

2021年创新设计热点回眸

肖人彬¹, 林文广^{2*}, 赖荣燊²

1. 华中科技大学人工智能与自动化学院, 武汉 430074

2. 厦门理工学院机械与汽车工程学院, 厦门 361024

摘要 面向知识网络时代的创新设计呈现绿色低碳、网络智能、开放融合、共创分享的新特征。2021年, 创新设计研究在理论方法、技术手段及应用拓展等方面取得了重要进展。从生物启发创新设计、数据驱动创新设计、可持续创新设计、基于人工智能的创新设计以及面向疫情的创新设计等视角回顾了创新设计年度研究热点和代表性成果, 并展望了创新设计未来的研究热点。

关键词 生物启发; 数据驱动; 可持续; 人工智能; 新冠肺炎疫情

设计是人类对有目的创新实践活动的创意和设想、策划和计划, 是将知识、信息、技术和资源转化为集成创新和整体解决方案, 实现应用价值的发明创造和应用创新过程^[1-2]。中国在迈向制造强国的进程中, 一个亟待解决的根本问题就是创新能力不足, 尤其是创新设计能力存在着明显的差距。按照路甬祥^[3]的观点, 设计经历了由传统设计(设计1.0, 即农耕时代的设计)到现代设计(设计2.0, 即工业时代的设计)再到创新设计(设计3.0, 即知识网络时代的设计)的进化历程。大力发展创新设计, 对于建设制造强国的重要性不言而喻。

创新设计面向知识网络时代, 以产业为主要服

务对象, 具有绿色低碳、网络智能、开放融合、共创分享等特征, 集科学技术、文化艺术、服务模式创新于一体, 是科技成果转化成为现实生产力的关键环节, 是引领新一轮产业革命发展的重要因素^[3-4]。新颖性、有用性及出奇制胜是创新设计的3个关键要素^[5]。2021中国创新设计大会暨第25届全国工业设计学术年会于9月24日在浙江台州召开, 大会以“数字经济与创新设计”为主题, 总结创新设计成果, 共议创新设计未来。2021年, 研究人员在创新设计理论方法与应用实践方面成果显著, 特别是在生物启发创新设计、数据驱动创新设计、可持续创新设计以及面向疫情的创新设计等方面取得重要进展。

收稿日期: 2021-12-28; 修回日期: 2022-01-07

基金项目: 国家自然科学基金项目(51875220); 福建省社会科学基金项目(FJ2021B128); 福建省中青年教育科研项目(JAT200467, JAT200472)

作者简介: 肖人彬, 教授, 研究方向为制造系统工程与复杂产品设计, 电子信箱: rbxiao@hust.edu.cn; 林文广(通信作者), 讲师, 研究方向为数据驱动产品设计, 电子信箱: linwg@xmut.edu.cn

引用格式: 肖人彬, 林文广, 赖荣燊. 2021年创新设计热点回眸[J]. 科技导报, 2022, 40(1): 228-236; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2022.01.017

1 生物启发创新设计

完善的生物结构、性状、原理和行为等特性为创新设计提供丰富的素材,激发设计人员的创新灵感。生物启发创新设计是在仿生学和设计学的基础上发展起来的一门新兴学科,主要以工程领域问题为出发点,从设计方法学的角度,研究生物领域知识启发工程领域的创新设计活动^[6-7]。

2021年,国内外专家学者针对生物启发创新设计展开广泛深入研究并取得诸多显著成果:毛晨曦等^[8]基于自然界生物在含粉尘非结构化表面上着陆栖息和爬行仿生原理,建立爪刺式飞行爬壁机器人的爬行动力学模型和接触-碰撞动力学模型,完成具有飞行和壁面爬行能力的爪刺式飞行爬壁机器人的优化设计,图1^[8]所示为爪刺式飞行爬壁机器人三维结构图;张智泓等^[9]以砂鱼鳃头部为仿生原型,采用逆向工程技术对其特殊几何特征进行提取,将量化后的几何结构特征应用于深松铲尖的创新设计;贺威等^[10]设计了一种独立驱动的仿鸟扑翼飞行机器人USTBird,通过两个舵机独立驱动左右翅膀可实现无可控尾翼的机动飞行,图2所示为USTBird结构图;宋勇等^[11]借鉴长期跳跃行进在复杂地形中的袋鼠腿部结构,针对一种含圆弧形缓冲结构的三连杆式仿袋鼠腿悬架开展研究,以获得更优的车辆悬架综合性能;张益鑫等^[12]通过蝴蝶飞行运动的生物学观测,构建蝴蝶前飞运动学模型,研制轻量化的仿蝴蝶扑翼飞行器样机;赵淑红等^[13]针对马铃薯播种开沟器高速作业条件下作业阻力大、回土深度浅、干湿土易混合等问题,基于黄鳍金枪鱼下颚流线型曲线,采用水平直元线法将原有曲线重构为三维曲面,设计一种仿黄鳍金枪鱼下颚曲线的曲面式开沟器;李娟莉等^[14]以扇贝壳及穿山甲鳞片的非光滑条纹结构为仿生原型设计仿生中板,以提高刮板输送机中部槽的耐磨性;王学文等^[15]以蛻螂体表的非光滑凹坑结构为仿生原型,借助仿生非光滑理论,在中部槽表面设计仿生凹坑型结构以提高刮板输送机中部槽的耐磨性;殷谦等^[16]提出一种柔性波动鳍仿生机器人的结构型式,根据波动推进原理对波动鳍结构进行设计;刘阳等^[17]以具有快

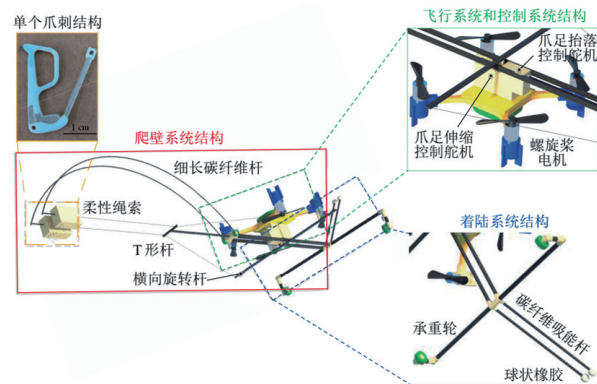


图1 爪刺式飞行爬壁机器人三维结构

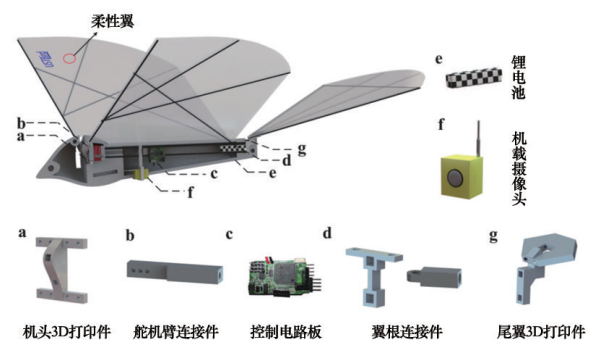


图2 USTBird整体结构

速机动游动特性的鲛科鱼类为仿生原型设计一种S型仿生叶片;左建林等^[18]基于人体内侧半月板结构设计游离式仿生内侧半月板假体,置换临床中无法修复的半月板;田晨晔等^[19]受鸟类翼型结构启发,研究仿生翼型设计对贯流风机气动性能的影响,基于鸟翼厚度分布特征进行贯流风机叶片仿生设计;黄海丰等^[20]通过模仿自然界蝴蝶的生物结构和飞行方式,设计了一款基于线驱转向的仿蝴蝶扑翼飞行机器人;刘物己等^[21]基于生物体结构提出了一种受“尺蠖”与“蛇”启发的适用于空间在轨服务的柔性机器人;李衍军等^[22]以鲫鱼流线型曲线为仿生原型,提出了一种分配器仿生设计方法。

2 数据驱动创新设计

2.1 数据类型多样化

随着信息技术的快速发展,设计所获取的信息日益多样化。设计人员在传统专家经验知识的基础上,不断融合新的数据类型,并将其应用于产品创新设计过程^[23-25]。根据数据类型,可以分为运行

数据、人体数据、电商数据、专利数据等。

在运行数据方面,侯亮等^[26]利用产品历史运行数据,对装载机复杂装备进行个性化反向定制设计,其设计理念融合机器数据智能采集与分析、复杂机电产品建模、客户个性化需求评价等方法,能够为机电产品创新设计提供更加详细的指导;张雪霞等^[27]通过收集现有燃料电池的历史退化数据,分析产品性能退化的内外因素,并结合神经网络算法对在设计的电池方案进行寿命预测;杨晓强等^[28]分析民用航空飞行器的使用困难报告数据,分析不同性能指标的权值,并利用多目标优化方法构建整机设计方案的安全评价模型,对在研设计方案的性能进行预测;印度TATA钢铁公司通过分析收集钢铁生产线中轴承的磨损数据,对后续轴承维护决策提供建议^[29];波音公司^[30]开发了通用核心系统(common core system, CCS)用以收集飞机的运行数据,该系统由通用处理模块、远程数据集中器、全双工以太网以及线路更换单元组成,如图3所示,据此波音公司可以实时掌握飞机的运行情况,进而为飞机的维护以及后续机型的改进提供决策参考。

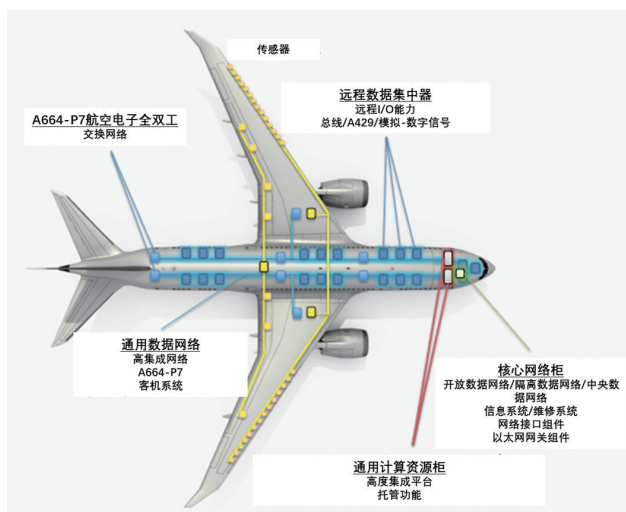


图3 波音787CCS网络架构

在人体数据方面,主要包含人体生理及心理数据。目前研究主要集中在前者,例如包晓宁等^[31]综合了生理、六性以及飞机总体等多渠道数据,开展数字系统环境下面向战斗机生命保障系统的设计;吴海贺等^[32]通过收集人体步态以及关节受力数据,

开展个性化3D矫形鞋垫的创新设计。也有研究人员或者销售人员利用人工智能技术对人脸表情进行深度解读,例如富士通公司与卡耐基梅隆大学合作研发的 Action Unit 识别系统是此类技术的代表^[33],如图4所示。相比于较传统基于眼动或者语音等手段,这样的方法能够更加准确了解用户的实际需求。近年来,随着脑机接口技术的发展,也有研究人员开始关注脑机数据,例如马斯克的 Neuralink 公司发布的新一代 LINK V0.9,通过该设备可以初步实现脑部神经系统数据的下载与监控,为了解婴儿、脑部或者脊椎损伤人员,甚至动物的隐性需求提供通道^[34],如图5所示。

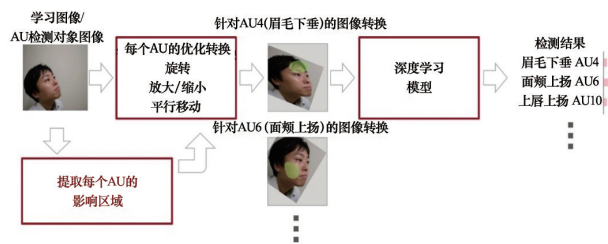


图4 表情识别系统

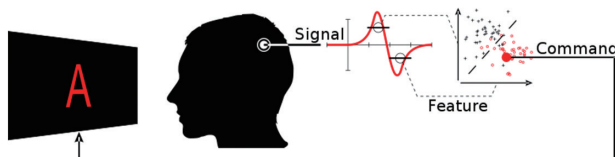


图5 脑机接口技术

电商数据方面,施琦等^[35]通过爬取电商网站的评论文本信息以及附图信息,利用聚类分析以及机器学习算法对两种数据进行分析,并作可视化研究,为产品改进创新提供参考意见。专利数据方面,林文广等^[36]通过 word2vec 以及依存关系等自然语言处理技术提取专利背景中的有害性能知识,通过共现机率构建元件性能评价模型,进而对所设计的方案进行评价。事实上,基于网络数据的产品设计也间接应用到电商平台上,例如京东和淘宝都各自研发了相应的大数据云平台,如图6所示,这些平台为商家以及厂家提供最新市场动态消息,进而对产品改进提供及时的市场反馈信息。

2.2 数据粒度精细化

由于复杂装备的运行往往依赖于多种性能指标,同时也存在较大的风险,需要在设计阶段对性



图6 京东大数据云平台

能参数进行准确预测。例如, Brunton等^[37]针对飞行器构建图7所示的数字孪生模型,通过细化各项物理参数指标对设计方案进行性能预测及改进。通过多维度数据驱动技术,可以在设计阶段对产品尺寸进行仿真优化,进而减少数十亿美金的实验成本。这些都是显性数据,可以通过仪器直接检测。对于无法通过仪器直接检测的隐性数据, Weng等^[38]在现有数据的基础上利用证据推理的方式获取其他数据信息,通过指标关联实现隐性数据挖掘,并应用到报警装置的设计上面。市场数据方面,张文旭等^[39]针对评论文本数据稀疏、噪声、主观性的特点,提出基于词频-逆文档频率方法以及性能词典的电商评论隐性知识挖掘研究,进而实现对评论的细分。

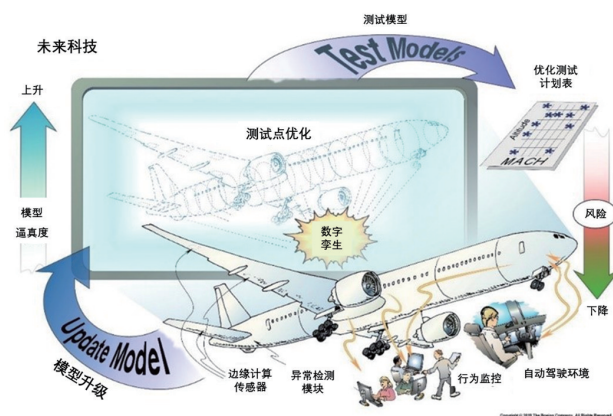


图7 多参数飞行器数字孪生模型

2.3 数据体积海量化

随着技术手段的不断发展,设计人员所能获取的数据量也不断剧增。据统计,人类每年产生的数据量平均增长率为42%,到2020年全年产生的数据为40 ZB,这些都将成为产品设计提供源源不断的信息来源。例如新加坡设计大学Luo等^[40]利用超过500万件的美国专利对目标产品设计机遇进行挖掘,进而最大化扩展已有产品的设计发展空间。此外,文献[36]从9700件国内专利全文中提取超过1200万条语句,从中分析设计元素之间耦合关系。数据量的提升能够为设计过程提供更加丰富的信息,同时能够进一步降低设计风险,提高设计效率。另外, Niu等^[41]提出数据驱动的产品全生命周期设计模型,从产品全生命周期的前端,一直涵盖到后续的产品生产、使用跟踪甚至回收等不同阶段。相比以往的设计过程,不论是数据类型还是体积都得到较大的扩展。近段时间,一种集成多样化以及海量数据的云宇宙概念被提出,并受到社会的广泛关注。本质上,云宇宙是一种大数据驱动的产品设计,是面向虚拟现实的网络场景构建,包括建筑、环境甚至成员特征。同时这种设计更加侧重于产品的外观设计^[42],如图8所示。

3 可持续创新设计

在碳中和、碳达峰目标驱动下,产品可持续创



图8 基于虚拟现实的云宇宙环境下产品设计

新设计成为当前研究热点。Sumrin 等^[43]从产品包装角度提出旨在降低废弃物和环境保护的创新设计理念。Wang 等^[44]研究在传统产品的基础上融合数字化技术,进而实现创新升级。Li 等^[45]从文化、形式、功能以及情感角度出发,对大数据与人工智能驱动产品创新设计进行思考,进而得到促进人与环境的和谐发展。Wang 等^[46]通过绿色工艺的融合与改进同时提高企业的环境效益和经济效益。荷兰飞利浦公司^[47]提出基于能量、材料、包装以及循环再利用四原则的可持续创新设计理念,并实现低耗材、生产合理、配送合理、绿色使用、增长使用周期以及回收优化等生命周期不同阶段的优化理念,如图9所示。

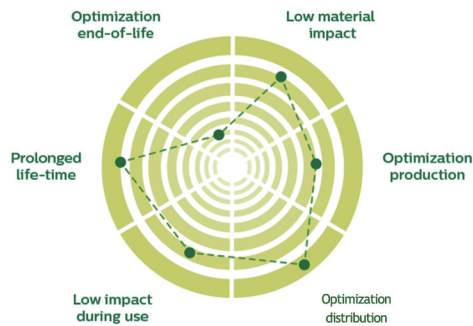


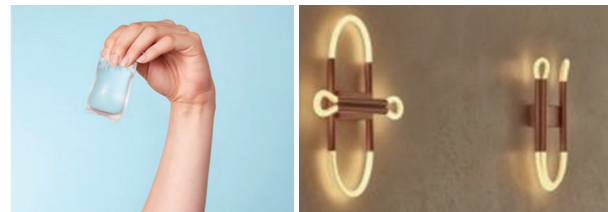
图9 面向生命周期的飞利浦绿色设计理念

表面上,可持续设计导致企业成本增加,例如需要额外安装过滤装置、回收设备,甚至购买较贵的原材料等^[48]。但从整个产品生命周期来看,可持续设计可以降低企业成本:一方面,降低能耗;另一方面,提高产品的使用寿命以及环保性能,提高产品的市场竞争力,进而增加企业利润。例如,全球最知名影响力最大的设计网站 Dezeen 给 4 个可持续设计作品颁奖,如图10所示。这些案例都证明了可持续设计不仅仅实现了环保,还能增加企业长期收益^[49]。



(a) 具有低能耗的汽车驾驶舱

(b) 将厨余垃圾转换为生物肥料的容器



(c) 可自动降解的塑料包装袋

(d) 废弃垃圾制成的灯具

图10 可持续设计实例

4 基于人工智能的创新设计

随着信息技术的发展,人工智能技术成为推动人类第四次工业革命的关键力量^[50]。在传统产品设计过程中,由于受制于已有技术水平,设备在使用过程的调整往往依赖于使用者的操作,还是无法实现自我调整,属于单向输出。随着人工智能技术的应用,这种问题逐步被解决,并得到了初步的应用。不过目前这种调整主要还是集中在参数上,在结构上或者原理上还是无法实现,这也是后续研究人员需要解决的问题。例如,日本索尼公司融合图像识别、机器感知、多运动单元控制等多种智能算法,开发了新一代机器狗以及机器人产品,如图11^[51]所示。

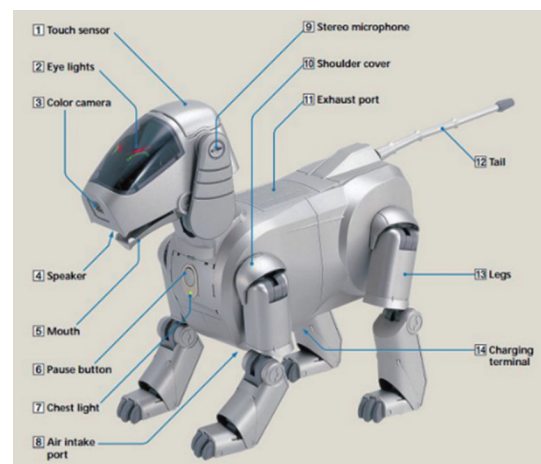


图11 索尼的居家娱乐型机器狗

此类产品一方面需要同时满足多类型数据处理以及多运动结构控制,另一方面还要求产品本身具有自我学习能力,使其能够在使用过程中不断根据客户的需求或者环境的变化进行自我调整。例如波士顿动力公司开发的新一代机器人技术,结合系统历史数据以及产品前期使用数据,能够快速适应新的地理环境^[52]。此类技术也广泛应用于智能家居、无人汽车以及医疗设备等领域。除了适应环境,还可以实现人机互动,例如香港理工大学 Johan 等利用人工智能的自我学习能力,设计具有一定情感的陪护机器人,如图 12^[53]所示。



图 12 可人机交流机器人

需要注意的是,与数据驱动产品创新设计不同,人工智能更多的是关注智能算法技术在创新设计中的应用,侧重于手段,而不是知识的来源。这种手段会随着信息技术的不断发展而得到改进及更新,进而可以解决更多的设计问题。

5 面向疫情的创新设计

近年来,随着新冠肺炎(COVID-19)疫情暴发,病毒防控逐渐成为学术界和工业界关注的焦点,进而也引发社会各界对医疗健康产品的进一步重视。相比于其他产品,医疗健康设计不仅需要考虑工艺、成本、市场、专利侵权等传统因素,还需要考虑人体工学、健康、心理、绿色以及政策等因素,设计过程更具挑战性。同时因为治疗、隔离、疫苗等措施的实施,对其他产品设计也提出了新的要求。澳大利亚知名设计公司 Ewave^[54]提出了面向防疫的产品终极设计法则,分为设计的清晰度、标准化以及可分发性。清晰度就是要求产品所介绍的功能要明确,不能让客户误解。标准化是产品要一致性,

不能出现多个标准。而可分发性,就是产品的信息能够及时发送出去。类似的还有德国 Intellias 设计公司提出了“以人为本”的设计理念。该理念包含 6 条准则,即产品的清晰定义、用户参与设计、客户反馈依赖、设计迭代、设计体验以及研发团队多样化等^[55]。也有学者如 Hanifati 等^[56]研究居家隔离环境下消费者对笔记本电脑的购买意向变化情况,发现消费者对品牌的信任度下降,而对质量以及规格的信任度上升,究其原因,主要是因为消费者收入下降,而且居家办公要求提高。

在实用产品设计方面,例如口罩需求剧增导致疫情早中期的产品出现短缺,引发学者们对传统口罩的设计及生产方式进行反思与改进,并对口罩的绿色、回收、工艺、供应链甚至政府政策等诸多环节进行全方位的研究,进而寻求创新路径^[57]。由于疫情导致供应链受到影响,使得传统产品在材料上无法得到保证,加拿大渥太华大学 DeBoer 等^[58]对呼吸机进行改进创新,通过模块化设计方法实现较少的元件以及更加便于获取的元件制造出相同功能的产品。此外,还有西班牙 Roca 企业从防止病毒扩散角度出发,分别研发了鞋底清洁、人群间隔以及免接触消毒机等家居产品,如图 13^[59]所示;清华大学设计学院和博奥生物公司借助模块化设计方法研发新型病毒检测装置,如图 14 所示。该产品参考类似检测装置的设计方案,据此对现有产品模块



(a) 人群间隔装置

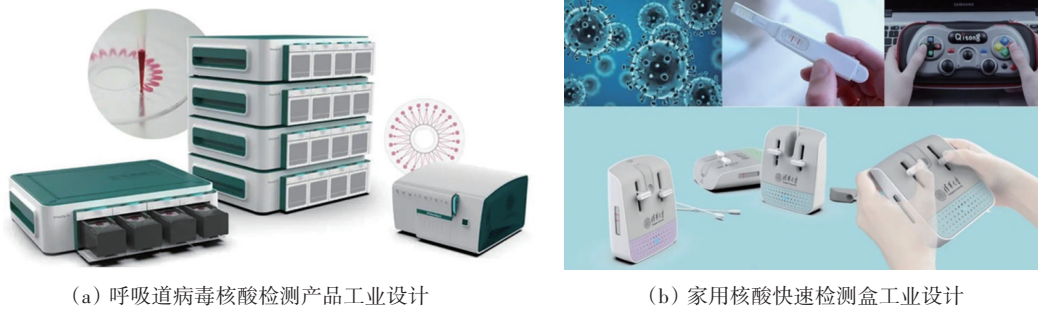


(b) 鞋底自动消毒装置



(c) 免接触洗手液挤出设备

图 13 面向防止病毒传染的产品创新设计实例



(a) 呼吸道病毒核酸检测产品工业设计

(b) 家用核酸快速检测盒工业设计

图 14 基于模块化设计方法的病毒检测产品

进行集成,不仅提高了设计效率,同时降低成本,为大批量生产提供便利,并在近期获得“好设计”金奖^[60]。

“好设计”简言之就是创新设计。通过开展以创新设计为主题的好设计评选活动,使得好设计理念根植于中国大地,培育好设计诞生的沃土,营造好设计发展的良好环境,努力打造和培育具有全球影响力、引领世界和时代的好设计、中国好企业、中国好品牌,这是我国推动创新设计的重要举措^[60]。

6 结论

创新设计引领中国创造之路,可以大大加快实现“中国制造向中国创造转变,中国速度向中国质量转变,中国产品向中国品牌转变”。2021年,创新设计研究在仿生设计、数据驱动设计、可持续设计和面向疫情的创新设计等方面成果显著。

随着新一代信息技术和先进制造技术的发展以及新冠疫情的影响,创新设计手段日益多样化、应用场景更加广泛。创新设计的发展呈现以下5个特征:

1) 创新主体将发生转换,基于大数据和人工智能的机器自主创新研究被广泛开展,并得到初步有效的应用。

2) 创新设计效率将得到进一步提升,进一步降低对设计者经验的依赖性,避免人为干涉,提高了设计决策的客观性以及准确性。

3) 创新设计领域不断扩展,从常规环境扩展到极端环境,从使用者体外环境延伸到体内甚至情感思维环境,从产品使用阶段不断延伸产品回收以及再利用等生命周期的后端阶段。

4) 创新设计更加人性化。随着社会的不断发展,设计人员根据不同时代客户需求,开展面向疾病治疗、情感需求甚至健康绿色等方面的设计,更加注重人性,而非简单的经济性或者社会性。

5) 学科交叉更加多样化。设计过程在引入新技术手段的同时,也融合了人工智能、绿色环境、电子技术、医疗健康甚至人文情感等学科的知识,在学科交叉的同时,也促进产品设计学科以及设计理论不断发展。

参考文献 (References)

- [1] 路甬祥. 论创新设计[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2017.
- [2] 创新设计发展战略研究项目组. 创新设计战略研究综合报告[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2016.
- [3] 路甬祥. 创新设计竞争力研究[J]. 机械设计, 2019, 36(1): 1-4.
- [4] 路甬祥, 孙守迁, 张克俊. 创新设计发展战略研究[J]. 机械设计, 2019, 36(2): 1-4.
- [5] Han J, Forbes H, Schaefer D. An exploration of how creativity, functionality, and aesthetics are related in design [J]. Research in Engineering Design, 2021, 32(3): 289-307.
- [6] 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.
- [7] 刘伟, 曹国忠, 檀润华, 等. 多生物效应技术实现方法研究[J]. 机械工程学报, 2016, 52(9): 129-140.
- [8] 毛晨曦, 沈煜年. 爪刺式飞行爬壁机器人的仿生机理与系统设计[J]. 机器人, 2021, 43(2): 246-256.
- [9] 张智泓, 甘帅汇, 左国标, 等. 以砂鱼头为原型的仿生深松铲尖设计与离散元仿真[J]. 农业机械学报, 2021, 52(9): 33-42.
- [10] 贺威, 刘上平, 黄海丰, 等. 独立驱动的仿鸟扑翼飞行机器人的系统设计与实验[J/OL]. 控制理论与应用, 2021. [2021-12-12]. <https://read.cnki.net/web/Journal/Article/KZLY20210629002.html>.

- [11] 宋勇, 刘林鑫, 李占龙, 等. 含圆弧形缓冲结构的仿袋鼠腿悬架建模与行为特性研究[J]. 西安交通大学学报, 2021, 55(9): 28-38.
- [12] 张益鑫, 王兴坚, 王少萍, 等. 基于特征运动观测的蝴蝶前飞规律及样机验证[J/OL]. 北京航空航天大学学报, 2021. [2021-12-12]. <https://web05.cnki.net/kmobile/Journal/detail/AKSJ/BJHK20210909000>.
- [13] 赵淑红, 顾志远, 袁溢文, 等. 马铃薯曲面式播种开沟器仿生设计与试验[J]. 农业机械学报, 2021, 52(12): 32-42.
- [14] 李娟莉, 刘朝阳, 李博, 等. 刮板输送机仿生条纹型中部槽耐磨性试验研究[J]. 中国机械工程, 2021, 32(21): 2542-2551.
- [15] 王学文, 刘朝阳, 李博, 等. 基于响应面法的仿生凹坑型中部槽耐磨性研究[J/OL]. 煤炭学报, 2021. [2021-12-12]. <https://doi.org/10.13225/j.cnki.jccs.XR21.1419>.
- [16] 殷谦, 尚建忠, 蒋涛, 等. 柔性波动鳍两栖机器人鳍面结构设计与运动仿真[J]. 工程热物理学报, 2021, 42(11): 2954-2959.
- [17] 刘阳, 许子倩, 张义云, 等. S型仿生叶片对可逆多翼离心风机气动性能的影响[J]. 工程热物理学报, 2021, 42(11): 2841-2848.
- [18] 左建林, 刘恩渤, 贾政斌, 等. 基于内侧半月板结构设计的仿生假体有限元分析[J]. 吉林大学学报(工学版), 2021, 51(6): 2319-2324.
- [19] 田晨晔, 刘小民, 王加浩, 等. 仿鸟翼厚度分布特征叶片的贯流风机气动性能研究[J/OL]. 西安交通大学学报, 2021. [2021-12-12]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1069.T.20211115.2039.004.html>.
- [20] 黄海丰, 贺威, 邹尧, 等. 基于线驱转向的仿蝴蝶扑翼飞行机器人系统设计与控制[J/OL]. 控制理论与应用, 2021. [2021-12-12]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1240.TP.20211117.1454.048.html>.
- [21] 刘物己, 敬忠良, 陈务军, 等. 一种空间仿生柔性机器人设计与智能规划仿真方法[J/OL]. 机器人, 2021. [2021-12-12]. <https://doi.org/10.13973/j.cnki.robot.210-126>.
- [22] 李衍军, 赵金辉, 赵佳乐, 等. 基于鲫鱼流线的气送式排种系统分配器仿生设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2021. [2021-12-12]. <http://zwtsk.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?filename=NYJX20211203009&dbcode=CJFQ&dbname=CAPJ2021&v=>.
- [23] 肖人彬, 林文广. 数据驱动的产品创新设计研究[J]. 机械设计, 2019, 36(12): 1-9.
- [24] 肖人彬, 林文广. 数据驱动的产品族设计研究[J]. 机械设计, 2020, 37(6): 1-10.
- [25] 肖人彬, 林文广, 赖荣桑, 等. 数据驱动的产品大规模个性化设计研究[J]. 机械设计, 2021, 38(10): 1-14.
- [26] 侯亮, 林浩菁, 王少杰, 等. 基于运行数据驱动反向设计的复杂装备个性化定制[J]. 机械工程学报, 2021, 57(8): 65-80.
- [27] 张雪霞, 高雨璇, 陈维荣. 基于数据驱动的质子交换膜燃料电池寿命预测[J]. 西南交通大学学报, 2020, 55(2): 417-427.
- [28] 杨晓强, 林湘漪, 蒋澜. 使用困难报告数据驱动的民用航空器安全状态评价[J]. 中国安全科学学报, 2021, 31(11): 85-92.
- [29] Chen X, van Hillegersberg J, Topan E, et al. Application of data-driven models to predictive maintenance: Bearing wear prediction at TATA steel[J]. Expert Systems with Applications, 2021, 186: 115699.
- [30] Santamarta R. A reverse engineer's perspective on the Boeing 787 '51 days' airworthiness directive[EB/OL]. [2021-12-20]. <https://ioactive.com/reverse-engineers-perspective-on-the-boeing-787-51-days-airworthiness-directive>.
- [31] 包晓宁, 赵培林, 张保中, 等. 先进战斗机生命保障系统[J]. 航空学报, 2020, 41(6): 523464.
- [32] 吴海贺, 魏宝刚, 王永祥, 等. 膝关节骨性关节炎步态分析特征及3D矫形鞋垫设计应用[J]. 科技导报, 2021, 39(22): 49-56.
- [33] Fujitsu develops AI based facial expression recognition technology to accurately detect subtle changes in expression[EB/OL]. [2019-10-15]. <https://www.fujitsu.com/global/about/resources/news/press-releases/2019/1015-01.html>.
- [34] Fournier E. The hybridization of the human with brain implants: the neuralink project[J]. Cambridge Quarterly of Healthcare Ethics, 2020, 29(4): 668-672.
- [35] 施琦, 胡威, 许德骅, 等. 疫情下电商数据对产品设计决策的影响研究[J]. 包装工程, 2021, 42(20): 152-158.
- [36] 林文广, 赖荣桑, 肖人彬. 基于语义关联的专利有害性能知识挖掘研究[J]. 中国机械工程, 2021, 32(16): 1952-1962.
- [37] Brunton S L, Kutz J N, Manohar K, et al. Data-driven aerospace engineering: Reframing the industry with machine learning[J]. AIAA Journal, 2021, 59(8): 2820-2847.
- [38] Weng X, Xu X B, Bai Y, et al. A data-driven industrial alarm decision method via evidence reasoning rule[J]. Journal of Process Control, 2021, 105(3): 15-26.
- [39] 张文旭, 肖人彬, 林文广. 基于产品性能词典的评论数据驱动客户需求模型研究[J]. 中国机械工程, 2020, 31(15): 1866-1876.
- [40] Luo J X, Song B Y, Blessing L, et al. Design opportunity conception using the total technology space map[J]. Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing, 2018, 32(4): 449-461.
- [41] Niu X J, Wang M L, Qin S F. Product design lifecycle information model (PDLIM)[J]. International Journal of

- Advanced Manufacturing Technology, 2021(in press).
- [42] 无与伦比的 VR 可视化和协作[EB/OL]. [2021-12-27]. <https://www.nvidia.cn/design-visualization/solutions/virtual-reality/>.
- [43] Sumrin S, Gupta S, Asaad Y, et al. Eco-innovation for environment and waste prevention[J]. *Journal of Business Research*, 2021, 122: 627-639.
- [44] Wang G. Digital reframing: The design thinking of redesigning traditional products into innovative digital products[J]. *Journal of Product Innovation Management*, 2021, 9: 1-24.
- [45] Li Y X. Intelligent environmental art design combining big data and artificial intelligence[J]. *Complexity*, 2021, 2021: 1606262.
- [46] Wang M Y, Li Y M, Li J Q, et al. Green process innovation, green product innovation and its economic performance improvement paths: A survey and structural model[J]. *Journal of Environmental Management*, 2021, 297: 113282.
- [47] ECO design strategy[EB/OL]. [2019-10-07]. <https://eco-design-packaging.org/en/guidelines/strategies/>.
- [48] Arnette A N, Brewer B L, Choal T. Design for sustainability (DFS): The intersection of supply chain and environment[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2014, 83: 374-390.
- [49] Lucas Muñoz designs Mo de Movimiento restaurant interior using waste materials[EB/OL]. (2021-11-18)[2021-12-11]. <https://www.dezeen.com/2021/11/18/mo-de-movimiento-sustainable-restaurant-interior-lucas-munoz>.
- [50] 国务院关于印发新一代人工智能发展规划的通知[EB/OL]. (2017-07-08) [2021-12-13]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-07/20/content_5211996.htm.
- [51] The return of Aibo, Sony's dog robot[EB/OL]. [2021-11-03]. <https://www.robot-advance.com/EN/actualite-the-return-of-aibo-sony-s-dog-robot-152.htm>.
- [52] 跑酷、后空翻、跨栏样样精通 波士顿动力机器人最新视频曝光[EB/OL]. (2021-08-18)[2021-11-20]. <https://tech.ifeng.com/c/88neYdJrHw1>.
- [53] Robot Alice: The science behind an application that stole the hearts worldwide[EB/OL]. [2021-04-29]. <https://www.sd.polyu.edu.hk/en/event/polyu-and-you-robot-alice>.
- [54] COVID-19: The ultimate design thinking user case[EB/OL]. [2020-04-23]. <https://ewave.com/COVID-19-The-Ultimate-Design-Thinking-User-Case>.
- [55] The COVID-19 effect: How human-centered design is transforming the future of digital products[EB/OL]. (2021-12-06)[2021-12-11]. <https://intellias.com/the-covid-19-effect-how-human-centered-design-is-transforming-the-future-of-digital-products/>.
- [56] Hanifati L N, Salehudin I. The effect of perceived product quality, brand personality, and loyalty on brand switching intention of technological products[J]. *The South East Asian Journal of Management*, 2021, 15(2): 169-187.
- [57] 李垣, 刘嫣然. 口罩困局与传统产品的突破创新[J]. *科学学研究*, 2020, 38(3): 395-397.
- [58] DeBoer B, Barari A, Nonoyama M, et al. Preliminary design and development of a mechanical ventilator using industrial automation components for rapid deployment during the COVID-19 pandemic[J]. *Cureus*, 2021, 13(12): e20386.
- [59] 10th Roca International Design Contest[EB/OL]. [2021-04-26]. <https://www.jumpthegap.net>.
- [60] 面向新冠肺炎及六项呼吸道病毒核酸检测产品设计[EB/OL]. [2021-01-13]. <https://cgd.ckcest.cn>.

Achievements of innovation design in 2021

XIAO Renbin¹, LIN Wenguang^{2*}, LAI Rongshen²

1. School of Artificial Intelligence and Automation, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China

2. School of Mechanical and Automotive Engineering, Xiamen University of Technology, Xiamen 361024, China

Abstract Facing the era of knowledge network, innovation design presents new features such as green and low-carbon, network intelligence, open integration, co-creation and sharing. In 2021, the innovative design research made important progress in theoretical methods, technical means, and application expansion. From the perspectives of bio-inspired design, data-driven design, sustainable design, artificial-intelligence-based design, and COVID-oriented design, the annual research hotspots and representative results of innovation design of 2021 are reviewed, and the future research hotspots of innovative design are prospected.

Keywords bio-inspired; data-driven; sustainability; artificial intelligence; COVID-19 ●



(责任编辑 刘志远)