BTNM400 替换 Q345 重载车厢承载计算及轻量化研究*

王亚男[1], 袁晓鸣[2], 刘 妍[1], 刘恩泽[1]

(1. 内蒙古包钢稀土钢板材有限责任公司, 内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心, 内蒙古 包头 014010)

摘 要: 商用车生产厂家反馈其原车设计所采用的是 Q345 材质, 设计承载能力为底板瞬时承载小于 600 MPa, 由于现阶段对商用车燃油经济性、动力承载性的要求逐渐提高, 急需对现有车型进行车身用材优化及轻量化优化。文章以重型自卸车车斗为对象, 将目标推广的材质对现使用材质进行替换, 使用简化计算法和有限元分析法对车斗进行了综合分析, 进行了参数化建模、设计变量优化计算, 在保证符合原有承载能力的情况下验证相关零部件减重情况。

关键词: 数值模拟; 参数化建模; 优化计算; 轻量化
中图分类号: U463. 84 **文献标识码**: B **文章编号**: 1009 - 5438(2021) 05 - 0025 - 04
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2021.05.007

Calculating of Bearing Capacity and Lightweight Study for Replacing Q345 with BTNM400 for Heavy Load Carriage

Wang Ya - nan[1], *Yuan Xiao - ming*[2], *Liu Yan*[1], *Liu En - ze*[1]

(1. *Inner Mongolia Baotou Steel Rare Earth Steel Plate Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: The production manufacturers' feedback of commercial vehicle is that the design of original car is adopting the Q345 and the designed carrying capacity is that the instantaneous carrying capacity of baseplate is less than 600 MPa. Since the current requirements for fuel economy and power load capacity of commercial vehicle are gradually increased, the optimization of materials for car body and lightweight for current vehicle model is in urgent need. In the paper, it is introduced the current material is replaced with the material to promote, the comprehensive analysis of car hopper is carried out with the simplified calculation method and finite element analysis as well as the parametric modeling and optimization calculation of design variables are carried out by taking the car hopper of heavy - duty dump truck as the objective to verify the weight loss of corresponding parts in the case of ensuring to accord with the original carrying capacity.

Key words: numerical simulation; parametric modeling; optimization calculation; lightweight

* **收稿日期**: 2021 - 08 - 14
作者简介: 王亚男(1992 -), 女, 内蒙古包头市人, 工程师, 现从事数值模拟研究及金属材料失效分析工作。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

汽车轻量化成为汽车行业进步的主流趋势，大量试验和实践证明，汽车轻量化是降低汽车排放和减少燃油消耗的有效措施之一，可增加车辆灵活性等综合性能。汽车重量降低1%，油耗可降低0.7%[1]，并且汽车重量的减小可以使其加速性能得以提高，同时由于惯性变小，其制动距离也将减小。然而在商用车领域，因为承载能力设计较大，以及考虑整车在工程领域应用时的安全性等，整车重量往往是乘用车的数倍[2]，这就看出在保证原有承载能力和安全性能的情况下，进行轻量化设计可以大幅度提高现有商用车综合性能。

轻量化的优化方向主要有结构轻量化、材料轻量化、先进工艺技术3个方面。其中汽车主机厂通常仅就结构轻量化、先进工艺技术两个方向开展优化研究，而材料制造商通常仅就材料轻量化方向研究新型材料，两者较为独立，互不联系。本文以材料制造商的角度，综合优化选材、承载设计、性能提升和轻量化应用等多领域，极大程度的促进了“研产销”一体化的进程。

1 材质替换车厢典型工况对比分析

(1) 几何建模。由于本次计算进行工况计算，故需要针对整车厢及车架在内的各组成部分(含231个组成件)进行全参数化建模，对于研究目标影响不大并且容易影响网格质量的模型进行简化处理，并将组件分类进行命名。见图1。

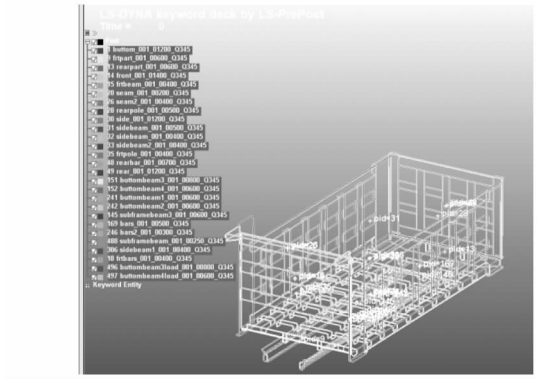


图1 车厢及车架全参数化建模

(2) 网格化处理。由于表面方向和厚度方向比值超过5，故采用薄壳单元。检查几何模型保证各部位无干涉、无穿透，整体采用四边形网格，部分过渡区域采用三角形网格且控制全局三角形网格占比小于3%。

(3) 连接方式。选取合适的连接方式，焊缝或者螺栓处采用WELD单元模拟，以实现力的传递。见图2。

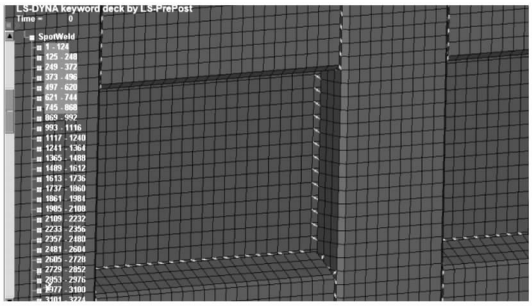


图2 连接方式

(4) 模态分析。针对X轴、Y轴、Z轴分别进行三轴方向下，不同振型的模态分析，验证连接、板厚等是否缺失或存在问题，对出现的连接设置不到位等问题进行修正，直至模态状态正常，见图3。

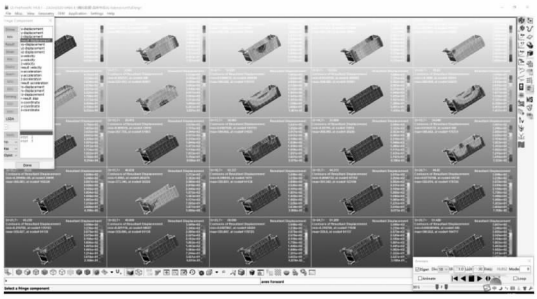


图3 模态分析

(5) 材料数据。将材料Q345、BTNM400录入典型材料数据，见表1。

表1 材料性能录入情况

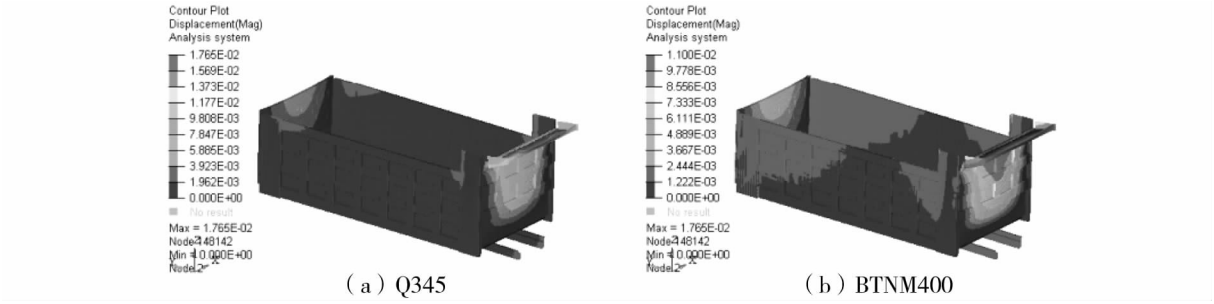
材料	杨氏模量/MPa	泊松比	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa
Q345	200	0.3	350	460
BTNM400	200	0.3	850	1 050

(6) 边界条件。本次目标模拟的工况为模拟车厢在水平路面下紧急制动(或前轮遇凸起冲击)时的受力状态。将两种材料分别带入，沿行进方向(Y轴)以-9.8 m/s的加速度减速直至静止，进行计算对比。

(7) 计算结果后处理。得到计算结果，其中位

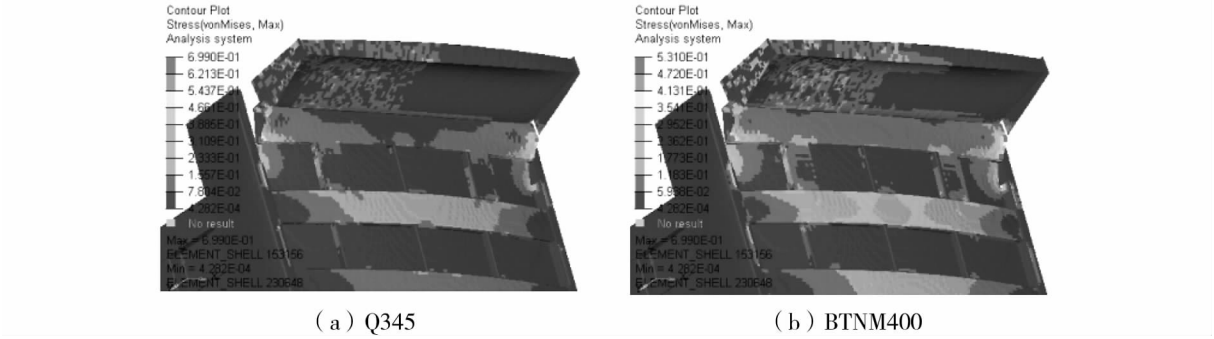
(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

移云图对比、应力云图对比见图 4、图 5。可见 BTNM400替换 Q345 后的车厢在预设工况下的应力较为均匀且总体应力值较低，车厢上横板边缘与车厢交接处的制动位移数值也比原 Q345 小。



（a）Q345　　（b）BTNM400

图 4　Q345、BTNM400 位移云图对比



（a）Q345　　（b）BTNM400

图 5　Q345、BTNM400 应力云图对比

2　静态承载情况计算

(1) 计算假设。车厢几何建模依据汽车主机厂提供的几何尺寸及板料厚度，对施加法向方向载荷模拟静态承载情况。

(2) 几何建模。板料厚度参数化建模(不含车架) ，车厢初始板厚信息见表 2，建模后得到原始车重量为 5 173 kg。

表 2　车厢初始板料厚度　　mm

P1	P2	P3—P7	P8—P137	P138—P140	P141—P153	P154	P155—P216	P217—P218	P219—P224	P225
5	12	6	3	14	4	10	2	7.609	8.167	6.5

(3) 网格处理。建立适用于结构计算的网格划分方式，以四边形为主，加入控制程序“Check mesh Quality”并进行手动网格调整，见图 6。

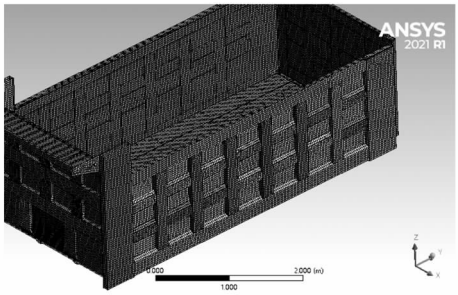


图 6　网格化结果

(4) 材料数据。代入 Q345 材质性能，编制适用于 ANSYS workbench 材料卡片，基于材料数据库中材料卡“Structual Steels”进行编辑，密度: 7.85 kg/m，屈服强度: 350 MPa，抗压强度: 250 MPa，抗拉强度: 460 MPa。

(5) 边界条件设置。设置支撑方式为“fricition-less support”面为车厢两侧板底部窄边，向车厢地板加载 Z 轴方向竖直向下 0.08 MPa 载荷，加载方式 Surface effect，加载面积为 12.1 m^2。

(6) 计算结果。最大变形为 2.4 mm，最大等效应力 299.45 MPa。见图 7。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

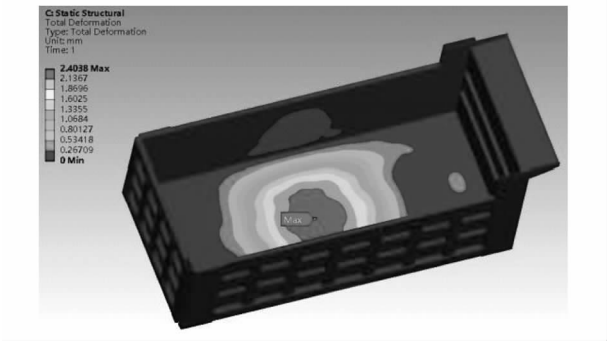


图7 承载能力计算结果云图

3 基于静态承载情况轻量化优化计算

3.1 设计变量

车厢板厚共11个厚度(原模型上厚度相同的结构仍保持厚度相同)。车厢初始状态最大等效应力为299.45 MPa,最大变形2.403 8 mm,总质量5 173 kg。

3.2 约束条件设置

板料材质替换为BTNM400,材料卡片典型力学性能中屈服强度为850 MPa,抗拉强度为1 050 MPa,因此设置约束条件中等效应力低于850 MPa。针对225项组成部分,整合板厚相同的部分优化后仍保持板厚相同;考虑实际板料生产极限及装配可行性等因素,将原厚度不低于3 mm的板料限制,优化最薄至3 mm,低于3 mm的板料不参与优化。

3.3 优化目标及算法

优化目标为重量最小;采用直接优化方法,自适应单目标优化算法。

3.4 优化结果

根据以上前处理及条件设置,进行159次反算后得到理想结果。针对225项组成部分,原始重载车厢使用11个厚度规格的板料,优化计算后仅使用6个厚度规格板料,由于优化限制原始有4个规格板厚优化为限制最低厚度3 mm。此时在同样的0.08 MPa负载下,车厢重量为3 319.3 kg,最大应力为600.84 MPa,小于其屈服应力850 MPa,满足设计需求,替换并优化板厚可以将该车厢减重约36%,最终板料优化情况见图8。

P3 - cheti\Midsurface - PartBody/Pocket.11\Midsurface1 Thickness (mm)	3
P2 - cheti\Midsurface - PartBody/Wall.1\Midsurface1 Thickness (mm)	8
P1 - cheti\Midsurface1 Thickness (mm)	3
P8 - cheti\Midsurface - PartBody/Extrusion.2\Midsurface1 Thickness (mm)	2
P138 - cheti\Midsurface - PartBody/Wall.1\Midsurface1 Thickness (mm)	8
P141 - cheti\Midsurface - PartBody/Extrusion.2\Midsurface1 Thickness (mm)	3
P154 - cheti\Midsurface - PartBody/Pad.1\Midsurface1 Thickness (mm)	6
P155 - cheti\Midsurface - PartBody/Extrusion.1\Midsurface1 Thickness (mm)	1.5
P217 - cheti\Midsurface - PartBody/Pad.1\Midsurface1 Thickness (mm)	4
P219 - cheti\Midsurface - PartBody/Assemble.1\Midsurface1 Thickness (mm)	4
P225 - cheti\Midsurface - PartBody/Pad.1\Midsurface1 Thickness (mm)	3
P287 - Equivalent Stress Maximum (MPa)	600.84
P288 - Total Deformation Maximum (mm)	4.6632
P289 - Geometry Mass (kg)	3319.3

图8 各板料厚度优化计算结果

4 结论

(1)通过预设动态工况的计算对比,验证了BTNM系列板料对于车厢使用性能方面的优越性。未进行板厚变化,直接采用材质替换进行预设工况计算,在预设速度后的制动工况下BTNM400板材所制车厢,制动后的侧板中央位移更小,其变形区变化最小,整车厢所受最大应力更小。

(2)进行原始静态承载能力计算,并基于此进行了板料材质替换后的轻量化优化计算,计算后得到采用BTNM400材质可将该重载车厢减重约36%。同时筛选了板料实际生产厚度规格,使优化更具有可实施的现实意义。

参 考 文 献

[1] 刘春晓.通用汽车轻量化的秘密武器[J].汽车纵横,2016,(8):98-99.

[2] 王海涛.某型货车车架轻量化优化设计[J].安徽工程大学机械与汽车工程学报,2017,(6):65-69.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net