

产品·设计

气囊帘线参数对自由膜式空气弹簧静态性能影响程度的研究

刘加健, 刘志国, 曹江勇, 来庆存
(青岛博锐智远减振科技有限公司, 山东 青岛 266031)

摘要:先用单因子试验研究气囊帘线材质、帘线角度和帘线膨胀比对自由膜式空气弹簧静态性能(水平静态刚度、垂向静态刚度和载荷内压)的影响,再用正交试验法分析这3个因子对空气弹簧静态性能的影响程度。结果表明,气囊帘线材质、帘线角度和帘线膨胀比对空气弹簧静态性能均有不同程度的影响,其中帘线材质对空气弹簧载荷内压的影响程度最大,帘线角度对空气弹簧垂向静态刚度的影响程度最大,帘线膨胀比对空气弹簧水平静态刚度的影响程度最大。

关键词:自由膜式空气弹簧;静态性能;帘线参数;气囊;单因子试验;正交试验

中图分类号:TQ336.4⁺2;TQ330.38⁺9

文献标志码:A

文章编号:1000-890X(2022)06-0459-07

DOI:10.12136/j.issn.1000-890X.2022.06.0459



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

空气弹簧是一种在柔性密闭容器中充入压缩空气并利用空气的压缩弹性进行工作的非金属弹性元件,在铁道车辆和汽车的减震、缓冲和高频隔震等方面起着不可替代的作用^[1]。空气弹簧按研究和使用的顺序分类,大致分为囊式、约束膜式和自由膜式空气弹簧,其中,自由膜式空气弹簧没有约束群(或外筒),气囊可以按其势能最小的形状自由伸张^[2-3],具有使用寿命长、质量较小、安装高度低、可减小车辆地板面距轨面高度的特点,在无摇动台结构的铁道车辆转向架上应用广泛^[4],因此,自由膜式空气弹簧具有重要的研究价值。

空气弹簧的静态性能是空气弹簧设计及应用的重要参数,而气囊作为空气弹簧的主要受力部件,气囊的几何结构和特性对空气弹簧的静态性能具有重要影响;帘布层作为气囊的骨架材料,其帘线材质、角度、密度及其层数对气囊的变形、应力及刚度具有较大影响,从而直接影响空气弹簧的静态性能^[5-6]。目前,气囊帘线对自由膜式空气弹簧静态性能影响的研究主要集中在确定单个影

响因子的影响规律上,而未对各个因子对其静态性能影响程度进行分析,导致自由膜式空气弹簧性能调整的针对性较低。

正交试验是进行多因子试验的一种科学方法,利用规格化的正交表格,对多因子试验进行整体设计、统计比较、综合分析,用数理统计方法对试验结果进行处理,得出科学结论^[7-8]。同时,可以通过极差分析各因子的影响程度大小,为优化试验提供指导^[9]。

本工作以正交试验方法研究气囊帘线材质、帘线角度和帘线膨胀比对自由膜式空气弹簧水平静态刚度、垂向静态刚度和载荷内压的影响程度,从而可以更有针对性地为调整自由膜式空气弹簧的静态性能提供指导。

1 自由膜式空气弹簧气囊的基本结构及特点

自由膜式空气弹簧可分为大曲囊式和小曲囊式结构,本试验选取大曲囊式空气弹簧进行研究,所用气囊主要由钢丝圈、外层胶、帘布层和内层胶

作者简介:刘加健(1987—),男,山东日照人,青岛博锐智远减振科技有限公司工程师,硕士,主要从事空气弹簧的设计和开发工作。

E-mail:ljja@126.com

引用本文:刘加健,刘志国,曹江勇,等.气囊帘线参数对自由膜式空气弹簧静态性能影响程度的研究[J].橡胶工业,2022,69(6):459-465.

Citation:LIU Jiajian, LIU Zhiguo, CAO Jiangyong, et al. Influence of airbag cord parameters on static characteristics of free diaphragm air spring[J]. China Rubber Industry, 2022, 69(6): 459-465.

组成,帘布层主要起到承受载荷的作用,气囊的基本结构如图1所示。

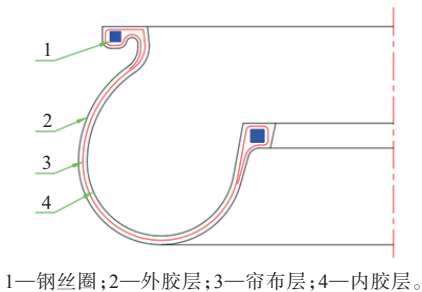


图1 大曲囊式空气弹簧气囊的基本结构示意图
Fig. 1 Schematic diagram of basic structure of large curved air spring airbag

2 实验

2.1 试验方案设计

2.1.1 单因子试验

分别研究气囊帘线材质(A)、帘线角度(B)和帘线膨胀比(C)3个因子对不同载荷下自由膜式空气弹簧的水平静态刚度、垂向静态刚度和载荷内压的影响,载荷选取80,90,100,110,120 kN,具体试验方案见表1。

表1 单因子试验方案
Tab. 1 Single factor test schemes

方案编号	A	B	C
1	尼龙	8°	1.60
2	聚酯	8°	1.60
3	尼龙	10°	1.60
4	尼龙	12°	1.60
5	尼龙	12°	1.75

2.1.2 正交试验

- (1) 正交试验表选择
选择 $L_4(2^3)$ 正交表进行正交试验设计。
- (2) 因子与水平确定

根据选取的 $L_4(2^3)$ 正交表,考察气囊帘线材质(A)、帘线角度(B)和帘线膨胀比(C)对不同载荷下自由膜式空气弹簧的水平静态刚度、垂向静态刚度和载荷内压的影响。其中,帘线材质选择尼龙和聚酯,分别记为 A_1 和 A_2 ;帘线角度选择8°和12°,分别记为 B_1 和 B_2 ;帘线膨胀比选择1.60和1.75,分别记为 C_1 和 C_2 ,详见表2;结合上述因子的取值,制定出4个正交试验方案,详见表3;载荷选

表2 因子与水平表
Tab. 2 Factor and level table

水 平	因子		
	A	B	C
1	A_1	B_1	C_1
2	A_2	B_2	C_2

表3 正交试验方案
Tab. 3 Orthogonal experimental schemes

方案编号	A	B	C
I	A_1	B_1	C_1
II	A_1	B_2	C_2
III	A_2	B_1	C_2
IV	A_2	B_2	C_1

取80,90,100,110,120 kN。

2.2 测试性能

自由膜式空气弹簧的水平静态刚度、垂向静态刚度和载荷内压按照TB/T 2841—2019《铁道车辆空气弹簧》^[10]要求执行。

(1) 水平静态刚度。在 (265 ± 2) mm安装高度下,分别测量80,90,100,110,120 kN载荷工况下空气弹簧的水平静态刚度。

(2) 垂向静态刚度。在 (265 ± 2) mm安装高度下,在附加气室95 L的情况下,分别测80,90,100,110,120 kN载荷工况下空气弹簧的垂向静态刚度。

(3) 载荷内压。在 (265 ± 2) mm安装高度下,分别测80,90,100,110,120 kN载荷工况下空气弹簧的载荷内压。

3 结果与讨论

3.1 单因子试验

3.1.1 气囊帘线材质对空气弹簧静态性能的影响

按照方案1和2进行试验,考察气囊帘线材质对不同载荷下自由膜式空气弹簧水平静态刚度、垂向静态刚度和载荷内压的影响,结果见图2。

从图2可以看出,在不同载荷下,与尼龙帘线空气弹簧相比,聚酯帘线空气弹簧的水平静态刚度和载荷内压较大,垂向静态刚度略小,这是因为自由膜式空气弹簧的水平静态刚度与气囊本身特性有直接关系^[2-3]。聚酯帘线定伸应力大,变形小,稳定性好^[11],导致气囊抵抗横向变形的能力强,表现为聚酯帘线空气弹簧的水平静态刚度大。水平静态刚度增大,空气弹簧的最大外径减小,从而相

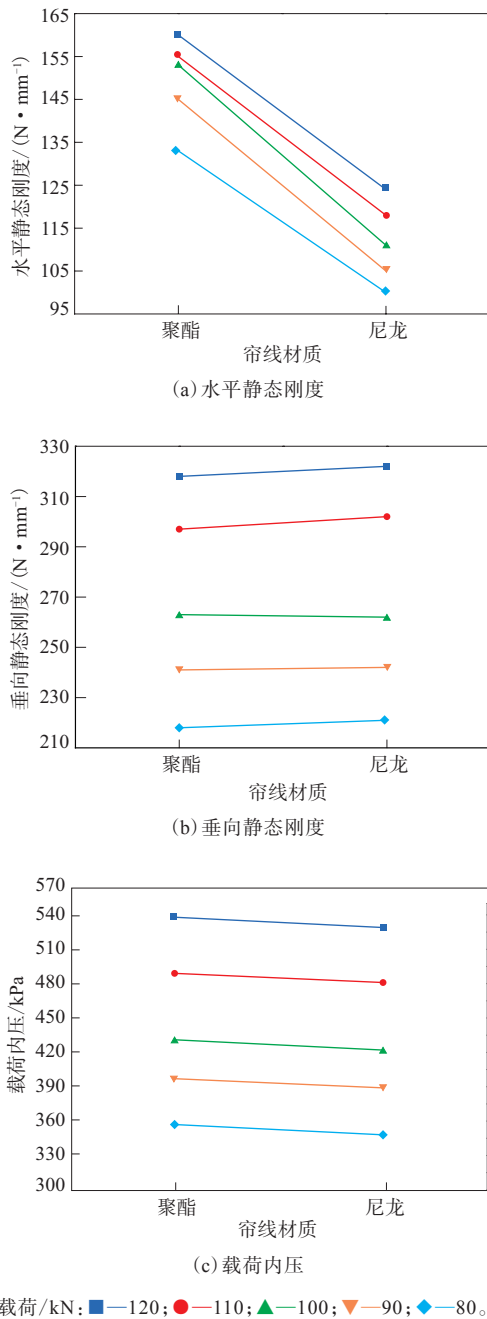


图2 气囊帘线材质对不同载荷下自由膜式空气弹簧水平静态刚度、垂向静态刚度和载荷内压的影响

Fig. 2 Influence of airbag cord materials on horizontal static stiffnesses, vertical static stiffnesses and load internal pressures of free diaphragm air springs under different loads

同载荷下空气弹簧的内压增大。此外,与空气弹簧的水平静态刚度相比,空气弹簧的垂向静态刚度和载荷内压对帘线材质变化的敏感度较低。这是因为自由膜式空气弹簧的垂向静态刚度与气囊本身特性无直接关系^[2-3],帘线的变化是通过影响

空气弹簧几何形状而影响垂向静态刚度的,因此,垂向刚度的变化相对较小;帘线材质变化后,空气弹簧的最大外径的变化相对较小,从而载荷内压的变化较小。

3.1.2 气囊帘线角度对空气弹簧静态性能的影响

按照方案1,3和4进行试验,考察气囊帘线角度对不同载荷下自由膜式空气弹簧水平静态刚度、垂向静态刚度和载荷内压的影响,结果见图3。

从图3可以看出,在不同载荷下,空气弹簧的水平静态刚度和载荷内压随帘线角度的增大而增大,垂向静态刚度随帘线角度增大而呈减小趋势,这是因为帘线角度增大,气囊抵抗横向变形的能力增强所致。此外,与空气弹簧水平静态刚度的变化相比,空气弹簧的垂向静态刚度和载荷内压的变化较小。

3.1.3 气囊帘线膨胀比对空气弹簧静态性能的影响

按照方案4和5进行试验,考察气囊帘线膨胀比对不同载荷下自由膜式空气弹簧水平静态刚度、垂向静态刚度和载荷内压的影响,结果见图4。

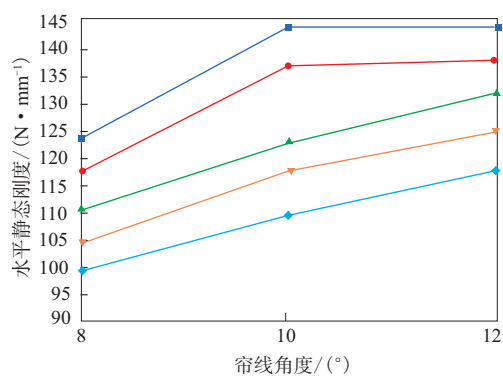
由图4可以看出,在相同载荷下,帘线膨胀比大,空气弹簧的水平静态刚度大,垂向静态刚度小,载荷内压略大,这是因为帘线膨胀比大,帘线角度大,气囊抵抗横向变形的能力强。此外,与空气弹簧的水平静态刚度相比,空气弹簧的垂向静态刚度和载荷内压对帘线膨胀比变化的敏感度较低。

3.2 正交试验

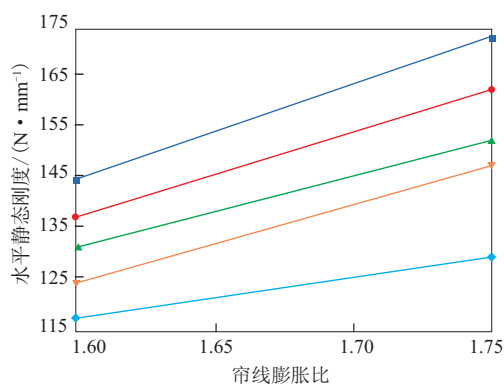
基于单因子试验的分析可以看出,气囊帘线材质、帘线角度和帘线膨胀比对自由膜式空气弹簧静态性能均有一定影响,但影响程度不同,而单因子试验难以比较这3个因子的影响程度大小。因此,本试验通过正交试验的极差分析,考察气囊帘线材质、帘线角度和帘线膨胀比对空气弹簧静态性能的影响。

按照正交试验方案分别考察不同载荷下自由膜式空气弹簧的水平静态刚度、垂向静态刚度和载荷内压,试验结果见表4,极差分析结果见表5。

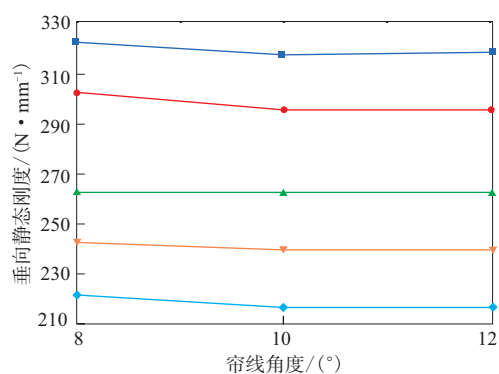
由表5可以看出,在5种载荷下,3个因子对水平静态刚度影响的极差大小顺序为C,A,B,对垂向静态刚度影响的极差大小顺序为B,A,C,对载荷内



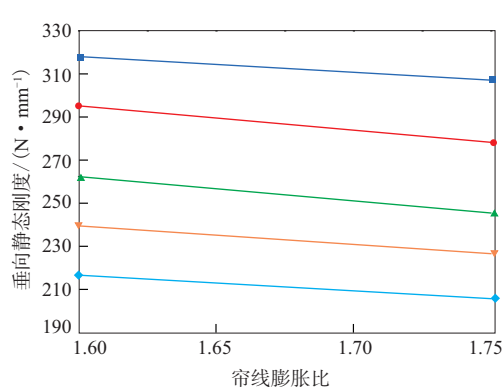
(a) 水平静态刚度



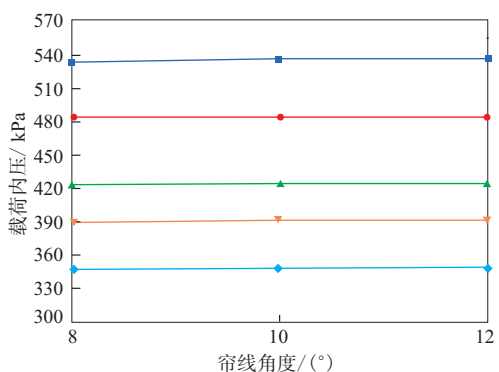
(a) 水平静态刚度



(b) 垂向静态刚度

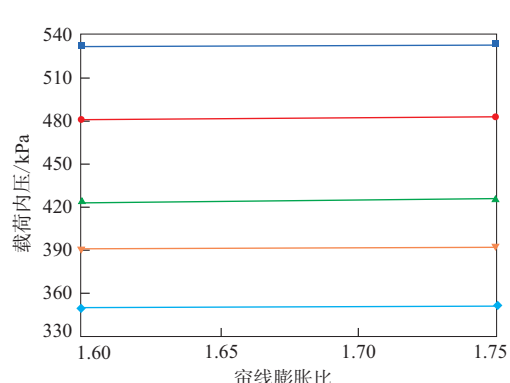


(b) 垂向静态刚度



(c) 载荷内压

注同图2。



(c) 载荷内压

注同图2。

图3 气囊帘线角度对不同载荷下自由膜式空气弹簧水平静态刚度、垂向静态刚度和载荷内压的影响

Fig.3 Influence of airbag cord angles on horizontal static stiffnesses, vertical static stiffnesses and load internal pressures of free diaphragm air springs under different loads

压影响的极差大小顺序为A,B,C。极差大小反映了因子水平改变对试验结果的影响大小,极差越大,说明该因子对试验结果的影响越大^[12-17],因此,通过极差大小顺序可以得出,帘线膨胀比对水平静态刚度的影响最大,帘线角度对垂向静态刚度

图4 气囊帘线膨胀比对不同载荷下自由膜式空气弹簧水平静态刚度、垂向静态刚度和载荷内压的影响

Fig.4 Influence of airbag cord expansion ratios on horizontal static stiffnesses, vertical static stiffnesses and load internal pressures of free diaphragm air springs under different loads

的影响最大,帘线材质对载荷内压的影响最大。

4 结论

(1) 在相同载荷下,与尼龙帘线气囊相比,聚酯帘线气囊自由膜式空气弹簧的水平静态刚度和

表4 正交试验结果
Tab. 4 Orthogonal test results

载荷/ kN	因子			水平静态刚度/ (N·mm ⁻¹)	垂向静态刚度/ (N·mm ⁻¹)	载荷内 压/kPa	载荷/ kN	因子			水平静态刚度/ (N·mm ⁻¹)	垂向静态刚度/ (N·mm ⁻¹)	载荷内 压/kPa
	A	B	C					A	B	C			
80	A ₁	B ₁	C ₁	164.0	248	346	100	A ₂	B ₁	C ₂	153.0	263	431
80	A ₁	B ₂	C ₂	118.0	216	350	100	A ₂	B ₂	C ₁	194.0	246	432
80	A ₂	B ₁	C ₂	133.0	218	356	110	A ₁	B ₁	C ₁	186.0	344	476
80	A ₂	B ₂	C ₁	195.0	202	357	110	A ₁	B ₂	C ₂	138.0	295	481
90	A ₁	B ₁	C ₁	174.5	276	386	110	A ₂	B ₁	C ₂	155.0	297	489
90	A ₁	B ₂	C ₂	125.0	239	391	110	A ₂	B ₂	C ₁	211.0	279	491
90	A ₂	B ₁	C ₂	145.0	241	397	120	A ₁	B ₁	C ₁	192.0	369	525
90	A ₂	B ₂	C ₁	205.0	229	399	120	A ₁	B ₂	C ₂	144.0	317	532
100	A ₁	B ₁	C ₁	181.0	304	420	120	A ₂	B ₁	C ₂	160.0	318	538
100	A ₁	B ₂	C ₂	132.0	262	423	120	A ₂	B ₂	C ₁	218.0	301	543

表5 正交试验极差分析结果
Tab. 5 Orthogonal test range analysis results

参数	载荷/kN	水平静态刚度/(N·mm ⁻¹)			垂向静态刚度/(N·mm ⁻¹)			载荷内压/kPa		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C
K ₁	80	282	297	359	464	466	450	696	702	703
K ₂	80	328	313	251	420	418	434	713	707	706
k ₁	80	141	148.5	179.5	232	233	225	348	351	351.5
k ₂	80	164	156.5	125.5	210	209	217	356.5	353.5	353
R	80	23	8	54	22	24	8	8.5	2.5	1.5
R大小顺序		C,A,B			B,A,C			A,B,C		
K ₁	90	299.5	319.5	379.5	515	517	505	777	783	785
K ₂	90	350	330	270	470	468	480	796	790	788
k ₁	90	149.75	159.75	189.75	257.5	258.5	252.5	388.5	391.5	392.5
k ₂	90	175	165	135	235	234	240	398	395	394
R	90	25.25	5.25	54.75	22.5	24.5	12.5	9.5	3.5	1.5
R大小顺序		C,A,B			B,A,C			A,B,C		
K ₁	100	313	334	375	566	567	550	843	851	852
K ₂	100	347	326	285	509	508	525	863	855	854
k ₁	100	156.5	167	187.5	283	283.5	275	421.5	425.5	426
k ₂	100	173.5	163	142.5	254.5	254	262.5	431.5	427.5	427
R	100	17	4	45	28.5	29.5	12.5	10	2	1
R大小顺序		C,A,B			B,A,C			A,B,C		
K ₁	110	324	341	397	639	641	623	957	965	967
K ₂	110	366	349	293	576	574	592	980	972	970
k ₁	110	162	170.5	198.5	319.5	320.5	311.5	478.5	482.5	483.5
k ₂	110	183	174.5	146.5	288	287	296	490	486	485
R	110	21	4	52	31.5	33.5	15.5	11.5	3.5	1.5
R大小顺序		C,A,B			B,A,C			A,B,C		
K ₁	120	336	352	410	686	687	670	1 057	1 063	1 068
K ₂	120	378	362	304	619	618	635	1 081	1 075	1 070
k ₁	120	168	176	205	343	345.5	335	528.5	531.5	534
k ₂	120	189	181	152	309.5	309	317.5	540.5	537.5	535
R	120	21	5	53	33.5	36.5	17.5	12	6	1
R大小顺序		C,A,B			B,A,C			A,B,C		

注:K_i为各因子*i*水平的试验性能测试值之和,k_i为各因子*i*水平的试验性能测试值平均值,R为极差值。

载荷内压较大,垂向静态刚度较小;与空气弹簧的垂向静态刚度相比,空气弹簧的垂向静态刚度和垂向静态刚度对气囊帘线材质变化的敏感度较低。正交试验表明,虽然载荷内压对帘线材质变化的敏

感度较低,但在3个因子中,帘线材质对载荷内压的影响程度最大。

(2)自由膜式空气弹簧的水平静态刚度和载荷内压随气囊帘线角度的增大而增大,垂向静态刚度随帘线角度增大呈减小趋势;与空气弹簧的水平静态刚度相比,空气弹簧的垂向静态刚度和载荷内压对帘线角度变化的敏感度较低。正交试验表明,虽然空气弹簧的垂向静态刚度对帘线角度变化的敏感度较低,但在3个因子中,帘线角度对垂向静态刚度的影响程度最大。

(3)气囊帘线膨胀比越大,自由膜式空气弹簧的水平静态刚度越大,垂向静态刚度越小,载荷内压略大。正交试验表明,虽然帘线材质、帘线角度和帘线膨胀比对空气弹簧水平静态刚度的影响均显著,但3个因子中,帘线膨胀比对水平静态刚度的影响程度最大。

参考文献:

- [1] 李雪冰,曹金凤,危银涛.空气弹簧多变过程的有限元模拟[J].工程力学,2019,36(2):224-228.
- LI X B, CAO J F, WEI Y T. Finite element modeling on polytropic process of air springs[J]. Engineering Mechanics, 2019, 36(2): 224-228.
- [2] 郭荣生.空气弹簧悬挂的设计与计算[Z].青岛:交通部四方车辆研究所,1973.
- [3] 陈鼎.铁道车辆空气弹簧刚度分析[D].成都:西南交通大学,2011.
- [4] 甄亚林,李芾,霍芳霄.空气弹簧发展及其研究现状[J].电力机车及城轨车辆,2014,37(1):27-32.
- ZHEN Y L, LI F, HUO F X. Development and research status of air springs[J]. Electric Locomotives & Mass Transit Vehicles, 2014, 37(1): 27-32.
- [5] 姜莞,黄颖,史文库,等.帘线层参数对空气弹簧性能的灵敏度分析[J].机械强度,2011,33(1):131-136.
- JIANG W, HUANG Y, SHI W K, et al. Sensitivity analysis of curtain-line layer's parameters characteristics of air spring[J]. Journal of Mechanical Strength, 2011, 33(1): 131-136.
- [6] 陈焕江,苏鹏,程文露.自由膜式空气弹簧水平刚度的研究[J].铁道车辆,2016,54(3):1-3.
- CHEN H J, SU P, CHENG W L. Research on horizontal stiffness of free-film air spring[J]. Rolling Stock, 2016, 54(3): 1-3.
- [7] 李云雁,胡传荣.试验设计与数据处理[M].北京:化学工业出版社,2005.
- [8] 李阿午,张翠平,周维.空气弹簧帘线参数对刚度特性影响的显著性[J].机械设计与制造,2019(5):261-264.
- LI A W, ZHANG C P, ZHOU W. The significance of air spring cord parameters on its stiffness characteristics[J]. Machinery Design & Manufacture, 2019(5): 261-264.
- [9] HASHEM A A, GHANI A A, EATAH A I. Effect of preextension on electrical conductivity and physicomechanical properties of butyl rubber loaded with different types of carbon black[J]. Journal of Applied Polymer Science, 1991, 42(4): 1081-1085.
- [10] 国家铁路局.铁道车辆空气弹簧:TB/T 2841-2019[S].北京:中国铁道出版社,2019.
- [11] 黄良平,黄自华.空气弹簧胶囊用骨架材料的性能比较[C].第五届全国橡胶工业用织物和骨架材料技术研讨会论文集.杭州:《轮胎工业》《橡胶工业》编辑部,2009:157-159.
- [12] 朱焕勤,杨士钊,孙元宝,等.正交实验在研究复合改性环氧树脂性能的应用[J].广州化工,2013,41(19):80-83.
- ZHU H Q, YANG S Z, SUN Y B, et al. Application of orthogonal design on studying the properties of composite modified epoxy resin[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2013, 41(19): 80-83.
- [13] 陈明同,姜晓妍,赵羽劲,等.基于正交试验的高铁橡胶外风挡注射成型工艺参数优化[J].橡胶工业,2021,68(3):168-174.
- CHEN M T, JIANG X Y, ZHAO Y J, et al. Optimization on injection molding process parameters of rubber outer windshield for high-speed train based on orthogonal test[J]. China Rubber Industry, 2021, 68(3): 168-174.
- [14] 刘洁,付灿灿,吴昆鹏,等.糠醛助剂生产环保橡胶填充油的正交实验研究[J].应用化工,2015,44(2):314-317,320.
- LIU J, FU C C, WU K P, et al. Orthogonal experiment study on furfural and assistant producing environmental-friendly rubber extender oil[J]. Applied Chemical Industry, 2015, 44(2): 314-317, 320.
- [15] 李发扬,邹林,郝星瑶,等.基于正交试验法的橡胶-玄武岩纤维改性混凝土性能研究[J].科学技术创新,2021(15):138-141.
- LI F Y, ZOU L, HAO X Y, et al. Study on properties of rubber-basalt fiber modified concrete based on orthogonal test method[J]. Scientific and Technological Innovation, 2021(15): 138-141.
- [16] 牛亚伟,王立强.基于正交实验橡胶粉碎的开炼机工艺参数的研究[J].机械工程师,2015(9):145-146.
- NIU Y W, WANG L Q. Investigation of the mill processing parameters based on the scrap rubber orthogonal experiments[J]. Mechanical Engineer, 2015(9): 145-146.
- [17] 郭寅川,赵宾,申爱琴,等.基于正交设计法的橡胶沥青性能试验研究[J].公路交通科技,2017,34(2):7-14.
- GUO Y C, ZHAO B, SHEN A Q, et al. Experimental study on performance of rubber asphalt based on orthogonal design method[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2017, 34(2): 7-14.

收稿日期:2021-12-16

Influence of Airbag Cord Parameters on Static Characteristics of Free Diaphragm Air Spring

LIU Jiajian, LIU Zhiguo, CAO Jiangyong, LAI Qingcun

(Qingdao Borui Zhiyuan Anti-vibration Technology Co., Ltd, Qingdao 266031, China)

Abstract: A single factor test was used to study the influence of the airbag cord materials, cord angles and cord expansion ratios on the static performance (horizontal static stiffness, vertical static stiffness and load internal pressure) of the free diaphragm air spring, and then the orthogonal test method was used to analyze the influence degree of these three factors on the static performance of the air spring. The results showed that the airbag cord material, cord angle and cord expansion ratio had different influence degrees on the static performance of the air spring. Among them, the cord material had the greatest influence on the load internal pressure of the air spring, the cord angle had the greatest influence on the vertical static stiffness, and the cord expansion ratio had the greatest influence on the horizontal static stiffness.

Key words: free diaphragm air spring; static performance; cord parameter; airbag; single factor test; orthogonal test

专利3则

由重庆文理学院申请的专利(公布号 CN 113717510A, 公布日期 2021-11-30)“一种超韧耐热聚乳酸/橡胶合金及其制备方法”, 提供了一种超韧耐热聚乳酸/橡胶合金的制备方法: 将左旋聚乳酸、右旋聚乳酸和橡胶粒子通过熔融共混法制得聚乳酸/橡胶合金。其中, 左旋聚乳酸和右旋聚乳酸中至少1种为多臂星形聚乳酸, 橡胶粒子具有核壳结构, 核层为丁二烯橡胶、丁苯橡胶、丙烯酸酯类橡胶或硅橡胶中的任意一种, 壳层为聚甲基丙烯酸甲酯。该发明将多臂星形聚乳酸与橡胶粒子熔融共混, 大大提高了聚乳酸的缺口冲击强度, 且工艺简单, 易于工业化。

由江苏斯迪克新材料科技股份有限公司申请的专利(公布号 CN 113667449A, 公布日期 2021-11-19)“一种用于低表面能硅橡胶表面的双面胶带及其制备方法”, 涉及的双面胶带的基材顶面和底面分别有有机硅胶粘剂和亚克力胶粘剂, 通过在有机硅胶粘剂中加入含反应基团的有机聚

硅氧烷(100份)、含氢硅油交联剂(0.1~10份)、抑制剂(0.1~3份)、催化剂(0.1~10份)、环氧改性MQ树脂(1~50份)以及溶剂(10~100份), 可以充分提高硅橡胶的表面粘合性能。该双面胶带一面能很好地粘接加成型硅橡胶, 另外一面能很好地粘接其他材料。

由中国科学院兰州化学物理研究所申请的专利(公布号 CN 113683823A, 公布日期 2021-11-23)“一种丁腈橡胶密封材料及其制备方法和应用”, 采用四臂星形端羟基聚异戊二烯液体橡胶对丁腈橡胶(NBR)进行改性, 且采用硫黄、过氧化二异丙苯和N,N'-间苯亚甲基双马来酰亚胺的复合硫化体系, 提高硫化速率的同时保证了NBR密封材料强度提高, 压缩永久变形减小, 耐磨性能改善。此外, 通过添加炭黑、氧化锌、硬脂酸、N,N-四甲基二硫双硫羰胺和2-巯基苯并咪唑进一步提高NBR密封材料的强度、耐磨性能和弹性, 赋予NBR密封材料优异的综合物理性能。

(本刊编辑部 赵敏)