

## 自动化收放卷装置的设计与优化

张辉 张小同

邢台纳科诺尔精轧科技股份有限公司, 河北 邢台 054000

**[摘要]** 自动化收放卷装置在我国制造业中的重要性日益凸显, 广泛应用于纺织、包装、印刷及锂电池等多个领域。随着智能化生产需求的不断增长, 传统的人工操作逐渐被先进的自动化设备所取代, 从而推动了技术的持续进步。然而, 在设计及优化过程中, 面临的挑战仍然不容忽视, 例如设备的稳定性、控制精度及适应性问题。尽管一些企业已开始引进国际先进技术, 整体水平与发达国家相比, 依然存在明显差距。此外, 缺乏统一的标准与规范也对设备性能的提升造成了负面影响。文章将探讨在设计及优化过程中亟待解决的关键问题, 旨在为提升国内制造业整体竞争力提供有效的参考与建议。

**[关键词]** 自动化; 收放卷装置; 机械设计; 优化

DOI: 10.33142/sca.v8i1.15065

中图分类号: TP23

文献标识码: A

### Design and Optimization of Automated Winding Devices

ZHANG Hui, ZHANG Xiaotong

Xingtai Naknor Technology Co., Ltd., Xingtai, Hebei, 054000, China

**Abstract:** The importance of automated winding devices in Chinese manufacturing industry is increasingly prominent, widely used in various fields such as textiles, packaging, printing, and lithium batteries. With the continuous growth of demand for intelligent production, traditional manual operations are gradually being replaced by advanced automation equipment, thus promoting the continuous progress of technology. However, the challenges faced in the design and optimization process cannot be ignored, such as equipment stability, control accuracy, and adaptability. Although some companies have begun to introduce international advanced technology, there is still a significant gap in overall level compared to developed countries. In addition, the lack of unified standards and specifications has also had a negative impact on the improvement of equipment performance. The article will explore the key issues that urgently need to be addressed in the design and optimization process, aiming to provide effective references and suggestions for enhancing the overall competitiveness of the domestic manufacturing industry.

**Keywords:** automation; automated winding devices; mechanical design; optimization

### 引言

在现代制造业中, 各类生产设备的创新得益于自动化技术的快速进步。作为关键工业设备之一, 自动化收放卷装置主要负责卷材的收卷与放卷, 显著提升生产效率、降低人工成本及改善产品质量的优势不容小觑。然而, 面对市场需求的不断变化以及生产工艺的复杂性, 传统收放卷装置面临的挑战包括性能不足、能耗高及维护困难等。因此, 对该装置进行设计与优化显得尤为重要。本研究将探讨自动化收放卷装置的设计原理与优化策略, 重点分析机械结构、驱动系统及支撑导向系统的设计。同时, 将结合先进的优化技术, 如参数优化与拓扑优化, 研究如何在保证性能与安全性的前提下, 提高装置的工作效率与经济性。通过对装置性能的全面测试与验证, 旨在为自动化收放卷装置的应用提供理论支持与实践指导, 推动其在智能制造领域的进一步发展。

### 1 自动化收放卷装置的重要性

自动化收放卷装置在现代工业生产中的重要意义体现在提升生产效率、降低劳动强度及确保产品质量等多个方面。随着自动化技术的持续进步, 传统的人工操作逐步

被智能设备所取代, 从而使生产流程变得更加高效且灵活。该装置能够实现快速、精准的材料收放, 人为因素带来的误差与风险显著减少, 从而增强了产品的一致性与可靠性。此外, 集成了先进传感器与控制系统的自动化收放卷装置, 能够实时监测运行状态, 并及时调整工作参数, 以适应不同的生产需求。其应用不仅有效降低了生产成本, 还提升了企业的竞争力, 推动了整个行业技术的进步与发展。

### 2 自动化收放卷装置的机械结构设计

#### 2.1 收放卷机构设计

##### 2.1.1 链条式传动

在自动化收放卷装置的机械结构设计中, 收放卷机构的设计至关重要, 而链条式传动作为这一机构的核心组成部分, 发挥着关键作用。链条式传动系统通过链条和链轮的相互作用, 实现了高效、可靠的动力传递, 其主要特点在于能承受较大的负载, 同时保持较高的传动效率。在设计过程中, 需要选择合适的链条类型, 如滚子链或平板链, 并根据卷材的特性和工作环境, 合理确定链条的节距、宽度及材料。链轮的设计同样重要, 链轮的齿形、直径及材料选用需与链条相匹配, 以确保良好的啮合和摩擦性能。

为了实现稳定的运转，链条的张紧装置必须设计合理，确保链条在工作过程中始终保持适当的张力，防止因松弛导致的打滑或脱落。此外，链条式传动系统还应配备适当的润滑系统，以降低摩擦，延长链条和链轮的使用寿命。在结构布局上，应确保链条的运动路径顺畅，避免不必要的弯曲或干涉，以减少能量损耗并提高运行效率。

### 2.1.2 力学分析

在自动化收放卷装置的机械结构设计中，力学分析被视为收放卷机构设计的重要环节，旨在确保装置在操作中具备良好的强度、稳定性及安全性。该分析主要涉及对各部件承受载荷的计算与评估，包括卷轴、支撑结构及传动系统等。必须对机构在不同工作条件下的受力情况进行明确，例如卷绕与放出材料时产生的轴向力、径向力及扭矩。通过建立力学模型，运用静力学与动力学原理进行相应计算，能够有效分析这些力<sup>[1]</sup>。此外，还需评估材料特性与工作环境对各部件的应力分布与变形情况，以确保在工作负载下不会出现屈服或失效。在实际应用中，力学分析同样应关注振动与冲击对结构的影响，尤其是在高速运转或频繁操作的场合。通过采用有限元分析（FEA）等计算方法，机构在不同工况下的力学行为得以模拟，从而优化结构设计，提高整体刚度与耐久性。

## 2.2 驱动系统设计

在自动化收放卷装置的机械结构设计中，驱动系统的电机选择被视为确保设备高效与稳定运行的关键。电机的类型、功率与转速需根据具体应用进行综合评估，以满足卷绕与放出材料的要求。材料的特性与厚度必须被考虑，这直接影响所需的扭矩与功率。例如，对于卷径较大，材料较重的收放卷，使用高功率的电机，以克服在卷绕过程中产生的额外阻力。此外，电机的转速应与卷轴直径及材料收放速度相匹配，以确保操作中实现平稳、均匀的卷绕效果。电机类型的选择通常包括三相异步电机和伺服电机。三相异步电机以其结构简单、维护成本低以及适合长时间运行的特点而广泛应用于各种工业领域。这种电机的工作原理基于电磁感应，能够在较高的负载条件下保持稳定的转速，适用于需要持续运转的场合。此外，三相异步电机的控制系统相对简单，能够降低整体系统的复杂性，使得其在很多低至中等精度要求的应用中表现优异。然而，伺服电机则以其高精度、高响应速度和良好的控制性能而受到青睐，适用于需要精确位置控制和动态响应的应用场合。尽管伺服电机的成本和维护要求相对较高，但在对性能要求较高的应用中，伺服电机的优势显而易见。

## 2.3 支撑与导向系统设计

### 2.3.1 材料选择

在自动化收放卷装置的机械结构设计中，支撑与导向系统的材料选择对确保装置的稳定性、耐久性与工作效率至关重要。合适的材料不仅影响结构的刚性与强度，还直

接关系到装置的使用寿命及维护成本。常见的材料包括高强度钢、铝合金与工程塑料等。高强度钢因其优异的强度与韧性，广泛应用于承受较大载荷的支撑结构中，有效抵御操作过程中的冲击与振动。然而，其较大的重量可能增加装置的整体负担，因此在设计时，需合理优化结构，减少不必要的材料使用。铝合金因其轻量、高强度与良好的耐腐蚀性，适合于需要减轻设备重量的同时保持足够强度的场合。此外，铝合金的优良加工性使得复杂结构设计的实现更加便捷。在某些对重量与成本敏感的应用中，工程塑料也是一个有效选择，其耐磨性与自润滑性能适合滑动与导向部件，但相对较低的承载能力限制了其应用。材料选择时，工作环境因素如温度、湿度与化学腐蚀等亦需被考虑，以确保材料在各种工况下的性能稳定。

### 2.3.2 刚度与稳定性分析

在自动化收放卷装置的机械结构设计中，支撑与导向系统的刚度及稳定性分析被视为确保设备安全高效运行的关键环节。刚度是指结构抵抗变形的能力，这直接影响装置在工作过程中的外部载荷响应。在收放卷机构中，若刚度不足，材料卷绕不均的可能性将增加，进而影响产品质量。因此，在设计阶段，需通过有限元分析等方法对支撑结构进行应力与变形的评估，以确保其在各种工作条件下具备足够的刚度。同时，稳定性分析亦为重要环节，主要关注结构在负载下的失稳行为。例如，在高负荷或动态环境中，应保持支撑与导向系统的稳定，避免倾斜或振动现象，以防影响设备的运行效率及安全性<sup>[2]</sup>。通过合理的支撑布局与连接设计，整体结构的稳定性可显著提升，振动传递也将减少。此外，选用高强度材料与合理的结构形状，如加强筋或框架结构，有助于增强刚度与稳定性。

## 3 自动化收放卷装置的优化设计

### 3.1 优化设计的必要性

在自动化收放卷装置的设计过程中，优化设计显得尤为重要，体现在多个方面。随着工业自动化水平的提升，对设备的性能、效率及可靠性，市场提出了更高要求。通过优化设计，装置的工作效率能够显著提高，能耗得以降低，从而提升整体生产效率。此外，材料使用的减少与制造成本的降低，亦有助于使产品在激烈的市场竞争中保持成本优势。该过程也能改善设备的稳定性与安全性，故障率的降低将减少停机时间与维护成本。随着技术的不断进步，自动化收放卷装置的功能日益复杂，因此，优化设计能够增强系统的灵活性，使其更有效地适应不同工作环境与操作需求。

### 3.2 优化方法

#### 3.2.1 参数优化

在自动化收放卷装置的优化设计过程中，参数优化作为一种有效手段，通过调整关键设计参数来提升整体性能与效率。该过程涉及多个参数的系统分析，包括电机功率、

卷轴直径、材料厚度及传动比等。通过对这些参数的调整，设备工作效率能够显著提高，能耗得以降低，并确保在不同负载条件下的稳定性。为实现最佳效果，通常采用数值模拟与实验结合的方法。数学模型的建立及计算机仿真技术的应用，使得不同参数组合的影响能够快速评估，从而筛选出最优方案。此外，借助遗传算法、粒子群优化等先进的优化技术，多目标优化问题能够有效应对，实现在性能与成本之间的最佳平衡。

以下表格展示了一些关键参数及其对装置性能的影响：

表 1 参数装置性能表

参数	描述	对性能的影响
电机功率	驱动系统的功率	影响卷绕速度，材料的卷重和卷径
卷轴直径	卷轴的直径	影响收放过程的稳定性
材料厚度	处理材料的厚度	影响所需的扭矩和功率
传动比	电机与卷轴之间的传动比	决定输出转速与扭矩
张力	材料在收卷与放卷过程中的张力	影响所需的扭矩和功率

### 3.2.2 拓扑优化

在自动化收放卷装置的优化设计中，拓扑优化作为一种先进且高效的方法，旨在通过最佳材料配置提升结构性能。该过程始于基于使用条件、载荷情况与支撑方式构建数学模型，随后利用有限元分析技术，对结构的刚度、强度及其他性能指标进行模拟。拓扑优化的应用，使得在特定边界条件下能够识别出哪些区域需增加材料以承受载荷，而哪些区域则可以去除材料以减轻重量，从而实现材料的高效利用。通过迭代计算，生成多种结构配置方案的能力，使设计师能够直至找到最优设计。这种方法不仅显著降低了装置的自重，提升了运行效率，还减少了生产成本，因而降低了材料使用与加工工序<sup>[3]</sup>。同时，拓扑优化为设计师提供了保持结构性能的同时进行创新的机会，推动了新型自动化收放卷装置的发展。

### 3.2.3 仿真与分析工具应用

在自动化收放卷装置的优化设计过程中，仿真与分析工具的使用至关重要。这些工具帮助设计师在早期阶段识别潜在问题，并评估不同设计方案的性能。常用的仿真工具包括有限元分析软件（如 ANSYS、Abaqus）、多体动力学仿真工具（如 ADAMS）。通过构建详细模型，深入分析结构在各种工况下的响应，能够对设计参数进行优化，从而提升结构的强度与稳定性。仿真过程使得设计师能够在实际操作条件下模拟载荷、应力与变形，从而快速评估材料选择与结构布局的合理性。此外，仿真结果为优化设计提供了依据，指导进一步地改进与调整，确保最终设计不仅满足性能要求，还具备良好的经济性与可制造性。

以下表格展示了几种常用仿真与分析工具及其主要功能：

表 2 分析工具及功能表

工具	功能描述	应用场景
ANSYS	有限元分析，进行应力、变形和热分析	结构强度和刚度评估
Abaqus	复杂的非线性分析和多物理场耦合	动态载荷及材料非线性分析
ADAMS	多体动力学仿真，分析运动系统的动力学行为	运动机构和机械传动系统的设计验证

## 4 性能测试与验证

在自动化收放卷装置设计完成后，性能测试与验证至关重要，确保其功能与可靠性。通过系统的测试过程，装置在实际工作条件下的表现可以得到评估，确保满足设计要求及行业标准。性能测试通常分为静态测试与动态测试。静态测试用于评估设备在静止状态下的强度与刚度，以确认其能够承受设计载荷而不发生过度变形或破坏。动态测试则聚焦于装置在工作过程中对冲击、振动及疲劳的响应，尤其是在高速运转或变化载荷条件下，其长期使用的稳定性与安全性被评估。在测试过程中，高精度传感器与数据采集系统被采用，以实时监测关键参数，如载荷、速度、温度与振动等。这些数据为后续的性能分析奠定基础，帮助设计师识别潜在问题，判断是否需要进一步优化或改进<sup>[4]</sup>。此外，装置操作可靠性的评估也包含在性能测试中，以确保其在实际应用中能够持续稳定运行，避免出现故障或性能衰退。

## 5 自动化收放卷装置预测性维护的设计

在自动化收放卷装置的预测性维护设计中，显著提高设备运行可靠性与维护效率的技术包括增加轴承震动传感器、轴承温度传感器、气缸运动时间监测及零部件易损坏预测。实时监测振动信号的轴承震动传感器，能够对轴承的运行状态进行准确分析，识别出不平衡、对中不良以及磨损等故障隐患。合理的振动阈值设定与频谱分析相结合，能够实现早期故障的精准识别，从而有效降低因设备故障导致的停机时间。在监测设备工作温度时，轴承温度传感器发挥了关键作用。温度的升高常常预示着润滑不良或过载工作，长时间处于高温状态则可能导致材料疲劳或设备损坏。通过对温度数据的实时采集与分析，可以及时发现潜在的润滑问题，帮助维护人员在故障发生前实施必要的预防性维护。气缸运动时间的监测提供了关于气缸性能的重要信息。每次运动所需时间的记录结合数据挖掘技术，能够揭示运行效率的变化趋势。当运动时间出现异常延长时，通常意味着摩擦增加或气缸密封不良等问题，这种情况需引起重视并进行检修。最后，零部件易损坏预测依赖于上述传感器数据的综合分析，结合先进的机器学习算法，能够建立设备健康状态模型，实现对零部件故障概率的预测。通过这种预测性维护方法，不仅降低了意外故障发生的可能性，同时提升了设备的使用寿命与生产效率，为整个生产流程的顺畅运行提供了坚实的保障。



## 6 结语

本文深入探讨了自动化收放卷装置的设计与优化,涉及关键的机械结构、驱动系统及支撑导向系统等多个方面。通过系统分析与应用先进的优化技术,如拓扑优化与参数优化,装置的性能与效率得到了显著提升,能耗与制造成本也得到了有效降低。研究表明,合理的设计策略能够显著增强装置在实际应用中的稳定性与可靠性,满足现代工业对高效率、高精度及低能耗设备的迫切需求。此外,全面的性能测试与验证已被实施,以确保装置在不同工作条件下的安全性与有效性。这些实证数据为后续设计迭代提供了坚实基础,也揭示了未来优化的潜在方向。随着智能制造与自动化技术的快速发展,自动化收放卷装置的应用前景广阔,能够在多个行业中发挥重要作用。期待未来在此领域的深入探索,以推动更高效、智能与可持续的自动化解决方案,从而应对不断增长的市场需求与行业挑战。

## [参考文献]

- [1]王宏斌. 车牌半成品自动化生产线反光膜放卷张力控制[D]. 广东: 广东工业大学, 2007.
  - [2]石贤可. 收放卷张力自适应控制及应用研究[D]. 山西: 中原工学院, 2019.
  - [3]王勇. 工业机器人在工业制造自动化生产线上的创新应用[J]. 现代工业经济和信息化, 2024, 14(8): 155-157.
  - [4]南亮生, 关正伟. 智能制造发展背景下自动化技术在高端制造业生产中的应用研究[J]. 现代工业经济和信息化, 2024, 14(6): 186-188.
- 作者简介: 张辉(1992—)男, 民族: 汉, 籍贯: 河北省邢台市信都区, 现职称: 机械工程师, 2015年6月毕业于河北科技师范学院; 专业: 机械设计制造及其自动化最高学历: 本科, 现在邢台纳科诺尔精轧科技股份有限公司从事辊压分切一体机的设计工作。