

产品突破性创新概念设计过程模型研究

毛昕^{1,2}, 王爱红¹, 陈汗青^{1,2}

(1.景德镇陶瓷大学 设计艺术学院, 江西 景德镇 333403;

2.四川美术学院 设计学院, 重庆 401331)

摘要: **目的** 产品突破性创新设计是提升产品价值、增强产业竞争力、实现中国创造的有效途径。为了实现产品突破性创新, 构建符合突破性创新特点模型至关重要。**方法** 聚焦产品概念设计阶段, 根据突破性创新内涵与特征, 通过对文献的分析与综合, 将约束与创新围绕创造力建立联系, 并借鉴创造力的“生成-探索”模型, 探索产品突破性创新概念设计新路径。**结论** 提出了一种新的产品突破性创新概念设计过程模型。该模型以约束类型与来源为框架, 通过提高创新资源约束水平来强化创造力, 以跨领域知识和技术的运用为手段, 形成了创意优先的产品突破性创新概念设计路径。模块化自重构机器人概念设计实践表明: 该模型能够有效支持产品突破性创新概念设计的开展, 具备一定的理论价值和实践意义。

关键词: 突破性创新; 概念设计模型; 创造力; 约束; 创意优先路径

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)10-0251-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.10.025

Product Conceptual Design Process Model of Radical Innovation

MAO Xin^{1,2}, WANG Ai-hong¹, CHEN Han-qing^{1,2}

(1.School of Design and Art, Jingdezhen Ceramic Institute, Jiangxi Jingdezhen 333403, China;

2.Design Academy, Sichuan Fine Arts Institute, Chongqing 401331, China)

ABSTRACT: Product radical innovation design is an effective way to improve product value, enhance industrial competitiveness, and achieve the goal of "Created in China". In order to realize the product radical innovation, it is very important to construct a model conforming to the characteristics of radical innovation. Based on the product conceptual design stage and the connotation and characteristics of radical innovation, through analysis and synthesis of literature, constraints and innovation were linked by creativity. The "generation-exploration" model of creativity was used for reference to explore new path for product radical innovation conceptual design. A new conceptual design process model for product radical innovation is explored. Based on the framework of constraint types and sources, the model aims to improve the level of innovation resource constraints to enhance creativity. Cross domain knowledge and technology are used to form a radical conceptual design path that prioritizes ideas for product innovation. The validation of modular self reconfigurable robot conceptual design practice shows that the model can effectively support the development of product radical innovation conceptual design, and has certain theoretical value and practical significance.

KEY WORDS: radical innovation; conceptual design model; creativity; constraints; creative priority path

创新设计是为导入新资源创造具有更高价值差异性特征的产品或服务的实施规划结果和路径^[1], 是从跟踪模仿到引领跨越, 实现中国制造到中国创造转变的突破口, 也是产业和产品创新链的起点、价值链

的源头^[2]。在面临我国经济转型和产业升级的关键时期, 创新设计具有深刻意义。就产品设计而言, 根据创新程度和结果的差异, 可分为渐进性创新和突破性创新两种类型。产品突破性创新具有创新程度高、影

收稿日期: 2022-12-22

作者简介: 毛昕(1989—), 男, 博士生, 讲师, 主要研究方向为工业设计、产品创新设计。

通信作者: 陈汗青(1946—), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为工业设计、系统设计。

响力大,产品技术轨道跃迁,颠覆原有形式、变革市场等特点^[3-4]。随着我国经济不断发展,亟须依靠突破性创新带来的颠覆性影响实现经济的持续增长和社会的跨越式发展。然而,由于突破性创新较高的不确定性、风险性和复杂性等特征,使产品突破性创新概念设计过程中存在诸多难题。因此,如何通过科学的过程模型实现产品的突破性创新,亟待深入研究。

1 研究对象与范畴

根据现有研究成果,突破性创新过程由问题识别、创新设计问题定义与分析、概念设计方案生成与评价、产品开发与生产以及产品推广与商业化等阶段组成^[1,5-6]。其中,概念设计周期短、成本低,仅占产品研发总成本的5%,却决定了产品70%~80%的成本^[7]。产品突破性创新概念设计既是产品突破性创新过程中的关键阶段,也在很大程度上影响着整个突破性创新进程。围绕产品概念设计阶段实施突破性创新可以提高创新设计效率、降低成本,进而可以降低突破性创新带来的风险。因此,本文以突破性创新为视角,以产品概念设计过程为研究对象,围绕突破性创新的特点,对产品突破性创新概念设计过程模型与路径进行研究,以期弥补现有不足。

2 产品突破性创新设计过程研究的现状与不足

创新设计过程研究是近年来突破性创新研究的重点领域,其中,产品突破性创新概念设计研究是该领域研究的热点问题之一。国内外学者依据突破性创新特点,对产品创新设计不同阶段的过程模型进行了较为系统的研究。例如, Van^[5]将产品开发过程中的概念设计阶段划分为用户需求调查与分析、产生创意和选取技术原理等步骤。檀润华等^[1]围绕突破性新技术机遇分析、创新设想产生、功能与效应综合、原理方案设计等过程构建了突破性创新设计过程模型。杨伯军等^[8]利用激进式剪裁方法,通过产品目标功能的确定、剪裁和重组等步骤建立了产品突破性创新过程模型。张换高等^[9]在超系统视角下进行分析,以技术的突破性创新为主要手段,以技术进化、解决冲突、问题求解和功能组合为导向,构建了以机遇识别、研究对象选取、问题分析与求解、产生突破性创新设想等关键环节的突破性创新模糊前端模型。平恩顺等^[6,10]针对机械产品设计,构建了由机会确认、机会分析、设想产生、设想评价和产生概念设计方案等步骤组成的机械产品概念设计阶段模型。Weyrauch 等^[11]将产品突破性创新概念设计模型划分为四个关键步骤,分别为:转换需求与确定需求优先级、分析产品参数与确定目标参数、识别与评估冲突、解决冲突与评估产品概念。Wang 等^[12]基于 TRIZ 方法,提出了一种面

向产品设计根本性创新的系统效应求解方法,并通过问题识别、功能分析、关键问题确定、技术选择、结构映射和方案评价等步骤构建了产品突破性创新概念设计模型。

通过对现有研究成果的梳理可以发现,大多数学者所构建的产品突破性创新设计过程模型将创新设计问题的定义这一环节作为出发点,并借助不同的方法,通过对设计问题的求解完成产品突破性创新概念设计。这些模型在本质上可以归纳为以问题为导向,以发现、分析和解决问题为基本流程的创新设计模型,其一定程度上能够实现突破性创新,但结合突破性创新复杂程度高、不确定性强、风险大^[13]等特点,以定义问题为优先项的创新设计路径难以解决设计之初由于突破性创新不确定性所带来的难以定义问题的矛盾。这也是现有突破性创新设计难以成功的关键。综上所述,需要针对突破性创新特点构建符合产品突破性创新设计特征的过程模型。

3 产品突破性概念创新设计过程模型的构建

3.1 约束对创新路径的影响

在创新过程中,创造力水平的高低决定着创意想法能否产生,进而影响着创新成果的生成。既有研究表明,创造力水平与约束密切相关,因此,约束通过创造力对创新过程产生影响。约束被定义为对创造性解决问题设置限制或界限的任何因素^[14-15]。尽管此前的研究对约束如何影响创造力仍未达成共识,但越来越多的研究证实了约束既可以限制创造力的产生,也可以对创造力形成促进作用,维持二者之间的平衡关系能够最大程度地激发创造力的产生,过少或过多的约束都会降低创造力水平^[16]。基于现有研究,影响创新过程的所有约束按照属性的不同可以分为问题约束和资源约束两种类型^[17]。资源约束也被称为过程约束,是指限制人们参与创造性过程中所受到的时间、材料、资金和设备等方面的限制;问题约束也称产品约束,包括产品需求、顾客偏好和组织需求等,其构成了人们在创造过程中追求的目标。就产品概念设计而言,由于其受生产要素和商业推广等方面的影响较少,因此产品突破性创新概念设计中的资源约束主要指产品技术层面的约束,如产品专利、跨领域知识或技术等。借助资源与问题这两种不同类型的约束,能够构建出约束与创造力水平关系图,如图 1 所示。ABCD 四个区域,B、D 两个区域分别由于约束过多和过少而导致创造力水平较低,不利于创新;A、C 两个区域则由于较为平衡的约束与创造力关系而使创造力水平较高。结合突破性创新不确定因素多、预测难度大等特点,其设计起点多处于区域 D。在这一区域内,创造力因约束过少、选择过多而呈现出由于缺乏创造动机导致的创造力水平低的特点。现有研究

成果大部分通过路径 a, 以优先定义问题的方式提高问题约束水平, 使创新问题进入区域 A, 进而提高创造力水平并实现创新。除此之外, 很多突破性创新设计案例表明, 通过路径 b, 以优先创造创意的方式提高资源约束水平也能够实现突破性创新。具体而言, 设计者可以首先产生一个创意思想, 进而在问题领域的背景下探索这一想法, 这一路径同样具有高度创造性。这弥补了现有创新设计过程模型中问题优先这一单一路径的劣势, 使产品突破性创新概念设计拥有更多的实现路径。

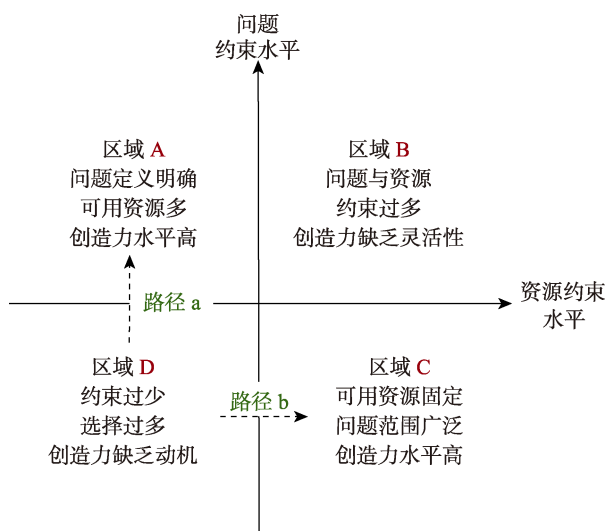


图 1 约束与创造力水平关系

Fig.1 Horizontal relationship of constraints and creativity

3.2 模型框架的构建

为了能够完整地表达产品突破性创新概念设计过程模型与路径, 需要对创新设计过程中的关键性环节进行构建。根据现有研究成果, 以渐进性创新为代表的创新设计关键节点主要包括发现、定义与评估问题, 搜集信息、探索想法, 产生创造性想法, 解决方案生成等步骤。研究表明, 通过对约束类型与来源的划分, 可以形成创新设计过程模型的基本框架^[18]。与约束类型类似, 约束根据来源的不同可以分为内部约束与外部约束^[19]。内部约束是指创造性解决问题时自我施加的资源或问题约束; 外部约束是指由外部来源施加的资源或问题约束。如图 2 所示, 产品突破性创新概念设计模型纵向坐标两端分别代表资源约束与问题约束, 横向坐标两端分别代表设计者内部约束与外部约束。

根据这一基本框架, 结合创新设计关键步骤, 可以将创造性活动, 如产生想法、阐述想法和酝酿想法, 表现在图 2 的下部, 因为它们都直接受创新过程中可用资源水平的影响。相比之下, 定义问题、评估想法和改变问题等活动出现在图 2 的上部, 因为它们都直接受到设计者在创新过程中面临的问题约束影响。收

集信息和探索想法显示在图 2 的左侧, 因为它们直接受到设计者外部约束的影响。最后, 选择解决方案或出现解决方案的活动在图 2 的右侧表示, 因为它们直接受到设计者内部约束的影响。

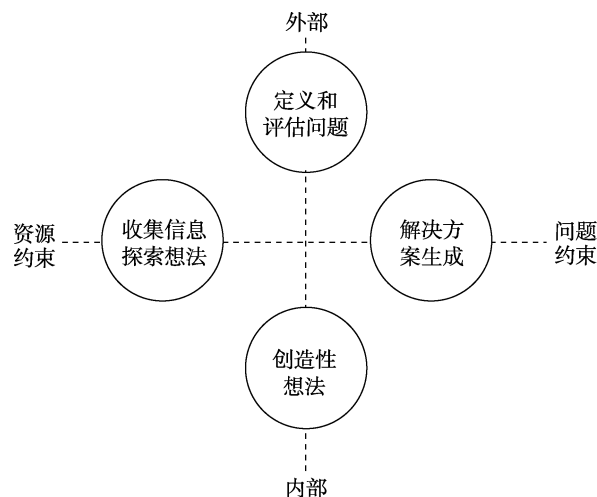


图 2 产品突破性创新概念设计模型框架
Fig.2 Framework of product radical innovation conceptual design model

3.3 产品突破性创新过程模型构建

产品突破性创新概念设计过程模型的特点在于其以突破性创新特点为依据, 以构建问题空间为目标, 拓展了一条以创意为优先项, 为创意思想寻找适当问题的创新设计路径。这一过程模型与渐进性创新过程模型的不同之处在于, 前者从创造性想法出发, 为这一想法寻找问题, 其创新过程中面对的主要约束是资源约束; 后者则是先建构问题, 而后根据问题寻找创造性想法, 其面对的主要约束是问题约束。

基于创意优先路径的创新设计模型起源于 Finke 等^[20]在 1992 年提出的“生成-探索”模型。该模型由创造性想法的生成和探索过程两个阶段组成。这两个阶段也是产品突破性创新概念设计创意优先路径的两个组成部分。新的科技和知识的输入, 作为外部知识, 通过与内部知识的相互整合, 形成创造性想法, 这一初步的创意是“生成-探索”路径的创新设计起点, 被称为“前发明结构”^[18]。在创意优先的问题解决突破性产品创新设计模型中, 根据初步的创造性想法特征寻找和定义问题是产品突破性创新设计的关键。如图 3 所示, 创意优先的产品突破性创新概念设计过程模型是以创新设计关键节点为主体, 以创造性想法 (前发明结构) 为起点, 经过搜集信息、定义问题、产生解决方案等流程, 并进行若干次循环而实现设计目标的。该过程与渐进性创新过程的不同之处在于, 渐进性创新从定义和评估问题出发, 通过限制创新设计问题约束来提高创造力水平, 进而完成创新设计。由于突破性创新过程中存在大量的不确定因素, 其往往难以定义设计问题。在此情况下, 以定义和评

估问题作为突破性创新设计的起点显然难以推进创新设计过程。结合对实践案例的调查与研究,大量产品突破性创新案例证明,以跨领域知识或技术以及新的技术应用为手段,以创意想法为优先项的产品突破性创新概念设计路径,能够有效实现突破性创新。例如,海尔冰箱将应用在军事和列车制造领域的气悬浮无油动力技术,跨领域运用在冰箱压缩机上,创造了海尔卡萨帝冰箱这一高端产品,完成了冰箱产品的突

破性创新^[21]。日本任天堂公司推出的 Wii 系列游戏机,创造性地运用了在家用电器和汽车行业中应用的可以检测三维运动的半导体技术,颠覆了原有的游戏方式,实现了游戏机产品的突破性创新^[22]。因此,以创造性想法为起点,通过为创造性想法寻找问题这一路径,借助限制创新问题中的资源约束来提高创造力水平,进而促进创新过程的完成,为产品突破性创新概念设计提供了一条新的路径。

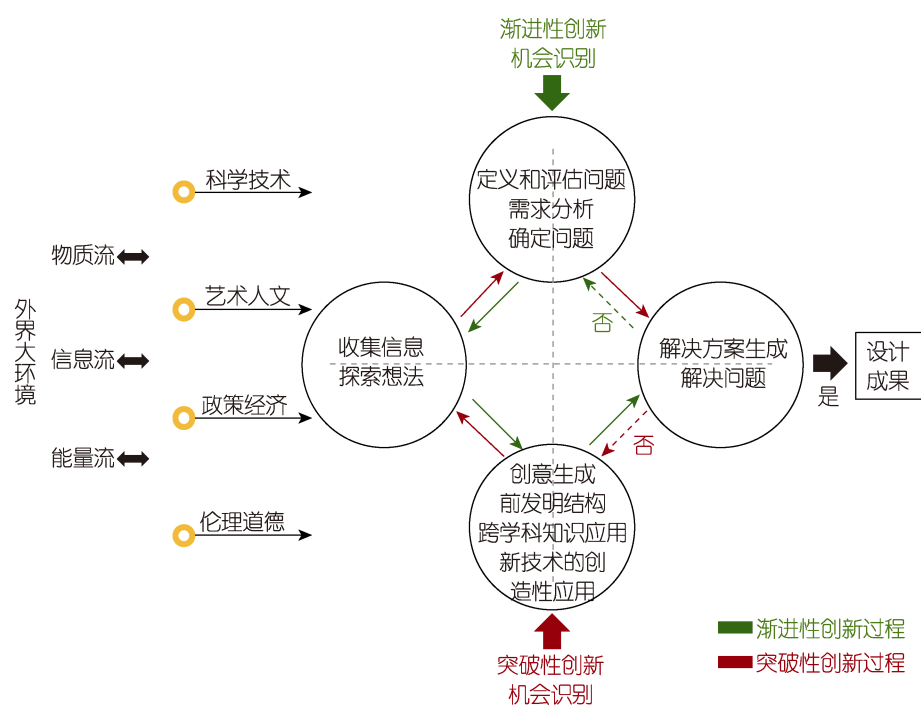


图 3 产品突破性创新概念设计过程模型
Fig.3 Conceptual design process model of product radical innovation

4 基于突破性创新概念设计过程的模块化 自重构地震搜救机器人设计

4.1 突破性创新机会识别

当前的智能机器人市场呈现出较高的增长率,但作为新兴产业,其市场规模仍处于较低水平,相应的产品市场细分和产业整体发展严重不足。模块化自重构机器人作为智能机器人的一个重要类别,具有鲜明的技术特征和优势。其最初来源于分布式群智能机器人系统,由具有一定运动和感知能力的基本模块组成,通过内部物理连接来完善系统整体在环境和任务中的构型和功能。一定数量的模块群可以根据要求组成不同形态的机器人整体,进而适应广泛的环境和任务要求。模块化自重构机器人鲜明的技术特点使其具备了广泛的应用前景和突破性创新潜力。

4.2 模块化自重构机器人突破性创新概念设计创意生成

一般的智能机器人由于其较为单一的结构与造

型,往往只能适应特定的工作和任务。对模块化自重构机器人而言,由于其相对不固定的结构和运动方式,以及其较高的冗余特征和鲁棒性,使其具备了出色的环境适应能力和多任务处理能力。在具有较大不确定性和较为严苛的环境中,机器人面临多种不确定情景与工作任务时,模块化自重构机器人具有较强的适用性。在面对包含大量未知因素,如地震搜救、空间探索、深海探测等应用场景时,可以发挥出其技术优势,完成其他机器人无法应对的任务,具有较高的应用潜力与价值。

4.3 信息收集与想法探索

模块化自重构机器人具有多功能集成和方便携带等特征,能够应对未知、复杂、极端的环境, Ubot 模块集成度较高、技术较为成熟,是自重构机器人技术的代表。通过对该模块技术条件下应用场景的信息搜索,确定了地震搜救的应用场景。

首先,地震救灾问题是我国现阶段面临的重大现实问题。我国不仅地震灾害频发,且重大地震灾害后的伤亡情况较为严重,通过解决震灾搜救任务中的问

题能够保障人民生命财产安全, 具有较强的实际意义。其次, 震灾场景中的环境数据在获取难度上较低且数据较为丰富, 更具有可实施性。最后, 经过初步的分析可以发现, 震灾环境中存在的建筑物缝隙等狭小空间是其应用场景的重要特点和现存搜救问题的主要矛盾之一, 模块化自重构机器人小型化、便携化的技术特点符合这一特定环境的使用条件。在这些条件下, 模块化自重构机器人相比很多大型搜救机器人具有更大的优势, 不仅可以解决现有搜救机器人面对的难题, 同时也能凸显模块化自重构机器人的技术优势, 符合突破性创新产品新颖性、独特性的特征。因此, 通过综合对比分析, 本文将地震搜救场景作为模块化自重构机器人突破性创新概念设计实践的应用场景。

4.4 定义与评估问题

通过对现有产品的搜索与分析, 现有搜救机器人都无法适应地震废墟环境中的所有情景。通过对被困者及救援人员的访谈资料和调查问卷进行分析, 结合用户旅程图等设计分析方法, 得到用户需求框架, 如图 4。利用层次分析法, 将用户对搜救机器人的主要需求确定为多地形适应能力 (A32)、生命探测 (A21)、目标定位 (A23)、小巧轻便 (A41) 等, 如表 1 所示。

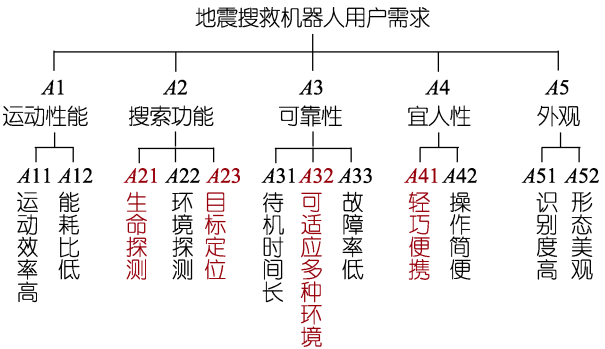


图 4 地震搜救机器人用户需求框架
Fig.4 User demand framework of earthquake search and rescue robot

表 1 地震搜救机器人用户需求指标权重
Tab.1 User demand index weight of earthquake search and rescue robot

指标	单序权重	综合权重	一致性检验	排序
A11	0.628	0.094	$n=2$ $RI=0$	5
A12	0.372	0.055		9
A21	0.409	0.127	$\lambda_{\max}=3.022$ $CI=0.011$ $RI=0.52$ $CR=0.021$	2
A22	0.237	0.073		6
A23	0.353	0.109		3
A31	0.239	0.073	$\lambda_{\max}=3.032$ $CI=0.016$ $RI=0.52$ $CR=0.031$	7
A32	0.476	0.146		1
A33	0.285	0.087		5
A41	0.625	0.105	$n=2$ $RI=0$	4
A42	0.375	0.063		8

同时, 通过对搜救机器人技术和性能的分析, 可以将相关制约因素归纳为移动、感知、通信、续航及搜索等。其中, 机器人的移动能力是核心制约因素。结合用户需求与技术制约因素, 可以将搜救机器人创新设计核心问题确定为震灾复杂环境下的运动能力及适应性。利用情景分析方法, 结合地震废墟环境和用户需求可以将搜救机器人设计矛盾定义为搜救机器人在震灾废墟环境中的运动适应性问题。其中, 震灾废墟环境要素是核心制约要素。

4.5 解决方案的生成

根据对汶川地震遗址的考察发现, 地震废墟环境非常复杂, 除建筑物垮塌形成的障碍外, 还包括室内陈设障碍物, 如图 5—6 所示。依照废墟环境的特点, 可以将机器人工作环境路面分为砂石、阶梯、陡坡、裂缝、崎岖、狭小空间和较大障碍等类型。其中, 狭小空间对机器人的限制较大。



图 5 汶川地区地震废墟内部
Fig.5 Inside the earthquake ruins in Wenchuan



图 6 汶川地区地震废墟外部
Fig.6 Outside the earthquake ruins in Wenchuan

通过对地震废墟场景约束条件和地震亲历者访谈资料的分析, 结合 Ubot 模块化自重构机器人技术特点和物理学运动原理, 其形态创新设计应满足环境空间尺寸要求、能够通过障碍物、在多种路面条件下通行等条件。基于上述分析, 结合仿生设计等方法,

设计了龙形和犬形两种构型,以满足不同环境下机器人的运动需求。这两种构型均采用 24 个模块作为构型基础。龙形机器人采用链式连接方式,通过相邻模块的弯折实现爬行运动,可以利用其运动特点适应缝隙、砂石和障碍等路面。尤其是在面对具有狭窄缝隙的环境时,龙形可以利用自身窄长的形态特点,穿过缝隙进入废墟深处搜索被困人员。犬形采用混合式连接方式,机器人身体部分为阵列式连接,可以搭载多种工具模块,四肢为链式连接,能够实现四足行走。犬形采用的足式行走运动方式具有更高的运动效率,能够实现在废墟环境中的快速运行,可以适应砂石、阶梯、崎岖等路面。结合 Ubot 模块化自重构机器人原有的几种运动形态,该机器人可以变形为龙形,通过狭窄缝隙或盘踞在栏杆上进行探测;可以变为犬形攀爬台阶、陡坡或跨越开裂路面,还可以变为环形快速通过平坦地区。结合模块中的红外感应和热感探测芯片,该机器人可以实现对震灾废墟内部环境的探测和对被困人员的搜索。此外,该机器人还可以携带一定数量具有急救、心理安抚功能或定向频率发射装置的模块,在发现被困者后可将该模块卸载,为被困人员提供帮助或为救援人员提供精准定位。该设计利用对模块化自重构技术的创造性应用,经过形成创意、收集信息、定义问题等过程,最终产生地震搜救模块化自重构机器人的概念设计方案。基于突破性创新概念设计过程的模块化自重构地震搜救机器人概念设计在 2018 中国优秀工业设计奖的评选中,得到了评委的一致好评,荣获概念设计金奖。这一奖项的获得在一定程度上证明了以创造性想法为优先项的产品突破性创新概念设计过程模型与路径具备一定的可行性和有效性。模块化自重构地震搜救机器人见图 7。

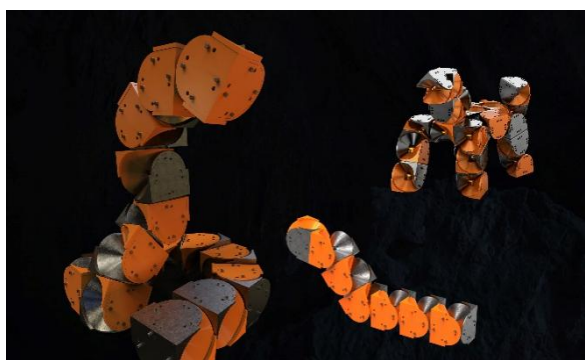


图 7 模块化自重构地震搜救机器人
Fig.7 Modular self-reconfigurable earthquake search and rescue robot

5 结语

为了更好地实现产品突破性创新,聚焦产品概念设计阶段,以约束作为构建产品突破性创新概念设计过程模型的关键要素,通过约束来源与类型的不同,

将该模型划分为四个象限并构建了突破性创新设计的关键节点。根据突破性创新的特征,构建了以跨学科知识运用为产品突破性创新设计起点,以创意为优先项的设计流程。利用该模型,通过模块化震灾搜救自重构机器人创新设计验证了其可行性和有效性。该设计过程模型,符合突破性创新的特征与内涵,能够有效解决产品突破性创新概念设计过程中难以定义设计问题的矛盾,提高了创新效率,弥补了问题优先这一单一设计路径的不足,为实现突破性创新增添了新的解决策略与路径,具备理论价值和实践意义。

参考文献:

- [1] 檀润华, 曹国忠, 刘伟. 创新设计概念与方法[J]. 机械设计, 2019, 36(9): 1-6.
TAN Run-hua, CAO Guo-zhong, LIU Wei. Concepts and Methods of Innovative Design[J]. Journal of Machine Design, 2019, 36(9): 1-6.
- [2] 潘云鹤. 创新设计: 全面提升国家竞争力[J]. 紫光阁, 2015(11): 14.
PAN Yun-he. Innovative Design: Comprehensively Enhancing National Competitiveness[J]. Ziguangge, 2015 (11): 14.
- [3] 檀润华, 王凡凡, 张俊磊, 等. 突破性创新与突破性创新设计研究综述[J]. 包装工程, 2022, 43(18): 9-17, I0006.
TAN Run-hua, WANG Fan-fan, ZHANG Jun-lei, et al. Study of Radical Innovation and Radical Innovative Design[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(18): 9-17.
- [4] 王爱红, 毛昕, 陈汗青. 产品突破性创新内涵及其关键要素研究综述[J]. 机械设计, 2022, 39(12): 125-132.
WANG Ai-hong, MAO Xin, CHEN Han-qing. Summary on Connotation and Key Elements of Product Radical Innovation[J]. Journal of Machine Design, 2022, 39(12): 125-132.
- [5] VAN KLEEF E, VAN TRIJP H C M, LUNING P. Consumer Research in the Early Stages of New Product Development: A Critical Review of Methods and Techniques[J]. Food Quality and Preference, 2005, 16(3): 181-201.
- [6] 平恩顺, 檀润华, 孙建广, 等. 面向成熟期产品突破性创新设计模糊前端阶段过程研究[J]. 工程设计学报, 2014, 21(2): 101-108.
PING En-shun, TAN Run-hua, SUN Jian-guang, et al. Research on Maturity Stage Product Radical Innovation Design Process on the Stage of Fuzzy Front End[J]. Journal of Engineering Design, 2014, 21(2): 101-108.
- [7] BERNARD A, COATANE A E, CHRISTOPHE F, et al. Design: A Key Stage of Product Lifecycle[J]. Procedia CIRP, 2014, 21: 3-9.
- [8] 杨伯军, 冯雁霞, 孙群. 基于激进式裁剪的产品突破性创新设计过程[J]. 中国机械工程, 2018, 29(9): 1025-1030.

- YANG Bo-jun, FENG Yan-xia, SUN Qun. Product Radical Innovation Design Processes Based on Radical Trimming[J]. China Mechanical Engineering, 2018, 29(9):1025-1030
- [9] 张换高, 贾树璇. 突破性创新及其实现方法研究综述[J]. 包装工程, 2023, 44(2): 8.
- ZHANG Huan-gao, JIA Shu-xuan. Review of Radical Innovation and Its Realization Methods[J]. Packaging Engineering, 2023, 44(2): 8.
- [10] 平恩顺, 檀润华, 孙建广. 基于TRIZ的机械产品突破性创新设想产生过程研究[J]. 中国机械工程, 2014, 25(18): 2439-2446.
- PING En-shun, TAN Run-hua, SUN Jian-guang. Research on Ideas Generation Process for Mechanical Product Radical Innovation Based on TRIZ[J]. China Mechanical Engineering, 2014, 25(18): 2439-2446.
- [11] WEYRAUCH T, HERSTATT C, TIETZE F. The Objective-Conflict-Resolution Approach: A Novel Approach for Developing Radical and Frugal Innovation[J]. IEEE Transactions on Engineering Management, 2021, 68(3): 699-712.
- [12] WANG Kang, TAN Run-hua, PENG Qing-jin, et al. Radical Innovation of Product Design Using an Effect Solving Method[J]. Computers & Industrial Engineering, 2021, 151: 106970.
- [13] FRISHAMMAR J, DAHLISKOG E, KRUMLINDE C, et al. The Front End of Radical Innovation: A Case Study of Idea and Concept Development at Prime Group[J]. Creativity and Innovation Management, 2016, 25(2): 179-198.
- [14] AMABILE T M. Effects of External Evaluation on Artistic Creativity[J]. Journal of Personality and Social Psychology, 1979, 37(2): 221-233.
- [15] DECI E L, RYAN R M. The General Causality Orientations Scale: Self-Determination in Personality[J]. Journal of Research in Personality, 1985, 19(2): 109-134.
- [16] GILLIER T, CHAFFOIS C, BELKHOUJA M, et al. The Effects of Task Instructions in Crowdsourcing Innovative Ideas[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2018, 134: 35-44.
- [17] ROSSO B D. Creativity and Constraints: Exploring the Role of Constraints in the Creative Processes of Research and Development Teams[J]. Organization Studies, 2014, 35(4): 551-585.
- [18] CROMWELL J R, AMABILE T M, HARVEY J F. An Integrated Model of Dynamic Problem Solving within Organizational Constraints[M]//Individual Creativity in the Workplace. Amsterdam: Elsevier, 2018: 53-81.
- [19] RYAN R M, DECI E L. Self-Determination Theory and the Facilitation of Intrinsic Motivation, Social Development, and Well-being[J]. American Psychologist, 2000, 55(1): 68-78.
- [20] FINKE R A, WARD T B, SMITH S M. Creative cognition: theory, research, and applications[M]. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1996
- [21] 滕东晖, 万新明, 高俊光, 等. 用户需求+跨界知识, 打造突破性创新产品——HOPE 平台的跨界融合[J]. 清华管理评论, 2019(1): 28-37.
- TENG Dong-hui, WAN Xin-ming, GAO Jun-guang, et al. User's Demand+ Cross-border Knowledge Create Breakthrough Innovative Product—Transboundary Fusion of Hope Platform[J]. Tsinghua Business Review, 2019(1): 28-37.
- [22] VERGANTI R. Design Driven Innovation: Changing the Rules of Competition by Radically Innovating What THINGS mean[M]. Boston: Harvard Business Press, 2009.

责任编辑: 马梦遥