

高品质轮胎胎面的新型生产工艺研究

蒋志强

(杭州朝阳轮胎有限公司, 浙江 杭州 310018)

摘要:从影响挤出稳定性的关键因素、胶料在口型处的定型过程分析了传统“拉出式”生产方法在产品品质提升方面存在的主要技术瓶颈,提出一套完整的“推出式”生产的实施方法,该方法包括设备的硬件条件和三级速度闭环控制的程序控制方法,并通过数值分析的方法,从理论上论证了“推出式”生产方法在产品品质提升上的显著优势。

关键词:轮胎;胎面;挤出;“拉出式”生产;“推出式”生产;三级速度闭环控制

中图分类号:TQ336.1;TQ330.6⁺4 **文献标志码:**B **文章编号:**1006-8171(2016)10-0611-06

随着轮胎标签法规的实施,汽车生产厂家对配套轮胎的品质要求日趋严格。轮胎胎面品质的稳定性和均一性对轮胎的总体品质的稳定性、动平衡性能和均匀性等有显著影响。因此,对胎面半成品的生产工艺控制提出了新的标准。

为提高生产效率,近年来国内大多数轮胎企业在胎面半成品的生产工艺中通过相对放大口型板开型尺寸、增加外部牵引速度的方式提高设备的生产能力,这种方法为传统的“拉出式”生产方法。“拉出式”生产方法在实际生产中的抗扰动力差,挤出的胎面半成品精度不高,稳定性偏低,米称称量波动大,单条胎面裁断后的长度收缩变形大,无法满足新的轮胎品质标准要求。

本研究提出一种高品质胎面半成品的新型生产工艺方法,即“推出式”生产方法。该方法可以有效解决传统“拉出式”生产方法造成的过程质量波动,获得连续稳定的高品质胎面半成品。

1 胎面挤出过程的核心要素分析

1.1 影响挤出稳定性的关键因素

在胎面半成品的实际挤出生产过程中,直接影响挤出稳定性和精确性的因素主要有以下6个方面。

(1) 由于设备本身加工误差引起的强制喂料波动与螺杆每转排胶量的波动。

(2) 由于变频器控制误差引起的螺杆转速波动。

(3) 由于胶料前道工序即密炼工序加工误差引起的不同车次胶料品质波动。

(4) 由于胶料原产地不同或供货批次不同引起的胶料品质波动。

(5) 由于人工操作失误引起的胶料品质波动。

(6) 由于原材料质量意外波动引起的非常态挤出半成品的质量波动。

除上述因素,挤出生产工艺方法造成的半成品稳定性波动也相当显著,这是目前国内轮胎厂在生产过程中普遍忽视的问题,也是传统的“拉出式”生产方法存在的最主要弊端。

1.2 胎面挤出过程的关键工艺

胎面半成品的复合挤出过程包含胶料在挤出机及机头通道内的挤出过程和胶料在口型处的定型过程。传统的“拉出式”生产方法忽视了口型处对胶料的定型过程的影响。

“推出式”生产方法除在口型处的定型过程与“拉出式”生产方法有本质区别外,其他各项工艺控制与“拉出式”生产方法基本相同。“推出式”生产方法是基于胶料在口型处定型过程的各项关键技术进行分析、寻找突破口进行改善与创新,形成一套新型胎面半成品的挤出生产工艺。

1.3 胶料在口型处的定型过程

橡胶是一种高分子化合物,挤出过程中在离开口型时会产生明显的膨胀现象。同时,在胶料

作者简介:蒋志强(1973—),男,浙江义乌人,杭州朝阳轮胎有限公司高级工程师,学士,主要从事轮胎生产和设备的技术管理工作。

从机头流道至挤出口型的流动与加工过程中,除了剪切流动外,还伴随着拉伸流动,对工艺过程和半成品性能有重要的影响^[1]。与剪切流动相比,对拉伸流动的试验研究比较困难,很多问题并未解决^[2]。

胎面挤出过程中的拉伸流动有口型内的收敛流动和口型外的牵引拉伸流动。在无牵引拉伸时,由于机头收敛流道,出口区只产生轻微的拉伸流动,在机头内侧,壁面胶料速度接近于零;当有牵引拉伸时,在口型出口处,胶料熔体自由表面将突然加速,并产生收敛流动,此时流体被拉长变细,流体单元在部件的挤出方向上存在速度梯度,而且由于接取装置提供拉伸牵引力的作用面为胎面部件的底面,流体单元在部件的厚度方向也存在一定的速度梯度。胎面部件挤出流动的速度梯度如图1所示。

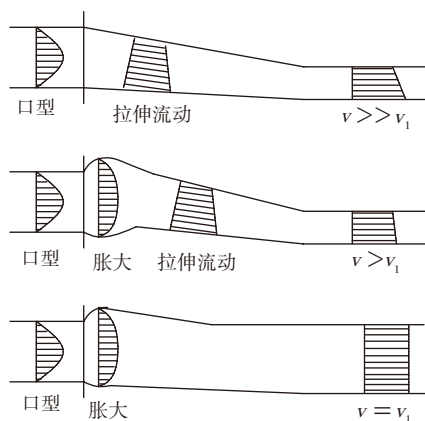


图1 挤出流动的速度梯度

当 $v > v_1$ 时,即为传统的“拉出式”生产方法;当 $v = v_1$ 时,即为新型的“推出式”生产方法。

1.4 胶料在口型处的数值模拟

研究牵引速度所产生的拉伸流动对在挤出定型过程中胎面部件口型段流体的形态及流变性能的影响。

建立胎面部件挤出定型的三维模型,利用Polyflow挤出数值计算软件进行挤出过程模拟,并研究牵引速度对压力场的影响。

以12R22.5胎面部件为例建立物理模型。采用ICEM-CFD/ICEMCFD(计算机前处理软件)建立有限元结构模型,并进行网格划分。由于胎面

半成品具有对称性,以下分析选取1/2模型进行数值计算,用模型1/2区域代替出口处的整个流动区域,便于简化计算模型,并在平行于口型出口位置施加牵引速度。边界条件如图2所示。

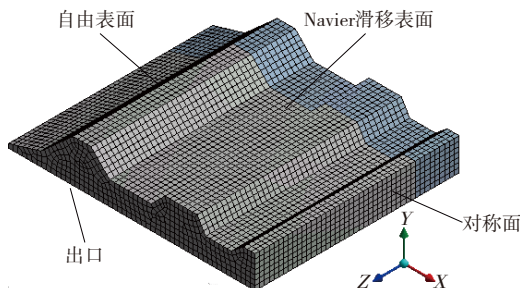


图2 边界条件

为了研究牵引速度对口型定型过程的影响,以牵引速度为变化参数,其他工艺参数不变,并选取不同的牵引速度进行仿真分析,牵引速度的设定见表1。

表1 牵引速度的设定

项 目	仿真分析方案			
	1	2	3	4
生产方法	推出式	拉出式	拉出式	拉出式
牵引速度(v_n)/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	$v_0^{(1)}$	$2(1.2v_0)$	2.5 ($1.5v_0$)	3.34 ($2v_0$)

注: $v_0 = Q/S$,其中, v_0 为零牵引挤出速度, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; Q 为口型入口流量, $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; S 为口型入口面积, m^2 。

应用Polyflow软件,结合边界条件及控制方程进行数值计算,得到不同牵引速度时的压力场分析结果,如图3所示。根据模拟分析可知,在其他工艺参数不变的情况下,随着牵引速度的增加,入口压力降低。由于牵引速度大于胎面半成品的挤出速度,附加的牵引拉伸力作用会导致胎面半成品自由表面段受到拉伸应力,产生拉伸变形,从而带动口型内橡胶熔体的流动,并对其挤出流动起到拖曳加速的作用,使挤出阻力减小,入口压力降低。由于流场中的拉伸应力大于剪切应力,拉伸应变大于剪切应变,因此牵引拉伸作用效果大部分表现为自由表面段的拉伸变形。当牵引速度等于胎面半成品挤出速度时,即不对胎面半成品施加额外的牵引拉伸力时,口型内的橡胶熔体的流动形态为剪切流动,胶料流体此时仅受到剪切应变,并不产生流动加速的作用。随着牵引速度的增加,自由段的挤出胀大现象将逐渐消失,口型内

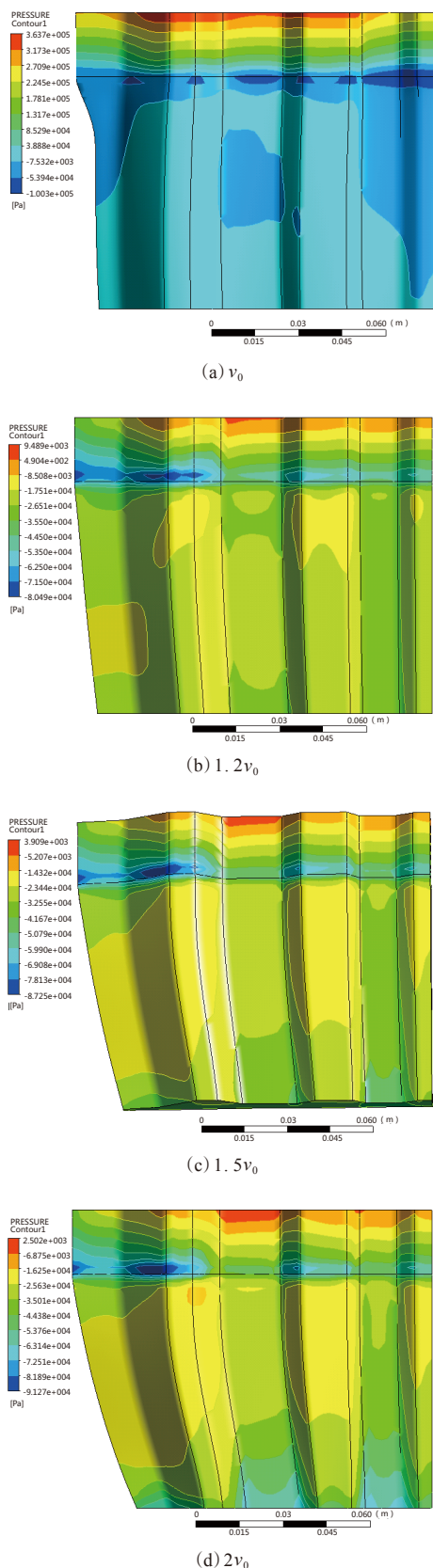


图3 不同牵引速度时的压力场

熔体的流动形态将逐渐转变为拉伸流动,并且对口型内熔体的流体应变、流动加速作用显著增加,从而导致入口压力急剧下降。

根据上述不同牵引速度时的压力场变化,可以得出胎面半成品在Z方向上的压力变化,如图4所示。

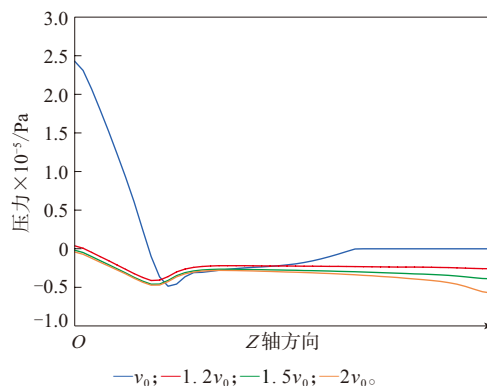


图4 不同牵引速度时Z方向的压力变化

综上分析可得,当对胎面半成品施加一定的附加牵引速度时,即“拉出式”生产方法,会造成口型段对胶料熔体的正压力降低,导致定型形状约束不足,类似于“无模定型”的挤出状态,胎面半成品的挤出定型精度难以保证。当对胎面半成品实施的是无附加牵引速度时,口型段对胶料熔体的正压力不会降低。口型对物料过小的正压力也是造成胎面半成品的气孔率偏高、不同胶料间的层间粘合力差、容易产生复合气泡的主要原因。因此一定的口型压力可以有效保证聚合物的定型尺寸精度。可见,“推出式”生产方法更容易得到断面尺寸和复合精度稳定的胎面半成品。

压力分布反映了不同牵引速度对流场压力分布的影响,由于计算仅为口型及一小部分自由段的模型,而在实际的胎面生产中将以生产线收料前的胎面半成品稳定性作为重要的衡量指标。胶料熔体在复合机头流道、预口型及口型内因流动而取向,在通过口型后橡胶分子链将发生应力松弛,即重新蜷曲,此时胎面的断面将会胀大,而胎面的长度会收缩。这一过程将持续到分子链应力松弛完毕。胎面中的橡胶分子链在挤出方向上的流动取向是一致的,但是由于胎面断面并非规则的矩形断面,这种厚度方向上的尺寸差异性造成了胎面半成品在收缩过程中的分子链松弛应

变不均匀。挤出时的分子链内应力越大,这种收缩变形的差异性就越大。“拉出式”生产中,由于在将胎面从口型中引出时对其施加了额外的牵引力,胎面半成品的内应力大于“推出式”生产的胎面半成品内应力,这也是“拉出式”生产的胎面半成品断面尺寸稳定性要低于“推出式”的主要原因之一。

此外,胎面半成品的内应力越大,其分子链应力松弛需要的时间越长。在“拉出式”生产中,往往当胎面半成品走完整个联动生产线全程时,分子链的应力松弛过程仍未结束,在胎面半成品进行停放及工序转运的过程中仍在继续,这将直接影响胎面部件长度的稳定性,从而影响轮胎成型精度。

2 “推出式”生产方法的应用

“推出式”生产方法是一种集成了胎面半成品生产速度的实时检测、直接反馈以及三级速度闭环控制的机电一体化装置方案。该方案通过在原有的传统复合挤出生产线上进行局部的技术改造,同时引入三级速度闭环控制方式。

2.1 产品品质优势

为了在实际生产中验证“推出式”生产的产品品质优势,选择在现有的传统胎面生产线上,以12R22.5轮胎胎面半成品为例,按照“推出式”的理念重新设计、修配了一套口型板,然后利用相同的设备、胶料和操作人员进行了“拉出式”和“推出式”生产对比试验。试验结果见表2。

由表2可知,相对于“拉出式”而言,“推出式”生产在胎面半成品的品质提升上具有非常明显的优势,而且在品质提升的同时,生产线的生产效率(指下坡处的最终收料效率)并没有明显的降低。这也充分说明了“推出式”生产的胎面半成品的收缩率更小,更容易获得长度稳定的单条胎面半成品。

在该试验中,挤出机机头压力对比见表3。

从表3可以看出,“推出式”的生产方法可以有效保证口型对胶料的正压力,从而确保挤出胎面半成品较小的气孔率、不同胶料之间的较高的层间粘合力,避免复合气泡的产生。

“拉出式”和“推出式”生产的胎面部件断面气

表2 “拉出式”和“推出式”生产对比试验结果

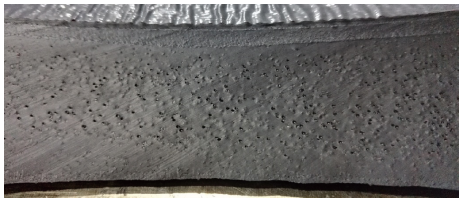
项 目	第1次对比试验		第2次对比试验	
	拉出式	推出式	拉出式	推出式
接取线速度/(m·min ⁻¹)	13.6	13.1	13.6	13.1
下坡线速度/(m·min ⁻¹)	10.6	11.0	10.6	11.0
收缩率设定	3/5/8	7/11/15	3/5/8	7/11/15
单条胎面半成品质量波动/kg	0.52	0.24	1.07	0.26
单条胎面半成品质量波动率/%	2.77	1.28	5.71	1.39
单条胎面半成品质量Cp ¹⁾	1.43	2.73	0.92	2.81
单条胎面半成品质量Cpk ²⁾	1.01	1.82	0.48	1.87
单条胎面半成品裁断后长度平均收缩量(停放20 h)/mm	20.57	10.43	22.85	9.24
单条裁断后长度平均收缩率/%	0.63	0.32	0.70	0.28

注:1) Cp为过程能力;2) Cpk为过程能力指数。

表3 两种不同生产方式的机头压力对比 MPa

规 格	第1次对比试验		第2次对比试验	
	拉出式	推出式	拉出式	推出式
Φ250	6.0	6.8	6.0	6.8
Φ200	6.7	6.8	7.0	7.0

孔率如图5所示。从图5可以看出,“推出式”生产的胎面部件断面气孔率较小,胎面半成品致密性更高。



(a) 拉出式



(b) 推出式

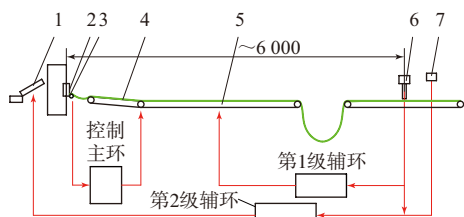
图5 “拉出式”和“推出式”的胎面部件断面气孔率

2.2 “推出式”生产的实施方法

2.2.1 硬件系统

“推出式”生产方法硬件系统由供胶机、挤出机头、接取装置、连续秤称重装置、测宽装置、PLC

控制系统及生产线后续常规功能段组成,结构如图6所示。挤出机头的口型设计与调试都必须遵循“推出式”的相关原理。口型出口处安装有口型测速辊,口型测速辊上配置编码器,编码器用于将口型测速辊测量出的胎面半成品实际挤出速度转换为实时的挤出线速度。



1—胶料(供胶机); 2—“推出式”口型; 3—测速辊; 4—接取摆架;
5—收缩辊道; 6—连续秤; 7—测宽装置。

图6 “推出式”生产方法硬件系统结构示意图

PLC控制系统作为整个装置系统的控制中心,包括开关模块、设定模块、接收模块、计算模块、比较模块、调整模块和报警系统。

2.2.2 软件系统

在“推出式”的生产工艺中,采用了全新的三级速度闭环控制方法,包括控制主环、第1级辅环和第2级辅环共三级控制闭环,以提高设备在生产过程中的抗扰动能力与自动补偿能力,确保橡胶胎面半成品挤出的精确性及稳定性。

2.2.2.1 控制主环

控制主环是通过口型测速辊实时检测胎面半成品实际挤出的线速度,利用该速度可以在胎面半成品挤出的线速度与接取线速度之间建立直接的实时速度反馈闭环控制系统。该控制功能必须与“推出式”口型配合使用,在“拉出式”生产方法中无法使用。

在胎面半成品的“推出式”调试过程中,根据经验确定胎面半成品挤出速度与接取摆架速度比值的合理变化范围,并通过该比值的波动规律确定设备的固有误差对胎面半成品挤出稳定性的影响因子,将该因子植入到控制程序中作出预补偿,这样可以在胎面半成品的挤出过程基本消除此类误差对胎面半成品挤出稳定性的影响。

当胎面半成品的挤出波动超出了因设备固有误差引起的波动范围时,分析这些波动增量来源于设备供料的胶料误差。虽然生产线速度由程序

控制实施自动的速度补偿调节,但仅限于较小的胶料波动。在实际生产中,胶料的品质波动较大,需要第1级控制辅环参与自动补偿速度调节。

2.2.2.2 第1级辅环

称重反馈闭环控制是通过米秤称重反馈建立的闭环控制系统微调生产线速度的给定值,从而在一定程度上对挤出机供料时的较大胶料波动引起的挤出稳定性进行自动补偿调节。

在PLC(可编程控制器)内部把米秤实际测量值均值与配方中米秤标准设定值之间的偏差量进行实时比较计算,并依据此偏差量通过PID运算程序自动计算出生产线速度的调节总量 Δv ,若米秤称重值呈现偏重上升的趋势时, Δv 随之提高;若米秤称重值呈现偏轻下降的趋势时, Δv 随之降低。

2.2.2.3 第2级辅环

称重、测宽反馈闭环监控是通过米秤称重反馈与测宽检测反馈共同建立一套闭环控制系统,可以在线实时监控胶料密度的异常情况,并在出现异常情况时发出报警信号,或在胶料密度异常超出了工艺许可的范围时控制生产线强制停机,以避免在实际生产过程中出现大量废次品。

其工作原理是通过米秤称重反馈和测宽系统的宽度反馈进行比较判断,并通过PLC控制程序监控胶料密度。

2.2.3 三级速度闭环控制

在同一条生产线上采用“推出式”连续生产12R22.5轮胎,分别在3个不同的时间段内,连续采集50个胎面样本进行数据统计、分析和计算。该生产线仍采用传统的速度开环控制模式。

分析数据可知,当采用“推出式”生产方法时,虽然可以获得较高的单条胎面半成品质量Cpk,并且能够满足高品质胎面半成品的生产工艺要求。但其Cpk在较长的连续生产周期内仍处于小幅波动状态。造成这种现象的根本原因是在长时间连续生产中,挤出机供料误差始终在动态波动中,而这些胶料误差的波动无法通过生产线程序控制的办法得到有效的自动补偿,从而在一定程度上影响胎面半成品品质的均一性与稳定性。

当生产线投入了三级速度闭环控制系统后,再次采用相同的方法生产同一规格胎面半成品,并采用相同的数据采样方法进行统计分析,其单

条胎面半成品质量Cpk可以长时间稳定在2.32左右。这说明在生产过程中可通过三级速度闭环控制程序对胎面半成品质量进行在线自动补偿调整,使其Cpk始终处于稳定状态,从而更有效地控制胎面半成品品质的均一性与稳定性。

2.3 “推出式”生产的其他优势

在“推出式”的生产方法中,由于实现了米秤参与闭环反馈控制,确保了挤出胎面半成品高品质的连续稳定生产。基于这个前提,“推出式”的生产方法可以实现真正意义上的“一键启动”配方生产,即操作人员只需要按照生产规格直接调用预存储的生产配方,实现“零干预”的自动化生产过程。这种生产方法可以最大程度地减少人工操作失误对产品质量的影响。

同时,在“推出式”的生产方法中,由于产品质量的稳定性大幅提升,在生产过程中因品质波动造成的废、次品率大幅度减少,生产返回胶率下降,企业的综合生产成本降低。

3 结语

“推出式”生产方法能够显著提高轮胎胎面半成品的品质,而胎面半成品的挤出精确性和稳定性对轮胎的动平衡、均匀性指标的提升至至关重要。同时,“推出式”的生产方法还可以拓展到所有采用挤出法生产的轮胎半部件中。这种新型的生产方法突破了传统“拉出式”生产方法在产品质量提升方面的技术瓶颈,并且具有非常明显的性能优势,为轮胎企业在严峻的同质化市场竞争中寻求差异化品质竞争优势提供了技术创新思路。

参考文献:

- [1] Kim J M, Edwards B J, Keffer D J. Visualization of Conformational Changes of Linear Short-chain Polyethylenes under Shear and Elongational Flows[J]. Journal of Molecular Graphics and Modelling, 2008, 26(7): 1046-1056.
- [2] 应宗荣. 高分子材料成形工艺学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2010: 45-54.

第19届中国轮胎技术研讨会论文

两款锦湖轮胎赢得国际设计奖

中图分类号:TQ336.1;F27 文献标志码:D

美国《现代轮胎经销商》(www.moderntiredealer.com)2016年6月19日报道:

两款锦湖轮胎赢得2016年汽车和交通类国际优异设计奖(IDEA)。

锦湖轮胎美国公司宣布其荣获2016年IDEA的产品为Smasher未来概念轮胎(见图1)和已经市售的Sealant自密封轮胎(见图2)。



图1 Smasher概念轮胎



图2 Sealant自密封轮胎

Smasher轮胎是与Ssangyong汽车公司合作设计的,优化用于极端路面条件,具有吸板和磨合结构胎面。轮胎的吸板可通过抓地时创造真空状态使车辆爬陡坡,而埋置于花纹块的磨合结构确保在任何路面条件下安全驾驶,包括因撞击不平部分而可能损坏轮胎的粗糙路面。

Sealant自密封轮胎在胎面刺扎时可自动密封损坏部位,防止内部空气泄漏。

(吴秀兰摘译 赵敏校)