

电机悬挂用橡胶垫的模拟研究及试验分析

荆学娜,王真真,边慧光*

(青岛科技大学 机电工程学院,山东 青岛 266061)

摘要:通过对电机悬挂用橡胶垫进行有限元计算,得到其应力分布状况;进而试验检测橡胶垫的胶料物理性能、常温静态刚度、抗压强度及其负荷与变形量的关系。结果表明,橡胶垫的胶料物理性能、常温静态刚度和抗压强度均在要求范围之内,有限元模拟与试验所得负荷-位移曲线基本相同,达到优化设计方案的目的,对于类似产品的设计及生产具有一定的参考价值。

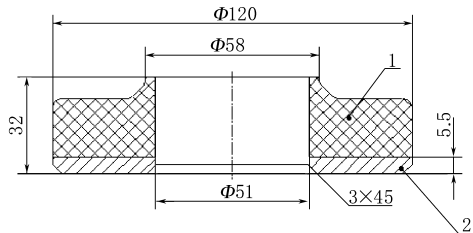
关键词:橡胶垫;垂向刚度;应力分布;有限元分析

中图分类号:TQ336.4⁺2;O241.82 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-890X(2012)10-0610-04

随着道路建设质量的提高,各种车辆的运行速度也越来越高。为了确保车辆运行的可靠性、舒适性,需要在车辆设备上增加橡胶垫等关键减震部件,从而使设备由刚性连接变为弹性连接,大大降低噪声,提高使用性能。本工作以电机悬挂用橡胶垫为例进行模拟研究及试验分析。

1 橡胶垫结构

本研究橡胶垫结构由橡胶和底板两部分组成,如图1所示,其中底板为钢制材料,橡胶品种为天然橡胶。



1—橡胶;2—底板。

图1 橡胶垫结构

2 有限元分析

本研究计算所用软件为著名通用非线性有限元分析软件 MSC. MARC2003,该软件分析材料

库提供了能准确模拟高度非线性聚合物、岩土和复合材料等复杂材料特性的材料模型。

2.1 模型简化及单元离散

橡胶垫为橡胶与金属板硫化到一起的弹性体结构,工作时底板固定,橡胶顶部承受垂向负荷,橡胶在垂向负荷作用下受力变形,从而起到减震和缓冲的作用。在建模时模拟实际工况,在橡胶的上平面上建立一个刚性体,在刚性体上施加垂向负荷,模拟橡胶面的受力。在不影响计算结果准确性的前提下,为便于模型收敛、提高计算效率,对结构做了部分简化,忽略了橡胶部分小的圆角和倒角。

为准确模拟橡胶材料的非线性特性,力学模型的有限元网格划分采用自由离散和手工离散方式生成,全部为八节点六面体单元,模型共有1 824个单元 2 352个节点,其中橡胶材料采用不可压缩的 Herrmann 单元,参数为 $C_{10} = 0.266$, $C_{01} = 0.066$;金属材料选用完全积分单元,弹性模量为 2.06×10^5 MPa,泊松比为 0.3。离散模型如图2所示。

2.2 负荷工况及边界条件

橡胶垫实际工作时底板固定,橡胶上表面承受垂向负荷,因此有限元计算时,将底板下平面的节点完全约束,在橡胶垫的上部刚体上加加载垂向负荷,垂向负荷的最大值为 50 kN。

2.3 计算结果及分析

橡胶垫在垂向负荷作用下的变形如图3所

作者简介:荆学娜(1981—),女,山东菏泽人,青岛科技大学在职硕士研究生,主要从事高分子材料及设备应用研究。

* 通信联系人

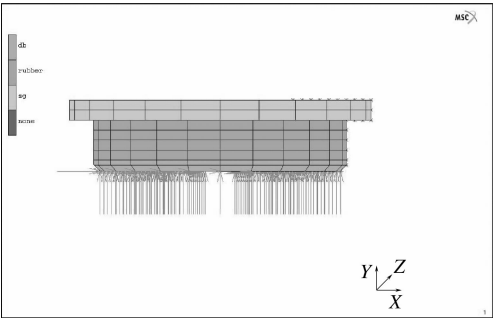


图 2 橡胶垫有限元模型

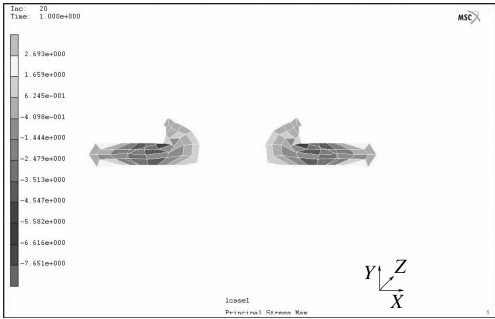


图 5 橡胶应力云图

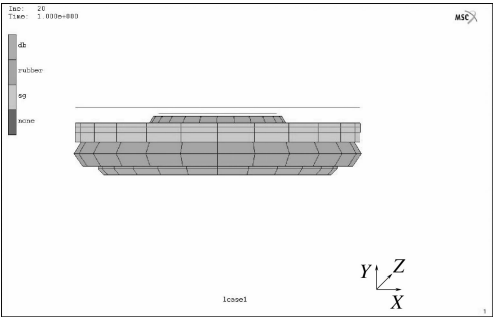


图 3 橡胶垫受力模型

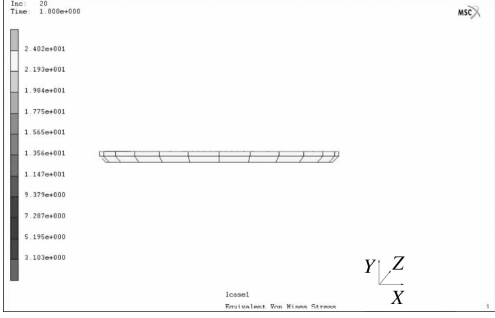


图 6 底板应力云图

示,负荷-位移模拟曲线如图 4 所示。

根据橡胶垫的负荷-位移曲线记录数据计算垂向刚度(K_v)为 $6.8 \text{ kN} \cdot \text{mm}^{-1}$ (要求不小于 $6.3 \text{ kN} \cdot \text{mm}^{-1}$)。橡胶制品的破坏主要是橡胶的破坏,橡胶的最大拉应力往往是造成橡胶破坏的主要原因,因此橡胶的拉应力应尽量小。橡胶垫中橡胶和底板的应力云图分别如图 5 和 6 所示。橡胶和底板在最大垂向负荷(50 kN)作用下的最大应力分别为 2.7 和 2.4 MPa。

图 4 橡胶垫负荷-位移模拟曲线

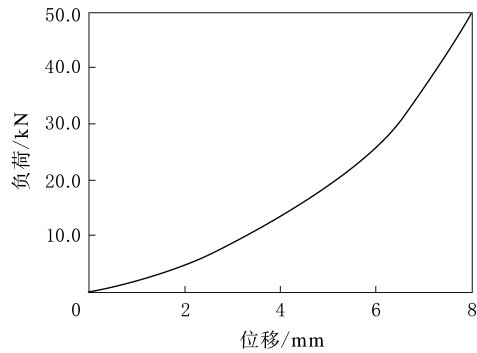


图 4 橡胶垫负荷-位移模拟曲线

3 试验

橡胶垫的性能关系到其极限负荷的大小和疲

劳寿命的长短^[1],从而影响车辆的运行,因此对其性能的研究十分必要。

本工作对橡胶垫的胶料物理性能、常温静态刚度和抗压强度等进行试验,将试验结果与标准值相比较,并将常温静态刚度试验结果与有限元模拟的结果相比较,分析应力分布状况,从而验证产品的设计方案。

3.1 试验设备

试验设备为 20T WDW-200 型综合性能试验机 and 橡胶材料试验机。

3.2 试验配方

橡胶垫的试验配方为:1# 烟胶片 100,炭黑 N220 22,混气炭黑 18,氧化锌 5,硬脂酸 3.5,防老剂 4010NA 2,防老剂 TPPD 1,防老剂 ODA 1,微晶蜡 2,硫黄 0.6,促进剂 TMTD 0.25,促进剂 CZ 1.5。硬度适当可调。

3.3 胶料物理性能试验

根据 TB/T 2843—2007《机车车辆用橡胶弹性元件通用技术条件》,对橡胶垫物理性能进行试验,试验内容包括橡胶垫常规性能、低温性能、耐热老化性能、耐臭氧性能、压缩永久变形、抗撕裂性能、橡胶与金属的粘合性能和压缩蠕变性能。试验结果如表 1 所示。

表 1 橡胶垫胶料物理性能测试结果

项 目	测试	标准
邵尔 A 型硬度/度	61	60±5
拉伸强度/MPa	26.8	≥15.0
拉断伸长率/%	640	≥350
撕裂强度/(kN·m ⁻¹)	70	≥26
与金属粘合强度/MPa	8.0	≥4.0
热空气老化后性能(70℃×72 h)		
硬度变化/度	+1	≤7
拉伸强度变化率/%	+1.1	≥-25
拉断伸长率变化率/%	-6.3	≥-25
恒定压缩永久变形(70℃×24 h)/%	12.0	≤30
脆性温度/℃	-55(未断)	≤-50
耐臭氧老化性能(40℃×24 h) ¹⁾	无龟裂	无龟裂

注:1)预伸长 5%,臭氧体积分数为 50×10⁻⁸。

由表 1 可以看出,橡胶垫所用胶料的物理性能均在标准所要求的范围内。

3.4 常温静态刚度试验

常温静态刚度试验的目的是检查橡胶垫处于常温时的静态垂向刚度,试验根据 TB/T 2843—2007《机车车辆用橡胶弹性元件通用技术条件附录 A》,以 10 mm·min⁻¹的试验速率从 2.0 kN 加载到 50.0 kN,往复循环 3 次,第 3 个循环记录负荷-位移数据,并绘制曲线(见图 7)。在第 3 个循环的压缩段,根据下式计算橡胶垫的垂向刚度:

$$K_v = \frac{P}{y}$$

式中 P ——作用在上表面的负荷;
 y ——上表面在垂向负荷作用下的位移。

橡胶垫样品 1 和 2 常温静态垂向刚度试验计算结果分别为 6.29 和 6.48 kN·mm⁻¹。

3.5 抗压强度试验

抗压强度试验的目的是检查橡胶垫橡胶层与金属的粘合强度。试验根据 TB/T 2843—2007《机车车辆用橡胶弹性元件通用技术条件附录

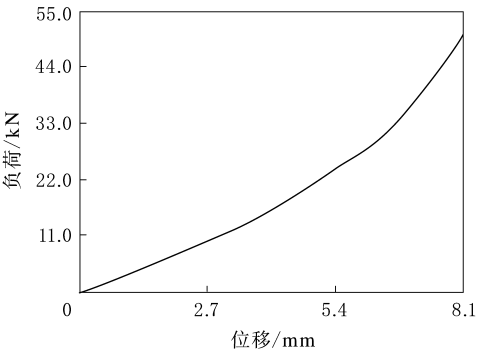


图 7 橡胶垫负荷-位移试验曲线

C》,以 10 mm·min⁻¹的加载速率从 2.0 kN 加载到 70.0 kN,在 70.0 kN 的压力下保持 3 min,然后卸载,查看橡胶表面有无鼓包、裂口和橡胶与金属件之间开胶等异常现象及试验曲线是否光滑无异常抖动。试验结果如下:位移 9.6 mm,刚度 7.29 kN·mm⁻¹;无鼓包、裂口和橡胶与金属件之间开胶等现象,试验曲线光滑无异常抖动。

4 结语

根据试验结果,橡胶垫的胶料物理性能、常温静态刚度和抗压强度均在要求范围之内,满足使用要求。比较有限元模拟与试验所得负荷-位移曲线,发现二者基本相同。由此可见,本研究模拟结果与实际非常接近,有限元法在该类零部件的计算中可以应用。

综上所述,橡胶垫设计方案的刚度性能满足产品设计要求,在最大负荷 50 kN 下的应力满足使用要求。

参考文献:

[1] 李正中,陈玉骥.用 ANSYS 计算拱形橡胶减震垫的极限荷载 [J].海南大学学报(自然科学版),2005,23(3):238-241.

收稿日期:2012-04-29

Simulation and Experimental Analysis of Rubber Pad for Motor Suspension

JING Xue-na, WANG Zhen-zhen, BIAN Hui-guang
(Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China)

Abstract: Finite element analysis of the rubber pad for motor suspension was carried out and the stress distribution was obtained. The physical properties of compound, the static stiffness at normal temperature and compressive strength of the rubber pad, and the relationship between applied load and

deformation were tested. The results showed that, the physical properties of compound, the static stiffness at normal temperature and compressive strength of the rubber pad met the standard requirements. The load-displacement curve from finite element simulation was basically consistent with test results. The design was optimized by using simulation results and this method could give a reference for the design and production of similar products.

Key words: rubber pad; vertical stiffness; stress distribution; finite element analysis

朗盛全球最大钕系顺丁橡胶工厂 在新加坡破土动工

中图分类号: F276.7; TQ333.2 文献标志码: D

2012 年 9 月 11 日, 朗盛全球最大的钕系顺丁橡胶(NdBR)工厂在新加坡裕廊岛破土动工。这座工厂投资约 2 亿欧元, 设计年产能 14 万 t, 将于 2015 年上半年投产, 建成后将服务于不断增长的绿色轮胎市场, 尤其是亚洲市场。预计该工厂将新增 100 个就业岗位。

朗盛集团管理董事会主席贺德满博士在奠基仪式上表示: “我们很高兴在新加坡又建设一座大型橡胶生产设施, 这彰显了我们对于绿色机动的坚定承诺。朗盛对于技术的专注帮助轮胎降低滚动阻力进而减少油耗, 使消费者和环境保护事业都受益其中。”

德国驻新加坡大使 Angelika Viets 以及新加坡经济发展局主席叶成昌(Leo Yip)出席了奠基仪式。

新加坡石化公司将负责供应大部分丁二烯, 新加坡大士能源公司下属子公司 TP Utilities Pte Ltd 将负责向这家新工厂供应蒸汽。福斯特惠勒亚太有限公司(Foster Wheeler Asia Pacific Pte Ltd)负责工厂的工程与施工。

绿色轮胎是轮胎行业中增长最快的市场, 全球每年增长率达到 10%。亚洲的增速更快, 达到了每年 13%。自 2012 年 11 月起, 欧盟将开始强制实施轮胎标签法, 根据轮胎的燃油效率、湿地抓着力以及滚动噪声, 将轮胎分为 A~G 级。新的标签法通过强调绿色轮胎的附加值, 为消费者增加了透明度。根据慕尼黑工业大学的研究, 到 2017 年, A 和 B 级轮胎在欧盟市场中的份额有望达到 20%~30%, 到 2022 年将达到 70%~80%。而日本和韩国是全世界最早推行轮胎标签法的国家。日本从 2010 年 1 月便开始推行自愿的轮胎

标识, 韩国从 2011 年 11 月起开始推行非强制标识体系, 并将于 2012 年 12 月引入强制标识体系。在未来几年中, 巴西、美国和中国等也计划推行类似法规。

朗盛与 Frost&Sullivan 咨询公司共同进行了一项调查研究表明, 假如新加坡所有车辆都使用绿色轮胎, 每年将能够减少 357 468 t 二氧化碳排放, 节省 1.46 亿 L 燃油。

NdBR 用于制造绿色轮胎的胎面和胎侧, 帮助降低滚动阻力, 提高轮胎的燃油效率。NdBR 具有超强的耐磨性能, 为提高轮胎的安全性以及最重要的耐久性起到了重要作用。同时含有 Nd-BR 和溶聚丁苯橡胶的绿色轮胎能够达到最佳的性能。溶聚丁苯橡胶主要用于胎面, 有助于降低滚动阻力, 改善湿地抓着力。

贺德满博士说: “现在, 我们正在从轮胎设计的时代步入轮胎材料的时代, 材料将决定轮胎性能的优劣。朗盛为开发下一代的轮胎起到了重要的作用。”

研究显示, 车辆 20%~30% 的燃油消耗以及道路车辆 24% 的二氧化碳排放与轮胎有关。而绿色轮胎可以减少 5%~7% 的燃油消耗, 而且与其他汽车节油技术相比, 成本摊销更快。

NdBR 隶属于朗盛的高性能顺丁橡胶业务部。这种高度创新的橡胶产品目前已在德国多尔马根、巴西卡布、法国杰罗姆港、美国得州的奥兰治等地生产。除轮胎外, NdBR 可以在高抗冲聚苯乙烯的注塑成型中用于其改性以及用于高尔夫球、跑鞋和传送带的生产等。高性能顺丁橡胶业务部隶属于朗盛高性能聚合物板块, 该板块 2011 年实现销售收入 51 亿欧元。

另外, 紧邻的丁基橡胶工厂将于 2013 年第 1 季度如期投产。

(本刊编辑部 黄丽萍)