

轮胎胎面智能缠绕滚压系统的应用及效果分析

蒋跃¹, 王其营¹, 陈征峰²

(1. 中策橡胶(天津)有限公司, 天津 300452;
2. 杭州纽亿自动化系统有限公司, 浙江 杭州 310018)

摘要:为满足工程胎市场对产品质量与生产效率的需求, 针对传统胎面缠绕滚压系统在压合力均一性、气泡排出等方面的缺陷, 研发新型智能缠绕滚压系统。该系统由配方压力设定生成端、压力控制端及仿形缠绕压合端组成, 通过分区压力智能调控、多辊片独立驱动等设计, 实现胎面缠绕的自动化与精细化。应用结果表明, 系统可有效排出胶条气泡、保证胎面成型精度, 缩短规格调整时间至 10~15 min, 显著提升轮胎耐磨性与抗脱层能力, 为工程胎生产提供技术支撑。

关键词: 工程胎; 智能缠绕滚压; 压力控制; 成型质量

引用论文: 蒋跃, 王其营, 陈征峰. 轮胎胎面智能缠绕滚压系统的应用及效果分析[J]. 橡塑技术与装备, 2026, 52(8):21-25.

中图分类号: TQ330.493

文献标识码: B

文章编号: 1009-797X(2026)08-0021-05

DOI:10.13520/j.cnki.rpte.2026.08.005

0 前言

近年来,随着工程机械轮胎(以下简称“工程胎”)市场需求的增加,各轮胎生产企业也根据企业实际适时、适量扩大工程胎的产能;同时对产品质量给予高度重视,并采取相应的措施稳定和提高产品性能。轮胎胎面缠绕机是工程胎成型的重要设备,而缠绕机的滚压系统则是该设备的关键,其性能的优劣直接影响到轮胎的质量和生产效率。传统的胎面缠绕滚压系统在设备自动化、数据精细化、外表美观化、性能均一化等方面存在单一或多种不足,已不能满足市场对工程胎外表美观、内在可靠、耐磨抗扎、交货及时、售后到位的要求。为此,我公司针对工程胎成型过程中发现的问题,结合市场的最新需求,以提升轮胎质量、提高生产效率为突破口,与轮胎胎面缠绕机研发生产单位合作,对轮胎胎面缠绕及滚压系统的自动化、智能化、精细化、均一化等方面进行相应的改进,这些改进对提高工程胎成型的效率和质量起到关键作用。本文对工程胎胎面缠绕滚压系统的工作原理进行简要阐述,对现有系统存在的缺陷进行有针对性的分析;在此基础上,提出对胎面缠绕滚压系统的优化方案,并对系统优化后的效果进行分析,供同行参考。

1 胎面缠绕滚压系统的工艺原理及现状

1.1 胎面缠绕滚压的工艺原理

目前,无论是斜交工程胎还是全钢工程胎(特别是全钢巨型工程胎),其胎面成型基本是以缠绕为主;而胎面缠绕滚压是胎坯成型过程中的关键步骤,通过挤出机和口型板将胎面胶挤出为设定断面的胶条,经过冷却系统降温后,利用缠绕装置将胶条按照设计断面形状(包括弧度、宽度、厚度等),通过建立数字化胎面模型,利用控制系统动态调整缠绕轨迹,使胶条贴合形成目标轮廓。

在胎面缠绕过程中,胶条随着设计的断面形状紧密缠绕,形成均匀且致密的胎面结构;滚压装置则通过压辊施加压力,将胶条间的气泡挤出、空隙压实,确保胶条与胎体、胶条与胶条之间紧密结合。在达到设计形状的前提下,使胎坯质量达到工艺要求,进而提高轮胎的强度、耐磨性和行驶性能。

1.2 现有缠绕滚压系统存在的缺陷及需要解决的问题

目前,常用的胎面缠绕装置在胎面胶条缠绕过程中,平坦部位基本满足工艺要求,缠绕胶条层与层之间密实无气泡。但是在胎面转角时,随着胎面曲面曲率的变化,压辊压合力矢量分量也产生变化,致使胶

作者简介: 蒋跃(1992-),男,本科,工程师,主要从事高分子材料的研究工作,已发表论文2篇。

条缠绕压合力不同,胶条缠绕无法满足工艺要求;胶条层与层之间存在间隙,缠绕胶条层间的气泡不能被全部压出,严重者甚至出现蜂窝状,不能满足工艺要求,详见图1所示。



图1 缠绕胶条层间气泡实效图

针对此种现象,多层胎面胶条缠绕需解决以下问题:

(1) 胎面缠绕工艺要求缠绕胶条压合力相同,进而确保胶条的延展变形一致,做到均一化,这是保证轮胎均匀性的基础。

(2) 在胶条分层缠绕时,胶条与胶条间的气泡必须有效排出,这是保证轮胎胎侧、胎面不鼓包、不脱层的关键。

(3) 多层胶条缠绕形成的胎面断面一般为非规则圆弧梯形,有较多曲面缠绕过程,需要仿形压辊压合胶条,使缠绕后的胎面达到设计形状,达到精细化要求。

(4) 胶条缠绕规整无翻边现象,以保证轮胎外观质量。

(5) 设备突出自动化、智能化,缩短调整规格等占用的时间,提高生产效率,提高设备的整体性能。

上述五方面问题,既是现有胎面缠绕滚压系统需要优化的突破点,也是提高工程胎胎面缠绕和滚压质量的关键点。

2 新型智能缠绕滚压系统的组成

我公司与轮胎胎面缠绕机研发生产单位合作,结合现有胎面缠绕滚压系统存在的问题,进行有针对性的改进、提升和突破。通过研发阶段的改进和突破,试验阶段的摸索和完善,最终形成性能可靠、自动化程度高、智能化领先、精细化到位、均一化提升的新型智能缠绕滚压系统。该系统主要由配方压力设定生成端、压力控制端、仿形缠绕压合端三部分组成,下面分别进行简单介绍。

2.1 配方压力设定生成端

轮胎胎面缠绕区域包括胎面平坦区、胎面弧度区,而且不同规格的轮胎,其胎面平坦区和胎面弧度区有明显的差别;即使同一个规格,不同弧度区的缠绕弧度也有区别。因此,配方压力设定生成端需要根据胎面平坦区、胎面弧度区、缠绕弧度等不同区域的压力分别设定。

胎面平坦区压力由人工设定界面,此界面主要用于设定胎面截面平坦区的压力值。此压力值一般由人工根据对应轮胎规格的胶条密度、厚度、宽度等参数来设定,此压力值即为对应规格轮胎胎面的缠绕压辊的设定缠绕压合压力值。

胎面弧度区压力则是智能生成界面。该区位于胎面平坦区两侧,该界面程序接收到对应轮胎规格的截面图后,根据平坦区设定的缠绕压合压力值自动生成弧度区的缠绕压力值。弧度区压力值的生成标准是保证缠绕胶条无论在平坦区还是弧度区都是在设定压合压力下被缠绕压合。

同一胶条宽度方向也有缠绕弧度变化,细分为宽度方向的多个小压力区的缠绕压合压力。由于缠绕胶条是由同一台挤出机和口型板挤出,正常情况下可以视为缠绕压合压力相同;如果工艺需要,可以根据要求进行调整。

2.2 压力控制端

压力控制端是新型智能缠绕滚压系统对缠绕胶条进行适时、适位、适度控制的基础。

在胎面缠绕时,缠绕压辊呈现与被缠绕胎胚中心线正负90度的旋转状态进行缠绕,要实时检测缠绕压辊与被缠绕胎胚中心线的角度变化值。同时,需要通过多路比例阀对压力进行实时控制,根据实时角度反馈值对照压力配方,多路比例阀输出对应的缠绕压力,这样才能确保胎面缠绕胶条的均一、密实,使缠绕后的胎面符合工艺要求。

2.3 仿形缠绕压合端

仿形缠绕压合端是确保新型智能缠绕滚压系统在胶条缠绕后,外形满足断面设计形状的关键,为此,仿形缠绕压合端的设计包括以下要点:

(1) 胎面缠绕滚压系统的压辊在压合宽度方向分为对应多路比例阀的多压力区,多压力区压力受多路比例阀控制。

(2) 压辊是由多个小宽度外圈转动、内圈静止的并列辊片组成,且压辊的片与片之间无间隙,可以在

确保胶条压实的前提下,避免胶片压偏、压凸、压不平。

(3) 压辊的每一套辊片采用相同活塞面积的内置小气缸单独驱动,气缸行程覆盖轮胎胎面的全部区域。

(4) 在胶条厚度不变的情况下,通过缠绕曲面变化,在多层缠绕后,将胶条仿形压合,从而达到胎面的设计形状。

(5) 每一压力区内的小气缸共用同一进气通道,确保同一压力区内的小气缸推动辊片对胶条的压合力相同。

通过配方压力设定生成端、压力控制端、仿形缠绕压合端的完美组合,才能实现新型智能缠绕滚压系统的自动化、智能化、精细化、均一化。

3 新型智能缠绕滚压系统的实施方案

3.1 新型智能缠绕滚压装置

新型智能缠绕滚压装置外形结构如图2所示,是根据原有系统存在的问题进行有针对性改进而形成的。参数覆盖区域包括平坦区和弧度区、缠绕压合区,参数设置主要是配方压力设定生成端、压力控制端、仿形缠绕压合端三部分,详见图3。

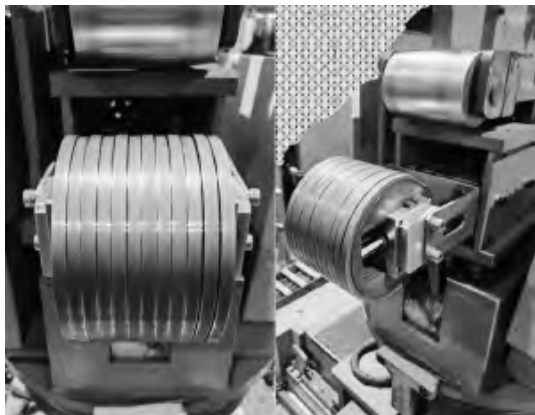


图2 新型智能缠绕滚压装置外形结构图



图3 新型智能缠绕滚压装置设置参数

3.1.1 平坦区和弧度区的设定

在确定轮胎成型的规格后,系统将根据缠绕压辊所在实际位置的中心线与被缠绕胎胚中心线的夹角值设定平坦区和弧度区:当夹角值 $< \pm\alpha$ 度时,该区域设定为平坦区(A);当夹角值 $> \pm\alpha$ 度时,该区域则被设定为弧度区(B)。

平坦区(A)由人工设定:根据胶条密度(X)、胶条厚度(Y)、胶条宽度(Z)三大影响缠绕的主要因素设定压辊压力值。弧度区(B)由系统生成:压辊以每一个压力分区宽度投影至弧度区,其投影面切线与压辊实时角度的夹角值 β ,与平坦区所设压力值 $P_{\text{平坦区}}$,经公式 $P_{\text{弧度区}} = \sin\beta \cdot P_{\text{平坦区}}$ 计算出弧度区压力值 $P_{\text{弧度区}}$ 。为便于快速、准确设定参数,需要将轮胎规格型号、平坦区压力值 $P_{\text{平坦区}}$ 与弧度区压力值 $P_{\text{弧度区}}$ 等参数储存至压力配方库。

具备平坦区压力自动生成坐标曲线(6)后,新规格轮胎的压力配方包括平坦区(A)与弧度区(B)的参数将全部自动生成。

3.1.2 缠绕压合的设定

对于缠绕压合部分的设定,其对象包括:被缠绕胎胚的规格、在 180° 旋转面内完成缠绕工作、水平角度传感器等。

可检测缠绕压合部分的内容包括:被缠绕胎胚、中心线、角度的实时偏转值(σ);压力配方库读取水平角度传感器实时反馈的数据(σ),将对应此角度的压力设定信号发往多路比例阀,比例阀输出对应气压值(P)等。

缠绕压合部分设置压辊压合胶条,压辊宽度方向分为多个压力区(P_x),压力区(P_x)与比例阀(P)相对应,同一压力区的小气缸出力相同。

统计压力配方库规格数量 $>N$ 后,平坦区压力 $P_{\text{平坦区}}$ 自动生成坐标曲线。 X 轴为 $aX+bY+cZ$,式中 X 为胶条密度值, Y 为胶条厚度值, Z 为胶条宽度值; a 、 b 、 c 为比例因子,三者之和为1,其中 a 为主因子参数, b 、 c 为次因子参数。 Y 轴为平坦区压力值 $P_{\text{平坦区}}$,比例因子可人工微调修正;在后续增加规格配方达到 N 数量后,再次进行曲线修正。

3.2 新型智能缠绕滚压系统的实施及效果分析

新型智能缠绕滚压系统的架构流程详见图4。

按照图4显示的流程,利用人工与智能相结合的新型分层缠绕滚压系统进行操作时,平坦区缠绕顺滑

流畅，弧度区缠绕形状一致；压合后，胶片密实，无胶边翘起、无气泡。

由于配方压力设定生成端、压力控制端、仿形缠绕压合端的参数设置程序已经确定，在进行成型规格更换时，胎面缠绕参数设定调整的时间大幅缩短。传统

的胎面缠绕系统调整参数需要的时间在 1~2 h，而新型智能缠绕滚压系统的调整时间可以缩短到 10~15 min，大幅缩短了生产规格更换调整的时间，提高了生产效率，保证了生产的连续和流畅。

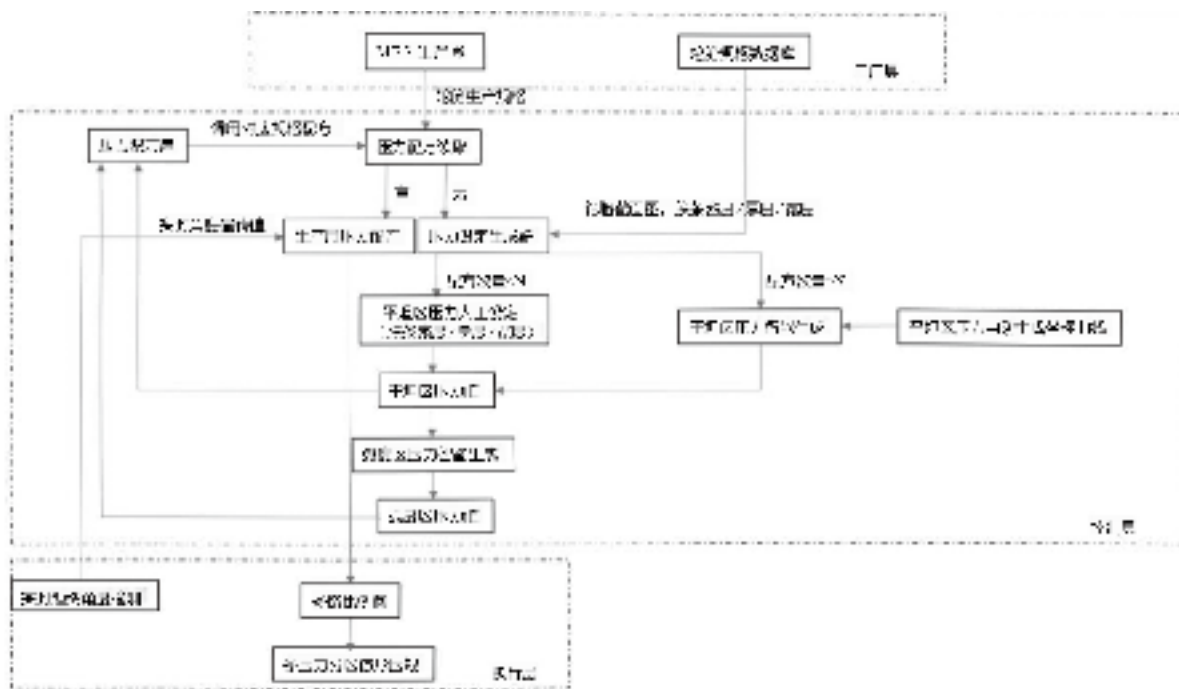


图 4 新型智能缠绕滚压系统的架构流程图

由于新型智能缠绕滚压系统的压辊由多组外径相同的压片组成，每一片均由独立的小气缸推动，气缸行程覆盖胶条厚度和弧度段高低变化，压辊被动仿形压合，满足曲面缠绕过程，将多层小胶条缠绕出胎面设计的非规则圆弧梯形断面，实现仿形压辊压合胶条缠绕达到胎面设计形状的目的；同时，压辊片与片之间无间隙，无论在平坦区还是弧度区压辊宽度方向施加在小胶条上的压合力一致，这样可以保证胶条之间的气泡都被有效排出；而且小胶条缠绕规整无翻边现象，确保缠绕、压合后的胎面密实。图 5 为采用新型智能缠绕滚压系统后胎面的切面实景图，切面内胶条边部都被压实，没有肉眼可见的气泡，上述传统胎面缠绕系统存在压不实的问题得到有效解决，对提高轮胎外观质量、避免轮胎脱层或出现局部气泡、提高轮胎耐磨性等方面有明显的改观。



图 5 采用新型智能缠绕滚压系统后胎面的切面实景图

4 结语

虽然新型智能缠绕滚压系统是在原工程胎面缠绕滚压系统基础上进行有针对性改进后逐步定型、成熟，但是由于该系统在胎面缠绕、压合过程中有效解决了原系统存在的质量问题，并增加了人工智能、仿形设计等亮点，对提升工程胎生产效率、解决轮胎外观质量、消除胎面内气泡、增强轮胎耐磨性、减少成品轮胎脱层等单方面或多方面有明显的效果。

Application and effect analysis of intelligent winding and rolling system for tire tread

Jiang Yue¹, Wang Qiyang¹, Chen Zhengfeng²

(1. Zhongce Rubber (Tianjin) Co. LTD., Tianjin 300452, China;

2. Hangzhou Niuyi Automation System Co. LTD., Hangzhou 310018, Zhejiang, China)

Abstract: To meet the market demand for product quality and production efficiency in the construction tire industry, a new intelligent winding and rolling system has been developed to address the shortcomings of traditional tread winding and rolling systems in terms of uniformity of pressing force and bubble removal. This system consists of a formula pressure setting and generation terminal, a pressure control terminal, and a profiling winding and pressing terminal. It achieves automation and refinement of tread winding through intelligent pressure regulation by zones and independent driving of multiple roller pieces. Application results show that the system can effectively remove rubber strip bubbles, ensure tread molding accuracy, shorten specification adjustment time to 10~15 min, significantly enhance tire wear resistance and delamination resistance, and provide technical support for the production of construction tires.

Key words: engineering tire; intelligent winding and rolling; pressure control; forming quality

(R-03)

加码东南亚，山东轮胎海外工厂二期投产

Expanding into Southeast Asia, Shandong Tire's overseas factory commences production in its second phase

2026年6月18日，青岛福临轮胎有限公司海外核心制造基地——马来西亚金马橡胶有限公司二期智能工厂，正式开启投产试运营，马来西亚交通部部长陆兆福出席投产仪式并剪彩致辞，标志着福临轮胎全球化产能布局迈入智能化、规模化新阶段。

据悉，该二期项目坐落于马来西亚巴生港自由贸易区，总投资超 5 亿马币，折合人民币约 8.45 亿元，是当地投资及产能规模位居前列的中资轮胎智造项目。项目全面搭载自动化炼胶、成型、检测一体化智能产线，搭建数字化生产管理平台，实现生产全流程可控、能耗精细化管控，生产效率与产品精度大幅提升，契合全球轮胎行业绿色智造发展趋势。

项目投产后，金马橡胶整体轮胎年产能突破 700 万条，产品聚焦乘用车、轻卡高端轮胎品类，依托马来西亚区位优势及自贸关税优势，直击欧美、东南亚海外终端市场，有效规避国际贸易壁垒，完善福临轮胎国内 + 东南亚双生产基地布局。

陆兆福在致辞中表示，金马橡胶二期项目落地，助力马来西亚橡胶深加工产业升级，带动当地就业、供应链配套及外贸出口，实现中外产业互利共赢。福临轮胎相关负责人表示，此次投产是企业深耕海外市场的关键一步，后续将依托海外基地研发产能，优化海外产品矩阵，持续提升中国轮胎品牌国际竞争力，深耕东南亚市场，稳步拓展全球高端轮胎市场。

青岛福临轮胎 2003 年创立于山东青岛，深耕行业二十余年，拥有 FULLRUN、AUTOGRIP 等自主品牌，2006 年福临建成青岛本土生产基地；2016 年率先落地马来西亚金马橡胶，成为首家在马投建大型现代化轮胎工厂的中资轮胎企业。

摘编自“聚胶”

(R-03)