

基于 Abaqus 的汽车用空气弹簧的有限元分析及试验研究

林国英¹, 刘少义², 许恒波²

(1. 青岛理工大学 琴岛学院, 山东 青岛 266106; 2. 青岛四方车辆研究所有限公司, 山东 青岛 266031)

摘要:采用非线性有限元分析软件 Abaqus 建立汽车用空气弹簧的模型, 并对其垂向特性进行模拟分析。结果表明: 空气弹簧的垂向载荷随充气压力的增大呈线性增大, 定值充气压力下随帘线角度的增大而减小; 最大外直径和最大应力随帘线角度的减小而增大; 垂向静刚度随充气压力的增大而呈线性增大, 随帘线角度的增大而减小, 定值充气压力下随工作高度的增大先减小后增大, 存在一最小刚度。试验验证了有限元分析结果的正确性。

关键词:空气弹簧; 垂向特性; 静刚度; 帘线角度; 有限元分析

中图分类号: TQ336.4⁺2; O241.82 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-890X(2015)06-0363-04

空气弹簧利用胶囊内部的压缩空气承受载荷, 主要用于车辆的悬架及驾驶室座椅等, 具有变刚度、自振频率低、高度可控及良好的降噪和隔震性能等特点, 在改善乘坐舒适性、车辆行驶平顺性和对道路的保护方面, 相比刚性弹簧和板簧等具有明显的优越性, 目前已得到了广泛应用^[1]。对空气弹簧进行有限元分析, 具有速度快、精度高、成本低的特点, 可为新产品的开发提供有效的指导^[2]。本工作采用非线性有限元软件 Abaqus 对汽车用空气弹簧的垂向特性进行模拟分析, 研究垂向载荷、垂向静刚度和最大外直径随帘线角度、充气压力和工作高度的变化规律, 以期产品的开发设计提供参考。

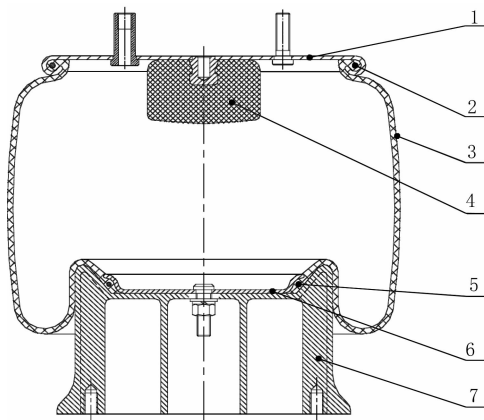
1 膜式空气弹簧

本工作以青岛四方车辆研究所有限公司某型汽车用膜式空气弹簧为例进行有限元分析及试验研究。空气弹簧主要由上盖、胶囊、活塞和应急止挡等组成, 如图 1 所示。

2 有限元模型的建立

2.1 模型简化

汽车用膜式空气弹簧本身具有横向失稳的特



1—上盖; 2—上钢丝圈; 3—胶囊; 4—应急止挡;
5—下钢丝圈; 6—压板; 7—活塞。

图 1 空气弹簧基本结构

点, 空气悬架的横向特性由横向稳定杆保证, 对空气弹簧只需进行垂向特性分析, 因此可采用轴对称模型进行有限元模拟。应急止挡只是在极限工况下起作用, 本研究暂不考虑其影响。取消连接用的螺柱及螺栓孔等不影响产品性能的结构, 而胶囊、上盖缘边及活塞形状直接决定空气弹簧的性能, 也是有限元分析所要研究的主要部分。根据以往的设计经验, 上盖及活塞均具有足够的强度, 在有限元分析中可视为刚体。由于上钢丝圈卷于上盖的缘边内及下钢丝圈与压板的组成固定于活塞上, 因此分析时均可忽略。简化后的模型如图 2 所示。

基金项目: 青岛市科技发展计划项目(11-2-3-69-nsh)

作者简介: 林国英(1983—), 女, 江西南丰人, 青岛理工大学工程师, 硕士, 主要从事机械设计及理论研究工作。

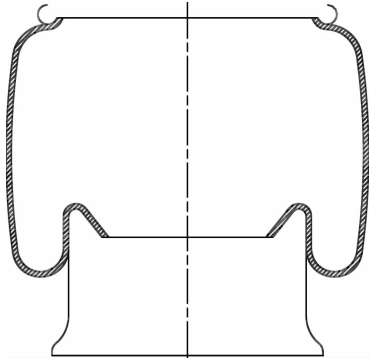


图 2 空气弹簧简化模型

2.2 模型建立

采用有限元软件 Abaqus 建立空气弹簧的有限元模型。橡胶本构关系采用 Mooney-Rivlin 模型,帘线层采用 Rebar 模型表征,胶囊单元类型为 SAX1,上盖及活塞单元类型为 RAX2,流体单元类型为 FAX2。

3 有限元计算分析

影响空气弹簧垂向特性的因素很多,帘线密度和帘线层间距对空气弹簧的性能影响较小^[3-4],且在正式生产中通常已选定帘线规格,因此不对其作计算分析,而重点研究帘线角度、充气压力和工作高度等对空气弹簧垂向特性的影响。

3.1 垂向承载力特性

基于有限元软件 Abaqus,计算空气弹簧在标准工作高度(340 mm)、4 种帘线角度(37°,47°,57°和 62°)下的垂向承载力特性及最大外直径。计算结果如图 3 和 4 及表 1 所示。

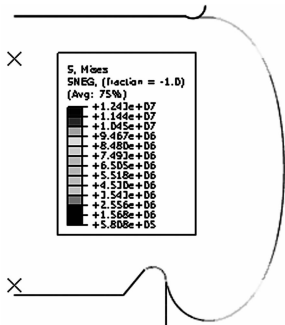
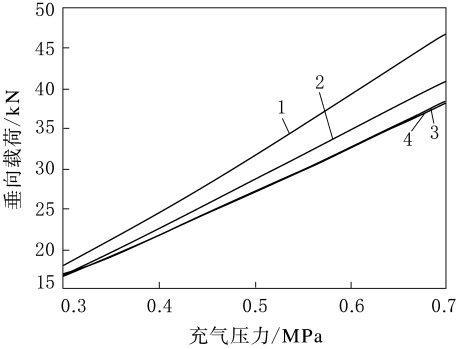


图 3 充气压力 0.5 MPa 下空气弹簧
应力云图(帘线角度 37°)

由图 4 可知:同一帘线角度下,空气弹簧的垂向载荷随充气压力的增大基本呈线性增大,且帘线角度越大,线性度越高;同一充气压力下,空气



帘线角度/(°):1—37;2—47;3—57;4—62。

图 4 垂向载荷-充气压力关系曲线

弹簧的垂向载荷随帘线角度的增大而减小,但减小的幅度逐渐变小(对于该产品,当帘线角度增大到 57°后,垂向载荷受帘线角度的影响已非常小),当充气压力较高时尤为明显。

表 1 充气压力 0.7 MPa 下空气弹簧的最大
外直径和最大应力

项 目	帘线角度/(°)			
	37	47	57	62
最大外直径/mm	405	353	320	309
最大应力/MPa	12.43	7.70	7.62	7.56

由表 1 可知,在同一充气压力下,空气弹簧的帘线角度越小,最大外直径越大,所承受的最大应力也越大,且增大的幅值逐渐变大,其变化趋势与承载力的变化趋势一致。

3.2 垂向静刚度特性

分析空气弹簧的垂向静刚度特性需综合考虑帘线角度、充气压力、垂向载荷和工作高度的影响,分别计算了以下几种工况。

(1)空气弹簧(帘线角度 57°)在标准工作高度、不同充气压力下及在充气压力 0.5 MPa、不同工作高度下对应的垂向静刚度如图 5 和 6 所示。

由图 5 和 6 可知:在其他条件不变的情况下,空气弹簧的垂向静刚度随充气压力的增大而呈线性增大;定值充气压力下,垂向静刚度随工作高度的增大先减小后增大,存在一最小刚度。

(2)空气弹簧(标准工作高度)分别在充气压力 0.7 MPa(垂向载荷对应帘线角度而变)和垂向载荷 35 kN(充气压力对应帘线角度而变)下,不同帘线角度对应的垂向静刚度如图 7 所示。

由图 7 可知,标准工作高度、定值充气压力或

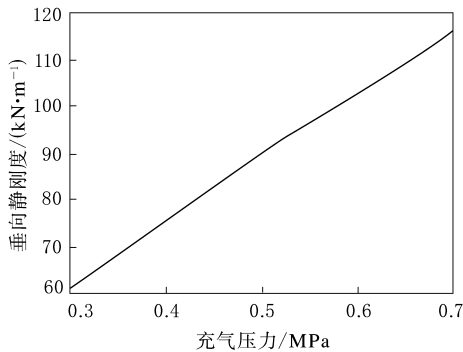


图 5 垂向静刚度-充气压力关系曲线

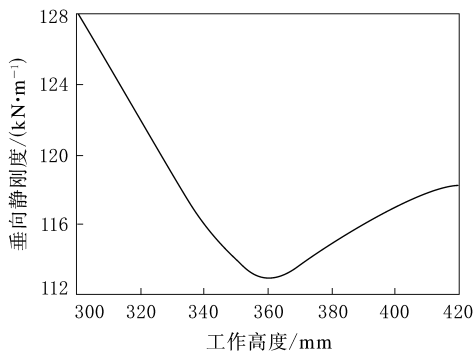
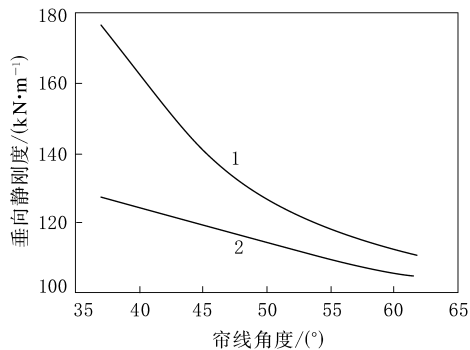


图 6 垂向静刚度-工作高度关系曲线



1—充气压力 0.7 MPa;2—垂向载荷 35 kN。

图 7 垂向静刚度-帘线角度关系曲线

定值载荷下,垂向静刚度均随帘线角度的增大而减小,且帘线角度较小时,刚度值相差较大,而在帘线角度较大时,刚度趋向一致。这主要是由于帘线角度和充气压力对垂向静刚度的作用相反,因此不能简单定义定值载荷下垂向静刚度随帘线角度的变化规律,需具体产品具体分析。

3.3 极限拉伸和压缩特性

空气弹簧(帘线角度 57°)在标准工作高度、充气压力 0.7 MPa 下封闭气体,然后极限压缩到 180 mm/极限拉伸到 540 mm,判断空气弹簧是否

满足最大行程要求及是否存在干涉等。

由计算结果可知,空气弹簧最大行程满足要求,压缩至最低高度时充气压力为 0.94 MPa,满足强度要求。空气弹簧在极限压缩高度 180 mm 下的受力状况如图 8 所示。由图 8 可以看出,气囊与活塞安装平面不存在干涉。

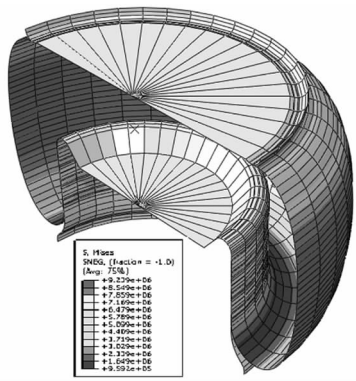


图 8 空气弹簧在极限压缩高度 180 mm 下的受力状况

4 试验验证

空气弹簧试验照片如图 9 所示。该试验测试了帘线角度分别为 47°和 57°的空气弹簧在标准工作高度下,不同充气压力对应的垂向载荷及充气压力 0.7 MPa 下的最大外直径。试验与计算结果对比如图 10 和表 2 所示。



图 9 空气弹簧试验照片

由图 10 和表 2 可以看出,空气弹簧的承载力和最大外直径与有限元计算结果具有良好的一致性,验证了该模型及分析方法的正确性。

5 结论

通过对空气弹簧垂向特性的有限元分析和试

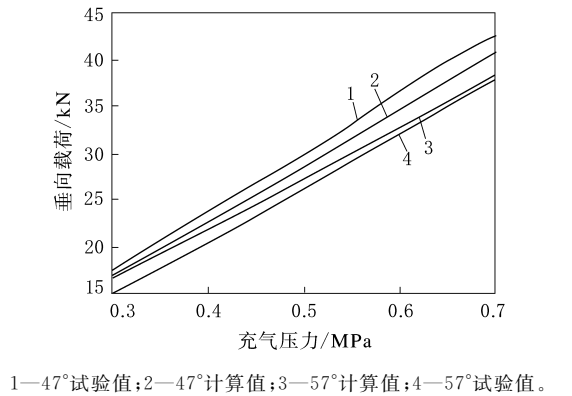


图 10 垂向载荷-充气压力的计算与试验结果对比

表 2 最大外直径的计算与试验测试值对比 mm		
最大外直径	帘线角度/(°)	
	47	57
计算值	353	320
试验值	367	323

验研究,可以得到以下结论。

- (1)基于 Abaqus 的空气弹簧非线性有限元计算得到了试验验证。该方法对于空气弹簧的辅助开发设计非常经济有效。
- (2)空气弹簧的垂向载荷随充气压力的增大呈线性增大,且帘线角度越大,线性度越高。定值气压下空气弹簧的垂向载荷随帘线角度的增大而减小,当帘线角度增大到一定值后,调整帘线角度对垂向载荷的影响大为减小。
- 空气弹簧的最大外直径和最大应力随帘线角

度的减小而增大,且增大的幅值逐渐变大,其变化趋势与承载力的变化趋势一致。

(3)空气弹簧的垂向静刚度在其他条件不变的情况下,随充气压力的增大而呈线性增大,随帘线角度的增大而减小。

帘线角度和充气压力对垂向静刚度的作用相反,因此不能简单定义定值载荷下的垂向静刚度随帘线角度的变化规律,需具体产品具体分析。对于本研究产品,在定值载荷下,空气弹簧的垂向静刚度随帘线角度的增大而减小。

在定值充气压力下,垂向静刚度随工作高度的增大先减小后增大,存在一最小刚度。

(4)采用有限元方法可有效计算空气弹簧的极限拉伸和压缩特性。压缩到最低高度时,空气弹簧的压力升高较大,采用有限元计算方法可避免试验过程的危险。

参考文献:

[1] 张利国,张嘉钟,贾力萍,等. 空气弹簧的现状及其发展[J]. 振动与冲击,2007,26(2):146-151.

[2] 石军,刘少义,许恒波,等. 中低速磁浮列车用新型空气弹簧的研制[J]. 铁道车辆,2012,50(7):18-21.

[3] 叶珍霞,朱海潮,鲁克明,等. 囊式空气弹簧刚度特性的非线性有限元法研究[J]. 振动与冲击,2006,25(4):8-10.

[4] 何锋,蔡永周,曹龙田. 基于帘线参数的商用车膜式空气弹簧刚度特性研究[J]. 橡胶工业,2010,57(7):401-405.

收稿日期:2014-12-19

Finite Element Analysis and Experimental Investigation of Air Spring for Vehicles Based on Abaqus

LIN Guo-ying¹, LIU Shao-yi², XU Heng-bo²

(1. Qingdao University of Technology, Qingdao 266106, China; 2. Qingdao Sifang Rolling Stock Research Institute Co., Ltd., Qingdao 266031, China)

Abstract: The finite element model of air spring for vehicles was established with non-linear finite element analysis software Abaqus to simulate and analyze its vertical characteristics. The results showed that, the vertical load was increased linearly with the increase of inflation pressure, and decreased with the increase of cord angle under the same pressure. The maximum outer diameter and stress increased with the decrease of cord angle. The vertical static stiffness increased linearly with the increase of inflation pressure, decreased with the increase of cord angle, and decreased with the increase of operational height firstly and then increased when the height continued to increase, i. e. there was a minimum stiffness value. The simulation results were confirmed by tests.

Key words: air spring; vertical characteristic; static stiffness; cord angle; finite element analysis