

行为生态学视域下的农机装备仿生设计

赵爱丽¹, 姜龙², 王黎明¹

(1.黑龙江八一农垦大学, 大庆 163000, 2.攀枝花学院, 攀枝花 617000)

摘要: **目的** 研究农机装备的生态性及功用性, 基于生态层面, 开展农机装备的再造和创新, 从而达到优化目标。 **方法** 在保障农机作业的同时, 顺应自然和生态发展规律, 提出一种行为生态学介入农机装备的仿生设计方法, 并在此基础上分析农机装备的“痛点”与生态设计的“立足点”, 实现生态匹配方法与实现路径。 **结果** 论述了行为生态学的内涵及架构, 分析了转译的方法及作用, 形成了仿生策略与仿生路径, 释放了生态信号, 健全了生态服务模式。 **结论** 通过雷鸟仿生清雪拖拉机设计案例实践, 对将行为生态学引入农机装备的设计进行了验证, 在把控农机装备设计基因的基础上, 顺应进化规律, 形成了健康持续的进化发展模式, 激活了传统农机装备的创新活力, 增加了农机装备的实践价值。

关键词: 行为生态学; 农机装备; 仿生; 节律

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)16-0129-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.16.019

Biomimetic Design of Agricultural Machinery and Equipment from the Perspective of Behavioral Ecology

ZHAO Ai-li¹, JIANG Long², WANG Li-ming¹

(1.Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163000, China; 2.Panzhihua University, Panzhihua 617000, China)

ABSTRACT: The paper aims to study the ecological and functional nature of agricultural machinery equipment, and to rebuild and innovate in agricultural machinery equipment on the basis of the ecological level, so as to achieve the optimization goal. Based on ensuring agricultural machinery operation, and in line with the law of natural and ecological development, a bionic design method of behavioral ecology intervention in agricultural machinery equipment was proposed. And on this basis, it analyzed the “pain point” of agricultural machinery equipment and the “stand point” of ecological design, and realized the ecological matching method and realization path. The connotation and structure of behavioral ecology were discussed, the methods and functions of translation were analyzed, a bionic strategy and a bionic path were formed, ecological signals were released, and the ecological service model was improved. Through the design case of ptarmigan bionic snow cleaning tractor, the design of introducing behavioral ecology to agricultural machinery equipment is verified. Based on the design genes of agricultural control equipment, in line with the law of evolution, it forms a healthy and sustainable evolutionary development model, activates the innovation vitality of traditional agricultural machinery and equipment, and increases the practical value of agricultural machinery equipment.

KEY WORDS: behavioral ecology; agricultural machinery equipment; the bionic; biological clock

农业是国家经济的基础, 农机装备则是发展农业的重要手段^[1]。为了提高生产效率, 扩大生产规模, 无人机、自动插秧机、农机作业精细化管理平台等成

为农机研究的重点。智能化带来了农机装备的全面发展, 实现了效率和规模的提升; 然而由农机装备的快速更迭和废品率攀升所造成的资源浪费和生态破坏

收稿日期: 2020-03-28

作者简介: 赵爱丽 (1980—), 女, 黑龙江人, 硕士, 黑龙江八一农垦大学讲师, 主要研究方向为工业设计及理论。

通信作者: 姜龙 (1979—), 男, 四川人, 博士, 攀枝花学院教授, 主要研究方向为创新产品设计。

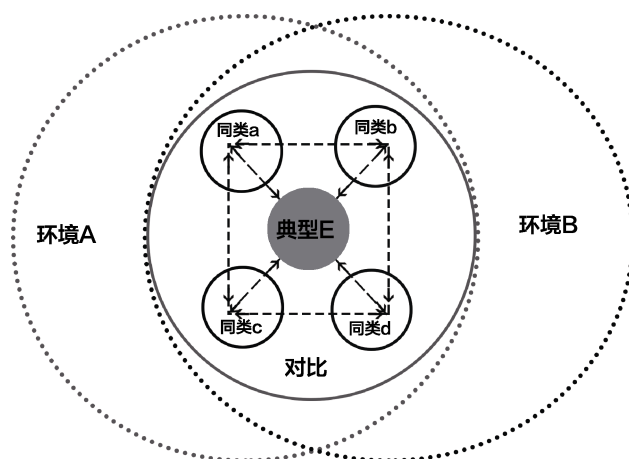


图1 模型1
Fig.1 Method 1

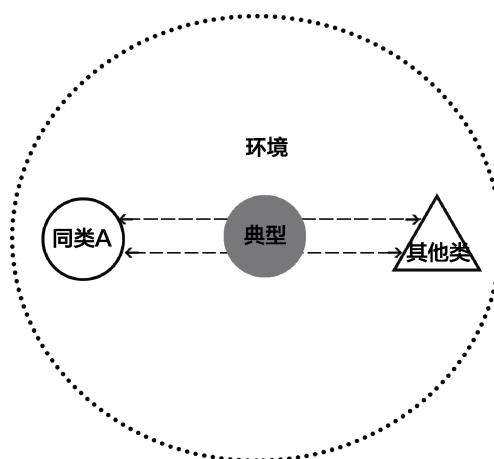


图2 模型2
Fig.2 Model 2

也应值得关注。从环境适配和科技伦理的角度进行研究,通过仿生手段开展农机装备设计,建立符合农户需求与市场走向的发展战略,摒弃盲目追求高端产品的观点,使产品更能满足用户需求、更加专业化^[2]。

1 理论模型架构

行为生态学为农机装备设计提供理论基础和仿生依据。从行为生态学入手通过行为生态学内涵—仿生转译—仿生策略—产品设计架构这一流程开展研究,使农机装备设计在生态层面,开展产品的再造和创新,达到优化结果。

行为生态学以达尔文的演化论为基础,突出适应的观点,研究动物各种行为特征的演化与其生态环境的关系^[3]。行为生态学或是研究一个亲缘类群,或是研究同一环境内的各个物种^[4]。“亲缘类群”主要分析不同物种之间存在的行为差异,以及这些典型的差异特征在不同环境下的适应性。假设一个物种生活在一个与其他物种完全不同的环境内,并且出现差异化行为表现时,那么所出现的结果可能更具有研究意义和价值。研究同一环境内各个物种,则主要是研究该环境内的物种所发生的平行行为适应,由于这些物种一般不具有密切的亲缘关系,这些行为就可以被看成是特定环境内的典型行为。

基于这一理论进行移植转化,为农机装备提供两种研究方法:(1)模型1,作为同一“亲缘类群”也就是的农机装备,如a、b、c、d中不同类别设备间的差异,通过调研分析获得在不同的环境场域下A、B,典型农机装备E的差异化特征,并以此为切入点,探索其创新发展的可能;(2)模型2,在相同环境场域下,探索不同“亲缘类群”的农机装备与其他类别装备的平行行为适应,通过调研分析获得相同场域下,两种设备间的典型农机装备的行为,研究其跨界转化的可能性,见图1—2。

2 农机装备类目及创新思路

行为生态学转译农机装备创新设计,需要从农机装备的同一“亲缘类群”入手,分析数据,明确这一“亲缘类群”的数量、内容,并确定典型样本,形成对比架构。我国农业农村部将农机装备共分为十五个大类,五十八个小类,三百一十三个品目^[5]。按照其产品特性、作业情况和操作对象,又可分为大型农机装备、小型农机装备、加工型农机装备等类型。以大型农机装备为样本类别,按“亲缘类群”分类,并分析其作业内容、操作性、节律性和趋性,获得如下结果:

作业内容是对典型样本的基本用途和主要功能进行分析研究,为农机装备的创新途径提供清晰依据;操作性是农机装备的使用情境研究,探究其是否需要牵引装备进行驱动,并在后续研究中力求在其结构及牵引方式上进行创新提升,以更好地适应农业环境;趋向性是农机装备的研究方向和目标,大型农机样本分析见表1。

依据上述图表,开展分析。

1)通用性:自体适应的使用节律。自体适应是生物对特定环境条件发生适应性变化的过程,是不断调整和修正其行为,并在变化的环境中改善处境的动态过程。通过调研分析表可以看出,由于农业自然属性及装备自身功能属性的影响,农机装备形成了特有的使用频率与季节规律:在南方,大多数农机装备仅在春、夏、秋三季使用;在北方,大多数农机装备的使用时长则更短些,仅于春、秋两季使用。为满足生态可持续增长的需求,提升农机装备的利用率,学习其他非“亲缘类群”产品的易用特征,与其形成彼此相互学习的动态网络关系,研发全季装备,延长农机装备使用时间,增加使用频次,减少重复功能产品的研发生产,降低生产成本与过量产品负荷。

表 1 大型农机样本分析
Tab.1 Sample analysis of large agricultural machinery

类型	产品名称	样本图片	作业内容	样本操作	使用节律	趋向
耕地机械	深松机		用于行间或全方位深层土壤耕作的机械化翻整	挂臂连接动力机械	南（春、夏）；北（春）	大型、宽幅、多功能、智能、生态性
	铧式犁		用于破碎土块并耕出槽沟从而为播种做好准备	挂臂连接动力机械	南（春、夏）；北（春）	大型、宽幅、多功能、智能、生态性
整地机械	联合整地机		一次可完成灭茬、旋耕、深松、起垄、镇压等多项作业	挂臂连接动力机械	南（春、夏）；北（春）	多功能、复合化、智能、生态性
	圆盘耙		主要用于犁耕后松碎土壤，达到播前整地农艺要求	挂臂连接动力机械	南（春、夏）；北（春）	多功能、复合化、智能、生态性
谷物收获机械	自走轮式谷物联合收割机		一次完成谷类作物的收割、脱粒、分离茎秆、清除杂余等多项作业	自动动力牵引，挂壁式	南（夏、秋）；北（秋）	能源环保、可操作性、智能化、生态性
	割晒机		用于割倒小麦禾秆，摊铺留茬上，成为穗尾搭接的禾条	自动动力牵引，挂壁式	南（夏、秋）；北（秋）	能源环保、可操作性、智能化、生态性
饲料作物收获机械	打捆机		用于捆草的机械	挂臂连接动力机械	南（夏、秋）；北（秋）	多功能、复合化、智能、生态性
	搂草机		用于将散铺于地面上的牧草搂集成草条	挂臂连接动力机械	南（夏、秋）；北（秋）	大型、宽幅、多功能、智能、生态性
动力机械	轮式拖拉机		用于牵引和驱动作业机械完成各项移动式作业的自走式动力机	牵引机械	南（春、夏、秋）；北（春、秋）	能源环保、可操作性、智能化、生态性、多功能、多适应性

2) 模块性：行为与地理环境适配的作业内容。行为环境有赖于两组条件，一组是地理环境中固有的，一组是有机体内固有的^[6]。从行为生态的角度来讲，生物行为不仅有赖于行为环境，而且有赖于地理环境，两者为远因与近因关系，并且共同作用于生物本身形成影响。从调研分析表中农机装备的作业内容来看，各装备已具有良好的适配性和功用性。以经济或生态因素介入农机装备作业内容进行分析，将其地理环境因素（远因）与行为结构因素（近因）相结合形成交互系统，并通过模块化设计手段，针对装备结构及功能进行作业内容的近因变更，促使其多元或简洁模块的形成，在重组构建的过程中，形成地理环境的适配。同时，模块化创新过程也要以远近因结合的架构为研究依据，形成生态进化结果。

3) 交互性：固定行为刺激的操作模式。依据行为生态学理论，固定行为刺激是被特定的外部刺激所释放的，一旦释放就会进行到底且不需要继续给予的

外部刺激。外部刺激除了释放功能以外，还可以影响固定行为型的强度和速度。通过调研分析表可以看出，典型农机装备的操作已有固定的行为模式，除自身的操作模式满足功能实现外，还可以与其他设备交互匹配，如动力机械—拖拉机，不仅能够保持固有操作的完成，而且可以与其他装备挂臂链接，给予其他需求装备“外部刺激”，提供驱动力，以适应相关的环境场，从而形成固定式的动力驱动操作模式。另外，这种“外部刺激”的驱动力模式，除了对于操作模式能够产生影响以外，其驱力释放的强度及交互方式，也能够影响固有典型农机装备的使用效用度等。

4) 持续性：行为进化的未来趋向。行为进化研究涉及动物形态和生理方面的综合因素，并且因资源利用、协同进化等存在一定变量，所以是一个复杂的系统化过程，它并不是单纯的演进式发展，相较于形态结构的进化要复杂很多。基于这一理论，结合调研分析表可知，农机装备的“进化”过程基本趋同，农

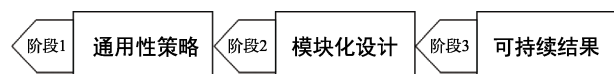


图3 仿生实现路径

Fig.3 Bionic implementation path

机装备的未来发展方向基本集中于多功能、复合性及智能化等方面。介于上述行为进化论述,反思这一趋向结果,不能仅将视觉焦点集中于产品本身,其可持续生态性的需求、农民的使用心理、农业资源的最大化利用等方面也将作为其趋向分析的一个重要研究参考指标。

3 行为生态视角下的仿生实现路径

依据典型农机装备的基本要素,结合行为生态学原理进行分析,形成设计策略:以通用性为目标,运用模块设计手段达到生态可持续性的产品结果。农机装备作为满足农业生产者作业需求的流通商品,在不同生命周期阶段具有不同的特点并遵循特定发展规律^[7]。依据农机装备生命周期的不同阶段来分析其仿生实现路径,见图3。

该路径主要包括三个阶段:

第一阶段,以通用性原则为目标,通过分析生物节律,总结设计规律。结合农机装备的使用频率,将其分成春日、夏日、秋日的农忙节律和冬日的农闲节律。在农忙节律下,运用行为生态学中“远因与近因”相结合的方式,分析相同“亲缘类群”农机装备的远因使用环境和近因结构和功能特征。农闲节律下,分析整理农机与其他机械设备的相似功能及节律性特点,探究其跨界的可能。

第二阶段,在农忙节律的“亲缘类群”装备系统下,运用模块化的设计手段对同类型农机装备进行结构化拆解及分析,通过零部件可拆卸回收性设计、可再制造性设计等途径,使农机装备的部分零部件能够快速便捷地实现改装,使原本的单体农机装备转化成复合式、多功能的综合性装备,并随着适应环境的不同,进行模块化的更新与转换。如将深松机、铧式犁等多型同类农机装备进行功能模块的解构和再造,依据不同的功能模块来进行环境适应再造。在农闲节律下的非“亲缘类群”装备系统下,通过跨界手段进行干预和研发,通过与其他装备,如交通装备、建筑施工装备的交叉研究进行跨界重构,形成创新或改良式新装备。新装备不仅可以继续适应农业环境,而且能完成同一地缘环境下其他领域的工作作业,而其他装备也能够自身功能变革的情况下,在“节律性”和“功能性”等方面获得创新和突破。

第三阶段,通过模块设计手段设计研发的“解构再造”和“跨界重构”装备,要具备良好的功用性和创新性,实现生态可持续结果。除此之外,还要在设计研发过程中把控和推敲其环境的“友好性”。“环境

友好”是装备资源性在“缓解环境危害”的基础上提出的更高要求,目标在于:通过采用绿色材料或新型先进材料等方法途径,实现装备在整个生命周期过程中向自然环境的毒害物质零排放,废弃物便于完全资源化或无害化处理,大部分资源能够在装备系统内形成闭环的循环利用模式^[8]。运用可持续性理念指导农机装备的“解构”和“再造”,通过设计改造过程的完成,使农机装备从原来一次性的寿命过程变成可以不同程度上多次循环的寿命过程,延长产品的生命周期,达到可持续发展的目的。

4 案例分析

生物钟所控制的节律动物,通过调节身体适应外部的温度及光照环境。例如雷鸟,它是鸡形目松鸡科下的雷鸟属,包含三个物种,即白尾雷鸟、柳雷鸟和岩雷鸟^[9]。雷鸟是一种依靠换羽适应节律变化的动物,其中,雄鸟的换羽频率相对较高,一般会在婚后和冬季之前,会将夏羽和冬羽完全更换,春羽和秋羽局部替换;而雌鸟的换羽节律相对较少,每年换羽三次。基于雷鸟的这一环境自适应特征,选取雷鸟为典型样本案例,通过分析雷鸟的节律性换羽行为,开展农机装备的仿生设计。

农机装备以动力机械——轮式拖拉机为主。动力装置,通过组合、挂靠农业工具实现作业、牵引和转移等目的,因此此类产品不具有直接农事功能和作用,如拖拉机需要结合插秧工具才能完成种植作业^[10]。然而它最具适配性和灵活性,配套农具较多,有系列化、标准化的特点,并且动力强劲、前后悬架搭载能力强,具有较好的可改装性。因此,将其作为典型样本进行设计研发,以达到生态循环结果。轮式拖拉机的应用节律性较强,一般在春、夏、秋三季的农业生产季节使用,主要从事农业生产作业,冬季则闲置。因此,在与其进行装备匹配时应选择具有“冬季”特征的机械装备,以达到全季化结果。基于这一分析,大型清雪机这种冬季装备是较好的样本选择。在设计研发过程中,基于仿生雷鸟的季节性换羽行为,将轮式拖拉机与大型清雪机相结合,实现的清雪拖拉机将具备全季化功能,在全应用链条的基础上,延长产品的使用寿命,增加它的使用功能,见图4。

通过研究雷鸟“换羽”行为特征,在“自体进化”的基础上,借助“外界刺激”,对其进行部分结构的更换、跨界,从而形成全新的产品结果。运用通用设计理念进行模块设计:拖拉机动力输出提供液压动力,为清雪挂臂的抛甩系统和悬挂系统提供有利支撑,其中,悬挂连接系统是设备动力与作业的重要链接装置,将前悬连接挂板架再将扬雪机连接至轮式拖拉机上。清雪部分的抛甩功能由铲板、铲刀、螺旋喂料器、扬雪轮、扬雪筒、螺旋喂料器马达、风机马达等部件完成,通过扬雪控制导流方向及角度,有效清

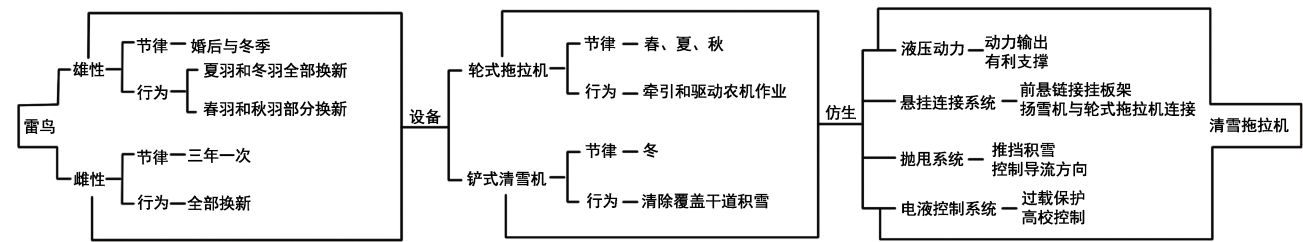


图 4 清雪拖拉机仿生设计流程
Fig.4 Bionic design process of snow removal tractor

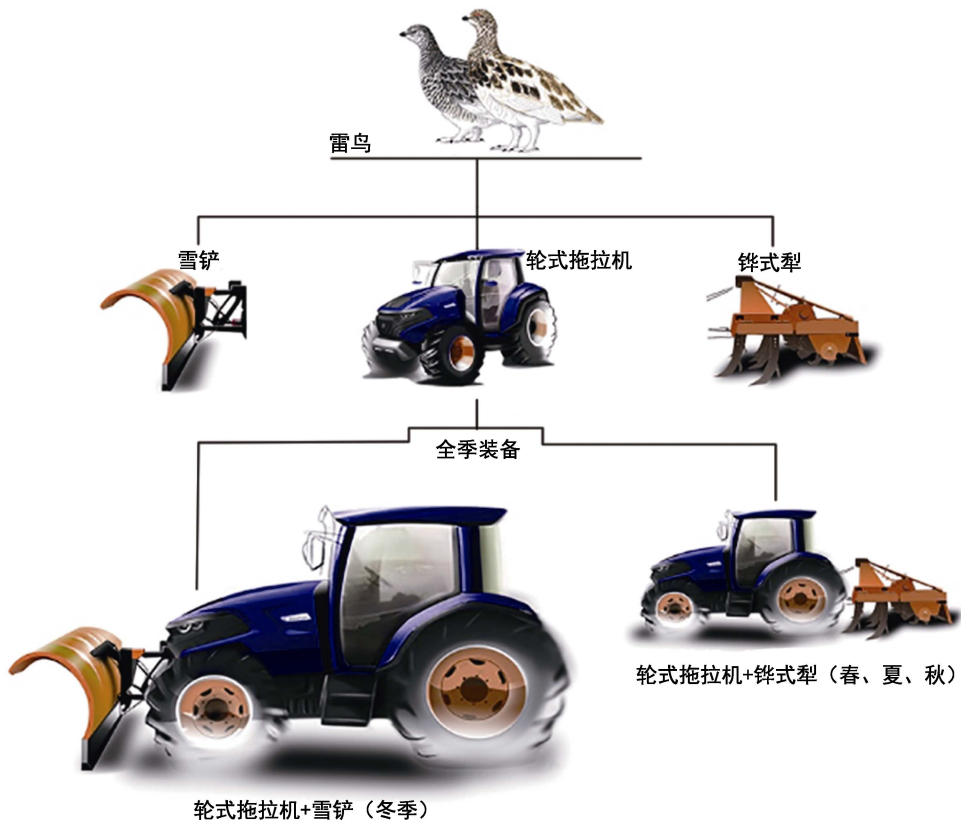


图 5 清雪拖拉机仿生设计
Fig.5 Bionic design of snow removal tractor

推积雪。最终装备实现了拖拉机的全季化应用，而清雪机也不再需要大型的动力输出设备，在促进使用效率的同时也极大地降低了生产成本，清雪拖拉机仿生设计见图 5。

5 结语

提出了生态行为学介入农机装备的创新路径，基于仿生转译方法，探索了“亲缘类群”农机装备与非“亲缘类群”装备的设计再造理论，将农机装备通过设计的手段实现了跨界化和全季化，设计满足了农民消费者对于农机装备生态性与经济性的需求。构建了行为生态学仿生设计系统，初步验证了该方法的可行性，为农机装备的产品创新和生态可持续提供了方法参考。作为一项探索性工作，仅研究了仿生策略及清雪拖拉机设备的初步仿生设计，下一步将开展其他视

角的设计研究工作，提升该方法的可行性和完整性。

参考文献：

[1] 王英, 李洋. 浅谈农业机械装备的现状与趋势[J]. 中国农业信息, 2016(2): 20-21.
WANG Ying, LI Yang. On the Present Situation and Trend of Agricultural Machinery and Equipment[J]. China Agriculture Information, 2016(2): 20-21.

[2] 吕冰, 杨家升, 颜洁, 等. 基于破坏性创新理论的农机装备创新方法研究[J]. 机械设计, 2017, 34(1): 114-117.
LYU Bing, YANG Jia-sheng, YAN Jie, et al. Innovation Methods of Agricultural Machinery Equipment Based on Destructive Innovation Theory[J]. Mechanical Design, 2017, 34(1): 114-117.

[3] 尚玉昌. 行为生态学(第二版)[M]. 北京: 北京大学出

- 版社, 2018.
- SHANG Yu-chang. Behavioral Ecology[M]. Beijing: Peking University Press, 2018.
- [4] 尚玉昌. 动物行为学(第二版)[M]. 北京: 北京大学出版社, 2014.
- SHANG Yu-chang. Animal Behavior[M]. Beijing: Peking University Press, 2014.
- [5] 中华人民共和国农业农村部. 农业机械分部[EB/OL]. (2018-11-3)[2020-07-22]. http://www.moa.gov.cn/govpublic/NYJXHGLS/201802/t20180228_6137614.html. Ministry of Agriculture and Village of the People's Republic of China. Classification of Agricultural Machinery[EB/OL]. (2018-11-3)[2020-07-22]. http://www.moa.gov.cn/govpublic/NYJXHGLS/201802/t20180228_6137614.html.
- [6] 库尔特·考夫卡. 格式塔心理学原理[M]. 北京: 北京大学出版社, 2010.
- KAUFKA K. Principles of Gestalt Psychology[M]. Beijing: Peking University Press, 2010.
- [7] 邱变变, 周骥平, 郑再象, 等. 农机装备生命周期人机设计评价指标体系研究[J]. 机械设计与制造, 2018, 12(12): 230-233.
- QIU Bian-bian, ZHOU Ji-Ping, ZHENG Zai-xiang, et al. Evaluation Index System of Man-Machine Design in Life Cycle of Agricultural Machinery Equipment[J]. Machinery Design and Manufacturing, 2018, 12(12): 230-233.
- [8] 倪明仿, 刘世伦, 王树礼, 等. 装备资源性的基本概念与理论内涵[J]. 资源科学, 2010, 32(12): 2257-2258.
- NI Ming-fang, LIU Shi-lun, WANG Shu-li, et al. Basic Concept and Theoretical Connotation of Equipment Resource[J]. Resource Science, 2010, 32(12): 2257-2258.
- [9] 闻丞. 隐匿于雪原与苔原中的“北极鸟”[EB/OL]. (2017-02)[2020-07-22]. <http://www.dili360.com/cng/article/p58afd9f147c2751.html>. WEN Cheng. “Arctic Birds” Hidden in Snow and Tundra[EB/OL]. (2017-02)[2020-07-22]. <http://www.dili360.com/cng/article/p58afd9f147c2751.html>.
- [10] 王沈策, 刘德顺, 文星. 品牌体验视角下的农机产品造型设计[J]. 包装工程, 2017, 38(2): 105-109.
- WANG Shen-ce, LIU De-shun, WEN Xing. Design of Agricultural Machinery Products from the Perspective of Brand Experience[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(2): 105-109.
-
- (上接第 115 页)
- [7] 苗苹, 钟蕾. 智能干洗机外观界面人性化与绿色设计[J]. 包装工程, 2018, 39(24): 296-300.
- MIAO Ping, ZHONG Lei. Humanized and Green Design of Appearance Interface of Intelligent Dry Cleaner[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(24): 296-300.
- [8] 孟颖, 张凌浩. 高校学生公寓洗衣机产品服务系统设计探析[J]. 包装工程, 2014, 35(14): 32-36.
- MENG Ying, ZHANG Ling-hao. College Students' Apartment Laundry Product Service System Design[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(14): 32-36.
- [9] 张程, 马兰. 从用户需求的角度浅谈婴幼儿洗衣产品的创新设计[J]. 艺术与设计: 理论版, 2016(1): 98-100.
- ZHANG Cheng, MA Lan. The Innovative Design of Infant Laundry Products in the Perspective of User's Needs[J]. Art and Design, 2016(1): 98-100.
- [10] 张立祥, 汪利萍, 闫磊磊. 基于 UCD-Kano 模型的家用洗衣机设计研究[J]. 机械设计, 2018, 35(12): 110-115.
- ZHANG Li-xiang, WANG Li-ping, YAN Lei-lei. Design Study of Household Washing Machine Based on UCD-Kano Model[J]. Journal of Machine Design, 2018, 35(12): 110-115.
- [11] 汤洲, 刘卓. 产品设计中的产品魅力品质创造[J]. 包装工程, 2011, 32(2): 112-115.
- TANG Zhou, LIU Zhuo. Product Quality and Innovation in Product Design[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(2): 112-115.
- [12] 洪壮, 吴晓莉. 基于 FAST 法及 KANO 模型的产品设计方法研究[J]. 机械制造与自动化, 2019, 48(1): 89-91.
- HONG Zhuang, WU Xiao-li. Design of Multifunctional Baby Trolley Based on KANO Model[J]. Machine Building and Automation, 2019, 48(1): 89-91.