

# 新 产 品 新 技 术

## 变刚度等应变橡胶轴箱弹簧的设计

邹 波, 左国兵, 黄自华, 唐先贺, 刘建勋

(株洲时代新材料科技股份有限公司, 湖南 株洲 412007)

**摘要:** 详细介绍了变刚度等应变橡胶轴箱弹簧的结构特点。静刚度及疲劳试验结果表明: 与老结构产品相比, 新结构产品能够满足主机厂提出的技术参数要求, 并且具有优异的耐疲劳性能和使用可靠性。

**关键词:** 变刚度; 等应变; 橡胶轴箱弹簧; 有限元分析; 疲劳试验

橡胶轴箱弹簧是我公司开发的一种典型产品, 广泛用于地铁、轻轨、有轨电车、高速列车转向架的轴箱部位(见图 1), 是车辆转向架上一个非常重要的弹性元件。轴箱弹簧是用于车辆转向架一系减震的元件(故又称一系簧), 它给构架提供垂向、纵向和横向柔性支撑和定位, 运行中起减震作用, 改善车辆运行品质, 提高乘坐舒适性, 降低轮缘及轨道磨损。

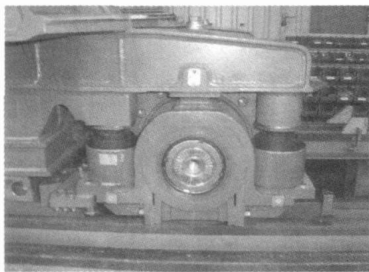


图 1 橡胶轴箱弹簧安装示意

### 1 变刚度等应变轴箱弹簧的结构及性能

#### 1.1 结构特点

本设计变刚度等应变轴箱弹簧(见图 2)是一种典型的橡胶-金属复合轴箱弹簧类产品, 由外套、隔片、芯轴和橡胶经过硫化形成一个整体, 然后再装配内六角头螺钉、上盖板。

#### 1.2 变刚度特点

表 1 是某轴箱弹簧垂向刚度技术要求。根据设计, 当载荷较小时, 产品的垂向刚度成线性变化趋势(见图 3), 垂向刚度较小; 当载荷加大, 最外层橡胶变形较大, 橡胶与上盖板发生干涉(见图 4),

表 1 轴箱弹簧技术要求

| 项 目                                     | 指标      |
|-----------------------------------------|---------|
| 8 ~ 18 kN 下刚度/(kN · mm <sup>-1</sup> )  | ≤ 0.7   |
| 17 ~ 27 kN 下刚度/(kN · mm <sup>-1</sup> ) | ≤ 0.9   |
| 11.6 ~ 25 kN 下的挠度/mm                    | 14 ~ 16 |

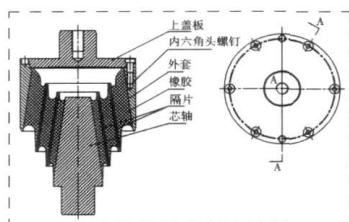


图 2 橡胶轴箱弹簧结构特点

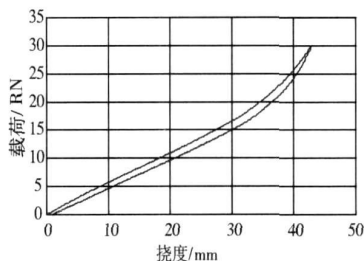


图 3 垂向刚度曲线特点

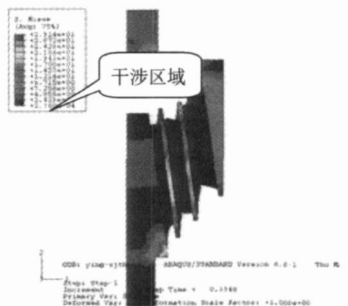


图 4 大载荷下最外层橡胶与上盖板发生干涉

使产品的垂向刚度陡然增加,呈非线性变化趋势。

根据理论计算,当载荷过大时,如果上盖板不与橡胶发生干涉,产品的垂向刚度将会依然呈线性变化趋势。这样,整个产品在 11.6 ~ 25.0 kN 下的挠度值将无法达到 14 ~ 16 mm 之间的技术要求。根据试验数据得出,没有上盖板的干涉,挠度值约为 20.5 mm (见图 5)。这样产品的变形增加,构架下沉严重,可靠性降低。

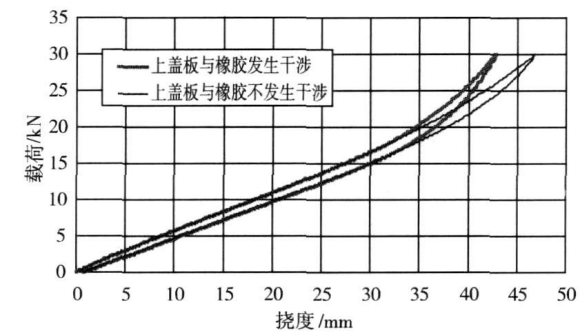


图 5 干涉与否情况下的垂向刚度曲线

1.3 等应变特点

以前在设计轴箱弹簧时,往往考虑的是每层橡胶的刚度相等。这样,在一定的载荷下,每层橡胶在垂直方向上的变形相等。考虑到轴箱弹簧每层橡胶的周长等因素,往往结构设计成最外层橡胶最薄、最里层橡胶最厚(见图 6),  $A < B < C$ 。这样一来,将会造成最外层橡胶的剪切应变最大,最里层橡胶的剪切应变最小,会出现外层橡胶脱胶的情况。为了改善这种状态,考虑到轴箱弹簧的橡胶主要是剪切破坏,新设计采用了等应变的原则(如图 7),  $A > B > C$ 。这样虽然每层橡胶的刚度不相等,且每层橡胶的垂向变形都不一致,但是每层橡胶的剪切应变是一致的(见表 2)。

2 变刚度等应变结构设计优点

2.1 变刚度设计优点

因为轴箱弹簧在使用中存在载荷较大变化(空车-满载-超载),车辆运行线路的曲率半径小的特点,地铁及轻轨车辆的轴箱弹簧垂向静态刚度普遍要求如下。

轻载下(小位移时),产品应具备较小的垂向刚度,以避免车辆脱轨倾向,特别是在空车过小曲率弯道时。

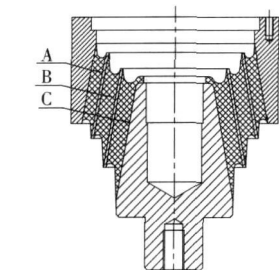


图 6 等刚度设计方案

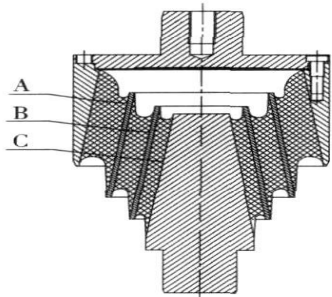


图 7 等应变设计方案

表 2 等应变结构参数

| 胶层  | 垂向刚度/<br>(kN · mm <sup>-1</sup> ) | 橡胶体积/mm <sup>3</sup> | 压缩应变 | 剪切应变 |
|-----|-----------------------------------|----------------------|------|------|
| 第一层 | 1.75                              | 585 748              | 0.10 | 0.80 |
| 第二层 | 1.82                              | 281 246              | 0.14 | 0.80 |
| 第三层 | 2.38                              | 138 918              | 0.17 | 0.80 |

满载时,产品应具备适当偏大的垂向刚度,以保证车体高度无过大的下降,从而保证驱动机构与轮对的理想位置以及车厢与站台的基本平齐。

超载时,产品应具备较大的垂向刚度,以保证驱动机构与轮对的相互位置不致恶化。

变刚度结构保证了以上 3 个基本原则,既可以保证安全性,又兼顾了车辆运行的舒适性要求。

2.2 等应变设计优点

由于采用了等应变结构设计,使产品每层橡胶的剪切应变基本相等,保证了 3 层橡胶的可靠性,不会使某层橡胶出现明显的薄弱环节。大大延长了产品的疲劳寿命,也使车辆运行的可靠性大大提高。

3 结构的有限元分析

为了研究结构的受力状况,对变刚度等应变设计结构进行有限元计算分析。在最大载荷情况下,分析橡胶及金属的受力状态。该结构产品在垂向载荷下的有限元分析见图 8 和 9 所示。



图 8 轴箱弹簧的有限元网格模型

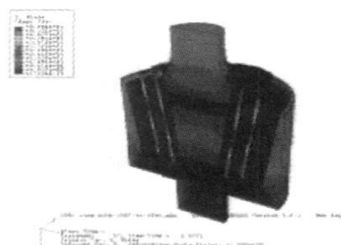


图 9 最大载荷下结构的应力分析

根据有限元分析结果,设计产品能够满足客户要求,且橡胶的最大应力为 4.7 MPa,金属的最大应力为 173 MPa(金属材料选用 40Cr,屈服强度为 590 MPa),都远远小于材料的屈服强度,因此产品的可靠性得到很好的保证。

#### 4 疲劳试验结果

根据试验得出,产品的垂向刚度完全达到了预期设计目的(见表 3)。

为验证产品的可靠性,我们根据客户的载荷谱进行了 200 万次的疲劳试验,试验结果见表 4,疲劳试验后产品见图 10。根据试验结果得出,产

表 3 垂向刚度要求与实测结果

| 项目  | 8~18 kN 下刚度/<br>(kN · mm <sup>-1</sup> ) | 17~27 kN 下刚度/<br>(kN · mm <sup>-1</sup> ) | 11.6~25 kN 下<br>的挠度/mm |
|-----|------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------|
| 要求  | ≤0.7                                     | ≤0.9                                      | 14~16                  |
| 实测值 | 0.65                                     | 0.88                                      | 14.54                  |

表 4 垂向疲劳试验结果

| 项 目                         | 疲劳前    | 疲劳后    | 变化率/% |
|-----------------------------|--------|--------|-------|
| 刚度/(kN · mm <sup>-1</sup> ) | 0.650  | 0.613  | -5.7  |
| 压缩高度/mm                     | 143.65 | 141.81 | -1.84 |

注:疲劳条件为 19±7 kN, 4 Hz, 200 万次。



图 10 疲劳试验后产品

品的疲劳性能非常优异,疲劳后外观良好,无任何橡胶与金属剥离、橡胶发粘、橡胶本体开裂等现象,完全可以达到客户要求。

#### 5 结语

经过详细的计算及实际结构的测量,本产品的垂向刚度能够满足设计要求,疲劳性能得到大幅度改善。该产品结构特别适合各种轻轨、地铁、有轨电车、高速列车上的轴箱弹簧使用,包括二系空气弹簧下的辅助弹簧也可采用该种结构,应用范围非常广阔。

### 米其林推出三款高性能轮胎

在第六届中国国际改装汽车展览会上米其林推出了 3 款适合于我国车辆升级用的高性能轮胎。作为高性能运动轮胎的领先生产商,米其林已在我国市场上推出了一系列符合我国需求的轮胎产品,其高性能轮胎的规格品种众多。

米其林推出的 3 款高性能轮胎包括 PP2 轮胎、PS2 轮胎以及适用于高性能 SUV 车辆的 Latitude Sport(LS)轮胎。3 款轮胎针对不同的用户,均具有独特的性能和特点。

PP2 轮胎是一款专为亚洲道路和气候条件设计的运动型轮胎。PP2 轮胎稳定的花纹块结构能

提高车辆在高速转向或转弯的抓着性能和操控性能;4 条纵向沟槽以及其它细小沟槽可以保证轮胎良好的排水性能;白炭黑/炭黑并用胎面胶提高了轮胎的抗湿滑性能并保证了轮胎的低滚动阻力和优异耐磨性能。

PS2 轮胎适用于高性能运动轿车。与 PP2 轮胎相比,PS2 轮胎具有更好的运动操控性和驾驶精准性。PS2 轮胎宽大的花纹块结构可确保车辆高速行驶稳定,并给驾驶者带来超优的运动操控性。

专用于高端 SUV 车辆的 LS 轮胎具有优异的干湿牵引性能,能够在任何条件下实现轮胎接地面积最大化,满足车辆在运动驾驶方面极高的要求。

钱伯章