

制动阀橡胶弹簧性能的有限元分析

张洪宝

(北京亚新科工业技术有限公司, 北京 100015)

摘要:采用 Abaqus 非线性有限元分析软件建立制动阀橡胶弹簧的有限元分析模型, 模拟分析其垂直方向的静负荷特性, 并与试验数据对比, 从而对现有产品进行改进优化设计。优化改进后, 橡胶弹簧满足在一定范围内的刚度及刚度匹配要求, 应力分布均匀且无明显的应力集中。该研究为现有产品优化和后续产品开发提供了重要参考和依据。

关键词:制动阀; 橡胶弹簧; 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(2014)03-0175-04

近年来, 汽车的安全性越来越受重视, 制动阀是汽车重要的安全部件, 橡胶弹簧是制动阀中最重要的功能元件, 其工作稳定性与耐久性直接影响汽车的制动安全^[1]。合理的结构不仅可以保证橡胶弹簧良好的性能, 还可以避免早期疲劳破坏^[2]。传统设计多依赖试验验证设计的合理性, 不但周期长、费用高, 还不能预测很多潜在的设计缺陷和风险, 引入有限元分析可以在很大程度上解决这些难题^[3-5]。本研究在橡胶弹簧原设计方案不满足设计要求的情况下, 采用 Abaqus 非线性有限元分析软件建立制动阀橡胶弹簧的有限元模型, 模拟分析其垂直方向的静负荷特性, 并与试验数据对比, 对现有产品进行改进优化设计。

1 工作原理

制动阀通过控制气流大小来控制刹车系统的总成, 橡胶弹簧是制动阀的关键部件, 利用其在压力下可产生大变形的物理性质控制制动元件运动, 进而调节控制管路的流通面积以控制气体流量大小, 满足制动性能要求^[6]。橡胶弹簧实物如图 1 所示, 制动阀总成如图 2 所示。

2 原方案仿真分析

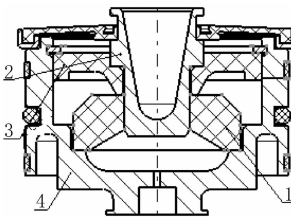
2.1 橡胶材料本构模型的选择

对于超弹性材料, Abaqus 软件不用杨氏模量

作者简介:张洪宝(1979—), 男, 黑龙江齐齐哈尔人, 北京亚新科工业技术有限公司工程师, 学士, 主要从事产品技术管理工作。



图1 橡胶弹簧实物照片



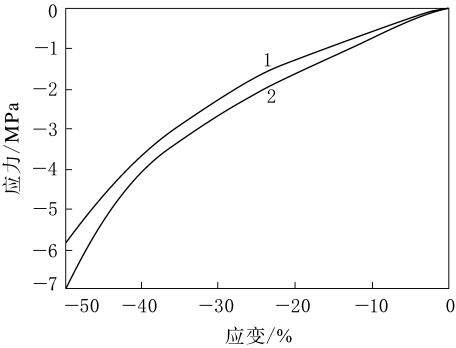
1—橡胶弹簧; 2—上活塞; 3—压块; 4—橡胶弹簧座。

图2 制动阀总成示意

和泊松比, 而用应变势能来表示应力-应变关系。应变势能有多项式、Ogden 及 Arruda-Boyce 等多种模型。选择模型应使试验数据与 Abaqus 软件拟合的数据尽量接近。

本研究选择 neo-Hookean 本构模型。根据国标 GB/T 7757—2009《硫化橡胶或热塑性橡胶压缩应力应变性能的测定》测试得到的橡胶试样压缩应力-应变数据与 Abaqus 软件拟合结果对比如图 3 所示。

由于是压缩试验, 输入的应力和应变值都是负的。从图 3 可以看出, 拟合分析与试验结果吻合良好, 而且可以预测应变超过-50%后, 数值的



1—计算;2—试验。

图3 橡胶压缩试验数据与拟合分析结果对比

接近也应该是比较合理的。

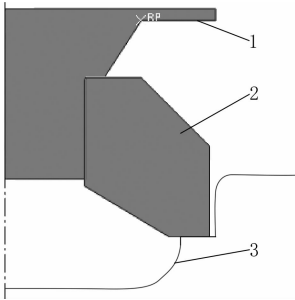
通过模拟得到橡胶弹簧的受压应变范围为0~-51%，与橡胶试样的压缩应变试验数据的范围(0~-50%)比较接近。

2.2 仿真模型的建立

本研究采用静力分析,由于模型中存在多对接触,而接触属于非线性问题,同时橡胶材料具有非线性特性,因此采用处理非线性问题能力较强的 Abaqus 软件建立模型。橡胶弹簧座与橡胶弹簧及橡胶弹簧与压块之间通过面面接触建立接触关系。

在压块上端施加 1 800 N 的力模拟弹簧的受力变形,得到压块受力与下降位移的关系曲线,并与试验数据对比,反复校正计算模型,直至分析结果与试验数据吻合得较好。此时的计算结果可以为设计提供多方面的数据,如任意时刻橡胶弹簧任意位置的应力和应变,为后续制动阀的设计和改进行提供参考和依据。

制动阀橡胶弹簧三维模型为轴对称模型,计算采用二维轴对称模型,如图 4 所示。

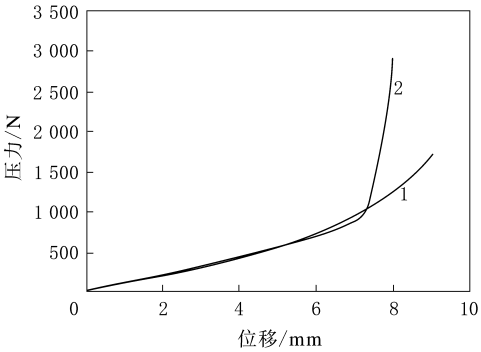


1—压块;2—橡胶弹簧;3—橡胶弹簧座。

图4 橡胶弹簧二维仿真模型

2.3 模型验证

橡胶弹簧产品总成计算分析与试验结果^[7]对比如图 5 所示。在压缩过程中,产品的垂向刚度是逐渐增大的,表明该弹簧在 0~7.2 mm 范围内抵抗压力的能力越来越强,符合橡胶材料的非线性特性。在 900 N 压力以下的误差为 2% 左右,证明本研究所建立的模型是合理可信的。



注同图 3。

图5 橡胶弹簧产品总成计算分析与试验结果对比

在压力超过 900 N 后,垂向刚度骤然增大,说明橡胶弹簧压缩量超过 7.2 mm 后由于受总成结构的限制,增大压力,弹簧压缩量变化很小,橡胶弹簧性能已经达到极限。但设计行程要求压缩力在 1 300~1 500 N 达到 9 mm 位移量。因此,在不能更换橡胶材料的前提下就需要改进产品结构来满足设计要求。

2.4 有限元分析结果

在压缩过程中,施加 500 N 压力时,橡胶弹簧主要依靠剪切变形抵抗压力,如图 6 所示。当希望增大弹簧的刚度时,可以考虑减小平衡活塞底部的半径,使弹簧抵抗压力的能力增强。

当施加压力达到 1 000 N 左右时,在弹簧底部的活塞支撑尖角处出现应力集中,如图 7 所示。

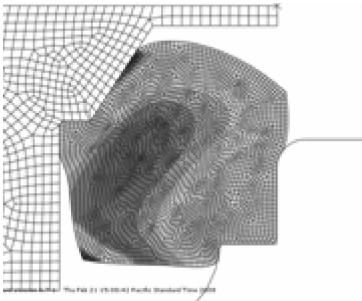


图6 施加 500 N 压力时橡胶弹簧的压缩形态

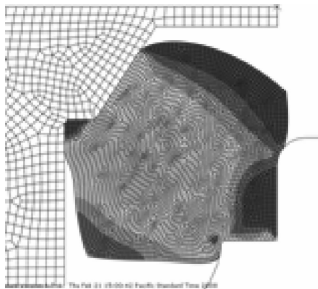


图 7 施加 1 000 N 压力时橡胶弹簧的压缩形态

应力集中是疲劳破坏的主要原因,可以通过加大圆角来改善这种状况。

3 改进方案仿真分析

3.1 改进方案

针对原设计方案的试验和仿真结果,改进主要从两方面入手:一是橡胶弹簧底座局部尺寸改变,如图 8 所示,弹簧底座一圆角半径由 1.5 mm 改为 4 mm,一圆直径由 31 mm 改为 29 mm;二是压块结构改进,如图 9 所示,在压块上加周向阵列的 8 个筋。最后确定两套改进方案,方案一如图 8 所示,方案二为图 8 与图 9 所示的组合。

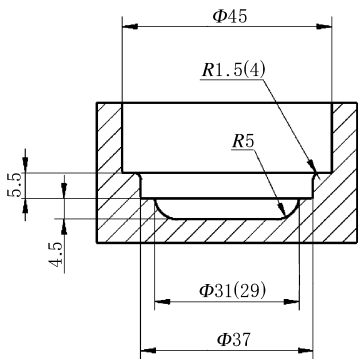


图 8 橡胶弹簧底座尺寸改变示意

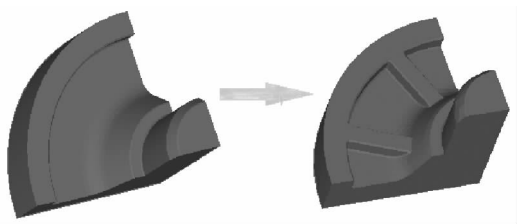


图 9 压块结构改变示意

3.2 分析与试验结果对比

3.2.1 方案一

方案一分析与试验结果对比如图 10 所示。

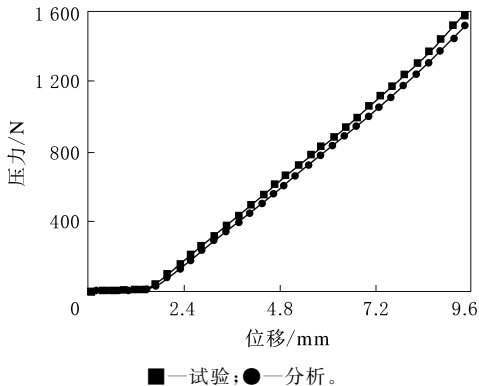
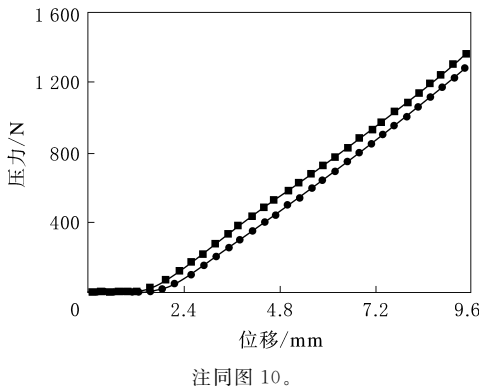


图 10 方案一分析与试验结果对比

从图 10 可以看出,分析与试验结果对比吻合得较好,进一步证实了该分析方法的合理性。但该改进方案仍不满足压力在 1 300~1 500 N 内达到 9 mm 压缩量的设计要求。

3.2.2 方案二

方案二分析与试验结果对比如图 11 所示。从图 11 可以看出,方案二满足设计要求。由此可确定改进优化方案。



注同图 10。

图 11 方案二分析与试验结果对比

采用方案二生产的该产品已通过了实车验证,目前已经处于批量生产状态,客户反馈良好。该设计和分析方法也已应用于同类产品开发中。

4 结论

(1)利用有限元方法能较准确地模拟橡胶弹簧的载荷-变形关系,在橡胶元件设计之初就可以对各方案进行论证、修改,了解其性能,大大提高设计效率。

(2)优化改进后,橡胶弹簧满足在一定范围内的刚度及刚度匹配要求,应力分布均匀且无明显的应力集中。

(3)通过简单修改结构后,产品设计可满足多种车型制动阀要求,实现对客户要求的快速响应。

参考文献:

- [1] 梁天也,史文库,马闯.汽车动力总成液压悬置橡胶主弹簧静特性有限元分析[J].震动与冲击,2007,26(7):155-157.
- [2] P. K. 弗雷克利, A. R. 佩思. 橡胶在工程中应用的理论与实践[M]. 杜承泽,唐宝华,罗东山,等,译. 北京:化学工业出版社,1985.
- [3] 闫相桥. 橡胶复合材料结构大变形有限元分析[J]. 计算力学

学报,2002,19(4):1007-4708.

- [4] 殷有泉. 固体力学非线性有限元引论[M]. 北京:北京大学出版社,1987:106-201.
- [5] Chang J P, Satyamurthy K, Tseng N T. An Effect Approach for the Three-dimensional Finite Element Analysis of Tires [J]. Tire Science and Technology, 1988, 16(4): 249-273.
- [6] 马恩,李素敏. 液压与气压传动[M]. 北京:高等教育出版社,2010:374-439.
- [7] 拖拉机气制动阀试验方法, JB/NQ 113. 2—1986[S].

收稿日期:2013-09-06

Finite Element Analysis on Performance of Rubber Spring for Braking Valve

ZHANG Hong-bao

(Asia Strategy Investment Management Co., Ltd, Beijing 100015, China)

Abstract: The finite element analysis (FEA) model of the rubber spring for braking valve was established by using Abaqus non-linear FEA software to simulate its characteristics under vertical static loading, and the simulated results were compared with experimental test data. Then the existing product design was optimized by using the FEA model. After optimization, the rubber spring met the application requirements on rigidity and rigidity matching, the stress distribution was uniform, and there was no obvious stress concentration. This study provided important reference and basis for the rubber spring product development and optimization.

Key words: braking valve; rubber spring; finite element analysis

高热稳不溶性硫黄新工艺获奖

中图分类号:TQ330.38⁺5 文献标志码:D

2014年1月15日,江西省宜春市召开科技奖励大会。江西恒兴源化工有限公司完成的全密封管道式连续生产高热稳定性不溶性硫黄项目荣获市科技进步奖一等奖,其万吨级装置生产的不溶性硫黄产品主要技术性能达到国际先进水平。

据介绍,该项目将生产不溶性硫黄的全密封密闭管道按照工艺要求依次分为熔硫、升温、淬火、熟化、洗涤、分离和干燥工作区段,各工作区段之间由过渡管道连接。具体工艺流程为:硫黄原料从管道熔硫区进入,先后经熔硫、升温、淬火、熟化、洗涤、分离和干燥,最后从干燥工作区段尾部自动排出不溶性硫黄进行包装或进入其他后续工序。每个工序所需的最佳工艺条件都能得到最大程度的满足,既大幅提高了生产效率,又可保证产品质量;生产全过程均在密封的管道内进行,不会对环境造成气态或粉尘状的污染,大大改善了工

作环境,提高了生产安全性。该工艺生产的不溶性硫黄产品与美国产品性能相当,但价格更低。

专家表示,国内不溶性硫黄的分散性问题比热稳定性问题更为严重,产品的焦烧性能问题也不容忽视。因此,应全面改善不溶性硫黄生产工艺,不能仅在稳定剂上作文章。国内目前广泛应用的反应釜制取不溶性硫黄工艺技术虽然解决了工序工作温度控制问题,但连接管道易被硫黄堵塞,难以实现长时间连续生产,中间产品也易于从反应釜与管道连接处漏出,污染环境且物料损失大、生产成本低。

高热稳定性不溶性硫黄主要用于子午线轮胎的生产。由于我国对子午线轮胎的需求逐年增长,因此对高热稳定性不溶性硫黄的需求也不断提高。业内有关专家估计,2015年我国仅用于生产子午线轮胎的高热稳定性不溶性硫黄就将达到12万t。

(摘自《中国化工报》,2014-01-20)