

# Research and Verification of Five-axis CNC Machine Tool

Qing Miao

General Technology Group Machine Tool Engineering Research Institute Co., Ltd. Shenyang Branch, Shenyang, Liaoning, 110023, China

## Abstract

As an advanced machining equipment, the excellent geometric accuracy of five-axis CNC machine tools has a direct impact on the quality of part machining. The paper analyzes and proposes an innovative post-processing algorithm, which stands out for its simplicity and can be directly integrated into CNC systems, demonstrating excellent practical value. Five-axis CNC machine tools face many challenges in practical applications, such as the precise requirements for the path during the machining process. When planning the path, it is necessary to consider the precise positional relationship between the tool and the workpiece, and the calculation of the tool position is also relatively complex. The paper explores a post-processing algorithm for five-axis CNC machining based on machining center machines, and proves its effectiveness through experiments, providing a new solution for the field of five-axis CNC machining.

## Keywords

five-axis CNC machine tool; rear processing; algorithm research

## 五轴数控机床后置处理算法研究及其验证

苗青

通用技术集团机床工程研究院有限公司沈阳分公司, 中国·辽宁 沈阳 110023

## 摘要

五轴数控机床作为一种先进的加工设备,其卓越的几何精度对零件加工的质量有着直接的影响。论文分析并提出了一种创新的后置处理算法,该算法以其简洁性脱颖而出,可以直接集成到数控系统中,展现出卓越的实用价值。五轴数控机床在实际应用中面临诸多挑战,如加工过程中对路径的精确要求,规划路径时必须考虑到刀具与工件之间的精确位置关系,同时刀位点的计算也相对复杂。论文探讨了一种基于加工中心机床的五轴数控加工后置处理算法,并通过实验证明了其有效性,为五轴数控加工领域提供了新的解决方案。

## 关键词

五轴数控机床; 后置处理; 算法研究

## 1 引言

在当今中国制造业迅猛发展的背景下,高精度和高效能的数控机床已经逐步确立其在行业中的核心地位。特别是五轴数控机床,以其卓越的加工效率和紧凑的空间结构,正日益广泛地被运用于复杂零件的加工之中。五轴机床不仅极大提升了生产效率,还促进了工件质量和工艺水平的全面提升,为中国制造业的持续创新和升级提供了强有力的装备支持。

## 2 五轴数控机床后置处理算法的特点

### 2.1 灵活性

后置处理算法,它依据工件的加工需求,运用多种工艺方法完成加工任务。当遇到复杂多变的几何形状时,传统的数控系统可能无法有效应对。这种情况下,需要专业人员

对数控机床和数控系统进行精细且准确的编程。后置处理技术的运用显得重要,它不仅提高了数控系统的适应性,还增强了加工过程的流畅性和精确性,确保每一次切削都能精确地完成预设的加工任务。

### 2.2 高效性

五轴数控机床凭借其五个独立轴线的协同运作,实现对工件的精密加工。与传统的单轴数控机床相比,这种多轴联动的技术显著增强了加工过程的灵活性<sup>[1]</sup>。在当今制造业中,工件的复杂性和精度要求日益攀升,五轴数控机床以其无与伦比的优势,能够更加精确地完成复杂零件的加工任务,从而确保产品的高质量和高性能。

### 2.3 可行性

在处理形状复杂且多变的工件时,多样化的工艺流程是实现精细加工的关键。在这种背景下,数控系统的灵活性变得尤为突出,它须能够根据各种加工需求快速地调整程序和参数,以适应不同的工艺技术,确保加工的精度和效率。

【作者简介】苗青(1981-),女,中国山东聊城人,本科,高级工程师,从事五轴机床、行业装配研究。

后置处理算法为数控系统提供了多种加工路径的选择,确保了加工过程的顺畅进行,从而显著提升了加工效率。

## 2.4 安全性和可靠性

与三轴数控机床相比,五轴数控机床的后置处理算法在安全性和可靠性方面取得了显著的进步。首先,得益于机床的三维运动能力,五轴数控机床能够加工出复杂曲面。其次,五轴数控机床的后置处理程序确保了编程的安全性和可靠性。最后,五轴数控机床的后置处理算法提升了加工过程的安全性,有效防止了刀具在切入工件时可能造成的损坏。

## 3 五轴数控机床后置处理算法研究及其验证的重要性

### 3.1 确保加工的准确性

在数控加工过程中,特别是对复杂零件的高精度加工,在实际加工过程中,由于各种因素的影响,可能会导致工件表面出现加工误差,从而降低加工效率和加工精度。因此,通过对后置处理技术进行研究与分析,能够有效解决加工过程中出现的加工误差问题,确保工件加工精度。另外,加工过程中,如果只依靠人为操作来进行控制,很难实现加工的精确性,并且在加工过程中,一旦出现错误操作,将会给整个加工过程带来不利影响。因此,通过对五轴数控机床后置处理算法进行研究及其验证,能够提高加工效率和加工精度,促进工业生产的发展<sup>[2]</sup>。

### 3.2 保证零件的加工精度

在五轴加工中心的后置处理环节,程序的后置处理能够将所需的刀具轨迹和加工参数储存起来,为被加工零件的精准制造奠定基础。数控加工的精度不仅受机床本身精度的制约,用户编写的数控程序同样起着决定性作用。通过精心设计加工工艺流程,能显著提升零件加工的精度。此外,这种方法还有助于降低由人为操作引起的加工误差,确保加工精度的同时,也有助于成本的节约。

### 3.3 提高五轴数控机床的功能

数控系统控制的刀具路径必须依据特定的加工要求进行精心设计。然而,在实际加工过程中,由于原始数据的不准确、机床固有的误差,以及刀具自身的偏差等因素,实际执行的加工程序往往与预期设计的程序存在偏差。因此,采用后置处理算法对这些数据进行精确修正,不仅能够使五轴数控机床更加灵活地应对各种材料和形状的工件加工,还能提升机床的整体工作性能,确保加工过程的精度得到保障。

### 3.4 提高加工效率

在加工过程中,数控系统的运行速度、刀具路径规划算法、定位精度、进给速度等因素对加工效率有重要影响。在进行五轴数控机床加工时,我们需根据工艺的具体需求来合理地选择与调整这些关键参数。恰当的设置可以显著提升加工的精度和生产效率。为了实现这一目标,深入研究五轴数控机床的后置处理算法,并采用高效的定位策略,无疑是

提高整体加工效率的重要途径。

## 4 五轴数控机床后置处理算法研究及其验证中存在的问题

### 4.1 算法研究中对刀位文件格式的不同处理方法

目前,国内外关于五轴联动刀轨生成算法的研究主要基于STEP文件格式。对于该格式的刀位文件,目前国内已有多种不同的处理方法,但各自都存在一些问题。①对于基于UG软件的机床仿真模型导入到WEDI系统中进行后置处理时,由于UG软件的标准刀位格式与WEDI系统中的刀位格式不统一,需要对其进行转换才能实现数控加工;②在MATLAB环境下建立工件坐标系后,使用了多套刀位文件分别完成刀轴运动轨迹规划,最后将结果导入WEDI系统中,这样就导致了刀位表中的刀具信息与工件实际的刀具信息存在冲突,影响加工效率。此外,在刀轨生成过程中,如果修改刀位文件的内容,会引起整个刀轨链发生变化,从而影响整个后置处理的精度和效率<sup>[3]</sup>。因此,需要开发一种高效、准确且具有通用性的后置处理算法来解决上述问题。

### 4.2 算法验证时的仿真验证

目前,国外的五轴数控机床的后置处理普遍采用的是仿真验证方法。主要是在软件上设计相应的刀具路径并进行仿真,然后通过机床实际运行中与仿真结果进行比较来验证算法是否正确。但是这样的仿真方式无法真实反映出机床在加工时刀具与工件之间的实际接触情况,也无法对机床的响应速度和加工精度进行有效的测试。同时,在这种算法的验证中,由于缺少一个可以真实反映出机床工作状态的环境,导致算法的验证只是单纯地在软件上进行模拟,而不能真正地体现出机床的实际运行状态。

### 4.3 机床的参数设置

在配置机床参数时,我们需细致权衡运动流畅性、速度控制及加工精度等多个关键因素。对于五轴联动加工中心这类尖端设备,其显著特征在于其多旋转部件的设计。在运动过程中,这些旋转轴间可能产生相互干扰。为此,操作者需具备精确调节机床控制系统和丰富经验,确保各轴间协调一致,满足高效、高精度的加工需求。通过精心设置数控系统,可以有效减少此类干扰。此外,针对不同加工对象选择合适的机床参数,能够最大限度地发挥机床的加工性能。

### 4.4 加工验证

加工验证是验证后置处理算法的有效手段,目前常用的方法有三种:

参数法:其核心在于精心设计和编写系列程序,这些程序负责实现数控机床上刀具轨迹的自动生成算法。通过这种算法,计算机能够识别并预测加工轨迹,使得刀具在加工过程中沿着预设的路径精确移动。与此同时,程序还需与机床控制系统紧密协作,确保数据传输的准确性与及时性。

在实际加工过程中采集到的刀具轨迹会被实时记录下

来,随后将其输入到预先编写好的数据处理模块中。通过对这些原始数据进行深入分析,以揭示出加工过程中可能出现的误差来源。考虑诸如刀具磨损、切削参数设定不当等多种因素,程序能够评估出整个加工周期内产生的具体误差值。这样,操作者便可以根据这些误差值来调整加工策略或采取相应措施,从而提高加工质量和效率。

**试验法:**利用数控设备搭建实验平台,针对不同类型的零件选择合适的刀具和切削参数进行加工,记录切削过程中的位置偏差、速度、加速度、扭矩、功率消耗等相关信息,以此来验证后置处理算法的可靠性和有效性。

**模拟仿真法:**创建一个包含精细机械结构细节并整合了尖端仿真技术的虚拟样机模型,以确保其在现实应用中的高度准确性。在此基础上,开发了系列后置处理算法软件,这些软件能够实时地将加工过程中收集到的数据传输至后置处理模块。通过这种方法,能够对加工成果进行深入而详尽的分析与评估。在虚拟环境中,将这些数据转换为实际的试验条件,以此验证后置处理软件的性能,确保其满足工程需求,推进产品设计向更高阶段发展。这种方法不仅提升了研发效率,显著降低了成本,还加速了新产品的市场推广进程,如图1所示。

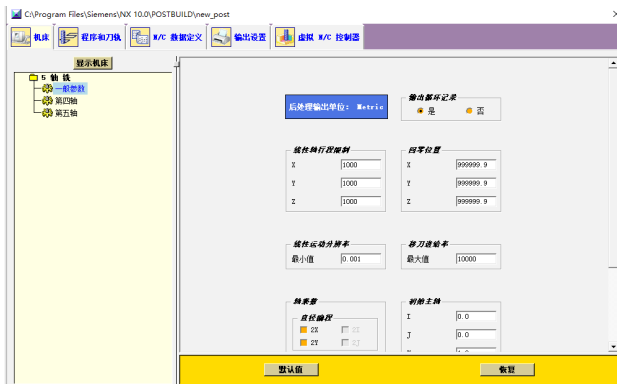


图1 软件后置处理

## 5 五轴数控机床后置处理算法研究及其验证的策略

### 5.1 坐标系的定义

坐标系统定义为数控系统的输出和输入。通常情况下,数控系统通过对机床输入它的信息来控制机床。由于每个数控系统都有自己的内部坐标系,所以它们具有自己特定的定义,并且需要对其进行分析、计算和验证。当涉及五轴机床时,如果没有一个统一的坐标系统,那么在进行后续操作之前必须首先解决这个问题。

### 5.2 刀位文件的生成

本文的刀位文件生成程序首先进行刀具原点的赋值,然后利用 HCAT\_DRC() 函数获取到机床的工艺文件中的坐标系及其尺寸信息,再利用 HCAT\_DRCFN() 函数生成相应的刀具轨迹文件。为方便后续的计算工作,采用了一种新的方式来获取刀具轨迹文件:即在使用 HCAT\_DRCFN() 函数时,直接输出所需的刀具轨迹文件,不需要先赋值 MATRIX 空间,这样可以使程序变得更简洁。同时,为了满足用户的不同需求,又提供了一种新的模式——动态模式,它是在标准模式的基础上增加了一个新的参数“-i”,当该参数设置为0时,程序会自动按照标准模式执行;而当设置为1时,程序就会根据当前的情况自动改变为动态模式。

### 5.3 刀位数据的读取

在三维坐标系中,工件的实际位置为(0,0)。利用旋转变换公式将工件的实际位置变换到原点的坐标轴上。以Y轴正方向为例,将该坐标轴沿顺时针旋转90°后,再取Y轴的单位长度作为刀位偏移量。同理,对于X、Z、P、R四个轴都可采用这种方法进行计算和读取刀位数据。

### 5.4 机床运动的实现

对机床的运动进行重新规划,根据分析得到的数据来建立其加工轨迹。为了更好地提高切削精度,在每一步移动前,都要先进行工具和工件之间的相对位置关系计算。使用 Matlab 编程语言完成了刀具位置方程、笛卡尔坐标系下的刀位点与刀具坐标系之间的变换矩阵以及刀具坐标系到笛卡尔坐标系的转换等数学计算工作。最终生成一个完整的数控程序。

## 6 结语

在五轴数控机床的加工流程中,数控系统输出的加工程序代码需经过一系列坐标变换,以适应工件坐标系,进而自动化地生成加工程序。为了根据工件的运动轨迹和几何形状准确地生成加工程序,须将数控系统的后处理算法与机床的结构特性紧密结合。本研究探讨了五轴数控机床的后处理算法,并通过实验验证了该算法在实际应用中的有效性和可行性。

### 参考文献

- [1] 王洪申,朱佳钰,朱家亮.五轴数控机床后置处理算法研究及其验证[J].制造业自动化,2023,45(10):6-9+18.
- [2] 赵丹.五轴数控机床后置处理技术的研究[D].西安:西安建筑科技大学,2017.
- [3] 伍鹏.五轴数控机床开放式后置处理系统研究与开发[D].成都:西南交通大学,2014.