

物联时代陶瓷包装容器的智能设计与“智”造

Intelligent design and intelligent manufacturing of ceramic packaging containers in the era of IOT

张玉山¹ 文卫民²

ZHANG Yu-shan¹ WEN Wei-ming²

(1. 中南林业科技大学中国文化创意研究中心, 湖南 长沙 410004; 2. 长沙理工大学设计艺术学院, 湖南 长沙 410114)

(1. China Cultural And Creative Research Center of Central South University of Forestry and Technology, Changsha, Hunan 410004, China; 2. School of Design and Art, Changsha University of Science and Technology, Changsha, Hunan 410114, China)

摘要:通过分析欧美时尚产品的智能化与物联网智能化设计制造最新成果,从而推论陶瓷包装容器行业智能设计制造的应用及发展趋势:传统手工艺与当代科技的结合,使传统单向生产向设计、生产、仓储、销售、物流、服务的人工智能和物联网系统的良性循环转变,将大大提高运行的效率和精度;个性化和限量定制将成为未来的重要发展方向;但智能技术只是设计的有效手段,好的陶瓷包装容器还必须融入情感体验和价值取向。

关键词:智能设计;智能制造;个性定制;物联网;陶瓷;包装容器

Abstract: Through the analysis of European and American fashion products the intelligentization and the latest achievements in the design and manufacture of the Internet of Things (IOT) intelligently infer and predict the application and future development of the intelligent design and manufacturing of the ceramic packaging container industry. The combination of traditional handicrafts and contemporary technology has transformed the traditional one-way production into the benign cycle of design, production, warehousing, sales, logistics, service artificial intelligence and IoT systems, greatly improving the efficiency and accuracy of operations, and making them personal and Limited customization has become an important development direction in the future; however, smart technology is only an effective means of design. Good ceramic packaging containers must also be integrated into emotional experience and value orientation.

基金项目: 2016 年度湖南省哲学社会科学基金项目(编号: 16YBA386); 2017 年度湖南省教育厅科学研究项目(编号: 17A231); 中南林业科技大学国家社科基金预研项目(编号: 2017YY001)

作者简介: 张玉山, 男, 中南林业科技大学副教授, 硕士生导师, 硕士。
通信作者: 文卫民(1972—), 男, 长沙理工大学副教授, 学士。
E-mail: 525730950@qq.com

收稿日期: 2018-06-11

Keywords: intelligent design; Intelligent manufacturing; personalized customization; internet of things; ceramic; packaging container

20 世纪 90 年代, 由华盛顿西雅图发现研究院(The Discovery Institute)支持的智能设计运动(IDM)提出了一个类似于自然系统和人类工件的理论^[1-2]——智能设计, 现指应用现代信息技术, 采用计算机模拟人类智能, 能够更广泛有效地承担复杂的设计任务。智能设计的特点是: 以设计方法学为指导; 以人工智能技术为手段; 以 CAD 技术为计算和图形处理工具; 面向集成智能化; 具有强大的人机交互功能。

陶瓷包装容器是以黏土作为基本材料, 通过形态塑造高温烧制成型内包装产品, 根据产品功能用途决定不同的表现形式; 陶瓷包装容器往往不是简单的形体表达, 与创作者的精神表达密不可分^[3]。日常生活陶瓷的设计不仅仅是“美化生活”, 而是真正考虑人的生活所需和生活品质的提升, 是一种“创作生活”的方式^[4]。智能设计与陶瓷包装容器设计不可避免地交集在一起, 相互促进, 智能设计使陶瓷包装容器设计更为高效和便捷, 并产生全新的设计; 而陶瓷包装容器设计则为智能设计提供新的应用研究课题。

1 陶瓷包装容器造型的智能设计

1.1 人工智能成为产品设计师

当代智能技术正在将产品设计师自动化。谷歌公司通过与德国时尚平台 Zalando 合作, 进行缪斯项目计划, 试验测试了用户驱动的人工智能时尚设计, 该项目致力于研究颜色、纹理、风格偏好和其他“美学参数”, 使用一种算法来创建基于用户兴趣的设计, 并与网络识别的风格偏好保持一致。目前用户创建的许多设计虽无法识别和接受潦草的书写和涂鸦, 但人工智能已经在帮助品牌制造企业更快速地创建和迭代他们的设计。不久, 陶瓷包装容器领域必将仿效时尚界

应用人工智能充当设计师。

1.2 人工智能数字建模与虚拟仿真

数字建模和虚拟仿真是数字设计制造的重要环节,包括产品的设计、开发、流程、工厂或供应链。在产品开发阶段采用建模和仿真设计,以确保生产效率,同时降低打样、测试和大生产的风险,数字建模工具也压缩了产品上市时间,通过简化设计和制造之间的切换来实现新产品上线。世界顶尖生活方式品牌美国 Tommy Hilfiger 集团最近与 IBM 和时装技术学院合作,使用 IBM 人工智能工具来解密实时时尚行业趋势,产品和跟踪客户情绪的图像,在图案、轮廓、颜色和样式趋势中汇聚主题,人工智能系统的数据被传回给设计师,从而为下一次设计开发作出明智的设计决策^[5]。

与此类似的技术和运营模式也在中国家居行业推行,客户选择陶瓷产品时,设计师和制造企业可以通过共享的智能平台获得很好的数据,并可以用它调整开发和拓展销售。像“我家我设计软件 V7.0 智能版”和酷家乐这样的 3D 设计平台也可以轻松地动态调整设计。家居平台酷家乐推出的 VR 智能设计平台(图 1),独创 ExaCloud 云技术渲染引擎,10 s 生成效果图,5 min 生成设计方案^[6],可随心改户型、任意摆家具和陈设品。日产设计方案数万套,每套均可快速生成 720°全景图,并可通过 VR 眼镜加以呈现。

1.3 主要应用软件和建模的主要流程

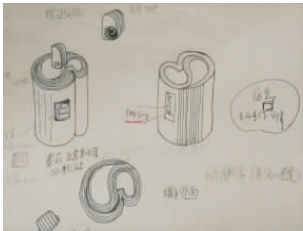
陶瓷产品的造型计算机辅助设计主要应用 AutoCAD、3D MAX、犀牛(Rhino)、MAYA 等软件,图 2 为 3D 建模的舍得酒瓶。

先将设计线描稿或矢量线条在 AutoCAD 或 3DMAX 中将陶瓷器皿的基本轮廓勾画出来,导入 3DMAX 生成立体效果图,然后进行编辑修改轮廓线,并可以对陶瓷器物施加贴图材质编辑,渲染成最终的效果图。数字化设计既可以图形“速写式”表现灵感,又能够精细刻画。当然,平面造型、立体

渲染图、灯光模拟设计等设计技术表达,是创意表现的技能 and 重要的设计环节,最后用 PS 等平面软件进行构图排版(图 3)。



图 2 3D 建模的陶瓷酒瓶
Figure 2 3D Modeling wine bottle



(a) 设计草图



(b) 3D建模



(c) 3D渲染

图 3 儒风宋韵——墨莊韵文化茶叶罐设计
三维建模过程(张玉山)

Figure 3 Confucianism Song Yun-Mo Zhuangyun culture tea pot design 3D modeling process by Zhang Yushan

2 陶瓷包装容器装饰智能设计

陶瓷包装容器在制造过程中经常装饰图案,以突出其品质。智能设计模拟陶瓷图案设计是传承、理解和创造文化的一种新途径。陶瓷包装产品的外观美除了造型,主要取决于其装饰图案,需要个性化、艺术化的设计创作,才足以吸引顾客购买,因此必须实现其外部美学表现的突破。

2.1 陶瓷图案装饰由传统模式向专家系统的转型

设计师利用计算机辅助图案设计可以加快图案的制作速度,如何利用人工智能快速、自动地产生新颖美观的艺术图案,是计算机辅助图案设计的一个重要课题^[7]。图案装饰计算机辅助设计的推广,引起了装饰设计的革命,它是设计观念向多元化、静与动交互式的艺术表现形式的巨大飞跃^[8]。传统图案设计模式,设计师以基础图案素材,采用 Photoshop、Adobe illustrator、Coredraw 等平面软件进行设计处理,传统平面设计软件虽然功能强大,但只是提供了设计和修改的工具,操作复杂,需要设计人员有深厚的美术基础,而且创作的效率较低。而在陶瓷图案装饰设计中引入专

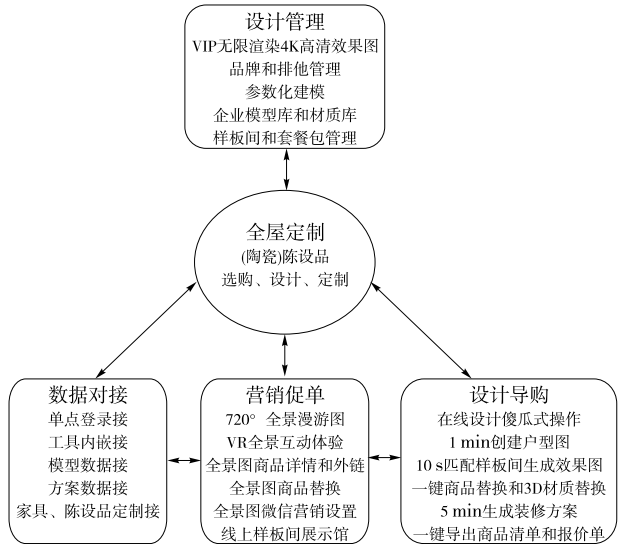


图 1 酷家乐人工智能虚拟仿真全屋定制系统运行图
Figure 1 Kujiale artificial intelligence virtual simulation of whole house customization system

家系统可以克服传统图案装饰系统的缺陷^[7]。专家系统的特点是:① 汇集多领域的知识、经验系统;② 强大的协同与交互能力;③ 透明性的、无障碍推理和解释;④ 及时的图案装饰知识获取与更新。

2.2 陶瓷图案知识的提取与表达

专家系统的开发过程中,知识获取需要消耗较多的时间、人力、财力,是最困难的环节,也是专家系统乃至其它知识系统的一个“瓶颈”问题^[9]。知识获取就是把知识从知识源中抽取出来,并转换为—特定的计算机表示^[8]。知识主体(人类)必须通过不懈努力来提取和表达所需要的知识。

传统图案学理论从分型结构上把图案作为“整型结构”,而现代图形设计学,从宏观的角度分析各种图案装饰模式,以类似解剖学方式分解(或分割)这些模式内的各种特征及其关系。分解法便于解模式结构和内在美,并能体会到任何局部变化都将影响

整体模式形态^[10]。图案装饰专家系统引入了“案例”术语来代表多个模式所使用的共同模型^[11]。“案例”其本质表示模式的结构,而单元则是模型形态不可再分割的最小元素。一个模式分解后可以提取一个案例(或模型)和多个单元(或原语),通过打散、分解,重组案例和单元,就会创建新的内容和新的形式^[11]。

图 4 给出了模式分解和演绎的说明。图 4(a)中的模式被分解;在图 4(b)中给出其抽象的事例结构;然后推断出图 4(c) 中所示的新模式(图案)。

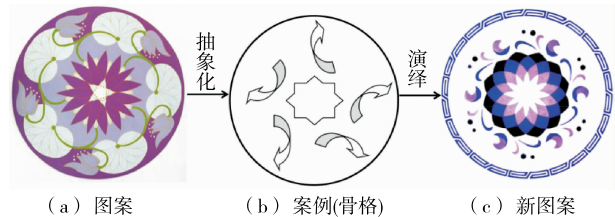


图 4 图案的打散分解与演绎

Figure 4 Pattern Scatter decomposition and deduction

单元形可以通过平移、旋转、缩放、扭曲、旋转等各种操作,并结合重组以构成丰富的图案。对于一个单元形而言,其连续转化不是简单的积累,而是相互依存的积累。单元形转化的最优化以确保模式独特性与完美性。一个模式就是一个案例与多个单元格构成的图案。智能设计将分别演示模式和单元形,然后通过结合两者,来实现预期的模式知识表达。

2.3 陶瓷图案装饰推理算法与设计实现

推理机制是专家系统的核心,它决定求解过程知识的优选与运用,推理方式决定了具体知识的运用。通常采用基本框架形式的推理机制,通过填槽和匹配都能引起推理。

图案单元形数据库的设计:根据常用图案单元形的特点,图案单元形可分为七类:植物单类型、动物单类型、风景类型、人物类型、几何类型、骨格类型以及综合类型^[12-13]。各类型图案单元形存储在文件夹中并由其管理,图案单元数据库的各图案类型以树形结构归类分布(图 5)。

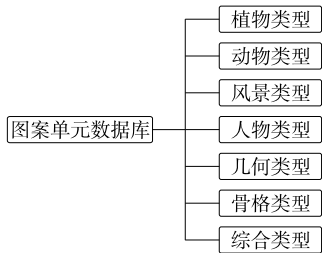


图 5 推理引擎的推理流程图^[11]

Figure 5 Reasoning flow of the inference engine

图案设计的过程见图 6。由设计想法到设计草图、设计提炼,设计定稿到最终图案的过程,其中图案案例与图案单元穿插于此过程中。

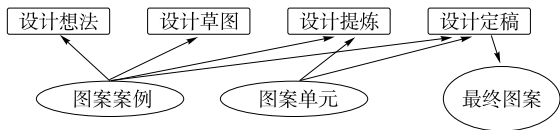


图 6 图案设计的过程图^[11]

Figure 6 The process of pattern design

2.4 智能防伪技术

不可否认,在利益驱动下,目前仍有不法商家使用假冒伪劣商品充斥市场,不仅危害了市场经济秩序的正常运行,也危害了消费者健康甚至生命安全。传统的技术手段很难实现有效监控和杜绝造假,陶瓷包装容器尤其在酒瓶行业最早引入智能防伪技术。

目前酒瓶行业防伪主要有两种方法:非接触式射频(RFID)识别技术及近场通信(NFC)识别技术。采用 UV 喷墨印刷工艺在酒瓶瓶身或瓶盖上印制 RFID 射频识别技术二维码防伪标签,客户即可扫出酒的商品信息,如西凤酒凤香经典 500 mL 装 10 年 45% vol 白酒瓷瓶最早采用此技术;而五粮液纪念版陶瓷酒瓶上则运用 NFC 技术微信二维码标签,此种防伪标签,还能扩展消费受众,提升品牌并赢得市场。

最近几年,一些 IT 企业开始在智能防伪中尝试物联网技术的应用,通过智能技术实现物物相连,防伪信息加密存储在防伪媒介中,并链接商品数据库远程云计算平台。

3 陶瓷包装容器的“智”造

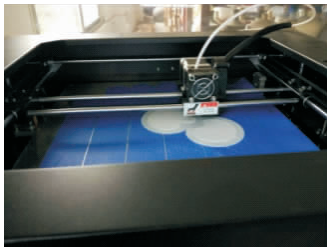
3.1 3D 打印产品模型制作

“三维打印”技术成型快,生产方式灵活多变,适合个性化、小批量和丰富性定制生产,为日用陶瓷产品的个性化设计提供了技术手段^[14]。3D 打印需要三维软件和模型文件,运用数字材料打印设备将可粘合粉末材料以分层打印的手段实现成三维型的技术。这项技术常被应用于模型制造及产品直接定制。包括先进陶瓷企业在内的很多工业生产中已经开发应用多种快速成型技术来制作模型。3D 打印技术还结合使用 CAD 数控设备,这样为设计人员和陶瓷企业提供了更快速、更经济的产品模型制作方式。3D 打印材料主要有 ABS 树脂、PLA (聚乳酸) 和 PVA (聚乙烯醇) 3 种树

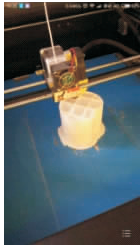
脂,还有石膏、塑料、尼龙、金属、枫木、陶瓷、水泥等,实现了传统的手工艺与现代化技术的完美结合。

3.2 陶瓷 3D 打印

一些陶瓷企业使用聚合物树脂制作模具,但石膏材质与低温素烧陶瓷的感觉较为相似,比树脂能更好地呈现陶瓷设计效果。英国皇家道尔顿公司则使用一种 CAD 控制的三轴研磨设备来切割半水石膏,先进的 CAD 制模不仅减少实物大模型转换的时间,还能制出大量不同的、复杂的表面纹样与肌理,大大优于传统成型手段。图 7 为湖南某陶瓷企业采用 3D 打印模型制作的茶叶罐(张玉山设计)。



(a) 3D打印模型切片



(b) 分层打印、粘合与堆砌



(c) 完整模型

图 7 3D 打印的墨莊韵文化茶叶罐模型(张玉山)

Figure 7 Mozhuang Yun Zhuang 3D printed tea pot model(by Zhang Yushan)

个人电脑和一系列数字化进步之后,个人制造者的出现激发了创造自我个性产品想法的盛行。有一种新的设计——半工业手工艺品种,它反映了通过使用新的工具和实践技能与商业结合来建立新知识系统。在设计和制造越来越数字化的时代,设计师的作用发生极大变化。由荷兰克莱尔·沃妮尔和迪雷·弗布拉根在比利时成立的 Unfold 工作室,开发了一些创造性的项目,将前工业经济的各个方面与高科技工业生产方法和数字通信网络相结合,于 2009 年在美国阿尔弗雷德大学成功进行了陶瓷 3D 打印试验^[15](图 8)。由于玻璃和陶瓷的主要材质都是 SiO₂(二氧化硅),属于姊妹材料,玻璃的融程(熔点区间)在 600~800℃,而陶瓷的烧结温度在 900~1 250℃,两者已被设计师综合应用,一般先烧制好陶瓷部分,再烧制玻璃部分。据此工艺特点,2014 年 Unfold 工作室又成功在 3D 打印陶瓷上吹制玻璃,实现手工和数字技能的完美融合^[15](图 9)。

3D 打印机的高性能陶瓷包装容器,增材制造业有可能改变未来产品的设计、销售和消费方式,使多变、个性、小批次定制成为可能。

3.3 智能雕刻

机器人雕刻机系统又称数控雕刻技术,融合了设计、编



图 8 3D 打印陶瓷奶罐

Figure 8 3D printing ceramic milk jar

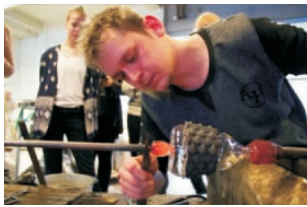


图 9 在 3D 打印的陶瓷上吹制玻璃

Figure 9 Blown glass on 3D printed ceramic

排、扫描、雕刻等,能快速、便捷地在多种材料上雕刻二维、二维半图案及圆雕造型。可运用多轴联动臂轴、离线编程、轨迹插补等智能技术,同时兼具 PCNC 硬件结构和 CAD/CAM 软件,能运用于产品雕刻、工艺品制作及模具雕刻。

目前 6 轴机器人雕刻机已被广泛应用,而最先进的 7 轴机器人雕刻机其操作的灵活性更大、旋转角度更细、雕刻更精致。无论从顶部、侧面加工、从下向上负仰角倾斜加工,都可以一次完成,加工效率、精度极高。最先进的 7 轴机器人雕刻机系统由电动主轴(机器人手臂)、SmartMill 多轴自动编程软件和 RobCode 机械手臂运行软件组合集成,可实现复杂三维造型的自动化雕刻加工。以木材、复合木、树脂、EPS 泡沫、油泥、石膏及非金属复合材料等为加工材质,可广泛应用于模具、雕塑制作、工艺品制造、木雕等领域的加工、生产。陶瓷生产行业则可利用轴机器人雕刻进行产品模型和成品制作。目前,广东潮州的陶瓷企业已经可以成熟地采用智能雕刻和激光雕刻技术在成瓷表面进行雕刻,甚至镂空,可以设置任何雕刻二维纹样和雕刻深度,完全颠覆了只能雕刻生坯的传统工艺(图 10)。

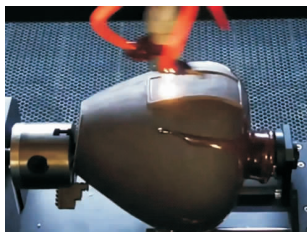


图 10 智能雕刻机激光雕刻的陶瓷酒瓶

Figure 10 Ceramic bottle for laser engraving of the intelligent engraving machine

4 物联时代陶瓷包装容器行业的发展趋势

4.1 从劳动密集型向信息智能技术密集型转变

过去陶瓷包装容器主要由小型陶瓷厂和作坊生产,传统的设计和制作基本上处于手工艺制作状态,但最近 5 年稍有规模的企业都已采用智能化设计和物联跟单,更不要说未来的智能时代了。数据作为一种资源的重要性不断增长,制造业实现智能化,将产品制造的真实和虚拟世界汇聚在物联网、服务和数据中。将机器、工件、运输工具和货物都配有嵌入式系统,即微型计算机、传感器和执行器,并相互连接。IT 支持灵活、智能的陶瓷包装容器开发与制造,使自己组织工厂的愿景成为现实,在整个价值创造链中重新设计未来的陶瓷包装容器开发和生产。

4.2 灵活的可转换智慧工厂盛行

未来 20 年,灵活的可转换智慧工厂将十分盛行。设计师和陶瓷制造商将通过创建数字模型和可视化技术,将现实世界与数字世界连接起来,工作序列图像实时传输到虚拟模型,并为智能生产控制提供支持。数据可以从任何地方通过平板电脑或智能手机等移动设备进行访问,并以易于理解的形式进行可视化,实现人机相连。它有助于生产计划人员优化流程,并在需要进行紧急更改时作出现场决策,以便灵活地响应特定的客户需求,或避免由于生产瓶颈造成的交货延迟。未来,机器能够与更高层次的 IT 系统以及工件和生产工人进行沟通,新的人机界面——智能设备更趋完备。

4.3 可持续设计制造的接受和支持增强

绿色环保计、可持续制造概念的出现或可持续发展在制造业中广泛应用。可持续设计(也称为环境可持续设计、环境意识设计等)是设计实物、建造环境和遵循社会、经济和生态可持续性原则的服务的哲学^[16]。使用无污染、节约的材料、能源以及工艺来制造工业产品与能源,在经济上对雇员、社区和消费者来说是安全可靠的。基于智能化的可持续设计制造解决方案将会更强化,以防止由于物质短缺可能导致的供应链中断。

4.4 工业数据空间信息安全将更受保护

数字化也会带来一定的风险,当所有这些组件彼此联网时,公司或个人信息数据可能会被窃取,这样需要开发一个国际开放且安全的数据空间——工业数据空间,以确保对自我信息的控制保护。物联时代设想实现基于行业标准的集成安全技术的即插即用机制,只允许授权合作伙伴(组件、机器和 IT 系统)链接到生产系统,并在必要时加密通信。

4.5 全球供应链结构调整和管理创新

未来陶瓷包装容器制造的又一趋势是全球供应链管理的复杂化。企业高管们愈来愈关注相关风险,预测结构响应的仿真模型,作为一种替代传统的“大容量、低成本”生产方法外包生产,使用该模型,客户可以使用清单一般规则指定他们想购买的产品。物流服务供应商将与采购员、服务集成商和顾客直接合作,以实现灵活性企业资源规划的物流解决方案,创新的供应链管理可减少完成客户订单的时间,可能在一两天内制造出通常需要一两个月的产品。

4.6 将更加注重情感体验与人生价值取向

人工智能虚拟仿真无论多真实,也会存在弊端,如虽然效果图很绚丽,但一些尺度和功能与真实空间场景还是存在偏差。人工智能是人类智能的工具,它缺乏主动性亦即发起性能力^[17]。马斯洛提出了需要层次论,如艺术创作是艺术家长期人生阅历和精神的凝练,交织于无数的意识和潜意识创造而来,人工智能永远不可模仿。人类根本价值观的精神创造和价值的评判都来源于先贤们深厚的人生经历、领悟、洞察,这是人工智能永远无法企及的^[18]。

尽管人工智能和物联网越来越发达和便捷,但人类不会成为人工智能的奴隶。与此同时,人们的自我情感和自我价值实现的需求会越来越高,未来的陶瓷包装容器将凝结人们对文化性、人生价值、设计伦理和生活诗化意境的追求,将同步恢复手工的原生态体验,及加强“非遗”文化记忆的“重现”。

5 结论

广泛采用数字技术和人工智能,使得当代陶瓷产品设计、制造呈现系统化、集成化,与销售联系起来,构成一站式服务。如英国瓷都斯托克市,中国的潮州、景德镇、淄博等陶瓷产区,能提供各种陶瓷产品从设计、制模、打样、生产、包装、物流运输到宣传,从装饰到功能“一站式”的产品供应服务。智能设计引领陶着陶瓷产品的设计和制造,大大地提高了设计和生产的效率、质量以及管理的精准科学性,从而提高企业的经济效益。未来先进陶瓷制造业将日益自动化和全球化;设计、制造对数字建模与虚拟仿真将更加依赖,自适应传感器网络将促进全球物联和企业科学分析和决策,使个性化或限量定制生产更灵活;节能环保、可持续设计制造业将更受推崇。然而,智能设计无法取代人的情感体验和价值取向,在反思中国设计各种问题的时候,人们最需用心的是价值的确立^[19]。设计师在关注智能技术的同时,更应当从“情感关怀”的角度出发,设计出慰藉消费者心理的产品^[20]。

参考文献

- [1] RONALD L Numbers. The Creationists: From Scientific Creationism to Intelligent Design [M]. Cambridge: Harvard University Press, 2006: 373.
- [2]STEPHEN C Meyer. Not by chance: From bacterial propulsion systems to human DNA, evidence of intelligent design is everywhere[EB/OL]. (2005-10-19) [2018-12-17]. <https://www.discovery.org/a/3059/>.
- [3] 张玉山. 陶瓷饰品设计与生产[M]. 长沙: 湖南大学出版社, 2017: 2.
- [4] 李立新. 日用作为设计的“原道”: 兼谈“小道致远论”[J]. 装饰, 2011(2): 25.
- [5] CB Information Services, Inc. The Future Of Fashion: From Design To Merchandising, How Tech Is Reshaping The Industry[EB/OL]. (2018-02-27) [2018-12-17]. <https://www.cbinsights.com/research/fashion-tech-future-trends/>.

(下转第 140 页)

ion of SOD, POD, APX and CAT isozymes and mitigates low cadmium toxicity in seedlings of sensitive and tolerant rice cultivars[J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2012, 57: 106-113.

[13] 李纪顺, 陈凯, 李玲, 等. 木霉融合子 Tpf-2 的定殖及其对番茄防御酶系的影响[J]. *植物保护*, 2018, 44(4): 65-69, 91.

[14] CHEN Fang, WANG Min, ZHENG Yu, et al. Quantitative changes of plant defense enzymes and phytohormone in biocontrol of cucumber Fusarium wilt by *Bacillus subtilis* B579[J]. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 2010, 26(4): 675-684.

[15] 白羽嘉, 张培岭, 黄伟, 等. 链格孢菌侵染采后甜瓜果实组织几丁质酶和 β -1,3-葡聚糖酶基因表达分析[J]. *食品科学*, 2018, 39(2): 185-191.

[16] 葛永红, 毕阳, 杨冬梅. 诱抗剂处理对“银帝”甜瓜采后粉霉病和黑斑病的抑制效果[J]. *食品科学*, 2006, 27(1): 246-249.

[17] 刘芳芳, 李范洙, 张先, 等. 生物质热解液对甜瓜炭疽菌的抑菌及保鲜作用[J]. *食品与机械*, 2018, 34(5): 123-127, 147.

[18] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007: 139-145.

[19] NAKANO Y, ASADA K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chl-orooplasts[J]. *Plant Cell Physiology*, 1981, 22(5): 867-880.

[20] BEAUCHAMP C, FRIDOVICH I. Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels[J]. *Analytical Biochemistry*, 1971, 44(1): 276-287.

[21] ZAUBERMAN G, RONEN R, AKERMAN M, et al. Post-harvest retention of the red colour of litchi fruit pericarp[J]. *Scientia Horticulturae*, 1991, 47(1/2): 89-97.

[22] 蒋黎艳, 龚蕾, 盖智星, 等. 人工接种温州蜜柑后链格孢霉毒素的产生及分布规律[J]. *食品科学*, 2017, 38(8): 251-257.

[23] 张培岭, 黄伟, 马玲, 等. 链格孢侵染对甜瓜病程相关蛋白活性及基因表达的影响[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(18): 290-294.

[24] 刘丽, 马永毅, 张志明, 等. 玉米不同防卫酶系对纹枯病作用的研究[J]. *玉米科学*, 2009, 17(3): 99-102.

[25] SHEWRY P R, LUCAS J A. Plant proteins that confer resistance to pests and pathogens [J]. *Journal of Experimental Botany*, 1997, 26(238): 135-170.

[26] 单春会. 哈密瓜响应青霉菌侵染的转录组和蛋白组研究及相关抗性酶变化分析[D]. 无锡: 江南大学, 2015: 107-111.

[27] WESSELS J G H, SIETSMA J H. Fungal cell walls: a survey[M]. New York: *Plant Carbohydrates II*, 1981: 352-394.

[28] 柴喜荣, 林洁, 杨暹, 等. 黄瓜品种抗疫病鉴定及其防御相关酶系研究[J]. *广东农业科学* 2018, 459(7): 16-21.

[29] 李超兰, 杨其亚, 张红印, 等. 活性氧影响拮抗菌及果蔬采后抗病性的研究进展[J]. *食品科学*, 2014, 35(21): 264-269.

[30] 张慧慧. 一种吡唑并嘧啶衍生物对黄瓜枯萎病的诱导抗病表达及抗病机理初探[D]. 北京: 中国农业科学院, 2018: 32-38.

[31] 王馨, 胡文忠, 陈晨, 等. 活性氧在果蔬采后成熟衰老过程中的作用及几种气体处理对其影响的研究进展[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(5): 375-379.

[32] 王玲杰. 柑橘褐斑病菌毒素提取、产毒特性及对寄主防御酶的影响[D]. 重庆: 西南大学, 2015: 39-47.

[33] 周琦, 陈季旺, 高俊, 等. 鲜切雷竹笋冷藏过程中木质化机理的研究[J]. *食品科学*, 2012, 33(14): 307-311.

[34] 黄晓杰, 李婧, 柴媛, 等. MeJA 处理对蓝莓果实采后灰霉病的影响及机理[J]. *食品科学*, 2016, 37(22): 307-312.

[35] 李丽, 何雪梅, 李昌宝, 等. 炭疽病菌侵染对香蕉采后品质变化及抗病相关酶活性的影响[J]. *现代食品科技*, 2017(9): 83-90.

[36] WOJTASZEK P. Oxidative burst: an early plant response to pathogen infection [J]. *Biochemical Journal*, 1997, 322(3): 681-692.

[37] 唐永萍. 不同品种苹果采后对灰霉病抗性差异研究[D]. 榆林: 西北农林科技大学: 2017: 3-21.

(上接第 90 页)

[6] 陈航. 探索突破 让用户更快预见未来家[EB/OL]. (2017-03-10) [2018-12-17]. <http://ec.zjol.com.cn/system/2017/03/10/021463080.shtml>.

[7] 林洋, 谢永, 皮艳华, 等. 智能图案设计系统的研究与实现[J]. *江西理工大学学报*, 2006(3): 27-30.

[8] 诸葛源, 潘云鹤. 基于计算机气象的美术图案构图知识表达[J]. *软件学报*, 1997, 8(10): 738-744.

[9] 武波. 专家系统[M]. 2 版. 北京: 北京理工大学出版社, 2011: 58.

[10] 崔伟. 模式建模基础[M]. 北京: 中国纺织服装出版社, 2014: 29-33.

[11] HUANG Hua, ZHANG Yi-lai, YU Xiang. Study and Implementation of Ceramic Pattern Intelligent Design[C]// 2010 International Conference on Computing, Control & Industrial Engineering. Wuhan: IEEE, 2010: 132-135.

[12] GLASGOW J I. The Imagery Debate Revisited: A Computational Perspective[J]. *Computational Intelligence*, 1993, 9(4): 255-263.

[13] 刘泽明. 现代图案设计[M]. 重庆: 西南师范大学出版社, 2011: 8.

[14] 王爱红, 陈汗青. 日用陶瓷产品设计在信息时代的发展趋势[J]. *包装工程*, 2013, 32(11): 92.

[15] UNFOLD Design Studio. Ceramic 3d Printing[EB/OL]. (2009-12-12) [2018-12-18]. <http://unfold.be/pages/the-transaction-project>.

[16] JASON F McLennan. The Philosophy of Sustainable Design[M]. Seattle: Ecotone Publishing Company LLC, 2004: 15.

[17] 吴岩. 没有发起性的人工智能不可能取代人类[N]. *光明日报*, 2017-07-22(07).

[18] 殷卫海. 人工智能不可能取代人类[EB/OL]. (2016-04-20) [2017-09-18]. http://www.sohu.com/a/192717897_358040.

[19] 李立新. 价值论: 设计研究的新视觉[J]. *南京艺术学院学报: 美术与设计*, 2011(2): 1-3, 161.

[20] 李依轩, 张继娟. 基于情感慰藉的治愈系产品及其设计原则[J]. *湖南包装*, 2018(5): 19-21.