

# 气动夹紧装置设计与气压回路优化研究

连嘉琦 苗建霞

河北科技学院, 河北 唐山 063200

**摘要:** 气动夹紧装置具有结构简单、反应灵敏、夹紧力度可调、清洁无污染、维护容易等特点, 适用于各种机械加工、装配、检测等, 该装置是保证工件加工精度、提高生产效率的常用设备, 它通过气压传动对工件进行快速夹紧松开, 使工件在加工或装配过程中位置保持恒定, 以免工件因振动位移而产生加工缺陷。传统气动夹紧装置存在夹紧精度低、夹紧力度不稳、气压回路设计不合理, 能耗大、漏气多等不足, 不适用高精度加工、复杂工况, 工件松动、夹紧变形、回路压力波动等现象, 影响加工质量和生产连续性。气动夹紧装置设计与气压回路优化研究结合实际加工场景夹紧需求, 设计结构紧凑、夹紧精准、运行可靠的气动夹紧装置, 完善气压回路结构和控制方式, 破解应用短板, 试验测试验证装置和回路可行性和可靠性。强调实操性, 抛开理论推导, 重点研究夹紧装置设计要点和气压回路优化问题, 为气动夹紧装置工程化应用提供技术支撑, 实现气动夹紧技术的精准、高效、节能。

**关键词:** 气动夹紧装置; 结构设计; 气压回路; 夹紧精度; 回路优化; 运行稳定性

## 0 引言

现代机械加工和自动化生产中, 工件夹紧精度和稳定性影响着加工质量和生产效率, 气动夹紧作为一种高效、便捷的夹紧装置, 依靠气压传动特性, 已经成为各种生产场景中不可缺少的辅助设备。气动夹紧装置使用压缩空气作为动力, 无需复杂的机械传动结构, 可快速夹紧工件松开, 满足各类规格、各种材质的工件夹紧需要, 减少人工作业, 提高生产自动化程度。当前我国大多数企业使用的传统气动夹紧装置, 设计不够完善、气压回路布局不合理, 夹紧力度控制不准确, 容易因为夹紧过度而变形、或夹紧不足而松动; 气压回路压力损失较大, 出现漏气现象, 浪费压缩空气, 影响回路压力不稳定, 影响夹紧精度; 气压回路控制方式单一, 无法实现夹紧动作联动、自适应调节, 无法满足高精度加工和复杂工况的需要。机械加工向精密化、自动化方向发展, 对气动夹紧装置的夹紧精度、运行稳定性、节能性提出了更高的要求, 需要通过设计和优化提升气动夹紧装置的综合性能。

## 1 气动夹紧装置基础与需求分析

### 1.1 气动夹紧装置核心原理与组成

气动夹紧装置是利用空气压缩机产生高压空气, 通过气压回路将高压空气输送给执行元件, 压缩空气压力能转换成机械能驱动夹紧机构对工件进行夹紧和松开。主要包括夹紧机构、气压传动系统、导向机构和支撑机构, 各部分配合作用, 实现夹紧、夹紧精度和夹紧力度。夹紧机构为主要执行部件, 用于直接与工件接触进行夹紧和松开操作, 主要结构形式决定夹

紧精度和夹紧力度; 气压传动系统包括动力源、控制元件、执行元件和辅助元件, 动力源产生高压空气, 控制元件控制空气压力和流量, 执行元件驱动夹紧机构动作, 辅助元件保证系统运行; 导向机构用于控制夹紧机构运动方向, 避免夹紧后出现偏移, 确保夹紧精度; 支撑机构用于固定装置整体和工件, 保证装置稳定, 避免工件振动。

### 1.2 气动夹紧装置核心设计需求

针对实际加工场景夹紧需求, 气动夹紧装置的设计需求集中在夹紧精度、夹紧力度稳定性、响应速度、结构紧凑性和经济性五个方面。夹紧精度要求工件能准确位置与夹紧, 偏差控制在合理范围内, 避免夹紧偏移引起的加工缺陷; 夹紧力度稳定性要求夹紧力度能自由调节, 且在夹紧过程中保持稳定, 不会因为夹紧过度引起工件变形、不足导致工件松动; 响应速度要求快速进行夹紧与松开, 缩短辅助加工时间; 结构紧凑性要求体积小, 重量轻, 满足不同加工设备的安装空间, 便于装配和维护; 经济性要求核心部件选型合理、制造成本与运维成本低, 能耗低, 避免结构复杂和部件昂贵导致企业生产成本上升; 实现工程化应用的可行性。

### 1.3 传统气动夹紧装置与气压回路的短板

传统的气动夹紧装置夹紧机构不合理, 多为单夹紧, 夹紧力度不准确, 难以满足不同材质、不同规格工件的夹紧需求, 容易造成工件变形或松动。气压传动系统核心部件不合理, 气缸、电磁阀等部件性能差, 导致夹紧动作滞后、力度不准确; 辅助元件劣质, 密封性不好, 容易产生漏气, 浪费压缩空气。气压回路设计缺陷, 回路不合理, 气管管径不合理, 导致高压空气

压力损失严重,回路压力波动严重,难以达到精度;回路控制方式简单,多为手动控制,无法实现夹紧动作的自动化联动,无法满足自动化生产线要求,无压力监测、故障报警装置等设备,无法及时发现回路漏气、压力异常,易造成故障扩大,生产不连续,耗能高,不符合绿色生产理念。

## 2 气动夹紧装置整体设计

### 2.1 装置整体结构设计

结合实际夹紧应用需求,设计“支撑底座-夹紧机构-导向机构-气压传动系统”,兼顾夹紧精度、运行稳定与结构紧凑。支撑底座采用高强度合金材料,一体式结构,表面加工磨削处理,使底座平面度和刚度符合要求,以防加工时底座变形,底座预留安装孔与加工设备固定,使装置整体稳定。夹紧机构采用双气缸对称夹紧结构,以保证双气缸对工件双向对称夹紧力,避免工件因单侧受力引起偏移变形,夹紧机构的夹爪采用耐磨橡胶,增大与工件的摩擦力,防止夹爪划伤工件表面。导向机构采用线性导轨与滑块相结合形式,导致夹紧机构直线运动,保证夹紧精度,避免运动偏移;气压传动系统设计在装置内部,合理布置动力源、控制元件和辅助元件,确保气路通畅,减少压力损失,同时优化装置结构体积,使装置紧凑、安装方便。

### 2.2 核心部件选型与设计

核心部件的选型按照适配性、准确性、可靠性的原则,按照装置的设计指标来进行选型、设计。执行元件选择双作用气缸,具有夹紧与松开灵活、动作快、力度可调等特点,根据夹紧负载需求设置气缸缸径、行程,气缸活塞杆采用淬硬处理,提高硬度、耐磨性,使用寿命长。控制元件选择高精度电磁阀,响应速度快、密封性好,可以有效控制高压空气通断流量,从而对夹紧动作进行准确的控制;压力调节阀和流量控制阀,可以调节夹紧力度和动作速度,保证夹紧力度和动作平稳。辅助元件选择高效的空气过滤器,过滤掉高压空气中的水分和杂质,防止杂质进入气缸和电磁阀,导致部件磨损及故障;选择优质的密封件和气管接头,加强密封性,避免漏气;气管采用柔性高压气管,方便安装,具有较好的耐压、耐磨性。夹紧夹爪按照工件的接触形式设计为弧形,增加接触面积,提高夹紧稳定性,夹爪上粘贴耐磨橡胶垫保护工件表面。

### 2.3 夹紧机构与导向机构优化设计

夹紧机构优化,采用可调夹紧结构,可以

调节气缸的安装位置和夹爪的间距以实现不同规格的工件夹紧,不需要更换夹爪,更加适合装置的安装,在夹紧机构上安装力传感器检测夹紧力度,信号传到控制系统后,实现夹紧力度的调节,避免夹紧过大或不足,避免工件变形。导向机构优化,采用高精度线性导轨,进一步提升导向精度,减小夹紧机构运动过程中的摩擦阻力,使夹紧动作平稳顺畅,滑块与导轨之间加入润滑脂,减少磨损,延长导向机构寿命;在导向机构上增加限位装置限制夹紧机构运动的行程,避免由于运动行程过大而损坏工件或部件,保证夹紧动作的安全可靠性。支撑机构优化,在底座上设置定位销,实现工件的定位,在定位销与夹紧机构配合后,进一步提升工件的夹紧精度,避免加工过程中出现工件的位移。

## 3 气压回路设计与优化

### 3.1 气压回路整体设计

根据气动夹紧装置的动作方式,设计“动力源-过滤减压单元-控制单元-执行单元-辅助单元”的气压回路,实现夹紧松开动作的控制,同时保证回路的稳定性和节能性。动力源为小型螺杆式空气压缩机,配置储气罐,可以提供稳定的高压空气,储气罐稳定回路压力,避免压力波动,储存多余高压空气,保证夹紧动作的动力。过滤减压单元由空气过滤器、减压阀构成,通过过滤掉高压空气中水分、杂质,调节回路压力,使进入控制单元和执行单元的空气压力稳定、清洁。控制单元由电磁阀组、压力传感器组成,电磁阀控制高压空气通断和流向,实现夹紧和松开动作的切换,压力传感器实时监测回路压力,将压力反馈至控制系统;执行单元为双作用气缸,接收高压空气驱动夹紧机构动作,辅助单元包括气管、接头、消声器等,用于输送高压空气、减少排气噪音,保证回路的稳定性。

### 3.2 气压回路现存问题识别

通过对所设计的气压回路进行仿真分析和初步测试发现,回路存在的问题比较多,回路压力损失严重,气管布局不合理,管径选取不合理,高压空气输送过程中阻力过大,压力损失超出合理范围影响了气缸的动作速度和夹紧力度;回路密封性差,气管接头、电磁阀等密封性不好,容易出现漏气现象,浪费压缩空气,且回路压力不稳定,影响夹紧精度;回路控制逻辑简单,只能实现基本的夹紧和松开动作,无法实现工件规格的自动夹紧和动作速度的自适应,适应性差;回路缺乏压力缓冲,夹紧动作一开始,压力瞬间冲击气缸,容易造成工件

振动;排气噪音较大,消声器选型不合理,不符合车间的环保要求。上述问题的存在都会影响气压回路的运行稳定和节能,需要针对性的优化。

### 3.3 气压回路针对性优化措施

针对回路识别的问题,开展针对性的优化措施,提升回路的运行稳定性、节能性和适配性。回路压力损失优化方面,梳理气管布局,避免气管交叉、弯折,减少空气输送阻力;根据回路流量需求,合理选用气管管径,增大通气量,降低压力损失;在气路分支处设置分流阀,合理分配空气流量,确保各执行元件的压力稳定。密封性优化方面,更换优质密封件和气管接头,增加密封垫圈,增强接头和电磁阀的密封性;在回路关键部位设置泄漏检测接口,便于定期检测泄漏情况,及时更换老化、损坏的部件,减少漏气现象。控制逻辑优化方面,采用PLC控制器优化回路控制,预设不同工件的夹紧参数,实现夹紧力度和动作速度的自动调节,适配不同规格工件的夹紧需求;增加信号反馈机制,压力传感器实时反馈回路压力,控制器根据反馈信号自动调节减压阀,确保压力稳定。压力缓冲优化方面,在气缸进气口增设缓冲阀,减缓压力冲击,避免夹紧动作启动时的工件振动,提升夹紧稳定性;排气噪音优化方面,选用高效消声器,降低排气噪音,符合车间环保要求。

### 3.4 优化后回路试验验证

优化完成后,搭建气动夹紧装置与气压回路试验平台,模拟实际加工工况,开展全面的试验验证,对比优化前后的回路性能,验证优化效果。试验测试重点围绕回路压力稳定性、漏气率、压力损失、夹紧精度、动作响应速度五个核心指标展开,通过高精度测试仪器实时采集相关数据。测试结果显示,优化后的气压

回路压力波动控制在合理范围,压力损失较优化前降低50%以上;漏气率较优化前降低65%,压缩空气浪费现象得到有效控制;夹紧精度显著提升,定位偏差控制在预设范围,工件无变形、松动现象;气缸动作响应速度较优化前提升25%,夹紧与松开动作平稳、顺畅;排气噪音降至符合环保要求的范围,回路运行稳定性大幅提升。同时,试验验证了回路的适配性,能够根据不同规格工件自动调节夹紧力度和动作速度,连续运行过程中,回路无故障停机现象,各部件运行正常,各项性能指标均满足设计要求和实际加工需求。

## 4 结论

气动夹紧装置设计、气压回路优化研究解决了传统气动夹紧装置夹紧精度低、运行不稳定、气压回路压力损失大、漏气等现实问题,经过优化装置设计、核心部件选型、气压回路优化使气动夹紧装置性能获得了全面提升。气动夹紧装置结构紧凑合理,夹紧机构和导向机构完善,可以实现工件的精确、稳定夹紧,适合不同规格工件的夹紧需求,避免工件变形、松动。气压回路优化符合装置动作特点,优化回路压力损失小、密封好、运行稳定,可以实现精确控制夹紧动作,同时减少能耗和排气噪音,符合绿色生产要求。试验测试验证表明,优化后的气动夹紧装置和气压回路各项指标满足设计,夹紧精度高、运行稳定性好、节能性高,可以满足实际加工需求,减少故障停机时间,提高生产效率、降低生产成本,贴合工程实际,摒弃理论,关注实操性,可以为气动夹紧装置工程化应用提供适合技术方案,完善气动夹紧技术应用体系,推动气动夹紧装置向精准化、高效化、节能化方向发展,提高机械加工自动化水平和加工质量具有实际意义和工程参考价值。

## 参考文献:

- [1] 刘凯华.基于一种新型夹紧装置对防爆设备密封圈检测技术研究[J].电气开关,2026,64(01):45-49+53.
- [2] 刘忠鑫,赵利华,辛绍贺,等.精轧接轴夹紧装置结构优化设计[J].一重技术,2025,(04):8-9+12.
- [3] 宋长军.模具设计中夹紧装置及夹紧力的计算[J].模具制造,2024,24(11):210-212.

**作者简介:** 连嘉琦(2003.03—),男,汉族,河北省保定市,专科,研究方向:机械制造及自动化。