

# 五轴数控加工中干涉检测的研究

陈榕利 陈晓忠

东莞职业技术学院 广东东莞 523808

**摘要:**在现代制造业中,采用五轴数控加工方法,可在一定程度上提高机床的加工效率。同时,五轴数控加工整体干涉检测策略的执行效果也是影响五轴数控加工整体品质的关键因素。因此,本文探讨了五轴数控加工技术个干涉检测技术,并对整体干涉测试技术的应用策略,并对五轴数控加工中的干涉检查意义和步骤进行论述,同时对五轴数控加工干涉检测技术的类型进行了说明,最后对其应用效果进行了探讨。

**关键词:**五轴数控;数控加工;干涉检测

## Study on interference detection in five-axis CNC machining

Longli Chen, Xiaozhong Chen

Dongguan Vocational and Technical College, Guangdong Dongguan 523808

**Abstract:** In the modern manufacturing industry, the five-axis CNC machining method can improve the processing efficiency of machine tools to a certain extent. At the same time, the implementation effect of the overall interference detection strategy is also the key factor affecting the overall quality of the five-axis CNC machining. Therefore, this paper discusses the five-axis CNC machining technology, and the application strategy of the overall interference test technology, and discusses the significance and steps of the five-axis CNC machining, the type of interference detection technology, and finally the application effect is discussed.

**Key words:** five-axis CNC; CNC machining; interference detection

由于五轴数控加工机床具有比常规数控加工多出两个自由度的特点,其数控加工时极易出现零件间的碰撞、相互干涉等问题,影响了加工及生产的顺利进行。在五轴数控加工过程中,出现的干涉状态可能为局部干涉或整体干涉。不论出现何种状况,均将对已被加工的零件产生影响,从而造成产品质量的降低。与此相比,全局干涉检查技术应用于五轴数控加工时,能有效地简化数控加工的运算过程,提高数控加工的生产效率。通过对五轴数控加工机床全局干涉检测技术的研究,得出了五轴数控加工机床全局干涉检测技术具有较高实用价值的结论。

### 1 五轴数控加工技术综述

五轴数控机床是一种能够实现复杂曲面零件加工的数控机床,被广泛应用于航空航天、汽车、模具、医疗器械等行业。五轴数控机床是一种比普通三轴式数控机床多出两根旋转轴的新型数控机床。这两根旋转轴为机械加工带来了极大的灵活性,可以在以往很难完成的自由曲面上进行机械加工。近十年来,国际市场有了很大

的改变。为满足不断变化的国际市场及日益多样化的顾客需求,制造业企业已由过去的大批量生产转变为小批量定制生产。从传统的制造方式到完全数字化的制造方式的转换。面向高精度、高柔性、高效率、高品质等特点的制造装备,尤其是在航空航天领域,对五轴数控加工装备的需求越来越高,为其快速研发与数字化制造提供了新的思路<sup>[1]</sup>。制造行业迫切需要五轴数控机床,其原因有:

(1) 制造过程中的零件结构日益复杂化。随着产品性能要求的不断提高,现有零件的结构设计也变得更加复杂。以新一代飞行器为代表的复杂机翼为代表的复杂双曲率结构和复杂梁-架-肋一体化结构是其气动性能的重要组成部分。要处理这种复杂的曲面,一般都要使用五轴数控机床。采用三轴数控机床与人工抛光或其它辅助性的加工方式,不能满足生产效率、精度和质量的要求。

(2) 对零件精度提出了越来越高的要求。随着国际市场竞争的加剧,我国制造企业正面临着快速、高效的创新产品研发与应用,从而加速实现产品制造的数字化进程。为此,对零件的加工精度和

粗糙度提出了更高的要求。

(3) 制造业在实现高效、快捷的处理方面所面临的压力日益增加。实际应用表明,对于大尺寸、复杂的构件,由于其多道工序多,制作周期长,而且部件装夹、检测、校准等费用高昂,而且对机床的使用寿命要求较高。生产企业正面对日益增长的迅速和低成本的生产压力。一步实现装夹的工艺方法日益受到人们的重视。这种策略已经为很多制造企业所采用,特别是在航空航天等领域。而要达到这个目的,必须以五轴 CNC 加工机床为基础,以此为前提。

(4) 研究开发数字制造技术的需求。随着制造业数字化技术的不断发展,数字模型、三维模型等产品已经成为了现代制造业中不可缺少的一部分,而完全数字化的产品也已经成为了制造业发展的重要目标。以数字组装为核心的全数字化制造,对零件的加工精度、表面粗糙度及相应的尺寸精度有较高的要求。采用五轴数控机床可有效实现一体化数字设计/制造环境。

## 2 干涉检测技术概述

干涉探测的实质就是判断多个目标在同一时间内是否同时占用相同的空间。该问题可以这样来描述:设  $n$  个物体:  $S_1, S_2, S_n$ , 这些物体在空间上的位置通过函数  $f_1, f_2, \dots, f_n$  来决定,  $[i, j]$  被定义为时域。判断在这个时间域上,有没有两个对象同时占据同一个空间。

其特点如下:

(1) 物体的几何复杂性,即目标的外形和表达方式对干涉探测算法的复杂性的影响。若其为形变物体,亦包括受力时形变的描述。由于对移动目标的准确表征,使得检测算法耗时过长,特别是在实际应用中,往往需要极少的实验时间,且建模过程复杂,很难应用[2]。

(2) 物体运动的复杂度:匀速平动是最简单的一种。当移动速度发生变化或者包含有转动时,虽然物体的移动表现会很直观,但是随着非线性成分的增多,干涉检测的运算就会变得更为复杂。当动作包含较多的多个关节等复杂动作时,算法非线性程度会较高。

加工过程仿真中的干涉检测,特别是对加工过程中刀具、工件、夹具、机床零件以及周围环境的影响进行检测。基于对干涉检测实时性的需求,以及对避障等其它空间规划问题的解决,高效、可靠(不漏判、不误判)是其关键。

## 3 五轴数控加工中的干涉检查

### 3.1 应用干涉检查技术的实践意义

当前,国内各制造厂家在基础环节上普遍采用五轴数控进行零件加工,但由于工艺支持的不同,其加工结果并不一致,零件的质量也存在一定的差别。其主要原因在于,五轴数控加工设备的机床相对于普通机床多了两个自由度。这就造成了五轴数控加工时,工

件间相互碰撞的可能性很大。基于以上分析,五轴数控机床的干涉检测是非常重要的。在实际应用中,为简化五轴数控加工过程中的刀位和刀位的修正计算,一般采用多层边界箱式结构来建立刀位和夹具的模型。在此基础上,提出了一种基于八叉树的自由曲面模型。实践证明,对五轴数控加工过程中出现的缺陷进行有条不紊的检查,能有效地提高加工效率,提高加工质量。

### 3.2 五轴数控加工中干涉检查的步骤分析

五轴数控加工机床的干涉检验就是对八叉树上各子结点间的刀具进行的碰撞检验。如果在这个过程中出现了部件干涉,就会对这个子结点进行一个递推的干涉检验,直至判定出某个干涉元件的干涉位置为止。当干涉点的位置被决定或者在一个子结点内没有干涉出现时,干涉控制程序就会停止在五轴数控机床上,进而转到下一个递推阶段。该方法仅对有干涉的结点进行处理,而对无扰动的结点则不进行处理。至此,五轴数控加工工艺的干涉检测工作已经结束。

## 4 五轴数控加工干涉检查技术类型

### 4.1 五轴数控加工中局部干涉检查技术研究

在五轴数控加工机床上,采用了部分干涉检测技术,其原理是通过刀具干涉检测算法来实现的。这种方法的计算比较麻烦,就算对部分干涉点进行了检测,也会有新的干涉点出现,或者是新的干扰点出现。然而,五轴数控加工过程中,局部干涉检测技术的运用,将为数控加工提供新思路,进而探索改善数控加工质量的新工艺和新方法[3]。

### 4.2 五轴数控加工中全局干涉检查技术研究

在五轴数控加工局部干涉检查技术实现的基础上,提出了全局干涉检查的方法,该技术可以利用空间中的三维坐标系变换的原理,对所加工部件的复杂曲面进行干涉检查,从而提高了管控刀具落点的精度。此外,根据碰撞时空相关原则,下一周期中出现干涉的结点一般位于前一周期干涉的结点附近。通常,在检测前,先检测上一次出现过干涉的结点,从而减少了逐层检测的计算量。在五轴数控加工过程中,运用了全局干涉检查技术,从而简化了对干涉点的检测,也就是利用最小二乘法确定最小包含区域和刀具姿态最优偏转轴和偏转角。通过建立刀的落点或者轨迹的有效区域来防止在加工过程中出现新的干扰,通过控制刀的偏转角度,可以避免出现刀的干扰。

## 5 避免加工干涉的策略

五轴加工时,刀具干扰可以划分为整体干扰和局部干扰两种情况。所谓的局部干扰,就是指在被加工的表面上,由于刀具对被加工的物体造成的欠切,过切,从而造成较大的加工误差。通过对五

轴数控加工软件的进一步优化,采用先进的 数控加工程序,选择合适的工具,可以从根本上解决五轴数控加工中出现的局部干涉问题。整体干涉是指加工时,刀具、夹具、工件和机床等设备相互碰撞,危害极大。完全消除干涉是 5 轴程序设计中的首要条件,对程序设计人员的工作经验和工作能力提出了很高的要求。防止整体碰撞主要包括两个方面:一是避免刀具和刀柄与工件和夹具之间的碰撞;二是保证了工装夹具和主轴部分不会产生碰撞。本文以 Powermill 为基础,结合几种典型的五轴机床,讨论了防止加工干涉的具体措施。

### 5.1 基于实际工艺元素的刀路编程和加工模拟

五轴数控机床的数控编程需要综合考虑多种因素,在进行刀路规划之前,需要设定刀尖、刀杆、刀夹等具有实际几何形状和尺寸的刀尖、刀杆、刀夹等工具,并建立刀夹模型,以提高算法的效率。在对刀具轨迹进行计算之后,将实际的机构外形与尺寸加载到机床中,对其进行模拟验证。机床的建模要求仅包括必需的移动零件,整个机床的建模将导致模拟的速度较慢。

### 5.2 刀轴限界与刀轴指向定位

五轴加工机床,其两个转动轴线均有角位移限制,在加工过程中,当工件的转角超出了其所能承受的范围时,会发出超行程的警告。以图 1 中的摇篮式五轴机床为例, A 轴为仰角,转动范围不能大于  $\pm 90^\circ$ 。C 为回转角度,回转幅度不得大于  $\pm 360$  度。滚珠下端加工程序中,刀轴高度超过 90 度时,会出现刀盘与台面之间的干扰和碰撞现象。为防止这一现象发生,必须在程序接口中加入刀轴限界,将俯仰角设定为  $-90$  度 $\sim 90$  度,从而得到一条安全的刀路径。在采用双摆动机构的情况下,应着重考虑刀轴摆动机构与被加工件之间的相互干扰和碰撞。由于工具太短,工件的中心圆柱极易与工件的主轴发生冲撞,所以必须对 C 轴的摇摆进行严格的控制。在程序设计时,在刀轴的窗口中,选择方向矢量选项,选择固定方向选项,将方位角设置成 90 度,然后将其设置成 90 度。在完成了刀具路径的计算之后,将刀具路径输入到了机床的建模中,并对其进行了仿真,以保证没有干涉和碰撞的现象发生。

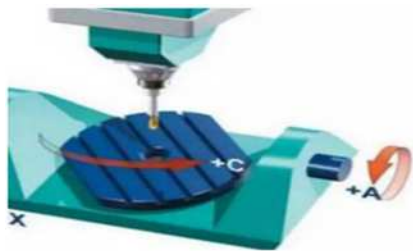


图 1 摇篮式五轴机床

### 5.3 非加工运动的安全连接

五轴加工时,由于刀路较多,因此,在加工过程中,刀具与工

件之间的接触极易产生碰撞。为防止相互干涉,可以在一个安全的空间上建立一个用户坐标系,并将该系统用作各个刀路之间的衔接过渡点。对于每一条道路,起始点与结束点都可以设定得更好。

### 5.4 机床对刀及加工监控

在加工之前,先检查机床的对刀零点设定及长度补偿参数值是否正确。也可以采用航空运输方式,或使用检查程序等方式检查。在传递加工数据之前,应先确认对刀零点与编程零点的一致性,并确认对刀的长度补偿数字与机床的长度补偿数值相符合。在进行第一次加工时,要注意观察机床旋转轴的方向以及刀尖的切入点与模拟软件中的位置是否一致,以免出现加工程序的错误。

## 6 结束语

经过对五轴数控加工干涉检查技术的深入研究,并结合具体的实施过程,认为其在实际工业生产中的应用是十分可行的。在实际工作中,采用全局干涉检测技术的五轴数控加工工艺,实现了更好的效果,可以将表面监测点转换到加工装备刀具的局部坐标系中,然后通过判断落点来进行干涉检查。如此一来,不但可以减少计算量,还可以提高五轴数控加工的工作效率。由此可以看出,五轴数控加工机床整体干涉检测技术是可行的,基于该技术的制造工艺效率更高。

## 参考文献

- [1] 大连理工大学. 一种机床旋转轴跃度最优的五轴加工连续刀具姿态光顺方法:CN202310268835.4[P]. 2023-06-02.
- [2] 巨冈精工(广东)股份有限公司. 五轴机床空间定位精度检测装置及方法:CN202211228261.X[P]. 2023-01-13.
- [3] 中国航发南方工业有限公司. 一种五轴测量粗糙度中传感器的干涉检测方法及系统:CN202210462957.2[P]. 2022-07-12.

### 作者简介:

一作:陈榕利,女,1981年12月,汉族,硕士,高级实验师,研究方向:计算机应用、高职教学管理,项目:东莞市科技特派员项目:基于MES的工件装配系统开发研究(

编号:20221800500822);东莞市科技特派员项目:五轴加工中非线性控制系统智能控制研究(编号:20221800500792);2022年省继续教育质量提升工程:《仓储与配送实务》优质继续教育网络课程(编号:JXJYGC2022GX058);2022年广东高校科研平台特色创新项目(自然科学):基于深度学习和机器视觉的自动导引搬运车(AGV)关键技术研究(编号:2022KTSCX327);东莞职业技术学院校级质量工程:《物流系统规划与设计》虚拟仿真示范课程(编号:XNFZ202201)

二作:陈晓忠,男,1980年3月,汉族,硕士,讲师,研究方向:物流管理、生产制造管理、物联网