

doi: 10.3969/j.issn.1007-855x.2011.02.005

大型珠宝产品的虚拟制造研究

余明辉¹ 季乐逸²

(1. 广州番禺职业技术学院, 广州 511483; 2. 上海交通大学 国家模具 CAD 工程研究中心, 上海 200030)

摘要: 大型珠宝产品正式生产加工前都有一个试制过程, 传统制造技术是通过多次实样模型试制来演示产品的结构和外观, 该方法存在试制费用高、研制时间长、制造成本缺乏可预测性、经验是产品成功的关键因素等不足. 针对上述问题, 本文将虚拟设计虚拟制造方法引入大型珠宝制造中, 运用 UG 软件构建大型珠宝产品的三维立体模型, 通过计算贵金属体积和宝石镶嵌层表面积预测产品制造成本, 解决了大型珠宝产品成本估算的难题. 设计了实样模型与虚拟制造相结合的试制方案, 实现预测产品的结构、外观效果、制造成本和可制造性, 优化了试制过程, 降低了制造成本, 极大地提高了产前准备的效率.

关键词: 虚拟制造; 大型珠宝产品; 虚拟成本估算

中图分类号: TS93 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2011)02-0020-06

Study on Virtual Manufacturing of Large Scale Jewelry Products

YU Ming-hui¹, JI Le-yi²

(1. Guangzhou Panyu Polytechnic, Guangzhou 511483, China; 2. National Engineering Research Center of Die & Mold CAD, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

Abstract: There is a trial process before formally producing a large jewelry. The traditional manufacturing technology demonstrates the structure and appearance of products through many actual sample models, which brings some shortcoming such as the high cost, time consuming, unpredictable cost and experience dependent. To solve the above problems, the virtual manufacturing and designing method is introduced to a large jewelry manufacturing. The UG software is used to reconstruct the three dimensional model, the manufacturing cost is predicted by calculating the volume of precious metals and surface area of precious stones inlaid floor. A trial scheme combining a physical model and virtual manufacturing is then designed, which can predict the structure, appearance effectiveness, manufacturing cost and manufacturability of a jewel product, as well as optimize trial process, reduce manufacturing cost and greatly improve the efficiency of pre-prepared.

Key words: virtual manufacturing; large-scale jewelry product; virtual cost estimating

0 引言

大型珠宝产品是不同于普通珠宝首饰的一类特殊珠宝产品, 一般以具有历史文化意义的著名建筑物为对象, 具有极高的观赏性和收藏价值, 有些甚至成为国宝级的珍品. 它的生产数量通常是 1 件, 最多几件. 大型珠宝产品投资巨大, 产品结构复杂且体形较大, 使用的材料品种多且价格昂贵, 加工工艺复杂, 主要由首饰工匠手工打造. 大型珠宝产品传统的制造过程是在正式制造前需要多种形式的实样模型试制, 这要花费大量的人力、物力, 延长了生产周期. 同时, 在研制过程中, 设计人员对产品装配和生产工艺考虑不足, 加工工匠不了解产品的设计思想现象时有发生, 使得设计产品的工艺性和制造性较差, 特别是材

收稿日期: 2010-12-09. 基金项目: 广州番禺区科技攻关计划项目(2008-Z-48-1); 上海市中小企业创新基金(1001H133800).

作者简介: 余明辉(1965-), 男, 大学本科, 副教授. 主要研究方向: 企业信息化应用. E-mail: yumh@gzyp.edu.cn

料成本不能进行有效的预测。

虚拟制造技术已广泛应用于航空、航天、船舶、汽车、机械加工等制造业^[1-5],它改变了设计、试制、修改设计、规模生产的传统制造模式,在产品真正制造之前,在虚拟制造环境中生成软产品原型(Soft Prototype)代替传统的硬样品(Hard Prototype)进行试验,对其性能和可制造性进行预测和评价,从而缩短产品的设计与制造周期,降低产品的开发成本^[6]。

目前,国内外珠宝首饰生产加工行业,主要使用三维绘图软件进行计算机首饰辅助设计,较少采用虚拟制造技术用于生产加工过程。这些软件有JewelCAD、Rhino、Matrix、JewelSmith、ArtCAM、3Design等,它们具备常用的宝石、配件等快速建模工具,有逼真的效果渲染功能以及动画展示,建模精度是以保证快速成形需求等特点。Rhino等软件还可以将设计的三维文件转成线条图形和二维图形,也可以输入雕刻机、喷蜡机等数控成型机中加工或成型制造出来,适用于批量化生产加工的珠宝首饰产品。这些专业的珠宝首饰设计软件造型功能强,分析计算能力弱。

UG是虚拟制造的建模软件,它针对用户的产品设计和加工过程提供了数字化的造型和验证手段,具有较强的造型设计、分析计算、虚拟装配等功能。基于大型珠宝结构复杂、制造成本高、试制周期长等特点,本文在大型珠宝产品开发周期中运用UG进行虚拟设计和虚拟制造,采用数字化仿真和实样模型相结合的试制方案,预测产品的结构、外观效果、制造成本和可制造性。

1 大型珠宝产品传统生产加工过程及存在的问题

珠宝首饰产品具有批量化制造和离散化制造两种生产模式,大型珠宝属于后一种模式。以《珠宝天坛祈年殿》为例介绍其生产加工过程及存在的问题。该产品由黄云光与王永庆策划、中国工艺美术大师王树文设计并监制、广州番禺云光首饰有限公司生产制造。它由超过128 kg的白银、20多万粒钻石、宝石以及大量黄金、铂金为原材料制作,重达2.5 t,按实物的40:1的比例制造。制造中采用了中国传统金银细金工艺与涵盖了现代首饰制作工艺相结合的技术。

1.1 传统生产加工过程

大型珠宝产品生产加工需经历设计、实样模型试制和生产加工三个阶段。

1) 设计阶段。

首先对原样(图1)进行数据采集、结构分析,然后用JewelCAD进行图样设计。

2) 实样模型试制阶段。

大型珠宝产品投资巨大、使用材料昂贵、生产加工过程的非可逆性等特点,决定了产品生产加工必须一次成功,因此生产加工之前,必须经过多次实样模型试制,以进行结构演示、应力分析和外观效果评价。珠宝天坛祈年殿经历了木质(图2)、铜质、银质等不同材质实样模型试制。

3) 生产加工阶段。

经过实样模型试制,取得相关制作经验和数据后,再进入正式生产加工环节,在此阶段先后有100多位工匠参与制作,从设计到最后完工,历经4年时间。《珠宝天坛祈年殿》(图3)以动态



图1 天坛祈年殿原型
Fig.1 The prototype of the Hall of Prayer for Good Harvest



图2 天坛祈年殿木雕实样模型
Fig.2 The actual wood model of the Hall of Prayer for Good Harvest

展示方式,充分展示了祈年殿的内外结构,观众不仅可以看到中国传统的花丝金属细工工艺制作的宝座和屏风,还可以看到还原真实的瓦、门、窗等部件.这个产品既体现了东方文化,又融合了现代文明,视觉效果和艺术水准堪称当今世界罕见的稀世珍品.

1.2 存在的问题

1) 模型试制成本高,周期长

经历了不同材质的实样模型试制,实样模型造价高,增加了产品的生产加工成本,实样模型与实际产品的拟合度相对较低,试制时间长,占产品生产周期的 3/5.

2) 成本和可制造性的不可预测性

实样模型主要试验产品的结构和外观轮廓,表面镶嵌的钻石、宝石、黄金、铂金等贵重材料只能进行粗略的成本估算;大型珠宝重量大,需要结构精妙的动态展示,实样模型难以完成结构应力分析.总体来说,成本和可制造性在制造过程中缺乏可预测性.

3) 经验是产品成功与否的关键

凝结工艺美术大师、珠宝权威专家、顶级珠宝工匠心血的《珠宝天坛祈年殿》最终取得了巨大成功,成为当今世界罕见的稀世珍品.2007 年获中国工艺美术珍品称号,2008 年获中国传统工艺美术精品大展金奖,被邀请到 2010 年上海世博会等重要场所进行展出.但产品的成功主要依赖于大师、专家、工匠的经验.

2 大型珠宝产品虚拟制造

中山纪念堂(图 4)是全国重点文物保护单位,由我国著名建筑师吕彦直先生设计,1929 年动工,1931 年完成,是广州最具标志性的建筑物之一.中山纪念堂是一座富丽堂皇的八角形建筑,外形庄严宏伟,具有浓厚的民族特色,设计师巧妙运用了建筑力学的结构原理,采用钢架和钢筋混凝土混合结构,跨度达 71 m 的建筑空间内不设一柱,更显气势恢宏.

用独具魅力的珠宝产品形式展示中山纪念堂这座富丽堂皇的八角形建筑,展现其气势恢宏的外观,演绎其精妙的建筑结构和丰富的文化内涵.

以中山纪念堂为对象,采用虚拟制造技术,将与产品制造相关的各种过程与技术集成在三维仿真的数字模型之上,借助建模与仿真技术及时地模拟出产品未来制造过程乃至产品全生命周期的各种活动对产品的影响,预测、检测、评价产品性能和产品的可制造性等等.

2.1 产品建模

通过查阅资料、现场拍摄和测量获取中山纪念堂外观、结构的数据,使用 UG NX5.0 软件将整体建筑的原型进行三维重建,建筑物高 47 m,按 1:30 比例构建为坐高 1.57 m 的模型.

1) 画基座草图

首先在 UG 中建立一张草图,在草图平面内将中山纪念堂的俯视外轮廓画好,从草图中拉伸出几何体,构成主体建筑的外墙体,之后将在其上添加屋檐以及镂空形成内部空间.

2) 屋顶制作

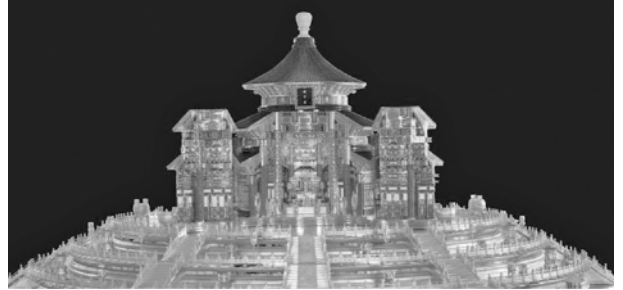


图 3 动态展示的珠宝天坛祈年殿
Fig.3 The dynamic jewelry display of the Hall of Prayer for Good Harvest



图 4 中山纪念堂主楼正面
Fig.4 The front of Dr. Sun Yat-sen's Memorial Hall

在之前拉伸体的基础上建立基准平面绘制屋檐外型的曲线,使用这些曲线建立曲面.图 5 为屋顶正面特写.

首先在照片中将顶面的曲线描点出来,将这些点以样条曲线拟合.用这些拟合曲线做扫掠,扫掠出若干具有三条边界线的曲面片,形成屋顶曲面.

3) 屋檐

在有屋檐的地方建立一个屋檐截面矩形,沿着屋顶曲线的方向作脊线扫掠,形成屋檐曲面.

4) 屋顶球体

在八角楼楼顶顶部中心有一些凸台组合和一个包金球顶,用凸台各个高度与八角形边长两种参数的方式勾勒出来,在凸台上将包金圆球的外边曲线回旋形成圆顶曲面.

5) 八角楼层

在八角楼层中引入打开机制,首先将八角楼层内部镂空,将外围窗户的位置空出来并组装进活动窗户组件.内部考虑放置灯光与幻灯片布条,反映中山纪念堂与孙中山先生的历史历程.或者考虑构建内部支架,通过窗户可以观察到这些精妙结构.

6) 主楼内部

在主楼拉伸体中通过布尔运算将内部空间镂空出来.由于门口预备加入打开的机制,所以可以看到内部空间而没有设置墙壁(图 6).

2.2 虚拟成本估算

产品三维立体模型是大型珠宝生产前,各个组成部分实体对象模型的集合,描述的信息有大型珠宝的结构、产品形状特征等静态信息.通过对产品模型的分析、计算可得出使用贵金属和珠宝处的实体体积、贴面体积、包金表面积、宝石镶嵌表面积,通过体积和表面积,不难计算出贵金属和珠宝材料的用料数量及成本.从而可更加有效地、经济地、柔性地组织生产,增强决策与控制水平,有力地降低由于前期设计给后期制造带来的回溯更改,达到产品的开发周期和成本最小化、产品设计质量的最优化、生产效率的最大化.

在三维立体模型中按从上至下,按八角屋顶、八角楼层和底部楼层三层计算体积和表面积(图 7).计算的单位为 cm,调用 UG 的计算功能,计算体积时使用的功能为测量体中的计算体积功能,计算表面积时使用界面惯性的功能.

贵金属和珠宝材料设计如下.

1) 八角屋顶

八角屋顶屋檐下部分拟使用珍珠,屋檐其他部分以及球顶凸台部分拟使用银条镶嵌蓝宝石,球顶拟使用黄金制造.屋顶曲面用银薄

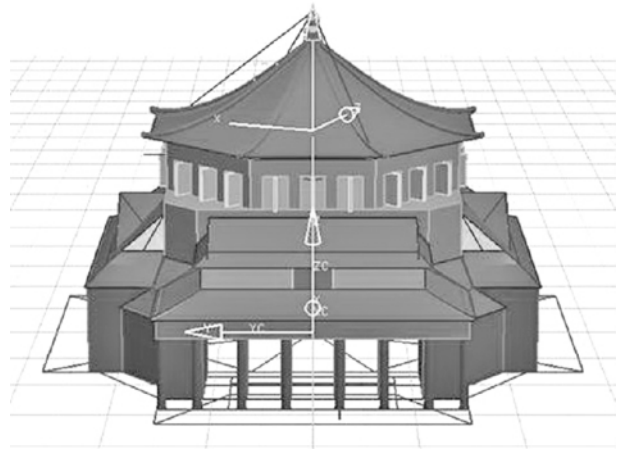


图 5 屋顶正面特写
Fig.5 The close-up of the front roof

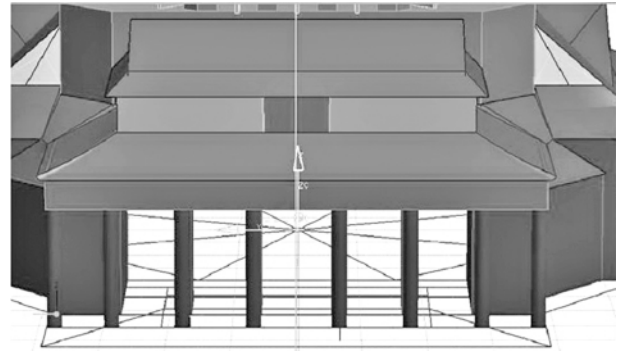


图 6 主楼内部镂空 UG 图像
Fig.6 The UG image of the main internal hollow

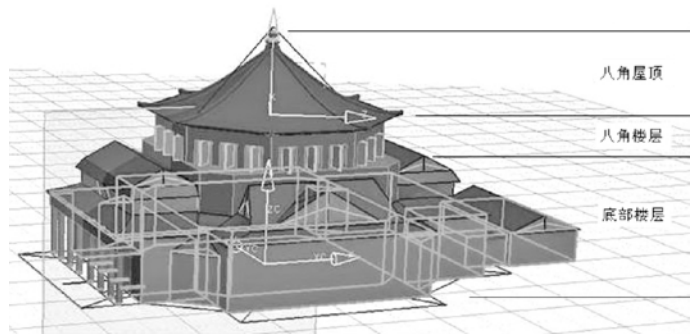


图 7 中山纪念堂 UG 分层造型
Fig.7 The UG hierarchical modeling of Dr. Sun Yat-sen's Memorial Hall

层上镶嵌蓝宝石制成,银薄层的厚度取0.5 cm.其他除顶部曲面之外的屋檐拟用绿宝石镶嵌,银薄层厚度同样取0.5 cm.

2) 八角楼层

八角楼主体分为上下两部分,上部镂空,拟用黄金做内壁,黄宝石做外部以及内部镶嵌层,下部为实心几何体,拟用铜做内腔,外部包金.

3) 底部楼层

底部楼层分为中间主楼以及东南西北四个方向的副楼,另附加南面正面的立柱以及北面后方小楼组成.主楼以及各副楼拟用银做内层,外面包金并用红宝石做镶嵌层,南面立柱拟用铜做内芯,外面包金并用红宝石做镶嵌层,北面小楼拟用铜做内芯,外面包金并用红宝石做镶嵌层.

贵金属和珠宝材料总体体积和表面积计算结果见表1.

表1 贵金属和珠宝材料体积和表面积汇总表

Tab.1 The summary of volume and surface area for precious metals and jewelry

项目	位置	体积/cm ³ 表面积/cm ²
铜体积	八角楼层实心铜内壁	603
	底部楼层铜质内层	159.1
	小计	762.1
银体积	八角屋顶球顶凸台	19.4
	八角屋顶曲面	100.5
	八角屋顶屋檐银薄层	216.2
	底部楼层银内层	796.5
	小计	1 132.6
黄金体积	八角顶层球顶	10.2
	八角楼层实心金内壁	17.22
	小计	27.42
珍珠体积	八角屋顶屋檐下方	10.1
包金表面积	八角楼层	513.84
	底部楼层	1 474.4
	小计	1 988.24
蓝宝石镶嵌层表面积	八角屋顶	261.65
绿宝石镶嵌层表面积	八角屋顶屋檐	432.4
黄宝石镶嵌层表面积	八角楼层	161.47
红宝石镶嵌层表面积	底部楼层	1474.4

根据表1的数据,可计算黄金、包金、银等贵金属材料的用量.根据宝石镶嵌层表面积以及宝石镶嵌排列图案可计算宝石的用量.

2.3 虚拟试制

大型珠宝传统生产加工过程中,实样模型试制成本高,流程长,本方案采用虚拟制造与实样模型试制相结合的方式,流程如下.

- 1) 产品建模.
- 2) 虚拟成本(材料)估算.
- 3) 设计动态展示方案.

大型珠宝产品都以具有历史文化意义的著名建筑物为对象,多采用滑动、转动等动态展示方式演绎其精妙的建筑结构和丰富的历史文化内涵.在产品三维模型基础上,设计多套动态展示方案,如左右打开、正面打开和八角屋顶升起等动态展示方案.

4) 结构的有限元分析.

大型珠宝产品在动态展示的结构上有许多重要的受力件,它们在载荷作用下的内力、变形以及稳定性是动态展示质量的关键.进行结构有限元分析主要任务是完成结构的强度校核、刚度校核,确定结构的临界载荷.在UG中,进入结构分析模块(需要安装FEA软件)后经过选择分析解算器、加载荷、加约束、赋材料、网格化处理后,就可以进行有限元计算了,分析计算由计算机自动完成,包括单元分析、整体分析、结构计算等内容,最后得到位移、应力、应变等云图.

5) 虚拟装配.

动态展示的珠宝中山纪念堂组成部件繁多而且十分复杂,在一个有限的空间内设置运动机构,如果仅通过实样模型来验证可装配性,需要多个这样的模型,不仅产品的开发周期长,而且浪费人力、财力和物力.虚拟装配是在计算机上对产品模型进行数据描述和可视化数字预先装配,通过仿真手段分析产品模型,评估装配工艺,优化产品设计和装配工艺过程,及时发现潜在问题,及时修改设计方案.在虚拟装配定型后,再进入实样模型试制.

6) 动态展示方案选择.

从制造成本、可制造性、可观赏性多方面选择最佳的动态展示方案.

7) 实样模型试制.

经过以上虚拟制造过程,选择最佳的动态展示方案后进入实样模型试制阶段,在这一阶段发现的问题,再返回到虚拟制造过程进行计算机仿真,直至解决所有问题后,再进入产品的生产加工环节.

3 结 语

本文以中山纪念堂为设计对象,首次运用UG将虚拟制造引入大型珠宝产品的生产加工过程中,通过计算贵金属和珠宝材料体积和表面积,给出了大型珠宝产品材料成本的估算方法,解决了大型珠宝产品成本估算的难题,设计了虚拟制造与实样模型相结合的产品试制方案,优化了试制过程,降低了制造成本,缩短了生产周期,极大地提高了产前准备的效率.

致谢 在本论文的研究过程中,在大型珠宝产品的加工工艺和制造过程方面,得到了广州番禺云光首饰有限公司董事长黄云光先生、广州番禺职业技术学院珠宝学院院长王昶教授的悉心指导,在此深表谢意!

参考文献:

- [1] Mattil A J, Saarinen H, Siu Ko M. The use of virtual prototyping and simulation in ITER maintenance device development [J]. Fusion Engineering and Design, 2007 (82): 2073 - 2080.
- [2] Zeki A, Özdemir R G. A fuzzy AHP approach to evaluating machine tool alternatives [J]. Intell Manuf 2006, 17: 179 - 190.
- [3] 隆华. 虚拟制造技术在导弹发射装置研制中的应用 [J]. CAD/CAM 与制造业信息化, 2008, 158(1): 82 - 85.
- [4] 刘小宇, 杜宝江, 张杰, 杨国标. 虚拟制造中的异地协同设计系统 [J]. 精密制造与自动化, 2006, 165(1): 32 - 34.
- [5] 张建达. 汽车变速箱的虚拟制造技术研究 [J]. 机械工程师, 2008, 203(5): 143 - 145.
- [6] 殷麒, 范秀敏, 汤磊, 程免翀. 虚拟装配环境支持下的产品可装配性评估 [J]. 计算机仿真, 2009, 26(1): 243 - 247.
- [7] 史勇, 杜方平. 基于UG的虚拟制造 [J]. 火箭推进, 2010, 36(4): 36 - 41.