

基于流固耦合的带附加气室空气弹簧的力学特性研究

王浩宇,何 锋,赵 晶,曹 华

(贵州大学 机械工程学院,贵州 贵阳 550003)

摘要:应用流固耦合和有限元理论,通过 ABAQUS 软件仿真分析附加气室容积和节流口直径变化对带附加气室空气弹簧弹性力学特性的影响。结果表明,在一定范围内附加气室容积和节流口直径变化对空气弹簧的垂直刚度有明显的影。

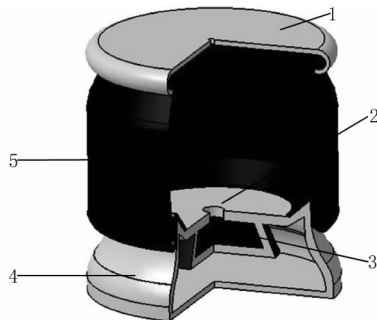
关键词:空气弹簧;附加气室;流固耦合;有限元分析

中图分类号:TQ336.4+2;O241.82

文献标志码:A

文章编号:1000-890X(2012)05-0300-04

空气弹簧是利用压缩空气的非线性恢复力实现隔震和缓冲作用的一种非金属弹簧,自美国 Borgward 公司首次成功地在载重汽车上采用空气弹簧作为悬架系统弹性元件以来,空气弹簧在公路交通车辆领域逐步得到了广泛的应用^[1-2]。近年来由于车辆载重的增大,生产厂商开始引入带附加气室的空气弹簧以降低系统刚度,提高车辆载重能力。本研究建立带附加气室空气弹簧的有限元模型并做仿真分析。



1—上盖板;2—节流口;3—附加气室;4—底座;5—主气室。

图1 带附加气室空气弹簧结构示意图

作用,有利于加快振动衰减^[4]。

1 带附加气室空气弹簧结构

带附加气室的空气弹簧是在普通空气弹簧的基础上增加一个附加气室,同时在下活塞上开一个节流口,当空气受到激励时,气囊和附加气室中的气体在压力差的作用下发生交换^[3]。带附加气室空气弹簧的结构如图1所示。

本研究弹簧的附加气室为橡胶材料,可控制容积,其通过节流口与主气室连接,增大了空气弹簧中气体的总体积和流通空间,降低了弹簧的刚度;节流口限制气体的流动速度,是产生两气室压力差的关键元件,气体经过节流口时会产生阻尼

2 流固耦合理论

流固耦合是目前很多领域研究的热点和难点之一,其重要特征是两相介质间的交互作用。带附加气室空气弹簧这种弹性薄壁构件是典型的流固耦合实例,其特征是气体和橡胶囊体两种介质之间的相互作用,根据空气弹簧流固耦合的特点,假设气体流动是在稳定状态临近的小扰动,此时流体方程可以简化为线性方程,同时橡胶囊体假定为线弹性,使空气弹簧流固耦合问题可以更加直观地利用线性方程解决。

带附加气室空气弹簧流固耦合系统模型如图2所示。图2中 V_s 和 V_f 分别表示固体域和流体域, S_b 表示流体刚性固定边界, S_f 表示流体自由表面边界, S_w 表示固体边界, S_o 表示固体的力边界, n_f 为流体边界单位法线向量, n_g 为固体边界

基金项目:贵州省工业攻关项目(黔科合 GY[2008]3013);贵州大学研究生创新基金资助项目(校研理工 2011029)

作者简介:王浩宇(1985—),男,辽宁丹东人,贵州大学在读硕士研究生,主要从事汽车系统动力学及控制和汽车零部件设计理论及应用技术研究。

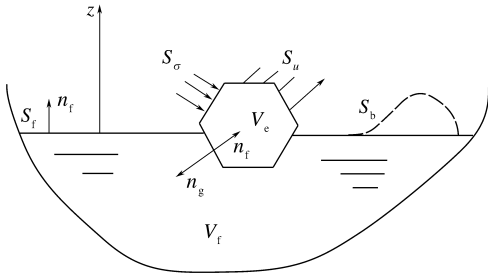


图 2 带附加气室空气弹簧流固耦合系统模型示意

单位外向法线向量^[5]。

气体场方程为

$$p_{ij} - \frac{1}{c_0^2} p = 0 \quad (1)$$

式中, p 为气体压力, c_0 为声速。

气体边界条件如下。

$$\text{刚性固定边界: } \frac{\partial p}{\partial n_i} = 0 \quad (2)$$

$$\text{自由表面: } \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{g} p = 0 \quad (3)$$

式中, g 为重力加速度。

固体场方程为

$$\sigma_{ij} + f_i = \rho_s u_i \quad (4)$$

式中, σ_{ij} 为应力分量, f_i 为固体体积力分量, ρ_s 为固体质量密度, u_i 为固体位移分量。

固体边界条件如下。

$$\text{力边界条件: } \sigma_{ij} n_{sj} = \bar{T}_i \quad (5)$$

$$\text{位移边界条件: } u_i = \bar{u}_i \quad (6)$$

式中, $\bar{T}_i$ 和 $\bar{u}_i$ 分别为固体所受已知面力分量和位移分量。

3 带附加气室空气弹簧有限元模型的建立

本工作以某型号带附加气室空气弹簧为研究对象,在 ABAQUS 软件中对其进行建模。基本参数如下:设计高度 275 mm,外直径 210 mm,子口直径 130.8 mm,额定气压 0.5 MPa,工作行程 $(-120, +120)$ mm,载荷能力 12.4~29.0 kN。

建立带附加气室空气弹簧气固耦合有限元模型,如图 3 所示,利用 ABAQUS 软件中的空腔流体单元 (Fluid Cavity) 定义主气室和附加气室两个空腔,再运用符合流体静力学条件的流体单元使结构变形和作用在边界上的流体压力之间相互

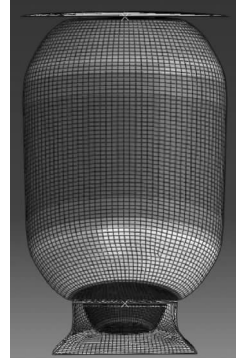


图 3 带附加气室空气弹簧气固耦合有限元模型耦合,实现带附加气室空气弹簧在振动过程中腔内气压的变化,使分析结果更接近实际工况。

3.1 单元选择

本研究采用 Rebar 单元模拟胶囊壳单元中的帘线层。这种单元对增强帘线复合材料的几何和物理非线性有极好的分析效果。利用 S4R 壳单元将带附加气室空气弹簧的橡胶气囊离散为壳单元内嵌加强筋帘线单元。

3.2 网格划分

对上盖板、下底座、橡胶气囊和附加气室分别进行网格划分。采用非独立网格划分方式,上下子口处分别布置 30 个节点,轴线与上下子口中心分别定义一个节点,用以定义主气室和附加气室的参考点,提取 inp 文件,在 inp 文件中定义其流体特性。

3.3 边界条件

带附加气室空气弹簧在运动过程中,橡胶气囊与上下盖板之间及胶囊之间的非线性接触问题采用 Lagrange 方法通过定义变形体与变形体、变形体与刚性体两种接触方式来解决。另外,利用 ABAQUS 软件中的多点约束,将带附加气室空气弹簧模型主气室上部的流体单元的重复节点与上盖板固定;将橡胶气囊的上子口和下子口分别与上盖板和下活塞固定;将主气室下部的流体单元的重复节点与附加气室上部的流体单元重复节点固定,使空气弹簧腔内气室封闭。

4 附加气室容积和节流口直径对空气弹簧力学特性的影响

4.1 附加气室容积方程和节流口流量特性

根据范德瓦特方程,真实气体的准静态多变

方程^[6]为

$$p + a(n/V)^2(V - nb)^m = C \quad (7)$$

式中, a 和 b 为范德瓦特常数, n 为物质的量, V 为气体体积, m 为多变指数, C 为常量。

本研究建立的带附加气室空气弹簧模型的附加气室容积可控制, 空气弹簧在初始位置时气体压力为 p_0 , 气囊容积为 V_b , 当带附加气室空气弹簧受到激励发生向下位移时, 设气囊内的压力和容积变化分别为 Δp_b 和 ΔV_b 。

根据式(7)列出气囊中气体的状态方程:

$$[p_0 + \Delta p_b + a(n_1/V_b + \Delta V_b)^2](V_b + \Delta V_b - n_1 b)^m = [p_0 + a(n_1/V_b)^2](V_b - n_1 b)^m \quad (8)$$

气囊容积变化为

$$\Delta V_b = \frac{dV_b}{dz} z + \frac{q}{\rho_0} = -A_e z + \frac{q}{\rho_0} \quad (9)$$

式中, q 为通过节流口的气体流量, A_e 为初始有效面积, ρ_0 为初始空气密度。

气囊中气体物质的量为

$$n_1 = \frac{p_0 V_b}{RT} \quad (10)$$

$$\Delta p_b \approx (1 + \frac{ap_0}{R^2 T^2}) / (1 - \frac{bp_0}{RT}) \frac{p_0 m}{V_b} (A_e - \frac{q}{\rho_0}) \quad (11)$$

式中, R 为气体常数, T 为温度。

带附加气室空气弹簧的恢复力(F_z)为

$$F_z = (p_0 + \Delta p_b - p_t)(A_e + \frac{dA_e}{dz} z) \quad (12)$$

式中, p_t 为大气压力。

$$A_e = A_{e0} + Dz \quad (13)$$

式中, D 为常数。

通过节流口空气的流量特性为

$$R_\beta q^\beta = \Delta p_b - \Delta p_a \quad (14)$$

$$R_\beta = 12.6/d^3 \quad (15)$$

$$\Delta p_a \approx [(1 + \frac{ap_0}{R^2 T^2}) / (1 - \frac{bp_0}{RT})] \frac{p_0 m B_e}{V_a} z \quad (16)$$

式中, R_β 为流量阻力系数, β 为阻尼特性, Δp_a 为附加气室内压变化值, d 为节流口直径, B_e 为附加气室的有效面积, V_a 为附加气室容积。

4.2 附加气室容积的影响

空气弹簧的附加气室通过节流口与主气室相连, 主气室内压和垂直载荷随附加气室容积的变

化曲线分别如图4和5所示。

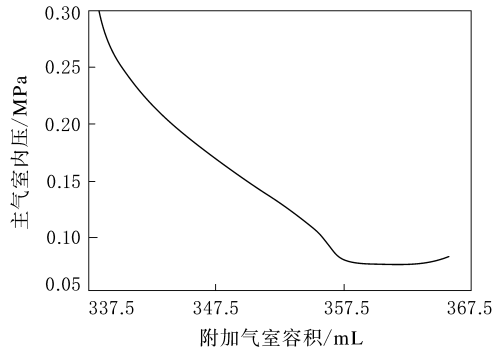


图4 主气室内压随附加气室容积的变化曲线

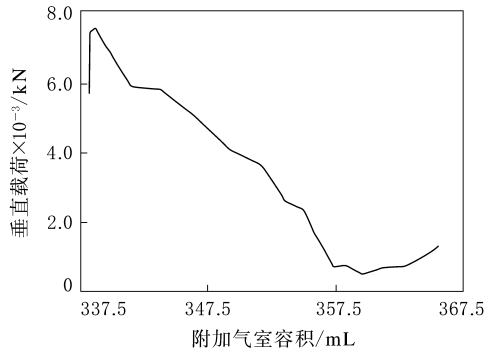


图5 垂直载荷随附加气室容积的变化曲线

从图4可以看出, 在空气弹簧运动过程中主气室内压随着附加气室容积增大而明显降低, 当附加气室容积增大到一定程度时主气室内压不再降低。从图5可以看出, 空气弹簧的垂直载荷随着附加气室容积增大而逐渐降低, 当附加气室容积增大到一定程度时, 其变化对垂直载荷的影响不再明显。

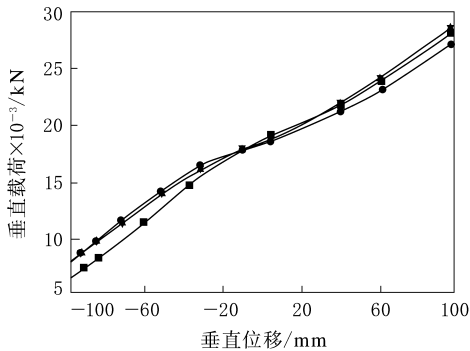
4.3 附加气室节流口直径的影响

在所有初始条件相同的情况下, 分别设置节流口直径为 5, 10, 20 和 30 mm 进行仿真分析。带附加气室空气弹簧在不同节流口直径时的弹性变化曲线如图6所示。

从图6可以看出, 节流口直径较小(5 mm)时, 弹簧系统受附加气室的作用较小, 其刚度较大, 而节流口开度较大时, 由于附加气室的作用得到充分发挥, 弹簧刚度降低。节流口直径为 10, 20 和 30 mm 时, 其刚度相差不大。

5 结论

(1) 附加气室的容积变化对主气室内压和垂



节流口直径/mm: ■—5; ▲—10; ▼—20; ●—30。

图 6 不同直径节流口下带附加气室空气弹簧垂直载荷随垂直位移的变化曲线

直载荷有明显的影响,因此附加气室的容积对空气弹簧的垂直刚度影响明显,当附加气室容积比较小时,垂直刚度随附加气室容积增大而明显降低,但随着附加气室容积增大,其影响变得不再明显。

(2)附加气室空气节流口直径较小时,空气弹簧系统受到附加气室的作用较小,其刚度较大,而节流口开度较大时,由于附加气室的作用得到充分发挥,弹簧刚度降低。

参考文献:

- [1] Jack G. Ride on Air: A History of Air Suspension[M]. New York:SAE Inc,1999.
- [2] 赵轶才,陶家念. 汽车悬挂用带附加气室空气弹簧的设计研究[J]. 中国公路学报,1992,5(3):86-92.
- [3] 王家胜. 带附加气室空气弹簧动力学特性研究[D]. 南京:南京农业大学,2009.
- [4] 李带,付茂海,黄运华,等. 车辆带附加气室空气弹簧动力学参数特性研究[J]. 中国铁道科学,2003,24(5):91-95.
- [5] 练章华. 现代 CAE 技术与应用教程[M]. 北京:石油工业出版社,2004:205-206.
- [6] 刘宏伟,庄德军,林逸,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.

收稿日期:2011-11-13

Study on Mechanical Properties of Air Spring with Auxiliary Chamber Based on Fluid-Solid Coupling

WANG Hao-yu, HE Feng, ZHAO Jing, CAO Hua

(Guizhou University, Guiyang 550003, China)

Abstract: The influence of the volume of auxiliary chamber and orifice diameter on the mechanical properties of air spring was analyzed using fluid-solid coupling and finite element theories by ABAQUS software. The results showed that change of auxiliary chamber volume and orifice diameter influenced the vertical stiffness of the air spring significantly in a certain range.

Key words: air spring; auxiliary chamber; fluid-solid coupling; finite element analysis

利用废橡胶生产的硫化胶粉 增容处理的方法

中图分类号:TQ333.99;TQ335+.2 文献标志码:D

由周子凯申请的专利(公开号 CN 101798396A,公开日期 2010-08-11)“利用废橡胶生产的硫化胶粉增容处理的方法”,属废橡胶回收再利用工艺技术领域。该方法包括以下工艺步骤:废橡胶经切块、去杂后,剪切破碎成粒径为 (2.5 ± 0.5) mm 的粗胶粒;粗胶粒送入混合搅拌

器,加入包括粉碎助剂、活性分散剂和增容改性剂的复合助剂,充分混合均匀后,送入粉碎机中粉碎细化,胶粒粉碎细化与硫化胶粉增容处理同时完成;胶粉经细度分级器进行细度分级后,即得到符合细度要求并已经完成增容处理的硫化胶粉成品。采用该方法增容处理的硫化胶粉成品与掺用基材的分散均匀性、界面相容性和界面结合力均得到有效提高,可扩大应用范围和提高使用价值。

(本刊编辑部 马 晓)