

某轻客钢塑一体式前端模块的开发

陈桂均, 袁刘凯, 戚海玲, 吕传志, 陶天涛

(南京依维柯汽车有限公司, 南京 211806)

摘要:为实现结构优化和材料替换的混合设计,提出钢塑一体化的前端模块结构,通过 DMU、CAE 分析等验证,结构可行且总质量相对于原有冲压件车身结构减轻,同时,静、动态特性也有不同程度的改善。

关键词:钢塑一体; 前端模块; 优化设计

中图分类号:U463. 82

文献标志码:A

文章编号:1006-3331(2023)06-0040-05

Development of a Light Bus Steel-plastic Integrated Front End Module

CHEN Guijun, YUAN Liukai, QI Hailing, LYU Chuanzhi, TAO Tiantao

(Nanjing IVECO Motors Co., Ltd., Nanjing 211806, China)

Abstract: In order to realize the hybrid design of structure optimization and material replacement, this paper proposes a steel-plastic integrated front-end module structure. Through the verification with DMU and CAE analysis, the structure is feasible, the total mass is reduced compared with the original body structure of stamping parts, meantime the static and dynamic characteristics are also improved to varying degrees.

Key words: steel-plastic integration; front-end module; optimization design

汽车轻量化问题越来越受到关注,随着塑料材料性能的提升,汽车零部件塑料化是汽车轻量化的主要手段之一^[1],钢塑一体化轻量化车身结构设计成为当前热点。钢与塑料是目前市场上应用最广泛的车身结构材料。钢的强度和刚性好,能够满足车身在受力条件下的强度要求;而塑料轻质耐腐蚀、塑性好,可在制造过程中满足复杂造型要求并降低噪声振动。钢塑一体轻量化车身结构则可以在保证车身强度和安全的前提下,实现轻量化,这也符合现今社会轻量化、节能环保的趋势^[2]。目前汽车上用的前端模块骨架的方案总结起来有 4 个大类:全钢、钢为主加塑料、塑料为主加钢、全塑料^[3]。

图 1 所示。此次改款,在前脸造型方面做了较大变动,体现出了时尚现代感,改款造型如图 2 所示。



图 1 旧款造型



图 2 改款造型

1 某款车前端模块开发背景

1.1 某款车型的造型变更

某款轻型客车上市已有 30 多年,其间经历了数次改型设计,前脸造型都没有大的改变,旧款造型如

收稿日期:2023-09-02。

第一作者:陈桂均(1976—),男,硕士;正高级工程师;主要从事汽车车身及内外饰开发工作。E-mail:chenguij@163.com。

1.2 前端模块的布置空间

从此改款车造型可以看出,前端模块位于车辆前端,是白车身的重要组成部分,也是整车前围各类附件安装的基础,大灯、格栅、引擎盖罩锁、引擎盖罩拉丝、引擎盖罩撑杆等都固定在上面。该前端模块属于中集成度的前端模块,其相关件如图3所示。

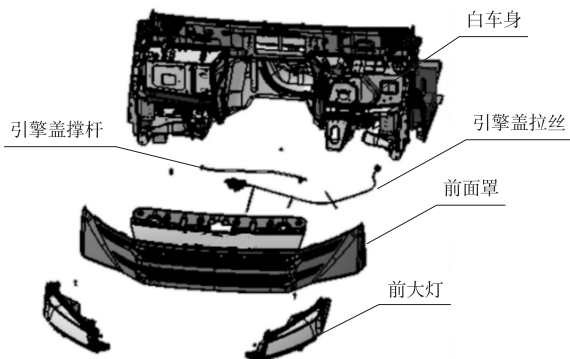


图3 前端模块相关件

因为大灯、前格栅的位置相较于旧款车型均已向上抬高,如仍采用原有的前端模块骨架,空间布置上已无法满足要求,所以必须重新设计。而且新款车型动力总成重新设计了水箱、大灯、空气滤清器等,对前端模块结构的布置提出了很高的要求^[4]。

该改款车型属于非承载式车身,由于有独立车架,且车身前端需要足够的空间布置发动机、水箱等,所以前端模块只能固定在白车身前部的左右两端,相对来说,前端模块尺寸较大且中间没有可以连接到车架上的固定点支撑。因此对前端模块本身的结构强度要求较高,设计难度也大大增加^[5]。

2 前端模块方案设计

2.1 总体方案及指标要求

该款车型由于有独立车架,其刚性防撞梁一般集成在车架前端,这就要求车身本体前端既要具有一定的强度,又要能吸收碰撞能量。前端模块如果全部采用钣金冲压件结构,要满足强度和吸能要求,钣金截面会比较宽,这样会侵占较多的前围部件安装空间。因此,初步设想是将冲压钣金结构预埋在塑料本体内以增强塑料刚性,从而满足挂载件的安装强度及碰撞吸能需求。

由于白车身前端的开口跨度达1 700 mm,引擎

盖锁布置在前端模块中部,一般情况下,引擎盖与周边件设计间隙为6 mm。整车状态下,引擎盖以10g的垂直加速度进行过关,前端模块最大变形部位即中部锁体安装区域。所以初步定义设计性能目标:在锁扣安装点施加垂直锁扣安装面向外的载荷1 500 N,锁体安装部位变形量不能超过6 mm。

2.2 第一轮改进方案

选用冷冲压成型板材和尼龙6(其中玻纤含量50%)做成钢塑一体的结构,理论质量7.7 kg(如图4所示)。经过CAE模拟计算,锁扣区域的抗拉强度仅625 N(即失效),中部变形量大于6 mm,不满足性能要求(如图5所示)。



图4 第一轮方案

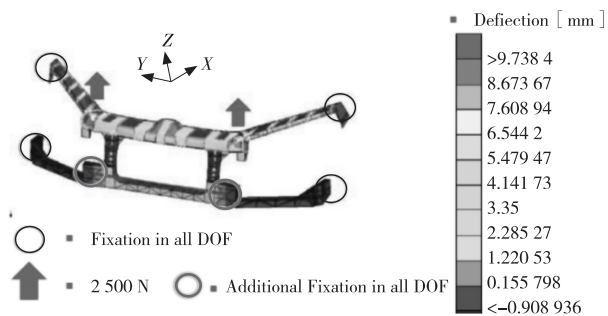


图5 第一轮 CAE 分析

2.3 第二轮改进方案

在第一轮改进方案的基础上,调整模型结构,将板材改为1.2 mm 圆管梁,通过塑料尼龙6(含玻纤50%)注塑连接,质量8.3 kg(如图6所示)。经CAE分析,锁扣区抗拉强度有所增加,将锁扣中部受力分

散到两端,单边抗拉强度可达 1 500 N,锁扣区变形量为 5.8 mm,可满足变形量小于 6 mm 的性能需求(如图 7 所示)。第二轮改进方案总体上满足性能指标要求,但由于重量增加且锁体分散到两端,锁体结构设计复杂,结构仍需进一步优化。



图6 第二轮结构

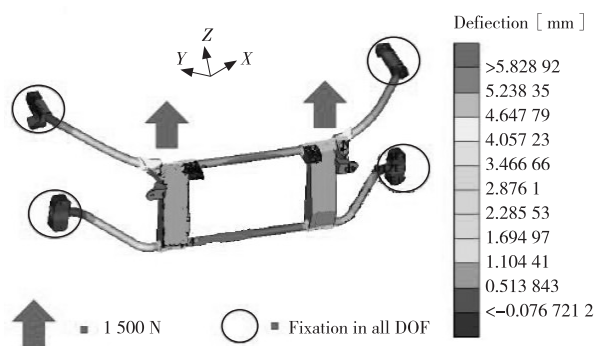


图7 第二轮 CAE 分析

另外,对第二轮改进结构进行受力分析,发现封闭式管梁结构相比板材,前端模块的抗拉强度大大增加。由于管材应用广泛,弯管成型容易,投资小,还可以大大优化空间结构,进一步明确了优化方向。

2.4 第三轮改进方案

第三轮改进主要是根据受力状态对管梁和注塑结构进行进一步优化;通过管梁与高强度塑料本体形成桁架结构,优化管梁布局,塑料中增加玻纤含量(尼龙 6,含玻纤 60%)^[5],加强刚性同时降低塑料用量,从而模块总体质量控制在 6.6 kg^[6]。

经过第三轮优化,各方面性能已经满足设计要求。在此基础上同时进行前格栅、前大灯、引擎盖开启和锁止机构的固定点设计。通过在塑料件预埋螺母嵌件,满足挂载需求,嵌件的最大拉脱力>240 N,最大抗扭转力矩 M6 螺母>11 N·m, M8 螺母>22 N·m。第三轮优化的前端模块如图 8 所示。

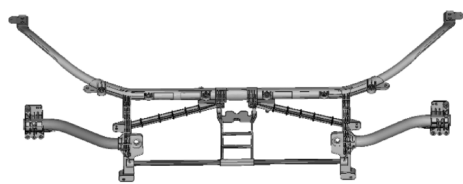


图8 第三轮优化的前端模块

2.5 方案补充说明

经分析,若前端模块采用钢板冲压件结构,整体质量将达到 10 kg。通过采用钢塑一体结构,质量减轻了 3.4 kg,轻量化比例达到 34%。工艺上,采用金属管与 PA6-GF60 复合注塑,一方面高玻纤含量塑料流动性差,通过调整材料的流动性,定制合金加硬螺杆以适应高玻纤含量材料生产;另一方面,在包塑区域焊接防扭转小铁片,加强了塑料与圆管梁的结合强度^[7]。

3 前端模块方案验证

3.1 软模件验证

钢塑一体前端模块投资大,精度要求高,为保证设计的准确性,在正式开模具前进行了三轮软模件的装车验证。前两次验证过程中均出现前端模块与车身孔位有偏差,与大灯配合孔位有偏差,与大灯间隙小等问题。经过整改,第三轮验证合格了。然后将软模件搭载整车进行道路试验。供应商同步进行前端模块台架和性能验证^[4]。

3.2 总成型零件试验验证

1) 锁扣区刚度。 X 方向和 Y 方向:23 ℃ 条件下,随机抽 3 个样件,在引擎盖锁扣处沿锁扣受力方向施加 300 N 的作用力; Z 方向:23 ℃ 条件下,随机抽 3 个样件,在引擎盖锁扣处沿锁扣受力方向施加 600 N 的作用力。锁扣区域最大变形量应<1 mm,无开裂、无永久变形现象。

2) 锁扣区抗拉强度:温度 23 ℃ 条件下,在引擎盖锁扣处沿锁扣受力方向施加 2 500 N 拉力,保持 10 min,塑料前端模块框架无破裂、无永久变形及失效现象。锁扣区极限拉力:温度 23 ℃ 条件下,在引擎盖锁扣处沿锁扣受力方向瞬间施加 5 000 N 拉力,塑料前端模块框架无破裂(允许有细小局部裂纹)。锁扣区抗压强度:温度 23 ℃ 条件下,在引擎盖锁扣处沿锁扣

受力方向施加 2 500 N 压力, 保持 10 min, 塑料前端模块框架无破裂。

3) 引擎盖缓冲块刚度。23 ℃ 条件下, 在引擎盖缓冲块处, 沿垂直受力方向施加 400 N 的作用力, 缓冲块区域最大变形量应 < 1 mm, 无开裂、无永久变形现象。

4) 引擎盖自然跌落试验。在 -40、23、100 ℃ 温度下, 引擎盖 5 次自然跌落 (跌落高度 300 mm), 前端模块框架无永久变形、裂纹及失效现象。

5) 引擎盖开关耐久试验。开关 5 000 次; 以每分钟 5 次开关循环的速率对引擎盖总成进行 5 000 次循环试验。锁的安装点完好, 前端模块框架无破裂、失效, 无永久性变形和扭曲^[8]。

3.3 前端模块方案性能分析

3.3.1 模态性能

模态性能是结构的基础, 模态性能的优劣与结构的刚度和强度密切相关, 模态性能低, 会导致面罩框系统刚度差、行驶抖动、疲劳强度降低、引擎盖和大灯周边部件间隙不易控制等缺陷^[9]。

为了制定合理的目标, 首先对竞品进行相关分析, 要求新设计的前端模态性能不低于竞品。为了便于对标, 模态性能在不带附件的前提下进行。竞品车型模态分析结果为, 第一阶模态频率值竞品 A 为 31 Hz, 竞品 B 为 33.2 Hz, 竞品 C 为 31.4 Hz。

可以看出, 竞品的最小值为 31 Hz, 竞品在路试和性能试验中没有出现过问题, 所以将最小值作为设定目标。即在白车身状态下, 设定前端模态的性能目标值的第一阶模态频率值不小于 31 Hz。同时面罩框为联合开发件, 基于竞品的对标情况以及供应商对其他主机厂的开发经验, 规定面罩框在不带白车身的状态下, 第一阶模态频率值不小于 45 Hz。在单独面罩框的模态满足要求的前提下, 再进行带白车身状态的模态分析。

钢塑一体结构有别于商用车传统的前端结构, 塑料件通过工艺附着在圆管上, 建模时, 塑料件采用体单元模拟。为了提升计算精度, 有限元模型中体单元采用二阶四面体单元, 圆管结构采用壳单元模拟, 体单元和壳单元之间采用绑定接触对模拟圆管和塑料件之间的粘合。其余部分建模方式和传统结构一致。

整个模型单元数量为 42.3 万个, 节点数为 65.4 万个。模态计算结果见表 1, 模态振型如图 9 所示。

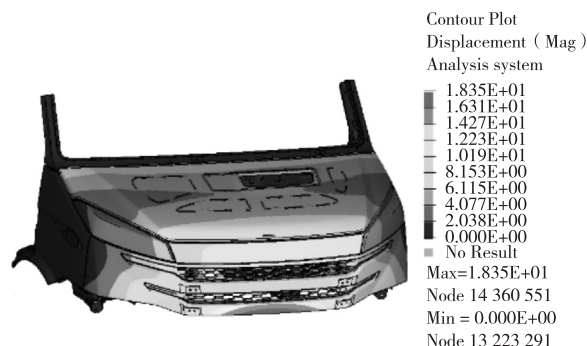


图9 钢塑一体前端结构模态振型

表1 钢塑一体前端结构模态分析结果

前端模态分析	第一阶模态频率值	Hz
带白车身	38.0	≥31
不带白车身	66.1	≥45

模态性能除了校核白车身和单独面罩框的状态, 同时也要校核装完全部附件的模态性能, 附件包括引擎盖、前大灯、引擎盖密封条、引擎盖限位块、翼子板、格栅等相关部件, 经对竞品进行相关的分析, 要求新设计的前端模态性能不低于竞品, 在完整结构状态下前端结构的模态性能目标要求不小于 22.0 Hz。

综合三种状态下前端模块的第一阶模态结果, 模态性能满足设定目标。

3.3.2 刚强度性能

刚强度的性能目标制定方法同模态性能要求, 具体过程不再细述。刚强度的性能目标要求如下, 在白车身状态下, 在 1 500 N 载荷作用下, 锁扣加载点的变形量目标值 ≤ 7.0 mm, 计算结果为 6.95 mm; 卸载后的变形量目标值 ≤ 1.0 mm, 计算结果为 0.011 mm。面罩框刚强度性能满足设定目标。

3.3.3 其他性能验证

前端结构性能除了校核模态、刚强度性能, 还校核了前端结构的抗疲劳性能、限位块安装点的刚度性能、引擎盖猛关分析等。受限于篇幅, 不再进行详细叙述^[10]。

3.3.4 前端模块的路试验证

将钢塑一体式前端模块的工装件搭载整车, 在试验场按照道路试验规范要求完成了三轮道路试验, 每

轮 12 000 km,其中高速环道 3 000 km、山路 3 000 km、环路 6 000 km。前端模块功能一切正常。

4 结束语

基于非承载式车身的特点,以及新造型空间和强度的需求,开发了钢塑一体式前端模块。该模块满足整车空间布置要求,同时降低了 34%的重量。通过软模件装车验证、性能试验、CAE 分析以及道路试验等,证明新结构符合要求。

参考文献:

- [1] 严卫卫,张云青. 汽车全塑前端模块结构优化设计[J]. 汽车实用技术,2020(3):65-67.
- [2] 庄京彪. 汽车前端模块设计研究[J]. 汽车零部件,2022(4):47-53.
- [3] 孟小斌. 某车型全塑前端模块骨架的研发[J]. 时代汽车,2003(5):157-159.
- [4] 黄玉东,赵明慧,高志纯,等. 前端模块总成装配方案优化设计[J]. 汽车工艺与材料,2016(12):22-24.
- [5] 费文铮,朱彬. 一种汽车前端模块定位方式探讨[J]. 汽车零部件,2017(11):47-49.
- [6] 邱晨曦,胡琦. 材料创新对前端模块降本减重的可行性分析[J]. 汽车零部件,2015(4):44-46.
- [7] 张玉龙,石磊. 塑料品种与选用[M]. 北京:化学工业出版社,2012:48-50.
- [8] 崔立杰,孟春江. 汽车前端模块之发罩锁的安装设计[J]. 内燃机与配件,2021(5):29-30.
- [9] 王丹,徐俊芳,张艺伦,等. 电动汽车前端模块设计对冷却系统的影响[J]. 装备制造技术,2022(2):5-7.
- [10] 丁志勇,刘倩倩,万朝华,等. 汽车前端模块的设计[J]. 汽车零部件,2018(5):29-32.
- [6] 王开云,蔡成标,徐志胜. 基于频域方法的轨道随机振动特性及试验验证分析[J]. 机械工程学报. 2005,41(1):149-152.
- [7] 国家发展和改革委员会. 道路车辆 电气及电子设备的环境条件和试验 第3部分:机械负荷:GB/T 28046.3—2011[S]. 北京:中国标准出版社,2011:1-36.
- [8] 黄培鑫,兰凤崇,陈吉清. 随机振动与冲击条件下电动车电机包结构响应分析[J]. 汽车工程,2017,39(9):1087-1093.
- [9] 赵久志,夏顺礼,刘涛,等. 基于 HyperWorks 的某动力电池总成壳体结构优化技术[J]. 汽车实用技术,2016(7):23-26.
- [10] 朱维兵,巫发茂,晏静江,等. 拓扑优化机载控制台的整机随机振动分析与试验[J]. 西华大学学报(自然科学版),2017,36(1):17-23.
- [11] 熊永华,杜发荣,高峰,等. 轻型载货汽车车架动态特性分析与研究[J]. 机械设计,2007,24(4):60-62.
- [12] 洪长满. 某机载雷达中钢丝绳隔振器的随机振动响应研究[J]. 电子机械工程,2011,27(3):8-11.
- [13] 刘昌儒,于鹏,贺帅,等. 印制电路板及元器件引脚振动分析[J]. 机电工程技术,2020,49(5):32-34.
- [14] 张义民. 机械振动[M]. 北京:清华大学出版社,2019:50-52.
- [15] 王涛,李宏玲. 基于有限元分析的客车振动试验研究[J]. 客车技术与研究 2013,35(5):46-50.

(上接第 39 页)