

基于空载救援工况下的公交车车体骨架 模型建立及强度分析

李晓英¹, 廖卫强¹, 王先君²

(1. 集美大学 轮机工程学院, 福建 厦门 361021;
2. 厦门金龙旅行车有限公司, 福建 厦门 361006)

摘要:根据美国宾夕法尼亚州立大学工程学院阿尔图纳客车测试和研究中心所编制的最新客车测试方法,对18 m公交车车体骨架在空载救援工况下的车身骨架强度要求进行建模及仿真测试分析。首先基于CAE有限元仿真平台HyperWorks,利用Hypermesh构建了一类18 m公交车车体骨架模型;其次对所构建的模型的相关参数进行设置,并对各应力点给出一种载荷处理方法;最后在空载救援工况下,对所构建的车体骨架仿真模型施加330 kN向前的拉力,并对车体骨架的多个节点进行强度仿真分析。仿真结果显示各总成最大应力值均小于对应材料的屈服强度,表明所构建的车体骨架仿真模型的建模方法以及空载救援工况下的结构强度仿真分析均达到了美国最新客车测试方法关于空载救援拖车工况的强度要求。

关键词:空载救援工况;公交车救援;车体骨架;Hypermesh

中图分类号:V463.831

文献标志码:A

文章编号:1671-5322(2020)01-0028-08

18 m公交车凭载客量大的特点一直是国内外快速公交系统(BRT)首选车型。但一旦车辆出现故障,特别是当车辆故障发生在BRT专用线路上时,对故障车辆的尽快救援或拖离救援就尤为重要^[1]。当需要对故障车辆实施救援拖车时,这会对车体骨架强度极大地挑战。如果故障车辆骨架所设计的救援工况强度不足,将会造成故障车辆的二次损坏,而且根据实际经验往往由拖车救援造成的二次损坏往往比首次故障更加严重。

一直以来国内整车认证标准是参照欧盟EC2007-46进行认证的,而该欧盟认证标准并未对空载救援工况下的公交车车身骨架强度进行认证。当公交车出现故障时,对其实施救援的拖车将极大地挑战车体骨架强度^[2]。因此,本文参考美国宾夕法尼亚州立大学工程学院(Penn State College of Engineering)阿尔图纳(Altoona)客车测试和研究中心所编制的客车测试方法,针对公交车在空载工况下,无法正常行驶并需要救援车进行牵引时,如何校核救援车牵引力对车辆骨架影响的测试方法^[3],对一类18 m快速公交车的车体

骨架能否满足救援工况的强度进行有限元建模分析和仿真试验^[4-5]。仿真结果表明本文所构建的车体骨架模型可以满足美国宾夕法尼亚州立大学工程学院阿尔图纳客车测试和研究中心所编制的最新客车测试标准。

2 基于Hypermesh的车体骨架仿真模型的构建

2.1 车体骨架模型的建模原则

客车骨架绝大部分是由矩形管焊接而成的框架结构,结构较为复杂,其中包含有较多的功能件和工艺结构件等,该结构件对整车的结构性能影响较小,可以简化忽略,因此在整车有限元模型建立时需要适当的简化模型^[6]。根据本文要建模的车身骨架的结构特点,为使计算不失准确且同时计算速度较快,因此主体采用壳单元(四边形CQUAD4单元、三角形CTRIA3单元),个别铸件采用实体单元(CTETRA单元)。实体单元主要用于底盘铸件类零部件、厚度超过10 mm的零部件的网格划分,如:推力杆支座、铸件。壳单元由

于建模精度较高,整车上的承载件都可以准确地模拟。当前拥有的计算条件和方法已成功解决壳单元模型原本花费时间多,工作量大,模型规模大,电脑配置高,计算时间长的问題。如图 1 所示为壳单元,如图 2 所示为体单元。

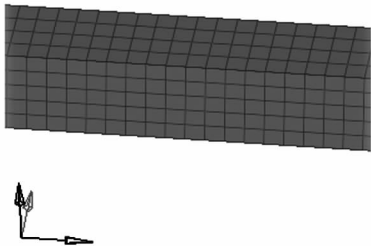


图 1 壳单元
Fig 1 Shell elements

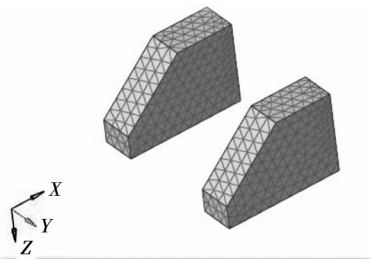


图 2 体单元
Fig 2 Solid elements

对于白车身骨架的连接部分,要保证壳单元基本不变形的条件下,采用节点融合方法模拟焊接,主要应用在“T”形接头;个别焊接采用四边形 CQUAD4 单元模拟;车架部分,螺栓和柳钉采用刚性连接 RBE2 模拟。如图 3 ~ 图 5 所示为连接处理情况。

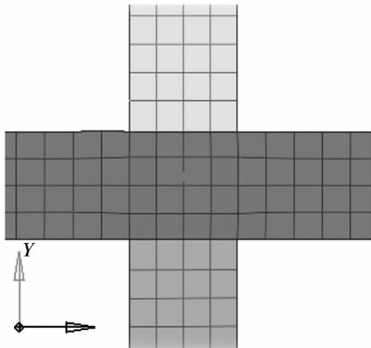


图 3 合并节点
Fig 3 Merge node

2.2 车体骨架模型的建模标准

本文 Hypermesh 软件中的网格采用 2D 壳单

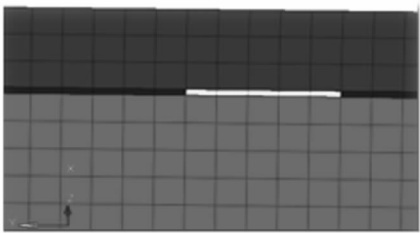


图 4 网格焊接
Fig 4 Grid welding

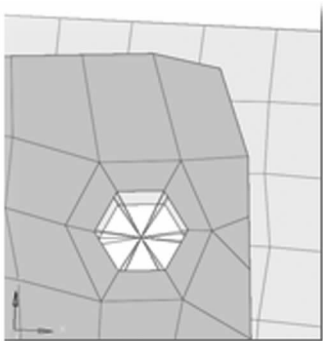


图 5 螺栓连接
Fig 5 Bolt connection

元进行网格划分,单元类型为四边形,单元平均尺寸为 15 mm;车身骨架焊接处主要用共节点连接来模拟,部分焊接用 2D 单元模拟,厚度为 4 mm。本文车体骨架建模的网格质量标准如表 1 所示。建模中网格参数设置如图 6 所示。建模中网格质量的检查结果如图 7 所示。

表 1 网格标准
Table 1 Grid Standards

参数	标准值
最小长度/mm	2
最大长度/mm	20
长宽比	5
翘曲度/(°)	15
雅克比	0.6
最小四边形内角/(°)	45
最大四边形内角/(°)	135
最小三角形内角/(°)	20
最小三角形内角/(°)	120
三角形网格占总数百分比/%	10

由图 7 可以看出,该模型的网格参数设置都满足了质量要求,无失效单元,因此可以根据此网格参数设置来进行车体骨架模型的建模。

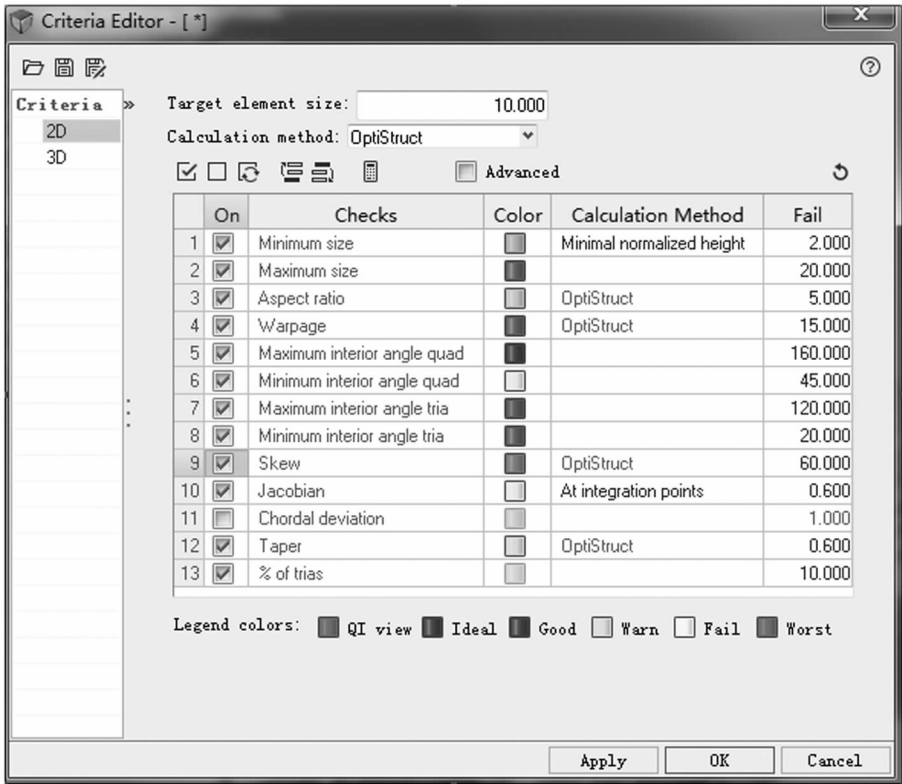


图 6 网格质量设置

Fig 6 Grid quality settings

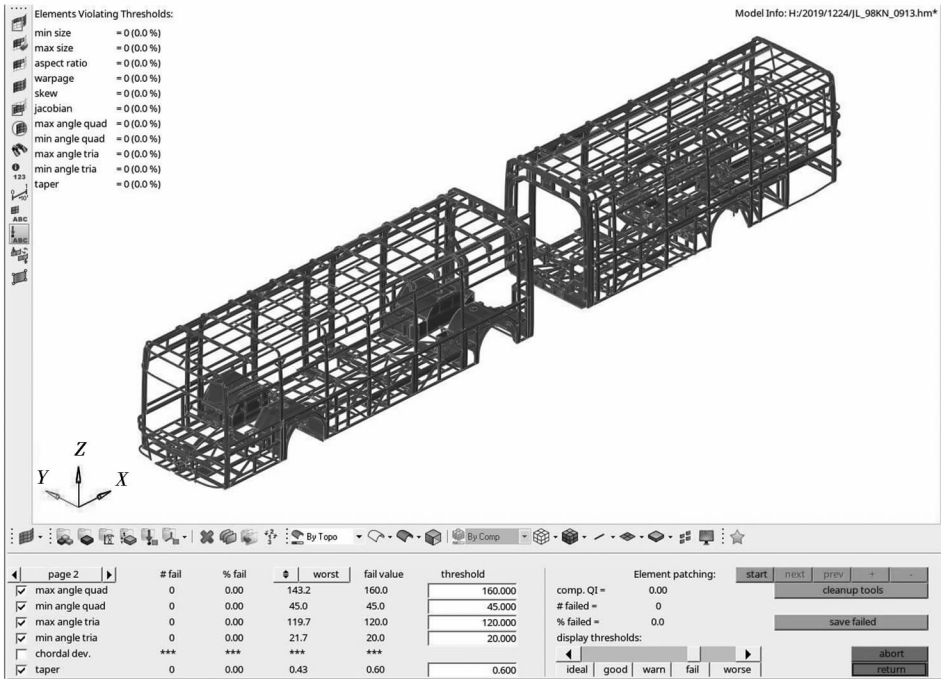


图 7 网格质量检查结果

Fig 7 Grid quality check results

2.3 18 m 公交车的车体骨架模型的建模

基于上述建模原则和建模标准,本文的 18 m 公交车有限元建模中略去了蒙皮和某些非承载结

构^[7],如面板和窗玻璃等,这将使分析计算结果较实际偏于安全;车体骨架中所有规则的型材,如矩形截面管等,均用壳单元模拟。考虑到整个车

体骨架的应力分布情况,对于非高应力区域并且直径小于 5 mm 的小孔可简化处理;考虑到车体骨架附件的复杂形状以及因其所产生的应力未对车体骨架的刚度和强度有较大的影响,因此可忽略车体骨架附件的形状,比如前后视镜、车内扶手等。车体骨架各节点的处理方式则按照上述建模

标准进行处理。基于以上建模原则和建模标准而建立的 18 m 公交车骨架模型(不含质量单元)中,包括 2 627 004 个壳单元和 2 502 261 个节点,如图 8 所示。后续的分析将在此模型的基础上施加约束和载荷进行静力学仿真。

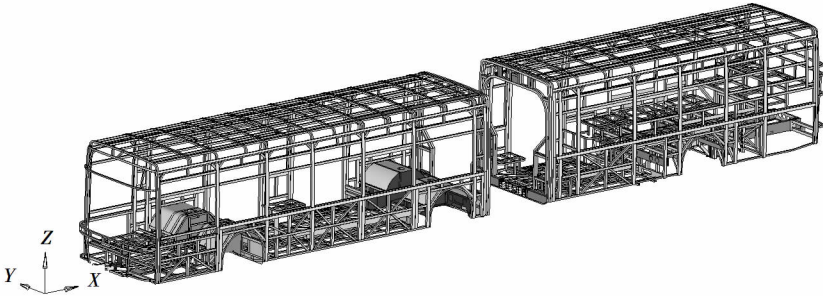


图 8 18 m 公交车有限元模型
Fig 8 Finite element model of 18 meters bus

3 基于空载救援工况的车体骨架强度仿真与结果分析

3.1 车身骨架的主要材料及参数设置

本文的 18 m 快速公交系统中的骨架主要材

料及参数如表 2 和表 3 所示。其中 Q235 和 Q345 是车辆常用材料。

3.2 基于空载工况时的应力点的载荷处理

本文中有限元分析是基于车辆救援工况时,根据该工况下的美国宾夕法尼亚工程学院阿尔图

表 2 骨架主要材料
Table 2 Main material of the skeleton

编号	部件名称	材料名称	屈服强度/MPa
1	顶盖、侧围、前后围、地板骨架	Q235	235
2	车架、侧围部分立柱	Q345	345

表 3 材料参数
Table 3 Material parameters

编号	材料牌号	密度/(g · cm ⁻³)	弹性模量/MPa	泊松比	屈服强度/MPa
1	Q235	7.85	210000	0.3	235
2	Q345				345

纳客车测试方法的要求,将 1.2 倍总质量的载荷施加于拖车钩,模拟公交车的道路救援工况。将与动力总成等刚度的零件以刚性连接的形式连接到安装支架,然后在质心点加载质量单元进行配重;乘客和座椅等质量均匀分布到相应区域的节点上;车体本身自重按所给密度和结构尺寸由程序自动施加上^[8]。配重完成后,扣除乘客质量、固定螺栓质量、焊料质量,整车空载总质量约为 16.9 t。在公交车前部拖车钩施加 1.2 倍满载总质量,约为 330 kN,载荷加载示意图如图 9 所示。

3.3 各设备重量的仿真加载量

本文在仿真实验时,对 18 m 公交车主要设备的质量配置如表 4 所示。

3.4 基于 Hypermesh 的车体骨架模型的仿真和结果分析

3.4.1 整车车身的应力分析

在整车施加向前 330 kN 的拉力时,整车发生相应的形变应力。其中整车骨架的应力云图如图 10 所示。

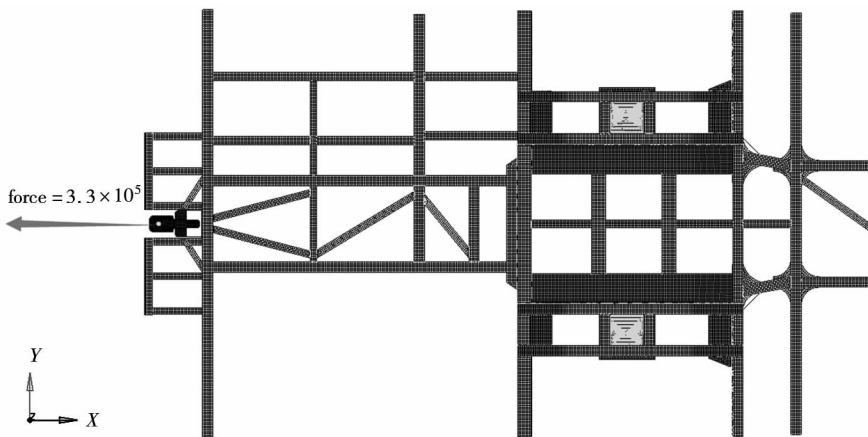


图 9 救援工况载荷示意图

Fig 9 Schematic diagram of rescue operating condition load

表 4 配置表

Table 4 Configuration table

质量项	设计质量/kg	实际加载质量/kg	位置
侧围蒙皮	194	194	侧围骨架
顶盖蒙皮	185	185	顶盖骨架
前乘客门	90	90	前门骨架
中门(第二门)	90	90	第二门骨架
中门(第三门)	90	90	第三门骨架
风道	208	208	顶盖风道骨架
前围蒙皮	40	40	前围骨架
后围蒙皮	30	30	后围骨架
后舱门	30	30	后舱门骨架
前围挡风玻璃	90	90	前围骨架
后围挡风玻璃	30	30	后围骨架
左侧挡风玻璃	300	300	左侧骨架
右侧挡风玻璃	225	225	右侧骨架
乘客座椅	360	360	底盘骨架
地板	740	740	底盘骨架
前空调	200	200	前车顶盖安装孔
后空调	210	210	后车顶盖安装孔
电池冷却系统	63	63	底盘支架上
空调压缩机	160	160	底盘骨架
消声器+支架	30	30	底盘骨架
散热器	125	125	底盘骨架
储气罐	120	120	底盘骨架
转向系统	71	71	底盘骨架
动力电池箱	1268	1268	前车顶盖
电机	455	455	底盘骨架
整车控制器	30	30	底盘骨架
高压箱	25	25	底盘骨架
后包围	65	65	底盘骨架
扶手总成	270	270	顶盖内侧骨架
仪表台	30	30	底盘骨架
吸塑件	148	148	底盘骨架
铰接盘	1335	1335	两节车厢连接处

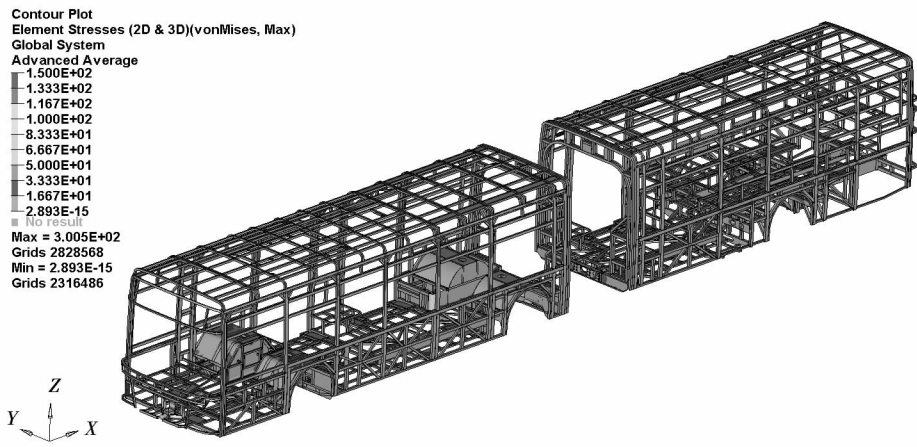


图 10 救援工况下整车骨架应力云图

Fig 10 Stress nephogram of vehicle skeleton under rescue condition

其中整车骨架在拖钩与立柱连接处的最大应力值是 300.5 MPa,而该处车身骨架的材料的屈服强度为 345 MPa,可见,试验车型的整车骨架在救援工况下满足了强度的要求。

3.4.2 前车底盘骨架应力分析

在整车施加向前 330 kN 的拉力时,前车底盘骨架发生相应的形变应力。其中前车底盘骨架的应力云图如图 11 所示。

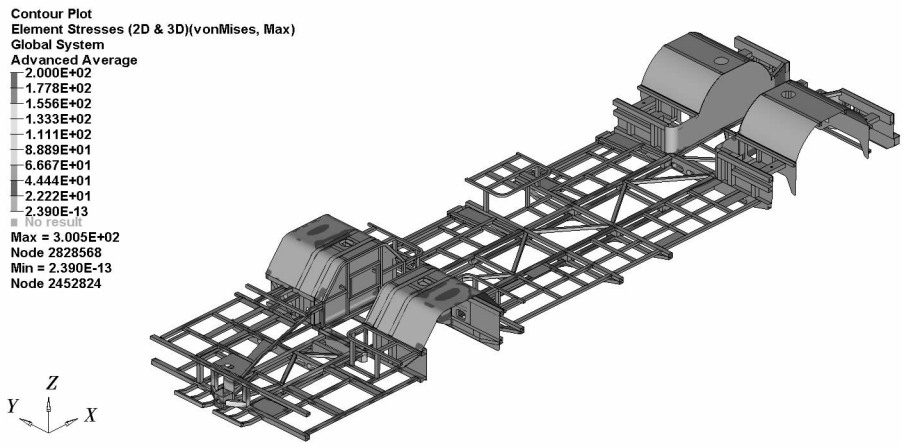


图 11 救援工况下前车底盘骨架应力云图

Fig 11 Stress nephogram of front chassis frame under rescue condition

其中前车底盘骨架在拖钩与立柱连接处的最大应力值是 300.5 MPa,而该处车身骨架的材料的屈服强度为 345 MPa,可见,试验车型的前车底盘骨架在救援工况下满足了强度的要求。

3.4.3 前车车身骨架应力分析

在整车施加向前 330 kN 的拉力时,前车车身骨架发生相应的形变应力。其中前车车身骨架的应力云图如图 12 所示。

其中前车车身骨架在中二门上横梁处的最大应力值是 207.4 MPa,而该处车身骨架的材料的屈服强度为 235 MPa,可见,试验车型的前车车身骨架在救援工况下满足了强度的要求。

3.4.4 后车底盘骨架应力分析

在整车施加向前 330 kN 的拉力时,后车底盘骨架发生相应的形变应力。其中后车底盘骨架的应力云图如图 13 所示。

其中后车底盘骨架在悬架加强板件处的最大应力值是 211.3 MPa,而该处后车底盘的材料的屈服强度为 345 MPa,可见,试验车型的后车底盘骨架在救援工况下满足了强度的要求。

3.4.5 后车车身骨架应力分析

在整车施加向前 330 kN 的拉力时,后车车身骨架发生相应的形变应力。其中后车车身骨架的应力云图如图 14 所示。

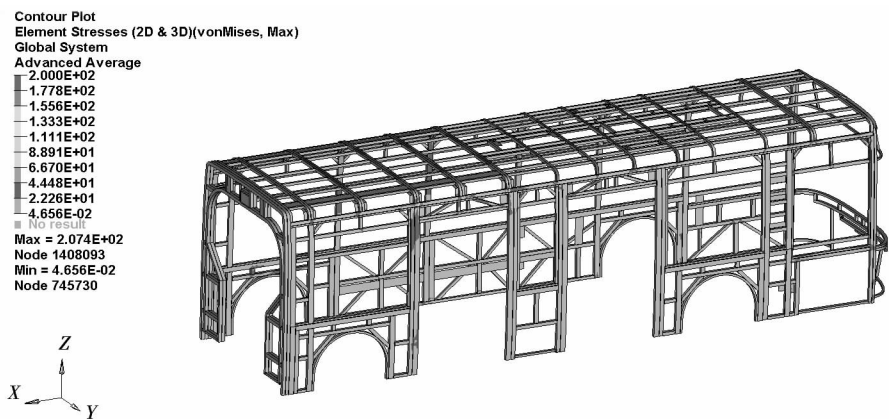


图 12 救援工况下前车车身骨架应力云图
Fig 12 Stress nephogram of front body frame under rescue condition

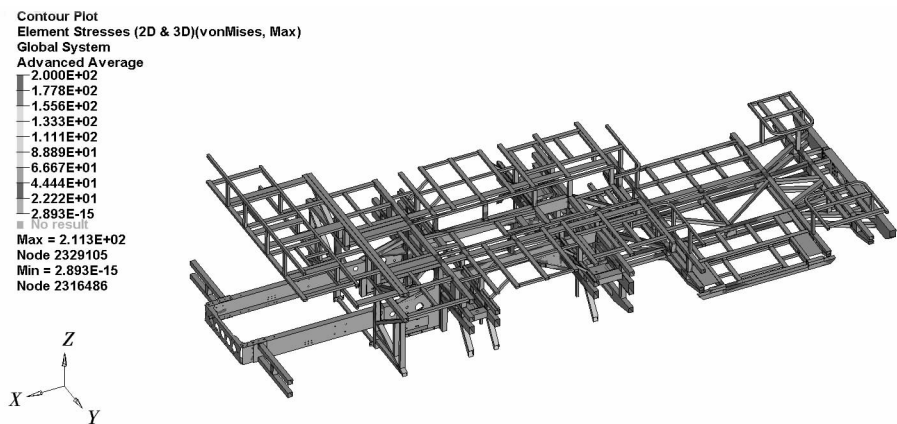


图 13 救援工况下后车底盘骨架应力云图
Fig 13 Stress nephogram of rear chassis frame under rescue condition

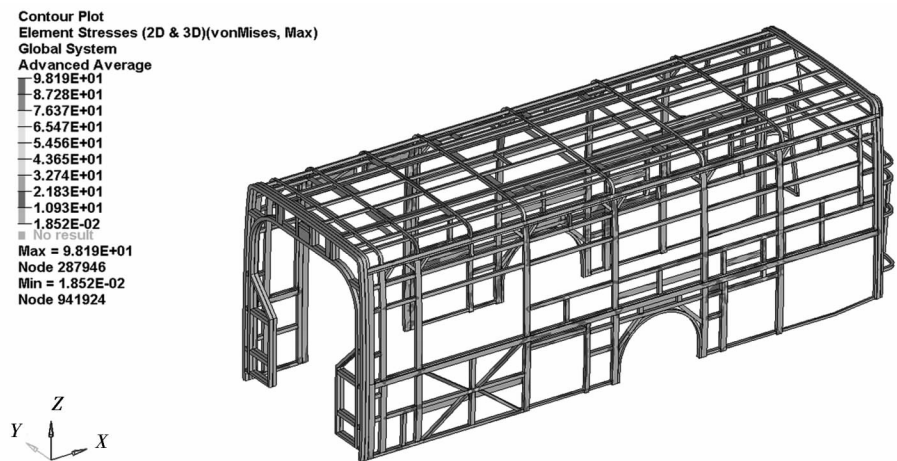


图 14 救援工况下后车车身骨架应力云图
Fig 14 Stress nephogram of rear body frame under rescue condition

其中后车车身骨架在舱门横梁处的最大应力值是 98.19 MPa, 而该处后车车身的材料的屈服强度为 235 MPa, 可见, 试验车型的后车车身骨架在救援工况下满足了强度的要求。

5 结论

本文利用 Hypermesh 建模工具建立了 18 m 公交车车体骨架模型,并在该模型上进行了空载救援工况的强度仿真和分析,在这个过程中,得到如下结论:

根据美国宾夕法尼亚大学工程学院阿尔图纳客车测试方法的要求,将 1.2 倍总质量的载荷施加于拖车钩,即可模拟公交车的道路救援工况。

并根据该测试方法选取整车车身骨架、前车车身骨架、前车底盘骨架、后车车身骨架、后车底盘骨架共 5 个部位的应力点进行强度测试和仿真分析,结果表明测试结点的最大应力值均小于该处材料的屈服强度,因此本次基于 Hypermesh 的公交车车体骨架建模方法满足了美国宾夕法尼亚州立大学工程学院阿尔图纳客车测试和研究中心所编制的最新客车测试方法中关于空载救援工况下的车身骨架强度要求。

参考文献:

- [1] 刘宏利,张国胜,唐歌藤,等. 某型道路清障救援车起重机构强度分析[J]. 交通节能与环保,2018,14(2):19-21.
- [2] 石琴,张代胜,谷叶水,等. 大客车车身骨架结构强度分析及其改进设计[J]. 汽车工程,2007,29(1):87-92.
- [3] The Thomas D. Larson Test Bus Procedure[S]. Altoona Bus Test and Research Center, Pennsylvania Transportation Institute, The Pennsylvania State University, PA, USA, 2016. 10.
- [4] 张衍成,刘红艳. 轿车前拖车钩强度优化分析[J]. 时代汽车, 2017,8(8):119-121.
- [5] HU I, YANG C L, WANG J M. Development and validation of finite element model for the welded structure of transit bus [J]. International Journal of Heavy Vehicle System,2012,19(4):371-388.
- [6] 黄天泽,黄金陵. 汽车车身结构与设计[M]. 北京:机械工业出版社,2005.
- [7] 岳凤来,吴志新,周荣. 城市客车车身骨架有限元分析及改进设计[J]. 机械设计与制造,2009(6):49-51.
- [8] 陈烨. 无轨电车身结构强度分析和优化[J]. 金属加工(冷加工),2016(S1):467-470.

Establishment and Strength Analysis of Bus Body Skeleton Model Based on No-load Rescue Condition

LI Xiaoying¹, LIAO Weiqiang¹, WANG Xianjun²

(1. School of Marine Engineering, Jimei University, Xiamen Fujian 361024, China;
2. Xiamen Golden Dragon Bus Co., Ltd., Xiamen Fujian 361006, China)

Abstract: According to the latest bus test method compiled by Altona Bus Test and Research Center of Penn State College of engineering, the strength requirements of 18 meters bus body skeleton under no-load rescue condition are modeled and simulated. Firstly, based on the CAE finite element simulation platform HyperWorks, a kind of 18 meters bus body skeleton model is constructed by HyperMesh. Secondly, the relevant parameters of the model are set, and a load treatment method is given for each stress point. Finally, under the condition of no-load rescue, the forward pull force of 330 kN is applied to the simulation model of the car body skeleton, and the strength simulation analysis is carried out for multiple nodes of the car body skeleton. The simulation results show that the maximum stress value of each assembly is less than the yield strength of the corresponding material, which shows that the modeling method of the simulation model of the car body skeleton and the structural strength simulation analysis under the no-load rescue condition all meet the strength requirements of the latest bus test method of the United States on the no-load rescue towing condition.

Keywords: no-load rescue condition; bus rescue; bus body skeleton; Hypermesh

(责任编辑:张英健)