

# 基于目标驱动的产品形态相似变换设计方法研究

李奋强<sup>1</sup>, 魏驰<sup>1</sup>, 韩素斌<sup>2</sup>

(1.兰州理工大学, 兰州 730050; 2.重庆三峡学院, 重庆 404000)

**摘要:** **目的** 针对目前产品设计领域中产品形态设计主要依靠设计师个人经验与灵感这一弊端, 构建一种新的设计思路与方法, 用于辅助设计师对产品的形态设计, 使产品设计过程更加系统、科学与可视化, 使产品设计结果更加美观、合理与高质量。**方法** 以产品现有形态为基准, 结合自身品牌基因与产品定位, 以与目标意象相吻合的优秀产品特征要素为驱动目标, 利用曲线细分算法与变形算法完成基于目标驱动的产品形态相似变换谱系, 通过评价方法筛选出满意度较高的初始方案进行深化设计, 最终得到与目标意象相符合且与原有产品基因相关联的设计方案。**结论** 以汽车大灯设计为例, 运用该方法完成了既保留产品品牌基因又符合产品目标意象的方案设计, 验证了该方法的有效性。

**关键词:** 产品形态; 目标驱动; 相似变换; 品牌基因

**中图分类号:** TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)08-0106-05

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.08.014

## Design Method of Similarity Transformation of Goal-driven Product Form

LI Fen-qiang<sup>1</sup>, WEI Chi<sup>1</sup>, HAN Su-bin<sup>2</sup>

(1.Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China;

2.Chongqing Three Gorges University, Chongqing 404000, China)

**ABSTRACT:** The work aims to construct new design idea and method to assist the designer in product form design, so as to make the product design process more systematic, scientific and visual, and enable the product design to be more beautiful, reasonable and of higher quality, in view of the drawback that product form design in the field of product design mainly relies on the designer's personal experience and inspiration. Taking the existing product form as the benchmark and combined with the brand gene and product positioning, the excellent product feature elements matching the target image were selected as the driving target. Curve subdivision algorithm and deformation algorithm were applied to complete the similarity transformation pedigree of goal-driven product form. The initial scheme with higher satisfaction was screened out for an in-depth design through evaluation method. Finally, a design scheme that matched the target image and was associated with the gene of the original product was obtained. Taking automobile headlight design as an example, the proposed method is applied to complete the scheme design which not only preserves the brand gene but also conforms to the product target image, and the validity of the proposed method is verified.

**KEY WORDS:** product form; goal-driven; similarity transformation; brand gene

随着产品市场竞争的日益激烈以及顾客消费需求的不断提升, 功能已不是占据市场的唯一因素。造型作为产品给人的第一感官, 是传递产品信息与情感的重要媒介, 起着吸引和刺激消费者购买产品欲望的特殊作用。同时造型作为产品的外在表现, 对企业建立产品品牌形象与识别度有不可小觑的作用。

造型设计也即产品形态设计, 主要依赖于设计师的个人经验与创作灵感, 跳跃性较大, 无法准确、稳定的满足客户需求。因此, 需要构建一种新的思路和创新方法, 在保持现有产品形态设计优点的基础上, 指导并辅助设计师进行产品造型设计。

收稿日期: 2020-01-21

作者简介: 李奋强(1958—), 男, 甘肃人, 兰州理工大学教授, 主要从事设计学、产品系统设计研究。

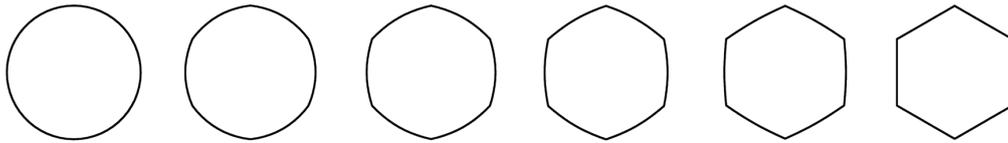


图 1 圆形到正六边形的相似变换

Fig.1 Similarity transformation from circle to regular hexagon

## 1 产品形态设计方法

关于产品形态设计方法,不少学者主要集中在对用户需求<sup>[1]</sup>、产品意象<sup>[2]</sup>、品牌形象<sup>[3]</sup>等方面的研究上,通过对产品形态、色彩、材质等的变化以形成既满足顾客需求又符合品牌形象与规划的产品。文献[4]提出了考虑客户需求偏好的产品概念设计方案生成方法,文献[5]提出了基于感性意象的产品造型优化设计方法,文献[6]提出了基于品牌形象的产品造型设计方法,文献[7]利用“智能化”辅助形态设计技术,应用遗传算法将线型优化后用于车身形态设计,但以上设计方法目的性均不够明确。

本文在已有研究的基础上,提出一种基于目标驱动的产品形态相似变换设计方法,该方法不仅可以对设计师的设计过程进行科学指导,还能在给出设计方案的同时保留产品原有的形态基因,辅助设计的同时也丰富了设计的内涵与方法理论体系。

## 2 基于目标驱动的图形相似变换

基于目标驱动的产品形态设计是一种推理式的图形创新设计方法,主要从产品形态分析、形态推演以及方案生成等 3 个方面着手,类似成果主要为形状文法<sup>[8]</sup>。但形状文法的理论核心在于结合产品的形态基因对产品形态可变部分进行旋转、增删、置换、缩放、镜像等变化,以衍生出新的产品造型。陈满儒<sup>[9]</sup>等将形状文法和感性工学结合用于驱动智能手表外形设计;王伟伟<sup>[10]</sup>等提出产品概念设计的形状推演模型。本文提出基于目标驱动的产品形态相似变换设计方法则是根据目标意象产品形态特征进行稳步变化,以产生一系列中间方案用于辅助设计。

### 2.1 图形相似变换的一般规律

在数字图像处理领域,图像的变换技术有着非常重要的作用。常用的变换方法是通过把图像转换为一种用数学表示的矩阵,而后对矩阵进行变换,间接完成对图像变换的操作。基于目标驱动的相似变换则是利用矩阵之间的逼近函数完成从一个矩阵到另一个矩阵的映射,映射过程可表示为:

$$G_i = G_1 \cdot F_{G_1, G_2} \quad (1)$$

式中:  $G_i$  为过渡图形矩阵,  $G_1$  为原图形学矩阵,  $G_2$  为目标图形学矩阵,  $F_{G_1, G_2}$  为变换函数。

### 2.2 基于目标驱动的图形相似变换方法

常见的图形变换形式分为二维图形变换与三维图形变换,目前研究多以二维图形变换为主,通常采用的方法为遗传算法<sup>[11]</sup>。

本文采用基于目标驱动的几何形状相似变换方法,在产品形态进化过程中能够将描述图形的矩阵按照一定的变换规则,在与原有图形保持关联的同时向目标图形进行稳步进化。文中以点的运动为变化基准,通过同时对图形上点的规则变化,完成整体图形的规则变化。图 1 为圆形到正六边形的相似变换过程。

## 3 基于目标驱动的产品概念方案

### 3.1 产品形态趋势定位

产品设计趋势研究能够对顾客审美需求的变化进行实时跟踪与动态预测,企业根据消费者审美口味的变化进行有针对性的产品设计,可以极大地辅助设计师设计出符合时代特征与设计发展趋势的产品方案,从而提高产品成功率与顾客满意度。

对于产品流行趋势的定位,可选择市场上较为成功的同类或异类产品为参考对象,进行基于感性意象的美度分析与流行趋势评判,借助流行设计元素与常规品牌产品设计元素间的融合与推演方法,筛选符合产品流行趋势且能融入原有产品形态的优秀设计进行形态特征提取,增强产品形态设计推敲阶段的客观性和科学性。

### 3.2 基于目标驱动的产品形态相似变换

基于目标驱动的产品形态相似变换首先需要对自己产品形态基因与目标产品形态进行特征提取,并将其转换为一种用数学描述的形态学矩阵。对应原有产品特征信息与目标产品特征信息,求取对应点之间的空间距离,通过步进原理结合计算机图形处理技术,实现点与点间的规则运动,从而进一步完成产品形态特征间的稳步变换。该过程产生的中间图形可以用矩阵表示为  $L_i = (l_{i1}, l_{i2}, l_{i3}, \dots, l_{in})^T$ , 其中  $L_i$  为第  $i$  个图形的矩阵描述,  $l_{im}$  为矩阵  $L_i$  中第  $m$  行第  $n$  列的对应元素, 其中  $i, m, n \in N^+$ 。

但对于复杂图形来说,人的机械操作不仅效率低下且准确度不高,因此借助图形处理与数据运算能力极其强大的计算机技术是图形相似变换的必然选择。本文利用 Python 语言进行计算机程序编写,并借助

多个开源的第三方库函数,如采用 xlrld 完成对数字图形从格式化的文件中读取,通过 matplotlib 对进化过程中产生的中间矩阵进行二次转换,并通过 tkinter 以图形的方式对中间矩阵进行展现。进化过程中,可以通过笔者开发的算法来完成对应形态矩阵间的规则进化,设计师可根据需求人为设置步进的跨度,从而产生稳步变化的若干中间形态,即构成产品初始形态方案集  $A$ 。

### 3.2.1 产品形态特征提取

利用图像处理软件对样本进行形态轮廓线描述,提取形态矢量图中大曲率处的点以及曲率正负符号发生改变处的点为特征点,采用 Hassan 四点 ternary 插值细分法,使描述样本形态的轮廓线更加光滑,设  $\{P_i^k\}_{j \in z}$  为第  $k(k \geq 0, k \in z)$  次细分后的特征点集,递归定义新特征点集  $\{P_i^{k+1}\}_{j \in z}$  如下:

$$\begin{cases} P_{3j}^{k+1} = P_j^k \\ P_{3j+1}^{k+1} = a_0 P_{j-1}^k + a_1 P_j^k + a_2 P_{j+1}^k + a_3 P_{j+2}^k \\ P_{3j+3}^{k+1} = a_3 P_{j-1}^k + a_2 P_j^k + a_1 P_{j+1}^k + a_0 P_{j+2}^k \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} a_0 = -\frac{1}{6}\mu - \frac{1}{18}, a_1 = \frac{1}{2}\mu - \frac{13}{18} \\ a_2 = -\frac{1}{2}\mu + \frac{7}{18}, a_3 = \frac{1}{6}\mu - \frac{1}{18} \end{cases} \quad (3)$$

式中:  $\mu$  为细分参数,顺次连接所有顶点可得到新多边形,迭代该过程即可得到描述样本二维形态的所有特征点。

### 3.2.2 形态变换算法实现

由于初末产品样本形态的矢量图形状大概率有较大差异,为避免形态进化过程中产生的中间形态出现自交、收缩、扭曲等情况,需要对形态进行中心点对齐、等比例缩放等处理。

首先,在  $x-y-z$  的空间直角坐标系中对初末产品形态轮廓线的特征点进行坐标转换,将原始形态与目标形态分别在平面  $z_0$  与平面  $z_1$  上表示,根据距离最近原则,完成初末形态轮廓线特征点对的一一对应,统一初末形态轮廓线特征点对的绕行方向,接着采用相邻轮廓线同步前进法进行形态的进化,最后,取不

同的  $x$  值 ( $x \in [0,1]$ ), 得到初始变换形态集合  $A$ 。

### 3.3 基于目标意象的产品形态多次迭代与方案筛选

选择目标产品,进行基于目标驱动的产品形态融合演变,让原有产品形态向目标产品形态进行基于相似度的连续步进推演。设计师借助自身的美学认知、产品的意象定位以及流行趋势的把控,对产品形态推演过程中产生的初始形态进行综合评判,选择其中有价值的方案展开设计深化。通常情况下,基于目标驱动的产品形态相似变换为单目标进化,该过程产生的中间形态较少且存在抄袭、侵权的风险,如若进化过程中产生的产品形态满意度不高,设计师可根据设计经验选择多个产品,进行多目标产品形态的二次迭代或多次迭代,直至产生符合目标定位的产品形态。

该程序产生的方案并非最终产品效果图,只为产品图形的基本轮廓,设计师需根据设计经验、产品品牌风格、设计定位、流行趋势预测等方面进行整体把控,完成方案设计与深化。基于该过程的方案深化优点在于设计师能够借助生成的产品形态进行有方向、有目标的设计,避免设计完全依据不确定性很强的灵感来完成,增强设计方案生成的科学性。同时该过程也不会太过于束缚,设计师依旧有较大的自由发挥的余地,利于产生感性与理性相结合的产品设计方案。

该方案的缺点在于该过程并非完全智能化,仍需要设计师依据经验来完成设计。当然,对两个图形的相似变换,目前也有许多学者在同步研究,包括形态的渐变、色彩的渐变等,已有相关成果发表,如动漫造型中人物面部表情的变换<sup>[12]</sup>、不同人脸的特征融合等,但在工业设计、产品设计领域,该方法并不完全适用。

## 4 实例研究

### 4.1 确定研究对象并构建目标感性意象产品集

以汽车前大灯为例,从汽车网站搜集车灯 85 款,经小组讨论法筛选出有代表性的车灯 21 款构成样本集  $B = \{b_1, b_2, b_3, \dots, b_{21}\}$  作为本文的研究对象,为避免其它因素对产品形态造成影响,笔者将此 21 款产品图片进行了灰度处理,见图 2。

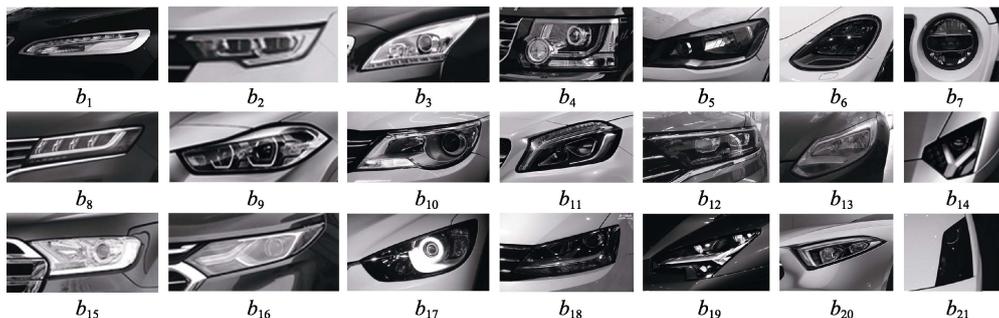


图2 车灯样本集

Fig.2 Headlight sample set

表 1 车灯感性意象词汇分类

Tab.1 Classification of Kansei imagery vocabulary for automobile headlights

第 1 类	第 2 类	第 3 类	第 4 类
流行的- 守旧的 1.440	阳刚的- 柔和的 1.462	大众化- 个性化 2.034	简单的- 复杂的 0.000
豪华的- 经济的 1.441	狂野的- 秀气的 1.768	稳重的- 活泼的 2.034	
	直线的- 曲线的 1.653		

针对汽车前大灯属性，搜集有代表性的感性意象词汇对 8 个组成指标集  $C=\{c_1, c_2, c_3, \dots, c_8\}$ ，通过相似度调查与 K-Means 聚类分析，将对应汽车前大灯属性的目标感性意象词汇对聚类为 4 类，取每类中距离聚类中心最近的词汇作为产品的代表性感性意象，分别为（流行的一守旧的、阳刚的一柔和的、大众化一个性化、简单的一复杂的），结果见表 1。

#### 4.2 提取原产品及目标意象产品形态特征

以样本大灯  $b_9$  为例，通过结合样本  $b_9$  汽车的品牌定位与目标感性意象进行分析，确定样本  $b_9$  汽车的形态变化趋势。经分析该车灯形态较为柔和，车企预调整其风格意象，让该车灯更具阳刚之气。以此为设计目标，进行展开研究。

利用 SD 调查问卷法，将样本集  $B$  中的 21 个样本结合指标集  $C$  聚类出的 4 组目标感性意象词汇对制

成五阶语义差分量表。发放调查问卷并得到有效问卷 20 份，通过数据分析，得到样本集  $B$  中每个样本的相应评分。经分析 21 个样本中，对应感性意象词汇“阳刚的”样本，评分较高的项为样本  $b_4, b_8, b_{12}, b_{14}, b_{21}$  五款车灯，因车灯  $b_{14}, b_{21}$  明显适合于跑车类型，故此处进行排除，而车灯  $b_4, b_8, b_{12}$  中  $b_4$  相应评分最高且更符合  $b_9$  系列车型的的品牌定位与形态变化趋势，因此选择样本  $b_4$  为驱动目标进行后续的形态相似变换。利用图像处理软件 CorelDRAW 对样本  $b_9, b_4$  进行形态轮廓线描述，见图 3。

#### 4.3 基于目标驱动的概念方案生成

以本文开发的算法为基础，结合目标产品形态特征以及自身产品形态特征，根据对应图形间特征点对的规则运动，生成若干中间方案，见图 4 和图 5。

#### 4.4 概念方案的优选与深化

通过人为评价，选取满意度较高的产品外形轮廓为备选方案，如若进化过程中产生的中间形态满意度都不高，则继续筛选目标产品，进行多目标产品形态的迭代融合，直至产生优秀方案为止。

依据备选方案的形态轮廓，结合产品整体风格意象，进行基于品牌风格的谱系化设计。以图 5 进化出的  $b_{9.4.2}$  和  $b_{9.4.4}$  轮廓为例展开设计，设计师通过结合进化过程中产生满意度较高的形态轮廓以及初始产品自身品牌基因与目标意象产品造型特征，进行基于目标驱动的产品形态融合设计，结果见图 6。

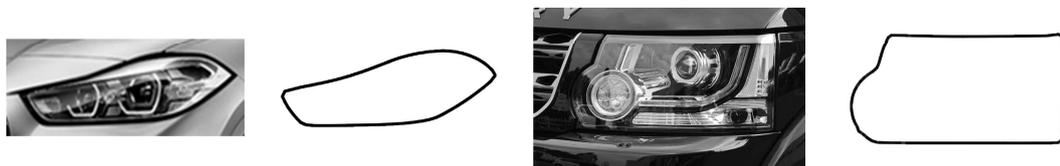


图 3 样本产品形态特征提取  
Fig.3 Sample product form feature extraction

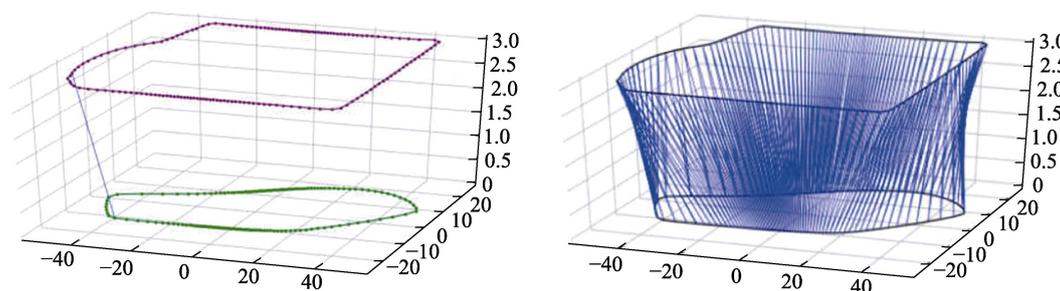


图 4 产品形态变换中间形态形成过程  
Fig.4 The intermediate morphogenesis process of product form transformation

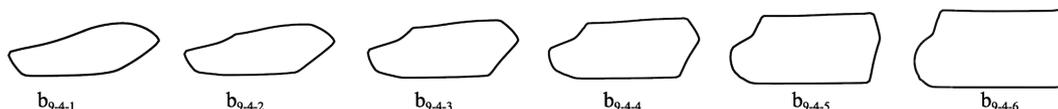


图 5 基于目标驱动的产品形态方案生成  
Fig.5 Goal-driven product form scheme generation

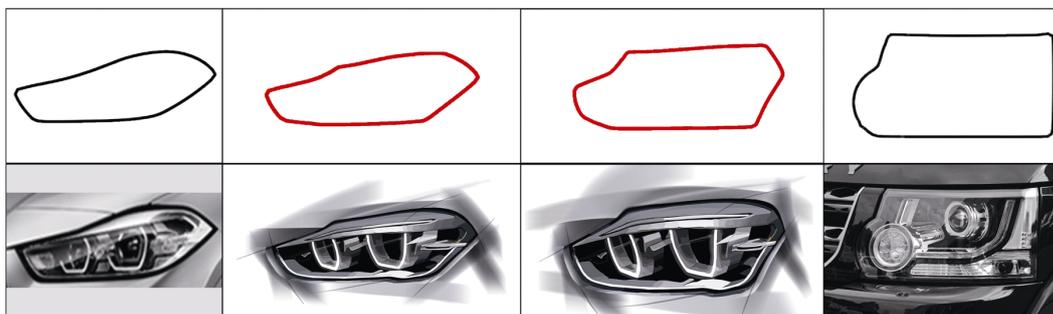


图6 基于品牌风格的谱系化设计  
Fig.6 Genealogical design based on brand style

## 5 结语

以图形变换与形态融合技术为基础,结合产品形态变化趋势与目标意象产品形态特征,迭代生成与目标意象相符合且与原有产品基因相关联的一系列初始设计方案,保持品牌延续性的同时又具前瞻性,在产品设计领域属于一种新的思路与方法。以汽车大灯为例展开研究,通过对汽车大灯初末形态进行特征提取,并结合细分算法与变形算法得到初末图形特征点之间的对应关系,利用本文提出的产品形态进化算法,生成若干初末形态间的过渡图形,通过人为评价,筛选出满意度较高的中间形态,并以此为基础进行深化设计,得到既与目标意象相符合又与原有产品基因相关联的设计方案,验证了该方法的可行性。不足之处在于,该方法只能辅助设计、不能独立完成设计,方案的优劣依然与设计师的水平有较大关联。笔者今后将继续开展产品形态设计方法研究,以便更全面地为产品造型设计提供科学的方法与理论依据。

### 参考文献:

- [1] 杜鹤民. 基于用户需求的产品形态设计研究[J]. 包装工程, 2018, 39(4): 104-107.  
DU He-min. Product Form Design Based on User Requirements[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(4): 104-107.
- [2] 苏建宁, 刘志君, 王鹏. 基于感性意象的产品族造型设计方法研究进展[J]. 机械设计, 2017(11): 112-116.  
SU Jian-ning, LIU Zhi-jun, WANG Peng. Review of Product Family Modeling Design Method Based on Sensual Image[J]. Journal of machine design, 2017(11): 112-116.
- [3] 徐晓莉, 金涛, 胡新明. 面向品牌视觉识别的电动自行车造型设计[J]. 机械设计, 2015(9): 126-128.  
XU Xiao-li, JIN Tao, HU Xin-ming. Modeling Design of Electric Bicycle Based on Brand Visual Identity[J]. Journal of Machine Design, 2015(9): 126-128.
- [4] 杨涛, 杨育, 张东东. 考虑客户需求偏好的产品创新概念设计方案生成[J]. 计算机集成制造系统, 2015, 21(4): 875-884.  
YANG Tao, YANG Yu, ZHANG Dong-dong. Generation of Product Innovation Conceptual Design Schemes for Considering the Demand Preferences of Customers[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2015, 21(4): 875-884.
- [5] 苏建宁, 王瑞红, 赵慧娟. 基于感性意象的产品造型优化设计[J]. 工程设计学报, 2015, 22(1): 35-41.  
SU Jian-ning, WANG Rui-hong, ZHAO Hui-juan. Optimization Design of Product Modeling Based on Kansei Image[J]. Chinese Journal of Engineering Design, 2015, 22(1): 35-41.
- [6] 李江泳. 基于品牌形象的液压挖掘机造型设计[J]. 机械设计与研究, 2014, 30(1): 65-67.  
LI Jiang-yong. Shape Design of Hydraulic Excavator Based on Brand Image[J]. Machine Design & Research, 2014, 30(1): 65-67.
- [7] SEVAUX M, MINEUR Y. A Curve-fitting Genetic Algorithm for a Styling Application[J]. European Journal of Operational Research, 2007, 179(3): 895-905.
- [8] HILLIER B. Space Is the Machine: a Configurational Theory of Architecture[J]. Journal of Urban Design, 2007(3): 333-335.
- [9] 陈满儒, 李阔, 王伟伟. 基于感性工学和形状文法的智能手表造型设计研究[J]. 机械设计与制造工程, 2016, 45(11): 82-85.  
CHEN Man-ru, LI Ge, WANG Wei-wei. Modeling Design of Smart Watches Based on Kansei Engineering and Shape Grammar[J]. Machine Design and Manufacturing Engineering, 2016, 45(11): 82-85.
- [10] 王伟伟, 杨延璞, 杨晓燕. 基于形状文法的产品形态创新设计研究与实践[J]. 图学学报, 2014, 35(1): 68-73.  
WANG Wei-wei, YANG Yan-pu, YANG Xiao-yan. Method of Product Form Design Based on Shape Grammar[J]. Journal of Graphics. 2014, 35(1): 68-73.
- [11] 王军锋. 基于遗传算法的产品造型设计阶梯求解法[J]. 图学学报, 2011, 32(1): 5-9.  
WANG Jun-feng. A Ladder-type Method Based Genetic Algorithm for Product Shape Design[J]. Journal of Graphics. 2011, 32(1): 5-9.
- [12] 张永. 动漫人物面部表情变形控制技术的研究及应用[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2008.  
ZHANG Yong. Research and Application of Facial Expression Deformation Control Technology for Cartoon Character[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2008.