

DOI:10.14044/j.1674-1757.pcrpc.2025.01.007

金属化膜电容器元件喷金自动传送线研发与应用

莫国平, 阳斌, 杨枝林, 谢晓云, 黄有祥

(桂林电力电容器有限责任公司, 广西 桂林 541004)

摘要: 本文介绍了一条金属化膜电容器元件自动喷金传送线,该传送线实现了将卷制好的元件传送到上料工位,再由机械手抓取元件放入元件框,随后元件随元件框在悬挂线上完成喷金,最后喷金元件在下料工位完成下线,而空元件框随悬挂线返回上料工位的工艺过程。通过机器人、射频识别和自动控制等先进制造技术的应用,实现整个元件喷金过程的自动化运转,既提高了喷金效率,也进一步保证了喷金质量。

关键词: 金属化膜电容器; 传送线; 喷金; 机械手; RFID; 元件框; 效率

Development and Application of Automatic Conveyor Line of Metallized Spraying for Metallized Film Capacitor Elements

MO Guoping, YANG Bin, YANG Zhilin, XIE Xiaoyun, HUANG Youxiang

(Guilin Power Capacitor Co., Ltd., Guangxi Guilin 541004, China)

Abstract: In this paper, a fully automatic metallized spraying conveyor line for metallized film capacitor elements is introduced. The conveyor line transfers the rolled elements to the loading station, and then the mechanical arm grabs the elements and puts them into the elements frame. After that, the elements are sprayed on the suspension line along with the elements frame. Finally, the sprayed elements are completed off the line at the unloading station, while the empty elements frame returns to the loading station with the suspension line. Through such advanced manufacturing technologies as robots, radio frequency identification and automatic control, the automated operation of the entire elements spraying process is fully realized. This not only improves the efficiency, but also enhances the quality and stability of the spraying.

Keywords: metallized film capacitor; conveyor line; metallized spraying; mechanical arm; RFID; elements frame; efficiency

0 引言

随着金属化膜技术的发展和进步,金属化膜电容器广泛应用于高低压电气领域,应用的场合包括交直流滤波、交流无功补偿和脉冲放电等^[1-5]。元件喷金是金属化薄膜电容器制造过程中的关键工序,喷金质量的好坏决定了电容器金属部分接触电阻的大小,是电容器接触损耗的主要因素,直接影响着电容器的性能和寿命^[6-8]。目前大部分企业均购置独立设备进行单机喷金作业,通过手工完成元件装箱、装框和卸框等操作,主要存在操作繁琐、劳动强度大、环境恶劣等不利因素。随着国内柔直工程的增加,一方面,纯手工操作已难以适应大批量生

产的需求,另一方面,卷制好的电容器元件若停留时间过长,未能及时喷金,还会使湿气进入两端的缝隙^[9],影响元件质量。本文介绍的金属化膜电容器元件喷金自动传送线,提供了整套的喷金自动化传送解决方案用于替代纯手工传送作业,有利于满足公司大批量生产的要求。

1 总体方案

金属化膜电容器元件喷金自动传送线主要目的是将卷绕机卷制好的元件自动完成上料、传送、喷金及下料,实现喷金全过程自动化作业。

金属化膜电容器元件喷金自动传送线由硬件机构及控制系统组成,硬件包括倒槽机构、分线机

构、上线机构、悬挂线机构和下线机构 5 个部分组成,如图 1 所示。倒槽机构倾斜设置在元件卷绕机和分线机构之间,卷制好的元件通过该机构在重力作用下自然滚落至分线机构;分线机构将元件传送至自身的末端并将其定位;上线机构将元件逐一放入元件框中固定,并将元件框挂上悬挂线;悬挂线机构将元件框传送至喷金机进行喷金,完成喷金后再传送至下线机构;下线机构将元件框脱离悬挂线,并将元件转移至下道工序,空元件框则挂回悬挂线机构,最后再返回上线机构。

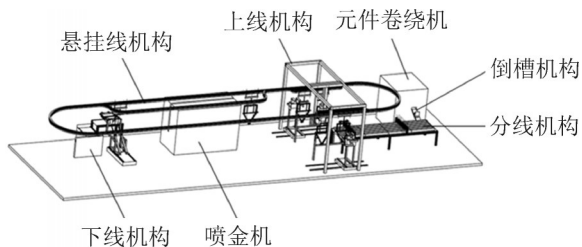


图1 金属化膜电容器元件喷金自动传送线设计方案示意图
Fig. 1 Design schematic diagram of automatic conveyor line of metallized of spraying metallized film capacitor elements

2 硬件机构组成及设计

2.1 倒槽机构

倒槽机构的主体为一件 U 型通道,示意图见图 2。卷制好的元件通过其通道自动滚落至分线机构, U 型板的宽度大于可卷制元件的最大长度,保证所有规格尺寸的元件均能顺畅通过。在 U 型板内侧的 3 个面均贴有硅胶板,用于增加元件滚落时的摩擦力,降低元件滚落速度,并在元件整个滚落过程中起到缓冲作用,保护元件免受损伤。通道的上方同样固定有一块材质为硅胶板的阻挡胶条并垂落至轨道上,同样起到减缓元件滚落速度的作用。

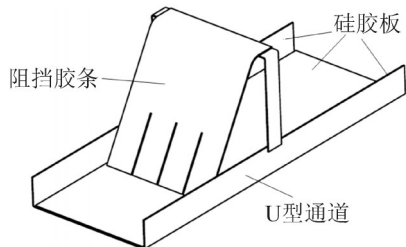


图2 倒槽机构示意图
Fig. 2 Schematic diagram of thoroughfare

2.2 分线机构

分线机构主体为一条传送皮带^[10],如图 3 所示。在传送皮带上设有若干隔板将分线机构的传送皮带分隔成若干传送通道。隔板通过龙门架进行固定,使其与传送皮带之间均保持少量的距

离,避免与之形成相对摩擦。不同传送通道之间的宽度均可以通过龙门架的固定滑块进行调节。每台卷制机配一条专属传送通道,如 1 号卷制机的元件通过第 1 条传送通道传送,2 号卷制机的元件通过第 2 条传送通道传送,……,每台卷制机可根据卷绕元件的直径调整传送通道的宽度,使元件能顺利轴向移动。分线机构末端设置触发感应器件和限位器件,当元件传送至分线机构末端被限位停止后触发感应信号,控制系统识别到元件到位信号后,上线机构便可对元件进行定位识别与抓取。

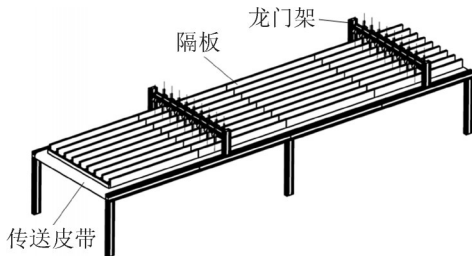


图3 分线机构示意图
Fig. 3 Schematic diagram of conveyor belt with multiple channels

2.3 上线机构

上线机构由桁架、机械手、抓取部件、移栽机、定位架和元件框等组成,如图 4 所示。机械手接收到分线机构的元件到位信号后,运动至对应的传送通道,将元件抓取并码放至固定于定位架的元件框中。元件框在装满元件并压紧后,移栽机抬起元件框,移动至悬挂线上的小车位置并挂入小车。

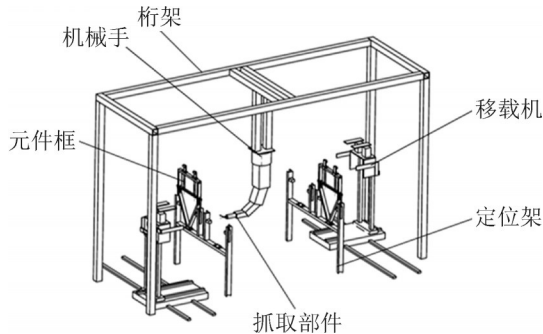


图4 上线机构示意图
Fig. 4 Schematic diagram of loading station

2.3.1 机械手

机械手通过预先进行程序编制,可根据元件规格和尺寸等参数通过程序计算出码放数量与码放坐标,再根据坐标自动将元件码放至元件框的准确位置^[11]。机械手末端安装有元件抓取部件,该部件为一抓取针,通过将抓取针穿入元件心轴内孔实现抓取,抓取后机械手向内倾斜一定角度,确保元件不会从抓取针滑落,从而能可靠地将元件装入元件框,避免直接夹持元件的圆弧面导致损伤,影响产品质量。

2.3.2 移栽机

移栽机用于传递元件框,如图5所示。横向导轨和纵向导轨可使整个机构进行前后左右方向的移动,夹紧气缸的伸缩可控制下方齿条的移动,下方齿条的移动则可以带动齿轮的旋转,进而带动上方齿条的移动^[12-13]。下方齿条的左侧和上方齿条的右侧均连接1块紧压板,2根齿条相对运动可使2块紧压板实现对元件框的夹紧和松开。元件框抬升气缸可实现对元件框抬升和下降。

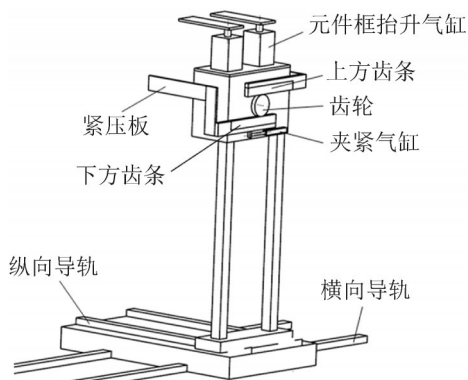


图5 移栽机示意图

Fig. 5 Schematic diagram of transfer machine

2.3.3 元件框

元件框为框架结构,如图6所示。元件框的上半部分区域为矩形,用于安装弹性推杆与压条,压条可在其滑槽内进行小范围移动^[14-16]。元件框的下半部分区域为倒置的正三角形,是码放元件的区域,在摆放同一直径元件时,上侧元件的最高圆弧线成一平面,方便弹性推杆推动压条可靠地压紧框内所有元件。元件框上方的挂钩与悬挂线的小车相匹配,可以稳定挂入小车之中。锁紧孔的作用为对元件框在上线工位与下线工位进行锁紧固定。

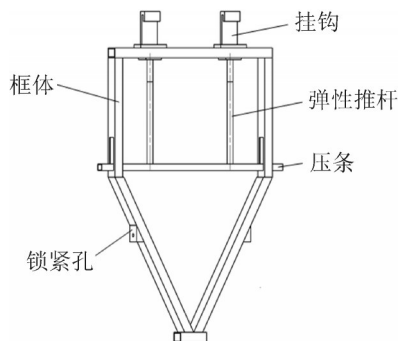


图6 元件框示意图

Fig. 6 Schematic diagram of elements frame

2.4 悬挂线机构

悬挂线机构由线体和小车组成,如图7所示。小车承载元件框在悬挂线内由上线工位移动至喷金机喷金工位,元件按工艺要求完成喷金后,小车

再带动元件框移动至下线工位,由下线机构对元件进行下线操作。悬挂线采用轻载积放式结构,其使用灵活、自动化程度高,具有贮存、运输等功能^[17]。积放链包括停止器、夹紧机构、岔道换向机构等。各停止器控制小车按要求自动停止或前进^[18];夹紧机构固定小车对元件完成喷金;岔道换向机构控制小车的传送路径。悬挂线为一环形的循环线体,完成作业的小车装载空元件框在线上可以循环回到上线工位。悬挂线机构在上线机构处布置多处小车暂存点,可实现多台机器人同时装框。

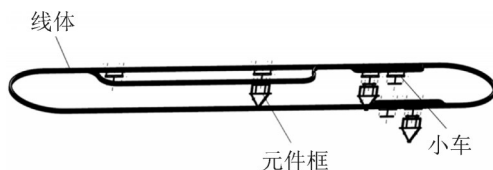


图7 悬挂线机构示意图

Fig. 7 Schematic diagram of suspension line

2.5 下线机构

下线机构由翻转机构、传送皮带和顶升机组成,如图8所示。

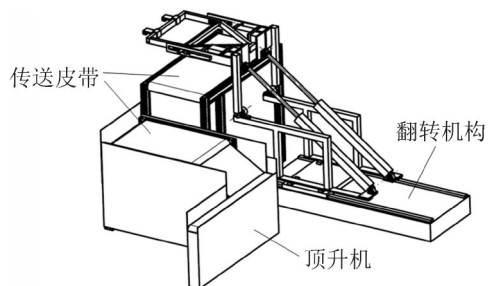


图8 下线机构示意图

Fig. 8 Schematic diagram of discharging station

翻转机构可将元件框从悬挂线机构的小车上卸下,并将元件落入传送皮带,如图9所示。元件框抬升气缸可通过抬升和下降运动将元件框挂入或脱离悬挂线小车。当元件框脱离小车,活动架沿纵向轨道向内移动带动紧压板夹紧元件框,元件框锁紧气缸同时伸出锁紧,使元件框完全被翻转机构固定。翻转气缸的伸出使固定元件框的紧压机构带动元件框以轴为中心旋转 90° ,元件端面刚好处于传送皮带的上方。弹性推杆提升气缸伸出使元件框的压条脱离元件,失去压紧力的元件就会在重力作用下落入传送皮带。

传送皮带分为2段,方向相互垂直,并有一定高度差,每段传送皮带的两侧均设有护栏可避免元件从皮带上跌落。元件在落入第1段传送皮带后,大部分呈竖直状态立于皮带线上。在传送至第二段传送皮带时,因为高度差的原因,元件会向前倾倒,元件在落入第二段传送皮带后转变为横卧状

态,其圆弧面与皮带接触,此时元件轴向与传送方向垂直,并以该状态传送至顶升机,实现单个元件传送到下道工序以方便机械手的抓取。

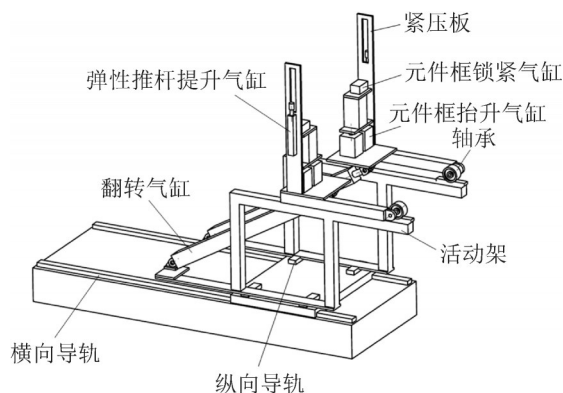


图9 翻转机构示意图

Fig. 9 Schematic diagram of turnover mechanism

3 控制系统设计

传送线采用工控机集中控制,保证上料、传送、喷金及下料自动运行^[19]。元件上料时,可通过上线机构控制系统输入每个传送通道的元件规格与对应元件框,如图10所示。

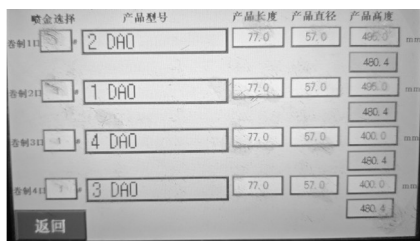


图10 控制系统设置图

Fig. 10 Layout diagram of control system

控制系统与元件框的信息交互采用读写射频识别系统(radio frequency identification technology, RFID),RFID读写射频识别技术可在普通环境中识别对象并存储信息^[20-21]。此过程中的一大优势在于没有物理接触和人工干预,适合于实现系统的自动化且不易损坏,可识别高速运动物体并可同时识别多个射频卡,操作快捷方便^[22-23]。元件框上部安装有载码体,上线机构移栽机安装有写码器,当上线机构需要元件装框时,控制系统发出元件装载指令,移栽机将对应的元件框移栽至固定架工位。当元件框上线时,移栽机上的写码器将该元件框的产品信息写入载码体,同时将该信息存入控制系统。在每台喷金机的岔道换向机构前均安装有读码器,读码器逐一读取经过的元件框,当信息匹配成功,元件框选择相应的通道传送进入对应喷金机时,系统自动启动喷金程序按工艺要求进行喷金。

通过倒槽机构、传送皮带和上线机构等硬件机构的对接,以及射频识别系统(RFID)的应用和工控机集中控制系统的控制,可确保卷绕机卷制的元件能准确送入指定的喷金机进行喷金并完成下线。

4 工程应用

金属化膜电容器元件自动喷金传送线已成功投入应用,能满足设计与应用要求,具有以下特点:

- 1)元件框能使元件位置可计算,并使元件码放紧凑,减少元件间间隙,提高金属丝利用率;
- 2)机械手使用抓取针抓取元件能避免损伤元件表面,通过程序可计算出码放数量与坐标,并根据坐标自动将元件码放至对应位置;
- 3)利用金属化膜电容器元件自动喷金传送线传送元件框,解决了元件框选取、元件框上下线、喷金机工位暂停和空元件框回传等技术难题,减少了人工搬运;
- 4)通过控制系统集中控制,满足了卷绕机卷制的元件能准确送入指定的喷金机的要求,通过射频识别技术的运用,实现了信息准确传递,控制悬挂线上元件框的传送、停止及上下料装置、喷金机等自动运行,有效控制各个环节的正常运行,实现了自动化高效运行。

金属化膜电容器元件喷金自动传送线实施效果见图11。



图11 金属化膜电容器元件喷金自动传送线实施效果图

Fig. 11 Effect picture of automatic conveyor line of metallized spraying for metallized film capacitor elements

5 结语

金属化膜电容器元件自动喷金传送线通过机器人、射频识别和自动控制等先进技术的融合,使元件从卷制结束到喷金完成的整个工艺过程可以实现自动生产,中间过程无需人工操作,极大降低了人工成本。通过合理码放元件,保证了码放所有元件夹紧的可靠性以及端面的平整性,从而提高元件的喷金质量。

金属化膜电容器元件自动喷金传送线大量采用了先进工艺技术,自动化程度高,创新性强,其中传送线和特殊三角结构元件框分别获取了实用新型专利^[24-25]。金属化膜电容器元件自动喷金传送线的应用,极大地提升了产品制造的自动化水平。

参考文献

- [1] 郭天兴. 电力电容器技术及其应用[M]. 西安:陕西科学技术出版社,2020.
- [2] SARJEANT W J, MACDOUGALL F W. Capacitors[J]. IEEE Transactions on Plasma Science, 1998, 26(5): 1368-1392.
- [3] SCHOLZ T, WINSOR P, HUDIS M. Development of a high energy density storage capacitor for NIF[C]// 12th IEEE International Pulsed Power Conference, 1999: 114-117.
- [4] 王毅,常淑云,葛锦萍. 对干式自愈式高压并联电容器的几点认识[J]. 电力电容器,2000(4):1-3.
- [5] 李化,章妙,林福昌,等. 金属化膜电容器自愈理论及规律研究[J]. 电工技术学报,2012,27(9):218-223.
- LI Hua, ZHANG Miao, LIN Fuchang, et al. Study on theory and influence factors of self-healing in metallized film capacitors[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2012, 27(9): 218-223.
- [6] 王振东,陈翠华. 浅谈金属化电容器损耗角正切 $\tan\delta$ 的有效控制[J]. 电力电容器与无功补偿,2012,33(3):61-64.
- WANG Zhendong, CHEN Cuihua. Discussion on effective control of dielectric loss angle tangent ($\tan\delta$) of metalized capacitor[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2012, 33(3): 61-64.
- [7] 谢平. 提高金属化薄膜电容器的脉冲电流处理能力[J]. 电力电容器与无功补偿,2010,31(3):62-65.
- XIE Ping. Increasing the pulse current treatment capacity of metalized film capacitors[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2010, 31(3): 62-65.
- [8] 储松潮,潘焱尧,杨波,等. 浅谈油浸式直流支撑金属化电容器的工艺控制[J]. 电力电容器与无功补偿,2013,34(5):58-62.
- CHU Songchao, PAN Yanyao, YANG Bo, et al. Discussion on process control of oil-immersed DC-link metalized film capacitor[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2013, 34(5): 58-62.
- [9] 孙晓武,李印达,曹崇峰. 空气湿度对直流支撑电容器元件性能影响的研究[J]. 电力电容器与无功补偿,2020,41(4):51-56.
- SUN Xiaowu, LI Yinda, CAO Chongfeng. Study on the influence of air humidity on DC-link capacitor element[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2020, 41(4): 51-56.
- [10] 日本带传动专业技术委员会,齐彬译. 带传动与精确传送实用设计[M]. 北京:化学工业出版社,2013.
- [11] 龚仲华,龚晓雯. ABB工业机器人编程全集[M]. 北京:人民邮电出版社,2018.
- [12] 李新德. 液压与气动技术[M]. 第2版. 北京:清华大学出版社,2015.
- [13] 朱孝录. 齿轮传动设计手册[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
- [14] 张春林. 机械原理[M]. 北京:高等教育出版社,2006.
- [15] 于辉,崔岩. 结构设计原理[M]. 北京:北京理工大学出版社,2009.
- [16] 濮良贵,纪名刚. 机械设计[M]. 第7版. 北京:高等教育出版社,2001.
- [17] 谢志刚,谭志宏,陈小芹,等. 积放式悬挂输送机的快慢链转换技术[J]. 起重运输机械,2005(5):32-34.
- [18] 李淑清,杨敏跃,徐奔. 积放链出入库管理系统的开发和应用[J]. 自动化技术与应用,2013,32(5):95-98.
- LI Shuqing, YANG Minyue, XU Ben. The development and applications for input-output warehouse storage system[J]. Techniques of Automation & Applications, 2013, 32(5): 95-98.
- [19] 向晓汉. PLC编程手册[M]. 北京:化学工业出版社,2011.
- [20] 谢磊,陆桑璐. 射频识别技术-原理,协议及系统设计[M]. 第2版. 北京:科学出版社,2016.
- [21] 陈新河. 无线射频识别(RFID)技术发展综述[J]. 信息技术与标准化,2005(7):20-24.
- CHEN Xinhe. Review on RFID technology development[J]. Tracks for Standard & Technology, 2005(7): 20-24.
- [22] 李红章. RFID读写射频识别技术在智能制造系统中的应用综述[J]. 信息与电脑,2021(3):173-175.
- LI Hongzhang. Overview of the application of RFID reading and writing radio frequency identification technology in intelligent manufacturing systems[J]. China Computer & Communication, 2021(3): 173-175.
- [23] 王增智,马哲. 远距离射频识别系统及其应用简论[J]. 微处理机,2007(6):7-9.
- WANG Zengzhi, MA Zhe. Remote RF identification systems theory and applications[J]. Microprocessors, 2007(6): 7-9.
- [24] 莫国平. 一种金属化膜电容器元件喷金传送装置:ZL202322513004.7[P]. 2023-07-09.
- [25] 唐旺先. 一种悬挂喷金线元件框:ZL202020185562.9[P]. 2020-02-07.

作者简介:

莫国平(1972—),男,高级工程师,从事电力电容器制造工艺的研究与设计。E-mail:grgymgp@163.com。

阳斌(1990—),男,工程师,从事电力电容器制造工艺的研究与设计。

杨枝林(1983—),男,高级工程师,从事电力电容器制造工艺的研究与设计。

谢晓云(1979—),女,工程师,从事电力电容器制造工艺的研究与设计。

黄有祥(1964—),男,高级工程师,从事电力电容器技术研究与设计。