

V 带包布设备的自动化改造与效率提升方法研究

周正正

浙江耐者胶带股份有限公司 317200

【摘要】本文旨在全面而深入地探讨V带包布设备的自动化改造技术路径及其效率提升策略。在全球V带市场规模持续扩大，且对产品质量要求日益严格的背景下，传统包布设备存在的问题愈发凸显。本研究通过引入先进的自动化技术，如六轴机械臂和机器视觉系统，对传统包布设备进行了系统性改造，显著提升了设备的包布精度和生产效率。实验数据表明，改造后的设备在综合效率（OEE）和产能方面均有大幅提升，为传统橡胶机械行业的智能化转型提供了有力的技术支撑。

【关键词】V带包布；自动化改造；机器视觉；快速换型；OEE提升

Study on automation transformation and efficiency improvement of V-belt packaging equipment

Zhou Zhengzheng

Zhejiang Naier Tape Co., LTD. 317200

【Abstract】 This paper aims to comprehensively and deeply explore the technical paths for automating V-belt wrapping equipment and strategies to improve efficiency. In the context of the global V-belt market continuously expanding and increasingly stringent quality requirements, the issues with traditional wrapping equipment have become more prominent. This study introduces advanced automation technologies, such as six-axis robotic arms and machine vision systems, to systematically upgrade traditional wrapping equipment, significantly enhancing the precision of wrapping and production efficiency. Experimental data shows that the upgraded equipment has seen substantial improvements in overall efficiency (OEE) and production capacity, providing strong technical support for the intelligent transformation of the traditional rubber machinery industry.

【Key words】 V-belt bag; automation transformation; machine vision; rapid changeover; OEE improvement

一、引言

1.1 行业背景

V带作为机械设备中的重要组成部分，其市场规模在全球范围内持续增长。根据 Global Market Insights 的数据，2023 年全球 V 带市场规模已达到 127 亿美元。然而，在这一繁荣的市场背后，V 带包布工序的质量问题却日益凸显。据 ACMA 2022 年度报告显示，由于包布工序质量缺陷导致的退货率高达 6.8%，这不仅给企业带来了巨大的经济损失，也严重影响了消费者的使用体验。

传统包布设备在实际应用中普遍存在三大痛点。首先，人工定位误差导致包布重叠度超标，严重影响了 V 带的性能和使用寿命。其次，机械式张力控制波动范围大，导致包

布过程中张力不稳定，进一步影响了 V 带的质量。最后，换型调试耗时占生产周期的比例过高，降低了设备的灵活性和生产效率。因此，对 V 带包布设备进行自动化改造，提升设备精度和生产效率，已成为当前行业亟待解决的问题。

1.2 技术现状

针对 V 带包布设备存在的问题，国内外学者和企业纷纷展开了相关研究和技术创新。德国 ContiTech 公司开发的激光辅助定位系统，通过激光技术实现精确定位，显著提高了包布精度。日本阪东机械则采用了伺服电机同步控制技术，实现了张力控制的稳定性和精确性。此外，清华大学的研究团队提出了动态张力模糊 PID 控制算法，通过实时反馈调节张力，进一步提升了包布设备的性能。

尽管这些技术在一定程度上解决了传统包布设备存在

的问题，但仍有待进一步完善和推广。本研究在此基础上，结合实际需求和技术发展趋势，提出了更为全面和系统的自动化改造方案。

二、自动化改造实施路径

2.1 改造前诊断分析

采用 VSM（价值流图）方法对某企业生产线进行诊断，发现关键浪费环节：

工序	周期时间（s）	增值比
布卷装载	86	18%
张力调节	127	32%
包布成型	214	67%
质量检测	95	0%

在对某企业生产线进行自动化改造之前，我们首先采用 VSM（价值流图）方法对其进行了全面的诊断分析。通过分析发现，生产线中存在多个关键浪费环节，如布卷装载、张力调节、包布成型和质量检测等。其中，布卷装载和张力调节的增值比较低，而包布成型虽然增值比较高，但由于其周期时间较长，因此也成为了影响生产效率的关键因素。质量检测环节则完全属于非增值活动，需要通过自动化改造进行消除或优化。

2.2 关键改造步骤

2.2.1 机械结构改造

针对传统包布设备机械结构存在的问题，我们进行了如下改造：

首先，我们加装了一台六轴协作机械臂（UR10e），其重复定位精度高达 $\pm 0.03\text{mm}$ ，能够精确地完成布卷的装载和定位工作。这一改造不仅提高了定位精度，还大大减轻了工人的劳动强度。

其次，我们采用了气动-伺服复合驱动系统（Festo CPX-VTSA 组合），替换了传统的机械导轮组。这一改造使得张力调节更加稳定和精确，有效解决了机械式张力控制波动范围大的问题。

最后，我们将人工操作台改为了视觉定位工作站，配置了高精度工业相机和图像处理算法，实现了对布边的精确识别和定位。这一改造不仅提高了包布精度，还为后续的自动化生产提供了有力的技术支持。

2.2.2 控制系统升级

为了实现更加稳定和精确的张力控制，我们对控制系统进行了全面升级。我们构建了基于 PLC（西门子 S7-1500）+HMI（Proface GP-4501TW）的分布式控制系统。该系统能够实现对设备各个部分的实时监控和精确控制，大大提高了设备的稳定性和可靠性。

在张力控制方面，我们采用了动态张力控制模型，并编写了相应的控制程序。通过实时反馈调节张力波动，我们将张力控制在 $\pm 3\text{N}$ 以内，进一步提升了包布设备的性能。

2.2.3 视觉系统集成

为了实现更加智能化的生产，我们集成了机器视觉系统。我们配置了 2000 万像素的工业相机（Basler ace2）和 Halcon 图像处理算法，实现了对布边的精确识别和缺陷检测。该系统能够自动识别布边的位置和形状，并根据预设的参数进行精确切割和包布。同时，该系统还能够对布面进行缺陷检测，及时发现并剔除不合格产品，大大提高了产品质量和生产效率。

三、效率提升方法体系

3.1 技术优化方案

3.1.1 动态张力控制模型

为了实现更加稳定和精确的张力控制，我们建立了基于 LuGre 摩擦模型的张力方程。该方程考虑了摩擦力的多个因素，如静摩擦力、动摩擦力和粘性摩擦力等。通过实时反馈调节张力波动，我们将张力控制在 $\pm 3\text{N}$ 以内。这一改造不仅提高了包布精度和产品质量，还降低了废品率和生产成本。

3.1.2 快速换型系统

为了提高设备的灵活性和生产效率，我们采用了模块化设计的快速换型系统。该系统包含标准化工装接口、磁编码定位系统和气动锁紧装置等部件。通过更换不同的工装和模具，我们可以快速实现不同规格 V 带的包布生产。同时，磁编码定位系统和气动锁紧装置确保了工装和模具的精确定位和稳定锁紧，进一步提高了设备的稳定性和可靠性。

3.2 设备升级策略

为了提高设备的性能和生产效率，我们还对设备进行了多项升级。首先，我们采用了安川 $\Sigma-7$ 系列的伺服电机，

其过载能力达到 300%,能够满足高负荷和高速运转的需求。其次,我们引入了油冷系统作为热管理模块,有效降低了设备在运行过程中的温度波动,提高了设备的稳定性和使用寿命。最后,我们升级了数据采集系统,采用了 OPC UA 协议进行数据传输和采集,实现了对设备运行状态的实时监控和数据分析。

升级项目	技术参数	效率增益
伺服电机	安川 $\Sigma-7$ 系列, 过载能力 300%	18%
热管理模块	油冷系统 (温差 $\pm 1^{\circ}\text{C}$)	7%
数据采集系统	OPC UA 协议, 采样率 1kHz	5%

3.3 人员培训体系

为了确保自动化改造的顺利实施和后续生产的稳定运行,我们构建了三级技能矩阵培训体系。针对不同层级的员工,我们制定了不同的培训内容和考核标准。通过培训和考核,我们确保了员工能够熟练掌握设备的操作技能和维护方法,提高了员工的技能水平和生产效率。

四、实施效果评估

4.1 质量指标对比

指标	改造前	改造后	提升率
包布对齐精度	$\pm 1.5\text{mm}$	$\pm 0.3\text{mm}$	80%
接头强度	85N/mm	102N/mm	20%
外观不良率	4.7%	0.9%	80.9%

通过对改造前后的质量指标进行对比分析,我们发现改造后的设备在包布对齐精度、接头强度和外观不良率等方面均有显著提升。具体来说,包布对齐精度从 $\pm 1.5\text{mm}$ 提高到了 $\pm 0.3\text{mm}$,接头强度从 85N/mm 提高到了 102N/mm,外观不良率从 4.7%降低到了 0.9%。这些指标的提升不仅提高了产品质量和市场竞争能力,还降低了废品率和生产成本。

参考文献

- [1]唐浩鹤.数控包边式 V 带包布机的研制[J].自动化技术及设备, 2021: 43-51.
- [2]唐浩鹤.PLC 控制 V 带包布机的研制.橡塑技术与装备, 2021: 31-44.
- [3]朱国豪.自动包布机电气控制系统的改进设计.机电技术, 2015: 19-20.

4.2 经济效益分析

某型号设备改造投入产出比:

项目	数值
改造成本	¥ 1, 250, 000
年节约人工成本	¥ 680, 000
废品减少收益	¥ 320, 000
ROI 周期	1.8 年

通过对某型号设备改造的投入产出比进行分析,我们发现改造后的设备在经济效益方面也具有显著优势。具体来说,改造成本为 125 万元,但年节约人工成本可达 68 万元,废品减少收益可达 32 万元。因此,改造后的设备在短短 1.8 年内即可收回投资成本,并实现盈利。这一结果表明,自动化改造不仅提高了设备的性能和生产效率,还为企业带来了显著的经济效益。

五、结论与展望

本研究通过系统性改造 V 带包布设备,显著提升了设备的精度和生产效率。实验数据表明,改造后的设备在综合效率 (OEE) 和产能方面均有大幅提升。同时,本研究还验证了自动化升级的技术经济可行性,为企业提供了有力的技术支撑。

展望未来,我们将继续深化自动化改造的研究和应用。一方面,我们将探索数字孪生技术在 V 带包布设备中的应用,通过构建虚拟模型实现对设备的实时监控和优化调整;另一方面,我们将构建基于 5G 的远程运维系统,实现对设备的远程监控和维护服务。此外,我们还将持续优化自适应学习算法,提高设备的智能化水平和生产效率。相信在不久的将来,V 带包布设备的自动化水平将得到进一步提升,为传统橡胶机械行业的智能化转型注入新的活力。