

微型货车车门垂直刚度仿真与分析

刘召龙¹, 尹辉俊¹, 陆日进², 陈 涛³

¹广西科技大学机械与汽车工程学院, 广西 柳州

²湖南湖大艾盛汽车技术开发有限公司, 湖南 长沙

³湖南大学机械与运载工程学院, 湖南 长沙

收稿日期: 2023年2月10日; 录用日期: 2023年4月7日; 发布日期: 2023年4月13日

摘 要

本文利用三维设计软件UG建立了某微型货车车门系统, 使用有限元软件Hypermesh对三维模型进行有限元建模处理, 对车门系统进行自由模态分析和静态刚度仿真模拟。仿真结果显示车门自由模态分析的一阶振型在正常范围内, 但车门的垂直刚度偏低。对车门的铰链加强板等部件改进后使加载位移降低11.4%, 低于目标值, 满足了设计要求。

关键词

车门系统, 有限元, 仿真分析, 垂直刚度

Simulation and Analysis of Vertical Stiffness of Minivan Door

Zhaolong Liu¹, Huijun Yin¹, Rijin Lu², Tao Chen³

¹School of Mechanical and Automotive Engineering, Guangxi University of Science and Technology, Liuzhou Guangxi

²Hunan Huda Aisin Automobile Technology Development Co. Ltd., Changsha Hunan

³College of Mechanical and Vehicle Engineering, Hunan University, Changsha Hunan

Received: Feb. 10th, 2023; accepted: Apr. 7th, 2023; published: Apr. 13th, 2023

Abstract

In this paper, the door system of a minivan is established by using the 3D design software UG. The 3D model is modeled by using the finite element software Hypermesh, and the free mode analysis and static stiffness simulation of the door system are carried out. The simulation results show that

the first mode shape of the door is within the normal range, but the vertical stiffness of the door is low. The load displacement is reduced by 11.4%, which is lower than the target value, and meets the design requirements.

Keywords

Door System, Finite Element, Simulation Analysis, Vertical Stiffness

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

车门是汽车关键的运动件，也是整车中使用频率最高的系统之一。车门是汽车车身设计中十分重要而又相对独立的一个部件，车门的质量直接关系到乘车人员的安全性和舒适性。车门刚度能直接反映车门的性能和质量。车门垂直刚度是车门刚度的重要内容，是衡量车门性能高低的最重要的标准之一，因此必须重视车门的垂直刚度[1]。同时在提升车门垂直刚度性能的同时也需要协调好车门性能与重量成本的关系，不能厚此薄彼。

从车门的连接结构特点可以看出车门垂直刚度主要和三方面有关：车门、车身、车门铰链。从理论上来说，提升车门的垂直刚度需从这三方面入手，才能实现车门垂直刚度最优。滕平[2]通过分析影响钣金式车门铰链结构对车门垂直刚度的影响，对铰链结构、安装孔等提出改进方案；刘成强[3]使用车门动特性 CAE 分析的方法，判断车门结构中能量集中的部位，对其改进并验证了仿真分析的合理性。本文从铰链和车门系统提升车门垂直刚度性能，使用 CAE 仿真分析的方法验证。

2. 有限元仿真建模

本文以某微型厢货车前车门为研究对象，主要包括内外板及加强板、防撞梁、铰链总成等钣金件及焊点、粘胶等。HyperMesh 是 Altair 公司一款高性能的 CAE 前处理软件，能够和目前多款主流三维设计软件进行直接数据传导，并且能为非线性分析软件 ABAQUS、线性分析软件 NASTRAN 等提供高质量的有限元网格，在全球汽车、航天、船舶等行业得到了广泛的应用。进行网格划分前，要对车门所有薄板钣金件抽取中面，为提高有限元网格质量，获得更高的计算效率和求解精度，需对车门按照几何特征进行几何清理，例如移除重复的面、边和多余的点，缝合相邻面之间的缝隙、根据几何特征修补丢失或破坏的面等。为提升计算效率，简化了密封胶条、门锁等部件，用质量点代替。

车门是由冲压钢板焊接而成，故门板在划分网格时采用 2D 壳单元[4]，网格大小为 8 mm，车门铰链采用六面体实体单元进行划分。精细化建模对单元参数进行控制，保证单元翘曲最大值为 9.52，雅克比(jacobian)最小值为 0.7，四边形单元内角最大值为 120.63°，最小值为 45.32°，为保证计算过程的稳定性，三角形单元的个数一般要求小于单元总数的 5%，特别是特征复杂零件，进行网格划分时应尽量避免三角形单元集中，此次建模中三角形单元占壳单元比例的 1.2%，六面体单元占实体单元比例 96%。车门钣金件之间连接方式主要有焊点(烧焊、点焊)连接、螺栓连接和粘胶连接。本文研究的车门的焊点共有 126 个，点焊连接使用 acm 单元模拟，有 3D 单元属性；烧焊连接和螺栓连接使用 RBE2 刚性单元模拟，无属性；粘胶连接采用 adhesives 单元模拟，有 3D 单元属性。车门总成有限元模型如图 1 所示。

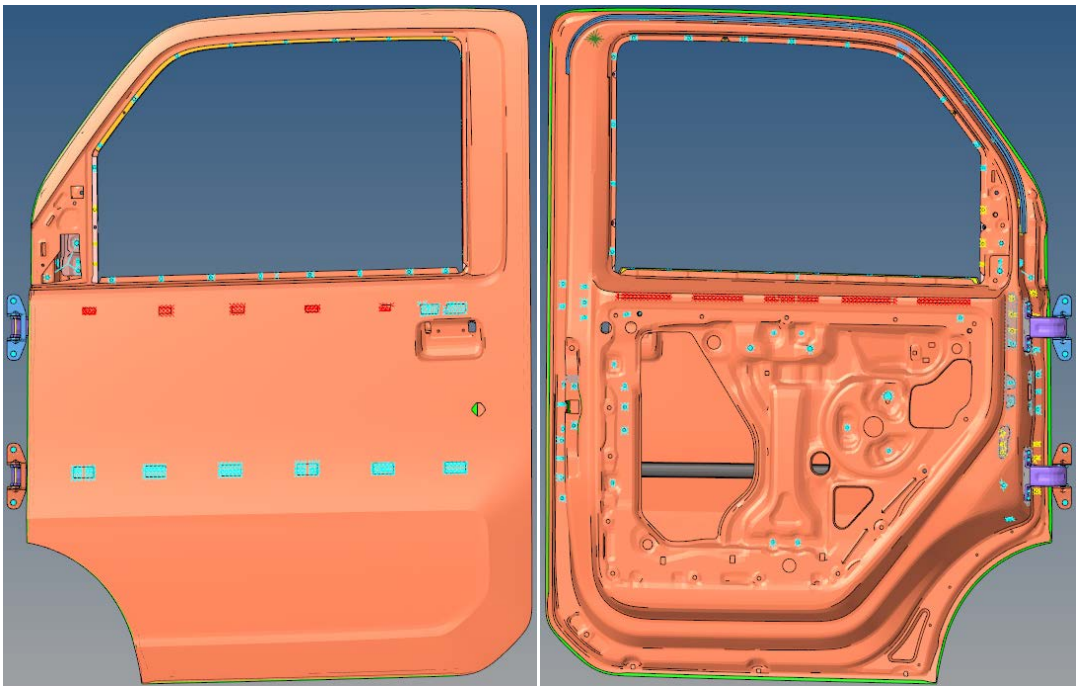


Figure 1. Finite element model of door assembly
图 1. 车门总成有限元模型

网格处理好后，需要对各部件赋予对应的材料和属性，车门材料采用不同型号的钢材，在进行仿真时统一参数，弹性模量为 210 MPa，泊松比为 0.3，密度为 7.83e-9，在材料卡片中设置车门材料性能参数，门板的厚度在属性卡片中设置，如表 1 所示。

Table 1. List of door materials
表 1. 车门材料表

	内板	外板	铰链加强板	螺母板
材料	B180H1	BUSD	BLC	BLD
厚度/mm	0.65	0.65	1.2	2.0
屈服强度/MPa	180	145	165	155

3. 车门自由模态分析

车门的自由模态分析是在无约束无载荷的自由状态下进行的[5]。模态分析用于评价系统的动态特性，在这种振动形态下，系统表现出单自由度系统的运动特征。汽车在行驶过程中，主要受到路面激励及发动机的激振，车轮不平衡激励，频率一般在 1~30 Hz 之间。若车门一阶模态偏低，容易引起共振，产生抖动及异响等影响 NVH 特性的问题，故在汽车设计开发过程中，应保证车门一阶模态满足性能要求，一般要求一阶模态不小于 30 Hz。

约束铰链与车身安装点 SPC = 123456，不放开轴线自由度，并且锁体鱼嘴中心处 SPC = 123456，仿真过程中需计算到 100 Hz。车门外板、窗框、车门内板的一阶模态分别是 32.36 Hz、35.09 Hz、50.54 Hz，并且 100 HZ 以内无防撞梁模态，第一阶模态以 Y 向弯曲振型为主，本车门的第一阶频率能够满足要求，一阶模态云图如图 2 所示。

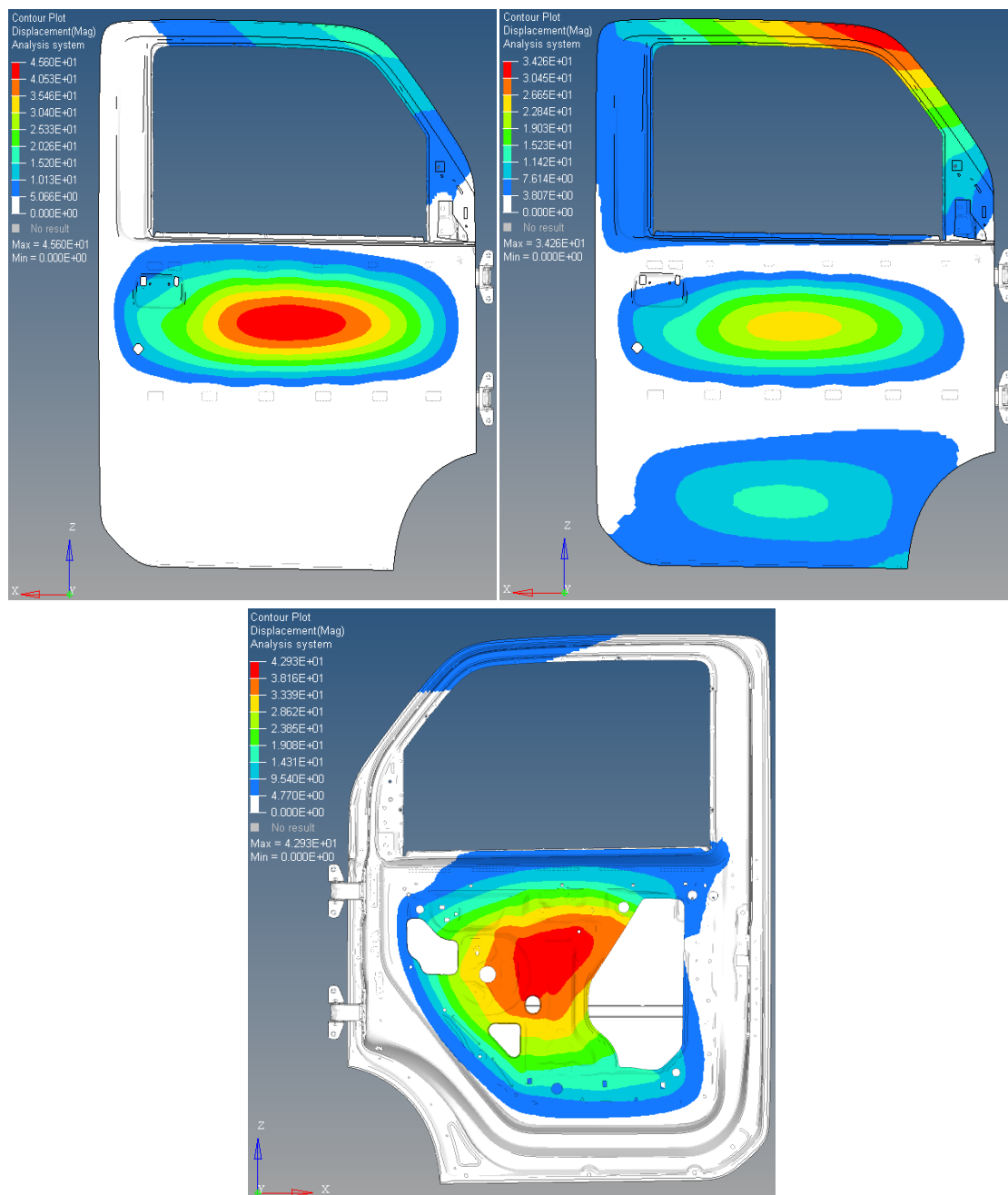


Figure 2. Cloud chart of door free mode
图 2. 车门自由模态云图

4. 车门垂直刚度分析

车门系统在承受垂直载荷时的抗变形能力，以及卸载后恢复原有形状的能力被定义为车门的垂直刚度。车门刚度分析的目标即在于要协调各刚度值，在保证车门性能基本不变的情况下，适当减弱刚度较好的刚度值，提高较差的刚度值，对车门结构进行优化，使得车门整体结构均匀、平衡。车门垂直刚度不足会引起车门卡死及关闭力增大，严重时会造成漏风、渗水、行驶过程中车门振动及噪声等问题，这都将对乘坐舒适性造成严重影响[6]。

对车门进行垂直刚度有限元仿真时,对门锁体鱼嘴中心处施加垂直向下的载荷,大小为 800 N,加载步伐为 50 N,并考虑车门自重;铰链与车门安装点 $SPC = 123456$,锁体鱼嘴中心 $SPC = 2$,即约束锁体安装点 Y 方向平动自由度,车门需打开 200 mm。车门垂直刚度云图如图 3 所示。

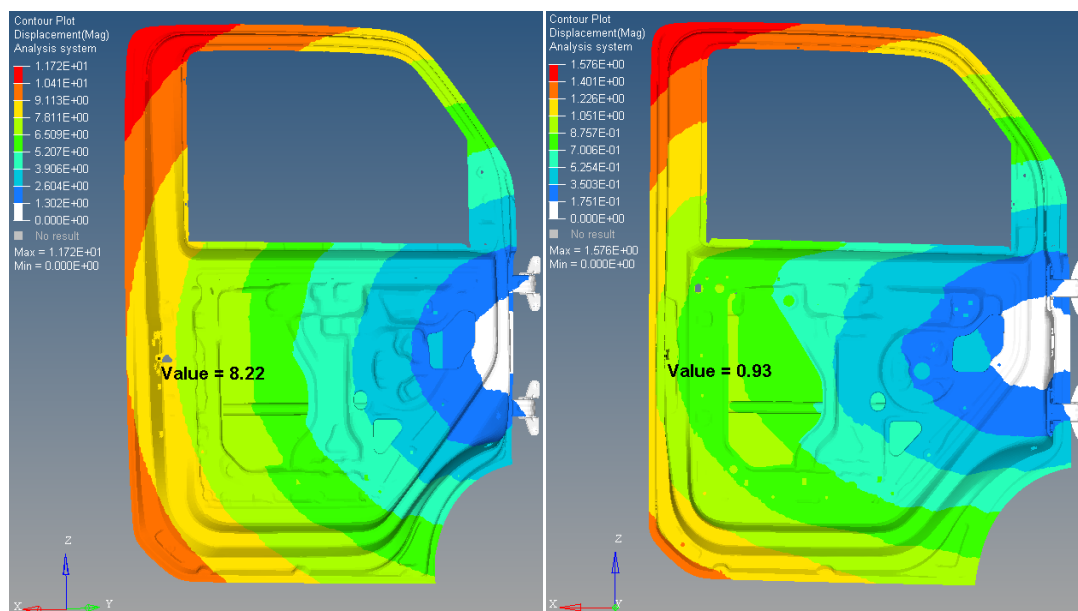


Figure 3. Cloud chart of vertical stiffness of door in the original scheme

图 3. 原方案车门垂直刚度云图

从分析结果可知,位移测量点车门锁芯处的 Z 向加载位移量为 8.22 mm,卸载位移量为 0.93 mm,大于目标值加载位移 7.60 mm、卸载位移 0.85 mm,不满足设计要求,故需要对车门的垂直刚度进行改进优化。

现提出以下改进方案:增加铰链加强板和螺母板厚度,螺母板一般是标准件,且螺母板可更改,改进成本较低。将铰链加强板的厚度由原来的 1.2 mm 增加至 1.4 mm,螺母板厚度 2.0 mm 增加至 2.5 mm,如图 4 所示。

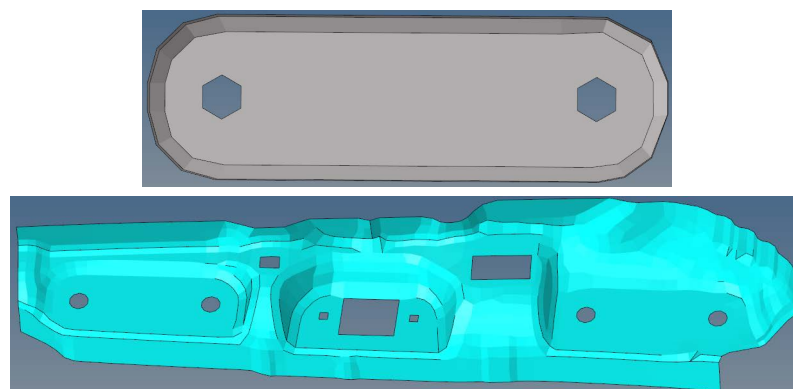


Figure 4. Increase the thickness of hinge reinforcing plate and nut plate

图 4. 增加铰链加强板和螺母板料厚度

在两块螺母板与铰链加强板的中间增加两个焊点,两板之间增加一层结构胶,加强链接,如图 5 所示。

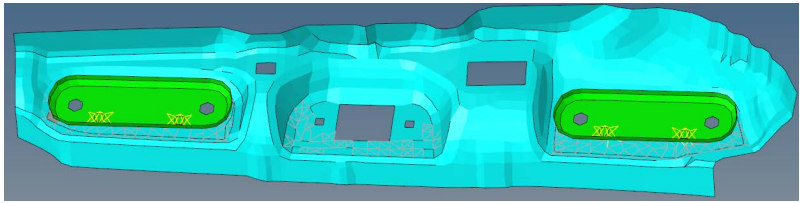


Figure 5. Add solder joint and structural adhesive
图 5. 增加焊点和结构胶

经计算得到图 6 和表 2 改进方案的车门垂直刚度情况。

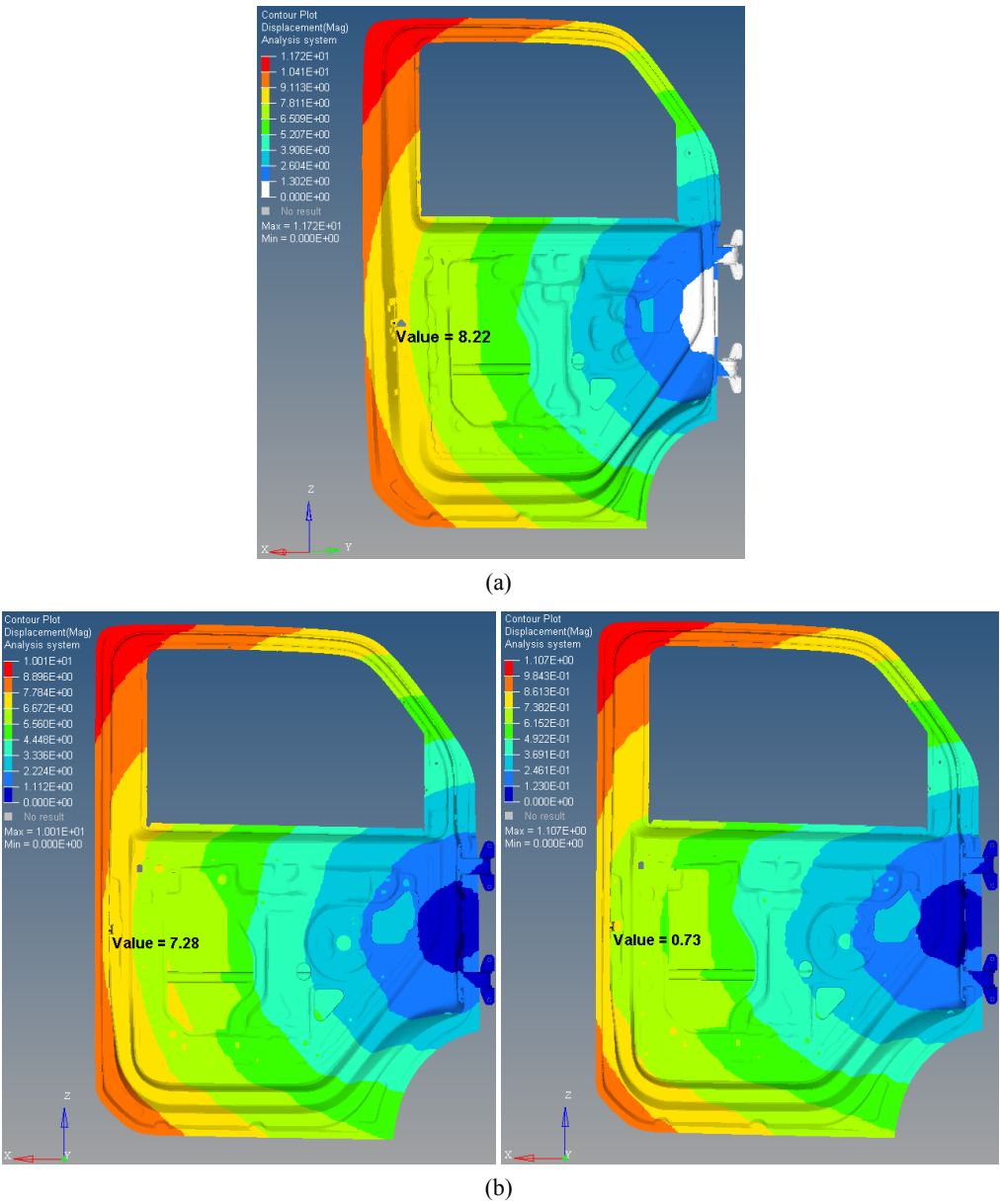


Figure 6. Cloud chart of vertical stiffness comparison between the improved scheme and the original scheme. (a) Original scheme; (b) Improvement scheme

图 6. 改进方案与原方案垂直刚度对比云图。(a) 原方案；(b) 改进方案

Table 2. Comparison of vertical stiffness between the original scheme and the improved scheme
表 2. 原方案与改进方案垂直刚度对比

单位(mm)	目标值	原方案	改进方案
加载位移	<7.60	8.22	7.28
卸载位移	<0.85	0.93	0.73

由仿真结果可知,改进方案车门加载位移比目标值低 4.2%,比原方案低 11.4%;卸载位移比目标值低 14.1%,比原方案低 21.5%。改进方案对比原方案增重了 0.12 kg。改进方案在加强螺母板与铰链加强板之间的链接的同时增加铰链加强板与螺母板的厚度能有效提高车门的垂直刚度。

5. 结论

在车门前期设计阶段,对车门进行 CAE 仿真模拟可以分析出车门的刚度性能是否符合设计要求。本文通过对车门进行自由模态分析和静态刚度分析,评估车门的自由模态振型符合要求,但是车门垂直刚度较低,因此提出加厚铰链加强板和螺母板,并在两板之间增加结构胶和焊点,加强链接的方案,改进方案车门加载位移比目标值低 4.2%,比原方案低 11.4%;卸载位移比目标值低 14.1%,比原方案低 21.5%。改进方案对比原方案增重了 0.12 kg,在保证车门轻量化的同时也有效提高了车门的垂直刚度,为解决车门前期设计阶段出现的垂直刚度问题提供了参考。

基金项目

湖南省创新型省份建设专项资助项目(2019XK22104);柳州市科技计划项目(2021AAA0103);湖南创新型省份建设专项任务项目(2020GK4010)。

参考文献

- [1] 曹德乐. 铰链门垂直刚度优化研究[J]. 企业科技与发展, 2015(3): 22-23.
- [2] 滕平. 钣金式侧门铰链结构形式与车门垂直刚度分析[J]. 企业科技与发展, 2019(5): 45-46+48.
- [3] 刘成强, 池建美, 徐海港. 某车车门垂直刚度分析及研究[J]. 农业装备与车辆工程, 2018, 56(7): 31-33.
- [4] 解跃青, 雷雨成. 汽车前车门结构性能的计算机辅助分析与研究[J]. 机械强度, 2002(4): 539-542.
<https://doi.org/10.16579/j.issn.1001.9669.2002.04.016>
- [5] 田国富, 张家兴. 某乘用车车门静态刚度与模态分析[J]. 制造业自动化, 2020, 42(4): 56-60.
- [6] 王丹, 程普, 杨宇佳, 崔岸. 面向垂直刚度的轻型车后门性能设计[J]. 汽车工程学报, 2017, 7(6): 456-460.