

基于智能算法的轮胎成型机压辊的优化设计

马义浩

(软控股份有限公司, 山东 青岛 266300)

摘要: 本文针对轮胎成型机压辊在压合过程中存在的压力分布不均、压合效果差、效率低等问题, 提出一种基于智能算法与结构优化的解决方案。通过建立多片压辊力学模型, 结合智能算法优化参数, 采用多片压辊 (又称干层辊) 结构, 优化压辊结构参数与压力分布策略, 显著提升了轮胎成型质量与效率。实验表明, 优化后的多片压辊系统可提升轮胎均匀性 15%, 降低能耗 20%, 为轮胎智能制造提供理论支撑。

关键词: 轮胎成型机; 多片压辊; 力学模型; 智能算法; 结构优化

引用论文: 马义浩. 基于智能算法的轮胎成型机压辊的优化设计 [J]. 橡塑技术与装备, 2026, 52(8):26-30.

中图分类号: TQ330.46

文献标识码: B

文章编号: 1009-797X(2026)08-0026-05

DOI: 10.13520/j.cnki.rpte.2026.08.006

0 前言

本文轮胎成型机特指全钢子午线轮胎一次法三鼓成型机, 是一种先进的轮胎成型设备, 用于将胎侧、内衬层、胎体帘布、子口包布、带束层、胎面等材料在鼓上进行贴合、压合及定型, 最终形成轮胎胎胚。主要由主机系统、供料系统、传动系统、控制系统和辅助装置等部分组成。其核心部件是三个鼓, 包括胎体鼓、带束层鼓和成型鼓, 分别负责胎体层、带束层和胎面的贴合和成型。轮胎成型是轮胎制造的核心工艺, 也是直接影响轮胎的均匀性与使用寿命的关键工序。

轮胎成型工艺有三要素, 一要对好中, 二要接好头, 三要压好实, 而压辊作为接好头和压好实的关键执行部件, 直接影响轮胎的质量。传统轮胎成型机多采用单辊或双辊结构, 一般为铝制或者钢制的压辊对轮胎进行压合, 存在以下问题:

(1) 金属辊为硬质辊, 压合轨迹为一直线, 无法吻合接头区的弧面, 压合轨迹线以外的接头部位无法得到压合, 由此接头部位存在接头气泡和拼贴不牢固的现象, 后续易造成接头开裂, 胎稀等轮胎病疵。

(2) 贴合精度低: 压辊压力分布不均, 易导致胎体层间气泡或褶皱。

(3) 适应性差: 无法动态调节压合角度和压力,

难以应对复杂曲面。

(4) 效率瓶颈: 多层材料贴合需多次重复操作, 影响生产效率。

通过智能算法优化压辊设计, 采用多片压辊结构, 通过模块化分片设计, 结合智能化控制技术, 可有效解决上述问题, 同时提升成型效率与轮胎质量, 满足汽车轮胎对动平衡和均匀性的需求, 响应“中国制造 2025”对高端装备智能化的要求, 具有重要的工程应用价值。

1 传统压辊结构与问题建模

轮胎成型机压辊应用主要有胎侧与内衬层复合时的辊压、胎侧与内衬层贴合时的辊压、帘布与子口的辊压、垫胶的辊压以及胎面的辊压。以胎侧与内衬层贴合时的辊压为例: 胎侧和内衬层复合料在胎体鼓上贴合, 由于两种料的厚度不同, 所以绕鼓长度也不同, 导致无法实现自动接头。这就要求将较薄的内衬层用较高的压力稍微拉长, 达到与胎侧等长从而实现复合料的自动接头。

如图 1 所示, A, B, C, D 四个区域胶料厚度不同,

作者简介: 马义浩 (1975—), 男, 本科, 工程师, 主要从事轮胎橡胶机行业设备设计与研发工作。

如果采用同等压力最终材料接头长短不一，无法保持一致。

采用多片压辊，如同微积分一样，将胶料分成不同区域，也就是四个不同压力区域，使不同区域压力不同，从而实现不同厚度区域拉伸长度不同，最终实现接头完美结合。

另外由于多片压辊的辊片厚度非常薄，可以保证每个区域胶料压实无气泡，实现整个压合范围内材料的高质量贴合。

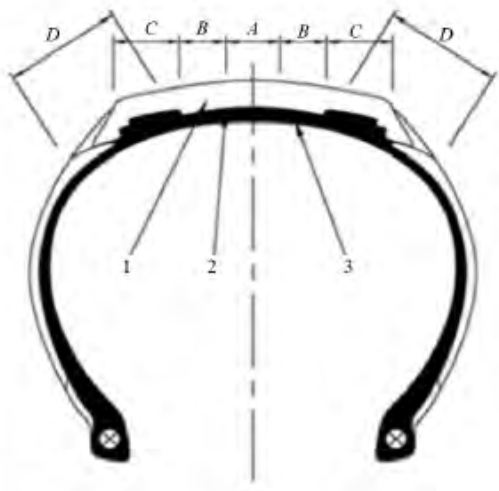


图1 轮胎横截面图

2 多片压辊的机械结构设计

2.1 多片压辊的工作原理

如图2所示，多片压辊由方辊气缸及盖板、活塞、辊片等几部分构成。气缸本体带有气缸活塞孔及分区气路，小活塞在气缸体内做上下运动，每个小活塞分别控制一片辊片的上下运动。通过电磁比例阀的控制每一路气分别通过小活塞控制每组辊片压紧轮胎胶料，同时通过不同的压力实现不同区段的分段滚压。其核心功能包括：

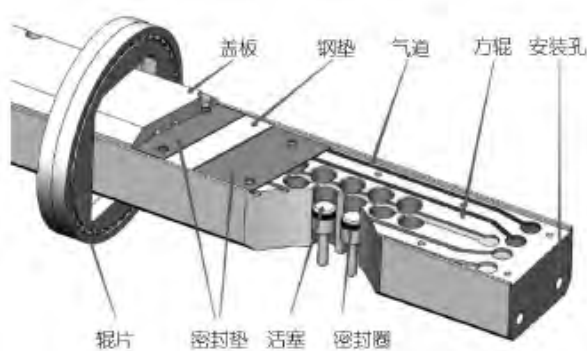


图2 内部结构图

(1) 柔性贴合：通过分片独立运动，适应不同曲率的材料表面。

(2) 压力均衡：基于传感器反馈实时调整各分片压力，可针对材料边缘、中心或局部区域施加不同压力。

(3) 快速切换：支持预设参数调用，适应多规格轮胎生产需求，通过调整气压参数，适应不同厚度、硬度或宽度的材料。

2.2 关键结构设计

2.2.1 分片模块设计

建立多片压辊的力学模型，其结构由方辊气缸、活塞和辊片构成，其中辊片数量若干，独立分片沿方轴轴向排列组成。辊片由厚度固定的塑料片组成，一般厚度为8毫米。每一个辊片都可以独立上下，以此可类似微积分方式来吻合与多片压辊接触的不规则材料的外形轮廓。辊片外圈可以跟随物料转动，通过钢珠与内圈保持滚动，辊片内圈一般只跟随控制活塞在方轴上做上下运动，不跟随外圈滚动。

辊片是根据使用工况采用改性工程塑料制成，具有自润滑性，摩擦力小，机械强度高，耐磨且有韧性，不沾料，变形小等特点。辊片可根据工况在表面滚花，增大辊压时与材料的摩擦力。辊片根据不同使用部位和功能，其直径和行程也不同，见表1辊片技术参数。

表1 辊片技术参数

辊片外径/mm	65	100	110	120	140
辊片行程/mm	12	20	22	26	40
辊面要求	光面或滚花				
工作压力范围	0~8BAR				

2.2.2 整体布局优化

成型机上多片压辊应用部位不同，材料部件的宽度不同，其多片压辊的整体宽度就不同，宽度从6片到200片不等。以54片压辊为例，见图3多片压辊结构图。

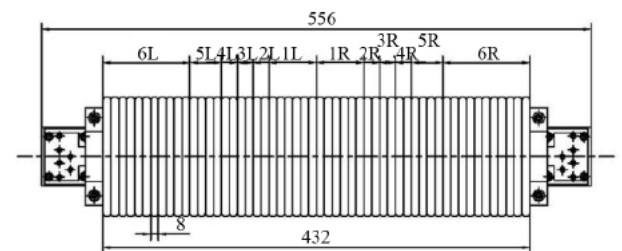


图3 多片压辊结构图

每一种多片压辊都是通过方辊气缸上多个气路分

区控制，每个分区由多个辊片组成，通过小活塞推动每一组压辊组件进行压料，而小活塞的活塞孔是通过方轴气缸上开不同长度的气路槽，以实现分组，再由精密比例阀控制，通过以不同压力的气从而实现分段不同压力，并分别控制不同区域，而且可以通过调整比例阀的控制区域（通过气路上的通与断来控制），对高压区和低压区的范围进行调整以适应不同料的宽度。其整体外形见图 4。



图 4 多片压辊外形图

3 多片压辊的自动化控制系统

3.1 控制系统架构

采用“PLC+ 运动控制器”两级控制架构。

（1）上位机：上位机作为成型机的“智能中枢”，通过高精度控制、数据融合与算法优化，执行工艺参数设定、数据监控及故障诊断。而多片压辊采用精密比例阀控制，通过调整比例阀的控制区域，通过气路上的通与断来控制，对高压区和低压区的范围进行调整，生成不同胶料的宽度配方，下传到下位机。

（2）下位机：实时控制各分片的位置、压力及倾角，实现压辊不同区域采用不同压力滚压，且保证轨迹平滑过渡。

3.2 核心智能算法设计

方辊气缸的面板上有气路分区，一般分为左右（L,R）两个区，每个区分别有 6—8 路分区进气孔。通过电磁比例阀控制每一路气，分别通过小活塞控制每组干层片压紧轮胎胶料，同时通过不同的压力实现不同区段的分段滚压。

以多片压辊采用 3 种压力值的情况为例，见图 5：3 个比例阀 + 阀组形式完成 3 种压力值分配到 8 个压力区，通过压缩空气驱动方轴气缸，采用精密比例阀控制并反馈，可以保证压力波动 $\leq \pm 0.5\%$ ，位置重复精度 $\pm 0.1\text{mm}$ 。

上位机配方设置，更换规格自动切换压力配方。

通过调整比例阀的控制区域，通过气路上的通与

断来控制，对高压区和低压区的范围进行调整，见图 6。

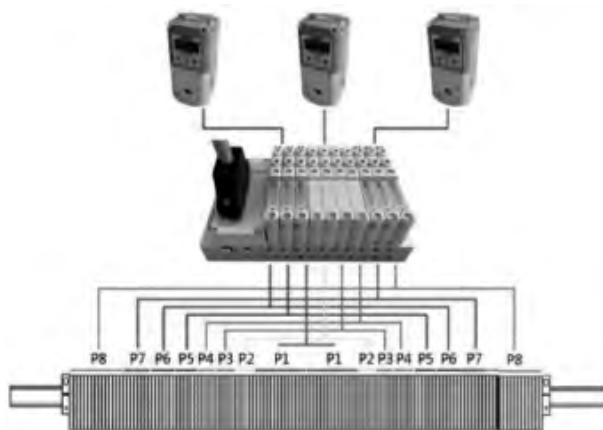


图 5 比例阀控制原理图

比例阀 压力 区	I		II		III	
P1	常通		X		X	
P2	V2.1 OFF		V2.1 ON		X	
P3	V3.1 OFF	V3.2 OFF	V3.1 ON	V3.2 OFF		V3.2 ON
P4	V4.1 OFF	V4.2 OFF	V4.1 ON	V4.2 OFF		V4.2 ON
P5	V5.1 OFF	V5.2 OFF	V5.1 ON	V5.2 OFF		V5.2 ON
P6	V6.1 OFF	V6.2 OFF	V6.1 ON	V6.2 OFF		V6.2 ON
P7		X		V7.2 OFF		V7.2 ON
P8		X		X	常通	

图 6 压力调整示意图

综上所述，多片压辊通过模块化分片设计，结合智能化控制技术，具有以下优点：

（1）分段压力控制：各辊片可独立调节压力，适应材料局部特性。

（2）模块化设计：分片设计，损坏时只需更换单一辊片，降低维护成本。

（3）高适应性：兼容不同宽度材料（通过增减辊片数量）。

4 实施验证与结果分析

4.1 实施验证与结果

4.1.1 实施前

以成型机内衬层和胎侧复合的压辊组件为例：全钢成型机内衬层和胎侧的复合使用前后各两套一体式铝制压辊压合，左右各两套，并分别由两套气动机构带动，见图 7 旧压辊结构。因为胎侧与内衬层厚度不同，一体式铝制压辊滚压时，压合轨迹以外薄的部位得不到压力滚压，因此接头部位存在接头气泡和复合不牢固的问题，容易造成接头开裂、胎稀等轮胎病疵，严重影响轮胎质量。



图 7 旧压辊结构

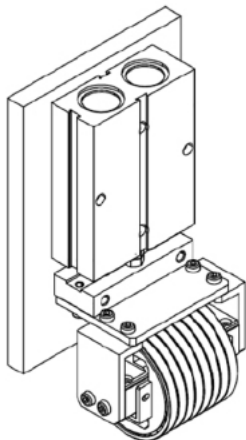


图 8 多片压辊结构

4.1.2 实施内容与目的

- (1) 改硬质压辊为多片压辊，左右各一套，采用气缸驱动。
- (2) 每套多片压辊采用两个压力分区，精确控制内衬层和胎侧复合的位置。
- (3) 多片压辊辊片行程大于内衬层和胎侧复合的横截面厚度落差，每一片在单独小气缸推动下可使复合件各个部位得到有效压合。
- (4) 左右多片压辊压合宽度可覆盖规格调整范围。见 8 多片压辊结构。

4.1.3 结果分析

改善结果见表 2 和表 3 的对比。同一机台，同一轮胎规格，内衬层与胎侧复合采用多片压辊滚压，病疵率明显下降。

所以成型工序采用多片压辊滚压，能显著提升成型工艺的精度、效率及材料适应性，尤其适用于复杂截面、多层复合或高精度要求的成型场景。

表 2 实施前病疵率

机台	规格	复合方案	产量	病疵 ID (降 C+ 整理)					病疵总发生率
				5	72	125	401 整理	72 整理	
A4	235/75R17.5-16PR	使用硬辊	939	5	3	0	138	4	16.08%
			发生率	0.53%	0.32%	0%	14.70%	0.34%	

表 3 实施后病疵率

机台	规格	复合方案	产量	病疵 ID (降 C+ 整理)					病疵总发生率
				5	72	125	401 整理	72 整理	
A4	235/75R17.5-16PR	多片压辊	1353	10	0	0	66	1	5.69%
			发生率	0.74%	0%	0%	4.88%	0.07%	

注：病疵 ID 代表：5- 子口脱层；125- 耐磨胶与内衬层间气泡；72- 胎侧泡；401- 胎趾与胎踵间气泡

4.2 实际生产测试

- 山东某轮胎厂完成的关于提升成型质量与效率方面的技改项目，围绕着设备升级、工艺优化、智能化集成三个方向展开，通过引入先进设备和先进技术解决传统生产中的痛点问题。
- 技改内容（部分）：
- (1) 设备升级，将原成型机因使用磨损的部件进行更换更新。
 - (2) 要求压辊采用多片压辊结构，包括胎侧与内衬层的辊压、帘布与子口的辊压、垫胶的辊压以及胎面的辊压等。
 - (3) 部署视觉检测系统，利用摄像头与深度学习

算法，实时监测胎胚尺寸及表面缺陷。

技改后，效果对比见表 4。

指标	技改前	技改后	提升幅度	备注
胎胚合格率 /%	95	99.2	缺陷率降低 84%	
单胎成型时间 /s	220	190	效率提升 13.6%	
每条能耗 /kW·h	1.85	1.27	能耗降低 30%	

国内外高端轮胎市场（如新能源汽车轮胎、高性能子午线轮胎）对产品一致性、耐久性、动均性等要求越来越严苛。轮胎厂技改的核心需求是质量、效率、成本等的协同升级，需结合行业趋势与企业实际痛点制定技改方案。通过引入智能化设备、提高质量、降

低能耗，企业可在激烈竞争中实现从“规模扩张”到“价值创造”的转型，而多片压辊作为接好头和压好实的关键执行部件，直接影响轮胎的质量，是轮胎厂未来技改的一个亮点。

5 结论与展望

多片压辊通过模块化设计与智能控制技术，具有压力分段控制、高适应性，高效率等优点，显著提升了轮胎成型过程中的滚压与贴合质量，提高了轮胎的

动均性，提升了轮胎成型效率，验证了理论模型的实用性，为轮胎制造业的智能化升级提供了关键技术支撑。

未来研究方向包括：

(1) 开发基于机器 AI 视觉的实时监测压合系统。

(2) 探索 3D 打印技术制造分片模块的可能性。

(3) 未来在柔性电子、超薄材料等新兴领域有望进一步拓展应用。

Optimization design of tire building machine press roller based on intelligent algorithm

Ma Yihao

(MESNAC Co. LTD., Qingdao 266300, Shandong, China)

Abstract: This paper proposes a solution based on intelligent algorithms and structural optimization to address the issues of uneven pressure distribution, poor bonding effect, and low efficiency in the pressing process of tire building machine rollers. By establishing a multi-piece roller mechanical model, optimizing parameters with intelligent algorithms, and adopting a multi-piece roller (also known as a layered roller) structure, the structural parameters and pressure distribution strategy of the rollers are optimized, significantly improving the quality and efficiency of tire building. Experiments show that the optimized multi-piece roller system can enhance tire uniformity by 15% and reduce energy consumption by 20%, providing theoretical support for intelligent tire manufacturing.

Key words: tire building machine; multi-piece roller; mechanical model; intelligent algorithm; structural optimization

(R-03)

总投资 10 亿元！轮胎核心材料项目落地

A total investment of 1 billion yuan! The core tire material project has been launched

近日，总投资 10 亿元的轮胎帘子布项目正式签约落户江苏沭阳经济技术开发区。

该项目由江阴市沙江纺织科技有限公司投资建设，作为知名的橡胶轮胎骨架材料行业的先进制造商，主要从事增粘尼龙切片、尼龙纺丝、轮胎帘子布等核心产品的研发与生产。

自 2021 年 4 月入驻沭阳以来，该集团先后落地江苏沙江化纤有限公司、江苏京沙帘子布有限公司两个实体项目。

此次再度签约投资 10 亿元新项目，充分展现了企业增资扩产、裂变升级的良性发展态势。

前不久，江苏沙江化纤有限公司可持续发展能力获得国际认可，喜获 EcoVadis 认证铜牌，排名前 26%。

摘编自“中国橡胶”

(R-03)