

航空轮胎胎坯均匀性侧向力建模分析

韩聪聪,于海勇,何 臣,田仲可

(青岛科技大学 机电工程学院,山东 青岛 266061)

摘要:使用UG三维软件对720×320航空轮胎胎坯建模,针对胎坯均匀性侧向力进行分析,得出影响胎坯侧向力不均匀性的主要因素,并在不同速度下进行胎坯运动仿真,测得胎坯侧向力波动数据,再基于中心组合设计方法,利用Design-Expert软件建立胎坯侧向力与其主要影响因素的响应面模型。拟合结果表明,在不同转速下,成型部件(带束层和胎侧)接头误差和接头定点分布偏移与胎坯侧向力波动之间的关系采用四阶响应面方程的拟合效果最佳,带束层贴合偏移量和胎侧贴合偏移量对胎坯侧向力波动影响较大。本研究可为轮胎生产过程中部件贴合测控提供可靠的数学模型。

关键词:航空轮胎;胎坯;侧向力;均匀性;响应面分析;动力学仿真

中图分类号:TQ336.1⁺;O242.1

文献标志码:A

文章编号:1000-890X(2021)09-0676-06

DOI:10.12136/j.issn.1000-890X.2021.09.0676



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

由于轮胎不圆度、胎坯尺寸偏差、质量分布和成型层贴合不均匀等因素导致轮胎在负载及高速旋转的情况下产生波动的侧向力和径向力,使汽车在行驶过程中产生周期性的上下振动、左右偏移并伴随着较大噪声,严重影响汽车的驾乘舒适性,甚至影响行驶安全性^[1-2]。

国外的一些大轮胎公司在20世纪50年代就已经意识到轮胎均匀性的重要性,着手研究轮胎均匀性,进行了轮胎均匀性检测机理和数据处理方法等基础性研究,取得了一定的成果。60年代初,H. R. DORFI^[3]研究了轮胎非均匀性的形式以及产生的原因,并测出由于轮胎不均匀性产生的力波形;1963年,美国阿克隆标准有限公司开始向市场供应轮胎均匀性试验机,迅速将其投入生产应用中。到了60年代中期,国外的大轮胎公司基本上都开始使用轮胎均匀性试验机。1965年,J. DELGATTO^[4]对当时最先进的轮胎均匀性试验机进行研究,并根据轮胎非均匀性程度即侧向力和径向力谐波将轮胎分为5个等级。到了70

年代,国外已经建立起轮胎均匀性研究体系,并开始研究负荷轮曲率与轮胎均匀性之间的关系,进一步优化了轮胎均匀性试验机。1979年,美国汽车制造商协会经过大量的试验研究,得出了汽车行驶过程中轮胎均匀性对轮胎圆周力的影响,并得出两者之间的关系^[5]。1980年,MTS公司生产出检验平带型轮胎均匀性的试验机。1990年,S. MATSUSHIMA等^[6]研发的轮胎均匀性检测仪可以连续测量出由于轮胎不均匀性而产生的轴向力和径向力波形,具有精度高、成本低等优点。

我国的轮胎工业起步较晚,早期对轮胎均匀性的研究进展较慢,直到20世纪90年代才引入轮胎均匀性试验机,但随着对轮胎均匀性研究的重视,我国对轮胎均匀性理论研究取得了一定的成果,并且在设备研发方面发展迅速。1997年,马金林^[7]提出将胎体以一定角度进行贴合以提高轮胎均匀性。2004年,王晓明等^[8]建立了载重子午线轮胎模型,并用有限元软件分析在静态条件下带束层对轮胎径向力波动及轴向力波动的影响。2007

作者简介:韩聪聪(1995—),男,山东青岛人,青岛科技大学在读硕士研究生,主要从事机械工程领域智能制造数值模拟和算法研发。

E-mail:834881121@qq.com

引用本文:韩聪聪,于海勇,何臣,等.航空轮胎胎坯均匀性侧向力建模分析[J].橡胶工业,2021,68(9):676-681.

Citation: HAN Congcong, YU Haiyong, HE Chen, et al. Modeling and analysis of lateral force uniformity of aircraft green tire[J]. China Rubber Industry, 2021, 68(9): 676-681.

年软控股份有限公司研发出国产轮胎均匀性试验机^[9]。之后,卢忠宇等^[10-16]研究分析了影响子午线轮胎均匀性的因素,得出了对均匀性影响较大的生产工艺参数。2015年段太瑞^[17]以轮胎均匀性试验机测试工位的力学模型和测量原理为基础,建立有限元分析模型,对试验机力学特性和振动特性进行研究,并对试验机的主轴和机架进行了优化。

本研究使用UG三维软件对720×320航空轮胎胎坯进行建模和运动学模拟,收集由于成型部件(带束层和胎侧)接头误差和接头定点分布偏移产生的侧向力波动数据,再利用响应面分析法建立航空轮胎在生产过程中部件贴合测控所需要的数学模型。

1 模型简化

首先使用UG三维软件对720×320航空轮胎胎坯进行建模,针对轮胎胎坯均匀性侧向力进行分析,得出影响胎坯侧向均匀性的5个主要因素:左胎侧贴合偏移量(A)、右胎侧贴合偏移量(B)、带束层贴合偏移量(C)、左胎侧接头相对带束层接头贴合偏移角度(D)和右胎侧接头相对带束层接头贴合偏移角度(E)。然后,在120,160和180 km/h不同速度下研究这些成型部件接头误差和接头定点分布偏移与胎坯侧向力波动之间的关系。为了方便模拟方案的实施,对轮胎采用1条带束层、1条左胎侧、1条右胎侧和1条胎面的简化模型来模拟成型贴合情况。简化模型的基础数据如表1所示,胎面断面如图1所示。

表1 胎坯参数
Tab.1 Parameters of green tire mm

部件	厚度	宽度	长度
带束层	2	170.0	1 413.72
左胎侧	2	147.5	1 413.72
右胎侧	2	147.5	1 413.72
胎面		170.0	1 426.28

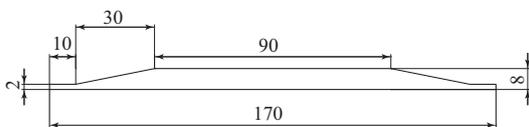


图1 胎面断面
Fig.1 Tread section

胎侧贴合偏移即胎侧贴合始端与尾端偏移,如图2(a)所示,带束层贴合偏移即带束层贴合始端与尾端贴合偏移,如图2(b)所示,胎侧接头相对带束层接头贴合偏移角度即胎侧贴合线与带束层贴合线的偏移角度,如图3所示。

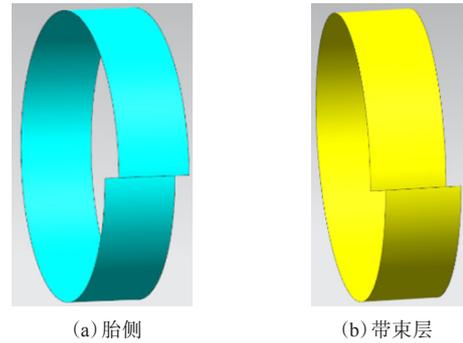
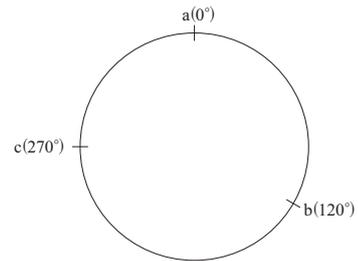


图2 胎侧和带束层贴合偏移示意
Fig.2 Pasting deviations of sidewall and belt



a—胎面接头处;b—胎侧接头处;c—带束层接头处。

图3 理想接头角度分布
Fig.3 Distribution of ideal joined angles

左右胎侧贴合偏移量范围为-10~+10 mm,带束层贴合偏移量范围为-10~+10 mm,左右胎侧接头相对带束层接头贴合偏移角度范围为0°~360°。

2 模型数据的采集生成

采用中心组合设计(Central Composite Design, CCD)方法进行试验设计,如图4所示,得到50次试验组合方案。采用CCD方法在减少试验次数的同时提高了结果的准确度^[18]。部分参数组合如图5所示。

3 运动学模型构建及仿真

按照生成的50组模型数据,使用UG软件构建出不同数据组合的轮胎胎坯模型,总装配模型如

图6所示。为了对胎坯进行运动模拟,测量出其侧向力波动数据,对运动副、接触参数和解算参数进行设置,如图7所示。装配过程中定义基座为刚性连接,轴与基座的连杆为销链接,成型鼓的孔与转

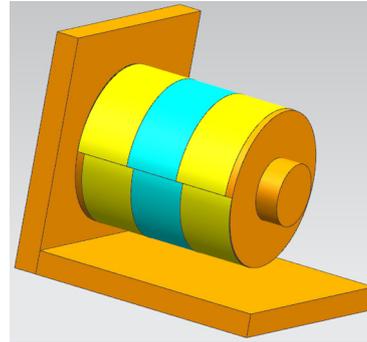


图6 胎坯总装配模型

Fig. 6 General assembly model of green tire

轴之间的运动副为旋转副。成型鼓与底板为3D接触,设置动摩擦因数为0.15,静摩擦因素为0.3。装配后模型定义成型鼓密度为 $7.8 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$,带束层密度为 $1.5 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$,重力指向底板,重力加速度为 $9.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。

120 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 速度下0~1 s内胎坯侧向力波动曲线如图8所示,不同速度下50组胎坯侧向力波动数据如图9所示。

4 侧向力波动响应面分析

响应面法研究的是多输入与输出之间的关系,适宜解决非线性数据处理问题,能将复杂的未知函数关系在小区域内用简单明了的多项式模型来拟合。将UG软件模拟测得的50组不同速度下的轮胎胎坯侧向力波动数据依次导入Design-Expert软件对应的数据栏中,并采用四阶模型进行响应面分析,拟合结果如表2所示。

胎坯侧向力波动残差正态分布分析表明,离散点与预期直线十分接近,表明模型可靠。

速度为120, 160和180 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 对应的胎坯侧向力波动的四阶响应面方程分别为

$$Y = 525.11 - 231.97A + 222.43C + 61.12AB - 81.57BC - 83.91BE - 84.55A^2 - 67.29B^2 - 93.52C^2 + 46.65ABD - 61.74ABE + 161.14AB^2 + 71.75ABCDE - 154.13A^2B^2 \quad (1)$$

$$Y = 597.33 - 244.09A + 251.26C + 80.75AB - 91.87BC - 67.32BE + 65.23CE - 37.51DE - 101.45A^2 - 78.21B^2 - 35.11ABC + 34.65ABD - 83.73ABE + 72.89ACD - 55.50ACE + 35.93BCD + 99.07A^2B - 121.32A^2C +$$

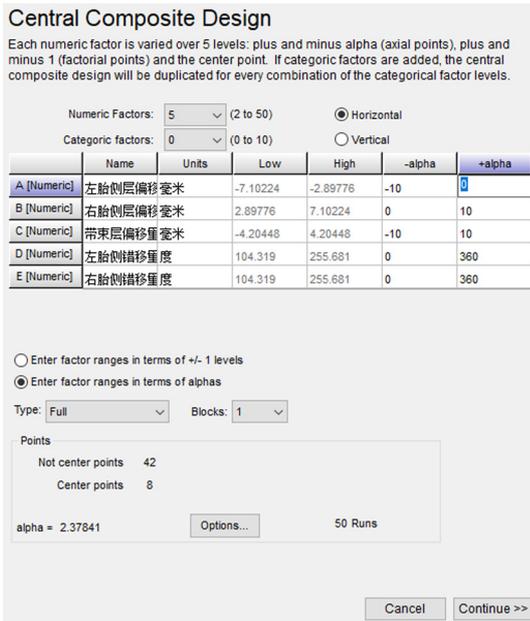


图4 CCD试验设计界面

Fig. 4 Interface of CCD test design

Std	Run	Factor 1 A-左胎侧偏 mm	Factor 2 B-右胎侧偏 mm	Factor 3 C-带束层偏 mm	Factor 4 D-左胎侧偏 mm	Factor 5 E-右胎侧偏 mm	Response 1 转速120km/h	Response 2 转速160km/h	Response 3 转速180km/h
50	1	-5.00	5.00	0.00	180.00	180.00	525.11	597.33	603.26
4	2	-2.90	7.10	-4.20	104.32	104.32	89.22	92.68	105.36
28	3	-2.90	7.10	-4.20	255.68	255.68	120.68	378.88	342.71
44	4	-5.00	5.00	0.00	180.00	180.00	525.11	597.33	603.26
10	5	-2.90	2.90	-4.20	255.68	104.32	-387.44	-402.19	-229.07
19	6	-7.10	7.10	-4.20	104.32	255.68	-65.36	-85.62	-108.32
27	7	-7.10	7.10	-4.20	255.68	255.68	168.85	-229.06	-388.56
49	8	-5.00	5.00	0.00	180.00	180.00	525.11	597.33	603.26
7	9	-7.10	7.10	4.20	104.32	104.32	113.65	-463.59	-339.14
11	10	-7.10	7.10	-4.20	255.68	104.32	387.37	402.1	228.84
21	11	-7.10	2.90	4.20	104.32	255.68	389.14	402.56	229.11
16	12	-2.90	7.10	4.20	255.68	104.32	387.42	402.18	229.02
36	13	-5.00	10.00	0.00	180.00	180.00	23.58	35.68	48.45
39	14	-5.00	5.00	0.00	0.00	180.00	525.11	597.33	603.26
12	15	-2.90	7.10	-4.20	255.68	104.32	387.42	402.18	229.02
47	16	-5.00	5.00	0.00	180.00	180.00	525.11	597.33	603.26
13	17	-7.10	2.90	4.20	255.68	104.32	236.73	316.16	280.96
15	18	-7.10	7.10	4.20	255.68	104.32	296.96	301.36	323.82
23	19	-7.10	7.10	4.20	104.32	255.68	323.85	372.83	277.19
24	20	-2.90	7.10	4.20	104.32	255.68	-375.57	-386.15	-277.21
6	21	-2.90	2.90	4.20	104.32	104.32	-340.52	-537.55	-342.54
48	22	-5.00	5.00	0.00	180.00	180.00	525.11	597.33	603.26
3	23	-7.10	7.10	-4.20	104.32	104.32	-89.26	92.68	105.32
26	24	-2.90	2.90	-4.20	255.68	255.68	-314.36	-378.88	-342.72
46	25	-5.00	5.00	0.00	180.00	180.00	525.11	597.33	603.26
31	26	-7.10	7.10	4.20	255.68	255.68	341.68	543.62	357.94
5	27	-7.10	2.90	4.20	104.32	104.32	389.31	402.69	229.11
38	28	-5.00	5.00	10.00	180.00	180.00	525.11	597.33	603.26
2	29	-2.90	2.90	-4.20	104.32	104.32	-389.14	-402.56	-229.07
8	30	-2.90	7.10	4.20	104.32	104.32	389.17	402.51	229.08
14	31	-2.90	2.90	4.20	255.68	104.32	320.02	395.96	368.65
33	32	-10.00	5.00	0.00	180.00	180.00	598.55	603.96	603.96
41	33	-5.00	5.00	0.00	180.00	0.00	524.51	597.33	603.87
29	34	-7.10	2.90	4.20	255.68	255.68	655.63	341.38	538.87
43	35	-5.00	5.00	0.00	180.00	180.00	525.11	597.33	603.26
40	36	-5.00	5.00	0.00	360.00	180.00	524.51	597.33	603.87
34	37	0.00	5.00	0.00	180.00	180.00	-504.87	-557.11	-592
9	38	-7.10	2.90	-4.20	255.68	104.32	387.36	402.09	228.86
1	39	-7.10	2.90	-4.20	104.32	104.32	-389.25	-402.61	-229.06
42	40	-5.00	5.00	0.00	180.00	360.00	524.51	597.33	603.87
17	41	-9.00	7.10	4.20	255.68	255.68	389.17	402.61	229.08

图5 部分参数组合界面

Fig. 5 Interface of some parameter combinations



图7 运动仿真参数设置界面

Fig. 7 Setting interfaces of dynamic simulation parameters

$$\begin{aligned}
 &152.22A^2D + 205.40AB^2 - 119.98ABCD - \\
 &99.05ABDE + 95.95ABDE - 202.12A^2B^2 \quad (2) \\
 Y = &603.26 - 251.42A - 49.68B + 253.53C + \\
 &65.47AB - 36.95AC - 27.28AD - 68.04BC - \\
 &48.79BE + 47.61CD + 45.44CE - 28.12DE - \\
 &105.58A^2 - 77.19B^2 - 106.60C^2 - \\
 &35.43ABC + 44.61ABD - 23.00ABE + \\
 &41.80ACD - 64.90ACE + 65.63A^2B - \\
 &160.05A^2C + 104.94A^2D + 232.09AB^2 - \\
 &88.81ABCD - 66.63ABCE + 98.63ABDE - \\
 &226.58A^2B^2 \quad (3)
 \end{aligned}$$

式中, Y 为侧向力最大值。

胎坯侧向力响应面方程中的变量对应编码值

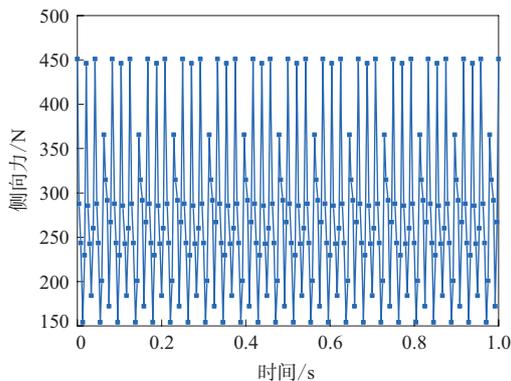


图8 120 km · h⁻¹速度下胎坯侧向力波动曲线
Fig. 8 Lateral force fluctuation curve of green tire at 120 km · h⁻¹ speed

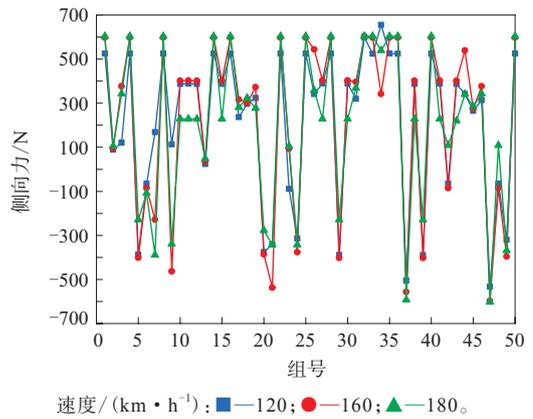


图9 不同速度下胎坯侧向力波动数据
Fig. 9 Lateral force fluctuation data of green tire at different speeds

表2 胎坯侧向力拟合结果
Tab. 2 Lateral force fitting results of green tire

速度 / (km · h ⁻¹)	标准差 / N	相关因数	显著性 (F)	平均值 / N
120	113.69	0.982 0	10.62	213.78
160	83.75	0.992 8	26.82	220.82
180	44.93	0.997 4	75.93	207.72

而非真实值,可按表3所示进行线性插值。

从式(1)一(3)可以看出,单因素中带束层贴合偏移量平方(C^2)和带束层贴合偏移量(C)对胎坯侧向力波动影响较大;交互因素中左胎侧贴合偏移量平方和右胎侧贴合偏移量的乘积(A^2B)、左胎侧贴合偏移量和右胎侧贴合偏移量平方的乘积(AB^2)以及左胎侧贴合偏移量平方和右胎侧贴合

表3 响应面方程标量真实值与编码值对应表
Tab.3 Corresponding table of scalar true values and coded values of response surface equations

变量	I		II		III		IV	
	真实值	编码值	真实值	编码值	真实值	编码值	真实值	编码值
A	-10	-2.381	-7.1	-1	-2.9	1	0	2.381
B	0	-2.381	2.9	-1	7.1	1	10	2.381
C	10	-2.381	-4.2	-1	4.2	1	10	2.381
D	0	-2.378	104.32	-1	255.68	1	360	2.378
E	0	-2.378	104.32	-1	255.68	1	360	2.378

偏移量平方的乘积(A^2B^2)对胎坯侧向力波动影响较大。

5 结论

使用UG三维软件对720×320航空轮胎胎坯建模,针对胎坯均匀性侧向力进行分析,得出影响胎坯侧向均匀性的主要因素,然后在3种速度下进行胎坯运动仿真,测得胎坯侧向力波动数据,再使用Design-Expert软件进行响应面分析,得到如下结论。

(1)不同速度下,成型部件(带束层和胎侧)接头误差和接头定点分布偏移与胎坯侧向力波动之间的关系采用四阶响应面方程的拟合效果最佳,可为轮胎生产过程中部件贴合测控提供可靠的数学模型。

(2)带束层贴合偏移量和胎侧贴合偏移量对胎坯侧向力波动影响较大。

本工作仅研究成型部件接头误差和接头定点分布偏移与胎坯侧向力波动之间的数学模型,下一阶段需要进一步验证胎坯侧向力波动与成品轮胎侧向力波动的相关性,以期得到部件接头误差和接头定点分布偏移与成品轮胎侧向力波动之间的数学模型。

参考文献:

- [1] 伍良生,卢成龙,马建峰,等.轮胎均匀性检测系统开发[J].机械设计与制造,2013(11):85-87.
WU L S, LU C L, MA J F, et al. Tire uniformity testing system development[J]. Mechanical Design & Manufacturing, 2013(11): 85-87.
- [2] 郭斌杰,安琪,谭晶,等.免充气塑料轮胎支撑结构对性能的影响[J].塑料科技,2020,48(3):17-20.
GUO B J, AN Y, TAN J, et al. Effect of the supporting structure of non-pneumatic plastic tire on performance[J]. Plastic Science and Technology, 2020, 48(3): 17-20.
- [3] DORFI H R. Tire non-uniformities: Comparison of analytical and

numerical tire models and correlation to experimentally measured data[J]. Vehicle System Dynamics, 2005, 43 (suppl) : 223-240.

- [4] DELGATTO J. New tire uniformity machine[J]. Rubber World, 1965, 153(5): 81-89.
- [5] GILLESPIE T D. Relationship of trick tire/wheel non-uniformities to cyclic force generation[R]. US:University of Michigan Transportation Research Institute, 1984.
- [6] MATSUSHIMA S, DOI S, YAMAMOTO Y. Development of simplified two-axle tire uniformity tester[C]. Detroit: SAE International Congress and Exposition, 1990:26-30.
- [7] 马金林.提高子午线轮胎均匀性的新途径[J].轮胎工业,1997,17(10):579-582.
MA J L. New approach to improving uniformity of radial tires[J]. Tire Industry, 1997, 17(10): 579-582.
- [8] 王晓明,杨梅胜.带束层对子午线轮胎均匀性影响的有限元分析[J].橡胶工业,2004,51(1):35-39.
WANG X M, YANG M S. Analysis for effect of belt on radial tire uniformity by FEA[J]. China Rubber industry, 2004, 51(1): 35-39.
- [9] 王青茜.我国实现自主生产轿车轮胎均匀性试验机[J].中国橡胶,2008,24(7):46.
WANG X Q. My country's independent production of car tire uniformity testing machine[J]. China Rubber, 2008, 24(7): 46.
- [10] 卢忠宇.轮胎均匀性测试设备优化设计[D].青岛:青岛科技大学,2013.
LU Z Y. Optimal design of tire uniformity test equipment[D]. Qingdao: Qingdao University of Science and Technology, 2013.
- [11] 赵明达.轮胎均匀性参数测量方法的研究[D].青岛:青岛科技大学,2009.
ZHAO M D. Research on measurement method of tire uniformity parameters[D]. Qingdao: Qingdao University of Science and Technology, 2009.
- [12] 关伟平,邓海燕.航空轮胎骨架材料及其发展[J].轮胎工业,2008,28(2):75-77.
GUAN W P, DENG H Y. Prospect of reinforcement material for airplane tire[J]. Tire Industry, 2008, 28(2): 75-77.
- [13] 管西刚.轮胎均匀性试验机算法解算和控制方法的研究[D].青岛:青岛科技大学,2006.
GUAN X G. Research on algorithms and control methods of tire uniformity testing machine[D]. Qingdao: Qingdao University of Science and Technology, 2006.
- [14] 赵成忠,李培军,崔莉,等.全钢载重子午线轮胎成型工艺对轮胎侧向力波动的影响[J].轮胎工业,2017,37(7):428-431.

- ZHAO C Z, LI P J, CUI L, et al. Influence of building process on radial force vibration of truck and bus radial truck tire[J]. Tire Industry, 2017, 37 (7) : 428-431.
- [15] 葛宜元, 梁秋燕, 王桂莲, 等. 试验设计方法与Design-Expert软件应用[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2015.
- GE Y Y, LIANG Q Y, WANG G L, et al. Experiment design method and Design-Expert software application[M]. Harbin: Harbin Institute of Technology Press, 2015.
- [16] 余双玉. 轮胎均匀性及其影响因素[J]. 轮胎工业, 2008, 28 (8) : 463-469.
- YU S Y. Tire uniformity and influencing factors[J]. Tire Industry, 2008, 28 (8) : 463-469.
- [17] 段太瑞. 轮胎动平衡测试装置力学分析与建模[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2015.
- DUAN T R. Mechanical analysis and modeling of tire dynamic balance testing device[D]. Qingdao: Qingdao University of Science and Technology, 2015.
- [18] 任浩华, 关杰, 王芳杰, 等. 采用Design-Expert软件优化高频气力分选机风量配合设计[J]. 环境污染与防治, 2013, 35 (7) : 27-30.
- REN H H, GUAN J, WANG F J, et al. Optimal design of the air volumes of high-frequency vibration air separator by Design-Expert[J]. Environmental Pollution and Prevention, 2013, 35 (7) : 27-30.

收稿日期: 2021-03-23

Modeling and Analysis of Lateral Force Uniformity of Aircraft Green Tire

HAN Congcong, YU Haiyong, HE Chen, TIAN Zhongke

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

Abstract: In this study, 720×320 aircraft green tire was modeled by using 3D software UG, the uniformity of the lateral force was analyzed, and the main factors affecting the lateral force uniformity were obtained. The motion simulation was carried out at different speeds, and the data of the lateral force fluctuation was measured. Based on the central composite design method, the response surface model between the lateral force of the green tire and its main influencing factors was established by using the Design-Expert software. The fitting results showed that, at different speeds, the relationship between the forming parts (belt and sidewall) joint error and lateral force fluctuation, and the relationship between the joint fixed-point distribution deviation and lateral force fluctuation were best fitted by the fourth-order response surface equations, and the belt lamination deviation and the sidewall lamination deviation had greater impacts on the lateral force fluctuation of the green tire. This study could provide a reliable mathematical model for the measurement and control of the part lamination in the tire production process.

Key words: aviation tire; green tire; lateral force; uniformity; response surface analysis; kinematics simulation

专利2则

由中轻联(大连)包装研究院有限公司申请的专利(公布号 CN 109306094B, 公布日期 2021-01-05)“石墨烯橡胶母料的制备方法”, 提供了一种石墨烯橡胶母料的制备方法, 其包括以下步骤: (1) 石墨烯表面改性; (2) 将改性石墨烯和氯丁橡胶(CR)进行混炼, 制得改性石墨烯-CR; (3) 将含有未经过改性处理的石墨烯和丁腈橡胶(NBR)进行混炼, 形成石墨烯-NBR; (4) 将改性石墨烯-CR和石墨烯-NBR按照(2~15): 1的质量比进行混炼, 共混物粉碎后即成为石墨烯橡胶母料。该石墨烯橡胶母料能够明显提升橡胶材料的拉伸强度和拉断伸长率。

由刘坚申请的专利(公布号 CN 112175258A, 公布日期 2021-01-05)“一种电磁屏蔽橡胶及其制备方法”, 提供了一种电磁屏蔽橡胶的制备方法: 先以亚麻纤维为原料, 将其和枯草芽孢杆菌混合后放在高温高湿的条件下微腐, 亚麻纤维微腐后炭化得到电磁屏蔽材料; 再将丙烯酸和马来酸酐共聚物和膨润土混合改性, 得到改性膨润土, 并将改性膨润土和自制电磁屏蔽材料混合后与用聚乙烯醇和3,4-二羟基苯甲酸溶液反应, 制得改性自制填料; 最后将改性自制填料和橡胶等混合, 制得电磁屏蔽橡胶。该电磁屏蔽橡胶的电磁屏蔽性能极佳, 韧性好, 具有广阔的应用前景。

(本刊编辑部)