science and Technology Review, 2017, 35(22): 25-34.
- [6] 李响. 从学术界和工业界两个视角看设计科学[J]. 科技导报, 2017, 35(22): 19-24.
LI Xiang. The Design Science as Seen from Academic and Industrial Perspectives[J]. Science and Technology Review, 2017, 35(22): 19-24.
- [7] 谢友柏. 设计科学与设计竞争力[M]. 北京: 科技出版社, 2018.
XIE You-bo. Design Science and Design Competitiveness[M]. Beijing: Science and Technology Press, 2018.
- [8] NIGEL C. 设计师式认知[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2013.
NIGEL C. Designerly Ways of Knowing[M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2013.
- [9] 黄丹俞. 设计科学研究范式: 架起阅读推广理论与实践的桥梁[J]. 图书与情报, 2016(3): 61-66.
HUANG Dan-yu. Design Science Research Paradigm: a Bridge between the Theory and Practice of Reading Promotion[J]. Library and Information, 2016(3): 61-66.
- [10] 祝帅. 实证主义对于设计研究的挑战[J]. 美术观察, 2009(11): 104-107.
ZHU Shuai. The Challenge of Positivism to Design Research[J]. Art Observation, 2009(11): 104-107.
- [11] 张隽岑. 评《当下设计研究——论文与项目案例精选》[J]. 风景园林, 2011(4): 80-82.
ZHANG Jun-cen. Review on "Design Research Now: Essays and Selected Projects"[J]. Landscape Architecture, 2011(4): 80-82.
- [12] ROWE P. Design Thinking[M]. Cambridge, MA: MIT Press, 1987.
- [13] 刘征, 鲁娜, 孙凌云. 面向概念设计过程的隐性知识获取方法[J]. 机械工程学报, 2011, 47(14): 184-191.
LIU Zheng, LU Na, SUN Ling-yun. Tacit Knowledge Acquisition Method for the Process of Concept Design[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2011, 47(14): 184-191.
- [14] 熊艳, 李彦, 麻广林, 等. 基于草图认知分析的产品形态设计[J]. 计算机集成制造系统, 2010, 16(7):

- 1354-1362.
- XIONG Yan, LI Yan, MA Guang-lin, et al. Product Form Design Based on the Sketch Cognitive Analysis[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2010, 16(7): 1354-1362.
- [15] 李彦, 刘红围, 李梦蝶, 等. 设计思维研究综述[J]. 机械工程学报, 2017, 53(15): 1-20.
- LI Yan, LIU Hong-wei, LI Meng-die, et al. Review on Research of Design Thinking[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2017, 53(15): 1-20.
- [16] HUANG Y. Investigating the Cognitive Behavior of Generating Idea Sketches through Neural Network Systems[J]. Design Studies, 2008, 29(1): 70-92.
- [17] 张文莉, 左洪福. DIETER R. 基于自适应交互进化的设计意图驱动造型[J]. 中国机械工程, 2006, 17(4): 350-354.
- ZHANG Wen-li, ZUO Hong-fu, DIETER R. Adaptive Interactive Evolutionary Computation-based Intent-oriented Modeling[J]. China Mechanical Engineering, 2006, 17(4): 350-354.
- [18] TAURA T, YAMAMOTO E, FASIHA M Y N, et al. Constructive Simulation of Creative Concept Generation Process in Design: a Research Method for Difficult-To-Observe Design-thinking Processes[J]. Journal of Engineering Design, 2012, 23(4): 297-321.
- [19] 畅宏进. 经济合作与发展组织(OECD)编以知识为基础的经济[M]. 北京: 机械工业出版社, 1997.
- CHANG Hong-jin. Organization for Economic Cooperation and Development(OECD) Compiles a Knowledge-based Economy[M]. Beijing: China Machine Press, 1997.
- [20] HUBKA V, EDER W E. Design Science: Introduction to Needs, Scope and Organization of Engineering Design Knowledge[M]. Germany: Springer Verlag, 1996.
- [21] GERO JS, KANNENGIESSER U. A Function-Behavior-Structure Ontology of Processes[J]. AI EDAM, 2007, 21(4): 379-391.
- [22] POLANYI M. Personal Knowledge[M]. London: Routledge London, 1958.
- [23] 谭建荣, 冯毅雄. 设计知识建模、演化与应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.
- TAN Jian-rong, FENG Yi-xiong. Design Knowledge Modeling, Evolution and Application[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2007.
- [24] GERO J S. Design Prototypes: a Knowledge Representation Schema for Design[J]. AI Magazine, 1990, 11(4): 26-36.
- [25] GOEL A K, RUGABER S, VATTAM S. Structure, Behavior, and Function of Complex Systems: the Structure, Behavior, and Function Modeling Language[J]. AI EDAM, 2009, 23(1): 23-35.
- [26] UMEDA Y, TAKEDA H, TOMIYAMA T, et al. Function, Behaviour, and Structure[J]. Applications of Artificial Intelligence in Engineering, 1990(4): 1177-1193.
- [27] DENG Y M. Function and Behavior Representation in Conceptual Mechanical Design[J]. AI EDAM, 2003, 16(5): 343-362.
- [28] PAHL G, BEITZ W. Engineering Design: a Systematic Approach[M]. Berlin: Springer, 2007.
- [29] VERMAAS P E, DORST K. On the Conceptual Framework of John Gero's FBS-model and the Prescriptive Aims of Design Methodology[J]. Design Studies, 2007, 28(2): 133-157.
- [30] 邹涛. CBID 系统中的案例与案例表达[D]. 长沙: 湖南大学, 2006.
- ZOU Tao. The Case and Presentation of Case in CBID System[D]. Changsha: Hunan University, 2006.
- [31] 谭浩. 基于案例的产品造型设计情境知识模型构建与应用[D]. 长沙: 湖南大学, 2006.
- TAN Hao. Case Knowledge Model Construction and Application in Product from Design[D]. Changsha: Hunan University, 2006.
- [32] 邓君. 基于案例的设计方法在 ICAID 系统中的应用研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2006.
- DENG Jun. The Research on the Applications of the Case-based Design Method in ICAID System[D]. Changsha: Hunan University, 2006.
- [33] 王继欣. 基于遗传算法和实例推理机械产品智能系统的研究[D]. 沈阳: 沈阳理工大学, 2015.
- WANG Ji-xin. The Research of Genetic Algorithm and Case Based Reasoning Intelligent System Based on Mechanical Products[D]. Shenyang: Shenyang Ligong University, 2015.
- [34] 朱上上. 基于知识的产品造型设计技术研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2003.
- ZHU Shang-shang. Research on Product from Design Technology Based on Knowledge[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2003.
- [35] MGRUNSTEIN. Knowledge Management: Classic and Contemporary Works[J]. Asia Pacific Journal of Management, 2002, 19(1): 153-157.
- [36] GRANT R M. Prospering in Dynamically Competitive Environments: Organization Science Capabilities as Knowledge Integration[J]. Organization Science, 1996, 7(4): 375-387.
- [37] SHAHIN T M M, ANDREWS P, SIVALOGANATHAN S. A Design Reuse System[M]. London: Professional Engineering Publishing Limited, 1998.
- [38] EBERTS R. Knowledge Acquisition Using Neural Networks for Intelligent Interface Design[J]. Proceedings for the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 1991(2): 1331-1335.
- [39] DILGER W. Computer Aided Acquisition of Design Knowledge[J]. Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering, 1468(2): 584-595.
- [40] SMITH, PHILIP J, NORMORE L F. Denning Rebecca Knowledge Acquisition Techniques: a Case Study in the Design of a Reference Materials Access Tool[J]. Proceedings of the Human Factors Society, 1991(1): 273-277.

- [41] LIM, GI Y. Design on the Knowledge Acquisition Tool for Fuzzy Knowledge Base System[J]. IEEE International Conference on Fuzzy System, 1999(3): 1638-1642.
- [42] YAMAMOTO H. Knowledge Acquisition for Production System Design by Mapping Distinct Conceptual Knowledge Pools[J]. Applications of Artificial Intelligence in Engineering, 1998(9): 171-173.
- [43] 王亚英, 邵惠鹤. 基于粗集理论的规则知识获取技术[J]. 上海交通大学学报, 2000, 34(5): 688-690.
WANG Ya-ying, SHAO Hui-he. Method on Rough Set-Based Rule-Knowledge Acquisition[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2000, 34(5): 688-690.
- [44] 车君华. 机械产品设计过程知识获取与处理技术及其在叉车行业应用研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2007.
CHE Jun-hua. Knowledge Acquisition and Management in Mechanical Product Design Process and Application in Forklift Industry[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2007.
- [45] 刘征, 鲁娜, 孙凌云. 基于知识流的产品创意知识获取方法[J]. 机械制造系统, 2011, 17(1): 10-17.
LUN Zheng, LU Na, SUN Ling-yun. Method of Product Innovation Knowledge Acquisition Based on Knowledge Flow[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2011, 17(1): 10-17.
- [46] 张惠, 邱清盈, 冯培恩, 等. 产品专利设计知识获取方法研究[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2009, 30(7): 785-791.
ZHANG Hui, QIU Qing-ying, FENG Pei-en, et al. An Automated Method for Acquiring Design Knowledge from Product Patents[J]. Journal of Harbin Engineering University, 2009, 30(7): 785-791.
- [47] 钟秀琴, 符红光, 余莉, 等. 基于本体的几何学知识获取及知识表示[J]. 计算机学报, 2010, 33(1): 167-174.
ZHONG Xiu-qin, FU Hong-guang, SHE Li, et al. Geometry Knowledge Acquisition and Representation on Ontology[J]. Chinese Journal of Computers, 2010, 33(1): 167-174.
- [48] FINGER S. Design Reuse and Design Research[M]. London: Professional Engineering Publishing Limited, 1998.
- [49] DUFFY A H B, SMITH J S, DUFFY S M. Design Reuse Research: a Computational Perspective[M]. London: Professional Engineering Publishing Limited, 1998.
- [50] HAQUE B U, BELECHEANU R A, BARSON R J, et al. Towards the Application of Case Based Reasoning to Decision Making in Concurrent Product Development(Concurrent Engineering)[J]. Knowledge-Based Systems, 2000, 13(2): 101-112.
- [51] 沈斌, 宫大. 产品设计知识重用研究[J]. 计算机工程, 2006, 32(18): 186-210.
SHEN Bin, GONG Da. Study on Product Design Knowledge Reuse[J]. Computer Engineering, 2006, 32(18): 186-210.
- [52] 石鑫. 基于过程本体的设计过程知识重用研究[J]. 机械科学与技术, 2013, 30(11): 22-28.
SHI Xin. Research on Design Process Knowledge Reuse Based on Process Ontology[J]. Journal of Machine Design, 2013, 30(11): 22-28.
- [53] 王体春, 钟诗胜, 王威. 基于公理化设计的多级实例知识重用技术研究[J]. 计算机集成制造系统, 2008(5): 833-841.
WANG Ti-chun, ZHONG Shi-sheng, WANG Wei. Knowledge Reuse of Multi-Hierarchy Case Based on Axiomatic Design[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2008(5): 833-841.
- [54] NONAKA I. A Dynamic Theory of Organizational Knowledge Creation[J]. Organization Science, 1994, 5(1): 14-37.
- [55] NISSEN M E. An Extended Model of Knowledge-Flow Dynamics[J]. Communications of the Association for Information Systems, 2002(8): 251-266.
- [56] 张晓刚, 李明树. 基于工作流的知识流建模与控制[J]. 软件学报, 2005, 16(2): 184-193.
ZHANG Xiao-gang, LI Ming-shu. Workflow-Based Knowledge Flow Modeling and Control[J]. Journal of Software, 2005, 16(2): 184-193.
- [57] 傅柱. 产品概念设计中基于知识流的语义化知识管理关键技术及其应用研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2017.
FU Zhu. Key Technologies and Its Applications of Semantic Knowledge Management Based on Knowledge Flow in Product Conceptual Design[J]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2017.
- [58] 杨琨. 基于设计流与知识流交互的产品创新求解模型[J]. 计算机集成制造系统, 2013, 19(2): 274-283.
YANG Kun. Product Innovative Solving Model Based on Interaction of Design Flow and Knowledge Flow[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2013, 19(2): 274-283.
- [59] 周密, 韩立岩. 知识流的 Petri 网模型[J]. 计算机工程与设计, 2005, 26(8): 2149-2152.
ZHOU Mi, HAN Li-yan. Petri Net Model of Knowledge Flow[J]. Computer Engineering and Design, 2005, 26(8): 2149-2152.
- [60] 张执男. 产品设计中的知识流理论与方法研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2011.
ZHANG Zhi-nan. Knowledge Flow: Theory and Method for Product Design[D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2011.
- [61] 刘玉生, 袁文强, 樊红日, 等. 基于 SysML 的模型驱动复杂产品设计的信息集成框架研究[J]. 中国机械工程, 2012(12): 1438-1445.
LIU Yu-sheng, YUAN Wen-qiang, FAN Hong-ri, et al. Research on Information Integration Framework of Sysml Based Model-driven Design of Complex Products[J]. China Mechanical Engineering, 2012(12): 1438-1445.