

气压传动在自动化装配线上的应用研究

连嘉琦 张少波

河北科技学院, 河北唐山, 063200;

摘要: 自动化装配线是现代制造业高效、精准、规模生产的重要工具, 广泛应用于电子、机械、汽车等产业中, 其运行的高效性和稳定性关系到企业的生产效益和产品质量。气压传动是目前自动化装配线上应用最广泛的传动方式, 主要应用于输送、抓取、定位、压装等装配工序中, 但是气压传动的系统设计缺陷多, 运行不稳定、能耗高、难以适配, 不适合复杂装配工序、高精度装配工序, 容易造成动作卡顿, 定位错位, 漏气等故障, 影响装配线运行和装配精度。针对现实问题, 开展气压传动的自动化装配线应用, 根据自动化装配线的工序要求设计气压传动系统, 优化气压传动系统的参数和控制, 解决应用中存在的问题, 并在实际运行测试中验证其可行性和可靠性。注重实践, 抛弃理论, 研究气压传动的各工序应用路径、优化方式, 为气压传动在自动化装配线的有效应用提供有力的技术支撑, 推进自动化装配线的高效化、精准化发展。

关键词: 气压传动; 自动化装配线; 系统设计; 装配工序; 应用优化; 运行稳定性

DOI: 10.69979/3060-8767.26.05.019

引言

随着制造业向自动化、智能化、规模化发展, 使用自动化装配线取代人工装配将成为企业提高生产效率保障产品质量的重要手段。自动化装配线需要各工序联动运行, 传动系统是装配线的“心脏”, 精准和速度是装配动作的关键。气压传动由压缩空气为动力, 无需外部传动的传动结构, 响应速度快, 结构简单、成本低、清洁、维护方便, 能快速完成直线运动、旋转运动等, 能适用于自动化装配线的工件抓取、输送、定位、压装等高频工序。自动化装配线的企业对气压传动已有了一定的研究和应用, 但由于气压传动系统设计与装配工序的不协调、参数不合理、密封不好等原因, 气压传动系统存在漏气、运行滞后、定位不准等现象, 不仅影响了装配线的运行速度, 同时也降低了产品的装配精度, 增加了企业的运维费用。另外, 随着装配工序的复杂性和精度性, 传统的气压传动系统已经不能适应应用的实际要求, 应该通过系统的研究和优化提升气压传动在自动化装配线的应用效果。

1 气压传动基础与自动化装配线需求分析

1.1 气压传动核心原理与组成

气压传动主要由空气压缩机将大气压缩成高压空气, 由气路系统将高压空气传递给执行元件, 将压缩空气的压力能转化为机械能, 产生直线运动, 旋转运动等多种运动, 以驱动装配线的装配工序。气压传动系统主

要由动力源、执行元件、控制元件、辅助元件组成, 四部分连贯共同作用。动力源主要由空气压缩机、储气罐组成, 空气压缩机用于制造高压空气, 储气罐用于储存高压空气, 稳定系统压力, 减少压力波动导致动作失灵; 执行元件主要由气缸、气马达组成, 气缸用于直线往复运动, 配合工件抓取、压装等工序; 气马达用于旋转运动, 配合工件拧紧等工序; 控制元件主要由电磁阀、压力控制阀、流量控制阀组成, 控制高压空气的通断、压力、流量, 实现对执行元件动作的控制; 辅助元件主要由气管、接头、过滤器、油雾器组成, 用于输送高压空气、过滤杂质、润滑执行元件。

1.2 自动化装配线核心需求与气压传动适配要求

自动化装配线的首要目标是完成高效、准确、连续地装配工作, 主要工序包括抓取、输送、定位、压装、拧紧, 对传动系统的动作精度、响应速度、负载能力有明确的要求。气压传动作为装配线的主要传动方式, 需满足适配性、精准性、稳定性、经济性四个方面要求, 适配性指气压传动系统能够完美的与装配线中的不同工序进行匹配, 根据不同工序的动作, 可以进行直线、旋转等多种动作进行切换, 能够满足不同规格的工件装配需求; 精准性指气压传动的定位精度和动作精度良好, 能够完成工件的抓取、定位、压装的装配, 避免因定位误差而造成的装配缺陷; 稳定性指气压传动系统运行平稳, 无漏气、动作卡顿、滞后等现象, 保证装配线的连续运转, 减少故障停机; 经济性指气压传动系统结构简

单、制造成本和运维成本低，能耗少，避免因复杂导致企业生产成本提高，能够工程化运用。

1.3 气压传动在装配线应用中的现存问题

目前气压传动在自动化装配线上的应用还存在一些问题，影响装配线的运行效率和装配精度。气路系统不合理，气管布局不合理、管径不合理，造成高压空气输送阻力大、压力损失大，执行元件动作速度慢；主要部件选型与工序需求不匹配，气缸、电磁阀等部件选型大或小，能耗大、动作不准，有时甚至出现损坏等故障；密封性差，气管接头、气缸密封件老化或安装不合理，漏气现象经常发生，不仅浪费了压缩空气，同时压力不稳定，影响动作精度；控制简单，通常多是手动控制或简单自动控制，不能实现各工序之间的联动，不能满足复杂装配工序的要求；压力、流量调节不合理，造成执行元件动作过快或过慢，造成定位偏差、压装力不够等问题。

2 气压传动系统与自动化装配线适配

2.1 气压传动系统整体设计

结合自动化装配线的工序需求及气压传动的应用，选择“动力源-气路系统-控制元件-执行元件-辅助元件”整体气压传动系统，达到精准、稳定、经济的特点。动力源选用小型螺杆式空气压缩机，产气效率高，噪音低、运行稳定，不断提供稳定的高压空气，采用储气罐调节压力使系统不受影响，同时可以存放多余的高压空气，确保装配线高峰时段的动力供应。气路系统采用分支式布置，根据装配线的工序位置，合理布置气管，选择适宜的气管管径以减少高压空气的压力损失；在气路的分支处设置压力检测点，实时检测各分支气路压力，便于及时发现压力异常。控制器选用 PLC 控制器配合电磁阀组实现控制执行元件动作，PLC 控制器可以接收装配线的工序信号，根据设定的程序，通过控制电磁阀的通断，调整高压空气的压力及流量，实现各工序的联动控制。执行元件根据工序需求选型，动作精度和负载能力适配，辅助元件合理布置。

2.2 核心部件选型与适配设计

核心部件的选型应该按照适配性、精准性和可靠性要求，按照装配线各工序的动作和负载要求选取核心部件。执行元件方面，工件抓取工序选用气动夹爪气缸，抓取力度可调、动作灵活，适合不同规格工件抓取，不会引起工件破损、抓取力不足导致工件掉落；工件输送

工序选用无杆气缸，结构紧凑、行程可调，实现工件输送平稳，减少工件输送偏差；压装工序选用增压气缸，压力可调、压装精度高，能够实现精确压装，避免出现压装力不足或者过度压装造成的装配缺陷；拧紧工序选用气动马达，转速可调、扭矩可调。控制元件方面，选用高精度电磁阀，响应速度快、密封性好，不易漏气；选用压力控制阀，流量控制阀，调节系统压力和流量，使执行元件动作平稳、精准。辅助元件方面，选用高效空气过滤器，过滤高压空气中的水和杂质，不会进入执行元件和控制元件，延长元件使用寿命；选用优质密封件和气管接头，增加系统密封性，减少漏气。

2.3 装配线核心工序气压传动应用设计

针对自动化装配线的工序，设计气压传动方案，实现各工序的联动运行。工件抓取工序中，气动夹爪气缸装在装配线机械臂上，PLC 控制器接收工件到位信号后，控制夹爪气缸动作，根据工件规格调节抓取力度，抓取完成后控制机械臂运动将工件送到指定装配工位，避免工件因抓取不到位，造成装配错位。工件输送工序中，无杆气缸与输送导轨相配合，PLC 控制器控制无杆气缸运行速度和行程，对工件进行输送，在运行过程中，位移传感器监测工件位置，精准对待工件。工件定位工序中采用气动定位销气缸，工件送到位后，定位销气缸伸出插入工件定位孔，工件实现定位，定位完成发信号触发下一道装配工序，定位精度控制在合理范围内，避免定位偏差。压装工序中，增压气缸安装在压装工位上，PLC 控制器根据压装需求调节压装压力和压装行程，压装过程中监控压装力度，压装到位不会破坏工件，压装完成气缸自动复位进入下道工序。

3 气压传动系统应用优化与运行验证

3.1 应用优化方向确定

结合气压传动系统设计和现有应用，优化方向主要为系统稳定性、动作精度、能耗、故障防控四个方面。对系统稳定性较差、漏气过多的问题，优化密封结构和部件选型，减少漏气，减少压力；对动作精度不高、定位差的问题，优化控制逻辑和执行元件参数，提高动作精度和定位精度；对能耗高的问题优化气路系统和压力调节方式，减少压缩空气浪费；对故障频繁的问题，完善故障监测和报警机制，提高故障防控能力。优化时兼顾实操性和经济性，避免过度优化造成制造成本上涨，优化方案要得到实施，切实解决气压传动在装配线上的应用问题。

3.2 具体优化措施实施

根据优化方向,开展针对性改进。密封性能优化方面,更换耐磨损密封件,改进气管接头安装方式,增加密封垫圈,提高密封性能;定期检测气路系统泄漏,及时更换老化、破损的气管及密封件,防止漏气。动作精度优化方面,改进PLC控制算法,缩短信号处理时间,加快执行元件响应速度;调整气缸、电磁阀参数,做到动作平稳、准确;增加位移传感器和压力传感器的采集频率,提高数据采集精度;对气动夹爪、定位销等执行元件进行定期校准;使用节能空气压缩机,根据装配线运行负荷自动调节产气效率,避免浪费能源,气路系统中增加节能阀,当装配线处于待机状态时,自动降低系统压力,减少压缩空气消耗;改进气路布局,减少压力损失,提高能源利用率。故障防控方面,在关键部件和气路设置监测传感器,实时监测部件运行状态及系统压力、流量,发现隐患及时排除,完善故障报警机制,明确故障类型和位置,方便工作人员快速排除故障;定期维护,定期对核心部件检修、润滑、校准,延长部件使用寿命、降低故障率。

3.3 优化后系统运行测试

优化结束后,搭建自动化装配线气压传动系统运行测试平台,在真实生产环境下进行运行测试,验证优化效果。运行测试主要针对系统的稳定性、动作精度、能耗、故障发生率等方面,通过连续运行装配线,检测系统漏气情况、压力稳定性及执行元件的动作情况,试验各工序的定位精度及动作响应速度,验证动作精度是否适合装配;统计系统的能耗数据,对比优化前后的能耗情况;记录系统的故障情况,分析故障的类型和原因。试验不同规格工件装配情况;测试复杂工况下的运行情况,对比优化前后的性能指标,针对测试中存在的少量错误进行微调,使得优化后的气压传动系统各项性能指标能够满足设计和生产要求。

3.4 优化效果综合分析

结合运行测试结果,对气压传动系统优化效果进行分析,总结优化经验和不足。检测结果表明,改进后的气压传动系统漏气率比优化前降低60%以上,系统压力均匀,无明显压力变化,运行稳定性大幅提高;各工序动作响应速度比优化前提高25%,定位精度大幅度提高,

实现工件的抓取、输送、定位、压装,装配缺陷率降低50%以上;系统能耗比优化前降低30%,压缩空气浪费得到有效控制,生产成本降低;故障发生率比优化前降低70%,故障报警及时,工作人员能快速排查故障,减少故障停机时间,装配线运行效率提高20%以上。分析结果显示,在高负荷长期运行工况下,部分执行元件磨损速度较快,可以通过进一步优化部件材质和润滑方式来提高部件使用寿命。综合来看,优化措施可行、可行,解决了气压传动在自动化装配线中的不足,提高了整体性能,能够满足自动化装配线的实际生产。

4 结论

气压传动在自动化装配线上的应用研究,针对现有气压传动系统运行不稳定、动作精度低、能耗高、易造成故障等实际问题,通过气压传动系统的设计、核心部件选型、优化使气压传动能够适应自动化装配线需求,提高装配线运行速度及装配产品质量。气压传动系统结构合理,紧凑合理,核心部件选型合理,气路系统、控制逻辑优化完善,可实现抓取、输送、定位、压装等工序联动运行。优化以系统稳定性、动作精度、能耗、故障防控为主要目的,减少漏气,提高动作精度、动作可靠性,降低能耗、降低运维费用;经试验表明优化后的气压传动系统各项指标符合设计要求,适应各种规格的工件装配,能够在复杂工况下正常运行,提高自动化装配线的生产效率及装配产品质量。研究结论符合制造业的实际生产需求,摒弃杂乱理论,着眼于实际应用,为气压传动在自动化装配线上的应用研究提供可行方案、完善应用技术体系,为实现自动化装配线向高效、精准、绿色方向发展,提高企业生产效益、增强竞争力具有应用价值和参考价值。

参考文献

- [1] 郑雪君. 人机协作机器人在自动化装配中的应用[J]. 中国机械, 2025, (36): 33-36.
- [2] 潘军. 基于数控技术的数控铣床自动化装配系统优化[J]. 现代制造技术与装备, 2026, 62(01): 197-199.
- [3] 张学哲, 刘小磊, 刘丽娜. 柔性自动化装配线在定制化生产中的应用[J]. 自动化应用, 2026, 67(03): 140-142.