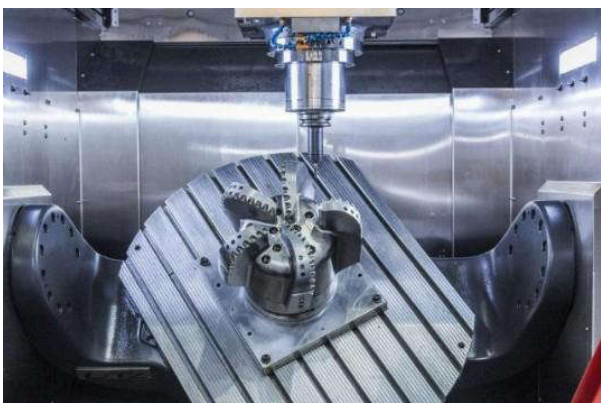


五轴加工中奇异问题分析及优化方法

杨 军 康军义 郭 龙 刘书博
陕西飞机工业有限责任公司 陕西 汉中 723213

摘 要:在五轴加工中,奇异问题是一个需要关注的重要问题。奇异问题包括动力学奇异问题和轴间干涉问题。动力学奇异问题是由于机床和刀具的动力学特性限制而导致的异常现象,它会直接影响加工质量和效率。轴间干涉问题则是不同轴的运动轨迹相互干涉或相交的现象,会导致刀具与工件之间的干涉或碰撞。

关键词:五轴加工; 奇异问题; 优化方法



五轴加工中心在模具加工中的技术分析(如图所示)

1 五轴加工技术的应用领域和发展现状

五轴加工技术是一种先进的加工方法,具有广泛的应用领域和广阔的发展前景。目前,五轴加工技术已广泛应用于以下领域:(1) 航空航天:五轴加工可用于航空航天零部件的制造,如发动机叶片、结构件等。五轴加工可以实现复杂曲面的高精度加工,提高零件的质量和性能。(2) 汽车制造:在汽车制造领域,五轴加工技术可以用于制造汽车外壳、发动机零部件等高精度和复杂形状的零件。五轴加工技术可提高零件的加工效率和质量。(3) 船舶制造:五轴加工技术可用于制造船舶的螺旋桨、船体零部件等。通过五轴加工,可以实现螺旋桨的复杂曲面修光和高精度加工,提高船舶的推进效率和操纵性能。(4) 医疗器械:五轴加工技术在医疗器械制造中有广泛的应用,用于制造人工关节、牙科种植体等高精度和复杂形状的医疗器械。五轴加工可以实现医疗器械的个性化定制和高精度加工。(5) 其他领域:五轴加工技术还可以应用于模具制造、电子设备制造和精密仪器制造等多个领域,为各行各业提供高质量、高精度的加工解决方案^[1]。随着科技和工艺的不断发展,五轴加工技术还有更大的发展潜力,将进一步推动工业制造的进步和提升。

2 奇异问题对五轴加工质量和效率的影响

奇异问题是指在五轴加工过程中出现的非正常运动状态或异常现象,对五轴加工的质量和效率会产生不利影响。首先,奇异问题会导致五轴加工的精度下降。在奇异点附近,由于机床及刀具的限制,加工精度可能受到较大影响,导致加工表面产生错误的形状或尺寸偏差。这将直接影响零件的质量和性能。其次,奇异问题会降低加工效率。在五轴加工过程中,奇异点会引起刀具路径突变或无法实现平滑的过渡,导致加工速度的降低和通道重复的加工。这样不仅增加了加工时间,还可能引入额外的机床振动和刀具磨损,进一步降低了生产效率。奇异问题还可能导致加工中出现轨迹干涉的问题。由于奇异点导致刀具或工件的位置非正常变化,可能会引起刀具与工件或夹具之间的干涉,导致加工中断或零件损坏。奇异问题会对五轴加工的质量和效率产生直接的负面影响。因此,解决和优化奇异问题是提高五轴加工质量和效率的关键措施之一。针对不同的奇异问题,需要研究并制定相应的优化方法和策略,以提高加工过程的稳定性和精度,从而有效解决奇异问题带来的负面影响。

3 五轴加工中的奇异问题分析

3.1 五轴加工中的奇异点问题

3.1.1 定义和分类奇异点

在五轴加工中,奇异点是指在刀具或工件的运动过程中出现特殊情况的点位,导致轨迹或加工过程发生异常或产生不可预测的问题。奇异点通常涉及到机床和刀具运动的限制、加工路线的转动范围以及刀具接触或干涉的情况。根据奇异点的不同特征和原因,可以将奇异点分为以下几种类型:(1) 位置奇异点:这种奇异点是由于刀具位置受到限制而发生的。例如,当刀具处于加工过程中的特定位置时,可能会超出机床或工件的运动范围,在这种情况下,机床不再能够进行正常操作。

(2) 姿态奇异点: 这种奇异点发生在加工过程中的特定姿态下。特定姿态可能导致刀具接触到工件或其他零部件, 导致干涉或无法进行正常切削。(3) 动力学奇异点: 这种奇异点是在机床和工件的动力学特性限制下发生的^[2]。例如, 当刀具或工件进行特定的加速度或位置改变时, 可能会导致机床产生振动或失去稳定性。(4) 曲线奇异点: 在五轴加工过程中, 曲面的特殊形状和轮廓可能引起奇异点的出现。当曲面轮廓在某些位置或姿态上有特殊要求时, 可能会出现奇异点, 导致加工困难或质量问题。

3.1.2 奇异点产生的原因分析

在五轴加工中, 奇异点的产生通常源于机床和刀具的运动限制、加工路线的转动范围以及刀具接触或干涉的情况。(1) 机床限制: 机床在运动时会受到一些限制, 例如工作台的工作空间限制、旋转轴的运动范围限制等。当刀具运动到机床运动范围之外或超出其设计的可行区域时, 就会产生奇异点。(2) 刀具的停滞位置: 由于五轴运动涉及更多的自由度, 刀具在运动过程中可能会停在某个特定的位置, 导致奇异点的产生。这通常是因为刀具在该位置受到机床和加工路线限制, 无法平滑或连续地进行运动。(3) 转动范围限制: 五轴加工中的转动轴受到其可转动范围的限制。当刀具需要在特定角度或姿态下进行加工时, 转动轴可能无法提供所需的范围, 导致奇异点的产生^[3]。(4) 刀具接触或干涉: 在五轴加工中, 刀具与工件或夹具之间可能会发生接触或干涉。这可能是由于刀具形状、工件特征或加工条件等因素导致的。当刀具无法自由通过或绕过接触或干涉区域时, 奇异点就会产生。

3.1.3 奇异点对加工过程的影响

奇异点在五轴加工过程中对加工质量和效率产生直接的影响。(1) 加工精度下降: 奇异点的存在会导致加工过程中的刀具路径或姿态突变, 从而影响加工精度。当刀具在奇异点附近移动时, 可能会导致加工表面形状不准确或尺寸偏差增大, 从而降低加工质量。(2) 加工效率降低: 奇异点的出现可能导致刀具路径的突变或无法实现平滑的过渡, 从而使加工效率降低。当刀具需要反复穿过奇异点附近的区域时, 加工时间增加, 加工速度下降, 从而影响了生产效率。(3) 干涉问题: 奇异点可导致刀具与工件或夹具之间的干涉。例如, 在特定姿态下, 刀具可能与工件表面或其他零部件相碰撞, 导致干涉或发生碰撞。这可能会导致加工中断、刀具磨损或零件损坏。(4) 加工稳定性下降: 奇异点的存在可能会引入不稳定因素, 例如机床振动、切削冲击等。这些因

素可能导致加工过程中的振动和载荷波动增加, 进而影响加工稳定性和工件表面质量。

3.2 其他奇异问题的分析

3.2.1 轴间干涉问题的分析和解释

除了奇异点问题外, 五轴加工中还存在轴间干涉问题, 即两个或多个轴之间的干涉现象。轴间干涉是指在加工过程中, 不同轴的运动轨迹相互干扰或相交, 导致刀具、工件或夹具之间发生碰撞或干涉的情况。轴间干涉问题的分析和解释涉及到不同轴之间的运动关系以及机床的结构特点。水平轴和垂直轴是五轴加工中两个关键的运动轴。当这两个轴的运动范围存在重叠或相交时, 可能会发生干涉问题。例如, 当垂直轴旋转到一定角度时, 可能会挡住水平轴的运动方向。五轴加工中的主轴和回转轴通常是通过联动运动实现刀具的转动和定位。如果主轴和回转轴的运动轨迹相互干涉或相交, 就会导致刀具和工件之间的干涉, 从而产生碰撞或切削问题。回转轴和旋转轴的干涉问题通常是由于它们的运动范围重叠或相交引起的。这可能是因为机床结构限制、夹具形状或加工路线的转动要求等原因导致的。

3.2.2 动力学奇异问题的分析和解释

动力学奇异问题是指五轴加工过程中由于机床和刀具的动力学特性限制而导致的异常现象。这些动力学特性包括机床的刚度、振动模态以及切削载荷等。动力学奇异问题会对加工质量和效率产生直接的影响。(1) 机床刚度限制: 机床的刚度是指机械结构在受力作用下变形的能力。当切削载荷作用于机床结构时, 如果机床刚度不足, 就会产生振动和变形, 从而影响加工精度和表面质量。(2) 振动模态限制: 机床和切削过程中会存在不同的振动模态, 而某些频率或模态可能与工件的固有频率相近。当机床或刀具的振动模态与工件的固有振动频率相匹配时, 就会引起共振现象, 导致加工精度下降、表面质量变差甚至零件破损。(3) 切削载荷限制: 切削过程中的切削载荷是指刀具对工件表面施加的力。当切削载荷超过机床或刀具的承载能力时, 可能会引起振动、刀具破损或工件表面质量变差等问题^[4]。

4 奇异问题优化方法

4.1 奇异点的检测和避免方法

在五轴加工中可以采取以下优化方法和奇异点的检测与避免方法: 通过优化刀具路径规划, 可以避免奇异点的产生。采用合理的刀具路径规划算法, 使得刀具能够平稳、连续地移动, 避免突变或不连续的运动。通过调整刀具的姿态, 避免奇异点的出现。根据工件形状和加工要求, 在刀具的转动轴上设置合适的角度范围, 确

保刀具的姿态能够满足加工要求而避免奇异点的产生。进行奇异点的预测和检测,在加工过程中及时发现并避免奇异点的出现。通过建立合适的奇异点预测模型,结合实时监测数据,并采用适当的算法进行奇异点的检测与识别,避免刀具与工件之间的干涉或运动范围的限制。通过建立机床与刀具的运动学模型,分析机床运动范围的限制和刀具轴之间的运动关系,避免运动过程中出现奇异点。根据运动学模型进行运动规划,确保刀具能够在合适的运动范围内进行加工。

4.2 轴间干涉问题的优化方法

4.2.1 干涉检测算法

为了解决轴间干涉问题,在五轴加工中可以采取以下优化方法和干涉检测算法:根据工件形状和加工要求,合理规划轴间的运动范围,避免不同轴的运动轨迹相互干涉或相交。可以通过建立机床和刀具的运动学模型,结合工件形状的特点,确定各个轴的运动范围,从而避免轴间的干涉问题。采用合适的干涉检测算法,实时监测和检测轴间干涉的情况。常见的干涉检测算法包括几何模型检测、曲线求交、点云匹配等方法。通过计算刀具路径和工件表面的几何关系,进行干涉检测和碰撞检测,及时发现轴间干涉问题,避免刀具与工件之间的冲突。夹具设计应考虑到轴间干涉问题,确保刀具和工件之间有足够的时间隙,避免干涉或碰撞。采用合适的夹具形状和夹具位置,确保刀具在加工过程中能够自由移动而不发生碰撞。

4.2.2 干涉解决方案的优化方法

为了解决轴间干涉问题,在五轴加工中可以采取以下优化方法和干涉解决方案的优化方法:(1)新型工具路径规划算法:发展一种新型的工具路径规划算法,考虑到不同轴的运动限制和工件形状,以避免轴间干涉问题的产生。该算法能够在确保良好切削性能的前提下,合理规划切削路径,避免不同轴的运动轨迹相互干涉或

相交。(2)实时干涉检测和回避:开发实时干涉检测系统,监测刀具路径和工件表面的干涉情况,并根据检测结果及时回避干涉区域。该系统可以基于刀具位置和工件表面形状进行干涉检测,并在干涉发生时自动调整刀具路径或停止加工,避免刀具与工件之间的冲突。(3)机床结构优化:针对轴间干涉问题,对机床结构进行优化。通过改进机床的刚度、降低振动、增加支撑点等方式,提高机床的稳定性和刚性,从而减小轴间干涉的可能性。(4)引入追随技术:引入追随技术,即根据刀具和工件的运动状态,自动调整刀具的姿态和位置,避免轴间干涉问题的发生。通过实时监测刀具和工件的位置,调整刀具的运动,确保它们之间的间隔和相对位置满足加工要求^[5]。

结束语

五轴加工中的奇异问题是影响加工质量和效率的重要因素。通过针对动力学奇异问题和轴间干涉问题的分析,可以采取一系列的优化方法来解决这些问题。这些优化方法和技术的应用可以提高五轴加工的加工质量和效率,帮助企业提高竞争力。

参考文献

- [1]李斌.五轴联动虚拟仿真加工系统的研究与应用[J].装备机械,2019(04):29-31+34.
- [2]曹旭妍.五轴联动加工技术研究与应用[J].轻工科技,2020,34(03):48-49.
- [3]徐任红,王昭碧.非正交五轴联动数控机床后置处理技术研究与应用[J].现代机械,2019(03):95-99.
- [4]刘江然.基于UG和VERICUT的五轴加工中心数控加工与仿真研究[J].石家庄职业技术学院学报,2022,34(02):24-31.
- [5]傅贵武,王兴波,田英.基于五轴加工中心智能生产线的数字孪生应用研究[J].工程设计学报,2021,28(04):426-432.