

基于轻量化的热成形钢 PHS2000 侧碰性能分析

Analysis of Side Impact Properties of Hot Formed Steel PHS2000 based on Lightweight

供稿|孙倬, 郭晶, 王铭泽 / SUN Zhuo, GUO Jing, WANG Mingze

内
容
导
读

基于有限元方法, 依据 C-NCAP 碰撞法规, 利用热成形钢替换先进高强钢, 对白车身侧碰工况进行数值模拟, 依据白车身结构安全性能要求, 建立侧面碰撞的有限元模型, 并进行评价分析。为满足新车型轻量化需求, B 柱加强板以热成形钢 PHS2000 替代传统先进高强钢, 再进行侧面碰撞分析。结果表明: 应用 PHS2000 的白车身的 B 柱头部、胸部、腹部、胯部等参考点的入侵量和入侵速度明显降低, 大大提升了乘客安全性, 同时 B 柱加强板轻量化 19.99%, 达到了新车型轻量化的目的。

目前, 汽车轻量化能够达到节约能耗和降低碳排放等目的, 但是车身在轻量化的同时, 还要考虑车身的碰撞性能是否降低等问题^[1-4]。因此, 轻量化和安全性能是汽车行业重点关注的两大问题^[5-7], 而热成形钢由于其具有高强度、成形性好等优点^[8-12], 正被广泛的应用在车身结构件上, 是解决两大问题的有效方法。

本文以某新车型白车身为研究对象, 依据 C-NCAP 碰撞法规, 对 B 柱加强板的侧碰性能进行分析。在保证驾驶室成员生存空间及 B 柱质量要求下, 通过热成形钢 PHS2000 选材及优化, 探究热成形钢 PHS2000 在白车身侧碰安全性能中的应用。

材料力学性能

材料的升级替代是车身主要的轻量化方式之一, 但随着材料强度的提升, 成型性能随之下降, 零部件难以生产, 也是制约着轻量化主要问题。热成形钢在淬火后, 组织从奥氏体组织转变成马氏体组织, 从而获得超高强度。而成型过程中钢材处于高温状态, 有着较高的延展性能。因此热成形钢解决了随着钢板屈服强度提高其成形性能变差的问题, 车身零件可以减薄从而实现轻量化。

本文优化白车身中的 B 柱加强板用材, 应用 PHS2000 热成形钢替代传统高强钢 DP590, 厚度从 1.5 mm 降到 1.2 mm。依据标准 GB/T228.1—2010 进行静态拉伸实验, 如图 1 所示。常温下 PHS2000 力

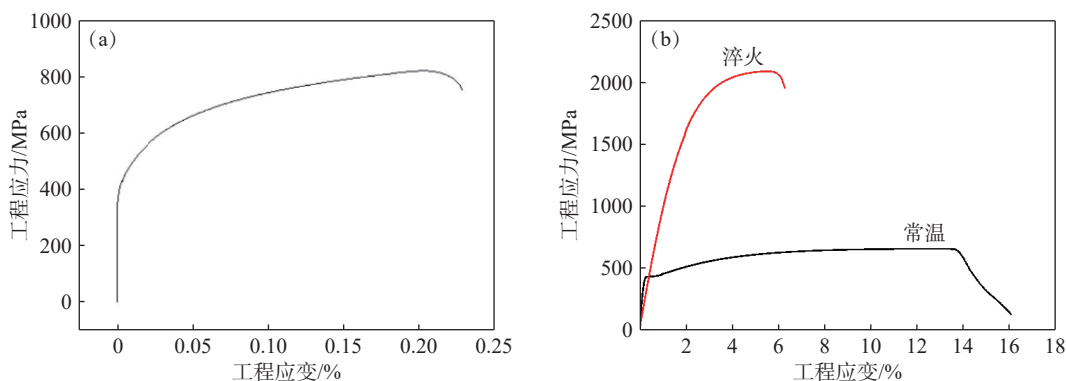


图1 不同钢种工程应力应变曲线: (a) DP590; (b) PHS2000

学性能与 DP590 基本相当,但在淬火后,其屈服、抗拉有了极大的提升。

有限元模型建立

本研究的白车身重 307.9 kg,网格划分标准为 10 mm×10 mm,控制其最小尺寸为 3 mm。有限元模型如图 2 所示,基础数据见表 1,表中 ACM (Area Contact Method) 为载荷通过接触面传递的焊点。

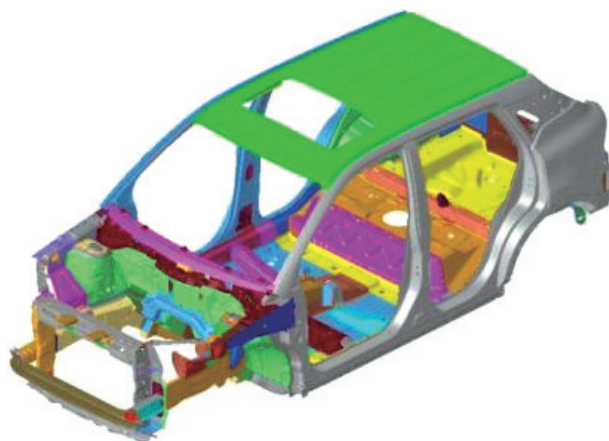


图2 白车身的侧面碰撞仿真分析数模

表1 白车身基础数据

网格数量	节点数量	焊点数量	焊点类型	焊缝及螺栓类型	网络基准尺寸/mm	重量/kg
498793	553354	6245	ACM	刚性	10	307.9

车身模型的连接,包含缝焊、点焊、螺栓/铆钉、胶粘、铰接等装配方式,设置 REB2 刚性螺栓,焊点为 Hexa 多边形焊点,焊缝采用二维面网格焊缝,焊点的密度设为 $7.85 \times 10^{-9} \text{ t/mm}^3$,弹性模量为 210 GPa,泊松比为 0.3。对于整车侧面碰撞仿真,材料属性有 MAT1、MAT20、MAT24、MAT100 等材料卡片。

侧面碰撞研究

车身侧碰模型

白车身侧碰模型如图 3 所示,依据 C-NCAP 2018 法规,侧面碰撞速度 50 km/h,设置刚性地面及可移动壁障,壁障重量为 1400 kg,壁障撞击位置为前排座椅的设计参考点,依据法规,台架小车前端为蜂窝铝结构,蜂窝铝离地 300 mm。

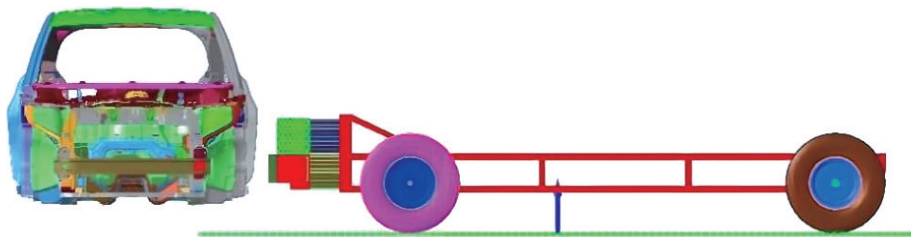


图3 白车身侧碰模型

侧碰仿真结果分析

在碰撞模拟分析过程中,涉及多种积分算法和

不同的接触算法,系统为保证计算正常进行有时会

会导致后期计算结果不可信。同时为节约计算时间计算中更多时候采用了非全积分的积分算法,这时将有可能在计算中发生沙漏,导致系统动能、内能不守恒。白车身侧碰工况下结构质量增量图如图4所示,图中可以看出最大质量增量为0.89%,远小于5%。白车身结构在碰撞过程中的动能、内能、沙漏能和总能量曲线如图5所示,在碰撞过程中,满足能量守恒定律,台车系统的动能转化成台车蜂窝铝及白车身零部件系统的内能,沙漏能与滑移能的变化较小。沙漏能占总能量比率远小于5%,说明模型计算结果真实可信。

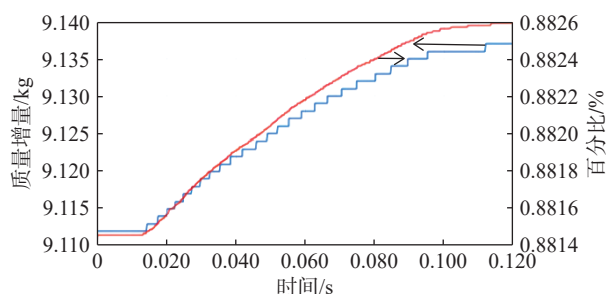


图4 侧碰工况下白车身结构质量增量

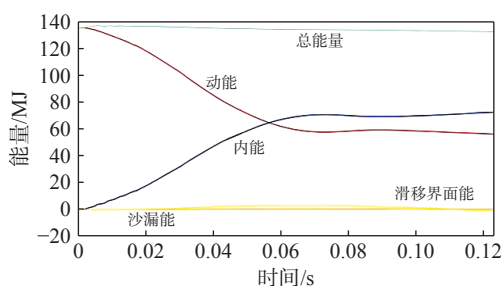


图5 碰撞能量曲线图

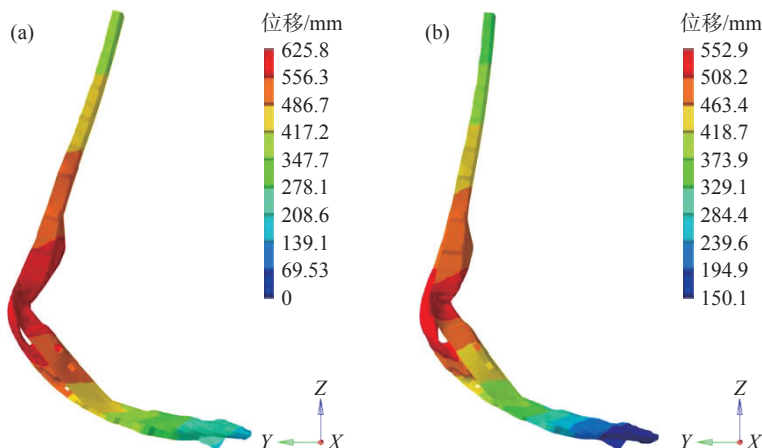


图6 B柱加强板形变云图: (a) 优化前; (b) 优化后

材料优化侧碰分析

对B柱加强板进行材料优化,传统材料DP590的B柱加强板重量为4.397 kg,优化PHS2000后的B柱加强板重量为3.518 kg,因此B柱加强板实现轻量化19.99%。

分别选择B柱对应乘客头部、胸部、腰腹及骨盆位置的点位进行考察,在模型中抓取相应位置刚性点并选取右侧B柱加强板对应点位,以考察B柱加强板侵入量及侵入速度。

对于汽车碰撞来说,车身变形量的大小反映了车体被损坏的程度与车身的抗碰撞能力。图6分别为优化前与优化后整个B柱加强板在侧碰后的形变云图,随着时间推移B柱加强板变形越来越严重。仿真中仅有白车身承受台车的力,缺乏车门、防撞梁等结构,因此B柱加强板变形很严重,但是从图中依然可以看到,优化材料后的白车身B柱加强板变形量明显小于原白车身,优化效果明显。

图7为B柱加强板材料优化前后头部侵入量,图8为头部侵入速度曲线。从图中可以看出头部侵入量从优化前的477 mm降低至优化后的445 mm,降幅为6.7%,侵入速度也有所降低。

统计各考察点的侵入速度,整理后的最大侵入量如表2所示,可以看出相比于原白车身,优化B柱加强板材料后的白车身侧碰性能更好,在碰撞过程中结构保持更加完好,在侧碰中头部、胸部、腹部、髋部侵入量分别降低6.7%、10.2%、14.0%、25.6%,材料替换效果良好。

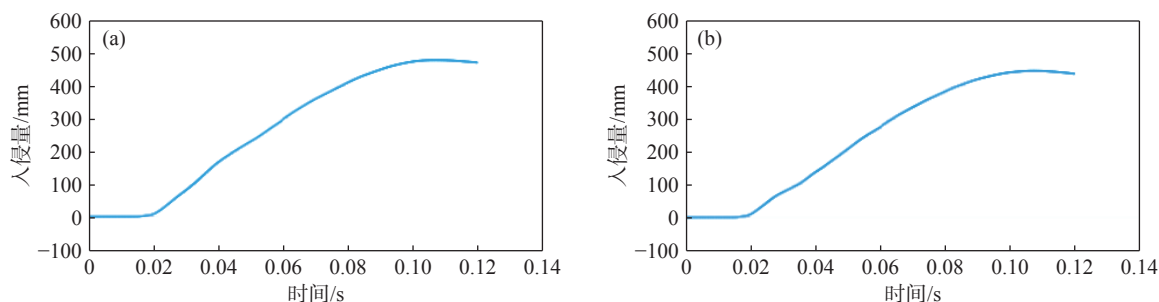


图7 头部侵入量: (a) 优化前; (b) 优化后

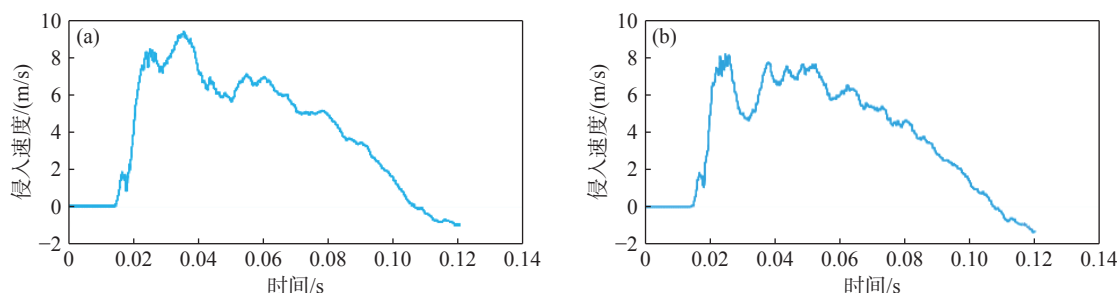


图8 头部入侵速度: (a) 优化前; (b) 优化后

表2 原材料与优化材料后B柱加强板侧碰最大侵入量 mm

考察对象	头部	胸部	腹部	骨盆
原白车身	477	559	358	176
优化后白车身	445	502	308	131

结论

通过有限元分析方法,对新车型B柱加强板材料优化前后的碰撞性能进行了分析,应用热成形钢PHS2000替代传统高强钢,结果表明:

1) 热成形钢替代传统高强钢后,B柱加强板材料优化前后头部侵入量从优化前的477 mm降低至优化后的445 mm,降幅为6.7%。

2) 侧碰过程中,头部、胸部、腹部、髋部侵入量分别降低6.7%、10.2%、14.0%、25.6%。

3) 对B柱加强板进行材料优化后,B柱加强板轻量化19.99%,轻量化的同时达到了碰撞性能提升的目的。

参考文献

- [1] 范子杰,桂良进,苏瑞意.汽车轻量化技术的研究与进展.汽车安全与节能学报,2014,5(1): 1
- [2] 胡朝辉.面向汽车轻量化设计的关键技术研究[学位论文].长

沙:湖南大学,2010

- [3] 季枫.白车身参数化建模与多目标轻量化优化设计方法研究[学位论文].长春:吉林大学,2014
- [4] 施颀,朱平,张宇,等.基于刚度与耐撞性要求的车身结构轻量化研究.汽车工程,2010,32(9): 757
- [5] 陈晓斌.基于现代设计方法和提高整车碰撞安全性的车身轻量化研究[学位论文].长春:吉林大学,2011
- [6] 陈鹰,张英建,董瀚,等.提高汽车安全性的先进高强钢高效成形技术.钢铁研究学报,2015,27(6): 1
- [7] 康永林.汽车轻量化先进高强钢与节能减排.钢铁,2008(6): 1
- [8] 陈辉,景财年.热成形技术在汽车轻量化中的应用与发展.金属热处理,2016,41(3): 61
- [9] 金学军,龚煜,韩先洪,等.先进热成形汽车钢制造与使用的研究现状与展望.金属学报,2020,56(4): 411
- [10] 孙浩然,苗铁岭.汽车用传统高强钢和先进高强钢.金属世界,2010(6): 24
- [11] 崔克天,周丹凤.基于侧碰多工况的汽车B柱结构设计.汽车实用技术,2023,48(20): 65
- [12] 郭清超,索兆祥.白车身侧碰安全性性能分析及优化研究.汽车测试报告,2023(7): 25

作者简介:孙倬(1984—),男,辽宁省沈阳市人,工程师,主要研究方向为汽车外覆盖件冲压工艺、冲压SE,车身轻量化设计,通信地址:辽宁省本溪市明山区环山路36号,E-mail: 30020225@qq.com。