

全自动线束缠绕机研发

张慧敏¹, 余晓磊¹, 王慧艺¹, 张金智²

(1.上海应用技术大学, 上海 201418; 2.上海万卡信实业有限公司, 上海 201401)

摘要: **目的** 缓解目前国内在线束包覆加工工序中人工劳动量大的问题。**方法** 设计可实现多分支线束的胶带缠绕的全自动线束缠绕机, 以实现胶带的自动缠绕与切割、多分支线束在包覆过程中的并束。通过线束张紧测试得到张紧力控制范围, 为设计捋线机构、实现线束的张紧控制提供依据。同时设计一套自动化缠绕的控制系统方案, 通过图像处理技术获取线束端点及交叉点坐标。**结果** 设备可完成线束胶带缠绕, 其胶带缠绕效率较人工提高了 4.7 倍。**结论** 此设备的研发实现了线束包覆的全自动化, 提高了线束胶带缠绕的生产效率。

关键词: 线束包覆; 多分支; 束线机构; 捋线机构; 控制系统

中图分类号: TB486 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)03-0194-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.03.037

Research and Development of Automatic Harness Wrapping Machine

ZHANG Hui-min¹, SHE Xiao-lei¹, WANG Hui-yi¹, ZHANG Jin-zhi²

(1.Shanghai Institute of Technology, Shanghai 201418, China;

2.Shanghai Mankason Industrial Co., Ltd., Shanghai 201401, China)

ABSTRACT: The work aims to alleviate the problem of a large amount of labor in the current harness coating processing procedure at home. The automatic harness wrapping machine that could realize the tape wrapping of the multi-branch harness was designed to achieve the automatic wrapping and cutting of the tape as well as the bundling of multi-branch harness in the coating process. Through the harness tension test, the tension control range was obtained, which provided the basis for the design of the threading mechanism and the harness tension control. At the same time, a set of automated winding control system schemes were designed. The end points and the intersection coordinates of the harness were acquired by image processing techniques. The equipment could complete the wrapping of the harness tape and its tape wrapping efficiency was improved, 4.7 times higher than that of the manual. The R & D of the equipment realizes the automatic harness coating, which improves the production efficiency of harness tape wrapping.

KEY WORDS: harness coating; multi-branch; bunching mechanism; threading mechanism; control system

线束加工包含送线、裁剪、插植、包覆、装配等一系列复杂程序^[1-2]。将插植完成的线束通过 PVC 或尼龙胶带^[3-4]按一定工艺缠绕起来, 此工序称为包覆定型。目前国内外对线束的自动化加工主要集中在送线、裁剪、插植的自动化设备的研发上, 因此国内外线束的包覆加工绝大多数为采用人工包覆缠绕的方法。国内外有关线束缠绕设备的研究^[5-8], 如

KOMAX 公司研发胶带缠绕机 KTR160, 可实现线束的直线包覆, 在多分支线束包覆时比较复杂, 包覆过程依旧需要人工操作, 并且该设备售价昂贵。国内一家公司研发了一种手持式线束缠绕机, 提高了线束生产效率, 但在线束的整个包覆过程依然需要人工参与。全自动线束缠绕机是根据线束的缠绕工艺^[9-11]设计的一台自动化线束包覆设备, 可以自动完成多分

收稿日期: 2017-08-05

基金项目: 上海市联盟计划 (LM201630)

作者简介: 张慧敏 (1962—), 女, 博士, 上海应用技术大学教授、硕导, 主要研究方向为过程流体机械结构优化和性能分析, 压力容器和管道缺陷评定, 机械设备自动化及稳定性。

支线束、不同工艺要求的线束包覆。

1 缠绕机的组成和工作过程

全自动线束缠绕机由工作台和包覆头 2 部分组成,其结构见图 1。工作台部分完成线束布线的工作。布线过程按照线束工艺不同进行分类,线束通过工作台上的插头架以及束线夹固定。包覆头部分完成线束包覆、胶带切断、线束并束的工作。包覆过程中,通过工作台上的模组实现坐标定位,开口环驱动电机配合开口环、胶带盘、并束推杆等实现线束的包覆。设备主要包括缠绕机构、胶带切断机构、束线机构、捋线机构。

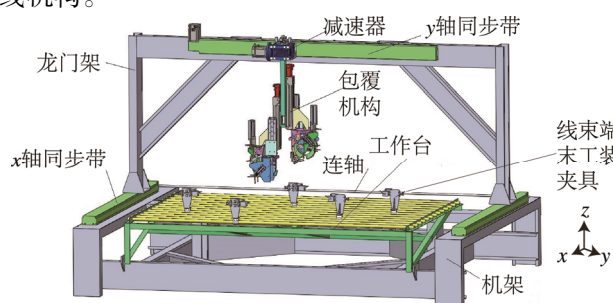


图 1 全自动线束包覆机三维设计

Fig.1 3D design of automatic harness wrapping machine

线束缠绕机的工作过程主要包括 CCD 检测、图像处理、线束包覆、并束、胶带切断,具体过程如下所述。

1) 人工按照线束缠绕加工工艺将线束布置于设备工作台上,将工作台固定到机架上,同时让包覆头、机架模组等回到初始位置。

2) 通过 CCD 装置进行全局图像提取,通过图像处理规划线束的包覆路径,将处理得到的路径传输给 PLC。包覆头开口环将线束锁住,设备移动,对线束的分支进行包覆,当每个分支包覆完成后,由切断胶带机构将胶带切断。

3) 设备通过 CCD 对线束的分支点进行检测,若不是分支点,则继续进行分支包覆;若是,则通过并束机构对线束并束。并束完成之后,对线束的主干进行包覆。线束包覆完成,切断胶带。

4) 通过 CCD 进行产品质量检测,满足要求则合格,在线束上贴上产品标签,然后卸料。反之则产品废弃,作废料处理。

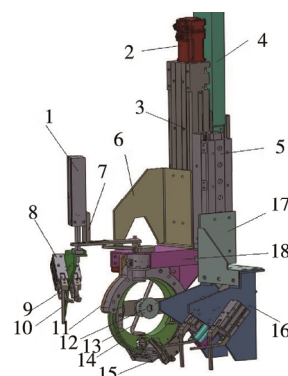
2 缠绕机的主要机构设计

全自动线束缠绕机的难点在于多支线束在包覆过程中线束在分叉点的并束与包覆、包覆过程中的张力控制以及设备的自动化控制。文中根据此难点设计出合理的包覆头机构、束线机构、捋线机构以及线

束端部夹持机构。

2.1 缠绕机构

线束胶带缠绕机构主要是完成线束的包覆。传统的缠绕机是将胶带盘外置,这样设备难免会在运行过程中产生剧烈振动,使线束产生变形。振动过大后会导导致线束端子与线盒脱落,更有可能发生线束断裂的现象,因此降低包覆设备振动是设备运成功的关键。胶带缠绕装置主要由吊杆、伺服电机、步进电机、线性模组和胶带座等部件组成,见图 2。将胶带安装在包覆机构胶带座上,设备通过步进电机带动减速器,在传感器的反馈信号作用下找到线束所在位置。通过调节模组将线束放进胶带盘开口处,由包覆电机带动包覆机构胶带盘转动,再通过 z 轴丝杠模组、x 轴同步带模组和 y 轴同步带模组的运动配合完成线束的包覆。根据线束包覆工艺,建立电机之间的数学模型,控制电机的速度变化,完成花包、密包及定点缠绕的工艺。在缠绕过程中,通过设计摆环与胶带盘来防止线束甩出。



1.束线气缸 2.伺服电机 3.线性模组 4.吊杆 5.捋线气缸 6.转接架 7.拨叉 8.束线指抓气缸 9.长指爪 10.短指爪 11.包壳架 12.胶带盘 13.摆环 14.绕带齿轮环 15.切断胶带机构 16.捋线机构 17.捋线架 18.包壳架

图 2 胶带缠绕机构

Fig.2 Tape wrapping mechanism

线束在包覆完成后胶带需要进行切断。传统方法是工人将刀片绑于手指上然后进行切割,而该设备在线束包覆完成后采用气缸作用,在包覆完成后对胶带的进行切断,大大降低了人工操作的危险系数。机构原理见图 3。

2.2 束线机构

根据工艺要求,多支线束的包覆,在分支包覆完成后需要对分支线束进行拨线及并束,然后才能对主干线束进行包覆。该工艺的实现采用束线装置见图 4。该装置由气缸、指爪气缸、转缸和连杆等构件组成。装置通过转缸带动摇臂,经滑槽来满足束线机构的转动,在需要束线时,束线气缸上下运动,使装置设有 2 种类型的爪勾,长爪是将线束从远处抓取来,小爪将线束锁住,

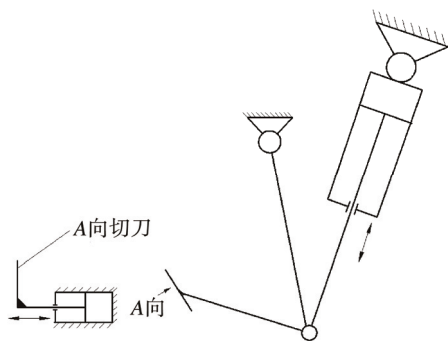


图3 切断胶带机构原理
Fig.3 Principle of tape cutting mechanism

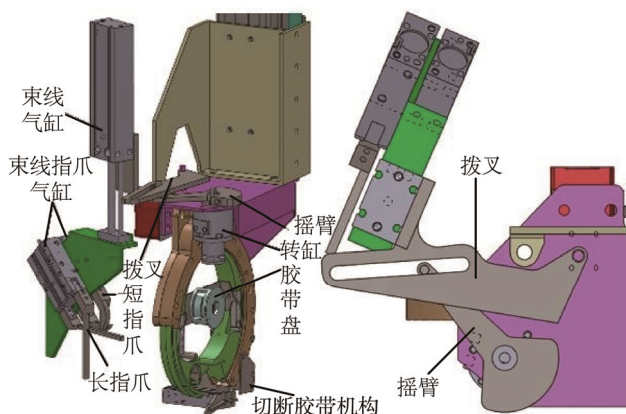


图4 束线机构
Fig.4 Bunching mechanism

防止在拨线过程中线束抓取不稳定。

2.3 捋线机构

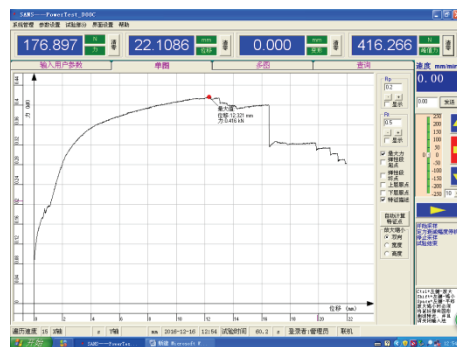
2.3.1 线束张紧力测试

通过拉力测试仪测出线束的张力见图5，选用线束中2股、3股、5股线进行测试，测试8组线束得到线束弹性段最大值及线束断裂时的最大拉力值。并得到弹性段最大值的平均值分别为74.465, 90.342, 177.244 N。最大承受力的平均值分别为161.804, 292.323, 417.128 N。线束受力小于弹性段最大值时完好。当其受力大于弹性段最大值时，线束将损坏。将所得到的平均值数据输入到控制器内，根据线束的股数选取线束末端工装夹具上弹簧的弹力大小，并配合捋线机构对包覆过程中线束张力进行控制。

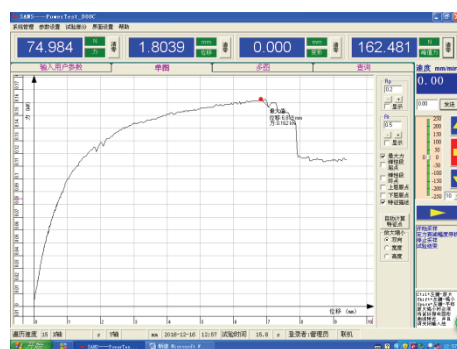
2.3.2 捋线机构设计

捋线机构的操作对象为线束，线束在其受到外力的作用时易发生变形，并且在设备在不适当夹持时，线束会出现断裂现象。通过上述线束张紧力实验，获得文中所需实验对象线束不同分段的张紧力，为捋线机构的设计提供依据。

捋线机构由指爪气缸、电机、包有聚氨酯的随动轮等构件组成。线束在缠绕过程中，由y向模组的移



a 5股线



b 2股线

图5 线束拉伸张力曲线
Fig.5 The tensile tension curve of the harness

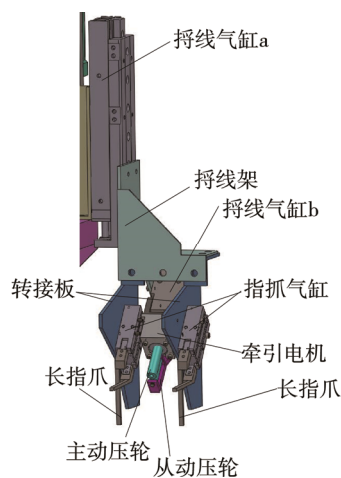


图6 捋线机构
Fig.6 Threading mechanism

动配合包覆头的转动实现线束的包覆。长指爪实现线束的抓取，使得线束可以被主动压轮和从动压轮压住。在需要捋线操作时，捋线气缸a控制捋线机构上下运动，不需要时，则回到零位。在包覆过程中调节牵引电机的转速以及捋线气缸b开合大小来控制线束在包覆过程中的张力，并通过线束端部夹持机构实时监测线束拉力是否合适。

2.4 线束端部夹持机构

线束端部夹持装置是线束与工作台连接的装置，方便设备稳定包覆。根据线束的加工工艺，线束在被

胶带缠绕过程中,一端被绷直,当线束受力大于一定值后,插值完成的端子将会被剥落甚至线束被拉断。

为避免此类问题发生,线束端部夹持机构的设计尤为重要。夹持机构由线束端末工装夹具、气缸、传感器、拉杆等部件组成,见图7。通过线束端部夹持机构中的插头座将线束端子夹住。当设备在运行时,若线束张力大于弹性段最大拉力值时,触发张力报警装置,提醒操作者对线束张力进行调整;若张力超过弹性段最大拉力值时而不能及时调整,则触发张力过载解锁传感器,此时在气缸作用下,打开线束端末工装夹具,松开线束,从而达到保护线束的作用。

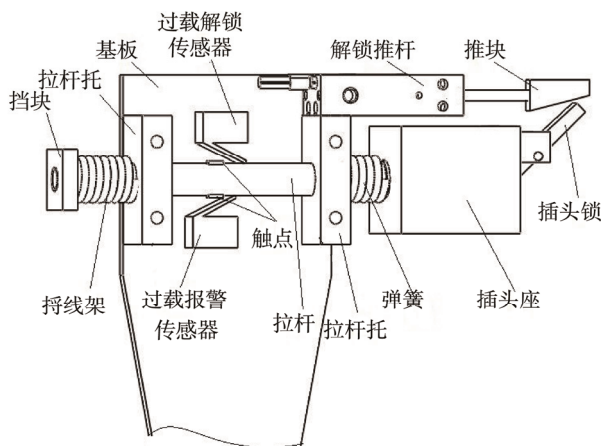


图 7 线束端部夹持机构
Fig.7 Harness end gripping mechanism

3 缠绕机控制系统

3.1 整体控制方案

设备控制系统分为手动和自动模式^[12—13]。手动模式可以完成设备的单步操作以及原点回归的调试,自动模式主要用于线束起始点包覆、端点检测以及设备调试和单个包覆动作的执行,其他工作模式用于试验自动,系统控制流程见图 8。首先要对设备进行状态检测,判断是否符合进行下一步工作的条件,然后等待上位机的执行指令,用于改变辅助继电器 M 状态以达到控制相应功能程序的执行,并检测机器状态保护系统稳定安全。

根据需求,在设备控制系统硬件的选取时,应尽可能地与公司现有的自动化设备控制系统硬件设备相一致。上位机选用计算机作为控制系统的主控,下位机用 PLC 控制执行系统,选择三菱 FX_{3U}-128MT-ES-A 作为主单元。为了满足控制要求选用 2 个 FX_{2N}-5A 特殊功能模块。为了适应控制轴数要求,增加 2 个 FX_{2N}-1PG-E 定位模块。由于 PLC 主机是晶体管输出型,无法输出开关量控制系统中的电磁阀,所以外挂 2 个 FX_{2N}-16EYR 继电器作为输出扩展模块。

设备系统控制框图见图 9。通过 FX_{3U} 系列 PLC 自带的 RS-422-BD 实现对 PLC 参数的读取、写入、监控及控制。

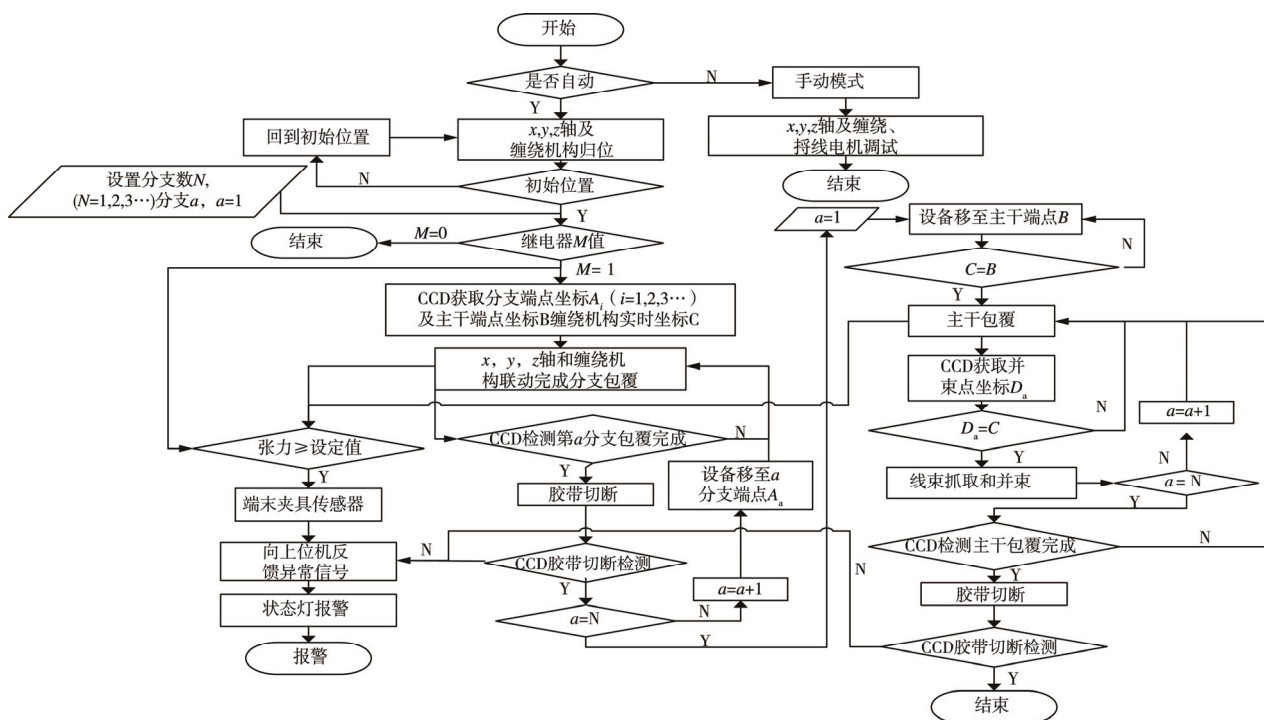


图 8 整体系统控制流程
Fig.8 Integral system control process

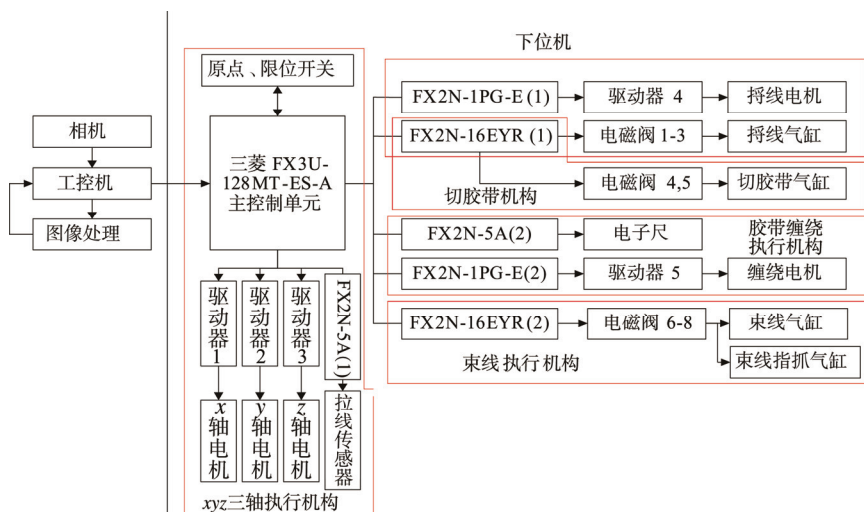


图9 设备控制系统
Fig.9 Device control system

3.2 CCD定位方案

利用工业相机 CCD 进行图像拍摄, 将图像传输到上位机, 运用 HALCON 软件^[14-16]内 threshold, skeleton 等算子对线束端点及分叉点的坐标进行提取。通过坐标点获取线束各段长度, 并通过坐标系转换得到世界坐标系下各点的坐标值。并通过计算得到包覆线束的最佳路径。将计算完成的信息传输到 PLC 控制器, 由控制器完成对执行机构的运动控制, 图像处理结果见图 10。

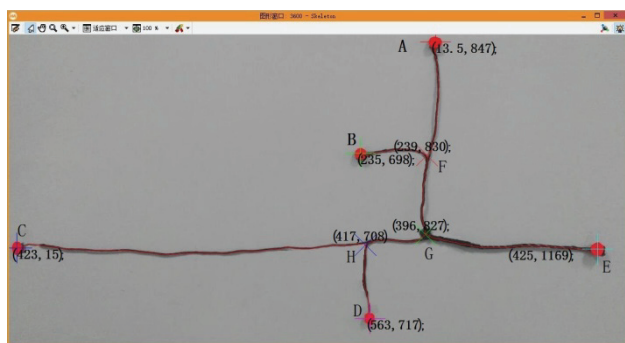


图10 图像处理结果
Fig.10 Image processing results

3.3 缠绕控制方案

根据线束加工工艺以及线束自身柔性的特点, 见图 11, 线束胶带缠绕时分为 3 段缠绕。第 1 段为近线束末端工装夹具段的线束缠绕, 第 2 段为近线束交叉点并束段的线束缠绕, 第 3 段为线束中间段缠绕。这 3 段的缠绕机构运动控制方法有区别。通过上述 CCD 所提取出的交叉点及端点坐标, 配合设备 xyz 轴上的拉线传感器及电子尺, 准确得到设备缠绕机构的坐标, 实时反馈给上位机。通过处理得到缠绕机构与线束端点、交叉点的位置关系, 切换缠绕模式。

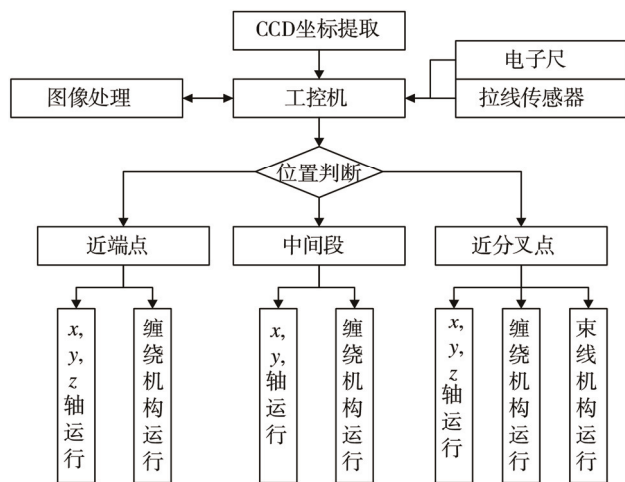


图11 线束缠绕控制分类
Fig.11 Harness wrapping control classification

4 样机试验与结果分析

4.1 样机制作

根据设计方案, 对全自动线束缠绕设备进行制作, 加工的样机见图 12。为减少加工时间, 采用一些简单结构零件等塑料制品使用 3D 打印机 FDM 200MC 和 PROJECT 3510 HD PLUS 设备进行打印, 其余零件由其他非标厂家进行生产。将加工的零件安装, 对全自动线束缠绕机进行试验分析。

4.2 试验

选取同一类型直线型线束多根, 线束总长 L 为 1550 mm。选取一个熟练操作工, 对此线束进行胶带缠绕, 记录下缠绕完每根线束所需要的时间并计算得到平均完成时间 t 。同时, 将同种类型的线束使用设备进行包覆, 记录每根包覆完成所需的时间并计算得

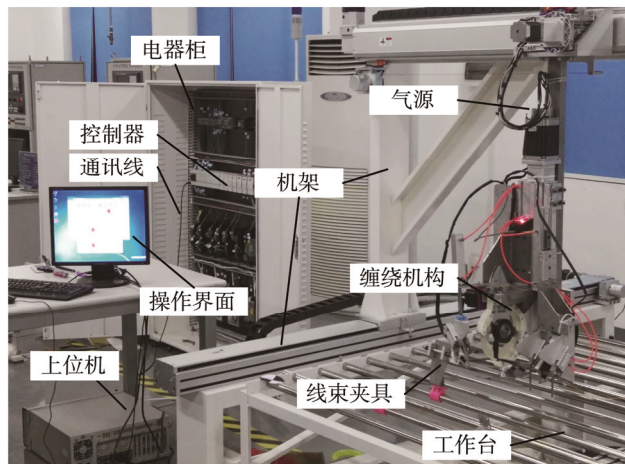


图 12 全自动线束缠绕机试验
Fig.12 The experiment of automatic harness wrapping machine

到平均完成时间 t ，见表 2。

表 2 人工/设备缠绕结果
Tab.2 The results of artificial/equipment wrapping

分类	L/mm	t/s	合格率/%
人工	1550	114.79	100
机器	1550	24.36	92.5

由表 2 可知，在相同的条件下，人工完成胶带缠绕的总平均时间为 114.79 s，设备为 24.36 s，设备较人工效率提高了 4.7 倍。经公司质量部门检测，人工缠绕合格率为 100%，机器为 92.5%。通过观察设备缠绕的未合格产品，以及公司质量部门的说明，线束在分叉点的包覆未满足要求，线束分叉点距离线束端部距离不足或过长。通过上位机控制设备在分叉点处的运行速度，以及通过 CCD 进行交叉点坐标采集精度来提高设备的运行精度，提高设备包覆的合格率。

5 结语

设计了全自动线束缠绕机，改变了手工及半自动线束包覆的落后工序，实现无人条件下完成线束的胶带缠绕的自动化包覆工作，包覆效率较人工提高了 4.7 倍。通过对线束张力的实验，得到不同股数下线束张力的大小，为捋线机构的运行提供数据保障，保护线束在胶带缠绕过程中不受损伤。通过机器视觉技术，可方便快捷地找到线束的端点及交叉点的坐标位置，为设备的自动化提供了保障。

参考文献：

[1] 张慧敏, 林聪, 康浪. 全自动线束插植机的研发[J]. 机械设计与制造, 2016(8): 189—192.
ZHANG Hui-min, LIN Cong, KANG Lang. Develop-

ment of Wire Harness Assembly Machine [J]. Machinery Design & Manufacture, 2016(8): 189—192.

[2] 张慧敏, 康浪, 林聪, 等. 多线色送线压接插植设备的设计与样机试验[J]. 现代制造工程, 2017(2):96—100.
ZHANG Hui-min, KANG Lang, LIN Cong, et al. The Design of Multi-color Line Feeding Crimping and Interpolation Machine and Prototype Testing[J]. Modern Manufacturing Engineering, 2017(2): 96—100.

[3] 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(23): 132—134.
ZHANG Bin. Automotive Wiring Harness Design Strategy and Selection of Raw Materials[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2015(23): 132—134.

[4] TAPE C M. Use Masking Tape Where Required to Prevent Contact of Sealant With Adjoining Surfaces that Otherwise Would be Permanently Stained or Damaged by Such Contact or by Cleaning Methods Required to Remove Sealant Smears[J]. Remove Tape Immediately after Tooling without disturbing Joint Seal, 2013: 13—24.

[5] 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.

[6] 于恒华. 手持式胶带自动卷绕装置: 中国, 2011-63554Y[P]. 2007-12-14.
YU Heng-hua. Hand-held Tape Automatic Winding Device: China, 201163554Y[P]. 2007-12-14.

[7] BURNS A G, AUBREY K, HYLAND D, et al. Taping Machine for Wire Harness: US, 5355787[P]. 1996-09-25.

[8] SKÖLD, PER-OVE. Taping Machine for Wire Harness: US, EP0542862 B1[P]. 2002-07-16.

[9] LIU G, WANG J, JI G. A General Nonlinear Kinematic Model for Tape Winding and its Calibration[C]// 2015 IEEE Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference, 2015: 988—991.

[10] THOMAS G L. Electrical Interconnect Interface and Wire Harness Test and Test Development System and Method: US, 7112969 B1[P]. 2006-09-26.

[11] 朱吉满, 徐本柱, 凌欣南, 等. 车线束工艺工序及工序关系自动生成[J]. 图学学报, 2013, 34(2): 38—46.
ZHU Ji-man, XU Ben-zhu, LING Xin-nan, et al. Automatical Generation of Technology Process and Its Relations for Automotive Wiring Harnesses[J]. Journal of Graphics, 2013, 34(2): 38—46.

[12] 胡良龙, 胡志超, 高刚华, 等. 基于 PLC 的种子包衣机自动控制系统设计与实现[J]. 农业工程学报,

- 2007, 23(8): 140—144.
- HU Liang-long, HU Zhi-chao, GAO Gang-hua, et al. Design and Realization of Automatic Controlling System for Seed Coater Based on PLC[J]. Transactions of The Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(8): 140—144.
- [13] 许川佩, 彭圣华. 基于 PLC 的自动化生产线控制系统[J]. 仪表技术与传感器, 2016(11): 85—89.
- XU Chuan-pei, PENG Sheng-hua. Control System Based on PLC for Automated Production Line [J]. Instrument Technique and Sensor, 2016(11): 85—89.
- [14] 张柱, 张莹, 闫璠, 等. 基于 HALCON 的全景摄像机标定及应用研究[J]. 计算机工程与应用, 2016, 52(10): 241—246.
- ZHANG Zhu, ZHANG Ying, YAN Fan, et al. Application Study of Omnidirectional Camera Calibration Based on HALCON[J]. Computer Engineering & Applications, 2016, 52(10): 241—246.
- [15] LIU X P, CHEN Y C, PANG Z F. Camera Calibration Technique Based on HALCON Machine Vision [J]. Applied Mechanics & Materials, 2013, 366: 666—671.
- [16] 刁智华, 吴贝贝, 毋媛媛, 等. 基于图像处理的骨架提取算法的应用研究[J]. 计算机科学, 2016, 43(S1): 232—235.
- DIAO Zhi-hua, WU Bei-bei, WU Yuan-yuan, et al. Application Research of Skeleton Extraction Algorithm Based on Image Processing[J]. Computer Science, 2016, 43(S1): 232—235.