

# 骨架油封硫化工序自动化生产系统研究

张田龙<sup>1,2</sup>, 雷志伟<sup>1,2</sup>, 郝存明<sup>1,2,3</sup>, 李玉霞<sup>1,2</sup>, 宫哲<sup>1,2</sup>

(1.河北省自动化研究所有限公司,河北石家庄 050081;

2.河北省工业测控技术创新中心,河北石家庄 050081;

3.巨鹿县应用技术研究院,河北邢台 055250)

**摘要:**针对骨架油封硫化工序生产存在的问题,设计一套基于工业机器人应用技术和先进制造技术的自动化生产系统,系统主要包括金属骨架和十字橡胶块自动上料、自动码盘机构、机器人自动上下料、自动检测等功能。经过现场调试和试生产,各机构在可编程逻辑控制器(programmable logic controller, PLC)控制系统的作用下有序运行,实现了骨架油封硫化工序的自动化、无人化生产。

**关键词:**骨架油封;自动硫化生产;PLC控制

中图分类号:TP273 文献标识码:A 文章编号:1003-7241(2025)08-0089-05

## Research on Automation Production System for Skeleton Oil Seal Sulfurization Process

ZHANG Tianlong<sup>1,2</sup>, LEI Zhiwei<sup>1,2,3</sup>, HAO Cunming<sup>1,2,3</sup>, LI Yuxia<sup>1,2</sup>, GONG Zhe<sup>1,2</sup>

(1. Hebei Institute of Automation Co., Ltd., Shijiazhuang 050081, China;

2. Hebei Industrial Measurement and Control Technology Innovation Center, Shijiazhuang 050081, China;

3. Julu County Institute of Applied Technology, Xingtai 055250, China)

**Abstract:** In response to the problems in the production of sulfur seal chemical sequences of skeleton, it designs a set of automated production systems based on industrial robot application technology and advanced manufacturing technology. The system mainly includes automatic materials such as metal skeleton and cross rubber blocks, automatic code disk mechanisms, robotics automatic feeding, and automatic detection functions. After on-site commissioning and trial production, each institution runs in an orderly manner under the action of the programmable logic controller (PLC) control system to achieve automation and unmanned production of sulfur seal chemical sequences of the skeleton.

**Keywords:** skeleton oil seal; automatic vulcanization production; programmable logic controller control

## 0 引言

橡胶制品是河北省巨鹿县特色产业之一,全县橡胶制品业经过近40年发展,具备了一定的产业基础和产业优势,年销售额可达20亿元以上<sup>[1]</sup>。该行业现有相关生产企业1000余家(其中规上企业50余家),橡胶骨架油封企业占比50%以上。目前该企业骨架油封产品硫化生产过程普遍依靠人工,造成生产过程不稳定和产品一致性差,同时由于生产环境恶劣,造成从业人员短缺和职业病隐患等问题。因此,传统的生产方式已经无法满足正常的生产要求,油封生产企业对相关先进制造技术的应用的需求非常迫切。

本文主要以骨架油封为对象,旨在研究骨架油封硫

化工序自动化生产的关键技术,主要研究内容包括骨架油封自动硫化生产过程中的橡胶块自动上料、送料、理料,金属骨架的自动上料、送料、理料,以及橡胶块与金属骨架的叠料和码盘等,还包括基于工业机器人应用技术的自动上下料系统<sup>[2]</sup>。通过该研究,实现骨架油封硫化工序的自动化生产,改变传统生产方式,提升企业综合生产效率,促进县域特色产业高质量发展。

## 1 骨架油封简介

### 1.1 骨架油封产品

骨架油封是油封类产品的典型代表,主要适用于旋转运动及往复运动的密封,防止被密封介质(气体、液体)渗透及外部异物进入机体。金属骨架就如同混凝土构件里面的钢筋,起到加强的作用,并使油封能够保持形状及张力。骨架油封广泛应用于航空、汽车、摩托车、铁道、车

\*基金项目:河北省科学院高层次人才培养与资助项目(2023G28)

收稿日期:2023-11-21

辆、船舶、家电、工程机械等行业。油封产品虽然在整个机械行业中占的比重不大,但它却是橡胶行业中服务面广、影响面宽、社会效益巨大、对于机械制造业和国民经济的发展有着重要作用的一类精密橡胶制品。骨架油封示意图如图1所示。



(a) 骨架油封实物图 (b) 骨架油封剖面图

图1 骨架油封示意图

### 1.2 骨架油封生产流程

骨架油封的生产流程主要包括橡胶块预成型、金属骨架冲压成型、骨架油封硫化成型、油封成品外观修整、挂簧涂脂、检测包装等环节<sup>[3]</sup>。目前,除骨架油封硫化成型工序全部依靠人工进行生产外,其他各环节的生产设备基本上都实现了自动化或者半自动化。

骨架油封硫化成型环节,主要实现将预成型好的橡胶块和金属骨架在硫化机内的生产。人工生产方式:工人需要提前将20个金属骨架放置在木板上,然后在每个金属骨架上叠放一个十字橡胶块,叠放完成后,首先将硫化机上模具硫化完成的骨架油封半成品依次摘下,然后将叠放完成的20组原材料依次放入硫化机的下模具,最后控制硫化机运行并开始硫化,硫化时间到,重复上述过程。本文研究一套骨架油封硫化工序自动化生产系统,可以实现该环节的无人化生产。

## 2 系统设计

### 2.1 机械设计

系统的机械部分主要由以下几部分组成:金属骨架振动送料机构、金属骨架上料机构、十字橡胶振动送料机构、十字橡胶上料及剔除机构、金属骨架自动布料机构、十字橡胶自动布料机构、金属骨架夹取机构、十字橡胶拾取机构、自动码盘机构、机器人末端夹持机构、工业机器人、连续式自动称量机构和末端输送机构等部分<sup>[4]</sup>。系统整体示意图如图2所示。

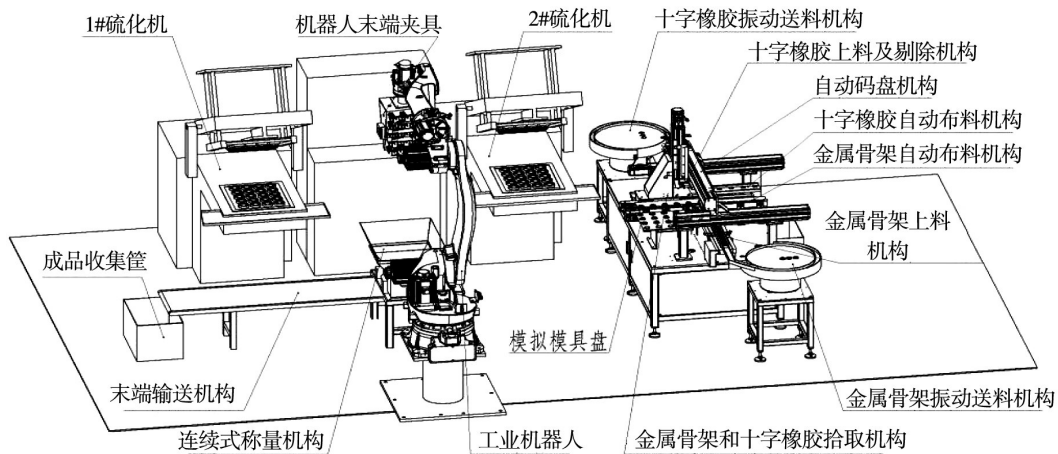


图2 系统整体示意图

金属骨架振动送料机构:金属骨架整体呈环状凹形,制作精度较高,根据金属骨架的外形特征,设计了基于脉冲电磁振动原理的振动盘送料机构,主要包括振动盘,送料机构,分料机构,底盘、底座等部件组成。振动盘具有出料效率高、出料准确率高、节省人工等优点。金属骨架示意图如图3所示。

金属骨架上料机构:金属骨架由振动盘出料后,进入金属骨架上料机构。金属骨架上料机构主要包括:输送带、输送带档条、金属骨架缺料检测传感器、金属骨架满料检测传感器和金属骨架U口物料检测传感器等。输送带档条设计为左右两根,其间距略大于金属骨架直径,当金属骨架出现堆积时,可使金属骨架按顺序保持直线排列,不会出现重叠、压覆现象。金属骨架缺料检测传感器和金属骨架满料检测传感器设计选用红外对射式传感器,主要用于检测输送带上的金属骨架物料的缺料和满料情况,如果出现满料情况,金属骨架振动盘则停止送料,如果出现缺料情况,金属骨架振动盘则启动送料,直到再次出现满料情况,循环运行。金属骨架U口物料检

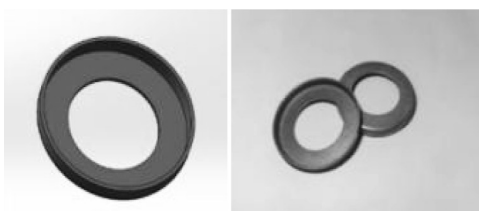


图3 金属骨架示意图

测传感器主要用于检测金属骨架物料是否输送到位。

**十字橡胶振动送料机构:**橡胶块整体呈十字形,中心厚四角薄,从中心到四角流线过度,其加工制作精度较低,四角位置多有偏差,个别夹角处会有橡胶残留,因此对送料机构提出了更高的要求。根据十字橡胶的外形特征,同样设计了基于脉冲电磁振动原理的振动盘送料机构,主要包括振动盘,送料机构,分料机构,底盘、底座等部件组成,可以实现十字橡胶的自动出料功能,并可有效区分正反面,保证出料的橡胶全部呈四角接触底面状态。十字橡胶块示意图如图4所示。

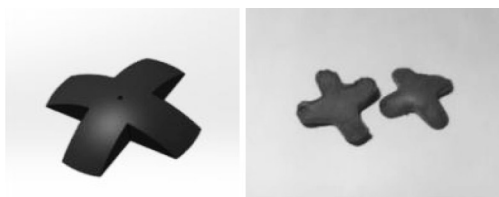


图4 十字橡胶块示意图

**十字橡胶上料及剔除机构:**十字橡胶由振动盘出料后,进入橡胶上料机构。十字橡胶上料机构主要包括:输送带、十字橡胶物料检测传感器、无效物料剔除机构、输送带导向和金属骨架U口物料检测传感器等。十字橡胶检测传感器主要用于检测橡胶出料是否有堆叠或相邻物料之间是否间距过小等,用于后续的无效物料剔除判断。无效物料剔除机构基于气流剔除原理设计,对于前端检测到的无效物料,通过间歇式释放气流方式,将其有效剔除,并设计了斜坡导流机构和无效物料存放容器,便于无效物料的重复回收利用。十字橡胶U口物料检测传感器主要用于检测十字橡胶是否输送到位。

**自动布料机构:**布料机构设计为指缝移位方式,通过直线模组驱动指缝移位板做平移运动,保证各工位入料口与物料的上料机构平齐,配合输送机构,实现金属骨架和十字橡胶块的平稳布料。

**金属骨架夹取机构:**金属骨架夹取机构主要由气动手指组成,每组气动手指上设计了两件夹爪,每件夹爪的夹持部位呈V形,保证夹取时使金属骨架处于相对居中位置。气动手指固定在顶板上,顶板由气缸驱动进行上下方向的平移运动。

**十字橡胶拾取机构:**十字橡胶拾取机构主要包括拾取机构和橡胶脱料板组成。拾取机构固定在顶板上,顶板由气缸驱动进行上下方向的平移运动,气缸伸出,可以驱动拾取机构实现十字橡胶的拾取功能,气缸缩回,在橡胶脱料板的作用下可以实现十字橡胶的自动释放功能。

**自动码盘机构:**自动码盘机构主要包括三坐标直线模组和工装模具盘。三坐标直线模组驱动金属骨架夹取机构和十字橡胶拾取机构,将布料完成的金属骨架和十字橡胶分别抓起,并依次放置于模拟模具盘上。根据硫

化机的模具尺寸参数,将模拟模具盘设计为20个工位,尺寸与硫化机模具盘尺寸一致,用于提前将金属骨架和十字橡胶码放整齐,供机器人抓取后整盘上料。

**机器人末端夹持机构:**机器人末端夹持机构主要包括机器人末端法兰、连接板和20套气动手指组成,每组气动手指上设计了两件金属夹爪,每件夹爪的夹持部位呈V形,保证夹取时使金属骨架处于相对居中位置。机器人末端夹持机构可以从模拟模具盘处一次性夹取20套骨架油封原料,能够满足单台硫化机一次硫化的生产量。

**工业机器人:**根据现场空间位置和机器人作业半径要求,选用卡诺普6轴串联机器人,可以实现一台机器人对两台硫化机生产的空间要求。

**连续式自动称量机构:**连续式自动称量机构由高精度皮带秤和漏斗形导向机构组成。皮带秤及在其上设计加装的漏斗形导向机构,可以实现下料油封一次性落入皮带秤上。皮带秤对硫化完成的骨架油封产品进行自动称重,并与设定的成品油封产品的理论重量值进行对比,如果对比结果正常,皮带秤则将产品传送至末端输送机构;如果对比结果异常,皮带秤则停止输送,同时系统将报警停机。

**末端输送机构:**末端输送机构选用高性能输送带,主要实现正常情况下,将产品输送至储物筐的功能。

## 2.2 控制系统设计

自动控制系统选用PLC+人机交互界面(human machine interface, HMI)的方案,PLC作为主控制器,选用台达的DVP15MC11T,辅以其他电气元器件,主要实现各机构与PLC控制器之间的控制信号和反馈信号传递,保证上述各机构之间的有序联动运行;HMI选用繁易的FE6156H工业触摸屏,可以实现系统的操作和显示功能,人机交互良好;在HMI上集成安装了Flink物联网模块,可以实现远程监控和维护功能;伺服驱动器选用台达A2系列,PLC控制器通过CANopen总线方式控制5台伺服驱动的联动运行;PLC与工业机器人之间通过机器人的外接IO端子实现信号交互;PLC通过外部IO端子实现与自动称量机构的信号交互。电气系统在PLC控制器的作用下,可以实现自动码盘机构、工业机器人、硫化机、自动称量机构和其他各个机构的有序工作,实现该系统的自动化运行。自动控制系统如图5所示。



图5 自动控制系统设计

### 2.3 系统控制流程

系统采用模块化设计方案,各模块的运行流程如图6~10所示。

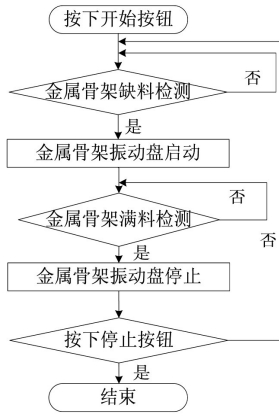


图6 金属骨架上料流程图

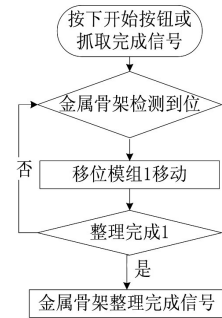


图7 金属骨架布料流程图

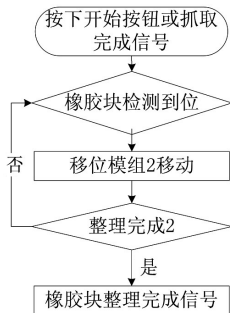


图8 十字橡胶上料流程图

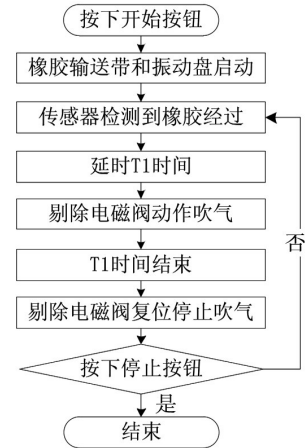


图9 十字橡胶布料流程图

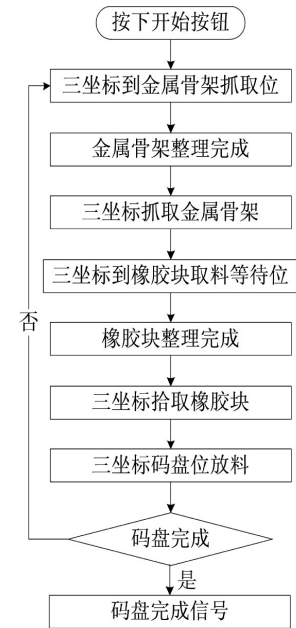


图10 自动码盘流程图

### 2.4 系统运行效果测试

系统设计制作完成后,在企业现场进行了调试和试生产,对系统的生产效果进行了大量测试。十字橡胶块和金属骨架自动叠料效果良好,机器人上料位置精度能

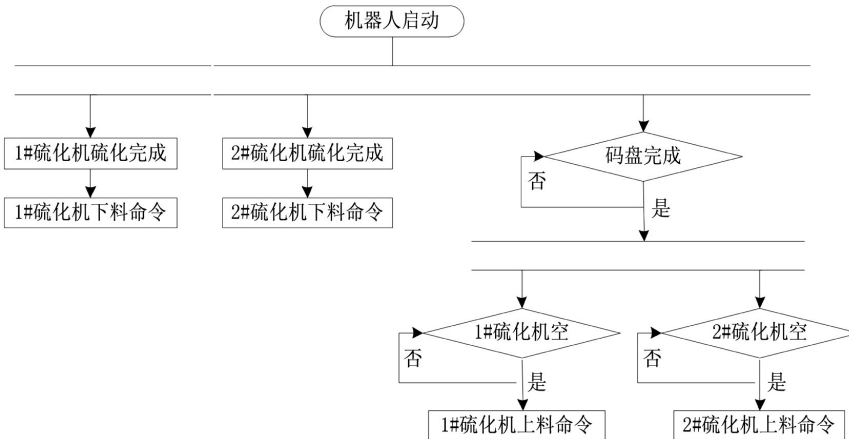


图11 机器人工作流程图-1

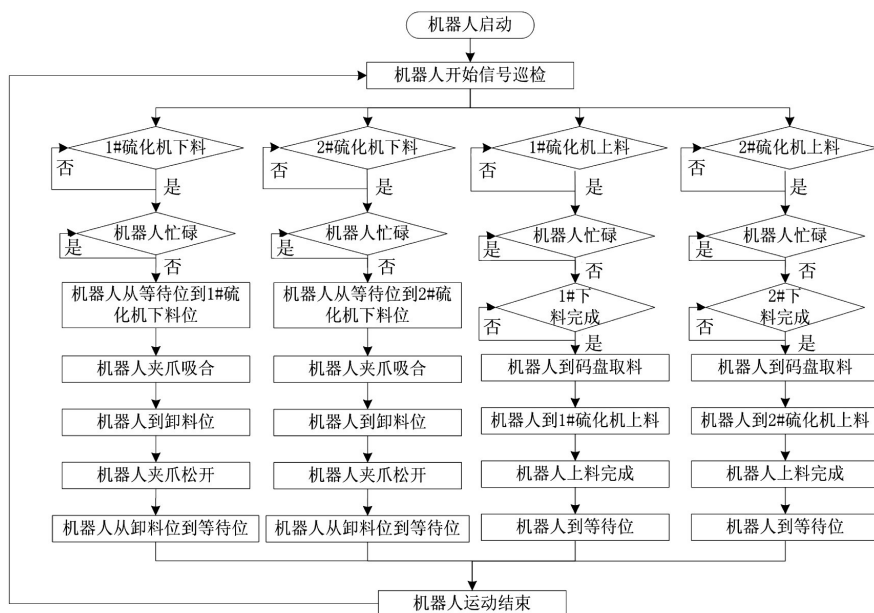


图12 机器人工作流程图-2

够满足生产要求,机器人上、下料成功率较高,下料异常检测效果可靠。

生产现场照片如图13。系统各项技术指标参数见表1。对比传统生产方式,该系统可实现24小时不间断生产,综合生产能力提高了50%以上,每套系统可为企业节

约至少2名劳动力;该系统的应用,大幅降低了工人的劳动强度,减少了橡胶硫化对人体造成的伤害,解决了企业的用工难题,提高了企业的生产能力、保证了订单的及时交付,用户反馈整体运行效果良好。

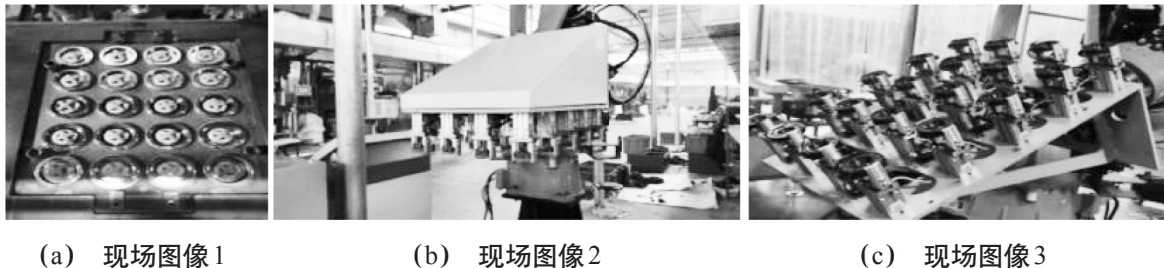


图13 骨架油封硫化工序上下料实际效果

表1 技术指标情况

| 编号 | 参数指标     | 指标取值     |
|----|----------|----------|
| 1  | 自动叠料成功率  | 100%     |
| 2  | 机器人上料精度  | ±0.05 mm |
| 3  | 机器人上料成功率 | 99.5%    |
| 4  | 机器人下料成功率 | 99.5%    |
| 5  | 下料异常检测率  | 100%     |
| 6  | 系统综合生产周期 | 180 s    |

### 3 结束语

设计基于机器人应用技术和先进制造技术的骨架油封硫化工序自动化生产系统,可以实现骨架油封硫化生产过程中的自动码盘、自动上料、自动下料和自动检测等功能,改变了传统的人工生产模式,提高了骨架油封产品的稳定性、一致性<sup>[5]</sup>,提升了生产的自动化水平,提高了综合生产效率,降低了企业的运营成本,具有良好的经济效

益和社会效益。

#### 参考文献:

[1] 朱玉民. 国内外橡胶骨架油封的现状与发展趋势[J]. 汽车研究与开发, 2000(2): 32-34.  
 [2] 高福年, 王耀林, 咸新河. 橡胶-骨架油封制造质量的网络控制[J]. 橡胶工业, 2006(6): 362-363.  
 [3] 苏西庆. 工业机器人在骨架油封成型硫化过程中的应用[J]. 中国橡胶, 2016, 32(7): 25-27.  
 [4] 杨化林, 张启鑫, 宋正朴, 等. 基于特征的骨架油封模块化配置设计[J]. 润滑与密封, 2017, 42(8): 125-130.  
 [5] 刘霄龙. 骨架油封衬套加工工艺及其适用性分析[J]. 煤矿机械, 2022, 43(8): 113-116.

作者简介:张田龙(1988—),男,本科,高级工程师,研究方向:机电设备设计与开发。