

轮胎花纹排气场气体的流动性分析

胡海明,徐方鑫*

(青岛科技大学 机电工程学院,山东 青岛 266061)

摘要:基于流体动力学理论建立轮胎不同形状花纹的排气场数学模型,采用流场分析软件Fluent研究胎坯二次定型过程中花纹排气场气体的流动性。结果表明:对于矩形花纹设置2个气孔能使气体更好分流,减少气体与型腔壁面的碰撞;气孔直径为3 mm时出口气体速度趋于平稳,型腔内部压力相对恒定;调整多边形花纹排气气孔数量,并在花纹转角处设置1个气孔,可提高气孔排气性能;从气孔进口到出口湍流强度逐渐递增,在壁面达到峰值。

关键词:轮胎花纹;排气场;流动性;流体动力学;气孔;气体速度

中图分类号:TQ330.4⁺1

文献标志码:A

文章编号:1000-890X(2019)11-0858-05

DOI:10.12136/j.issn.1000-890X.2019.11.0858



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

轮胎模具花纹形状复杂,胎坯二次定型气体流动性强,不易通过理论分析预测排气过程^[1],轮胎模具厂多根据经验确定排气位置。如果模具型腔与胎坯之间的空气不能完全排出时,胶料不能完全填压充实在模具型腔内部,会造成轮胎缺胶。因此,在胎坯二次定型过程中监测型腔内部气体排出的过程非常重要。

D. B. Lee等^[2]基于橡胶与模具表面的接触行为,分析橡胶在成型过程中的流动性,证实胎面花纹形状对橡胶的流动行为有显著影响。K. W. Kim等^[3]通过显式有限元法预测具有胎面花纹的轮胎模型的驻波现象,同时研究橡胶的膨胀压力和垂直载荷对轮胎临界速度(设计的最高行驶速度)的影响。Min Young Lyu等^[4]研究在不同大小以及不同流量毛细管模具内压力、速度和温度分布,表明非线性微分粘弹性模型(PTT)能够很好地表征橡胶化合物的粘弹性行为。胡海明等^[5-6]对弹簧气孔套进气段流道流场进行可视化分析,解析流场特性变化曲线,分析了进气段结构对喷射流动参数的影响。焦冬梅^[7]采用近似稳态法,对振动下粘度方程进行修正,从理论上确定影响橡胶振动流动性的因素,丰富了橡胶流动性理论。吴显威等^[8]根

据数值分析结果,分析橡胶熔体在膨胀干燥机流道中的流动规律,进而改善了橡胶质量。

本研究运用流场分析软件Fluent分析胎坯二次定型(压力为0.18 MPa)过程中不同花纹形状以及气孔大小对花纹型腔排气性能的影响,研究了轮胎花纹排气场气体的流动性,有利于提高花纹型腔气孔设计的科学性。

1 排气流域分析原理

根据硫化工况,针对块状封闭型腔内流体,以三维粘性欧拉方程组作为数学模型^[9],采用欧拉法对排气流域进行计算分析。根据质量守恒定律,有如下公式

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho v) = 0 \quad (1)$$

式中, ρ 为气体密度, t 为气体流动时间, v 为气体运动粘度。

排气流域遵循动量方程,微分形式为

$$\rho \frac{Dv}{Dt} - \rho F - \operatorname{div}P = 0 \quad (2)$$

式中, $\rho \frac{Dv}{Dt}$ 为惯性力, ρF 为质量力, $\operatorname{div}P$ 为应力张量的散度。

排气流域选用雷诺平均N-S方程组模型中的标准k- ϵ 两方程湍粘性模式分析,湍粘性定义为湍动能k和湍流耗散率 ϵ 的函数。湍粘性模式函数为

作者简介:胡海明(1964—),男,山东临沂人,青岛科技大学教授,硕士,主要从事模具计算机辅助设计的教学和科研工作。

*通信联系人(qdxufx@163.com)

$$\tau_{ij} = 2\mu_t(S_{ij} - S_{nn}\delta_{ij}/3) - 2\rho k\delta_{ij}/3 \quad (3)$$

式中, τ_{ij} 为偏应力张量, μ_t 为涡粘性, S_{ij} 为平均速度应变率张量, S_{nn} 为变形速度张量, δ_{ij} 为克罗内克算子。

2 模型设计及参数设置

2.1 排气流域模型

轮胎花纹排气流域包括花纹流域和气孔排气流域。根据某轮胎模具厂的矩形花纹参数, 建立长为 9 mm、宽为 8 mm、厚为 5 mm 的矩形花纹模型, 建立底部直径为 3 mm、顶部直径为 2.6 mm、高为 10 mm 的气孔模型, 如图 1 所示。

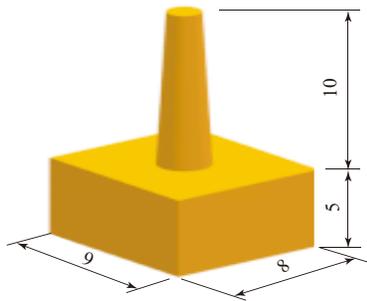


图1 轮胎矩形花纹排气流域模型

2.2 网格划分

根据流域的进出口, 将模型划分成不同的 Part, 流域模型入口为 In, 流域模型出口为 Out, 其余壁面设置为 Wall。

排气流域网格精度影响分析结果, 划分时采用四面体单元和三棱柱边界层单元, 对流域的出口区域进行网格细化。定义网格全局参数最大为 0.1, 出口网格参数为 0.05, 生成的网格质量均大于 0.3, 满足计算要求。

2.3 参数设置

轮胎模具中的流体材料定义为空气和橡胶, 设置 25 °C 下空气的密度为 $1.169 \times 10^{-3} \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$; 橡胶密度为 $1.114 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 、运动粘度为 $53\,986 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 。空气设置为基准项, 橡胶设置为次项。

花纹排气流场参考压力为零, 选用欧拉多相流模型中的流体体积 (VOF) 模型, 在瞬态模式下分析流域内橡胶和空气组分所占体积率^[10]。

根据实际工况设定花纹型腔流体入口的进口

总压为 0.18 MPa^[11], 出口静压为 0.1 MPa; 型腔内部流动状态为三维粘性不可压缩流动, 不考虑花纹块的变形, 花纹型腔与胎坯之间流体的运动方向设置为垂直于边界, 流体入口处橡胶体积分数设为 1, 以免空气的进入。

3 结果与讨论

3.1 速度场分布规律

轮胎模具花纹排气流域型腔壁面处气体速度变化较小, 在壁面与气孔交界处气体速度开始增大直至气孔的中心位置达到峰值, 在距气孔出口位置 2~3 mm 时气体速度开始减小。气孔与壁面交界处气体压力减小, 速度增大; 流出气孔时气体压力开始增大, 速度减小, 这符合伯努利原理, 即在连续性介质流动过程中, 压力与速度成反比。

采用控制变量法, 设计气孔为 1—2 个, 气孔位置在花纹的边角、边中和中央, 分析不同数量以及不同位置气孔的排气速度对比, 结果见表 1。

表1 气孔排气速度对比 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

气孔数量	气孔位置		
	边角	边中	中央
1个	365.86	360.59	352.05
2个	370.15	364.57	354.57

从表 1 可以看出, 气孔增多, 气孔排气速度增大; 2 个气孔在边角时排气速度最大, 为 $370.15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 1 个气孔在中央时排气速度最小, 为 $352.05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

对于矩形形状花纹, 气孔采用 2 个, 可使气体分流, 提高气体排气速度, 气体的排气速度场如图 2 所示。

从图 2 可以看出: 边角气孔排气最大速度在出口壁面上, 边中和中央气孔排气最大速度在出口中央; 中央 2 个气孔排气速度较均匀, 有利于气体的排出。气体排出时, 既要考虑出口气体速度的大小, 又要保证出口气体速度的均匀性, 从而减少气流与壁面的碰撞, 缩短排气时间。

为分析气孔大小对花纹的影响, 在矩形花纹中央设置 1 个气孔, 分析气孔大小 (底部直径) 对

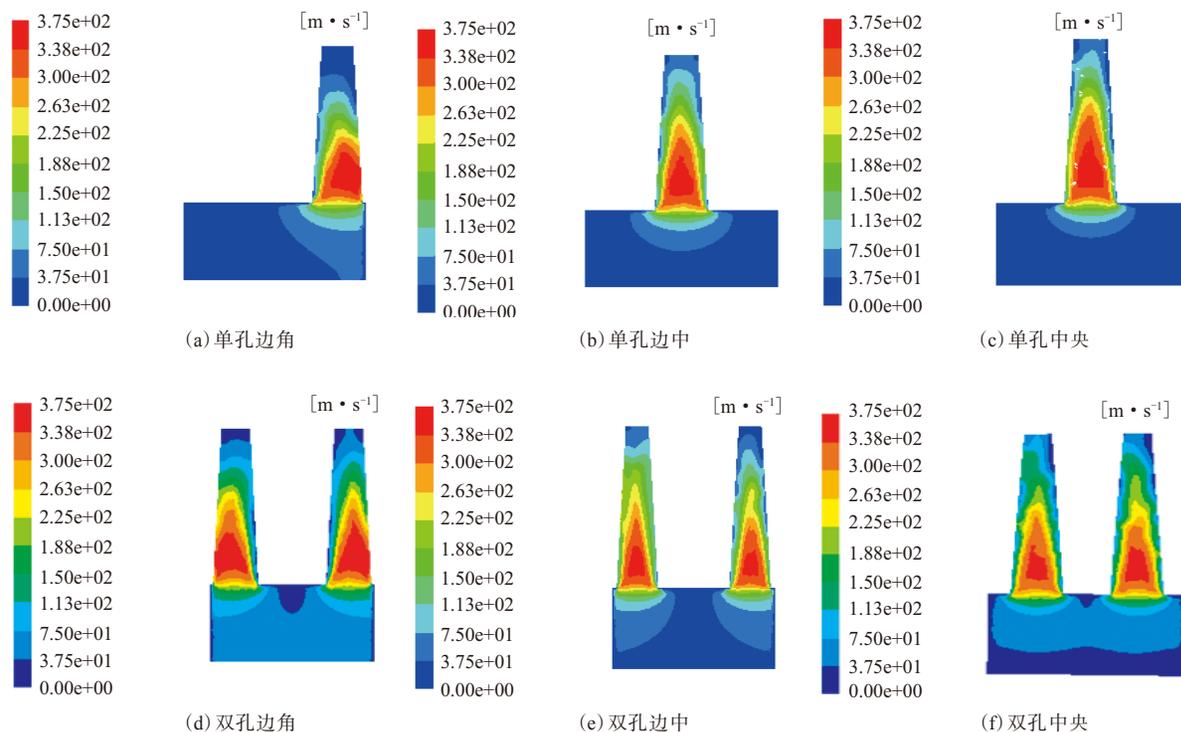


图2 不同数量和不同位置气孔的排气速度场云图

排气速度的影响。结果得出,气孔底部直径为2, 2.5, 3, 3.5, 4和5 mm时,排气速度分别为342.8, 352.0, 354.9, 355.1, 359.9和369.5 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

排气速度随着气孔直径的增大而增大,即气孔直径增大使出口横截面积增大,气体与壁面的碰撞减少,气体能更快排出。当气孔直径达到3 mm以后,排气速度趋于稳定,表明此时型腔内部压力相对恒定,气流能从气孔均匀排出。但气体速度过大时,压力过小,由于气体在排气流域内的惯性,容易在壁面与气孔交界处产生漩涡,延长排气时间,从而影响轮胎表面质量。

Sung Hyun Choi等^[12]测试了成型过程中轮胎模具型腔气体速度变化,其花纹排气孔气体速度数据与本研究相符,说明了本研究所建模型及模拟分析的正确性。

3.2 不同形状花纹排气场流动性对比

圆形花纹参数与矩形花纹相同,且均选用底部直径为3 mm的气孔。针对不同花纹形状和不同数量的气孔进行排气场流动性对比,结果见图3。

从图3可以看出,矩形花纹容易困气,不同形状花纹排气气体体积质量分数不同,矩形花纹排气时容易在花纹型腔边缘位置产生困气,一方面

是压力不均匀分布,使气体无法到达气孔边缘;另一方面是矩形花纹直角边缘处气体交汇流动不顺畅,产生漩涡阻碍气体排出。

多边形花纹气孔数量的设计影响出口平均速度和排气时间。如果出口平均速度缓慢,胎坯不能完全贴合在模具型腔表面,易出现缺胶现象,同时排气时间延长,影响轮胎生产周期。不同气孔数量的多边形花纹排气速度场云图如图4所示。

多边形花纹排气气孔一般设计为4个,但从图4可以看出,多边形花纹排气气孔设计为6个较合理,尤其在花纹转角处均设置1个气孔时排气速度场分布较均匀。

3.3 湍流分布规律

矩形花纹排气速度场湍流分布如图5所示^[13]。从图5可以看出,湍流强度由气孔进口到出口呈递增趋势,进口处湍流分布均匀;壁面与中心轴线的距离愈小,湍流强度愈小。排气体与气孔壁面的摩擦引起高强度湍流,刚进入气孔时气体速度达到最大,短暂减小后又逐渐增大。因为气体由花纹型腔流往截面积较小的气孔时流线发生弯曲,流束也会收缩。当气体进入气孔后,由于惯性作用气体会沿着气孔壁面继续收缩直至气孔缩颈

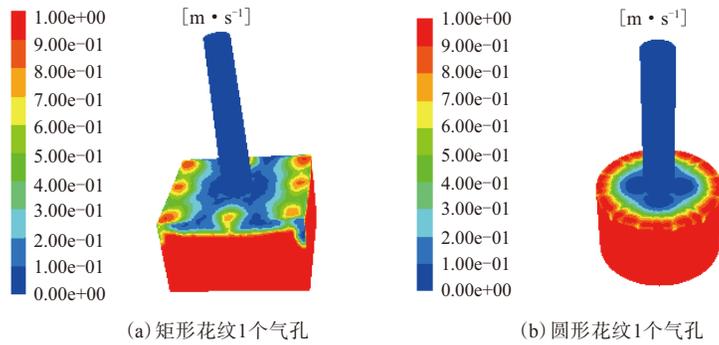


图3 矩形和圆形花纹排气速度场云图

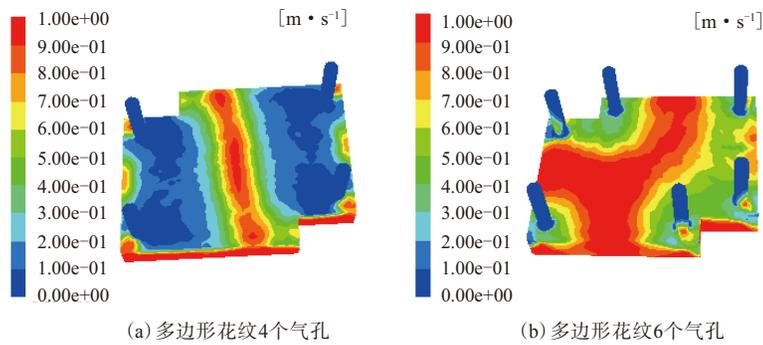


图4 多边形花纹排气速度场云图

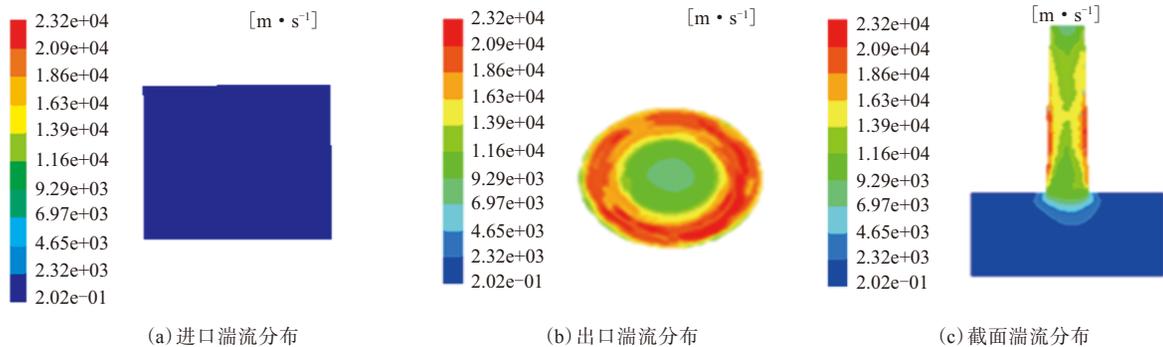


图5 矩形花纹排气速度场湍流分布

处的最小截面,而后又逐渐扩大,直至充满整个气孔截面。气体在流过气孔缩颈后压力会小幅度增大,速度会相应的短暂减小。由于在转角处气体流速较大,气孔与花纹之间转折角度为 90° ,气体在气孔的缩颈位置会产生旋涡,阻碍气体的排出。适当调整花纹形状,将改变湍流分布规律,从而改变排气效果,达到调流调压目的。

4 结论

对轮胎花纹排气场流动性进行建模分析,得

出以下结论。

(1)就矩形花纹排气气孔而言,与1个气孔相比,2个气孔能使气体更好分流,减小气体与型腔壁面的碰撞,保证出口气流的均匀性,排气性能好。随气孔直径增大,出口横截面积增大,气体能以较高流速排出;气孔底部直径为3 mm时出口气体速度趋于平稳,达到理想排气性能。

(2)调整多边形花纹排气气孔数量,在花纹转角处布置1个气孔,可提高气孔排气性能。

(3)湍流强度由气孔进口到出口呈递增趋势,

进口处湍流分布均匀,壁面与中心轴线的距离愈小,湍流强度愈小。气体在气孔的缩颈位置会产生旋涡,阻碍气体的排出。合理设计花纹形状,可以改善气孔排气效果。

参考文献:

- [1] 王国林,周伟,周海超,等.子午线轮胎二次法成型过程仿真[J].机械设计与制造,2017(7):179-182.
- [2] Lee D B, Lee M A, Choi S H, et al. Computer Simulation of Rubber Flow for Mold Profile in Rubber Shaping Process[J]. *Elastomers and Composites*, 2014, 49(3): 220-224.
- [3] Kim K W, Jeong H S. Finite Element Analysis on Standing Wave Phenomenon of a Tire Considering Tread Pattern[J]. *Trans of Ksae*, 2006, 14(2): 76-83.
- [4] Lyu Min Young, Park Dong Myung, Kim Hakjoo, et al. Computer Simulation of Viscoelastic Flow in a Capillary Die for Rubber Compounds[J]. *Elastomer*, 2006, 41(4): 223-230.
- [5] 胡海明,徐永涛,徐方鑫.无胶须轮胎模具弹簧气孔套进气段结构对喷射流动参数的影响[J].橡胶工业,2019,66(3):225-229.
- [6] 胡海明,徐永涛,徐方鑫.弹簧气孔套进气段流场可视化分析[J].橡胶工业,2019,66(1):41-45.
- [7] 焦冬梅.橡胶振动挤注流动机理及实验研究[D].青岛:青岛科技大学,2017.
- [8] 吴显威,邓子龙,陈芳.橡胶熔体在不同生产工艺下流动的数值分析[J].辽宁石油化工大学学报,2018,38(10):1-6.
- [9] 高丽敏,陈璇,白莹,等.轴流压机级内三维粘性流动的数值模拟[J].应用力学学报,2013,30(4):569-574.
- [10] 范华,杨刚,李冰.压力旋流喷嘴内流场特性模拟研究[J].机电工程,2018,35(8):838-842.
- [11] 浦哲,冯伟,边慧光,等.子午线轮胎硫化过程定型峰值压力的优化[J].轮胎工业,2014,34(9):566-568.
- [12] Choi Sung Hyun, Lyu Min Young. A Study of Rubber Flow in a Mold during the Tire Shaping Process Using Experiment and Computer Simulation[J]. *Polymer Testing*, 2017, 61(5): 258-268.
- [13] 王泽鹏,边昭斌,苗展丽,等.文丘里管水力空化反应器空化流场特性分析[J].青岛科技大学学报(自然科学版),2019,40(1):99-104.

收稿日期:2019-06-11

Analysis of Air Vent of Tire Molding with Different Tread Pattern

HU Haiming, XU Fangxin

(Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China)

Abstract: Based on the theory of fluid dynamics, a mathematical model of the vent field for tire molding with a different tread pattern was established. The air flow in the vent field of tread pattern during the second stage of tire molding process was then analyzed using software Fluent. The results showed that, when two vents were set for rectangular pattern, the gas flow was well split and the collision between the gas and cavity wall could be reduced. When the vent diameter was 3 mm, the outlet gas velocity was stable, and the internal pressure of the cavity was relatively constant. For the polygonal pattern, the vent performance could be improved by adjusting the number of the vents and setting one vent at the corner of the pattern. The turbulence intensity increased gradually from the inlet to the outlet of the vent, and the peak value was reached at the surface of the wall.

Key words: tread pattern; vent field; fluidity; fluid dynamics; vent; gas velocity

一种异戊二烯橡胶的抗氧化处理方法 由山东通泰橡胶股份有限公司申请的专利(公开号 CN 107722306A, 公开日期 2018-02-23)“一种异戊二烯橡胶的抗氧化处理方法”,提供了一种异戊二烯橡胶的抗氧化处理方法,步骤为:(1)抗氧化剂1076,412S,1010和38混合、粉碎,并搅拌均匀得到粉末状复配抗氧化剂,将复配抗氧化剂在造

粒机中造粒,经颗粒整理得到柱状颗粒的复配抗氧化剂;(2)将柱状颗粒的复配抗氧化剂溶解在溶剂中,加入到聚异戊二烯胶乳中,采取热水凝聚法分离出胶粒,并将胶粒脱水。该方法步骤合理,抗氧化剂配方科学,操作可行,制备的聚异戊二烯橡胶具有较好的热稳定性和良好的耐氧化性能。

(本刊编辑部 赵敏)