

# 机械加工中刀具路径规划及优化研究

周亚卓

北京华航盛世能源技术有限公司烟台分公司 山东 烟台 264000

**摘要:** 随着机械加工中心技术的发展, 刀具路径规划及优化在数控加工领域中的重要性日益凸显。合理的刀具路径规划不仅能够显著提高加工效率, 还能减少刀具磨损、延长刀具使用寿命, 并降低由于刀具插入造成的机械振动和噪音。本文旨在探讨机械加工中刀具路径规划及优化的方法和技术, 以期为工业制造提供更高效、更精密的加工服务。

**关键词:** 机械加工; 刀具路径; 规划方法; 优化策略

## 引言

机械加工中的刀具路径规划是数控加工中的关键环节, 其质量直接影响加工效率、精度和表面质量。随着制造业的飞速发展, 对加工精度和效率的要求日益提高, 刀具路径规划及优化成为研究的重点。本文将系统介绍刀具路径规划的基本原则、常见方法和技术, 以及优化策略。

### 1 机械加工中刀具路径规划的基本原则

#### 1.1 保证刀具的安全性

刀具路径的安全性是机械加工中的首要考虑因素。规划时, 必须确保刀具在移动过程中不会与加工区域以外的零件或机床结构发生碰撞, 以防止刀具、工件或机床的损坏。此外, 刀具与工件之间应保持适当的安全间隙, 特别是在刀具快速移动(如空切或换刀)时, 以避免因间隙不足而引发的意外碰撞。安全间隙的大小应根据刀具类型、工件材料和加工条件进行合理设定。

#### 1.2 保证加工效率

提高加工效率是刀具路径规划的重要目标之一。为了实现这一目标, 应优化刀具路径的选择, 使刀具能够以最短的时间完成加工任务。路径长度的优化是提高加工效率的关键, 因为较短的路径意味着更少的移动时间和更高的材料去除率。此外, 还可以通过合理设置切削参数(如切削速度、进给速度和切削深度)来进一步提高加工效率。

#### 1.3 减少刀具的摆动和振动

刀具在加工过程中的摆动和振动会对加工精度和表面质量产生不良影响, 同时还会加速刀具的磨损和降低机床的使用寿命。因此, 刀具路径规划时应尽可能降低刀具的摆动和振动。这可以通过选择稳定的切削条件、合理的刀具夹持方式和优化刀具路径来实现。例如, 避免急剧的转向和突然的加速/减速, 以及采用平滑的过渡曲线来连接不同的切削路径段, 都有助于减少刀具的摆

动和振动。

## 2 机械加工中刀具路径规划方法

### 2.1 直线插补方法

直线插补方法是刀具路径规划中最基础且广泛应用的一种技术。其核心思想是根据零件的几何形状和加工要求, 通过计算确定刀具在加工过程中应沿直线移动的路径。在应用直线插补方法时, 首先需要对零件的轮廓进行精确测量或根据设计图纸进行数字化建模。然后, 根据加工策略(如粗加工、精加工)和刀具类型(如立铣刀、球头刀), 确定刀具的切入点、切出点以及加工过程中的各个关键点。这些关键点之间的连接就构成了刀具的直线移动路径。直线插补方法的优点在于其简单直观, 易于编程和实现。对于形状简单、轮廓规则的零件, 如矩形、圆形等, 直线插补方法能够高效、准确地规划出刀具路径<sup>[1]</sup>。然而, 对于复杂形状的零件, 如曲面、不规则轮廓等, 直线插补方法可能无法直接满足加工需求。在这种情况下, 需要采用更高级的刀具路径规划方法, 如圆弧插补、曲面插补等, 以实现更精确、更高效的加工。尽管直线插补方法在应对复杂形状零件时可能存在一定的局限性, 但其在简单形状零件的加工中仍具有不可替代的优势。因此, 在实际应用中, 应根据零件的具体形状和加工要求, 合理选择刀具路径规划方法, 以确保加工质量和效率。

### 2.2 圆弧插补方法

圆弧插补方法是机械加工中刀具路径规划的一种重要技术, 特别适用于具有曲线轮廓的零件加工。与直线插补相比, 圆弧插补能够更精确地跟随零件的曲线形状, 从而提高加工效率和精度。在圆弧插补方法中, 刀具路径是由一系列圆弧段组成的。这些圆弧段根据零件的曲线轮廓进行计算和确定, 以确保刀具在加工过程中能够沿着零件的曲线形状进行切削。圆弧插补通常涉及圆心坐标、圆弧半径以及圆弧的起始角度和终止角度等

参数的设置。为了应用圆弧插补方法,首先需要将零件的曲线轮廓进行精确的分析和测量。通过获取曲线上的关键点或特征点,可以计算出圆弧段的圆心和半径。然后,根据加工策略和刀具类型,确定刀具在圆弧段上的切入点、切出点以及加工过程中的各个关键点。这些关键点之间的连接就构成了刀具的圆弧移动路径。圆弧插补方法的优势在于它能够更好地适应零件的曲线形状,减少刀具在加工过程中的摆动和振动,从而提高加工精度和表面质量。此外,圆弧插补还可以减少刀具的磨损和机床的负荷,延长刀具和机床的使用寿命。然而,圆弧插补方法的编程和计算相对复杂,需要较高的技术水平和经验。因此,在实际应用中,应根据零件的具体形状和加工要求,合理选择圆弧插补方法,并结合其他刀具路径规划技术进行综合运用,以确保加工质量和效率。同时,随着数控技术和计算机辅助编程的发展,圆弧插补方法的编程和计算也变得更加便捷和高效。

### 2.3 曲面插补方法

在机械加工领域,针对复杂曲面零件的加工,曲面插补方法成为了一种不可或缺的刀具路径规划技术。这种方法能够根据曲面的几何特性,生成精确且高效的刀具路径,从而显著提升加工效率和表面质量。曲面插补的核心在于对曲面进行精确的数学描述和分析。通常,这涉及到利用计算机辅助设计(CAD)软件来创建曲面的三维模型,并通过数值计算来确定刀具在曲面上的移动轨迹。曲面插补方法能够考虑到曲面的曲率变化、凹凸特性以及刀具与曲面的接触条件,从而生成与曲面形状紧密贴合的刀具路径。为了实现曲面插补,首先需要从CAD模型中提取曲面的几何信息,包括曲面的边界、曲率以及法向量等。然后,利用这些几何信息,结合加工策略和刀具类型,计算出刀具在曲面上的切入点、切削方向以及进给速度等关键参数。这些参数将指导数控系统控制刀具在曲面上的精确移动。曲面插补方法的优势在于它能够生成与曲面形状高度一致的刀具路径,从而减少加工过程中的误差和振动。这不仅提高了加工精度,还使得表面质量更加均匀和光滑<sup>[2]</sup>。此外,曲面插补还能够优化刀具的切削条件,减少刀具磨损和机床负荷,进一步提高加工效率。然而,曲面插补方法的编程和计算相对复杂,需要专业的知识和技能。因此,在实际应用中,通常需要借助专业的数控编程软件和工具来辅助完成曲面插补的编程和计算工作。这些软件和工具能够提供直观的用户界面和强大的计算功能,帮助工程师快速准确地生成曲面插补的刀具路径。

## 3 机械加工中刀具路径优化策略

### 3.1 优化路径长度

在机械加工中,刀具路径的长度直接关联到加工时间的长短,进而影响加工效率。为了缩短加工周期,提高生产效率,优化刀具路径长度成为了一项关键策略。优化路径长度的核心在于寻找一条从起点到终点,且满足加工要求的最短路径。这通常需要对刀具路径进行全局规划,并考虑工件形状、刀具类型、加工策略等多种因素。为了实现这一目标,可以采用一系列先进的优化算法,如遗传算法、模拟退火算法等。遗传算法是一种模拟生物进化过程的搜索算法,它通过选择、交叉和变异等操作,逐步优化刀具路径,使其逐渐逼近最优解。在机械加工中,可以将刀具路径的编码作为遗传算法的个体,通过迭代计算,不断筛选出路径长度较短的个体,最终得到最优的刀具路径。模拟退火算法则是一种基于物理退火过程的优化算法,它通过模拟物体在加热后逐渐冷却的过程中,原子逐渐趋于有序排列的过程,来寻找刀具路径的最优解。在机械加工中,可以将刀具路径的长度作为模拟退火算法的目标函数,通过不断调整路径上的节点位置,使路径长度逐渐减小,最终得到最优的刀具路径。除了遗传算法和模拟退火算法外,还可以考虑采用其他优化算法,如蚁群算法、粒子群算法等。这些算法都能够一定程度上缩短刀具路径的长度,提高加工效率<sup>[3]</sup>。然而,不同算法的应用效果和适用性可能因具体加工情况而异,因此在实际应用中需要根据实际情况进行选择。

### 3.2 平滑路径

在机械加工过程中,刀具路径的平滑性对于减少机床振动、降低噪音以及提高加工精度和表面质量具有重要意义。为了实现平滑的刀具路径,可以采用数学优化方法,如贝塞尔曲线和样条曲线等。贝塞尔曲线是一种基于控制点的曲线拟合方法,它能够生成平滑且连续的曲线。在机械加工中,可以将刀具路径的关键点作为贝塞尔曲线的控制点,通过调整控制点的位置和数量,来优化刀具路径的平滑性。贝塞尔曲线的优点在于其计算简单、易于实现,且能够生成高质量的平滑路径。样条曲线则是另一种常用的曲线拟合方法,它通过分段拟合的方式,将刀具路径划分为多个小段,并对每一段进行平滑处理。样条曲线的优点在于其能够适应复杂的零件形状,且每一段的平滑性都可以得到保证。在机械加工中,可以根据零件的形状和加工要求,选择合适的样条曲线类型,如B样条、NURBS样条等,来优化刀具路径的平滑性。除了贝塞尔曲线和样条曲线外,还可以考虑采用其他数学优化方法,如最小二乘法、遗传算法等,

来进一步平滑刀具路径。这些方法能够根据不同的优化目标和约束条件,生成满足要求的平滑路径。在实际应用中,需要根据零件的形状、加工要求以及机床的性能等因素,综合考虑选择哪种数学优化方法。同时,还应注意平滑路径与加工效率之间的平衡,以确保在满足平滑性的同时,不会过分降低加工效率。通过合理的刀具路径规划和平滑处理,可以显著提高机械加工的质量和效率。

### 3.3 避免重复工作

在机械加工的刀具路径规划中,避免刀具重复工作是一项至关重要的策略。重复工作不仅会导致机床和刀具的不必要磨损,增加加工成本,还会因为多次切削同一区域而引入额外的加工误差,影响零件的最终精度和表面质量。为了避免重复工作,首先需要在进行刀具路径规划时,对零件的加工区域进行详细的分析和划分。通过识别出需要加工的特征和区域,以及确定合理的加工顺序,可以确保刀具在加工过程中不会重复访问同一区域。其次,采用先进的数控编程技术和工具,如CAD/CAM软件,可以帮助工程师更加精确地规划刀具路径。这些软件通常提供了丰富的刀具路径规划策略和优化算法,能够自动避免重复工作,并生成高效、精确的刀具路径。此外,还可以利用数控系统的仿真功能,对规划好的刀具路径进行模拟和验证。通过仿真,可以直观地观察到刀具在加工过程中的移动轨迹,从而及时发现并修正可能存在的重复工作问题<sup>[4]</sup>。最后,对于复杂零件的加工,可能需要采用多道工序和多把刀具来完成。在这种情况下,更需要精心规划每一道工序的刀具路径,确保各道工序之间不会产生重复工作。同时,还需要合理安排工序之间的顺序和衔接,以提高整体加工效率和质量。

## 4 机械加工中刀具路径规划技术的发展趋势

### 4.1 多目标优化

随着机械加工领域对效率和质量的双重追求,多目标优化算法在刀具路径规划中的应用日益凸显。这类算法能够综合考虑加工时间、表面质量、切割力以及刀具磨损等多个因素,寻求最优解或折衷解,以满足复杂加工任务的

综合需求。未来,多目标优化算法将与更多的实际加工场景相结合,推动刀具路径规划技术的不断进步。

### 4.2 智能化

智能化是刀具路径规划技术的又一重要发展趋势。通过将优化算法与机器学习和深度学习技术相结合,可以实现刀具路径规划的自动化和智能化。机器能够自动学习并改进路径规划算法,根据不同的工件形状、材料和加工要求,生成最优的刀具路径。这将大大提高机械加工的效率和灵活性。

### 4.3 实时优化

实时优化技术也是刀具路径规划领域的一个重要发展方向。通过在线监测和反馈信息,刀具路径可以在加工过程中进行实时调整和优化。这种技术能够应对工件形状和刀具性能的实时变化,确保加工效果和质量始终保持在最佳状态。未来,随着传感器和控制系统技术的不断发展,实时优化技术将在机械加工领域得到更广泛的应用。

## 结语

机械加工中的刀具路径规划及优化对提高加工效率和精度具有重要意义。合理的刀具路径规划可以减少刀具磨损、延长刀具使用寿命,并降低机床振动和噪音。随着科技的不断进步,刀具路径规划及优化的方法和技术也将不断改进和完善,为工业制造提供更高效、更精密的加工服务。

## 参考文献

- [1]何江.数控铣削加工中刀具路径规划的优化策略[J].现代制造技术与装备,2024,60(02):212-214.
- [2]王霄琳.基于蚁群算法的刀具路径自动规划方法研究[J].设备管理与维修,2024,(12):55-57.
- [3]尹瑞雪,李付春.成本约束下数控铣削刀具路径与参数低碳化研究[J].机械设计与制造,2022,(11):117-121+125.
- [4]王振宇,张荣闯,于天彪.圆柱直齿轮铣削加工无干涉刀具路径规划[J].东北大学学报(自然科学版),2022,43(07):988-995.