



天津中德应用技术大学
Tianjin Sino-German University of Applied Sciences

本科生毕业设计

840D sl 系统的五轴数控机床专用后置处理程序设计与实现
Design and Implementation of Special Post Processing Program for
Five Axis Machine Tool in 840D sl CNC System

姓 名 张新会

学 院 机械工程学院

专 业 机械电子工程

指导教师 左维

职 称 副教授

完成时间 2021年6月

天津中德应用技术大学
本科生毕业设计（论文）的声明

本人郑重声明：所呈交的毕业设计（论文），是本人在指导教师指导下，进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本毕业设计（论文）的研究成果不包含任何他人创作的、已公开发表或没有公开发表的作品内容。对本设计（论文）所涉及的研究工作做出贡献的其他个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本毕业设计（论文）原创性声明的法律责任由本人承担。

毕业设计（论文）作者签名：

年 月 日

本人声明：该毕业设计（论文）是本人指导学生完成的研究成果，已经审阅过设计（论文）的全部内容，并能够保证题目、关键词、摘要部分中英文内容的一致性和准确性。

毕业设计（论文）指导教师签名：

年 月 日

摘 要

随着数控技术的发展,五轴数控技术逐渐被广泛应用,其可以对一些精密复杂零件进行加工,五轴加工编程以及后置处理成为五轴数控加工技术的关键。本篇论文主要对后置处理进行研究。后置处理技术分为通用后置处理以及专用后置处理,通用后置处理生成的加工程序需要大量更改程序,需要专业的数控编程人员完成,大多情况下不被直接使用,专用后置处理具有针对性,更容易被操作者使用,因此本篇论文是对专用后置处理的研究。

本篇论文研究了五轴数控机床的类型,包括双摆头式五轴数控机床、双转台式五轴数控机床、单转台单摆头式五轴数控机床,研究各类机床的轴的运动方向。对配备西门子 840D sl 系统的五轴数控机床进行运动学求解,研究刀具坐标系、工件坐标系、机床坐标系之间的关系及坐标转换关系。基于 NX 软件,以实验室一台配备西门子 840D sl 数控系统五轴机床为研究对象,设计针对此五轴数控的专用后置处理程序,将叶轮的刀位源文件通过专用后置处理器生成机床能够识别的 NC 程序,按工艺要求将 NC 程序分成五个部分,检查 NC 程序的正确性。将检查后的 NC 程序在 SINUTRAIN 软件中进行模拟,对加工程序进行检验,验证加工程序没问题后再导入真实机床进行加工,得到实物叶轮。

本篇论文是对双转台式五轴数控机床进行专用后置处理程序的设计,此专用后置处理程序的研究成果,不但能够为此机床的加工提供了极大的方便性,对其他机床的专用后置处理程序的研究也具有一定的借鉴意义,例如双摆头式五轴数控机床以及单转台单摆头式五轴数控机床等。

关键词: NX; 五轴数控机床; 数控编程; 后置处理

ABSTRACT

With the development of numerical control technology, five axis numerical control technology is gradually widely used, which can process some precise and complex parts. Five axis machining programming and post-processing become the key of five axis numerical control machining technology. This paper mainly studies post-processing. Postprocessing technology is divided into general postprocessing and special postprocessing. The processing program generated by general postprocessing needs a lot of program changes and needs to be completed by professional NC programmers. In most cases, it is not directly used. Special postprocessing is targeted and easier to be used by operators. Therefore, this paper is the research of special postprocessing.

This paper studies the types of five-axis CNC machine tools, including dual-swing head five-axis CNC machine tools, dual-turn table-top five-axis CNC machine tools, one-swing five-axis CNC machine tools, and studies the direction of movement of various types of machine tools. The kinematics solution of the five-axis CNC machine tool equipped with Siemens 840D sl system is carried out, and the relationship between tool coordinate system, workpiece coordinate system, machine tool coordinate system and coordinate conversion relationship is studied. Based on NX software, a special post processing program for this five axis NC is designed based on NX software. The NC program can be identified by the special post processor. According to the technical requirements, the NC program is divided into five parts, and the correctness of the NC program is checked. The NC program after inspection is simulated in SINUTRAIN software, and the machining program is inspected. After verifying that the machining procedure is OK, it is then imported into the real machine tool for processing, and the real impeller can be obtained.

This article is the design of a dedicated post-handler for dual-turn tabletop five-axis CNC machines. The research results of this special post-processing program can not only provide great convenience for the processing of this machine tool, but also have certain reference significance for the research of special post-processing program of other machine tools. For example, double-swing head five-axis CNC machine tools and one-swing five-axis CNC machine tools.

Key words: NX; five axis NC machine tool; NC programming; Post-processing

目 录

第一章 绪论.....	1
1.1 课题研究背景及意义.....	1
1.2 国内外研究现状.....	1
1.3 主要研究内容.....	2
1.4 技术路线.....	2
第二章 五轴数控机床选择与分析.....	3
2.1 五轴数控机床分类.....	3
2.2 西门子 840Dsl 系统 BC 式双转台五轴数控机床.....	4
2.3 双转台式五轴数控机床运动学求解.....	6
第三章 后置处理程序设计.....	9
3.1 NX 软件的介绍及应用.....	9
3.2 后置处理技术介绍.....	9
3.3 NX 专用后置处理设计.....	11
3.4 刀具源文件生成 NC 程序.....	21
第四章 后置处理程序验证.....	24
4.1 叶轮模拟加工步骤.....	24
4.2 SINUTRAIN 软件介绍.....	27
4.3 模拟叶轮加工.....	29
4.4 叶轮真实加工.....	31
第五章 总结与展望.....	33
5.1 总结.....	33
5.2 展望.....	33
参考文献.....	34
致 谢.....	35
附录.....	36
附录一 中文译文及外文资料.....	36
附录二 叶轮 NC 程序.....	45

第一章 绪论

1.1 课题研究背景及意义

随着经济的飞速发展,我国制造业规模跃居世界第一,建立各个领域完整的制造体系。和一些先进国家相比,虽然我国制造业规模足够大,但还需要在更多方面有新的突破。近年来我国装备制造业的实力逐步提升^[1],中国制造业从制造到创造,由传统到智能,不断向创新、智慧、开放迈进。制造业能反映一个国家的综合实力^[2],而数控技术是反映制造业水平的重要一部分^[3,4],其中五轴数控加工技术占显著的智能化优势,由此可见五轴数控加工技术对制造业乃至一个国家的重要性^[4]。

五轴数控机床具有加工效率高,能加工叶轮、柴油机曲轴等精密零件及复杂曲面的优势^[5,6],但在机床后置处理程序方面存在自主开发难度大以及国外技术限权等问题^[7]。为了在此加工水平基础上实现加工技术的优化,因此对此课题进行研究。该课题应用西门子 NX 软件对实训室一台配备西门子 840D sl 数控系统五轴机床进行后置处理程序设计,基于西门子 NX 软件进行后置处理程序设计,满足实际机床加工需求。因叶轮的叶片是由不规则曲面构成的,加工时刀具和相邻叶片之间的干扰、刀具选择、主轴速度的设置、进给速率的设置、切削深度的设置等问题很容易出现^[8,9],因此最终以加工叶轮的方式进行后置处理程序的验证,使课题的研究更具有说服力。

1.2 国内外研究现状

随着科学技术的飞速发展,数控机床的后置处理技术逐步完善。国外后置处理技术相对更成熟^[10]。Julien Chaves-Jacob 等利用五轴数控机床对叶轮的加工进行了优化处理,并将优化后的叶片加工策略应用于泵中使用的工业叶轮^[11]。Y. P. Shih 等提出了在五轴数控机床上面铣螺旋斜齿的加工方法并在 VERICUT 软件中进行模拟仿真^[12]。国外一些常用软件的 CAD/CAM 系统中都配置后置处理定制模块,如美国的 PRO/E 软件、德国的 NX 软件、法国的 CATIA 软件、以色列的 CIMATRON E 软件等^[13]。这些软件后置处理器的配置为广大用户的使用提供了极大的方便性,但是使用者只是可以利用其后置处理模块生成加工程序,核心算法是有权限的,对于一些特殊的数控系统或专门定制于生产专用零件的数控加工机床,不能自由设计数据库模型,其他功能开发受限。

国内对后置处理技术的研究相比于国外更晚一些,但许多高校对后置处理技术还是有一定研究,这些研究都基于国外的常用软件,例如陈春鹏利用 NX 自带的后置处理器 Post Builder 开发 DMU 50 后置处理模块应用于 DMU50 数控机床生成的 NC 代码,同时用 C 语言编写了 DMU50 双转台五轴数控机床专用后置处理程序,将两者进行相互验证^[7]。宋龙利用 NX 后置处理器,定制 UCP800 数控机床的专用后处理器^[9]。黄干斌成功的研制了专用五轴数控机床后置处理程序,优化了五轴联动加工机床的旋转角,同时进行了机床结构误差方面的补偿^[13]。还有学者利用 NX 后置处理模块设计生成了叶轮的加工程序,在

五轴数控机床上完成了叶轮的加工^[14]。吴新龙对 DMG beta 1250 TC 车铣复合机床开发了相应的后置处理系统，并实际应用到叶轮的加工中，验证了其在实际加工中是没问题的^[15]。

1.3 主要研究内容

本篇论文是使用配备西门子 840D sl 数控系统五轴机床，利用 NX 软件后置处理模块对此机床进行后置处理程序的设计，再根据此后置处理程序生成叶轮的加工程序，最后在机床上进行叶轮的加工，对后置处理程序进行验证。本篇论文各章节的安排如下：

第一章 概述此篇论文的研究背景、目的意义，分析国内外研究现状，引出本篇论文的研究内容。

第二章 五轴数控机床的分类，配备西门子 840D sl 数控系统五轴数控机床介绍。

第三章 NX 软件后置处理构造器介绍，后置处理技术的定义、分类以及专用后置处理程序的设计。

第四章 以叶轮的加工对后置处理程序进行验证，SINUTRAIN 软件对叶轮的加工程序进行模拟，叶轮的 actual 加工。

第五章 得出实验结论，对未来的展望。

1.4 技术路线

本篇论文的技术路线如图 1-1 所示。

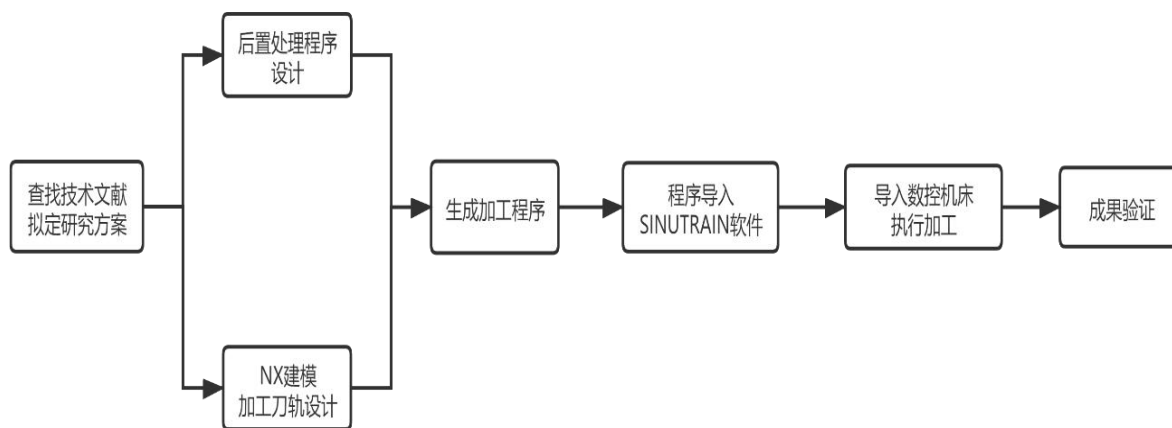


图 1-1 技术路线

第二章 五轴数控机床选择与分析

2.1 五轴数控机床分类

随着数控技术的逐渐成熟，五轴数控机床的使用越来越广，更加智能化，五轴加工技术难度较大，但其加工的范围广，当遇到较为复杂的加工品时，大多会使用五轴加工技术，五轴数控机床可以加工普通机床无法加工的部分零件。相比于三轴联动的数控加工机床，五轴数控机床占据以下优势：

- (1) 加工质量高、加工效率高；
- (2) 加工工艺范围广；
- (3) 符合数控技术发展方向。

五轴数控机床种类繁多，不同类型的五轴数控机床有着其各自不同的特点。常用的五轴数控机床主要分为三种类型：双摆头式五轴数控机床、双转台式五轴数控机床、单转台单摆头式五轴数控机床。

2.1.1 双摆头式五轴数控机床

双摆头式五轴数控机床，刀具主轴分别绕两个坐标系轴线方向转动，直接控制刀具轴线的位置。如图 2-1 所示的五轴数控机床，主轴分别绕 Y 轴及 Z 轴转动且具有转动的行程范围，这种机床即双摆头式五轴数控机床，其刀具处坐标系及刀具主轴转动方向如图 2-2 所示。



图 2-1 双摆头式五轴数控机床

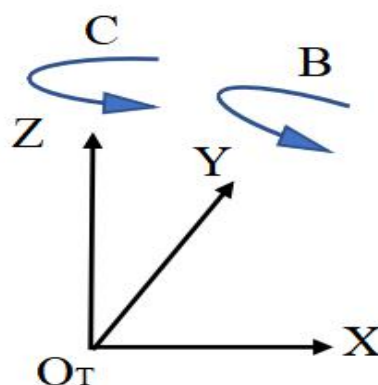


图 2-2 对应刀具坐标系

2.1.2 双转台式五轴数控机床

双转台式五轴数控机床，工作台分别绕坐标系两轴线方向转动，直接控制工件的空间旋转。如图 2-3 所示的五轴数控机床，工作台分别绕 X 轴及 Z 轴转动且有转动的行程范围，这类五轴数控机床成为 AC 轴双转台五轴数控机床，其工件处的坐标系及工作台转动

方向如图 2-4 所示，与之类似的五轴数控机床，其工作台分别绕 Y 轴及 Z 轴转动，这类则为 BC 轴双转台五轴数控机床。

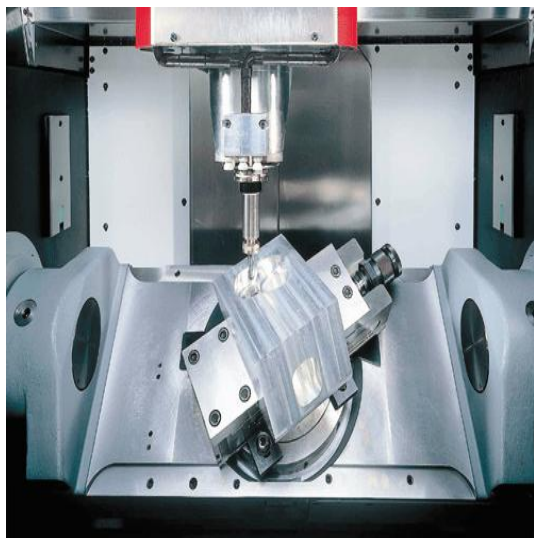


图 2-3 AC 轴双转台式五轴数控机床

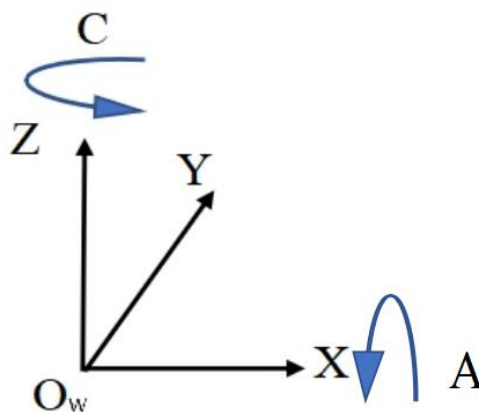


图 2-4 对应工件坐标系

2.1.3 单转台单摆头式五轴数控机床

单转台单摆头式五轴数控机床，刀具主轴绕坐标系一轴线方向摆动，工作台绕坐标系一轴线方向转动。如图 2-5 所示的五轴数控机床，刀具主轴绕 X 轴方向摆动，工作台绕 Z 轴方向转动，即实现了单转台单摆头式五轴数控机床，其对应的工件坐标系、刀具坐标系及刀具主轴、工作台转动方向如图 2-6 所示。



图 2-5 单转台单摆头式五轴数控机床

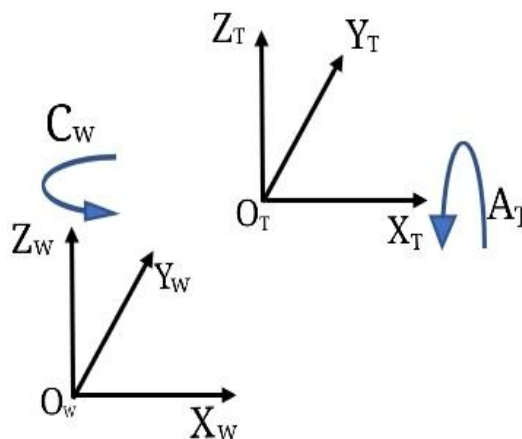


图 2-6 对应工件坐标系及刀具坐标系

2.2 西门子 840Ds1 系统 BC 式双转台五轴数控机床

实训室的西门子 840Ds1 系统五轴数控机床为 BC 式双转台式五轴数控机床，其包括三个直线轴：X 轴、Y 轴、Z 轴，两个旋转轴：B 轴、C 轴，用于加工中小型复杂零件。西门子 840D s1 五轴数控机床的结构如图 2-7 所示。在此五轴数控机床中，Y 轴带动 X 轴

运动，B 轴带动 C 轴运动。西门子 840D sl 系统五轴数控机床加工的主要特点为：

- (1) 主要用于高精度零件的加工
- (2) 因该五轴数控机床的结构中，工作台带动加工零件同时运动，所以机床的刚度较低
- (3) 因刀具所在的轴不动，轴线方向与 XY 平面垂直，所以该五轴数控机床适合攻丝、钻孔、曲面等加工



图 2-7 西门子 840D sl 五轴数控机床

此 BC 轴双转台式五轴数控机床的基本参数如下：

表 2-1 西门子 840Dsl 五轴数控机床的基本参数

工作范围	纵向行程, X(mm)	500mm
	纵向行程, Y(mm)	300mm
	纵向行程, Z(mm)	500mm
	B 轴(°)	-11°~100°
	C 轴(°)	n*360°
工作主轴	最大主轴转速	9000r/min
	额定功率	8KW
	最大扭矩	103Nm
进给速度	最大快速移动速度 (X,Y,Z)[mm/min]	5000mm/min
	最大轴速度 (B)	16r/min
	最大轴速度 (C)	27r/min
工作台	工作台面	700*420
	工作台承重(KG)	500KG
换刀装置	BT40(刀位数)	16
数控系统	西门子 840D sl	

2.3 双转台式五轴数控机床运动学求解

前置处理后的刀位源文件之中，刀具的坐标与真实机床上每个轴的运动坐标无关，不能直接相互对接使用，需要进行坐标转换，使刀具运动坐标转换成能被机床控制的运动坐标，其转换过程主要是通过齐次变换矩阵完成，其中用到平移变换矩阵与旋转变换矩阵^[16]。根据西门子 840D sl 系统五轴数控机床坐标运动原理进行坐标转换，B 轴以 Y 轴为基准摆动，C 轴以 Z 轴为基准转动，方向不确定，与工作台的运动方向有关。

设工件的坐标系是 $O_W X_W Y_W Z_W$ ，其原点是 CAM 软件加工编程时的原点；设刀具坐标系是 $O_T X_T Y_T Z_T$ ，其原点是刀尖的中心点；设同机床坐标系方向一致的坐标系是 $O_M X_M Y_M Z_M$ ，其原点是 B 轴和 C 轴相交的点。因前置处理的刀位源文件建立在工件坐标系下，若使数控机床能使用其刀位源文件，需要将其转换为刀具坐标系下的程序，所以主要转换方向是将工件的坐标系 $O_W X_W Y_W Z_W$ 与刀具坐标系 $O_T X_T Y_T Z_T$ 建立联系，其中刀具坐标系 $O_T X_T Y_T Z_T$ 可分解成工件坐标系 $O_W X_W Y_W Z_W$ 轴的运动与同机床坐标系方向一致的坐标系 $O_M X_M Y_M Z_M$ 的旋转运动。根据双转台型五轴数控机床建立的三个坐标系系统，如图 2-8 所示。

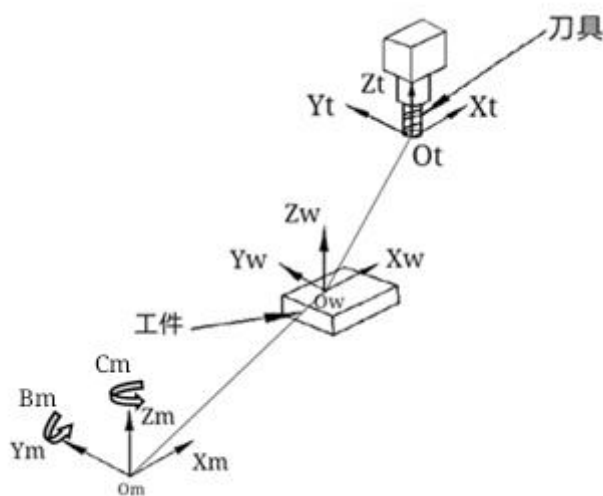


图 2-8 双转台型五轴机床坐标系系统

$O_M X_M Y_M Z_M$ —机床坐标系； $O_W X_W Y_W Z_W$ —工件坐标系； $O_T X_T Y_T Z_T$ —刀具坐标系

设工件坐标系原点的空间坐标矢量 (m_x, m_y, m_z) ，刀尖中心点的矢量 $[0 \ 0 \ 0]^T$ ，刀具轴线方向矢量 $[0 \ 0 \ 1]^T$ ，数控机床的直线轴 X、轴 Y、轴 Z 初始位置 (s_x, s_y, s_z) ，旋转轴初始转角 θ_B 、 θ_C ，刀具轴线相对于工件坐标系 $O_W X_W Y_W Z_W$ 方向为 (u_x, u_y, u_z) ，刀尖中心点相对于工件坐标系 $O_W X_W Y_W Z_W$ 的位置矢量为 (h_x, h_y, h_z) ，刀具坐标系的原点与工件坐标系的原点重合，则交点 O_m 位置向量为 $r_m(m_x, m_y, m_z)$ ，机械轴初始状态的位置向量为

$r_s(s_x, s_y, s_z)$, 由此可推出:

$$[u_x \ u_y \ u_z \ 0]^T = T(r_m) * R_Z(-\theta_C) * R_X(-\theta_B) * T(r_s - r_m) * [0 \ 0 \ 1 \ 0]^T \quad (2-1)$$

$$[h_x \ h_y \ h_z \ 0]^T = T(r_m) * R_Z(-\theta_C) * R_X(-\theta_B) * T(r_s - r_m) * [0 \ 0 \ 0 \ 1]^T \quad (2-2)$$

其中, T 是线性运动的齐次坐标变换矩阵, R 是回转运动的齐次坐标变换矩阵:

$$T(r_m) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & m_x \\ 0 & 1 & 0 & m_y \\ 0 & 0 & 1 & m_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2-3)$$

$$T(r_s - r_m) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & s_x - m_x \\ 0 & 1 & 0 & s_y - m_y \\ 0 & 0 & 1 & s_z - m_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2-4)$$

$$R_Z(-\theta_C) = \begin{bmatrix} \cos\theta_C & \sin\theta_C & 0 & 0 \\ \sin\theta_C & \cos\theta_C & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2-5)$$

$$R_X(-\theta_B) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta_B & \sin\theta_B & 0 \\ 0 & -\sin\theta_B & \cos\theta_B & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2-6)$$

将以上矩阵 (2-3) (2-4) (2-5) (2-6) 带入式 (2-1)、(2-2) 中得:

$$\begin{bmatrix} u_x \\ u_y \\ u_z \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin\theta_B \sin\theta_C \\ \sin\theta_B \cos\theta_C \\ \cos\theta_B \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2-7)$$

$$\begin{bmatrix} h_x \\ h_y \\ h_z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_x + (s_x - m_x) \cos\theta_C + (s_y - m_y) \sin\theta_B \sin\theta_C + (s_z - m_z) \sin\theta_B \sin\theta_C \\ m_x + (s_x - m_x) \cos\theta_C + (s_y - m_y) \sin\theta_B \cos\theta_C + (s_z - m_z) \sin\theta_B \cos\theta_C \\ m_z - (s_y - m_y) \sin\theta_B + (s_z - m_z) \cos\theta_B \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2-8)$$

由式 (2-7) 和 (2-8) 可得三个线性轴及两个旋转轴的公式:

$$s_x = (h_x - m_x) \cos\theta_C - (h_y - m_y) \sin\theta_C + m_x \quad (2-9)$$

$$s_y = (h_x - m_x) \cos\theta_B \sin\theta_C + (h_y - m_y) \cos\theta_B \cos\theta_C - (h_z - m_z) \sin\theta_B + m_x \quad (2-10)$$

$$s_z = (h_x - m_x) \sin\theta_B \sin\theta_C + (h_y - m_y) \sin\theta_B \cos\theta_C + (h_z - m_z) \cos\theta_B + m_z \quad (2-11)$$

$$\theta_B = K_B * \arccos(u_z), \quad K_B = 1, -1; \quad (2-12)$$

$$\theta_C = \arctan\left(\frac{u_x}{u_y}\right) - K_C * \pi, \quad K_C = 0, 1; \quad (2-13)$$

通过轴 B 摆动极限的数值，确定 θ_B 的取值，再根据式（2-7）中的等式 $u_x = \sin\theta_B \sin\theta_C$ 、 $u_y = \sin\theta_B \cos\theta_C$ 可知 θ_B 与 θ_C 是一一对应的。

后置处理算法的一般过程分为以下五步：

- （1）读取刀位源文件；
- （2）提取 $u_x, u_y, u_z, h_x, h_y, h_z$ ；
- （3）计算 θ_B, θ_C ；
- （4）计算机床线性轴运动位移 s_x, s_y, s_z ；
- （5）组合五坐标输出。

第三章 后置处理程序设计

3.1 NX 软件的介绍及应用

NX 软件是由 Siemens PLM Software 公司开发的一个功能性极强的三维设计软件, CAD、CAM、CAE 为其主要三大功能, 包括产品的三维建模、组件装配、运动学仿真、有限元分析等^[17]。NX 软件可以进行加工刀轨的设计, 数控加工技术的发展开始于手动编程, 手动编程不仅费时费力而且还会涉及到数据的计算复杂形状不易加工等问题, NX 软件前置处理过程便可以解决这些问题, 不但大大的提高了工作效率, 而且 NX 软件的后置处理模块可以生成 NC 程序, 给使用者提供了极大的方便性。随着时代的发展进步, 对技术的要求不断提高, 软件的使用也更加普遍, NX 软件广泛应用在很多领域, 例如, 机械, 航空, 制造, 电子工业等^[17]。

本文所用到的是 NX 软件的后置处理构造器, 此模块是对后置处理的设计模块, 其中包含机床、程序和刀轨、N/C 数据定义、输出设置及虚拟 N/C 控制器几个部分组成, 根据机床对后置处理进行设计。

3.2 后置处理技术介绍

随着我国制造业的飞速发展, 数控加工技术成为当今制造业发展的重要组成部分, 同时也是我国制造业发展水平的重要标志之一。计算机时代的到来让数控技术的发展也逐步的实现自动化, 自动化编程开始流行, 并成为大多数编程人员研究的方向。编程人员利用 CAM 软件对加工零件进行加工工艺的设计, 包括刀具的选择, 加工的形状尺寸的设置, 主轴转速、进给速率、切削深度的设置等零件加工要求^[18], 设置完毕后通过软件内部的自动计算就可以生成加工工序, 甚至可以查看其加工路径, 检查其合理性, 结果一目了然, 若加工工序或加工路径不能满足实际要求, 还可以重新进行更改, 但是软件中的加工工序若想成功的应用到数控机床当中被机床识别, 就必须经过后置处理。

后置处理技术是连接 CAM 软件与数控机床的桥梁, 是将 CAM 软件中对零件加工刀具路径设置结果进行读取, 根据固定数控机床特征以及加工程序的格式进行内部分析判断, 最终转换为数控机床能够识别的 NC 程序^[19]。看似容易得转换, 其中也存在很大的奥秘, 也正是有了后置处理技术, 计算机软件的自动编程才能够实现。这就是后置处理技术在数控加工中的重要性, 在自动化编程中的重要性。后置处理模块是 CAM 软件集成系统中的重要组成部分之一, 软件中的通用后置处理器根据数控机床进行二次开发可以使后置处理的程序更顺利的应用到数控机床当中, 为使用者提供极大的方便性。

后置处理开发流程如图 3-1 所示。

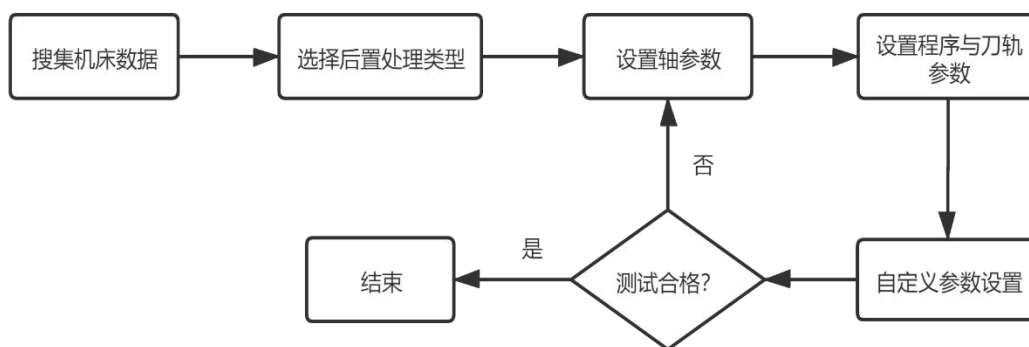


图 3-1 后置处理开发流程

3.2.1 后置处理技术的分类

在计算机技术飞速发展的时代，CAM 软件也被普遍利用，为编程人员提供了极大的方便性，后置处理技术渐渐地也被重视起来。后置处理主要分为两种：第一种是通用后置处理，第二种是专用后置处理。

一些常用的 CAM 软件都研制并对使用者提供了通用后置处理模块，例如，NX 软件所提供的 NX/Post 模块、Pro/E 软件所提供的 Pro/NC POST、Mastercam 软件所提供的 pst 模块，技术人员通过在 CAM 软件中对加工零件尺寸要求、刀具使用等进行加工设计，使其满足于零件的加工要求，再通过软件自带通用后置处理生成 NC 代码，其中复杂指令不能被读取。

专用后置处理模块被大多数人关注，自主开发专用后置处理模块的成功案例也随之增加。专用后置处理模块具有一定的针对性，是根据所研究的数控机床的结构，数控系统的参数对后置处理模块进行设计，利用软件中的后置处理模块，输入来自所研究数控机床的真实数据，生成一个适用于此数控机床的后置处理器，同样在 CAM 软件中对加工零件的要求进行加工设计，再用设计好的后置处理器对加工工序进行后置处理，生成此数控机床可识别的 NC 代码^[20]。

3.2.2 通用后置处理与专用后置处理的对比

通用后置处理一般由软件开发商提供，可以在软件中直接使用，虽然这些 CAM 软件都自带通用后置处理模块，但没有很强的适用性，不能够完全读取信息，大多数软件自带的通用后置处理模块内部设置复杂，只限一些简单指令的读取，内部的某些指令不可读取，后期还需要对大量指令内容进行更改，其中较复杂指令还需要专业人员进一步的修改才能完成，此工作量较大，操作困难，更适用于专业的编程人员。

专用后置处理可以生成适用于指定的数控机床的加工程序，具有一定的针对性，相当于研究者对指定数控机床新设计一个后置处理器，所以需要研究者对数控机床的零点、数控系统的参数等信息有所掌握，进行学习，从而保证后置处理器生成代码的正确性，显而

易见其也存在局限性，那就是此后置处理器只能应用于所研究的数控机床，没有普遍性。

CAM 软件渐渐地被大众所知，后置处理技术更是被更多数控爱好者及编程人员所吸引，数控技术慢慢地走向数控自动化编程，对后置处理的研究不仅仅局限于专业编程人士，许多高校的师生也对其有了一定研究。通用后置处理后期需要大量的修改程序，有较高的专业性要求，工作量大，难以完成，而实训室的一台西门子 840D sl 系统的五轴数控机床正满足于专用后置处理的研究，所以在现有条件基础上，对实训室的数控机床进行研究，利用 NX 软件后置处理模块，设计出满足于此型号数控机床的专用后置处理，并通过实际加工此后置处理生成的叶轮加工程序进行验证，以检验对专用后置处理研究的正确性。

3.3 NX 专用后置处理设计

NX 软件中有通用后置处理，但经过通用后置处理生成的加工程序不能直接进行加工处理，因此后置处理是面向所有机床的，在其程序中存在大量需要更改的程序，专业的编程人员才能够完成，一般不被采用，因此利用 NX 加工-后置处理构造器创建一个专用于西门子 840D sl 系统的五轴数控机床的后置处理器。专用后置处理器设计流程如图 3-2 所示。

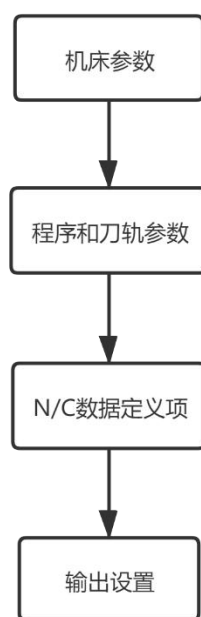


图 3-2 NX/Post Build 创建后置处理流程

在 NX 加工-后置处理构造器中新建文件，由于实际机床是配备西门子 840D sl 数控系统，因此控制器选择 SIEMENS-Sinumerik_840D，建立双转台五轴数控铣床，后处理输出单位为 mm，如图 3-3 所示。



图 3-3 新建后置处理对话框

1. 机床参数设置

西门子 840D s1 系统的五轴数控机床包括三个直线轴及两个旋转轴，设置直线轴的行程参数，X 轴方向行程设为 500，Y 轴方向行程设为 300，Z 轴方向行程设为 500，第四轴及第五轴需要进行设置，根据机床的结构特点，设计第四、五轴分别为 B、C 轴，其中 B 轴的旋转平面为 XZ 平面，C 轴的旋转平面为 XY 平面，其中 B 轴的行程范围为 $-11^{\circ} \sim 100^{\circ}$ ，C 轴的行程为 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ ，如图 3-4 及图 3-5 分别为轴设置及机床显示。



图 3-4 后置处理第四、五轴设置

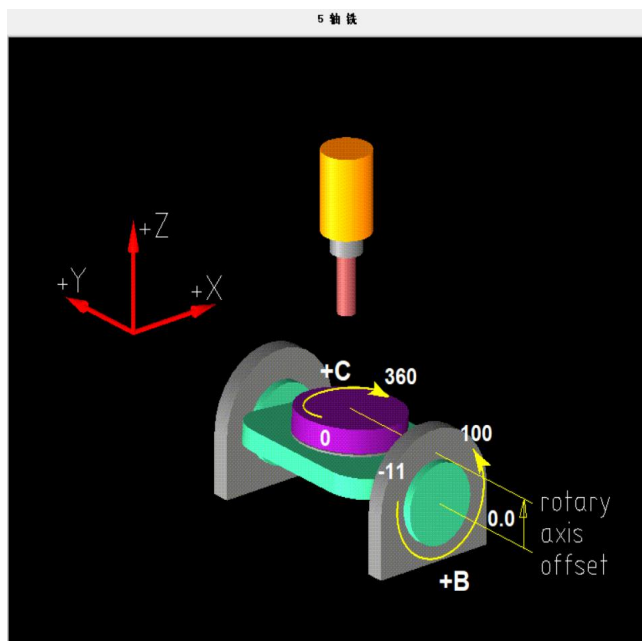


图 3-5 第四、五轴机床显示

2. 程序与刀轨参数的设置

G 代码子选项卡定义后置处理中用到的所有 G 代码，设置结果如图 3-6 所示；M 代码子选项卡定义后置处理中用到的所有 M 代码，设置结果如图 3-7 所示。

快速运动	G 0	英制模式	G 700
线性运动	G 1	公制模式	G 710
圆弧插补 CLW	G 2	绝对模式	G 90
圆弧插补 CCLW	G 3	递增模式	G 91
延迟 (秒)	G 4	进给率模式 IPM	G 94
延迟 (转)	G 4	进给率模式 IPR	G 95
平面 XY	G 17	进给率模式 FRN	G 93
平面 ZX	G 18	主轴 CSS	G 96
平面 YZ	G 19	主轴 RPM	G 97
刀具补偿关闭	G 40	进给率模式 \square IPM	G 94
刀具补偿左	G 41	进给率模式 \square IPR	G 95
刀具补偿右	G 42		

图 3-6 G 代码选项卡

停止/手工换刀	<input type="checkbox"/> 0
选择性停刀	<input type="checkbox"/> 1
程序结束	<input type="checkbox"/> 2
主轴开/CLW	<input type="checkbox"/> 3
主轴 CCLW	<input type="checkbox"/> 4
主轴关	<input type="checkbox"/> 5
换刀/退刀	<input type="checkbox"/> 6
冷却液开	<input type="checkbox"/> 8
液态冷却液	<input type="checkbox"/> 8
雾状冷却液	<input type="checkbox"/> 7
冷却液通孔	<input type="checkbox"/> 26
冷却液攻丝	<input type="checkbox"/> 8
冷却液关	<input type="checkbox"/> 9
倒回	<input type="checkbox"/> 30

图 3-7 M 代码选项卡

文字汇总选项卡定义后置处理中所用到的字地址，将文字列名称与指令对用，例如 G_plane 表示圆弧平面指令；G_cutcom 表示刀具补偿；G_spin 表示主轴转速；G_feed 表示进给率等，部分指令定义结果如图 3-8 所示。

文字	引导符/代码	数据类型	加号 (+)	前导零	整数	小数点 (.)	分数	后置零
G_cutcom	G 40	数字 文本	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2	<input type="checkbox"/>	0	<input checked="" type="checkbox"/>
G_plane	G 17	数字 文本	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2	<input type="checkbox"/>	0	<input checked="" type="checkbox"/>
G_unit	G 700	数字 文本	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3	<input type="checkbox"/>	0	<input checked="" type="checkbox"/>
G_feed	G 94	数字 文本	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2	<input type="checkbox"/>	0	<input checked="" type="checkbox"/>
G_spin	G 97	数字 文本	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2	<input type="checkbox"/>	0	<input checked="" type="checkbox"/>
G_offset	G 1	数字 文本	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3	<input type="checkbox"/>	0	<input checked="" type="checkbox"/>
G_motion	G 1	数字 文本	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2	<input type="checkbox"/>	0	<input checked="" type="checkbox"/>

图 3-8 文字汇总选项卡

文字排序选项卡显示定义好的功能字输出的先后顺序，可以通过鼠标拖动进行更改；程序子选项卡用于定义和修改程序起始序列、操作起始序列、刀轨事件、工序结束序列以及程序结束序列。程序开始以及刀轨开始的一部分块调用，如图 3-9 及图 3-10 所示，图中所示块为 NX 后置处理构造器中自带的定义块，每个块都有其各自的定义内容。



图 3-9 程序开始设计



图 3-10 刀轨开始设计

- (1) 块 PB_CMD_SET_Sinumerik_version 用于设置系统的版本问题；
- (2) 块 PB_CMD_SET_Sinumerik_default_setting 是默认 Sinumerik 铣削设置；
- (3) 块 PB_CMD_SET_Sinumerik_init_variables 此命令用于初始化 840D s1 系统中使用的变量；
- (4) 块 PB_CMD_SET_Sinumerik_init_nurbs 用于初始化 nurbs 输出类型，它必须放在程序开始标记处；
- (5) 块 PB_CMD_SET_Sinumerik_init_extcall 为每个操作生成单独的子程序文件，并使用 EXTCALL 调用子程序生成主程序文件；
- (6) 块 PB_CMD_output_start_path 此命令用于从 CAM 操作输出刀具、方法、公差和库存信息。
- (7) 块 PB_CMD_SET_Sinumerik_auto_3D_rotation 用于通过刀具轴矢量获得自动三维坐标旋转。

在这里列举的块为其中一部分，还有许多块没有一一列举。还有一些块及宏程序是需要用户自定义，在定制命令下以及宏命令下新建命令进行定义。

例如：1) 在程序起始段需要定制命令，以下是其中程序开头处定义，在定制命令下新建程序的起始块 PB_CMD_output_start_program，编辑程序开头，如给程序标注“叶轮轮廓粗加工”，生成的加工程序中开头就会出现“叶轮轮廓粗加工”，以便后期使用检查程序，定义内容以及生成的加工程序情况如下：

程序起始段定制命令中的定义内容：

```
if { ![info exists start_output_flag] || $start_output_flag == 0 }
```

```
{set start_output_flag 1
MOM_output_literal ";中德 YL-569 叶轮轮廓粗加工"
MOM_output_literal ";Start of Program"
MOM_output_literal ";PART NAME :$mom_part_name"
MOM_output_literal ";DATE TIME :$mom_date"
MOM_output_literal ";"
MOM_output_literal "DEF REAL _camtolerance"}
```

生成的起始段加工程序内容如下：

```
N10 ; 中德 YL-569 叶轮轮廓粗加工
N20 ; Start of Program
N30 ;PART NAME :C:\Users\lhx\Desktop\中德 20210422\11\叶轮加工
\jg.prt
N40 ;DATE TIME : Tue Apr 30 12:40:07 2021
N50 ;
N60 DEF REAL _camtolerance
```

2) 一部分宏程序也需要用户自定义，再将程序中加入宏变量。其中 Cycle 832 高速设定精优曲面加工指令定义内容如图 3-11 所示。SINUMERIK 操作系统的版本在不断更新，不同版本下对 Cycle 832 的输出格式也有不同要求，NX 后置处理在 Post Builder 模板中生产的后置处理，其输出的 Cycle 832 为老版本格式，所以需要重新对 Cycle 832 指令进行重新自定义，分别定义粗加工、半精加工、精加工。Cycle 832 宏指令需要用户自己定义，定义其输出格式如图 3-12 所示。

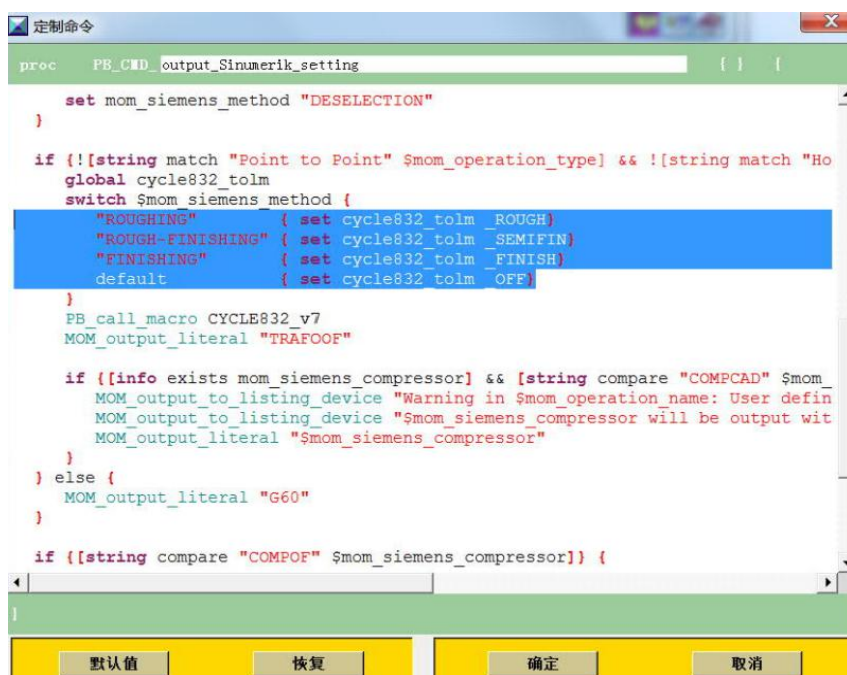


图 3-11 块 PB_CMD_output_Sinumerik_setting 自定义内容



图 3-12 宏 Cycle 832 定义输出格式

3) 对于孔指令需要进行自定义, 调用以下块, 将自定义的宏命令 CYCLE 83 加入程序中, 深孔钻命令定义的块及宏程序如下所示:

```

PB_CMD_rotate_cycle_coordinate
PB_CMD_set_principal_axis
PB_CMD_init_cycle_parameters
MCALLCYCLE83(RTP,RFP,SDIS,DP,, ,FDPR,DAM,DTB,DTS,FRF,VARI,_AXN,
_MDEP,,_DTD,_DIS1)
MCALLCYCLE83(RTP,RFP,SDIS,DP,, ,FDPR,DAM,DTB,DTS,FRF,VARI,_AXN,
_MDEP,,_DTD,_DIS1,_GMODE,DMODE,_AMODE)
PB_CMD_config_cycle_start
X Y Z B C A3= B3= C3=

```

在机床控制选项中添加需要用到的 G 代码及 M 代码等, 此过程要与真实机床的指令内容一一对应, G 代码及 M 代码的部分定义设置如图 3-13 所示。在程序的运动选项中添加线性移动、圆周移动、快速移动等指令, 循环中添加指令块及所需代码, 如图 3-14 所示。

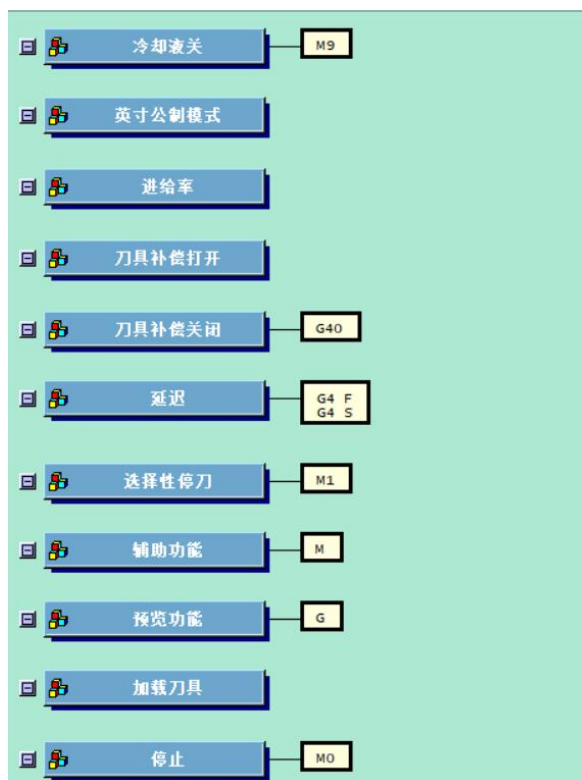


图 3-13 部分 G 代码及 M 代码设置

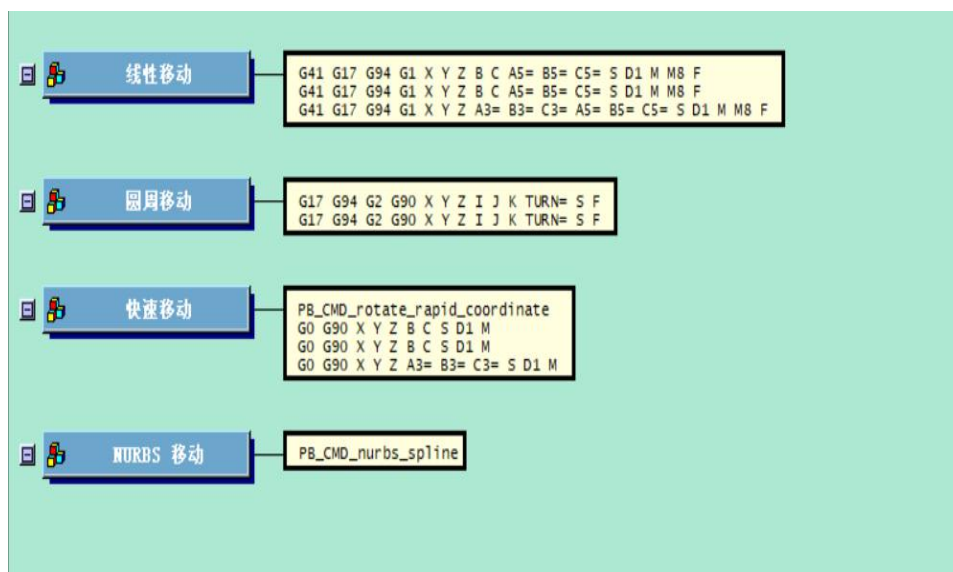


图 3-14 运动部分程序的设计及块的调用

程序结束与程序开始类似，首先是退刀返参、刀轨结束再程序结束，每一步分别添加所用到指令的块，在退刀、刀轨结束所用到的部分块及指令如图 3-15 所示，程序结束时同样添加所用到的块，这里所用到的块相对较少，如图 3-16 所示。如块 PB_CMD_SET_Sinumerik_end_of_extcall_program 为程序结束块，这个命令必须放在所有你需要的主程序的输出模板结束之前、块 PB_CMD_SET_Sinumerik_end_of_program 程序结束输出。



图 3-15 刀轨结束所用到的部分块及指令



图 3-16 程序结束设计

3.N/C 数据定义设置

此选项卡包括四个子选项卡，可以定义数控数据的输出格式。块选项卡表示机床指令的程序中输出哪些字地址，以及地址的输出顺序，例如 `absolute_mode` 块中输出 `G40 G17 G710 G90`；`auto_tool_change` 块中输出 `G53 X0 Y0`；文字选项卡定义参数的输出格式，前缀后缀字符等，此选项与前面的文字汇总选项卡的内容相对应；格式选项卡定义输出整数或字符串。文字选项卡设置结果如图 3-17 所示。

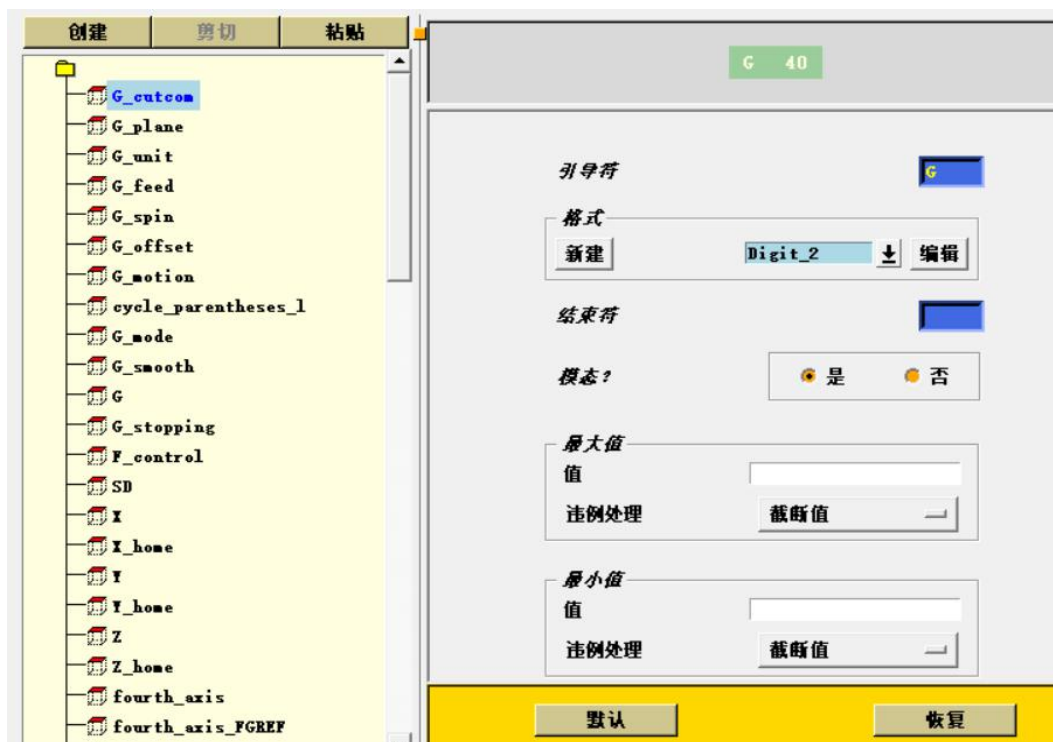


图 3-17 文字选项卡

4.输出设置

输出设置子选项列表文件选项卡用于控制列表文件输出的内容，其输出的内容有 X、Y、Z 坐标值，四、五轴的角度值，主轴速度及进给速度，默认的列表文件扩展名是 lpt。如图 3-18 所示为列表文件选项卡。



图 3-18 列表文件选项卡

在后置处理构造器界面选择文件进行保存，将设计好的后置处理另存为.pui 格式。

3.4 刀具源文件生成 NC 程序

在粗精加工刀轨设计完毕基础上，通过对加工刀轨的 2D 仿真，验证了加工刀轨的正确性，由此可以生成刀具源文件，以下部分是一个叶片精加工的一部分刀位源文件。

```

TOOL PATH/BLADE_FINISH,TOOL,UGT0203_004
TLDATA/MILL,10.0000,5.0000,35.0000,0.0000,0.0000
MSYS/0.0000,0.0000,15.1884,1.0000000,0.0000000,0.0000000,0.0000000,1.0000000,0.0
000000
$$ centerline data
PAINT/PATH
PAINT/SPEED,10
LOAD/TOOL,1,ADJUST,1
PAINT/COLOR,186
RAPID
GOTO/54.0941,-0.3600,-14.9755,0.8450443,0.1657414,0.5083600
PAINT/COLOR,42
FEDRAT/MMPM,250.0000
GOTO/52.2507,-0.7056,-16.2440
GOTO/51.3693,-0.8852,-16.9323
GOTO/48.8264,-1.6511,-19.0471
GOTO/48.0104,-2.0524,-19.7216
GOTO/47.2224,-2.5797,-20.3393
GOTO/46.4912,-3.2760,-20.8474
GOTO/45.8737,-4.1649,-21.1671
GOTO/45.4344,-5.2020,-21.2356
PAINT/COLOR,31
GOTO/45.4096,-5.2807,-21.2313,0.8450452,0.1657416,0.5083586
GOTO/45.3709,-5.3858,-21.2242,0.8450463,0.1657418,0.5083566
.....
.....
.....
GOTO/55.5591,-12.0085,-25.6659
PAINT/SPEED,10
PAINT/TOOL,NOMORE
END-OF-PATH

```

刀具源文件不能被机床所识别，通过设计好的专用后置处理器将刀具源文件生成机床能够识别的 NC 程序。

启动 NX 软件，打开设计好刀轨的叶轮模型文件——叶轮成品_step_setup_1.prt 文件，在加工工序区点击后处理按钮，在对话框中浏览找到保存好的后置处理文件 YL_569_SINUMERIK840D.pui 并打开，如图 3-19 所示，点击确定后弹出信息对话框，结

果如图 3-20 所示，同时在模型的文件夹中生成后置处理完成的 NC 程序，同样的方法将后面的步骤逐个生成 NC 程序。



图 3-19 浏览并打开后置处理器

```

N40 ;DATE TIME :Sun Apr 25 10:19:03 2021
N50 ;
N60 DEF REAL _camtolerance
N70 DEF REAL _X_HOME, _Y_HOME, _Z_HOME, _B_HOME, _C_HOME
N80 DEF REAL _F_CUTTING, _F_ENGAGE, _F_RETRACT
N90 ;
N100 G40 G17 G710 G94 G90 G60 G601 FNORM
N110 ;Start of Path
N120 ;
N130 ;TECHNOLOGY: METHOD
N140 ;TOOL NAME : UGT0203_004
N150 ;TOOL TYPE : Milling Tool-Ball Mill
N160 ;TOOL DIAMETER : 10.000000
N170 ;TOOL LENGTH : 35.000000
N180 ;TOOL CORNER RADIUS: 5.000000
N190 ;
N200 ;Intol : 0.030000
N210 ;Outtol : 0.030000
N220 ;Stock : 0.000000
N230 _camtolerance=.06
N240 _X_HOME=0.0 _Y_HOME=0.0 _Z_HOME=0.0
N250 _B_HOME=0 _C_HOME=0
N260 ;
N270 ;Operation : MULTI_BLADE_ROUGH
N280 ;
N290 TRAF00F
N300 SUPA G0 Z=_Z_HOME D0
N310 SUPA G0 X=_X_HOME Y=_Y_HOME B=_B_HOME C=_C_HOME D1
N320 ;First Tool
N330 T="UGT0203_004"
N340 M6
    
```

(a) NX 中后处理生成 NC 程序头

```

N40180 X50.08692 Y-3.67654 Z-27.99535
N40190 X50.60671 Y-4.10965 Z-28.00243
N40200 X51.16539 Y-4.4911 Z-28.00462
N40210 X51.76793 Y-4.7978 Z-27.99484
N40220 X52.41354 Y-4.99323 Z-27.95847
N40230 X53.08061 Y-5.02678 Z-27.86622
N40240 X53.70167 Y-4.86029 Z-27.66875
N40250 X54.16841 Y-4.53488 Z-27.3121
N40260 ;End of Path
N40270 TRAF00F
N40280 SUPA G0 Z=_Z_HOME D0
N40290 SUPA G0 X=_X_HOME Y=_Y_HOME B=_B_HOME C=_C_HOME D1
N40300 CYCLE832()
N40310 M5
N40320 ;End of Program
N40330 M30
    
```

(b) NX 中后处理生成 NC 程序尾

图 3-20 生成后置处理 NC 程序头与程序尾

在保存的路径用记事本方式打开加工程序，浏览生成的 NC 代码，初步检查 NC 程序的正确性，程序创建时间，名称，支持版本，刀具列表，刀具名称等，在检查中发现的问题及更改如下：

1. 刀具的输出程序格式错误，需要手动改写，自动生成的刀具程序为 T="UGT0203_004"，需要将刀具程序改为 T=2，如图 3-21 所示。

<pre> N300 SUPA GO Z=_Z_HOME D0 N310 SUPA GO X=_X_HOME Y=_Y_HOME B=_B_HOME C=_C_HOME D1 N320 ;First Tool N330 T="UGT0203_004" N340 M6 N350 MSG("METHOD") N360 TRAF00F N370 SUPA GO Z=_Z_HOME D0 N380 SUPA GO X=_X_HOME Y=_Y_HOME B=_B_HOME C=_C_HOME D1 </pre>	<pre> N300 SUPA GO Z=_Z_HOME D0 N310 SUPA GO X=_X_HOME Y=_Y_HOME B=_B_HOME C=_C_HOME D1 N320 ;First Tool N330 T=2 N340 M6 N350 MSG("METHOD") N360 TRAF00F N370 SUPA GO Z=_Z_HOME D0 N380 SUPA GO X=_X_HOME Y=_Y_HOME B=_B_HOME C=_C_HOME D1 </pre>
--	--

图 3-21 刀具 T="程序段更改"

2. 需要将生成 NC 程序中的 G0 轴定位程序放在 TRAORI 和 CYCLE832 之前，如图 3-22 所示。

```

N370 SUPA GO Z=_Z_HOME D0
N380 SUPA GO X=_X_HOME Y=_Y_HOME B=_B_HOME C=_C_HOME D1
N390 ;Initial Move
N450 GO B58.88214 C36.2646
N400 CYCLE832(_camtolerance,_ORI_ROUGH,1)
N410 TRAORI
N420 G54
N430 ORIWKS
N440 ORIAXES

N460 GO X50.15359 Y11.4572 Z-20.30904 S2000 D1 M3
N470 ;Engage Move
    
```

图 3-22 G0 轴定位程序位置顺序更改

第四章 后置处理程序验证

4.1 叶轮模拟加工步骤

叶轮的叶片加工存在一定的难度，一般使用五轴数控机床进行加工，所以本篇论文利用对叶轮加工进行后置处理，来验证后置处理程序的正确性，具有一定的说服力。

对于叶轮的加工，叶片与叶片之间部分加工过程要去除大量毛坯，还需要对叶片与流道进行精加工，再对叶片的根部进行倒圆角处理，在加工过程中，不同部位的加工形式不同，首先进行粗加工，粗加工对精度的要求不高，主要目的是加工出工件的大致形状，此时主轴转速低，进给速率高，这样的目的是提高工作效率，其次是精加工，精加工是在粗加工的基础上对加工件进行精度优化，此时要考虑到尺寸精度，表面粗糙度等多方面精度，此时的加工过程，一般主轴转速较高，而采用较低的进给速率，以得到最终的加工产品。

根据工艺要求将叶轮的加工分为五部分：

1. 外轮廓粗加工

首先将圆柱形状的毛坯进行轮廓粗加工，为下一步的加工打基础，如图 4-1 所示。

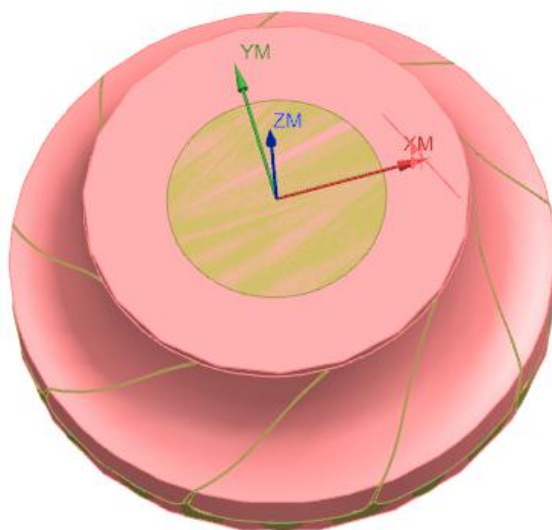


图 4-1 外轮廓粗加工

2. 轮毂粗加工

将叶轮的叶片间多余毛坯料去除，轮毂粗加工得到叶片的大致轮廓，露出轮毂部分，如图 4-2 所示。

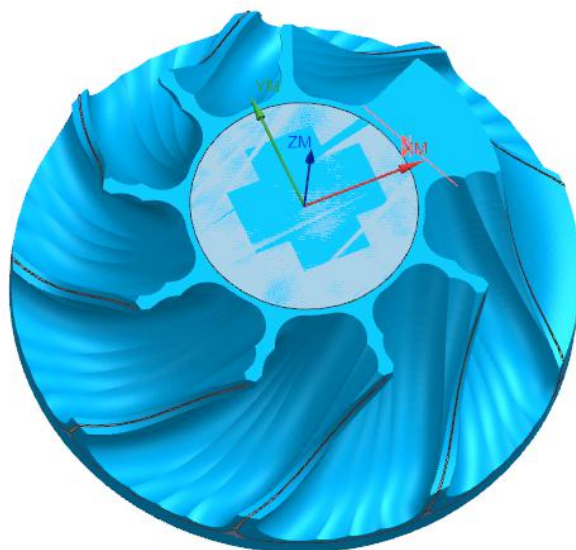


图 4-2 轮毂粗加工

3. 叶片精加工

粗加工得到了叶片的基本轮廓，再进行叶片的精加工，得到一个完整的叶片，同样的方法再选取不同位置的叶片将整个叶轮的叶片全部加工完成，如图 4-3 所示。

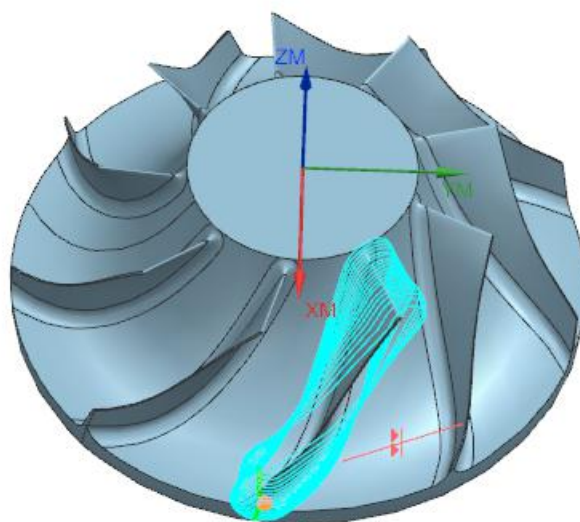


图 4-3 叶片精加工

4. 轮毂精加工

对叶轮的流道进行精加工，将粗加工的剩余余量加工完毕，进一步得到叶轮的形状，如图 4-4 所示。

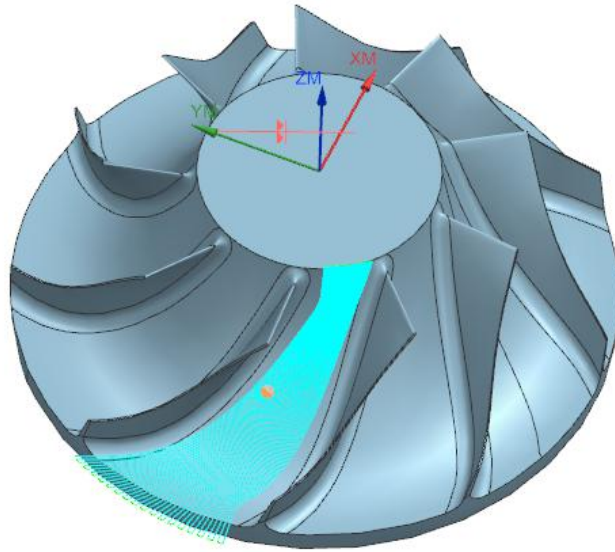


图 4-4 轮毂精加工刀轨

5. 叶片根部倒圆角

将加工成功的叶片根部进行倒圆角加工处理，得到完整的叶片，如图 4-5 所示。

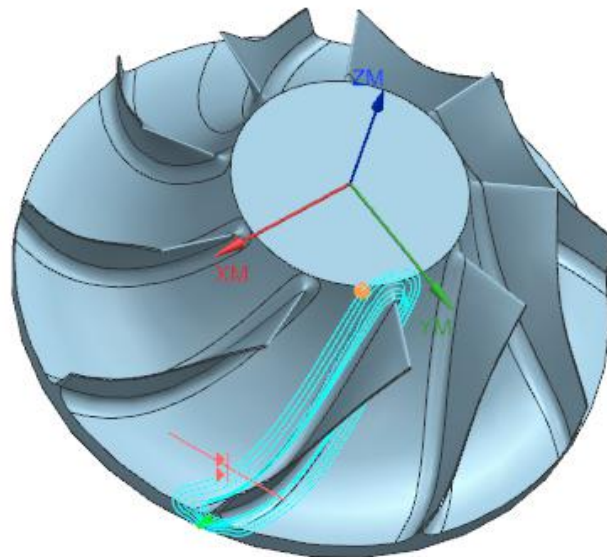


图 4-5 叶片根部倒圆角

4.2 SINUTRAIN 软件介绍

SINUTRAIN 软件是一个数控编程软件，此软件是与真实的 SINUMERIK 数控系统一一对应的模拟数控平台，其功能非常强大，能实现真实的数控系统所实现的大部分功能，为编程人员提供极大的方便性。

4.2.1 建立模拟数控系

在 SINUTRAIN 软件中，可以对西门子不同型号的机床系统建立模型，也可以将真实机床的数据通过文件的方式在 SINUTRAIN 软件中调用，除实现真实加工外，在软件上编程、调试、模拟等功能都与真实系统相同。配备西门子 840D sl 系统的五轴数控机床模型如图 4-6 所示。



图 4-6 西门子 840D sl 五轴数控机床模拟系统建立

4.2.2 导入叶轮加工程序

在叶轮的真正加工前进行模拟，检验是否能顺利进行加工，所以将加工程序导入软件中，将 SINUMERIK 模拟数控系统中的 NC 程序模块与计算机中 NC 程序保存位置建立联系。在 MENU SELECT 界面下选择调试选项，找到保存 NC 程序的根目录，如图 4-7 所示。找到这里的加工程序，可打开查看，不可模拟，所以需要将加工程序粘贴至 PROGRAM 界面下的目录中，再进行模拟，粘贴后的程序界面，如图 4-8 界面所示。

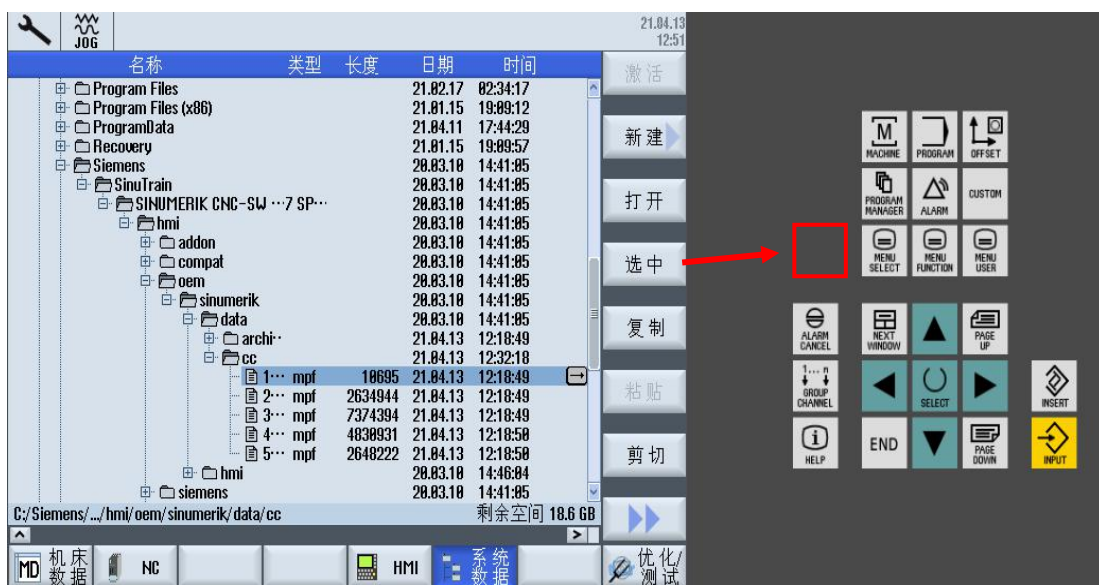


图 4-7 查找计算机中加工程序的根目录

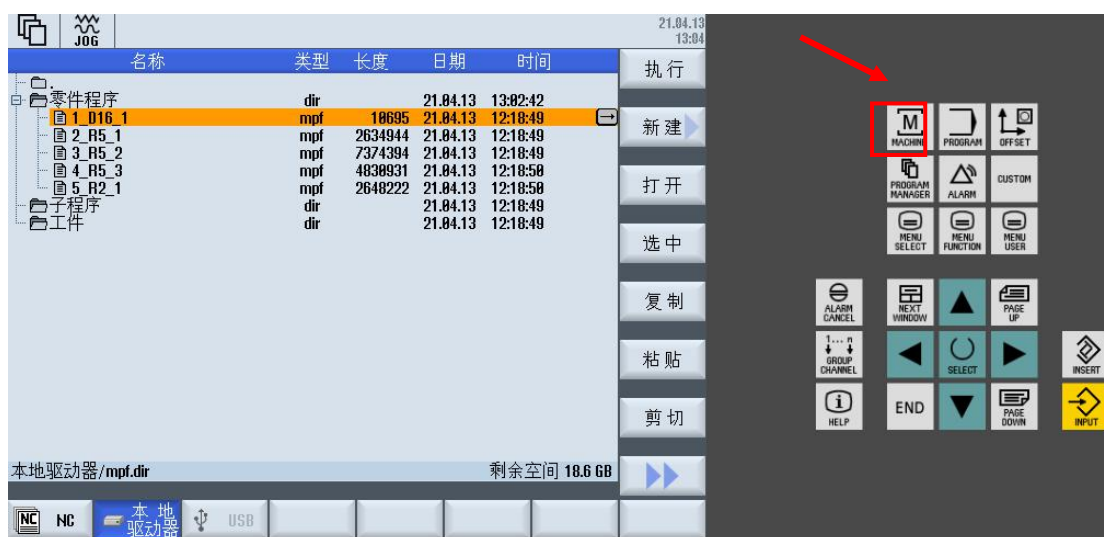


图 4-8 粘贴加工程序至 PROGRAM 模块

4.3 模拟叶轮加工

根据叶轮的工艺要求划分为五个程序段，分别将加工程序打开到编辑模式，再选择模拟选项，如图 4-9 界面所示为轮廓粗加工程序界面，点击右下角的模拟选项可以进行模拟加工，模拟加工视图如图 4-10 所示。

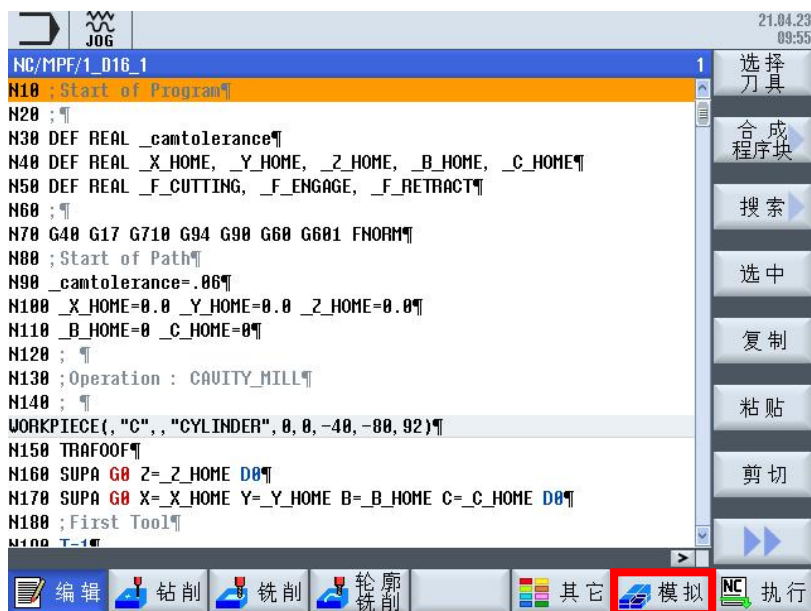


图 4-9 轮廓粗加工程序的编辑模式

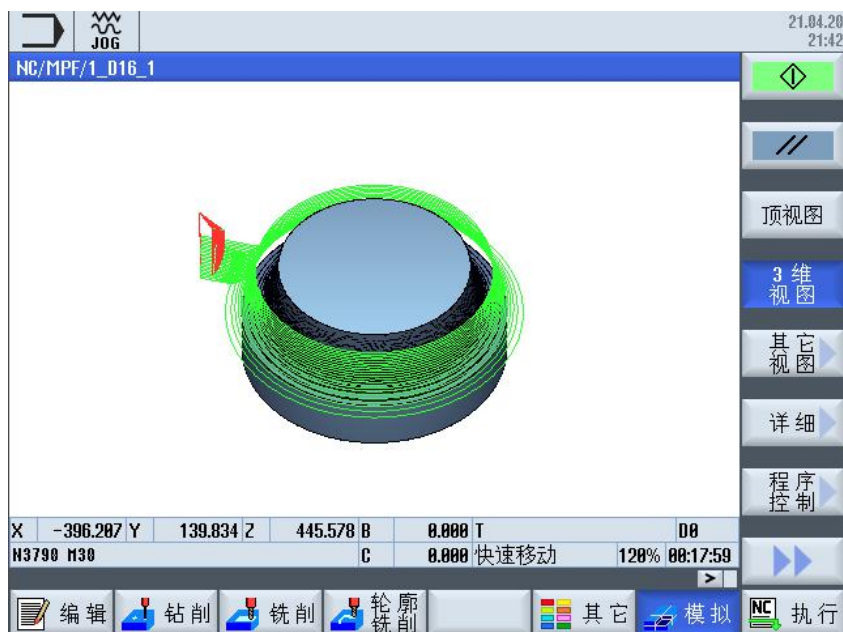


图 4-10 轮廓粗加工模拟过程

同样叶轮轮毂粗加工程序界面如图 4-11，模拟加工界面如图 4-12 所示。

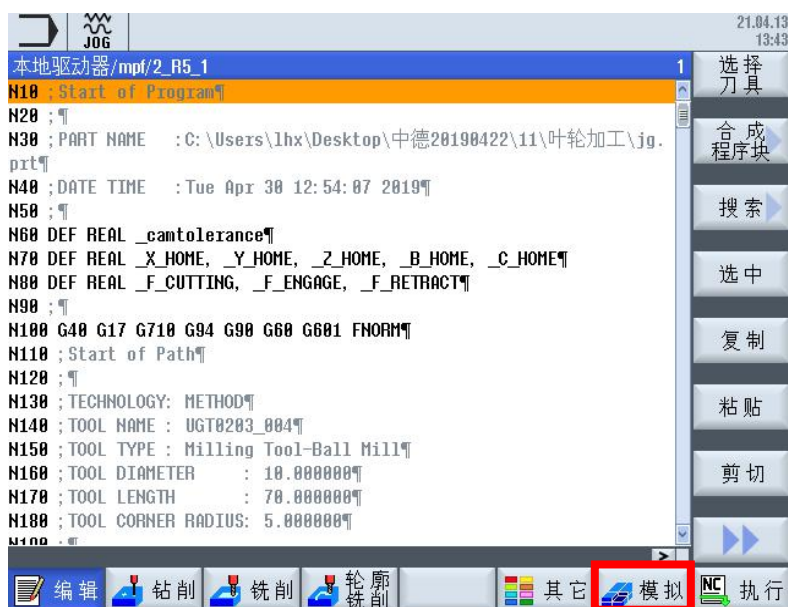


图 4-11 轮毂粗加工程序的编辑模式

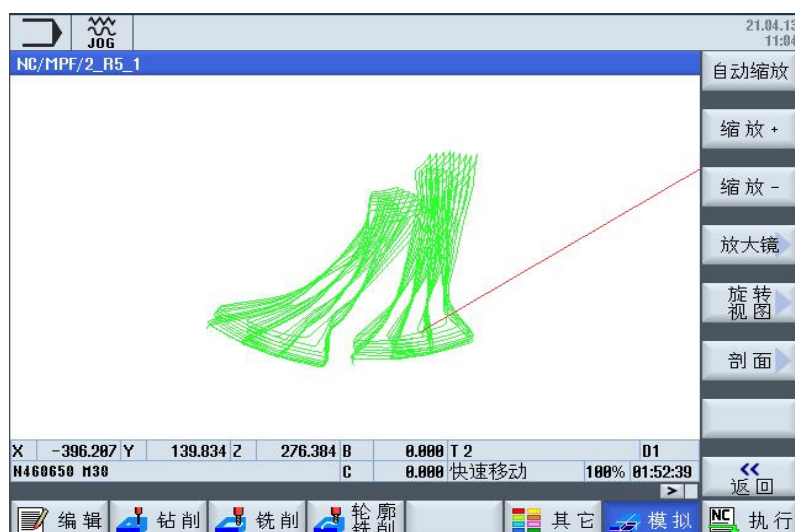


图 4-12 轮毂粗加工模拟过程

程序能完成正确的模拟加工，证实了程序的正确性，可进入叶轮的加工认证。根据叶轮的工艺要求，叶轮的加工一共分为五个程序段，后面的三段程序的模拟加工也按照这个方式进行，就不一一列举了。

4.4 叶轮真实加工

在真实加工前需要将生成的五段加工程序导入机床，由于程序比较复杂，所需要的内存空间大，NC 存储器中内存不足以容纳，所以将加工程序拷到本地驱动器中，即 CF 卡中，如图 4-13 所示。

在 NC 存储器下，利用 EXTCALL 执行外部子程序指令编写程序，调用本地驱动器中的五个加工程序，编写的调用程序 02_YLJG 如图 4-14 所示。



图 4-13 存在本地驱动器(CF 卡)中的加工程序

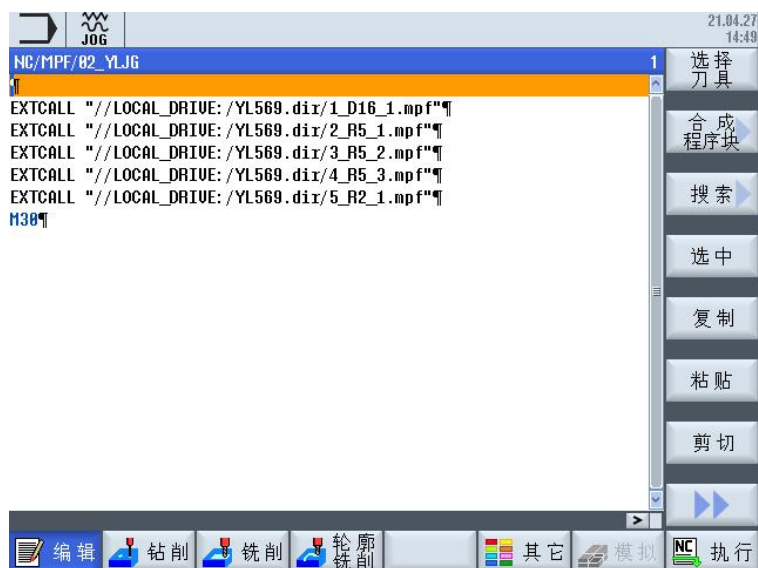


图 4-14 执行外部子程序编写

所用到的刀具有 $\phi 16$ 立铣刀、R5 球头铣刀、R2 球头铣刀。表 4-1 所示为各刀具类型规格介绍。

表 4-1 刀具类型规格

刀具号	刀具类型	规格	加工
1	立铣刀	$\phi 16$	轮廓粗加工
2	球头铣刀	R5	叶片、轮毂精加工
3	锥度球头铣刀	R2	叶片根部倒圆加工

三种刀具实物分别如图 4-15、图 4-16、图 4-17 所示。



图 4-15 $\phi 16$ 立铣刀



图 4-16 R5 球头铣刀



图 4-17 R2 球头铣刀

加工时，直接执行编写的调用程序 02_YLJG，即可对叶轮进行实际的加工，叶轮成品如图 4-18 所示，检验其尺寸的正确性后证实了此后置处理程序是可用的。



图 4-18 叶轮加工实物图

第五章 总结与展望

5.1 总结

本文以配备西门子 840D sl 系统的五轴数控机床为研究对象,利用 NX 软件的后置处理构造器,设计了针对于此五轴数控机床的专用后置处理器,再将设计的叶轮的刀位源文件通过此后置处理器生成能够被此五轴数控机床所识别的 NC 代码,再进行加工验证,检测此后置处理器的正确性。本篇论文的具体研究总结如下:

- 1.对 NX 软件后置处理模块进行研究,研究后置处理构造器的使用流程及使用方法,总结五轴数控机床的类型,包括双摆头式五轴数控机床、双转台式五轴数控机床、单转台单摆头式五轴数控机床,研究各类机床的轴的运动方向。

- 2.对配备西门子 840D sl 系统的五轴数控机床进行运动学求解,研究刀具坐标系、工件坐标系、机床坐标系之间的关系及坐标转换关系。

- 3.利用 NX 软件后置处理构造器,建立针对于配备西门子 840D sl 系统的五轴数控机床的专用后置处理器。

- 4.将刀位源文件通过专用后置处理器生成机床能够识别的 NC 程序,按工艺要求将加工程序分成五个部分,检查 NC 程序的正确性。

- 5.将检查后的 NC 程序在 SINUTRAIN 软件中进行模拟,对加工程序进行检验,验证加工程序没问题后再导入真实机床进行加工,得到实物叶轮。

5.2 展望

五轴数控加工技术在当今的加工技术里逐渐被广泛应用,多轴加工也将是未来的发展方向。本篇论文基于 NX 软件,对配备西门子 840D sl 系统的五轴数控机床专用后置处理器的研究为主,本篇论文在机床的后置处理方面有了研究,但还可以进行更深一步的研究:

- 1.本篇论文只采用了对叶轮模型的加工验证,对于更复杂的模型加工还有待进一步验证。

- 2.本篇论文只是对双转台式五轴数控机床中的一种机床进行的专用后置处理器的设计,对于双摆动头、单转台单摆头式五轴数控机床有着不同的机床运动学求解,随之而来的也有许多不同的问题,本篇论文设计的专用后置处理器只适用于针对的五轴数控机床,具有局限性。

- 3.可进一步对其他系统的五轴数控机床进行研究,在构建后置处理构造器时选择其他数控系统,例如 FANUC、HEIDENHAIN 系统等。

参考文献

- [1] 赵姗.大变局时代 中国高端装备制造业的新机遇[N].中国经济时报,2020-12-01(004).
- [2] 周汉.基于新代系统的五轴加工中心 UG 后处理探究[J].现代制造技术与装备,2019(08):177-178.
- [3] 柴彩彩.我国数控技术的发展现状及发展趋势[J].内燃机与配件,2019(06):64-65.
- [4] 陈伟.数控机床加工精度的影响因素及优化策略[J].南方农机,2020,51(14):147-148.
- [5] 张海涛,张燕.五轴加工技术及其技能培训对制造业的影响[J].南方农机,2020,51(20):179-180.
- [6] 赵丹.五轴数控机床后置处理技术的研究[D].西安建筑科技大学,2017.
- [7] 陈春鹏.基于 UG 的五轴数控机床的后置处理研究[D].上海师范大学,2019.
- [8] Xian Yi Li, Jian Zhong Fu, Ji Qiang Li. Key Technologies Research for Impellers Machining Based on NX[J]. Applied Mechanics and Materials,2012,1468.
- [9] 宋龙.基于 UG 五轴联动数控机床后置处理器的研发和仿真加工[D].武汉工程大学,2017.
- [10] 刘伟昊. 基于 Pro/E 的数控机床后置处理技术和基于 VERICUT 的仿真加工技术研究[D].山东大学,2019.
- [11] Julien Chaves-Jacob, Gérard Poulachon, Emmanuel Duc. Optimal strategy for finishing impeller blades using 5-axis machining[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,2012,58(5-8).
- [12] Y. P. Shih, K. L. LAI,Z. H. Sun, X. L. YAN. Manufacture of Face-Milled Spiral Bevel Gears on a Five-Axis CNC Machine[J]. Proceedings of the 14th IFToMM World Congress,2015(14th-2).
- [13] 黄干斌.数控铣加工复杂曲面零件后置处理的研究[D].湖南师范大学,2015.
- [14] Gang Zheng, Sheng Ruan, Yan Wu, Bo Xin Lv. Machining Simulation for Centrifugal Impeller Based on Modelling of Five-Axis Machining Center[J]. Applied Mechanics and Materials,2015,3844.
- [15] 吴新龙. 基于 UG NX 的车铣复合机床后置处理的研究[D].苏州大学,2015.
- [16] Lian Xia and Jiang Han and Hu Li. Research on Rotary and Tilting Table Five-Axis Milling Post-Processing Software Star-Fpost[J]. Advanced Materials Research,2012,1549: 2962-2966.
- [17] 王建波,杜广,李欢,王泰吉,杨奉义.NX 编程和后处理技术在数控加工的应用[J].山东工业技术,2018(23):145-146.
- [18] 汪超台,沈道京,白昌文,何汶峰,蔡行语,幸晋渝.分流叶轮五轴数控加工仿真优化[J].工具技术,2020,54(11):70-74.
- [19] 韩飞燕,郭卫,张武刚,张武.双转台五轴立式机床专用后置处理算法[J].机械设计与制造,2020(04):128-130+136.
- [20] 郭山国,张华瑾,张长军,王玉,马俊,李刚峰,张林.基于 UG 的 SKY-5L14075 五轴联动数控机床后处理的开发[J].机床与液压,2020,48(08):55-58+126.

致 谢

始于 2017 年金秋，终于 2021 年盛夏，时间在不经意间悄然流逝，大学四年时光步入尾声，一个承载着我四年青春时光的地方，装载着满满的回忆，纵然有太多的不舍，但仍心怀感激！

感谢我的母校天津中德应用技术大学，我成长四年的地方，崇实、求精、致良知的校训一直印在我的脑海之中，让我从青涩无知逐渐变得成熟稳重，感谢母校每年赠予的奖学金，这也是母校对我的一种肯定。从宿舍楼到食堂再到教室楼，仿佛一切的一切都在昨天，好的或是不好的都是我成长的脚印，回想起来，度过的每个瞬间都格外珍贵。

感谢我的指导老师左维老师，左老师细致入微，不但在学习上给予我帮助，生活上对我也很照顾，在实训室总能看到左老师忙碌的身影，虽然忙碌，但论文的从始至终每一处都有左老师的指导与建议，左老师做事很细致，精益求精，愿意将自己的假期时间用来工作，还会到学校来指导我们，在左老师身上我学习了很多，感谢我的辅导员孙玉婷老师，在我迷茫的时候开导我，在精神上给予我鼓励，改正身上的缺点，逐渐变得优秀，督促我背英语单词，现在仍然记忆犹新。感谢带领我参加比赛的李巍老师，很有耐心的指导我，传授我比赛的经验并给予我精神上的支持，感谢王启祥老师在比赛前的悉心指导，无私奉献。感谢每一位教过我的老师，是你们传授给我很多专业知识，让我见多识广，老师们也非常和蔼可亲，同时也感谢我的同学们，在学习上我们互相帮助，课余活动上悉心照顾，他们还帮助我搬宿舍。感谢生活在我身边的一群好朋友们，她们一直都默默的鼓励支持我，在我伤心难过时开导我，也会与我分享她们的喜怒哀乐，正是因为她们，我的生活充满乐趣，她们就是宝藏女孩，将是我一生的财富！

感谢我的父母与家人，父母一直是我坚实的后盾，是我的避风港，他们时时刻刻牵挂着我，一直包容我的脾气，从不计较，感谢父母的无私奉献。

二十多年的学习生涯即将告一段落，我将带着所有经历去迎接未来的生活，感恩所有遇见，三生有幸！

附录

附录一 中文译文及外文资料

双转台五轴铣削后处理软件 Star-Fpost 的研究

XIA Lian, HAN Jiang, and LI Hu

关键词：五轴联动加工中心；AC 轴双转台；坐标变换；后处理器

摘要：

本文基于 MIRONUCP800 双转台五轴机床，研究了五轴加工的数学模型，导出了六坐标轴矢量到五轴 AC 轴双转台的算法公式。利用坐标变换矩阵实现了将源文件转换为机床路径码的后处理过程；通过逐行读取切削位置文件，利用面向对象程序，通过调整关键字触发方法，开发了一种专用的五轴铣削后处理软件。首先在 VERICUT 仿真环境中完成五轴机床模式的构建，然后在 NX 中通过叶轮加工的三元模拟来制造整个轴，仿真结果表明后处理软件具有 Star-Fpost 的功能。该软件可以为 MIKRONUCP800 五轴机床提供信息的实际处理。

引言

随着新型数控系统和特殊结构的机床的不断涌现，通用后处理系统在数字控制系统和器件硬件的发展方面始终滞后，这使得新型数控机床的使用受到了严重的影响。一些商用 CAD/CAM 软件有自己的后处理模块，例如 NX 使用 UG-POST，Pro/E 系统使用 Pro/NCPOST，Master CAM 系统使用 PST 等。一些软件制造商使用捆绑的专业后处理系统，如 Surf CAM 使用 SPost, Cimtron 系统使用 ImsPost。此后处理软件需要用户额外购买，并为不同的配置文件编写相应的机器。因此开发专用后处理器具有重要的现实意义和应用价值。数控后处理是指通过后处理器系统读取由 CAM 产生的刀具位置文件，然后提取相关信息处理；数控机床根据数控程序格式、判断和处理的指定特性和要求；最后生成可由数控机床直接识别的数控程序。本文研究了五轴铣削双转台后处理算法。在此基础上，设计开发了数控系统的后处理软件 Star-Fost, 验证了该软件在机器中应用的正确性和有效性。

双转台五坐标法后处理

MIKRONUCP800 五轴加工中心结构如图 1 所示。在实际加工过程中，主轴上刀轴的矢量方向从未发生变化，刀具轴的相对矢量运动是通过工作台驱动的 A, C 轴的轴向旋转完成的。在每一次切削中，A, C 轴瞬时旋转使工件坐标系的方向和初始位置相对于加工的原点发生变化，所有这些变化都会导致刀具轴矢量的变化。计算并结合实际加工，使刀轴矢量在每个瞬时切削过程中的方向始终与主轴轴线对齐，将工件坐标系转换为工件坐标系的初始位置-新工件坐标系，然后转换为新工件坐标系的刀具定位点。

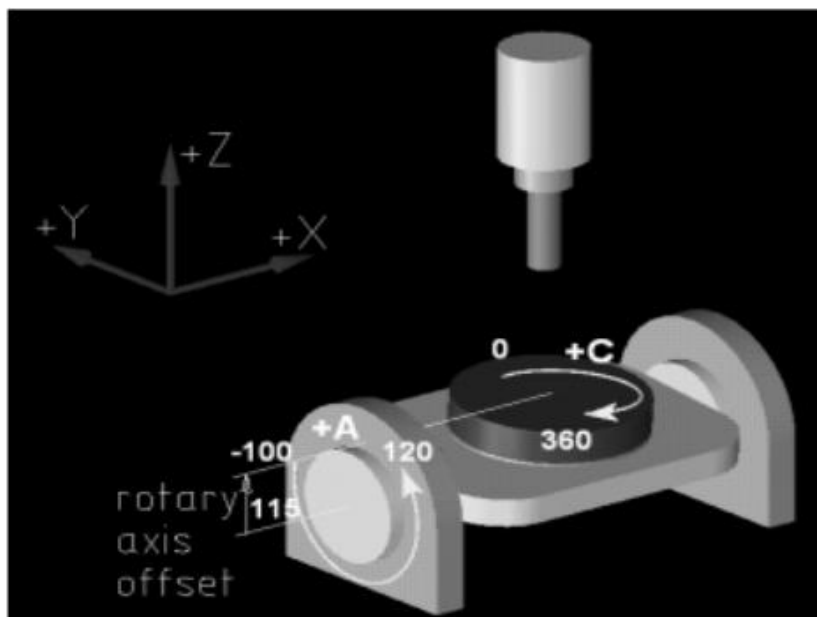


图 1 MIKRON UCP800 坐标图

1.1 CAM 刀具位置文件预处理系统

刀位文件记录刀具移动过程中所有采样点的所有坐标信息和过程信息。APT 语言标准已被采用作为基本语法在各种 CAM 刀具位置文件系统,也就是说,“关键字+支持信息”如 CLSF 的 NX, CATIA 的 APTSOURCE, PRO/ECL, 但刀位文件的语言格式由特定的 CAM 系统生成是不同的。以 NX 为例, CLSF (切割位置源文件) 文件是 UGNX/CAM 刀具路径生成的路径文件, 由根据 APT 文本文件组成的顺序处理语言格式连接的刀具路径所需的许多操作处理工件。CLSF 文件包含 MCS 显示数据和刀具运动命令、控制命令、进给速率命令、显示命令。这些命令的 UGNX 描述在 DEF 文件中定义。因此, 研究 DEF 文件是理解刀具路径文件解释文件参数 CLSF 意义中语句的正确关键。因此, 可以说 CLSF 文件对应于每个事件; 机器控制代码有相应的 NC 代码来描述它。准确分解事件并得到正确的处理是可行的, 以确保后处理软件和机器可以作为安全运行的基础。

1.2 AC 轴双转台运动配置五轴机床求解

刀具中心坐标和刀轴矢量坐标在 CAM 软件中分别输出, 前面的三个数字是刀具中心坐标, 后面的三个数字表示的是刀具轴矢量, 正如我们所看到的, 五轴机床的坐标只有三个 X, Y, Z, A, C, 5 个坐标, A, C 值完全由刀轴矢量决定, 为了使工件相对于刀具中心倾斜, 必须是第 4 轴和第 5 轴回转来实现。为了描述机器的运动, 建立如图 2 所示的坐标系, 其中 $O_wX_wY_wZ_w$ 坐标是与零件相关的工件坐标系, 在这个坐标系中给出了前刀位置数据。将 $O_tX_tY_tZ_t$ 与固定坐标系刀具相关联, 称为刀具坐标系, 其原点位于刀具定位点, 它的轴线方向与机床的坐标系相同。将 $O_mX_mY_mZ_m$ 与固定轴 A 相关联, 其原点 O_m 为 A, C 旋转轴的交点, 其轴坐标系的方向与机床坐标系相同。显然, 刀具坐标系 $O_tX_tY_tZ_t$ 与工件坐标系 $O_wX_wY_wZ_w$ 之间的运动关系是坐标的变换。它可以进一步分解为 $O_tX_tY_tZ_t$ 相对于 $O_mX_mY_mZ_m$ 的运动和旋转 $O_mX_mY_mZ_m$ 相对于 $O_wX_wY_wZ_w$ 的运

动。设置与 z 轴平行的轴 C 的状态是机器初始状态，在这一点上，工作台垂直于 Z 轴，工件坐标系的方向与机器坐标系一致，刀具坐标系的原点与工件坐标系的原点重合，则交点 Om 位置向量为 $r_m(m_x, m_y, m_z)$ 。机械轴相对于初始状态 $r_s(S_x, S_y, S_z)$ 的平移位置，旋转轴 A 和 C 相对于初始状态 θ_A 角度和 θ_C （逆时针正方向），此时工件坐标系和刀具轴矢量分别为 $u(u_x, u_y, u_z)$ 和 $r_p(p_x, p_y, p_z)$ 。坐标变换来源于机床运动链，则得：

$$[u_x, u_y, u_z, 0]^T = T(r_m) * R_z(-\theta_c) * R_x(-\theta_A) * T(r_s - r_m) * [0, 0, 1, 0]^T \quad (1.1)$$

$$[p_x, p_y, p_z, 0]^T = T(r_m) * R_z(-\theta_c) * R_x(-\theta_A) * T(r_s - r_m) * [0, 0, 1, 0]^T \quad (1.2)$$

在上述公式中，T 和 R 是平移和旋转运动的齐次变换矩阵：

$$T(r_m) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & m_x \\ 0 & 1 & 0 & m_y \\ 0 & 0 & 1 & m_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} T(r_s - r_m) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & S_x - m_x \\ 0 & 1 & 0 & S_y - m_y \\ 0 & 0 & 1 & S_z - m_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} R_z(-\theta_c) = \begin{bmatrix} \cos\theta_c & \sin\theta_c & 0 & 0 \\ -\sin\theta_c & \cos\theta_c & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} R_x(-\theta_A) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta_A & \sin\theta_A & 0 \\ 0 & \sin\theta_A & \cos\theta_A & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_x \\ u_y \\ u_z \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin\theta_A \sin\theta_c \\ \sin\theta_A \cos\theta_c \\ \cos\theta_A \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1.3)$$

$$\begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_x + (S_x - m_x)\cos\theta_c + (S_y - m_y)\cos\theta_A\sin\theta_c + (S_z - m_z)\sin\theta_A\sin\theta_c \\ m_y + (S_x - m_x)\sin\theta_c + (S_y - m_y)\cos\theta_A\cos\theta_c + (S_z - m_z)\sin\theta_A\cos\theta_c \\ m_z - (S_y - m_y)\sin\theta_A + (S_z - m_z)\cos\theta_A \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1.4)$$

式（1.3）和（1.4）即我们所求的机床运动的几何变换，它根据工作台的运动来表示刀具相对于工件的位置和方向的运动变化。分配到刀具位置数据到 $u(u_x, u_y, u_z)$ 和 $r_p(p_x, p_y, p_z)$ ，从上面的方程看，机床工具旋转 θ_A 角度， θ_c 角度和平移运动 S_x, S_y, S_z 进行加工，满足加工要求。由（1.3）和（1.4）五轴机床运动坐标可得：

$$\theta_A = K_A * \arccos(u_z) \quad K_A = \pm 1 \quad (1.5)$$

$$\theta_c = \arctan(u_x/u_y) - K_c * \pi \quad K_c = 0, 1 \quad (1.6)$$

$$S_x = (p_x - m_x)\cos\theta_c - (p_y - m_y)\sin\theta_c + m_x \quad (1.7)$$

$$S_y = (p_x - m_x)\cos\theta_A\sin\theta_c + (p_y - m_y)\cos\theta_A\cos\theta_c - (p_z - m_z)\sin\theta_A + m_y \quad (1.8)$$

$$S_y = (p_x - m_x)\sin\theta_A\sin\theta_c + (p_y - m_y)\sin\theta_A\cos\theta_c + (p_z - m_z)\cos\theta_A + m_z \quad (1.9)$$

已知机床的工作参数：A 轴倾斜角度满足：120°至-100°，C 轴倾斜角度满足：0°至 360°。

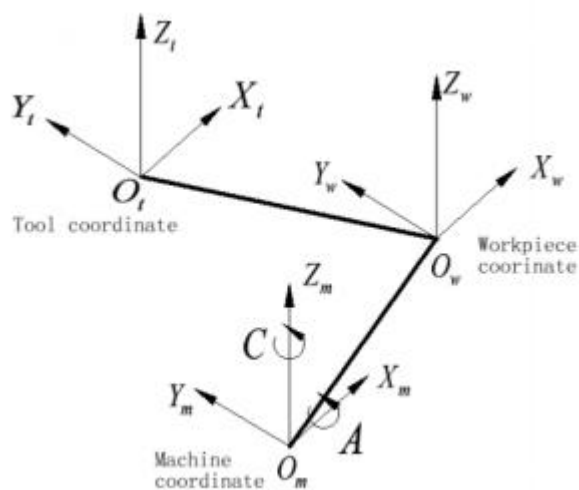


图 2 双转台机床坐标系

后处理软件，Star-Post 的设计

软件的构思：结合上述后处理算法，利用面向对象编程开发了一种专用的后处理软件 Star-Fpost。本文采用“渐进扫描、渐进实现”的方法：后处理软件读取 APT 刀具定位文件的第一行，然后分析该代码，收集有用的信息来确定调用配置文件的需要，相应地处理这些信息，最后直接进入 NC 代码的行。图 3 所示为软件的过程。

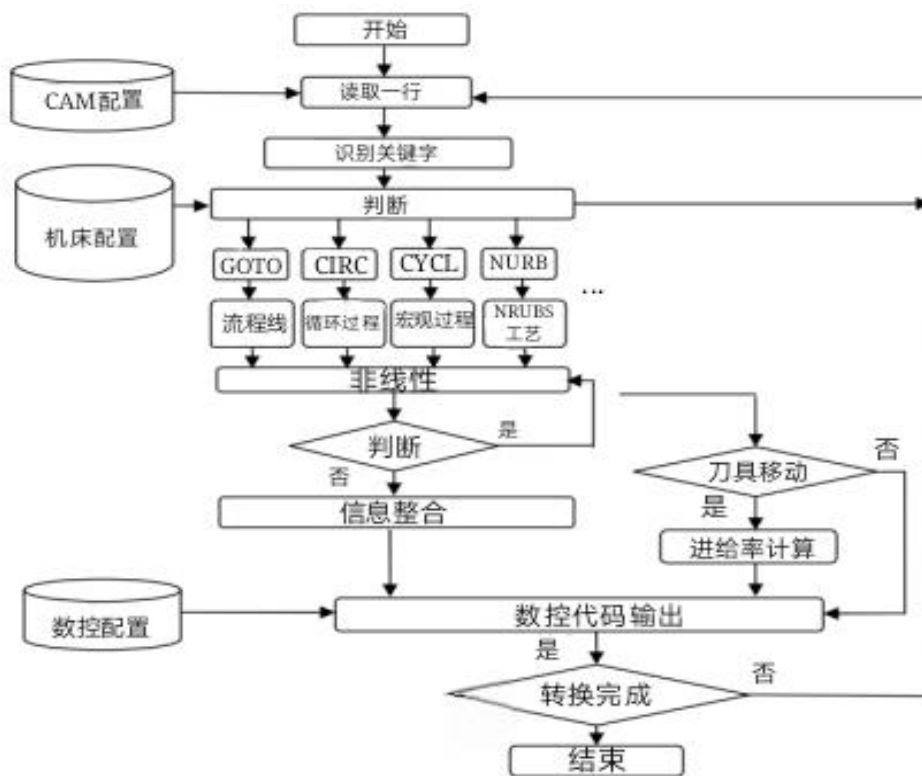


图 3 后处理软件流程图

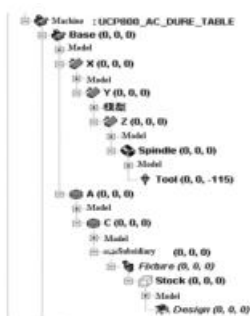


图 4 组件树

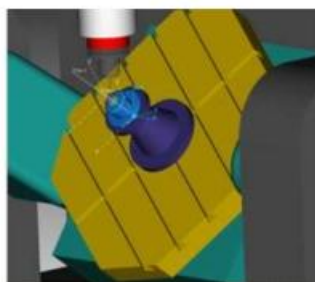


图 5 验证



图 6 叶轮产品

结论：

针对 MIKRONUCP800 AC 轴双转台五轴加工中心，详细推导了 AC 轴角和坐标变换的计算公式。在此基础上，提出了特殊后处理器的铣削加工计算方法，实现了双转台五轴同时加工中心的算法，完成了数控代码到 CLSF 的转换。最后，以一个完整的运行叶轮为实验对象，生成轮毂加工轮毂 CLSF，然后由软件 Star-Fpost 完成后处理，处理实例结果表明，后处理软件可以满足五轴加工的要求，具有广阔的推广前景。

Research on Rotary and Tilting Table Five-axis Milling Post-processing Software Star-Fpost

XIA Lian, HAN Jiang, and LI Hu

Keyword: Five axis simultaneous-motioned machining center; AC Rotary and Tilting Table; Coordinate transformation; Post-processor

Abstract:

Based on the MIRON UCP800 rotary and tilting table five-axis machine, this paper studies the mathematical model of five-axis machining and derives the algorithm formula of six-coordinate axis vector into five-axis AC rotary and tilting table. The post-processing process of turning the source file to the machine tool path code is fulfilled by using coordinate transformation matrix; with reading the cutting location file line by line, a dedicated five-axis milling post-processing software through adapting the keyword-triggered method is developed by using object-oriented program in the paper. First completing construction of five-axis machine tools mode in the VERICUT simulation environment, then manufacturing the whole shaft by ternary simulation of impeller machining in NX, and the simulation results shows that the function of post-processing software Star-Fpost. The software can provide the actual processing of information for MIKRON UCP800 five-axis machine tools.

Introduction

With the constantly emerging of machine tools with new CNC system and special structure, the generic post-processing system is always lagging behind the development of digital control system and device hardware, which makes the use of new CNC machine tools been seriously affected. Some commercial CAD / CAM software has its own post-processing module, for example, NX uses UG -POST, Pro / E system uses Pro / NC POST and Master CAM system uses the PST and so on. Some software manufacturers use the bundled professional post-processing system, such as Surf CAM uses SPost, Cimtron system uses ImsPost. This post-processing software requires the user to purchase additional, and writes the corresponding machine for different profiles. Therefore developing dedicated post-processor has the important practical significance and application value. NC Post Processing means reading through the post processor system-generated by the CAM cutter location file then extracting the relevant information processing; NC Machine according to the specified characteristics and requirements of NC program format, judgments, and treatment; finally generates the NC program which can be directly identified by the NC machine tool. Five-axis milling double pendulum station post-processing algorithms are studied in this paper. On this basis, the post-processing software Star-Fpost for the CNC system are designed and developed, and then the correctness and effectiveness of software with the post-processing applied in the machine is verified.

Double pendulum Post processing of five-coordinate method

The structure of MIKRON UCP800 five-axis machining center is shown in Figure.1. In the actual machining process, the vector direction of the tool axis on spindle never changes, and tool axis relative vector motion was completed with axis direction rotation of A, C-axis driven by the work piece table. The A, C-axis instantaneous rotation to in each cutting makes the orientation of work piece coordinate system and the origin of the initial position relative to processing are changing, all these changes lead to the changes in the tool axis vector. For the convenience of calculation and with the actual processing, make direction of the knives axial vector in each of the instantaneous cutting is always aligned with the spindle axis, the work piece coordinate system should be transformed to the initial location of the work piece coordinate system - the new work piece coordinate system, then change to the cutter location point of the new work piece coordinate system.

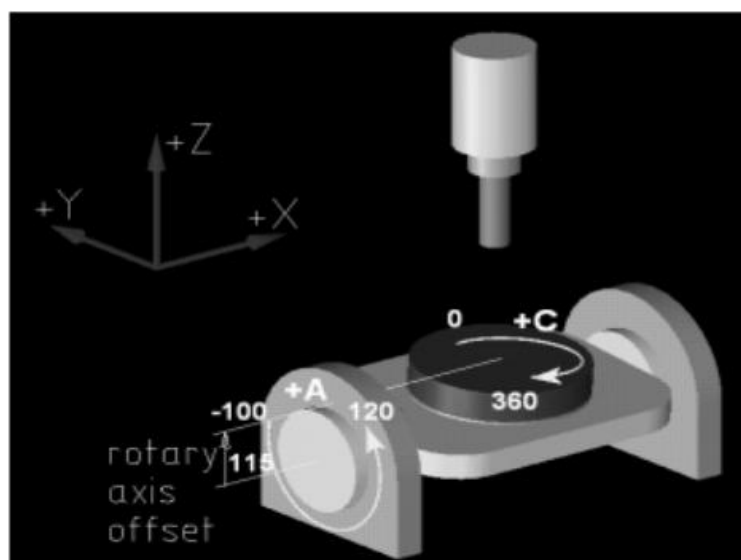


Figure.1 MIKRON UCP800 coordinate diagram

1.1CAM cutter location file pre-processing system

Cutter location file record all coordinate information and process information of all sampling points in the tool movement process. APT language standards have been adopted as the basic syntax in a variety of CAM cutter location file system, that is, "Key words + supporting information" such as the NX of the CLSF, CATIA The APTSOURCE, PRO / E of the CL, but the language formats of cutter location file which is generated by specific CAM system are different. Take NX as an example, CLSF (Cutting Location Source File) file is UGNX / CAM tool path generated path file, processing a work piece by a number of operations required for tool path connected in accordance with the order processing language format composed of APT text file. CLSF file contains the MCS display data and tool motion command, control command, the feed rate command, display orders. UGNX description of these commands is defined in

comes DEF file. Therefore, studies on the DEF file are the right key to understand the tool path file to interpret the statement in the file parameters CLSF significance. Therefore, it can be said that CLSF file corresponds to each event; the machine control code has a corresponding NC code to describe it. Accurate decomposition of the incident and get the right treatment is feasible to ensure that post-processing software and the machine can be the basis for safe operation.

1.2AC double pendulum motion sets five-axis machine tools to solve

The tool center coordinates and the tool axis vector coordinates are output separately in a CAM software, the three figures ahead are tool center coordinates, followed three numbers indicate are the tool axis vectors, as we can see, there are only three X, Y, Z coordinates, and the coordinates for the five-axis machine has X, Y, Z, A, C, 5 a coordinate, A, C values determined entirely by the tool axis vector, in order to tilt the work piece relative to the tool center must be the 4th axis and the 5th axis turning to achieve. In order to describe the motion of the machine, to establish the coordinate system shown in Figure.2, which $O_wX_wY_wZ_w$ coordinates are the work piece coordinate system associated with the parts, front cutter location data is given in this coordinate system. $O_tX_tY_tZ_t$ are associated with the fixed coordinate system tool, which is called the tool coordinate system, its origin located in the cutter location point, the direction of its axis coordinate system same with the machine $O_m X_m Y_m Z_m$ is associated with the fixed axis A, and its origin O_m is the intersection of A and C rotary axis, the direction of its axis coordinate system same with the machine. Obviously, the relationship of the movement between the tool coordinate system $O_tX_tY_tZ_t$ to the work piece coordinate system $O_wX_wY_wZ_w$ is the transformation of the coordinate. It can be further broken down into the movement of $O_tX_tY_tZ_t$ relative to $O_mX_mY_mZ_m$ and the Rotation $O_mX_mY_mZ_m$ relative to $O_wX_wY_wZ_w$. Setting the state of the axis C parallel to the z axis is the machine initial state, at this point the table is perpendicular to the Z-axis, the direction of the work piece coordinate system is consistent with the machine coordinate system, the origin of the tool coordinate system coincides with the origin of work piece coordinate system, then the intersection O_m position vector is $r_m(m_x, m_y m_z)$. Mind machine axis relative to the translational position of the initial state $r_s(S_x, S_y S_z)$, rotary axis A and C relative to the angle of the initial state are θ_A and θ_C (Counterclockwise positive), at this time, the work piece coordinate system and tool cutter axis position vector are respectively $u(u_x, u_y u_z)$ and $r_p(p_x, p_y p_z)$. The coordinate transformation comes from the machine kinematic chain, then get:

$$[u_x, u_y, u_z, 0]^T = T(r_m) * R_z(-\theta_c) * R_x(-\theta_A) * T(r_s - r_m) * [0, 0, 1, 0]^T \quad (1.1)$$

$$[p_x, p_y, p_z, 0]^T = T(r_m) * R_z(-\theta_c) * R_x(-\theta_A) * T(r_s - r_m) * [0, 0, 1, 0]^T \quad (1.2)$$

In above formula, T and R are the homogeneous transformation matrix of the translational and

rotational movement:

$$T_{(r_m)} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & m_x \\ 0 & 1 & 0 & m_y \\ 0 & 0 & 1 & m_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} T_{(r_s-r_m)} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & S_x - m_x \\ 0 & 1 & 0 & S_y - m_y \\ 0 & 0 & 1 & S_z - m_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} R_{z(-\theta_c)} = \begin{bmatrix} \cos\theta_c & \sin\theta_c & 0 & 0 \\ -\sin\theta_c & \cos\theta_c & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} R_{x(-\theta_A)} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta_A & \sin\theta_A & 0 \\ 0 & \sin\theta_A & \cos\theta_A & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_x \\ u_y \\ u_z \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sin\theta_A \sin\theta_c \\ \sin\theta_A \cos\theta_c \\ \cos\theta_A \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1.3)$$

$$\begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_x + (S_x - m_x)\cos\theta_c + (S_y - m_y)\cos\theta_A\sin\theta_c + (S_z - m_z)\sin\theta_A\sin\theta_c \\ m_y + (S_x - m_x)\sin\theta_c + (S_y - m_y)\cos\theta_A\cos\theta_c + (S_z - m_z)\sin\theta_A\cos\theta_c \\ m_z - (S_y - m_y)\sin\theta_A + (S_z - m_z)\cos\theta_A \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1.4)$$

Type (1.3) and (1.4) that is the geometric transformation of the machine tool movement what we seek, which expresses the movement change of the position and the direction of the tool relative to the work piece according to the motion of the table. Assigned to the cutter location data to $u(u_x, u_y, u_z)$ and $r_p(p_x, p_y, p_z)$, from the above equation the machine tool rotation angle θ_A , θ_c and the translational movement S_x, S_y, S_z can be processed to meet the requirements of processing. By (1.3) and (1.4) five-axis machine movement coordinates can be obtained:

$$\theta_A = K_A * \arccos(u_z) \quad K_A = \pm 1 \quad (1.5)$$

$$\theta_c = \arctan(u_x/u_y) - K_c * \pi \quad K_c = 0, 1 \quad (1.6)$$

$$S_x = (p_x - m_x)\cos\theta_c - (p_y - m_y)\sin\theta_c + m_x \quad (1.7)$$

$$S_y = (p_x - m_x)\cos\theta_A\sin\theta_c + (p_y - m_y)\cos\theta_A\cos\theta_c - (p_z - m_z)\sin\theta_A + m_y \quad (1.8)$$

$$S_z = (p_x - m_x)\sin\theta_A\sin\theta_c + (p_y - m_y)\sin\theta_A\cos\theta_c + (p_z - m_z)\cos\theta_A + m_z \quad (1.9)$$

Known by the working parameters of the machine: A-axis tilt angle to meet: $+120^\circ$ to -100° , C-axis tilt angle to meet: 0° to 360° .

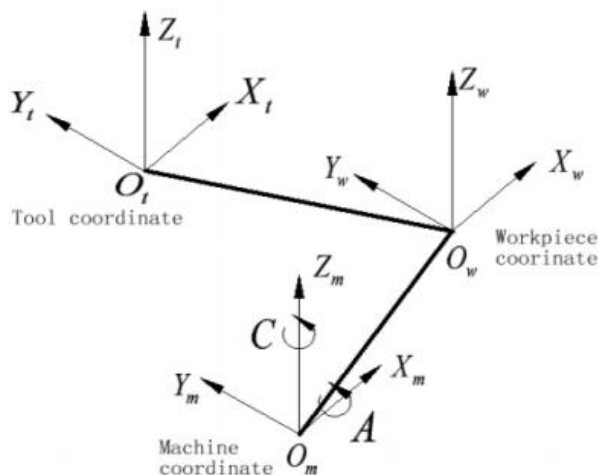


Figure.2 Double rotating the machine coordinate system table

Post-processing software, the design of Star-Fpost

The idea of Software. Integration of the aforementioned post-processing algorithms, a dedicated post-processing software Star-Fpost is developed by using object-oriented programming. In this paper, the "progressive scan, progressive implementation" approach is applied: the post-processing software reads the first line of APT cutter location file and then

analyzes this code, collecting useful information to determine the need of calling the configuration file, processing these informations accordingly and finally into the line of NC code directly. The process of the software shown in Figure 3.

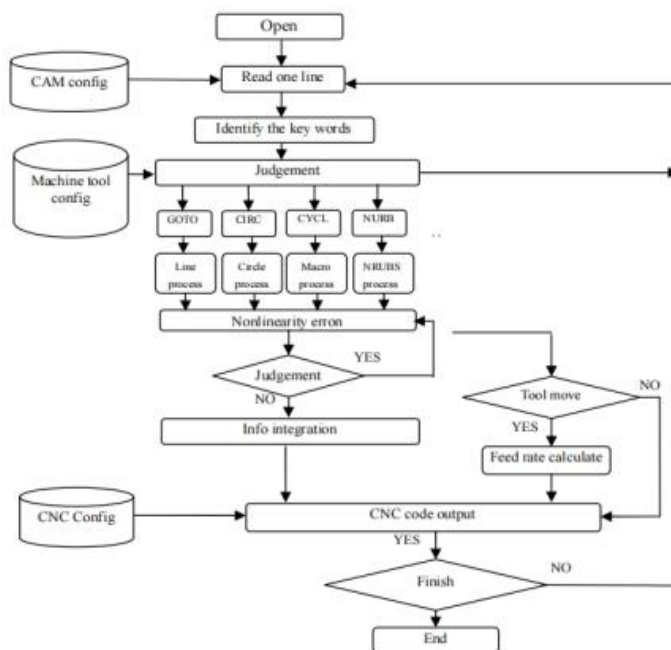


Figure.3 Post-processing software flow chart

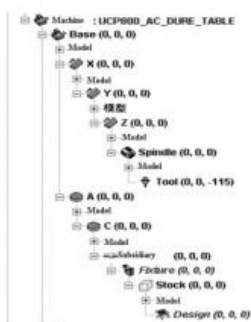


Figure.4 Component tree

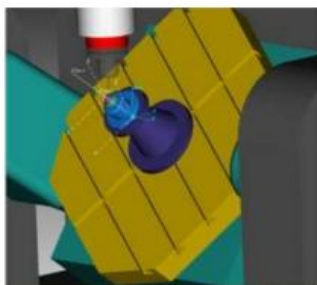


Figure.5 Verification



Figure.6 Impeller product

Conclusion

Aim at the MIKRON UCP800 AC double pendulum five-axis machining center, the computing formula of AC-axis angle and coordinate transformation have been derived in detail in this paper. On this basis, the paper have proposed computing milling process of special post-processor, achieved the algorithm of the rotary and tilting table five-axis simultaneous machining center, completed conversion from NC code to CLSF. At the end, taking a whole run-off impeller as the experimental subject to generate the hub processing hub CLSF, then post-processing is finished by the software Star-Fpost, and the results of processing examples shows that the post-processing software can meet the requirements of five-axis machining and has broad prospects for promotion.

附录二 叶轮 NC 程序

1. 轮廓粗加工 NC 程序

```
N10 ;轮廓粗加工
N20 ; Start of Program
N30 DEF REAL _camtolerance
N40 DEF REAL _X_HOME, _Y_HOME, _Z_HOME, _B_HOME, _C_HOME
N50 DEF REAL _F_CUTTING, _F_ENGAGE, _F_RETRACT
N60 ;
N70 G40 G17 G710 G94 G90 G60 G601 FNORM
N80 ;Start of Path
N90 _camtolerance=.06
N100 _X_HOME=0.0 _Y_HOME=0.0 _Z_HOME=0.0
N110 _B_HOME=0 _C_HOME=0
N120 ;
N130 ;Operation : CAVITY_MILL
N140 ;
N150 TRAFOOF
N160 SUPA G0 Z=_Z_HOME D0
N170 SUPA G0 X=_X_HOME Y=_Y_HOME B=_B_HOME C=_C_HOME D1
N180 ;First Tool
N190 T=1
N200 M6
N210 MSG("METHOD")
N220 TRAFOOF
N230 SUPA G0 Z=_Z_HOME D0
N240 SUPA G0 X=_X_HOME Y=_Y_HOME B=_B_HOME C=_C_HOME D1
N250 ;Initial Move
N260 G0 B0.0 C0.0
N270 COMPOF
N280 CYCLE832(0.01, _ORI_ROUGH,1)
N290 TRAFOOF
N300 G54
N310 G0 X-60.673 Y-15. Z10. S1500 D1 M3
N320 ;Approach Move
N330 Z2.01
N340 ;Engage Move
N350 G1 Z-.99 M8 F400.
N360 X-56.213
N370 G3 X-41.213 Y0.0 I0.0 J15.
N380 ;Cutting
N390 G2 X-41.213 Y0.0 I41.213 J0.0
N400 ;Retract Move
```

N410 G3 X-47.648 Y12.314 I-15. J0.0
N420 G1 Z2.01
N430 ;Departure Move
N440 G0 Z10.
N450 X-60.673 Y-15.
N460 ;Approach Move
N470 Z1.02
N480 ;Engage Move
N490 G1 Z-1.98
N500 X-56.248
N510 G3 X-41.248 Y0.0 I0.0 J15.
N520 ;Cutting
N530 G2 X-41.248 Y0.0 I41.248 J0.0
N540 ;Retract Move
N550 G3 X-47.684 Y12.315 I-15. J0.0
N560 G1 Z1.02
N570 ;Departure Move
N580 G0 Z10.
N590 X-60.673 Y-15.
N600 ;Approach Move
N610 Z.03
N620 ;Engage Move
N630 G1 Z-2.97
N640 X-56.338
N650 G3 X-41.338 Y0.0 I0.0 J15.
N660 ;Cutting
N670 G2 X-41.338 Y0.0 I41.338 J0.0
N680 ;Retract Move
N690 G3 X-47.776 Y12.316 I-15. J0.0
N700 G1 Z.03
N710 ;Departure Move
N720 G0 Z10.
N730 X-60.673 Y-15.
N740 ;Approach Move
N750 Z-.96
.....
.....
.....
N3490 G2 X-10.264 Y45.217 I46.364 J.003
N3500 X-31.818 Y-33.725 I10.266 J-45.217
N3510 X-46.369 Y0.0 I31.812 J33.728
N3520 ;Retract Move
N3530 G3 X-52.936 Y12.404 I-15. J-.001
N3540 G1 Z-14.821

N3550 ;Departure Move
N3560 G0 Z10.
N3570 X-60.693 Y-14.92
N3580 ;Approach Move
N3590 Z-15.811
N3600 ;Engage Move
N3610 G1 Z-18.811
N3620 G3 X-47.242 Y0.0 I-1.549 J14.92
N3630 ;Cutting
N3640 G2 X-47.242 Y0.0 I47.242 J0.0
N3650 ;Retract Move
N3660 G3 X-53.828 Y12.418 I-15. J0.0
N3670 G1 Z-15.811
N3680 ;Departure Move
N3690 G0 Z10.
N3700 X-60.728 Y-14.777
N3710 ;Approach Move
N3720 Z-16.801
N3730 ;Engage Move
N3740 G1 Z-19.801
N3750 G3 X-48.308 Y0.0 I-2.58 J14.776
N3760 ;Cutting
N3770 G2 X-48.308 Y0.0 I48.308 J0.0
N3780 ;Retract Move
N3790 G3 X-54.918 Y12.434 I-15. J0.0
N3800 G1 Z-16.801
N3810 ;Departure Move
N3820 G0 Z10.
N3830 X-60.798 Y-14.487
N3840 ;Approach Move
N3850 Z-17.791
N3860 ;Engage Move
N3870 G1 Z-20.791
N3880 G3 X-49.687 Y0.0 I-3.889 J14.487
N3890 ;Cutting
N3900 G2 X-49.687 Y0.0 I49.687 J0.0
N3910 ;Retract Move
N3920 G3 X-56.326 Y12.454 I-15. J0.0
N3930 G1 Z-17.791
N3940 ;Departure Move
N3950 G0 Z10.
N3960 X-60.941 Y-13.872
N3970 ;Approach Move
N3980 Z-18.781

N3990 ;Engage Move
N4000 G1 Z-21.781
N4010 G3 X-51.648 Y0.0 I-5.707 J13.872
N4020 ;Cutting
N4030 G2 X-51.648 Y0.0 I51.648 J0.0
N4040 ;Retract Move
N4050 G3 X-58.327 Y12.481 I-15. J0.0
N4060 G1 Z-18.781
N4070 ;Departure Move
N4080 G0 Z10.
N4090 ;End of Path
N4100 SUPA G0 Z=_Z_HOME D0
N4110 SUPA G0 X=_X_HOME Y=_Y_HOME B=_B_HOME C=_C_HOME D1
N4120 CYCLE832()
N4130 M5
N4140 ;End of Program
N4150 T0
N4160 M6
N4170 M30

2. 轮毂粗加工NC程序

```
N10 ;轮毂粗加工
N20 ; Start of Program
N30 ;PART NAME :C:\Users\lhx\Desktop\中德20210422\11\叶轮加工\jg.prt
N40 ;DATE TIME :Tue Apr 30 12:54:07 2021
N50 ;
N60 DEF REAL _camtolerance
N70 DEF REAL _X_HOME, _Y_HOME, _Z_HOME, _B_HOME, _C_HOME
N80 DEF REAL _F_CUTTING, _F_ENGAGE, _F_RETRACT
N90 ;
N100 G40 G17 G710 G94 G90 G60 G601 FNORM
N110 ;Start of Path
N120 ;
N130 ;TECHNOLOGY: METHOD
N140 ;TOOL NAME : UGT0203_004
N150 ;TOOL TYPE : Milling Tool-Ball Mill
N160 ;TOOL DIAMETER : 10.000000
N170 ;TOOL LENGTH : 70.000000
N180 ;TOOL CORNER RADIUS: 5.000000
N190 ;
N200 ;Intol : 0.030000
N210 ;Outtol : 0.030000
N220 ;Stock : 0.000000
N230 _camtolerance=.06
N240 _X_HOME=0.0 _Y_HOME=0.0 _Z_HOME=0.0
N250 _B_HOME=0 _C_HOME=0
N260 ;
N270 ;Operation : MULTI_BLADE_ROUGH
N280 ;
N290 TRAFOOF
N300 SUPA G0 Z=_Z_HOME D0
N310 SUPA G0 X=_X_HOME Y=_Y_HOME B=_B_HOME C=_C_HOME D1
N320 ;First Tool
N330 T=2
N340 M6
N350 MSG("METHOD")
N360 TRAFOOF
N370 SUPA G0 Z=_Z_HOME D0
N380 SUPA G0 X=_X_HOME Y=_Y_HOME B=_B_HOME C=_C_HOME D1
N390 ;Initial Move
N450 G0 B58.88214 C36.2646
N400 CYCLE832(_camtolerance,_ORI_ROUGH,1)
N410 TRAORI
```

N420 G54
 N430 ORIWKS
 N440 ORIAXES
 N460 G0 X50.15359 Y11.4572 Z-20.30904 S2000 D1 M3
 N470 ;Engage Move
 N480 G1 X49.6231 Y11.20707 Z-20.72566 F200.
 N490 X49.03238 Y11.15173 Z-21.13494
 N500 X48.39629 Y11.23572 Z-21.46469
 N510 X47.73588 Y11.41306 Z-21.69593
 N520 X47.06791 Y11.65004 Z-21.83453
 N530 X46.4023 Y11.92431 Z-21.89442
 N540 X45.74392 Y12.22187 Z-21.88983
 N550 X45.09475 Y12.53407 Z-21.83272
 N560 X44.45532 Y12.85548 Z-21.73254
 N570 ;Cutting
 N580 X44.20058 Y12.98584 Z-21.68472 B58.88196 C36.26454
 N590 X43.83047 Y13.17297 Z-21.61549 B58.88167 C36.26449
 N600 X43.45985 Y13.35616 Z-21.54626 B58.88139 C36.26445
 N610 X43.08803 Y13.53754 Z-21.47703 B58.88109 C36.26443
 N620 X42.71529 Y13.71631 Z-21.4078 B58.88079 C36.26444
 N630 X42.3412 Y13.89365 Z-21.33857 B58.88048 C36.26446
 N640 X41.96587 Y14.06926 Z-21.26934 B58.88015 C36.26451
 N650 X41.62677 Y14.22641 Z-21.20704 B58.87986 C36.26457
 N660 X41.28652 Y14.38249 Z-21.14473 B58.87957 C36.26465
 N670 X40.94471 Y14.53847 Z-21.08243 B58.87928 C36.26475
 N680 X40.60162 Y14.69359 Z-21.02012 B58.879 C36.26485
 N690 X40.25691 Y14.8486 Z-20.95781 B58.87875 C36.26497
 N700 X39.91063 Y15.00335 Z-20.8955 B58.87852 C36.2651

 N460200 X34.48133 Y-23.17657 Z-27.84976 B49.62761
 N460210 X34.54799 Y-23.43494 Z-27.85809 B49.60089
 N460220 X34.61475 Y-23.69178 Z-27.86397 B49.57431
 N460230 X34.68125 Y-23.94754 Z-27.86984 B49.54785
 N460240 X34.7493 Y-24.19936 Z-27.87569 B49.52173
 N460250 X34.81014 Y-24.4615 Z-27.88032 B49.49478
 N460260 X34.86927 Y-24.72487 Z-27.88347 B49.46775
 N460270 X34.92816 Y-24.98714 Z-27.88661 B49.44083
 N460280 X34.98669 Y-25.24847 Z-27.88974 B49.41401
 N460290 X35.04345 Y-25.51112 Z-27.89287 B49.3871
 N460300 X35.0937 Y-25.78236 Z-27.89605 B49.35947
 N460310 X35.1435 Y-26.05269 Z-27.89923 B49.33194
 N460320 X35.19873 Y-26.35205 Z-27.90275 B49.30144

N460330 X35.24589 Y-26.60853 Z-27.90577 B49.27532
N460340 X35.32651 Y-27.08389 Z-27.91134 B49.22703
N460350 X35.40179 Y-27.56245 Z-27.91692 B49.17849
N460360 X35.47211 Y-28.04355 Z-27.92251 B49.12978
N460370 X35.53744 Y-28.52714 Z-27.92811 B49.08089
N460380 X35.59774 Y-29.01318 Z-27.93372 B49.03181
N460390 X35.65298 Y-29.50163 Z-27.93933 B48.98256
N460400 X35.70313 Y-29.99242 Z-27.94496 B48.93312
N460410 X35.74815 Y-30.48551 Z-27.9506 B48.8835
N460420 X35.78802 Y-30.98086 Z-27.95625 B48.83369
N460430 X35.82269 Y-31.4784 Z-27.9619 B48.7837
N460440 X35.84969 Y-31.93259 Z-27.96705 B48.7381
N460450 X35.87235 Y-32.38852 Z-27.97221 B48.69234
N460460 X35.89066 Y-32.84614 Z-27.97738 B48.64642
N460470 X35.90459 Y-33.30544 Z-27.98255 B48.60036
N460480 X35.9122 Y-33.67371 Z-27.98669 B48.56343
N460490 ;Retract Move
N460500 X36.01385 Y-35.02217 Z-28.00344
N460510 X36.13365 Y-35.68783 Z-28.01061
N460520 X36.31637 Y-36.33892 Z-28.01287
N460530 X36.58066 Y-36.96097 Z-28.00311
N460540 X36.94941 Y-37.52552 Z-27.96669
N460550 X37.43865 Y-37.97981 Z-27.87421
N460560 X38.0212 Y-38.25089 Z-27.67614
N460570 X38.58712 Y-38.30038 Z-27.31856
N460580 ;End of Path
N460590 TRAFOOF
N460600 SUPA G0 Z=_Z_HOME D0
N460610 SUPA G0 X=_X_HOME Y=_Y_HOME B=_B_HOME C=_C_HOME D1
N460620 CYCLE832()
N460630 M5
N460640 ;End of Program
N460650 M30

3.叶片精加工NC程序

```
N10 ;叶片精加工
N20 ; Start of Program
N30 ;PART NAME :C:\Users\lhx\Desktop\中德20210422\11\叶轮加工\jg.prt
N40 ;DATE TIME :Tue Apr 30 14:16:10 2021
N50 ;
N60 DEF REAL _camtolerance
N70 DEF REAL _X_HOME, _Y_HOME, _Z_HOME, _B_HOME, _C_HOME
N80 DEF REAL _F_CUTTING, _F_ENGAGE, _F_RETRACT
N90 ;
N100 G40 G17 G710 G94 G90 G60 G601 FNORM
N110 ;Start of Path
N120 ;
N130 ;TECHNOLOGY: METHOD
N140 ;TOOL NAME : UGT0203_004
N150 ;TOOL TYPE : Milling Tool-Ball Mill
N160 ;TOOL DIAMETER : 10.000000
N170 ;TOOL LENGTH : 70.000000
N180 ;TOOL CORNER RADIUS: 5.000000
N190 ;
N200 ;Intol : 0.030000
N210 ;Outtol : 0.030000
N220 ;Stock : 0.000000
N230 _camtolerance=.06
N240 _X_HOME=0.0 _Y_HOME=0.0 _Z_HOME=0.0
N250 _B_HOME=0 _C_HOME=0
N260 ;
N270 ;Operation : BLADE_FINISH
N280 ;
N290 TRAFOOF
N300 SUPA G0 Z=_Z_HOME D0
N310 SUPA G0 X=_X_HOME Y=_Y_HOME B=_B_HOME C=_C_HOME D1
N320 ;First Tool
N330 T=2
N340 M6
N350 MSG("METHOD")
N360 TRAFOOF
N370 SUPA G0 Z=_Z_HOME D0
N380 SUPA G0 X=_X_HOME Y=_Y_HOME B=_B_HOME C=_C_HOME D1
N390 ;Initial Move
N450 G0 B59.18624 C11.03375
N400 CYCLE832(_camtolerance,_ORI_ROUGH,1)
N410 TRAORI
```

N420 G54
N430 ORIWKS
N440 ORIAXES
N460 G0 X54.13516 Y-.31289 Z-15.03633 S2500 D1 M3
N470 ;Engage Move
N480 G1 X52.29363 Y-.65697 Z-16.30836 F250.
N490 X51.4117 Y-.83672 Z-16.99596
N500 X48.86511 Y-1.60639 Z-19.10502
N510 X48.0487 Y-2.01017 Z-19.77757
N520 X47.2619 Y-2.54083 Z-20.39393
N530 X46.53464 Y-3.24156 Z-20.90162
N540 X45.92544 Y-4.13587 Z-21.22225
N550 X45.49918 Y-5.1782 Z-21.29325
N560 ;Cutting
N570 X45.47319 Y-5.26489 Z-21.28881 C11.03388
N580 X45.43442 Y-5.37436 Z-21.28182 C11.03405
N590 X45.43136 Y-5.38232 Z-21.28126 C11.03406
N600 X45.3882 Y-5.48607 Z-21.27313 C11.03423
N610 X45.37524 Y-5.51471 Z-21.27065 C11.03427
N620 X45.31002 Y-5.64265 Z-21.25782 C11.03449
N630 X45.23709 Y-5.76616 Z-21.24312 C11.0347
N640 X45.15579 Y-5.88405 Z-21.22632 C11.03491
N650 X45.06702 Y-5.99612 Z-21.20765 C11.03512
N660 X44.97051 Y-6.10121 Z-21.187 C11.03533
N670 X44.86788 Y-6.19997 Z-21.16476 C11.03555
N680 X44.75916 Y-6.29159 Z-21.14092 C11.03576
N690 X44.64393 Y-6.3744 Z-21.11532 C11.03597
N700 X44.52388 Y-6.44955 Z-21.08838 C11.03618
N710 X44.39904 Y-6.51584 Z-21.06007 C11.03639
N720 X44.26989 Y-6.57267 Z-21.03047 C11.03661
N730 X44.13742 Y-6.62057 Z-20.99985 C11.03682
N740 X44.00222 Y-6.65947 Z-20.96832 C11.03703
N750 X43.86458 Y-6.68753 Z-20.9359 C11.03724
N760 X43.72552 Y-6.7063 Z-20.90287 C11.03745
N770 X43.58559 Y-6.71503 Z-20.86933 C11.03767
N780 X43.44548 Y-6.71339 Z-20.83545 C11.03788
N790 X43.30584 Y-6.7023 Z-20.8014 C11.03809
N800 X43.1675 Y-6.68034 Z-20.76733 C11.0383
N810 X43.03084 Y-6.6494 Z-20.73341 C11.03851
N820 X42.89698 Y-6.60776 Z-20.69984 C11.03873
N830 X42.7661 Y-6.5572 Z-20.66674 C11.03894
N840 X42.63908 Y-6.49727 Z-20.6343 C11.03915
N850 X42.51668 Y-6.428 Z-20.60271 C11.03936
N860 X42.40104 Y-6.34809 Z-20.57115 C11.03957

N870 X42.29303 Y-6.258 Z-20.53961 C11.03978
 N880 X42.19199 Y-6.15961 Z-20.5097 C11.04
 N890 X42.0975 Y-6.05452 Z-20.48137 C11.04021
 N900 X42.00937 Y-5.94363 Z-20.45462 C11.04042
 N910 X41.92904 Y-5.82653 Z-20.42982 C11.04063
 N920 X41.8552 Y-5.70539 Z-20.40403 C11.04084
 N930 X41.78214 Y-5.58379 Z-20.37827 C11.04106
 N940 X41.70899 Y-5.46222 Z-20.35258 C11.04127
 N950 X41.63578 Y-5.34067 Z-20.32695 C11.04148
 N960 X41.56 Y-5.22084 Z-20.30068 C11.04169
 N970 X41.4831 Y-5.10177 Z-20.27418 C11.0419
 N980 X41.408 Y-4.98154 Z-20.24784 C11.04212
 N990 X41.33615 Y-4.8598 Z-20.21944 C11.04233
 N1000 X41.26533 Y-4.73736 Z-20.19148 C11.04254
 N1010 X41.19317 Y-4.6158 Z-20.16319 C11.04275
 N1020 X41.11731 Y-4.49677 Z-20.13379 C11.04296
 N1030 X41.04158 Y-4.37762 Z-20.10453 C11.04318
 N1040 X40.97407 Y-4.25405 Z-20.07345 C11.04339
 N1050 X40.90712 Y-4.13013 Z-20.0425 C11.0436
 N1060 X40.8294 Y-3.99392 Z-20.00696 C11.04384
 N1070 X40.76724 Y-3.88847 Z-19.97874 C11.04402
 N1080 X40.68004 Y-3.74107 Z-19.93932 C11.04428
 N1090 X40.5851 Y-3.57766 Z-19.89077 C11.04457
 N1100 X40.49072 Y-3.41396 Z-19.84232 C11.04485

 N1230400 X35.36567 Y-25.28858 Z-29.66215 B36.43518 C328.34555
 N1230410 X35.3992 Y-25.44607 Z-29.66955 B36.30761 C328.22239
 N1230420 X35.43264 Y-25.60366 Z-29.67694 B36.18001 C328.0992
 N1230430 X35.46691 Y-25.7611 Z-29.68432 B36.05248 C327.97608
 N1230440 X35.50083 Y-25.91869 Z-29.69167 B35.9249 C327.85291
 N1230450 X35.53433 Y-26.0764 Z-29.69901 B35.79732 C327.72974
 N1230460 X35.56343 Y-26.23465 Z-29.7063 B35.66979 C327.60663
 N1230470 X35.59128 Y-26.39317 Z-29.71357 B35.54219 C327.48344
 N1230480 X35.61873 Y-26.55174 Z-29.72081 B35.41464 C327.3603
 N1230490 X35.64619 Y-26.71034 Z-29.72804 B35.28708 C327.23715
 N1230500 X35.67347 Y-26.86909 Z-29.73525 B35.15947 C327.11396
 N1230510 X35.701 Y-27.02775 Z-29.74245 B35.03194 C326.99084
 N1230520 X35.72781 Y-27.18659 Z-29.74962 B34.90437 C326.86768
 N1230530 X35.75384 Y-27.34558 Z-29.75677 B34.77677 C326.7445
 N1230540 X35.77593 Y-27.50485 Z-29.76388 B34.64925 C326.62138
 N1230550 X35.79709 Y-27.66433 Z-29.77096 B34.52165 C326.4982
 N1230560 X35.81827 Y-27.8238 Z-29.77803 B34.3941 C326.37506

N1230570 X35.83942 Y-27.98332 Z-29.78508 B34.26654 C326.25191
N1230580 X35.8604 Y-28.14297 Z-29.79211 B34.13893 C326.12871
N1230590 X35.88129 Y-28.30256 Z-29.79912 B34.0114 C326.0056
N1230600 X35.90094 Y-28.46234 Z-29.80611 B33.88382 C325.88243
N1230610 X35.91859 Y-28.62225 Z-29.81306 B33.75625 C325.75928
N1230620 X35.93443 Y-28.78225 Z-29.81999 B33.62871 C325.63614
N1230630 X35.94911 Y-28.94242 Z-29.8269 B33.50109 C325.51293
N1230640 X35.96416 Y-29.10249 Z-29.83378 B33.37357 C325.38983
N1230650 X35.97897 Y-29.26271 Z-29.84065 B33.24598 C325.26666
N1230660 X35.99383 Y-29.42295 Z-29.8475 B33.11841 C325.1435
N1230670 X36.00796 Y-29.58323 Z-29.85432 B32.99086 C325.02036
N1230680 X36.02145 Y-29.74366 Z-29.86113 B32.86324 C324.89716
N1230690 X36.03079 Y-29.90401 Z-29.86789 B32.73573 C324.77405
N1230700 X36.03969 Y-30.06451 Z-29.87463 B32.60814 C324.65087
N1230710 X36.04838 Y-30.225 Z-29.88135 B32.48058 C324.52773
N1230720 X36.05703 Y-30.38555 Z-29.88806 B32.35302 C324.40458
N1230730 X36.06556 Y-30.5462 Z-29.89474 B32.22542 C324.28139
N1230740 X36.07413 Y-30.70687 Z-29.90141 B32.09783 C324.15822
N1230750 X36.0824 Y-30.86756 Z-29.90805 B31.97027 C324.03507
N1230760 X36.08777 Y-31.02821 Z-29.91466 B31.84271 C323.91192
N1230770 X36.09145 Y-31.18886 Z-29.92124 B31.71514 C323.78877
N1230780 X36.09508 Y-31.34957 Z-29.9278 B31.58757 C323.6656
N1230790 X36.09875 Y-31.5103 Z-29.93435 B31.46001 C323.54245
N1230800 X36.10163 Y-31.67104 Z-29.94086 B31.33244 C323.4193
N1230810 X36.1009 Y-31.83161 Z-29.94734 B31.20488 C323.29615
N1230820 X36.09534 Y-31.99181 Z-29.95378 B31.07731 C323.173
N1230830 X36.08475 Y-32.15144 Z-29.96016 B30.94975 C323.04984
N1230840 X36.06911 Y-32.31035 Z-29.96649 B30.82219 C322.9267
N1230850 X36.04872 Y-32.46843 Z-29.97278 B30.69463 C322.80355
N1230860 X36.02361 Y-32.62555 Z-29.97901 B30.56707 C322.6804
N1230870 X35.99387 Y-32.78157 Z-29.9852 B30.4395 C322.55725
N1230880 X35.9595 Y-32.93636 Z-29.99133 B30.31193 C322.43409
N1230890 X35.92025 Y-33.08965 Z-29.99742 B30.18437 C322.31094
N1230900 X35.8766 Y-33.24147 Z-30.00345 B30.05681 C322.18779
N1230910 X35.8283 Y-33.39157 Z-30.00943 B29.92925 C322.06464
N1230920 X35.77588 Y-33.54001 Z-30.01536 B29.80168 C321.94149
N1230930 X35.71861 Y-33.68631 Z-30.02124 B29.67413 C321.81834
N1230940 X35.65749 Y-33.83079 Z-30.02707 B29.54656 C321.69519
N1230950 X35.59196 Y-33.973 Z-30.03285 B29.41899 C321.57204
N1230960 X35.52221 Y-34.11288 Z-30.03857 B29.29143 C321.44889
N1230970 X35.44835 Y-34.25032 Z-30.04424 B29.16387 C321.32574
N1230980 X35.37072 Y-34.38539 Z-30.04987 B29.03631 C321.20259
N1230990 X35.28903 Y-34.51772 Z-30.05543 B28.90874 C321.07944
N1231000 X35.20355 Y-34.64733 Z-30.06095 B28.78118 C320.95628

N1231010 X35.1143 Y-34.77405 Z-30.06641 B28.65362 C320.83313
N1231020 X35.02145 Y-34.89786 Z-30.07182 B28.52605 C320.70998
N1231030 X34.925 Y-35.01854 Z-30.07718 B28.39849 C320.58683
N1231040 X34.8251 Y-35.13607 Z-30.08249 B28.27093 C320.46368
N1231050 X34.72182 Y-35.2503 Z-30.08774 B28.14336 C320.34053
N1231060 X34.61527 Y-35.36117 Z-30.09294 B28.0158 C320.21738
N1231070 X34.5085 Y-35.47164 Z-30.09811 B27.88836 C320.09434
N1231080 X34.40899 Y-35.58977 Z-30.10335 B27.76079 C319.97119
N1231090 X34.30627 Y-35.7048 Z-30.10853 B27.63323 C319.84804
N1231100 X34.20039 Y-35.81662 Z-30.11366 B27.50566 C319.72489
N1231110 X34.0915 Y-35.92518 Z-30.11875 B27.3781 C319.60173
N1231120 X33.97965 Y-36.03037 Z-30.12378 B27.25054 C319.47858
N1231130 X33.86495 Y-36.13211 Z-30.12876 B27.12297 C319.35543
N1231140 ;Retract Move
N1231150 X33.13114 Y-36.98802 Z-30.13173
N1231160 X32.6717 Y-38.0139 Z-30.04908
N1231170 X32.5 Y-39.11405 Z-29.86707
N1231180 X32.56216 Y-40.20628 Z-29.58635
N1231190 X32.79179 Y-41.24653 Z-29.20918
N1231200 X33.13583 Y-42.21224 Z-28.73304
N1231210 X33.55401 Y-43.08578 Z-28.15017
N1231220 X34.01169 Y-43.84547 Z-27.44976
N1231230 X34.47309 Y-44.46156 Z-26.62283
N1231240 X34.89743 Y-44.89837 Z-25.67187
N1231250 ;End of Path
N1231260 TRAFOOF
N1231270 SUPA G0 Z=_Z_HOME D0
N1231280 SUPA G0 X=_X_HOME Y=_Y_HOME B=_B_HOME C=_C_HOME D1
N1231290 CYCLE832()
N1231300 M5
N1231310 ;End of Program
N1231320 M30

4. 轮毂精加工NC程序

```
N10 ;轮毂精加工
N20 ; Start of Program
N30 ;PART NAME :C:\Users\lhx\Desktop\中德20210422\11\叶轮加工\jg.prt
N40 ;DATE TIME :Tue Apr 30 12:57:04 2021
N50 ;
N60 DEF REAL _camtolerance
N70 DEF REAL _X_HOME, _Y_HOME, _Z_HOME, _B_HOME, _C_HOME
N80 DEF REAL _F_CUTTING, _F_ENGAGE, _F_RETRACT
N90 ;
N100 G40 G17 G710 G94 G90 G60 G601 FNORM
N110 ;Start of Path
N120 ;
N130 ;TECHNOLOGY: METHOD
N140 ;TOOL NAME : UGT0203_004
N150 ;TOOL TYPE : Milling Tool-Ball Mill
N160 ;TOOL DIAMETER : 10.000000
N170 ;TOOL LENGTH : 70.000000
N180 ;TOOL CORNER RADIUS: 5.000000
N190 ;
N200 ;Intol : 0.030000
N210 ;Outtol : 0.030000
N220 ;Stock : 0.000000
N230 _camtolerance=.06
N240 _X_HOME=0.0 _Y_HOME=0.0 _Z_HOME=0.0
N250 _B_HOME=0 _C_HOME=0
N260 ;
N270 ;Operation : HUB_FINISH
N280 ;
N290 TRAFOOF
N300 SUPA G0 Z=_Z_HOME D0
N310 SUPA G0 X=_X_HOME Y=_Y_HOME B=_B_HOME C=_C_HOME D1
N320 ;First Tool
N330 T=2
N340 M6
N350 MSG("METHOD")
N360 TRAFOOF
N370 SUPA G0 Z=_Z_HOME D0
N380 SUPA G0 X=_X_HOME Y=_Y_HOME B=_B_HOME C=_C_HOME D1
N390 ;Initial Move
N450 G0 B39.14078 C37.93877
N400 CYCLE832(_camtolerance,_ORI_ROUGH,1)
N410 TRAORI
```

N420 G54
N430 ORIWKS
N440 ORIAXES
N460 G0 X54.22991 Y-6.11454 Z-28.78437 S2500 D1 M3
N470 ;Engage Move
N480 G1 X53.77135 Y-6.35262 Z-29.21033 F250.
N490 X53.15057 Y-6.44921 Z-29.44728
N500 X52.49166 Y-6.36292 Z-29.55669
N510 X51.85927 Y-6.13165 Z-29.59891
N520 X51.2708 Y-5.80065 Z-29.60845
N530 X50.72571 Y-5.40174 Z-29.60241
N540 X50.21886 Y-4.95519 Z-29.58926
N550 X49.74481 Y-4.47397 Z-29.57331
N560 X49.29879 Y-3.96662 Z-29.55688
N570 ;Cutting
N580 X49.1811 Y-3.82587 Z-29.55249 B39.20455 C37.96295
N590 X49.06301 Y-3.68576 Z-29.54809 B39.26823 C37.9871
N600 X48.94454 Y-3.54627 Z-29.54369 B39.33183 C38.01123
N610 X48.82568 Y-3.40743 Z-29.5393 B39.39534 C38.03531
N620 X48.70644 Y-3.26922 Z-29.5349 B39.45877 C38.05937
N630 X48.58681 Y-3.13164 Z-29.53051 B39.52212 C38.08339
N640 X48.4668 Y-2.9947 Z-29.52611 B39.58538 C38.10738
N650 X48.34642 Y-2.85841 Z-29.52171 B39.64855 C38.13134
N660 X48.22566 Y-2.72275 Z-29.51732 B39.71164 C38.15527
N670 X48.10453 Y-2.58773 Z-29.51292 B39.77464 C38.17917
N680 X47.98303 Y-2.45336 Z-29.50852 B39.83756 C38.20303
N690 X47.86117 Y-2.31963 Z-29.50413 B39.9004 C38.22686
N700 X47.73894 Y-2.18654 Z-29.49973 B39.96315 C38.25066
N710 X47.61635 Y-2.0541 Z-29.49534 B40.02582 C38.27443
N720 X47.4934 Y-1.92231 Z-29.49094 B40.0884 C38.29816
N730 X47.37009 Y-1.79116 Z-29.48655 B40.1509 C38.32187
N740 X47.24644 Y-1.66066 Z-29.48215 B40.21332 C38.34554
N750 X47.12243 Y-1.53081 Z-29.47776 B40.27565 C38.36918
N760 X46.99807 Y-1.40161 Z-29.47336 B40.3379 C38.39279
N770 X46.87337 Y-1.27307 Z-29.46897 B40.40006 C38.41636
N780 X46.74832 Y-1.14517 Z-29.46457 B40.46214 C38.43991
N790 X46.62294 Y-1.01793 Z-29.46018 B40.52414 C38.46342
N800 X46.49721 Y-.89134 Z-29.45578 B40.58605 C38.4869
N810 X46.37115 Y-.7654 Z-29.45139 B40.64788 C38.51035
N820 X46.24476 Y-.64013 Z-29.447 B40.70963 C38.53377
N830 X46.11804 Y-.51551 Z-29.4426 B40.77129 C38.55716
N840 X45.99099 Y-.39154 Z-29.43821 B40.83288 C38.58052
N850 X45.86362 Y-.26824 Z-29.43382 B40.89437 C38.60384
N860 X45.73593 Y-.14559 Z-29.42943 B40.95579 C38.62713

N870 X45.60792 Y-.0236 Z-29.42504 B41.01712 C38.65039
 N880 X45.47959 Y.09772 Z-29.42064 B41.07837 C38.67362
 N890 X45.35094 Y.21839 Z-29.41625 B41.13954 C38.69682
 N900 X45.22199 Y.33839 Z-29.41186 B41.20063 C38.71999
 N910 X45.09273 Y.45772 Z-29.40747 B41.26163 C38.74313
 N920 X44.96316 Y.5764 Z-29.40308 B41.32255 C38.76623
 N930 X44.83329 Y.6944 Z-29.3987 B41.38339 C38.7893
 N940 X44.70311 Y.81175 Z-29.39431 B41.44415 C38.81235
 N950 X44.57264 Y.92842 Z-29.38992 B41.50482 C38.83536

 N809400 X17.68783 Y8.83946 Z-.73917 B53.42755 C359.95231
 N809410 X17.61034 Y8.88987 Z-.55088 B53.61097 C359.96655
 N809420 X17.53278 Y8.93994 Z-.36256 B53.79435 C359.98079
 N809430 X17.45515 Y8.98966 Z-.17422 B53.97767 C359.99503
 N809440 X17.37746 Y9.03904 Z.01415 B54.16095 C.00926
 N809450 X17.29972 Y9.08808 Z.20254 B54.34418 C.02349
 N809460 X17.22191 Y9.13677 Z.39097 B54.52736 C.03771
 N809470 X17.14405 Y9.18512 Z.57942 B54.71049 C.05193
 N809480 X17.1051 Y9.20917 Z.67365 B54.80204 C.05904
 N809490 ;Retract Move
 N809500 X16.61351 Y9.47722 Z1.99675
 N809510 X16.41061 Y9.55634 Z2.68154
 N809520 X16.25025 Y9.58977 Z3.3811
 N809530 X16.14934 Y9.56976 Z4.09199
 N809540 X16.13333 Y9.49014 Z4.80535
 N809550 X16.23969 Y9.35349 Z5.50148
 N809560 X16.51813 Y9.1905 Z6.14071
 N809570 X17.00747 Y9.09941 Z6.65128
 N809580 ;Departure Move
 N809590 G0 X49.15889 Y9.13254 Z29.32991
 N809600 ;End of Path
 N809610 TRAFOOF
 N809620 SUPA G0 Z=_Z_HOME D0
 N809630 SUPA G0 X=_X_HOME Y=_Y_HOME B=_B_HOME C=_C_HOME D1
 N809640 CYCLE832()
 N809650 M5
 N809660 ;End of Program
 N809670 M30

5.叶片叶根倒圆NC程序

```
N10 ;叶片叶根倒圆
N20 ; Start of Program
N30 ;PART NAME :C:\Users\lhx\Desktop\中德20210422\11\叶轮加工\jg.prt
N40 ;DATE TIME :Tue Apr 30 14:24:35 2021
N50 ;
N60 DEF REAL _camtolerance
N70 DEF REAL _X_HOME, _Y_HOME, _Z_HOME, _B_HOME, _C_HOME
N80 DEF REAL _F_CUTTING, _F_ENGAGE, _F_RETRACT
N90 ;
N100 G40 G17 G710 G94 G90 G60 G601 FNORM
N110 ;Start of Path
N120 ;
N130 ;TECHNOLOGY: METHOD
N140 ;TOOL NAME : UGT0203_059
N150 ;TOOL TYPE : Milling Tool-Ball Mill
N160 ;TOOL DIAMETER : 4.000000
N170 ;TOOL LENGTH : 27.000000
N180 ;TOOL CORNER RADIUS: 2.000000
N190 ;
N200 ;Intol : 0.030000
N210 ;Outtol : 0.030000
N220 ;Stock : 0.000000
N230 _camtolerance=.06
N240 _X_HOME=0.0 _Y_HOME=0.0 _Z_HOME=0.0
N250 _B_HOME=0 _C_HOME=0
N260 ;
N270 ;Operation : BLEND_FINISH
N280 ;
N290 TRAFOOF
N300 SUPA G0 Z=_Z_HOME D0
N310 SUPA G0 X=_X_HOME Y=_Y_HOME B=_B_HOME C=_C_HOME D1
N320 ;First Tool
N330 T=3
N340 M6
N350 MSG("METHOD")
N360 TRAFOOF
N370 SUPA G0 Z=_Z_HOME D0
N380 SUPA G0 X=_X_HOME Y=_Y_HOME B=_B_HOME C=_C_HOME D1
N390 ;Initial Move
N450 G0 B22.70389 C.46477
N400 CYCLE832(_camtolerance,_ORI_ROUGH,1)
N410 TRAORI
```

N420 G54
N430 ORIWKS
N440 ORIAXES
N460 G0 X50.85892 Y-4.42575 Z-26.09402 S4000 D1 M3
N470 ;Engage Move
N480 G1 X50.64752 Y-4.42033 Z-26.48595 F100.
N490 X50.36938 Y-4.40841 Z-26.83381
N500 X50.04207 Y-4.40115 Z-27.13623
N510 X49.68015 Y-4.40991 Z-27.39635
N520 X49.2952 Y-4.44717 Z-27.61802
N530 X48.89838 Y-4.5285 Z-27.80385
N540 X48.50532 Y-4.67456 Z-27.95387
N550 X48.14405 Y-4.90899 Z-28.06481
N560 X47.85802 Y-5.24197 Z-28.13256
N570 X47.68101 Y-5.64873 Z-28.1602
N580 ;Cutting
N590 X47.63934 Y-5.79635 Z-28.16408 B22.39655 C.19051
N600 X47.58681 Y-5.94002 Z-28.1677 B22.09863 C359.92337
.....
.....
.....
N443700 X35.87749 Y-32.59324 Z-30.25896 B37.07823 C331.42713
N443710 X35.76557 Y-32.73814 Z-30.26078 B36.99569 C331.37599
N443720 X35.65826 Y-32.88658 Z-30.26265 B36.91315 C331.32484
N443730 X35.55481 Y-33.0378 Z-30.26456 B36.8306 C331.27369
N443740 X35.45591 Y-33.19212 Z-30.26651 B36.74806 C331.22255
N443750 X35.36029 Y-33.34856 Z-30.26848 B36.66551 C331.1714
N443760 X35.26782 Y-33.50694 Z-30.27049 B36.58296 C331.12025
N443770 X35.17835 Y-33.66709 Z-30.27252 B36.50042 C331.06911
N443780 X35.091 Y-33.82845 Z-30.27457 B36.41787 C331.01796
N443790 X35.00632 Y-33.99126 Z-30.27665 B36.33533 C330.96681
N443800 X34.92313 Y-34.15488 Z-30.27874 B36.25278 C330.91566
N443810 X34.84003 Y-34.31853 Z-30.28083 B36.17024 C330.86452
N443820 X34.75585 Y-34.48107 Z-30.2829 B36.08791 C330.81351
N443830 X34.66786 Y-34.64268 Z-30.28496 B36.00514 C330.76222
N443840 X34.57704 Y-34.79877 Z-30.28695 B35.92387 C330.71187
N443850 X34.47706 Y-34.95581 Z-30.28895 B35.84005 C330.65993
N443860 X34.37036 Y-35.10795 Z-30.29089 B35.75635 C330.60807
N443870 X34.25977 Y-35.25067 Z-30.29271 B35.67497 C330.55765
N443880 X34.13899 Y-35.39128 Z-30.29451 B35.59138 C330.50585
N443890 X34.01453 Y-35.52216 Z-30.2962 B35.50989 C330.45536
N443900 X33.88189 Y-35.64799 Z-30.29784 B35.42735 C330.40422
N443910 X33.74289 Y-35.76662 Z-30.29942 B35.34481 C330.35307
N443920 X33.598 Y-35.87782 Z-30.30093 B35.26227 C330.30193

N443930 X33.47398 Y-36.01073 Z-30.30265 B35.18026 C330.25112
N443940 X33.35265 Y-36.14767 Z-30.30441 B35.09775 C330.19999
N443950 X33.22499 Y-36.27879 Z-30.30612 B35.01518 C330.14883
N443960 X33.0914 Y-36.40363 Z-30.30776 B34.93264 C330.09769
N443970 X32.9521 Y-36.52192 Z-30.30935 B34.8501 C330.04654
N443980 X32.80407 Y-36.63613 Z-30.3109 B34.76562 C329.9942
N443990 X32.72614 Y-36.6918 Z-30.31167 B34.72233 C329.96738
N444000 ;Retract Move
N444010 X32.40294 Y-36.99904 Z-30.30192
N444020 X32.18936 Y-37.38779 Z-30.25828
N444030 X32.10108 Y-37.81735 Z-30.17601
N444040 X32.11844 Y-38.24769 Z-30.05713
N444050 X32.21259 Y-38.65717 Z-29.90419
N444060 X32.36081 Y-39.03557 Z-29.71736
N444070 X32.54707 Y-39.37586 Z-29.49466
N444080 X32.75893 Y-39.67005 Z-29.23272
N444090 X32.98456 Y-39.90739 Z-28.92827
N444100 X33.21039 Y-40.07461 Z-28.58068
N444110 ;End of Path
N444120 TRAFOOF
N444130 SUPA G0 Z=_Z_HOME D0
N444140 SUPA G0 X=_X_HOME Y=_Y_HOME B=_B_HOME C=_C_HOME D1
N444150 CYCLE832()
N444160 M5
N444170 ;End of Program
N444180 M30