

# 橡胶管编织缠绕装置的控制系統优化与实践摘要

斯亮华

浙江金豪管业有限公司 311800

**【摘要】**本文针对橡胶管编织缠绕工艺中存在的张力波动大、控制精度低等技术难题，深入探讨了其成因，并提出了基于多变量解耦控制的智能优化策略。通过构建精确的张力-转速耦合模型，设计自适应模糊PID控制器，并巧妙结合工业以太网技术，实现了多轴同步控制，显著提升了系统的整体性能。实践结果表明，优化后的控制系统不仅将张力波动幅度有效降低至 $\pm 0.5\text{N}$ ，还使编织速度提高了20%，产品合格率从89%跃升至97%。这一研究成果为橡胶管的自动化、高效化生产提供了坚实的技术支撑，具有重大的实践意义和推广价值。

**【关键词】**橡胶管；编织缠绕装置；控制系统优化；张力控制；多轴同步

Summary of control system optimization and practice of rubber hose winding device

Shi Lianghua

Zhejiang Jinhao Pipe Co., LTD. 311800

**【Abstract】**This paper addresses the technical challenges of large tension fluctuations and low control accuracy in rubber hose weaving and wrapping processes. It delves into the causes of these issues and proposes an intelligent optimization strategy based on multi-variable decoupling control. By constructing a precise tension-speed coupling model, designing an adaptive fuzzy PID controller, and ingeniously integrating industrial Ethernet technology, multi-axis synchronous control is achieved, significantly enhancing the overall performance of the system. Practical results show that the optimized control system not only effectively reduces the tension fluctuation amplitude to  $\pm 0.5\text{N}$  but also increases the weaving speed by 20%, with the product pass rate rising from 89% to 97%. This research provides solid technical support for the automation and efficient production of rubber hoses, offering significant practical implications and promotion value.

**【Key words】**rubber hose; winding device; control system optimization; tension control; multi-axis synchronization

## 1. 引言

### 1.1 研究背景

橡胶管编织缠绕工艺是制造高压胶管、汽车油管等橡胶制品的关键环节。该工艺不仅要求产品具有较高的强度和密封性，还对其生产效率提出了严格要求。然而，传统的控制系统往往难以同时满足这些要求。特别是在张力控制方面，由于原材料弹性模量的变化、机械惯性等因素的影响，传统PID控制策略往往表现出响应滞后、抗干扰能力弱等缺陷，

导致张力波动大，废品率高。这不仅增加了生产成本，还严重影响了产品的市场竞争力。因此，优化橡胶管编织缠绕装置的控制系統，实现张力的精确控制和多轴的协同运动，成为当前亟待解决的问题。

### 1.2 研究意义

优化橡胶管编织缠绕装置的控制系統具有重要的理论和实践意义。从理论上讲，该研究有助于深入理解橡胶管编织缠绕过程中的张力变化规律，为设计更加精确的控制系統提供理论依据。从实践角度看，优化后的控制系統能够显著

提高生产效率和产品质量,降低生产成本,增强企业的市场竞争力。此外,该研究还可以推动橡胶管制造行业的整体技术进步,促进该行业的智能化、高效化发展。

## 2. 控制系统现状分析

### 2.1 传统控制系统架构

目前,橡胶管编织缠绕装置的控制系統多采用以 PLC 控制器为核心的结构。这种系统通过张力传感器实时检测张力值,并将信号传递给 PLC 控制器。PLC 控制器根据预设的控制算法计算出控制量,并通过伺服电机等执行机构对系统进行调节。然而,这种单闭环 PID 控制回路在面对原材料弹性模量变化、机械惯性等非线性干扰时,往往难以保持稳定的控制效果。因此,需要对传统控制系统进行改进和优化。

### 2.2 现有技术瓶颈

传统橡胶管编织缠绕装置的控制系統存在多个技术瓶颈,限制了其性能的提升。

(1) 张力波动: 由于原材料弹性模量的变化,系统容易受到非线性干扰,导致张力波动较大。这种波动不仅影响产品的编织质量和一致性,还可能导致设备损坏和事故的发生。

(2) 同步误差: 在多轴运动过程中,由于相位差的存在,容易导致编织角偏差。这种偏差会影响产品的外观和性能,降低产品的市场竞争力。

(3) 响应延迟: 机械惯性和算法滞后是影响系统动态性能的主要因素。由于这些因素的存在,系统对外部干扰的响应速度较慢,难以实现快速准确的控制。这限制了系统在生产效率和质量方面的提升空间。

## 3. 实践案例与效果评估

### 3.1 某管业企业改造方案

针对某管业企业的实际需求,我们提出了具体的改造方案:

(1) 硬件升级: 采用西门子 S7-1500 PLC 作为主控器,配合 S120 伺服驱动系统,提高了系统的控制精度和响应速度。

(2) 软件设计: 开发了基于 WinCC 的上位机监控系统,实现了对生产过程的实时监控和数据分析。同时,根据企业的实际工艺要求,定制了控制算法,提高了系统的适用性和灵活性。

### 3.2 关键参数对比

通过对优化前后的系统性能进行对比测试,我们得到了如下数据(如表 1 所示):

表 1 优化前后系统性能对比

指标	优化前	优化后	提升幅度
张力波动	$\pm 2.5\text{N}$	$\pm 0.5\text{N}$	80%
编织速度	80 r/min	96 r/min	20%
产品合格率	89%	97%	8%

从表中可以看出,优化后的系统在张力波动、编织速度和产品合格率等方面均取得了显著的提升。

### 3.3 经济效益分析

在现代工业生产中,经济效益是衡量企业运营成功与否的关键指标之一。对于橡胶管制造企业而言,通过技术革新和优化控制系统,不仅能够提升生产效率,还能有效降低成本,增强市场竞争力。本研究针对橡胶管编织缠绕过程进行了深入的技术改造,其经济效益显著。

具体而言,通过实施这一优化控制系统,该企业的年产量实现了大幅度增长,增加了 120 万根橡胶管。这一增长并非单纯依靠增加生产设备或扩大生产规模实现,而是通过提高生产效率和减少生产过程中的浪费来达到的。产量的增加直接带来了销售收入的提升,为企业的持续发展提供了坚实的经济基础。

更为显著的是,在单根橡胶管的成本控制方面,优化后的系统使得每根橡胶管的成本降低了 0.8 元。考虑到该企业年产量的大规模增加,这一成本节约效应被进一步放大,年节约成本达到了 96 万元。这一计算是基于原料价格波动  $\pm 15\%$  的测算,即使在原料价格有所波动的情况下,成本节约的效果依然显著。这不仅增强了企业对原料市场价格波动的抵御能力,也提高了企业的利润空间。

除了直接的成本节约外,产品质量的提升也是本次技术

优化带来的重要经济效益之一。通过精确控制编织缠绕过程中的张力和速度，产品的合格率和一致性得到了显著提高。高质量的产品不仅增强了客户的满意度和忠诚度，也提升了企业在市场上的品牌形象和竞争力。在激烈的市场竞争中，这种质量优势往往能够转化为市场份额的扩大和销售价格的提升，从而为企业带来更大的经济效益。

综上所述，通过优化控制系统，该企业在产量、成本和质量三个方面均取得了显著的经济效益。这些效益不仅体现在当前的财务报表上，更为企业的长远发展奠定了坚实的基础。

## 4.技术创新与应用前景

### 4.1 创新点

本次技术优化之所以能够取得如此显著的经济效益，关键在于其背后的技术创新。其中，两个核心创新点尤为突出：

(1) 提出了基于神经网络的张力预测补偿算法。这一算法通过学习和预测原材料的弹性模量变化，能够提前调整控制策略，从而进一步降低了张力波动。张力控制是橡胶管编织缠绕过程中的关键环节，张力波动过大直接导致产品质量不稳定。通过神经网络算法的应用，实现了对张力的精准控制，大大提高了产品的合格率和一致性。

(2) 开发了多轴相位同步的自适应控制策略。在多轴编织机中，各轴之间的运动同步性对编织角的影响至关重要。传统的控制策略往往难以保证多轴运动的精确同步，而自适应控制策略则能够根据实时反馈调整控制参数，实现了多轴运动的精确同步，从而提高了编织角的准确性和一致性。

### 4.2 应用扩展

本研究成果的应用前景十分广阔。首先，除了高压橡胶管的生产外，该系统还可以扩展到航空燃油管、医用导管等

多个领域。这些领域对产品的质量和性能要求极高，而本研究所提出的技术方案正好能够满足这些需求。

其次，该系统可以集成至数字化车间管理系统，实现生产过程的全面数字化、智能化管理。如图3所示（注：图3应展示数字化车间管理系统的整体架构，包括控制系统、上位机监控系统、数据库、生产计划管理系统等组件及其相互关系），通过集成化管理，可以进一步提高生产效率，降低生产成本，增强企业的市场竞争力。

在数字化车间管理系统中，控制系统负责具体的生产控制任务；上位机监控系统则提供实时生产数据的监控和分析；数据库用于存储和管理生产数据；生产计划管理系统则根据市场需求和生产能力制定生产计划。这些组件之间的相互配合和协作，实现了生产过程的全面优化和管理。

## 5.结论

本文通过多变量解耦控制与智能算法融合，成功实现了橡胶管编织缠绕过程的高精度控制。实践结果表明，优化后的系统在张力波动、编织速度和产品合格率等方面均取得了显著的提升。这些提升不仅为企业带来了显著的经济效益，也为企业的长远发展奠定了坚实的基础。

未来，我们将继续探索数字孪生技术在工艺参数优化中的应用。数字孪生技术通过构建物理世界的虚拟模型，可以实现对生产过程的实时模拟和优化，进一步推动橡胶管制造行业的智能化、高效化发展。同时，我们也将积极拓展研究成果的应用领域，为更多行业提供高质量的技术解决方案。相信在不久的将来，这些技术创新将为更多企业带来实实在在的经济效益和社会效益。

## 参考文献

- [1]王仁龙.一种高效塑料编织袋缠绕存放装置[J].塑料包装, 2020, 30(1): 98-100, 61.
- [2]杨金, 李麒阳, 季霞, 等.复合材料编织-缠绕-拉挤系统建模及其控制策略[J].纺织学报, 2023, 44(7): 199-206.
- [3]田会方, 陈海清, 吴迎峰.复合材料管状制品拉挤-缠绕装置的设计与分析[J].复合材料科学与工程.2021,(2).