

【专题：可持续产品系统设计】

可持续产品系统设计研究

姚君

(中国矿业大学, 徐州 221116)

摘要: **目的** 研究产品系统设计中的可持续理念, 思考可持续产品系统设计的背景及演变脉络, 对可持续产品系统设计理论的发展方向进行深入探讨。**方法** 通过文献分析进行相关理论整理, 梳理系统设计和产品系统设计的理论体系、核心观点及其中的可持续理念; 以微观、中观、宏观三个层面, 构建可持续产品系统设计三观层次体系; 总结提出可持续产品系统设计的主要方法。**结论** 系统探讨可持续产品系统设计中概念、设计、工程及评价的体系结构, 从新技术和新需求两个角度, 提出可持续产品系统设计的发展趋势及存在的问题, 为可持续产品系统设计的深入研究提供参考。

关键词: 可持续; 系统设计; 产品系统

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)14-0001-09

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.14.001

Sustainable Product System Design

YAO Jun

(China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

ABSTRACT: The work aims to study the concept of sustainability in product system design and to consider the context and evolution of sustainable product system design, making an in-depth discussion on the design theory development direction of sustainable product system. The theories, core ideas and concept of sustainability in system design and product system design were sorted out based on literature analysis. A three-level hierarchy of sustainable product system design was built up at the micro, meso and macro levels. The main methods of sustainable product system design were summarized and proposed. The architecture of concept, design, engineering and evaluation in sustainable product system design is systematically discussed, and the development trend and issues of sustainable product system design are put forward from the perspectives of new technology and new demand, providing reference for the in-depth study of sustainable product system design.

KEY WORDS: sustainable; system design; product system

“子钓而不纲，弋不射宿”，《论语》中乐寓自然、取物有节的思想深远地影响着后世，可见春秋时期我国就已树立适度索取、协调发展的理念。柏拉图在《克里底亚篇》中以阿蒂卡森林消失一事指出人类活动对自然生态的破坏，并对人与自然应有的合理关系展开讨论。在古时，资源消耗的压力相对较小，但人口的聚集行为及对自然资源的无限制索取势，必也会对当地生态体系造成巨大压力，因此一些朴素的可持续思想已经得以形成和发展。

关于可持续设计的概念萌发于 20 世纪 60 年代；1963 年，帕卡德（Packard）开始批评现代的、不可持续的发展模式，并且建议作出改变。1971 年美国设计师帕帕奈克（Papanek）出版了《为真实世界而设计》，强烈批判纯粹以商业盈利为目的的设计，提倡设计师摒弃花哨的、不安全的、不成熟的、无用的产品，节制地使用有限资源，担负起理性设计的设计责任^[1]。1987 年的“布伦特兰报告”中提出可持续发展一词，并定义为“既能满足我们现今的需求，又不损害子孙

收稿日期：2020-05-01

基金项目：中国矿业大学双一流建设文化传承项目（2018WHCC09）

作者简介：姚君（1979—），男，江苏人，博士，中国矿业大学教授，主要从事工业设计及理论方面的研究。

后代且能满足他们需求的发展模式”^[2]。20 世纪 80 年代末期,绿色革命兴起,可持续的潮流几乎与此同时得到更进一步发展;1990 年曼梓尼(Manzini)等学者开始号召进行激进的设计改革;这股浪潮在 20 世纪 90 年代末期持续升温,并将可持续设计的理念在 21 世纪初广泛传播开来。

目前学术界暂未形成统一的“可持续设计”定义^[3];在相关理论中,曼梓尼与梁町共同给出的阐释影响最为广泛。“可持续设计是一种构建及开发可持续解决方案的策略设计活动,它利用系统式的产品与服务整合和企划,以效用和服务去取代物质产品为最终目的^[4]。”要超越产品的物质化层面,必须从系统的角度分析设计,扩大体验、服务、共享等在经济层面的占比,减少对物质的依赖和占有,从而实现向可持续的转变。当前人类社会对自然资源的攫取速度前所未有,设计策略的构建全面涉及经济、社会、环境、道德等多个方面;并且在全球化浪潮下,不同国家和地区应当考虑到本土文化的可持续性。从环境资源到社会文化,可持续理念已经渗透到各行各业;联合国 2030 年可持续发展议程提出的可持续发展目标(Sustainable Development Goals)已成为引导未来世界发展的核心指南,这一目标不仅仅是一种责任,还同时被视为最大的机遇;可持续产品系统设计应当以一种基于新的组织模式及消费行为的体系来促进社会公平与和谐发展。

1 可持续产品系统设计研究现状

1.1 系统设计与产品系统设计

随着各学科及产业领域的交叉融合,产品呈复杂化发展;为了调和不同领域子系统间不可预测的功能耦合、交叠甚至冲突,文件驱动的系统设计于 20 世纪 40 年代应运而生^[5]。但随着系统复杂性的不断攀升,基于文件的系统工程难以满足设计要求;基于模型的系统工程(Model-Based Systems Engineering, MBSE)成为产品系统设计的新方法^[6-7],它从需求入手通过模型的迭代、优化来进行更为复杂的系统设计^[8-9],并以形式化的模型推演来明晰产品定位及方案筛选。通过构建系统模型来解决越发多变的系统设计成为了业界研究重点,并分别演化出了通用系统建模法^[10]、并行系统建模法^[11]、基于对象-过程^[12]的系统建模法、基于状态分析的系统建模法等方法^[13]。当前对于复杂产品系统的建模理论研究正在深入,以期创造更为系统、全面的模型构建理论。

产品的系统观主要强调的是设计学作为学科的科学理性,通过系统的方法、工具和体系,科学地进行设计方案的制订和抉择。产品系统设计从全局出发将各组成部分看作是子系统或要素,通过整合建立起相互之间有机联系以及系统与外界之间的有机关系^[14]。

王昀^[15]等学者根据研究对象与研究方法的不同,将产品系统设计进行了划分和拓展:面向工业与产业的产品系统设计、面向服务与产业的产品系统设计、面向城市与产业的产品系统设计。第一类更接近传统工业设计或工业产品设计概念,可称为狭义的产品系统设计;第二类转向更为全面、更为系统的“产品+服务”的模式,也被称为广义的产品系统设计或产品服务系统设计;第三类跨越到城市产业问题,以产品系统助力城市发展并推动城市的智慧化转变。目前,不断有学者运用跨学科的方法进行可持续的产品服务系统设计研究;Sakao 等人^[16]尝试使用大数据分析(Big Data Analysis, BDA)改善产品服务系统设计和交付流程,以发挥产品服务系统在环境可持续领域的重要作用;Yin D^[17]从生态系统角度采用三阶模糊 ANP-QFD 模型,来确定产品服务系统内的利益相关者,以改善产品服务系统的性能。

1.2 产品系统设计中的可持续理念

可持续设计的核心就是要立足于系统设计,见图 1,探讨产品与人、环境等的系统关系以及产品系统内部层面的相互协调关系;将可持续的理念根植于产品系统,对消费观念进行良好引导,以期实现可持续发展的目标。

1.2.1 产品生命周期与环境影响

产品生命周期(Product Life Cycle, PLC)设计缘起于生态设计阶段,是一种干预产品从开发到废弃全过程的系统设计,包含设计、制造、使用、维护、回收、废弃六个阶段。产品生命周期设计以减少或消除产品的整个系统过程对环境的不良影响为目标,以最少的资源消耗来实现系统的全部功能。在确保产品系统的可持续性研究中,设计决策过程对于各维度的均衡考虑存在局限性;Taddes 等人^[18]通过广泛的文献审查和评估,最终确定了包含二十九个环境维度、

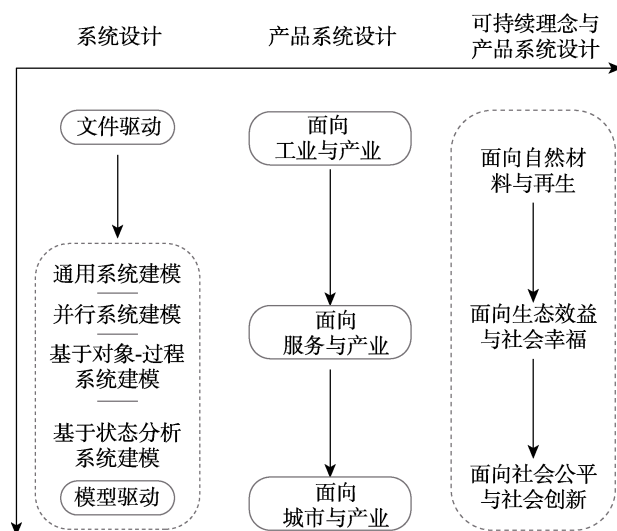


图 1 以系统设计为核心的可持续产品系统设计

Fig.1 Sustainable product system design based on system design

九个经济维度和三十个社会维度的可持续发展绩效指标清单,以期提高生命周期设计的稳健性。在产品实际开发设计过程中,设计变更频繁发生,Jian Zhang^[19]基于产品规格和设计参数间之间的依赖关系和相关性分析,提出了一种系统设计变更决策方法,用以减少设计变更对于产品系统生命周期性能的影响。

1.2.2 面向生态效益的系统设计

Stahel^[20]指出了传统产品销售供应模式中产品生命周期设计的标准会阻碍系统创新;为提高系统的创新性,需要对标准适当拓展。面向生态效益的系统设计从系统创新的角度,以两种方式对生产和服务系统做出改变;一是将系统作为综合的产品和服务以协同满足用户需求,这个方向重点关注参与价值链的社会经济行为者之间可能的合作关系的生态效益;二是将系统作为开放的人工生态体系,将废弃物和排放减到最小。

面向生态效益的系统设计仍遵循生命周期设计的基本原则^[21],在产品系统中,不同利益相关者不一定都能获得与其经济利益一致的生态效益;因此该系统设计要求不同参与者的新型关系,也要被纳入设计范围及可持续设计的范畴。

2 可持续产品系统设计的三个层次

可持续产品系统设计的核心在于系统设计,统筹宏观环境(社会、政治、经济、人文、科技等)与微观产品的体系,将宏观系统与微观系统相互融合、综合优化。可持续产品系统设计目标是为了长远的可持续发展,也应促进生态效益与社会幸福。由此可持续产品系统设计可从三个层面解读(见图2):微观层面关注的是设计材料的固有属性,如材料的回收与再生属性,直接决定了设计物本身的可持续性,自然材料的可持续性是整个设计活动的基础;中观层面更贴

近用户本身,关注人的生活方式及生活环境,提供面向环境友好并尊重生活方式的产品及服务,以新商业及服务模式创造属于大众的社会幸福,平衡社会发展质量与生态效益,改善生态环境;宏观层面侧重于社会公平及社会创新,通过社会创新设计系统地调动社会分散资源(例如创造力、技能、知识和企业家),使其成为可持续生活方式和生产方式的有力驱动,促进社会和谐与公平,从战略角度为中观层面制定服务目标,为微观层面引领方向。

2.1 微观层面关注传统自然再生材料的设计应用

在产品设计中,设计师对材料质量与类型的选择有重要决定权,可持续性高的材料不仅能减少不利因素、降低风险,还可以节约能源、资源。材料的选择要均衡考虑回收、再利用、处理成本、可降解性、运输成本等,设计师须根据解决方案的需求了解不同材料的各种可能性,做出更好的选择。

以竹材料为代表的自然材料的设计应用在可持续领域反响良好,而复合材料技术的发展使其用途更加广泛。竹纤维以其低成本、低密度、高强度等优良特性,可用于替代玻璃纤维等材料,并且正在尝试与不同基质材料进行复合,进行更多的功能拓展^[22]。

刘夏清^[23]通过案例分析总结出了原材料功能置换、叠加、延伸等三种利用原材料原始形态的设计方法,以及原材料的拆散在整合、变形与重塑、多材料合成等改变材料原始形态的设计方法。如路虎揽胜星脉内饰座椅,采用了由英国当地羊毛制成的混纺材料、软触性材料和回收塑料瓶共同制作的 Miko 麂皮布,以再生的方式产生更具可持续性和可靠性的材料。

2.2 中观层面探索面向环境友好并尊重生活方式的产品与服务系统设计

生态问题促成了社会行为的新定义,需要开发易于被社会接纳的产品服务系统来改变消费者的文化和行为习惯,促进生产系统的能力提升;协同用户行为与设计、环境等各要素,为所提出的产品、服务和传达提供一致性和预见性。以产品服务系统架构可持续解决方案是当今应用最广泛的模式,其由价值网络、科技设施和管理组织三个部分构成,通过整合服务来满足消费需求^[24]。

何人可^[26]通过对国内外多地区的可持续设计案例分析,提炼出了地域性品牌以设计为导向的可持续创新方法,构建了以设计文化为主导的组织生态系统;运用设计思维整合地域性资源,再根据目标用户需求驱动产品创新。曹媛^[25]从运作独立性、关键业务、发展模式、价值体现和融入性五个方面,系统地探究了地域性公益品牌的可持续商业模式创新方法,并构建公益品牌商业模式内容的创新方法。梁町和童慧明^[27]等人从中国的交通和食物消费案例入手,从“修整”到“反思”,提出了五种与产品服务系统整合相关的战略,包括减少生产冲击、提高产品效率、提高使用

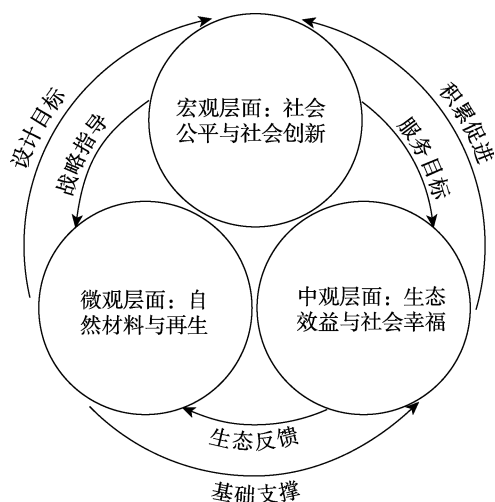


图2 可持续产品系统设计层次体系

Fig.2 Design hierarchy system of sustainable product system

频率、减少消费冲击、提高生活质量等。

2.3 宏观层面强调社会公平与社会创新的可持续设计

物质文明和精神文明构成了社会文明,以技术、管理创新为先导的市场经济发展创造了极大丰富的物质文明,但这一硕果难以直接转化为精神文明,因此要求进行社会创新以此实现社会文明的平衡。即通过特定的设计活动为未来的社会 and 生活方式构建新的场景与蓝图,探索一种新的可能,为未来的政策和实践提供知识参考并以此满足社会发展需求。

曼梓尼将未来的、社会创新性的模式描述为“绿色的、社会化的以及网络化的”发展方向。钟芳^[28]通过阐释“设计”与“人民大众”的关系,强调从普通人的创新积累中获得社会创新,从而让设计更好地服务大众。于东玖^[29]探讨了社会价值导向的四种可持续创新和设计策略与方法,包括考虑产品使用性的设计策略、技术志向的先行设计策略、为社会底层群众而设计的策略和为老龄化社会而设计的策略,以此提升产品系统的社会创新性与价值。

3 可持续产品系统设计的方法

设计师们所面临的挑战是要找到实现可持续目标的方法和工具,并将其运用在产品系统设计的流程中。这些方法和工具旨在解决三个方面的具体问题:从可持续性的观点出发,为正在开发的项目提出改进措施;评估现有的系统,确认设计的优先级;为设计决策提供导向,使其更具可持续性,包括了产品系统设计的原则制定,及对产品生命周期考量与设计策略分析等。随着相关学科或理论的发展迭代,设计师还需要基于可持续的理念,为新的挑战设计更适当的方法。

3.1 原则制定

在探寻可持续产品系统设计方法的过程中,为使企业成本最小化而产生的 3R 循环经济原则率先被应用。3R 原则即“Reduce”、“Reuse”和“Recycle”。通过引入“Regeneration”(再生)形成的 4R 原则,着眼于人类社会未来的发展。“3R”、“4R”可总结为减量化、循环利用、无害化^[30]。基于 3R 原则,不断有专家学者基于时代和其专业领域特征,试图扩充其内涵和边界。李兆前^[31]通过分析部分地区推进循环经济法的实践经历,从政策层面增加了资源再配置(Relocate)和无害化储藏(Restore)组成的现代循环经济新 5R 原则;将循环经济原则从企业层面推进到地方区域。设计师遵循这些原则,进行定性设计,在方案开发阶段具有较大优势。

3.2 生命周期分析

生命周期分析(Life Cycle Assessment, LCA)作为一种影响甚广的环境管理分析方法,起源于 20 世纪 60 年代,发展至今成为了一个系统性识别和量化产品系统全生命周期环境负荷的重要工具^[32]。生命

周期分析要求设计人员从区域乃至全球的视野下考虑问题,通过定量评估来选择环境更为友好和可持续的系统方案。

生命周期分析包含以下几个主要阶段任务:确定分析的目标和范围,建立盘查清单,定量和定性地分析清单中各个重要项目的潜在环境影响以及对分析结果进行综合处理^[33]。生命周期分析是评估解决方案的精准机制,尽管通过定量分析法耗资耗时,但它能对原料和能源消耗进行最准确、有效的评估。郑玲等人^[34]通过生命周期成本(LCC)与生命周期评价协同,构建了集成模型,提高了生命周期评价数据收集的效率并且扩大了分析范围。

3.3 仿生及生态化设计

自然生产的过程经历了无数次的优胜劣汰,反复更迭,其精巧程度人类难以想象。仿生学框架的奠基人珍妮·班耶斯(Janine Benyus)指出了自然方法既高效又更具可持续性,并且不会产生废物排放。从自然中获取灵感与方法,探寻新的材料与工艺,可以指导人类社会的可持续之路。通过学习和研究自然界生产和发展规律,可以为人类社会提供新的材料、结构和解决问题的服务方式与手段,通过对比学习来重新审视和优化现有设计与开发流程^[35]。Carl Hastrich 与仿生设计咨询公司合作开发的螺旋型设计(Spiral Design),作为仿生学技术在开发生产工艺方面的应用,从仿生学角度大致描述了目前设计生产工艺的过程^[36]。螺旋设计通过调整设计流程,将其转化为与之相似的生物过程,从而提升产品体系的运行效率,减少不必要的浪费。在工业设计中,仿生设计被视为一门涵盖生物、计算科学、工程学、艺术美学等诸多领域的交叉学科^[37],并从形态、功能、结构、肌理、色彩、意向等诸多方向进行了设计研究^[38]。在作用上,基础的仿生学技术只是作为设计流程的补充而非替代,跨领域的结合能够发挥其更广泛的可持续性。赵爱丽^[39]将行为生态学与仿生设计结合,从生态层面对农机装备进行了创新设计。从基础的形态化设计到对流程的仿生优化,最终上升到生态效益化的仿生,仿生及生态化设计向着可持续的系统化发展。

3.4 战略分析

在产品的概念设计中,从战略上调整产品的生命周期,能够实现更可控且协调的发展。在设计流程问题分析阶段,基本产品的基本概念已成型,通过生态产品战略轮,也称为生命周期设计战略(Lifecycle Design Strategies, LiDs),能帮助设计师筛选并交流设计战略,结合 MET(材料、能量、有毒物质排放)矩阵和生态设计清单,可以从设计战略上将产品系统产生的负面影响降至最低。高洋等人^[40]通过加权 MET 矩阵进一步对消费类产品进行了可持续设计的评估,在减小评估成本的同时最大限度地保证了评估的准确性。

生命周期战略从四个层面出发对可持续产品系统进行可持续性的衡量,包括一个概念层面和三个产品属性层面,细化后将涉及八个不同方面的指标。产品概念层面:开发新概念;产品零部件层面:选择低环境影响的材料,减少材料使用量;产品结构层面:优化生产技术,优化分销系统,降低产品在使用阶段对环境的影响;产品系统层面:优化产品初始生命周期。MET 矩阵和生态设计清单为 LiDs 提供了分析的基础,结合四个层面的各个指标,可以帮助设计师直观且清晰地进行系统性分析,产生改进方案并表明其可行性。

4 可持续产品系统设计的研究内容与结构体系

4.1 可持续产品系统的概念阶段

当前的实际应用中,只考虑产品系统生命周期中一两个环节远远不够,而只考虑单个或少量因素的行为导致了伪绿色设计的产生。可持续设计对解决方案的寻求,主要是针对整个生产消费及社会活动的循环体系,而非单方面注重生产方面,重视系统式产品与服务的整合和企划^[41]。可持续产品系统的概念阶段是可持续设计的开始,将问题概念化时,就要考虑可持续理念在其中扮演的角色。需要将现有技术、材料和能源条件纳入考虑范围,结合产品系统的生命周期,制订合理的设计策略。

4.2 可持续产品系统的设计阶段

设计阶段就是将概念可视化的过程,在此过程中,将会涉及到很多相关因素;刘婷婷等人^[42]在可持续设计方法的多维分析及其可视化中,把对环境的调研、可持续原则的指导、设计的开展和环保性能的评估等程序,统一归为设计过程;在可持续产品系统的设计过程中,除了要将概念阶段的可持续理念不断深入外,运用可持续设计的方法来指导和评估问题的可视化过程也很重要。尹建国等人^[43]在主张产品可持续设计战略的背景下,从技术、社会、经济和环境四个维度提出了产品可持续设计的要素,并结合设计案例,从可再生材料、新能源的转换与可持续性行为三个方面,提出了产品可持续设计的方法,以支持产品可持续设计方案的产生和实现。

4.3 可持续产品系统的工程阶段

可持续产品系统的工程阶段可囊括产品系统生命周期的主要阶段:生产、销售、使用、服务和处理阶段;国际标准化组织于 1997 年正式出台了“ISO 14040 环境管理生命周期分析原则与框架”。在上述每一个阶段及其提供的整个过程实现资源消耗的最小化,是可持续产品系统工程阶段的最佳策略。这个策略有两个含义:减少资源的输入量,可以有效维护

后代对于资源的使用权利;同时也减少对自然界的输出量,降低人造物对自然的影响。在产品的使用阶段,资源的消耗基本上难以控制,因此需要开发更完整的产品服务系统,例如通过使用而非占有(Access but not Ownership),这种新的形式在提升生态效率方面带来新的机遇。

一个产品生命周期以回收为终点,在生命周期设计指导下的产品系统都是可循环的,完成从摇篮到摇篮的设计目标,提升材料的利用率^[44]。根据系统内使用材料的兼容性判断产品或零件在回收利用、循环过程的难易程度,兼容性高的材料利于循环使用^[45];当废弃材料进行循环后产生的环境负荷,要比原生材料使用及废弃中小得多,也有利于环境的可持续发展。

4.4 可持续产品系统的评价阶段

从设计的程序上看,一个完整的产品设计程序是包含评价阶段的。当产品置于环境中,在评价其对人类需求满足状况的同时,也要评价其对于环境的影响,分析、估计并解释产品和环境之间的关系。环境因素是非常复杂和难以理解的,这导致分析过程相当复杂,难以对其建模。同时,因果关系也很难分离。生命周期评价法(LCA)是当下应用最广的评价方法,除此之外由德国伍珀塔尔研究所开发的 MIPS(每项服务的物质投入)也是较为成熟的方法之一。关于其他可持续产品系统的评价也是研究热点,吕明月等人^[46]通过确定系统设计观对项目开展的重要性,展开研究了国际常见的可持续设计评价标准及其基本要素,并尝试开发适应国内具体项目的评估标准;并以上述评价标准评估实践项目“生菜屋:可持续生活实验室”项目方案的可持续性效果。这一实践体现出评价标准对于实践项目的重要作用:一方面可以帮助设计团队加深理解可持续设计,另一方面可以发挥评价工具的优势,对于评估结果中显示的结果调整方案的不足,具有“设计导向”的指导意义。可持续产品系统阶段特征与可持续效率见图 3。

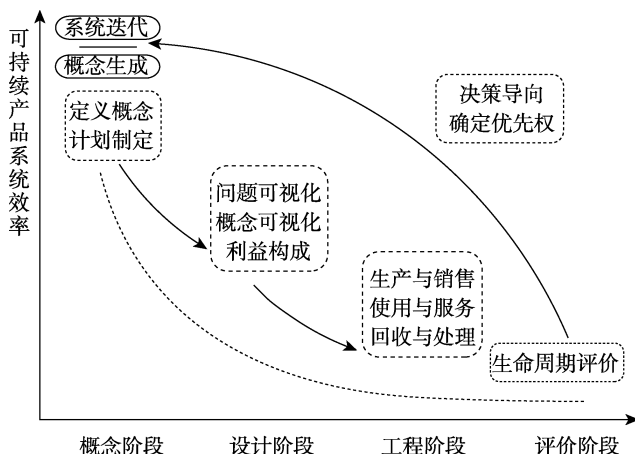


图 3 可持续产品系统阶段特征与可持续效率
Fig.3 Stage characteristics and sustainable efficiency of sustainable product system

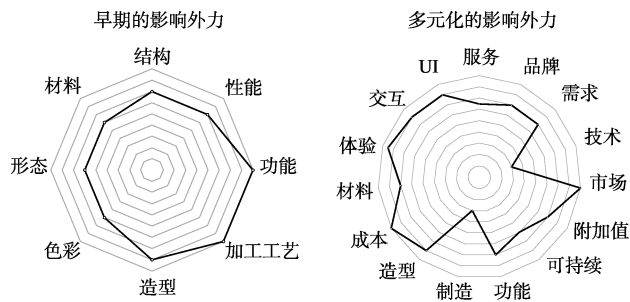


图 4 设计的外力影响因素

Fig.4 External influencing factors of design

5 研究趋势及问题

设计的发展与技术推进和社会形式的发展息息相关,传统的工业设计考虑更多的是产品本身,即以物为研究和设计对象,可持续产品系统则需要统筹微观、中观与宏观层面,并整合多种跨学科方法,凭借多种媒介形成协同进化的循环。设计行为在外力的作用下进行,并且这种外力随着时代的发展会更加多元,设计行为也将面临更多的考验和机遇,设计的外力影响因素见图4。例如随着设计对象的改变,可持续原则在产品系统设计中的探索也更加广泛。例如余乐等人^[47]以产品设计和创新服务之间不断融合为着眼点,尝试从可持续发展的角度将服务创新导入产品设计系统。

5.1 新技术下的可持续设计

当前世界正处于信息智能化时代,新技术、新方法大量涌现,促成了许多新兴的研究领域的诞生,导出许多研究趋势,特别是对于设计这一具有交叉属性的学科来说。

经历了数次产业革命,人与机器的关系时刻转变。计算机科学的快速发展使得人工智能领域取得突破,同时也为可持续产品系统设计的研究提供了新的维度和方向。娄永琪^[48]从NHCAS(自然、人类、人工世界和智能信息网络系统)的视角指出,在智能信息网络系统的发展下,产生了一种社会尺度的、基于“社会和环境反馈”的交互设计。借助数据、算法、网络等新技术使得系统变得更明晰,引发面向可持续发展的社会行为改变。Rohit等人^[49]认为通过人工智能对大量非结构化数据的洞见,可以帮助人类分析和环境风险,在减少人类对资源消耗的同时,从更高层次,即环境治理的角度在决策过程中管理人类行为和社会行动。这也要求研究人员将人工智能更深入地与例如生物多样性、水资源、能源和交通等方面进行结合研究。

除人工智能外,诸如生物技术等也为设计研究带来了革新和导向;通过应用生物学、化学和工程学的一些基本原理,利用生物体来生产效用物质或服务。近年来生物技术被广泛应用于解决能源危机和环境

污染问题,而这两项问题也正是可持续系统设计研究的热点。Kim H S等人^[50]介绍了韩国植物生物技术学会通过生物技术应对气候危机,发展可持续农业,为可持续设计提供了新的思路和研究方向。

5.2 新需求下的可持续设计

社会需求的转变,促使设计向非物质设计转移。从“提供产品”转型到“提供服务”的角色转换,也被称为“功能型经济”;功能型经济被视为是能够创造更加可持续的环境的经济类型。功能型经济提倡购买功能与服务,而非物质本身,目标是实现更少的资源提供更多的价值^[51]。最初服务的诞生只是作为产品的差异化增值属性,而产品服务系统设计模糊了产品与服务的边界,它们之间通常具有连贯性。Gronroos^[52-53]尝试以更广义的服务理念来代替传统的状态,强调服务是企业或社会组织与其受众之间的多重关系的综合表现,是一种商业或社会组织形式。目前,在吸引大量热度的同时,服务设计仍然面临一定程度上的定义混乱、设计方法与理念容易混淆的状况^[54],需要广大学者进一步研究和厘清。

随着社会财富的不断积累,人类的物质文明极大丰富的同时,一些社会问题也逐渐被放大,如贫困、疾病、社会资源分配不均等,这也促使了对社会创新的进一步思考。社会创新需要探索一种促进社会问题的解决、改善某些人群生存状况的行动或趋势;离不开设计手段的介入,而设计也因社会创新的驱使变得更加多元和立体。娄永琪认为从“Design Doing”到“Design Thinking”的转型。让设计有了更大的展示空间,这一转变与社会经济的转型相互关联。社会经济由生产型转向服务型,这个过程需要新的设计工具、方法论、设计组织、经济模式作为支撑,因此大量的研究领域将随之出现^[55]。在曼梓尼等人^[56]搭建的DESIS网络中,包含大量促进社会技术创新的案例。它们既是当前一些问题的有效解决办法,也是达到可持续发展的有效步骤。

此外,通用设计的产生和发展也迎合了可持续发展的趋势,调和人与社会关系、满足全体用户心理需求、尝试多角度地追求社会和谐发展;迪索萨(D'Souza)指出通用设计是为了解决系统中潜在的强制和剥夺,最终实现用户的自由选择与自我决定,它尝试消灭隔阂、消灭限制人们移动和访问的障碍^[57-58]。通用设计从弱势群体出发,但在设计的体现上并不刻意为之,在不区别对待的条件下促进弱势群体的社会公平。

6 结语

目前持续概念不仅反映在能源、资源与环境的可持续,也反映在社会文化发展的可持续;在可持续产品系统设计中需要均衡考虑社会、经济、环境、道德

等综合问题。

对国内外可持续设计相关成果进行了总结和梳理,回顾了系统设计的发展脉络和核心观点以及产品系统设计中的可持续理念,并对可持续产品系统设计的研究方法和体系结构进行了提炼。面向可持续产品系统设计中的传统自然再生材料设计研究、面向环境友好并尊重生活方式的产品与服务系统设计研究、强调社会公平的社会创新设计研究,提出了可持续产品系统设计三观层次体系及概念-设计-工程-评价四阶段的设计机制,以期能够进一步推进可持续产品系统设计的理论研究。

参考文献:

- [1] VICTOR P. Design for the Real World[M]. Second Edition. Academy Chicago Publishers, 1984.
- [2] World Commission on Environment and Development. Our Common Future[C]. USA: Oxford University Press, 1987.
- [3] 刘新. 可持续设计的观念、发展与实践[J]. 创意与设计, 2010(2): 36-39.
LIU Xin. Concept, Development and Practice of Sustainable Design[J]. Creation and Design, 2010(2): 36-39.
- [4] LIANG Ting, Ezio Manzini. The Way of Sustainability: the Design and Discussion of Sustainable Life Model in China[M]. Guangzhou: Lingnan Art Press, 2006.
- [5] DENNIS M B. The Engineering Design of Systems: Models and Methods[M]. 2ed. Hoboken: John Wiley & Sons Inc., 2009.
- [6] MICHELLE B, DAVID H. System Design: New Product Development for Mechatronics. Benchmark Report[R]. Boston: Aberdeen Group, 2008.
- [7] FISHER J. Model-based Systems Engineering: a New Paradigm[J]. INCOSE Insight, 1998, 1(3): 3-16.
- [8] MICOUIN P. Toward a Property Based Requirements Theory System Requirements Structured as a Semilattice[J]. Systems Engineering, 2008, 11(3): 235-245.
- [9] CORNFORD S L, FEATHER M S, HERON V, et al. Fusing Quantitative Requirements Analysis with Model-based Systems Engineering[C]. The 14th IEEE International Requirements Engineering Conference, 2006.
- [10] HOWARD L, SANFORD F, MEILICH A. Adapting UML for an Object-oriented Systems Engineering Method (OOSEM)[C]. Proceedings of the IN-COSE 2000 International Symposium, 2000.
- [11] CHILDERS S R, JAMES E L. A Concurrent Methodology for the System Engineering Design Process, Vitech Corporation White Paper[R]. Vienna: Vitech Corporation, 2004.
- [12] DORI D. Object-process Methodology: a Holistic Systems Paradigm[M]. Berlin: Springer-Verlag, 2002.
- [13] INGHAM M D, RASMUSSEN R D, BENNETT M B, et al. Generating Requirements for Complex Embedded Systems Using State Analysis[J]. Acta Astronautica, 2006, 58(12): 648-661.
- [14] 吴翔. 产品系统设计——产品设计 2[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2000.
WU Xiang. Product System Design: Product Design 2[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2000.
- [15] 王昀, 刘征, 卫巍. 产品系统设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
WANG Yun, LIU Zheng, WEI Wei. Product System Design[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2014.
- [16] SAKAO T, NERAMBALLI A. A Product/Service System Design Schema: Application to Big Data Analytics[J]. Sustainability, 2020, 12(8): 3484.
- [17] YIN D, MING X, LIU Z, et al. A Fuzzy ANP-QFD Methodology for Determining Stakeholders in Product-Service Systems Development from Ecosystem Perspective[J]. Sustainability, 2020, 12(8): 3329.
- [18] TADDESE G, DURIEUX S, DUC E. Sustainability Performance Indicators for Additive Manufacturing: a Literature Review Based on Product Life Cycle Studies[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2020, 107(7-8): 1-26.
- [19] Jian Zhang, Alessandro Simeone, Qingjin Peng, et al. Dependency and Correlation Analysis of Specifications and Parameters of Products for Supporting Design Decisions[J]. CIRP Annals—Manufacturing Technology, 2020.
- [20] STAHEL, WALTER R. Sustainability and Services[J]. Sustainable Solutions Developing Products & Services for the Future, 2001(14): 151-164.
- [21] Carlo Vezzoli, Ezio Manzini. 环境可持续设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 2010.
Carlo Vezzoli, Ezio Manzini. Design for Environmental Sustainability[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2010.
- [22] Adamu Muhammad, Rezaur Rahman, Sinin Hamdan. Recent Developments in Bamboo Fiber-based Composites: a Review[J]. Polymer Bulletin, 2019.
- [23] 刘夏清, 张芊慧. 基于可持续理念的废弃材料再利用设计方法研究[J]. 包装世界, 2017(1): 86-88.
LIU Xia-qing, ZHANG Qian-hui. Research on Design Method of Waste Material Reuse Based on Sustainable Concept[J]. Packaging World, 2017(1): 86-88.

- [24] LEONG C H, MANZINI E. Design Vision: the Sustainable Way of Living in China[M]. 广州: 岭南美术出版社, 2006.
- LEONG C H, MANZINI E. Design Vision: the Sustainable Way of Living in China[M]. Guangzhou: Lingnan Fine Arts Publishing House, 2006.
- [25] 曹媛, 何人可, 张军. 以可持续为导向的雅安砂器商业模式设计实践[J]. 包装工程, 2019, 40(6): 206-212.
- CAO Yuan, HE Ren-ke, ZHANG Jun. Sustainable-oriented Business Model Design and Practice for Castle of Sand in Ya'an[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(6): 206-212.
- [26] 何人可, 曹媛, 张军. 边缘地区的可持续设计方法研究——以雅安为例[J]. 生态经济, 2016, 32(11): 224-227.
- HE Ren-ke, CAO Yuan, ZHANG Jun. Sustainable Design and Method of Marginal Districts: a Case Study of Ya'an[J]. Ecological Economy, 2016, 32(11): 224-227.
- [27] 梁町, 童慧明. 迈向“因数 10”减耗的中国经济: 重塑交通和食物消费的可持续设计案例[J]. 装饰, 2009(6): 64-72.
- LIANG Ding, TONG Hui-ming. Chinese Economy That Consumes Less: a Sustainable Design Case to Remodel the Consumption of Transportation and Food[J]. Zhuangshi, 2009(6): 64-72.
- [28] 钟芳, 刘新. 为人民、与人民、由人民的设计: 社会创新设计的路径、挑战与机遇[J]. 装饰, 2018(5): 40-45.
- ZHONG Fang, LIU Xin. Design for People, with People, by People: the Path, Challenge and Opportunity of Social Innovation Design[J]. Zhuangshi, 2018(5): 40-45.
- [29] 于东玖, 王样. 社会价值驱动的可持续创新与设计策略[J]. 南京艺术学院学报 (美术与设计), 2016(2): 171-176.
- YU Dong-jiu, WANG Yang. Sustainable Innovation and Design Strategy Driven by Social Value[J]. Journal of Nanjing Arts Institute (Fine Arts & Design), 2016(2): 171-176.
- [30] 董溯战, 赵绘宁. 质疑“3R”、“4R”与循环经济促进法的关系[J]. 生产力研究, 2009(23): 119-120.
- DONG Su-zhan, ZHAO Hui-ning. Question the Relationship between “3R” and “4R” and the Circular Economy Promotion Law[J]. Productivity Research, 2009(23): 119-120.
- [31] 李兆前, 齐建国, 吴贵生. 从3R到5R: 现代循环经济基本原则的重构[J]. 数量经济技术经济研究, 2008(1): 53-59.
- LI Zhao-qian, QI Jian-guo, WU Gui-sheng. New Basic Principles of Modern Circular Economy: From 3R to 5R[J]. The Journal of Quantitative & Technical Economics, 2008(1): 53-59.
- [32] ZHANG Y, DUAN S, LI J, et al. Life Cycle Assessment of Industrial Symbiosis in Songmudao Chemical Industrial Park, Dalian, China[J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 158(1): 192-199.
- [33] 杨健, 陆雍森, 施鼎方. 运用生命周期分析(LCA)评估和选择废水处理工艺[J]. 工业用水与废水, 2000, 31(3): 4-6.
- YANG Jian, LU Yong-sen, SHI Ding-fang. Application of Life-Cycle Analysis (LCA) in Evaluation and Selection of Wastewater Treatment Processes[J]. Industrial Water & Wastewater, 2000, 31(3): 4-6.
- [34] 郑玲, 张琪, 杨密圆. 生命周期成本与生命周期评价: 集成模型与协同路径[J]. 会计之友, 2020(9): 47-50.
- ZHENG Ling, ZHANG Qi, YANG Mi-yuan. Life Cycle Cost and Life Cycle Evaluation: Integrated Model and Collaborative Path[J]. Friends of Accounting, 2020(9): 47-50.
- [35] Janine Benyus. Innovation Inspired by Nature[M]. ECOS 27-29, 2006.
- [36] FAYEMI P E, MARANZANA N, AMÉZIANE A, et al. Assessment of the Biomimetic Toolset: Design Spiral Methodology Analysis[J]. 2015.
- [37] 蔡江宇, 金玲. 仿生设计研究[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
- CAI Jiang-yu, JIN Ling. Bionic Design Research[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2013.
- [38] 罗仕鉴, 张宇飞, 边泽, 等. 产品外形仿生设计研究现状与进展[J]. 机械工程学报, 2018, 54(21): 138-155.
- LUO Shi-jian, ZHANG Yu-fei, BIAN Ze, et al. Status and Progress of Product Shape Bionic Design[J]. Chinese Journal of Mechanical, 2018, 54(21): 138-155.
- [39] 赵爱丽, 姜龙, 王黎明. 行为生态学视域下的农机装备仿生设计[J/OL]. 包装工程: 1-6[2020-06-10]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1094.TB.20200312.1356.029.html>.
- ZHAO Ai-li, JIANG Long, WANG Li-ming. Bionics Design of Agricultural Machinery Equipment in View of Behavioral Ecology[J/OL]. Packaging Engineering: 1-6[2020-06-10]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1094.TB.20200312.1356.029.html>.
- [40] 高洋, 刘志峰, 黄海鸿, 等. 绿色产品加权 MET 矩阵的评估方法研究[J]. 机械设计与研究, 2008(3): 10-14.
- GAO Yang, LIU Zhi-feng, HUANG Hai-hong, et al. The Research of Green Products Assessment Method Based on Weighing MET Matrix[J]. Machine Design & Research, 2008(3): 10-14.
- [41] 高美. 从可持续设计谈无用设计理念[D]. 郑州: 郑州

- 轻工业学院, 2014.
- GAO Mei. From the Concept of Sustainable Design about Useless[D]. Zhengzhou: Zhengzhou University of Light Industry, 2014.
- [42] 刘婷婷, 龚敏琪, 陈泳琳, 等. 可持续设计方法的多维分析及其可视化[J]. 包装工程, 2020, 41(4): 55-69.
- LIU Ting-ting, GONG Min-qi, CHEN Yong-lin, et al. Multi-dimensional Analysis and Visualization of Sustainable Design Methods[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(4): 55-69.
- [43] 尹建国, 吴志军, 那成爱. 产品可持续设计的要素与方法[J]. 湖南科技大学学报: 自然科学版, 2018(3): 65-68.
- YIN Jian-guo, WU Zhi-jun, NA Cheng-ai. On the Study of the Elements and Methods of Sustainable Product Design[J]. Journal of Hunan University of Science & Technology (Natural Science Edition), 2018(3): 65-68.
- [44] 孟闯. 产品概念设计中的可持续设计策略研究[J]. 包装工程, 2014, 35(2): 81-83.
- MENG Chuang. The Sustainable Design Strategy in Product Conceptual Design[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(2): 81-83.
- [45] 段晶莹. 面向可持续的带材纠偏控制系统的设计研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2017.
- DUAN Jing-ying. Research on the Strip Correction System Design for Sustainable[D]. Tianjin: Tianjin University of Science & Technology, 2017.
- [46] 吕明月, 刘新, 夏南. 可持续设计评价标准研究——试以“生菜屋: 可持续生活实验室”项目评估为例[J]. 生态经济, 2017(1): 185-189.
- LYU Ming-yue, LIU Xin, XIA Nan. Study on Evaluation Criteria of Design for Sustainability in China: Taking “Lettuce House: Sustainable Living Lab” as an Example[J]. Ecological Economy, 2017(1): 185-189.
- [47] 余乐, 李彬彬. 可持续视角下的产品服务设计研究[J]. 包装工程, 2011, 32(20): 73-76.
- YU Le, LI Bin-bin. Research on Product Service Design from the Perspective of Sustainability[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(20): 73-76.
- [48] 娄永琪. NHCAS 视角下的人机交互、可持续与设计[J]. 装饰, 2017(1): 66-70.
- LOU Yong-qi. Human-computer Interaction, Sustainability and Design in the View of NHCAS[J]. Zhuangshi, 2017(1): 66-70.
- [49] A R N, B M K, A J C. Artificial Intelligence for Sustainability: Challenges, Opportunities, and a Research Agenda[J]. International Journal of Information Management, 2019(7): 53.
- [50] KIM H S, KWAK S S. Crop Biotechnology for Sustainable Agriculture in the Face of Climate Crisis[J]. Plant Biotechnology Reports, 2020, 14(2).
- [51] National Academy of Engineering. The Industrial Green Game: Implications for Environmental Design and Management[J]. Journal of Environmental Education, 1997(2): 39-40.
- [52] GRONROOS C. Adopting a Service Logic for Marketing[J]. Marketing Theory, 2006, 6(3): 317—333.
- [53] SANGIORGI D, JUNGINGER S. Emerging Issues in Service Design[J]. Design Journal, 2015, 18(2): 165-170.
- [54] 辛向阳, 曹建中. 定位服务设计[J]. 包装工程, 2018, 39(18): 43-49.
- XIN Xiang-yang, CAO Jian-zhong. Positioning Service Design[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(18): 43-49.
- [55] 娄永琪, 熊微, 戴莹, 等. 为社会创新和可持续设计的访谈之二[J]. 创意与设计, 2010(5): 91-92.
- LOU Yong-qi, XIONG Wei, DAI Ying, et al. Second of Interviews on Design for Social Innovation and Sustainability[J]. Creation and Design, 2010(5): 91-92.
- [56] Ezio Manzini, Lara Penin, Carla Cipolla, 等. DESIS 国际网络: 可持续和社会创新的设计[J]. 创意与设计, 2010(4): 4-13.
- Ezio Manzini, Lara Penin, Carla Cipolla, et al. DESIS International Network: Design for Social Innovation and Sustainability[J]. Creation and Design, 2010(4): 4-13.
- [57] 周浩明. 基于“全生命周期评价”的可持续设计思路与方法[J]. 工业工程设计, 2020, 2(3): 25-34.
- ZHOU Hao-ming. Thinking and Methods of Sustainable Design Based on Life Cycle Assessment[J]. Industrial & Engineering Design, 2020, 2(3): 25-34.
- [58] 曹盛盛. 平等与尊重——美国通用设计理论的演变和实践发展[J]. 装饰, 2016(5): 108-110.
- CAO Sheng-sheng. Equality and Respect: Theory Evolution and Practice Development of American Universal Design[J]. Zhuangshi, 2016(5): 108-110.