文章编号:1006 - 1355(2005)03 - 0022 - 03

用有限元法分析胶囊对空气弹簧垂向特性的影响

叶珍霞[1],朱海潮[1],陈　纯[2],唐春峰[3]
(1.海军工程大学 振动与噪声研究所,武汉 430033;2.719 研究所,武汉 430064;3.91892 部队装备部)

摘　要:利用非线性有限元方法,研究由多层复合材料组成的空气弹簧的垂向刚度特性,分析大变形的几何非线性、空腔内空气的状态非线性和胶囊与金属裙板形成的接触非线性,得到了空气弹簧垂向刚度非线性特性的精确描述,并讨论了橡胶囊各参数对空气弹簧垂向特性的影响。

关键词:振动与波;空气弹簧;垂向特性;有限元分析
中图分类号:O242.21　　**文献标识码**:A

Analyzing the Influence of the Air Bag Parameter on Vertical Characteristics of Air Spring with FEM

YE Zhen-xia[1], *ZHU Hai-chao*[1], *CHEN Chun*[2], *TANG Chun-feng*[3]
(1. Research Institute of Noise &Vibration, Naval Univ. of Engineering, Wuhan430033, China;
2. 719 Research Institute, Wuhan 430064, China;
3. Equipment Department of Unit No. 91892, China)

Abstract: The vertical stiffness of air spring, which is composed composites with multiple anisotropy materials, is investigated using the nonlinear finite elements method. The large deformation, the nonlinear change of air inside and the nonlinear contact betwwen air bag and skirt plate are analyzed, thus the precise desription for nonlinear verical stiffness of air spring is obtained, and the influence of the parameters on vertical characteristics of air spring is also discussed.

Key words: vibration and wave; air spring; vertical characteristics; finite element analysis

引　言

空气弹簧是利用空气压缩的非线性恢复力实现隔振和缓冲作用的一种非金属弹簧,由于其变刚度、低自振频率、高度可控以及良好的高频振动吸收和隔声性能等,应用范围已相当广泛。

垂向刚度是橡胶空气弹簧的重要性能参数。但是,由于空气弹簧的胶囊由交叉的多层帘布线组合形成了各向异性且在工作载荷下的大变形特征,而其金属裙板的影响则涉及到接触非线线问题,从而使空气弹簧的设计和理论分析产生了较大的困难。以往的图解法[1]给出了一些经验公式,但经验公式无法表达由于囊体参数的变化引起的空气弹簧体积和有效面积的变化,从而引起的垂向特性的改变。文献[2]和文献[3]中介绍了采用非线性有限元分析技术开发空气弹簧的方法,文章中橡胶囊的离散模型均采用了层状复合材料结构的壳单元结构,其主方向的弹性模量采用复合材料微观力学的方法近似计算求得,这样定义的层状复合材料通过设定材料的主方向、各铺层厚度和铺设角度来确定材料的构成关系,只能获得平均效应,没有准确的模拟空气弹簧的材料特性。采用 Rebar 单元技术,模拟材料特性;采用 Cavity 单元,模拟空气弹簧内部气压变化,建立轴对称模型,对充气过程和垂向特性进行了仿真研究。

收稿日期:2004-10-08;**修改日期**:2004-12-22
作者简介:叶珍霞(1980 -),男,湖南长德人,硕士生,研究方向:噪声与振动控制。

1　空气弹簧囊体材料特性

空气弹簧胶囊是由帘线和橡胶硫化而成的,根据帘线的层数可将胶囊分为若干铺层,胶囊铺层系由弹性模量从低值(橡胶)到高值(帘线)组成的帘线/橡胶复合材料,同时各铺层互成一定角度布置,帘线是主要的承载部件,因而呈现出各向异性的特点。

由于橡胶材料的体积模量远远大于其弹性模量,因此,一般认为它是各向同性的不可压缩的超弹性材料。Mooney-Rivlin 理论较好的描述橡胶类不可压缩超弹性材料在大变形下的力学特性,它将橡胶的应变能函数表征为应变或变形张量的纯量函数,应力表征为变能函数对应的偏导数。

其应变能密度函数为

$$W = C_1(I_1 - 3) + C_2(I_2 - 3) + \frac{1}{2}\kappa(I_3 - 1)^2 \quad (1)$$

式中:I_i 是第 i 方向的应变不变量;κ 是体积弹性模

© 1995-2005 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

量; C_1 和 C_2 是待定的 Mooney-Rivlin 常数,由所选用的橡胶材料的拉压试验数据进行拟合确定。对不可缩的超弹性体,引入条件 $I_3 = 1$。增强帘线也可直接通过拉压试验获得物理性能。

本文采用了 Marc 非线性有限软件中的 Rebar 单元技术建立空气弹簧胶囊模型。基体橡胶采用 Herrman 不可压缩单元,增强帘线采用 Rebar 单元。Rebar 单元具有单向刚度的单元形式,是处理带有加强盘的复合材料的理想单元。

2 有限元模型建立

本文分析研究的空气弹簧是一型舰用囊式空气弹簧。考虑到模型的轴对称性以及垂向力的轴对称性,取空气弹簧的一个轴对称分析,这样不仅可以大大节省计算时间,而且可以节省磁盘空间。空气弹簧发生垂向位移时,其内容积变化较大,因此气压将发生较大的变化,需要对气体进行适当的模拟。当前广泛采用的非线性有限元软件 Marc 中的 Cavity 单元,可以通过施加 Mass 和 Press 载荷模拟气体的变化。

空气弹簧胶囊在受力下的位移和变形关系已远远超出线性理论的范畴,属于几何非线性问题。同时必须采用非线性接触技术[4]处理这一问题。在分析中,裙板定义为刚性体,胶囊定义为变形体。空气弹簧离散后有节点 76 个,单元 80 个,离散模型如图 1 所示。

在有限元分析时,为获得帘线角度、帘线密度、帘线层间距离、帘线层数以及胶囊内压等因素对空气弹簧垂向刚度的影响,分别对各个参数取不同的数值进行了计算。在本文中,压缩为正,拉伸为负。

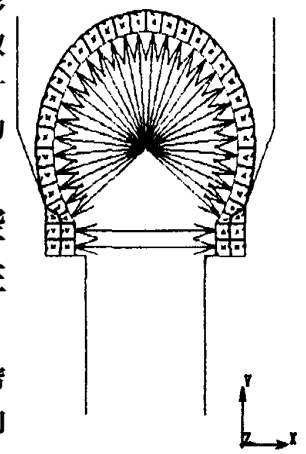


图 1 空气弹簧垂向特性计算模型

3 各个参数对空气弹簧垂向特性的影响

3.1 不同帘线角度、帘线密度对空气弹簧垂向特性的影响

帘线层作为空气弹簧的主要承载部件,其帘线角和帘线密度,对空气弹簧的弹性特性有一定影响。在空气弹簧有限元模型中,定义 Rebar 与空气弹簧胶囊子午线夹角为帘线角。图 2、3 分别显示了不同帘线角和不同帘线密度时空气弹簧的静特性曲线。由图可知:空气弹簧的垂向刚度将随帘线角的增大而增大,帘线角越大,空气弹簧垂向刚度越大。而帘线密度对空气弹簧垂向刚度影响很小。

此外,在考虑帘线角、帘线密度对空气弹簧垂向刚度影响时,还必须考虑胶囊强度的要求。同样,帘线角度不同,也会造成不同帘线层间应力的不同。在其它参数相同,而帘线角不同的情况下,帘线最大应力值变化比较复杂。而帘线密度增大时,帘线层最大应力值减小。

表 1 不同帘线角度时空气弹簧最大应力值

帘线角度	55		65		75	
	整层	帘线层	整层	帘线层	整层	帘线层
充气完成(N/ mm^2)	1.13e8	8.443e7	1.62e8	1.324e8	2.127e8	1.813e8
最大压缩行程(N/ mm^2)	2.452e8	2.217e8	2.687e8	1.972e8	2.503e8	2.217e8
最大拉伸行程(N/ mm^2)	2.343e8	2.312e8	2.535e8	1.91e8	2.528e8	1.923e8

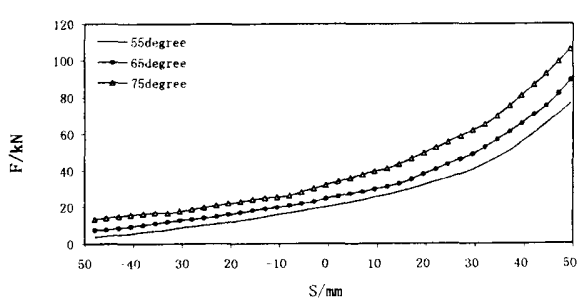


图 2 不同帘线角度时空气弹簧静特性曲线

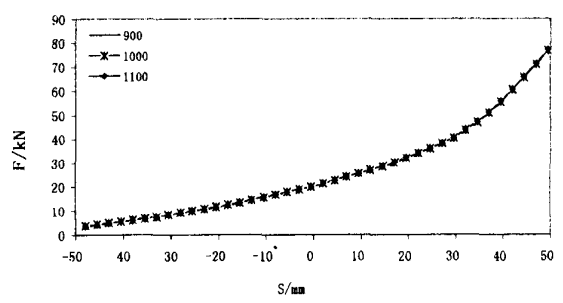


图 3 不同帘线密度时空气弹簧静特性曲线

从以上分析可知,在满足强度要求的情况下,取较小的帘线角度,可以得到较小的垂向刚度,从而得到较低的自振频率。

3.2 不同帘线层间距离、帘线层数对空气弹簧垂向特性的影响

在有限元模型计算模型中,帘线层在胶囊中面

© 1995-2005 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

两侧对称布置,定义相邻两帘线层间距离为帘线层间距离。空气弹簧在拉伸和压缩行程时,随着帘线层间距的增加,在最大位移行程时其垂向刚度增加较大,在设计高度附近垂向刚度变化较小。但从图 4 所示,可以看出,帘线层间距离变化,对空气弹簧垂向刚度特性影响很小。而通过对帘线层应力计算发现,层间距离变小,帘线层最大应力值有增大趋势。所以,帘线层的布置,可以根据帘线层厚度,尽量加大帘线层间距。

而随着帘线层数的增加,空气弹簧所受应力的最大值减小,但是 4 帘线层时,层间应力变化较大。图 5 说明,在同一工作行程,帘线层数线多,空气弹簧的垂向刚度越大。但数值变化不大。

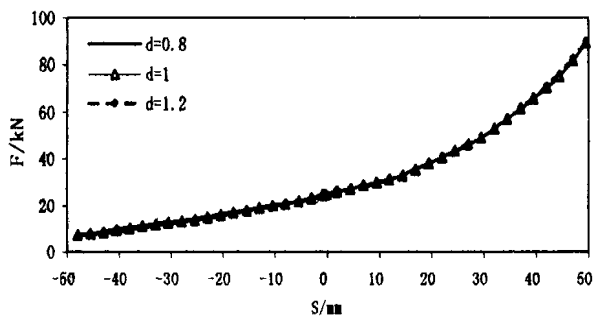


图 4　不同帘线角度时空气弹簧静特性曲线

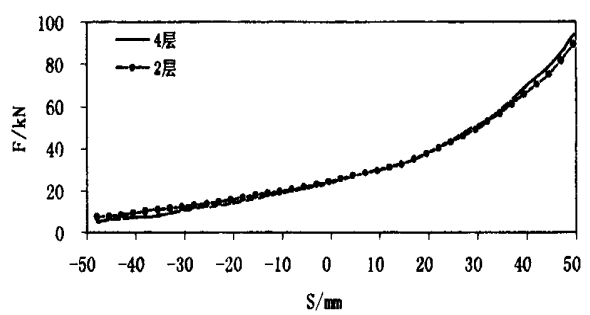


图 5　不同帘线层时空气弹簧静特性曲线

3.3　不同工作压力对空气弹簧垂向特性的影响

由图 6 可知,在不同的初充气压力下,空气弹簧特性曲线为一簇曲线。在同一压力下,弹性特性曲线呈反“S”形,空气弹簧表现出具有明显的非线性

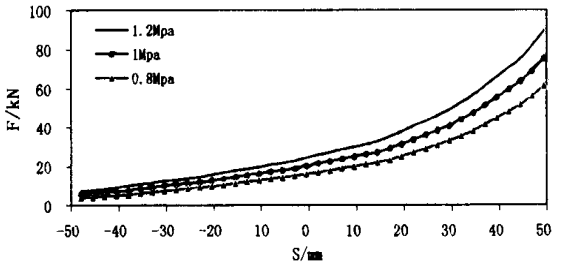


图 6　不同工作压力时空气弹簧静特性曲线

弹性特性。当空气弹簧的工作行程被压缩到较大时,空气弹簧的橡胶气囊与上、下底座在圆台面接触,空气弹簧的刚度明显增大。并且,随橡胶气囊腔内充气压力增加,同一位移下刚度也增大。空气弹簧在设计高度附近,其刚度值较小。

4　结　语

(1) 帘线角度对垂向刚度有较大的影响,而且对胶囊的强度也有较大的影响。通过工作过程的 V—S(体积—垂向位移) 图表明,主要是由于帘线角度不同时,引起了空气弹簧形变时体积和有效面积的变化,从而引起垂向特性的变化。这是经验公式没有体现的。

(2) 空气弹簧内部压力越高,垂向刚度越大。

(3) 帘线层数、帘线密度以及帘线层间距离对垂向刚度特性影响不大。

(4) 本模型较以往有限元计算模型,更有效地模拟了胶囊材料结构、气体压力变化以及接触问题。相对经验公式和以往的有限元计算,此模型更精确,为现代化设计提供了一个更为经济有效的方法。

参考文献:

[1] 张英会,郭荣生. 弹簧[M]. 北京:机械工业出版社,1982.

[2] 张广世. 有限元法研究空气弹簧参数对横向特性的影响[J]. 铁道车辆. 2000,(9):13—16.

[3] 方凯,等. 一种新型高速客车空气弹簧的非线性有限元分析[J]. 铁道机车车辆.

[4] 王勖成. 有限单元法[M]. 北京:清华大学出版社,2002. 9,23(1).

© 1995-2005 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.