

基于生物形态简化优化法的产品仿生设计研究

许永生, 赵秦琨, 支锦亦, 何静
(西南交通大学, 成都 611756)

摘要: **目的** 研究生物形态简化优化法在产品形态仿生设计中的应用, 为产品仿生设计提供理论指导与更多思路。**方法** 通过对设计案例与相关文献进行研究, 在对形态仿生设计的类型和设计思维的梳理与总结基础上, 构建了“从上至下”和“从下至上”这两种产品形态仿生设计的程序模型, 并且将这两种程序模型进行了差异的对比, 总结归纳出这两种程序模型的特征与适用情况。将产品形态仿生设计中的“简化优化法”分为“局部抽取法”和“整体抽取法”, 重点分析了产品形态设计中的简化优化方法。**结果** 通过莲蓬灯的仿生设计实践, 运用简化优化法设计, 强化了生物形态的典型特征, 削弱了次要结构的形态特征, 得到了形态特征鲜明的优化生物形态, 以此验证了形态优化方法的可行性与有效性。**结论** 将生物形态简化优化法应用于产品形态仿生设计中, 可以为设计提供有效的理论指导, 为设计师提供更多设计思路。

关键词: 产品设计; 仿生设计; 形态简化优化法; 仿生设计思维流程

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)18-0188-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.18.021

Product Bionic Design Based on Simplified Optimization Method of Biological Form

XU Yong-sheng, ZHAO Qin-kun, ZHI Jin-yi, HE Jing
(Southwest Jiaotong University, Chengdu 611756, China)

ABSTRACT: To study the application of biomorphic simplification and optimization method in product biomimetic design, and to provide theoretical guidance and more ideas for product biomimetic design. Based on the study of design cases and relevant literature, on the basis of combing and summarizing the types and design thinking of morphological bionic design, the program models of “top-down” and “bottom-up” bionics design were constructed, and the differences between the two program models were compared, the characteristics and application of the two program models were constructed. The “simplified optimization method” in product morphological bionic design was divided into “local extraction method” and “overall extraction method”, and the differences were compared between these two program models, and the characteristics and application of these two program models were summarized. The simplified optimization method in product form design was analyzed especially. Through the bionic design practice of lotus canopy lamp, the simplified optimization method was used to strengthen the typical characteristics of biological morphology, weaken the morphological characteristics of secondary structure, and obtained the optimized biological morphology with distinct morphological characteristics, which verified the feasibility and effectiveness of the morphological optimization method. The application of biomorphic simplification and optimization method in product biomimetic design can provide effective theoretical guidance for product biomimetic design and more design ideas for designers.

KEY WORDS: product design; bionic design; shape simplification optimization method; bionic design thinking process

从古至今, 仿生广泛地应用于产品形态创新设计中, 这是人类不断学习模拟大自然与生物所形成的客

观规律。1960年9月, 美国的斯蒂尔上校提出了仿生学的名称; 在20世纪, 由美国人 Raymond Loewy

收稿日期: 2021-04-09

作者简介: 许永生(1975—), 男, 四川人, 硕士, 西南交通大学副教授, 主要研究方向为工业设计。

和德国人 Luigi Koranis 等设计师设计的仿生设计作品引起广泛关注。不仅如此, 仿生设计在世界各个科学领域也受到了极大重视^[1]。《Journal of Bionic Engineering》《Bioinspiration and Biomimetics》等国际学术机构专门研究仿生设计问题。在这样的发展背景下, 对于仿生设计方法的探索成为设计师们新的课题。如何将自然生物形态进行优化, 促使生物因素与产品创新设计进行融合, 是设计师面对的一大难题。

1 产品形态仿生的概述

1.1 产品形态仿生的自然性

亚里士多德说过: “一切创造都先源于自然的模仿”。仿生设计是人类向自然学习和探索的本能表现。许多动物在人类面前都是老师。例如, 从蜘蛛那里学到编织和缝纫, 在燕子那里学习搭建房屋, 因鸟儿的叫声获得灵感来创造歌声^[2]; 半坡彩绘陶器的鱼形图案代表着人类追求自然图形之美的时期; 石器时代人类石器的发展, 从单一用途的石斧到多功能和精密的工具; 人类通过模仿动物的角和爪牙的功能, 发明了诸如由棍棒和石头制成的斧头等工具; 模仿鱼骨做成了骨针, 根据叶子的形状制作可以在水上行走的船; 通过模仿动物牙齿的形状制作飞镖, 早期人类的“仿生”杰作见图 1。在人类生存和发展的历史过程中, 人类积累了许多经典的仿生艺术形式。

仿生的理念体现在人与自然的和谐相处, 因此, 现代的设计师从大自然中探寻创新的设计素材, 利用各种科学技术与材料, 创造出富于自然气息和生命力的仿生产品, 让设计逐渐回归自然。

1.2 仿生设计的类型

产品仿生设计是研究自然界中各种生物、植物和动物体的外形特征及其象征语意, 并采用简化、抽象、隐喻、夸张等其他艺术造型方式使产品形态和仿生对象产生某种联系的一种设计手法^[3]。依据仿生对象特征的不同可以将仿生设计分为“形态仿生”“功能仿生”“色彩仿生”“材料仿生”“结构仿生”^[4]。其中形态仿生设计是较为普遍的一种产品仿生设计类型。依据仿生对象将产品形态仿生进行分类: 模仿人形、

模仿植物形态、模仿动物形态、模仿场景形式^[5]。除了对于自然生物的模仿以外, 仿生设计的仿生对象还可以是第二自然, 比如对建筑、机械和日用品等第二自然物形态模仿^[6]。

2 产品形态仿生的方法

在产品形态仿生设计的过程中, 将自然生物典型特征进行简化优化后, 与产品形态美感、相关产品的成型工艺与技术要求是否能够契合与匹配, 是设计师们面对的一大难题^[7]。产品形态仿生设计就是研究如何将自然生物运用简化优化的方法进行形态的抽象, 然后将其与产品外形相融合, 应用到产品外形设计之中, 使产品设计更生动、美观、有情趣, 并且适用于人们的生活^[8]。产品形态仿生学有较多设计方法, 比如简化优化法、隐喻提取法、具象法等。其中简化优化法最为常用。

2.1 简化优化法

简化是对形态进行归纳、概括、提炼、统一的一种造型设计方式^[9]。在产品形态仿生设计过程中, 生物形态优化的基础是生物形态的简化。生物往往有多个复杂的特征结构, 对生物形态的简化即是对生物结构特征的简化。生物形态经过简化后, 再进行优化处理。运用删减、弱化的方式, 来突出主要结构的形态特征, 运用简化优化法得到的生物形态具有仿生对象的主要结构, 可以体现仿生的显著特征。简化是对物体外形进行整体概括、局部提炼的一种方法。简化的美学特征重在形式上的平衡对称和条理秩序^[10]。

2.2 生物形态简化优化的方法

依据产品形态仿生的完整度来划分, 生物形态简化优化的方法分为局部抽取优化法和整体抽取优化法。

局部抽取优化法的仿生对象不是仿生生物的整体, 而是具有显著特征的仿生生物的局部。选取生物具有显著特征的局部并采取加强与削弱的艺术手法进行处理, 获得新的仿生形态用于产品形态的创新。对生物进行观察, 选择合适的仿生生物, 然后确定该生物简化的局部目标, 对局部目标进行仔细的观察与



图 1 早期人类的“仿生”杰作
Fig.1 “Bionic” masterpieces of early humans

感知,最后提炼简化目标。在进行局部抽取时,要注意主要和次要的区别,选取主要的形态结构。如甲壳虫汽车的外形设计,是将甲壳虫背部线条进行简化与优化,应用于汽车造型设计之中。局部抽取优化法的基本过程是:首先从生物原型资料中,选择出局部有代表性、特征突出且具有美学意义的形态,然后进行概括提炼和艺术加工,最后完成一个生物形态特征清晰,具有代表性的仿生形态。形态仿生设计的关键点是要抓住生物形态特有的生命张力美感,且注意生物形态与产品功能两者之间的相似性和耦合关系。仿生翠鸟嘴的列车头型设计见图2,从翠鸟的嘴壳上得到的灵感,日本500系列车的工程师们完成了子弹车头的优化设计^[11]。

整体抽取优化法是对仿生生物的整体形态进行观察、分析、归纳、提炼后,再采用加强与削弱的艺术加工手法,从而设计出新的产品形态。主要以自然生物整体形象为仿生对象,便于人们理解设计师的意图,对产品进行准确认知和接受。该方法多应用在抽象程度较高的抽象仿生过程中,表现出仿生动物的动态美或静态美。整体抽取优化法案例见图3。设计师将在水面蹦跳的鱼儿的整体形态进行优化而设计的鱼形;设计师将海豚在水面典型的飞跃姿态进行整体抽取优化,得出海豚身体运动产生的优美曲线,设计出了具有生命张力的仿生产品。

2.3 产品形态仿生设计的程序

根据不同出发点,仿生设计的思维过程可分为从

生物原型到仿生设计程序,以及从产品到生物设计过程这两种过程^[12]。从生物原型到仿生设计,该程序从上至下:设计师直接从自然中找到创造力的灵感,找到生物原型与某种产品之间的相似性和匹配关系,以完成产品形态的仿生设计。从上至下的设计程序,见图4。从生物原型到仿生设计原型分为5个阶段。第一个阶段,确立设计的概念。在此阶段中,先进行仿生素材的收集,接着根据认知心理学和产品语义学对仿生素材进行生物形态美感认知和形态语义认知,以确定仿生生物及生物功能特征,然后由生物功能去寻找与产品功能的相似性,以确定和限定仿生产品的设计概念。第二个阶段,生物形态的简化优化。对已确定的生物进行整体或局部形态优化,并通过耦合设计,获得产品形态仿生的备选方案。第三个阶段,方案的视觉化。在此阶段中,主要工作是将设计方案通过3D建模渲染和模型样机表达,达到美学评价的基本要求。并且运用定量的评价方法对备选方案进行评价,从中选出优选方案。第四和第五阶段的重点是该计划的产品化和市场化。

从下至上的设计程序,见图5。设计师直接从目标产品功能出发,将设计的问题融入自然生物中去思考,选择大自然中相匹配的生物原型,来完成产品形态的创新设计。此设计程序与从上至下的程序只是在第一个阶段的出发点相反,其余4个阶段的工作程序都一致,两种方法的关键点都是要找到产品与生物原型的相似性后,对生物原型进行简化优化后再进行耦合设计。



图2 仿生翠鸟嘴的列车头型设计
Fig.2 Train head design of bionic kingfisher beak

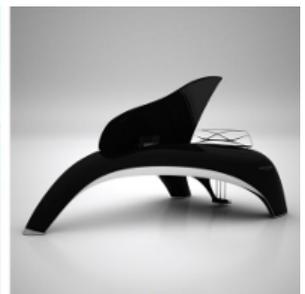


图3 整体抽取优化法案例
Fig.3 Case of overall extraction optimization method



图 4 从上至下的设计程序
Fig.4 Procedures from biological prototypes to bionic designs



图 5 从下至上的设计程序
Fig.5 Design procedures from product to biology

2.4 “从上至下”和“从下至上”设计程序的关系

“从上至下”和“从下至上”这两种设计程序存在着共同点与差异点。无论是从生物原型到仿生设计的“从上至下”设计程序还是从产品到生物学“从下至上”的设计程序，都是将生物原形通过形态简化优化后，得到产品的仿生形态；都是经由具象到抽象的提炼概括过程。在仿生设计过程中，这两种设计程序选择的偏向与设计师的思维方式有关。通过运用口语报告分析法的实验发现，倾向于感性思维方式的设计师偏向于选择“从上至下”的设计程序，是一个由高抽象生物原型到低抽象仿生产品的过程^[13]。“从上至下”的设计程序可以更加精准地把握产品仿生设计方向，可以更针对性地提取生物原型的主要特征，适用于形态特征明显的生物原型。倾向于理性思维方式的设计师的选择则与之相反，他们偏向于选择“从下至上”的设计程序，是一个由低抽象仿生产品到高抽象生物原型的过程。“从下至上”的设计程序可以更

加全面客观地把握生物原型的特征，为产品外形仿生设计提供更多思路，适用于结构复杂的产品。“从上至下”和“从下至上”设计程序的关系对比见表 1。

表 1 “从上至下”和“从下至上”设计程序的关系对比
Tab.1 Comparison of the relationship “top to bottom” and “bottom to top” design procedures

对比标准	从上至下	从下至上
设计流程	生物原型到产品	产品到生物原型
思维差异点	感性方式	理性
特征	精准、针对性强	全面客观、多元开放
适用情况	形态特征明显的生物原型仿生设计	结构复杂产品的仿生设计
相同点	都是运用简化优化法，得到产品的仿生形态，都是经由具象到抽象的提炼概括过程	

3 仿生设计实践

“Green Rhyme”的台灯设计过程见图6。首先，收集生物材料，从天然生物材料中挑选出11种动植物，共收集248种天然生物样本。基于形式美学和认知心理学，结合生物学知识，理性与感性的结合，着重于对生物学外观、象征意义和仿生应用方向的类比，选择了轻盈、优雅、充满绿意韵味的莲蓬及莲蓬杆作为台灯主要仿生对象，选择稳固、坚定、灵动、乖巧的壁虎脚掌作为台灯底座的仿生对象，将自然弯曲的线状莲蓬杆作为灯杆。在形态学仿生设计中，生物原型与特定产品之间的耦合关系决定了仿生设计是否成功^[14]。这里的耦合(Coupling)原是物理学中提出的概念，用来表达两个或多个系统之间的统一而多变的关系^[15]。莲花里的莲子形似LED灯珠；莲花的自然形态就像一盏灯罩；莲蓬杆极具台灯的立柱特征；壁虎脚掌具有稳固的特点，故选择壁虎的脚掌为仿生台灯的灯座的仿生对象。通过对上述生物原型的优化，得到仿生设计的备选方案。运用模糊综合评价法对备选设计方案从功能、形态、语义3个方面进行耦合度的综合评价，邀请20名专业设计师对备选方案打分，通过定量计算得到备选设计方案的耦合度评

分，最后从中筛选出得分最高的方案作为最终设计方案，完成仿生设计。生物原型与LED灯具的相似性见图7，显示了“Green Rhyme”台灯的生物形状优化过程见图8，台灯设计方案与仿生对象见图9。

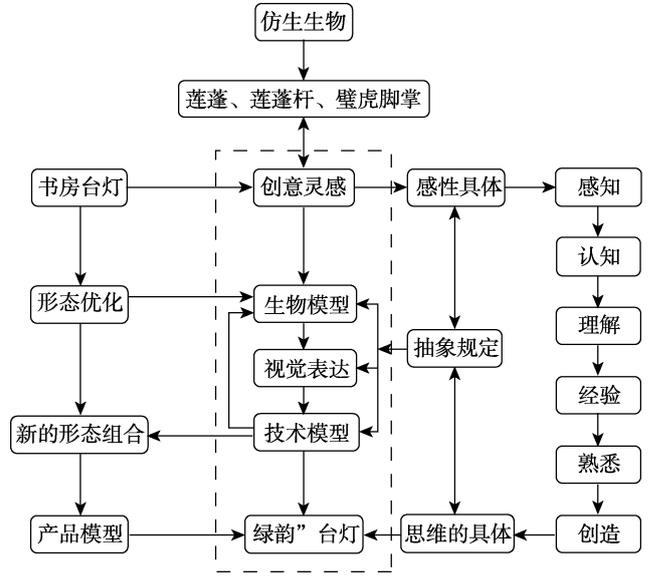


图6 台灯设计过程
Fig.6 Table lamp design process



图7 生物原型与LED灯具的相似性
Fig.7 Similarities between biological prototypes and LED lamps

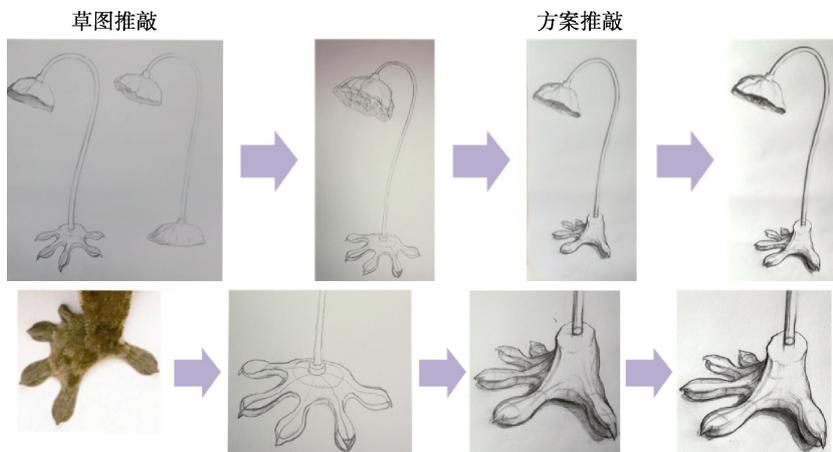


图8 显示了“Green Rhyme”台灯的生物形状优化过程
Fig.8 Shows the biological shape optimization process of the “Green Rhyme” table lamp



图 9 台灯设计方案与仿生对象
Fig.9 Table lamp design scheme and bionic objects

4 结语

产品形态仿生设计,是源于大自然探寻产品创新的灵感。笔者在对形态仿生设计的类型和设计思维的梳理与总结基础上,构建了从生物原型到仿生设计和从产品到生物学这两种产品形态仿生设计的程序模型,重点对简化优化方法进行分析,通过台灯仿生设计的实例,验证了简化优化法在产品形态仿生设计中应用的可行性和有效性。设计师在对产品进行形态仿生设计的过程中,须将感性和理性相结合,将认知心理学、形式美学和产品语义等知识应用于形态学仿生设计的实践中,更好地平衡人、产品、环境以及社会和自然的关系,从而创造出人与大自然和谐共生的绿色生态生活方式。

参考文献:

- [1] POHLG, NACHTIGALLW. Biomimetics for Architecture & Design: Nature-analogies-technology[M]. London: Springer, 2015.
- [2] 孟庆枢. 西方文论选(上卷)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [3] MENG Qing-shu. Selected Works on Western Literature (Volume 1) [M]. Beijing: Higher Education Press, 2002.
- [4] 徐伯初, 陆冀宁. 仿生设计概论[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2016.
- [5] XU Bo-chu, LU Ji-ning. Introduction to Bionic Design[M]. Chengdu: Southwest Jiaotong University Press, 2016.
- [6] 徐慧. 仿生设计在产品中的应用探究[J]. 包装工程, 2017, 38(14): 208-210.
- [7] XU Hui. Research on the Application of Bionic Design in Product Design[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(14): 208-210.
- [8] 代菊英. 产品设计中的仿生方法研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2007.
- [9] DAI Ju-ying. Research on Bionic Method in Product Design[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2007.
- [10] 许永生. 产品造型设计中仿生因素的研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2016.
- [11] XU Yong-sheng. Research on Bionic Factors in Product Design[D]. Chengdu: West Southern Jiaotong University, 2016.
- [12] 欧细凡, 周志勇, 刘博敏, 等. 基于眼动追踪技术的产品形态仿生设计研究[J]. 包装工程, 2018, 39(22): 144-150.
- [13] OU Xi-fan, ZHOU Zhi-yong, LIU Bo-min, et al. Research on Bionic Design of Product Form Based on Eye Tracking Technology[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(22): 144-150.
- [14] 许永生. 论产品设计中的人性化[J]. 装饰, 2008(2): 132-133.
- [15] XU Yong-sheng. On Humanization in Product Design [J]. Zhuangshi, 2008(2): 132-133.
- [16] (美)鲁道夫·阿恩海姆. 艺术与视知觉[M]. 滕守尧, 朱疆源, 译. 成都: 四川人民出版社, 1998.
- [17] (United States) Rudolf Arnheim. Art and Visual Perception[M]. Translated by Teng Shouyao, Zhu Jiangyuan. Chengdu: Sichuan People's Publishing House, 1998.
- [18] 柳冠中. 中国工业设计协会十年优秀论文选[C]. 北京: 中国轻工业出版社, 2012.
- [19] LIU Guan-zhong. Selected Papers of China Industrial Design Association for Ten Years[C]. Beijing: China Light Industry Press, 2012.
- [20] 张祥泉. 产品形态仿生设计中的生物形态简化研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2006.
- [21] ZHANG Xiang-quan. Simplification of Biological Forms in Bionic Design of Product Forms[D]. Changsha: Hunan University, 2006.
- [22] 罗仕鉴, 张宇飞, 边泽, 等. 产品外形仿生设计研究现状与进展[J]. 机械工程学报, 2018, 54(21): 138-155.
- [23] LUO Shi-jian, ZHANG Yu-fei, BIAN Ze, et al. Research Status and Progress of Bionic Design of Product Shape[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2018, 54(21): 138-155.
- [24] 谭浩, 赵江洪, 王巍, 等. 产品造型设计思维模型与应用[J]. 机械工程学报, 2006(1): 98-102.
- [25] TAN Hao, ZHAO Jiang-hong, WANG Wei, et al. Thinking Model of Product Modeling Design and Its Application[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2006(1): 98-102.
- [26] Ai J Y, Feng L, Dong X W, et al. Exploring Coupling Coordination between Urbanization and Ecosystem Quality (1985-2010): a Case Study from Lianyungang City, China[J]. Frontiers of Earth Science, 2016, 10(3): 527-545.
- [27] 张阿维, 高小针, 陈彦嵩, 等. 基于认知耦合的产品造型仿生设计研究[J]. 机械设计, 2018, 35(6): 120-124.
- [28] ZHANG A-wei, GAO Xiao-zhen, CHEN Yan-hao, et al. Research on Bionic Design of Product Modeling Based on Cognitive Coupling[J]. Mechanical Design, 2018, 35(6): 120-124.