

【选题策划：信息化下的工程装备创新设计与方法】

工程机械工业设计及研究

易军, 曲金勇, 肖狄虎
(湖南大学, 长沙 410082)

摘要: **目的** 完善工程机械工业设计的理论研究与项目实践, 提供一定的学科理论参考, 促进工程机械领域的工业设计发展。**方法** 通过国内外的相关文献研究, 阐述了工程机械工业设计与研究的相关概念及国内外工程机械的发展背景, 分析了工程机械工业设计在品牌识别、外观造型、色彩涂装、人机工学等方面设计与研究的现状。**结论** 基于团队工程机械产品设计与研究的多年经验积累, 总结了工程机械工业设计流程与设计方法, 论述了目标导向设计的第一定律和第二定律, 系统地探讨了工程机械品牌的构建理论。针对当下的时代背景, 提出了工程机械工业设计及研究的热点和发展趋势。

关键词: 工程机械; 设计流程; 目标导向; 品牌构建; 发展趋势

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)18-0001-11

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.18.001

Industrial Design and Study of Construction Machinery

YI Jun, QU Jin-yong, XIAO Di-hu
(Hunan University, Changsha 410082, China)

ABSTRACT: The work aims to improve the theoretical research and project practice of construction machinery industrial design, and provide certain subject theoretical reference to promote the development of industrial design in the field of construction machinery. Through related domestic and foreign literature research, the relevant concept of construction machinery industrial design and research and the development background of domestic and foreign construction machinery were elaborated; and the present situation of design and research in the field of brand identification, appearance modeling, color coating and ergonomics of construction machinery industrial design was analyzed. Based on years of the team's experience in the construction machinery product design and research, the process and method of construction machinery industrial design are summarized, the first law and the second law of goal orientation design are discussed, and the brand building theory of construction machinery is systematically discussed. According to the current background, the focuses and development trend of construction machinery industrial design and research are put forward.

KEY WORDS: construction machinery; design process; goal orientation; brand building; development trend

工程机械是 19 世纪工业革命的产物, 历经两百多年的发展, 行业水平是一个国家综合实力的外在表现, 种类和质量直接影响着现代化发展建设。工程机械企业对工业设计的认知和投入力度普遍增强, 籍此提升产品价值的观念得到高度认同。工程机械作为高端复杂装备, 具有复杂、专业和特殊等性质, 其工业

设计亦不同于其他产品。

1 概念界定

1.1 工程机械与工业设计

工程机械是工业装备的重要组成部分, 产品种类

收稿日期: 2019-07-24

作者简介: 易军 (1970—), 男, 湖南人, 博士, 湖南大学副教授, 主要研究方向为面向工业设计的反求技术、数字模型与先进制造技术和产品造型设计。

通信作者: 肖狄虎 (1959—), 男, 湖南人, 湖南大学教授, 主要研究方向为产品形态设计、设计艺术社会心理学、装备及交通工具设计研发、绿色环保下的现代装备及交通工具设计。

分为起重机械、铲运机械、挖掘机械、桩工机械、道路机械等。不同国家有不同的称谓:德国称为建筑机械与装置、美国和英国称为建筑机械与设备、俄罗斯称为建筑与筑路机械、日本称为建设机械,而在我国则称为工程机械。工程机械属于典型技术导向型产品^[1],技术先进性、功能高效性、性能稳定性等是其核心。工程机械产品的自主创新能力、设计制造水平和自主建设能力,是国家制造业综合水平的全面体现^[2]。

工业设计的范畴是客观的、具体的,主要对象是批量生产的工业产品,是从用户与企业双方的角度,解决产品的概念、造型、色彩、结构、功能、人机界面等方面的具体问题,同时在工业设计活动中,要融入对社会、人文、生态等方面的哲学思考^[3]。因此,工程机械领域工业设计的应用及研究,至关重要。

1.2 工程机械工业设计及研究

工程机械的工业设计是在实践层面上具体流程规范的实施活动,作为工程机械制造业体系中的一个环节,在于解决企业及产品用户的需求等实际问题,能够深层次地对工程机械产生影响,最终目的是为了产品的设计品质升级。

工程机械工业设计研究是在理论层面,对相关科学规律进行分析、探讨。理论源于实践,理论又能在设计实施过程中起到指导和支撑作用。

2 工程机械发展背景

工程机械的起源可追溯到19世纪欧洲工业革命期间,基础技术的成熟,需求空间的增加,为提高工作效能而发明的工程机械产品应运而生。此后,工程机械的发展经历了两次高峰。第一次高峰出现在19世纪末至20世纪初,基础设施建设成倍增长,新技术新方法不断涌现,诞生了以凯斯(CASE)、卡特彼勒(CATERPILLAR)、沃尔沃(VOLVO)、悍马(HAMM)、小松(KOMATSU)、川崎(KAWASAKI)等为代表的国际上第一批工程机械企业。第二次发展高峰出现在第二次世界大战结束后,战后重建对工程机械设备的需求增大,部分企业由战时生产军用设备转为制造民用产品。此期间出现了以戴纳派克(DYNAPAC)、杰西博(JCB)、宝马格(BOMAG)等为代表的新兴工程机械企业。在经历了两次发展高峰之后,工程机械行业进入了稳定发展阶段。由于国外工程机械行业发展较早,工业基础雄厚,卡特彼勒(CATERPILLAR)、沃尔沃(VOLVO)、小松(KOMATSU)等企业一直处于世界领先的地位。

20世纪50年代,中国工程机械行业在薄弱的工业基础上开始起步,响应国家建设的迫切需求,以制造功能性产品为主。而相当长一段时期内,多方面原因导致工程机械行业发展缓慢。70年代末改革开放号角的吹响,一批骨干国企开始引进国外的产品和技

术,奠定了向现代化迈进的基础。90年代进入快速发展阶段,中国巨大的市场吸引了大量外资企业,促进了工程机械行业的技术进步和规模扩展。进入21世纪以来,中国工程机械企业在国际市场崭露头角,涌现出了徐工集团、国机重工、三一集团、中联重科等国际一流制造商。国内工程机械行业发展时间短且速度快,前期仅仅重视技术引进的指导思想,制约了产品工业设计的同步发展^[4]。国内工程机械行业得到了极大发展,技术层面已相当成熟趋同,企业之间通过技术竞争难以拉开差距,工业设计却成为新的核心竞争力。

3 工程机械工业设计与研究现状

面向工程机械产品的工业设计主要考虑品牌形象的识别性、家族基因的传承性、使用功能的合理性、核心技术的先进性、整体造型的愉悦感等^[2]。就具体项目实施而言,主要从品牌识别、产品造型、色彩涂装、人机工学等4个方面,探讨工程机械的工业设计与研究的现状。

3.1 品牌识别

品牌形象是人们对品牌的总体感知,作为认知概念是消费者信息加工过程的重要组成部分^[5]。为了在激烈的市场竞争中取得长久的优势,树立并不断强化品牌形象是企业提高自身竞争力的重要目标、操作手段与方法^[2]。构建良好的品牌形象,能够统一工程机械企业的不同类别产品,且与其他品牌产品构成鲜明差异性。

李良^[6]结合三一重工混凝土搅拌车运输车设计项目,研究了工程机械产品识别设计策略。李雪楠^[7]指出品牌特征的建立,与品牌的发展程度密切相关。黄坤^[8]阐述了企业产品品牌个性的构建与识别,并对三一重工的品牌个性进行了剖析。王亚辉^[9]通过分析卡特彼勒装载机品牌造型基因的遗传和变异规律,提出了面向工程机械的产品品牌造型基因开发设计方法。时亚如^[10]分析了工程机械行业优秀产品呈现出来的视觉形象和企业形象的关系及对其品牌形象的影响。张俊虹^[11]提出了工程机械产品形象识别系统的设计流程,以地表浅孔钻机为案例进行了应用。陈国强^[12]通过洗扫车实例,实现了产品族与产品识别在设计开发中的协同合作。谭正棠等人^[13]研究了工程机械产品在异代同类与同代异类两种情况下,品牌产品识别的表达方法与策略。Bonnie Briggs等人^[14]研究了卡特彼勒品牌如何运作等相关问题。陈曦等人^[15]提出了工程机械品牌形象建设和产品视觉形象设计的必要性。Meisam Ranjbari等人^[16]研究了影响道路机械市场品牌延伸的五个因素。魏专等人^[17]通过基因图谱分析指出,不同品牌的相同工程机械产品基因,既有共同的特征,又有各自品牌的个性。何灿群等人^[18]

从品牌角度出发,提出了基于产品DNA的工程机械产品造型设计方法。

概览上述文献,工程机械品牌识别研究主要集中在意象、语义、特征识别、品牌基因(DNA)、流程方法等方面。其中文献[6-12]在研究的基础上,通过搅拌车、梭车、起重机、碎石封层车、钻孔机、洗扫车等不同种类的工程机械产品,进行了品牌识别方面的设计实践。

3.2 产品造型

工程机械产品造型设计作为传递产品理念、功能、特性等内在品质的重要途径,是提升产品市场竞争力的关键^[19]。产品造型涉及设计学、心理学、社会学等多种学科,交叉融合,一直是工程机械工业设计的研究重点。

李畅^[20]结合了工业设计与工程设计、美学原理与色彩设计策略,对大型矿用挖掘机进行了外观造型设计。冯清华等人^[21]探究将设计几何学引入工程机械产品形态设计时的遵循要素和创意原则。卢晓^[22]从造型意象与情感化角度对三一重工的掘进机进行了造型设计研究。Kuniaki Nakada^[23]利用感性工学研究、设计了工程机械驾驶室的操控员座椅。严广^[24]从功能、人机、美学等角度,归纳总结了工程机械产品的外观形态设计要点。董琪等人^[25]从工程机械外观造型设计的作用、工作方法、评价方法三个方面提出思路 and 看法。姚君^[26]从语义方面对工程机械产品形态进行了分析与研究。王亚辉等人^[27]从功能与形式、科技与人文、意象与品牌三个方面,阐述了工程机械的造型设计美学。戴端等人^[19]对混凝土搅拌站形态设计发展趋势进行了分析。莫爵贤^[28]从实际项目论述了工程机械外观设计的作用、设计方式、评价标准等。白暖^[29]研究了工业设计中的工程机械产品外观造型设计工作方法。张小尊^[30]对语义设计思想在工程机械产品造型设计中的应用,做出了系统探析。肖航杰^[31]和周连超等人^[32]基于三一重工起重机,分别从感性意象和中国传统器道文化角度,进行了造型设计研究。那雪姣^[33]提出了影响机械产品造型的相关因素和造型设计时的注意事项。Salvador Mondragón 等人^[34]提出了语义差异法可用于机床产品的设计。于健昕^[35]和方正等人^[36]从产品语义学角度,为工程机械产品造型提供了理论上的参考。

上述文献从语义、意象、情感、思想文化、方法原则等方面,研究工程机械的产品造型设计,采用定性方法研究的较多,运用定量方法研究的较少。其中文献[20-23,31,35]在研究的基础上,依托挖掘机、随车起重机、掘进机、起重机、驾驶座椅等不同种类的产品,进行了造型方面的设计实践。

3.3 色彩涂装

色彩涂装作为工程机械工业设计中最具表现力

的元素,给用户最直接、最深刻的印象。工程机械的涂装具有防护、警示、装饰和标识等功能,早期是以防锈保护为主要功能,伴随设计品质的提升,色彩涂装在满足防护安全的功能基础上,更多地传递企业的品牌和文化信息^[37]。

李江泳^[38]探讨了基于品牌识别的色彩设计程序与方法,通过液压挖掘机色彩设计实例验证了有效性和实用性。姚潞^[39]基于色彩意象尺度和遗传算法,以挖掘机、平地机为例进行了涂装设计研究。李重光^[40]以感性理念为基础,来研究重型机械产品涂装设计的方法,并运用在混凝土搅拌站的后期设计上。Shih-Wen Hsiao^[41]利用模糊集理论研究了汽车某些颜色与其图像感觉之间的关系。钟厦等人^[42]从涂装色彩组合、车体色彩、视觉识别规律三个方面,分析了我国工程机械标识设计缺失的原因。陈娇红等人^[43]针对工程机械产品的特点及色彩在其中的应用,进行了简要的归纳和探讨。姚君^[44]对工程机械产品色彩设计原则进行了探讨,提出了建立在艺术与科学相交融基础上的色彩设计方法。李方方等人^[45]分析了工程机械面饰色彩的设计及发展过程。Hung Cheng Tsai 等人^[46]提出了一种基于RGB颜色系统的定量评估和搜索方法。曾智林^[47]基于色彩工学原则,探究了工程机械产品的外观警示设计。王恺^[48]针对工程机械的特点及其色彩设计进行了简要的归纳和探讨。陈慧^[49]和解海涛^[50]都从工程机械产品涂装的作用和涂装的发展趋势等方面进行了研究。高慧^[51]探讨了工程机械的色彩设计法则。

上述文献研究从色彩涂装的运用法则、设计方法程序、意象尺度等方面进行了分析和探讨。文献[38-40]在色彩涂装理论研究的基础上,通过挖掘机、平地机、混凝土搅拌站等不同种类的产品,进行了色彩涂装方面的设计实践。需要指出的是,基于企业实际项目的研究较少,企业对于色彩涂装缺乏针对性设计及研究。

3.4 人机工学

工业设计与机械设计的主要区别,就是工业设计侧重在人机关系的研究上^[52]。人机工学的研究对象是人、机、环境的相互关系,目的是达到安全、健康、舒适和工作效率的最优化^[53]。随着工程机械行业的发展,产品符合使用者的生理与心理的需求,成为工程机械工业设计不可或缺的内容。

李慧^[54]探索了国内外驾驶室人机工程学的研究现状及意义,提出了未来的发展趋势。王大印^[55]从工程机械驾驶室的总体布置入手,对涉及到人机工程学的部分进行了分析研究。张双双等人^[56]通过分析操作者的操作交互模型、人机界面反馈和人机工程学原理,提出了工程机械人机界面优化设计的方法。Zhen-ya Wang 等人^[57]基于工程机械的人机交互分析,深入研究了感性工程学在产品研发与工程学上的应

用方法。黄建兵^[58]提出了将国外行业设计标准与中国人体相结合,汽车车身布置方法向工程机械驾驶室转化的基本方法和步骤。Linda Miller 等人^[59]研究了重型设备的人机工程学及肌肉骨骼损伤。胡萍^[60]对人机工程学在工程机械设计的综合应用进行了研究。杨浩等人^[61]基于矿用卡车驾驶室,从视野显示区域及信息交互设计及尺度、空间合理性和操作器及布局设计三个方面进行了研究。贾志艳^[62]以工程机械中凿岩机的驾驶室为例,对驾驶室的舒适性进行了设计研究。李建勇^[63]运用人机工程学理论,借助计算机仿真技术,实现了装载机驾驶室人机系统设计的计算机化。黄英等人^[64]利用人机工程学的理论和方法,进行了工程机械司机室的人机工程布置设计。杨梅等人^[65]、钱筱琳等人^[66]、周楠^[67]、梁佳坛^[68]分别基于人机工程学对堆高机、车载烟雾机、叉车、掘进传输机进行了造型设计。

上述文献对工程机械人机工学研究围绕驾驶室的人机分析和软硬件交互设计及相关方法进行了分

析和研究。随着以用户为导向的设计要求不断提高,工程机械的人机工学研究需要细分。文献[61-68]在人机工学理论的研究基础上,通过矿用卡车、凿岩机、装载机、堆高机、叉车、掘进传输机等不同种类的工程机械产品,进行了人机工学方面的设计实践。

4 工程机械工业设计程序与方法

工程机械的工业设计是一个复杂的求解过程,跨越多个学科门类,涉及设计双方多个部门。并行设计、协同设计是工业设计的必须要求^[69],在此过程中需要设计项目团队成员与委托企业工程师协同工作,跨越行业不同产生的隔阂,力求问题认知科学全面。设计过程分为设计输入、前端任务研究、中端产品识别设计、后端设计评估与 CMF、设计输出等五个阶段,见图 1。其中前端任务研究、中端识别设计和后端设计评估与 CMF 三个阶段,是工业设计团队重点实施的过程。

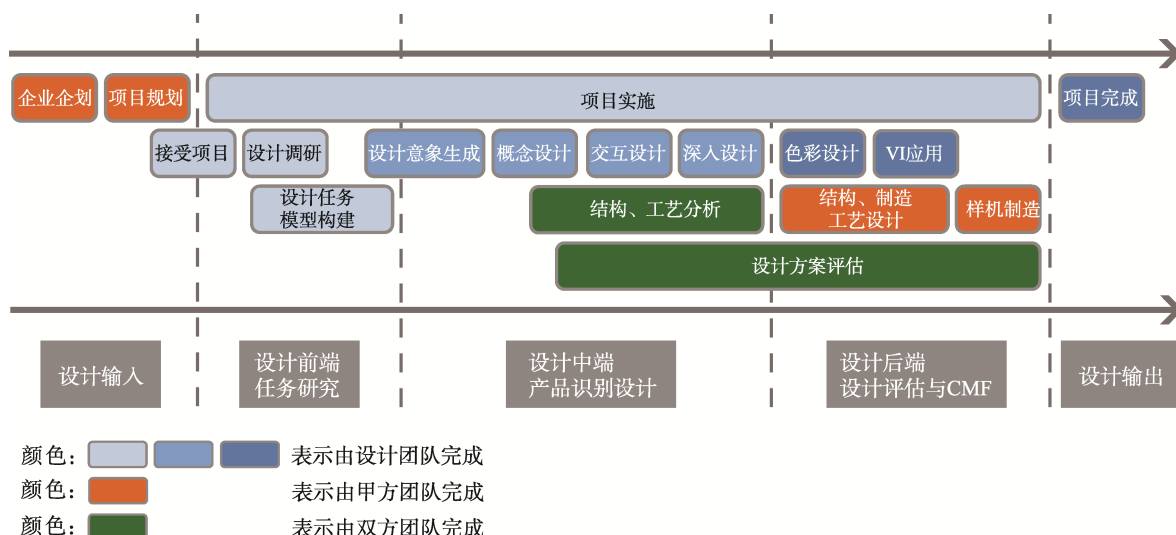


图 1 工程机械工业设计流程

Fig.1 Design flow of engineering machinery industry

4.1 设计输入阶段

依据甲方的企业规划和战略,对设计项目进行初步规划,在规划制定过程中涉及设计团队的合作制定,最终产出项目任务书。详细需求分析包括:解决的问题、市场的定位、对标的竞品、预期的目标、提供的成果与设计相关的信息集成等。

4.2 设计前端——任务研究阶段

接受项目任务,进入设计调研阶段。搜集研究设计对象的竞品信息,尤其对标杆产品进行深入重点研究。归纳总结主流意向、设计趋势、造型元素等设计资料,确定具体设计方向。

设计对象产品的品牌定位、基因、意象等调研分

析。根据企业类型,确定初始目标 DNA 意象的生成方式,确定设计要点和任务规划,完成设计任务模型构建。在设计调研和任务模型的基础上,初步形成设计意象。

项目调研阶段主要有两种调研方式,实地调研和桌面调研。实地调研指进入委托企业,感受制造生产过程和实物产品,或者通过展览会、经销商和施工现场,收集产品实物信息和实际操作状况。桌面调研则是通过网络或书籍等方式,搜集相关产品的资料信息。

4.3 设计中端——产品识别设计阶段

在前端任务研究的基础上,生成设计意象,展开概念设计。结合设计方向进行思维发散,将概念以草

图绘制呈现。该阶段通常有多个方案的构思,设计团队内部讨论多方案的收敛。团队成员分别确定一个设计方向进行推敲深化,初步考虑各部件设计要素的细节。借助 Rhinoceros、UG、PRO-E、Alias 等三维软件,建立数字模型,并通过 KeyShot、Showcase 等软件,渲染设计效果图。

概念设计后期着手人机交互设计,人机交互分为硬件交互与软件交互。硬件交互是对交通流向、驾驶室内仪表盘、座椅位置、驾驶员视野等进行人机工程分析,软件交互则是对操控界面等进行交互设计。

深入设计阶段是对概念设计与交互设计方案进行完善,三维数字模型调整,结合甲方的评审意见深化、修正、迭代设计方案,确定最终产品外观造型。

从概念设计、交互设计到深入设计阶段,需要与甲方工程师合作进行设计实施,甲方提供结构、工艺等方面的分析,并对设计方案进行评估反馈。依照甲方提出的建议进行修正和深入,完善后方案进行再次评审,多轮反复后最终完成设计中端——产品识别设计。

4.4 设计后端——设计评估与 CMF 阶段

设计后端阶段的主要工作是色彩设计与视觉识别(VI)应用,是最外显、最直观、最具有传播力和感染力要素植入产品的阶段,运用符合企业视觉识别规范的色彩、标志和文字等元素,在产品外观造型上设计色彩与视觉识别方案,经过甲方评审确定最终色彩方案。

造型设计方案冻结后,甲方团队进入工程设计和样机制造阶段。对产品部件和零件进行结构设计,运用新加工技术和生产工艺,提高产品质量。将定型的最终设计方案制造产品样机,检验设计方案的造型效果和制造可行性,通过调试样机验证各项性能指标是否符合设计要求。

不同于其他产品设计,在生产加工上存在一定的特殊性。在整个过程中需要双方对设计方案的功能、制造、成本、批量之间的关系,不断评估权衡与深化迭代。

4.5 设计输出阶段

输出最终产品设计方案后进行总结与反思,建立设计方案资料与基本零件、部件的共享数据库,利于规范管理、降低成本、提高质量和可持续发展。

5 工程机械工业设计研究内容

5.1 目标导向设计研究

产品研发是一个复杂的资源聚集过程,若无事先进行规划,其结果难以预料^[70]。工程机械的工业设计过程复杂、用时较长,以目标为导向的工业设计可以缩短时间和明确目标。

设计行为是一种目标行为,设计目标本身就具有激励作用,能够驱动并指导工业设计活动。工业设计是一个创造性的设计活动,表现在对一系列问题的求解,以期达到设计目标^[70]。设计目标受多个行为因素影响,存在一定的模糊性。例如市场机会缺口、用户需求、企业文化、标杆产品、产品趋势、时间节点等因素,都会对设计目标产生模糊,见图 2。

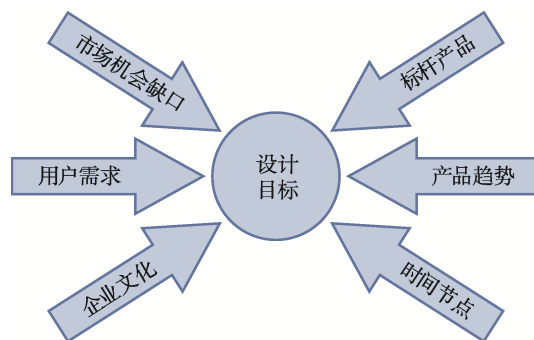


图 2 设计目标的模糊因素
Fig.2 Fuzzy factors of design objectives

目标导向理论认为,要达到任何一个目标必须经过目标行为,而要进入目标行为又必须先经过目标导向行为,见图 3。目标导向行为是指为寻求达到某种目标而表现出来的某种行为及过程,目标行为是指达到目标、满足需要的行为。设计行为由初始设计目标和动机因素驱使,进而产生目标导向行为和为目标行为。目标导向行为在接近目标行为的过程中,阶段目标对初始目标进行修正,目标导向行为在动机、欲望驱动下继续接近目标。目标导向行为在多次阶段目标修正后,最终会经过目标行为,达成设计目标。

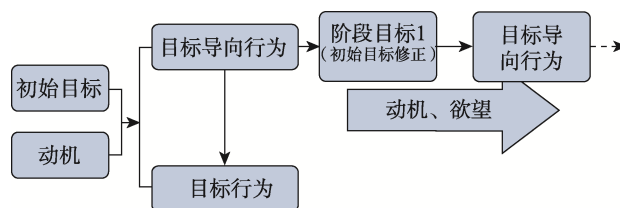


图 3 目标导向流程
Fig.3 Goal orientation process

5.1.1 目标导向第一定律：三种企业类型的目标意象构成

不同工程机械企业类型的目标导向不同,根据其能力与关系可分为三种企业类型。具有高能力高关系的企业归为引领型企业,具有高能力中关系、中能力高关系、中能力中关系的企业皆可归为拓展型企业,而只有低能力低关系的则为成长型企业。

对不同类型的工程机械企业产品进行工业设计时,要设定不同的 DNA 意象目标定位,见图 4。成长型企业为规避风险、维持生存空间,只能依靠市场主流的产品造型意象生成初始 DNA 目标意象。对于

拓展型企业,要进一步开发市场空间,需在市场主流的产品造型意象的基础上,有机结合企业的品牌意象,生成初始 DNA 目标意象。而引领型企业处于领导者位置,在于推动整个行业发展进步。在基于企业品牌意象的基础上,考虑市场主流产品造型意象,并与主流产品的造型意象进行差异化处理,生成初始目标 DNA 意象。

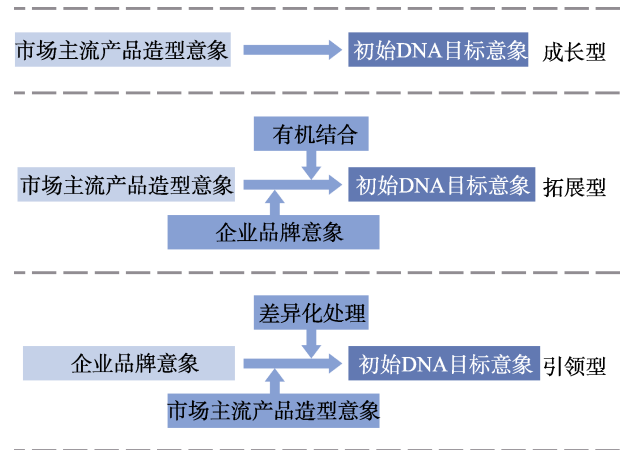


图 4 三种企业类型的目标意象构成结构
Fig.4 The target image structure of three types of enterprises

5.1.2 目标导向第二定律：企业产品链优品精造

构建家族化的产品识别特征是企业品牌识别的重要目标,需对企业产业链中的代表性优品进行精造。精造企业产品链优品目标导向,可分为三个步骤流程:拔高塑造优品,对企业的销量高、影响深的产品进行 DNA 优化升级;固化优品 DNA,形成稳定的产品形象;覆盖延展整个产品链,使之具有家族化的品牌识别 DNA。产品链优品精造阶梯见图 5。

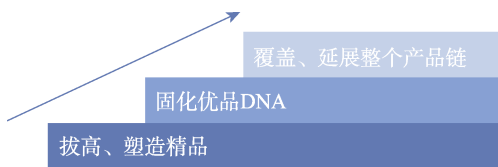


图 5 产品链优品精造阶梯
Fig.5 High-quality products in product chain

5.2 工程机械工业设计品牌构建研究

工程机械企业产品涵盖多个类别(路面类、泵送类、矿山类、起重类、铲运类、挖掘类等),一个品牌不同类别产品覆盖的范围可称为品牌宽度。在品牌进化过程中,随着品牌宽度的增大,进化的节奏会随之减慢。品牌宽度较大的产品 DNA 较为稳定,短时期内的变化幅度较小。随着时间的推移,企业在该领域不断发展积累,品牌深度会增加,产品 DNA 的进化速度会随之减慢。比如成长型企业的品牌宽度与深度,与引领型企业相比,就会较窄较浅,产品进

化的节奏与速度则较快,见图 6。

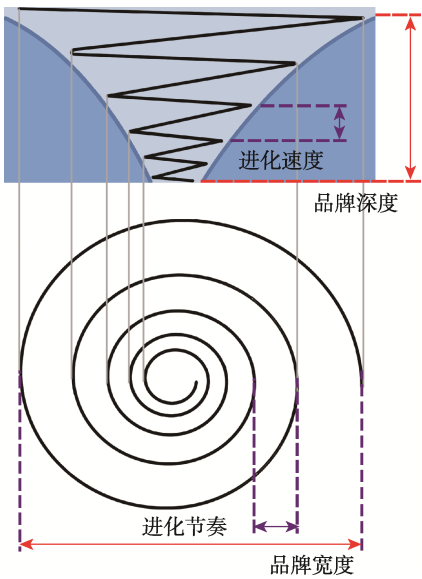


图 6 品牌进化
Fig.6 Brand evolution

企业产品在不断进化的过程中,其 DNA 会存在变异和突变两种行为现象,见图 7。随着产品的更新迭代,遗传基因映射在迭代产品造型上会显现出量变,与迭代产品造型上保持“神似”的关系。而变异行为,则是在迭代产品的造型上显现出质变,发生“形变”。当新类型产品出现时,可能在原有品牌 DNA 基础上发生突变行为,形成全新的产品形象和品牌基因。

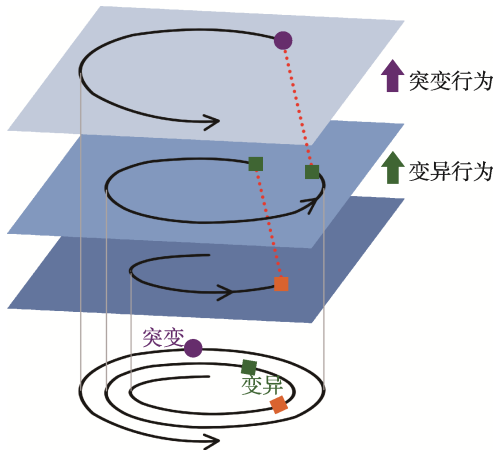


图 7 设计 DNA 进化中的突变与变异
Fig.7 Mutation and variation in design DNA evolution

品牌构建设计是有意识、有计划地使用符合企业文化的特征策略,使产品既带有共同的特征群(DNA),又在保持外观多样化的同时维持某种统一性,使公众或用户产生一致性的意象感受,传递出企业的品牌核心识别^[6]。品牌构建设计的具体实施内容如下:保留品牌已有的基因(DNA)部分;对企业文化理念进行视觉转化,产出文化理念的基因片段;产

品识别联想物进行类别分析与挖掘,产出产品联想物意象基因片段;对企业典型产品识别特征进行基因提炼;拓展基因,构建出新的品牌基因(DNA)。

品牌完整体系与产品识别特征的生成步骤如下:

(1) 品牌基因(DNA)抽取与标定,生成子品牌基因(DNA);(2) 子品牌(产品线)基因(DNA)抽取与标定,生成产品特征基因(DNA);(3) 产品特征基因(DNA)抽取与标定,生成产品识别特征;(4) 构建成设计体系与品牌设计战略,品牌、子品牌、产品特征的构建见图8。

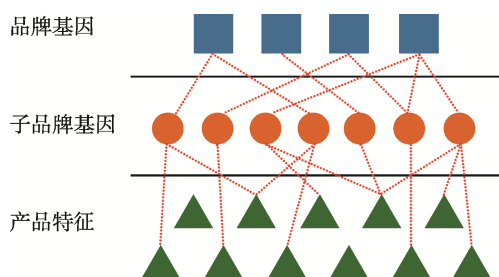


图8 品牌、子品牌、产品特征的构建
Fig.8 Construction of brand, sub-brand and product characteristics

6 工程机械工业设计展望

当下正处在工程机械发展的重要转折点,第四次工业革命已见雏形,在大数据、云计算、移动互联网等技术背景下,智能化与工业化有机融合对工程机械企业的提升和发展创造了全新空间,改变了以往传统的生产制造、产品展示、技术支持和服务管理等运营模式,用户更加期待工程机械产品的情感化、个性化和人性化等高端品质。

6.1 功能化转向情感化

追求工程机械产品功能高效强大是理所当然的,但随着产品功能性的完善,产品设计已经朝着非物质、高质量、重情感的方向发展,产品设计更多的体现使用者的审美情趣和感官体验^[71]。对情感的需求是人类不可遏制的天性,尤其对于工作环境相对恶劣的操作员来说,对产品的情感化需求更为热切。需在以人为本的理念驱使下,注重精神层面的情感化设计,包括操作舒适度、座椅舒适度、驾驶室的内饰材质与色彩等。除了硬件外,在软件人机交互方面,也更加注重情感体验,体现出对用户更深层次的心理关怀。

6.2 传统操控型转向人工智能化

人工智能产业迅猛发展,取得的突破足以证明巨大前景,智能控制技术的日益成熟,自然延伸到了工程机械领域。智能化的工程机械将会表现出如下特征:高精度、高效率;节约能源;智能操控;大数据与集群控制^[72]。鉴于工程机械的工作环境和工作性

质,对人工智能的依赖程度更高。近些年就有一批工程机械产品具备了智能化,如小松(KOMATSU)、卡特彼勒(CATERPILLAR)、沃尔沃(VOLVO)、斗山(DOOSAN)等,都在智能化方面取得了成果,特别是在2019年4月德国慕尼黑宝马展上亮相的卡特彼勒(CATERPILLAR)的CAT® Product Link™智能连接技术和小松(KOMATSU)的智能建机控制系统等,可见工程机械人工智能的前景优势和转变趋势。

6.3 通用化制造转向精细化、柔性化、复合材料制造

通用化制造是为提高社会生产效率,将用途相同、结构相似的部件做成标准化形式。以往都以通用化制造为导向,随着制造背景的变化,设计、加工和管理水平的提高,工程机械的制造过程和结果呈现精细化特点。用户对多样化、个性化、定制化产品的需求提高,柔性化成为了工程机械制造领域的坚实支撑,而柔性化制造也是企业降低生产成本、提高经济效益、快速响应市场的有效方式。随着材料科学的发展,新型复合材料应用在工程机械领域。复合材料与单一材料相比,在结构性及功能性方面具有无法代替的优势,能够更大幅度地提高产品的性能水平。

6.4 “黑科技”成为主导

“黑科技”是具有创新性的高精尖技术或产品,也可以理解为对于新硬件、新软件、新技术、新工艺、新材料等的应用。随着数字世界和现实世界在制造业内实现融合,制造业竞争力要通过先进技术来塑造^[73]。网络化建设工地、远程施工等一系列先进技术成为工程机械企业研发的重点。例如,在2019年4月德国慕尼黑宝马展中,斗山(DOOSAN)首次展示了基于5G通信的远程控制技术,见图9,在德国慕尼黑的“5G远程控制站(管控中心)”远程操控韩国仁川的挖掘机,直线距离达到8 500 km。由此可见,工程机械未来是创新的年代,是高端科技的年代,高端技术创新辅助企业在未来激烈的市场竞争中立于不败之地。

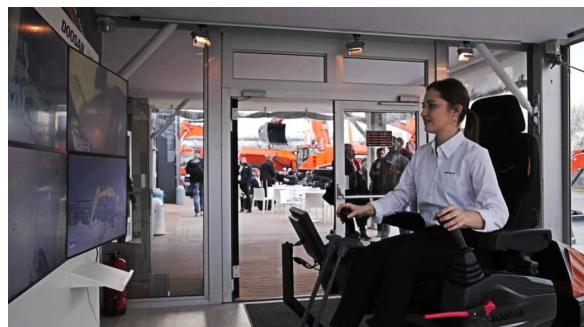


图9 德国慕尼黑宝马展上斗山展示远程控制技术
Fig.9 DOOSAN shows remote control technology at bauma Munich, Germany

7 结语

随着我国政治、经济、文化的发展,特别是“中国制造 2025”等强国战略行动纲领在高端装备领域的指导、“一带一路”倡议等重大国家战略布局的持续深化,国内外市场对工程机械产品的需求不断提升,市场机遇与发展潜力前所未有。与此同时,中美两大经济体之间的贸易摩擦与科技冲突的出现,对中国工程机械行业发展也造成了一定的压力。面对空前的机遇与挑战,正确把握工程机械的发展趋势,占领工业设计高地,在全球环境下显得至关重要。值得一提的是,我国 5G 网络、大数据和人工智能等新技术显现出蓬勃活力,工程机械的未来更让人们充满期待。

参考文献:

- [1] KARL, 詹涵菁. 产品设计与开发, 高等教育出版社[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005.
KARL, ZHAN Han-jing. Product Design and Development, Higher Education Press[M]. Beijing: Higher Education Press, 2005.
- [2] 张冶, 姜亮. 工程机械产品中的工业设计思想[J]. 设计, 2018(8): 102-104.
ZHANG Ye, JIANG Liang. Industrial Design Ideas in Construction Machinery Products[J]. Design, 2018(8): 102-104.
- [3] 张磊. 工业设计定义、范畴、方法及发展趋势综述[J]. 机械设计, 2013, 30(8): 97-101.
ZHANG Lei. Overview on Definition, Scope, Method and Development Trend of Industrial Design[J]. Journal of Machine Design, 2013, 30(8): 97-101.
- [4] 董琪, 钟厦, 洪丛华. 对工程机械产品外观造型设计的研究与剖析(一)[J]. 建设机械技术与管理, 2005(8): 45-49.
DONG Qi, ZHONG Xia, HONG Cong-hua. Research and Analysis on Exterior Designs of Construction Machinery Products(1)[J]. Construction Machinery Technology and Management, 2005(8): 45-49.
- [5] BLAWATT K. Imagery an Alternative Approach to the Attribute-image Paradigm for Shopping Centers[J]. Journal of Retailing and Consumer Services, 1995, 2(2): 83-96.
- [6] 李良. 工程机械产品识别策略研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2013.
LI Liang. Research on the Design Strategy of Product Identity of Construction Machinery[D]. Changsha: Hunan University, 2013.
- [7] 李雪楠, 赵江洪. 工程机械造型特征与造型语义的一致性表达[J]. 包装工程, 2013, 34(2): 61-64.
LI Xue-nan, ZHAO Jiang-hong. Study on Consistency of Form Feature and Semantics of Construction Machinery[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(2): 61-64.
- [8] 黄坤. 基于品牌个性的三一重工汽车起重机造型设计研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2012.
HUANG Kun. A Research on the Form Design of Sany Truck Crane Based on the Brand Personality[D]. Changsha: Hunan University, 2012.
- [9] 王亚辉. 卡特彼勒工程机械品牌造型 DNA 研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2014.
WANG Ya-hui. Research on Brand Form DNA of Construction Machinery of Caterpillar[D]. Changsha: Hunan University, 2014.
- [10] 时亚如. 工程机械车辆品牌形象塑造研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2013.
SHI Ya-ru. Construction Machinery Vehicle Brand Image Research[D]. Chengdu: Northwest Jiaotong University, 2013.
- [11] 张俊虹. 基于产品形象的工程机械工业设计研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2013.
ZHANG Jun-hong. Research of Construction Machinery Industrial Design Based on Product Identity[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2013.
- [12] 陈国强. 基于产品识别的洗扫车产品族造型设计[J]. 包装工程, 2019, 40(6): 159-164.
CHEN Guo-qiang. Product Family Modeling Design of Sweeper Based on Product Identification[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(6): 159-164.
- [13] 谭正棠, 赵江洪. 基于线型特征和图形特征的品牌产品识别设计[J]. 包装工程, 2014, 35(24): 17-21.
TAN Zheng-tang, ZHAO Jiang-hong. Brand Product Identification Design Based on Line Feature and Graphic Feature[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(24): 17-21.
- [14] BONNIE B, JILL D. The Cat Rental Store: Leveraging the Global Recognition of the Cat Brand[J]. Design Management Review, 2011, 12(4): 24-31.
- [15] 陈曦. 基于用户认知的工程机械产品视觉形象设计研究[J]. 工程机械, 2015, 46(1): 32-37.
CHEN Xi. A Study on Visual Image Design of Construction Machinery as Based on User Cognition[J]. Construction Machinery, 2015, 46(1): 32-37.
- [16] MEISAM R. Factors Influencing Brand Extension at Road Machinery Market: a Study on Heavy Equipment Production Company(HEPCO)[J]. Management and Administrative Sciences Review, 2015, 4(1): 120-133.

- [17] 魏专, 瞿昌利. 典型工程机械产品的设计基因提取方法研究[J]. 设计艺术研究, 2015, 4(5): 29-36.
WEI Zhuan, QU Chang-li. Study on Method for Extracting Design Genes from Typical Engineering Machinery Product[J]. Design Research, 2015, 4(5): 29-36.
- [18] 何灿群, 张双双. 基于产品 DNA 的工程机械产品造型设计研究[J]. 人类工效学, 2018, 24(6): 66-71.
HE Can-qun, ZHANG Shuang-shuang. Research on Modeling Design of Engineering Machinery Products Based on Product DNA[J]. Chinese Journal of Ergonomics, 2018, 24(6): 66-71.
- [19] 戴端, 戴喆, 钱泓坤. 混凝土搅拌站形态设计趋势分析[J]. 包装工程, 2014, 35(6): 41-44.
DAI Duan, DAI Zhe, QIAN Hong-kun. Trend Analysis of Form Design of Concrete Batching Plant[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(6): 41-44.
- [20] 李畅. 大型矿用挖掘机外观造型设计研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2016.
LI Chang. Study on Large Mining Excavator Appearance Design[D]. Taiyuan: Taiyuan University of Technology, 2016.
- [21] 冯清华, 卢颖. 基于设计几何学的工程机械形态设计方法探究[J]. 包装工程, 2016, 37(20): 79-83.
FENG Qing-hua, LU Ying. Shape Design Method of Construction Machinery Based on Design Geometry[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(20): 79-83.
- [22] 卢骁. 工程机械的造型意象与情感化设计[D]. 长沙: 湖南大学, 2012.
LU Xiao. The Modeling Image and Emotional Design of Construction Machinery[D]. Changsha: Hunan University, 2012.
- [23] KUNIAKI N. Kansei Engineering Research on the Design of Construction Machinery[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 1997, 19(2): 129-146.
- [24] 严广. 刍议工程机械产品形态设计[J]. 科技资讯, 2010(10): 48.
YAN Guang. Discussion on the Shape Design of Engineering Machinery Products[J]. Science & Technology Information, 2010(10): 48.
- [25] 董琪. 工业设计视角下的工程机械外观造型设计[J]. 工程机械, 2010, 43(3): 53-56.
DONG Qi. Appearance Design of Construction Machinery Viewed from Industrial Design[J]. Construction Machinery, 2010, 43(3): 53-56.
- [26] 姚君. 工程机械产品形态设计研究[D]. 无锡: 江南大学, 2007.
YAO Jun. The Research on Shape Design of Construction Machinery[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2007.
- [27] 王亚辉, 肖狄虎. 工程机械造型设计美学初探[J]. 艺术与设计, 2014(6): 93-95.
WANG Ya-hui, XIAO Di-hu. Design Aesthetics Preliminary Study on Construction Machinery Modeling[J]. Art Design, 2014(6): 93-95.
- [28] 莫爵贤. 工业设计背景下的工程机械外观造型设计[J]. 工业设计, 2015(7): 55-56.
MO Jue-xian. Design Appearance of Engineering Machinery under the Background of Industrial Design[J]. Industrial Design, 2015(7): 55-56.
- [29] 白暖. 工业设计中的工程机械产品外观造型设计研究[J]. 艺术科技, 2019(2): 219.
BAI Nuan. Study on Appearance Design of Construction Machinery Products in Industrial Design[J]. Art Science and Technology, 2019(2): 219.
- [30] 张小尊. 基于宏观语意的工程机械产品造型设计研究[J]. 中国包装工业, 2015(13): 53-55.
ZHANG Xiao-zun. Study on Modeling Design of Construction Machinery Products Based on Macro Semantics[J]. China Packaging Industry, 2015(13): 53-55.
- [31] 肖航杰. 基于感性意象的汽车起重机造型分析[D]. 长沙: 湖南大学, 2012.
XIAO Hang-jie. A Research on the Form Feature of Truck Crane Base on the Perceptual Intention[D]. Changsha: Hunan University, 2012.
- [32] 周连超, 戴端, 李宜信. 器与道对中国当代工程机械产品造型设计的影响[J]. 包装工程, 2015, 36(18): 66-69.
ZHOU Lian-chao, DAI Duan, LI Yi-xin. Inspiration of Chinese Doctrine and Utensil for Contemporary Construction Machinery Form Design[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(18): 66-69.
- [33] 那雪姣. 浅谈机械产品的造型设计[J]. 美术大观, 2016(6): 124-125.
NA Xue-jiao. Talking about the Design of Mechanical Products[J]. Art Panorama, 2016(6): 124-125.
- [34] SALVADOR M, PEDRO C, MARGARITA V. Semantic Differential Applied to the Evaluation of Machine Tool Design[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2005, 35(11): 1021-1029.
- [35] 于健昕. 工程机械产品形态设计与语义传达研究[D]. 长沙: 中南大学, 2014.
YU Jian-xin. Design and Construction Machinery Products Form Semantic Communication Research[D]. Changsha: Central South University, 2014.
- [36] 方正, 戴端, 陈金垚. 工程机械产品设计的形态语义表达研究[J]. 设计, 2015(17): 58-59.
FANG Zheng, DAI Duan, CHEN Jin-yao. Research of

- Semantics Expression in Engineering Machinery Product Design[J]. Design, 2015(17): 58-59.
- [37] 张瑞. 工程机械涂装研究和应用进展及发展趋势[J]. 电镀与涂饰, 2014, 33(6): 247-254.
- ZHANG Rui. Research and Application Progress and Development Trend of Engineering Machinery Coating[J]. Electroplating & Finishing, 2014, 33(6): 247-254.
- [38] 李江泳. 基于品牌识别的工程机械色彩设计研究[J]. 图形学报, 2014, 35(3): 423-428.
- LI Jiang-yong. Research of Color Scheme for Construction Machine Based on Brand Identity[J]. Journal of Graphics, 2014, 35(3): 423-428.
- [39] 姚涔. 基于色彩意象和遗传算法的工程机械产品涂装设计研究[D]. 天津: 天津大学, 2013.
- YAO Cen. Construction Machinery Product's Coating Design Research Based on Color Image and Genetic Algorithm[D]. Tianjin: Tianjin University, 2013.
- [40] 李重光. 感性理念在重型机械涂装设计中的应用[D]. 长沙: 中南大学, 2014.
- LI Chong-guang. Kansei Design Philosophy Used in the Coating of Heavy Machinery[D]. Changsha: Central South University, 2014.
- [41] SHIH W H. Fuzzy Set Theory on Car-Color Design[J]. Color Research and Application, 1994, 19(3): 202-213.
- [42] 钟厦. 工程机械产品标识设计的应用研究(一)[J]. 建设机械技术与管理, 2010(11): 69-70.
- ZHONG Xia. Design and Application of Construction Machinery Product Identification System (1) [J]. Construction Machinery Technology and Management, 2010(11): 69-70.
- [43] 陈娇红. 色彩在工程机械产品中的应用[J]. 建设机械施工与管理, 2009(5): 92-93.
- CHEN Jiao-hong. The Application of Color Design in Construction Machinery Products[J]. Construction Machinery Technology and Management, 2009(5): 92-93.
- [44] 姚君. 试论工程机械产品色彩的设计[J]. 机电产品开发与创新, 2018, 12(1): 46-48.
- YAO Jun. Color Design Research on Construction Machinery[J]. Development & Innovation of Machinery & Electrical Products, 2018, 12(1): 46-48.
- [45] 李方方, 李军. 浅析工程机械面饰色彩的设计及发展[J]. 机械设计与研究, 2012, 28(2): 52-54.
- LI Fang-fang, LI Jun. A Brief Analysis of Design and Development of Colorific Decorative for Construction Machinery[J]. Machine Design and Research, 2012, 28(2): 52-54.
- [46] HUNG C T, CHIA Y H. Computer Aided Product Color Design with Artificial Intelligence[J]. Computer-Aided Design & Applications, 2007, 4(1): 557-564.
- [47] 曾智林. 基于色彩工学探究工程机械产品外观安全警示设计[J]. 包装工程, 2012, 33(12): 88-91.
- ZENG Zhi-lin. Safety Design of the Engineering Machinery Product Appearance Based on the Color Engineering[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(12): 88-91.
- [48] 王恺, 陈娇红, 张伟社. 工程机械产品的色彩设计研究[J]. 机电产品开发与创新, 2008, 21(3): 71-72.
- WANG Kai, CHEN Jiao-hong, ZHANG Wei-she. The Study of Color Design in Construction Machinery Products[J]. Development & Innovation of Machinery & Electrical Products, 2008, 21(3): 71-72.
- [49] 陈慧. 涂装技术在工程机械中的应用现状与趋势[J]. 中国新技术新产品, 2018(19): 36-37.
- CHEN Hui. Application Status and Trend of Coating Technology in Construction Machinery[J]. China's New Technology and New Products, 2018(19): 36-37.
- [50] 解海涛. 工程机械涂装研究以及应用进展和发展趋势[J]. 山东工业技术, 2018(13): 42.
- XIE Hai-tao. Construction Machinery Coating Research and Application Progress and Development Trend[J]. Shandong Industrial Technology, 2018(13): 42.
- [51] 高慧. 解析工程机械的色彩运用法则[J]. 包装工程, 2012, 33(2): 61-64.
- GAO Hui. Analysis of Color Application Rules of Construction Machinery[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(2): 61-64.
- [52] 申永胜. 机械原理教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- SHEN Yong-sheng. Mechanical Principles Course[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2005.
- [53] 张伟. 产品设计中人机工程学的仿真研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2006.
- ZHANG Wei. Ergonomics and Simulation in Product Design[D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2006.
- [54] 李慧. 工程机械驾驶室的人机工程学研究[J]. 南方农机, 2018(18): 62-72.
- LI Hui. Ergonomics Study of Construction Machinery Cab[J]. Mechanized Equipment, 2018(18): 62-72.
- [55] 王大印. 工程机械驾驶室的人机工程学研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2013.
- WANG Da-yin. Research on Ergonomics Applied in Engineering Machinery Cab[D]. Harbin: Harbin University of Science and Technology, 2013.
- [56] 张双双, 何灿群, 季张宇. 2017 全国工业设计教育研讨会暨国际工业设计高峰论坛论文集[C]. 天津: 中

- 国轻工业出版社, 2017.
- ZHANG Shuang-shuang, HE Can-qun, JI Zhang-yu. Proceedings on Seminar of Industrial Design Education of China & International Industrial Design Forum 2017[C]. Tianjin: China Light Industry Press, 2017.
- [57] WANG Zhen-ya, WANG Yan-dong. Proceedings of the 2011 International Conference on Future Computer Science and Application(FCSA 2011 V1)[C]. Malaysia: International Industrial Electric Center, 2011.
- [58] 黄建兵. 人机工程学在工程机械驾驶室布置设计的应用研究[D]. 长春: 吉林大学, 2004.
- HUANG Jian-bing. Research on Ergonomics Application on Earth-moving Machine Cab Packaging and Designing[D]. Changchun: Jilin University, 2004.
- [59] LINDA M, CLAIRE G. Heavy Mobile Equipment Ergonomics and the Prevention of Musculoskeletal Injuries[C]. Canada: Paper Presented at the BC Mines Conference, Vancouver, 2008.
- [60] 胡萍. 人机工程学在工程机械设计中的综合应用[J]. 机械制造, 2009, 47(1): 53-58.
- HU Ping. Comprehensive Application of Ergonomics in Construction Machinery Design[J]. Machinery Manufacturing, 2009, 47(1): 53-58.
- [61] 杨浩, 严扬. 包容性设计视角下的工程机械驾驶室设计——以矿用卡车为例[J]. 装饰, 2016(3): 97-99.
- YANG Hao, YAN Yang. A Research for Designing Driver's Cab of Construction Machinery from the Perspective of Inclusive-design View: Take Mine Trucks as an Example[J]. Zhuangshi, 2016(3): 97-99.
- [62] 贾志艳. 工程机械驾驶室的安全舒适性设计研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2014.
- JIAO Zhi-yan. Research on Safety and Comfort Design of Construction Machinery Cab[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2014.
- [63] 李建勇. 基于计算机辅助人机工程的装载机驾驶室设计方法研究[D]. 济南: 山东大学, 2009.
- LI Jian-yong. The Study of Loader Cab Design Based on Computer-Aided Ergonomics[D]. Jinan: Shandong University, 2009.
- [64] 黄英, 张以忱. 人机工程学在工程机械司机室布置与设计中的应用研究[J]. 机械设计与制造, 2000(6): 88-89.
- HUANG Ying, ZHANG Yi-chen. Application Research of Ergonomics in the Layout and Design of Engineering Machinery Cab[J]. Machinery Design & Manufacture, 2000(6): 88-89.
- [65] 杨梅, 徐宁. 基于人机工程学的堆高车造型设计[J]. 包装工程, 2018, 39(16): 100-105.
- YANG Mei, XU Ning. Stacker Modeling Design Based on Ergonomics[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(16): 100-105.
- [66] 钱筱琳, 关惠元, 郁舒兰. 基于用户体验的车载烟雾机造型设计研究[J]. 包装工程, 2013, 34(8): 35-39.
- QIAN Xiao-lin, GUAN Hui-yuan, YU Shu-lan. Modeling Design Research of Vehicle Fogging Machine Based on Users Experiences[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(8): 35-39.
- [67] 周楠. 现代叉车人性化设计研究[D]. 杭州: 中国美术学院, 2009.
- ZHOU Nan. Study on Humanized Design of Modern Forklift[D]. Hangzhou: China Academy of Art, 2009.
- [68] 梁佳坛. 挖掘传输机人机尺度优化及外观造型设计[D]. 马鞍山: 安徽工业大学, 2016.
- LIANG Jia-tan. Human Machine Scale Optimization and Design of the Exterior Shape of the Mining Transmission Machine[D]. Maanshan: Anhui University of Technology, 2016.
- [69] 潘云鹤, 孙守迁, 包恩伟. 计算机辅助工业设计技术发展状况与趋势[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 1999, 11(3): 248-252.
- PAN Yun-he, SUN Shou-qian, BAO En-wei. The Current Developing Situation and Trend of Computer Aided Industrial Design Technology[J]. Journal of Computer Aided Design & Computer Graphics, 1999, 11(3): 248-252.
- [70] 潘虹. 设计目标导向下的三一起重机内饰设计研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2010.
- PAN Hong. SANY Crane Interior Design Based on Goal-oriented Design[D]. Changsha: Hunan University, 2010.
- [71] 李君华. 产品设计中的情感化体现[J]. 包装工程, 2010, 31(4): 32-38.
- LI Jun-hua. Emotional Expression in the Product Design[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(4): 32-38.
- [72] 杨华勇. 工程机械智能化进展与发展趋势(四)[J]. 建设机械技术与管理, 2018(3): 36-37.
- YANG Hua-yong. Progress and Trend of Construction Machinery Intelligence(4)[J]. Construction Machinery Technology and Management, 2018(3): 36-37.
- [73] 陈伟, 吴金海. 面向人工智能 2.0 的工程机械创新趋势[J]. 筑路机械与施工机械化, 2017, 9(34): 107-115.
- CHEN Wei, WU Jin-hai. Innovative Trends of Construction Machinery Oriented to Artificial Intelligence 2.0[J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2017, 9(34): 107-115.