

# 橡胶球铰性能试验与分析

王叶青<sup>1</sup>, 王进<sup>2</sup>, 林达文<sup>2</sup>

(1. 湖南工业大学 包装与材料工程学院, 湖南 株洲 412007;  
2. 株洲时代新材料科技股份有限公司, 湖南 株洲 412007)

**摘要:** 以某一橡胶球铰产品为例, 通过对其进行径向、轴向、偏转和扭转4个方向的刚度试验和疲劳试验, 分析了影响其主要性能参数——刚度的关键因素。试验结果表明: 胶料硬度和预压量是影响橡胶球铰刚度性能和疲劳寿命的主要因素, 且周向预压量对橡胶球铰轴向刚度及疲劳寿命影响较大。

**关键词:** 橡胶球铰; 刚度试验; 疲劳试验

中图分类号: TQ336.4<sup>+</sup>2

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2011)04-0037-04

## Performance Test and Analysis for Rubber Bushing

Wang Yeqing<sup>1</sup>, Wang Jin<sup>2</sup>, Lin Dawen<sup>2</sup>

(1. School of Packaging and Materials Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China;  
2. Zhuzhou Times New Materials Technology Co., Ltd, Zhuzhou Hunan 412007, China)

**Abstract:** With a rubber bushing product as an example, the key factors to affect the main performance parameters of rubber bushing were analyzed through the four-directions stiffness tests and fatigue tests. The results show that the main influencing factors about stiffness and fatigue life of rubber bushing are the rubber hardness and pre-compression, and the effect of circumferential pre-compression on the bushing axial stiffness and fatigue life is greater.

**Keywords:** rubber bushing; stiffness test; fatigue test

## 0 引言

橡胶球铰是由橡胶和金属件复合而成的弹性连接体, 它具有柔性联接和缓冲振动冲击的作用, 被广泛应用于柔性联接位置, 起减振降噪的作用。随着现代交通技术的发展, 对汽车、火车等主要交通工具的安全性和舒适性提出了更高要求。橡胶球铰替代传统的滑动和滚动轴承, 利用其多方向形变和弹性及橡胶的黏弹性, 在汽车、火车等交通工具中主要起悬挂、传力、隔振、缓冲和定位的作用, 可承受来自径向、轴向、偏转和扭转等多向载荷的疲劳作用和瞬时冲击<sup>[1]</sup>。橡胶球铰不会产生机械摩擦,

无需润滑, 噪音低, 结构简单, 无需维护, 是目前国内外应用较为广泛的减震装置中的关键零件。

刚度是表征橡胶球铰类产品的重要参数, 静刚度反映橡胶球铰在静态条件下承受作用力的能力, 在一定的变形条件下, 静刚度值越大, 其承受载荷的能力越大。橡胶球铰是一种金属橡胶复合件, 在使用过程中, 橡胶因产生各向变形会造成开胶、老化等问题, 因此, 橡胶产品的疲劳寿命至关重要。本文以某橡胶球铰产品为例, 对其进行径向、轴向、偏转和扭转4个方向的刚度试验和疲劳试验, 并分析影响其主要性能参数和疲劳寿命的关键因素。

收稿日期: 2011-04-01

作者简介: 王叶青(1985-), 女, 湖南株洲人, 湖南工业大学硕士生, 主要从事橡胶产品性能试验及工装设计,

E-mail: xwanganq1110@163.com

## 1 试验与数据处理

### 1.1 橡胶球铰的结构特点

橡胶关节种类繁多,可按不同特征进行分类。按结构形状可分为圆柱环形和球形。圆柱环形橡胶关节多以承受径向或轴向载荷为主,同时还承受扭转载荷;球形橡胶关节多用于既承受径向或轴向载荷,又承受扭转和扭摆载荷的万向运动场合。按安装结构不同,又可分成带芯轴的和不带芯轴的2种。不带芯轴的橡胶关节安装在原机构已有芯轴或销上承受载荷的位置,带芯轴的橡胶关节多用于原机构无芯轴或销的接合部位。芯轴的结构有平轴和凸轴之分,芯轴结构对刚度影响较大,按其生产工艺可分为整体硫化型和压入式2类,按其外套结构可分为整体外套型和分瓣外套型2类,结构不同,刚度性能及疲劳寿命也不同<sup>[1]</sup>。连杆上关节球铰是一种常见的橡胶球铰关节,一般由芯轴、金属件外套和橡胶层组成,其结构见图1。

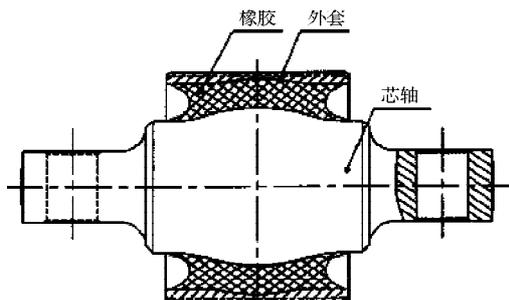


图1 橡胶球铰结构图

Fig. 1 The structure of rubber bushing

### 1.2 试验环境与设备

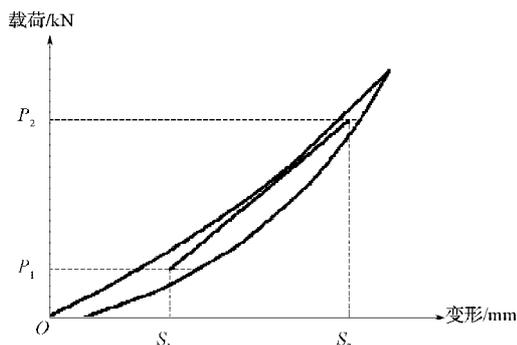
因为温度会影响橡胶的力学特性,测试时须保证试件温度控制在要求范围内。性能试验要求的标准温度为5~35℃,所以试验过程中,使环境温度保持在标准温度(23±2)℃下进行,并使产品与环境调节时间不少于24h<sup>[2]</sup>。

试验设备:CSS-5530电子万能试验机,长春试验机厂;ND-1000C微机控制电子扭转试验机,长春试验机厂;英国产Instron8802动刚度试验机。为尽可能模拟产品的实际安装状态,根据产品结构形状、加载方式和使用工况,需设计必要的工装如外套、压装筒、偏转支座等。

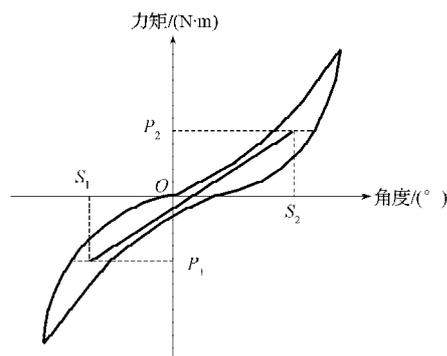
### 1.3 数据处理方法

根据TB/T 2843—2007《机车车辆用橡胶弹性元件通用技术条件》进行试验,加载载荷1个周期约1~2min,正式加载前停顿时间不少于3min,试验所得载荷-变形关系见图2。分图a)采用橡胶球铰径

向、轴向加载卸载方式。对试件加载时,从0加载到试验载荷上限,然后以加载速度卸载到0,连续重复上述试验过程2次,第3次正式试验时记录载荷-变形曲线和数据。分图b)采用橡胶球铰偏转、扭转正反2个方向加载卸载方式。对试件加载时,从0开始加载到试验载荷上限,以加载速度卸载到0,反方向加载到下限,以相同速度卸载到0,连续重复上述试验过程2次,第3次正式试验时记录载荷-变形曲线和数据。



a) 径向、轴向刚度



b) 扭转、偏转刚度

图2 载荷-变形曲线

Fig. 2 The curve for load-deformation

一般物体的刚度是非线性的,因受力变形形成迟滞回线,回线所包围的面积即为物体由加载到卸载所耗散的能量。物体在力的作用下发生变形,力与相变形之商即为物体的静刚度,其试验计算公式为

$$K = (P_2 - P_1) / (S_2 - S_1) = \Delta P / \Delta S, \quad (1)$$

式中:K为静刚度,kN/mm, N·m/(°);

$P_1$ 和 $P_2$ 为载荷/力矩下限和上限,kN/(N·m);

$S_1$ 和 $S_2$ 为变形/偏转角下限和上限,mm/(°)。

静刚度的计算范围由委托方给定,一般可以取 $P_1=0.03P_2$ 。(用于扭转或偏摆试验时, $P$ 和 $S$ 分别代表扭矩和扭转角/偏转角)。

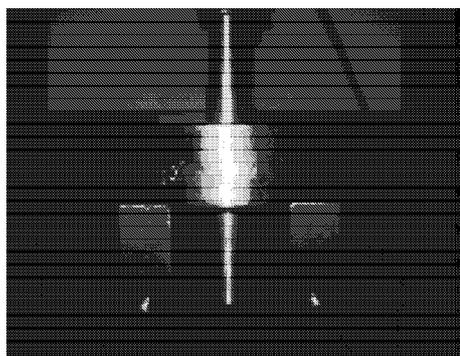
## 2 试验结果与分析

对橡胶球铰产品进行静态四向刚度试验<sup>[3]</sup>。检

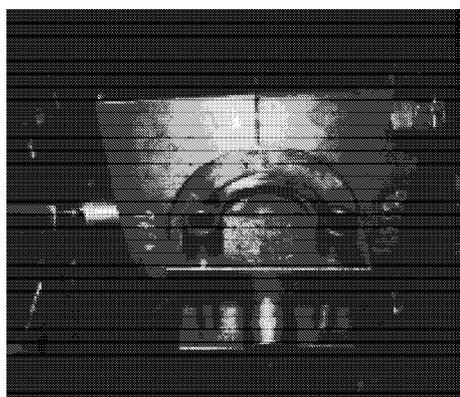
验加载方法如图3所示。



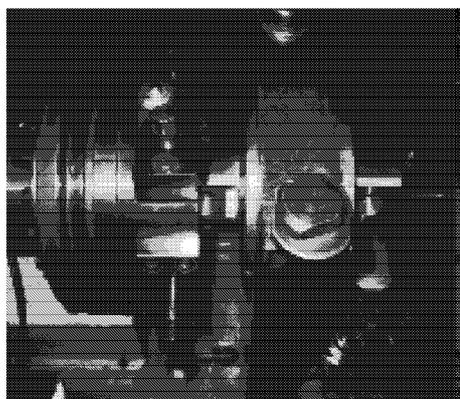
a) 径向加载



b) 轴向加载



c) 扭转试验



d) 偏转试验

图3 四向刚度试验图

Fig. 3 The chart of four-directions stiffness tests

试验时, 径向加载 20 kN, 轴向压缩 4 mm, 偏转

$\pm 6^\circ$ , 扭转  $\pm 6^\circ$ 。分别计算 9.8~19.6 kN 的径向刚度, 1~4 mm 的轴向刚度,  $-6^\circ$ ~ $6^\circ$  的偏转和扭转刚度。由式(1)计算橡胶球铰产品静态试验的四向刚度值, 结果见表1。

表1 静态四向刚度试验数据

Table 1 The data of static four-directions stiffness tests

产品 编号	橡胶硬度 (shoreA)/(°)	径向/ (kN·mm <sup>-1</sup> )	轴向/ (kN·mm <sup>-1</sup> )	偏转/ (N·m·(°) <sup>-1</sup> )	扭转/ (N·m·(°) <sup>-1</sup> )
1#	45	19.64	2.22	26.16	37.01
2#	45	19.98	2.15	27.01	37.43
3#	45	18.25	2.03	26.11	36.74
4#	50	20.83	2.14	26.16	38.59
5#	55	20.33	2.30	27.49	40.33
6#	65	20.46	2.30	27.37	40.27

对产品做完静态刚度试验后, 再对硬度相同的 1#、2# 和 3# 产品进行疲劳试验。将 1# 产品安装于疲劳试验机台上, 进行径向疲劳试验, 加载为  $\pm 15$  kN, 频率为 1 Hz, 循环 200 万次, 观察产品外观无破坏。疲劳试验后, 据式(1)计算得径向刚度值为 17.78 kN/mm, 与静态试验值相比, 刚度变化率为 9.5%。

将 2# 产品安装于疲劳试验机台上, 进行偏转疲劳试验, 偏转量为  $\pm 5.7^\circ$ , 频率 1 Hz, 循环 200 万次, 观察产品外观无破坏。疲劳试验后, 据式(1)计算可得径向刚度值为 18.17 kN/mm, 与静态试验值相比, 刚度变化率为 9.05%。

将 3# 产品安装于疲劳实验台上, 进行扭转疲劳试验, 扭转量为  $\pm 6^\circ$ , 频率 1 Hz, 循环 200 万次, 观察产品无破坏。疲劳试验后, 据式(1)计算径向刚度值为 17.78 kN/mm, 刚度变化率为 9.08%。其轴向刚度试验后, 刚度值为 2.03 kN/mm, 变化率为 7.77%。

据以上试验可知: 产品的疲劳寿命性能较好, 在实际工况下刚度变化率较小, 符合要求。而随着胶料硬度的增加, 产品各向刚度随之增加, 但当胶料硬度增至一定值后, 产品刚度却保持恒定。橡胶产品性能不仅与其结构设计有关, 还与胶料性能密切相关, 为了更好地指导生产, 对产品进行四向刚度试验及疲劳试验很有必要。

橡胶球铰在使用过程中, 橡胶承受拉伸应力的能力较差, 导致橡胶关节使用寿命缩短。而相对扭转与偏转来说, 橡胶球铰更多的是承受轴向和径向的工作载荷。当橡胶处于预压缩状态时, 其预压缩量的值应大于使用过程中产生的拉伸应力值, 以提高其使用寿命<sup>[4-5]</sup>, 但如何控制产品预压量是产品设计者棘手的问题。根据产品结构和受力特性, 利用有限元分析产品预压量对径向刚度的影响, 再通过改变预压量测得产品实际径向刚度、轴向刚度值及

对疲劳寿命的影响, 试验结果如图4~6所示。

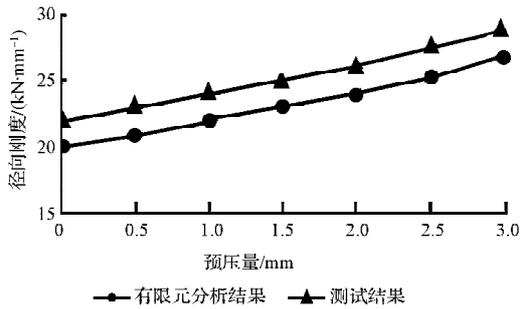


图4 预压量-径向刚度曲线

Fig. 4 The stiffness curve of preload-radial

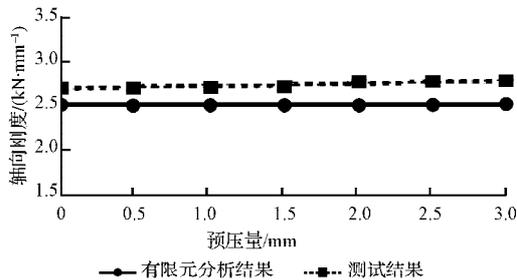


图5 预压量-轴向刚度曲线

Fig. 5 The stiffness curve of preload-axial

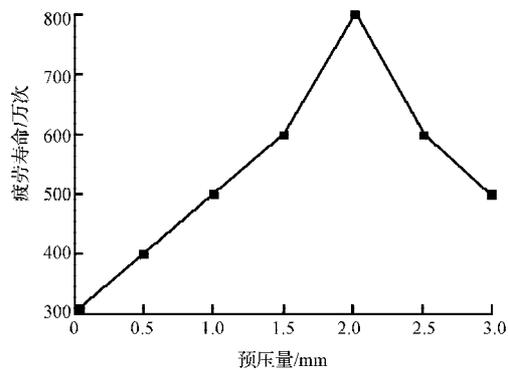


图6 预压量与径向疲劳寿命关系曲线

Fig. 6 The curve of preload-radial fatigue life

据图4可知, 径向预压量对产品的径向刚度影响较大, 随着预压量的增加, 径向初始刚度也相应增加, 并成非线性。由图5可见, 一定的轴向预压量对产品轴向刚度影响很小, 预压量变化时, 轴向刚度基本为一恒值。图6显示, 随着预压量的增加, 连杆上关节球铰的疲劳破坏次数增加, 但当预压量达到一定值时, 疲劳破坏次数又会降低, 因此, 通过实验可确定产品的最佳预压量。利用实验与理论分析相结合的方法可知, 周向预压量是影响球铰径向、轴向刚度及疲劳寿命的关键因素。

### 3 结语

随着我国轨道交通事业的不断发展, 橡胶球铰类产品也在不断地改进创新。根据工作条件和使用环境选择合适的橡胶材料, 设计合理的结构形式, 再通过对产品进行四向刚度试验及疲劳试验, 以验证产品性能, 探究影响其刚度性能和疲劳寿命的关键因素(如胶料硬度、预压量、橡胶层的厚度等)及规律。橡胶球铰产品应用广泛, 今后一定要加大对结构和工艺性能的研究, 提高产品质量, 延长产品寿命, 促进交通事业的发展。

#### 参考文献:

- [1] 王进, 彭立群, 侯海彪, 等. 轨道交通用橡胶关节的结构与特性[J]. 世界橡胶工业, 2006, 33(8): 22-25.  
Wang Jin, Peng Liqun, Hou Haibiao, et al. The Structure and Character of Bushing Used for Railways[J]. World Rubber Industry, 2006, 33(8): 22-25.
- [2] 中华人民共和国铁道部. TB/T 2843—2007 机车车辆用橡胶弹性元件通用技术条件[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2008.  
The Ministry of Railways of the People's Republic of China. TB/T 2843—2007 General Technical Specification for Elastic Parts for Railways[S]. Beijing: China Railway Publishing House, 2008.
- [3] 黄友剑, 刘国钧, 王进. 橡胶球铰在四个加载方向下的刚度特性研究[C]//中国化工学会橡胶专业委员会世界橡胶年会: C卷. 北京: 中国化工学会, 2004: 334-338.  
Huang Youjian, Liu Guojun, Wang Jin. Study on the Stiffness of Rubber Ball Joint in Four Direction Loading [C]//The World Rubber Annual Meeting of Rubber Professional Committee of Chinese Chemical Society: Volume C. Beijing: Chinese Chemical Society, 2004: 334-338.
- [4] 荣继刚, 黄友剑, 唐先贺, 等. 预压量对橡胶球铰综合性能的影响[J]. 特种橡胶制品, 2006, 27(2): 36-39.  
Rong Jigang, Huang Youjian, Tang Xianhe, et al. Effect of Pre-compression on Comprehensive Performance of Rubber Bushing[J]. Special Purpose Rubber Products, 2006, 27(2): 36-39.
- [5] 林达文, 刘英, 李心, 等. 机械式橡胶球铰疲劳试验机及其应用[J]. 机械工程师, 2010(6): 40-41.  
Lin Dawen, Liu Ying, Li Xin, et al. Mechanical Fatigue Test Machine for Rubber Bushing and Its Application[J]. Mechanical Engineer, 2010(6): 40-41.

(责任编辑: 李玉珍)