

基于 Geomagic 零件模型的逆向重构及精度分析

李超超 王塘杰

(中国船舶重工集团公司第七一三研究所 河南 郑州 450000)

摘要: 为了知悉曲柄零件的原始设计意图, 获得零件设计参数, 便于曲柄的生产和加工, 利用关节臂扫描仪获得曲柄点云数据, 对曲柄点云进行了优化和封装, 得到曲柄的三角化模型。运用逆向设计软件对曲柄进行了混合建模, 并对曲柄重构模型与实物进行了精度分析, 结果表明模型重构精度可以控制在 $\pm 0.5\text{mm}$ 以内, 可以更好地支持产品的创新设计。

关键词: Geomagic; 点云; 逆向混合建模; 精度分析

0 引言

逆向工程也称为反求工程, 是将已有实物模型转化为工程设计模型或概念模型的过程。日常工作中经常对机床损坏的零件通过手工测绘或者三坐标测量机检测, 获取零件尺寸数据, 然后通过 CAD 软件建模获取零件的二维或三维图形, 这些零件往往特征元素规则, 如平面、圆、圆柱和圆锥。但随着科技的发展, 物体的结构越来越杂, 零件的形状多种多样, 例如轮船螺旋桨的叶片、风力发电的叶片和飞机的机翼等。这些曲面零件通过手工测绘根本无法进行测量, 利用三坐标测量机检测虽然可以获取曲面点的坐标数据, 但曲面点的获取有限, 无法获取零件的完整点云信息。进入 21 世纪, 随着计算机的广泛应用, 一些逆向建模软件也应运而生, 目前具有逆向建模设计的软件有: Geomagic、Imageware 和 PolyWorks 等。这些软件具有强大的点云处理、多边形网格重建和 NURBS 曲面创建等功能, 为零件的精确模型重构奠定了基础。

1 曲柄点云及三角化模型处理

1.1 曲柄点云的获取

点云通常是由一组三维坐标点组成的具有代表性的数据类型, 每个点都被定义了 X、Y、Z 的坐标值, 并且对应了其在物体表面上的位置。点云可以分为: 随机点云、网格点云、线性点云等。点云的类型与所使用的扫描仪器密切相关。点云的采集通常可通过三坐标测量机、关节臂及手持式激光扫描仪来获取。利用 FARO Laser Line Probe (法如关节臂扫描仪) 激光扫描仪获取曲柄的点云数据。

零件扫描之前, 需要对关节臂激光扫描仪进行校

准, 以便检查扫描仪的精度是否在设备要求范围之内。在校准平板上分别进行探测和扫描, 探测时注意位置均匀分布, 本次探测 9 个点, 要求至少 6 个。扫描时分别转动手柄在平板四个位置进行扫描, 两相邻扫描位置间隔 90° 。扫描校准结果为 0.023mm , 满足仪器 0.025mm 的要求。

FARO Laser Line Probe 激光扫描仪采用 2M 级激光, 扫描速度 560000 点/秒, 扫描频率 2000 点/行。曲柄扫描前应保证零件表面光洁无油污和多余物。曲柄点云获取时应注意以下事项:

- (1) 曲柄放置位置要合适、稳妥, 避免扫描过程中曲柄晃动导致点云错位;
- (2) 扫描时, 随着扫描部位的变化, 合理调整扫描仪手柄角度, 保持激光线与曲柄表面成 45° 夹角, 保证点云采集有效;
- (3) 由于零件遮挡的原因, 无法同一位置获取曲柄所有点云信息, 要选取不同角度对曲柄进行扫描;
- (4) 每次独立扫描时, 要保留公共区域, 保证数据之间的最佳拟合对齐。

利用 FARO Laser Line Probe 激光扫描仪对零件表面及内部结构扫描时, 一次扫描结束后往往不能得到零件的全部数据, 需要对零件多次翻转进行扫描, 以获得零件较完整数据。由于随机 (环境因素等) 或人为原因, 会引起数据的误差, 使得点云存在噪声和重叠, 需要借助 Geomagic Studio 软件对曲柄点云进行进一步的优化。

1.2 曲柄点云优化及封装

在 Geomagic Studio 软件中, 对曲柄点云进行着色、采样、减少噪声、去除非连接项和体外孤点等操作优化曲柄点云。首先对曲柄点云进行着色, 在选择工具栏中选择非连接项, 删除拐角处不属于主点云的部分点。

选择体外孤点,“敏感度”值为85。减少噪声选择参数类型为“棱柱形(积极)”,可以更好保持尖角特征,“平滑度水平”选择1,平滑级别越大,模型会失真,一般选择较低级别。采样按照“统一采样”控制可以在保持模型精度的基础上减少点云数量,提高运算效率,根据精度控制要求,绝对间距设置0.5mm。勾选“保持边界”复选框,优化时可以保持模型边界的完整和形状不失真。最后通过封装得到曲柄的三角化模型数据。

封装后的三角化模型是由众多的三角形面片组成。实质是数据点与其临近点间的拓扑连接关系以三角形网格的形式反映出来。在点云封装为三角化模型后,由于点云拓扑关系混乱、顶点数据误差、网格化算法、曲率变化较大、深孔内部激光无法照射等原因,转换后的网格会出现网格退化、自交、孤立、重叠和孔洞等错误,严重影响网格模型的后续处理。因此需要对三角化模型进行优化,为模型重构及曲面的拟合创造良好条件。

1.3 曲柄三角化模型优化

在 Geomagic Studio 软件中,对曲柄三角化模型进行“开流行”操作,删除孤立的网格。对于单个孔洞缺陷,为了匹配周围网格曲率可以执行单个孔按照曲率填充。对于内部孔洞通过搭桥操作,将复杂的孔划分为更小的孔,以便精确地填充,最后通过松弛网格得到优化后的曲柄三角化模型。

2 曲柄模型重构

Geomagic Design X 正逆向建模软件融合了逆向建模技术和正向设计方法的长处,不仅拥有参数化实体建模的能力,还拥有 NURBS 曲面拟合能力共同创建有自由曲面特征的 CAD 模型。利用领域自动或手动分割识别三维规则特征(例如二次曲面),通过面片草图用截面从面片模型中截取平面草图做相应编辑(拉伸、旋转、扫描和放样)对规则结构进行重建,并利用曲面拟合等工具对复杂曲面进行重建。

2.1 曲柄三角化模型与系统坐标系对齐

通过 Geomagic Design X 软件,利用面片草图命令对内孔截取两个平面草图拟合出两个圆,通过直线连接两个圆心作为内孔的公共轴线,公共轴线与平面相交作为零件坐标系原点,通过原点以模型边界直线作为参考绘制两条相互垂直的直线作为零件坐标的 X 轴和 Y 轴,使得曲柄三角模型与系统坐标系进行对齐。

2.2 模型构建

通过分析曲柄特征元素,曲柄的模型构建采用混合建模的方式。曲柄平面、圆柱、内部孔特征采用特

征建模的方式,对于曲柄曲面采用曲面拟合的方式进行。

2.2.1 特征建模

特征建模是对创建的面片草图进行拉伸操作创建。在进行面片草图绘制时,面片草图不能出现分离点,否则面片草图无法进行编辑,线与线之间应添加合适的约束条件(如相切、垂直、平行),在进行面片草图尺寸标注时,由于零件表面变形或者多余物的存在,在保证线条重合的基础上对尺寸进行适当的圆整处理。

2.2.2 曲面拟合建模

首先对三角化模型上的曲面进行领域划分,以领域作为参照进行曲面拟合,得到各领域的拟合曲面,分别对各拟合曲面进行两两“剪切曲面”操作,分别选择“工具要素”和“对象体”,剪切后选择要保留的拟合曲面。最后对各拟合曲面进行缝合,得到的拟合曲面缝合实体,最后通过创建的特征实体与曲面拟合实体进行布尔和运算,对模型进行倒角操作,得到曲柄的三维 CAD 模型如图 1 所示。

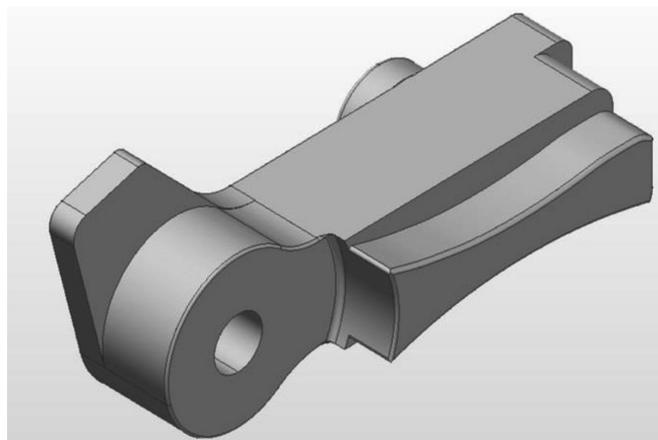


图 1 曲柄三维 CAD 模型

3 模型重构误差分析

曲柄模型重构是否符合实物数据是评价模型重构的关键。在“Accuracy Analyzer(TM)”面板的类型可以查看 CAD 模型体偏差与三角化模型之间的偏差,重构后的曲柄模型大部分表面呈现出绿色。为了更准确显示曲柄重构模型精度,在 Poly Works 检测软件中,以曲柄重构模型为参照,曲柄三角化模型为数据对象进行最佳拟合数据对象至参考对象对齐,利用曲边比较点进行数据比对,结果如图 2 所示。

曲面比较点到曲柄重构模型的偏差如表所示。

通过曲面比较点分析得知,实物整体与 CAD 模型偏差控制在 $\pm 0.5\text{mm}$ 以内。

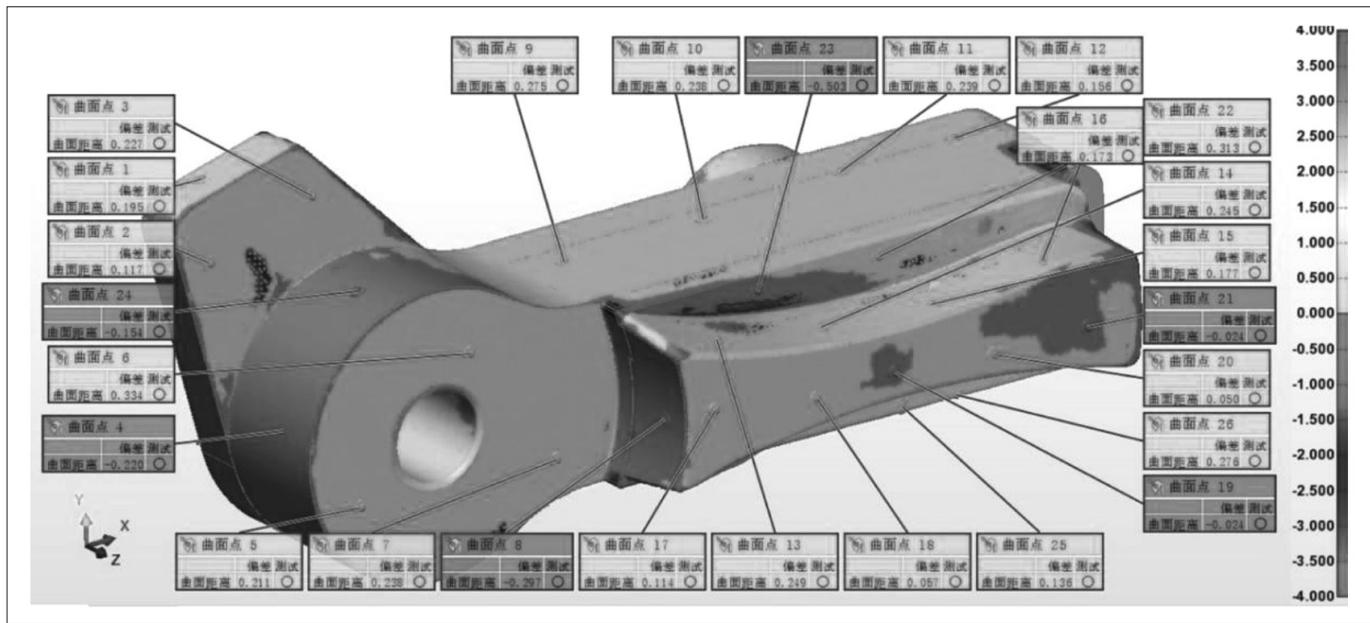


图2 曲柄模型重构精度比较点分析

表 曲面比较点到曲柄重构模型曲面偏差 /mm

名称	控制	测量值	测试	名称	控制	测量值	测试
曲面比较点 1	曲面距离	0.195	通过	曲面比较点 14	曲面距离	0.245	通过
曲面比较点 2	曲面距离	0.117	通过	曲面比较点 15	曲面距离	0.177	通过
曲面比较点 3	曲面距离	0.227	通过	曲面比较点 16	曲面距离	0.173	通过
曲面比较点 4	曲面距离	-0.220	通过	曲面比较点 17	曲面距离	0.114	通过
曲面比较点 5	曲面距离	0.211	通过	曲面比较点 18	曲面距离	0.057	通过
曲面比较点 6	曲面距离	0.334	通过	曲面比较点 19	曲面距离	-0.024	通过
曲面比较点 7	曲面距离	0.238	通过	曲面比较点 20	曲面距离	0.050	通过
曲面比较点 8	曲面距离	0.239	通过	曲面比较点 21	曲面距离	-0.024	通过
曲面比较点 9	曲面距离	0.275	通过	曲面比较点 22	曲面距离	0.313	通过
曲面比较点 10	曲面距离	0.238	通过	曲面比较点 23	曲面距离	-0.503	通过
曲面比较点 11	曲面距离	0.239	通过	曲面比较点 24	曲面距离	-0.154	通过
曲面比较点 12	曲面距离	0.156	通过	曲面比较点 25	曲面距离	0.136	通过
曲面比较点 13	曲面距离	0.249	通过	曲面比较点 26	曲面距离	0.276	通过

4 结语

通过对曲柄零件点云数据采集、优化和封装，创建了曲柄三角化模型，并对三角化模型进行了优化，结合曲柄特点对其进行混合建模。通过曲柄重构模型与实物扫描数据进行曲面比较点分析，模型重构误差控制在 $\pm 0.5\text{mm}$ 以内。结果表明，该方法能够很好支持产品的创新设计且重构模型具有进一步参数化修改的能力，为后期指导产品设计改进和生产具有指导性意义。

参考文献：

- [1] 成思源, 杨雪荣. Geomagic Studio 逆向建模技术及应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2016.
- [2] 成思源, 杨雪荣. Geomagic Design X 逆向设计技术 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2017.

作者简介: 李超超(1986.08-), 男, 汉族, 河南安阳人, 硕士研究生, 工程师, 研究方向: 检验检测与计量。