

车身骨架断裂问题分析及结构优化研究

杨东升,毛洪海,张钦超,聂文武,张立常,孙传进
(潍柴动力股份有限公司 上海研发中心,上海 310115)

摘要:针对客车推力杆附近车身骨架断裂问题,结合有限元分析的方法,运用 Hypermesh、Nastran 有限元分析计算软件,对客车的车身骨架建立有限元模型;结合设计的要求及分析的经验,分 3 种工况分析,研究车身骨架断裂问题的原因,并基于有限元分析法对结构进行优化研究。研究表明,客车紧急制动时,车身骨架受到纵向载荷和垂向载荷综合作用,车身骨架的断裂处正好位于高应力区域;在断裂处延展加强板,增加矩形管支撑,断裂处的应力降幅 50%;采用优化后的结构,在路试中未发生推力杆附近车身骨架断裂问题。

关键词:客车;车身骨架;有限元;断裂;优化

中图分类号:U463.83⁺1 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2019)04-0072-03

Analysis of Body Frame Fracture and Structural Optimization

YANG Dongsheng, MAO Honghai, ZHANG Qincao, NIE Wenwu, ZHANG Lichang, SUN Chuanjin
(Shanghai Research and Development Center of Weichai Power Co., Ltd., Shanghai 310115, China)

Abstract: Aiming at the problem of body skeleton fracture near the bus thrust bar, the software for Hypermesh, Nastran finite element analysis and calculation is used to establish the finite element model of the bus body skeleton. According to the requirements of the design and the experience of analysis, this paper analyzes and calculates three working conditions, studies the cause of the body frame fracture, and optimizes the structure based on the finite element analysis. The results show that the fracture of the frame is located in the high stress area. The fracture extends to the tensile plate, the rectangular tube support increases, and the stress at the fault is decreased by 50%. The fracture of the body frame near the thrust pole is not found in road test.

Keywords: passenger car; body frame; finite element; fracture; optimization

0 引言

客车车身骨架是客车的主要承载结构,车身骨架需要承载总成和乘客的静载荷,同时在行驶过程中需要承受道路路面激振形成的作用力、力矩等动载荷^[1-2]。对于颠簸路面而言,长时间、高频率地承受外载荷以及路面激振容易导致车身骨架疲劳失效或断裂。这种疲劳失效或断裂主要原因是骨架结构设计不合理、材料强度不够、焊接加工残余应力过大等,这种车身骨架破坏是不可恢复的,存在巨大的安全隐患。因此,本文结合某 12 m 双层客车样车路试过程中出现推力杆位置车身骨架断裂问题展开研究,基于有限元分析理论、优化设计方法,运用 Hypermesh、Nastran 有限元分析计算软件,找出车身骨架断裂存在的原因,并进一步采用优化设计计算方法对结构进行局部优化,为后期小批量样车生产提供理论参考。

1 梁单元有限元分析理论

有限元法的核心思想是把一个结构的弹性连续体划

分成有限个数量、大小的单元组合体进行研究^[3]。新建立离散化的有限元组合代替原来的弹性连续体,构建新的力学分析模型,采用数值计算方法求解^[4]。

由支座支承,承受的外力以横向力和剪力为主,以弯曲为主要变形的构件称为梁^[5]。在有限元分析理论中,梁可分为简单梁、平面梁、空间梁。简单梁单元只考虑弯曲变形;平面梁单元考虑梁拉伸、弯曲;空间梁单元为轴向拉伸、2 个主平面内弯曲、扭转变形组,在此只对空间梁单元进行介绍。

空间梁单元局部坐标系下单元的扭转刚度方程^[6]:

$$\begin{Bmatrix} m'_{xi} \\ m'_{xj} \end{Bmatrix}^e = \frac{GJ_2}{l} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \theta'_{xi} \\ \theta'_{xj} \end{Bmatrix} \quad (1)$$

单元节点位移列阵的变换为^[7]:

$$\{\delta'\}^e = [T^e] \{\delta\}^e \quad (2)$$

其中 $[T^e] = \begin{bmatrix} \varphi & & & \\ & \varphi & & \\ & & \varphi & \\ & & & \varphi \end{bmatrix}$ 为单元坐标变换矩阵;

单元刚度矩阵变换^[8]:

$$[k]^e = [T^e] \{\delta\}^e \quad (3)$$

2 车身骨架有限元分析模型

2.1 模型简化

图 1 所示为某客车车身骨架断裂位置实物图。

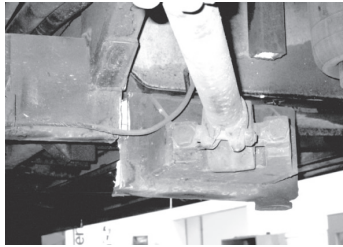


图 1 车架断裂位置实物图

模型简化遵循以下原则:1) 省略非承载构件;2) 断裂处之外的横截面做适当的简化;3) 相邻单元梁节点合并,提供计算的稳定性。图 2 所示为车身简化模型。

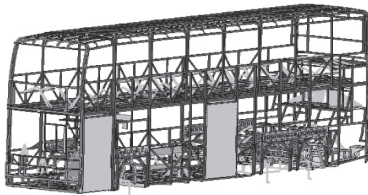


图 2 车身简化模型

2.2 连接模拟

客车车身骨架主要是通过焊接方式装配起来,在对这些连接处进行模拟时,为了简化模型一般将连接处的节点合并为一个节点,如图 3 所示。其他钣金件和矩形管的焊接用 RBE2 单元模拟,如图 4 所示。

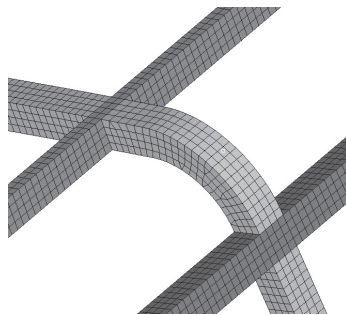


图 3 公节点连接

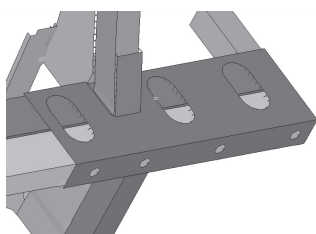


图 4 焊接模拟

2.3 悬架模拟

车桥和推力杆等用 BEAM 单元模拟,之间用 RBE2 连接,释放相应的运动自由度^[9]。空气弹簧简化为一维线性螺旋弹簧单元,赋予其相应的刚度参数。根据此原则,将图 5 所示的悬架几何模型转换为图 6 所示的有限元模型。

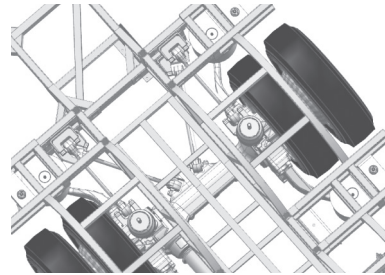


图 5 悬架几何模型

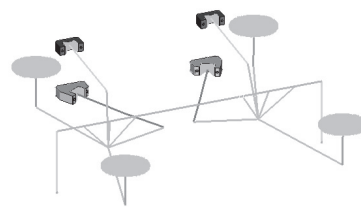


图 6 悬架有限元模型

2.4 整车配重

该车型满载质量 23.1 t,乘员、座椅、动力总成、空调、车门、油箱、电瓶箱等系统用位置在相应质心的 MASS 单元模拟,通过 RBE3 单元连接在其安装支架上。配重后通过附加质量点的方法对系统的质心和总质量进行调整。

2.5 材料的定义

该客车车身骨架是钢材,是各项同性材料,其弹性模量为 2.1E5 MPa,泊松比为 0.3,密度为 7.85E-9 t/mm³,根据车身骨架实际厚度赋给相应的单元。

2.6 边界条件

对建好的整车模型首先进行模态分析,确认可以计算并且后处理中振型合理、连接完整后,进行强度分析的约束及加载。客车车身骨架结构设计时,需要考虑客车在实际行驶工况下的最大载荷,即在客车满载时客车车身骨架结构不发生变形或失效,保证其使用寿命。结合设计的要求及分析的经验,分 3 种工况进行分析:

工况 1:紧急制动工况是模拟客车紧急制动时,车身骨架受到纵向载荷和垂向载荷综合作用下的响应情况。本文中 z 向加速度取 $-1g$, x 向加速度取 $-0.8g$ 。

工况 2:紧急转弯工况就是模拟客车紧急转弯时,车身骨架受到横向载荷和综合作用下的响应情况。本文中 z 向加速度取 $-1g$, y 向加速度取 $0.6g$ 。

工况 3:水平弯曲工况是模拟客车匀速行驶时,车身骨架受到垂向载荷作用下的响应情况。文中 z 向加速度

取-1.6g。

3种工况下后轮约束xyz3个方向平动自由度,右前轮约束yz2个方向平动自由度,左前轮约束z1个方向平动自由度。

3 有限元分析及结果

图7-图9分别为工况1-工况3的应力云图。可以看到,工况1下最大应力444.49MPa,工况2下最大应力259.48MPa,工况3下最大应力227.80MPa,其中工况1下应力最大。从推力杆本身的功能来说,在纵向加速度作用下受力最大,与分析结果相符。

另外,从工况1应力云图的分布可以看到,车身骨架的断裂处也正好位于高应力的区域,这与路试的结果也基本吻合。

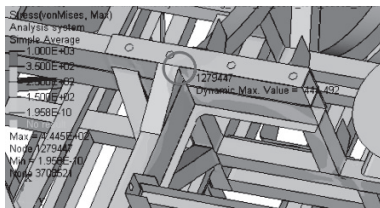


图7 工况1 应力云图

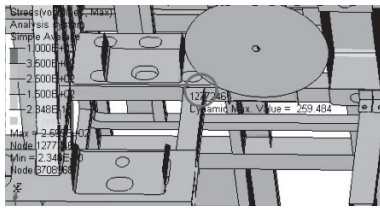


图8 工况2 应力云图

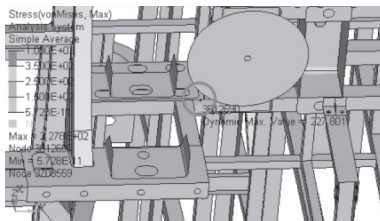


图9 工况3 应力云图

因此建立的有限元模型可以用来校核实际出现的断裂问题,也就是说应力集中位置与断裂处基本吻合。

4 基于有限元的结构强度优化

4.1 方案的确定

方案1为在断裂处增加如图10中的加强板和支撑板,达到减小断裂位置的应力集中目的。

方案2为在断裂处延展如图11中的加强板,增加矩形管支撑。

4.2 有限元分析结果与讨论

如图12、图13所示,优化后,在紧急制动工况下,两

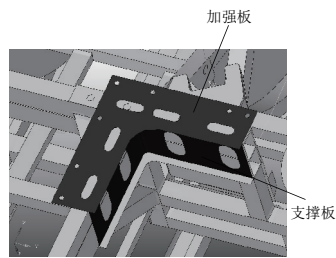


图10 方案1局部简化模型

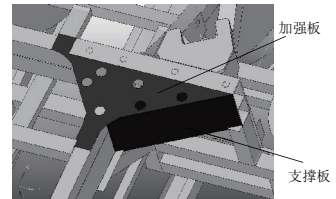


图11 方案2局部简化模型

种方案的高应力区域均大面积缩减。方案1最大应力254.07MPa,应力降幅43%;方案2最大应力221.42MPa,应力降幅50%。优化方案效果均很明显,其中方案2降幅最大,建议选用。优化后,路试中未发生推力杆附近车身骨架断裂问题。

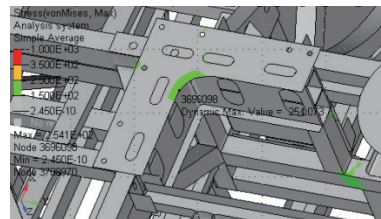


图12 方案1分析结果

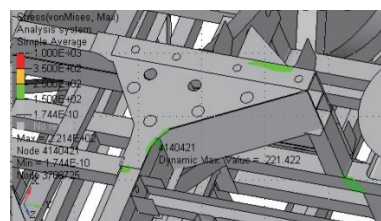


图13 方案2分析结果

5 结语

1) 运用Hyperwoks及Nastran有限元分析软件,以某客车车身骨架结构为对象,从有限元建模、不同工况下的强度分析和结构优化设计等几方面阐述了有限元方法在汽车车身骨架开发中的应用。

2) 通过对设计方案、已有的设计快速进行性能分析评估,发现设计缺陷,找到客车车身断裂问题出现的根本原因,主要在于结构设计强度不够。

(下转第99页)

3) 显示轴的三维图。点击确定按钮,就将输入的参数值传递到主程序当中,开始运行程序,就在 OCC 界面显示工程人员设计的轴的三维图。

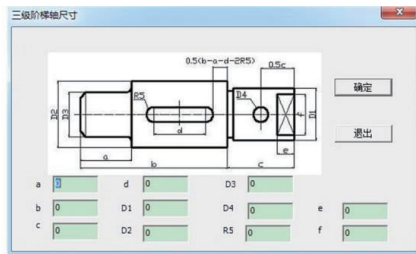


图 6 系统交互界面

3.2 使用交互界面示例

打开轴的三维参数化系统交互界面,在编辑控件输入新的尺寸参数,如图 7。点击“确定”按钮执行 OCC 程序就在显示界面生成新的三维模型,如图 8。

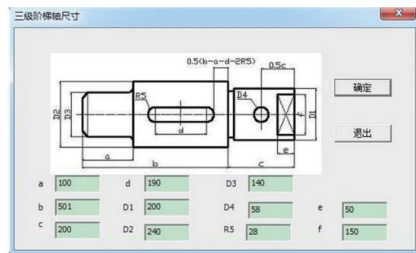


图 7 输入参数的系统交互界面

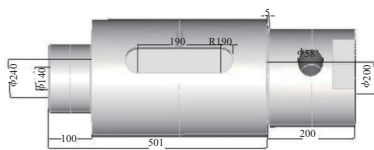


图 8 轴三维参数化结果

3.3 轴的二维工程图的生成

在 OCC 中完成轴的三维建模并显示之后,设计人员

可进行评估判断,如果当前设计不满足制造要求时,可以直接通过修改输入尺寸参数,自动生成新的轴三维模型,再次进行评估判断,最终得到满足制造要求的设计。根据最终设计结果,使用 CAD 等绘图软件绘制轴的二维工程图,给工人制造产品提供依据。

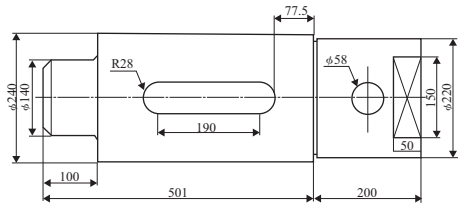


图 9 轴的二维工程图

4 结语

基于 OCC 三维造型内核,针对轴开发了三维设计系统。采用从底层三维内核开发系统的方式,以改变以往商用软件二次开发模式对用户端软件环境的要求。而且,对轴设计等具有专用目的系统而言,灵活性和交互性的提升空间更大。同时,自主开发的系统在版权方面也具有优势,也为企业进一步地集成应用提供更大的灵活性。

参考文献:

- [1] 袁媛,王延红,江凌,等. 基于 Qt 及 OpenCASCADE 的建模技术研究[J]. 现代电子技术,2013(10):74-77.
- [2] 濮良贵,陈国定,吴立言. 机械设计[M]. 第9版. 北京:高等教育出版社,2013.
- [3] 徐灏. 机械设计手册[M]. 北京:机械工业出版社,2000.
- [4] 潘国义,韩军,冯虎田. 基于 Open CASCADE 的滚珠丝杠参数化设计研究[J]. 机械制造与自动化,2015,44(1):9-12.
- [5] 杨虎斌. 基于几何引擎库 Open CASCADE 的三维建模软件的实现[D]. 兰州:兰州大学,2015.
- [6] 刘峥,孙波. 基于 OpenCASCADE 内核的三维钣金系统研究[J]. 机械设计与制造,2012(8):92-94.
- [7] Mayo J. Microsoft Visual Studio 2010: A Beginner's Guide[M]. [S.I.]: McGraw-Hill, Inc, 2010.

收稿日期:2018-02-26