

研
究
开
发

压装结构橡胶金属关节类产品设计

吴安伟¹, 周 炜²(1. 郑州市轨道交通有限公司, 河南 郑州 450046 ;
2. 株洲时代新材料科技股份有限公司, 湖南 株洲 412007)

作者简介：吴安伟（1981-），男，硕士，工程师，现从事城市轨道交通车辆技术管理工作。

摘要：介绍了不同类型橡胶金属关节产品的结构特点及相关的生产工艺，根据机车的应用工况优选了一种压装结构，利用有限元分析软件对该结构产品进行了分析，并将分析结果和试验结果进行比较，验证了有限元分析的可行性及正确性，确定了产品设计流程及结构。

关键词：橡胶金属关节；径向刚度；扭转刚度；有限元分析

中图分类号：U260.331

文献标识码：A

文章编号：1000-128X(2011)01-0036-04

Design for Compressed Structure of Rubber Bushing

WU An-wei¹, ZHOU Wei²

(1. Zhengzhou Rail Transit Co., Ltd., Zhengzhou, Henan 450046, China;

2. Zhuzhou Times New Material Technology Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412007, China)

Abstract: Structural characteristics of the different types of rubber bushing and its relevant productive technology were introduced. According to the working conditions of locomotive to select a perfect pressing structure which stiffness was analyzed by using FEA software. It's shown that the method is quite feasible and correct by contrasting to the results of analysis and experiment. At the same time, design process and structure are determined.

Key words: rubber bushing; radial stiffness; torsional stiffness; FEA

0 引言

橡胶金属关节能够实现柔性连接，具有缓冲瞬时冲击的作用，可以承受来自径向、轴向的作用力，同时还具有承载偏转及扭转变形的能力及噪声小、免维护等优点，被广泛地应用于机车及客车的转向架中以提高车辆的运行平稳性及舒适性^[1-2]。

橡胶金属关节产品结构复杂，必须根据产品不同的使用工况选择合适的橡胶金属关节结构。本文根据产品的受力状况，设计了一种压装结构的橡胶金属关节产品，利用有限元分析手段对产品进行了设计开发。

1 橡胶金属关节的分类

为了确保产品的橡胶部分在工作状态时始终处于受压应力作用状态^[3]，减少或者避免出现降低产品疲

劳寿命的拉伸应力，在产品的结构设计中，必须使橡胶部分（图1中的2）的外径相对于外套（图1中的1）的内径有一定的过盈量，即产品的橡胶部分必须处于压缩状态。

为了实现产品橡胶的预压缩，橡胶金属关节的结构可以分为很多类型，但基本结构大致相同，主要由外套1、橡胶2和芯轴3组成，结构示意图如图1所示。

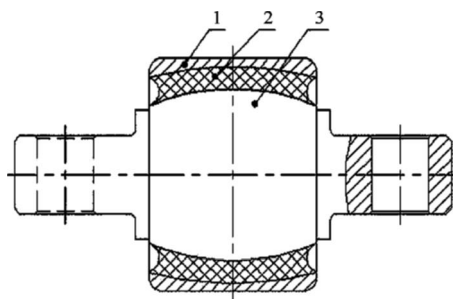


图1 橡胶金属关节结构示意图

1——外套；2——橡胶；3——芯轴

收稿日期：2010-07-15

为了达到实现径向压缩的目的, 根据不同的产品结构特点和预压方式, 产品可以分为轴向预压和径向预压2种方式。轴向预压结构较为单一, 而径向预压根据不同的生产工艺可分为^[4]: 整体预压式结构、分瓣式结构、硫化体结构、翻边结构、压装结构等。

1.1 轴向预压结构

产品由芯轴、端盖和橡胶硫化而成, 产品压入安装孔后, 一端与孔的端部台阶接触, 另一端用卡环压装, 通过卡环和孔的配合调整产品的轴向预压量, 满足不同的刚度要求, 如图2所示。

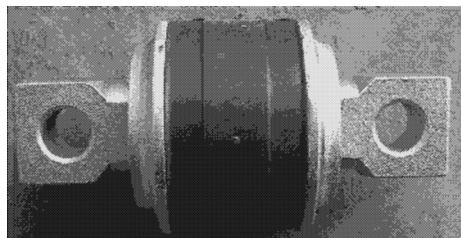


图2 轴向预压结构

该类型的橡胶金属关节产品主要应用于汽车推力杆系统及其他吊杆系统中。产品装配时, 由于需要用卡环进行连接, 因此整个系统的结构较为复杂, 安装孔及橡胶金属关节的外径尺寸精度要求较高, 压装工艺较为复杂。

1.2 径向预压结构

1.2.1 整体预压式结构

产品基本都是由外套、橡胶和芯轴组成, 即橡胶、芯轴和外套经过特定的硫化工艺硫化成一个整体。

硫化后, 对产品进行整体径向预压, 通过外套的径向的塑性变形量来控制产品的径向预压量, 从而获得不同的刚度要求, 最后对于外套表面进行二次加工, 如图3所示。这样既能满足安装尺寸的要求, 也能保证产品的外观。产品径向、轴向、偏转和扭转刚度较为稳定, 在国内外得到了大规模的推广。

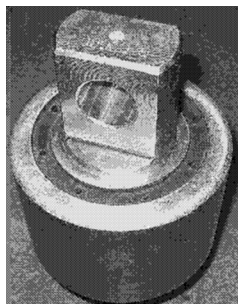


图3 整体预压结构

1.2.2 分瓣式结构

分瓣式结构橡胶金属关节产品生产工艺为: 将产品外套等分成几份, 然后将分瓣的外套、橡胶和芯轴进行整体硫化, 经过表面处理后加工成成品, 如图4所示。产品压入外套后, 分瓣的外套基本变成切割前的状态, 实现产品的整体预压。

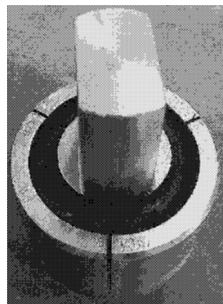


图4 分瓣式结构

由于分瓣的外套尺寸直接关系到产品的刚度, 所以对于外套的切割精度要求较高, 否则很难控制产品的过盈量, 意味着保持稳定的压入压出力相对较难。

1.2.3 硫化体结构

产品由芯轴和橡胶经过硫化而成, 产品没有外套, 如图5所示, 通过硫化体的外径和安装孔的尺寸控制产品的预压量。

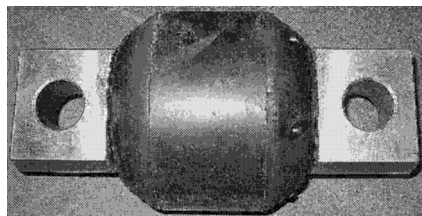


图5 硫化体结构

产品的结构设计比较简单, 在压装过程中, 直接将硫化体压入外套, 如果挤压不当, 会导致橡胶表面发生破坏, 且易出现产品压装不均的现象, 影响产品的使用性能。

1.2.4 翻边结构

翻边结构的橡胶金属关节通过硫化体和挡块及外套压装而成。产品装配时, 通过专用工装将硫化体压入外套, 然后将两侧的挡块放入适当的位置, 最后通过翻边工生产生产出合格的产品, 如图6所示。

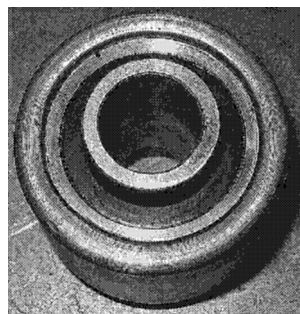


图6 翻边结构

在产品翻边过程中, 如果外套的长度过长, 翻边后的外套长度就会接触橡胶部分, 或者出现外套和芯轴干涉的情况。如果外套的长度过短, 产品的挡块不能被外套包裹或者包裹的长度较短, 当产品受到较大轴向作用力时, 可能导致外套及挡块脱落。

此外对于硫化体橡胶型面的设计也有比较严格的要求, 文献[5]有详细介绍。

该类型的产品偏、扭转刚度比整体式结构稍小, 但该类型产品的压装工艺复杂, 要求也高。

1.2.5 压装结构

产品由硫化体直接压入外套而成, 安装时, 将硫化体和外套压入安装孔中, 如图7所示。

产品压装时, 需要专用的压装工装进行压装, 以保证硫化体压入外套后左右对称, 同时在压装过程中, 应在硫化体表面涂上专用的润滑液, 以防止橡胶表面发生破坏。产品压装后, 需要对产品的对称度进行检测, 保证产品在径向力作用下受力均匀, 提高产品的使用寿命。

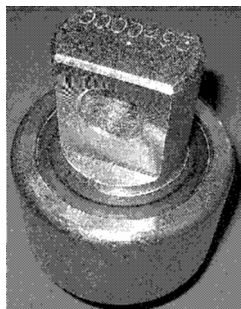


图7 压装结构

在产品设计过程中, 需要对产品的硫化体型面进

行优化,如果硫化体橡胶型面设计的胶料过多,在产品压装后,会出现橡胶鼓出量过大的问题,影响产品的疲劳性能。如果硫化体橡胶型面设计的胶料过少,会出现橡胶部分不足的情况,影响产品的刚度。

该类型产品能够承受较大的扭转变形,且扭转刚度较小,压装工艺较为复杂,技术含量较高。

2 压装结构橡胶产品结构设计

2.1 结构形式的选择

设计的橡胶金属关节产品的使用工况为:产品承受径向载荷;产品在使用过程中能够承受 $\pm 23^\circ$ 的扭转变形。根据产品的受力工况及工艺分析,确定产品的结构采用压装结构。由于产品的径向和扭转刚度为主要考核指标,所以对产品的径向及扭转受力状况进行有限元分析,指导产品设计。

2.2 有限元分析结果

压装结构的硫化体橡胶型面设计要求尽量合理,在设计过程中,采用有限元分析软件ABAQUS对橡胶型面进行优化设计。

图8给出产品结构优化设计及径向刚度分析所采用的有限元分析模型,其中橡胶材料采用ABAQUS中的C3D8H单元进行模拟,芯轴、外套采用C3D8单元进行模拟^[6-7]。产品压装后的型面效果如图9所示。

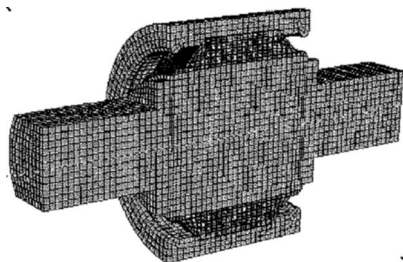


图8 径向刚度有限元分析模型

利用有限元分析模型进行计算,橡胶采用 60° sha的胶料硬度,径向加载70 kN,产品的径向刚度计算值为29.7 kN/mm。图10给出了产品芯轴的应力分布图,可知最大应力为80 MPa,远小于芯轴材料的屈服强度。

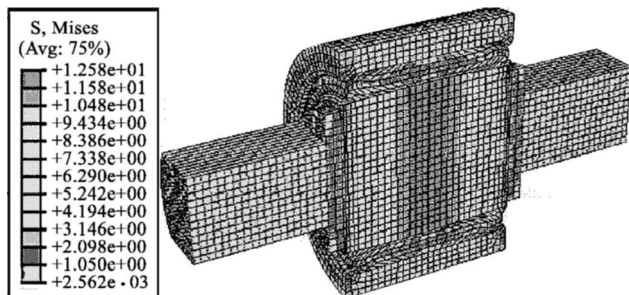


图9 产品压装后的效果

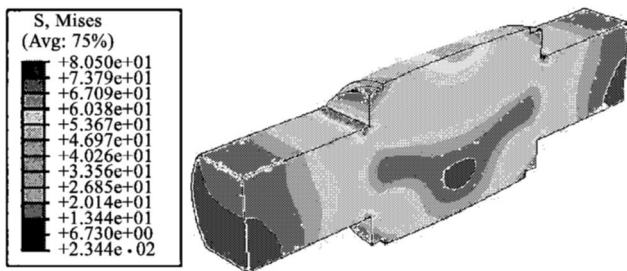


图10 芯轴部分应力图

图11为扭转刚度有限元分析模型,产品的扭转刚度为11.41 Nm/($^\circ$)。由图12可知产品在扭转 23° 时橡胶部分的最大应力为5.68 MPa,出现在橡胶部分两端A处。

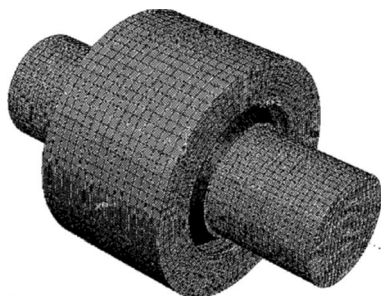


图11 扭转刚度有限元分析模型

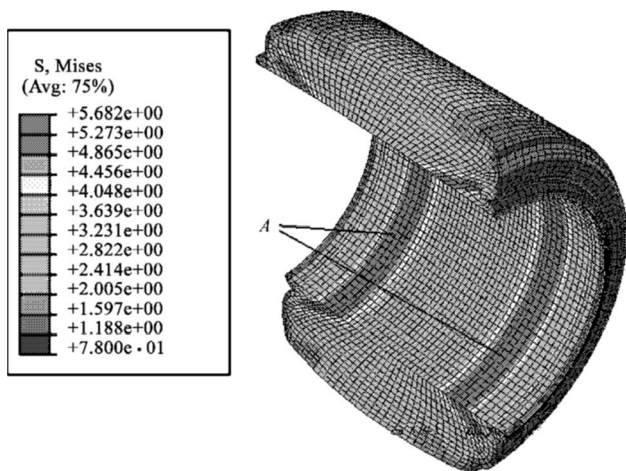


图12 产品在扭转 23° 时橡胶部分应力图

2.3 试验结果

根据有限元分析优化后的产品结构试制了产品,并依据客户提供的试验标准进行了径向和扭转刚度试验,采用的试验设备为CSS55100电子万能试验机及扭转试验机。

径向刚度试验条件为:以10 mm/min速度对产品进行加载,加载载荷为0~70 kN,试验连续进行3次,中间无时间间隔,取第3次的试验结果作为产品刚度的特征曲线,试验曲线如图13所示。

可以看出:产品径向刚度的试验结果为33.67 kN/mm,有限元分析结果与试验结果相比,径向静刚度误差为-13.4%。

扭转刚度试验和径向刚度试验加载过程相似,加

载速度是 $18^{\circ}/\text{min}$, 扭转角度为 $\pm 23^{\circ}$; 试验曲线如图14所示。产品的扭转刚度为 $12.69 \text{ Nm}/(^{\circ})$, 有限元分析结果和试验结果相比误差为 -11.2% 。

为了检验产品的扭转疲劳性能, 在径向加载的情况下, 施加扭转载荷, 按照试验大纲的要求, 经过10万次疲劳试验后, 产品性能满足设计要求。

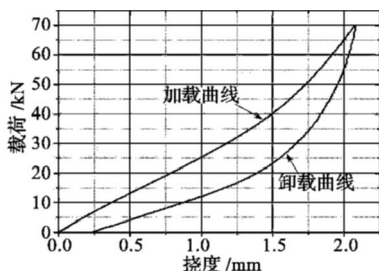


图 13 产品径向刚度曲线

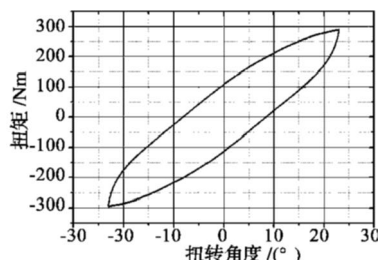


图 14 产品扭转刚度曲线

3 结语

①橡胶金属关节的结构种类较多, 设计时应根据不同的受力工况、生产工艺及刚度配比选择合适的产品结构。

②对于压装结构的橡胶产品, 必须采用专用压装工具、合理的压装工艺对产品进行压装, 采用专用量具对产品结构进行检测。

③采用有限元分析方法可以优化压装结构橡胶金属关节产品的型面, 并对产品的刚度进行预测, 指导产品设计开发。

④通过有限元分析结果和试验结果进行比较, 验证了采用ABAQUS有限元分析软件对于产品刚度分析的可行性及正确性。结合设计经验, 通过系数修正的方法可以使计算结果更接近于产品的试验结果, 最后产品结构的合理性通过相关试验得到验证。

参考文献:

- [1] 户原春彦. 防振橡胶及其应用[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1982.
- [2] 唐先贺, 张春良, 等. 大功率交流传动机车橡胶弹性元件[J]. 机车电传动, 2008(3): 27-30.
- [3] 荣继刚, 黄友剑, 等. 预压量对橡胶金属关节综合性能的影响[J]. 特种橡胶制品, 2006(2): 36-38.
- [4] 王 进, 彭立群, 等. 轨道交通用橡胶金属关节的结构与特性[J]. 世界橡胶工业, 2006(8): 22-25.
- [5] 吴安伟, 王明星, 等. 有限元分析在翻边橡胶金属关节设计中的应用[A]//DS SIMULIA中国区用户大会2008用户论文集, 2008: 255-260.
- [6] HKS. ABAQUS Theory Manual[M]. Hibbit, Karlsson & Sorensen (HKS) Inc., 2007.
- [7] 黄友剑. 城市地铁轨道减振器结构及性能研究[D]. 长沙: 中南大学, 2006.

(上接第35页)

6.3 霍尔在铁心气隙中的位置

当霍尔半导体薄面全部放入铁心气隙内时, 通过霍尔元件的磁场为匀强磁场(见图17)。因此霍尔电流传感器设计时, 霍尔半导体薄面必须全部放入铁心气隙内。

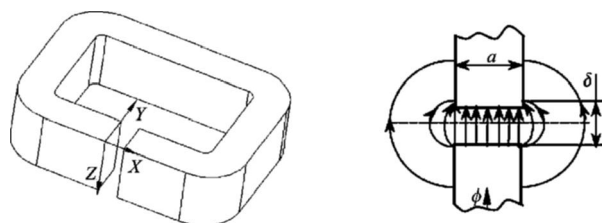


图 17 气隙处磁场分布

7 结语

本文对霍尔元件的技术参数及与磁路设计做了全

方位的阐述, 对元件参数中未曾叙述的, 实际应用时需要注意的, 通过多次试验验证, 进行了总结, 意在指导霍尔元件在电流传感器上的应用。

参考文献:

- [1] J A 斯特莱顿. 电磁场理论[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1986.
- [2] 黄继昌, 徐巧鱼, 张海贵. 传感器工作原理及应用实例[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1998.
- [3] 何希才, 任力颖, 杨 静. 实用传感器接口电路实例[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
- [4] 卢文科, 朱长纯, 方建安. 霍尔元件与电子检测应用电路[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [5] 赵修科. 实用电源技术手册磁性元器件分册[M]. 辽宁: 辽宁科学技术出版社, 2002.