

基于综合切面模线的飞机零件逆向建模

彭艳敏, 党建卫, 蔡 渊

(中航飞机西安飞机分公司, 西安 710089)

[摘要] 主要以模拟量飞机改型设计与数字化制造的具体要求为切入点进行研究, 阐明了以综合切面模线为基础的零件逆向建模方法。该方法通过平板式扫描设备扫描零件的切面模线形成二维光栅图像, 并通过正交网格线对二维光栅图像进行失真校正和矢量化处理, 最终通过矢量化的切面模线对飞机零件进行逆向建模。结合飞机零件的逆向建模过程, 进行了详细描述。

关键词: 模拟量飞机; 逆向建模; 矢量化; 失真校正

Reverse Modeling of Aircraft Part Based on Comprehensive Section Lofting

PENG Yanmin, DANG Jianwei, CAI Yuan

(AVIC Xi'an Aircraft Industry (Group) Company LTD., Xi'an 710089, China)

[ABSTRACT] An aircraft part reverse modeling method based on comprehensive section lofting is presented for the numerical manufacture and structural betterment of the dated simulated aircraft. The method mainly includes the following technical steps: achieving a two-dimensional raster image by using the planar scanning equipment to scan the section lofting, distortion-correcting and vectorization processing of the two-dimensional raster image by using the orthogonal grid lines, and finally reverse modeling of the aircraft part through the vectored section lofting. The method is described in detail by an aircraft part reverse modeling process.

Keywords: Simulated aircraft; Reverse modeling; Vectorization; Distortion-correcting

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2016.07.087

飞机的几何形状一定要具备以下基本条件: 满足动力学要求、光滑流线性, 因其许多零部件的外形往往为相对繁琐的曲面, 所以在制造飞机过程中, 往往通过模线样板技术来进行, 该方法和普通的机械生产方法存在很大的差异, 以充分确保所生产零件与设备相匹配。对于模线来说, 其主要是按照图纸设计标准, 在图板上以 1 : 1 比例进行绘制, 用来描述零件结构周线与理论外形的图样。同时可为制造飞机时提供参考, 是充分确保不同零部件尺寸相匹配的基本手段。模拟量飞机是指通过上述传统技术生产出来的飞机, 其制造过程中零件没有实体数模, 因而外形变化复杂的飞机零件采用综合切面模线定义其外形。飞机零件的综合切面模线是指一组表示飞机零件切面轮廓的纵横交错的平面曲线。由于以往手工绘图的局限性, 切面模线通过描述飞机零件的特定位置的切面轮廓来定义整个飞机外形。一般情况下, 一个飞机的切面模线绘制在数张图板上, 各切面模线之间的三维位置关系通过定位基准确定。

随着制造技术的不断更新换代, 对于航空领域来说, 普及推广 CAD/ CAM 技术已是今后的一大方向。因飞机研制领域开始进入到重大变革时期, 引入高级的数字化设计 / 制造技术来替换过去的方法已经成为大势所趋。但是在实践中却缺少模拟量飞机零件数模, 正是由于这方面的原因, 在很大程度上影响到新技术手段在国内航空公司的引入与普及, 造成了很多问题, 例如制造准备任务繁重、成本相对较高、质量不能得到保障以及大规模制造能力相对较低等, 并且在很大程度上影响到模拟量飞机的优化。而逆向建模方法则属于进一步提升实业界公司数字化设计制造水平的有效途径, 同时还属于推动模拟量飞机实现不断优化的现实要求。所以将数字化理论引入其中, 同时在充分保留当前工装的基础上, 通过逆向建模技术来构建满足当前制造协调关系的数模已经发展成为飞机制造公司的当务之急。

实践中较为普及的零件逆向设计技术的基本过程如下: 首先利用 CAD 软件处理零件的数据点云, 接着在

点云的基础上重构曲面并且完成建模工作。杨倩^[1]、张良^[2]、谭昌波等^[3]在研究过程中通过上述步骤来展开探讨。张双侠^[4]、范换换等^[5]在研究过程中考虑到提升设计能力,阐明正、逆向的建模技术,自数据中获得相应的特征等,然后实施再设计,从而实现建模过程。上述逆向设计技术主要存在以下几处不足:

(1)应用时必须对许多零件数据进行扫描,涉及到的任务非常繁重,同时存在难度,容易造成一定的误差;在长时间投入运行后,由于零件将受到磨损等影响,就会产生一定的逆向误差。

(2)该过程所采集数据为三维的,同时为无序的,由于这方面的原因,在对零件结构特征进行识别与提取过程中不容易进行,建模工作不容易成功,另外,对零件结构优化产生极大的阻碍。

为有效应对该技术的上述弊端,本文采取了新的技术手段:基于综合切面模线的飞机零件逆向建模方法。该方法针对采用综合切面模线定义外形的飞机零件,首先通过平板式扫描设备扫描零件的综合切面模线形成二维光栅图像,然后通过正交网格线对二维光栅图像进行失真校正和矢量化处理,最后通过矢量化的切面模线对飞机零件进行逆向建模,可以较为准确地建立符合现有的制造协调关系的飞机零件实体数模。

1 基于切面模线逆向建模原则

1.1 原始定义不变

构建模型时,必须尽可能地保持过去的设计思想与构思,严禁对原零件设计的型面分界线造成损坏,必须确保其曲线、曲面原始定义类型不变^[6-7]。为充分确保与过去的理论、可靠性保持一致,数字化模型构建过程中选择原定义曲线形式,通过这种方法来降低误差概率。

1.2 协调关系不变

建立零件实体数模应符合现有的制造协调关系,零件的外形应与相关制造依据和装配状态匹配一致^[8]。综上所述,模线是保证飞机外形和结构轴线正确与协调的唯一原始依据,新的技术能够充分确保当前体系中的协调关系,从而可防止当前工装失去作用。

1.3 建模误差低于设计公差

对飞机来说,其零件生产过程中必须满足非常高的精度标准,正是由于这一标准,建模时必须时刻控制好误差,以确保其满足设计公差要求。

2 基于切面模线逆向建模方法

基于上述逆向建模原则,下文结合某飞机外翼翼梢外形组件逆向建模过程,详细描述基于理论模线的飞机

零件逆向建模方法。某飞机蒙皮零件的理论模线及其定位基准如图1所示。

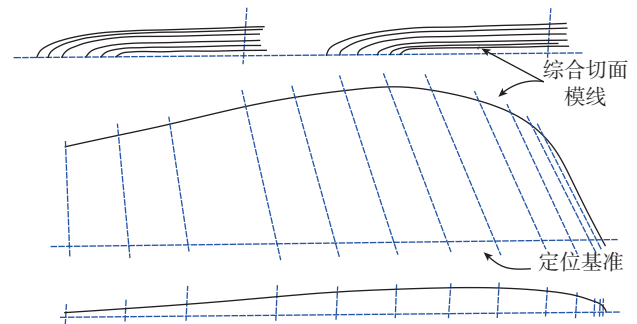


图1 某飞机蒙皮零件模线及其定位基准
Fig.1 Lofting of aircraft skin part and locating datum

基于综合切面模线的飞机零件逆向建模方法包括理论模线扫描、扫描图像的失真校正和矢量化处理、矢量模线的光顺和零件的实体建模等过程^[8-9]。

2.1 综合切面模线扫描

综合切面模线即根据飞机工艺与图纸,在金属平板等材料上以1:1的比例绘制的包括外形与结构轴线在内的图样^[10]。综合切面模线扫描的软硬件环境:选用Kongsberg平板绘图机作为绘图扫描设备,选用聚酯薄膜胶板作为绘制正交网格线的透明介质,选用Vpmax软件作为扫描图像的失真校正和矢量化工具。扫描过程主要涉及以下技术环节。

(1)为了消除图像的非线性变形,经过多次试验和分析,确定采用密度为50mm×50mm的标准网格覆盖在图板图形上矫正这种非线性变形,在试验中采用52.5mm×52.5mm的网格对介质进行扫描,经过网格精确校正后与原图像对比,其精度误差在0.015mm之内,基本消除了图板的非线性变形,满足某型机图板的图像扫描精度要求。

(2)将零件的切面模线图板平铺在平板式扫描设备的工作台上,将标准网格胶板平铺在切面模线图板上方,并采用多个3mm小块径铅块压在标准网格上,以保证标准网格与图板图形的严格贴合,其基本原理是使用高密度的局部线性变形来逼近大面积的非线性变形。

(3)采用平板式CCD扫描设备扫描切面模线图板,得到二维光栅图像。图2为扫描后经降噪处理得到的该零件的综合切面模线及其定位基准局部示意图。

2.2 扫描图像的失真校正和矢量化处理

由于铝质图板使用年代过久,加之多次拆装等原因造成图板很不平整,表面波动大多超过3mm,这种误差使得成像物距产生变化,因此所获得的扫描图像相对于真实的图板图形产生了非线性变形。这种翘曲变形在图板图像扫描过程中由于物距的改变,引起图像在CCD

镜头有效幅宽内的非线性变形。图 3 (a) 所表示的是扫描介质沿平台平面 X 向假想等分的情况下, X 扫描介质的高度波动时所引起的扫描图像在 X 向所出现的非线性变形。由于这种波动的不确定性, 这种变形无法量化定义, 导致无法对这种失真进行纠正, 因此在图像扫描时有必要给所获得的图像的 X 向进行精确标定, 其具体方法是在扫描介质的 X 向表面设定标尺, 如图 3 (b) 所示。

通过矫正光栅图形中标准网格的尺寸, 间接对切面模线进行失真矫正。将校正后的二维光栅图像矢量化, 并以三维 CAD 软件兼容的文件格式保存, 结果如图 4

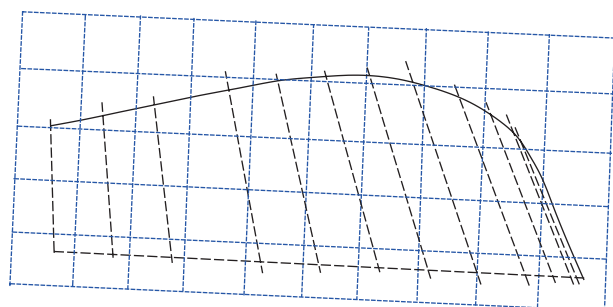


图2 扫描得到的零件理论模线及其定位基准
Fig.2 Theoretical lofting of part and locating datum by scanning

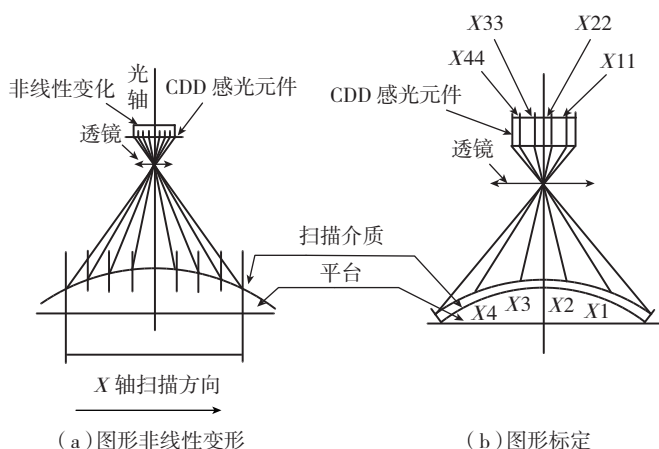


图3 单向非线性失真

Fig.3 Unidirectional nonlinear distortion

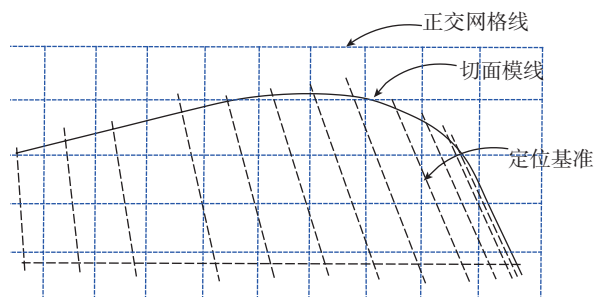


图4 校正后的理论模线及其定位基准

Fig.4 Theoretical lofting and locating position datum after correcting

所示。

2.3 矢量模线的光顺和零件的实体建模

将综合切面模线矢量图导入三维 CAD 软件中, 在保证精度的前提下通过样条曲线对切面模线进行光顺处理, 具体步骤如下: 对于任意一条切面模线, 在其上均匀提取若干个点; 通过提取的点构造样条曲线, 作为光顺后的切面模线; 通过绘图机绘制光顺后的切面模线, 与原始切面模线进行对比检测, 并且进行曲线连续性分析及优化, 如图 5 所示。

通过平移和旋转操作, 借助切面模线中的定位基准, 将光顺后的切面模线定位到工作位置, 结果如图 6 所示。

参考零件图纸, 采用三维 CAD 软件, 通过定位在理论工作位置的切面模线作出飞机零件的外形曲面, 进而作出飞机零件的基础蒙皮, 最后在基础蒙皮上添加零件的局部特征, 结果如图 7 所示。

3 结论

(1) 由于采用综合切面模线作为逆向建模的数据来

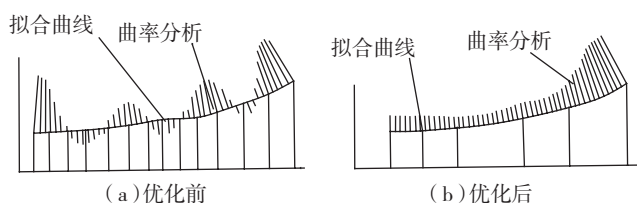


图5 曲线连续性优化

Fig.5 Optimization of curve continuity

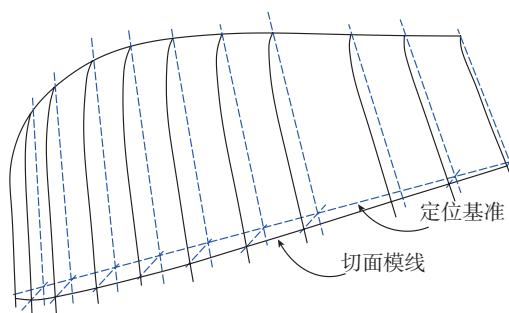


图6 定位到工作位置的理论模线及其定位基准

Fig.6 Theoretical lofting and locating position datum pitched at working position

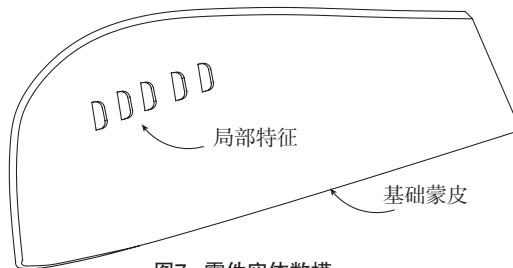


图7 零件实体数模

Fig.7 Solid model part

源,而综合切面模线是飞机零件制造的原始依据,因此本文所建立的零件实体数模符合现有的生产协调关系,不会造成现有工装的报废,可直接代替原有综合切面模线作为数字化环境下的制造数模。

(2) 针对图板扫描过程产生的图像失真,借助正交网格线实现了图像失真的快速校正,避免了建立失真模型和标定失真参数等复杂的图像校正过程,提高了逆向建模的准确性。

(3) 直接把综合切面模线作为零件实体建模的特征线,无需识别和提取零件结构特征即可实现零件的参数化逆向建模。

参考文献

[1] 杨倩,汪振兴.基于CATIA的某钣金件参数化逆向设计[J].机械研究与应用,2012(2):120-121.
 YANG Qian, WANG Zhenxing. The reversal design of parameterization in some metal sheet based on CATIA[J]. Mechanical Research & Application, 2012(2):120-121.

[2] 张良,何雪明.基于零件模型的逆向造型研究[J].机械设计与制造,2009(12):122-123.
 ZHANG Liang, HE Xuemin. Research on reverse design based on model of part[J]. Machinery Design & Manufacture, 2009(12):122-123.

[3] 谭昌波,周末水,张丽艳,等.飞机外形和结构件反求建模技术研究[J].航空学报,2008,29(6):1722-1730.
 TAN Changbo, ZHOU Laishui, ZHANG Yanli, et al. Reverse engineering of aircraft contours and structural parts[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2008, 29(6):1722-1730.

[4] 张双侠,成丽,谭春林.复杂零件正逆向重构建模技术及应用研究[J].机械设计与制造,2010(3):230-232.
 ZHANG Shuangxia, CHENG Li, TAN Chunlin. Complex parts reverseion restructuring modeling technology and applied research[J]. Machinery Design & Manufacture, 2010(3):230-232.

[5] 范换换,刘韶光,王宏旭.基于逆向工程的飞机腹部整流罩设计[J].机械研究与应用,2013(6):114-115.
 FAN Huanhuan, LIU Shaoguang, WANG Hongxu. Design of the fairing in the underside of the fuselage based reverse engineer[J]. Mechanical Research & Application, 2013(6):114-115.

[6] 曲学军,席平,吴为.满足已有制造依据的飞机外形曲面重建原则[J].制造自动化,2004(26):16-19.
 QU Xuejun, XI Ping, WU Wei. Rules of recreating digital model of aircraft shape conforming to existing production tooling[J]. Manufacturing Automation, 2004(26):16-19.

[7] 赵晖,席学军.基于散乱数据的飞机外形曲面重构[J].航空制造技术,2005(3):66-68.
 ZHAO Hui, XI Xuejun. Surface reconstruction of aircraft contour based on scattered data[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2005(3):66-68.

[8] 韩强儒.飞机理论外形逆向工程技术[J].西飞科技,2006(2):18-21.
 HAN Qiangru. Aircraft theoretical shape reverse engineering[J]. Xi Fei Technology, 2006(2):18-21.

[9] 彭艳敏,党建卫.基于模线样板飞机蒙皮类零件的逆向设计

[J].CAD/CAM与制造业信息化,2013(8):46-49.

PENG Yanmin, DANG Jianwei. Reverse design based on the section lofting model aircraft skin type parts[J]. CAD/CAM and Manufacturing Information, 2013(8):46-49.

[10] 阳波,陈金平.基于样板实现飞机零件逆向建模[J].机械工程师,2016(1):24-25.

YANG Bo, CHEN Jinping. Reverse modeling based on a template of aircraft parts [J]. Mechanical Engineer, 2016(1):24-25.

(责编 古京)

(上接第86页)

Manufacturing Technology, 2008,39:1144-1155.

[3] MULLER R P G. An experimental and analytical investigation on the fatigue behaviour of fuselage riveted lap joints[D]. Delft: Delft University of Technology, 1995.

[4] AMAN F, CHERAGHI H S, KRISHNA K, et al. Study of the impact of riveting sequence, rivet pitch, and gap between sheets on the quality of riveted lap joints using finite element method[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2013,67:545-562.

[5] BLANCHOT V, DAIDIE A. Riveted assembly modelling: study and numerical characterisation of a riveting process[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2006, 180(1-3):201-209.

[6] MDERIJCK J J, HOMAN J J, SCHIJVE J, et al. The driven rivet head dimensions as an indication of the fatigue performance of aircraft lap joints[J]. International Journal of Fatigue, 2007, 29(12):2208 - 2218.

[7] CALVIN R, STRAZNICKY P V, ALDERLIESTEN R. Riveting process induced residual stresses around solid rivets in mechanical joints[J]. Journal of Aircraft, 2007,44(1):323-329.

[8] ZHANG K F, CHENG H, LI Y. Riveting process modeling and simulating for deformation analysis of aircraft's thin-walled sheet-metal parts[J]. Chinese Journal of Aeronautics, 2011,24:369-377.

[9] 刘平,李原,张开富,等.压铆过程阶段划分与压铆力计算[J].机械科学与技术,2009,28(4):514-521

LIU Ping, LI Yuan, ZHANG Kaifu, et al. Stage division and upsetting force calculation for pressing rivet connection[J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2009,28(4):514-521

[10] 王宇波,余路,洪华舟,等.自动钻铆连接件疲劳性能分析[J].南京航空航天大学学报,2012,44(21):52-55.

WANG Yubo, YU Lu, HONG Huazhou, et al. Fatigue analysis of components produced by automatic drilling and riveting[J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2012,44(21):52-55.

[11] 张岐良,曹增强,秦龙刚,等.钛合金电磁铆接数值模拟[J].稀有金属材料与工程,2013,42(9):1832-1837.

ZHANG Qiliang, CAO Zengqiang, QIN Longgang, et al. Numerical simulation of electromagnetic riveting for titanium alloy[J]. Rare Metal Materials and Engineering, 2013,42(9):1832-1837.

[12] 郭鸯鸯.电磁铆接铆钉变形及铆模结构优化的研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2013.

GUO Yangyang. Research of rivet deformation and structural optimization of riveting die with electromagnetic riveting[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2013.

[13] SZOLWINSKI M P, FARRIS T N. Linking riveting process parameters to the fatigue performance of riveted aircraft structures[J]. Journal of Aircraft, 2000,37(1):130-137.

(责编 冬月)