

地膜生产自动穿管芯机装置的关键技术研发应用

王智勤 周芳燕 张霞 陈金 陈厂 朱冰玉
甘肃福雨塑业有限责任公司 甘肃 天水 741600

摘要:传统地膜生产中人工穿管芯方式效率低下、劳动强度大、工伤事故频发。本文研制一种自动穿管芯机装置,由机架、直线滑台模组、升降气缸、圆弧机械手、推管直行气缸及套筒构成,通过PLC控制实现管芯自动抓取、移位、对中与穿入光轴。重点解决设备稳定性、精确定位、夹持力保护、速度与精度平衡及多规格适应等关键技术。试验表明:整机电功率1.2kW,滑台移位速度3500~4000mm/min,穿管速度500~1000mm/s,准确率98%以上,单次装管满足一个班次需求。该装置显著降低人力成本与工伤风险,提升了产品质量,具有良好推广价值。

关键词:地膜生产;自动穿管芯;直线滑台模组;圆弧机械手;PLC控制

1 前言

地膜覆盖栽培技术对保障我国粮食安全和农产品供给具有重要支撑作用,地膜年产量持续增长。在地膜卷取生产环节,将空管芯穿入收卷光轴(钢棒)是卷取前必不可少的准备工序。长期以来,国内大多数地膜企业采用人工穿管方式,操作人员需手动将纸管芯对准光轴端部并用力推入。这种作业模式存在显著弊端:单次穿管耗时约20~30秒,每台卷取机每隔15~20分钟即需重复操作,导致生产效率低下;工人长期重复推管动作,易引发腕部和肩部肌肉劳损,劳动强度极大;光轴端部常有毛刺,手指划伤、挤压伤等工伤事故时有发生,给企业安全生产带来严峻挑战。随着用工成本上升及安全监管日趋严格,人工穿管已成为制约地膜生产企业提质降本增效的突出瓶颈^[1]。为此,本课题研制一种地膜生产自动穿管芯机装置,通过机械手抓取与气缸推送方式实现穿管全自动,装一次管芯即可满足一个班次需求,从根本上解决上述问题,装备精度和可靠性达到国内领先水平。

2 研究内容

以自动智能化穿管芯机的高效性为核心,提升地膜产品规模化产销能力,实现降本增效。任务:研制应用地膜自动智能穿管芯机,完成管芯自动穿入光轴全过程,提高生产效率,减少人力成本和劳动强度,降低工伤事故发生率,保障员工安全,提升企业效益和竞争力。

2.1 主要解决的问题

2.1.1 设备稳定性和可靠性

设备需长时间连续运行,稳定性至关重要。技术难点在于选用耐磨损材料和防尘组件,保障平均无故障工作时间。本装置采用防尘钢带密封导轨、IP67级传感器和自动润滑程序,有效提高长期运行可靠性。

2.1.2 精确控制

管芯内孔与光轴间隙仅2~3mm,定位偏差易致卡滞。技术难点在于开发高精度闭环控制。采用绝对值编码器伺服电机驱动滑台,配合激光对射传感器末端补偿,通过PLC闭环调节实现重复定位精度 $\pm 0.05\text{mm}$ 。

2.1.3 机械结构合理性

机械手夹持力需足够防滑又不压溃纸管。选用聚氨酯圆弧夹爪增大接触面积,配合比例调压阀将夹持力控制在2.0~3.5kg;推管气缸采用双导杆结构并加装缓冲器,保证推进平稳无冲击。

2.1.4 速度与精度的平衡

提高穿管速度可提升效率,但过快的速度可能导致过冲或卡管。通过试验确定S型加减速策略,设置三档速度(500、750、1000mm/s),用户可根据管芯材质选择,在保证成功率前提下实现最优效率。

2.1.5 适应性和灵活性

膜卷长度0.6~1.8m、重量5~25kg,管芯规格多样。设计腰型孔调节座和快换夹爪,控制系统内置配方数据库,切换规格耗时小于1分钟,适应多品种生产需求。

2.2 解决的主要技术难点和问题

针对上述技术难点,采取综合性技术策略:采用西门子S7-1200PLC及模拟量模块,实现气压、位置和速度的实时闭环监控;使用高精度滚珠丝杠和直线导轨,确保各执行机构相对位置误差小于0.1mm;进行三维运动学仿真和样机多轮负载调试;设置关键动作超时检测和自动回退自恢复机制^[2]。通过上述措施,成功攻克了设备稳定性、精确定位、夹持力保护、速度协调和柔性适应等核心难题,确保装置达到设计要求。

2.3 技术方案

2.3.1 机架和直线滑台模组的设计与优化

机架采用80×80方管焊接并时效处理,表面设定位销孔和T型槽。直线滑台模组选用滚珠丝杠(导程10mm)配双直线导轨,有效行程1.8m,水平载荷80kg,底部加装防尘钢带。驱动采用400W伺服电机配行星减速器(减速比3:1),实现高扭矩和精确定位。

2.3.2 左、右升降气缸的设计与控制

选用双导杆型气缸(缸径32mm,行程150mm),导向精度高,抗侧向力强。左升降气缸带动圆弧机械手完成抓取和提升,右升降气缸带动推管直行气缸和套筒完成上下对位。两气缸由独立电磁阀控制,通过磁性开关检测活塞位置,实现精准时序配合。

2.3.3 圆弧机械手的设计

两片圆形夹爪内弧半径适配 $\Phi 60 \sim \Phi 80$ mm管芯,通过快换螺栓切换规格。夹爪表面粘贴5mm厚聚氨酯弹性体(硬度邵氏A60°,摩擦系数0.6),夹持力2.0~3.5kg可调^[3]。经计算,该夹持力下静摩擦力为管芯自重及惯性力的3.7倍,确保高速移位不滑脱;同时接触应力远低于纸管抗压强度,有效防止压溃变形。

2.3.4 推管直行气缸和套筒的设计

采用双导杆气缸(缸径40mm,行程1.2m),0.6MPa下最大推力45kg,足以克服管芯与光轴间最大静摩擦力(实测<20kg)。前端浮动套筒内径比管芯外径大2mm,内嵌聚四氟乙烯导向环,允许径向浮动 ± 1 mm以自动补偿同轴度偏差,套筒端部设倒角和限位台阶,便于导入和定位。

2.3.5 控制系统的开发

PLC选用西门子S7-1200(CPU1214C),配数字量和模拟量模块。触摸屏选用威纶通MT8071iP,实现参数设定、运行监控和故障报警。编程采用状态机架构,将穿管流程分解为待机、拨管、抓取、提升、移位、对位、下降、推管、退回、复位等10个状态,每状态设超时保护和安

2.3.6 安全性分析和防护措施

机械防护方面,安装透明亚克力防护罩,进出口设安全光幕,人手伸入即急停。电气方面,所有24V电路设短路和过载保护,伺服驱动配动态制动电阻。气动系统设双联过滤器及安全溢流阀。程序中设紧急停止和手动复位模式,确保异常时安全快速恢复初始状态。

2.4 主要技术路线

本装置作为自动收卷生产线的最后一道工序,其完整技术路线涉及上下游动作的衔接。总体流程为:薄膜自动切断→膜卷搬移下线→膜卷抽离钢棒→膜卷称重下线→空管芯穿入钢棒→芯棒投放上线。其中,自动穿

管芯处于承前启后的关键环节,具体工作分为以下六个步骤:

(1) 拨管出仓:储管仓内整齐排列的空纸管芯依靠重力滑至仓底出口,拨管气缸驱动拨叉,每次将一根管芯拨移至接纳定位槽中,槽内安装有光电传感器,确认管芯到位后发出信号。(2) 圆弧机械手夹取:左升降气缸下降,使圆弧机械手移至定位槽位置,夹爪气缸闭合夹紧管芯中部,夹持力由调压阀预设。夹紧到位后,左升降气缸上升,将管芯提升至高于光轴中心线约20mm的高度。(3) 水平移位与同心对位:直线滑台模组启动,将左升降气缸及所夹管芯横向移动至光轴所在工位。在此过程中,安装在光轴支架上的激光对射传感器检测管芯内孔中心与光轴中心的偏差,PLC通过伺服电机微调滑台位置,直至二者同轴度偏差小于0.3mm。(4) 右升降气缸下降与套筒对接:右升降气缸下降,推管直行气缸及套筒同步下移,使套筒内孔对准管芯后端面。随后,推管直行气缸缓慢前伸,套筒套住管芯端部约30mm,确认套筒到位。(5) 推管穿入:推管直行气缸以设定速度(500~1000mm/s)向前伸出,将管芯沿光轴轴向平稳推送,直至管芯前端触碰光轴上的限位挡环。推送过程中,PLC实时监测气缸进气压力,若压力突增(表明卡滞),则自动停止并报警^[4]。(6) 复位与搬移:穿管完成后,圆弧机械手松开,左升降气缸上升;推管直行气缸退回,右升降气缸上升;滑台复位至原点。随后,生产线的搬移机械手将穿好管芯的光轴整体抓起,投放至卷取机的摩擦辊上,开始下一轮卷取循环。整个穿管周期自动重复,无需人工干预。

2.5 创新点

本装置的创新性主要体现在以下三个方面:

(1) 首创圆弧机械手与浮动套筒组合的穿管执行机构:相较于传统平夹爪或磁吸方式,圆弧机械手能够自适应管芯外圆,增大接触面积,在确保夹持稳定的同时避免管芯损伤;而浮动套筒在推送过程中提供径向柔性补偿,显著降低了对光轴位置精度的苛刻要求,使穿管准确率提升至98%以上。(2) 模块化可调节结构设计:机架上的气缸安装座、存储仓宽度挡板、夹爪快换接头均采用可调或快换设计,配合控制系统中的配方参数,可在1分钟内完成不同规格膜卷的切换,极大地提高了设备的适应性和灵活性,解决了以往自动化设备“通用性差、换产困难”的行业痛点。(3) 基于状态机的全流程智能控制与故障自诊断:控制软件采用状态机架构,将复杂动作逻辑分解为清晰的状态步进,每个步骤均有独立的超时监控和异常处理分支。当发生卡管、缺料、气压不足等故障时,系统能

自动报警并显示故障位置,部分可逆故障(如轻微卡管)还可通过自动反向回退尝试排除,减少了人工干预频率,提升了设备的智能化水平。

3 主要技术指标

本装置经样机试制和批量测试,实际达到的主要技术指标如下:

3.1 整机电功率

额定功率为1.2kW,包含伺服电机(0.4kW)、PLC、触摸屏、电磁阀组及指示灯等所有用电设备,在待机状态下功率不足0.1kW,能耗远低于同类自动化设备。

3.2 直线滑台模组性能

水平载荷范围为30~80kg,完全覆盖常用管芯重量(单根约0.8~2.5kg,但需考虑动态惯性);滑块水平移位速度设定为3500~4000mm/min,在此速度下,通过S型加减速控制,启停冲击小于0.5m/s²,确保管芯不滑脱。

3.3 机械手爪夹持力

夹持力实测为2.0~3.5kg(可调),标称值 $\geq 2\text{kg}$ 。在2.0kg夹持力下,管芯与聚氨酯夹爪间的静摩擦力约为5.6kg(摩擦系数0.6,夹爪与管芯接触面积折算),远超管芯自重及加速度惯性力(总约1.5kg),安全裕度达到3.7倍。

3.4 左右导杆气缸推力

在0.6MPa气源压力下,双导杆气缸推力实测为22.5kg,大于设计要求的20kg,能够可靠地实现升降动作,并留有足够余量应对偏载。

3.5 穿管芯速度

推送速度分三档可调,低速500mm/s、中速750mm/s、高速1000mm/s。实际生产中,对于常规纸管,推荐使用中速(750mm/s),此时单次穿管总时间(含辅助动作)约为9~10秒,效率较人工提高3倍以上。

3.6 穿管准确率

在纸管端面垂直度及弯曲度符合行业标准(弯曲度小于0.1°)的前提下,经500次连续穿管试验,成功穿入光轴并到位493次,准确率98.6%,优于设计指标98%。

3.7 适用膜卷规格

本机以常规膜卷规格(10kg $\times$ 1.2m)为标准设计,但

通过调整,可适用于重量5kg以上、长度0.6~1.8m的各种膜卷,最大管芯外径 $\Phi 80\text{mm}$,内径 $\Phi 60\text{mm}$,最大长度1.9m。

3.8 储仓容量与连续工作能力

储仓一次性可装入约60根标准纸管(视纸管壁厚略有差异),以平均每15分钟穿管一次计算,可满足连续8小时(一个班次)生产需求,中途无需补料,大幅减少了人工辅助时间。

4 结束语

本技术研制应用的地膜生产自动智能化穿管芯机工艺装备,成功实现了地膜生产智能穿管,从根本上解决了人力穿管效率低、劳动强度大、生产成本低、易发生工伤事故等问题,显著提升了产品质量,降低了产品成本。装备运行精准、安全可靠,各项技术指标达到或超过设计要求,整机性能达到国内领先水平。本装置工艺路线合理,技术方案先进可行,充分考虑了行业技术进步和现代农业市场科技发展趋势。项目契合《轻工业调整和振兴规划》及《农用薄膜管理办法》等国家政策精神,符合当地和企业实际,响应了农膜产业延链补链强链、补齐短板、锻长板的政策要求,是企业技术创新的一次重要突破。同时,该成果对加快地方乡村振兴、响应碳达峰碳中和、以创新驱动引领科技发展,以及保障“米袋子”“菜篮子”、促进现代农业高质量发展均具有重要的现实意义和深远的推广应用价值。

注:2024年秦安县强科技奖补资金重大专项计划项目(项目编号:QAKJ2024-027)

参考文献

- [1]刘国栋,陈志强.塑料薄膜卷取自动换管技术研究进展[J].包装工程,2024,45(3):112-118.
- [2]赵明辉,李丽,王浩.PLC在管芯自动装配控制系统中的应用[J].制造业自动化,2023,44(7):54-59.
- [3]杨伟,孙建平.气动机械手夹持力自适应调节策略研究[J].液压与气动,2022,46(5):78-84.
- [4]中华人民共和国农业农村部.农用薄膜管理办法[S].北京:中国农业出版社,2020.