

混合式空气弹簧非线性有限元分析

郑明军,王震,吴文江

(石家庄铁道大学,河北石家庄 050043)

摘要:建立混合式空气弹簧的有限元模型,研究充气压力、帘线角度、帘线层数、帘线横截面积、帘线间距、帘线层间距和帘线层材料等因素对其非线性弹性特性的影响。结果表明,混合式空气弹簧的承载能力和刚度随充气压力的增大而增大,帘线角度对弹性特性也有较大影响,其他参数影响较小。

关键词:混合式空气弹簧;弹性特性;有限元分析

中图分类号:U463.33+4.2;O241.82 **文献标志码:**B **文章编号:**1000-890X(2014)11-0684-04

近年来,随着空气悬架在汽车悬架系统中的广泛应用,国内各大厂家对空气悬架系统的引进、设计与开发更加多样化和模块化。空气弹簧作为空气悬架关键部件之一,具有非线性弹性特性,振动频率低,可使汽车的舒适性得到很大程度的改善。由于空气弹簧具有几何、材料、接触和流固耦合等方面的非线性特性,弹性特性的理论计算和试验研究比较繁琐,而利用非线性有限元分析方法,可以很好地模拟空气弹簧弹性特性,计算分析各种参数的影响。人们对膜式和囊式空气弹簧的弹性特性分析较多^[1-5],而对混合式空气弹簧特性分析研究较少。本工作利用非线性有限元分析方法,建立混合式空气弹簧模型,并对其弹性特性进行分析。

1 混合式空气弹簧的结构

空气弹簧是利用其柔性封闭内腔中的可压缩空气来实现弹性作用的非金属弹簧。与一般金属弹簧相比,其刚度随载荷而变化,通过调整内部充气压力可得到不同的承载能力,因此适应多种载荷的需求,并具有质量小、使用寿命长、高频隔振和隔音性能好等特点。空气弹簧按其变形方式可分为膜式、囊式和混合式3种类型^[6]。囊式空气弹簧主要通过橡胶气囊的挠曲获得弹性变形;膜

式空气弹簧主要依靠橡胶气囊的卷曲获得弹性变形;混合式空气弹簧则兼有以上两种变形方式,其结构如图1所示。

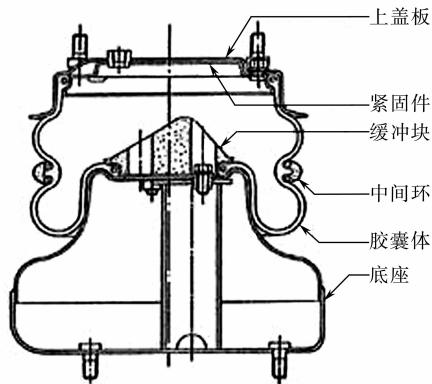


图1 混合式空气弹簧结构示意图

混合式空气弹簧主要由上盖板、气囊体、中间环、底座和缓冲块(限位块)等组成。混合式空气弹簧气囊下部与膜式空气弹簧类似,都有底座;气囊上部与一般囊式空气弹簧基本相同。因此,混合式空气弹簧兼有膜式和囊式空气弹簧的特点。

2 混合式空气弹簧有限元模型的建立

建立混合式空气弹簧有限元分析模型,要充分考虑其在变形过程中的几何大变形、材料和边界非线性等问题。

2.1 非线性分析

在几何方面,利用大变形理论对几何非线性进行描述^[7-8],同时所建模型要充入空气,这就要求考虑流固耦合的问题。

基金项目:河北省自然科学基金资助项目(E2013210018);河北省高等学校科研计划项目(2010279)

作者简介:郑明军(1971—),男,河南温县人,石家庄铁道大学教授,博士,主要从事现代设计理论与方法研究工作。

在材料方面,由橡胶材料和帘线层组成的胶囊体呈现出非线性,因此选用非线性材料模型对胶囊进行模拟。

在边界接触上,利用非线性边界条件来模拟中间环附近胶囊的接触及底座与囊体的接触等。

2.2 模型的建立

根据混合式空气弹簧的具体结构,将其有限元模型分为橡胶气囊模型、盖板及底座模型和气体模型 3 类。

空气弹簧的胶囊主要由橡胶和帘线层组成。橡胶属于典型的超弹性材料,具有不可压缩性。Mooney-Rivlin 模型是一种广泛采用的模型,能很好地描述变形小于 150% 的橡胶材料力学性能,完全能满足橡胶材料实际应用的性能计算需要^[9-10],其应变能函数描述如下:

$$W = C_{10}(I_1 - 3) + C_{01}(I_2 - 3) \quad (1)$$

式中, C_{10} 和 C_{01} 为材料常数, I_1 和 I_2 为橡胶材料的第一和第二应变常量。

帘线是橡胶胶囊的主要受力部件,由于帘线的拉伸模量不同,使得帘线层呈现出复杂的力学各向异性和非线性特性。采用 rebar 单元模拟在橡胶胶囊壳单元中的帘线层,可以很好地界定帘线在模型中的位置,且不受橡胶参数定义的影响,降低了计算的复杂度。

胶囊体选用壳单元(S4R),橡胶气囊壳单元中的帘线层用 rebar 模拟。应用 rebar 在壳单元坐标系下的布置角度定义帘线角, rebar 与 rebar 之间的距离定义帘线网格间距以及不同 rebar 层距壳单元中性面的距离定义帘线层数, rebar 模型结构如图 2 所示。

定义盖板和底座为刚体,选用实体单元。在进行空气弹簧弹性特性分析时,假设空气弹簧腔

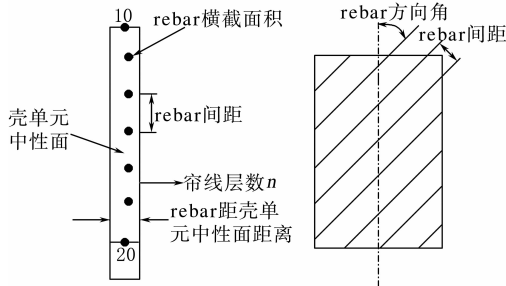


图 2 rebar 模型结构

内的气体为理想气体,并且在工作过程中,气体的温度保持不变,即等温过程,选用流体单元来模拟囊内空气,分别使用三维三节点(F3D3)和三维四节点(F3D4)来定义胶囊空腔。建立的混合式空气弹簧模型如图 3 所示。

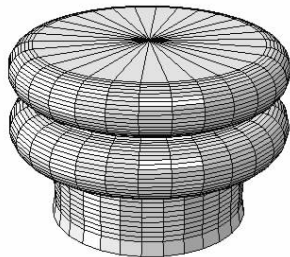


图 3 混合式空气弹簧有限元模型

3 混合式空气弹簧弹性特性分析

利用建立的有限元模型,研究充气压力、帘线角度、帘线层数、帘线横截面积、帘线间距、帘线层间距和帘线层材料等因素对混合式空气弹簧非线性弹性特性的影响。

3.1 充气压力

在结构和边界等条件不变的情况下,橡胶胶囊体内的初始充气压力分别为 0.3、0.4 和 0.5 MPa,分析计算得到的空气弹簧载荷-位移曲线如图 4 所示。由图 4 可以看出,随着充气压力的增大,弹簧垂向载荷增大,垂向刚度也不断增大,且均呈现非线性特性。可见,通过改变充气压力可调整空气弹簧的承载能力和刚度。

3.2 帘线角度

一般帘线角度通过改变胶囊外径大小使得胶

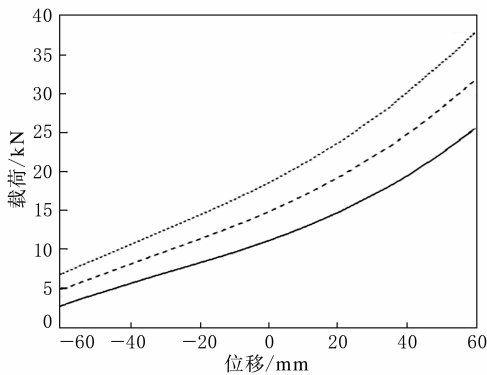
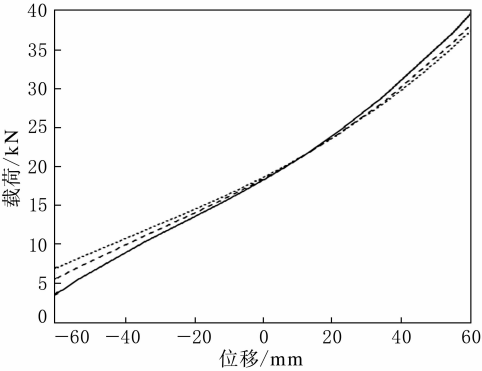


图 4 不同充气压力下的载荷-位移曲线

囊变形方向不同,而变形方向又影响着有效承压面积,进而影响空气弹簧的刚度。保持其他条件不变,帘线角度分别为 40° , 50° 和 60° , 计算得到不同帘线角度下的空气弹簧载荷-位移曲线如图 5 所示。由图 5 可以看出:帘线角度越大,空气弹簧刚度越小;但随着帘线角度的不断增大,变化幅度越来越小。

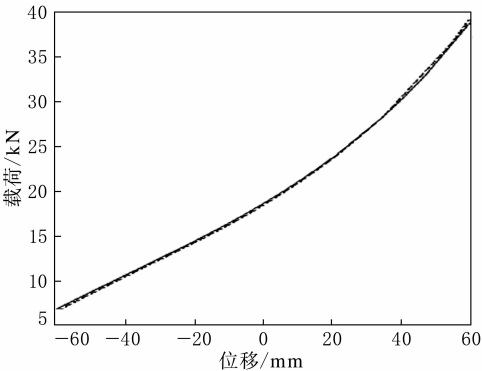


帘线角度/ $^{\circ}$:—40;---50;...60。

图 5 不同帘线角度下的载荷-位移曲线

3.3 帘线层数

帘线层数分别为 2, 4 和 6 时计算得到的不同帘线层数的载荷-位移曲线如图 6 所示。由图 6 可以看出,帘线层数对空气弹簧弹性特性影响较小,且随着帘线层数的增多,对空气弹簧静态刚度的影响越来越小。

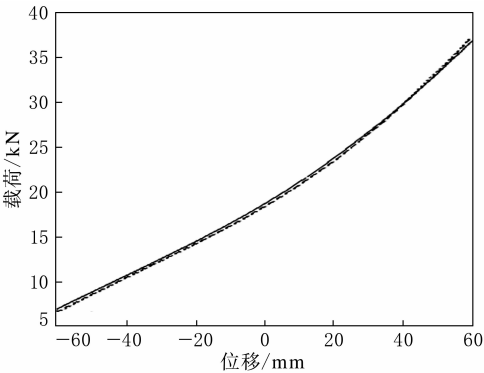


帘线层数:—2;---4;...6。

图 6 不同帘线层数下的载荷-位移曲线

3.4 帘线横截面积

帘线横截面积为 0.01, 0.03 和 0.05 mm^2 时的载荷-位移曲线如图 7 所示。由图 7 可以看出,帘线横截面积对空气弹簧弹性特性影响较小,对静态承载能力的影响也较小。

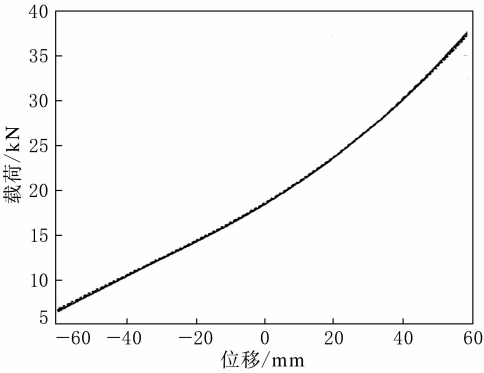


帘线横截面积/ mm^2 :—0.01;---0.03;...0.05。

图 7 不同帘线横截面积下的载荷-位移曲线

3.5 帘线间距

相同一层帘线中帘线之间的距离称为帘线间距,其表征帘线的密度。帘线间距分别为 2, 5 和 8 mm 时的载荷-位移曲线如图 8 所示。由图 8 可以看出,帘线间距对空气弹簧承载能力和弹簧刚度影响不大。



帘线间距/mm:—2;---5;...8。

图 8 不同帘线间距下的载荷-位移曲线

3.6 帘线层间距

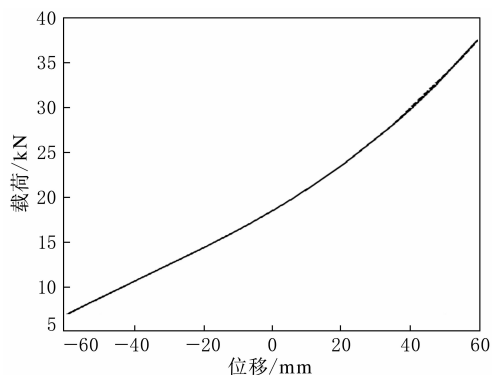
帘线层间距分别为 0.5, 1.0 和 1.5 mm 时的载荷-位移曲线如图 9 所示。由图 9 可以看出,不同帘线层间距下的空气弹簧弹性特性几乎重合,说明帘线层间距对空气弹簧弹性特性影响很小。

3.7 帘线层材料

不同帘线层弹性模量下的载荷-位移曲线如图 10 所示。由图 10 可以看出,帘线弹性模量对空气弹簧弹性特性影响很小。

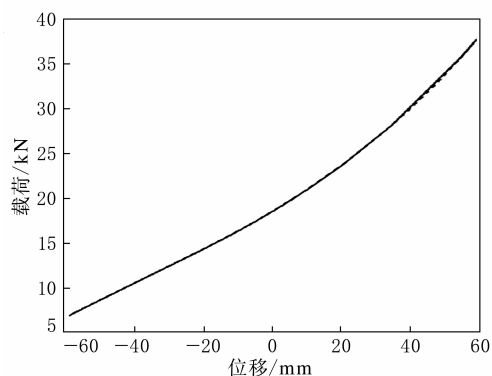
4 结语

通过建立有限元模型,对混合式空气弹簧的弹性特性进行了仿真计算与分析。研究结果表



帘线层间距/mm:— 0.5; --- 1.0; ... 1.5。

图 9 不同帘线层间距下的载荷-位移曲线



帘线层弹性模量/GPa:— 1.7; --- 2.1; ... 2.5。

图 10 不同帘线层弹性模量下的载荷-位移曲线

明,充气压力对混合式空气弹簧垂向刚度影响较大,帘线参数特别是帘线角度也对其弹性特性有

一定影响。本研究为混合式空气弹簧的设计与开发提供了一定参考,也为混合式空气弹簧的研究提供了切实有效的方法。

参考文献:

- [1] 郑明军,林逸,王海花,等. 多曲囊式空气弹簧非线性弹性特性研究[J]. 振动与冲击, 2009, 28(8): 11-29.
- [2] 袁春元,周孔亢,吴琳琪,等. 车用空气弹簧有限元分析方法[J]. 机械工程学报, 2009, 45(6): 262-266.
- [3] 刘宏伟,庄德军,陈燕虹,等. 空气弹簧非线性弹性特性有限元分析[J]. 农业机械学报, 2004, 35(5): 201-204.
- [4] 兰艳,蔡海涛,王成国,等. 空气弹簧力学性能的非线性有限元模拟仿真[J]. 湘潭大学自然科学学报, 2005, 27(1): 90-93.
- [5] 原亮明,宫相太,刘爽堃,等. 铁道车辆空气弹簧垂向动态特性分析方法的研究[J]. 中国铁道科学, 2004, 25(4): 37-41.
- [6] 孙为群,柳玉春,陈建武. 汽车空气弹簧的理论分析与试验研究[J]. 汽车技术, 1999, 149(2): 1-5.
- [7] 王勖成. 有限单元法[M]. 北京:清华大学出版社, 2003: 9.
- [8] Erin C, Wilson B, Zapfe J. An Improved Model of Pneumatic Vibration Isolator Theory and Experiment[J]. Journal of Sound and Vibration, 1998, 218(1): 81-101.
- [9] 郑明军,王文静,陈政南,等. 橡胶 Mooney-Rivlin 模型力学性能常数的确定[J]. 橡胶工业, 2003, 50(8): 462-465.
- [10] Rivin E I, Lee B S. Experimental Study of Load-deflection and Creep Characteristics of Compressed Rubber Components for Vibration Control Devices[J]. Journal of Mechanical Design, 1994, 116(2): 539-549.

收稿日期: 2014-05-28

一种特种橡胶胶布的生产工艺

中图分类号: TQ336.4 文献标志码: D

由常熟市新华化工有限公司申请的专利(公开号 CN 103158304A, 公开日期 2013-06-19)“一种特种橡胶胶布的生产工艺”,提供了一种特种橡胶胶布的生产工艺,包括如下步骤:向捏合机中加入 100 份橡胶、15~25 份填充剂、5~10 份活性剂、6~10 份补强剂、3~5 份促进剂、4~8 份防老剂进行捏合炼胶,然后在开炼机中加硫黄成胶体;再向胶体中加入 4~8 份二丁酯、8~12 份乙酸乙酯搅拌均匀成胶浆;在 35℃下将织物放在涂胶机上涂布胶浆;在涂有胶浆的织物上涂布聚乙烯薄膜;在 155~160℃下将涂好的胶布硫化 2~4 h。该特种橡胶胶布的生产工艺简单,条件易控制,可以实现工业化大规模生产,且防水性能优异,成本低廉。

(本刊编辑部 赵敏)

一种汽车用球笼防护罩橡胶组合物及其加工工艺

中图分类号: TQ336.4 文献标志码: D

由上海众力投资发展有限公司申请的专利(公开号 CN 103224658A, 公开日期 2013-07-31)“一种汽车用球笼防护罩橡胶组合物及其加工工艺”,涉及的橡胶组合物配方为:氯丁橡胶 60~70,天然橡胶 30~40,补强剂 40~70,活性剂 3~7,硬脂酸 1~3,对苯二胺类防老剂 1.5~2.5,二苯胺类防老剂 1.5~3.5,二氢化喹啉类防老剂 1.5~2.5,物理防老剂 2~4,增塑剂 5~15,预制剂 4~10,防焦剂 0.5~2,硫化剂 0.5~1.5,促进剂 0.5~2。该产品在高温、高速运转以及左右拉伸的条件下长时间使用不会失效,且不易破裂。

(本刊编辑部 赵敏)