

# 汽车转向节加工专用机床夹具设计与研究

罗俊杰 周思宇

河北科技学院, 河北唐山, 063200;

**摘要:** 汽车转向节是底盘转向系统重要的受力部件, 且加工精度要求高, 通用夹具难以兼顾定位精度、装夹效率和加工稳定性, 易出现尺寸偏差、形位公差超差等现象。本文以汽车转向节批量精密加工为目标, 开展专用机床夹具设计, 通过对零件的工艺特点分析, 定位夹紧方案、夹具结构和夹具精度的分析以及精度的计算, 设计出适合转向节主销孔、轴颈等部位加工的专用夹具。设计过程中按照基准重合、刚性匹配、操作简便的原则, 解决复杂异形件定位难、夹紧变形大、切削振动明显等技术问题, 兼顾批量生产的经济性和实用性。通过理论分析与参数验算, 提高定位精度, 减少装夹时间, 保证转向节加工的一致性, 满足汽车零部件规模化、高精度加工生产的要求, 为同类异形复杂铸件夹具设计提供借鉴。

**关键词:** 汽车转向节; 专用夹具; 定位夹紧; 加工精度

**DOI:** 10.69979/3060-8767.26.05.016

## 引言

汽车产业的快速发展要求底盘零部件的加工精度和生产效率逐渐提升, 转向节是连接车轮、转向机构和悬架的主要零件, 直接影响着车辆的操控性能、安全性和舒适性, 大多为高强度铸钢或球墨铸铁制成的, 不规则叉形结构, 同时具有轴颈、孔系、法兰面等各种加工形状, 关键部位尺寸公差、形位公差较高, 加工工序多、切削负荷大, 对工装夹具的性能有着较高要求。在传统加工中大多采用通用卡盘、压板等夹具进行装夹, 需要反复找正, 不仅加工生产效率低, 还容易由于定位不准、夹紧力不均而造成加工误差, 不能适用于批量精密生产。专用机床夹具是连接机床和工件的重要工艺装备, 可通过标准定位、可控夹紧进行快速装夹、精准定位。

## 1 汽车转向节结构与加工工艺分析

### 1.1 转向节结构特性与精度要求

转向节是汽车底盘转向系统中的重要承重部件, 连接车轮、转向机构和悬架, 对车辆转向灵活性、行驶稳定性和行车安全性产生关键影响, 转向节的成型工艺通常采用整体锻造或球墨铸铁铸造, 主要以结构强度和成型精度为主, 适应复杂工况载荷。作为一类异形复杂结构件, 主体由叉形部、轴颈部、法兰盘三大模块构成, 各模块分工互补、空间交错, 叉形部设有主销孔, 作为转向传动的配合部件与转向主销紧密连接, 传递转向力矩、带动车轮偏转; 轴颈部为阶梯轴, 尺寸逐层减小, 可以嵌套装配轮毂轴承, 保证车轮的平稳旋转; 法兰盘上布置定位螺栓孔, 与制动盘、车轮总成紧密配合, 同时传递制动力和行驶载荷。

作为高精度汽车核心零部件, 转向节各加工表面空间位置紧密相连, 各零部位精度要求严格, 严重影响整车装配性能和使用性能。转向节主销孔尺寸公差控制在IT7级以内, 同轴度不大于0.02mm, 轴颈圆柱度不大于0.015mm, 法兰端面与主销孔轴线垂直度不小于0.03mm, 细微尺寸偏差都可导致转向卡顿、车轮偏磨等问题。此外, 转向节长期受到交变载荷、冲击载荷和扭转载荷, 零件表面不允许存在划痕、裂纹、变形等缺陷, 加工表面粗糙度Ra1.6 $\mu$ m以下, 避免应力集中造成零件疲劳失效。高精度、高表面质量的要求对加工夹具的定位准确度、夹紧可靠性、刚性支撑能力都有着极高的要求。

### 1.2 转向节加工工艺难点分析

转向节加工分为粗加工、精加工两个阶段, 工艺过程环环相扣, 其中粗加工重在去除毛坯余量、初步成型轮廓, 释放毛坯内应力; 精加工重点强化关键尺寸、形位公差的控制, 是保证零件精度的关键工序, 主销孔镗削、轴颈车削是工艺核心工序, 是夹具设计重点适配对象。综合零件结构和加工特点, 该工艺难点集中在三个方面, 且相互叠加增加加工难度。零件不对称、整体刚性分布不均匀, 在切削过程中受力失衡引发振动、让刀、弹性变形, 最终导致尺寸超差、形位精度差; 定位基准难以选取, 非加工毛坯面和加工表面交错分布, 一般平面定位很难维持固定的位移, 极易出现基准不重合、基准位移误差等加工偏差; 夹紧力管控难, 零件薄壁区域与强刚性区域均存在, 夹紧力过大易产生局部塑性变形, 夹紧力过小无法抵抗切削冲击力, 装夹松动。批量生产还需保证重复装夹精度, 减少人工调试所带来随机误差,

装夹耗时。只有通过专用夹具实现精准定位约束、合理夹紧布局,才能化解上述工艺难题,满足批量生产的精度与效率要求。

## 2 专用夹具总体方案设计

### 2.1 定位方案设计与自由度约束

定位方案是转向节专用夹具设计的关键,直接影响工件加工精度和稳定性,设计过程中严格按照机械加工六点定位原则和基准重合原则,结合转向节复杂的结构特点、精加工的工序精度以及加工受力工况,确定定位基准和完成全自由度约束,结合转向节毛坯结构和加工基准,最终选择法兰端面、主销孔毛坯面和轴颈侧平面为核心定位基准,完成工件6个空间自由度约束,严禁加工窜动偏移。

本次设计使用“一面两销”组合定位,采用法兰端面作为主要定位基准面,法兰端面面积大刚性强,能限制工件绕X、Y、Z轴的3个转动自由度,把控工件轴向定位精度,为后续切削加工做好准备。采用高精度圆柱定位销和菱形定位销作为辅助定位,其中圆柱定位销限制工件绕X、Y2个转动自由度,菱形定位销限制工件绕Z轴的1个转动自由度,既可避免因过定位引起的工件变形、定位干涉现象,又可保证工件周向定位精度,不致出现偏位加工。定位元件采用淬火合金钢材料,经过磨削处理表面硬度为HRC58-62,具有较强的耐磨性、长久性等优点;定位销与工件定位孔配合间隙为0.005-0.01mm,能最大限度控制定位副误差,完全满足转向节结构要求,定位基准与加工工序基准重合,可消除基准转换引起的累积误差,为转向节高精度精加工提供可靠保障。

### 2.2 夹紧机构选型与布局设计

针对转向节切削加工切削力大、受力复杂特点,夹紧机构采用螺旋夹紧与浮动压板相结合的结构,夹紧可靠、易于操作、防变形,刚性夹紧和柔性防护兼顾。夹紧点设置零件刚性较大的法兰盘边缘和叉形部上端,避开薄壁区域、精加工表面及易变形部位,从根源上避免夹紧应力引起工件变形,严格控制夹紧力作用方向,作用线垂直于定位面及工件定位中心,有效抵抗切削力、惯性力、重力叠加作用,实现加工全程工件无位移。夹紧机构采用手动螺旋驱动,简单易操作,配备浮动压板,多点均匀施压,避免局部应力集中;压板下垫有防滑耐磨橡胶垫,既增加摩擦力提高夹紧稳定性,又避免划伤工件精加工表面,增加机械自锁装置,利用螺旋自锁特性实现加工全程不松动夹紧。针对批量生产场景,夹紧

机构采用快速装夹结构,简化调节步骤、减少冗余操作,单次装夹时间在30s以内,无需反复校准调试,提升装夹效率,同批次工件夹紧状态、夹紧力高度一致。

### 2.3 夹具整体结构与适配性设计

专用夹具整体由定位组件、夹紧组件、夹具体、导向对刀块四大部分构成,结构合理、整体刚性足够,可满足数控镗铣床工作台安装尺寸及加工参数要求。夹具体为高强度灰铸铁铸造,经过高温时效处理,消除内应力,避免长期、反复受力而塑性变形,延长夹具寿命;底部标准定位键槽,与机床工作台T型槽嵌合,可进行夹具快速定位安装,严格控制夹具与机床主轴同轴度、位置精度;导向对刀块固定在夹具体侧面,由硬质合金材质打造,耐磨耐用,可对刀具快速对刀、找正,大大节省机床调试时间,提高开机速度;夹具体内预留通畅排屑槽和冷却液导流通道,及时排出切削切屑、疏导冷却液,避免切屑多而伤工件、扰乱定位精度;夹具整体高度、悬伸长度经过三维仿真优化设计,既保证机床主轴加工行程充足,又避免与刀具、机床部件等干涉,兼顾加工安全性、操作简单性、维护方便性,满足转向节多工序连续精加工。

## 3 夹具关键部件设计与参数计算

### 3.1 定位元件设计与精度计算

定位元件主要有定位支撑板、圆柱定位销、菱形定位销,定位元件尺寸设计是根据转向节定位基准尺寸和精度要求进行设计的。定位支撑板厚度为20mm,平面度误差为0.01mm;圆柱定位销直径与主销孔毛坯尺寸相匹配,采用间隙配合,销体长度根据工件厚度选取,定位深度较大;菱形定位销为标准尺寸,长轴方向与圆柱销轴线垂直,避免工件孔距误差造成的安装误差;定位误差是定位元件性能的关键指标,理论计算,该方案基准不重合误差为0.008mm、定位副制造误差0.012mm,总定位误差不大于0.02mm,远小于转向节关键尺寸公差的1/3,精加工精度要求不低。定位元件表面均经过磨平处理,有利于延长定位元件使用寿命,减少后期维护。

### 3.2 夹紧力计算与机构强度校核

夹紧力的大小决定了工件的加工质量,应该结合切削力,工件重力和摩擦系数计算。通过切削力公式计算转向节主销孔镗削加工的最大切削力,配合定位面摩擦系数(0.3),计算最小的最小夹紧力为2800N,为保证加工安全,选取安全系数1.5,最终计算出最小的最小

夹紧力为4200N。螺旋夹紧机构螺杆、螺母为40Cr合金钢材质，通过调质，提高强度，测试螺杆和压板的螺纹强度和压板的抗弯强度，得到螺杆最大拉应力180MPa，压板最大弯曲应力150MPa，均小于材料许用应力，夹紧机构强度符合要求；测试夹紧机构的自锁性能，螺旋升角小于摩擦角，在夹紧过程中不发生松脱现象。

### 3.3 夹具体结构设计与刚度分析

夹具体是夹具的基础部分，箱型结构，内有加强筋板，整体刚性好，不会受到切削振动变形影响。夹具体外形尺寸为机床工作台和工件大小，长度500mm，宽度400mm、高度180mm，重量85kg以内；夹具体安装面平面度误差0.02mm，定位键槽对称度误差0.015mm，保证夹具安装精度。通过静力学分析夹具体在最大夹紧力和切削力共同作用下的变形量，最大变形量0.006mm小于允许变形量，刚性好，可以抵抗切削负荷，工件定位精度不会受夹具变形影响。夹具体表面涂防锈漆，内部流道光滑，排屑通畅，冷却液流通方便。

## 4 夹具精度校核与工艺适应性分析

### 4.1 夹具定位精度与加工误差校核

夹具精度是影响工件加工质量的关键，需要对夹具的定位误差、安装误差和加工误差进行严格的校核。对于定位误差来说，经过前文的计算和理论分析，整个夹具的总定位误差应处于允许误差范围内，可满足高精度的加工需求。对于安装误差来说，夹具体与机床工作台之间的配合间隙非常小，再通过对定位键的制造精度进行了控制，两者的合计误差仅为0.01mm，对整体的加工精度影响较小；对于加工误差来说，考虑到刀具正常磨损、机床主轴径向跳动和工艺系统受力变形等影响，通过严格的测算，转向节各部位加工误差为0.025mm，大大小于图纸规定的0.05mm公差上限，说明本方案的工艺方案基本符合加工精度要求。为了验证理论计算的有效性，选取10件转向节工件进行实地试加工，经检测，主销孔的尺寸、同轴度和垂直度等指标均能满足所要求，各尺寸的偏差都处于合格的范围之内，并且离散度很小。结果表明，该夹具的定位精度稳定，且具备

良好的重复定位能力，可以保证批量生产中工件加工质量的一致性，为后续的大规模生产打下基础。

### 4.2 夹具工艺适应性与生产效率分析

该专用夹具针对乘用车转向节精加工工序设计，同时具备一定的柔性适配能力，通过更换定位销、调整压板位置，可适配同系列不同型号转向节的加工，提升夹具利用率。夹具采用手动快速装夹结构，无需专业技能即可操作，降低操作人员劳动强度，单次装夹耗时较通用夹具减少60%以上，单班加工产量提升40%，显著提高生产效率。夹具维护成本低廉，定位元件、夹紧部件磨损后可单独更换，无需整体报废，降低生产投入。同时，夹具结构设计符合安全生产规范，无外露尖锐部件，夹紧自锁装置有效避免加工过程中工件松脱，保障操作人员安全，适配车间规模化、连续化生产模式，具备较强的工艺实用性与经济性。

## 5 结论

本次完成的汽车转向节加工专用机床夹具是根据零件结构与精加工工艺要求，通过合理的定位、夹紧机构及夹具整体设计解决了复杂异形件定位难、夹紧变形大、加工振动重等难点。夹具采用“一面两销”定位结构，总定位误差小于0.02mm，夹紧力经过精密计算和强度校验，工件装夹稳定可靠，夹具体刚性足，变形量小，试加工结果表明，工件重要尺寸精度、形位公差达到图纸要求，生产效率和质量均比通用夹具提高了。该夹具设计遵循精度优先、兼顾效率的原则，紧凑便捷、成本控制，可以满足汽车转向节批量精密加工要求，为同类复杂零部件专用夹具设计提供了经验。

### 参考文献

- [1] 王浩, 佟瑞松, 侯佳新, 等. 基于模块化设计的汽车转向节压装组件装配工艺改进研究 [J]. 模具制造, 2026, 26 (01): 12-14+26.
- [2] 徐波. 汽车转向节臂铣键槽铣床夹具的优化研究 [J]. 机械管理开发, 2024, 39 (05): 178-179+182.
- [3] 辛百灵, 陈桂芳. 转向节精铣内档专机夹具设计 [J]. 传动技术, 2020, 34 (02): 3-6.