

轮胎六分力试验机线性数据监控方法的研究

邱昌峰, 陈仁全, 王君, 周磊, 刘俊杰, 苏国庆, 孙超

(青岛轮云设计研究院有限责任公司, 山东 青岛 266400)

摘要: 对轮胎六分力试验机线性数据的监控方法进行了研究。结果表明: 在小侧偏角下, 暖胎对轮胎侧向力系数(F_y)和回正力矩系数(T_{a1})的影响不大, 采用 F_y 和 T_{a1} 监控试验数据时可不用暖胎; 采用控制轮胎监控 F_y 和 T_{a1} 时, 需要考虑轮胎制造工艺偏差、试验机偏差、充气压力偏差和负荷偏差的影响; 在小侧偏角下, 模拟路面的附着力系数对 F_y 和 T_{a1} 的影响不大, 在大侧偏角下, 需要考虑模拟路面的附着力系数对 F_y 和 T_{a1} 的影响; 采用本监控方案, 可对轮胎六分力试验机线性数据进行监控, 判定试验数据的合理性。

关键词: 光面轮胎; 六分力试验机; 数据监控; 模拟路面

中图分类号: TQ330.4⁺92

文献标志码: A

文章编号: 1006-8171(2024)01-0003-06

DOI: 10.12135/j.issn.1006-8171.2024.01.0003



OSID 开放科学标识码
(扫码与作者交流)

目前, 各轮胎企业重要的动力学测试和数据分析设备大多为美国MTS公司制造的Flat-Trac CT III型平板式轮胎六分力(F&M)试验机(见图1), 其不仅能够进行轮胎的稳态测试(如轮胎侧偏刚性、残余回正力矩、轮胎力的特征函数、轮胎稳态力和力矩等), 还能进行轮胎的瞬态响应(如纵向松弛长度、侧向松弛长度、转动惯量等), 同时可以进行轮胎动力学仿真模型(如PAC2002模型、UniTire模型和FTire模型等)^[1-3]的测试。轮胎仿真工程师可使用轮胎试验机为汽车厂提供准确的轮胎模型, 以进行整车仿真, 从而优化整车的操控稳定性、舒适性和安全性^[4-7]。

目前, 轮胎动力学试验数据的监控没有统一

的标准, 各轮胎企业为验证试验数据的准确性, 需要通过不同的测试方法监控试验数据, 但由于试验数据的监控方法不同, 不同实验室的数据无法进行有效的对比, 因此, 只有确定统一的试验数据监控方案, 才能使不同实验室的数据对比具有真实的监控意义^[3]。

为验证试验数据的准确性, 轮胎F&M试验机主要采用2种监控方法: 一是每年对设备进行1次全年校准; 二是每3个月对设备进行1次期间核查。但在设备标定后, 对试验数据的准确性和重复性的论证不够充分, 因此针对美国SAE标准和GMW标准, 需要制定合理的试验数据监控方案, 以确保试验数据的准确性, 为原配轮胎质量提供保障与支持。

1 实验

1.1 试验轮胎

本工作试验轮胎品牌为DOUBLESTAR, 规格为205/50R16, 速度级别为V, 负荷指数为91, 为减少轮胎花纹磨损的影响, 试验轮胎为无花纹光面轮胎(见图2)。同时, 轮胎胎面压缩生热低, 损耗因子低, DIN磨损数值高, 以中等粗糙度(砂粒直径为0.125 mm)的3M砂纸模拟轮胎行使路面。

首先生产80条光面轮胎, 从中挑选出A级品, 然后从A级品中选择侧向力波动小于25 N的30条



图1 轮胎F&M试验机

作者简介: 邱昌峰(1987—), 男, 山东潍坊人, 青岛双星轮胎工业有限公司工程师, 硕士, 主要从事轮胎动力学性能测试、分析和建模仿真等研究。

E-mail: qcf825@163.com



图2 试验轮胎

轮胎为试验轮胎。

1.2 试验设备及方法

按照GMW 15204—2007《轮胎稳态力和力矩测试》进行试验。试验条件为:环境温度 $(24 \pm 2)^\circ\text{C}$, 负荷 4 300 N, 数据采集频率 1 024 Hz, 试验速度 $7.2 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, 充气压力 230 kPa, 充气压力控制方式 稳压。

本工作主要针对轮胎试验机在小侧偏角下产生的线性数据[以轮胎侧向力系数(F_1)和回正力矩系数(T_{a1})为例]进行数据监控。 F_1 和 T_{a1} 计算公式为

$$F_1 = F(F_z, \alpha = 1) = \frac{F_y(F_z, \alpha)}{F_z} \quad (1)$$

$$T_{a1} = T_a(F_z, \alpha = 1) = \frac{T_a(F_z, \alpha)}{F_z} \quad (2)$$

式中, F_z 为负荷, α 为侧偏角, F_y 为侧向力, T_a 为回正力矩。

1.3 测试项目

在小侧偏角下,针对暖胎、轮胎试验机精度、充气压力、负荷、砂纸粗糙度、重复性测试以及轮胎存放时间对 F_1 和 T_{a1} 的影响进行了数据分析。

测试项目及试验轮胎数量分别为:暖胎偏差

2条,轮胎试验机偏差 12条,轮胎充气压力偏差 2条,轮胎负荷偏差 2条,轮胎测试路面偏差 4条。

2 结果与分析

2.1 暖胎偏差

分别在 1° , 2° , 6° 和 8° 的侧偏角下对试验轮胎进行侧向力测试,结果如图3所示。

从图3可以看出:在小侧偏角下,不同滚动距离下轮胎的侧向力变化率基本为零;在大侧偏角

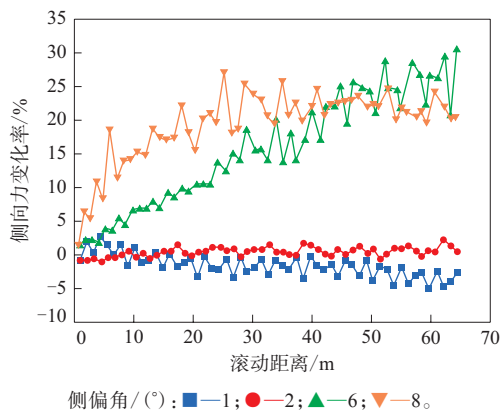


图3 不同侧偏角下轮胎的侧向力变化率

下,不同滚动距离下轮胎的侧向力变化率较大。由于本工作主要研究小侧偏角下轮胎线性数据的监控,可以不进行暖胎试验。

2.2 轮胎试验机偏差

选择12条试验轮胎(编号为1[#]—12[#]),测试其 F_1 和 T_{a1} ,每条轮胎测量3次,求出每条轮胎 F_1 和 T_{a1} 的平均值和标准偏差。其中,每条轮胎的3次 F_1 和 T_{a1} 标准偏差的最大值即为轮胎试验机偏差,12条轮胎的 F_1 和 T_{a1} 的标准偏差即为轮胎制造工艺偏差,结果如表1所示。

从表1可以看出:轮胎试验机造成的 F_1 和 T_{a1} 偏差分别为0.002 7和0.354 6 mm;轮胎制造工艺造成

表1 轮胎试验机偏差

项 目	F_1		T_{a1}	
	平均值	标准偏差	平均值	标准偏差
轮胎编号				
1 [#]	0.327 3	0.002 5	13.984 5	0.156 9
2 [#]	0.335 7	0.002 1	14.014 5	0.078 6
3 [#]	0.334 6	0.001 8	14.058 6	0.125 6
4 [#]	0.324 0	0.001 2	13.981 2	0.264 5
5 [#]	0.334 9	0.002 1	14.123 5	0.354 6
6 [#]	0.336 8	0.000 8	14.053 2	0.256 9
7 [#]	0.338 6	0.002 7	14.321 5	0.327 8
8 [#]	0.344 7	0.000 8	14.127 8	0.256 4
9 [#]	0.339 6	0.002 5	14.201 2	0.154 6
10 [#]	0.340 8	0.001 6	13.936 5	0.351 2
11 [#]	0.345 6	0.002 1	13.846 8	0.214 5
12 [#]	0.335 6	0.000 8	14.241 5	0.108 5
平均值 ¹⁾	0.336 5	0.001 8	14.074 2	0.220 8
标准偏差 ²⁾	0.006 3		0.129 8	
偏差百分比 ³⁾ /%	1.87		0.92	

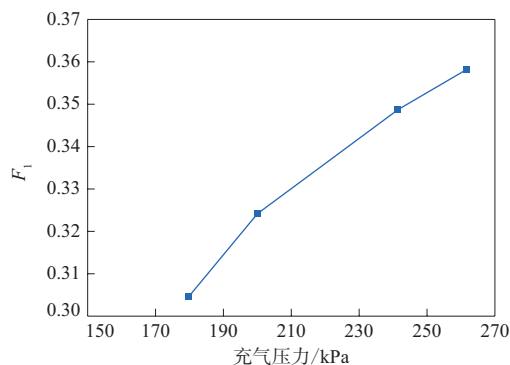
注:1) 12条轮胎的平均值;2) 12条轮胎平均值的标准偏差;

3) 标准偏差与平均值的比值。

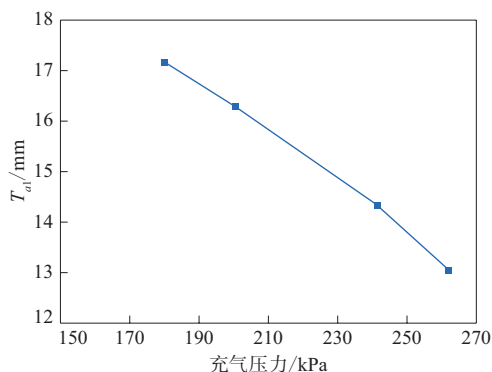
的 F_1 偏差和 T_{a1} 偏差分别为0.006 3和0.129 8 mm。

2.3 轮胎充气压力偏差和负荷偏差

选择2条试验轮胎,在充气压力为标准充气压力的60%,80%,100%,120%时测试充气压力造成的 F_1 偏差和 T_{a1} 偏差,结果如图4所示。



(a) 充气压力对 F_1 的影响



(b) 充气压力对 T_{a1} 的影响

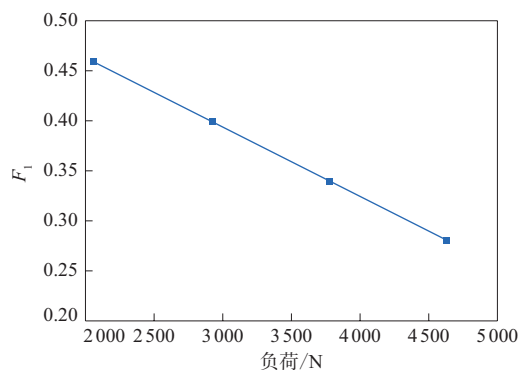
图4 充气压力对 F_1 和 T_{a1} 的影响

选用2条试验轮胎,在负荷率为60%,80%,100%,120%时测试负荷造成的 F_1 偏差和 T_{a1} 偏差,结果如图5所示。

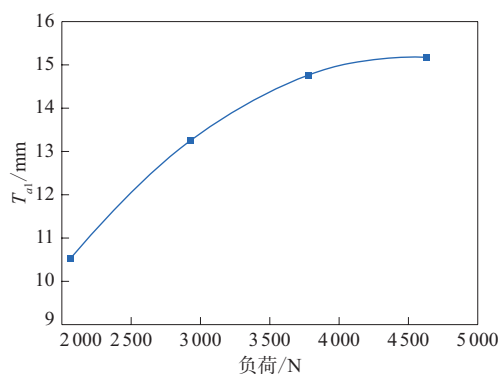
从图4和5可以看出: F_1 随充气压力的增大而增大,随负荷的增大而减小; T_{a1} 随充气压力的增大而减小,随负荷的增大而增大。

由设备使用说明可知轮胎充气压力的精度为 ± 5 kPa,加载负荷精度为 ± 250 N,可以得出产生 F_1 最大值和最小值的充气压力和负荷,以及产生 T_{a1} 最大值和最小值的充气压力和负荷,如表2所示。

根据表2,选择4条试验轮胎(编号为13#—16#)进行测试,分别得到 F_1 和 T_{a1} 的最大值、最小值和极差值,如表3所示。



(a) 负荷对 F_1 的影响



(b) 负荷对 T_{a1} 的影响

图5 负荷对 F_1 和 T_{a1} 的影响

表2 轮胎充气压力和负荷的偏差分析项目

负荷/N	充气压力/kPa	
	225	235
4 050	F_1 最大值, T_{a1} 最小值	
4 550	F_1 最小值, T_{a1} 最大值	

表3 不同充气压力和负荷下的 F_1 和 T_{a1}

项 目	F_1			T_{a1}		
	最小值	最大值	极差值	最小值	最大值	极差值
轮胎编号						
13#	0.322 5	0.357 3	0.034 8	13.984 5	15.010 4	1.025 9
14#	0.312 8	0.358 7	0.045 9	14.450 7	15.225 5	0.774 8
15#	0.331 2	0.369 1	0.037 9	13.743 5	14.525 2	0.781 7
16#	0.323 1	0.361 9	0.038 8	14.169 8	15.148 9	0.979 1
平均值	0.322 4	0.361 7	0.039 3	14.087 1	14.977 5	0.890 4

根据表3可求出 F_1 和 T_{a1} 的上、下监控偏差。

由充气压力和负荷造成的 F_1 偏差(L_{F_1})为

$$L_{F_1} = \frac{F_a - F_b}{2} = \frac{F_s}{2} = 0.017 4 \approx 0.02 \quad (3)$$

式中, F_a 为 F_1 最大值, F_b 为 F_1 最小值, F_s 为 F_1 极差值。

由充气压力和负荷造成的 T_{a1} 偏差($L_{T_{a1}}$)为

$$L_{T_{a1}} = \frac{T_{aa} - T_{ab}}{2} = \frac{T_{as}}{2} = 0.51295 \approx 0.5 \quad (4)$$

式中, T_{aa} 为 T_{a1} 最大值, T_{ab} 为 T_{a1} 最小值, T_{as} 为 T_{a1} 极差值。

2.4 轮胎测试路面偏差

选择4条试验轮胎(编号为17[#]—20[#]), 分别在砂纸模拟路面(简称砂纸路面)和光滑的模拟路面(简称光滑路面)上测试 F_1 和 T_{a1} 。为验证数据的准确性, 每条轮胎重复测量3次, 以 F_1 和 T_{a1} 的平均值为每条轮胎的最终结果, 如表4所示。

表4 不同测试路面下的 F_1 和 T_{a1}

项 目	F_1			T_{a1}		
	砂纸路面	光滑路面	极差值	砂纸路面	光滑路面	极差值
轮胎编号						
17 [#]	0.343 1	0.356 5	0.013 4	13.967 0	13.561 2	-0.405 8
18 [#]	0.355 7	0.348 3	-0.007 4	14.452 7	14.456 4	0.003 7
19 [#]	0.357 5	0.362 0	0.004 5	14.123 7	13.983 4	-0.140 3
20 [#]	0.345 6	0.339 5	-0.006 1	14.563 4	14.086 5	-0.477 8
平均值	0.350 5	0.351 6	0.001 1	14.276 9	14.021 9	-0.255 1

从表4可以看出, 砂纸路面和光滑路面对 F_1 和 T_{a1} 的影响变化不大。因此, 进行控制轮胎线性数据监控时, 可以忽略由于砂纸路面的附着力系数对试验数据的影响。

3 监控方案

3.1 控制轮胎的监控流程

控制轮胎的监控流程如图6所示, 具体如下: 生产60条试验轮胎, 选取侧向力波动和径向力波动数据接近的10条作为控制轮胎; 选择3条控制轮

胎, 每条轮胎每周进行1次力学测试; 分析 F_1 和 T_{a1} , 绘制其平均值和标准偏差控制图; 若控制数据与平均值的偏差大于2.5倍的标准偏差, 则数据稳定, 可进行轮胎力学试验, 否则需进行轮胎试验机的校准; 校准后, 若控制数据与平均值的偏差大于2.5倍的标准偏差, 则数据稳定, 可进行轮胎力学试验, 否则需要更换新的控制轮胎继续进行数据监控。

3.2 控制轮胎监控数据分析

选择3条控制轮胎测试其 F_1 和 T_{a1} , 重复测试50次, 其中 F_1 平均值为控制轮胎的基准值 C_1 , T_{a1} 平均值为控制轮胎的基准值 C_2 , 根据50次的测试数据及平均值和标准偏差控制图的监控原理, 可知 F_1 和 T_{a1} 的上下限。得到平均值和标准偏差控制图的基准值和上下限后, 每周测试1条轮胎, 循环测试3条轮胎并记录 F_1 和 T_{a1} , 绘制其平均值和标准偏差控制图, 然后根据监控流程判定试验数据是否合理。

本工作 F_1 的平均值和标准偏差控制图分别如图7和8所示。

从图7和8可以看出, 前25周 F_1 稳定, 可继续进行监控。 T_{a1} 的平均值和标准偏差的处理方式与侧向力系数相同。

若有1条控制轮胎数据异常(超出上下限范围), 需要更换新的控制轮胎, 重新确定基准值 C_1 和 C_2 , 重新进行监控; 若有2或3条控制轮胎数据异常, 需对轮胎试验机进行期间核查, 若期间核查正常, 则更换控制轮胎, 若期间核查异常, 则对轮胎

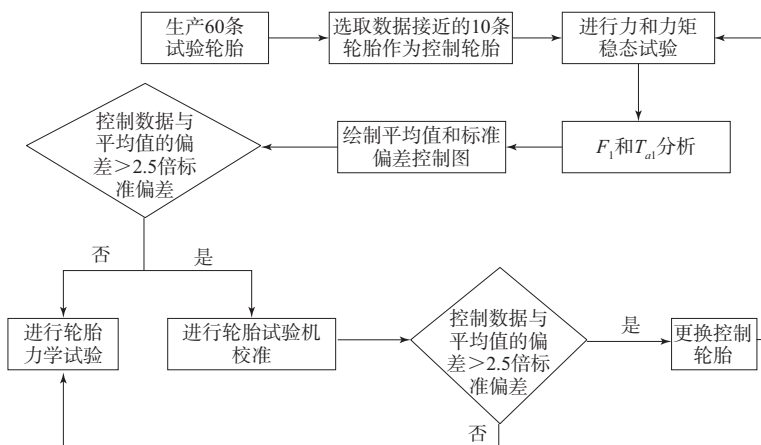


图6 控制轮胎的监控流程

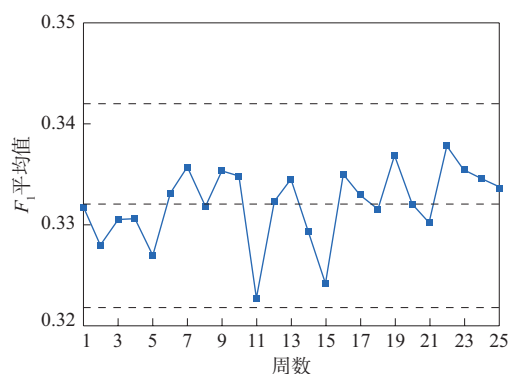


图7 平均值控制图

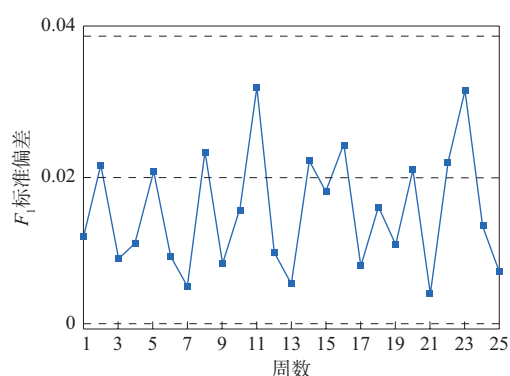


图8 标准偏差控制图

试验机进行年度校准,校准后再次确定基准值 C_1 和 C_2 ,重新进行监控。

3.3 测试设备监控

为了保证试验数据的准确性,除参考控制轮胎的监控数据外,还需要第三方校准机构或MTS公司每年对轮胎试验机进行1次设备校准,主要包括传感器、充气压力装置、轮胎速度、侧偏角、侧倾角等参数的校准,同时需要试验人员每3个月对设备进行1次传感器的快速校准,如果发现传感器未达到精度要求,需联系第三方校准机构或MTS公

司进行设备校准。

4 结论

(1) 在小侧偏角下,暖胎对 F_1 和 T_{a1} 的影响不大,因此采用 F_1 和 T_{a1} 监控数据时可不需暖胎。

(2) 采用控制轮胎监控 F_1 和 T_{a1} 时,需要考虑轮胎制造工艺偏差、试验机偏差、充气压力偏差和负荷偏差的影响。

(3) 在小侧偏角下,模拟路面的附着力系数对 F_1 和 T_{a1} 的影响不大,因此长时间采用 F_1 和 T_{a1} 监控数据时,路面的附着力系数影响不大;但在大侧偏角下,需要考虑模拟路面附着力系数的影响。

(4) 采用本工作监控方案,可以对轮胎试验机的线性数据进行监控,判定试验数据的合理性。

参考文献:

- [1] 朱官宝. 基于高性能轮胎试验机的测力车轮标定系统开发[D]. 合肥:安徽农业大学,2020.
- [2] 卢荡,郭孔辉,徐婷,等. 轮胎-路面复杂耦合力学特性的测试技术及应用[R]. 长春:吉林大学,2014.
- [3] 刘源. 面向汽车虚拟试验场的先进轮胎建模方法研究[D]. 北京:清华大学,2017.
- [4] POTTINGER M G, MARSHALL K D. The effect of tire aging on force and moment properties of radial tires[J]. SAE Transactions, 1981 (90): 251-262.
- [5] 姜洪旭,王海艳. 整车操纵性能仿真客观评价体系研究[J]. 轮胎工业,2020,40(10): 630-634.
- [6] POTTINGER M G, MARSHALL K D, ARNOLD G A. Effects of test speed and surface curvature on cornering properties of tires[J]. SAE Transactions, 1976 (85): 95-104.
- [7] LU D, LU L, WU H D, et al. Tire dynamics modeling method based on rapid test method[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2020, 33 (1). DOI: 10. 1186/s10033-020-00513-8.

收稿日期:2023-08-15

Study on Linear Data Monitoring Method for Tire Forces and Moments Testing Machine

QIU Changfeng, CHEN Renquan, WANG Jun, ZHOU Lei, LIU Junjie, SU Guoqing, SUN Chao

(Qingdao Lunyun Design and Research Institute Co., Ltd, Qingdao 266400, China)

Abstract: The monitoring method for linear data of tire forces and moments testing machine was studied. The results showed that under small side slip angles, the effect of tire heating on the lateral force coefficient

(F_1) and modified moment coefficient (T_{a1}) was not significant. When using F_1 and T_{a1} to monitor test data, tire heating was not necessary. When using control tires to monitor F_1 and T_{a1} , it was necessary to consider the influence of tire manufacturing process deviation, testing machine deviation, inflation pressure deviation, and load deviation. Under small side slip angles, the adhesion coefficient of the simulated road surface had little effect on the F_1 and T_{a1} . Under large side slip angles, the influence of the adhesion coefficient of the simulated road surface on F_1 and T_{a1} needed to be considered. This monitoring scheme allows the linear data of the tire torque testing machine to be monitored to determine the rationality of the test data.

Key words: smooth tire; forces and moments testing machine; data monitoring; simulated road surface

山东橡胶产业创新研究院揭牌

日前,青岛科技大学与山东省枣庄市校地融合重点项目集中签约大会在枣庄举行。签约仪式上,山东橡胶产业创新研究院正式揭牌。

枣庄市市委副书记、市长翟军表示,本次签订累计1.1亿元的科研成果转化项目,标志着双方合作随之迈向更高水平、取得重大突破、迎来光明前景,也将为枣庄发展提供强大技术和人才支撑。

青岛科技大学校长陈克正表示,学校将以此次签约为契机,擦亮“中国橡胶工业黄埔”品牌,进一步发挥学校轮胎先进装备与关键材料国家工程研究中心作为橡胶领域国家级平台的作用,赋能全国橡胶行业转型高质量发展。

据悉,此次揭牌的山东橡胶产业创新研究院的研究方向包括橡胶新材料开发、轮胎智能装备研发、高性能轮胎设计开发、轮胎动态和静态力学性能仿真模型(软件)开发、废旧轮胎循环和资源化利用等。该研究院将借助轮胎先进装备与关键材料国家工程研究中心在橡胶领域的知名度和研发实力,提升枣庄矿业(集团)有限责任公司整体生产研发水平,引导橡胶板块向高端橡胶产业链发展,塑造全国矿山轮胎知名品牌。

青岛科技大学还将加大推动基础科学、前沿应用技术及重要课题等方面研究,依托学校在橡胶领域的优势特色学科,通过共建人才联合培养基地、科技成果转化基地,推进学校科技成果产业化。

(摘自《中国化工报》,2023-11-21)

胶囊模具、轮胎胶囊的成型方法及轮胎胶囊

由正新橡胶(中国)有限公司申请的专利(公

布号 CN 115674511A, 公布日期 2023-02-03)“胶囊模具、轮胎胶囊的成型方法及轮胎胶囊”,公开了一种胶囊模具、轮胎胶囊的成型方法及轮胎胶囊。该胶囊模具用于轮胎胶囊的制作,包括外模和芯模,外模的内模壁和芯模的外模壁之间形成模腔,模腔与轮胎胶囊内外翻转后的形状适配,芯模的外模壁具有花纹;芯模的外模壁用于形成轮胎胶囊的外表面,外模的内模壁用于形成轮胎胶囊的内表面。通过对胶囊模具的结构以及相应轮胎胶囊成型方法的改进,避免了在轮胎胶囊的外表面出现溢胶或段差问题,可省去打磨修整步骤,从而提高生产效率并延长胶囊的使用寿命。

(本刊编辑部 马 晓)

一种可标识追踪的轮胎胎面橡胶组合物

由山东玲珑橡胶科技有限公司申请的专利(公布号 CN 116355325A, 公布日期 2023-06-30)“一种可标识追踪的轮胎胎面橡胶组合物”,涉及的胎面橡胶组合物配方(用量/份)为:顺式-1,4-聚异戊二烯橡胶 1~80,聚丁二烯聚合物和/或苯乙烯-丁二烯共聚物 1~60/1~100,高比表面积白炭黑 5~100,炭黑 5~80,硼酐化钴 1~3,操作油 1~30。应用这种可标识追踪的胎面橡胶组合物的轮胎在道路行驶试验时,磨损的橡胶颗粒物含有可被标记的物质——钴,通过钴的存在可以断定颗粒物是否来自于目标轮胎,解决了对所收集颗粒物的来源的确定性的难题。

(本刊编辑部 赵 敏)