

设计科学：从规范性到描述性

侯悦民^{1,2}, 季林红²

1. 北京信息科技大学机电学院, 北京 100192

2. 清华大学机械系, 北京 100084

摘要 论述了目前关于设计科学的不同观点,探讨了重要设计理论的特点。分析表明,目前设计理论集中在应当如何做而缺乏对客观规律的探索。设计科学不仅是采用科学的方法研究设计,而且作为一门科学,设计科学应具备科学的一般属性,即探索客观规律和发展描述性理论。描述性设计理论可为设计理论和方法提供依据,为提高设计效率 and 设计质量提供指导。

关键词 设计科学;规范性;描述性;设计理论

设计科学在20世纪60年代至今半个多世纪的发展中经历了3个高峰。20世纪60年代至70年代早期,以优化为主要推动力使设计科学达到第1个高峰。20世纪80年代初,优化方法、运筹学、计算机技术及商业软件的发展极大地推动了设计研究,同时丹麦工业大学Hubka等出版了《技术系统论》^[1]、德国柏林工业大学Pahl和Beitz等出版了《工程设计》^[2]、美国卡内基梅隆大学赫尔伯特·西蒙(Herbert Simon)出版了《人工科学》^[3]等一系列理论著作,促使设计科学发展达到第2个高峰^[4]。20世纪90年代到21世纪初,设计研究吸引了工程、艺术、心理学、脑神经科学、生物学、计算机、建筑学等多领域的研究群体,以数学(概率论和随机数学、优化)、计算和人工智能(KBE、Agent、基因算法、细胞自动机等)为主要推动力,这一阶段设计认知和人工智能成为主要特征。这种研究趋势与设计实践相背离。丹麦工业大学的Andresen强烈质疑这种设计研究潮流,提出当前设计研究与工程设计相离甚远^[5]。Michel van Tooren认为目前的设计研究是用非常复杂的数学模型和计算方法解决非常简单的问题,并且不能解决真正的工程实际问题。21世纪初至今,设计研究从研究群体到研究领域持续发展,促进设计科学研究达到了第3个高峰。这一阶段以认知科学和心理学为理论指导,以计算机技术、知识工程、人工智能技术构建自动设计过程为主要特征,并重新提出了设计科学的概念,重塑其概念内涵。密西根大学的Papalambros首次在密西根大学开辟了设计科学学位,招收跨界跨专业的学生,例如跨越音乐和机械专业,跨越生物和电子专业。然而,何谓设计科学目前学术界仍无共识。

对设计科学内涵的思考关系到设计研究的目标、对象、方法和内容,对工程而言,关系到从自动化系统到自治智能系统的转变。

设计既是艺术也是科学,这个观点一般没有争议。设计作为艺术(技艺)是不言而喻的,设计的定义可以很广泛,包括人类创造的所有产品,包括艺术创造(例如音乐、绘画、雕塑、手工艺品、诗歌、小说、戏剧、电影等),包括工程产品(例如桥梁、建筑、花园、机器、飞机、汽车、火车、家具、人造日用物品等),包括社会组织、科学著作、计算机软件、技术报告等,也可以包括日常衣食住行需要规划的事物。有学者将教学也列入设计科学研究范畴^[6]。不同领域的学者对设计有不同的理解和定义,一般可以接受的观点是:设计既是艺术(技艺)也是科学。设计科学研究是以设计是科学为出发点,至于在何种程度设计是科学,则存在不同见解。

有观点认为设计作为科学是采用科学方法研究设计,即设计的科学(Science of design, SoD),这个观点是目前国内外的主流观点,也是《人工科学》一书所用的术语。依照此观点,可靠性设计、优化设计、进化设计、TRIZ理论、KBE等可谓设计的科学。那么什么样的研究是设计科学?一种观点认为不存在设计的科学以外的所谓设计科学,设计科学就是设计的科学^[7]。设计本身不是科学活动,但是研究设计可以是科学活动的目标^[8]。也有观点认为,人工制品设计本身存在客观规律,采用科学规范探索这种客观规律则为设计科学(Design science, DS)。有学者以实用性设计研究和学术性设计研究区分,前者为设计的科学(SoD),后者为设计科学

收稿日期:2017-09-15;修回日期:2017-10-22

基金项目:北京市自然科学基金项目(3172014);国家自然科学基金项目(2011ZX02403)

作者简介:侯悦民,博士,研究方向为设计科学、生物启发的设计理论和算法,电子信箱:hym01@mails.tsinghua.edu.cn

引用格式: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; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2017.22.003

(DS)^[7]。Cross^[9]总结了设计研究40年的发展历史,对设计科学和设计的科学分别给出了定义:设计科学指对设计进行清晰组织的、理性的、全面的系统性研究,不仅应用科学知识,而且设计本身为科学活动;设计的科学指通过科学探索的方法改进人类对设计的理解。也有学者认为设计科学的本质是科学,因此讨论的重点是采用科学规范开展设计研究,而无需区分是设计的科学(SoD)还是设计科学(DS)^[7]。

本文讨论目前有关设计科学的观点,分析目前设计理论的特点,认为目前设计理论缺乏对客观规律的探索,设计科学其内涵不仅是采用科学的方法研究设计,作为科学,设计科学应具备科学的一般属性,即探索客观规律和发展描述性理论。发展描述性理论的意义在于其为设计理论和方法提供依据,为提高设计效率和设计质量提供普遍规律。

1 关于设计科学的讨论

迄今学术界对何谓设计科学各抒己见,本文讨论目前关于设计科学的主要观点。

1.1 国内观点

国内对设计科学的讨论较少,主要是在工程设计、建筑设计、艺术设计、管理学领域。

在建筑设计和艺术领域,一种观点^[10]是采用 Warfield 的观点^[11],认为设计科学是不同层次的设计学的集成,可分为3类:狭义设计学解决专门领域设计问题,一般设计学研究设计活动的共性问题,广义设计学则对狭义设计学和一般设计学归纳为一般原理。依照这种观点,关于设计的研究均可归类为设计科学。

文献[12]将教育学归类为设计科学并将设计科学与形式科学并列。文献[13]将设计科学列为第3种科学,区别于形式科学(formal science)(例如数学)和解释性科学(experimental science)(例如物理学),采用 Herbert Simon、Edward de Bono 的观点,将所有为实现人类期望的可能性目标的学科列为设计科学范畴,认为设计科学解决怎么办的问题。文献[14]对 Fuller、Simon、Cross 等的观点进行了讨论,沿用了 Cross 的观点:设计作为一个学科,其基本原理由知识构成并独立于专业领域。文献[15]提出,早期的设计研究延续了自然科学描述方法和工程设计规范方法,因而其研究范式需要从“设计科学”转向“设计研究”,并将研究分类为“文化导向”的研究、“科学导向”的研究、“学科导向”的研究和“问题导向”的研究。这个观点是将以往的描述性方法纳入设计科学范畴,而将不同导向的应用性研究纳入设计研究范畴,这种划分的问题在于将规范性描述和科学理论混淆,将应用研究和描述性科学理论混淆。

文献[16]提出管理学是设计科学,设计科学与自然科学(文献称为解释性科学)的区别在于前者是面向目标的、基于技术规则的、具有前瞻性。文献[17]提出管理设计学属于设计科学,作为设计科学,管理设计理论不仅是设计“技术规则”,而且是一套规范性的知识体系,用于指导某类管理实

践。依照此观点,设计科学应为规范性理论。

清华大学柳冠中^[18]认为:设计学是一门科学的、系统的、完整的体系,是“人为事物”的科学的方法论,是在描述自然规律基础上,阶段性规范人为事物的性能,所以“设计”要研究事物在当前阶段应当是什么概念,以及应当如何做的方法。设计分为“事”和“物”两个层面,前者关乎人以及人与物的交互的知识,后者包括以物为核心的知识系统,包括信息和服务等非物理性物质。在“物”的层面,设计本质上是实践性科学^[19]。依照此观点,分别以“事”和“物”不同视角研究“事”和“物”,在“事”的层面,以人为核心;在“物”的层面,是实践科学。

文献[20]以亚里士多德(Aristotle)科学分类为依据,分析了设计的三重性,提出设计活动在不同层次上分别属于自然科学、创制科学和实践科学。按照亚里士多德,既然存在自然的科学,显然另外还要有实践的科学和创制的科学,即科学分为自然科学、创制科学和实践科学3类^[21-22]。自然科学依靠人类的思辨探索支配自然的定律,自然本身是研究对象。研究方法是综合和分析,观察、发现、归纳,再回到个体演绎、证实。创制科学以实体及其所是为对象,所有的制作或者出于思想或者出于技术潜能。实践科学的运动本源不在实践事物中而更多的在实践者中。“每种科学或多或少或是推理的或是原本就是寻求其目标的特定原理和原因的推理。”(亚里士多德)如果将设计定义为“集成各个学科的已有知识解决人类的问题”,这个定义本质上是设计定义为应用,也即实践科学。在此框架下,以研究“结构何以是其所是”为目标的研究属于创制科学,即设计科学是创制科学,以设计对象的物质属性为目标的研究是自然科学,以集成和应用自然科学知识和其他知识的研究为实践科学。

国内对设计科学发展最有影响的理论是谢友柏提出的设计科学四定律^[23-24]:①设计以已有知识为基础定律;②设计知识的不完整性定律;③设计以新知识获取为中心定律;④设计的竞争性定律。谢友柏指出,人类一切有目的活动都可以分为设计和实施两个部分。某一特定领域的设计基本规律(例如摩擦学设计中的摩擦学3个公理、结构设计中的等强度原理、热机设计中的热力学定理等),不一定能够成为设计科学的内容,它们研究的是该领域的基本规律,不能回答其他领域的设计问题。

1.2 国外观点

一种观点认为设计科学是认识世界的新的范式并非新学科,而是集成所有科学解决人类的问题(Medard Gabel)^[25]。另一种观点是非集成论,这种观点是主流观点,《设计科学》期刊发表的文章体现了这一点,也代表了国外关于设计科学的主要论点^[7]。以下简单总结讨论主要观点。

1) 设计科学的内涵。

设计科学研究如何创制人工物品,以及如何将其融于我们的物质生活及心理、经济、社会、虚拟世界(Panos Papalambros)。这个定义包括了设计的2个层面:人工制品的创制、

与社会的融合。前者涉及设计的本质问题,使设计科学与其他人文科学区别开来;后者涉及人工制品的特殊性,使设计科学与自然科学区别开来。人工物品融合的概念外延了“事”和“物”的概念。在上述设计科学语境下,设计科学超越集成其他科学的范畴。

设计科学的重心是理解设计综合过程以及如何辅助这个综合过程(Jonathan Cagan)。设计研究对象不仅包括“产品”也包括“服务”(Yong Se Kim),包括用户(Mitchell M. Tseng),包括任何人造社会-技术系统(Bernard Yannou)。设计科学研究应着重于理解产品复杂性、理解设计者、理解用户、理解设计过程以及组织活动(Saeema Ahmed-Kristensen)。设计科学涉及行为和物理2个层面。行为是设计者的行为,由设计者的社会和心理背景所决定,因此设计科学需要深入研究感官和精神状态对设计者决策的影响;物理层面是指人工制品和环境的界面(Yan Jin)。有观点认为设计科学也包括商业模式(Bernard Yannou)。

既然为科学,则必须符合科学规范。Steven M. Smith认为,设计作为科学应当用科学方法。科学方法包括理论和学说,基于理论和学说得出可实验验证的猜想、对猜想进行验证、系统分析实验观察的现象,用基于观察获得的结果评价理论学说的正确性和准确性。设计科学应当是可操作的理论和模型,这些理论和模型可以解释观察的现象,并可预测发生的现象。Yoram Reich认为,在设计科学的语境下,科学的含义已经超越了传统的“观察自然、归纳科学定律”的范畴。作为科学,首先确立设计科学研究目标,然后提出服务于这个目标的假说和猜想,采用的研究方法应当能证明如何验证这个假说。

设计研究是传统学科研究和当代趋同性研究的平衡,即具有更高层次的集成性研究,其表现形式为:多学科、跨学科、交叉学科(Kristin L. Wood)。设计科学研究应当揭示和应对设计中的交叉学科问题,并提出一个集成各个学科原理、方法、工具的框架(Wei Chen)。不能将设计视为不同领域各自的研究问题,设计也远超越了满足物理性能的范畴,设计科学需要以目标和目的为导向的统—的研究方法,而非方法和工具(Jean-Francois Boujut)。设计的科学具有自己独立的科学位置,主流科学研究范式没有容纳设计创新和创造性的余地,因此并不适合设计研究,设计研究需要表明在何种意义上设计是科学(Pieter E. Vermaas)。

建立科学的设计研究,需要克服2个关键问题:第一,理解设计的科学本质;第二,这种理解可以凝聚为一个学说,仅仅具有对设计的基本认识不足以建立设计科学研究体系,因此需要整合、集成设计的不同层面,将其凝聚为一个体系(Alex Duffy)。

Ashok K. Goel认为新兴设计研究的2个方向是认知设计(cognitive design)和自然设计(natural design)。其中,认知设计以人为中心,可简称为co-design,自然设计包括生态设计(ecodesign)和多类生物启发的设计(biomimicry, biomimet-

ics, bioinspiration and biologically inspired design)。认知神经科学和大数据将对设计研究产生显著影响,前者有助于深入了解设计者的行动,后者有助于在不干扰设计者的情况下获取数据和分析设计过程数据(Marco Cantamessa)。这种研究模式超越了用科学方法研究设计的范畴,突出体现了设计科学与心理学、管理科学及其他社会科学研究方法的区别。发展设计科学研究的3个方向是脑神经研究、新技术和能够解释设计过程的新设计研究范式,可概括为设计认知、技术工具、科学的研究范式(Petra Badke-Schaub)。Sean Hanna认为,设计潜在地涉及所有使我们人之所以成为人的认知特质,超越任何其他人类活动,设计的效应实实在在影响我们的世界,因此,如果有方法能够真正理解设计过程,那设计科学必将是超越其他科学领域的科学。

2) 设计的科学。

设计科学指“设计的科学”,而非设计本身是科学,设计应当严谨,然而严谨的含义不同于自然科学,设计作为科学只是部分地可形式化,部分地可验证(Terry Knight)。“设计的科学”是关于设计的知识体系,包括设计知识以及更好支持设计的各个方面之间的关系的知识(Amaresh Chakrabarti)。“设计的科学”是将设计作为研究对象,科学探索影响设计的各种因素,创意来源和如何培育和实施、思维过程、交流模式,需要有科学探索的工具,需要使用科学的方法,通过系统观察和实验测试,找出影响设计的因素。“设计的科学”应能告诉我们什么促成优秀设计、如何指导设计者、团队和组织创造最好的设计(Colleen Seifert)。“设计的科学”应当研究人如何构成动态设计空间、克服设计固着性、发挥创造性(Jonathan Cagan)。设计的艺术其内涵是产生创意;设计的科学其内涵是分析、评估、预测和优化这些创意的潜在价值和性能。

设计的科学的研究特点包括:1)系统性研究、辨识、认识其内在机制和原理,例如TRIZ;2)指导性,例如设计作为人工制品或服务、问题关联性、设计评价、研究贡献、研究严谨性、设计作为探索过程、研究交流等;3)科学方法和相关设计研究方法的应用,既包括归纳方法、也包括演绎方法;4)设计过程、理论、方法和实践的研究进展;5)多学科合作和多学科方法,设计科学知识的创造、验证和转化;6)从设计作为人类探索活动、以及设计影响人类生存和社会的角度,设计与人文学科、艺术和社会科学具有伴随性和内在相关性(Kristin L. Wood)。

3) 设计科学的挑战。

Steven M. Smith指出,现在设计研究普遍采用一种“如果这么做会怎样”的形式,这样做很难建立一个称其为科学的设计科学。Chris McMahon指出,目前的设计研究都是固守在自己狭窄的领域研究,避开实际问题,取得的成果不具备一般性和通用性,研发的方法和工具只能用在特例不具备可信性。

P. John Clarkson认为,如何抓住能够产生好设计的设计过程的特征目前没有定论。Petra Badke-Schaub指出,设计

研究文献非常多,但是所提出的设计理论各不相同,而理论与设计者的实际设计过程也不一致。目前提出的众多方法通常只适用于个例。虽然积累了大量研究成果,但是很多成果互相矛盾,没有明确的共识性知识。研究方法采用很多其他邻近学科的方法,其后果是产出大量实验性成果而缺乏对这些成果整体一致性解释。

1.3 讨论

目前设计科学研究主流可分为两大类:基于心理学和认知科学等的设计认知、基于分析的设计。产品设计源于思维,而产品方案的比较和选择则基于科学方法和计算,即用科学的方法指导设计决策,设计科学的内涵是基于分析的设计。基于分析的设计是目前设计研究的主要研究方法,以多学科优化设计、构型优化、可靠性设计、有限元分析等基于数学的分析方法为代表,取得了众多研究成果,也是设计研究中最富有工程价值的研究。然而,目前基于分析的设计的研究是对已有方案进行分析,而设计的核心问题是如何形成方案。目前设计认知领域的研究提出了很多基于设计案例的设计过程的分析,侧重于人的思维层面。

设计科学研究对象是设计,即包含“物”也包含“事”,对“事”和“物”的研究内容包括产生物的过程以及人-物的交互,并包括作为设计者和使用者的人,即人-事-物组成的系统。设计科学研究内容包括设计所涵盖的人-事-物动态系统方方面面的知识、方法、工具等,也包括管理。有的观点提出,设计科学研究方向是创造使人类社会与自然世界和谐的人工制品的知识,总之,设计科学包罗万象。但是,这个定义过于宽泛,反而弱化了设计科学存在的意义。设计科学必须找到自己在科学中的位置,而非仅仅应用其他科学的成果和采用其他科学的方法。设计科学研究需要超越目前经验性研究而需要发展解释性的理论。作为科学,设计科学的理论应具有科学的基本属性,即可证伪^[26]。可证伪性是目前设计理论的硬伤。

如果将设计定义为“集成各个学科的已有知识解决人类的问题”,这个定义本质上是设计定义为应用,也即实践科学。这个定义更接近于设计技术。

设计学不等于设计科学。谢友柏的观点明确划分了专业领域的设计学与设计科学的区别。这种划分的意义在于从事物的特殊性到一般性的质的转变。目前研发的设计系统一般对具体产品或产品家族有效,重用性低或者不具备重用性,其原因在于其所依据的设计原理不具备普遍性。因此,即使从设计效率出发,探索具有普遍性的科学原理具有实际经济和工程意义。

2 设计研究现状分析

目前的设计理论多数属于规范性的,例如Pahl和Beitz的系统设计方法学^[2]。设计研究路线可分为描述性和规范性。描述性研究路线是归纳、形式化设计实践以改进设计活动本身,而规范性研究路线提出设计应当如何做以完善现有的设

计实践^[27]。

设计模型也可分为规范性和描述性。描述性设计模型从认知角度描述实际设计过程,其作用是辅助设计者,侧重于计算机辅助设计。规范性或者规定性的设计模型给出基于规则、步骤的方法和技巧。依照这个论点,公理化设计也属于此种范畴^[28],公理化设计与其他此类设计方法的不同之处在于其规定了两条公理,而其他方法是基于步骤的方法。(也有学者认为,公理化设计不是设计方法而是分析方法)。规范性设计模型的功能是改进设计过程和作为设计结果的产品质量。

设计科学的经典著作是赫尔伯特·西蒙的《人工科学》^[3],由一系列关于认知科学、人工智能和组织管理的讲稿编辑整理而成。有学者认为,赫尔伯特·西蒙的人工科学大致是描述性的理论^[29]。在赫尔伯特·西蒙那里,主要是从行为科学和决策科学视野阐述设计的概念,他提出设计有2个核心问题:一是优化、二是决策。然而,优化和决策都是基于一组备选方案。在工程设计中,首先需要有方案,而且通常都是具有几何形态的方案。因此,如何产生初始方案和几何形态是工程设计的根本问题。正如西蒙所言,工程中一般不需要最优而只需要满意的方案,因此,设计的根本问题是何以产生初始方案的几何模型,优化是精益求精的要求,并不是必须满足的工程要求。进一步,赫尔伯特·西蒙提出设计的逻辑是搜索备选方案,包括3项内容:1) 搜索备选方案的逻辑方法;2) 建立输入和输出(感受器和效应器)关联信息系统,能够感受环境、辨别目标与当前状态的差异、并响应环境采取行动缩小差异的系统;3) 寻找备选方案的资源配置。如何产生备选方案?这涉及关于结构的理论以及结构分级组织的理论。

其他描述性设计模型主要是基于人类设计活动的设计过程模型,例如设计认知(design cognition)模型模拟人类设计能力建立基于计算机的设计模型^[30],Rveski的5个公理(例如其中一个公理是每一种设计方案都必然会改变其所处环境的平衡关系)^[31],Warfield的设计理论概括人类设计过程的共性原理^[30-32]。这些描述性模型描述设计者的设计思维过程或者基于设计者思维模式的计算机模型。

如前所述,工程设计的核心是结构。Hubka^[1,33]和Pahl和Beitz的设计理论是解决如何获得以工作结构为表达形态的初始方案这个问题,其核心是功能-结构匹配,匹配的核心是功能载体或者“器官(organ)”^[5]。其步骤为:1) 首先分解总功能为分功能;2) 寻找实现分功能的工作原理;3) 进一步寻找能够使工作原理发生作用的工作结构即功能载体;4) 进一步将工作结构组合为最终产品结构。中间需要反复分析、验证、优化和决策。

众多学者发展了这些设计理论,提出了各种功能-结构映射的方法,例如形状语法、设计语法、Agent代理技术、基于知识的工程(knowledge based engineering, KBE)、键合图等,以及其他人工智能和数学方法。其中对Hubka和Pahl、Beitz理论的重要发展是引入行为的概念,提出功能-行为-结构的

设计模型。很多学者指出在功能和结构之间的联系是物理现象、物理状态、物理特性,将工作原理的概念进一步表达为行为。John Gero 等将上述观点发展为功能-行为-结构模型(FBS)^[34]。Umeda、Tomiyama 等表达为功能-行为-状态(state)以及功能-行为-物理现象-状态(F-B-PhPh-S)^[35],其中工作原理表达为物理现象,物理现象体现为状态,设计过程中结构的几何形态也表达为状态,从而通过状态建立功能和结构连接关系。在功能-结构之间引入行为不仅表达了设计本质是设计行为,而且提供了功能-结构的计算模型。

欧洲一些学者对在功能-结构之间引入中间状态“行为”持不同见解,认为50年的专业设计实践表明只有功能-结构的转换,不存在所谓行为。这个争论的焦点在于如何定义功能和行为。这个争论由来已久,各路学者各持己见。例如有学者将“旋转”定义为功能,有学者将“旋转”定义为行为。笔者认为辨别功能和行为的一种方法是区分主观描述还是客观描述。当旋转作为主观描述采用文字描述的时候,其性质是功能;当旋转作为客观描述采用物理变量 ω 等描述的时候,其性质是行为(也可表达为状态state或者特性property)。

将行为从功能中分离的意义在于将主观世界转换为客观世界,使得将工作原理引入设计模型成为可能,并使得设计模型具有可计算性。以乔治亚理工为首发展的structure-behavior-function(SBF)设计语言^[36]就是建立在FBS模型基础之上,以结构为索引,结构用行为和功能描述。功能-结构匹配理论侧重于设计者如何做,基本属于规范性描述。FBS模型是对功能-结构模型的提炼,但是表达了设计对象演变特性,因此,FBS模型既是规范性也是描述性模型,但是仅仅在描述结构形成中的核心设计要素是行为这一点上属于描述性模型。在实际设计中,设计者通常是直接思考工作结构,跳过行为这个阶段。但是由计算机执行设计过程,行为表达是必须的,行为表达将主观概念转变为计算机可以运算的物理参数,据此确定结构参数并对结构进行分析和评价。

另一方面,设计是思维过程,是通过思维实现功能-结构的转换。C-K理论(concept-knowledge)^[37]认为这个过程是概念和专业知识互相关联、从初始概念发展到准确精确专业知识的过程。认为初始概念与专业知识关联,继而产生新的概念,新概念进一步与更具体的专业知识关联,如此反复之字形交互关联,最终产生经过知识验证、用知识表达的设计方案。C-K理论是对设计者思维过程的描述。FBS模型最初用综合的概念表达思维过程,后发展为基于情景的设计(the situated design)从认知角度用情景关联性表达思维的动态性^[38]。

TRIZ理论为设计思维提出了可操作的规范模式。TRIZ理论^[39]起源于20世纪60年代,Altshuller基于众多发明专利提炼出了发明创造的十几种思维定式,20世纪80年代以后众多学者发展了TRIZ理论,进一步拓展为40种发明原理和39种标准技术参数以及技术系统进化理论,并进一步发展为基于计算机创新的百余种发明原理。TRIZ理论的核心是采用规范的发明原理对已有技术系统和产品进行转化和进化。例

如采用分离原理将功能分离以降低复杂性并适应不同需求(例如洗衣机和烘干机),采用合并原理将不同功能和结构合并为一个整体减少体积和重量(例如笔记本电脑、智能手机),采用场转换原理将燃烧热转换为微波热(火炉和微波炉)。

功能-结构映射具有非唯一性,搜索备选方案的逻辑方法目前一般采用人工智能(AI)算法和基于知识的工程(KBE))方法(严格地说,后者是前者的一个分支)。20世纪80年代前后Suh提出公理化设计^[40],提出功能分解和功能结构匹配应遵循独立性公理和信息最小化公理,作为制定设计决策的科学依据^[41],其应用难点在于信息量计算和解耦方法^[42]。公理化设计理论本身不提供搜索备选方案的逻辑方法,也不涉及如何产生备选方案,因此有学者认为公理化设计是分析模型而非设计模型。公理化设计存在的另一个问题是可验证性。有多少成功产品的设计满足这两条公理?

上述理论从技术系统和设计者思维不同侧面提出了实现设计的方法和过程,研究路线是基于工程实践提炼总结为设计理论和方法,对设计过程提出规范性方法。其视角是以设计者为主体的。以计算机为视角的设计研究是设计计算和自动设计为主。具体方法步骤是模拟设计者的思考模式和设计活动。例如以KBE为核心的自动设计其核心思想是规定设计步骤和几何原型,在计算机上运行实现设计自动化或半自动化。所有这些设计方法都没有明确指出结构形成的原理,而这对提高设计效率、实现自治设计是至关重要的。设计研究50年来,在很多方面取得了巨大的进展,但是对功能与形式的联系至今没有充分的理解,30年前如此^[30],30年后的今天依然如此。对功能与形式的联系的探索需要探索以“物”为主体对象的设计科学研究,发展描述性设计理论。

3 设计科学发展描述性理论

3.1 何谓规范性和描述性

首先解释何谓规范性(normative)、何谓描述性(descriptive)。在决策科学、心理学、哲学对规范性和描述性都有详细定义和解释。决策科学对二者的定义为:规定性理论是关乎合理决策应如何制定,而描述性理论是关乎决策实际是如何制定^[43]。心理学对二者的定义^[44]:规范性理论从认知角度致力于认知如何理性推理、判断和决策的规则,理论基础主要是形式逻辑、概率理论和决策理论;描述性理论描述人实际如何思考。哲学对二者定义^[45]:规范性陈述阐述应当如何,是基于价值判断,无关逻辑;描述性陈述阐述事实如何,无关价值判断。与normative接近的概念是prescriptive, prescriptive表达改进某项事物所需要做的改进。有文献用normative or prescriptive表达方式将二者归为一类。有文献将prescriptive置于normative和descriptive之间,认为工程模型广义上属于prescriptive model^[46],决策工程是prescriptive其目的在为提供遵循normative原则^[47]的方法。Prescriptive本质上属

于应当如何,即 ought。因此一并归于 normative。与 descriptive 接近的概念是 explanatory,有文献表达为 descriptive or explanatory^[48-49],指出解释性理论是对某个事物在某个特定层次进行描述性阐述,因此在此归类于 descriptive。虽然这些定义并不完全相同,但是基本含义大致相同。规定性阐述是对做某事情规定规则和程序,即应当做什么(ought)。描述性阐述是描述事物的本来面貌,即解释事物何以是其所是(is)。解释性是描述性理论的必要条件,是区别描述性阐述和描述性理论的区别所在。

可以从一个例子解释二者区别,文献[50]对这两个概念做了清晰的解释。在19世纪40年代维也纳中心医院有2个产科诊所,诊所1声誉不好,以至于妇女宁可在大街上生孩子也不去诊所1。诊所1就职的1个年轻匈牙利医师 Semmelweis 为此进行了调研。调研表明,由于在诊所1生产死亡率比诊所2高150%,所以妇女不愿意去诊所1。进一步调研表明,在诊所1,妇女生产后由医生负责诊治,这些医生做完解剖手术后不进行氯液消毒。诊所2由助产士负责照料产妇。这个医师得出猜想:死尸的某些物质是导致死亡的原因,并据此提出了建议:医生做完尸体解剖后应当进行氯液消毒以消除死尸气味。执行这个规定使诊所1的产后死亡率降低到了与诊所2持平。但是由于没有理论支持这个假说,这个建议最终被否决,此医生被开除,后来到其他医院工作也得不到支持,1865年死于精神病院。1年之后,帕斯卡开展实验对此现象进行了深入研究,发表了细菌理论。依据细菌理论解释了这个现象:人眼看不见的细菌可以通过接触导致健康的人感染。医师的调查报告是描述性(descriptive)阐述,其建议是规定性阐述(normative)。帕斯卡的理论是描述性理论,基于这个描述性理论可以解释医师调研报告所描述的现象。这位医师的不幸遭遇也说明科学探索不仅需要毅力也需要坚强的意志。

再举一个例子解释描述性和规范性研究方法与描述性和规范性理论(模型)的区别。饮料瓶的形状有很多种,通过调查人们对不同瓶子形状的喜爱程度收集数据得出统计数据,以此为依据设计瓶子形状,这个研究对产品设计有实际意义,是描述性的研究,但是其结论不是描述性理论。密西根大学 Papalambros 领导的优化实验室在大样本调研和分析基础上提出审美模型,依据这个模型解释了最受欢迎的瓶子的形状符合黄金分割率。这个审美模型是描述性理论,解释了形状与一般主观审美标准的内在规律,可以解释为什么某种瓶子更受欢迎的现象^[51]。

3.2 规范性和描述性的二分化

赫尔伯特·西蒙在《人工科学》中提到:“With goals and ‘oughts’ we also introduce into the picture the dichotomy between normative and descriptive.” normative 和 descriptive 在中文版本^[52]中译为规范性与描述性。译文是:“谈了目标问题与‘应当怎样’的问题,我们也就引入了对立着的规范性与描述性的概念。”

设计研究是 descriptive 还是 normative,直接关系到设计科学的内涵及研究目标。西蒙提出,“Natural science has found a way to exclude the normative and to concern itself solely with how things are. Can or should we maintain this exclusion when we move from natural to artificial phenomena, from analysis to synthesis?”这个问题才是设计科学研究所关注的。自然科学是分析自然现象,是描述性的;人工科学研究人工现象是综合性的,那么人工现象是否也可以是描述性的而非规范性的呢?《人工科学》第5章对这个问题进行了论述,在第3版脚注中也简略回答了这个问题。赫尔伯特·西蒙的回答是:“I may say that I hold to the pristine empiricist’s position of the irreducibility of ‘ought’ to ‘is,’ ... This position is entirely consistent with treating natural or artificial goal-seeking systems as phenomena, without commitment to their goals.”“可以说,我坚持实证主义二分法,那就是,从“ought”不能推导出“is”,这个立场完全符合将自然或人工目标寻求系统当作现象,无关乎其目标”。

is-ought(“是-应当”)不可逾越是著名的休谟(D. Hume)定律^[53]。从 ought 陈述无法得出 is 陈述,反之亦然。休谟举例说,如何能够从宇宙如何工作推导出宇宙应当如何工作? ought 是依据自身目标规定的,而非从 is 导出的。在休谟定律中,“is”陈述主要是关于道德的陈述,无关乎科学,然而这个定律从逻辑上论述了 is-ought 不可互为因果。然而,有观点认为,当“is”中包含了 ought 的前提时, is 可以为 ought 提供依据,例如 is+goal,如果要建造一座能够抵抗风力的桥,则可依据工程力学推出应当如何做什么以及不应当做什么^[54]。当然,仅依靠工程力学远不足以建桥,设计一座桥超越了工程力学的知识和应用范畴,这也是设计科学研究意义所在。反之,无法从 ought 推出 is。

科学探索始于观察及对所观察现象的客观描述,并逐步完善,例如伽利略经过观察提出了更精确的太阳系模型,牛顿提出万有引力理论解释了太阳系何以是如此^[53]。描述性理论可用于指导规范性方法。

3.3 描述性理论的必要性

规范性方法提供 ought,指导应该如何做设计。然而,设计中是否有脱离主观意志的普遍规律?如果答案是肯定的,那么是否可以认为探索这种规律是属于设计科学范畴?那么设计理论是 normative 理论还是 descriptive 理论?既然是科学理论,则关乎“是”,将自然或人工目标寻求系统当作现象,依据科学规范,其规律是描述性理论。由此,设计科学 DS 作为科学,其规律是关于“是其所是”的描述性理论,与设计的具体目的无关。对技术性产品而言,既需要描述性理论也需要规范性方法,因为设计是实现特定的意图和目的,关乎评价,因此规范性方法是指导设计的具体实施。

当前的设计理论以规范性方法为主,指出应当如何设计。但是在实际工程设计中,设计人员实际基于其自身掌握的知识及创造性思维能力和分析能力进行设计,而并不需要

具备设计理论和方法的知识。另一方面,对同一设计需求,不同设计者可能提出不同的工作原理和结构方案。因此,存在行为-结构关联的客观规律,探索这种规律是提供描述性理论。

规范性理论不能为自治智能设计提供指导。自然界的产物不是遵循 ought 而形成的,而是自治过程,其规律是 is 的知识。探索自治系统设计原理,不能以规范性理论为依据,其道理就在此。描述性理论提供关于设计的 is 的知识,是与设计目的无关的普遍规律。

规范性理论可用于设计自动化,但是对自治智能设计则需要探索结构形成过程的客观规律、提出描述性设计理论。如何探索结构形成的客观规律是设计科学独有的问题,是与其他科学的区别所在。

规范性设计方法需要描述性设计理论为科学依据以具备客观性和必要性。在人工设计模式下,描述性设计理论不是必要的,只是对设计效率和设计质量有影响。在基于计算机的设计模式下,规范性理论是设计自动化的理论基础,而描述性理论为自治智能设计提供科学依据。发展描述性设计科学理论的意义在于为人工物设计提供客观规律,其最终效应将深刻影响设计模式以及产品生产模式、极大程度提高设计效率和设计质量。

3.4 设计的科学和设计科学

目前设计研究的核心思想是以人的设计活动作为模版,其研究成果为规范性陈述或者规范性设计方法。其理论和方法的构建依据是设计者的设计活动和设计者的思维,而设计者的活动和设计者的思维是有差异的,并高度依赖于个人的知识结构及思维特点,也依赖于设计者的工作资源和工作环境^[55]。有句名言是“1000 个人心中有 1000 个哈姆雷特”。这句名言可以套用于设计:1000 个人有 1000 种思维模式和设计模式。同理,同样的功能需求,1000 个人可能会设计出 1000 种不同的产品结构。此外,当前以及今后的设计是以计算机为主体进行,当前这种以人的设计活动为模版构建的规范性设计方法必然不适应以计算机为主体的设计方式,这是目前设计理论和方法应用受到很大限制的一个原因。目前在构建设计自动化系统方面采用的主要技术是形状语法、KBE、Agent、人工智能技术,基本方法是针对具体产品预先规定设计过程、预先建立知识模型、几何模版和功能-结构映射关系,对不同的产品需要重新建立上述各个方面,而构建这些模型通常比设计产品本身需要更多人力和财力,因此设计自动化系统基本是停留在研究层面、难以投入工业应用,其根本原因在于其理论基础是规范性方法,不具备客观性和普遍性,因此其适应性和重用性受到极大限制。如前所述,ought 不能转换为 is,反之,is 可以为 ought 提供依据。因此需要发展具有普遍性的描述性设计科学理论。这就涉及 2 个问题:其一,是研究对象的转移,从以人的设计活动为模版转移到探索功能-结构关联性的客观规律;其二,是研究范式的转移,从建立规范性方法规定“功能-结构怎样匹配”转换为发

展描述性设计科学理论。本文将前者归类为设计科学,将后者既归类于设计科学也归类于设计的科学研究,取决于研究对象的属性。

当将设计活动本身作为现象进行科学研究时,是关于设计的科学,其关注的对象是人如何设计、以及人与物包括设计对象和工作环境的交互过程所呈现的现象。当将人工制品从功能到结构的演变过程作为研究对象进行研究时,是设计科学,其关注对象是“物”本身在外界作用下(例如设计决策、资源约束)所呈现的从信息到结构的演变规律。前者对模拟人行为的设计自动化提供规律,后者对模拟自然的自治智能系统设计提供规律。

研究对象的属性也可区分为社会属性和自然属性,以此区分设计的主观性和客观性,进一步区分设计要素可变性(柔性设计要素)和非可变性(刚性设计要素),以此区分设计过程的自治和非自治部分的边界,进一步区分设计的科学和设计科学的分界。

工程产品具有双重性,首先是人造物品并为人所使用,因此具有社会属性;其次,结构为物质对象,其形式服从自然规律,此外一旦制成并投入使用,与其他自然界的事物一样遵循自然规律,服从化学和物理定律,因此具有自然属性。同时由于是人所设计的,因此具有主观性;又由于必须服从客观规律,因此具有客观性。设计要素包括需求、功能、行为、几何结构、功能原理、物理效应、技术效应、资源、约束、工具等。其中有些设计要素是所有产品所必要的,称为刚性设计要素;有些设计要素因不同产品不同设计者而异,称为柔性设计要素。在设计过程中,有的设计阶段服从一定的可计算的设计原理,因此可以依据输入的信息自动转换为更详细的产品状态,即具有自治性;有的设计阶段需要设计者做决策方能进行到产品设计的下一个阶段,则为非自治设计。

对设计的社会属性、主观性、柔性设计要素和非自治设计部分开展科学研究,属于设计的科学范畴。而对于设计的自然属性、客观性、刚性设计要素和自治设计部分进行科学研究则可以是设计的科学、也可以是设计科学。两种研究都具有科学和技术意义,然而各自承载的功能不同,因此二者的研究路线不同,研究目标也不相同。

当设计理论阐述设计者“应当怎么做”的时候,是规范性的,以设计者为视角,因此属于设计的科学;当设计理论阐述“结构如何形成”的时候,是描述性的,以客体为视角,因此属于设计科学。研究某种物理形态的物理现象是物理学。反之,研究产生某种物理现象的一组物理形态的内在规律,是设计科学。例如,实现某项功能可以有几种结构方案,其背后的共性原理是什么?研究结构之间的物理现象的协作效应是物理学,研究其结构方案形成过程中信息和结构的转化规律是设计科学。

在用科学方法研究设计的前提下,区分设计的科学和设计科学的另一个方法是描述对象的区别。是描述设计者如何设计?还是描述结构何以形成?从这个意义上说,赫尔伯

特·西蒙的《人工科学》是描述设计者如何设计。但是并非所有描述设计者如何设计的研究都可归类为设计的科学。例如设计案例描述本身是描述性陈述但不是设计科学理论。因此,一个关键问题是是否符合科学规范、是否具有可证伪性。例如,公理化设计提出独立公理信息最小化定理。问题是在设计中是否必须遵循这两个定理?进一步说,有多少设计者需要依据信息最小化计算确定设计方案?如何证伪?

在科学语境下,设计科学就是科学探索。“每种科学或多或少或是推理的或是原本就是寻求其目标的特定原理和原因的推理。”(亚里士多德)作为设计科学,就是探索实现特定目的(功能、需求、意图)的结构是何以形成的。这个是超越了物理学、化学、心理学、生物学以及社会学的理论和实践。有些产品可以超前于理论,例如中国古代的机械,没有理论指导,基于个人经验和知识,因此不是设计科学而是设计实践。而科学就是探索其背后的依据。显然物理学、力学不足以解释实践超前于理论的设计活动,因为制作人可能并没有多少物理学、力学知识。其本质仍然是探索宇宙的奥秘,只不过包括了作为宇宙组成元素的“人”。

设计是自然存在、人类知识、精神和思维3个世界^[56]相互作用的产物,既包括“设计的科学”也包括“设计科学”,或者统称为设计科学。设计科学不同于自然科学,也不同于其他人文社会科学。设计科学有自己独立的科学地位,其本质是探索如何在自然世界、精神世界和人类知识3个世界相互作用下产生满足人类需求的物质产品以及非物质产品。设计科学成果具备科学的一般属性:描述性及可证伪性。

4 结论

设计科学研究如何创制人工制品,是关于设计的知识体系,与自然科学的区别在于其既符合自然规律还需满足社会规律,与心理学、管理科学及其他社会科学的区别在于其不仅是将设计作为研究对象,而且设计本身部分地是科学活动,设计科学无法归类于现有的科学分类,也不是集成现有的学科,而是超越自然科学和人文社会科学边界的新科学。设计科学需要符合科学规范的研究方法,然而并非采用当前主流科学范式,因为科学的含义已经与时俱进;设计科学采用新的研究范式,区别于自然科学、人文科学、工程科学等已有科学。

当将设计本身作为现象进行科学研究时,是关于设计的科学,其关注的对象是人如何设计、以及人与物包括设计对象和工作环境的交互过程所呈现的现象。当将人工制品从功能到结构的演变过程作为研究对象进行研究时,是设计科学,其关注对象是“物”本身在外界作用下(例如设计决策及资源约束)所呈现的从信息到结构的演变规律。前者对模拟人行为的设计自动化提供规律,后者对模拟自然的自治和智能设计提供规律。对设计的社会属性、主观性、柔性设计要素和非自治设计部分开展科学研究,属于设计的科学范畴。

而对于设计的自然属性、客观性、刚性设计要素和自治设计部分进行科学研究则可以是设计的科学、也可以是设计科学。两种研究都具有科学和技术意义,然而各自承载的功能不同,因此二者的研究路线不同,研究目标也不相同。自治部分主要属于设计科学研究范畴,非自治部分主要属于设计的科学研究范畴。设计科学探索产品结构形成的内在规律,解释其形成机理。

设计是自然世界、人类知识、精神和思维3个世界相互作用的产物,即包括设计的科学也包括设计科学,统称为设计科学。设计科学不同于自然科学,也不同于其他人文社会科学。设计科学有自己独立的科学地位,其本质是探索如何在自然世界、精神世界和人类知识3个世界相互作用下产生满足人类需求的物质产品以及非物质产品。设计科学成果具备科学的一般属性:描述性及可证伪性。

参考文献(References)

- [1] Hubka V, Eder W. Theory of technical systems: A total concept theory of engineering design[M]. Dordrecht: Springer, 1988.
- [2] Pahl G, Beitz W, Feldhusen J, et al. Engineering design: A systematic approach[M]. Springer, 2007.
- [3] Simon H. Sciences of the artificial[M]. 3rd ed. Cambridge: MIT Press, 1996.
- [4] Cross N. Forty years of design research[J]. Design Studies, 2007: 28(1): 1-4.
- [5] Andreasen M M, McAloone T C. Applications of the theory of technical systems—Experiences from the “Copenhagen School”[C]//AEDS 2008 Workshop, Pilsen—Czech Republic, 1 October–1 November 2008.
- [6] Pinkawa M, Asadpour B, Piroth M D, et al. Health-related quality of life after permanent I-125 brachytherapy and conformal external beam radiotherapy for prostate cancer—A matched-pair comparison[J]. Radiotherapy and Oncology, 2009, 91(2): 225-231.
- [7] Papalambros P Y. Design science: Why, what and how[J]. Design Science, 2015(1): 1-38.
- [8] Grant D P. Design methodology and design methods[J]. Design Methods and Theories, 13(1): 46-47.
- [9] Cross N. Designerly ways of knowing: Design discipline versus design science[J]. Design Issues, 2001, 17(3): 49-55.
- [10] Laurillard D. Teaching as a design science: Can we unlock the power of technology[C]//The CDE's Research and Innovation in Distance Education and eLearning conference, Senate House London, 19 October 2012. <https://www.youtube.com/watch?v=eh9254T2ZYg>.
- [11] Warfield J N. A science of generic design: Managing complexity through systems design[M]. Iowa State Press, 1994.
- [12] 赵伟. 广义设计学的研究范式危机与转向——从“设计科学”到“设计研究”[D]. 天津: 天津大学, 2012.
- [13] 陈玉和. 论设计作为设计科学的教育学[J]. 西南交通大学学报(社会科学版), 2015, 16(1): 1-18.
- [14] 陈玉和. 设计科学: 引领未来发展的科学[J]. 山东科技大学学报, 2012, 14(4): 1-10.
- [15] 赵伟, 夏缘缘. 设计科学还是设计学科[J]. 艺术探索, 2016, 30(4): 98-102.
- [16] 武夷山. 管理学是设计科学[N]. 学习时报, 2007-06-04.

- [17] 刘兴华. 管理研究的设计科学探讨[J]. 科学学与科学技术管理, 2010 (5): 71-75.
- [18] 柳冠中. 设计“设计学”——“人为事物”的科学[J]. 南京艺术学院学报(美术与设计), 2000(1): 52-57.
- [19] 柳冠中. 设计方法论——认识论[EB/OL]. 2016-01-08. <https://wenku.baidu.com/view/187e67be02768e9950e73845.html>.
- [20] 侯悦民, 季林红, 金德闻. 设计的科学属性及核心[J]. 科学技术与辩证法, 2007, 24(3): 23-28.
- [21] Aristotle. *Metaphysics*[M]. Ross W D. trans. <https://classics.mit.edu/Browse/browse-Aristotle.html>.
- [22] 亚里士多德. 形而上学卷[M]. 苗力田, 译. 北京: 中国人民大学出版社, 2000.
- [23] 谢友柏. 设计科学中的四个基本定律[EB/OL]. 2016-07-08. <https://wenku.baidu.com/view/78c3efecbb68a98270fefa23.html>.
- [24] 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.
- [25] Gabel M. Introduction: Design science[C]//Ho-Ping. Food for Everyone. Doubleday, 1979: 10-11. <http://designsciencelab.com/resources/Design-Science-Intro.pdf>.
- [26] 卡尔波普尔. 科学发现的逻辑[M]. 查汝强, 邱仁宗, 万木春, 译. 北京: 中国美术学院出版社, 2007.
- [27] Behdad S, Berg L P, Thurston D, et al. Synergy between normative and descriptive design theory and methodology[C]//Proceedings of the ASME 2013 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference IDETC/CIE 2013, August 4-7, 2013, Portland, Oregon, USA, 1-15. http://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1008&context=me_conf.
- [28] Ng K W. A critical analysis of current engineering design methodologies from a decision making perspective[C]//Intelligent Production Machines and Systems, edited by Duc T. Pham, Eldaw E. Eldukhri, Anthony J. Soroka. Elsevier, 2006, July 3-14. 369-374. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.335.7372&rep=rep1&type=pdf>.
- [29] Goel A K, Vattam S, Wiltgen B, et al. Chapter 6: Information-processing theories of biologically inspired design in biologically inspired design: Computational methods and tools[M]. London: Springer-Verlag, 2014: 127-152.
- [30] Finger S, Dixon J. A review of research in mechanical engineering design. Part 1: descriptive, prescriptive, and computer-based models of design processes[J]. Res Eng Des, 1989(1): 51-67.
- [31] Rzevski G. On the design of a design methodology[M]. U K: Westbury House, 1981.
- [32] Warfield J N. Domain of science model: Evolution and design[C]. Proceedings of the Society for General Systems Research, 1986.
- [33] Hubka V. Theorie technischer systeme[M]. Berlin: Springer-Verlag, 1984.
- [34] Gero J S, Kannengiesser U. A function-behaviour-structure ontology of processes[C]. Design Computing and Cognition '06, Springer Netherlands. 2006: 407-422.
- [35] Umeda Y, Kondoh S, Shimomura Y, et al. Development of design methodology for upgradable products based on function-behavior-state modeling[J]. Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing, 2005, 19(3): 161-182.
- [36] Wiltgen B, Goel A K. Functional model simulation for evaluating design concepts[J]. Advances in Cognitive Systems, 2016(4): 151-168.
- [37] Hatchuel A, Weil B. C-K theory: Notions and applications of a unified design theory[C]//Herbert Simon International Conference on "Design Science". Lyon (France), 15-16 March 2002, 1-22.
- [38] Gero J S, Kannengiesser U. The situated function-behaviour-structure framework[J]. Design Studies, 2004: 25(4), 373-391.
- [39] Altshuller G S. Creativity as an exact science: The theory of the solution of inventive problems[M]. Luxembourg: Gordon and Breach Publishers, 1984.
- [40] Suh N P, Bell A C, Gossard D C. On an axiomatic approach to manufacturing and manufacturing systems[J]. ASME Journal of Engineering for Industry, 1978, 100(2): 127-130.
- [41] Suh N P. A theory of complexity, periodicity and the design axioms[J]. Research in Engineering Design, 1999(11): 116-131.
- [42] 肖人彬, 蔡池兰, 刘勇. 公理设计的研究现状与问题分析[J]. 机械工程学报, 2008, 44(12): 1-11.
- [43] Hansson S O. Decision theory: A brief introduction[J]. Techniques of Automation & Applications, 2005, 12(3): 1-94.
- [44] Over D. Rationality and the normative/descriptive distinction[EB/OL]. Blackwell Handbook of Judgment and Decision Making. Derek J. Koehler, Nigel Harvey, ed. 2007. http://www.blackwellreference.com/public/tocnode?id=g9781405157599_chunk_g97814051575993.
- [45] Philosophy index-normative[EB/OL]. 2017-07-10. <http://www.philosophy-index.com/terms/normative.php>.
- [46] Baron J. The point of normative models in judgment and decision making[J]. Frontiers in Psychology, 2012(3): 577. doi: 10.3389/fpsyg.2012.00577. 2012: 1-7.
- [47] Keller L R. Decision research with descriptive, normative, and prescriptive purposes—Some comments[J]. Annals of Operations Research, 1989(19): 485-487.
- [48] List Christian. Levels: descriptive, explanatory, and ontological[EB/OL]. 2016(1): 1-35. <http://philsci-archiv.pitt.edu/12040>.
- [49] List C. Levels: descriptive, explanatory, and ontological[EB/OL]. 2016, <http://personal.lse.ac.uk/list/pdf-files/Levels.pdf>.
- [50] Ricciardi F, Baskerville. Design and normative claims in organization studies: A methodological proposal[J]. Designing Organizational Systems, Lecture Notes in Information Systems and Organisation 1. doi: 10.1007/978-3-642-33371-2_2, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013.
- [51] Pan Y, Burnap A. Deep design: Product aesthetics for heterogeneous markets[C]//Proceedings of the ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, v Part F129685, 1961-1970, August 13, 2017.
- [52] Simon H A. 人工科学[M]. 武夷山, 译. 北京: 商务印书馆, 1987.
- [53] Hume D, The treatise of human nature, Book III: "Of Morals"[EB/OL]. <http://www.sparknotes.com/philosophy/hume/section3.rhtml>.
- [54] Watsonm B. Ought and is[EB/OL]. 2013-09-01. <https://www.firstthoughts.com/blogs/firstthoughts/2013/01/ought-and-is>.
- [55] Winkelman P. Description, prescription and "bad" design[C]//International Conference On Engineering Design, ICED11. 15-18 August 2011, Technical University Of Denmark.
- [56] Popper K. Three worlds[C]. The tanner lecture on human values, delivered at The University of Michigan, April 7, 1978.

Design science: From normative towards descriptions

HOU Yuemin^{1,2}, JI Linhong²

1. Electric and Mechanical Engineering School, Beijing Information Science and Technology University, Beijing 100192, China

2. Department of Mechanical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China

Abstract The design is both an art and a science. The design science focuses on the science part of the design, including the studies of the designers and the interaction between the people and the created artifacts in the society, and the studies of the structures and their behaviors. There is no clear boundary between these two domains, and the Science is what they share. The design as a science should follow the scientific research paradigm and investigate design laws with descriptive theories. The current design research tends to provide normative methods, which can work in certain cases but cannot be extended to general design cases. Normative methods prescribe what the designers OUGHT to do, while descriptive theories tell us what IS behind the design practices. The normative methods can work in certain cases but not in general cases. They are necessary for the design because the design is a goal-oriented activity. However, only after we understand what IS behind the different design practices can we construct effective design methods to guide better design. In the case of computer design systems, the normative methods lead to the design automation, but only descriptive theories can pave the way to the autonomous design or the partially autonomous design.

Keywords design science; normative; descriptive; design theory

(责任编辑 陈广仁)