

大型不规则椭球回转面的曲面重构与仿真加工

Reconstruction and Machining Simulation of Large Scale Irregular Ellipsoid Surface

大连交通大学机械工程学院 王 春 解明君 苏 彬 王 伟

[摘要] 提出了大型不规则椭球回转面的一种新的曲面重构与仿真加工方法。基于 Geomagic Studio 软件,处理大型不规则椭球回转面的采集数据点云,重构了实测曲面的等距面模型;采用 Pro/E 对实测曲面的等距面模型进行等距操作,生成实测曲面模型;利用 Geomagic Qualify 软件对实测曲面的等距面模型相对于原始数据点云,以及实测曲面模型相对于理论曲面模型进行误差分析;最后利用 Pro/NC 模块对实测曲面模型进行数控编程和仿真加工。研究结果表明,该方法提高了大型不规则椭球回转面的曲面重构精度,生成的标准数控加工程序具有可移植性,解决了原加工方法对专用设备的依赖。

关键词: 不规则椭圆回转面 Geomagic Pro/NC 点云 配合型面

[ABSTRACT] A new method of reconstruction and machining simulation of Large Scale Irregular Ellipsoid Surface (LSIES) is designed and investigated. The sampling point clouds are processed to reconstruct the offset surface model of LSIES by using Geomagic studio software. The reconstructed offset surface model is offset to LSIES model in Pro/E. Then the errors of the reconstructed offset surface model compared with the point clouds, and the errors between the theoretical ellipsoid and LSIES model are analyzed by using Geomagic Qualify software. Finally CNC programming and machining simulation of LSIES model are completed in Pro/NC. The result is proved to be capable of improving the accuracy of reconstruction of LSIES model, and removing the dependence on specialized CNC machine tool.

Keywords: Large scale irregular ellipsoid surface Geomagic Pro/NC Point cloud Matching surface

大型椭圆球冠复合材料构件是长征 3 号系列运载火箭的一个重要部件。它由夹芯玻璃钢蜂窝材料和上下铝合金蒙皮粘接固化而成。上下底(蒙皮)是瓜瓣形薄铝合金板拼合的焊接件,其变形量较大,型面和焊缝不规则,相对于理论椭圆回转面有较大的误差。为保

证复合材料构件粘接固化的高质量,使其粘接面积符合设计要求,夹芯玻璃钢蜂窝表面应与上下铝合金蒙皮内表面的形状尺寸高度一致,粘接固化前蒙皮与夹芯表面最大间隙小于给定公差。蜂窝型面加工的技术关键是要解决带有误差的椭圆球冠表面的阴阳配合面的加工问题。传统的手工打磨修配和常规的加工理论椭圆球面的数控加工方法已不适用,为此利用数字化测量技术,对已知型面的数据通过三维模拟量测头自动跟踪测量进行采集,从而获得一个表面的离散化数据,将该表面的数据通过数据处理生成其配合型面的加工数据,从而实现配合型面的加工^[1]。

采集数据的数学处理是保证加工配合精度的重要前提。蒙皮内表面的采集数据点云并不是实测曲面的形貌,而是测头触指球端中心的轨迹,是实际曲面的等距面。等距计算是采集数据数学处理的主要难点之一,文献[2]中用理论椭圆回转面的误差曲面来描述实测曲面,在等距计算和实测曲面误差分析过程中,假设通过实测点的理论椭圆回转面的法线为实测曲面在该点的法线,即实测点的法线总是在理论椭圆回转面的母线所在平面内,并且法线方向连续单调变化。这与实际情况并不吻合,特别是在蒙皮焊缝附近,实测曲面法线方向变化剧烈。可见,基于该假设进行实测点云的等距计算和误差分析引起了较大的计算误差。另外,文献[2]生成的配合型面加工数据与原始点云数据一一对应,无法控制加工过程中的刀具路径、走刀行距、刀具尺寸,而且只能在专用机床上进行加工,因而具有很大的局限性。

本课题采用 Geomagic 处理采集数据点云,建立实测曲面的等距面模型,分析原始点云数据相对于实测曲面的等距面模型的误差。对实测曲面的等距面模型进行等距操作,生成实测曲面模型(即配合型面模型),分析其相对于理论椭圆回转面的误差。与通常的逆向工程要求不同,为保证构件的配合精度,控制重构实测曲面的等距面模型与原始数据点云间最大误差小于 0.1mm。然后,将建立的实测曲面模型导入 CAD/CAM 软件,根据选择的加工机床、刀具以及加工工艺参数,编制实测曲面模型的标准数控加工程序并进行加工仿真。

1 曲面重构

采用 Geomagic studio 软件构建实测曲面的等距面模型,通过对点云的多边形网格化处理并对网格采用 NURBS 曲面进行拟合来创建曲面,生成 CAD 模型。Geomagic 构建曲面分为 3 个阶段,即点阶段、多边形阶段和曲面阶段^[3]。

1.1 点云处理

采用接触式测量获得的原始点云如图 1 所示。由于采用等误差采集方法,在实测曲面曲率小的地方点云密度较小,为了省去不必要的后续修补工作,保证三维曲面重构的精确度,提高工作效率^[4],采用一种基于等误差原理,以 2 点之间距离小于给定值为约束条件的数据加密算法添加数据点。

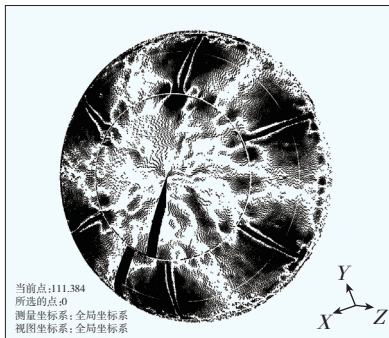


图1 原始点云

Fig.1 Original point clouds

对原始点云的分析表明,在实体模型的突变处特别是在焊缝区产生了噪声点,当遇到焊缝变化剧烈区域时甚至产生了孤立点。孤立点是对象周围存在体外的孤点,而噪音点会影响曲面重构的精度,必须删除。在删除噪声点和孤立点后,寻找并记录下焊缝的位置和区域,为焊缝的加工提供位置和区域的参考,并删除焊缝区域的点云。

1.2 优化多边形生成实测曲面的等距面模型

对点阶段处理完成的点云进行封装处理,构造三角形网格,进入多边形阶段。首先用网格医生模块对多边形网格进行处理,用开流行命令去除小曲面特征,用去除钉状物命令去除质量不好的多边形网格部分,删除残留在多边形网格面上的重叠部分,然后基于曲率连续要求对网格面上的破洞进行填充,最后按最大变形误差小于 0.1mm 的要求整体平滑网格面,完成多边形处理,获得较理想的三角网格模型,如图 2 所示。

完成多边形处理后,进入曲面重构阶段。曲面片的划分及曲面重构的具体过程为:探测曲面轮廓线、构建曲面片、构造格栅、拟合曲面。曲面片的合理划分是

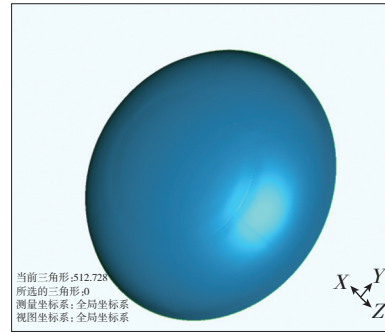


图2 三角网格模型

Fig.2 Triangle mesh model

建立高质量曲面的关键。如果曲面片划分得太小,得到的曲面琐碎且数据量过大,不利于后期的分析和加工仿真;曲面片划分得过大,则不能很好地捕捉点云的形状,得到的曲面质量也较差^[5],经过试验分析把模型分成 100 个曲面片能得到高质量的数模。传统的反求设计格栅的分辨率一般为 20,而这样的分辨率不能满足该模型的高精度要求,本设计格栅分辨率为 60。拟合的实测曲面的等距面模型如图 3 所示。

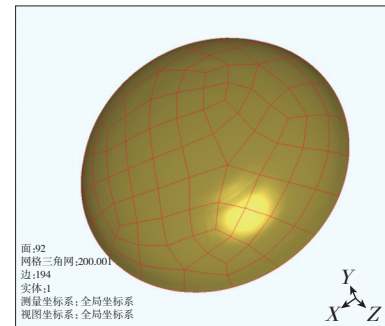


图3 实测曲面的等距面模型

Fig.3 Offset surface model of LSIES

1.3 生成实测曲面模型

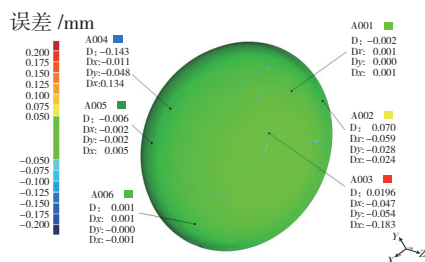
将 1.2 节建立的实测曲面的等距面模型导入 Pro/E,进行曲面的等距操作,等距距离为扫描测量时的测头半径,生成实测曲面模型。

2 误差分析

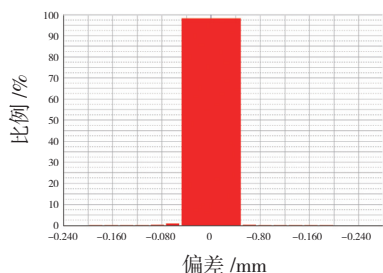
在 Geomagic Qualify 软件中分别导入原始点云、实测曲面的等距面模型,进行 3D 测量和比较生成误差分布图及其偏差分布图,如图 4 所示。误差在 $\pm 0.05\text{mm}$ 范围内的点占点云总数的 98.168%,所以基于该方法可以构建高精度的曲面模型。

导入实测曲面模型和理论曲面模型,进行 3D 测量,比较生成的误差分布图及其偏差分布图,如图 5 所示。加工曲面模型和理论曲面模型的最大负偏差是

6.542mm,最大正偏差是 9.641mm。该误差指标为蒙皮焊接工艺改进提供了参考,也为夹层蜂窝型面加工的加工余量选择提供了依据。



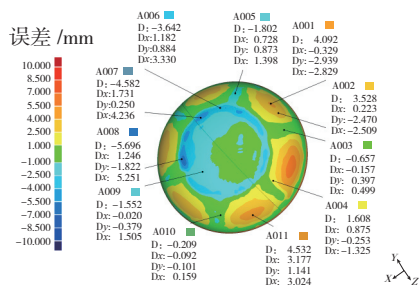
(a) 误差分布



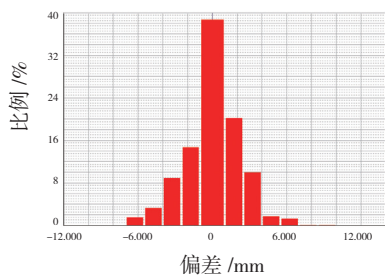
(b) 偏差分布

图4 原始点云与实测曲面的等距面模型比较的误差和偏差分布

Fig.4 Errors and deviation between original point clouds and offset surface model



(a) 误差分布



(b) 偏差分布

图5 理论曲面与实测曲面模型比较的误差和偏差分布

Fig.5 Errors and deviation between theoretical ellipsoid and LSIES model

3 实测曲面模型加工仿真

实测曲面模型是大型不规则型面,可以采用五轴龙门加工中心进行加工。为了避免加工过程中刀架对型面的干涉,将曲面分成 7 部分进行编程。在 Pro/E 零件模块下,对曲面进行分割修剪,因加工过程中要保证加工完成后各部分之间不留刀痕,所以每块加工区域要和相邻的区域有重叠区,设置重叠区为一个刀具直径的距离。曲面模型区域划分如图 6 所示。

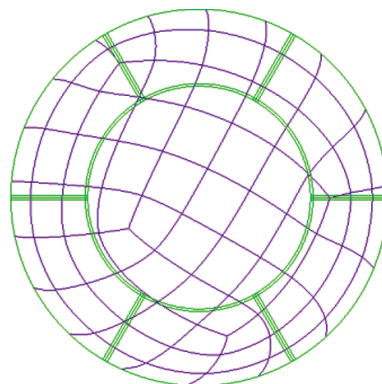


图6 曲面模型区域划分

Fig.6 Region division of surface model

在 Pro/NC 模块下,装配曲面参照模型和毛坯。选择毛坯坐标系作为加工坐标系,设定退刀平面。曲面模型周边部分各个区域采用五轴联动的方式进行加工,而中心圆区域采用三轴进行加工。选择球铣刀进行加工,确定刀具几何参数和切削参数,利用曲面铣削功能分别对各个区域进行编程,编制完成后进行后处理输出加工程序,此后就可以进行实际加工。曲面模型仿真加工的周边部分刀位轨迹如图 7 所示,中心圆区域刀位轨迹如图 8 所示。

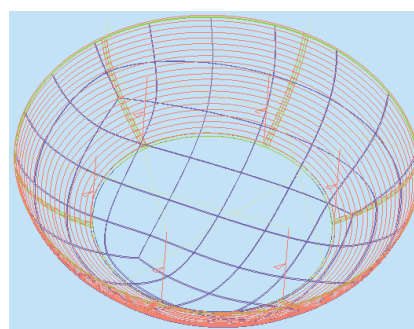


图7 周边部分刀位轨迹

Fig.7 Tool path in peripheral area

(下转第 147 页)