

花纹参数对轮胎模具排气性能的影响

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:通过三维建模软件UG建立轮胎模具的气体流域模型,采用流体动力学分析软件Fluent模拟气体流域模型在轮胎二次定型压力下流场的变化,分析气孔数量及花纹形状和尺寸对模具排气性能的影响,研究速度场、流阻因数、流量系数及湍动能的变化规律。结果表明:气体流域模型质量流量守恒;中央位置增加气孔后,型腔内气体的流动方向发生较大变化,气体排出明显加快,使流阻因数减小、流量系数增大;圆弧连接的花纹对临近气孔处的压缩气体流动起缓冲作用,减少回流现象;湍动能分布受气孔数量和花纹形状影响较小,气孔处湍动能波动幅度较大,易引起较多能量损失,影响模具排气性能。

关键词:轮胎模具;花纹参数;排气性能;气孔;气体流域模型;流体动力学分析

中图分类号:TQ330.4⁺1;TQ336.1⁺1

文献标志码:A

文章编号:1000-890X(2020)03-0219-06

DOI:10.12136/j.issn.1000-890X.2020.03.0219



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

汽车行业的快速发展衍生出各式各样的轮胎。人们在保证安全行驶的同时要求轮胎更加美观化,这就对配套的轮胎模具以及轮胎生产工艺提出更高的要求。在轮胎硫化时,需要将模具型腔与胎坯之间的空气通过气孔排出,使胶料压在花纹型腔表面,形成美观的轮胎花纹。花纹形状及尺寸都会影响气孔设计,而现阶段气孔多根据经验设计,缺乏一定的科学性,导致胎坯与模具间有少量气体无法排出,造成窝气现象,影响轮胎外观质量^[1]。

目前轮胎模具排气的研究主要包括数值分析和模具设计等。在数值分析方面,胡海明等^[2-3]研究了轮胎模具排气段结构对气体喷射流动参数的影响,得出最佳喷射流动条件,同时可视化分析内部流场,对排气流道优化设计;D. B. Lee等^[4]分析胶料与模具表面的接触行为,研究轮胎在成型过程中花纹形状对胶料流动性的影响。徐永涛^[5]将流体动力学理论与有限元分析相结合,对轮胎模具排气装置结构进行分析与研究。在模具设计方面,张伟等^[6-7]既设计出无气孔子午线轮胎模具,保证其排气性能且轮胎表面不缺胶,又设计出双金属镶嵌复合结构的无气孔轮胎活络模具,提高了

轮胎硫化效率,且保证轮胎产品外观质量。

已有的研究主要针对模具结构对其排气性能的影响,忽略了花纹参数(气孔数量及花纹形状和尺寸)对气体流动的影响。本工作通过三维建模软件UG建立轮胎模具气体流域模型,采用流体动力学分析软件Fluent,结合花纹参数,在稳态和瞬态模式下分析气体的流动特性,获得流阻因数、流量系数、速度场及湍动能分布场,为轮胎花纹参数的设计提供借鉴,以减少花纹块的缺胶现象。

1 仿真模型及参数设置

1.1 几何模型

以某企业生产的11R22.5轮胎为例,利用UG软件建立轮胎花纹型腔模型,花纹形状和尺寸及气孔数量如表1所示,轮胎花纹如图1所示。

1.2 控制方程

采用Fluent软件对轮胎模具花纹型腔三维流场进行分析。因涉及胶料、气体两种互不相融的

表1 花纹形状和尺寸及气孔数量

花纹编号	花纹形状	花纹尺寸/cm			气孔数量
		上边长	下边长	高	
a	平行四边形	2.5	2.5	2	5
b	平行四边形	3	3	3	2
c	平行四边形	3	3	3	4
d	不规则四边形	1.2	3	2	4

作者简介:胡海明(1964—),男,山东临沂人,青岛科技大学教授,博士,主要从事模具CAD的教学与科研工作。

*通信联系人(qdxufx@163.com)

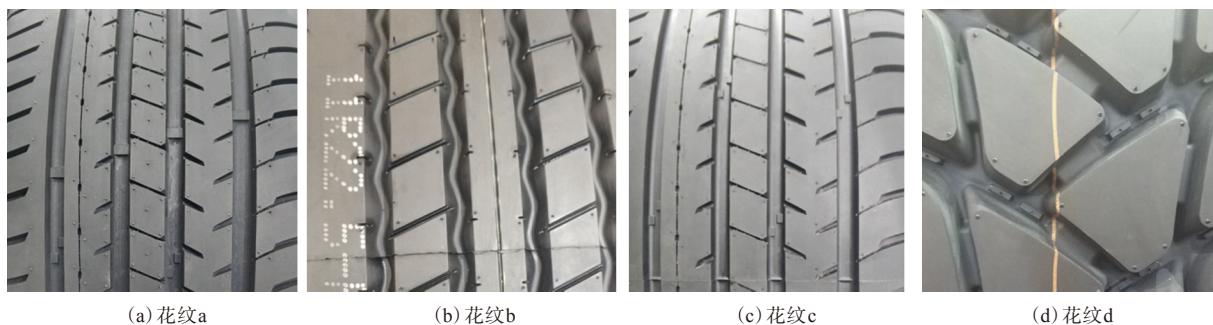


图1 轮胎花纹

流体,选用多相流(VOF)模型与标准 $k-\varepsilon$ 湍流模型(k 为湍动能, ε 为湍流耗散率),其计算效率高,求解精度能满足工程实际需求。此外,郁达伟等^[8]通过数值分析与试验验证,对比不同湍流的预测精度,确定VOF模型与标准 $k-\varepsilon$ 湍流模型组合能更准确地计算出流场特征。不考虑热量交换等热力学问题,流体需要满足的质量守恒方程、动量守恒方程及涡粘性函数方程分别表示如下^[9]。

质量守恒方程:

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

式中, ρ 为密度, t 为时间, ν 为运动粘度。

动量守恒方程:

$$\rho \frac{d\nu}{dt} - \rho F - \operatorname{div} P = 0 \quad (2)$$

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

涡粘性函数(μ_t)方程:

$$\mu_t = \frac{C_\mu f_\mu \rho k^2}{\varepsilon} \quad (3)$$

式中, C_μ 为常数(0.09), f_μ 为衰减函数。

1.3 网格设置

选用ICEM软件对轮胎模具花纹型腔气体流域进行网格划分,生成非结构化网格。根据流体的流动方向,将型腔划分为3个部分:进口(In)、出口(Out)和壁面(Wall)。由于型腔出口附近会产生较大的压力梯度和速度梯度^[10],对出口处网格加密,以减小模拟结果误差,生成的网格数量为50万左右,且质量均大于0.3,满足计算要求。

1.4 工况设置

轮胎模具花纹型腔内部参考压力设置为零,不考虑花纹块的变形,对型腔壁面采用增强壁面

函数处理,型腔温度设置为恒温25℃,流体流动过程中不考虑热能交换。流体包括空气和胶料,空气为常温属性;建立新材料“橡胶(rubber)”,设置关键材料参数:密度 $1.114 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$,运动粘度 $53986 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 。

空气为基准项,进口处体积分数为0,出口处体积分数为1;胶料为次项,进口处体积分数为1,出口处体积分数为0。对于轮胎二次定型压力,设定进口压力为0.18 MPa,出口压力为0.1 MPa,流体运动方向与花纹型腔边界垂直。采用SIMPLE算法解决流场内速度与压力耦合问题,动量、湍动能和耗散率均采用二阶迎风差分格式离散,残差达到收敛标准。

2 流动特性仿真效果分析

2.1 质量流量

通过对轮胎模具花纹型腔进出口质量流量监测可知,进出口质量流量误差很小,达到 10^{-7} 数量级,可以认为型腔内质量流量守恒,满足质量守恒方程。

2.2 速度场

2.2.1 气孔数量的影响

以速度矢量云图的形式分析轮胎模具花纹型腔内部流场不仅能够得到气体流动时的速度大小,还能研究气体的流动方向。气孔数量对速度场的影响如图2所示。

从图2可以看出,在型腔中央位置增加气孔后,气孔周围流动迹线明显增多,说明内部气体流动加快,且中央气孔排气较多。气孔数量的增多使型腔内部气体流动的方向发生改变,由4个边角气孔均匀排出转变成以中央气孔排出为主、4个边角气孔排出为辅。中央气孔为气体的排出起到一

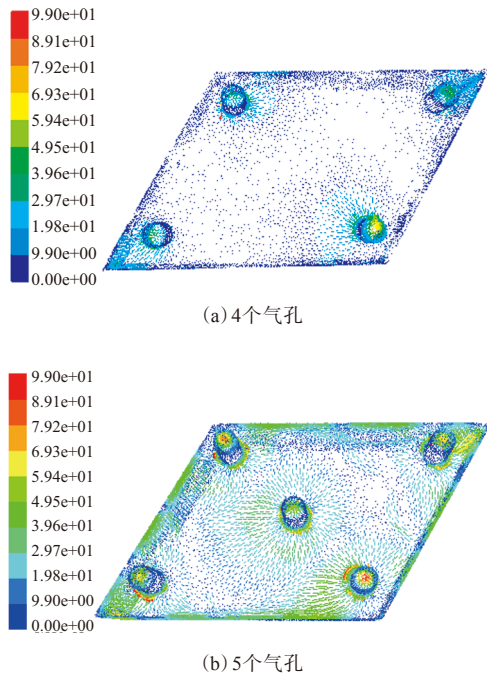


图2 气孔数量对气体速度场的影响

定的导向作用,提升了气体的扩散速度,加快了型腔内气体的流动性。

2.2.2 花纹形状的影响

花纹形状对气体速度场的影响如图3所示。

从图3(a)和(b)可以看出,在气孔出口附近及

其中央位置气体流速较大。这是由于流通面积急剧缩小,气孔处节流强烈,压力减小,速度增大。

从图3(c)和(d)可以看出:气体在不规则花纹转角处沿流动方向从邻近气孔排出,无回流现象;而规则花纹转角处气体排出时会出现回流现象,阻碍气体的排出。回流现象的出现一方面是由于气孔间隙较小,二次定型压力下气体不能及时从气孔排出,不均匀的压力使气体遇壁面后向下流动;另一方面是花纹角度的原因,倒角在气体流动时能起到较好的缓冲作用,锐角使气体流动不顺畅而产生旋涡,造成窝气,阻碍气体流动,影响成品轮胎花纹的完整性,甚至造成缺胶现象。

2.3 流阻因数和流量系数

流阻特性和流量特性是衡量气体流动特性的主要指标,通常以流阻因数和流量系数作为量化的评价参数^[11]。根据轮胎二次定型压力差,结合数值模拟结果,计算得到气体的流阻因数和流量系数,从而分析型腔内气体的流动特性。气体的流阻因数(ζ)和流量系数(K_v)的计算公式如下:

$$\zeta = \frac{2\Delta p}{\rho v^2} \quad (4)$$

$$K_v = Q \sqrt{\frac{\rho}{\Delta p}} \quad (5)$$

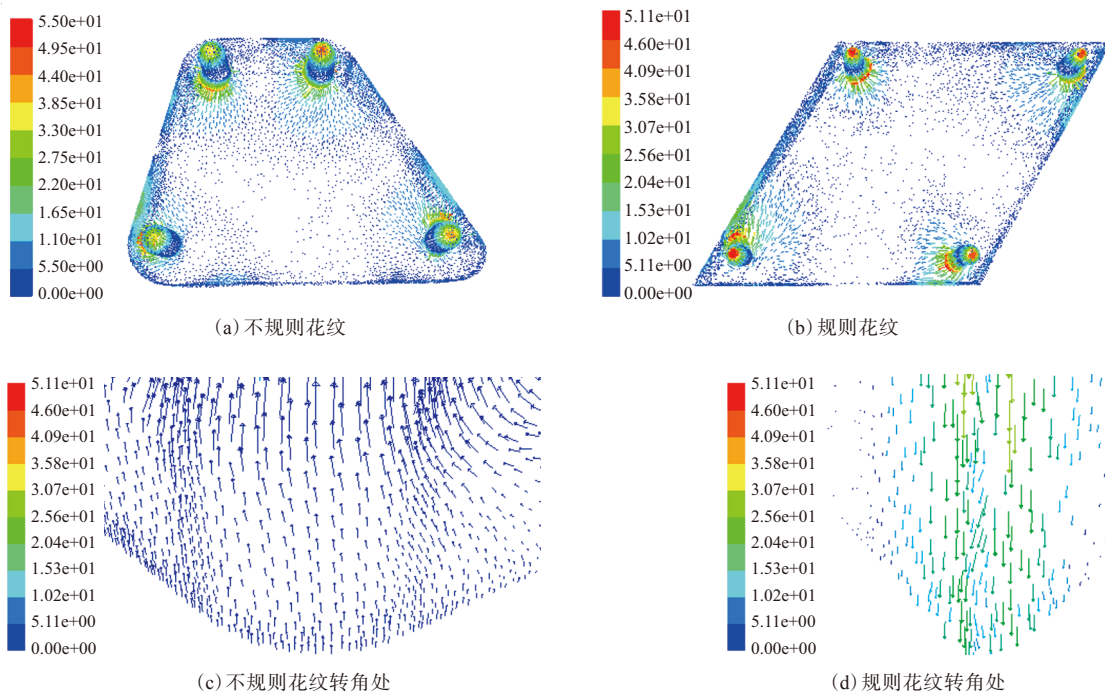


图3 花纹形状对气体速度场的影响

式中, Δp 为轮胎二次定型压力差, v 为平均气体流速, Q 为气体体积流量。

不同花纹的气体流阻因数和流量系数对比如图4所示。

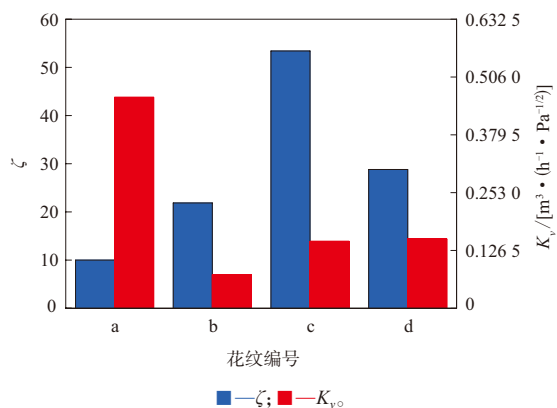


图4 不同花纹的气体流阻因数和流量系数对比

从图4可以看出,受气孔数量以及回流现象的影响,花纹c流阻因数最大。增加气孔数量后,花纹a的流阻因数明显减小,流量系数增大,说明气体在流经型腔时阻力减小,压力损失降低,这有利于气体的流动,加快腔内气体的排出,缩短排气时间;改变花纹转角处的过渡角,花纹d的流阻因数明显减小,由图3(c)可知是因为减弱了回流现象对气体流动性的影响。花纹c与d比较,两者气孔数量相等,流量系数基本相等,流阻因数随型腔面积的增大而增大。综合而言,对于气孔的设计,应减小流阻因数,降低气体的流动阻力;增大流量系数,加快型腔内气体的排出。

2.4 排气时间

采用瞬态模式研究轮胎模具花纹型腔内气体排出的时间。以花纹a型腔内的流体流动为例,不同排气时间的型腔内流体的两相云图如图5所示(红色代表胶料,蓝色代表气体)。

从图5可以看出:排气初始时刻两相流体具有明显的分界;0.06 s时刻胶料接触型腔表面,4个边角存在少量气体;0.14 s时刻受轮胎二次定型压力及排出阻力的影响,中央气孔排出气体较多,少量气体从边角气孔排出;0.30 s时刻气体完全从型腔内排出,胶料压实在型腔内部。

花纹a, b, c, d型腔排气时间分别为0.29,

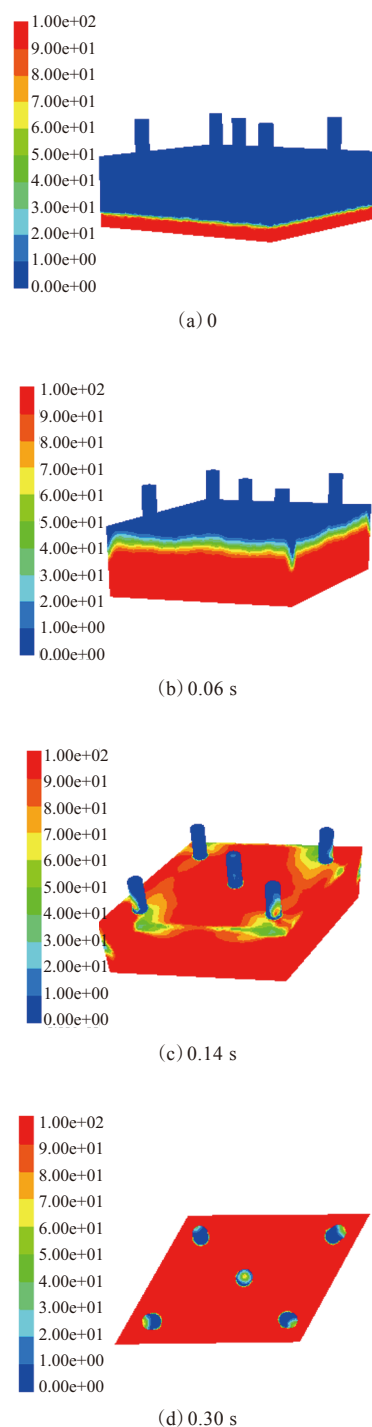


图5 不同排气时间的型腔内流体的两相云图

0.84, 0.39, 0.24 s。针对相同尺寸的花纹,一定程度增加气孔数量,可缩短近一半排气时间,从而缩短轮胎二次定型时间。若气孔数量过多,会增加轮胎模具制造成本,影响轮胎表面的美感度。气孔数量相同,花纹邻边的圆弧过渡能缩短气体

的排出时间,这是由于圆弧连接使气体流动阻力变小,减少了回流现象,使型腔内部气体能快速排出。

2.5 湍动能

不同气孔数量的花纹b和d型腔截面气体湍动能分布如图6所示。

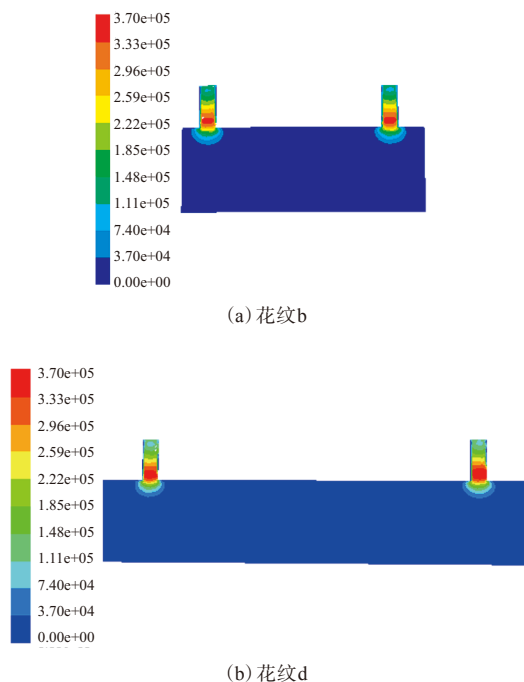


图6 花纹b和d型腔截面气体湍动能云图

从图6可以看出,气孔数量增加,型腔内气体湍动能分布未发生较大变化,高端动能区域均位于气孔处。湍动能越大,流体湍动强度越大^[12],能量损失越多。型腔内气体整体处于低湍动能区,说明能量损失较小,邻近气孔区域气体湍动能先逐渐增大再逐渐减小。这是因为气体的流通面积急剧缩小,邻近气孔处形成压缩流,使流速迅速提升,湍动能增大;当气体进入气孔后,流通面积不变,压强接近出口压力,流速减小,湍动能逐渐减小。

3 结论

通过流体动力学分析软件Fluent,对11R22.5轮胎模具在二次定型压力(进口压力为0.18 MPa,出口压力为0.1 MPa)下的排气性能进行分析,考虑气孔数量及花纹形状和尺寸,计算稳态下的流

阻因数、流量系数和排气时间等,得出如下结论。

(1)就气孔数量而言,一定程度的增加会改变型腔内部的流动性,为气流起到导向作用,加快气体的排出。此外,流阻因数减小、流量系数增大有利于气体的排出,缩短轮胎二次定型时空气的排出时间。

(2)气体流经花纹锐角转角处时会出现回流现象,这主要受气体压力分布不均匀及产生旋涡的影响。花纹圆弧连接会改善气体的流动性,对气体流动起到缓冲作用,减少旋涡产生,使气体更快排出。

(3)型腔内气体湍动能的分布受气孔数量及花纹形状的影响较小。邻近气孔区域湍动能先逐渐增大再逐渐减小,波动幅度较大,会引起较多的能量损失。

参考文献:

- [1] 张薇. 半钢子午线轮胎侧胶和裂口的原因分析及解决措施[J]. 轮胎工业, 2016, 36(3): 185-187.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] Lee D B, Lee M A, Choi S H, et al. Computer Simulation of Rubber Flow for Mold Profile in Rubber Shaping Process[J]. Elastomer, 2014, 49(3): 220-224.
- [5] 徐永涛. 弹簧气孔套结构性能分析的研究[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2018.
- [6] 张伟, 周建强, 单既强, 等. 组合片式无气孔轮胎模具研究[J]. 现代制造技术与装备, 2014(1): 10-11.
- [7] 张伟, 张任, 马海波. 双金属镶嵌复合结构无气孔轮胎活络模具、花纹块及方法[P]. 中国: CN 10340703. 5, 2015-08-19.
- [8] 郁达伟, 魏源送, 郑祥, 等. 多相流和湍流模型对平板膜生物反应器模拟的影响[J]. 化工学报, 2014, 65(S1): 377-385.
- [9] 王永虎, 林天龙. 基于湍流模型的结构物水流中跌落过程数值分析[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2019, 38(2): 144-150.
- [10] 刘东方, 周骥平, 史宏灿, 等. 基于FLUENT 3D生物打印喷头内部流场的数值模拟分析[J]. 中国组织工程研究, 2018, 22(2): 274-280.
- [11] 李燕辉, 廖志芳, 蒋劲, 等. 大口径活塞套筒式调流调压阀流动特性分析[J]. 水利学报, 2019, 50(4): 516-523.
- [12] 季小磊, 来有炜. CFD数值模拟在微涡絮凝中的应用[J]. 云南化工, 2019, 46(2): 126-127.

收稿日期: 2019-08-27

Effect of Pattern Parameters on Exhaust Performance of Tire Mould

HU Haiming, XU Fangxin

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

Abstract: The gas flow field model of tire mould was established by UG 3D modelling software, the flow field change under the pressure of second-stage tire molding was simulated by Fluent fluid dynamic analysis software, the influence of the number of gas holes and the shape and size of the pattern on exhaust performance was analyzed, and the change rule of velocity field, flow resistance coefficient, flow coefficient and turbulent kinetic energy was studied. The results showed that the mass flow of the gas flow field model was conserved. The flow direction of the gas in the cavity changed greatly after the gas hole was added in the central position, and the gas discharge was obviously accelerated, which decreased the flow resistance coefficient and increased the flow coefficient. The pattern connection with arc shape played a buffer role for the compressed gas flow near the gas hole, and reduced the backflow. The distribution of the turbulent kinetic energy was less affected by the number of the gas holes and the shape of the pattern, and the turbulent kinetic energy at the gas holes fluctuated greatly, which caused more energy loss and affected the exhaust performance.

Key words: tire mould; pattern parameter; exhaust performance; gas hole; gas flow field model; fluid dynamic analysis

卡博特扩建印度尼西亚炭黑工厂 卡博特在印度尼西亚芝勒贡的炭黑工厂扩建项目近日破土动工。此次扩建将新增约8万t的年产能。该项目预期在2021年竣工投产。

印度尼西亚以及整个东南亚炭黑需求量每年增长4%~5%,新增产能将为该地区日益高涨的炭黑需求带来可靠的本地优质产品。

此次芝勒贡工厂扩建项目是卡博特于2018年5月宣布的全球产能扩容和去瓶颈项目中的一部分。卡博特已取得显著进展,正朝着所宣布的全球炭黑年产能扩容30万t的目标大步迈进。该项目整体上将赋予卡博特支持全球轮胎、工业橡胶制品和特种炭客户增长的能力。卡博特表示,该投资不但将确保客户借力优质创新产品拓展各自的市场,还将使当地社区和印度尼西亚大获裨益。

(摘自《中国化工报》,2020-01-07)

一种耐磨导电橡胶及其制备方法 由北京理工大学珠海学院申请的专利(公开号 CN 110229396A, 公开日期 2019-09-13)“一种耐磨导电橡胶及其制备方法”,涉及的耐磨导电橡胶

配方为:丁腈橡胶 100,导电填料 5~15,银包铜填料 1~5,氧化锌 3~10,硬脂酸锌 0~2,防老剂 1~5,软化剂 1~6,促进剂 0~3,硫黄 1~5。通过调整导电填料用量以及优化橡胶塑炼、混炼工艺条件等,制备出电阻稳定性高的耐磨导电橡胶,同时其具有优良的热性能和力学性能。

(本刊编辑部 赵 敏)

一种肠内营养乳剂用橡胶瓶盖及其制备方法 由郑州翱翔医药科技股份有限公司申请的专利(公开号 CN 110239824A, 公开日期 2019-09-17)“一种肠内营养乳剂用橡胶瓶盖及其制备方法”,涉及的橡胶瓶盖(内侧壁设有环形凸筋)配方为:溴化丁基橡胶 100,煅烧陶土 20~70,颜料 0~5,硫黄 0.2~1,促进剂 3~10。该瓶盖生物安全性高,与各种肠内营养乳剂相容性好,且密封性能优异,不仅可以重复多次用于营养乳剂瓶体的密封,还可用于肠内营养乳剂输液用EN瓶的密封。

(本刊编辑部 赵 敏)