

# 阶梯轴类零件数控车削工艺规划与误差分析

于浩淼 苗建霞

河北科技学院, 河北唐山, 063200;

**摘要:** 阶梯轴类零件是机械制造业应用最广泛的基础零件, 由若干段不同直径的圆柱面构成, 用于机床、汽车、工程机械等设备的传动系统, 而数控车削是阶梯轴类零件高效、准确加工的关键手段。阶梯轴类零件的加工精度直接影响到设备的传动性能和使用寿命, 在数控车削过程中, 工艺规划的合理性和误差控制的有效性是决定加工质量的重要条件。本文对阶梯轴类零件数控车削工艺规划及误差分析进行研究, 摒弃理论推导, 从实际车削生产中工艺设计、参数优化和误差控制实际出发, 明确阶梯轴类零件的基本结构和加工需求, 做好数控车削工艺规划, 分析数控车削过程中的主要误差类型、产生原因以及相应的误差控制措施, 研究表明合理的工艺规划可以提高加工速度和精度, 准确识别车削误差并控制不同车削误差, 有利于阶梯轴类零件的尺寸精度、形位精度与设计要求相吻合, 为阶梯轴类零件数控车削生产提供实践依据。

**关键词:** 阶梯轴类零件; 数控车削; 工艺规划; 误差分析; 加工精度

**DOI:** 10.69979/3029-2727.26.05.066

## 1 阶梯轴类零件车削基础与加工要求

### 1.1 结构特性与车削特点

阶梯轴类零件主要包含多段直径不同, 同轴度要求高的圆柱面, 也有部分零件包含螺纹、沟槽、倒角等辅助特征, 因此结构规整但精度较高, 对数控车削有一定要求。阶梯轴类零件的各段圆柱面需同轴度较高, 否则影响后续装配和传动, 数控车削时需通过定位、装夹, 保证各加工面的同轴度。车削时, 直径改变刀具需要调整切削参数, 阶梯过渡处容易产生切削力波动, 加工误差较大, 特别是大直径与小直径的衔接处容易出现台阶跳动、尺寸偏差等问题。阶梯轴类零件大多为轴类传动零件, 表面要求较高, 需要通过优化切削参数和刀具来减少表面划痕和毛刺, 保证传动过程的顺畅性。此外, 阶梯轴类零件加工批量大, 数控车削工艺需同时兼顾精度和效率, 否则容易出现工艺过多, 加工效率下降, 增加生产成本。

### 1.2 核心加工质量要求

阶梯轴类零件数控车削加工质量的要求主要包括尺寸精度、形位精度和表面质量, 适用于实际传动使用, 保证零件装配运行正常。尺寸精度要求各段圆柱面的直径误差、长度误差等均在设计范围之内, 其中关键段的直径需要在 IT7-It8 级, 否则不能与轴承、齿轮等部件配合, 形位精度主要包括同轴度、圆度和直线度, 每段圆柱面的同轴度误差为微米, 圆度误差要符合设计要求,

不能出现轴类零件在旋转时产生偏心、振动等问题, 直线度误差要求轴整体平直无弯曲变形; 表面质量车削表面无划痕、无毛刺, 表面粗糙度应控制在合理范围内, 减少传动过程中摩擦损耗, 提高零件的耐磨性与使用寿命。阶梯轴类零件与普通轴类零件的形位精度要求相比, 通过合理的工艺布局与误差控制保证各加工特征的精度相匹配。

### 1.3 车削约束条件

阶梯轴类零件数控车削工艺规划与误差控制需要有一定的约束条件, 方案应根据实际需求进行制定, 不能脱离设备、材料和成本。数控车削设备的选择必须使用高精度数控车床, 主轴回转精度、导轨导向精度及进给精度满足加工要求, 不能因为设备的设置而导致加工误差。材料应该根据零件使用的场景选用相应的钢材或合金材料经过调质、退火等工艺处理, 消除材料内部残余应力, 提高材料的加工性能, 减少车削过程变形及加工硬化。车削切削温度和切削力, 不能使用过高的切削温度导致材料发生热变形, 不能因为加工过程中切削力过大造成零件弯曲及尺寸偏差。工艺规划控制成本和效率, 要选用性能优越的刀具及切削液, 优化加工工序, 避免无效加工, 保证批量生产的精度与效率, 控制生产成本, 同时规范操作过程, 减少人为操作误差。

## 2 阶梯轴类零件数控车削工艺规划

### 2.1 加工工序规划

阶梯轴类零件数控车削工序规划时要按照“由粗到精、由远及近”的原则，根据零件的结构特点和精度要求合理划分工序，以保证加工过程有序高效，减少误差累积。毛坯处理工序一是毛坯预处理，对毛坯进行车削找平、钻中心孔等，保证毛坯的定位准确，中心孔的精度对后续各段圆柱面的同轴度有着至关重要的影响，要严格控制中心孔的尺寸和圆度。粗加工部分主要是将毛坯余量去除，尽快的将各段圆柱面成型，尽量先加工直径较大的圆柱段，然后再加工直径较小的圆柱段，以防止小直径段受力过大造成弯曲变形，同时要预留精加工余量，余量要均匀，以防精加工时余量不均匀而导致误差累积；半精加工部分修正粗加工误差，详细的雕刻各段圆柱面轮廓，加工螺纹、沟槽等特征，释放部分切削应力，准备精加工。精加工部分控制各段圆柱面尺寸、形位精度和表面质量，采用小切削用量，保证加工精度，然后倒角，去毛刺，最后进行零件的加工。

## 2.2 刀具与切削参数优化

刀具选用和切削参数是阶梯轴类零件数控车削工艺设计的关键步骤，直接关系到加工精度、效率以及刀具寿命，根据加工材料与零件精度选择刀具，车削外圆采用硬质合金车刀，硬度大、耐磨，降低刀具磨损，提升精度；刀尖圆弧半径根据零件表面粗糙度选择，避免圆弧过大造成表面划痕。加工螺纹、沟槽采用专用刀具，螺纹螺距、沟槽尺寸达标，刀具几何参数与加工特征相适应，降低切削力波动。切削参数采用刀具性能和加工材料相结合，切削速度根据材料硬度调整，切削速度过高导致切削热量集中，造成刀具磨损与零件热变形加重，切削速度过低降低加工效率。进给量采用均匀进给方式，控制进给量大小，避免进给量过大造成表面粗糙度超标，进给量过小增加加工时间；切削深度分层切削，粗加工加深切削深度，快速去除余量，精加工采用小切削深度，控制尺寸，减少变形。

## 2.3 装夹方式与定位基准选择

装夹方式和定位基准的选择会直接影响阶梯轴类零件的同轴度和加工精度，应根据零件的结构选择精确稳定的装夹方式和定位基准。装夹基准一般采用零件的轴线作为装夹基准，采用两顶尖的装夹方式，可保证零件的同轴度，避免由于装夹偏差而造成各段圆柱不同轴。长度较大的阶梯轴，可采用一夹一顶的装夹方式，一端用三爪卡盘夹紧，另一端用顶尖支撑，一方面确保装夹

准确，另一方面减少零件的弯曲变形，在装夹的过程中要注意卡盘的夹紧力度不能过大过小以免造成零件变形。装夹前必须先将定位基准清理干净，去除表面杂质和毛刺，保证定位准确，装夹完毕后用百分表检查零件的同轴度和跳动量，随时调整装夹位置，避免装夹误差影响到加工过程中。定位基准与加工基准要一致，保证各加工工序的定位一致，避免加工工序间的误差累积，提高整体加工精度。

## 3 阶梯轴类零件数控车削误差类型与产生机理

### 3.1 主要车削误差类型

阶梯轴零件数控车削误差有尺寸误差、形位误差与表面误差。不同种类的误差影响着零件的加工质量。其中，尺寸误差是最常见的误差，表现为各段圆柱面直径、长度的偏差、螺纹螺距偏差、沟槽尺寸偏差，这些误差直接影响着零件装配的适配性，导致零件不能正常装配。形位误差包括：同轴度误差、圆度误差与直线度误差。同轴度误差会导致零件在旋转过程中出现偏心、振动等情况，降低传动的稳定性；圆度误差会导致圆柱面不平整，增大了与配合件的摩擦；直线度误差会导致轴弯曲，影响装配精度。表面误差主要表现为表面粗糙度超标、表面划痕、毛刺等。这些误差会导致传动过程中的摩擦损耗增大，降低零件的耐磨性与使用寿命，严重时会导致零件失效。

### 3.2 误差产生机理分析

阶梯轴类零件数控车削误差产生的原因与设备、刀具、工艺、操作等因素相关，应分析影响的路径，有利于对误差进行控制。机床方面，机床主轴回转不正常导致刀具旋转轨迹偏移产生圆度误差；导轨导向不正常导致进给轨迹偏移产生尺寸误差、直线度误差；机床刚度不足引起加工振动产生误差；刀具方面，刀具磨损引起切削刃轮廓变化产生尺寸误差、表面误差；刀具几何参数不正确导致切削力波动产生零件变形产生形位误差；刀具安装不正确导致切削轨迹偏移。工艺方面，切削参数不正确，切削力、切削热量不正常，导致零件热变形、加工硬化，产生尺寸误差和形位误差；装夹不正确，引起装夹应力过大，导致零件弯曲变形；工序衔接不正确导致误差积累导致加工精度降低。操作方面，操作不正确引起装夹误差、程序输入错误导致加工误差。

### 3.3 关键误差影响因素识别

影响阶梯轴类零件数控车削误差的因素主要分为

设备、刀具、工艺, 各类因素对误差的影响程度不同, 需要重点分析其中的核心因素。设备因素主轴回转精度、导轨导向精度为主要影响因素, 主轴回转精度低会直接产生圆度误差和同轴度误差, 导轨导向精度低会直接产生尺寸误差和直线度误差, 两者直接影响零件核心精度。刀具因素主要为刀具磨损速度和安装精度, 刀具磨损越快, 误差就越大, 特别是在精加工阶段, 刀具磨损会导致尺寸误差、表面质量差、刀具安装不正确会引起切削轨迹偏移产生形位误差; 工艺因素主要为切削参数、装夹方式、程序编制, 切削参数错误会造成切削力、切削热量异常, 导致变形误差; 装夹力过大, 装夹位置不正确会导致零件弯曲, 产生同轴度误差和直线度误差; 程序编制错误直接导致加工误差。

## 4 阶梯轴类零件数控车削误差控制措施

### 4.1 设备精度控制

设备精度控制是减小车削误差的前提, 要定期维护和校准数控车床。定期检查机床主轴的回转精度, 通过仪器检查主轴是否在径向上还是在轴向上, 更换轴承, 保持主轴回转平稳, 减少圆度误差和同轴度误差。定期校准机床导轨的导向精度, 检查导轨是否在平行线与直线线之间, 及时调整导轨间隙, 添加润滑油, 减少导轨的磨损, 避免导轨的导向误差, 减小进给轨迹偏差。定期检查机床的进给系统、控制系统, 保证进给速度均匀、准确定位, 避免进给误差和程序误差的产生; 保证机床刚度, 避免加工过程的振动, 避免振动, 加大误差。保持加工环境的稳定, 避免温度波动导致机床的热变形影响设备精度。

### 4.2 刀具与工艺优化控制

刀具和工艺可以减小车削误差, 刀具和工艺优化也会减小误差。检查刀具磨损情况, 更换磨损严重的刀具, 消除由于磨损而造成的尺寸误差和表面误差; 检查刀具几何参数, 减少刀具几何误差; 检查刀具安装位置, 安装刀具不偏离, 采用刀具补偿修正刀具误差。调整切削参数, 依据加工材料、零件精度要求, 合理的设置切削速度、进给量、切削深度, 减少切削力和切削热量的变化, 减小零件热变形和加工硬化; 分层切削、均匀进给, 减少切削力的变化, 避免零件变形; 检查装夹方式, 依据零件的长度和零件结构, 选取装夹方式, 控制装夹力, 防止装夹应力过大引起零件变形; 检查装夹定位基准, 避免装夹定位不准确, 减少装夹误差。

### 4.3 操作与检测控制

操作与检测控制能发现误差、降低人为误差, 保证加工精度。规范操作人员的操作流程, 加强操作人员的技能培训, 使操作人员熟练操作数控车床, 正确输入程序、装夹位置与切削参数, 避免人为误差。形成“工序间检测+加工后检测”的两套检测方案, 工序间检测主要检测粗、半精加工后的尺寸与形位精度, 及时检测误差和加工参数和装夹位置, 不使后续加工误差增加; 加工后检测全面检查零件尺寸、形位精度与表面质量, 采用卡尺、百分表、圆度仪等检测仪器, 准确地测量各参数, 判断零件是否满足设计要求。找出检测出的误差, 分析产生误差的原因, 对对应的修正措施, 保证零件精度、减少废品率。

## 5 结论

阶梯轴类零件数控车削工艺规划与误差分析阶梯轴类零件为了提高加工质量、满足机械传动要求, 合理规划利用加工刀具及切削参数、装夹方式及定位基准、数控程序编制进行合理、正确的数控车削工艺规划与误差分析。阶梯轴类零件数控车削工艺规划与误差分析确定阶梯轴类零件结构、车削及加工要求, 完成阶梯轴类零件数控车削工艺规划、加工刀具及切削参数、装夹方式及定位基准及数控程序编制、找出尺寸误差、形位误差、表面误差三类误差, 找出设备、刀具及工艺因素, 提出设备精度控制、刀具及工艺优化控制、操作及检测控制等误差控制措施。实际生产表明数控车削工艺规划合理、误差控制措施有效, 能有效提高阶梯轴类零件加工精度及加工速度, 零件各要素尺寸、形位、表面质量满足设计要求, 零件废品率低、生产成本低, 适合数控车削实际生产, 易于操作、实用性强, 不改造设备可快速生产阶梯轴类零件, 阶梯轴类零件数控车削工艺规划与误差控制满足机械制造基础轴类零件加工质量要求。

### 参考文献

- [1] 张几峰. 数控加工技术在薄壁件加工中的应用与优化[J]. 模具制造, 2026, 26(03): 198-200.
- [2] 曹著明, 林镇北, 董焕波, 等. 基于NX的数控车削加工关键技术研究[J]. 煤矿机械, 2026, 47(03): 101-105.
- [3] 李雅昔, 陈其. 数控车削外曲面最大刀尖角的计算研究[J]. 航空精密制造技术, 2026, 62(01): 24-28.