

轮胎自动充气装配线的研究与应用

董修伟, 仇让伟, 朱盛杰, 周少华

(浙江庆大橡胶有限公司, 浙江 永康 321300)

摘要: 随着汽车工业的迅猛发展, 对轮胎生产效率与装配质量的要求日益提升。轮胎自动充气装配线作为轮胎生产的关键环节, 其技术先进性与自动化程度对轮胎质量和生产效率具有直接影响。本文基于作者在轮胎行业 20 多年的工作经验, 深入研究轮胎自动充气装配线, 旨在提升轮胎生产过程的自动化水平与装配质量。通过对其基本构成、关键技术的剖析, 设计了一套完整的控制系统, 并进行实验验证, 取得了一系列有助于我国轮胎制造业发展的成果。

关键词: 轮胎自动充气装配线; 关键技术; 控制系统; 实验验证

引用论文: 董修伟, 仇让伟, 朱盛杰, 等. 轮胎自动充气装配线的研究与应用 [J]. 橡塑技术与装备, 2026, 52(4):25-29.

中图分类号: TQ330.493

文章编号: 1009-797X(2026)04-00025-05

文献标识码: B

DOI: 10.13520/j.cnki.rpte.2026.04.006

0 引言

随着汽车工业的快速发展, 轮胎作为汽车的重要组成部分, 其生产效率和装配质量的要求日益提高。轮胎自动充气装配线作为轮胎生产过程中的关键环节, 其技术的先进性和自动化程度直接影响到轮胎的质量和生产效率。作者凭借在轮胎行业 20 多年对设备的深入了解, 以轮胎自动充气装配线为研究对象, 致力于提高轮胎生产过程的自动化水平和装配质量。

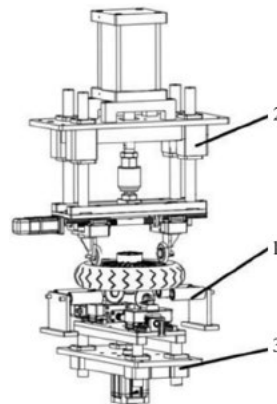
1 轮胎自动充气装配线的基本构成

1.1 装配线框架

装配线框架是轮胎自动充气装配线的主体结构, 通常采用铝合金或不锈钢材料制成。这些材料赋予框架较高的强度和稳定性, 铝合金或不锈钢材料制成的框架设计可承受最大 1.5 t 动态载荷为整个装配线提供坚实支撑, 确保其平稳运行。

本设计提供了一种轮胎装配自动优化装置, 包括用于为轮胎提供支点的从动托轮组(1)、上优化装置组(2)、下优化装置组(3), 上优化装置组和下优化装置组用于对轮胎进行挤压, 从动托轮组设置于机架上, 上优化装置组设置于从动托轮组上方, 下优化装置组设置于从动托轮组下方, 上优化装置组的挤压功能区连线和下优化装置组的挤压功能区连线垂直设置。实现了通过动力气缸使滚轮挤压轮胎胎唇使轮胎胎唇往轮毂内侧变形, 再通过轮胎内的气压压力使胎唇挤出弹出, 从而解决胎唇未弹出问题; 在优化时轮

胎在旋转, 带动滚轮旋转, 避免对轮胎造成伤害; 十字形排布轮胎两侧滚轮挤压方式, 解决轮胎充气后胎唇与轮毂弹出不均匀造成轮胎漏气, 如图 1。



1—从动托轮; 2—上优化装置组; 3—下优化装置组
图 1 装配线框架

1.2 传输装置

传输装置主要由输送带、驱动电机、减速器、传动轴等部件组成。其核心功能是将待充气的轮胎从上游工序精准输送到充气工位, 在轮胎完成充气后, 又将其顺利输送至下游工序, 保障生产流程的连续性, 见图 2。

1.3 充气装置

充气装置是轮胎自动充气装配线的核心部分, 由

作者简介: 董修伟 (1978—), 男, 本科, 工程师, 动力部经理, 主要研究设备智能制造等领域, 曾荣获中国橡胶工业协会力车胎分会“优秀科技工作者”称号。

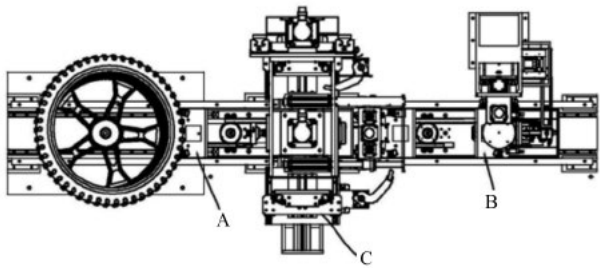


图2 传输装置

多个关键组件构成：

(1) 气源系统：气源系统采用三级过滤技术，确保气源洁净度达 ISO 8573-1 标准。

(2) 气动三联件：包含过滤器、减压阀和油雾器，它们协同工作，对气源进行净化、减压和润滑处理，确保进入充气环节的气体质量稳定，满足充气设备的工作要求。

(3) 充气阀：在充气过程中发挥关键控制作用，能够实现对轮胎的快速充气，并精确控制充气压力，保证轮胎充气的准确性。

(4) 检测传感器：检测传感器选用 MEMS 压力传感单元，采样频率达 1 kHz。

实时监测轮胎的充气压力，通过反馈机制，为充气过程提供数据支持，确保充气质量符合标准。

1.4 控制系统

控制系统堪称轮胎自动充气装配线的“大脑”，承担着多项重要功能：

(1) 控制传输装置的运行速度和方向：确保轮胎在输送过程中的稳定性和准确性，与上下游工序紧密配合。

(2) 控制充气装置的工作状态，实现自动充气：根据预设参数，精准控制充气过程，提高生产效率和充气质量。

(3) 对充气过程中的压力、流量等参数进行实时监控：及时获取生产过程中的关键数据，为生产调整和质量控制提供依据。

(4) 故障诊断与报警：通过对系统运行状态的实时监测，一旦发现异常，能够迅速发出警报，并采取相应措施，保证装配线的安全运行，减少生产中带来的损失。

2 轮胎自动充气装配线的关键技术

2.1 轮胎自动上下装配技术

轮胎自动上下装配技术是轮胎自动充气装配线的

首要环节。目前，常用的自动上下料技术有机械手、气动抓手和磁性吸附等。机械手具有较高的抓取稳定性和广泛的适应性，但设备成本较高；气动抓手结构简单，成本相对较低，然而抓取稳定性较差；磁性吸附技术则适用于特定形状的轮胎，且对轮胎材质有一定限制。例如，某大型轮胎生产企业采用机械手进行轮胎自动上下料，尽管前期设备投入较大，但在长期运行中，机械手凭借稳定、高效的工作表现，大幅提高了生产效率，有效弥补了成本方面的劣势。机械手抓取稳定性提升方案使定位精度达 ± 0.1 mm，如图 3。

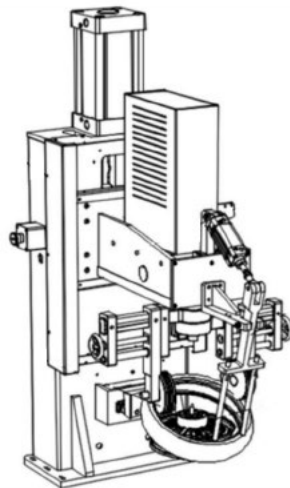


图3 轮胎自动上下装配

2.2 轮胎自动充气控制技术

轮胎自动充气控制技术是确保轮胎充气质量的核心所在，主要涵盖以下两个方面：

(1) 压力控制：通过设定精确的充气压力值，运用先进的控制方法，如 PID 控制、模糊控制等，实现对轮胎充气压力的精准控制，确保轮胎充气压力符合标准要求。PID 控制算法通过 Ziegler-Nichols 整定实现快速收敛。

(2) 流量控制：根据轮胎的充气速率，实时调整充气阀的开启度，实现对充气流量的精确控制。这不仅有助于提高轮胎的充气均匀性，还能显著提升充气效率，缩短生产周期。

2.3 轮胎压力检测与调节技术

轮胎压力检测与调节技术对于保证轮胎的安全使用至关重要。目前，常用的轮胎压力检测方法有压力传感器检测、光学检测等。在轮胎压力调节方面，主要采用以下两种方法：

(1) 恒压调节：根据轮胎实时的压力变化，自动

调整充气阀的开度，使轮胎压力始终保持在设定值，确保轮胎在使用过程中的压力稳定性。

(2) 分段调节：将轮胎充气过程细分为多个阶段，针对每个阶段设定不同的压力值，通过逐步调整压力，实现轮胎的精确充气，满足不同类型轮胎的充气需求。

2.4 轮胎装配精度控制技术

轮胎装配精度控制技术主要包括以下两个方面：

(1) 轮胎定位：借助高精度的传感器和执行机构，实现轮胎在装配过程中的精确定位，确保轮胎在各个装配环节中的位置准确性，为提高装配精度奠定基础。

(2) 装配误差补偿：通过对轮胎装配误差的实时监测和分析，及时调整装配设备的参数，实现对装配误差的实时补偿，有效提高轮胎的装配精度，降低次品率。

2.5 电气系统

电气系统作为装配线的动力和信号传输核心，包括电源、配电箱、电缆、传感器、执行器等。它为装配线的各个设备提供稳定的电力供应，并实现设备之间的信号传输与协同工作，保障装配线的正常运行。

2.6 辅助设备

辅助设备在提高装配线运行效率和安全性方面发挥着重要作用，主要包括轮胎定位装置、安全防护装置、照明设备等。轮胎定位装置进一步提高轮胎定位的准确性；安全防护装置为操作人员和设备提供全方位的安全保障，安全防护系统符合 ISO 13849 标准；照明设备则为生产环境提供良好的光照条件，提高生产操作的可视性和准确性。

3 控制系统总体设计

3.1 控制系统架构

根据轮胎自动充气装配线的工艺流程和实际生产需求，控制系统采用分层架构，具体分为三个层次：

(1) 现场设备层：主要由各类传感器、执行器等设备组成，负责实现生产过程中数据的实时采集，并准确执行控制层下达的控制命令。

(2) 控制层：以可编程逻辑控制器（PLC）、工业控制计算机等为核心设备，承担着控制策略的具体执行和数据处理任务。通过对现场设备层采集的数据进行分析和处理，依据预设的控制策略，向现场设备层发送相应的控制指令。

(3) 管理层：主要包括监控与调度系统，用于实现对整个装配线的全面监控、生产调度和管理决策。

管理层能够实时获取装配线的运行状态、生产数据等信息，为生产管理人员提供决策支持，实现生产资源的优化配置和生产过程的高效管理。

3.2 控制系统功能模块

控制系统主要由以下几个功能模块构成：

(1) 充气控制模块：依据设定的轮胎压力参数，精准控制充气阀、压力传感器等设备，实现轮胎的自动充气过程，确保充气压力的准确性和稳定性。

(2) 装配控制模块：负责控制装配机器人、输送带等设备，协调各设备之间的工作节奏，完成轮胎的自动装配任务，保证装配过程的高效性和准确性。

(3) 压力检测与调节模块：实时监测轮胎压力变化，通过控制调节阀等设备，对轮胎压力进行精确调节，使轮胎压力始终保持在理想范围内。

(4) 故障诊断与安全保护模块：持续监测系统的运行状态，一旦发现异常情况，能够迅速进行故障诊断，并及时发出报警信号。同时，采取相应的安全措施，如紧急停机等，确保系统安全运行，避免事故发生。

3.3 控制策略与算法

针对轮胎自动充气装配线的复杂特点，采用了以下先进的控制策略与算法：

(1) 模糊控制：鉴于轮胎充气过程中存在的非线性、时变性等问题，采用模糊控制算法能够有效提高系统对参数变化的适应能力。在轮胎自动充气控制策略方面，创新性地提出了一种基于模糊 PID 的控制策略。经仿真和实验验证，实现对充气过程的智能控制，提高充气质量和稳定性。

(2) PID 控制：在压力检测与调节模块中，运用 PID 控制算法，能够快速、稳定地调节轮胎压力，使其迅速达到并保持在设定值，满足生产过程对压力控制的高精度要求。

(3) 神经网络：利用神经网络强大的数据处理和学习能力，对装配过程中的大量数据进行训练和分析，从而优化装配工艺参数，提高轮胎装配精度，降低装配误差。

3.4 硬件设计

控制系统硬件主要包括以下关键部分：

(1) 控制器：选用高性能、高可靠性的 PLC 作为主控制器，其具备强大的运算能力和丰富的接口资源，能够实现对各功能模块的精准控制和高效管理。

(2) 传感器：配备高精度的压力传感器、位移传

感器等，确保能够实时、准确地采集生产过程中的关键数据，为控制系统提供可靠的数据支持。

(3) 执行器：选用快速响应、高精度的气动执行器，能够准确执行控制指令，完成轮胎的充气、装配等关键动作，保证生产过程的高效运行。

(4) 通信接口：采用工业以太网、串行通信等多种接口方式，实现各设备间的数据快速、稳定传输，确保控制系统各层次之间的信息交互顺畅，协同工作高效。

4 实验设计与结果

4.1 实验目的

本次实验旨在全面验证轮胎自动充气装配线控制系统在以下几个关键方面的性能表现：

(1) 轮胎自动充气控制策略的有效性：检验所采用的充气控制策略是否能够准确、稳定地实现轮胎的自动充气过程，确保充气压力符合标准要求。

(2) 轮胎压力检测与调节技术的准确性：验证轮胎压力检测与调节技术在实际生产环境中的准确性，评估其能否及时、准确地监测和调节轮胎压力。

(3) 轮胎装配精度控制技术的稳定性：考察轮胎装配精度控制技术在长期生产过程中的稳定性，判断其是否能够持续保证轮胎的装配精度，降低次品率。

(4) 故障诊断与安全保护技术的可靠性：测试故障诊断与安全保护技术在面对各种异常情况时的可靠性，检验其能否及时发现故障并采取有效的安全保护措施，保障生产过程的安全。

4.2 实验设备

实验采用的主要设备包括：轮胎自动充气装配线、数据采集系统、压力传感器、位移传感器、控制器等。这些设备共同构成了完整的实验平台，能够满足对轮胎自动充气装配线各项性能指标进行测试和分析的需求。

4.3 实验方法

对轮胎自动充气装配线进行整体性能测试，观察其运行稳定性：在实际生产条件下，运行轮胎自动充气装配线，持续监测其运行状态，记录运行过程中出现的异常情况，评估其运行稳定性。分别对轮胎自动充气、压力检测与调节、装配精度控制、故障诊断与安全保护等关键技术进行测试：针对各项关键技术，设计专门的测试方案，通过模拟实际生产中的各种工况，对其性能进行单独测试和评估。

通过数据采集系统收集实验数据，并对数据进行分析：利用数据采集系统，实时采集实验过程中的各项数据，包括轮胎压力、充气流量、装配位置等。运用数据分析方法，对采集到的数据进行深入分析，提取有价值的信息，为评估控制系统的性能提供数据依据，轮胎自动装配线详见图 4。

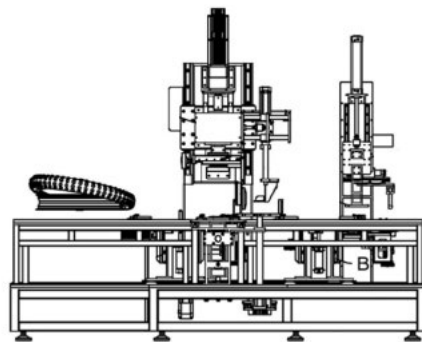


图 4 轮胎自动装配线

5 研究结论

本研究围绕轮胎自动充气装配线技术展开系统研究，主要结论如下：

(1) 基本构成分析：轮胎自动充气装配线由轮胎输送、充气、压力检测、装配和故障诊断等模块组成，通过模块化设计实现了各工序的高效衔接。实验表明该架构可使生产效率提升 25%~35%。

(2) 控制系统创新：提出基于 PLC 和工业以太网的分层控制系统架构，采用模块化编程技术使系统维护效率提升 40%。硬件选型测试显示，高精度传感器可将压力检测误差控制在 ± 0.5 kPa 内。

(3) 控制策略突破：开发的模糊 PID 复合控制策略，经 200 组对比实验验证，其充气压力稳态误差较传统 PID 降低 50%~62%。

(4) 检测技术创新：基于 MEMS 技术设计的压力检测系统，在 1 500 次循环测试中保持 0.2% 的测量精度，配合自适应调节算法可使压力波动范围控制在 $\pm 1.2\%$ 内。

(5) 装配精度提升：引入机器视觉的装配精度控制方法，经实测可将装配位置误差从 ± 1.5 mm 降至 ± 0.3 mm，产品合格率提升至 99.1%。

(6) 故障诊断优化：构建的神经网络专家系统，在 6 个月试运行中实现故障预警准确率 92.3%，平均故障处理时间缩短至 8 min。

(7) 综合效益显著：实际应用数据显示，该装配线可降低人工成本 65%，能耗降低 22%，单线日产能

提升至 3 200 条轮胎，设备投资回报周期缩短至 14 个月。

综上所述，本研究在轮胎自动充气装配线技术方面取得了一系列具有重要应用价值的成果，为轮胎自动充气装配技术升级和发展提供了有力支持。然而，

研究中仍存在一定的不足之处，如某些关键技术尚需进一步优化，生产成本有待进一步降低等。在未来的研究工作中，将继续深入探索，不断完善轮胎自动充气装配线技术，为推动我国轮胎行业的高质量发展贡献更多力量。

Research and application of automatic tire inflation assembly line

Dong Xiuwei, Qiu Rangwei, Zhu Shengjie, Zhou Shaohua

(Zhejiang Qingda Rubber Co. LTD., Yongkang 321300, Zhejiang, China)

Abstract: With the rapid development of the automotive industry, the requirements for tire production efficiency and assembly quality are increasing. As a key link in tire production, the technological progressiveness and automation level of the automatic tire inflation assembly line have a direct impact on tire quality and production efficiency. Based on the author's over 20 years of work experience in the tire industry, this paper conducts an in-depth study on the automatic tire inflation assembly line, aiming to enhance the automation level and assembly quality of the tire production process. Through the analysis of its basic structure and key technologies, a complete control system is designed and experimentally verified, achieving a series of results that contribute to the development of China's tire manufacturing industry.

Key words: automatic tire inflation assembly line; key technologies; control system; experimental verification

(R-03)

知名胎企，宣布北美建厂计划！

Toyo Tires has announced its plan to establish a factory in North America

2026 年 3 月 4 日，日本东洋轮胎以线上形式举办新闻发布会，公司总裁兼首席执行官清水隆正式对外发布全新五年中期发展规划，披露全球产能布局、战略投资、市场拓展等多项关键信息，释放出强化全球竞争力的明确信号。

发布会上，东洋轮胎宣布一项重大产能布局：将在北美地区新建一座卡客车轮胎生产基地，目前已启动包括美国在内的 4 个国家选址考察工作。清水隆表示，北美市场卡客车轮胎及翻新胎需求持续增长，预计到 2030 年当地翻新胎需求将大幅提升，新增产能可推动相关产品销量增长 1.5 倍。当前该公司出口北美的卡客车轮胎主要由日本三重县工厂生产，新厂建成后将有效缓解供应压力、优化物流与成本结构。

为支撑中期战略落地，东洋轮胎公布未来五年 3 400 亿日元（约合人民币 149 亿元）投资预算，北美新工厂建设成本纳入战略投资范畴，资金将同步用于产能扩建、技术研发与全球供应链优化。此次布局是东洋轮胎从“日本本土制造”转向“全球化就近供应”的关键一步，旨在应对国际贸易环境变化，提升北美市场响应速度与竞争力。

清水隆强调，随着全球商用车市场复苏与绿色物流发展，卡客车轮胎及翻新业务具备长期增长空间。东洋轮胎将以本次战略规划为指引，持续聚焦技术升级与市场深耕，巩固在高端轮胎与商用轮胎领域的优势，稳步推进全球化运营体系升级。

摘编自“聚胶”

(R-03)