

# 基于三维数据扫描的传统硬木家具的现代设计方法

毛红<sup>1</sup>, 杨道陵<sup>2</sup>, 胡玉田<sup>1</sup>

(1.华南农业大学珠江学院, 广州 510900; 2.华南农业大学, 广州 510642)

**摘要:** **目的** 在实际研究项目中以仪器设备采集的点云数据为基础, 进而在计算机软件系统中进行硬木家具的三维数字化修正和完整构建, 探索广式硬木家具数字化的实际应用方法和前瞻思路。**方法** 以手工制作和雕刻家具原型为起点, 对家具实物进行三维点云数据扫描, 然后在 Alias 中检测家具的 NURBS 曲面模型, 对原始曲面数据进行数字化修复, 再将构建好的家具局部模型三维数据进行 CNC 实物加工, 以验证此研究成果的科学性。**结论** 通过对广式硬木家具数字化构建方法的科学研究和实际验证, 证明了此逻辑和操作方法的可行性, 有效促进了广式硬木家具的制造方式进化, 为硬木家具制造模式的转型升级, 提供了科学的基础研究支持。

**关键词:** 传统硬木家具; 三维扫描; 家具设计

**中图分类号:** TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)08-0212-05

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.08.035

## Modern Design Method of Traditional Hardwood Furniture Based on 3D Data Scanning

MAO Hong<sup>1</sup>, YANG Dao-ling<sup>2</sup>, HU Yu-tian<sup>1</sup>

(1.College of Zhujiang, South China Agricultural University, Guangzhou 510900, China;

2.South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

**ABSTRACT:** This paper aims to complete three-dimensional digital correction and complete construction of hardwood furniture in the computer software system, and explore the practical application method and prospective thinking of the digitization of Guangdong-style hardwood furniture based on the point cloud data collected by instrument and equipment in the actual research project. With the manual production and engraving furniture prototype as the starting point, three-dimensional point cloud data scanning was carried out on the furniture, and then the NURBS surface model of the furniture was detected to digitally repair the original surface data, and then have CNC physical processing on three-dimensional data for good local model of furniture to verify the scientific nature of the research results. Through the scientific research and practical verification of the digital construction method of Guangdong-style hardwood furniture, the feasibility of this logic and operation method is proved. It effectively promotes the evolution of the manufacturing mode of Guangdong-style hardwood furniture and integration of the future digital industrial manufacturing system, and provides scientific basic research support for the transformation and upgrading of hardwood furniture manufacturing mode.

**KEY WORDS:** tradition hardwood furniture; 3D scanning; furniture design

广东省是国内最大的家具出产地, 凭借珠三角地理位置的优势, 家具产值占全国的 1/3, 赢得了世界

的美誉。由于广东省地域和文化的特殊性, 这里的生活习俗、思维方式和审美等也不相同, 广东省民俗文

收稿日期: 2019-01-08

基金项目: 2015 年广东高校省级重点平台和重大科研项目(青年创新类项目)“广东省民俗文化在现代家具设计中的应用研究”(2015GXJK204)

作者简介: 毛红(1978—), 女, 湖南人, 华南农业大学珠江学院讲师, 主要研究方向为产品设计、家具设计。

通信作者: 杨道陵(1972—), 男, 湖南人, 华南农业大学副教授, 主要研究方向为交通工具设计、家具设计

化在家具中的应用的典型代表之一,就是传统的广式硬木家具。自清代中期以后,传统广式硬木家具逐渐形成一种风格潮流,主要特点是融合了西方巴洛克与洛可可的建筑艺术风格<sup>[1]</sup>,常用西式花纹和兽脚进行装饰,家具使用充裕的昂贵硬木材料,雕刻面积巨大,石材等镶嵌考究,雕刻深浚,工艺精湛,磨工细腻,有较高的文化艺术和历史研究价值。随着社会经济的发展和生产制造方式的变革,当代广式硬木家具的生产制造方式也发生了根本变化,由传统的工场手工业模式逐步过渡到机器大工业生产模式<sup>[2]</sup>。当前,相对落后的生产模式,已不适应消费者对批量化、高品质、品控精准化的硬木家具逐步增长的需求,广式家具的数字化构建及其融入未来工业制造体系的重要性日益凸显,对于当代广式硬木家具数字化构建和生产制造的探索成为必然。

## 1 硬木家具数字化构建的方式探索

现代硬木家具工业生产流程概述:方案设计及绘制图纸,传统的绘制方式为手绘+CAD,随着工业制造体系 4.0 的发展,使用高性能的三维软件绘制设计方案并应用于制造将成为趋势;针对不同的家具部位选择相应的木材;根据需求将原材料加工成不同的基本尺寸,便于下一步精确加工;开料之后,对基材进行干燥处理,使之符合硬木加工工艺的基本需求;对于硬木家具的不同部分,进行材料搭配和选择;对材

料进行加工,制造榫卯结构,不使用金属钉和胶;对相应的家具部位进行雕刻和艺术处理,满足审美需求;将不同结构的硬木零部件进行组装和拼接,形成家具的整体;对于装配完成的家具,进行打磨和砂光处理;家具表面上漆或蜡,从而进行保护。从工业生产流程的整体框架可以看出,除了选材和工艺的考究以外,未来硬木家具工业生产的核心就是设计信息的数据化,从技术平台看,只有生成高品质的三维数据,在数控设备的加工下,才能保证批量生产出相同高品质的硬木家具。

### 1.1 原型制作

以工业 4.0 的要求而言,为了保证批量生产的高品质,未来家具制造的第一步就是原型制作<sup>[3]</sup>。对于家具原型的制作,虽然计算机软件可以完成此功能,但是首先通过传统高超手工进行制作和雕刻是必不可少的步骤,手工原型通常使用软木雕刻,但设计师也可以尝试使用工业油泥塑型和雕刻,以提高塑造能力和效率,在手工打造出高品质的原型后,使用高精度三维扫描仪对原型进行三维数据扫描,使手工原型转变成三维计算机数据,这样,除了可以保证数据与手工原型的绝对一致外,更为重要的是,可以在此三维数据的基础上,对不完美之处进行三维数据的编辑,或增加或减少造型元素甚至修改三维方案,使设计趋向完美。手工制作硬木家具原型见图 1。



图 1 手工制作硬木家具原型  
Fig.1 Prototypes of handcrafted hardwood furniture

### 1.2 三维扫描和点云数据获取

对硬木家具原型进行三维数据扫描前,首先对其表面进行处理,保证无透明材料、无高强度反光和无黑色强吸光材料等;然后要在被扫描家具的原型表面按规定间距粘贴标计点,连接仪器和调整光栅器精度,三维扫描仪的光栅照射到被扫描的物体表面后,要逐步转动家具原型使被扫描面逐次变化、逐步覆盖,双 CCD 镜头采集的数据部分逐次叠加、逐步合成完整的原始点云数据,这个过程耗时耗力,常因为

物体曲面复杂或死角过多而导致扫描角度或面积问题要反复重新扫描,但可以保证获取高精度的点云数据,从实际操作中积累的经验来看,采用手持式采集头设备更为简易和高效;三维点云数据获取后将被导入 Geomagic 等工程软件里进行数据精细处理<sup>[4]</sup>,主要是修补标计点信息、局部模糊、细微空洞等缺陷,对于不同性质的问题,采用相应的软件功能参数予以调整和修复,同时不影响原始的真实点云数据信息,见图 2。



图 2 三维扫描家具原型  
Fig.2 Prototypes of furniture under three-dimensional scanning

### 1.3 三维曲面检测

对于三维曲面的构建和检测,使用 Rhino 软件能满足基本要求,但采用更高效和优势更明显的 Alias Studio 软件是首选。启动 Alias Studio 软件,选择进入曲面设计模块,将经过 Geomagic 软件处理过的点云模型以 iges 格式文件导入,把显示要求设置为 0.01 mm 和精确显示模式,在 shade 模式下可以看到家具原型的 NURBS 模型。三维曲面检测见图 3,以此家具原型的椅脚为例,如图 3a,在 shade 模式下可见其

造型和局部的破裂缺陷,如图 3b—c,在斑马纹评估工具中显示出曲面变化总体协调、局部存在明显扭曲变化,在高斯曲率工具中显示出大面积红色和紫色<sup>[5]</sup>,反映出曲面大范围凸起和凹陷,且呈螺旋状变化,绿色面积少,反映出平缓曲面范围很小,缺陷处呈现紫色凹陷图像,如图 3f。使用不同的曲面连续性工具对曲面展开检测和观察,可以直观地观察曲面特征,全面掌握曲面的原始信息,为下一步精确评估做好准备。

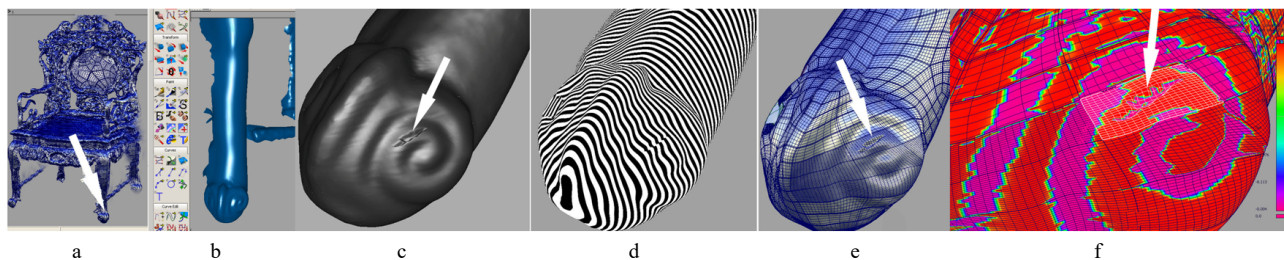


图 3 三维曲面检测

Fig.3 Three-dimensional surface detection

曲率连续性检测见图 4,在 Alias 中进一步检查家具模型曲面曲率的连续性<sup>[6]</sup>,打开精梳线(绿线)特征显示,图 4d 中 V 方向的精梳线变化幅度整体上保持一致,但在局部出现了明显突变,反映出此处的转折较明显。仔细观察 V 方向的参数发现: max R 为-0.99, min R 为 0.27,精梳线曲率的极大值与极小值有明显差距,反映出纵轴方向上的起伏较明显;而 U 方向 max R 为-0.54, min R 为 0.65,精梳线曲

率的极大值与极小值也有明显差距,反映出纵轴方向上的起伏也较明显;从局部精梳线(绿线)特征来看,曲率极大值和曲率极大值呈现出螺旋形状的变化,与此局部的形状特征相同,其局部存在小面积转折异常,经辨认为刀具留下的刻痕,属于手工雕刻过程中产生的损坏,在实际中无法修复的问题可以通过 Alias 软件进行局部曲面重新构建,从而得到完美的数据。

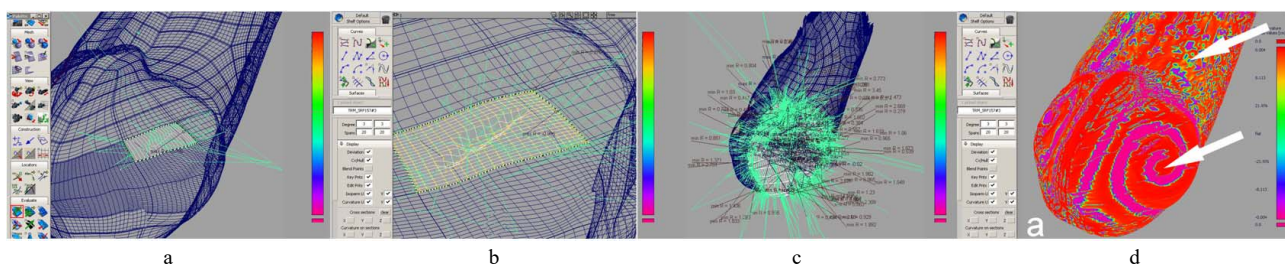


图 4 曲率连续性检测

Fig.4 Curvature continuity detection

### 1.4 三维曲面构建

三维曲面修复见图 5,三维曲面构建的第一部分是修补损坏的位置,如图 5a,在曲面出现异常损坏的位置仔细观察,在 Alias 软件中使用曲面连续检查工具分析其影响范围,以曲率数值变化平缓处为参考边界,连同损坏曲面处一起切割并删除,用 N-sided surface 曲面构建工具在切除后形成的矩形空缺处创建新的曲面;曲面连续性依次分为 G0、G1、G2、G3、G4 共 5 个级别, G0 指边界有接触, G1 指相切连续, G2 指曲率连续, G3 指曲率变化率的连续, G4 指曲率变化率的变化率可控连续,可以看到原始边界处的曲面连续级别为 G2 级,如图 5a 红线处,因

此,新补建的曲面边界连续要达到 G2 级;启动曲率连续性更为舒展的边界曲面工具,把曲率连续性参数由"free"变化为"Curvature",曲面边界相邻处的曲率连续级别设置为 G2 级,与原始参数协调一致。在新建的"N-sided surface"曲面处,启动曲率检测工具,观察 U 方向和 V 方向的精梳线(绿线)变化趋势及参数,同时激活斑马纹评估工具和高斯曲率工具<sup>[7-8]</sup>,总体评估此处修改曲面的连续状态和造型特征,如图 5d—e, V 方向 max R 为-0.99, min R 为 0.27, U 方向 max R 为-0.54、-0.57、-0.65、-0.43 等, min R 为 0.65、0.66、0.57、0.65 等,参数及造型风格与原始曲面边界保持高度一致。

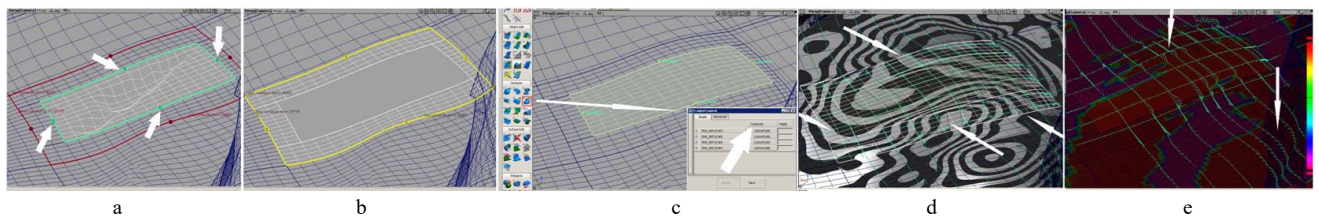


图 5 三维曲面修复  
Fig.5 Repair of three-dimensional surface

三维曲面构建见图 6，三维构建的第二部分工作就是要求设计人员在原点云数据的基础上，构建出符合设计方案要求的曲面。以项目组人员采集的家具原型局部点云数据为例，在 Alias 软件中导入点云数据，如图 6a，关键的一步是在 Alias 软件中选取点云模型后使用"cross section"工具（参数设置为 xyz 三向），以生成与原始点云数据一致的密集特征数据线，如图 6b 的绿色线群。在密集的特征线显示模式下，根据曲面构建工具要求，仔细选择并观察关键特征线的走向和造型特征，为构建曲面做准备。然后，使用 new curve（edit point）曲线构建工具（设置 curve degree 为 3 阶），将 CV 线外编辑点捕捉到相应的原始特征线上，在特征线基础上重新绘制出 CV 曲线，如图 6c，

在不同视图中反复调节 CV 线外编辑点，调整曲线走向和形状，对比并使之符合设计原型的要求，绘制完成符合要求的新特征线后，接下来便是曲面构建的工作。这部分工作属于设计专业人员必备的软件操作技能，要点是灵活运用轨道曲面、边界曲面、网格曲面等工具，对于不同结构和部位展开建模工作，如图 6d—e。仔细评估曲面相接处的 G0、G1、G2、G3、G4 级别连续性要求，使建成的曲面组符合设计和技术的要求，对于新建的曲面造型，要及时打开原点云数据，使用检查工具对距离、角度、弧度、曲率强度等数据进行对比，综合评估造型、功能、设计是否符合原始意图，甚至更优于原点云数据，如图 6f，通过这种基本方法，可以逐步构建完成所有的模型和细节。

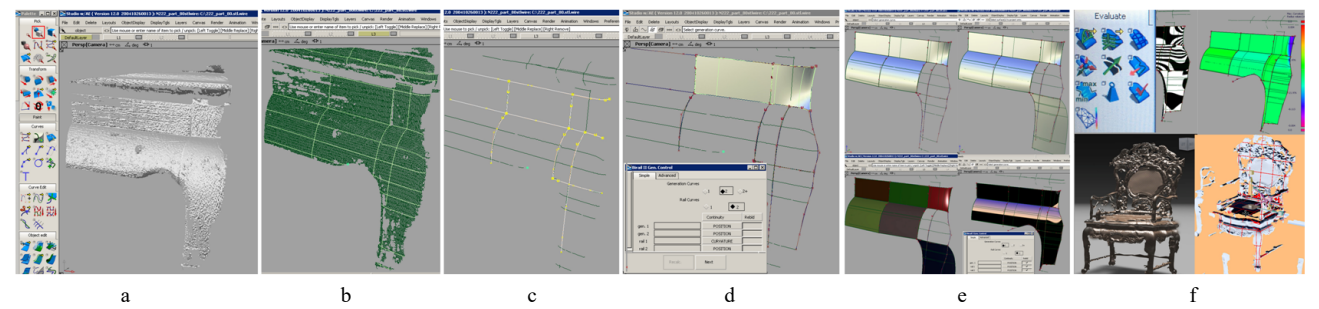


图 6 三维曲面构建  
Fig.6 Construction of three-dimensional surface

2 CNC 数控加工及应用

数控加工是未来家具批量生产的趋势，高精度的五轴 CNC 机床可将复杂三维数据加工成实际产品<sup>[9]</sup>，在 Alias 软件中截取“狮子戏球”部分的 NURBS 三维模型，将此数据转换为 STL 格式，以方便 CNC 数控机床读取。在此案例中，使用了三轴 CNC 雕刻机进行验证加工，见图 7，此三轴 CNC 雕刻机使用了 Type3

控制软件。“狮子戏球”的 STL 文件在软件的“加工平台”上被显示出来，通过软件功能创建刀具加工模型的走刀路径，如图 7b 显示出的路径线。为了保证加工过程中的精度，要根据被加工硬木材料的被切削性能设置进刀参数，其关键点有：总体加工深度参数设置、CNC 初始进刀位置设定、粗刀运行数量、步进加工精度设置（可精确到-0.01 mm）；如图 7c，CNC 数控雕刻机对“狮子戏球”的 STL 文件进行铣削加

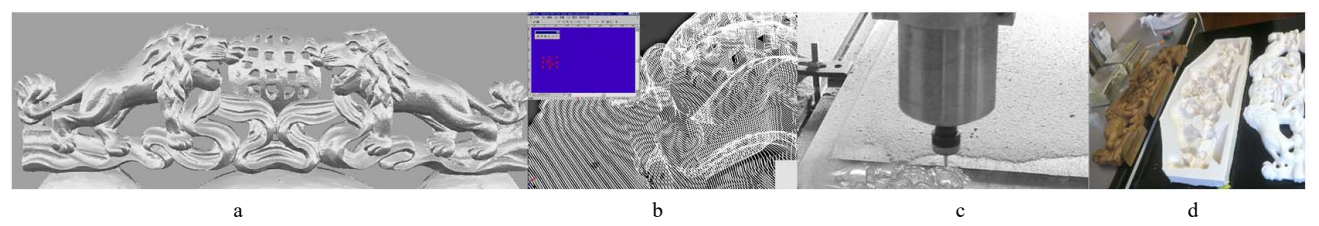


图 7 CNC 数控加工  
Fig.7 CNC machining

工。考虑到未来产品材料和成型的多元化,项目组人员还对被加工出来的“狮子戏球”硬木零件翻制了硅胶模具,并尝试用 AB 树脂批量快速复制模型,这类树脂模型可更广泛地运用于相关的商业展示、道具制作等领域<sup>[10]</sup>。由此可见,三维数据能在未来发展出更广阔的应用市场。

### 3 结语

随着社会经济的发展和生产制造方式的变革,当代广式硬木家具的生产制造方式发生了根本变化,随着硬木家具消费市场需求的逐步增长,对批量化、高品质、品控精准化的要求迫切,对于当代广式硬木家具数字化构建和生产制造的探索成为必然,广式硬木家具数字化构建的目标是使其融入未来的工业制造体系,对推动硬木家具产业升级有着深远的意义。

#### 参考文献:

- [1] 吕莲. 实木家具[M]. 南京: 东南大学出版社, 2013.  
LYU Lian. Wood Furniture[M]. Nanjing: Publishing House of Southeast University, 2013.
- [2] 舒杏. 珠三角地区制造业产业竞争力实证研究[D]. 成都: 西南财经大学, 2012.  
SHU Xing. The Pearl River Delta Manufacturing Industry Competitiveness Empirical Research[J]. Chengdu: Southwestern University of Finance and Economics, 2012.
- [3] 李锐. 模块组合家具设计及销售模式的研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2010.  
LI Rui. Research on Modules Furniture Design and Sales Mode[D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2012.
- [4] 张舜德, 朱东坡, 卢秉恒. 反求工程中三维几何形状测量及数据预处理[J]. 机电工程技术, 2001, 30(1): 7—10.  
ZHANG Shun-de, ZHU Dong-po, LU Bing-heng. The Measurement and Data Pre-processing of 3D Geometry in Reverse Engineering[J]. Electrical Engineering Technology, 2001, 30(1): 7—10.
- [5] 杨雁翔. 联合分析中的统计检验方法探讨[D]. 兰州: 兰州商学院, 2010.  
YANG Yan-xiang. Study of Statistical Test Application of the Conjoint Analysis[D]. Lanzhou: Lanzhou Business College, 2010.
- [6] 李承远. 逆向工程核心原理[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2014.  
LI Cheng-yuan. The Core Principle of Reverse Engineering[M]. Beijing: Posts & Telecom Press, 2014.
- [7] 金涛, 童水光. 逆向工程技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.  
JIN Tao, TONG Shui-guang. Reverse Engineering[M]. Beijing: China Machine Press, 2003.
- [8] 陈一民, 李启明, 马德宜, 等. 增强虚拟现实技术研究及其应用[J]. 上海大学学报, 2011(4): 412—427.  
CHEN Yi-min, LI Qi-ming, MA De-yi, et al. Enhanced Virtual Reality Technology and Its Application[J]. Journal of Shanghai University, 2011(4): 412—427.
- [9] 利普森, 库曼. 3D 打印: 从想象到现实[M]. 北京: 中信出版社, 2013.  
LIPSON H, KURMAN M. Fabricated: the New World of 3D Printing[M]. Beijing: China CITIC Press, 2013.
- [10] 朱上上, 罗仕鉴, 赵江洪. 基于人机工程的数控机床造型意象尺度研究[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2000, 12(11): 873—875.  
ZHU Shang-shang, LUO Shi-jian, ZHAO Jiang-hong. Preliminary Study on Form Image Scale of Numerical Controlled Machine Tool Based on Human Factors[J]. Journal of Computer-Aided Design and Computer Graphics, 2000, 12(11): 873—875.