

基于有限元仿真技术的轨道车辆锥形弹簧的结构优化研究

常浩¹,张杨¹,程海涛²,葛琪²

(1. 湖南安全技术职业学院,湖南长沙 410151;2. 株洲时代新材料科技股份有限公司,湖南株洲 412007)

摘要:基于有限元仿真技术,对轨道车辆某型号锥形弹簧(以下简称锥形弹簧)的结构进行优化研究。结果表明:Ogden 4阶超弹本构模型分析精度较高,能很好地反映锥形弹簧的橡胶材料的大应变特性;与采用勾形橡胶型面的锥形弹簧相比,采用流线形橡胶型面的锥形弹簧可以避免其橡胶型面出现褶皱现象,消除应力集中点,延长锥形弹簧的疲劳寿命;采用喇叭口式隔板的锥形弹簧,可通过改变喇叭口半径大小灵活实现垂向刚度与横向刚度匹配,从而延长锥形弹簧的疲劳寿命。本研究为锥形弹簧的结构优化提供了新思路。

关键词:轨道车辆;锥形弹簧;结构优化;流线形型面;喇叭口式隔板;有限元仿真

中图分类号:TQ336.4⁺2/⁺3

文献标志码:A

文章编号:1000-890X(2023)06-0443-08

DOI:10.12136/j.issn.1000-890X.2023.06.0443



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

城市轨道交通运行平稳、舒适度高,得益于车厢与车轮之间的减振部件,如锥形弹簧。锥形弹簧又称为一系簧,是橡胶与金属复合而成的一种减振和降噪元件^[1-4]。锥形弹簧具有体积小、能承受多向载荷、垂向刚度变化范围大的特点,因而许多城市轨道交通车辆采用锥形弹簧作为一系悬挂来衰减和吸收振动、传递构架和轮对间的载荷。

锥形弹簧属于轨道车辆减振的核心部件,其安装的轴箱位置空间有限(见图1),载荷和工况复杂,运行环境恶劣,同时其终身免维修,这就要求锥形弹簧既要满足车辆动力学要求,又要具有优化结构,以实现优异的使用性能^[5-7]。

本工作基于有限元仿真技术,对轨道车辆某型号锥形弹簧(以下简称锥形弹簧)的结构进行优化研究。



图1 锥形弹簧安装示意

Fig.1 Installation diagram of conical spring

1 锥形弹簧的性能要求和初始结构缺陷

1.1 性能要求

锥形弹簧的主要性能参数为:垂向刚度 $[700 \pm (700 \times 12\%)] \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$,横向刚度 $[5\ 000 \pm (5\ 000 \times 25\%)] \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$,空载压缩高度 $(214 \pm 1) \text{ mm}$;工况条件为:空载载荷 26 kN,满载载荷 34

基金项目:湖南省教育厅科学研究项目(22C0753);湖南安全技术职业学院科研项目(AY22C003)

作者简介:常浩(1988—),男,湖南长沙人,湖南安全技术职业学院讲师/工程师,硕士,主要从事橡胶弹性元件的系统结构设计及仿真研究。

E-mail:657578985@qq.com

引用本文:常浩,张杨,程海涛,等.基于有限元仿真技术的轨道车辆锥形弹簧的结构优化研究[J].橡胶工业,2023,70(6):443-450.

Citation: CHANG Hao, ZHANG Yang, CHENG Haitao, et al. Structural optimization of conical spring of rail vehicle based on finite element simulation technology[J]. China Rubber Industry, 2023, 70(6): 443-450.

kN,环境温度 $-8\sim 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

锥形弹簧耐疲劳性能要求为200万次疲劳试验后其刚度变化率小于25%。本工作对某批次锥形弹簧产品在实际装车使用中出现的开胶和裂纹等问题进行分析,以寻求锥形弹簧的结构优化。开裂的锥形弹簧见图2。



图2 开裂的锥形弹簧
Fig. 2 Cracked conical spring

1.2 初始结构缺陷

对问题锥形弹簧进行有限元仿真分析,发现初始结构锥形弹簧(见图3)存在如下缺陷。

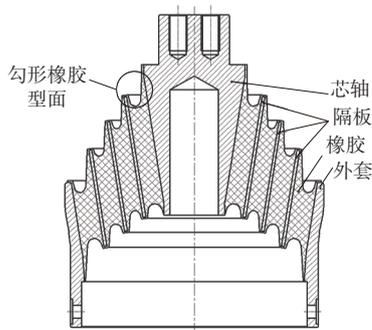
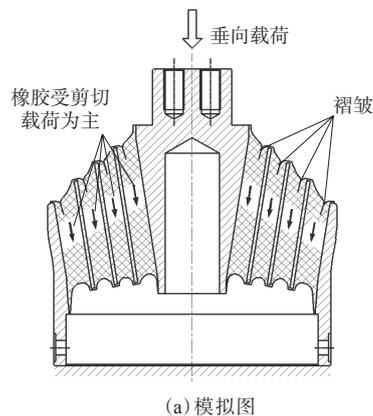


图3 锥形弹簧的初始结构
Fig. 3 Initial structure of conical spring

(1) 锥形弹簧的橡胶部分容易出现开胶和裂纹。在垂向载荷的作用下,锥形弹簧的橡胶部分主要发生剪切变形,出现局部受载不均匀和受拉情况。由于橡胶部分抗压但不抗拉,橡胶部分受拉部位容易出现早期开胶和裂纹,从而导致锥形弹簧的疲劳寿命缩短,影响其使用。

(2) 锥形弹簧的橡胶型面采用勾形结构,在垂向载荷的作用下,锥形弹簧上下部的橡胶型面容易出现褶皱变形(见图4),形成应力集中,而在橡胶部分反复变形的过程中褶皱不断摩擦生热,最终橡胶部分因疲劳失效而开裂。



(a) 模拟图



(b) 实物图

图4 初始结构锥形弹簧的受载情况
Fig. 4 Loaded condition of conical spring with initial structure

2 有限元仿真分析

2.1 橡胶材料的力学行为

作为弹性高分子材料,橡胶材料具有超弹性和刚度非线性等优点,但其使用性能容易受温升、臭氧浓度、应变历程和加载顺序等多种因素的影响^[8],因而其复杂力学行为的表征依赖准确而全面的试验数据。为此,本工作选送锥形弹簧的橡胶材料在美国Axel实验室进行了全面的基础试验,为锥形弹簧的结构优化奠定了良好的基础。

2.2 橡胶材料的本构模型

橡胶材料的力学性能主要采用两类方法进行描述^[9],一类基于热力学统计,另一类基于唯象学理论(认为橡胶材料为连续介质)。目前,比较成熟的本构模型如表1所示。

不同的橡胶材料的本构模型都有其局限性及最佳适用范围,通常只能较好地拟合某些特定应变等级的橡胶材料的力学性能,而能完美地拟合

表1 橡胶材料的本构模型
Tab. 1 Constitutive models of rubber materials

本构模型来源	本构模型	阶数
热力学统计	Arrude-Boyce模型	2
热力学统计	van der Waals模型	4
唯象学理论	N次完全多项式模型	2N
唯象学理论	N次缩减多项式模型	N
唯象学理论	Ogden模型	2N

注: N为自然数。

不同应变等级的橡胶材料的力学性能的理想本构模型还不存在^[10]。工程中常根据产品工况分析其应变等级, 从而选择适宜的本构模型及能较好拟合试验结果的材料参数, 以助开发设计人员获取所需的仿真分析精度, 尽可能缩短开发周期, 节省开发成本。

本工作有限元仿真分析采用Ogden 4阶模型, 如公式(1)所示, 其分析精度较高, 能很好地反映出锥形弹簧的大应变特性。

$$\sigma = \sum_{i=1}^4 \frac{2\mu_i}{\alpha_i} (\lambda^{\alpha_i} - \lambda^{-\frac{1}{2}\alpha_i}) \quad (1)$$

式中: λ 为主伸长率; μ_i 和 α_i 为材料参数, 由Ogden 4阶模型对试验数据拟合后得到(见表2), 其中*i*为橡胶材料的超弹性参数, *i*取1—4。

表2 Ogden模型的材料参数
Tab. 2 Material parameters of Ogden model

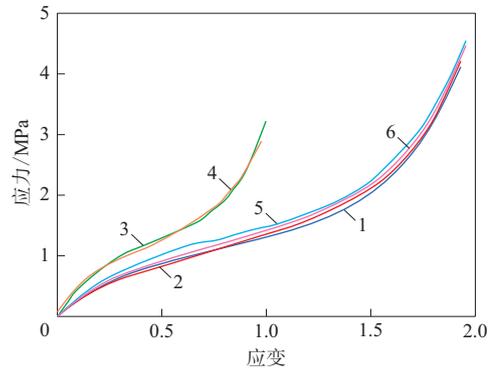
材料参数	<i>i</i>			
	1	2	3	4
μ_i	5 523	-2 664	2 395	-2 617
α_i	0.431 2	1.275 0	1.711 1	-0.110 0

采用Ogden 4阶模型的橡胶材料的应力-应变拟合曲线如图5所示。

从图5可以看出, 在单拉、双拉和平面拉伸工况下, 采用Ogden 4阶模型的橡胶材料的应力-应变拟合曲线与试验曲线的重合程度均较高, 即本工作分析锥形弹簧的载荷特点而确定的橡胶材料的本构模型拟合参数精度较高, 达95%以上, 有助于进行锥形弹簧的结构优化。

2.3 锥形弹簧的有限元仿真分析及结构优化

运用Abaqus软件对锥形弹簧进行仿真分析以指导其结构优化。根据锥形弹簧主要承受垂向载荷的特点, 重点对动态极限垂向载荷作用下锥形弹簧的刚度和强度等进行仿真分析。按照加载方



1—单拉拟合曲线; 2—单拉试验曲线; 3—双拉拟合曲线; 4—双拉试验曲线; 5—平面拉伸拟合曲线; 6—平面拉伸试验曲线。

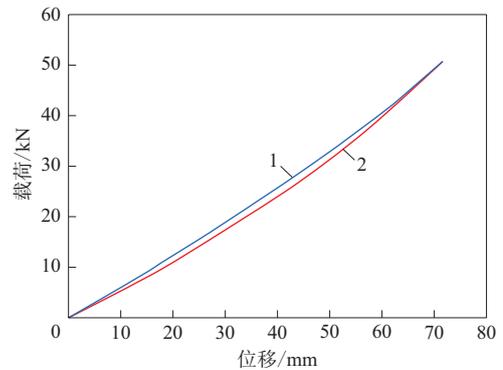
图5 采用Ogden 4阶模型的橡胶材料的应力-应变拟合曲线

Fig. 5 Stress-strain fitting curves of rubber materials using Ogden's four order model

式尽量贴近实际受力情况的原则, 采用固定外套, 对芯轴垂向施加50.6 kN的载荷。选用CAX4H单元模拟锥形弹簧的橡胶部分, 选用CAX4R单元模拟锥形弹簧芯轴、隔板和外套等金属部分。为尽可能真实观察锥形弹簧的橡胶部分的变形过程, 其有限元模型未进行简化。

初始结构锥形弹簧的垂向刚度拟合曲线如图6所示。

从图6可以看出, 初始结构锥形弹簧的垂向刚度(割线)有限元拟合结果为0.698 kN·mm⁻¹, 试验结果为0.674 kN·mm⁻¹, 误差为3.6%。这表明, 采用拟合精度高的橡胶材料的超弹参数能有效预测锥形弹簧的垂向刚度。



1—拟合曲线; 2—试验曲线。

图6 初始结构锥形弹簧的垂向刚度拟合曲线

Fig. 6 Vertical stiffness fitting curves of conical spring with initial structure

针对锥形弹簧的初始结构缺陷,本工作运用有限元仿真分析技术,提出采用流线形橡胶型面和喇叭口式隔板的新型锥形弹簧结构(锥形弹簧的优化结构)。

针对锥形弹簧的初始结构和优化结构,在满足垂向、横向刚度和压缩高度等设计要求的前提下,对垂向极限承载(50.6 kN)下的锥形弹簧进行了有限元仿真分析,两种结构锥形弹簧的橡胶部分的应力和应变分布云图分别如图7和8所示。

两种结构锥形弹簧的橡胶部分的最大应力和最大应变对比如表3所示。

从表3可以看出:优化结构锥形弹簧的橡胶部分的最大应力仅相当于初始结构锥形弹簧的橡胶部分的47.9%;优化结构锥形弹簧的橡胶部分的最大应变仅相当于初始结构锥形弹簧的橡胶部分的73.7%;优化结构锥形弹簧的橡胶部分的最大应力和最大应变均有较大程度减小。尽管影响橡胶制品疲劳寿命的原因复杂多样,且其迄今仍是科研

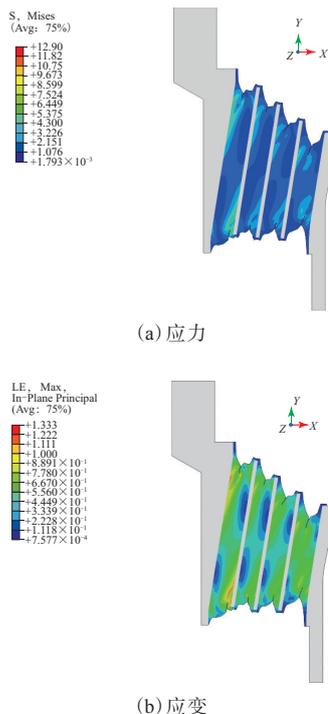


图7 初始结构锥形弹簧的橡胶部分的应力和应变分布云图

Fig. 7 Stress and strain distribution nephograms of rubber part of conical spring with initial structure

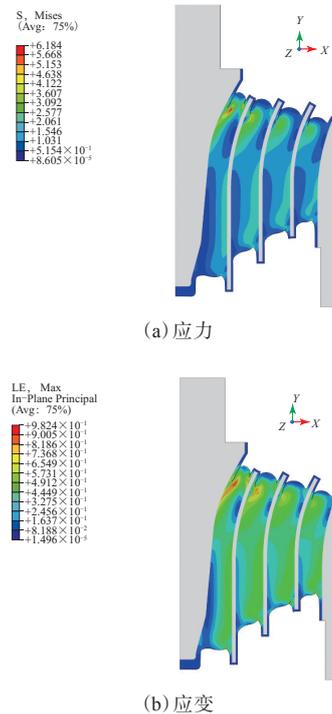


图8 优化结构锥形弹簧的橡胶部分的应力和应变分布云图

Fig. 8 Stress and strain distribution nephograms of rubber part of conical spring with optimized structure

表3 两种结构锥形弹簧的橡胶部分的最大应力和最大应变对比

Tab. 3 Comparison of maximum stresses and strains of rubber parts of conical springs with two structures

项 目	初始结构	优化结构
最大应力/MPa	12.900	6.184
最大应变	1.333 0	0.982 4

人员研究的重点方向,但实践表明减小小应力和应变有助于延长橡胶制品的疲劳寿命^[11]。由此可知,优化结构锥形弹簧的力学性能明显改善。

3 锥形弹簧的优化结构

3.1 特点

锥形弹簧的优化结构如图9所示,其主要特点如下。

(1) 根据有利于释放应力和应变的原则,并参照锥形弹簧仿真卸载后橡胶部分的变形特点,优化结构锥形弹簧的橡胶型面设计为流线形。

(2) 隔板位于外套与芯轴之间,有3层(可根据刚度需求灵活调整层数),优化结构锥形弹簧的隔板形状类似于喇叭口式的流线形。

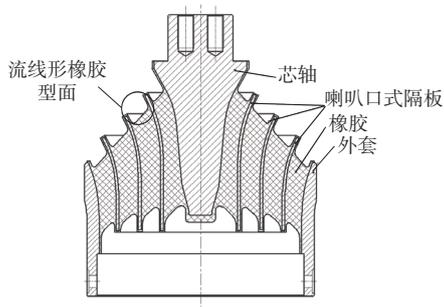


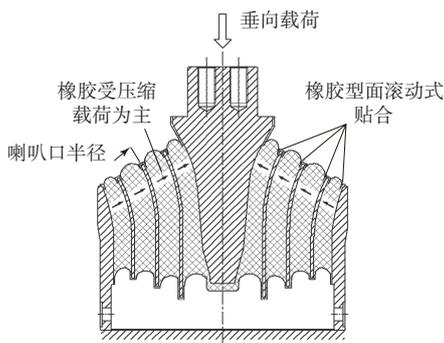
图9 锥形弹簧的优化结构

Fig. 9 Optimized structure of conical spring

3.2 优点

优化结构锥形弹簧可以通过流线形橡胶型面与喇叭口式隔板的组合改进受载后橡胶部分的应力和应变分布状况,从而延长锥形弹簧的疲劳寿命,其优点具体如下。

(1) 锥形弹簧采用流线形橡胶型面,受挤压后的橡胶部分以滚动方式与金属件接触(见图10),避免了出现初始结构锥形弹簧的橡胶型面的褶皱现象,可以增大橡胶部分的应力和应变释放面积,消除应力集中点,从而延长锥形弹簧的疲劳寿命。



(a) 模拟图



(b) 实物图

图10 优化结构锥形弹簧的受载情况

Fig. 10 Loaded condition of conical spring with optimized structure

(2) 锥形弹簧的芯轴、外套和隔板均采用相互配合的喇叭口式结构,当锥形弹簧在承受垂向载荷或者同时承受垂向和横向载荷时,橡胶部分处于剪切与压缩相结合的状态,既能支撑垂向载荷,同时能提供水平刚度。隔板的喇叭口处橡胶部分主要承受压缩载荷,在满足使用刚度和蠕变特性的前提下,能够大幅度减小锥形弹簧的橡胶部分承受的应力和应变,从而有效延长锥形弹簧的疲劳寿命。

(3) 采用喇叭口式结构隔板的锥形弹簧可以根据其刚度性能需求进行灵活设计。通过改变喇叭口半径大小可以实现锥形弹簧的垂向刚度与横向刚度匹配。喇叭口半径越小,锥形弹簧的垂向刚度越大,横向刚度越小;喇叭口半径越大,锥形弹簧的垂向刚度越小,横向刚度越大。

4 疲劳试验验证

4.1 试验条件

锥形弹簧的疲劳试验在四通道疲劳试验机上进行,疲劳试验条件如表4所示,试样安装效果如图11所示。将两件锥形弹簧串联对装后进行垂向疲劳试验,该试验共分为3个阶段,疲劳次数共计200万,试验过程中通过适当调整频率和风扇散热等方式控制橡胶部分的温度不超过40℃。

表4 锥形弹簧的疲劳试验条件

Tab. 4 Fatigue test conditions of conical spring

阶段	垂向预载/kN	垂向动载/kN	频率/Hz	疲劳次数 $\times 10^4$
1	30	± 9.0	0.5~1	50
2	34	± 10.2	0.5~1	100
3	38	± 11.4	0.5~1	50



图11 锥形弹簧疲劳试验的安装效果

Fig. 11 Installation effect of fatigue test of conical spring

4.2 试验结果

两种结构锥形弹簧疲劳试验过程中的垂向刚度变化对比如表5所示。

表5 两种结构锥形弹簧疲劳试验过程中的垂向刚度变化对比

Tab. 5 Comparison of vertical stiffnesses changes of conical springs with two structures during fatigue test

疲劳次数×10 ⁻⁴	垂向刚度/(kN·mm ⁻¹)		垂向刚度变化率/%	
	初始结构	优化结构	初始结构	优化结构
0	0.674	0.701	0	0
50	0.635	0.673	-5.79	-3.99
150	0.600	0.652	-10.98	-6.99
200	0.578	0.643	-14.24	-8.27

从表5可以看出:随着疲劳次数的增加,初始结构锥形弹簧的垂向刚度下降幅度较大,在完成200万次疲劳试验后,垂向刚度下降率达14.24%,已接近要求限值(垂向刚度变化率不超过±15%);而优化结构锥形弹簧的垂向刚度下降趋势明显放缓,在完成全部疲劳试验后垂向刚度下降率仅为8.27%。可以得出优化结构锥形弹簧的垂向刚度稳定性更好,抗机械损伤能力更强。工程实践表明,良好的抗机械损伤能力有助于延长橡胶制品的疲劳寿命^[12-15],因此优化结构锥形弹簧的耐疲劳性能更好。

压缩高度一直是锥形弹簧的关键性能参数之一,两种结构锥形弹簧疲劳试验过程中的自由高度和压缩高度变化对比如表6所示。

表6 两种结构锥形弹簧疲劳试验过程中的高度变化对比
Tab. 6 Comparison of height changes of conical springs with two structures during fatigue test mm

疲劳次数×10 ⁻⁴	初始结构			优化结构		
	自由高度	压缩高度	压缩高度变化量	自由高度	压缩高度	压缩高度变化量
0	261.12	214.05	0	256.80	214.20	0
50	251.32	209.03	-5.02	252.98	211.11	-3.09
150	250.48	208.68	-5.37	251.98	210.35	-3.85
200	249.12	208.98	-5.07	251.32	210.57	-3.63

从表6可以看出:初始结构锥形弹簧的压缩高度最大减小5.37 mm,超过要求限值(压缩高度变化不超过5 mm);优化结构锥形弹簧的压缩高度最大减小3.85 mm,在要求范围内。

两种结构锥形弹簧疲劳试验过程中的外观变

化对比如表7所示。

表7 两种结构锥形弹簧疲劳试验过程中的外观变化对比
Tab. 7 Comparison of appearance changes of conical springs with two structures during fatigue test

疲劳次数×10 ⁻⁴	初始结构	优化结构
0	完好	完好
50	轻微发粘	完好
150	掉屑+严重发粘	轻微发粘
200	掉屑+严重发粘+裂纹	中度发粘

从表7可以看出:初始结构锥形弹簧在疲劳试验50万次之后开始发粘,150万次时开始鼓包、掉屑,200万次时已出现裂纹;优化结构锥形弹簧在完成疲劳试验后只出现了发粘的情况(见图12)。

优化结构锥形弹簧疲劳试验后的切面状况如图13所示。



图12 优化结构锥形弹簧疲劳试验后的外观情况
Fig. 12 Appearances of conical springs with optimized structure after fatigue test



图13 优化结构锥形弹簧疲劳试验后的切面状况
Fig. 13 Section of conical spring with optimized structure after fatigue test

从图13可以看出,疲劳试验后的优化结构锥形弹簧切开后各部分仍粘接良好,无任何裂纹、开胶情况。

综合得出,优化结构锥形弹簧在满足各项性能要求的前提下,耐疲劳性能得到有效提升,实现

了结构优化的目标。

5 结论

运用有限元仿真技术,对轨道车辆锥形弹簧的初始结构缺陷进行分析,提出采用流线形橡胶型面和喇叭口式隔板的锥形弹簧优化结构,并对优化结构锥形弹簧的性能进行了试验验证,得出以下结论。

(1) Ogden 4阶超弹本构模型应用于锥形弹簧的橡胶材料的力学性能分析的拟合精度较高,能很好地反映橡胶材料的大应变特性。

(2) 采用流线形型面的锥形弹簧,受挤压后橡胶部分以滚动方式与金属件相接触,可以有效避免锥形弹簧的橡胶型面出现褶皱现象,增大橡胶部分的应变释放面积,消除应力集中点,延长锥形弹簧的疲劳寿命。

(3) 采用喇叭口式隔板的锥形弹簧,可通过改变喇叭口半径的大小灵活实现锥形弹簧的垂向刚度与横向刚度匹配。喇叭口半径越小,锥形弹簧的垂向刚度越大,横向刚度越小;喇叭口半径越大,锥形弹簧的垂向刚度越小,横向刚度越大。

参考文献:

- [1] 温泰斗,王昆,黄友剑,等.一系弹簧橡胶与金属粘接失效的仿真分析[J].橡胶工业,2022,69(1):17-22.
WEN T D, WANG K, HUANG Y J, et al. Simulation analysis of bonding failure between rubber and metal of primary spring[J]. China Rubber Industry, 2022, 69(1): 17-22.
- [2] 邓雪江.面向多因素的快速地铁车辆一系钢圆弹簧疲劳可靠性研究[D].南昌:华东交通大学,2020.
DENG X J. Multi-factor oriented fatigue reliability study on primary steel round spring of fast metro vehicle[D]. Nanchang: East China Jiaotong University, 2020.
- [3] 刘元欣.某地铁转向架异常振动动力学计算分析[D].成都:西南交通大学,2020.
LIU Y X. Dynamic calculation and analysis of abnormal vibration of a metro bogie[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2020.
- [4] 周凯林.地铁车辆转向架一系弹簧接触及疲劳研究[D].成都:西南交通大学,2019.
ZHOU K L. Study on contact and fatigue of primary spring of metro vehicle bogie[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2019.
- [5] 陈清化,程海涛,戚壮,等.城市轨道交通车辆锥形弹簧竖向静态刚度计算模型设计研究[J].城市轨道交通研究,2020,23(12):41-45, 61.
CHEN Q H, CHENG H T, QI Z, et al. Design and study calculation model of conical spring vertical static stiffness of urban rail transit vehicles[J]. Urban Mass Transit, 2020, 23(12): 41-45, 61.
- [6] 李峥彬,钱宁伟,肖奉英,等.弹簧丝横截面上各内力对锥形弹簧刚度的影响[J].南昌大学学报(工科版),2022,44(2):176-182.
LI Z B, QIAN N W, XIAO F Y, et al. Influence of various internal forces of spring wire on stiffness of conical spring[J]. Journal of Nanchang University (Engineering & Technology Edition), 2022, 44(2): 176-182.
- [7] 陈清化,丁小平.变刚度橡胶弹簧结构设计研究[J].内燃机与配件,2021,338(14):11-12.
CHEN Q H, DING X P. Research on structural design of variable rigidity rubber spring[J]. Internal Combustion Engine & Parts, 2021, 338(14): 11-12.
- [8] 黄友剑.减振橡胶疲劳寿命预测方法与工程应用[D].湘潭:湘潭大学,2020.
HUANG Y J. Fatigue life prediction method and engineering application of damping rubber[D]. Xiangtan: Xiangtan University, 2020.
- [9] 常浩,程海涛,黄友剑.一种多轴载荷下橡胶弹性元件疲劳寿命预测方法的研究[J].铁道车辆,2015,53(10):5-9.
CHANG H, CHENG H T, HUANG Y J. Study on a method for predicting the fatigue life of rubber elastic elements under multi-axial load[J]. Rolling Stock, 2015, 53(10): 5-9.
- [10] 葛琪,黄友剑,邓娇,等.有限元仿真在高速动车组橡胶牵引球铰结构优化中的应用[J].特种橡胶制品,2021,42(4):43-48.
GE Q, HUANG Y J, DENG J, et al. Application of FEA simulation to structural optimization of traction bushing used for high-speed EMU[J]. Special Purpose Rubber Products, 2021, 42(4): 43-48.
- [11] 王俊,孙海燕,程海涛,等.轨道车辆某型橡胶一系弹簧结构优化[J].橡胶工业,2016,63(9):556-558.
WANG J, SUN H Y, CHENG H T, et al. Structure improvement of primary rubber spring for rail vehicles[J]. China Rubber Industry, 2016, 63(9): 556-558.
- [12] 柳禄决,荣继刚,冯万盛.锥形弹簧的特点及在城市轻轨车辆中的应用[J].城市轨道交通研究,2011,14(12):101-104.
LIU L Y, RONG J G, FENG W S. Characteristics and application of conical springs in urban light rail vehicles[J]. Urban Mass Transit, 2011, 14(12): 101-104.
- [13] 丁智平,杨荣华,黄友剑,等.基于连续损伤模型橡胶弹性减振元件疲劳寿命分析[J].机械工程学报,2014,50(10):80-86.
DING Z P, YANG R H, HUANG Y J, et al. Fatigue life analysis of rubber vibration damper based on continuum damage model[J].

Journal of Mechanical Engineering, 2014, 50(10): 80-86.

[14] 林立钿, 曾繁盛, 张春良. 一种转臂定位节点的结构改进[J]. 机电传动, 2012(4): 68-70.

LIN L D, ZENG F S, ZHANG C L. Structural improvements of rotary arm positioning bush[J]. Electric Drive for Locomotives, 2012(4): 68-70.

[15] 李相欣, 卜继玲, 龙腾蛟, 等. 多轴载荷下橡胶球铰的疲劳优化方法的研究[J]. 机械强度, 2017, 39(6): 1457-1462.

LI X X, BU J L, LONG T J, et al. Research of rubber fatigue optimization under multiaxial loading[J]. Journal of Mechanical Strength, 2017, 39(6): 1457-1462.

收稿日期: 2023-01-08

Structural Optimization of Conical Spring of Rail Vehicle Based on Finite Element Simulation Technology

CHANG Hao¹, ZHANG Yang¹, CHENG Haitao², GE Qi²

(1. Hunan Vocational Institute of Safety Technology, Changsha 410151, China; 2. Zhuzhou Times New Material Technology Co., Ltd, Zhuzhou 412007, China)

Abstract: Based on finite element simulation technology, the structure optimization of a conical spring of rail vehicles (hereinafter referred to as conical spring) was carried out. The results showed that Ogden four-order hyperelastic constitutive model had a high analysis accuracy and could well reflect the large strain characteristics of the rubber material of the conical spring. Compared with the conical spring with hook rubber profile, the conical spring with streamlined profile could prevent the wrinkling of the rubber profile, eliminate the stress concentration points, and extend the fatigue life of the conical spring. The conical spring with bell type diaphragm could flexibly match the vertical stiffness and transverse stiffness by changing the radius of the bell, thus extending the fatigue life of the conical spring. This study provided a new idea for the structure optimization of the conical springs.

Key words: rail vehicle; conical spring; structural optimization; streamlined profile; bell type diaphragm; finite element simulation

专利2则

由沈阳橡胶研究设计院有限公司申请的专利(公布号 CN 115746425A, 公布日期 2023-03-07)“阻燃橡胶及其制造方法”, 涉及的阻燃橡胶配方(用量/份)为: 丁苯橡胶 50~68, 天然橡胶 10~17, 氯丁橡胶 15~19, 三元乙丙橡胶 20~28, 炭黑N100 10~20, 炭黑N330 8~16, 氧化锌 3~6, 硬脂酸 1~2.5, 邻苯二甲酸二丁酯 2~6, 陶土 4~9, 氧化锶 6~12, 氢氧化铝 2~4, 石蜡油 7~9, 防老剂 1~4, 促进剂 0.5~2, 硫黄 1~3。该阻燃橡胶的特点是能够有效延缓着火、降低火焰传播速度。

由中策橡胶集团股份有限公司和中策橡胶(建德)有限公司申请的专利(公布号 CN 115725121A, 公布日期 2023-03-03)“一种高

阻燃胎面橡胶组合物、混炼方法和高阻燃轮胎”, 涉及的胶料配方(用量/份)为: 生胶(天然橡胶、异戊二烯橡胶、顺丁橡胶、丁苯橡胶、丁基橡胶、三元乙丙橡胶、丁腈橡胶、苯乙烯-异戊二烯-丁二烯橡胶和氯丁橡胶中的1种或多种) 100, 填料 30~120, 硬脂酸 1.0~3.5, 氧化锌 2.5~6, 阻燃剂 1~8, 防老剂 1~5, 防护蜡 0.5~3, 防焦剂 0~0.45, 促进剂 0.8~3, 硫化剂 1~3。其中, 阻燃剂为氯化石蜡和硼酸锌并用体系[质量比为(1~2):(1~4)], 氯化石蜡的碳数分布为异构C₂₆-C₃₂占18%~35%, 异构C₃₃-C₄₄占25%~45%, 硼酸锌的粒径不大于15 μm。本发明通过将氯化石蜡和硼酸锌配合使用, 显著提高了胶料的阻燃效果, 同时对其生热、定伸应力和耐磨性能没有明显影响。

(本刊编辑部 赵敏)