

某MPV牵引装置强度分析与改进设计

肖璇¹ 李智涛²

(1.大连职业技术学院,大连 116000;2.一汽奔腾轿车有限公司,长春 130013)

【摘要】为使某MPV牵引装置强度满足设计目标,保障牵引装置在极限工况下不发生断裂失效,通过ABAQUS隐式分析对牵引装置进行不同工况下的强度分析和改进设计分析,试验验证结果表明,增加料厚对牵引装置强度改善明显,但需要配合采用翻边、打孔、增加加强筋等结构特征优化方法。

关键词:牵引装置 强度分析 模拟仿真

中图分类号:U463.82 文献标志码:A DOI: 10.20104/j.cnki.1674-6546.20220067

Strength Analysis and Improved Design of An MPV Traction Device

Xiao Xuan¹, Li Zhitao²

(1. Dalian Vocational Technical College, Dalian 116000; 2. FAW Car Co., Ltd., Changchun 130013)

【Abstract】In order to make the strength of an MPV traction device meet the design objective and ensure that the traction device does not fracture and fail under extreme working conditions, ABAQUS implicit analysis was used to conduct strength analysis and improved design analysis of the traction device under different working conditions. The test verification results show that increasing the material thickness significantly improves the strength of the traction device. However, it is necessary to adopt the optimization methods of structural features such as flanging, punching and adding reinforcing ribs.

Keywords: Traction device, Strength analysis, Simulation

【引用格式】肖璇,李智涛.某MPV牵引装置强度分析与改进设计[J].汽车工程师,2024(1):43-48

XIAO X, LI Z T.Strength Analysis and Improvement Design of An MPV Traction Device[J]. Automotive Engineer, 2024(1): 43-48.

1 前言

车辆牵引装置是在车辆失去动力无法行驶或者陷入恶劣路况无法驶出时用于辅助行驶的工具^[1]。由于牵引装置操作时需要较大的载荷且载荷方向多变,牵引装置及配合件需具有较大的牵引强度,在设计阶段对牵引装置进行强度分析是保证设计强度达成目标的关键。

在牵引装置方面,国内学者和工程师做了大量研究。高大威等^[2]利用HyperMesh对某商用车前端牵引装置进行了强度和位移校核,并开展了优化和试验验证。周德生等^[3]基于拓扑优化技术开展了某轿车牵引装置强度分析和设计。赖劫修等^[4]研究了某纯电动物流车牵引装置在使用过程中断裂失效

的问题,分析了牵引装置的宏观断口形貌、金相组织、硬度、化学成分及力学性能等因素,揭示了牵引装置的断裂机理,并进行了优化设计。在改进设计和结构优化方面,周长宽^[5]采用HyperMesh结合ABAQUS对乘用车前保险杠系统进行了分析优化。林如松等^[6]应用OptiStruct求解器对客车拼焊件组成的牵引装置进行了有限元分析、尺寸优化和拓扑优化,并对其进行了强度分析验证和优化方案评价。秦兴祖等^[7]分析了牵引装置失效断裂的原因并进行了相应优化。张守元等^[8]通过在鞍座横梁中心附近打孔的方法对车架结构进行了轻量化设计。

本文在参考上述研究的基础上运用强度分析和多种结构优化方法对某MPV的牵引装置进行分析针对不满足设计目标的问题进行车身结构优化,

并开展试验验证。

2 模型建立

通过HyperMesh进行建模,车身钣金件采用2D网格,牵引装置和套筒等部分零件采用3D网格,点焊采用ACM单元,缝焊和螺栓采用COUP_KIN单元。牵引装置与套筒螺接处采用Tie绑定。牵引装置支架、前防撞梁等周围零件设置通用接触。本文在有限元模型中建立接触并且施加在模型上的载荷已超出弹性范围,所以该模型涉及边界条件非线性和材料非线性。部分白车身与牵引装置有限元模型如图1、图2所示,牵引装置采用2~5 mm六面体网格建模,单元类型为C3D6。线性材料参数如表1所示。

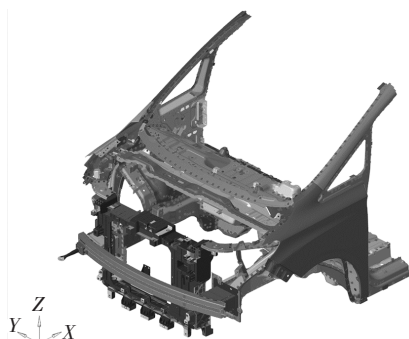


图1 白车身有限元模型



图2 牵引装置有限元模型

表1 线性材料属性

材料	弹性模量/MPa	泊松比
钢	210 000	0.300
结构胶	1 750	0.367
密封胶	10	0.490
玻璃	71 000	0.250

模拟实际拖车环境对白车身有限元模型施加约束和载荷边界条件。其中,约束条件为截取白车身断面6个自由度的全约束,即约束断面X、Y、Z三个方向的平动和绕X、Y、Z轴的转动。为完整模拟实际拖车工况,设置10种载荷工况,即分别向牵引装置施加水平拉力和压缩力、向上5°拉力和压缩力、向下5°拉力和压缩力、向左25°拉力和压缩力、

向右25°拉力和压缩力。拉力和压缩力 F 为:

$$F = Mgr/2 \quad (1)$$

式中, M 为车辆满载质量,本文取 $M=2\ 782\text{ kg}$; g 为重力加速度; r 为安全系数,本文取 $r=1.2$ 。

3 ABAQUS强度分析与结构优化

由于白车身强度分析所需施加的载荷应超过白车身金属材料的屈服极限,从而引起白车身金属材料发生塑性变形,因此白车身强度分析也是一种非线性分析。本文白车身有限元模型在线弹性阶段的应力与应变关系遵循胡克定律:

$$\sigma = E\varepsilon \quad (2)$$

式中, σ 为应力; E 为弹性模量; ε 为应变。

白车身有限元模型在塑性阶段的应力与应变关系遵循真实材料应力-应变曲线,即由材料拉伸试验获得的应力-应变曲线。白车身等效塑性应变通过第四强度理论计算:

$$\varepsilon_r = \sqrt{\frac{1}{2}[(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2]} \quad (3)$$

式中, ε_1 、 ε_2 、 ε_3 分别为3个主应力。

本文牵引装置的应力-应变曲线由拉伸试验测得的应力-应变数据进行二次拟合得到,如图3所示。

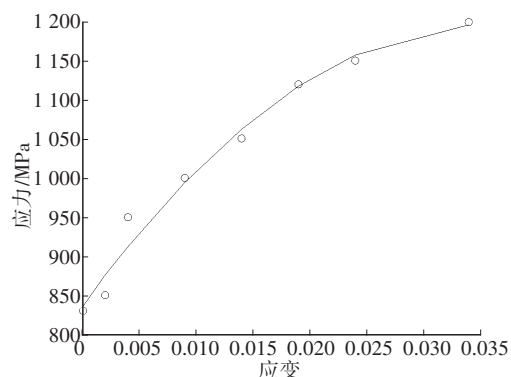


图3 牵引装置塑性阶段应力-应变曲线

3.1 目标设定

本文的设计目标如表2所示。最大位移目标的设定是为了限制牵引装置变形包络的大小,避免保险杠开口设计过大;残余变形和最大塑性应变目标是为了使车身金属材料的强度远低于强度极限。

表2 设计目标

目标项	最大位移/mm	残余变形/mm	最大塑性应变/%
目标值	<18	<6	<15

3.2 计算结果

经过ABAQUS求解和HyperView后处理,各工况计算结果如表3所示。

表3 计算结果

工况	加载点位移/mm	残余位移/mm	最大塑性应变/%
施加水平拉力	8.65	0.40	1.7
施加水平压缩力	6.06	0.26	2.5
施加向上5°拉力	15.64	0.93	1.3
施加向上5°压缩力	15.65	0.20	2.8
施加向下5°拉力	7.38	1.04	2.7
施加向下5°压缩力	5.49	0.36	4.6
施加向左25°拉力	19.65	0.63	3.7
施加向左25°压缩力	19.31	0.30	2.3
施加向右25°拉力	11.48	0.29	0.7
施加向右25°压缩力	12.35	0.14	1.0

从表3中可以看出,只有施加向左25°拉力和压缩力工况的加载点位移超过目标值,2种工况的位移云图如图4、图5所示。将施加向左25°拉力工况位移云图局部放大,如图6所示,防撞梁后端板处产生较大变形,故在端板处进行局部优化处理对改善最大位移的效果较为明显。

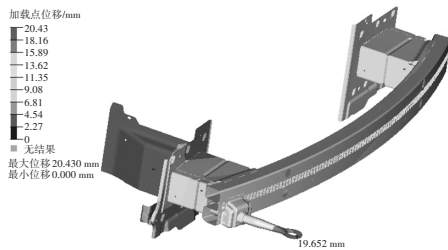


图4 施加向左25°拉伸力工况位移云图

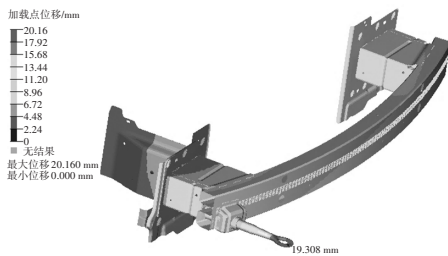


图5 施加向左25°压缩力工况位移云图

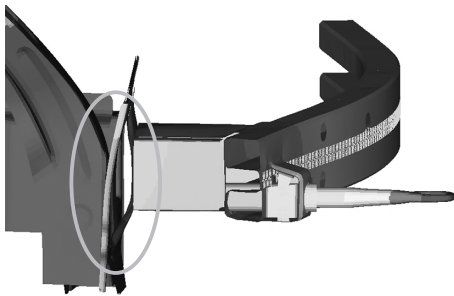


图6 施加向左25°拉力工况局部位移放大云图

3.3 结构优化

为解决2种工况下加载点最大位移超过目标值

的问题,本文提出2种优化方案。

3.3.1 方案1

将防撞梁后端板料厚度由1.8 mm增加至3.5 mm,在端板Z向和Y向边缘各增加5 mm翻边,并将吸能盒覆盖区域全部打孔用来降低由于料厚改变而增加的质量,同时在孔边缘设计上凸加强筋特征。原端板结构和优化后端板结构如图7、图8所示。

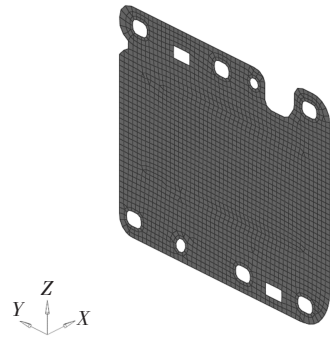


图7 原端板结构

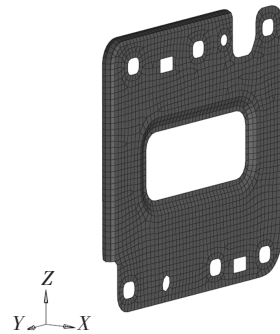
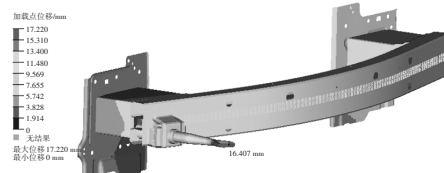
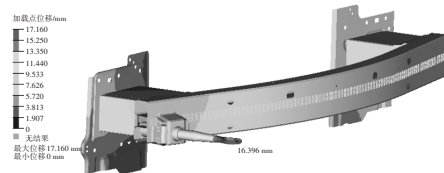
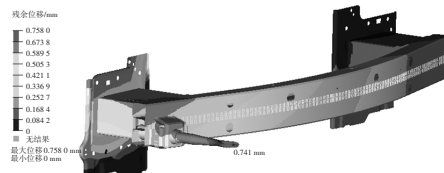


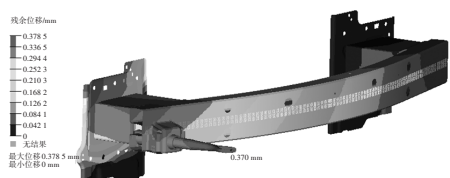
图8 优化后端板结构

优化后加载点最大位移云图和各项目标项计算结果如图9和表4所示,施加向左25°拉力和向右25°拉力工况下加载点的最大位移分别为16.3 mm和16.4 mm,均小于目标值,因此方案1可以选用。

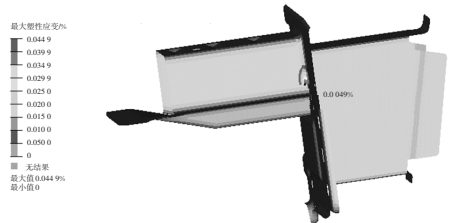
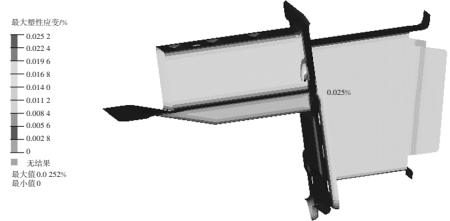


(a)最大位移云图





(b)残余变形云图



(c)最大塑性应变云图

图9 优化后施加向左25°拉力、压缩力工况仿真结果云图

表4 优化后结果

工况	最大位移/mm	残余变形/mm	最大塑性应变/%
施加向左25°拉力	16.3	0.74	2.5
施加向右25°压缩力	16.4	0.37	4.5

3.3.2 方案2

在原始方案基础上,在吸能盒后端板和右前纵梁前端板之间增加螺接点,优化后端板结构如图10所示。施加向左25°拉力和压缩力工况下各目标项计算结果如表5所示,仿真结果云图如图11所示。

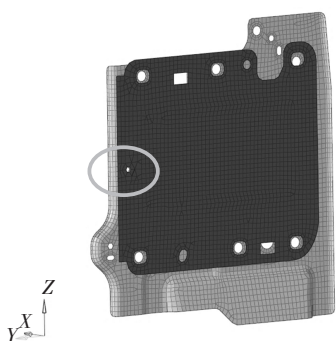
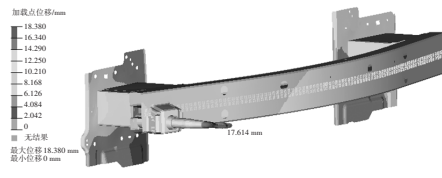


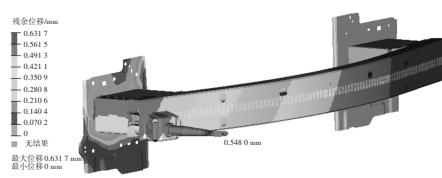
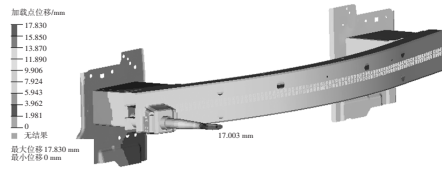
图10 优化后端板结构

表5 优化后结果

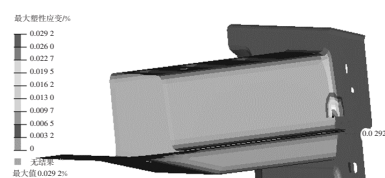
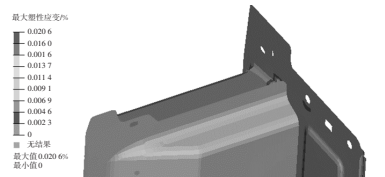
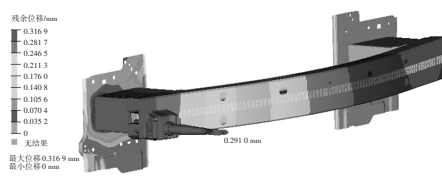
工况	最大位移/mm	残余变形/mm	最大塑性应变/%
施加向左25°拉力	17.6	0.54	2.1
施加向右25°压缩力	17.0	0.29	2.9



(a)位移云图



(b)残余变形云图



(c)最大塑性应变云图

图11 优化后施加向左25°拉力、压缩力工况仿真结果云图

由上述结果可知,方案2也满足设计目标。

方案1中车身质量、材料成本和制造成本略有增加,但仍可接受。方案2涉及重新开发模具、增加螺钉数量、白车身质量和成本等。故本文采用方案1,零件实物如图12所示。



图12 方案1零件实物

4 牵引装置强度台架试验

为了确保实车牵引装置的强度,需对优化后的结构进行试验验证,验证前保险杠横梁总成牵引装置强度性能是否满足设计目标。

4.1 样件准备与设备调整

首先模拟实车装配环境,将前横梁焊接总成通过工装固定在铁地板上,然后将牵引装置安装在前横梁焊接总成上,并在牵引装置端部布置位移传感器,在电动缸和牵引装置之间布置力传感器,如图13所示。

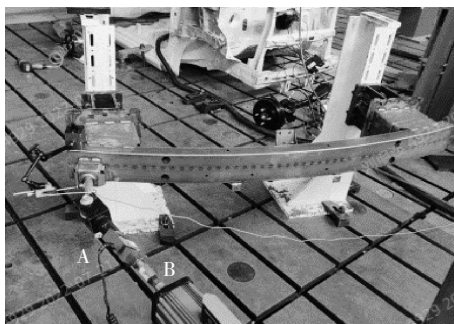


图13 台架试验

对牵引装置施加水平方向、垂直 $\pm 5^\circ$ 方向、水平 $\pm 25^\circ$ 方向14 000 N的拉力和压缩力静载荷。

4.2 试验评价指标

试验评价指标如下:

- 牵引装置及其固定件不应失效、断裂或产生影响正常使用的变形。
- 安装在牵引装置附近的其他部件不应出现影响其正常工作的损坏。

4.3 试验结果

经试验,前保险杠横梁总成未失效、断裂及产

生影响正常使用的变形;安装在牵引装置附近的其他部件未出现影响其正常工作的损坏,并且试验数据满足目标值。施加向左 25° 拉力、压缩力工况下的试验结果如表6所示。

表6 施加向左 25° 拉力、压缩力工况试验结果 mm

工况	位移			残余变形		
	X向	Y向	Z向	X向	Y向	Z向
施加向左 25° 拉力	5.40	10.54	0.05	0.20	0.34	0
施加向左 25° 压缩力	6.10	10.35	0.02	0.31	0.57	0

根据表6中的数据计算得到施加向左 25° 拉力工况最大位移为11.84 mm,施加向左 25° 压缩力工况最大位移为12.01 mm。可见试验结果满足目标值,并远小于模拟值16.3 mm和16.4 mm。

5 结束语

本文首先对车白车身数据进行网格划分、模型连接、材料真实应力-应变曲线设定等前处理,然后对牵引装置进行强度分析,并针对2种工况下加载点最大位移超过目标值的问题提出了2种结构优化方案。仿真分析结果表明,增加端板料厚并设计翻边的方案和在2个端板之间增螺栓孔进行螺接的方案结构强度均满足设计目标,综合考虑成本和生产节拍后采用方案2。采用方案2进行台架试验,结果表明,加载点最大位移满足设计目标。

由本文分析可知,增加料厚对牵引装置强度的改善效果明显,但需要配合采用翻边、打孔、增加加强筋等结构特征优化,以避免引起质量增加过多。

参考文献

- 傅薇,张影.轿车拖钩强度分析[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2009,32(增刊1):101-103.
FU W, ZHANG Y. Towing Hook Strength Analysis for Passenger Car[J]. Journal of Hefei University of Technology (Natural Science Edition), 2009, 32(S1): 101-103.
- 高大威,彭硕方,金小红,等.某商用车前端牵引装置的结构优化[J].机械设计与制造,2018,325(3):137-139+143.
GAO D W, PENG S F, JIN X H, et al. Structure Optimization of a Commercial Vehicle Front-End Traction Device[J]. Machinery Design & Manufacture, 2018, 325(3): 137-139+143.
- 周德生,胡冬青.基于拓扑优化技术的某轿车拖钩强度分析设计[J].汽车实用技术,2020,315(12):77-80+93.
ZHOU D S, HU D Q. Strength Analysis and Design of a Car Tow Hook Based on Topology Optimization Technology[J].

- Automotive Practical Technology, 2020, 315(12): 77-80+93.
- [4] 赖劼修,张燕.纯电动物流车拖车钩断裂失效研究与设计[J].热加工工艺,2020,49(18):157-160.
- LAI J X, ZHANG Y. Research and Design of Trailer Hook Fracture Failure of Pure Electric Logistics Vehicle[J]. Hot Working Technology, 2020, 49(18): 157-160.
- [5] 周长宽.某乘用车前保险杠刚度及回弹特性的非线性有限元分析[D].长春:吉林大学,2017.
- ZHOU C K. Nonlinear Finite Element Analysis on Stiffness and Springback Characteristics of Front Bumper in Passenger Car[D]. Changchun: Jilin University, 2017.
- [6] 林如松,张祥宇,丘荣印.基于OptiStruct的某客车牵引装置的优化设计[J].公路与汽运,2019(5):12-16.
- LIN R S, ZHANG X Y, QIU R Y. Optimization Design of a Bus Trailer Hook Based on Optistruct[J]. Highway and Automobile Transportation, 2019(5): 12-16.
- [7] 秦兴祖,张雯,蒯振.拖车钩断裂失效分析与优化[J].金属加工,2022(6):90-92.
- QIN X Z, ZHANG W, KUAI Z. Fracture Failure Analysis and Optimization of Tow Hook Fracture[J]. Metal Working, 2022(6): 90-92.
- [8] 张守元,沈磊.重型载货汽车车架开裂分析与减重优化[J].汽车技术,2015(11):7-10.
- ZHANG S Y, SHEN L. Cracking Analysis and Weight Reduction Optimization of Heavy Duty Truck Frame[J]. Automotive Technology, 2015(11): 7-10.
- [9] 王慎平,刘北英.ABAQUS中的非线性模拟[J].机械制造与自动化,2006(2):20-22.
- WANG S P, LIU B Y. Nonlinear Simulation in ABAQUS[J]. Machine Building & Automation, 2006(2): 20-22.
- (责任编辑 王 一)
- 修改稿收到日期为2023年2月22日。

《汽车工程师》征稿启事

《汽车工程师》于1974年创刊,是由中国第一汽车集团有限公司主管、中国第一汽车股份有限公司主办的国内外公开发行的汽车应用技术类学术期刊,国家新闻出版广电总局第一批认定的学术期刊。

《汽车工程师》以报道汽车产品开发领域的成果为主,专注于技术开发与应用,提供汽车设计创新解决方案。《汽车工程师》将把握电动化、智能化、网联化、共享化的汽车技术主流发展趋势,努力在电池技术、电驱技术、电控技术、高压技术、补能技术、燃料电池技术、智慧控制、智能驾驶、智享座舱、智能悬架、线控转向、线控制动、NVH、功能安全、预期功能安全、信息安全、数据安全、被动安全、高效动力、高效传动、低风阻、低滚阻、轻量化领域吸收优质稿源,为我国汽车工程技术创新能力提升贡献力量。

热忱欢迎汽车行业的专家学者不吝赐稿,反映国家重点扶持项目、自然科学基金项目和其他重点项目等研究成果的稿件将优先发表,我们期待与您共同践行“把论文写在祖国大地上”的指示精神,为强大中国汽车工业作贡献!

本刊使用协同采编系统处理稿件,请登陆期刊网站注册后投稿,投稿要求见本刊网站中“下载中心”栏目的“作者指南”,网址:<http://tjqc.cbpt.cnki.net>。

《汽车工程师》编辑部