

DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2024.02.011

## 9.6m 厢式货车铝合金厢体的轻量化设计和刚度研究

夏悦祥, 辛舟

(兰州理工大学 机电工程学院, 甘肃 兰州 730050)

**摘要:** 交通领域作为最大排放源之一, 汽车轻量化成为实现双碳目标的有效途径。将 9.6m 中型厢式货车厢体设计变更为铝合金材料, 建立该车厢的三维模型及有限元模型, 针对厢体不同构件特点划分不同网格, 并在国家及行业标准的测试工况下进行结构分析, 确保厢体所受应力及残余变形满足标准。仿真结果表明: 该车厢既满足原有安全可靠的要求, 也具有更小体积质量、更耐腐蚀、更大冲压塑性等特点。

**关键字:** 厢式货车; 铝合金; 有限元分析; 刚度分析

**中图分类号:** TH122 **文献标志码:** B **文章编号:** 1671-5276(2024)02-0056-04

## Lightweight Design and Stiffness Research Based on Aluminum Alloy Body of 9.6m Van

XIA Yuexiang, XIN Zhou

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

**Abstract:** As one of the largest sources of emissions in the transportation sector, vehicle lightweight has become an effective way to achieve the goal of dual carbon. A 9.6-meter medium-sized van body is substituted with aluminum alloy material, a three-dimensional model and a finite element model of the carriage are established. According to the characteristics of different components of the cabin, different grids are divided, and their structures analyzed under the test conditions of national and industry standards to ensure that the stress and residual deformation of the cabin meet the standards. The simulation results show that the carriage not only meets the original requirements of safety and reliability, but also has the characteristics of smaller specific gravity, more corrosion resistance and greater stamping plasticity.

**Keywords:** van; aluminum alloy; finite element analysis; stiffness analysis

### 0 引言

伴随着我国经济发展, 各个行业物质材料调配需求快速增长。在物流运输的途径中, 公路运输以快捷灵活特性占据重要地位。根据《2020 年交通运输行业发展统计公报》显示, 2020 年年底, 我国共有 1 171.54 万辆道路运营车辆。其中: 载货车辆 1 110.28 万辆、15 784.17 万吨位, 分别为普通货车 414.14 万辆、4 660.76 万吨位; 专用车辆 50.67 万辆、596.60 万吨位; 特种牵引车 310.84 万辆、挂车 334.63 万辆<sup>[1]</sup>。相较于裸露运输, 厢式货车避免了下雨刮风等天气变化对货物的损伤, 减少了货物在运输途中遭遇盗窃的情况, 提高了货物的安全性。此外, 厢式车有一系列统一的设计制造标准, 可以控制货车超载的情况, 保证不会对道路或者桥梁等交通基础设施产生破坏<sup>[2]</sup>。

汽车质量和能耗有直接关系, 在相同行驶速

度下, 汽车整体越重能耗越大, 而车体越轻能耗越小。通过有关调查显示, 车体质量减轻 1 kg, 1 L 汽油就可以多行驶 0.011 km, 也就是减轻 100 kg, 可以多行驶 1 km<sup>[3]</sup>。减轻车辆质量, 不但降低了燃料消耗, 还降低空气中的 CO<sub>2</sub>, 车辆降低 50% 的质量, 可以降低 13% 的 CO<sub>2</sub> 排放, 而且还能降低氮化物、硫化物等其他危险污染物的排放量, 对改善生态环境具有重要意义<sup>[4]</sup>。降低车辆的质量, 还能改善车辆的行驶性能。美国铝业协会提出, 车辆质量每降低 25%, 其加速到 96.56 km · h<sup>-1</sup> 的时间将由 10 s 缩短至 6 s; 在减少车辆质量的前提下, 还可以减少车辆的动力和动力系统负荷, 使得车辆在低牵引负荷行驶的情况下也可以达到相同的性能效果<sup>[5]</sup>。

目前国内大量厢式车车厢材料以普通钢型材为主, 而就轻量化方面的改进优化, 已没有太多的改进空间。技术较成熟的轻质材料主要有超高强

**第一作者简介:** 夏悦祥 (1997—), 男, 安徽寿县人, 硕士研究生, 研究方向为车辆工程专业铝合金车辆轻量化, 451750285@qq.com。

钢、铝合金、镁合金、复合材料、夹层材料、塑料等。先进的高强度钢成本低廉,技术成熟度较高,但其减载作用受到限制;而工程塑料的强度和对环境的适应性较低,使其在汽车上的使用受到限制,不能得到很好的应用;镁合金和碳纤维的应用价格昂贵,供应链和技术成熟度较差,仅限于少数零部件和型号。而铝合金具有较高的轻质性能和较低的价格,适合于大部分的车身结构,所以铝合金是整车进一步轻量化的首选材料<sup>[6]</sup>。铝合金密度为  $2.7 \text{ g/cm}^3$ , 同样体积的铝合金几乎只有钢的  $1/3$  质量。铝合金也具有相当的强度和刚度,用铝合金替代钢材可减少 20% 的质量,节约 12%~16% 的燃油<sup>[7]</sup>。

本文针对 9.6m 中型厢式货车厢体进行轻量化改进设计,采用铝合金材料替代车厢普通钢材,再对厢体薄弱部分进行加强,冗余部分进行改善,并对车厢结构进行有限元分析,在不同工况下进行结构强度校核分析,得出应力薄弱的区域以及强度校核方案。

## 1 厢体及车架结构设计

以铝合金型材取代目前的钢制型材厢式运输半挂车车厢,并按照有关的安全规范标准进行了轻量化设计的厢式货车货厢模型如图 1 所示。

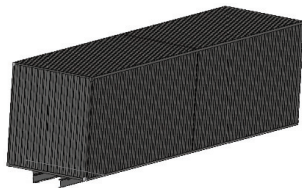


图 1 厢式货车货箱模型

厢体框架及蒙皮均由 6XXX 系铝合金构成,车架为高强度钢材 Q345B 构成,局部加强件通过铆接和焊接方式连接。车厢框架由薄壁方形管构成,蒙皮为梯形瓦楞板,结构如图 2 所示。

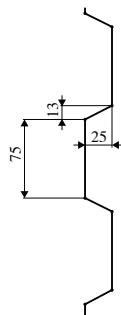


图 2 侧墙瓦楞板结构尺寸

车厢底部由 2 根纵梁、11 根横梁及花纹地板板构成。车架为钢板焊接而成,结构如图 3 所示。

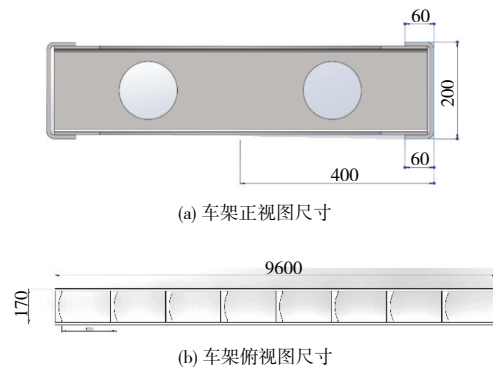


图 3 车架结构尺寸

车架及厢体用高强度螺栓连接。其他构件尺寸如表 1 所示。

表 1 构件尺寸参数 单位:mm

名称	规格	厚度
左右侧墙	9 556×27×2 540	2
上侧墙	9 556×27×2 260	2
前侧墙	2 292×27×2 540	2
墙体框架	9 640×2 340×2 660	3
左右立柱	2 540×23×23	3
上立柱	2 260×23×23	3
车架钢板	9 600×60×200	8

## 2 有限元模型的建立

### 2.1 模型结构

以厢式货车货厢的结构为对象,通过有限元分析软件,对其进行了简单的建模,以减少计算工作量,提高计算效率<sup>[8]</sup>。

1) 忽略非承载结构。对于厢体不承受载荷或承受载荷较小的构件,如后门板、铰链板及车架垫片等附件都省略。

2) 简化孔结构。车架的螺栓孔、线路孔、吊环孔、加工孔等都是为了达到装配功能性的目的而设计的,对结构力学性能的作用不大,所以都可以忽略。

3) 去除倒角、圆角。不在应力集中的区域附近的圆弧都可简化为直角,在工艺中所要求的倒角、拔模斜度和倒圆角对车架的结构应力没有明显的作用,可以忽略。

满足以上条件建立的车厢及车架有限元模型如图 4、图 5 所示。

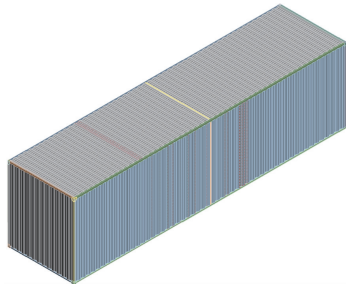


图4 车厢有限元模型

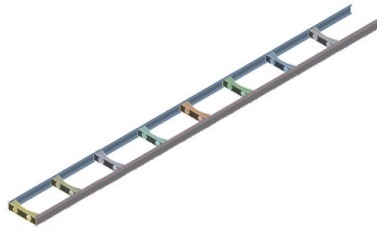


图5 车架有限元模型

## 2.2 网格划分

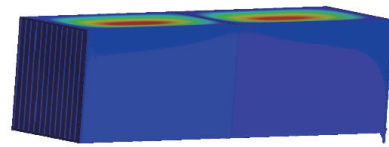
在有限元计算中,是由整体到零散,由零散再到整体的转化过程,利用分析软件将目标划分为若干小的单元格,这些单元格表示当前位置的受力和变形,如果单元格足够小,就能反映出这一点的受力,然后再由各个单元格上的受力和形变进行叠加计算,从而得出整体受力<sup>[9]</sup>。因此对单元格划分显得至关重要。本文根据三维数模的几何模型,综合考虑了相关规范和标准,采取多区域网格划分,对于结构不复杂,面积较大的区域采取多区域6面体30 mm 网格划分,对于细节部位采取补丁适形4面体20 mm 网格划分。由此建立的箱式运输车模型包括402 625个单元、801 892个节点。

## 3 厢体在典型工况下的强度校核

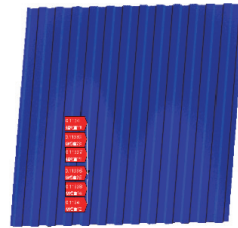
厢式半挂车运输方式多种多样,道路状况多变,所以必须具备一定的刚性以抵御其变形,从而确保其正常运行。故根据 JT/T 389—2010 要求对前墙和侧墙进行载荷施加,试验载荷作用于试验部件上的时间不小于5 min。本文采用厢体最大载重16 t。

### 3.1 前墙工况

在发生紧急刹车等情况下,车厢内部的载重会对汽车的前墙造成较大的撞击。按国家标准规定,将0.4乘以额定载荷施加于前墙并进行卸载。仿真分析结果如图6所示。



(a) 整体残余变形



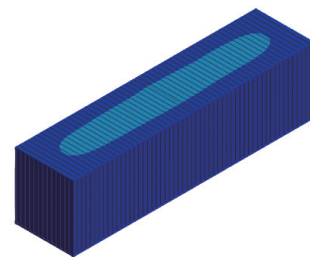
(b) 前墙残余变形

图6 前墙工况残余变形

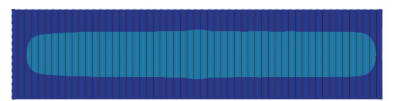
由结果可知前墙在施加载荷时,最大应力为705 MPa,位于前墙底部框架连接处;最大位移为86.91 mm,位于前墙中央部分。载荷卸载后,前墙最大残余变形为0.026 mm,符合 JT/T 389—2010 中残余变形不超过12 mm 标准。

### 3.2 侧墙工况

当满载的半挂车在转向时,其内部装载的货物会对其侧面造成撞击。按国家标准规定,将0.4乘以额定载荷施加于侧墙并进行卸载。仿真分析结果如图7所示。



(a) 整体残余变形



(b) 侧墙残余变形

图7 侧墙工况残余变形

由结果可知侧墙在施加载荷时,最大应力为182 MPa,位于侧墙底部框架连接处;最大位移为27.72 mm,位于侧墙中央部分。载荷卸载后,侧墙最大残余变形为0.148 mm,符合 JT/T 389—2010 中残余变形不超过12 mm 标准。

### 3.3 结果对比

材料替换对比结果如表 2 所示,有效减质量结果达 48.66%。

表 2 材料替换对比结果

材料	前墙工况最大 残余变形/mm	侧墙工况最大 残余变形/mm	质量/kg
结构钢	0.114	0.174	1 741.30
6XXX 系 铝合金	0.026	0.148	893.96

### 4 车架在弯曲工况下的强度校核

弯曲工况主要考虑半挂车在路面静止或以恒定速度行驶在路面上时,车体的受力及变形情况。当路面不平整而颠簸时,在车体满载的情况下,加载  $2g$  的加速度<sup>[10]</sup>,以保证结构的安全系数。仿真分析结果如图 8 所示。

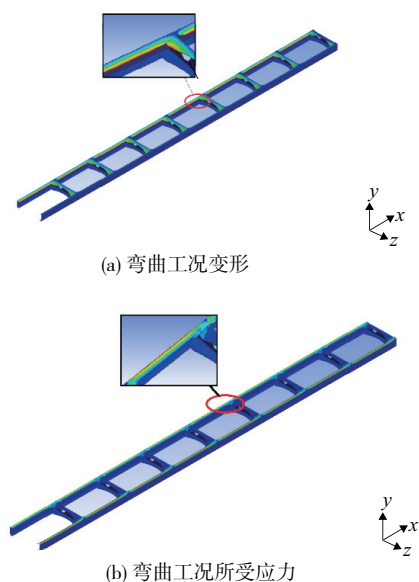


图 8 车架弯曲工况结果

### 5 结语

本文以有限元方法用计算机模拟仿真铝合金设计车厢在不同工况下,检验是否满足强度要求,以仿真结果证明,该铝合金车厢设计相较于原来钢结构车厢不仅满足了强度要求,而且同时有效减质量结果达 48.66%。这大幅度减少了车辆油耗和碳排放,降低了动力和动力传动系统的负荷,增加了车辆的行驶性能。该设计方案及有限元仿真方法对同类厢式货车的轻量化研究有一定的借鉴意义。

### 参考文献:

- [1] 交通运输部. 2020 年交通运输行业发展统计公报[J]. 交通财会,2021(6):92-96.
- [2] 纪鹏飞. 从欧美发展史看中国厢式车未来[J]. 专用汽车,2018(8):80-83.
- [3] 李剑. 商用汽车轻量化及铝合金在现代汽车生产中的应用[J]. 汽车实用技术,2020(1):178-180.
- [4] 张勇. 汽车轻量化及铝合金在现代汽车生产中的应用[J]. 内燃机与配件,2017(14):38-39.
- [5] 郑晖,赵曦雅. 汽车轻量化及铝合金在现代汽车生产中的应用[J]. 锻压技术,2016,41(2):1-6.
- [6] 张铭洁,李文中,赵胜涛,等. 浅谈汽车轻量化及铝合金的应用[J]. 环境技术,2021(增刊1):62-66.
- [7] 倪元,王春阳. 铝型材在客车和专用汽车(挂车)上的应用[J]. 商用汽车,2011(24):76-82.
- [8] 翟正锬,崔俊杰,郑伟茂,等. 某鹅颈式半挂车车架有限元静态分析[J]. 中国农机化学报,2014,35(2):175-178.
- [9] 杨成明. 仓栅式半挂车车架有限元分析及轻量化设计[D]. 济南:山东大学,2019.
- [10] 祝喆,李冰,徐鑫,等. 铝合金厢式半挂车有限元分析[J]. 热处理技术与装备,2021,42(1):30-32.

收稿日期:2022-09-22

(上接第 39 页)

试,该系统达到了设计目标。

### 参考文献:

- [1] 李科,岳林,惠子南,等. 基于 Qt 跨平台的车载人机界面设计[J]. 铁道标准设计,2017,61(9):128-132.
- [2] 陈明,沈钺. 基于 Qt 开发的水下航行器监控系统[J]. 计算机产品与流通,2019(11):144.
- [3] 曲滨鹏,魏晓洁,缪佳,等. 图像分割技术在医学图像处理中的应用实践[J]. 科技创新与应用,2021(16):178-180.
- [4] 李泽宇,何萍,朱立峰. 一种基于 PCA 的医学图像特

征提取与配准算法研究[J]. 中国数字医学,2020,15(7):98-101.

- [5] RUSU R B, MARTON Z C, BLODOW N, et al. Towards 3D Point cloud based object maps for household environments[J]. Robotics and Autonomous Systems, 2008,56(11):927-941.
- [6] 邢宏文,刘思仁,邱磊,等. 基于点云数据的零件数字化检测技术研究[J]. 机械制造与自动化,2020,49(6):217-219.

收稿日期:2022-10-19