

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

胡海明, 徐永涛, 徐方鑫

(青岛科技大学 机电工程学院, 山东 青岛 266061)

摘要: 基于计算流体动力学技术, 利用大型流体工程计算软件CFX15.0, 模拟研究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。结果表明: 在相同弹簧行程下, 随着阀杆锥角增大, 流阻因数先减小后逐渐增大, 而在相同阀杆锥角下, 流阻因数则随弹簧行程增大而总体减小; 阀杆锥角和弹簧行程对流量系数和出口端流量的影响则相反。本研究获得最佳喷射流动参数的条件为: 弹簧行程小于(大于)0.2 mm时, 阀杆锥角取65.4°(69.4°)。

关键词: 无胶须轮胎模具; 弹簧气孔套; 进气段结构; 流阻因数; 流量系数; 流体动力学; 数值模拟

中图分类号: TQ330.4⁺1; TQ336.1⁺1

文章编号: 1000-890X(2019)03-0225-05

文献标志码: A

DOI: 10.12136/j.issn.1000-890X.2019.03.0225

排气系统顺畅工作在轮胎模具硫化轮胎过程中发挥重要作用, 直接影响轮胎外观和质量。传统轮胎模具排气系统一直都是在花纹的死角或特殊位置加工微细的排气孔, 目的是在硫化过程中将型腔内部的空气排出, 从而避免出现缺胶问题。但是由于排气孔将型腔与外部直接连通, 而且一般情况下排气孔直径不小于0.6 mm, 因此在硫化过程中胎坯胶料就会通过排气孔流出而形成大小一致、密密麻麻的胶须。在轮胎成品包装前必须剪掉胶须, 既浪费人力, 又浪费时间和胶料, 还影响轮胎外观。

轮胎模具弹簧气孔套可将硫化过程中胎坯与模具型腔之间的空气排除, 既可消除轮胎胶须、保护环境和路面, 又能节省胶料、降低人工成本, 是环境友好型解决方案, 可广泛用于新模具设计和旧模具翻新^[1-3]。

根据轮胎规格、胶料配方和硫化工艺参数, 轮胎模具选择不同外直径和弹簧行程的弹簧气孔套。但由于缺乏对弹簧气孔套进气段流阻因数和流量系数等喷射流动参数的研究, 在实际应用中往往凭经验选择多个规格的弹簧气孔套进行试验, 以确定适合规格的弹簧气孔套, 这通常需要花

费很长时间及很多的人力和物力。

本工作基于计算流体动力学(CFD)技术, 利用大型流体工程计算软件CFX15.0, 模拟研究实际工况下气流在弹簧气孔套进气段内的流动状况, 得到弹簧气孔套进气段上端部阀杆锥角(以下简称阀杆锥角)和弹簧行程对流阻因数和流量系数等喷射流动参数的影响规律, 以期对弹簧气孔套优化设计和实际安装应用提供依据。

1 基本原理

根据实际生产情况, 无胶须轮胎模具弹簧气孔套内的流体采用三维粘性不可压缩流体的数学模型描述。

连续性方程为

$$\frac{\partial(\rho U)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U) = 0 \quad (1)$$

动量方程为

$$\frac{\partial(\rho U)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U \otimes U) - \nabla \cdot (\mu_e \nabla U) = \nabla \cdot (\mu_e \nabla U)^T + \nabla \cdot P' + B \quad (2)$$

式中, ρ 为流体的密度, U 为 x, y, z 速度方向的矢量, t 为时间, μ_e 为有效粘度, P' 为修正压力, B 为体积总和。

湍动能方程为

作者简介: 胡海明(1964—), 男, 山东临沂人, 青岛科技大学教授, 硕士, 主要从事轮胎模具设计与制造的研究。

E-mail: 1097784777@qq.com

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U k) = \nabla \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \nabla k \right] + P_k - \rho \varepsilon \quad (3)$$

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U \varepsilon) = \nabla \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \nabla \varepsilon \right] + \frac{\varepsilon}{k} (C_{\varepsilon 1} P_k - C_{\varepsilon 2} \rho \varepsilon) \quad (4)$$

式中, k 为湍动能, 定义为速度波动的变化量; ε 为湍动能耗散, 即速度波动耗散的速率; μ 为分子粘度; μ_t 为湍流粘度; $\sigma_k, \sigma_\varepsilon, C_{\varepsilon 1}$ 和 $C_{\varepsilon 2}$ 为常数; P_k 为湍流生成的速率。

$$P_k = \mu_t \nabla U \cdot (\nabla U + \nabla U^T) - \frac{2}{3} \nabla \cdot U (3\mu_t \nabla \cdot U + \rho k) + P_{kb} \quad (5)$$

式中, P_{kb} 为速率的产生项。

对于非压缩流体, $\nabla \cdot U$ 值比较小, 其对于整个方程结果影响不大。

2 有限元模型建立

2.1 几何模型

弹簧气孔套由壳体、弹簧和阀杆三部分组成, 如图1所示。

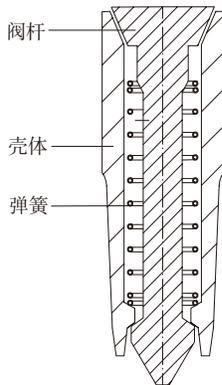


图1 弹簧气孔套结构

壳体的上端直径大于下端直径; 壳体中心设置通孔, 通孔中穿有一根阀杆; 阀杆下端在通孔外面并连接直径大于阀杆下端的后挡块, 使阀杆下端被阻挡在壳体下端之外; 阀杆上端伸出壳体并且连接前挡块, 壳体上端开口与阀杆之间具有相互配合的封闭面; 阀杆中段套有弹簧, 弹簧下端顶在下挡块上, 弹簧上端顶在阀杆的台阶上, 弹力使阀杆向上移动并将上端配合面打开。在弹力作用下, 气体从壳体与阀杆的间隙排出, 当气体排完后胶料顶到阀杆, 阀杆移动, 上端封闭面闭合, 阻止

胶料流到壳体内, 从而实现了轮胎硫化过程无胶须产生。本工作通过改变弹簧气孔套进气段阀杆锥角和弹簧行程两个参数研究进气段流阻因数和流量系数及出口端流量的变化。具体分析, 胎坯与模具之间的气体从弹簧气孔套上端流进壳体与阀杆的间隙, 通过改变弹簧气孔套进气段阀杆锥角和弹簧行程两个参数可调节阀杆与壳体之间的流通面积, 达到调节弹簧气孔套出口端流量的目的。

本研究采用三维建模软件UG建立弹簧气孔套进气段的流道模型, 模型建立完全按照图纸进行, 使模型更加真实、准确, 有利于提高数值仿真结果的真实性和准确性。弹簧气孔套进气段几何模型如图2所示。

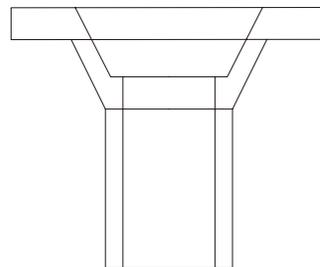


图2 弹簧气孔套进气段几何模型

2.2 网格划分

本研究采用ANSYS ICEM软件对模型进行网格划分。ICEM-CFD是CFD/CAE前处理器, 为世界流行的CFD/CAE软件提供高效可靠的分析模型。ICEM可以对几何图形进行网格划分和编辑, 从而得到优质的网格, 为下一步模拟提供载体^[4]。将模型壁面设置为不同的部分(part): 流体模型入口设为IN; 流体模型出口设为OUT; 其余壁面设为WALL。对流动较窄和重点观测区域进行加密, 生成较多网格, 有利于提高数值仿真结果的准确性。在流体模型的入口、出口和其余壁面处生成三棱柱边界层网格, 其他部分生成四面体网格。生成的网格模型如图3所示。网格单元约有50万个, 网格质量系数分布均匀, 均大于0.2, 满足计算要求。

2.3 边界条件

模型设定为单一流体域, 根据实际生产状况, 模具与胶囊的初始温度均为70 °C, 因此弹簧气孔



图3 网格模型

套内流体为70 °C的空气。流域模型参考压力为0, 无热传递, 湍流模型设为K-Epsilon湍流模型, 无燃烧、无对流。

根据轮胎硫化机实际工况, 二次定型压力为0.08 MPa。二次定型主要固定住胎坯, 使胎坯与模具良好地接触, 排除胎坯与模具之间的空气, 排气一般在合模过程中开始^[5]。将弹簧气孔套的前后压差固定为0.08 MPa, 流体入口根据实际工况设定0.18 MPa为进口总压, 出口静压设为0.1 MPa。进口边界条件(Inlet): 亚音速流进, 总压0.18 MPa; 出口边界条件(Outlet): 亚音速流出, 静压0.1 MPa; 其余壁面边界条件: 无滑移。其他选项按照CFX默认设置。弹簧气孔套进气段流道模型的边界条件如图4所示。

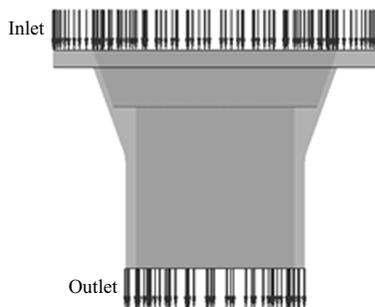


图4 流道模型边界条件示意

在分析过程中, 只需将不同阀杆锥角和弹簧行程的改进结构的网格模型导入, 定义和设置均相同。求解方式为一阶迎风格式, 最大迭代步数600, 平均残差为0.000 01。生成.def的求解文件并在CFX-Solver中进行求解。以上述计算理论和气体流域对弹簧气孔套进气段进行数值模拟分析, 达到收敛后进行后处理。

3 结果与讨论

3.1 流阻因数

通常采用调节阀的流阻因数表示一定流量流

体流经阀门所引起阻力损失的变化。流阻因数与阀门的尺寸、结构及其腔体的内部形状有关^[6]。根据流体计算的不可压缩假设, 气体在大多数情况下采用不可压缩模型, 仅在速度接近或超过声速的情况下才考虑气体的可压缩性。对于三维粘性不可压缩流体:

$$\zeta = \frac{2\Delta p}{\rho v^2} \quad (6)$$

式中, ζ 为阀门流阻因数; Δp 为进出口压差, MPa; v 为进口速度, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

在本研究中, Δp 取0.08 MPa, ρ 取70 °C空气的密度 $1.029 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。通过模拟可以得到弹簧气孔套内流场的速度分布和压力分布, 根据公式(6)计算得到弹簧气孔套的流阻因数。弹簧行程为0.15 mm、阀杆锥角为67.4°的弹簧气孔套模型流阻因数与工厂提供数据的误差小于5%, 表明仿真效果可靠。

根据模拟结果计算, 阀杆锥角和弹簧行程对流阻因数的影响如图5所示。

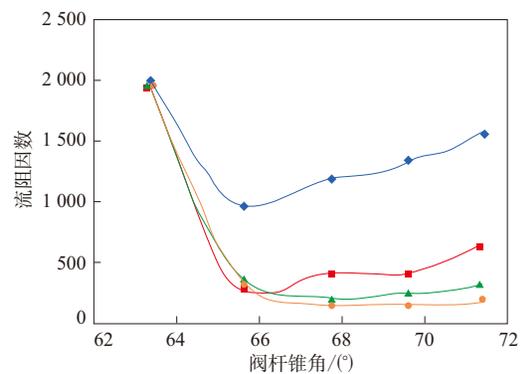


图5 阀杆锥角和弹簧行程对流阻因数的影响

由图5可以看出, 在相同弹簧行程下, 流阻因数随阀杆锥角增大先减小后逐渐增大。弹簧行程在0.10和0.15 mm下, 阀杆锥角为65.4°时流阻因数达到最小值, 分别为1 026.08和357.45; 弹簧行程在0.20和0.25 mm下, 阀杆锥角分别为67.4°和69.4°时流阻因数达到最小值, 分别为283.11和201.48。此外, 在相同阀杆锥角下, 流阻因数随弹簧行程增大而减小。对于弹簧气孔套优化设计而言, 流阻因数越小越好。可以得出结论, 改变弹簧气孔套的阀杆锥角和弹簧行程可有效改变其流阻

因数。

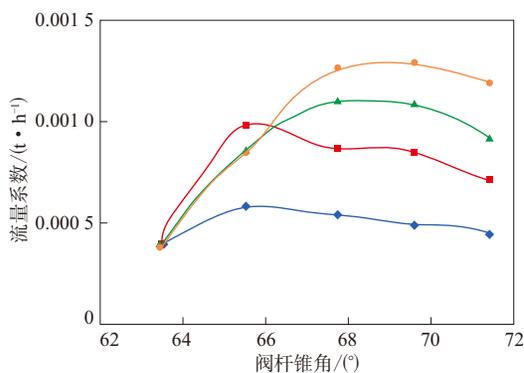
3.2 流量系数

流量系数表示流经阀门产生单位压力损失的流体流量,是衡量阀门流通能力的指标。在某些情况下,特别是作为调节阀使用时,用流量系数表示阀门的特性比较方便。流量系数也与阀门的尺寸、结构及其腔体的内部形状有关。流量系数越大,流体通过阀门产生的压力损失越小。根据流阻因数与流量系数的关系式(7)计算流量系数。

$$K_v = 5.09A\sqrt{\frac{1}{\xi}} \quad (7)$$

式中, K_v 为流量系数, $t \cdot h^{-1}$; A 为进口横截面积, mm^2 。

根据公式(7)计算,阀杆锥角和弹簧行程对流量系数的影响如图6所示。



注同图5。

图6 阀杆锥角和弹簧行程对流量系数的影响

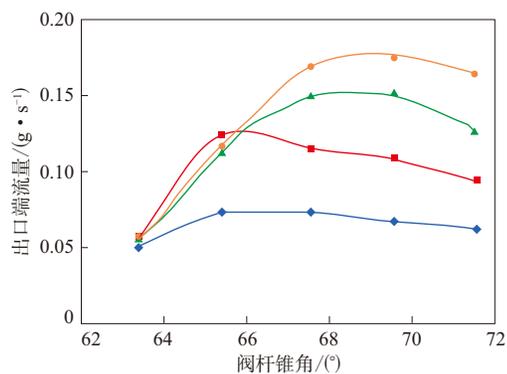
由图6可以看出,在不同弹簧行程下,阀杆锥角对流量系数的影响不同,随阀杆锥角增大,流量系数先增大后逐渐减小。弹簧行程大时出口端流量变化明显,反之则相反。

对于弹簧气孔套的优化设计而言,流量系数越大越好。

3.3 出口端流量

阀杆锥角和弹簧行程对出口端流量的影响如图7所示。对比图6与图7可以看出,阀杆锥角和弹簧行程对出口端流量的影响与其对流量系数的影响类似。

总之,在保证其他参数不变的情况下,增大弹簧行程导致锥形间隙高度减小,流体流经间隙的压力损失总体减小,流量总体增大。



注同图5。

图7 阀杆锥角和弹簧行程对出口端流量的影响

4 结论

通过对弹簧气孔套进气段气体喷射流动的模拟仿真,分析阀杆锥角和弹簧行程对弹簧气孔套进气段流阻因数和流量系数及出口流量的影响,得到如下结论。

(1)在相同弹簧行程下,随阀杆锥角增大,流阻因数先减小后逐渐增大,在相同阀杆锥角下,流阻因数随弹簧行程增大而总体减小;阀杆锥角和弹簧行程对流量系数和出口端流量的影响则相反。

(2)本研究获得最佳喷射流动参数的条件为:弹簧行程小于(大于)0.2 mm时,阀杆锥角取 65.4° (69.4°)。

弹簧气孔套进气段取得最佳喷射流动参数可为其结构优化设计提供理论依据。弹簧气孔套技术对无胶须轮胎的生产富有成效,对实现节能降耗、发展绿色轮胎具有重要的现实意义。

参考文献:

- [1] 陈庆湘,林莉. 无胶须轮胎模具的发展[J]. 轮胎工业,2015,35(3): 136-139.
- [2] 孙怀建. 轮胎降耗新技术——无胶须轮胎[J]. 橡塑技术与装备, 2012,38(5):24-26.
- [3] 胡海明,夏鹏建,毛焯新,等. 轮胎模具耐磨板磨损分析[J]. 橡胶工业,2018,65(8):935-937.
- [4] 谢龙汉,赵新宇. ANSYS CFX流体分析与仿真[M]. 北京:电子工业出版社,2008:45.
- [5] 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.
- [6] CRANE工程部. 流体流经阀门、管件和管道的流体计算TP410[M]. 北京:化学工业出版社,2013:36.

收稿日期:2018-09-10

Effect of Inlet Section Structure of Spring Vent Sleeve for Burr-free Tire Mould on Injection Flow Parameters

HU Haiming, XU Yongtao, XU Fangxin

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

Abstract: Based on computational fluid dynamics technology, the effect of the inlet section structure of spring vent sleeve for burr-free tire mould on the injection flow parameters was simulated by using large fluid engineering calculation software CFX15.0. The results showed that, at same spring stroke, the flow resistance coefficient decreased first and then increased gradually with the increasing of the valve stem cone angle, while the flow resistance coefficient decreased with the increasing of spring stroke at same valve stem cone angle. However, the effect of valve stem cone angle and spring stroke on the flow coefficient or outlet flow was opposite. The condition to obtain the best jet flow parameters for the study was that the valve stem cone angle was 65.4° (69.4°) when the spring stroke was less (greater) than 0.2 mm.

Key words: burr-free tire mould; spring vent sleeve; inlet section structure; flow resistance coefficient; flow coefficient; CFD; numerical simulation

• 国内外动态 •

全球橡胶需求量增至3 000万t 国际橡胶研究组织 (IRSG) 发布的最新数据显示, 2019年全球橡胶需求量预计在2018年基础上增长约2.5%, 即从2 930万t增长到约3 000万t。其中, 天然橡胶 (NR) 和合成橡胶 (SR) 的需求量分别为1 420万和1 580万t。

IRSG预测, 2019年全球橡胶原材料的需求量增长率相比2018年有小幅降低。预计NR和SR的需求量分别增长2.6%和2.4%。2018年NR需求量为1 390万t, 增速为4.9%; SR需求量为1 540万t, 增速为1.7%。

有行业人士称, 原材料需求增速的下降, 一定程度上印证了橡胶业处于低速发展的事实。同时, 原材料的供应过剩局面在短期内难以化解, 胶价还将低迷一段时间。

总部位于新加坡的IRSG, 是一个由36个橡胶生产国和120个消费者组成的政府间组织, 成员国和地区有欧盟、印度、日本、尼日利亚、俄罗斯联邦、新加坡和斯里兰卡等。

(摘自《中国化工报》, 2019-01-17)

一种用于静音地板的改性橡胶粉-木材复合材料及其制备方法 由安徽温禾新材料科技股份有限公司申请的专利(公开号 CN 107540904A, 公开日期 2018-01-05) “一种用于静音地板的改性橡胶粉-木材复合材料及其制备方法”, 涉及的改性胶粉-木材复合材料可用于静音地板, 其制备过程如下: (1) 改性胶粉的制备。将废旧轮胎机械粉碎、过筛, 制得胶粉; 醇溶液中加入硅烷偶联剂, 水解后将其均匀喷洒在胶粉表面并将胶粉充分混合; 微波处理后用氢氧化钠溶液浸泡, 然后在烘箱中干燥即得改性胶粉。(2) 改性微晶白云母粉的制备。将微晶白云母粉烘干后投入高速搅拌机中, 加入硅烷偶联剂KH550混合, 制得改性微晶白云母粉。(3) 复合材料的制备。将木刨花烘干并与改性胶粉和改性微晶白云母粉混合均匀, 得到预混料; 将异氰酸酯胶粘剂投入可变速鼓式拌胶机中进行拌胶, 加入丙酮进行稀释, 然后对预混料进行喷胶; 采用单层结构, 手工对板坯进行铺装、预压、热压处理、冷却、陈放及砂光处理, 制得产品。

(本刊编辑部 赵敏)