

# 不同半径螺杆一体式车削装置的夹持稳定性及加工精度调控研究

张 旭

温州聚恩辈实业有限公司 浙江 温州 325000

**【摘 要】**：为解决不同半径螺杆在一体式车削加工中夹持不稳、精度易偏差的问题，本文围绕螺杆一体式车削装置的夹持稳定性及加工精度调控展开研究。结合一体式车削的工艺特性，分析影响不同半径螺杆夹持稳定性的核心因素，探讨夹持状态与加工精度之间的内在关联，提出针对性的精度调控思路与优化方向。研究表明，夹持机构的适配性、受力均衡性及装夹定位准确性是决定不同半径螺杆夹持稳定性的关键，通过合理调控夹持力分布、优化定位方式可有效提升加工精度。本文研究为不同半径螺杆一体式车削加工的稳定性控制与精度优化提供理论参考，对推动一体式车削技术在螺杆加工领域的应用具有实践意义。

**【关键词】**：不同半径螺杆；一体式车削装置；夹持稳定性；加工精度；精度调控

DOI:10.12417/3083-5526.26.01.061

## 1 引言

螺杆作为机械传动、流体输送等领域的核心零部件，其加工精度直接影响设备的运行效率与使用寿命。随着工业生产对螺杆性能要求的不断提高，不同半径螺杆的应用场景日益广泛，对其加工质量的管控也提出了更高标准。一体式车削装置凭借集成化程度高、加工连续性强等优势，逐渐成为螺杆加工的主流设备，但在处理不同半径螺杆时，受工件结构差异、夹持适配性不足等因素影响，易出现夹持松动、受力不均等问题，进而导致加工精度下降，甚至引发工件报废、设备故障等风险。当前，针对螺杆车削加工的研究多集中于单一规格工件或通用加工工艺，对不同半径螺杆在一体式车削装置上的夹持稳定性及精度调控的针对性研究较为匮乏。基于此，本文聚焦不同半径螺杆一体式车削的核心痛点，分析夹持稳定性的影响因素，探索加工精度的调控路径，为提升多规格螺杆一体式车削加工质量提供支撑，满足工业生产对高精度螺杆加工的需求。

## 2 不同半径螺杆一体式车削装置的结构及加工特性

### 2.1 一体式车削装置的核心结构

一体式车削装置是集夹持、车削、进给等功能于一体的集成化加工设备，其结构设计直接决定加工效率与工件质量。核心结构主要包括夹持机构、车削机构、进给机构及控制系统四大模块，各模块协同运作实现螺杆的连续加工。夹持机构作为承载工件的核心部件，承担着定位与固定螺杆的功能，其结构形式通常根据工件规格适配设计，常见的有三爪卡盘、四爪卡盘及专用夹具等，不同夹持结构的适配性、夹紧力调节范围存在差异，对不同半径螺杆的夹持效果影响显著。车削机构负责实现螺杆外圆、螺纹等结构的切削加工，通过刀具与工件的相对运动完成成型加工，其运动精度与稳定性直接关联最终加工质量。进给机构用于控制刀具与工件的进给量，实现加工过程的精准控制，而控制系统则统筹各模块的运行节奏，确保加工过程的协调性与连贯性。

与传统分体式加工设备相比，一体式车削装置通过结构集

成减少了工件装夹次数，避免了多次装夹带来的定位误差，同时缩短了加工流程，提升了生产效率。但受结构集成化的限制，夹持机构的调节灵活性相对有限，在处理不同半径螺杆时，需通过调整夹持参数适配工件规格，若参数调节不当，易导致夹持稳定性不足，影响加工精度。相关结构布图，见图1。

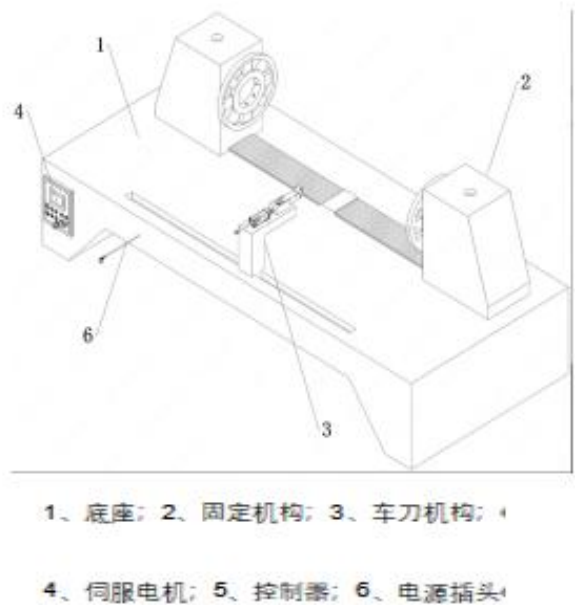


图1 一体式车削加工装置结构图

### 2.2 不同半径螺杆的加工特性

不同半径螺杆的结构差异主要体现在外径尺寸、径向截面形态及长度比例等方面，这些差异导致其在一体式车削加工中呈现出独特的加工特性。从受力角度来看，半径较小的螺杆刚性较弱，在夹持力作用下易发生弹性变形，若夹持力过大，会导致工件产生永久变形，影响加工精度；若夹持力过小，则无法保证加工过程中的稳定性，易出现工件偏移、振动等问题。而半径较大的螺杆刚性较强，对夹持力的要求更高，需保证足够的夹持力以抵抗切削力的影响，但同时需避免夹持力分布不均导致的局部应力集中，进而引发工件表面损伤。

从加工连续性来看,不同半径螺杆的径向尺寸变化会导致切削力发生波动,进而影响夹持机构的受力状态,若夹持机构无法适应切削力的波动,会导致夹持稳定性下降,出现工件跳动等问题,影响螺纹精度、圆柱度等关键指标。此外,不同半径螺杆的长度与半径比例差异较大,长径比较大的螺杆在加工过程中易出现挠曲变形,进一步加剧夹持不稳定的问题,对一体式车削装置的夹持性能与精度调控能力提出了更高要求。

### 3 不同半径螺杆一体式车削装置夹持稳定性的影响因素

#### 3.1 夹持机构的适配性

夹持机构的适配性是影响不同半径螺杆夹持稳定性的首要因素,主要体现在夹持范围、夹持方式与工件规格的匹配程度上。一体式车削装置的夹持机构通常有固定的调节范围,若螺杆半径超出该范围,会导致夹持不牢固,出现松动现象;若螺杆半径接近调节范围的临界值,夹持机构的受力点分布不合理,易导致工件定位偏差。例如,三爪卡盘通过同步调节三个卡爪实现夹持,适用于圆形截面的螺杆,但在夹持半径差异较大的螺杆时,卡爪与工件表面的接触面积会发生变化,接触面积过小会导致局部压力过大,引发工件变形,同时降低夹持稳定性。

专用夹具虽能提升特定规格螺杆的夹持适配性,但针对不同半径螺杆的通用性较差,频繁更换夹具会增加加工成本与辅助时间,违背一体式车削装置集成化、高效化的优势。此外,夹持机构的磨损程度也会影响适配性,长期使用后,卡爪等接触部件会出现磨损,导致与工件表面的贴合度下降,夹持精度降低,尤其对半径较小的螺杆,磨损带来的影响更为显著,易引发夹持不稳定问题。

#### 3.2 夹持力的分布与调控

夹持力的分布均匀性与大小调控直接决定不同半径螺杆的夹持稳定性。在一体式车削加工中,夹持力需平衡切削力带来的影响,同时避免工件产生变形。对于不同半径的螺杆,其承受夹持力的能力存在差异,半径较小的螺杆需控制夹持力的大小,避免超过其刚性极限,而半径较大的螺杆则需保证夹持力足够,同时确保力的均匀分布,防止局部应力集中。

夹持力分布不均导致夹持不稳定的重要原因,若夹持机构的卡爪受力不一致,会导致螺杆产生偏心定位,加工过程中出现工件跳动,影响加工精度。此外,夹持力的动态变化也会影响稳定性,加工过程中切削力的波动会反作用于夹持机构,若夹持力调控机制无法及时响应这种变化,会导致夹持力与切削力失衡,出现工件松动现象。目前,部分一体式车削装置的夹持力调控多为手动调节或固定参数调控,无法根据不同半径螺杆的特性及加工过程中的动态变化进行自适应调节,难以保证全程夹持稳定性。

#### 3.3 装夹定位的准确性

装夹定位的准确性直接影响螺杆的加工基准,进而关联夹持稳定性与加工精度。不同半径螺杆的定位基准通常为轴心线,若装夹过程中轴心线定位偏差,会导致加工过程中工件偏心,不仅影响夹持稳定性,还会导致加工后的螺杆出现圆度误差、螺纹累计误差等问题。

装夹定位的准确性受多种因素影响,首先是定位基准的选择,若选择的基准面存在磨损、划痕等缺陷,会导致定位偏差;其次是夹持机构的定位精度,包括卡爪的同心度、导轨的平行度等,这些精度指标直接决定工件定位的准确性;此外,装夹过程中的操作规范性也会影响定位效果,例如装夹时工件放置的位置、卡爪的锁紧顺序等,不规范的操作易导致工件定位偏移,降低夹持稳定性。对于不同半径的螺杆,定位基准的敏感度不同,半径较小的螺杆对定位偏差的容忍度更低,轻微的定位偏差就会对加工精度产生显著影响。

#### 3.4 工件与加工环境因素

螺杆自身的结构特性与加工环境也会对夹持稳定性产生间接影响。不同半径螺杆的刚性差异较大,刚性较弱的螺杆在加工过程中易受切削力、夹持力作用发生变形,进而破坏夹持状态的稳定性;而螺杆的材质特性也会影响夹持效果,硬度较低的材质在夹持力作用下易出现表面压痕,导致夹持面贴合度下降,影响稳定性。

加工环境方面,温度变化会导致工件与夹持机构发生热胀冷缩,改变两者的配合间隙,进而影响夹持稳定性,尤其在精密车削加工中,温度变化带来的影响更为显著;此外,加工过程中产生的切屑若堆积在夹持部位,会影响卡爪与工件的贴合,导致夹持力分布不均,破坏夹持稳定性。同时,加工环境中的振动也会传递至夹持机构,导致工件出现微小振动,影响夹持状态的稳定性,对不同半径螺杆的加工精度均会产生不利影响。

### 4 不同半径螺杆加工精度的调控路径

#### 4.1 优化夹持机构设计,提升适配性

针对不同半径螺杆的规格差异,优化夹持机构设计是提升适配性与夹持稳定性的核心路径。首先,采用可调节式夹持结构,扩大夹持机构的适配范围,通过更换卡爪垫片、调节卡爪行程等方式,适配不同半径的螺杆,同时保证卡爪与工件表面的贴合度,增加接触面积,减少局部压力集中。例如,在三爪卡盘基础上设计可更换式软质卡爪,针对不同半径螺杆更换对应弧度的卡爪,提升夹持贴合度,同时避免工件表面损伤。

其次,提升夹持机构的结构精度,优化卡爪的同心度、导轨的导向精度,减少机构自身的误差对夹持定位的影响。对于半径差异较大的螺杆,可设计模块化夹持机构,通过更换不同模块适配工件规格,兼顾通用性与适配性,避免频繁更换夹具

带来的效率损失。此外,加强夹持机构接触部件的耐磨性设计,采用高强度、高耐磨性材料制作卡爪,定期进行维护与校准,保证夹持机构长期稳定的适配性能。

#### 4.2 实现夹持力的精准调控与均衡分布

夹持力的精准调控是保证不同半径螺杆夹持稳定性与加工精度的关键。建立基于螺杆半径与材质特性的夹持力调控模型,根据不同半径螺杆的刚性、材质等参数,确定合理的夹持力范围,避免夹持力过大或过小导致的问题。采用自适应夹持力调控系统,通过传感器实时监测加工过程中的夹持力、切削力变化,动态调节夹持力大小与分布,确保夹持力与切削力的动态平衡,维持夹持状态的稳定性。

为实现夹持力的均衡分布,可优化夹持机构的受力结构,采用多爪同步调节机制,保证各卡爪的受力一致性;对于不规则截面或半径变化较大的螺杆,可采用柔性夹持技术,通过弹性元件缓冲夹持力,实现夹持力的均匀传递,减少工件变形。同时,在装夹过程中采用分步锁紧方式,逐步调节夹持力,避免瞬间锁紧导致的受力不均,提升夹持稳定性。

#### 4.3 强化装夹定位精度控制

提升装夹定位精度需从基准选择、机构精度校准与操作规范三个方面入手。首先,合理选择定位基准,优先选择精度高、表面质量良好的端面或外圆作为定位基准,避免使用存在缺陷的基准面,同时采用基准统一原则,减少定位误差的累积。对于半径较小的螺杆,可采用辅助定位装置,增加定位支撑点,提升定位稳定性与准确性。

其次,定期对夹持机构进行精度校准,包括卡爪同心度、导轨平行度等指标的检测与调整,及时修正机构磨损带来的误差,保证定位精度。同时,优化装夹操作流程,制定标准化的装夹规范,明确工件放置位置、卡爪锁紧顺序与力度等操作要点,避免人为操作失误导致的定位偏差。此外,可采用定位误差检测技术,在装夹完成后对工件的定位精度进行检测,及时发现并修正定位偏差,为加工精度提供保障。

#### 4.4 优化加工工艺与环境管控

结合不同半径螺杆的加工特性,优化加工工艺参数,减少

切削力波动对夹持稳定性与加工精度的影响。根据螺杆半径、材质等参数,合理选择切削速度、进给量与切削深度,避免切削力过大导致的工件变形与夹持松动;对于半径较小、刚性较弱的螺杆,采用分层切削工艺,逐步去除余量,减少单次切削力对工件的影响,维持夹持状态的稳定性。

加强加工环境管控,控制环境温度波动范围,采用恒温加工环境,减少热胀冷缩对工件与夹持机构配合间隙的影响;设置有效的切屑收集装置,及时清理加工过程中产生的切屑,避免切屑堆积影响夹持效果;采取减振措施,对设备底座、导轨等部位进行减振处理,减少环境振动与设备运行振动对夹持稳定性的影响。

### 5 结论

本文围绕不同半径螺杆一体式车削装置的夹持稳定性及加工精度调控展开研究,分析了夹持机构适配性、夹持力分布与调控、装夹定位准确性及工件与加工环境等因素对夹持稳定性的影响,提出了对应的加工精度调控路径,得出以下结论:夹持机构的适配性与夹持力的均衡分布是保证不同半径螺杆夹持稳定性的核心,装夹定位准确性直接决定加工基准精度,而加工工艺与环境因素则通过间接作用影响夹持状态与加工精度,各因素相互关联、相互影响,共同决定螺杆的加工质量。

通过优化夹持机构设计提升适配性、实现夹持力精准调控与均衡分布、强化装夹定位精度控制及优化加工工艺与环境管控,可有效提升不同半径螺杆一体式车削加工的夹持稳定性,进而实现加工精度的精准调控。本文提出的调控思路与优化方向,为解决不同半径螺杆一体式车削加工中的稳定性与精度问题提供了理论支撑,对提升多规格螺杆加工质量、推动一体式车削技术的应用与发展具有实践价值。

后续研究可结合智能化技术,开发基于机器视觉与传感器融合的自适应夹持控制系统,实现不同半径螺杆夹持参数的自动匹配与动态调控;同时,可进一步探索新型夹持材料与结构,提升夹持机构的适配性与稳定性,为高精度螺杆加工提供更全面的技术保障。

#### 参考文献:

- [1] 于海强. 多轴伺服车削装置研制及三维椭圆调制切削单晶硅性能研究[D]. 山东:山东理工大学,2024.
- [2] 刘淳,单国庆,晋建有,等. 左右旋径向螺孔车削装置的设计应用[J]. 轨道交通装备与技术,2021(4):44-46.
- [3] 周晓华,寇娟利,刘沛,等. 高精度薄壁轴套类零件车削装置的设计[J]. 工具技术,2014(3):78-79.
- [4] 赵俊贤,张家广,王柏顺. 滑移螺杆连接的 BRB-RC 框架节点抗震性能试验研究[J]. 东南大学学报(自然科学版),2025,55(1):98-108.