

螺旋护套自动缠绕装置设计

韩冬¹, 刘静², 彭小明³, 张晓光¹, 陈龙虎¹, 张文辉¹

(1.中北大学 机械工程学院, 山西 太原 030051; 2.西南技术工程研究所, 重庆 400039;

3.驻重庆地区第三军代室, 重庆 401336)

摘要: **目的** 为了提高螺旋护套缠绕效率, 降低劳动强度, 提出一种螺旋护套自动缠绕装置。**方法** 该装置由夹持旋转机构和导向机构组成。夹持机构通过气动控制实现管段的固定, 并通过同轴传动实现管段旋转。螺旋护套在导向机构的限制作用下, 通过螺旋传动的方式, 完成自动缠绕。采用有限元分析法对管段在夹爪夹持过程中的变形进行分析, 为夹持机构对管段夹持是否造成损伤提供依据。**结果** 测试结果表明, 装置可完成直径6~14 mm直管段的螺旋护套的缠绕, 在保障缠绕质量的情况下, 缠绕效率较人工提高了7.2倍。**结论** 此装置的设计实现了在直管段螺旋护套的自动缠绕, 降低了劳动成本, 提高了螺旋护套缠绕的生产效率。

关键词: 直管段; 螺旋护套; 缠绕; 自动化

中图分类号: TB486⁺.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)09-0161-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.09.024

Design of Automatic Winding Device for Spiral Sheath

HAN Dong¹, LIU Jing², PENG Xiao-ming³, ZHANG Xiao-guang¹, CHEN Long-hu¹, ZHANG Wen-hui¹

(1.School of Mechanical Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China;

2.Southwest Technology and Engineering Research Institute, Chongqing 400039, China;

3.The Third Military Representative Office of the Army in Chongqing, Chongqing 401336, China)

ABSTRACT: The work aims to propose an automatic winding device for the spiral sheath, in order to improve the winding efficiency of the spiral sheath and reduce the labor intensity. The proposed device consisted of a clamping rotation mechanism and a guide mechanism. The clamping mechanism realized the fixing of the pipe segment through pneumatic control and the rotation of the pipe segment through coaxial transmission. Under the restriction of the guide mechanism, the spiral sheath completed the automatic winding by means of spiral transmission. The finite element analysis method was used to analyze the deformation of the pipe segment during the clamping of the jaws, which provided a basis for whether the clamping mechanism caused damage to the pipe segment. The test results showed that the device could complete the winding of the spiral sheath for the straight pipe segment with a diameter of 6-14 mm. Under the condition of ensuring the winding quality, the winding efficiency was increased by 7.2 times compared with the manual winding. The design of this device realizes the automatic winding of the spiral sheath in the straight pipe segment, reduces labor costs and improves the production efficiency of spiral sheath winding.

KEY WORDS: straight pipe segment; spiral sheath; wind; automation

收稿日期: 2019-12-30

基金项目: 国家自然科学基金青年基金(51305409); 山西省青年科技研究基金(2013021020-2)

作者简介: 韩冬(1994—), 男, 中北大学硕士生, 主攻非标准化设备的设计及自动化系统控制。

尼龙管件因为自身易装配、干净、抗老化、耐腐蚀等优点,受到世界各个汽车制造商的青睐,被广泛地运用于汽车管路中^[1-3]。现在车型整体紧凑,空间不足,受到安装空间的限制,管路之间或与其它部件之间会产生相对运动,相互摩擦使管路外壁很快磨损,进而使得管路破裂,严重影响了汽车的正常使用,并存在安全事故的隐患,因此需要对管路增加包装以保证管路性能,防止危险事件的发生^[4-5]。

常见的管路包装保护措施为在管路外壁缠绕胶带、护套^[6],为了提高缠绕效率,出现了各种形式的缠绕机。张治国等^[7]研发的线束胶带缠绕机实现了线束直管段的缠绕,但是设备结构比较复杂且体积过大,不利于生产线上工人来回搬运。于恒华^[8]研发的手持式胶带自动卷绕装置将设备的体积缩小化,但是设备造价过高,且缠绕前期人工干预太多,效率低下。BURNS A G^[9]研发的胶带缠绕机操作简单,但是售价过于昂贵,不利于全线推广,使用率不高。李晓光等^[10]设计了一种管道外防腐卷材自动缠绕机,虽然能满足缠绕的要求,但其缠绕效率较低且不适应细短管的缠绕。

螺旋护套常用于电缆、汽车管路等的防护包装。以聚丙烯(PP)、聚乙烯(PE)或尼龙(PA)为原料采用热态缠绕定型挤出工艺制成的螺旋状护套,能够在各种恶劣环境下对管路起到安全保护作用,对于保护管路、防止磨损、延长管路使用寿命具有重要作用。目前国内管段上螺旋护套的缠绕以人工缠绕为主,缠绕效率低下。针对这一弊端,设计一种结构紧凑、价格低廉并且操作便捷的螺旋护套缠绕装置,对于提高缠绕效率具有重要意义。

1 螺旋护套缠绕装置的工作原理及结构

螺旋护套缠绕装置由导向机构和旋转机构 2 部分组成,其结构见图 1。导向机构对螺旋护套的缠绕起导向和限位的作用。旋转机构完成直管段夹持、旋转的工作。

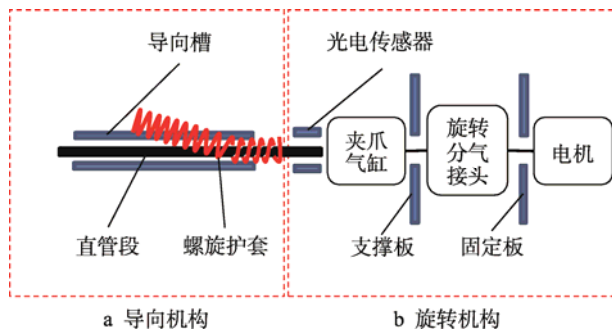


图 1 螺旋护套缠绕装置结构

Fig.1 Structure of winding device for spiral sheath

螺旋护套的缠绕利用的是螺旋传动的原理,直管段通过转动带动螺旋护套做回转运动,而螺旋护套受到导向槽槽宽的限制,自动缠绕在管段周围^[11]。

螺旋护套缠绕装置的工作过程主要包括直管段的检测、夹爪夹合、电机转动、缠绕螺旋护套、夹爪张开下料,具体过程如下所述。

1) 启动、复位设备,选择手动/自动工作模式,设置电机旋转时间与转速。

2) 通过定位块确定螺旋护套在管段上的初始缠绕位置并将螺旋护套手工缠绕在直管段上 2~3 匝。将固定好螺旋护套的管段通过导向槽送入送料口,光电传感器触发,控制器接收到触发信号后发出控制指令,控制夹爪气缸动作,管段夹紧,准备旋转缠绕动作。

3) 手动模式下,按下启动按键,电机开始转动;自动模式下,夹爪气缸夹紧后电机自动启动旋转;护套内径略小于管段外径,管段旋转后,带动护套一起运动,由于导向槽的限位作用,护套自动缠绕在管段上。

4) 达到设定的缠绕时间后,螺旋护套缠绕完成,夹爪张开,完成一个缠绕流程。

2 螺旋护套缠绕装置的机构设计

设计了一种附带导向机构的螺旋护套缠绕装置,该装置可以同时满足 7 种不同直径、长度的螺旋护套的缠绕,且具有手动自动 2 种工作模式的切换。导向机构能迅速定位螺旋护套缠绕的初始位置,导向槽的规格能够满足直径 6~14 mm 螺旋护套的缠绕。为了整个装置在维修及运送时搬移的方便,将导向机构与旋转机构通过螺栓固结,实现快速拆装。

2.1 旋转机构设计

旋转机构主要完成直管段的夹持与旋转。传统的螺旋护套缠绕机是在伺服电机转轴处安装三爪卡盘,但是每次拆装直管段时操作工序烦琐,导致产品生产效率大大降低,且在夹合直管段时无法控制夹合的力度,可能造成直管段的变形,因此改进缠绕机操作烦琐的过程,并且保证直管段的安全是装置提高生产效率的关键。

设计的旋转机构见图 2。主要由电磁阀、旋转分气接头、夹爪气缸、夹爪、对射式光电传感器、步进电机、电源等部件组成。通过控制电磁阀的开关控制气路的通断。旋转机构工作时,将直管段从送料口送至 3 个夹爪的中心处,当光电传感器检测到稳定的直管段信号时,夹爪夹合,步进电机开始转动,直至选择的工艺时间结束,夹爪张开,取走缠绕好螺旋护套的直管段。整个流程中仅有上下料工序需要人工参与,解决了传统缠绕螺旋护套时工序操作烦琐的问题。

题。为避免气缸的气压过大造成夹爪对直管段的损伤,可通过空气过滤器及气缸处的节流阀调节气压的大小来防止直管段损伤的出现。

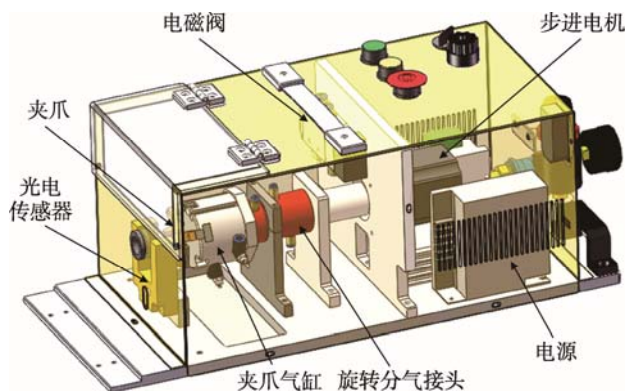


图 2 缠绕机构结构

Fig.2 Winding mechanism structure

旋转分气接头作为此装置的关键部件^[12],由定子部分和转子部分组成,见图 3。定子与转子通过动态零泄漏密封,定子的进口气口与转子的进口气口通过转子上的环形槽相通,此时就可以实现在定子固定的情况下无论转子转至何处气路都会通畅。定子结构固定在固定板上,转子结构的延长轴通过联轴器与步进电机相连,转子螺纹孔通过连接板与夹爪气缸相连,定子上的进口气口与电磁阀相连,转子上的进口气口与夹爪气缸相连,这样机构就能避免电机高速旋转而造成气管相互缠绕。

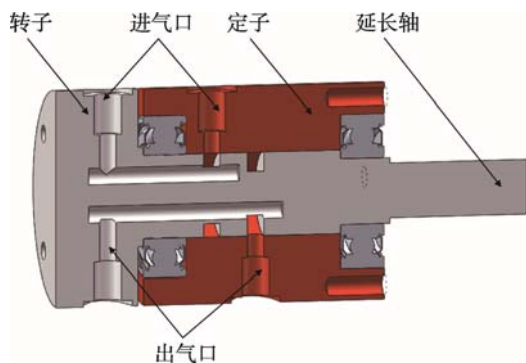


图 3 旋转分气接头零件

Fig.3 Rotating gas separator parts

此机构与传统缠绕机及人工操作相比操作简单,减少了烦琐的操作过程,且有外壳防护,降低了缠绕时电机转速过大或气缸动作时带来的危险,提高了工作效率及产品生产率。

2.2 导向机构设计

导向机构完成螺旋护套在直管段上的缠绕。导向机构包括导向槽、直线滑轨、螺旋护套定位块等,见图 4。底板留有调节垫块的螺纹孔,方便适应不同长度的导向槽的安装。导向槽安装在垫块上的凹槽中,

使用闪电式把手迅速固定导向槽,由于管段直径的不同,设计导向槽内侧为 8, 10, 12, 14, 16 mm 等 5 种不同的规格,分别用于缠绕直径 6, 8, 10, 12, 14 mm 的直管段。导向槽外部尺寸不变,方便不同规格导向槽的快速替换。螺旋护套定位块用来定位螺旋护套初始缠绕的位置。直线滑轨可以调节螺旋护套定位块的位置。导向机构的整体高度与旋转电机同心,减小了管件在缠绕过程中的误差。

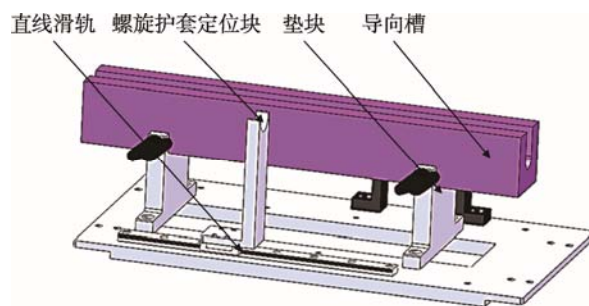


图 4 导向机构结构

Fig.4 Guide mechanism structure

3 螺旋护套缠绕装置控制系统设计

3.1 输入输出原件的选取

STC89C52RC 单片机 IO 口输出电压为 5 V 直流,无法直接控制 24 V 驱动的电磁阀,通过控制单片机输出低电平来控制光耦继电器的吸合与断开^[13],从而控制电磁阀的动作。单片机输出脉冲信号给驱动器,驱动步进电机。装置在工作时需要检测直管段的位置,在此选用对射式光电传感器来实现对直管段的检测^[14—16]。设备控制系统见图 5。

3.2 控制元件的选取

设备控制系统采用按键和旋钮控制。按键可以完成设备的启动、复位、急停,旋钮可以控制设备的运行时间及手自动的切换。手动模式时可以用来调试缠绕单根直管段时所用的时间,选择合适的时间档位。手动模式适合刚开始使用此装置的工人,自动模式适合熟练工进行操作且适合大批量螺旋护套的缠绕。其整体系统控制流程见图 6。

3.3 护套缠绕时间的控制

实际生产过程中,护套的长度有所不同,为了提高装置的适用性,需要对护套的缠绕时间进行设置。由螺旋护套的特征可得以下关系:

$$P \cdot n = L \quad (1)$$

式中: P 为螺旋护套的螺距; L 为螺旋护套的长度; n 为螺旋护套的匝数。

步进电机旋转的圈数等于螺旋护套的匝数,由步进电机的工作原理可知控制系统所需脉冲数:

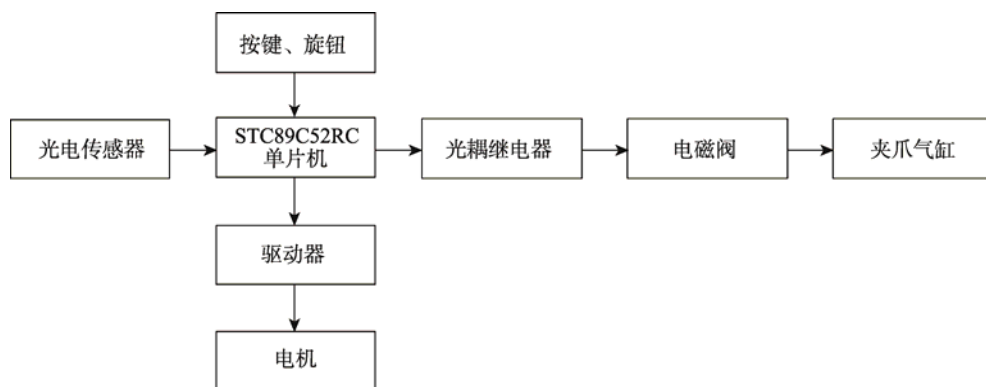


图 5 装置控制系统
Fig.5 Device control system

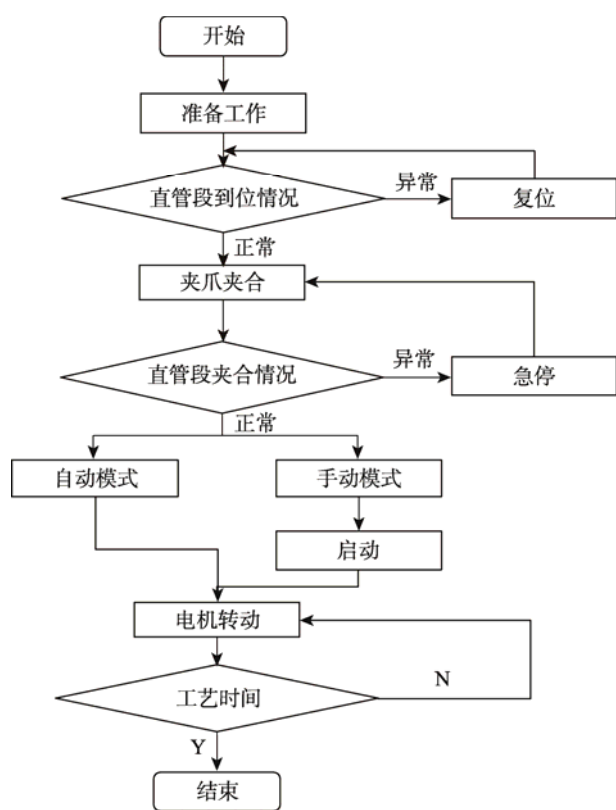


图 6 整体系统控制流程
Fig.6 Control flow of overall system

$$m = n \cdot 360 / \theta \quad (2)$$

$$m = f \cdot t \quad (3)$$

式中： m 为脉冲数； θ 为步距角； f 为单位时间内的脉冲频率； t 为缠绕时间。

由式（1—3）可得：

$$t = (360 \cdot L) / (f \cdot \theta \cdot P) \quad (4)$$

电机选型为两相步进电机，步距角为 1.8° ，单位时间内的脉冲频率为 1.5 kHz ，由式（4）可知当确定螺旋护套螺距 P 及螺旋护套长度 L 可求出电机旋转时间 t 。在系统中编写好时间控制程序，通过旋钮开关可以快速调节时间。

几种常用护套的缠绕时间控制见表 1。编写程序

时考虑到步进电机工作时的加减速过程及工人操作的熟练度，实际所用时间会加长 0.6 s 左右，对新产品及数量很少的护套有备用时间可供选择。

表 1 几种护套的时间控制
Tab.1 Time control of several sheaths

时间 t/s	螺距 P/mm	螺旋护套长度 L/mm
2.7	8	160
2.7	12	240
4	8	240
5	8	300

4 直管段的夹持变形控制

为了提高效率，该装置设计过程中采用气缸夹爪替代传统的三爪卡盘，气动力的大小直接影响夹持力的作用效果，由于管段材料为尼龙，夹持力过大会导致管段发生变形，因而需要对管段在夹持力作用下的变形情况进行分析。运用 Abaqus 有限元软件对管段在夹爪夹持过程中的变形进行分析。首先建立三维模型，对夹合机构部分做一些简化，设置夹爪与夹爪气缸的滑块固连于一体，对其进行建模。其次对模型进行参数的设置，在实际生产中允许气压大小为 0.35 MPa 左右，因此在仿真中对气缸的滑块沿气缸滑块运动的方向施加 0.35 MPa 的压力。所建 8 mm 气缸夹持直管段模型及仿真结果见图 7。

各个管段的最大位移变化见图 8，最大位移变形量为 $7.445 \mu\text{m}$ 。从图 8 中可以看出，夹爪挤压管段发生的变形很小，由于管段的材质由尼龙制成，属于弹性材料，可以自行恢复原始状态，所以对管件的夹持变形基本可以忽略，不影响产品的质量。

各个管段最大应力见图 9。从图 9 中可以看出， 6 mm 管段的应力变化量最大， 14 mm 管段的应力最小，随着直管段直径的增大，直管段的刚度在减小，其所受的应力也在逐渐减小，再根据位移变化量的大小，判断气压选择 0.35 MPa 是合理的。

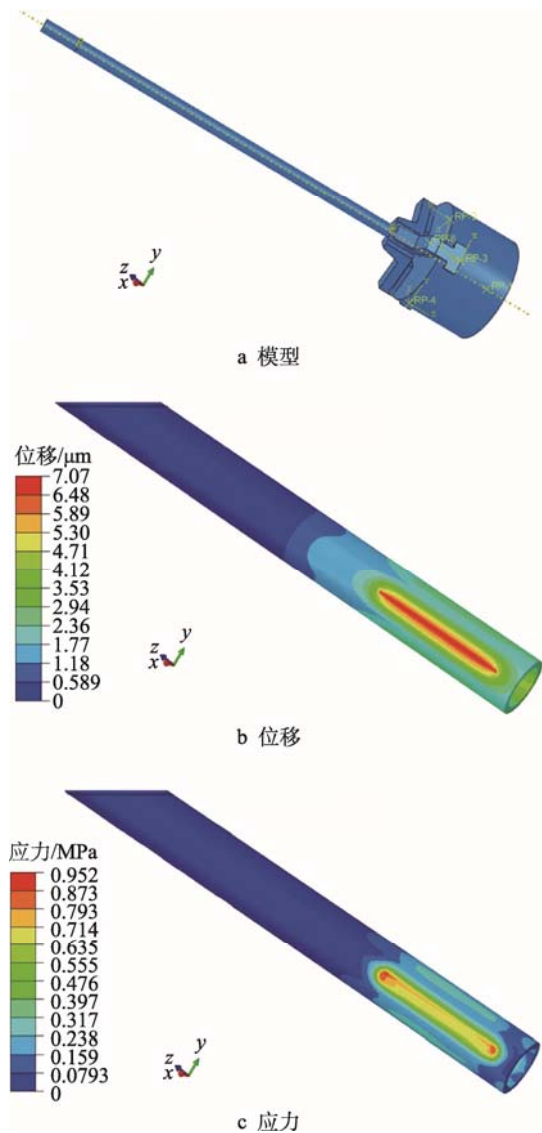


图 7 8 mm 管段的模型、位移和应力变化
Fig.7 Model, displacement and stress change diagram of 8 mm pipe segment

5 缠绕效果分析

所设计的螺旋护套自动缠绕装置生产现场测试情况见图 10。选取直径为 12 mm，长度分别为 240，160，100，60 mm 的螺旋护套各 50 根。再找一名熟

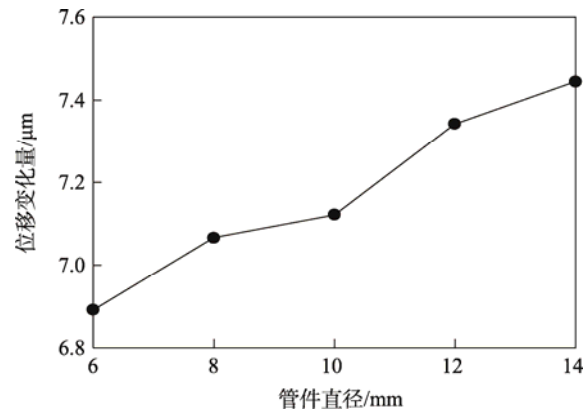


图 8 6 ~ 14 mm 管段的最大位移变化
Fig.8 Maximum displacement change of 6-14 mm pipe segment

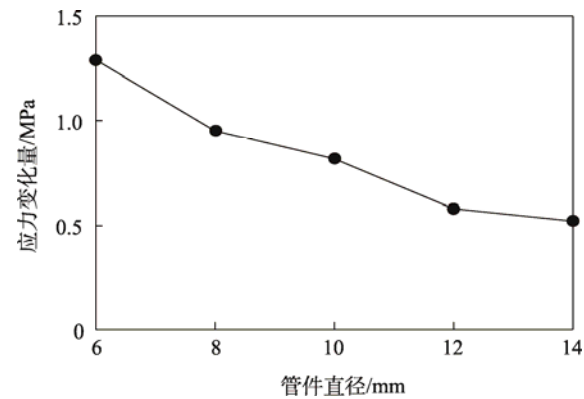


图 9 6 ~ 14 mm 管段的最大应力变化
Fig.9 Maximum stress change of 6-14mm pipe segment

练操作工，缠绕此类型的螺旋护套，记录下完成缠绕螺旋护套所需要的时间 t 。同时，将同种类型的螺旋护套用设备进行缠绕，记录完成缠绕螺旋护套所用的时间 t ，对比结果见表 2。

由表 2 可知，在相同条件下，240，160，100，60 mm 等 4 种螺旋护套，手工缠绕螺旋护套所用总时间比机器完成螺旋护套缠绕所用总时间多 7.2 倍、6.3 倍、5 倍、4.7 倍。在测试过程中，当电机带动夹爪转动时，没有发现有直管段与夹爪发生相对转动的情况，缠绕的螺旋护套效果较好。所设计的护套缠绕装置提高了护套的缠绕效率。



图 10 现场测试
Fig.10 Field test

表 2 手工/机器缠绕结果
Tab.2 Hand/machine winding results

护套长度 L/mm	手工缠绕时间 t/s	手工缠绕合格率/%	机器缠绕时间 t/s	机器缠绕合格率/%
240	2150	100	300	100
160	1505	100	240	100
100	950	100	190	100
60	620	100	130	100

6 结语

文中提出了一种自动螺旋护套缠绕装置,包括旋转机构和导向机构,改变了手工缠绕螺旋护套烦琐的操作工序,实现了螺旋护套的自动缠绕功能,并分析了夹爪夹持下直管段的变形情况和缠绕效果。该装置能够满足直径 6~14 mm 不同管径的直管段,工作性能稳定,运行平稳,与人工作业相比,提高了生产效率,实现了自动化,缠绕效率较人工缠绕最快提高了 7.2 倍,具有较强的推广和使用意义。

参考文献:

- [1] 郭晓春. 汽车制动管路中尼龙管的应用探究[J]. 科技创新与应用, 2015(18): 130.
GUO Xiao-chun. Application of Nylon Tube in Automobile Brake Pipeline[J]. Science & Technology Innovation and Application, 2015(18): 130.
- [2] 赵民. 尼龙管特点以及在汽车燃油管路中的应用[C]// 2010 中国汽车工程学会年会论文集, 中国汽车工程学会, 2010: 1049—1052.
ZHAO Min. Characteristics of Nylon Tube and Its Application in Automobile Fuel Pipeline [C]// Proceedings of the 2010 Annual Meeting of the China Society of Automotive Engineering, China Society of Automotive Engineering, 2010: 1049—1052.
- [3] 李峰, 刘岩. 尼龙管在汽车上的应用[J]. 专用汽车, 2002(1): 36—37.
LI Feng, LIU Yan. Application of Nylon Pipe in Automobile[J]. Special Purpose Vehicle, 2002(1): 36—37.
- [4] 于坤. 汽车尼龙管管路设计分析[J]. 汽车工艺师, 2016(9): 69—71.
YU Kun. Analysis of Automotive Nylon Pipe Design[J]. Automobile Technician, 2016(9): 69—71.
- [5] 王镇江. 多功能塑料螺旋护套生产线的研发设计[J]. 工程塑料应用, 2011, 39(6): 80—82.
WANG Zhen-jiang. Development and Design of Multi-functional Plastic Spiral Sheath Production Line[J]. Engineering Plastics Application, 2011, 39(6): 80—82.
- [6] 张斌. 汽车线束设计策略及原材料选用方法[J]. 科技创新导报, 2015, 12(23): 132—134.
ZHANG Bin. Automotive Wiring Harness Design Strategy and Selection of Raw Materials[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2015, 12(23): 132—134.
- [7] 张治国. 线束胶带缠绕机: 中国, 105374469A[P]. 2016-03-02.
ZHANG Zhi-guo. Wire Harness Tape Winding Machine: China, 105374469A[P]. 2016-03-02.
- [8] 于恒华. 手持式胶带自动卷绕装置: 中国, 201163554Y[P]. 2007-12-14.
YU Heng-hua. Hand-held Tape Automatic Winding Device: China, 201163554Y[P]. 2007-12-14.
- [9] BURNS A G, AUBREY K, HYLAND D, et al. Taping Machine for Wire Harness: US, 5355787[P]. 1996-09-25.
- [10] 李晓光, 钟飞. 管道外防腐卷材自动缠绕机的设计[J]. 包装工程, 2015, 36(1): 89—93.
LI Xiao-guang, ZHONG Fei. Design of Automatic Winding Machine for Anticorrosive Coil Outside Pipe[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(1): 89—93.
- [11] 郑耀阳. 光轴滚动螺旋传动装置[J]. 微细加工技术, 1993(2): 47—51.
ZHENG Yao-yang. Optical Axis Rolling Screw Transmission[J]. Microfabrication Technology, 1993(2): 47—51.
- [12] 郭联金, 谢俊堂. 一种气动旋转接头: 中国, 109442122A[P]. 2019-03-08.
GUO Lian-jin, XIE Jun-tang. Pneumatic Rotary Joint: China, 109442122A[P]. 2019-03-08.
- [13] 李虹静, 李升辉. 基于 STC8 系列单片机的继电器控制电路设计[J]. 科技与创新, 2019(13): 37—38.
LI Hong-jing, LI Sheng-hui. Design of Relay Control Circuit Based on STC8 Series Single Chip Microcomputer[J]. Science and Innovation, 2019(13): 37—38.
- [14] 黄滔, 邝仕强. 光电传感器在自动控制系统中的应用分析[J]. 信息与电脑(理论版), 2017(9): 149—150.
HUANG Tao, KUANG Shi-qiang. Application Analysis of Photoelectric Sensor in Automatic Control System[J]. Information and Computer (Theoretical Edition), 2017(9): 149—150.
- [15] 黄天扬. 传感器技术在自动控制系统中的应用及发展展望[J]. 山东工业技术, 2016(19): 264.
HUANG Tian-yang. Application and Development Prospect of Sensor Technology in Automatic Control System[J]. Shandong Industrial Technology, 2016(19): 264.
- [16] 蔡明伟, 刘磊. 光电传感器在自动控制中的应用[J]. 机电信息, 2019(17): 56—57.
CAI Ming-wei, LIU Lei. Application of Photoelectric Sensors in Automatic Control[J]. Electrical & Mechanical Information, 2019(17): 56—57.