

综
述
与
评
论结构仿真技术在高速铁路
减隔振领域的应用与发展

刘建勋, 黄友剑, 张亚新, 郭红锋

(株洲时代新材料科技股份有限公司, 湖南 株洲 412007)



作者简介: 刘建勋 (1972-), 男, 硕士研究生, 高级工程师, 总工, 长期从事弹性材料的技术研发及管理工作。

摘 要: 以株洲时代新材料科技股份有限公司为例, 以橡胶材料的FEA数据库和仿真平台为基础, 详细介绍了结构仿真技术在高速铁路橡胶减隔振领域的应用成果和最新的研究内容, 以期为国内同行在发展结构仿真平台提供一点有益的借鉴和帮助。

关键词: 结构仿真技术; 橡胶减隔振行业; 材料数据库; 高速铁路

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1000-128X(2011)03-0006-03

Application and Trend of Structure Simulation Technology in Rubber Seismic
Absorption and Isolation Field of High-speed Railway

LIU Jian-xun, HUANG You-jian, ZHANG Ya-xin, GUO Hong-feng

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

Abstract: Taking CSR Zhuzhou Times New Material Technology Co., Ltd. for instance, based on rubber material FEA database and simulation platform, the application achievements and the newest researches of structure simulation techniques in rubber seismic absorption and isolation field of high-speed railway were introduced detailedly, to provide some useful reference and helps for counterpart.

Key words: structure simulation technology; rubber seismic absorption and isolation field; material database; high-speed railway

0 引言

利用结构仿真技术实现橡胶减隔振元件的最优解决方案, 已成为橡胶工程界的基本共识^[1-2]。最近10年, 国内橡胶减隔振企业为提升企业的原创设计能力, 已经逐步认识并投入了一定的人力、物力来创建企业自己的结构仿真技术, 并取得了一定的技术成果。本文以株洲时代新材料科技股份有限公司(以下简称公司)为例, 探讨了结构仿真技术在高速铁路减隔振领域已经取得的技术成果和正在进行的技术创新, 以期为国内同行提供一点有益的借鉴和帮助。

1 有限元分析平台

为适应大变形、非线性橡胶材料的求解需要, 公

司建设了橡胶材料基础数据实验系统, 包含多种橡胶本构模型、多种求解模式的ABAQUS/FE-SAFE软件, 同时还配置了可创建适应大变形需要的网格划分软件Hypermesh和具有快速求解能力、分析规模可实现150万单位的小型计算机。

公司已经积累了近40种材料的基础数据, 基本覆盖橡胶元件的主要用料胶种。在这些基础数据的支持下, 根据橡胶元件的产品特性, 在网格布局及网格形成、线性/非线性刚度模拟、强度及稳定性预测、橡胶蠕变及应力松弛方面进行了大量的探索工作, 取得了一定的技术成果。

2 应用

2.1 用于大变形的模拟技术

橡胶材料具有良好的弹性行为, 能经受高达90%的极限压缩变形、高达500%的极限拉伸变形和高达300%的极限剪切变形, 因而被广泛制作成不同结构和

收稿日期: 2011-01-11

基金项目: 国家863项目(2008AA030706)

形状的弹性元件, 以满足减隔振或高密封的需要^[3-4]。通过最近几年的探讨, 针对橡胶元件大变形、大应变的结构及承载特征, 公司基于橡胶结构与承载特点的网格布局技术, 高质量的六面体网格形成技术, 手动网格重划和基于显式求解下的自动网格重划技术, 以及更高级别的显式积分求解准静态的橡胶变形技术, 在橡胶材料基础数据的支持下, 较为逼真地模拟出了橡胶自由面的变形、橡胶材料自接触褶皱变形和刚度非线性的变形行为, 如图1所示。

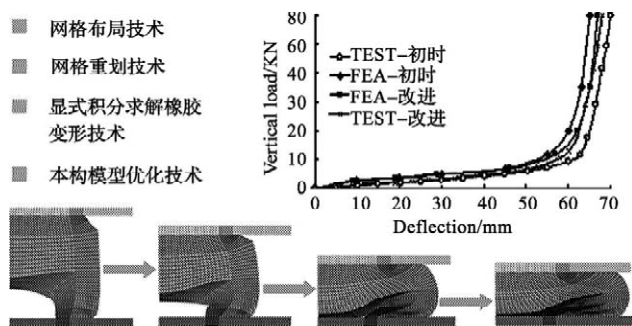


图1 基于橡胶材料的模拟大变形的分析技术

2.2 用于刚度分析

目前公司在典型的橡胶弹性元件分析方面已经达到较高的水平(如图2所示), 橡胶球铰类型产品目前的分析误差已经能达到10%以内, 而用于机车车辆一系悬挂的V型弹簧和锥形弹簧的分析误差可以控制在20%以内, 即便是大变形的橡胶止挡类产品, 分析误差也能控制在30%以内。

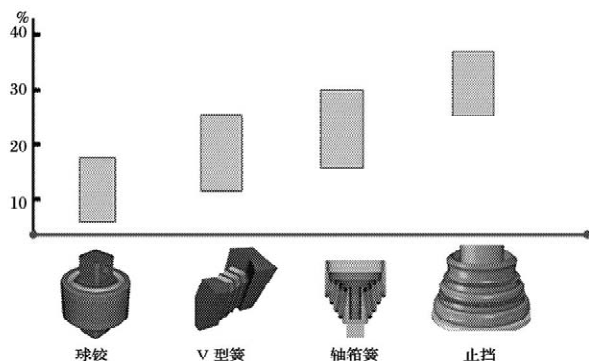


图2 典型产品分析精度与分析误差的统计

2.3 计算对象不断延伸

随着减隔振产品的应用领域不断扩充, 应用环境对隔振效果提出了更明确、更严格的要求, 因而减隔振产品已逐渐由单一的弹性元件向弹性部件甚至弹性系统的高层级延伸。与此同时, 计算分析对象也相应地不断扩展, 由弹性零件、弹性部件发展到更高层级的弹性系统阶段, 日常的分析服务也由单一的刚度计算, 上升为对弹性系统的隔振效率进行预测, 有效地服务、服从于产品的日常开发和基础研究工作。目前公司已具备对车辆抗侧滚扭杆系统、机车车辆轴箱拉杆系统、汽车悬挂系统的分析计算能力, 如图3所示。

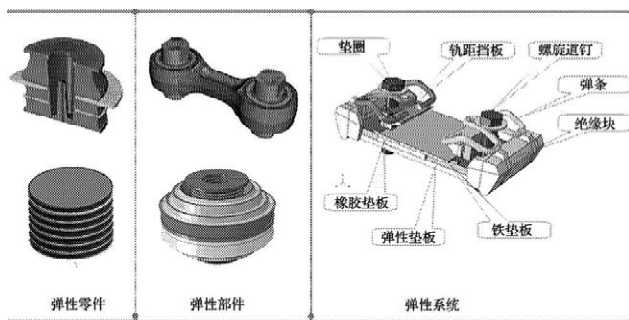


图3 计算对象向弹性系统层级延伸

2.4 材料类型不断拓展

根据减隔振产品应用领域及减隔振目的的不同, 减隔振产品所使用的减隔振材料也会根据使用要求进行调整。目前结构分析中在材料本构领域上, 经历了4类材料本构模型阶段, 即橡胶减振弹簧中产生大变形效应的非线性橡胶材料、钢阻尼器中利用特殊钢材的塑性变形吸收地震或风振能量的高强度塑性金属材料、空气弹簧中与空气内压配合形成增强效应的帘线材料(或玻璃纤维材料)、弹性垫板扣件系统中具有良好减隔振效果的可压泡沫材料以及其他尼龙、塑料、聚酯类等弹性体材料。而这4类减隔振材料及其相应的材料本构模型构成了有限元分析中减隔振领域最主要的材料对象, 如图4所示。

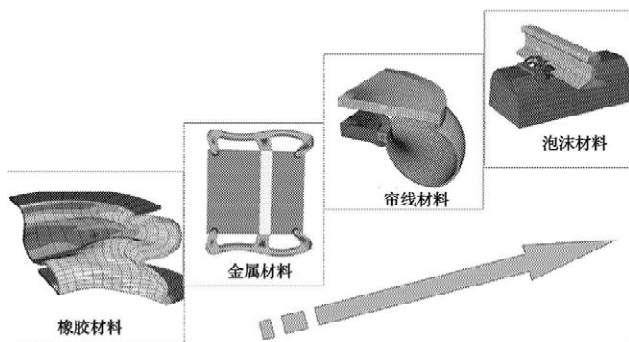


图4 典型的减隔振材料及其本构模型

2.5 分析层级不断深入

在高速轨道交通、汽车、船舶和风电等工程领域, 人们对环境的友好性及使用的可靠性提出了越来越高的要求。在减隔振产品的研发过程中, 用户及产品设计者对减隔振元件关于隔振效果、可靠性及疲劳寿命等技术要求提出了越来越高的标准, 相应地, 结构仿真分析层级也得到延伸, 已经或正在经历了4个分析阶段: 以估算为目的的线性应力分析; 以计算隔振能力为目的的非线性刚度仿真计算分析; 以确保产品稳定性及可靠性为目的的极限失稳模拟分析; 以确保产品使用寿命为设计目标的疲劳预估分析, 以及以实现最优结构为目标的基于计算机技术的自动优化设计技术。正是这些有限元分析层级的不断推进, 有力地提升了结构分析技术在产品研发和质量改进中不可或缺的作用, 如图5所示。

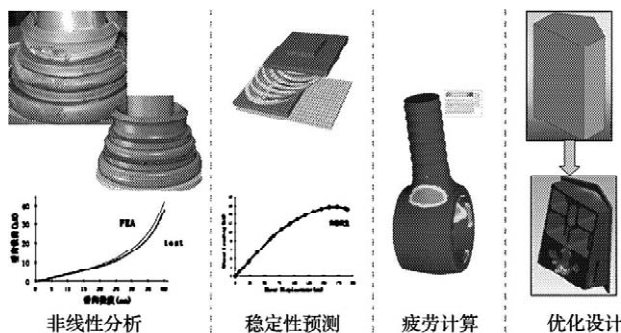


图5 分析层级不断推进的结构仿真技术

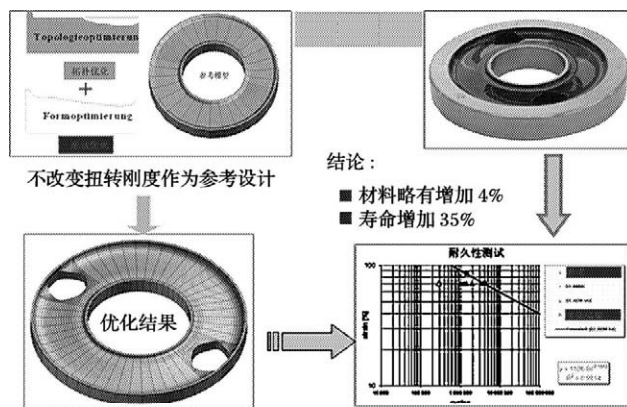


图7 橡胶元件的结构优化技术

3 结构仿真技术的最新技术研究方向

3.1 橡胶材料的疲劳预测技术

对于以减隔振为目的的弹性元件来说,产品的刚度和疲劳寿命是产品设计者需要把握的两大技术关键。目前在橡胶材料疲劳寿命的研究领域,公司取得了一定的技术成果,基本理清了橡胶材料在循环载荷下的生热粘弹行为;成功实现了橡胶材料生热过程和温度场分布状态的仿真模拟;初步建立了动态撕裂能基础数据库和典型橡胶材料的S-N曲线;进一步完善了以材料疲劳寿命为目标的产品设计准则^[5-6],如图6所示。

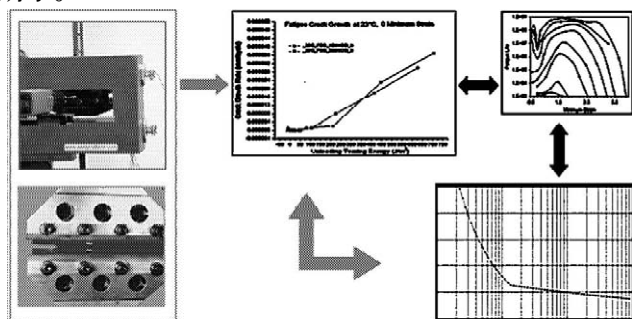


图6 橡胶材料疲劳预测的基本内容及过程

3.2 橡胶元件的结构优化技术

对橡胶元件来说,要实现优良的隔振性能和可靠的使用寿命,产品结构的合理性是前提条件。通过经验设计,甚至通过模仿来设计产品结构,是目前国内橡胶件产品研发的一个主要方式。而通过计算机优化程序,创建新的产品结构,进而实现橡胶元件结构的最优化,是目前橡胶元件设计的一个新的发展方向^[7]。

公司在结构优化方面,以ABAQUS+TOSCA为软件平台,满足刚度设计为前提,采用减少应力、提升疲劳寿命为目标的橡胶材料的疲劳优化分析技术,已获得了初步成果,并且以工程化为目标的橡胶优化技术正在持续攻关中,如图7所示。

4 结语

通过探讨在高速铁路结构仿真方面的技术成果和最新技术的研究内容,结合橡胶材料FEA基础数据库和橡胶仿真平台的创建特点,可以看出,以公司为代表的国内橡胶减隔振厂家目前在减振分析领域发展的结构仿真分析技术已经取得了巨大的进步,该项技术已广泛应用于橡胶减隔振产品的设计和开发,并已成为产品设计的优良辅助工具。

随着橡胶材料疲劳预测技术和橡胶原件机构优化技术的逐步发展和成熟,预计在不久的将来,以理论分析产品疲劳寿命部分替代实验室产品疲劳,以计算机软件进行结构优化替代纯经验产品结构优化必将成为现实。

参考文献:

- [1] 刘建勋,宋传江.时代新材公司能力建设规划[R].株洲:中国南车株洲时代集团公司,2008:34-39.
- [2] 黄友剑,张亚新,卜继玲.橡胶材料基础实验及疲劳特性研究报告[R].株洲:中国南车株洲时代集团公司,2009:50-55.
- [3] Kurt Miller. test elastomers for hyperelastic material models in finite element analysis [R]. technical reports from axel, 2006:56-78.
- [4] 闫立平,侯鹏.一种橡胶材料的大变形分析[J].北方交通大学学报,2002,26(4):29-33.
- [6] 庄茁,由小川.基于ABAQUS的有限元分析和应用[M].北京:清华大学出版社,2009:234-256.
- [5] 罗文波,杨挺青,等.非线性粘弹体的时间-温度-应力等效原理及其应用[J].固体力学学报,2001,22(3):219-224.
- [6] ABAQUS, Inc. Quasi-static Analysis of a Rubber Bushing [S]. Abaqus Analysis User's manual, 2007:345-397.
- [7] 卜继玲,黄友剑.轨道车辆橡胶弹性元件设计计算方法[M].北京:中国铁道出版社,2010:145-180.