

曲面零件的逆向设计与数控加工研究

郭扬

(贵州工业职业技术学院 贵州 贵阳 550000)

摘要: 为解决精密复杂曲面零件制造过程中存在的问题, 本文以曲面零件为研究对象, 通过对逆向设计的关键技术进行研究, 利用 Imageware 软件强大的点云处理和曲面建模功能, 实现对曲面零件的逆向建模。再利用 Unigraphics NX 软件的 CAM 模块进行加工程序的编写, 并通过 Unigraphics NX 的后置处理生成 NC 程序。最终通过五轴数控加工工艺, 实现曲面零件的加工制造。结果表明, 采用逆向设计和五轴数控加工工艺, 可以缩短曲面零件产品的设计开发周期, 提高曲面零件产品的加工精度。

关键词: 曲面零件; 逆向设计; 五轴数控加工; 刀位轨迹

0 引言

随着我国制造领域的不断拓展, 整体叶轮、叶盘、精密壳体、发动机机匣等精密复杂曲面零件不断涌现^[1]。此类零件的形状及结构复杂, 设计和加工难度较大。逆向工程是一种反求工程, 它可以快速实现实物产品的再创新^[2]。目前, 逆向工程已广泛应用于航天、汽车、医学和模具等众多领域, 并且效果良好^[3]。逆向工程从具体实物出发, 对实物产品进行扫描测量获取三维点云数据, 再采用曲面重构技术获取模型, 最终通过数控加工对实物产品进行加工制造^[4]。对于上述复杂曲面零件可以采用逆向设计, 然后通过多轴数控加工技术对其进行加工, 从而减少设计和制造时间。因此, 为适应现代制造技术的发展趋势, 对曲面零件的逆向设计和数控加工的研究具有重要意义。

1 逆向工程的概念

正向工程^[5] (Forward Engineering, FE), 又被称为顺向工程、预定模式等。正向工程是指从概念设计到图样, 再到实物的加工制造和检测过程。传统的制造过程多采用该模式, 正向工程流程如图 1 所示。

随着我国制造业的发展, 逆向工程凭借其明显优势被广泛应用于工业领域中。逆向工程^[6] (Reverse Engineering, RE), 又被称为反向工程、三坐标点造型等。逆向工程通常是指综合运用数字化技术、几

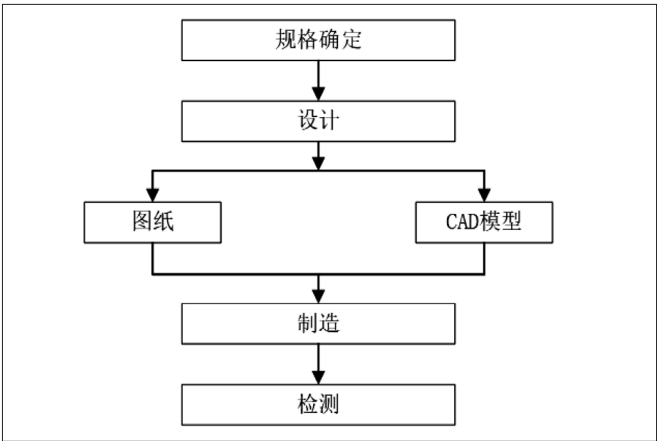


图 1 正向工程流程示意图

何模型重建技术, 将已有实物产品转化为 CAD 模型, 并在此基础上进行优化创新设计及生产的全过程, 具体流程如图 2 所示。逆向工程是对实物产品再设计、再创造的一种快捷手段, 可以大幅度提高生产效率。

2 曲面零件的逆向设计关键技术

2.1 曲面零件点云数据采集

点云是三维空间中数据点集合, 可分为散乱点云、网格点云、等值线点云和扫描线点云等^[7]。曲面零件点云数据采集的工作质量至关重要, 要保证采集到的点云数据正确、可靠。基于曲面零件的结构特点, 通过激光扫描仪对曲面零件的点云数据进行采集。激光扫描仪在使用前, 需要对镜头和光栅镜进行校准。完成校准操作后, 对相机参数进行标定。为了使点云数据更加准确, 需要制定扫描路径, 通常情况下是顺着某一特征方向

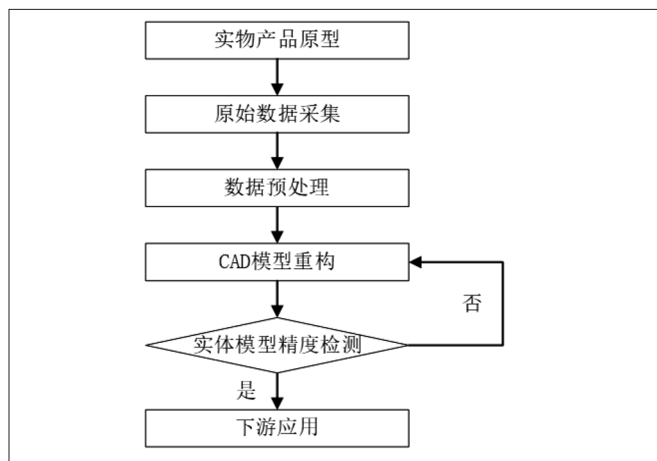


图2 逆向工程流程示意图

采集点云数据。开始扫描前，先对 FlexScan3D 软件进行扫描参数的设定，并调整曲面零件与镜头的距离和角度；然后将曲面零件放置转盘上，保持曲面零件和转盘在十字中间，并通过 FlexScan3D 软件设置相机曝光值。开始对曲面零件进行扫描时，通过翻转曲面零件，对不同角度的表面进行扫描，最终获得完整的曲面零件点云数据。

2.2 曲面零件点云数据处理

数据处理是曲面零件逆向设计的关键一步，激光扫描仪^[8]扫描得到的点云数据，常常带有许多的杂点、噪声点，因此，需要对点云数据进行预处理，为曲面重构过程做好准备。点云数据预处理包括点云对齐、噪声点去除、数据精简及光顺处理等。Unigraphics NX 中的 Imageware 是一款通用软件，用户可以直接通过该软件对点云数据进行处理，不需要转换点云数据的格式。然后，判定曲面零件的特征点、特征线，在每个点云网格中创建适当的曲线；如果出现精度和光顺程度不符合要求的情况，可进行重新创建，最终获得满意的曲线，完成对曲面零件的曲线架构。

2.3 曲面零件的曲面重构

曲面零件的曲面重构模型大体包括：分片连续的样条曲面模型、众多小三角片构成的多面体模型和细分曲面模型^[9]。Imageware 软件包含多种创建零件曲面的方法，可以直接由点云数据、曲线、曲面形成自由曲面。曲面构建过程包括探测轮廓线、构建曲面片、编辑曲面片和拟合曲面等。曲面零件的曲面重构后，需要利用 Imageware 软件对曲面零件模型和点云数据的偏差进行检测，主要检测曲面的光顺性与曲面数据的偏差，偏差大小与曲面零件实体

本身表面质量好坏有直接关系。在光顺性和偏差之间找到平衡点，避免过于追求曲面的光顺性，从而丢失曲面零件实体的特征。

3 曲面零件的数控加工

数控加工技术主要依靠计算机数字控制（CNC）进行自动加工，具有高效率、高精度等特点^[10]。在曲面零件加工中，五轴数控加工技术占据着主导地位。五轴数控机床与三轴数控机床不同，在3个平动轴上增加了2个旋转轴。五轴数控机床可以实现刀具对工件的位置可控、刀具轴线对工件的方向可控，具有提高刀具可达性、控制刀具参与切削的区域等优势。

3.1 五轴数控加工程序编写

五轴数控加工在航空航天、汽车制造等模具领域中应用广泛，通常使用 Unigraphics NX 的 CAM 模块进行程序编写，生成 NC 程序。该软件可以直接调用曲面零件的实体模型，对曲面零件进行结构分析，制定加工刀具的走刀加工路线，并选择合适的加工参数。如需修改某个特定的参数，系统会自主更改刀轨，从而提高自动编程效率。

3.1.1 刀位轨迹生成

曲面零件加工的刀位轨迹是在图形交互基础上完成的。将通过逆向设计得到的曲面零件模型输入 CAM 模块中，通过创建刀具、制定加工方法和切削方式、设定切削参数等，生成加工刀具位置源文件。

3.1.2 加工坐标系设定

先在加工原点的基础上建立加工坐标系，然后利用 Unigraphics NX 软件设置坐标轴，规定数控机床导轨的方向。创建加工操作，需要设置父节点组，用来保证加工精度和加工质量。

3.1.3 创建加工操作

一个加工步骤即一个加工操作，它是单一的刀轨及对应信息的组合。在 Unigraphics NX 软件中选择指定的程序和刀具后，点击应用按钮，在指定加工区域中设定切削参数及非切削参数。由于编程产生的刀位文件没有考虑数控系统类型，其无法对数控机床进行控制，可以通过 Unigraphics NX 的后置处理功能生成数控加工制造程序，完成曲面零件的数控加工。

3.2 曲面零件五轴数控加工工艺

在五轴数控加工过程中，曲面零件的曲面加工是

核心环节。曲面加工工艺包括切削加工刀具、切削参数等的选择。曲面零件的曲面可分为叶片类型的曲面、螺旋形状槽体曲面、自由类型曲面等。对于不同类型的曲面,刀具进给过程中需要选择不同的切削角度进行加工制造,有端铣和侧铣加工两种。

(1) 端铣加工是铣削加工中最普遍的操作。该加工模式是采用刀具端面的切削刃对曲面零件的加工表面进行铣削操作;切削刀齿数量较多,保证了切削加工的效率。端铣加工时,刀轴相对短,切削刃运行平稳,适用于大进给量的加工模式。采用端铣加工,能够避开曲面零件的干涉表面,满足具有凸凹面的曲面零件的加工制造要求,可有效提升曲面零件的加工质量。

(2) 侧铣加工模式是采用刀具的侧刃对曲面零件的加工表面进行铣削操作。由于参与切削加工的刀具与曲面零件加工表面的接触线较长,增加了加工的接触面积,可以更高效率地进行加工,适用于精铣阶段。刀具类型的合理选择对于侧铣加工的精度和效率至关重要,常见的侧铣加工刀具具有环形刀、圆柱刀、鼓形刀和圆锥刀4种类型,如图3所示。其中,圆锥刀有更多的加工空间,在加工有一定斜度的表面时能够一次成型,更具有使用性。因此,近年来,相关学者和使用者对圆锥刀侧铣加工的研究越来越多。

3.3 五轴数控加工刀具轴线方向矢量控制

刀具在运行过程中,刀轴的驱动面的法向矢量与垂直于刀轴驱动面的刀具轴线应始终保持平行,这样能够得到较大的切削加工宽度和行间区域的最大加工残留高度数值,并且可以降低刀具运行的轨迹长度数值。但加工曲面零件的表面时,仅采用平行或者垂直于刀轴驱动面的铣削模式,经常会出现干涉现象。因此,为避免发生工装夹具、刀具、曲面零件、机床设备相互之间的干涉,需要在刀轴驱动面处于一定的倾斜角度的模式下进行刀具角度的调整。在实际进行曲面零件五轴数控加工过程中,数控铣削加工刀具轴线会随加工曲面的法线不断地摆动,应科学地进行刀具运行轨迹规划。

3.4 五轴数控加工刀具行动轨迹控制

在五轴数控加工中,曲面零件的加工精度与刀具运行轨迹的设置有关。同样的曲面要采用一致的刀具运行轨迹,若刀具运行轨迹不一致,曲面零件的加工精度会有明显区别。通常要对刀具运行

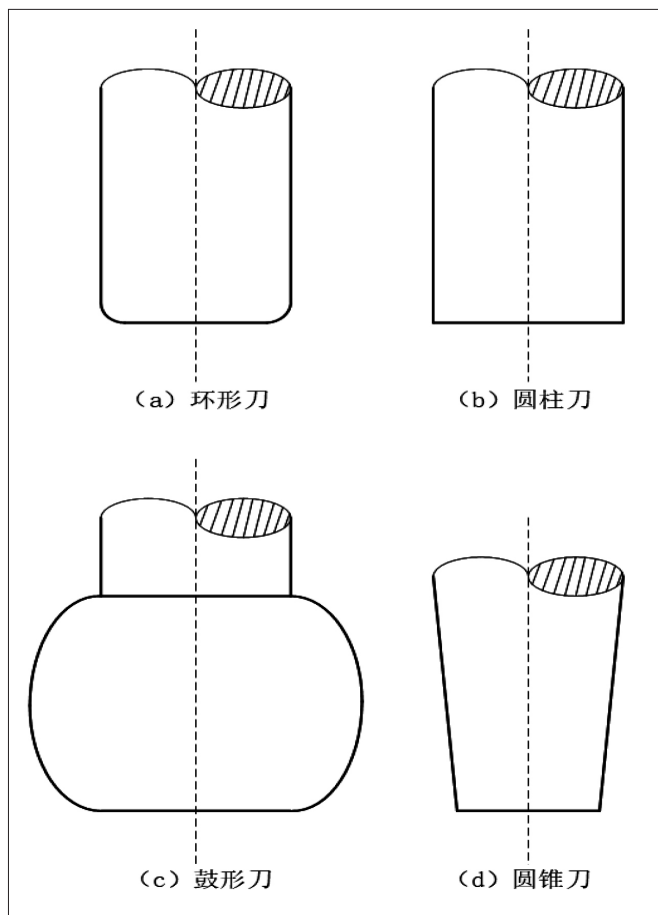


图3 刀具类型

轨迹的连续特性、刀具运行轨迹的长度数值、刀具运行轨迹方向的统一特性进行控制,以提升五轴数控加工的精度和效率,其具体内容如下:

(1) 刀具运行轨迹的连续特性。为确保曲面零件表面的加工质量,需要采用不间断的连续走刀切削方式。如出现频率较高的抬刀现象,断续性的刀具运行轨迹会严重影响曲面零件表面的加工质量。同时,刀具运行轨迹还会出现不必要的往返行进过程,从而降低曲面零件的整体加工效率。

(2) 刀具运行轨迹的长度数值。刀具运行轨迹的长度数值等于刀具切削进给时的有效轨迹长度数值与空行程的长度数值之和。在曲面零件的加工过程中,刀具运行轨迹的长度数值越小,加工效率越高,因此,需要有效控制刀具运行轨迹的长度数值。

(3) 刀具运行轨迹方向的统一特性。刀具运行轨迹方向与加工曲面零件表面的法向矢量的改变频率和幅度有直接关系,如刀具运行轨迹方向存在差异,将直接影响曲面零件的加工质量。因此,要尽量降低法向矢量的改变频率和幅度。

4 结语

与传统的零件加工制造相比，逆向工程与数控加工可以为制造业提供更多创新的产品。本文以曲面零件为研究对象，对其逆向设计和数控加工方法进行了研究，得出以下结论：

- (1) 对于曲面零件而言，逆向工程开发时间较短，可以提高设计质量和产品竞争力，加快制造业的发展。
- (2) Imageware 软件可以实现曲面零件的模型重构，通过 Unigraphics NX 软件的 CAM 模块进行加工程序的编写，可快速获得 NC 程序，完全满足曲面零件的逆向设计需求。
- (3) 五轴数控加工具有显著的优势，但受诸多因素的影响，需做好刀具轴线方向矢量控制和刀具行动轨迹控制，以实现曲面零件的高效加工。

参考文献：

[1] 周敏. 多轴数控技术加工精密复杂曲面零件的分析 [J]. 电子技术, 2022, 51(09): 276-277.

[2] 梁超林. 基于 UG 的薄壁曲面零件数控加工技术 [J]. 今日制造与升级, 2022(04): 88-90+149.

[3] 马辉, 杨晶, 王媛. 基于逆向工程的曲面壳体类零件的设计与应用研究 [J]. 太原学院学报(自然科学版), 2021, 39(02): 30-34.

[4] 徐金亭, 牛金波, 陈满森, 等. 精密复杂曲面零件多轴数控加工技术研究进展 [J]. 航空学报, 2021, 42(10): 24-47.

[5] 师世健. 大型椭球类复杂曲面逆向工程加工关键技术研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2020.

[6] 徐梓轩. 复杂零件的数控加工工艺及编程技术分析 [J]. 湖北农机化, 2020(04): 171.

[7] 韩晓光, 翟婷婷, 付移风, 等. 数控加工曲面零件的误差分析与补偿技术研究 [J]. 新型工业化, 2018, 8(11): 75-78+92.

[8] 张伟雄. 数控加工中曲面加工方法的比较 [J]. 科技创新与应用, 2016(12): 125.

[9] 聂迪, 赵彦如. 基于逆向工程的曲面零件重构 [J]. 山东工业技术, 2016(05): 112.

[10] 胡小青, 覃才友, 李小汝. 基于 UG 的曲面零件的造型设计与数控加工仿真研究 [J]. 机械工程师, 2015(03): 104-105+106.

作者简介: 郭扬 (1986.04-), 男, 穿青人, 贵州毕节人, 本科, 实验师, 研究方向: 计算机辅助工程及先进制造技术。

