

# 开式叶轮工艺分析和数控加工仿真技术

■ 常州兰翔机械有限责任公司（江苏 213022） 彭 晨

**摘要：**介绍了叶轮叶盘类零件的加工现状，并列举零件进行了工艺分析，从NX建模、加工方法、加工刀具及程序编制等方面逐一阐述，并在VERICUT软件上进行了仿真和试加工验证，最终得出结论，证明程序编制的正确性和加工的可行性。

叶轮是发动机的核心零件，它被广泛应用于航空、航天、船舶及其他工业领域。为提升性能，叶轮的设计变得越来越复杂，其叶形有可展直纹面、不可展直纹面，乃至自由曲面。从结构上看，叶轮通常设计成整体式，加之流道是开式或闭式的，且扭角较大，在加工时，刀具姿态受影响比较严重，且叶形精度较高，其加工的难度比较大。

## 1. 加工现状

叶轮叶盘类零件的加工问题一直是困扰广大科技人员的技术难题，也倍受各国工业界的关注。为此，各工业发达国家先后使用多种加工方法，现多采用数控加工技术。

然而，数控加工程序一般都是依靠常用绘图工具中的加工模块生成的，如NX、MasterCAM等，这些模块具有通用性。在这些通用软件多轴加工模块中，加工曲面的划分、检查体的选取、驱动方式的选择、刀轴和投影矢量的选用及切削曲面刀轨的控制有一定的难度，需要熟练掌握运用技巧才能顺利完成。随着数字化设计和制造技术的发展，一

些软件针对叶轮叶盘开发了专用模块，甚至完全开发出了其专用的加工软件，诸如HyperMILL、PowerMILL和MAX-PAC等，在五轴加工叶轮叶盘使用中，确实提高了产品的编程效率和生产周期，但最终因为产品价格昂贵，让众多厂家望而却步。

因此，那些含有通用性的多轴加工模块软件仍得到众多厂家的广泛应用，本文将借助NX软件

的建模和加工模块来讲述开式叶轮的五轴数控加工技术。

## 2. 工艺分析

×××.01.001（转子）属于新研制的某主减滑油冷却风扇中的重要件，该主减滑油冷却风扇是直升机主减滑油冷却系统的重要组成部分。

×××.01.001（转子）二维图（数据经过处理）、三维图分别如图1、图2所示，属于开式叶

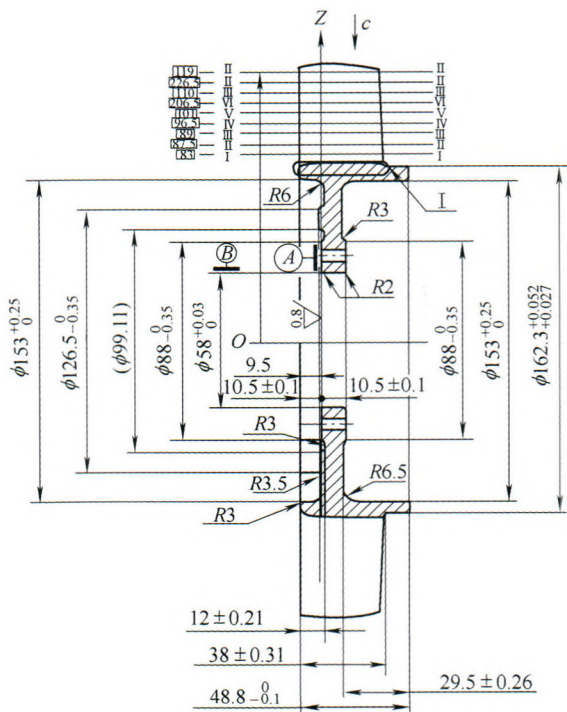


图1 ×××.01.001二维图

轮,其毛坯为2A70锻件,由19个均布的叶片组成,叶形是自由曲面。

由于叶片是自由曲面,型面薄,叶身以及前后缘公差严,数控加工难度较大。有关叶形的技术要求设计图样中有以下两点:①叶片叶盘和叶背对理论型面法向允许差 $^{+0.20}_{-0}$ mm。②叶片叶背、叶盆与内环倒圆为R3.5mm,前缘部位圆滑转接。

根据以上零件特征和技术要求分析,重点在于叶形的加工。其中,数控粗、精铣叶形这两道工序是该零件加工的难点之一。本文在加工编程中,也将只讨论这两道工序。

(1) 零件建模的理想与否至关重要,因为程序的编制是依赖于零件模型的。如果实际模型曲面偏离了理论曲线和点构建的面,将会导致最终加工的产品和设计模型不符。

首先,运用NX软件对零件进行三维建模。对于自由曲面部分,将设计提供的原始数据处理成NX软件可以读取的.DAT文件,利用“样条曲线”命令“通过点”生成样条曲线,依次读取各个截面的数据点,生成各截面叶盆、叶背曲线。

在生成样条曲线时,原始数据点往往不太理想,必须进行合理地修正,才能保证最终得到的



图2  $\times \times \times .01.001$ 三维图

型面是光顺的。以 I - I 截面为例,叶背样条线进行曲率分析的结果如图3所示。

利用NX中曲线曲率梳分析和编辑曲线中样条曲线光顺命令对原始曲线进行光顺处理,修正的原则是保证修正后的曲线和理论曲线的偏差不大于图样尺寸公差 $\frac{1}{3}$ 。经过光顺处理后叶背的样条线曲率梳分布情况如图4所示。

该零件叶形9个截面的叶背、叶盆样条线都需做类似处理,再将每个截面前后缘半径R按照设计图样中给定的值构建出来,与叶盆、叶背样条线组成一组截面线;如果叶背、叶盆样条线与前、后缘半径R连接不上,则需要将样条线运用延伸的方式与前后缘半径R连接,保证每个截面的弦长。通过9组截面线就可以构建出来零件的叶形三维数模。

由于设计给出的第IV截面位置是119mm,第I截面位置是83mm,叶形最大半径尺寸是



图3 I-I截面叶背样条线未光顺前的曲率梳分布图



图4 I-I截面叶背样条线光顺后的曲率梳分布图

122.85mm(二维图未标注),轮毂部分最小半径尺寸为74.361mm(二维图未标注),这样就造成了叶尖、叶根部分的叶形需要运用NX软件的相关菜单对没有数据的部分进行构建,NX软件提供了多种方法,比如曲面延伸、型面偏置等方式。运用的菜单不同,构建出来的型面会有差异。

轮毂部分的建模则相对比较简单,在此不做赘述。

(2) 加工方法:在五轴联动数控加工空间曲面中,加工主要有两种方式:“线接触”法和“点接触”法。“点接触”法加工是利用球头铣刀加工,简单易操作,只要刀具半径小于曲面最小曲率半径就可以避免干涉,理论上可适合加工任意曲面。而“线接触”法加工是利用刀具侧刃以线接触的方式进行加工,刀具可选用立铣刀或R铣刀。这种加工方法,切削效率高,可获得较高的尺寸精度和表面质量。

对于叶片类零件加工可优选“线接触”加工方法。但是,这种加工方法仅限于可展直纹曲面或可满足公差要求的近似直纹曲面。由于该叶轮型面不是直纹面,叶盆、叶背如果近似成直纹面,误差将超过设计图样给定的 $^{+0.20}_{-0}$ mm公差。所以,我们在数控编程中半精加工时采用的是侧刃加工,但是在精加工时采用的是球头刀点接触加工。

(3) 设备选择:该零件属于开式叶轮,叶形属于复杂自由曲面,将选用五轴加工中心来数控加工。设备型号:HERMLE C40U,回转摆动工作台,摆角范围 $-110^{\circ}$ 至 $+110^{\circ}$ ,可以满足零

件加工要求。

(4) 刀具选择：数控加工零件对刀具的刚度和寿命要求比较严格。因为刀具刚度差、质量低，不仅影响加工生产率和加工精度，也易在零件轮廓上留下接刀痕迹，影响表面质量。为提高加工效率及防止刀具刚性不足产生让刀，在开槽加工过程中常选用平底棒铣刀或平底R刀，以缩短加工时间和提高加工精度。

对于非直纹型面转子叶轮的叶形面精加工，只能靠球头刀行切进行。为增加刀具的强度，可采用锥度球头刀具。根据通道叶盆、叶背之间的间距大小以及叶根部位的半径R3.5mm，确定采用表1所示的刀具。

(5) 程序编制：NX软件含有加工模块，其中 Mill\_Multi-Axis多轴编程模块较为困难和复

杂，在多轴加工时必须考虑机床主轴头、刀柄及刀具的非切削部位是否会与工作台、夹具和零件碰撞；刀具在切削时，是否会产生干涉和过切现象。

在编制叶形加工程序时，首先就是考虑通道的粗加工，先用大刀加工通道上面部分，由于下面通道较为狭窄，可采用小刀粗加工，这种分层加工有利于提高粗加工效率。通道粗加工完后，进行前、后缘的精铣，然后进行叶形、通道半精加工，预留精加工的余量，最后就对叶形和通道进行精加工，当然，叶形清根不可少。

以上就是整个叶形加工的过程，在NX多轴铣类型中，设置不同的参数，生成各个加工区域的轨迹，零件叶形和流道的整个加工轨迹如图5所示。

表1 加工用刀具清单及用途

| 程序号         | 刀具号 | 刀具类型                    | 规格                                                             | 用途                 |
|-------------|-----|-------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------|
| N1          | T1  | 玉米棒铣刀                   | $\phi 16\text{mm} \times 15\text{mm} \times 80\text{mm}$       | 流道分层粗加工1           |
| N2          | T2  | $\phi 12\text{R1}$ 铣刀   | $\phi 12\text{mmR1mm} \times 15\text{mm} \times 90\text{mm}$   | 流道分层粗加工2           |
| N3          | T3  | D7球头铣刀                  | $\phi 7\text{mmR3.5mm} \times 20\text{mm} \times 90\text{mm}$  | 前、后缘精铣             |
| N4          | T4  | $\phi 12\text{R3.5}$ 铣刀 | $\phi 12\text{mmR3.5mm} \times 20\text{mm} \times 90\text{mm}$ | 半精铣叶形              |
| N5、N6、N7、N8 | T3  | D7球头铣刀                  | $\phi 7\text{mmR3.5mm} \times 20\text{mm} \times 90\text{mm}$  | 半精铣流道、精铣叶形、精铣流道、清根 |

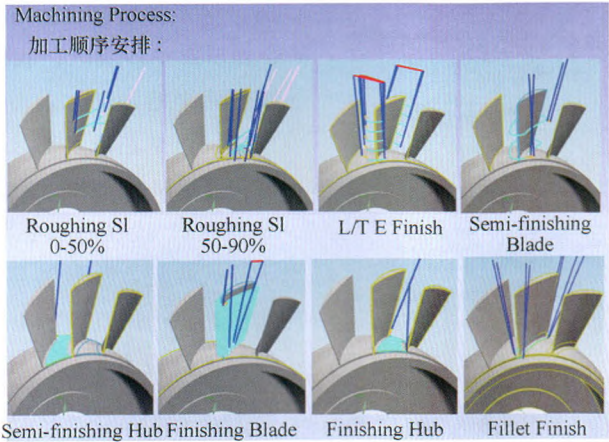


图5 零件加工轨迹

3. VERICUT仿真

VERICUT软件是美国CGTech公司开发的专用模拟数控加工仿真和优化软件，在加工过程中，它能够真实地模拟刀具的切削、加工零件、夹具、工作台及机床各轴的运动情况，该软件能够对NC程序进行仿真、验证、分析及优化。

通过该软件Machine Simulation、Multi-Axis模块对上述NX生成的程序进行仿真加工，图6、图7及图8所示分别是零件流道粗加工、叶形半精加工和叶形精加工程序仿真后的效果图。

在对整个加工过程仿真结

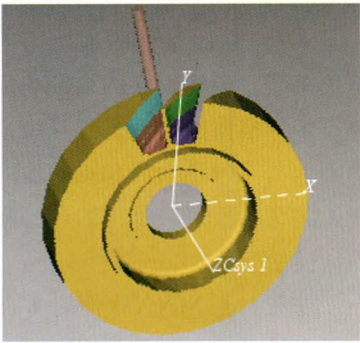


图6 流道粗加工程序仿真效果

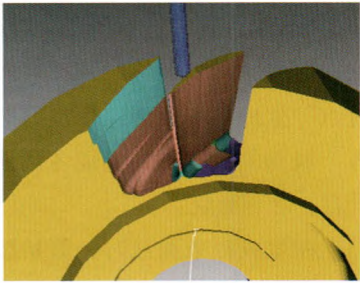


图7 叶形半精加工程序仿真效果

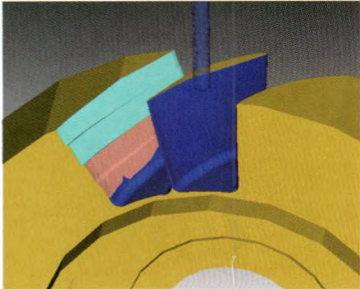


图8 叶形精加工程序仿真效果

# 气动助力机械手的设计及平衡力分析

■ 大连营辉机械制造有限公司 (辽宁 116000) 韩建亮

**摘要:** 本文简要介绍了自行设计制造的气动助力机械手的机械结构及气控原理,通过Excel详细计算了机械手在运动过程中的平衡力大小,并运用VBA编程,模拟出运动过程中平衡位置对应平衡力的关系图,找到了最佳的结构及使用状态。

我公司现需要设计一台辅助设备夹持重量在15~60kg的电力矩扳手,将其精确移载,能够在有效范围内平稳的提升、下降或平移。

经过反复的研究对比,决定借鉴气动助力机械手的结构,自行开发设计一套符合使用工况的助力机械手。气动助力机械手(又称反力臂、平衡器、平衡吊、气动助力器、手动移载机等)是一种运用负载检测及气压反馈原理对重物实现自动平衡的设备。它

巧妙地应用力的平衡原理,使操作者对重物进行相应的推拉,实现在空间内平衡移动,并通过实施很小的操作力(行业内以小于2.5kg为判断标准)破坏其气压平衡,将重物高效快速地从一个工位移到另一个工位。另外该机械手制造成本低廉,操作使用简单,不需电驱动,仅靠气体就可实现半自动化。

## 1. 结构设计方案

根据作业场地条件,我们决

定采用立柱式直接连接于地面的方案,如图1所示。主体有两个机



图1 结构设计方案

束后,再通过VEIRCUT软件中的AUTO-DIFF功能进行比较,将仿真加工后的模型与零件的原始模型进行比较,可以查看两者在哪些区域有过切或欠切现象产生。如果有过切或欠切区域,通过点击生成报告,则会给出自检报告,显示出错的次数以及程序号、过切位置及过切坐标点等相关信息,从而对相应的程序进行调整。

## 4. 加工验证

在程序经过NX软件后置处理,VERICUT软件仿真确认没有过切、碰撞的情况下,在五轴加

工中心C40U进行了试加工验证。零件试加工完毕后,叶形做三坐标计量。计量结果显示:叶形符合设计图样规定的公差要求。零件抛光后的效果如图9所示。

## 5. 结语

经过NX生成程序,在

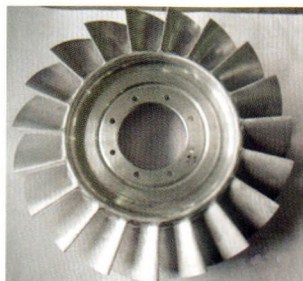


图9 零件最终抛光后的效果

VERICUT实体仿真切削验证正确后,毛坯在五轴机床上进行试切加工。加工后的零件经尺寸、位置度检验和叶形的三坐标计量符合图样要求,确定为合格零件。证明了程序编制的正确性和加工的可行性。

## 参考文献:

- [1] 文杰书院. UG NX 8.5中文版基础教程[M]. 北京:清华大学出版社, 2014.
- [2] 杨胜群. VERICUT数控机床加工仿真技术[M]. 北京:清华大学出版社, 2010.

MW (收稿日期: 20161225)