

从学术界和工业界两个视角看设计科学

李响

上海图阅智能科技有限公司,上海 200240

摘要 阐述了设计科学的内涵,从学术界视角介绍了国外两种设计科学框架。分析了中国设计领域当前存在的问题,从工业界视角提出了新的“以模型为中心”的设计科学范式。提出设计科学研究应关注设计知识的数字化和模型化表达、模型标准化、基于模型的知识流动机制、模型如何集成4个方面。

关键词 设计科学;数字化模型;设计方法论;人工智能设计;智能科学

关于设计科学,西方发达国家相关领域的学者已争论半个世纪^[1],而国内则研究甚少。设计科学的概念最早可追溯到1969年Herbert A. Simon出版的《The Sciences of the artificial》一书^[2],该书首次提出设计科学(也称“人工科学”)的概念,并从经济学、心理学、认知学、工程学、社会学等视角系统性阐述人工科学的理论和思想。随后各国学者开始对设计科学进行广泛的讨论。1996年,V. Hubka和W. Ernst Eder出版了《Design Science》一书^[3],该书着重阐述了“知识”与设计、“知识”与科学之间的关系,从历史发展角度介绍了1940—1990年各国学者对设计科学的研究和认知,提出了设计科学的罗盘模型,将设计科学分为设计对象知识(技术系统)和设计过程知识(设计方法论),并围绕这两个维度对设计科学进行了系统阐述。2015年,Aline Dresch等在《Design science research》一书^[4]中系统阐述了16—21世纪设计科学的主要发展历程,讨论了如何以更加科学的方式分析设计科学研究的方法、范式和技术。2015年,美国密西根大学教授Panos Y. Papalambros和澳大利亚悉尼大学教授John S. Gero发起创办了设计科学期刊《Design Science》^[5],并联合20多位编委共同发表了《Design science: why, what and how》一文^[6],该文中20多位设计领域的著名学者各自陈述了什么是设计科学、未来设计科学的发展方向和愿景是什么、如何实现设计科学的愿景等。上述有关设计科学研究的历史发展脉络基本代表了国外设计科学研究的主要观点。

在中国,随着互联网技术、移动互联网技术、数字化技术、人工智能技术、数字孪生、社交媒体、云计算、大数据等新兴产业技术的发展,渐渐融会进入社会经济文化等各学科领

域。站在新一轮技术革命和产业变革的新起点上,特别是在当下《德国工业4.0》、《美国工业互联网》、《中国智能制造2025》、“大众创业万众创新”蓬勃发展的大背景下,需要越来越多的创新和设计。那么,如何进行设计、如何进行创新设计、如何科学的进行创新设计将是一个不可回避的命题。新技术层出不穷,未来的设计也需要融入越来越多的科技因素,才能不断地进行设计创新。设计离不开知识,设计更离不开技术,如何科学有效地进行设计?我们需要重新思考设计能否发展成一门科学,设计科学会起到什么样的作用,发挥什么样的价值?中国设计科学在未来究竟如何发展?如何制定符合中国自身发展阶段的方法和策略?本文力图针对这些问题抛砖引玉,逐一探讨。

1 设计科学的内涵

对于设计科学内涵的理解,可以把这个概念拆分成“设计”和“科学”两个方面看。关于“设计”,荷兰学者Eekels^[7-8]从哲学的角度进行了讨论,认为设计既有主体(subject of design)也有客体(object of design)。设计的主体一般指进行智力或者思维活动的人,通常称之为智能体(有关设计主体的研究可以进一步参考文献[9]~[11])。而设计的客体则指设计的对象或者结果,通常称之为人工物或技术系统。加拿大学者Ralph和Wand提出了一个设计的概念模型^[12],在这个模型中,设计既有名词也有动词之分。设计作为名词,从面向对象的视角看,可以解释为“物”,如设计对象、人工制品、系统、产品或者服务(这里统称为“设计物”)。此时设计是指设计物本身,既包含设计物的外在展现形式,如形状、色彩、材

收稿日期:2017-09-15;修回日期:2017-10-23

作者简介:李响,首席研究员,研究方向为设计科学、设计方法学、智能设计等,电子信箱:xiang.lee@sysgraph.cn

引用格式: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;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2017.22.002

料、形式等;同时也包含设计物内在的需求、功能、结构和行为等特征,以及这些特征要素之间如何关联在一起进而物化为设计对象。设计作为动词,从面向过程的视角看,可以解读为“事”或者“过程”。此处的设计是指设计过程的活动序列,包含设计过程的活动及其时序逻辑关系。可以将这个过程看作是从初始状态(需求、约束)到目标状态的转换过程。

科学是一种有关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、可验证等特征,对具有同一性质的事物有引用和应用的价值^[13]。科学没有主观性,它所产生的知识是可靠的,因为它是可以被证明的。传统上,科学的目标是通过发现和分析物理世界的对象来发现知识,帮助人们理解客观世界的系统,它揭示了决定其系统特征、内部工作原理以及它们产生的结果的原理。用一句话来总结设计和科学的内涵:科学是以发现知识或是揭示事物规律为目的,设计是以应用知识和规律实现需求目标为目的。

而设计科学(或称为“人工科学”)则与自然科学相对。自然科学是关于自然物体和自然现象的知识;设计科学则是关于人工物和人工现象的知识^[14]。进一步讲,设计科学应该包括设计的主体(人)、设计的动作(设计过程)、设计的结果(人工物)的知识集合。设计科学不仅要发现设计相关的知识或者是设计规律为目的,更要以如何运用设计知识和规律来指导设计实现需求目标为目的。这是本文对设计科学

内涵的理解。

2 从学术界视角看设计科学

尽管国外对设计科学的争论已有半个世纪的历史,但系统性的阐述设计科学的著作较少。以下主要分析以国外2本著作作为基础的Hubka设计科学框架、Aline设计科学研究框架。通过这2个设计科学框架来分析国外学者的研究思路,进而探讨其对设计科学研究的启发。

2.1 Hubka设计科学框架

V. Hubka等在《Design Science》一书^[15]中,试图回答什么是设计科学的问题,即:设计科学可以被理解为一个逻辑上相关的知识所构成的系统,这个系统将设计相关的所有知识完整地组织在一起。因此,该书作者构建了一个有关设计科学的知识体系,将设计科学划分为两大分支:设计对象(或技术系统)、设计过程(设计方法论)。设计对象分支大到可以是社会-技术系统、技术系统,小到可以是特定领域的对象(如机械、电子、建筑等领域),包含其相关理论和知识。设计过程分支包含设计过程的相关理论和知识,如设计阶段、设计活动、流程和方法论。作者进一步将设计科学的分类组织为一个罗盘模型(图1)^[15]。该框架最大的问题是,虽然划定了设计科学研究的范围和边界,但缺乏对设计主体——组织或人的研究。

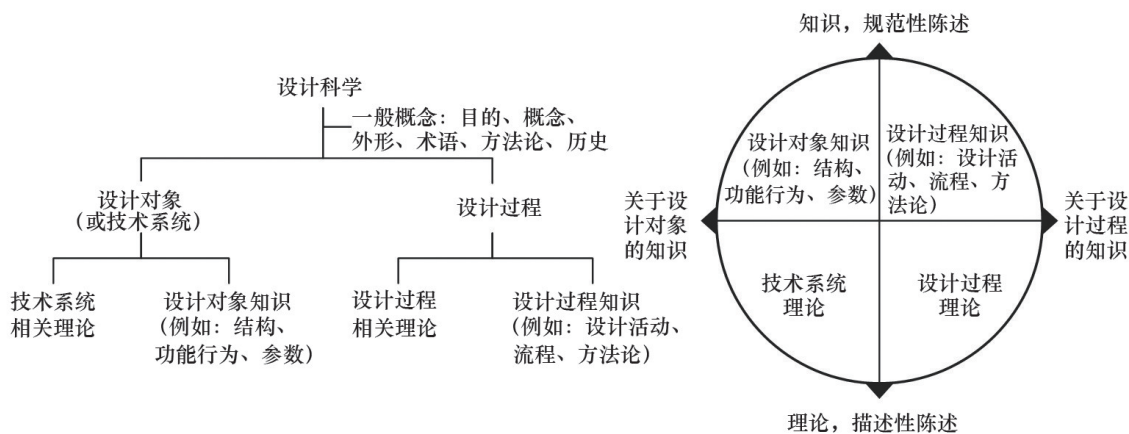


图1 设计科学的分支体系和设计科学罗盘模型

2.2 Aline设计科学研究框架

Aline Dresch等在《Design Science Research》一书^[16]中提出了设计科学研究框架,该框架主要分为12个步骤,其中包括:①识别问题;②提炼出有价值的问题;③系统性的文献调研;④构思解决方案;⑤提出设计方案解决特定的问题;⑥设计所选定的对象;⑦开发设计对象;⑧设计对象评估;⑨澄清学习完成;⑩得出结论;⑪一类问题的泛化;⑫设计结果交流

与沟通。每一个步骤都基于一个科学的方法进行实践,并有特定的输出内容。该书作者认为设计科学研究应该遵循这12个主要步骤,在每一个步骤中可以按照科学的方法进行(如反绎推理、演绎推理、归纳推理等方法),同时规定了每一个步骤的输出内容。Aline Dresch等试图通过这样一个设计科学研究框架(图2),指导设计过程按照一个标准的范式进行,属于一种设计研究的方法论。

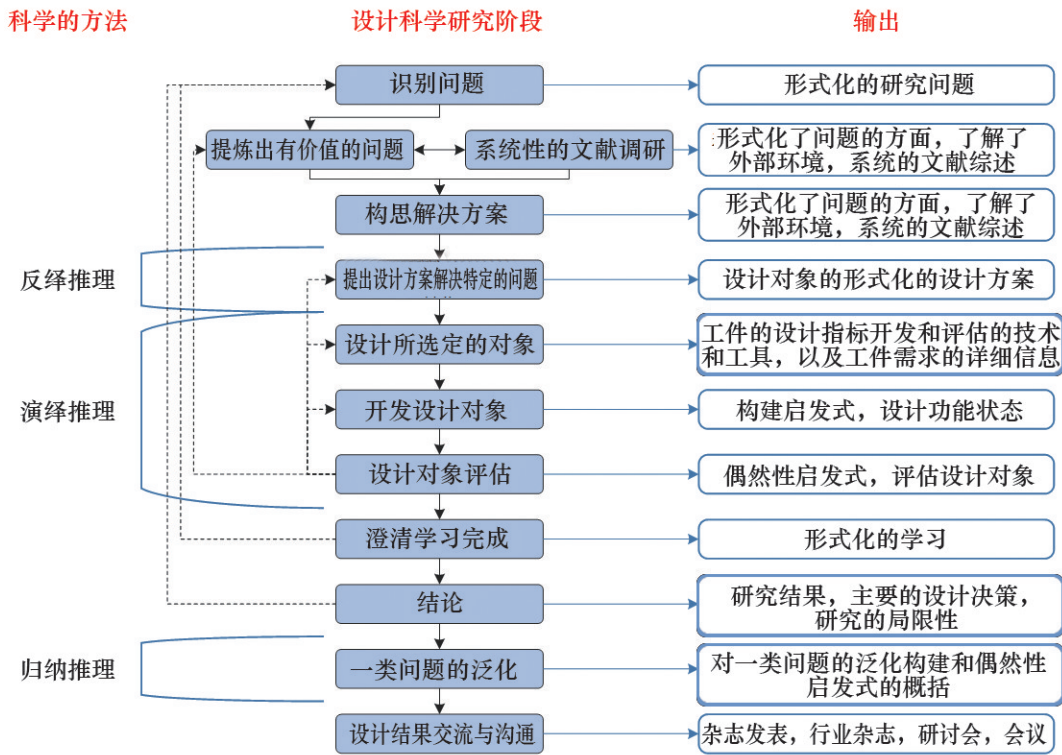


图2 Aline设计科学研究模型^[4]

3 中国设计科学未来要解决的问题

3.1 国外设计科学的发展方向与愿景

《Design Science Journal》^[5]提出,设计科学的目的是作为跨越多个学科、以科学为基础的设计知识的交流场地。人们越来越认识到,设计本身就是一门学科,具有整体性和多面性。设计知识广泛分布在不同领域,有不同的术语、概念和研究实践。严谨的设计研究主要发表在以学科为导向的期刊上,大多数人对设计感兴趣,但不具备必要的学科领域知识。从上述分析看,国外设计科学的发展目标是:促进跨越不同领域的交流,并作为跨越多个社区的桥梁,出版原始的研究,强调学者来自不同学科多样性。

根据以上两种框架的对比分析可以看出,Hubka提出的框架主要是对设计科学划分了设计对象和设计过程的知识体系,按照不同的知识体系,通过科学的方法进行设计知识的发现、探索和积累;Aline提出的框架对设计科学研究定义了严格规范的过程,通过科学的方法进行设计科学研究。前者是从设计知识体系的构建过程研究设计科学,后者则是从如何发现知识、规律的科学方法出发研究设计科学,对设计科学研究的层次不同。而发展中国家有关设计科学领域的理论与研究在充分吸收国外研究思路的基础上,需要提出不同的发展路径,以更好地适应中国当前设计创新所面临的问题。

3.2 设计科学在中国要解决哪些问题

中国设计科学的发展方向与目标不能仅以运用科学的

方法发现知识、运用知识和规律为目标,更不能以满足作为跨越多个学科、以科学为基础的设计知识的交流场地为目的。设计是一门实践的科学,任何设计理论与方法的研究最终的目的都是为了设计实践和应用。设计科学的研究同样如此。因此,结合中国自身的发展阶段和情况,中国设计科学发展中应尝试解决以下3个问题。

1) 如何能让我们的设计更加具有竞争力。

尽管中国在某些少数领域的产品设计能力已领先于国际,但我们的设计能力仍有待加强和提高,发展中国设计科学的目的应当服务于设计实践,应当以实现设计竞争力为第一目标。设计竞争力应该是一切设计活动所追求的最高目标,设计竞争力既是设计的牵引力,也是设计的驱动力。要让我们的设计具有竞争力,就不能走发达国家的封闭研发、长期积累,搞封闭式创新。面对新知识、新技术以及面向全球的智力资源,设计科学在中国的研究和实践中需要给出一种新的设计范式和模式,尝试寻找另外一条赶超发达国家的设计创新之路,来指导中国工业界的设计实践,设计出有竞争力的创新性产品、系统或服务。

2) 如何充分利用已有的知识和技术资源,实现资源的共享和整合。

伴随着中国“双创”的热潮,目前创新创业的公司数量巨大,越来越多的企业在垂直细分领域积累并掌握了具有核心竞争力的单项技术。为提高设计的竞争力,工业界的企业需

要拓展企业的知识、技术、能力边界,将企业外具有竞争力的已有知识和技术资源整合到企业内的产品设计中。设计科学在中国的研究和实践中需要给出如何最大化资源共享和复用的机制,发挥资源的主动性和积极性,通过互联网技术方便知识资源的发布、共享、搜索等机制。使企业充分利用和整合已有的知识和技术资源,加快产品设计创新过程。这其中有一系列问题需要解决,如设计知识如何分类和表达、存储、搜索策略;设计知识如何集成,这些都可以作为设计科学的研究内容进行研究和探索。

3) 如何加速知识流动,进而加快产品创新设计过程。

未来知识的流动速度决定了企业产品创新的速度,企业开展设计创新活动必然会在知识流动,但优质的知识流动并不是自然而然的行为。有必要研究企业内部与企业间的知识流动机理,发现其流动过程中的主要障碍性因素,并优化这一过程。因此,如何能够加速设计知识的流动应是设计科学重要的研究内容。

4 从工业界视角提出新的“以模型为中心”的设计科学范式

本文从工业界视角提出一种新的“以模型为中心”设计科学范式(图3)。其核心在于解决前面提出的3个问题,即:①如何提升设计的竞争力;②如何充分利用已有知识和技术资源;③如何加速知识流动。这一设计科学范式的核心思想是:各领域掌握其设计对象知识和设计过程知识的组织或个人通过设计知识模型化的方法将各自的知识转换为模型,目的是让计算机可以理解、存储、搜索和集成知识。为实现各领域内专业知识转换为统一的模型,模型需要标准化。模型的标准化在国内没能受到足够的重视,目前在国外有很多模

型标准,如建筑领域的BIM模型、工程设计领域的SysML模型、软件工程领域的UML模型、业务过程BPM模型等。知识模型存储在机器中以后,可以在互联网虚拟空间中进行知识模型的发布和流动。作为工业界掌握集成技术的企业、组织或个人,可以在互联网中搜索所需的模型知识,搜索到可用的模型知识后,通过模型集成的方式将来自不同领域有竞争力的知识集成在一起,满足设计总体的要求和约束,最终实现“竞争取胜”的设计目标。上述过程的核心内容有以下4个方面,建议纳入设计科学的研究范围中。

1) 设计知识的数字化、模型化表达。

对于设计知识如何模型化表达,按照Hubka的设计科学框架,可将设计知识体系划分为设计过程知识和设计对象知识。目前,在国外对这两大分支的知识体系都能够找到相对应的建模语言和建模标准进行设计知识的模型化表达。比如:有关设计过程的知识可以采用业务过程建模语言BPM/BPMN表达,有关设计对象的知识可以采用统一建模语言UML和系统建模语言SysML表达。在国内,学术界以浙江大学刘玉生团队为代表^[14-16],工业界有上海图阅智能科技有限公司为代表在进行这方面探索、实践和研究,并开发具有自主知识产权的设计知识模型化系统建模工具。设计知识模型化的目的是将不同领域设计师的知识和经验转化为标准化的模型进行表达和封装,进而可以存储在机器中,并通过Human-Machine-Human(HMH)的方式加速设计知识的流动、共享、协同和复用,进而可以将不同领域的知识基于模型进行集成,可以实现快速应用他人知识进行设计集成创新。因此,借鉴相关标准,研究设计知识如何数字化、模型化表达对于设计创新的实践具有重要意义。

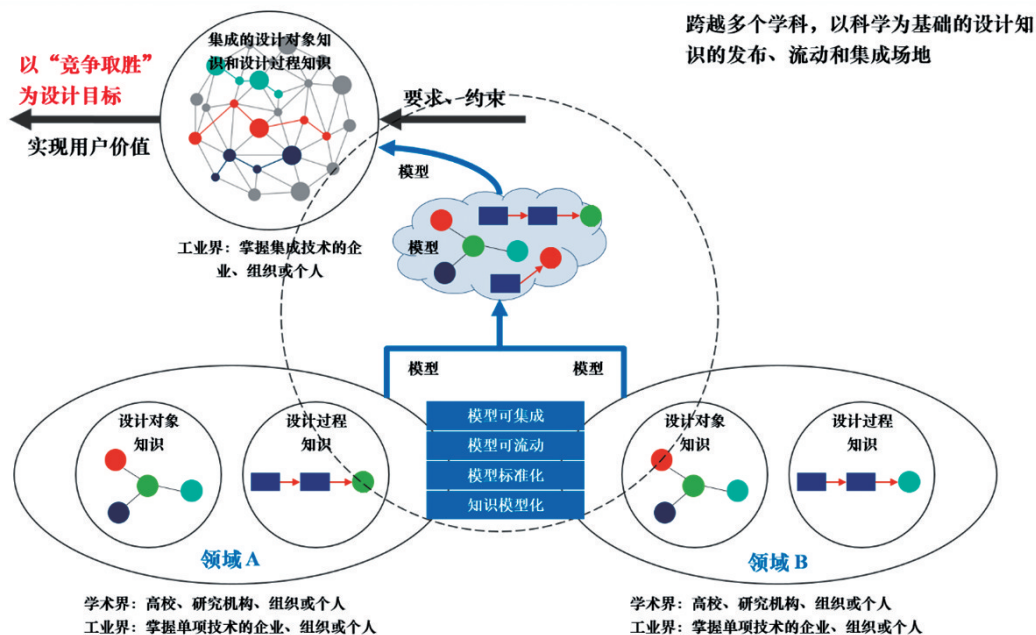


图3 “以模型为中心”的设计科学范式

2) 模型的标准化问题。

对于模型的标准化问题,目前国际对象管理组织(Object Management Group, OMG)已经发布了几十种主要模型标准^[17],其中最主要的4种模型标准已经为国外广大工程设计人员提供认证和培训,包括OCUP 2™-OMG's UML 2.5 Certification、OMG Certified expert in BPM™ 2 (OCEB™ 2)、OC-SMP™ SysML 1.5 & Model-Based Systems Engineering (MBSE)、OMG Certified Real-time and Embedded Specialist™ (OCRES™)。模型的标准化工作是指导工程设计的规范性要求,同时也是未来机器理解模型、基于模型进行推理、计算机辅助工程师设计创新实现设计智能化的基础性工作。国外极其重视模型标准化的制定、培训、认证和普及工作。国内的现状是学习、跟踪并实践国外的这些模型标准(在中国航空新闻网以“模型”为关键字进行搜索,可以看到中国航空集团各院所在这方面的实践),目前还不具备根据自己的实践探索来总结和制定中国的标准,模型的标准化工作是目前国内的薄弱环节,特别是设计领域中的模型标准化问题。这方面的能力亟需加强,建议这一研究工作应该纳入到设计科学的研究中,并组织力量进行建设。

3) 基于模型的知识流动机制。

关于基于模型的知识流动机制,在不同设计主体之间(例如文献[10]、[11]提到的在有经验的设计师和经验较少的设计师之间),进行基于模型的知识流动机制研究具有重要的意义。中国工程院院士谢友柏对设计科学中的知识进行了研究,提出了设计中的知识流理论^[18-19]。然而知识流理论中侧重的是知识流动路径、流动阻力方面的研究,并没有强调这个“流”或者知识如何表达的问题。在设计知识模型化的基础上,需进一步丰富和扩展基于模型的知识流理论,比如基于模型的知识发布、交易、协同和复用。可以进一步研究从有经验的设计师→知识转变模型→机器之间的知识模型流动→知识模型→传递缺乏经验的设计师的知识流动路径。这样一个看似简单的知识流动路径涉及到多方面的研究内容。不管是Hubka的设计科学框架(图1),还是Aline的设计科学研究模型框架(图2),都没有考虑到设计是由多个设计主体参与的协作过程,设计知识如何在不同的设计主体间进行流动,研究如何加速这个流动,对提升设计的效率和创新具有重要的意义。

4) 模型如何集成。

模型如何集成是跨越单个组织边界创新、进行面向开放式创新的集成设计的关键^[20-22],其中设计知识的数字化、模型化表达和模型的标准化问题是模型集成的基础。随着各学科领域专业知识的进一步细分和专业化,如果能够将不同学科的碎片化单元知识表达为标准化的模型,通过基于互联网模型集成的方式进行集成,将会充分迸发出创新的活力。目前,国外OASIS组织发布的Open Services for Lifecycle Collaboration(OSLC)^[23-24]采用开放式服务的方式进行数据的发布和

集成,已经逐步被企业界所认可。该标准和服务的模式对设计知识的集成具有重要的借鉴意义。通过模型的集成,可以利用专业的资源提供专业化的知识服务,不仅能够加快设计的创新和效率,同时也能够降低设计的风险。模型如何集成对于构建由中国中小企业资源所组成的创新设计生态环境具有重要意义。

5 结论

从学术界和工业界两个视角探讨了设计科学的内涵,从学术界视角介绍了国外2种设计科学框架。分析了当下中国设计领域存在的问题,并从工业界的视角提出新的“以模型为中心”的设计科学范式。提出设计科学应该包括设计知识的数字化和模型化表达、模型的标准化、基于模型的知识流动机制、模型如何集成4方面的研究内容。提出的“以模型为中心”的设计科学范式对于发展中国设计科学理论、构建中国的创新设计生态环境具有重要意义。

参考文献(References)

- [1] 谢友柏. 设计科学的争论和设计竞争力[J]. 中国工程科学, 2014 (8): 4-13.
- [2] Simon H A. The sciences of the artificial[M]. The MIT Press, 1969.
- [3] Vladimir Hubka, Ernst Eder. Design science, introduction to the needs, scope and organization of engineering design knowledge[M]. Springer, 1996.
- [4] Aline Dresch, Daniel Pacheco Lacerda, Jose Antonio Valle Antunes. Design science research: A method for science and technology advancement[M]. Springer, 2015.
- [5] Design Science[EB/OL]. 2017-10-22. <http://www.designsciencejournal.org>.
- [6] Papalambros P Y. Design science: Why, what and how[J]. Design Science, 2015(1): 1-38.
- [7] Eekels J. On the fundamentals of engineering design science: The geography of engineering design science: Part 1[J]. Journal of Engineering Design, 2000, 11(4): 377-397.
- [8] Eekels J. On the fundamentals of engineering design science: The geography of engineering design science: Part 2[J]. Journal of Engineering Design, 2001, 12(3): 255-281.
- [9] Ho Chunheng. Some phenomena of problem decomposition strategy for design thinking: Differences between novices and experts[J]. Design Studies, 2001, 22(1): 27-45.
- [10] Ahmed S, Wallace K M, Blessing L T M. Understanding the differences between how novice and experienced designers approach design tasks[J]. Research in Engineering Design, 2003, 24(1): 1-11.
- [11] Nigel Cross. Expertise in design: An overview[J]. Design Studies, 2004, 25(5): 427-441.
- [12] Ralph P, Wang Y. A proposal for a formal definition of the design concept[C]//Lyytinen K, ed. Design requirement engineering: A ten-year perspective. Springer, 2009: 103-136.
- [13] Romme A G L. Making a difference: Organization as design[J]. Organization Science, 2003, 14(5): 558-573.
- [14] 刘玉生, 蒋玉芹, 高曙明. 模型驱动的复杂产品系统设计建模综述[J]. 中国机械工程, 2010(6): 741-749.

- [15] 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.
- [16] 刘玉生. 砥砺前行——与世界同步发展 MBSE 技术[N]. 中国航空报, 2016-07-21.
- [17] About the OMG® specifications catalog[EB/OL]. 2017-10-22. <http://www.omg.org/spec>.
- [18] 谢友柏. 设计科学中关于知识的研究——经济发展方式转变中要考虑的重要问题[J]. 中国工程科学, 2013(4): 14-22.
- [19] 谢友柏. 基于互联网的设计知识服务研究——分析中国工程科技知识中心(CKCEST)的功能[J]. 中国机械工程, 2017(6): 631-641.
- [20] 李响. 面向开放式创新的产品集成设计理论与方法研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2014.
- [21] 李响, 曹远国, 张执南, 等. 基于智能规划的自动化概念设计综合方法[J]. 上海交通大学学报, 2014(8): 1134-1141.
- [22] 李响, 张执南, 陈斌, 等. 面向开放式创新的知识服务平台的构建与实践[J]. 机械设计与研究, 2014(5): 99-105.
- [23] Open services for lifecycle collaboration[EB/OL]. 2017-10-22. <http://open-services.net/>.
- [24] Koneksys: Open services for lifecycle collaboration[EB/OL]. 2017-10-22. <https://oslc.github.io>.

The design science as seen from academic and industrial perspectives

LI Xiang

SysGraph Lab, Shanghai 200240, China

Abstract This paper discusses the contents of the design science, and two kinds of design science models from the academic perspective. In view of some problems in the Chinese design domain, a novel digital model-based design science paradigm is proposed from the industrial perspective. It is suggested that the design science should include four research fields: (1) how to represent the design knowledge with a digital model; (2) the standard of the digital model; (3) the mechanism of the digital model-based knowledge flow; (4) how to integrate the digital model.

Keywords design science; digital model; design methodology; artificial intelligence(AI) design; intelligent science

(责任编辑 陈广仁)