

研  
究  
开  
发

# 机车用二系旁承橡胶堆结构分析

林立钊, 张亚新, 许呈祥, 艾 敏

(株洲时代新材料科技股份有限公司 弹性元件事业本部, 湖南 株洲 412007)



作者简介:林立钊(1975-),男,工程师,主要从事轨道车辆用橡胶弹性减振元件的设计开发。

**摘 要:**介绍了一种球面式圆形橡胶堆结构,通过对比其与平板式圆形橡胶堆的FEA分析结果及试验验证结果,表明了球面式圆形橡胶堆比平板式圆形橡胶堆有更好的垂向刚度与剪切刚度匹配性及更好的疲劳性能。

**关键词:**旁承橡胶堆;球面结构;刚度匹配;疲劳性能;二系悬挂

**中图分类号:**U260.331+.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-128X(2011)03-0031-03

## Structure Analysis of Secondary Rubber Side Bearer Pad for Locomotive

LIN Li-dian, ZHANG Ya-xin, XU Cheng-xiang, AI Min

(Elastomeric Components Division, Zhuzhou Times New Material Technology Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412007, China)

**Abstract:** Structure of a spherical rubber pad was introduced. With the comparison of FEA analysis and test results to flat round rubber pad, spherical round rubber pad was proved to have better vertical-shear-stiffness matching and fatigue behavior.

**Key words:** side bearing rubber pad; spherical structure; stiffness matching; fatigue behavior; secondary suspension

### 0 引言

橡胶堆旁承广泛应用于机车的二系悬挂,是机车车体与转向架间的连接装置,其作用是使机车上部质量均匀分配到转向架上以保证轴重的均匀分配、横向力的正常传递,并使转向架在机车过曲线时能相对于车体回转,缓和线路不平顺对机车的冲击以及保证机车具有较好的运行平稳性和稳定性。因此,其刚度性能及疲劳性能对机车的动力学性能及可靠性有重要影响。

橡胶堆按其外形分主要有2种,矩形橡胶堆(如用于DF<sub>8B</sub>二系旁承橡胶堆)和圆形橡胶堆(本文所述)。本文通过比较用于某种转向架的2种圆形橡胶堆的结构,介绍了球面结构圆形橡胶堆的结构及性能特点。

### 1 圆形橡胶堆旁承的使用环境及性能要求

使用该种橡胶堆旁承的转向架如图1所示。该种转向架的二系弹簧包括2个橡胶堆旁承及1个橡胶堆中心支撑。橡胶堆旁承的最大外径270 mm,名义载荷144 kN,在名义载荷下的压缩高180 mm。橡胶堆旁承的

刚度要求及疲劳条件如表1和表2所示。

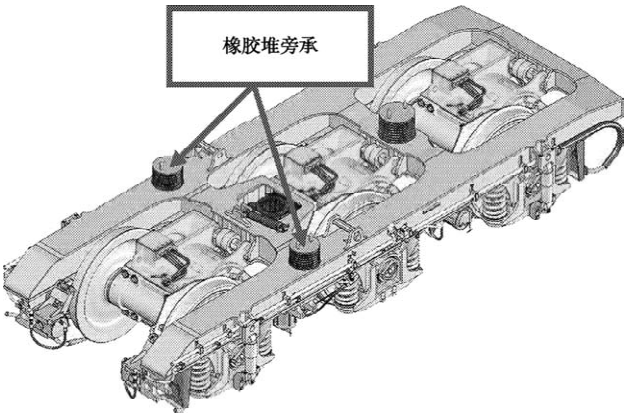


图1 应用圆形橡胶堆的转向架

表1 刚度要求

| 垂向刚度 / $\text{kN} \cdot \text{mm}^{-1}$ | 剪切刚度 / $\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$ |
|-----------------------------------------|----------------------------------------|
| 13.5 (1 ± 20%)                          | 80 (1 ± 20%)                           |

从表1可知,该橡胶堆旁承的垂向刚度大,剪切刚度远小于垂向刚度,刚度匹配是该产品的一个难点。

从表2可知,该橡胶堆旁承的疲劳条件非常恶劣,垂向载荷大(最大载荷达到了184 kN),剪切位移大(最大位移达到了±65 mm),在压剪复合载荷下,橡胶层的应力远远超过了橡胶可承受范围,因此该产品的疲劳

收稿日期:2010-08-26;收修改稿日期:2010-11-24

性能是另一个难点。

表2 疲劳条件

| 垂向载荷 /kN | 剪切疲劳振幅 /mm | 疲劳次数      |
|----------|------------|-----------|
| 104      | ± 25       | 5 000     |
|          | ± 45       | 500       |
|          | ± 65       | 50        |
| 124      | ± 25       | 500 000   |
|          | ± 45       | 50 000    |
|          | ± 65       | 5 000     |
| 164      | ± 25       | 500 000   |
|          | ± 45       | 50 000    |
|          | ± 65       | 5 000     |
| 184      | ± 25       | 5 000     |
|          | ± 45       | 500       |
|          | ± 65       | 50        |
| 总计       | -          | 1 121 100 |

2 平板式圆形橡胶堆的结构

无论是方形橡胶堆还是圆形橡胶堆，传统的结构基本上都是平板式结构，也就是上下两头的端板及中间的隔板都是平板。根据橡胶堆的外形空间尺寸及刚度要求，通过理论公式计算得到了图2所示的平板式圆形橡胶堆旁承的结构。该结构是典型的圆形平板式橡胶堆，端板、隔板的形状都为圆形平板，胶层数量为7层，胶料硬度50° sha。

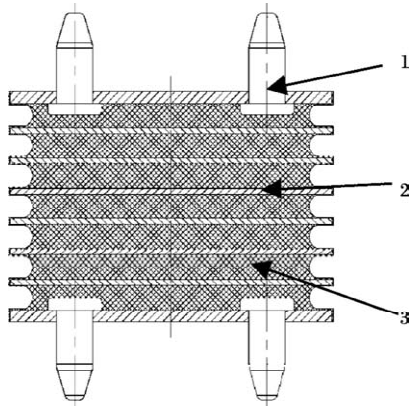


图2 平板式橡胶堆结构  
1 ——端板组成；2 ——隔板；3 ——橡胶

7层的平板式结构的刚度匹配及疲劳性能不够理想，剪切刚度偏上限，疲劳后有疲劳裂纹（详见本文第5点），有必要进一步提升其性能。平板式结构橡胶堆的结构修改主要有4种：改变胶料硬度、修改橡胶层数、修改外径以及中间开孔。

2.1 改变胶料硬度

平板式橡胶堆的特点是提高橡胶硬度，橡胶堆剪切刚度提高的速度比提高垂向刚度的速度快，降低橡胶硬度，橡胶堆剪切刚度降低的速度比垂向刚度降低的速度快。本文所述平板式橡胶堆的橡胶硬度只有50° sha，如果降低硬度，则胶料硬度只有40多度，胶料的综合性能不佳，做出的产品疲劳性能不好。因此不宜通过降低胶料硬度调节刚度匹配。

2.2 修改橡胶层数

平板式橡胶堆结构的特点，在固定的安装高度下，增加橡胶层数，垂向刚度急剧增加，剪切刚度也增加，垂向刚度增加速度远大于剪切刚度。反之，减少橡胶层数垂向刚度的减小远快于剪切刚度的减小。

本文所述的橡胶堆，如果增加一层橡胶变为8层橡胶，将导致垂向刚度急剧增加。为了保证垂向刚度合格，则必须降低胶料硬度以使垂向刚度回到合格范围内。如前所述，降低胶料硬度是不适宜的。

如果减少一层橡胶变为6层橡胶，将导致垂向刚度急剧减小，为了保证垂向刚度合格，则必须提高胶料硬度，但提高胶料硬度则在垂向刚度增加的同时，剪切刚度同时也增加了，并且剪切刚度增加的速度还快于垂向刚度，两向刚度的匹配将更差。

2.3 修改外径

产品的最大外径是有限制的。目前的结构橡胶的承载面积已经做到最大，如果减小承载面积，由于载荷是固定的，橡胶的应力将更大，因此无法通过修改外径来提高产品的各项性能。

2.4 中间开孔

在产品的中间开孔，将使产品的垂向刚度急剧下降，为了保持垂向刚度合格，则必须提高胶料硬度（后果如前所述）。提高硬度的后果是剪切刚度增加的速度快于垂向刚度，两向刚度的匹配将更差。

综上所述，保持金属骨架部件平板结构，无法改善垂向刚度与剪切刚度的匹配，无法改善产品的疲劳性能。因此，只有通过改变金属骨架部件以及橡胶层的形状，才能达到改善刚度匹配以及提高疲劳性能的目的。为此，提出了球面式圆形橡胶堆旁承。

3 球面式圆形橡胶堆的结构

如图3所示的球面式圆形橡胶堆旁承的特点是端板、隔板与橡胶接合面的形状都为球面形状，胶层数量为6层，上下对称，端板隔板的球面凸起均朝向上下的对称面，各层橡胶均为中间薄，周边厚。中间薄主要是为了保持产品的垂向刚度而不至于要大幅度提高胶

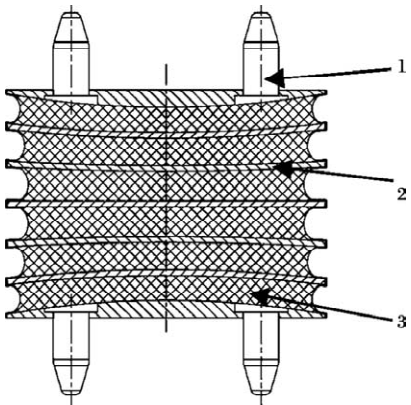


图3 球面式橡胶堆结构  
1 ——端板组成；2 ——隔板；3 ——橡胶

料硬度; 周边厚除了有利于降低剪切刚度外, 也有利于提高单层橡胶的自由面, 提高疲劳性能。

4 平板式与球面式的 FEA 对比

为了比较平板式结构与球面式结构的优劣性, 对这2种结构都进行了有限元分析。表3为2种结构的两向刚度及橡胶最大应力对比, 图4和图5为2种结构在剪切工况下橡胶打折的情况。从这些结果可以看出, 球面式与平板式的垂向刚度接近, 但球面式的剪切刚度要小于平板式, 更接近技术规范的要求。同时, 在剪切工况下, 球面式橡胶表面无未出现打折现象, 橡胶最大应力比较低, 而平板式橡胶表面出现打折现象, 并且由于打折导致局部应力远大于球面式结构, 因此预期的疲劳性能球面式要远好于平板式。

表3 2种结构有限元分析结果对比

| 结构形式 | 垂向刚度 /<br>kN · mm <sup>-1</sup> | 剪切刚度 /<br>N · mm <sup>-1</sup> | 橡胶最大<br>应力 /MPa |
|------|---------------------------------|--------------------------------|-----------------|
| 平板式  | 14.4                            | 96.8                           | 11.1            |
| 球面式  | 13.4                            | 83.2                           | 4.95            |

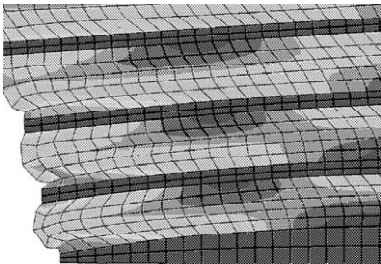


图4 球面式局部打折情况

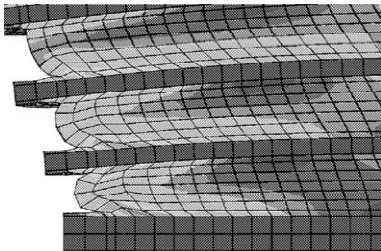


图5 平板式局部打折情况

5 平板式与球面式的试验结果对比

为了进一步验证2种结构的性能, 将2种结构产品的试验结果进行了对比。表4为2种结构的刚度对比, 图6和图7为2种结构产品疲劳后的裂纹情况。从表4可以看出, 与FEA分析结果一致, 球面式的垂向刚度与平板式的接近, 但剪切刚度小于平板式, 更接近名义值, 球面式结构的两向刚度匹配优于平板式结构。

表4 2种结构的刚度值对比

| 结构形式 | 垂向刚度 /kN · mm <sup>-1</sup> | 剪切刚度 /N · mm <sup>-1</sup> |
|------|-----------------------------|----------------------------|
| 平板式  | 13.69                       | 95.30                      |
| 球面式  | 12.97                       | 78.50                      |

平板式结构产品疲劳试验在进行到一半次数的时候就已开始出现裂纹, 至疲劳结束时, 产品共出现4条裂纹, 最长裂纹170 mm, 深度15 mm左右, 出现位置为产品上下两端橡胶金属粘合处。球面式结构至疲劳结束, 产品表面无任何裂纹。图6为平板式疲劳试验后的效果, 图7为球面式疲劳试验后的效果。对比图6和图7可知, 球面式结构远优于平板式结构, 疲劳性能大幅提高。

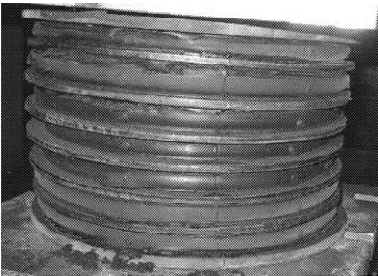


图6 平板式结构疲劳后



图7 球面式结构疲劳后

6 结论

通过实验与有限元分析相结合的手段对球面式结构与平板式结构进行了对比分析, 基本得出了球面式结构相对于平板式结构的优点:

- ①球面式结构胶层数量少于平板式结构, 橡胶拥有更大的自由面以释放应力, 具有更好的疲劳性能。
- ②相对于平板式结构, 在垂向刚度接近的条件下, 球面式结构更容易以合适的胶料硬度获得理想的剪切刚度, 拥有更好的垂向刚度与剪切刚度的匹配性能。

参考文献:

[1] 龚积球, 龚震震, 赵熙雍. 橡胶件的工程设计及应用 [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2003.  
[2] 谢青. 机车旁承结构型式与简化设计 [J]. 铁道机车车辆, 2008 (6).