

基于有限元模拟的 330 吨级矿车轻型车箱结构分析

李来平, 官继成, 郭彩光, 刘宝林

(内蒙古北方重型汽车股份有限公司产品研究院, 内蒙古 包头 014030)

摘 要: 本文研究对象为载重 330 吨的电动轮矿用自卸车轻型车箱。采用 Pro-E 软件对轻型车箱进行三维设计, 将简化的三维模型导入 ANSYS 进行有限元分析。根据电动轮矿车实际运行情况, 按车箱在满载静止和颠簸路面上行驶两种典型工况下的结构安全性进行了分析。从分析结果看, 轻型车箱整体应力分布较为均匀, 有较大的安全系数, 同时变形相对较小, 其强度和刚度均能够满足使用要求。

关键词: 电动轮矿车; 轻型车箱; 耐磨钢; 应力; 变形

中图分类号: TD524.2

文献标识码: B

文章编号: 1009-5438(2026)02-0078-04

Structural Analysis on Light Carriage of 330 t Mining Vehicle Based on Finite Element Simulation

Li Laiping, Gong Jicheng, Guo Caiguang, Liu Baolin

(Product Research Institute of Inner Mongolia North Hauler Joint Stock Co., Ltd.,
Baotou 014030, Inner Mongolia Autonomous Region, China)

Abstract: The research object of this paper is the light carriage of electric wheel mining dump vehicle with load of 330 t. The three-dimension design of light carriage is carried out with Pro-E software, the simplified three-dimensional model is introduced into ANSYS for finite element analysis. The structural safety of carriage under the two typical working conditions of being fully loaded and stationary as well as driving on uneven road is analyzed based on the actual operations of electric wheel mining vehicle. The analysis results showed that the overall stress distribution of light carriage was more uniform, safety factor was larger, while deformation was relatively smaller as well as its strength and stiffness could meet the use requirements.

Key words: electric wheel mining vehicle; light carriage; wear resistant steel; stress; deformation

大型非公路矿用自卸车工作环境复杂、行驶路况恶劣、装载质量巨大, 易导致结构发生破坏失效。车箱作为矿用自卸车的主要承载部件, 其刚度和强度等性能直接关系到整车的使用寿命。由于车箱结构对整车动力性和燃油经济性等有很大的影响, 所

以矿车车箱轻量化设计成为必然^[1-2]。载重 330 t 的电动轮矿用自卸车轻型车箱设计主体材料选用包钢稀土耐磨钢 NM450, 车箱结构设计使用三维建模软件 Pro-E, 车箱结构安全分析和优化采用有限元分析软件 ANSYS, 两者结合实现了车箱的轻量化设

收稿日期: 2025-04-16

基金项目: 中央引导地方科技发展资金项目(2022ZY0035)

作者简介: 李来平(1967-), 男, 内蒙古卓资县人, 硕士, 正高级工程师, 现从事非公路矿用自卸车设计工作。

计,保证了整车的安全性和燃油经济性。

1 车箱结构的分析模型

1.1 Pro-E 三维模型

载重330 t的电动轮矿用自卸车轻型车箱由底板总成、前板总成、侧板总成、顶板总成和底部纵梁等构件焊接组成(见图1)。车箱主体部分(底板总成、前板总成、侧板总成、顶板总成等)采用包钢生产的耐磨钢板NM450,底部纵梁等支撑件为高强钢板。NM450耐磨钢板和高强钢板的屈服强度分别为1 050 MPa和620 MPa,两种钢板弹性模量均为

210 GPa,泊松比均为0.3,表1为NM450耐磨钢板的力学性能。

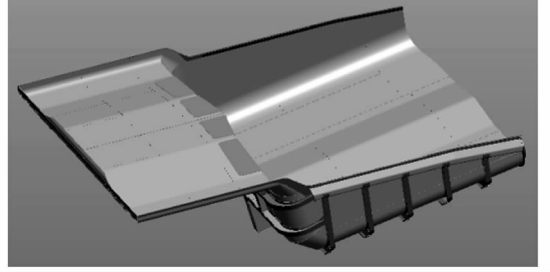


图1 载重330 t的电动轮矿用自卸车车箱

表1 耐磨钢板NM450性能

屈服强度 $R_{p0.2}$ /MPa	抗拉强度 R_{eL} /MPa	延伸率 A_{50} /%	弯曲试验 ($45^\circ, d = 4a$)	布氏硬度 /HB	冲击功 $A_{KV}(-40^\circ\text{C},$ 纵向)/J
$\geq 1\ 050$	$\geq 1\ 300$	≥ 10	完好	420 ~ 480	≥ 30

在构建自卸车车箱Pro-E三维模型前,先对车箱结构性能影响不大的构造特征进行识别和处理,倒角、圆角、安装孔等忽略不计,这样一方面节省计算时间,另一方面有利于保证模型质量^[3-4]。边界条件设定模拟近似实际状态,约束车箱与车架的铰接点处全部自由,限制车箱与车架接触面的法向位移;物料与车箱内壁为绑定接触,以模拟物料在静态和动态载荷下与车箱的相互作用。这种设定符合重型车辆结构分析中常用的边界简化方法^[5]。车箱结构三维分析模型如图2所示。

度,尤其适用于不规则焊接结构的离散化。为了保证计算精度和求解效率,网格划分采用“尺寸控制”方式。

如图3所示,网格通过无关性验证,确定模型主体采用20 mm的全局单元尺寸,确保在关键区域捕获足够的应力梯度,同时避免产生过多的单元数量。通过ANSYS有限元分析软件划分的三维模型网格共包含4 070 008个单元和2 078 110个节点。此外,利用ANSYS的网格质量检查工具评估单元形状参数,特别是单元的翘曲度(Skewness)与雅可比比值(Jacobian Ratio)等参数。评估结果显示,单元质量总体优良,低质量单元占比极小。高质量的网格为后续的静力学分析提供了坚实基础。

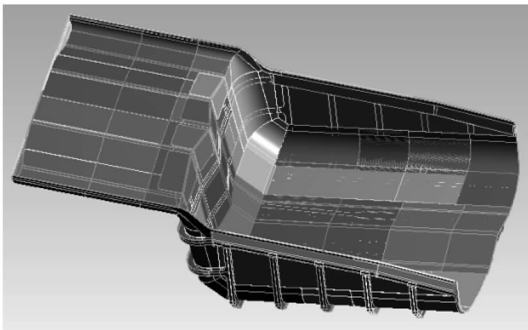


图2 车箱结构分析模型

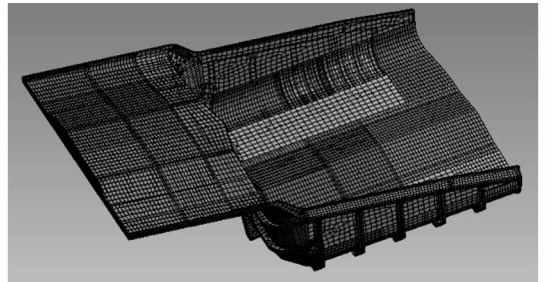


图3 车箱网格划分结果

1.2 有限元分析

将车箱Pro-E三维模型导入ANSYS软件划分网格。网格划分选用高阶三维10节点四面体SOLID 187单元。SOLID 187单元含二次位移函数,能够更好地模拟结构的复杂几何形状并保证计算精

2 结构安全分析

矿用车辆作业工况极为复杂,为保证矿车运输

安全性对车箱结构的设计提出了高要求。矿用自卸车载重量高达 330 t, 在崎岖不平的矿坑环境中往复不断运输矿石, 装载的矿石对车箱体冲击巨大。车箱的结构设计按满载静止和在崎岖路面上行驶等两种工况分别考虑, 利用有限元分析软件仿真模拟功能计算分析车箱的应力和变形量, 以指导和优化车箱结构设计。简化后的车箱模型去掉了整体结构分析影响不大的机构和特征, 车箱铰接点及车箱体焊接加固筋为约束边界条件, 物料与车箱设定绑定约束, 按静载荷和颠簸冲击分别加载。

2.1 满载静止工况

在满载静止工况下, 车箱要承受 330 t 静压力。

设定车箱的约束和载荷如图 4 所示, 仿真模拟计算得到的车箱应力分布和变形情况如图 5 所示。

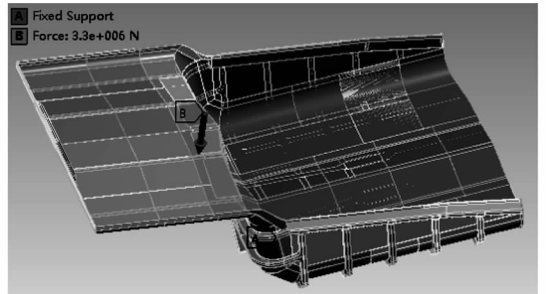
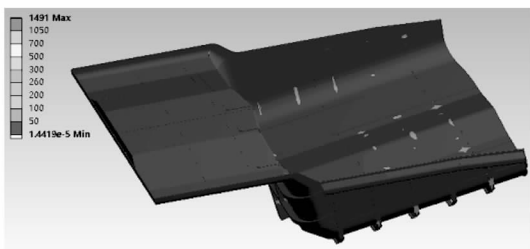
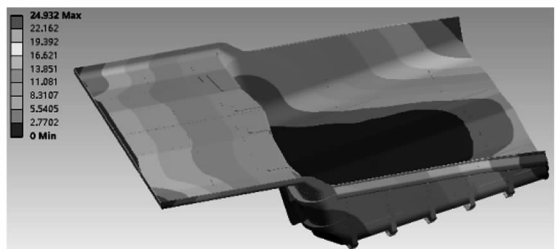


图 4 满载静止工况下的车箱约束与载荷示意图



(a) 车箱应力分布



(b) 车箱变形分布

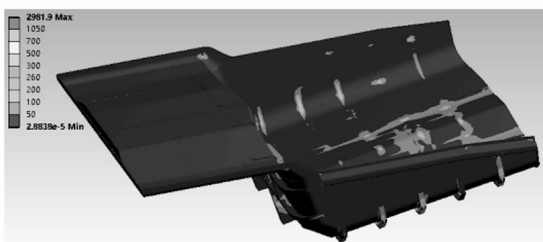
图 5 满载静止工况下的车箱结构安全分析

由图 5(a)可知, 排除应力奇异点, 车箱整体应力分布均匀, 平均值 50 MPa, 处于较低水平。在车箱铰接点、箱体与底板纵梁接触面的应力为 260 MPa, 是车厢整体结构的最大应力点。根据材料安全系数的定义^[6], 计算得出车箱主体材料 NM450 的安全系数 $n = 1\ 050\ \text{MPa} / 260\ \text{MPa} = 4.04$, 安全系数远大于 1, 表明 NM450 耐磨钢有足够的强度富余, 完全能够保证车箱结构强度满足安全运输要求。图 5(b)表明, 排除变形奇异点, 车箱整体变形程度较小, 车箱侧板尾部变形最大, 变形由车箱中

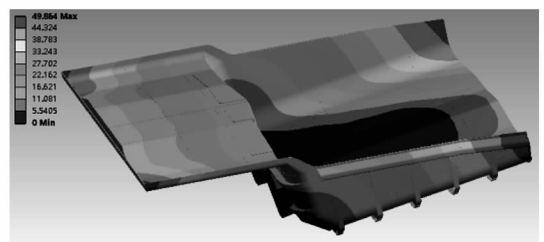
底部集中区逐渐向四周均匀增大, 呈两侧对称, 变形量从 2.770 2 mm 直至 24.932 0 mm, 对车辆结构安全性没有影响。

2.2 颠簸路面工况

满载矿石的矿车往复不断行驶在颠簸不平的路面上, 这种情况下车箱承受矿石的冲击载荷达到静止工况下的 2 倍, 对车辆安全作业提出了更严格的要求。采用与满载静止工况下相同的方法, 按载重 660 t 加载, 有限元仿真计算获得的车箱应力和变形如图 6 所示。



(a) 车箱应力分布



(b) 车箱变形分布

图 6 颠簸路面工况下的车箱结构安全分析

由图6可知,车辆在颠簸路面上行驶时,车箱在受到矿石冲击下的应力分布和变形情况与满载静止工况下基本相同。通过对比发现,车箱整体应力分布规律差不多,但车箱底板与车架接触面的应力值相较满载静止下明显提高,而且分布区域明显扩大,排除应力奇异点后的最大应力达到510 MPa;车箱变形量几乎是满载静止下的2倍。虽然应力和变形大幅提高了,但是车箱结构的安全系数依然远大于1,能够满足安全服役条件。

3 结束语

矿用自卸车是保证矿山安全生产的重要运输设备,车箱作为承载部件,其结构安全性尤为关键。采用有限元分析软件对车箱在满载静止和在颠簸路面上行驶等两种工况下的结构受力和变形等进行了模拟计算。结果表明,不管是满载静止还是在颠簸路面上行驶,车箱整体结构安全可靠,完全满足矿石运输安全服役条件。矿车在颠簸路面上行驶,车箱受到矿石冲击的应力分布和变形规律相比满载静止工况基本一致,但是应力值和变形量明显增大,几乎呈2倍关系。车箱主体结构使用包钢NM450耐磨钢

安全可靠。采用有限元模拟分析为车箱结构的安全设计和优化提供了重要支撑。

参 考 文 献

- [1] 曲芳,徐文娟. 矿车车厢轻型化设计[J]. 科技风,2011(5):19,38.
- [2] 王锋,刘大维,符朝兴,等. 自卸汽车高强度钢板车厢结构强度分析[J]. 青岛大学学报(工程技术版),2010,25(4):61-65.
- [3] 蒲广益. ANSYS WORKBENCH 基础教程与实例详解[M]. 北京:中国水利水电出版社,2013.
- [4] 庞金才. PRO/E 参数化设计在垃圾收集车厢结构建模中的应用[J]. 中国高新区,2017(11):15-16.
- [5] 张明,王磊,赵志强. 重型自卸车车体结构有限元分析中的边界条件处理[J]. 机械设计与制造,2019,45(3):112-115.
- [6] 刘鸿文. 材料力学:第6版[M]. 北京:高等教育出版社,2017.

(上接第73页)

仅如此,系统操作人员可通过VR(虚拟现实)设备进入数字孪生虚拟车间,对焊接过程仿真画面进行直观分析,并针对各类复杂工况进行预演、调试,提升焊接生产决策的准确性^[4]。

4 结束语

本文总结了刮板输送机中部槽生产过程中智能化焊接技术的应用。首先阐述了中部槽的结构、功能及智能化焊接技术在提升作业精度和作业效率方面的优势;其次探讨智能化焊接设备的焊接结构与工艺优化、多传感器融合实时监测等智能化手段的应用。智能化焊接技术有效解决了传统人工焊接存在的多种问题,为刮板输送机中部槽生产提供可资借鉴的智能化方案,助力煤机行业实现高质量

发展。

参 考 文 献

- [1] 杨冰阳. 刮板输送机中部槽的设计及优化研究[J]. 科学技术创新,2024(8):225-228.
- [2] 冯春,沈节. 煤矿井下用刮板输送机中部槽再制造工艺研究[J]. 煤矿机械,2025,46(4):119-121.
- [3] 高佳俊,程永军,王波,等. 基于多方位的刮板输送机中部槽寿命优化方法研究[J]. 中国煤炭,2024,50(11):102-107.
- [4] 赵峰. 刮板输送机中部槽动态承载特性及耐磨性能研究[J]. 西部探矿工程,2024,36(3):50-52.