

# 基于逆向工程的明代圈椅模型重构与设计创新

申明倩

(江苏理工学院 艺术设计学院, 常州 213001)

**摘要:** **目的** 通过数字化模型的重构降低圈椅三维建模的难度, 缩短以明代圈椅为原型进行设计创新的周期。**方法** 基于逆向工程技术、三维激光扫描仪和 Imageware 反求软件, 获取圈椅的三维数字化点云数据, 借助 Pro/Engineer 软件进行结构优化设计, 形成圈椅的数字化原型。对圈椅的椅圈、靠背等零部件进行创新设计, 通过组合重构的方式形成全新的圈椅形态。**结论** 借助逆向工程对传统家具进行设计创新不仅有益于明代圈椅的传承, 并在减低设计创新成本, 缩短设计周期方面也具有的重要意义。

**关键词:** 逆向工程; 模型重建; Imageware; Pro/Engineer; 圈椅

**中图分类号:** TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)20-0235-07

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.20.039

## Model Reconstruction and Innovation Design of Ancient Round-backed Armchair Based on Reverse Engineering

SHEN Ming-qian

(Jiangsu University of Technology, College of Art & Design, Changzhou 213001, China)

**ABSTRACT:** The work aims to reduce the difficulty in constructing 3D chair through the reconstruction of digital model, and shorten the design innovation cycle of the Ming Dynasty chair. Based on the reverse engineering technology, the 3D laser scanner and the Imageware software, the arm-chair's 3D digital data was obtained, and the structure was optimized with Pro/Engineer, and the digital prototype of arm-chair was completed. The innovation design focused on the modelling change of circle and backrest, and the new form of chair was combined by reconstructing the parts. This research is not only beneficial to the inheritance of Chinese classical furniture, but also has important significance in reducing the cost of design innovation and shortening the design cycle.

**KEY WORDS:** reverse engineering; model reconstruction; imageware; Pro/E; arm-chair

明代圈椅造型优美、使用舒适, 其蕴含的东方韵律、简约之美和儒家思想使其成为中国最具民族特色的家具代表作之一<sup>[1]</sup>。然而大量调查发现, 由于历史的变迁和时间的推移, 圈椅的劣化是不可避免的<sup>[2]</sup>。如何让这些历史沉淀的艺术产物继续传承下去, 是十分重要的研究课题。逆向工程技术给研究提供了更多的选择和可能。逆向工程也称反求工程, 是针对现有产品, 通过 3D 数字化测量手段及三维几何建模方法, 将原有实物(产品原型或油泥模型)转化为计算机三维数字模型<sup>[3]</sup>, 之后对模型进行设计和改进, 也称之为

为设计的再设计<sup>[4]</sup>。本文利用逆向工程技术进行明代圈椅的数字化模型重构, 为设计传承和创新提供思路。

### 1 明代圈椅的形貌分析

圈椅是指搭脑向两侧延伸, 与扶手顺势连接成圈形的椅子。从造型上看, 大曲率的圆弧形椅圈外扩内敛, 在自然飘逸之中进行尺寸的收分变化。明代黄花梨圈椅见图 1, 其椅圈线条饱满, 在视觉上舒展、流

收稿日期: 2018-07-19

基金项目: 教育部人文社会科学研究青年基金项目(17YJC76006); 江苏高校哲学社会科学研究基金项目(2017SJB1125)

作者简介: 申明倩(1978—), 女, 河南人, 博士, 江苏理工学院艺术设计学院副教授, 米兰理工大学访问学者, 主要研究方向为家具设计创新、家具先进制造技术。

畅,在婉转有度中彰显线条的灵动、优美。靠背板微微后弯,充满弹力,开光起凸阳纹透雕,写意如意纹,联帮棍弯如弓弦,和椅圈、椅背、鹅脖相得益彰,使得整个圈椅沉静古朴<sup>[5]</sup>。据《中国花梨家具图考》图纸显示,该椅圈搭脑部分直径约为33~35 mm,在曲线顺势滑至前方的过程中,直径逐渐缩小,与联帮棍连接部分的直径约为30~31 mm,而扶手端部的直径则为27~28 mm<sup>[6]</sup>。从比例上看,大多明代圈椅整体轮廓的宽高之比为1:1.422,侧面高宽比为1:1.622,接近黄金分割点<sup>[7]</sup>。这种完美的比例、优美的线形所塑造出的经典形貌,是古代匠人在圈椅制作过程中对整体和局部反复推敲、修正的结果,是中国古代家具匠师留给我们的宝贵经验和财富。但是,圈椅在尺寸上(包括椅圈、鹅脖、联帮棍等)的丰富多变,尤其是椅圈这种轴线为空间曲线,断面均匀连续递变的实体,给设计师在三维建模时带来一定的困难,且可能在比例关系上失真,为明代圈椅的传承、创新形成障碍。而逆向工程技术可以对遗存的圈椅实物原型进行三维扫描,在此基础上进行数字化模型重构,既可以保持明代圈椅的比例、尺寸及经典部件造型,又为设计创新提供建模原型,提高设计效率,降低创新难度。



图1 明代黄花梨圈椅

Fig.1 Pyrus pyrifolia armchair of Ming Dynasty

## 2 基于逆向工程技术获取明代圈椅的数字化原型

### 2.1 逆向工程的流程

逆向工程主要是指从产品的实物样件或模型反求几何模型的过程,它最初是来自从油泥模型到产品

实物的设计过程,随着三维测量、快速成型以及计算机技术的发展,迅速拓展到产品虚拟设计、虚拟制造环节中<sup>[8]</sup>。在本研究中,先由高速三维激光扫描仪对已有的样品或模型进行准确、高速的扫描,得到三维轮廓数据。然后配合逆向软件进行曲面重构,并对重构的曲面进行在线精度分析、评价构造效果,最终生成IGES或STL数据,据此可以快速进行设计创新。

为了更好地阐述产品逆向设计的流程、方法以及在设计过程中Imageware和Pro/E软件的具体应用,针对古代圈椅,从数据采集、处理、数字化模型重建到最后的设计创新,系统全面地进行研究。

### 2.2 产品数据采集

针对圈椅实物原型,在逆向设计时首先要进行数据采集,数据采集的设备通常包括三坐标测量仪CMMS、激光扫描仪、结构光源转换仪或者X射线断层成像等方法。本文采用的设备为三坐标测量仪,测量的方法为非接触式,即测量设备的探头与实物表面不接触。因为接触式测量主要是设备探头直接接触探产品模型的表面,通过机械结构和电子系统获得实物表面的坐标信息,具有较高的准确性和可靠性,但测量头易磨损,易受周围环境的影响,而且测量效率低。而非接触式探头大多是接收产品模型表面的反射光或折射光,进一步获得实物特征数据信息<sup>[9]</sup>。这种测量方式速度快,测量的结果为离散的点云,见图2。

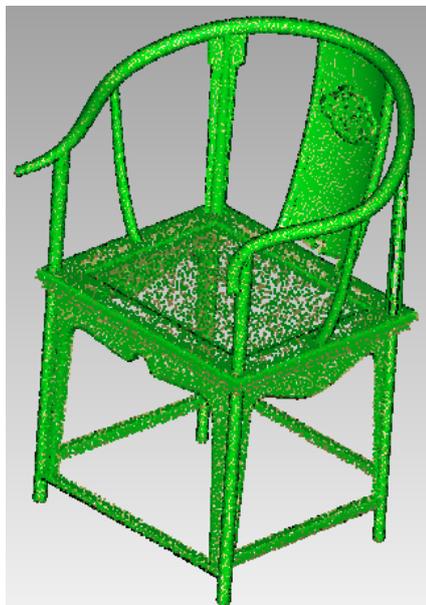


图2 圈椅的点云

Fig.2 Point-cloud of armchair

### 2.3 数据处理与曲面重构

在采用三坐标测量仪对明代圈椅进行扫描后,得到的数据异常庞大,这些测量数据通常被认作是点

云，初始点云缺乏相关拓扑信息并且含有大量的杂点、噪声点，点云本身也不像 3D 软件里的模型那样直观，因此在曲面重构前，需要对点云进行一些必要的处理。比如对多视点云的对齐、点云过滤、数据精简和点云分块等，以获得满意的数据，为曲面重构过程做好准备<sup>[10]</sup>。本文在数据处理时采用了著名的逆向工程软件 Imageware，该软件具有强大的点云处理能力、曲面编辑能力和 A 级曲面的构建能力，目前被广泛应用于汽车、航空、航天、消费家电、模具、计算机零部件等设计与制造领域<sup>[11]</sup>。

1) 点云处理。点云的初步处理包括修改点云的显示模式，降低点云数据量，可视化点云等。在导入点云后，发现点云包含 3 142 800 个点，点云的最大跨度以及在空间 X, Y, Z 坐标的分布跨度信息，见图 3。从图 3 可以看出点云所包含的点数据过大，需要减少点云量。点云数据的简化可通过在距离采样中输入合适的距离公差来完成。本次数据处理的步骤主要是：噪声处理→多视角合并→填充→修正法线等，

主要是对各扫描点进行处理，使其能光滑连接，正确再现圈椅原貌。

2) 对齐点云。由于在扫描实物时，要从不同的角度扫描几次才能完成，需要把不同扫描坐标系的点合并起来，让对象能够完全的校准和定位，得到实物表面较为完整的点云。首先将点云放置在一个比较好的位置上，因为扫描得到的点云中扶手前后的两个边缘不重合，所以应调整视图位置，使得圈椅扶手两边的边缘线重合在一起，并通过点云构建曲线，使边界圆拟合（见图 4），并通过一些操作完成点云定位。

3) 曲线拟合。对圈椅点云（见图 5）进行隐藏操作，保留点云圈（见图 6），选择由点云构建曲线，按公差拟合出一条曲线，再用同样的方法拟合出其他所有曲线。通过曲线上点的显示，发现起点排列不均匀，后通过创建直线，改变曲线的起始点，使所有曲线上的起始点都顺着曲线重新排列整齐，见图 7。同时，通过重新构建参数化，使曲线中所有节点重新定义后均匀分布，并构建曲线，见图 8。



图 3 初始点云信息  
Fig.3 Initial point cloud information



图 4 边界拟合  
Fig.4 Fitting boundary

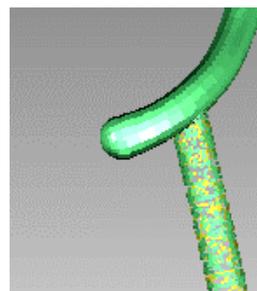


图 5 初始点云  
Fig.5 Initial point cloud

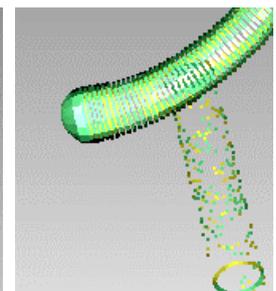


图 6 截取点云圈  
Fig.6 Intercept point cloud ring

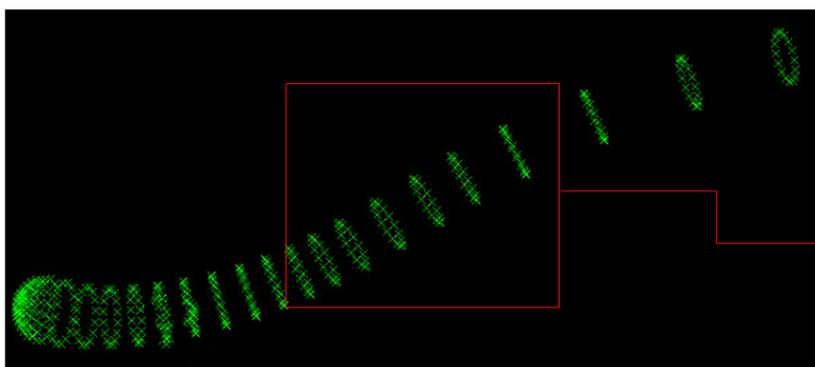


图 7 处理后的点云  
Fig.7 Point cloud after processing

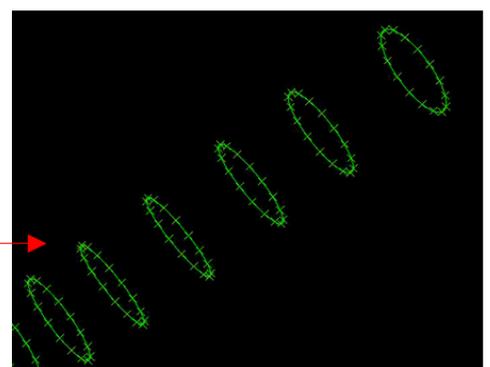


图 8 构建曲线  
Fig.8 Creating curves

4) 曲面重构。在三维扫描时，两个曲面相交的地方如圆角过渡区，由于点云个数有限，不可能像实体造型那样全部表达清楚，而是采集了部分点，这些点在曲面拟合时会导致连接的变形和曲率的突变<sup>[12]</sup>。借助 B 样条曲线、NURBS 曲线和 Bezier 等参数化曲线进行修复和重构，改善模型的质量，有利于使构建

的模型支持后续的使用<sup>[13]</sup>。圈椅主要包括扶手、腿和座面等组成，可分别来进行构建，同样在曲面重构过程中存在上述情况。以扶手为例，主要包括扶手中心轴线和扶手形状曲线，扶手形状曲线通过重构点云圈来构建，扶手中心轴线主要通过参数曲线重构来实现，重构后的曲率检测见图 9。可以看出曲率不够均

匀,但变化平缓。通过各个方向(U、V)不同阶数的曲面重构进行模型的重塑<sup>[14]</sup>,借助Imageware软件的曲线延伸、修剪,拟合自由曲面等功能,对扶手进行曲面重构和圆润,保证偏差计算分析数据在误差范围之内。最后通过圆角面的制作,隐藏掉所有曲线之后,重构出扶手的曲面。初步建立曲面,并进行曲面检测,可以看出曲面高斯值1.0667,曲面仍需进一步优化,见图10。显示所有曲面,底座大面以及椅腿部分曲面完成,见图11。可以发现曲面构造后的椅子上曲面是连接的,但仍然有洞,需要修补。这些修补可以在CADdoctor中进行修补和缝合,也可以导入Pro/E软件进行处理,本文采用后者。

### 2.4 利用 Pro/Engineer 软件进行结构优化设计

Imageware 软件因为具有强大的点云处理能力、曲面编辑能力而用于逆向设计中前期的曲面重构。当用 Imageware 软件对圈椅的点云进行处理、构建出 Pro/E 建模所需要的特征线和曲面之后,由 Pro/E 软件接受来自 Imageware 软件 IGS 格式的曲面<sup>[15]</sup>,并利用 Pro/E 的典型造型工具如曲面填充来修补破洞、优化曲面。如扶手位置,用 Pro/E 的曲面造型功能优化后,可以发现曲面高斯值下降 1 个数量级,见图 12。同时曲面合并之后进行曲面加厚使之成为实体,渲染后的效果见图 13,在完成数字化模型重建的同时,生成 NC 代码,以便后期加工。



图 11 曲面重构  
Fig.11 Surface reconstruction

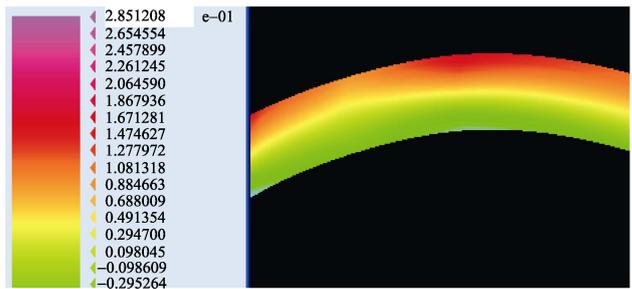


图 12 优化后的高斯云图  
Fig.12 Gauss cloud image after optimization

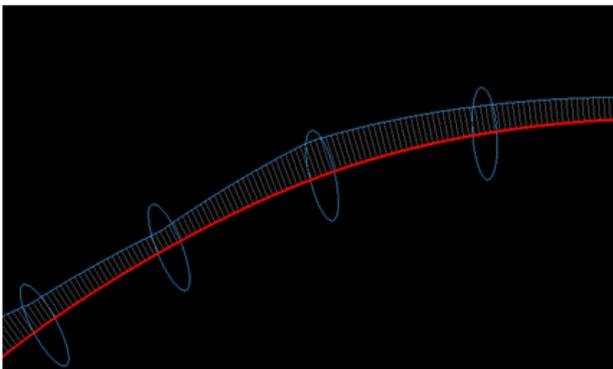


图 9 扶手轴线曲率检测  
Fig.9 Curvature measurement of arm axis

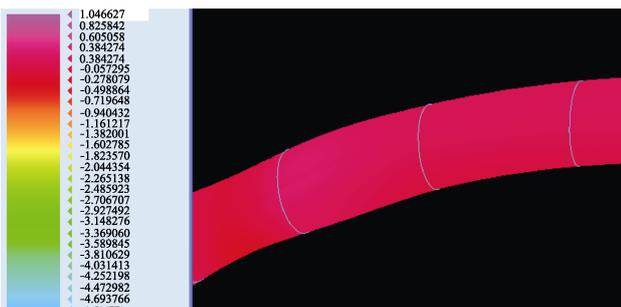


图 10 扶手曲面检测  
Fig.10 Measurement of arm curved surface

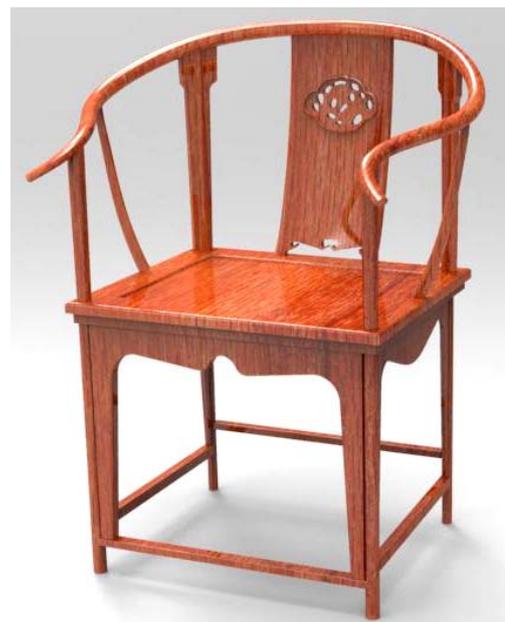


图 13 曲面实体化后的渲染效果  
Fig.13 Rendering effect after Surface entity

### 3 基于圈椅数字化原型的设计创新实践

在现代圈椅的创新设计过程中，必须要建立计算机三维模型<sup>[16]</sup>，而对于圈椅大曲率的椅圈以及椅圈直径的收分变化，设计师凭空建立数字化模型需要耗费大量的时间，而通过逆向工程技术可以快速获得 CAD 数字化模型，在此基础上设计师根据自身的设计经验进行设计创新实践。在通过逆向工程获取数字化模型后，根据需要调用局部或整体模型进行设计创新，具体方法如下。

#### 3.1 零件创新重构法

在明代圈椅中存在一些形态经典的零部件，如椅圈、靠背板、壶门圈口、联帮棍、鹅脖等，通过逆向反求技术获得这些零部件的数字化原型，并基于现代审美观念、生活形态及设计经验进行形态创新，形成

系列化的典型零部件库，见图 14。本文以其中的椅圈、靠背为例进行了设计创新实践。在椅圈创新时打破传统椅圈连续、固定的模式，在保持视觉形态神似和功能空间不变的前提下，在原始椅圈数字模型的基础上，采用分解、变形的手法衍生出 3 种新的椅圈形态，如图 14，不仅继承了原有椅圈的形貌特点，又有了适当的变形和突破。而靠背板在垂直方向上仍在原有的曲线上进行了适当的变化，为使用者提供良好的坐感体验，在水平方向上通过比例缩放、特征解构、尺寸变异等方法进行设计创新，使其给人以新颖、灵动的视觉体验。最后对零部件进行组合重构，形成一系列全新的圈椅形态，部分效果如图 14。由此可见，利用逆向工程技术建立关于明代圈椅的典型零件库，为后续的设计创新提供三维建模基础，为现代圈椅的设计效率提升提供方法。



图 14 零件创新重构思路  
Fig.14 Process of part innovation reconstruction

#### 3.2 原型增删延展法

利用逆向工程技术获取圈椅数字模型之后，可以在保持明代圈椅设计神韵的同时结合现代审美喜好，对圈椅设计要素进行适当的删减或增加，延展出“神似而形异”的新式圈椅。以图 14 中的数字模型为基础，简化了

一些部件特征，如后腿上截采用简洁圆柱形，同时在靠背板、壶门圈口、纹饰等细节上都进行了一定的简化，使其更适应现代居室环境和人们的审美需求<sup>[17]</sup>，见图 15。本文采用逆向工程的方法进行明代圈椅的设计创新尝试，为传统家具的传承和建模技术进行抛砖引玉。



图 15 圈椅的创新设计  
Fig.15 Innovation design of armchair

#### 4 结语

“越是民族的，越是世界的”，针对中国古典家具尤其是含有复杂曲面形零部件的家具进行创新设计时，可借助逆向工程技术快速形成数字化原型，提高设计效率、降低设计成本。本文以明代圈椅为例，采用逆向设计的理念与方法，从三坐标测量得到的点云为出发点，借助逆向工程软件 Imageware 进行去噪处理、曲线处理、光顺处理、求交处理等得到曲线模型，然后曲面处理、拟合处理，进而得到 A 级曲面。将曲面模型导入三维建模软件 Pro/Engineer 中进行结构优化以及实体化处理，在此基础上运用零件创新重构法进行圈椅的创新设计实践，该研究对中国古典家具的保护、修复以及传承创新来说是一次有益的探索，具有重要的意义。

#### 参考文献：

- [1] 苗延荣, 徐振立. 明代圈椅的璀璨在当今设计中的传承与创新[J]. 包装工程, 2012, 33(16): 118—120.  
MIAO Yan-rong, XU Zhen-li. Inheritance and Innovation of the Brightness of Round-backed Armchair in Ming Dynasty in the Contemporary Design[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(16): 118—120.
- [2] 张荣强. 逆向工程技术在古典家具保护方面的应用与研究[J]. 机械设计, 2013, 30(1): 101—103.  
ZHANG Rong-qiang. Application and Study on Protecting Classical Furniture by Reverse Engineering Technology[J]. Journal of Machine Design, 2013, 30(1): 101—103.
- [3] 吕国刚. 反求工程测量技术简述[J]. 机械研究与应用, 2006(8): 7—8.  
LYU Guo-gang. The Measuring Technology Introduction of Reverse Engineering[J]. Mechanical Research & Application, 2006(8): 7—8.
- [4] 张淑芳, 曹巨江. 基于逆向反求方法的儿童车逆向设计研究[J]. 包装工程, 2012, 33(6): 49—52.  
ZHANG Shu-fang, CAO Ju-jiang. Design on Children Car Based on Reverse Engineering Technology[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(6): 49—52.
- [5] 何晓道. 江南明清椅子[M]. 南京: 江苏美术出版社, 2013.  
HE Xiao-dao. Chairs in Jiangnan of Ming and Qing Dynasties[M]. Nanjing: Jiangsu Fine Art Press, 2013.
- [6] 王洁, 吴智慧, 李兴畅. 曲线形构件在传统红木家具中的应用研究[J]. 家具, 2014, 35(1): 29—34.  
WANG Jie, WU Zhi-hui, LI Xing-chang. Application of Curved Components in Traditional Hongmu Furniture[J]. Furniture, 2014, 35(1): 29—34.
- [7] 陈哲. 古代圈椅的艺术分析和设计借鉴[J]. 包装工程, 2011, 32(6): 44—46.  
CHEN Zhe. Aesthetic Analysis and Design Reference of Ancient Round-backed Armchair[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(6): 44—46.
- [8] 叶德辉. 基于逆向工程技术的改良性产品设计[J]. 制造业自动化, 2011(12): 128—130.  
YE De-hui. Improved Product Design Based on Reverse Engineering[J]. Manufacturing Automation, 2011(12): 128—130.
- [9] 邓佳文, 张政. 基于逆向工程与快速原型的三维模型重构[J]. 塑料工业, 2015, 43(5): 35—38.  
DENG Jia-wen, ZHANG Zheng. Three-dimensional Geometrical Modeling Reconstruction Based on Reverse Engineering and Rapid Prototyping Technology[J]. China Plastics Industry, 2015, 43(5): 35—38.
- [10] LIU Xue-mei, ZHANG Shu-sheng, BAI Xiao-liang. A Modified SOFM Method for Point Cloud Segmentation in Reverse Engineering[J]. CADDM, 2005, 15(2): 33—37.
- [11] 莫海军, 周佳军. 基于 Imageware 的曲面重构研究[J]. 现代制造工程, 2014(9): 21—25.  
MO Hai-jun, ZHOU Jia-jun. Study of Surface Reconstruction Based on Imageware[J]. Modern Manufacturing Engineering, 2014(9): 21—25.
- [12] 王超, 孙殿柱. 基于三角 Bézier 曲面的三角网格模型光顺算法[J]. 机械设计与制造, 2012(10): 12—14.  
WANG Chao, SUN Dian-zhu. Smoothing Algorithm Based on Bézier Surface for Triangular Mesh Surface[J]. Machinery Design & Manufacture, 2012(10): 12—14.
- [13] 刘静娜. 逆向设计中基于散乱点的模型重构与误差分析[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2010.  
LIU Jing-na. Model Reconstruction and Error Analysis Based on Scattered Points in Reverse Design[D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2010.
- [14] 吴禄慎, 高红卫, 孟凡文. NURBS 曲面重构与点云-曲面误差分析[J]. 激光与红外, 2010, 40(10): 1131—1135.  
WU Lu-shen, GAO Hong-wei, MENG Fan-wen. NURBS Surface Reconstruction and Point Cloud-surface Error

- Analysis[J]. *Laser & Nfrared*, 2010, 40(10): 1131—1135.
- [15] 王春香, 李双青. 基于 Imageware 和 Pro/E 的齿轮逆向工程模型重建技术研究[J]. *机械传动*, 2010, 34(8): 10—12.
- WANG Chun-xiang, LI Shuang-qing. Research on Model Reconstruction of Gear Reverse Engineering Based on Imageware and Pro/E[J]. *Journal of Mechanical Transmission*, 2010, 34(8): 10—12.
- [16] 蔡克中, 钟砚涛. 现代产品设计中逆向工程技术的应用[J]. *包装工程*, 2006, 27(3): 156—158.
- CAI Ke-zhong, ZHONG Yan-tao. Discussion on the Application of Reverse Engineering Technology in Modern Product Design[J]. *Packaging Engineering*, 2006, 27(3): 156—158.
- [17] 李若辉, 关惠元. 智能化时代基于技术密集度差异的企业设计创新路径[J]. *科技进步与对策*, 2017, 34(19): 107—113.
- LI Ruo-hui, GUAN Hui-yuan. A Study on Enterprises' Design Innovation Path Based on the Difference of Technology Intensity in the Coming Intelligent Era[J]. *Science & Technology Progress and Policy*, 2017, 34(19): 107—113.