客车正面碰撞安全性仿真分析及结构优化

彭东庆
(厦门金龙旅行车有限公司, 福建 厦门 361022)

摘 要:对某客车原结构的正面碰撞安全性能进行有限元仿真分析。根据仿真结果对原结构前部进行增加吸能盒、增强车架强度等优化设计并进行仿真验证。验证结果显示,该优化设计可有效减少车体结构对驾驶员生存空间的侵入。

关键词:客车; 正面碰撞; 生存空间; 结构优化
中图分类号:U462.3+5 **文献标志码**:A **文章编号**:1006-3331(2024)02-0036-04

Simulation Analysis and Structure Optimization of Coach Front Crash Safety Performance

PENG Dongqing
(Xiamen Golden Dragon Bus Co., Ltd., Xiamen 361022, China)

Abstract: The author carries out the finite element simulation analysis on the front crash safety performance of the original structure of a coach. According to the simulation results, the author does the optimization to the original front by adding energy-absorbing boxes and enhancing the frame strength and verifies the effect by simulation. The verification results show that the optimization design can effectively reduce the intrusion of the vehicle body structure into the driver's living space.

Key words: coach; front crash; living space; structure optimization

已有许多学者对汽车碰撞安全性能进行过相关研究。文献[1]对某客车正面碰撞安全进行仿真分析,验证撞击能量管理及碰撞力传递路径优化对提升客车正面碰撞性能的效果;文献[2]以经济型轿车为研究对象,通过车门和B柱的侵入量以及侵入速度评估侧面的耐撞性;文献[3]对汽车整车变形、车身能量、B柱加速度和前围侵入量等进行分析,研究汽车吸能部件对碰撞结果的影响。上述研究主要对整车结构的变形、能量、加速度进行碰撞安全性能分析,未重点考量驾驶员生存空间。

本文通过仿真客车正面碰撞过程中转向系统对驾驶员生存空间的侵入及驾驶员座椅处加速度来评估客车正面碰撞的安全性能,并根据仿真结果提出结构优化设计方案,同时验证优化方案的有效性。

1 有限元模型的建立及设置

采用HyperMesh软件对整车进行有限元建模。车身构件主要采用壳单元进行网格划分,基本尺寸为10 mm。单元类型以四边形单元为主,三角形单元为辅,将三角形单元比例控制在单元总数的5%以下。底盘部件采用体单元建模。焊缝采用节点耦合和刚性连接的方法模拟;螺栓采用刚性单元连接模拟;气囊、减振器采用弹簧单元模拟。整车有限元模型如图1所示,共有1 845 428个单元、1 815 493个节点。

另外,参考JT/T 1178.1—2018《营运货车安全技术条件 第1部分:载货汽车》[4]标准,建立假人生存

收稿日期:2023-12-14。
第一作者:彭东庆(1974—),男,高级工程师;主要从事客车企业经营管理工作。E-mail:pengdongqing@xmjl.com。

空间模型,模型采用四边形单元进行网格划分,基本尺寸为 50 mm,并根据 R 点位置安装假人。假人位置示意图如图 2 所示

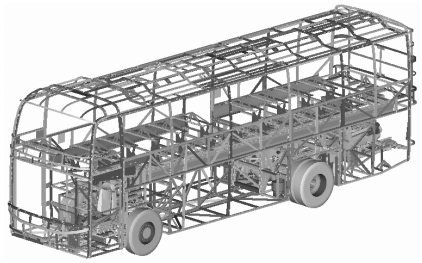


图 1　整车有限元模型

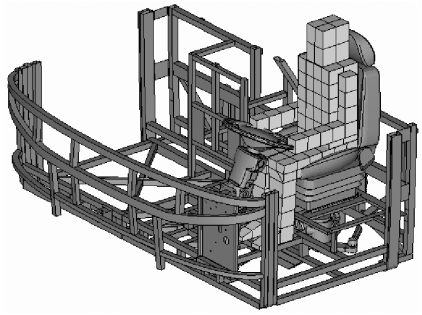


图 2　假人位置示意图

仿真分析时对整车施加重力加速度,同时施加行驶方向 30 km/h 的初速度。碰撞仿真中,汽车碰撞从开始接触壁障到完全变形的时长一般为 80~120 ms。碰撞初速度相同时,因客车质量远大于乘用车,碰撞总能量要比乘用车大得多,同时因客车长度大于乘用车,发生完全变形的时间可能会更长,所以参照相关资料[5],设置计算的终止时间为 120 ms。

2　仿真分析结果

该仿真分析采用 OptiStruct 进行求解计算,采用 HyperGraph 进行能量及加速度曲线的数据处理,采用 HyperView 进行云图分析、提取应力、变形等数据。

2.1　能量分析

整车整备质量 m 为 12.8 t,初始速度 v 为 30 km/h,仿真碰撞总能量 $E=mv^2/2=447$ kJ。碰撞过程中能量转化如图 3 所示,总能量基本保持不变,由动能转化为内能的能量变化曲线过渡平滑;整个碰撞过程中,沙漏能和界面能占总能量的百分比较小,因而对结果影响较小。因此,该仿真分析符合能量守恒定律,客车正面碰撞模拟计算结果可用[6-8]。

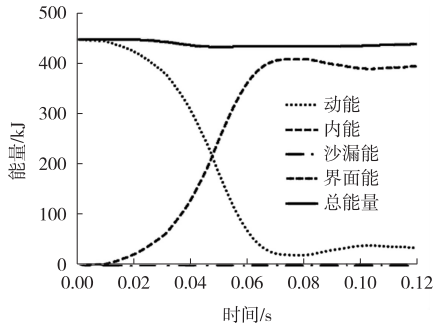


图 3　能量曲线图

2.2　加速度分析

由于驾驶员座椅地板处不易发生变形,且与驾驶员最为接近,所以一般用驾驶室座椅地板中心处的加速度来表征驾驶员的加速度。原始状态驾驶员座椅地板中心处最大加速度为 87.1g,加速度随时间变化曲线如图 4 所示。

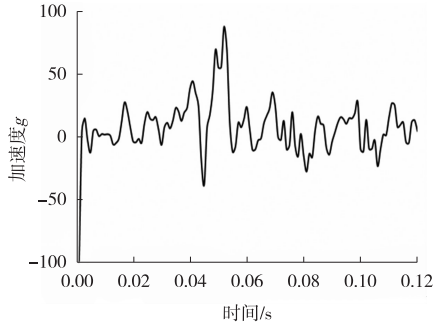
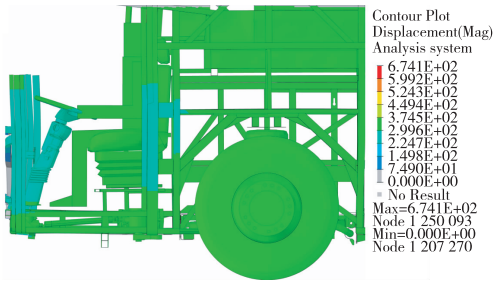


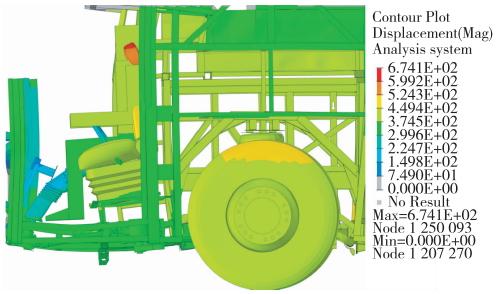
图 4　驾驶员座椅地板中心处加速度变化图

2.3　变形分析

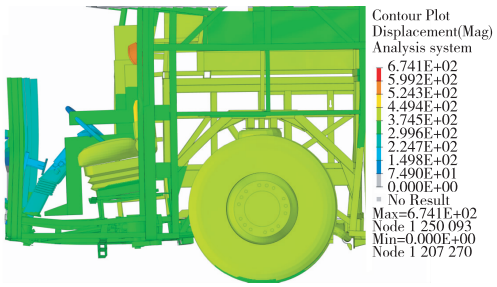
正面碰撞变形主要集中在乘客门后立柱前区域,其中前围骨架、前部地板、车架变形严重,多根杆件出现压溃、失稳现象[9]。碰撞开始 75 ms 时速度降为 0,之后开始反弹。碰撞发生 40 ms 时转向管柱开始侵入假人生存空间,70 ms 时侵入量达到最大值 247 mm,之后开始减小,100 ms 时再次增加,至仿真结束一直保持侵入状态。驾驶舱随时间的变形图如图 5 所示。原始结构状态无法满足 JT/T 1369—2020《客车正面碰撞的乘员保护》[10]关于“试验过程中和试验后,车辆上邵氏硬度(A)大于 50 的非弹性部件不能与 JT/T 1178.1—2018 附录 C.4 所规定的人体模型接触”的要求,需要对结构进行优化设计。



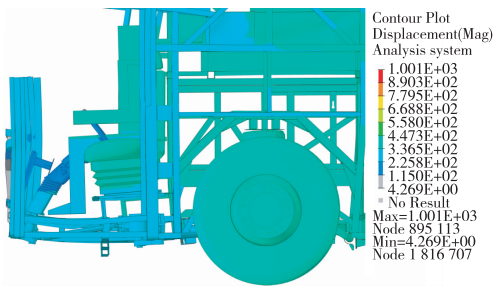
（a）40 ms，侵入 0 mm



（b）70 ms，侵入 247 mm



（c）100 ms，侵入 107 mm



（d）120 ms，侵入 187 mm

图 5 驾驶员驾驶舱变形图

3 结构优化及效果

3.1 优化方案

车体结构优化设计首先要保证乘员拥有足够的生存空间，乘员舱区域主要承载变形的车架要有足够的刚度和强度，以提高前部抵抗变形的能力并保证力的有效传递，确保乘员舱区域内的部件不对乘员身体造成伤害。同时，前段结构还应为吸能区域，通过变形、断裂等形式在碰撞过程中尽可能多地将动能转化为内能，降低碰撞过程中产生的能量[11-12]。

具体方案为：①右侧车架增加规格为 60 mm×40 mm×3 mm 的型材与原型材并焊，再增加 40 mm×30 mm×3 mm 斜撑；②前立面型材厚度由 2 mm 增加至 3 mm；③前立面前部再增加 3 mm 厚加强板；④前段纵梁增加 3 mm 厚加强板；⑤在车架前端安装 4 个蜂窝铝吸能盒，提高缓冲吸能特性。结构优化方案如图 6 所示[13-15]。

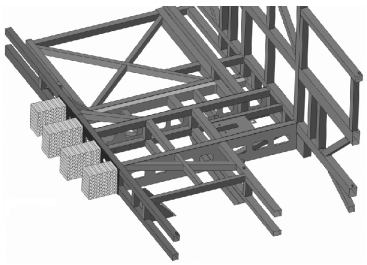


图 6 结构优化方案

3.2 优化效果

驾驶员座椅地板中心加速度由优化前的 87.1g 降低至 34.9g，如图 7 所示。优化结构吸能效果良好，合理地将载荷传递至驾驶室后方，有效地降低了对驾驶员的伤害。优化后的驾驶舱随时间变形图如图 8 所示。从图 8 可知，发生碰撞 70 ms 时转向管柱与假人生存空间的距离达到最小值，最小距离在 X 方向为 7.2 mm，随后转向管柱回弹，离开假人生存空间。优化设计后的整个碰撞过程中，车内部件未侵入驾驶员生存空间。

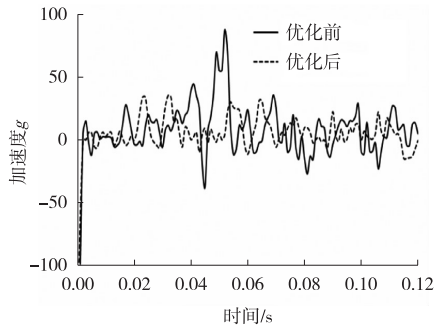
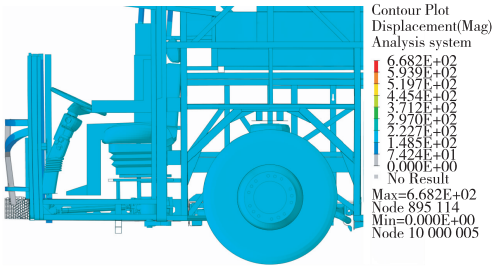
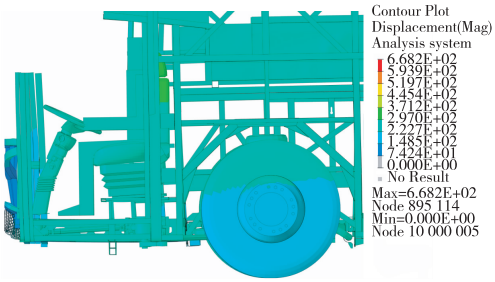


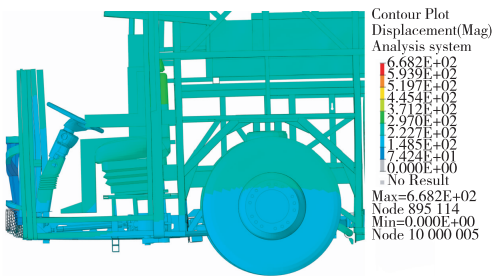
图 7 驾驶员座椅地板中心加速度变化对比图



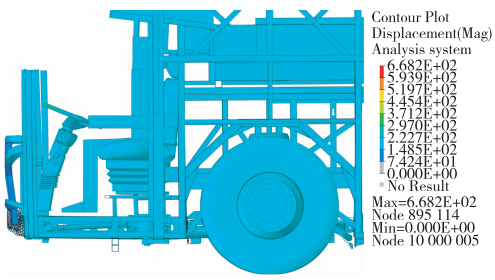
（a）40 ms，生存空间余量 43 mm



（b）70 ms，生存空间余量 7 mm



（c）100 ms，生存空间余量 22 mm



（d）120 ms，生存空间余量 41 mm

图 8　优化后驾驶员驾驶舱变形图

进一步分析可知，碰撞时蜂窝铝吸能盒优先变形，前段车架变形减弱效果明显。吸能部分吸收的能量为 132 kJ，占总能量的 29.4%。由于蜂窝结构的特殊性，其对于碰撞能量的吸收及压缩变形展现出良好的特性。

4　结束语

对某客车正面碰撞仿真表明：该车正面碰撞过程中驾驶员生存空间遭到侵入，前部结构强度不满足 JT/T 1369—2020《客车正面碰撞的乘员保护》法规要求。根据仿真结果进行结构优化设计，采用蜂窝铝吸能装置可吸收 29.4%的能量，明显降低了驾驶员处的加速度峰值及转向系统对假人生存空间的侵入，证明了优化方案的有效性。

参考文献：

[1] 彭旺，张雅鑫. 客车正面碰撞仿真分析及性能优化[J]. 客车技术与研究，2019，41(4)：9-11.

[2] 庞通，邓国红，杨鄂川，等. 某乘用车侧面碰撞性能分析及结构优化[J]. 重庆理工大学学报(自然科学)，2013，27(12)：22-28.

[3] 郑何妍，卢耀辉，张德文，等. 汽车正面耐碰撞性有限元仿真分析[J]. 重庆理工大学学报(自然科学)2018，32(2)：31-37.

[4] 交通运输部运输服务司. 营运货车安全技术条件 第 1 部分：载货汽车：JT/T 1178.1—2018[S]. 北京：人民交通出版社，2018：14-15.

[5] 王煜，汪中传，郭悦. 10.5 m 公路客车正碰仿真分析及改进[J]. 客车技术与研究，2019，41(3)：8-11.

[6] 吴长风，那景新，杨佳宙，等. 客车正面碰撞车身结构耐撞性分析与改进[J]. 客车技术与研究，2018，40(4)：4-7.

[7] 于国飞，黄飞，王海兵. 管内填充对提高客车侧翻强度的研究[J]. 客车技术与研究，2018，40(5)：56-59.

[8] 吴靖. 基于承载式客车的正面碰撞性能仿真研究[J]. 汽车技术，2013(4)：37-41.

[9] 李瑞锋. 某大客车正面碰撞仿真分析及结构优化设计[J]. 机电技术，2016(1)：90-92.

[10] 中华人民共和国交通运输部. 客车正面碰撞的乘员保护：JT/T 1369—2020[S]. 北京：人民交通出版社，2020：1-2.

[11] 张路，杨志刚，林祥辉. 正面碰撞车身设计基本思路[J]. 时代汽车，2022(16)：109-111.

[12] 司俊德，孟照雨，王铨溥. 大客车正面碰撞安全性能分析及结构改进验证[J]. 汽车实用技术，2023，48(16)：80-85.

[13] 史爱民，费敬，崔淑娟，等. 某 MPV 正面碰撞中结构改进优化研究[J]. 汽车工程学报，2019，9(4)：294-298.

[14] 熊辉，方军，胡钊. 基于 C-IASI 白车身结构正面和侧面碰撞分析与优化[J]. 汽车科技，2023(4)：8-12.

[15] 赵世婧，樊继红，王贞涛. 基于正面碰撞汽车前纵梁结构优化设计分析[J]. 机械设计与制造，2020(12)：138-141.