

BP神经网络在程控切纸机整体造型感性设计中的运用

定律¹, 朱彦²

(1.上海理工大学, 上海 200093; 2.上海电机学院, 上海 200245)

摘要: **目的** 运用计算机图形设计和逻辑运算方法建立用户需求与造型设计要素之间的数理联系, 对程控切纸机产品进行更科学的造型设计与评价, 使设计流程更加严谨。 **方法** 以语义差异法和因子分析法归纳用户感性意象评价, 以形态分析法解构程控切纸机整体造型设计要素, 建立感性评价矩阵, 用以训练BP神经网络。 **结果** 测试后发现网络正确映射了感性意象和设计要素之间的关系, 用该网络模型进行模拟预测, 得到关于“高档—低端的”感性评价最大值和最小值, 对应的造型设计要素组合能给设计“高档”风格的程控切纸机提供理性支撑。 **结论** 将用户模糊不清的情感转化为定量的数据, 弥补原先设计流程中单纯凭设计者主观经验去比较和评价设计方案的不足, 为大型机电产品整体造型设计提供科学的设计方法。

关键词: 感性工学; BP神经网络; 程控切纸机; 整体造型; 感性评价矩阵

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)16-0135-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.16.020

Application of BP Neural Network in Perceptual Form Design of Programmable Paper Cutting Machine

DING Lu¹, ZHU Yan²

(1.University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;

2.Shanghai Dianji University, Shanghai 200245, China)

ABSTRACT: The work aims to establish the mathematical relationship between user's demands and form design elements by computer graphics design and logical operation method, so as to make more scientific design and evaluation about the programmable paper cutting machine and enhance the design process more rigorous. User's perceptual image evaluation was summarized by semantic difference method and factor analysis method, integral design elements of programmable paper cutting machine were deconstructed by morphological analysis method, and perceptual evaluation matrix was established to train BP neural network. The network correctly mapped the relationship between the perceptual image and design elements after test. The maximum and minimum values of perceptual evaluation about high-end and low-end were obtained through the simulated prediction by the network model, and the corresponding combination of design elements provided rational support for the design of high-end style programmable paper cutting machine. The user's ambiguous emotion is transmuted into quantitative data, which makes up for the deficiency of comparing and evaluating design schemes based on the designer's subjective experience in the original design process and provides the scientific design method for integral form design of large-scale mechanical and electrical products.

KEY WORDS: Kansei Engineering; BP neural network; programmable paper cutting machine; integral form; matrix of perceptual evaluation

收稿日期: 2020-03-19

基金项目: 上海市哲学社会科学规划项目; 上海市教委教师专业发展工程国外访学项目 (A1-0217-18-003-05)

作者简介: 定律 (1976—) 男, 江苏人, 硕士, 上海理工大学讲师, 主要研究方向为人工智能与神经网络。

通信作者: 朱彦 (1979—), 女, 江苏人, 硕士, 上海电机学院副教授, 主要研究方向为感性工学与机电产品工业设计。

程控切纸机是加工纸张的一种印刷包装机械设备,可以满足印刷后期的纸张裁切需求。具体来说,造纸厂单张纸的加工、印刷厂印刷制品的整形及蜂窝纸板的切制都会用到。此外,程控切纸机还能用于硬塑料、皮革等其他材料的切割加工。由此可见,该产品在印刷包装机械设备中处于非常重要的地位,几乎是每一个印刷企业的标配产品。程控切纸机主要运用在工业环境,操作专业化程度高,长期以来国内相关生产企业片面关注如何完善产品的功能、提高精度和可靠性,对造型设计的思考和研究很少,使得产品在国际市场中缺乏竞争力。程控切纸机与民用消费类产品相比,在造型、人机交互等方面有更高的设计要求。如何运用计算机图形设计和逻辑运算方法建立用户需求与造型设计要素之间的数理联系,对程控切纸机产品进行更科学的造型设计与评价,是工业设计亟待研究的问题。本文将基于 BP 神经网络算法,探讨程控切纸机造型与意象之间的关系,使得原本以经验主导的设计流程更加科学和严谨。

1 神经网络在产品造型感性设计中的运用

人工神经网络是模仿生物神经处理系统及人类特有的学习、认知行为所发展出来的信息处理模式^[1]。在感性工学研究方法中,人工神经网络常用来建立造型设计要素与使用者意象感知之间的关系,它能系统挖掘产品的感性意象并转化为产品的设计要素^[2],目前常用三层结构的 BP 神经网络^[3]来建立输入与输出变量的复杂关系。近年来,设计者在运用感性工学方法,将使用者多元化情感需求转换为量化设计参数方面进行了一些探讨。周美玉等人^[4]运用 BP 神经网络建立了感性意象与设计要素对应关系模型,并以微波炉为典型产品进行了验证;苏珂^[5]用因子分析法提取产品材质风格因子,构建了产品材质意象的数学模型,用座椅案例验证了有效性;钟奇^[6]根据眼动数据与主观评价值,建立了拖拉机造型设计的评估模型;朱彦^[7]运用主成分分析法和 BP 神经网络,对家庭服务机器人整体造型要素与感性意象进行了量化分析。王震亚^[8]将感性工学的测量方法用于人机系统研究,对工程机械的不同层面分别进行了研究;苏建宁等^[9]通过训练 BP 神经网络建立了感性意象和设计参数之间非线性的对应关系,并以高脚杯为实例进行了验证;徐江等人^[10]采用数量化理论建立数学模型,对感性意象的评价值进行预测。然而,目前的研究没有针对程控切纸机整体造型设计的感性工学展开探讨,尤其是没有建立该类型产品评价与设计的数理模型,无法构建理性逻辑的程控切纸机产品造型设计体系。本文运用语义差异法和因子分析法提取用户的感性意象,用形态分析法对程控切纸机整体造型进行设计要素解构,并建立感性评价矩阵,然后基于 BP 神经网络算法构建能映射感性意象和设计要素之间关系的

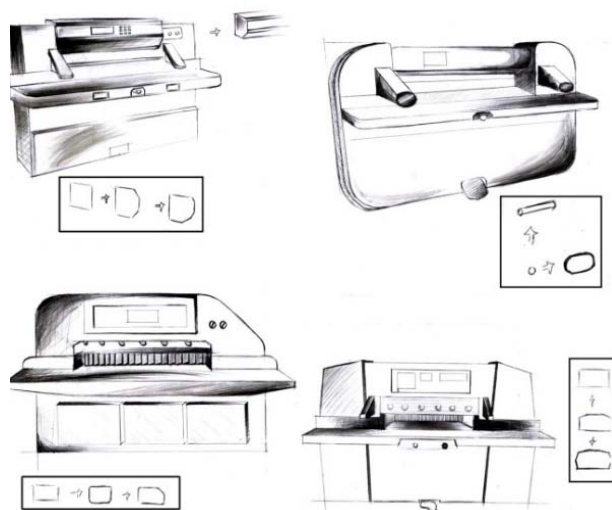


图 1 造型设计方案

Fig.1 Design schemes of form

数学模型,并进行模拟预测,为大型机电产品造型设计提供科学可靠的设计方法。

2 程控切纸机整体造型设计要素的感性工学分析

程控切纸机是一种大型裁切机器,一般用于对纸板、皮革、塑料等片材的切割加工。在以往的研究^[11]中基于以用户为中心的设计方法,从使用者需求出发对程控切纸机进行了多种造型设计方案的探讨,造型设计方案见图 1,包括直线型、曲线型、曲直结合型、斜线梯型等。该研究中对于造型演变推敲的设计流程仍然停留在主观经验判断层面,没有对用户的感性需求进行数理分析,也没有深入挖掘其与产品整体造型设计要素之间的逻辑关系,设计与评价过程不够科学严谨,无法形成一般规律,从而难以指导同类大型机电产品造型产品的设计。

2.1 选取产品样本和感性意象词汇

整理现有程控切纸机的设计方案,并通过市场调查等方式对现有产品获取了九十六个样本图片。并请来具有五年以上设计经验的人员筛选样本,从部件的形态与结构等方面进行比对后去除相似程度大的,最终得到二十个造型元素有明显差异的典型样本,部分样本图片见图 2,用其在后续研究中训练和验证 BP 神经网络。

通过用户访谈、产品测评报告等途径,搜集到一百零二个对描述程控切纸机感性意象的形容词组,用 KJ 法筛选后确定十二对感性词汇,分别是:安全的一危险的,好看的一难看的,简单的一复杂的,现代的一落后的,精密的一粗糙的,柔美的一刚强的,高档的一低端的,轻薄的一厚重的,朴实的一豪华的,新颖的一陈旧的,灵巧的一笨拙的,稳定的一动荡的。

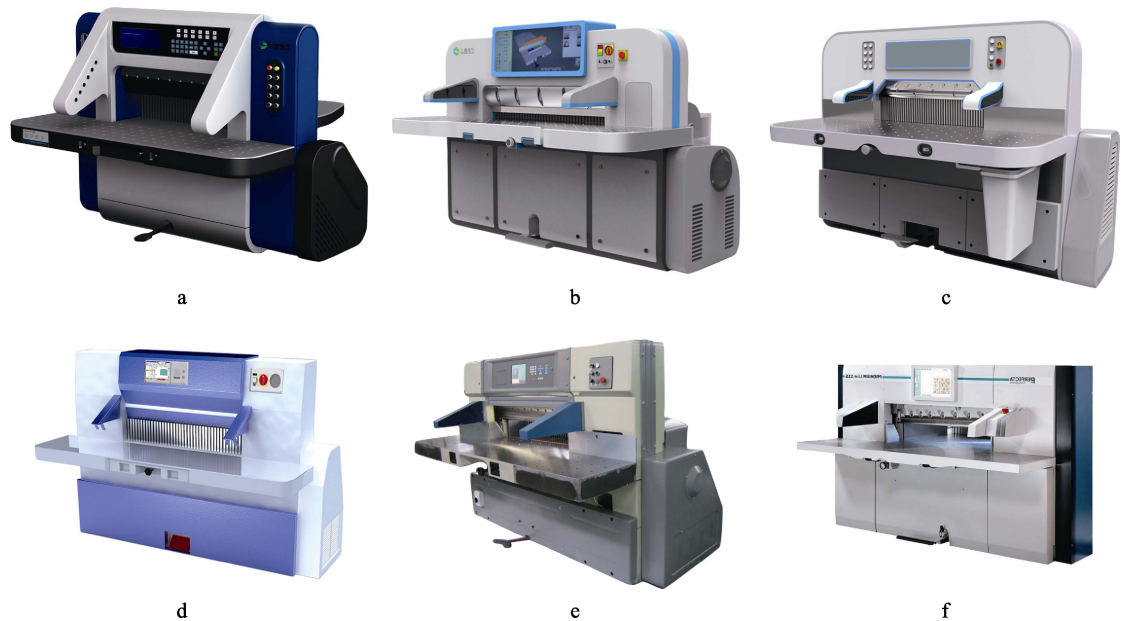


图 2 部分样本图片
Fig.2 Part of samples

表 1 因子分析结果
Tab.1 Results of factor analysis

感性意象词汇	因子 1	因子 2	因子 3
安全的一危险的	0.882	0.133	0.186
好看的一难看的	0.891	0.146	0.014
简单的一复杂的	0.723	-0.232	0.185
现代的一落后的	-0.908	0.092	-0.152
精密的一粗糙的	0.865	0.191	0.023
柔美的一刚强的	0.726	-0.062	0.167
高档的一低端的	0.933	0.112	-0.121
轻薄的一厚重的	0.561	0.716	-0.184
朴实的一豪华的	0.753	0.655	0.013
新颖的一陈旧的	-0.355	0.089	0.865
灵巧的一笨拙的	0.525	-0.132	-0.058
稳定的一动荡的	0.322	0.643	0.023

用语义差异法设计调查问卷,分别以十二对感性词汇为评价量尺,区间值为 7,要求受测者对二十个样本评分。例如,针对“安全的一危险的”这一评价量尺,评分为“1”表示倾向于安全的,评分为“4”表示处于中立,评分为“7”表示倾向于危险的。共发放问卷七十份,回收有效问卷六十份。这六十份问卷的调研对象中有二十八人是具有丰富操作经验的一线工人,其余三十二人是具有五年以上从业经历的职业设计师。用 Excel 软件统计问卷结果,求取每个样本对应的感性意象平均值,再导入 SPSS 统计软件进行因子分析,因子分析结果见表 1。

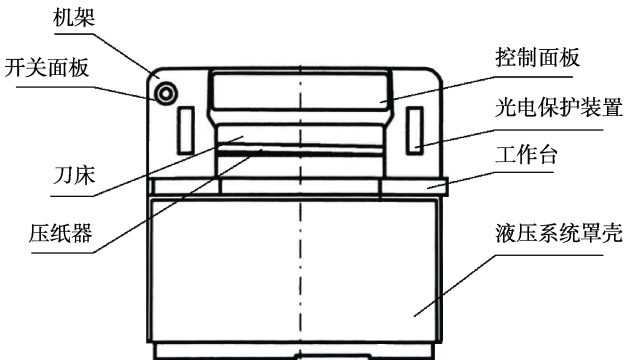


图 3 整体造型部件
Fig.3 Parts in integral form

由表 1 中的因子分析结果可知,十二对感性词汇中“高档的一低端的”对程控切纸机整体造型的影响最大,因此以这一词汇作为感性意象评价量尺进行下一步的研究。

2.2 解构程控切纸机整体造型设计要素

程控切纸机的整体造型部件,见图 3,包括机架、控制面板、光电保护装置、工作台、液压系统罩壳、压纸器、刀床、开关面板等。采用形态分析法^[12],归纳提炼出对程控切纸机的整体造型风格影响较大的部件,然后对每个部件单独分析,逐一梳理各种造型设计的可能性,把产品样本的造型设计要素解构,见表 2,最后形成解决整体造型的总方案。

2.3 建立感性意象评价矩阵

根据调研问卷统计归纳得到的感性评价平均值和程控切纸机的造型设计要素解构,建立二十个样本关于“高端的一低档的”的感性评价矩阵,见表 3。

表 2 解构造型设计要素
Tab.2 Deconstruction of form design elements

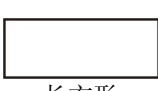
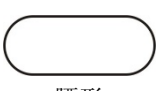
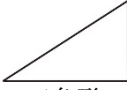
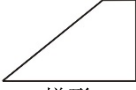
设计要素	类 型			
	1	2	3	4
机架正视图形态 X_1	 长方形	 圆角长方形	 单圆角长方形	 斜切角长方形
控制面板形态 X_2	 正方形	 长方形	 圆形	 腰形
控制面板与机架结合方式 X_3	 正视图 控制面板外凸	 侧视图	 正视图 控制面板内凹	 侧视图
光电保护装置截面形态 X_4	 三角形	 梯形	—	—
光电保护装置与控制面板结合方式 X_5	独立的	统一的	—	—
开关面板与控制面板关系 X_6	分离的	集成的	—	—

表 3 感性评价矩阵
Tab.3 Matrix of perceptual evaluation

样本	造型设计要素						高端的一低档的 感性评价均值
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	
1	1	2	1	1	1	1	1.893
2	1	1	3	2	1	2	1.952
3	1	3	2	2	2	1	2.152
4	1	4	2	2	1	1	3.102
5	2	2	3	2	1	1	5.132
6	2	2	1	1	2	2	5.782
7	2	4	1	1	1	2	6.045
8	2	3	3	2	1	1	5.826
9	1	2	2	1	2	1	6.763
10	3	2	3	2	1	1	4.768
11	4	2	3	2	1	1	3.326
12	3	2	1	1	2	1	4.812
13	3	1	1	1	1	2	3.925
14	3	4	2	2	1	1	4.343
15	4	4	2	2	1	2	3.768
16	4	1	3	1	2	2	2.725
17	4	2	1	1	2	1	3.552
18	2	1	2	1	2	2	6.512
19	1	2	2	2	1	1	1.998
20	1	1	1	1	1	2	2.432

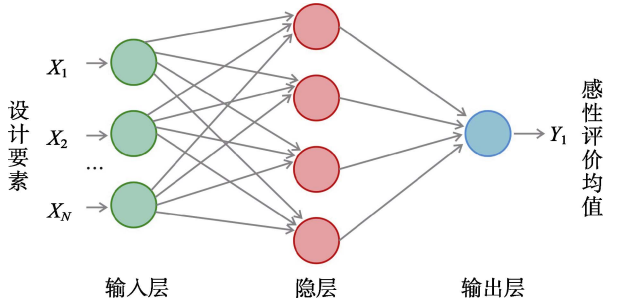


图 4 BP 神经网络模型

Fig.4 BP neural network

3 BP 神经网络模型的构建

运用 BP 神经网络对表 3 中前十五个样本的感性评价数据进行学习, 构建能映射程控切纸机六个造型设计要素和感性意象评价之间非线性关系的数学模型, 并用后五个样本的数据测试网络的性能, 具体实施步骤如下。

3.1 构建网络

使用 Matlab2016 软件作为 BP 神经网络训练的工具, 经过多次试验比对, 确定网络为三层, 包括输入层、隐层和输出层, BP 神经网络模型见图 4。

因为程控切纸机的整体造型有六个设计要素, 所以输入层的神经元节点数为 6; 隐层有四个神经元。

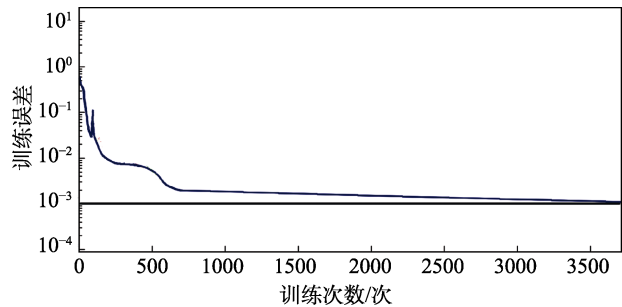


图 5 训练结果
Fig.5 Training results

表 4 测试结果
Tab.4 Test results

样本	实际感性评价均值	预测感性评价均值	相对误差/%
16	2.725	2.784	2.17
17	3.552	3.657	2.96
18	6.512	6.274	3.65
19	1.998	2.029	1.55
20	2.432	2.362	2.88

输入层和隐层均采用对数-S 型传递函数：

$$f(x)=\frac{1}{1+e^{-x}} \tag{1}$$

输出层是关于“高端—低档的”这一量尺的感性评价均值,神经元节点数为 1,采用 purelin 传递函数：

$$y=x \tag{2}$$

3.2 训练网络

将网络的学习次数设置为 10 000,误差目标值为 0.001,采用梯度下降法,把表 3 中的第 1~15 个样本数据输入网络进行训练,使用均方误差评估训练结果。训练结果见图 5,网络在第 3 816 次训练时达到训练目标,实际训练的误差值为 0.009 98。

3.3 测试网络

为了测试收敛后神经网络的可靠性,使用表 3 中第 16~20 个样本数据进行验证,将这五个样本的设计要素组合导进网络的输入层,将输出值与调研问卷的感性评价数据比较,测试结果见表 4,可知两者的相对误差很小,说明数据基本吻合,训练后的网络建立了程控切纸机的整体造型设计要素和感性评价值的正确映射模型。

3.4 模拟预测

由前述可知,程控切纸机的造型设计要素组合后可产生造型方案共 4×4×3×2×2×2=384 种,将所有组合导入构建好的神经网络输入层。经过网络模拟运算后,计算出每种组合关于“高端—低档的”所对应的感性评价值,其中最大值为 6.878,最小值为 1.815,所对应的设计要素组合编号为 2、2、2、2、1、1 和

表 5 “高端的”最优化设计组合
Tab.5 Optimal design combination of “High-end”

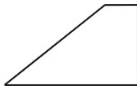
设计要素	类型	
	1	2
机架正视图形态 X_1	—	 圆角长方形
控制面板形态 X_2	—	 长方形
控制面板与机架结合方式 X_3	—	 正视图 控制面板内凹
光电保护装置截面形态 X_4	—	 梯形
光电保护装置与控制面板结合方式 X_5	独立的	—
开关面板与控制面板关系 X_6	分离的	—



图 6 验证方案
Fig.6 Verification scheme

1、2、1、2、1、1,说明前一组设计要素组合产生的造型是最高端的,“高端的”最优化设计组合见表 5;后一组则是最低档的。此神经网络预测结果能为设计者提供理性逻辑支撑,当需要设计整体造型高端大气的程控切纸机时,需要更多关注产品的机架正视图是否为圆角长方形,控制面板区是否为内凹长方形且与机架有顺滑过渡衔接面,光电保护装置截面形态是否为梯形等设计要素,根据预测结果重新设计方案,见图 6。由此,对比原本通过草图进行形态演变去推敲程控切纸机的整体造型,神经网络模型的运用使得设计过程更加严谨和科学。

4 结语

运用感性工学的设计方法建立了 BP 神经网络模

型,用以数理化表达程控切纸机整体造型设计要素与用户感性意象之间的逻辑关系;将用户模糊不清的情感转化为定量的数据,使用户的感性需求在设计过程中更可控,并有利于设计者用造型语言更准确地去表达,弥补了原先设计流程中单纯凭设计者主观经验去比较和评价设计方案的不足。

程控切纸机是一种复杂的大型机电产品,其整体造型设计涉及到产品的功能与结构、材料的加工工艺与表面处理、零部件装配、人机交互^[13]等很多因素,因此不能单纯以造型设计要素的组合关系作为设计的依据,在将来的研究中可根据不同的既定目标,把这些因素也作为 BP 神经网络的输入层,从而建立它们与用户感性需求之间的逻辑关系^[14];同时,也可以考虑增加 BP 神经网络输出层的节点数,以获得不同的感性意象评价均值,平衡多样化的用户需求。随着机器深度学习技术在产品感性意象造型设计中的广泛运用,基于感性工学的大型机电产品造型设计方法研究必将有更全面的发展。

参考文献:

- [1] 苏建宁,王鹏,张书涛,等. 产品意象造型设计关键技术研究进展[J]. 机械设计, 2013(1): 97-100.
SU Jian-ning, WANG Peng, ZHANG Shu-tao, et al. Review of Key Technologies of Product Image Styling Design[J]. Journal of Machine Design, 2013(1): 97-100.
- [2] 李永峰,朱丽萍. 基于序次 Logistic 回归的产品意象造型设计研究[J]. 机械设计, 2011(7): 8-12.
LI Yong-feng, ZHU Li-ping. Product Image Form Design Based on Ordinal Logistic Regression[J]. Journal of Machine Design, 2011(7): 8-12.
- [3] 马辉. 基于 BP 神经网络的飞行器外观设计评价模型[J]. 包装工程, 2018, 39(9): 129-133.
MA Hui. Evaluation Model of Aircraft Exterior Design Based on BP Neural Network[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(9): 129-133.
- [4] 周美玉,李倩. 神经网络在产品感性设计中的应用[J]. 东华大学学报, 2011(4): 509-513.
ZHOU Mei-yu, LI Qian. Application of Neural Network in Kansei Design[J]. Journal of Donghua University, 2011(4): 509-513.
- [5] 苏珂. 客制化产品材质意象决策支持模型[J]. 中国机械工程, 2011(14): 1723-1728.
SU Ke. Customized Product Material Image Decision Making Support Model[J]. China Mechanical Engineering, 2011(14): 1723-1728.
- [6] 钟奇,裴学胜,郭钢,等. 基于多项眼动数据的拖拉造型设计评选模型[J]. 包装工程, 2018, 39(8): 166-169.
ZHONG Qi, PEI Xue-sheng, GUO Gang, et al. The Selection Model of Tractor Appearance Design Based on Multiple Eye Movement Data[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(8): 166-169.
- [7] 朱彦. 家庭服务机器人整体造型感性设计的 BP 神经网络应用[J]. 包装工程, 2018, 39(4): 151-154.
ZHU Yan. BP Neural Network for the Overall Shape Perceptual Design of Home Service Robots[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(4): 151-154.
- [8] 王震亚. 基于感性工学的装载机人机系统设计研究[D]. 济南: 山东大学, 2011.
WANG Zhen-ya. Human-Machine System Design of Loader Based on Kansei Engineering[D]. Jinan: Shandong University, 2011.
- [9] 苏建宁,范跃飞,张书涛,等. 基于感性工学和神经网络的产品造型设计[J]. 兰州理工大学学报, 2011(4): 47-50.
SU Jian-ning, Fan Yue-fei, ZHANG Shu-tao, et al. Product Form Design Based on Kansei Engineering and Neural Network[J]. Journal of Lanzhou University of Technology, 2011(4): 47-50.
- [10] 徐江,孙守迁,张克俊. 基于遗传算法的产品意象造型优化设计[J]. 机械工程学报, 2007(4): 53-58.
XU Jiang, SUN Shou-qian, ZHANG Ke-jun. Product Image Form Optimization Design Based on Genetical Gorithm[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2007(4): 53-58.
- [11] 朱彦,朱夏珍. 以用户为中心的印包机械产品形态设计研究[J]. 包装工程, 2009, 30(2): 159-166.
ZHU Yan, ZHU Xia-zhen. User Centered Form Design of Press and Packaging Mechanical Products[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(2): 159-166.
- [12] 李月恩,王震亚,徐楠. 感性工程学[M]. 北京: 海洋出版社, 2009.
LI Yue-en, WANG Zhen-ya, XU Nan. Kansei Engineering[M]. Beijing: Ocean Press, 2009.
- [13] 周红宇,戚得众,韩晓东. 瓦楞纸印刷机造型设计评价研究[J]. 机械设计, 2017(7): 119-123.
ZHOU Hong-yu, QI De-zhong, HAN Xiao-dong. Modeling Design Evaluation of Corrugated Printing Press[J]. Journal of Machine Design, 2017(7): 119-123.
- [14] 苏建宁,邱凯,张书涛,等. 基于眼动数据的产品造型设计要素评价方法研究[J]. 机械设计, 2017(10): 124-128.
SU Jian-ning, QIU Kai, ZHANG Shu-tao, et al. Evaluation Method Study of Product Modeling Design Elements Based on Eye Movement Data[J]. Journal of Machine Design, 2017(10): 124-128.