

车身结构 NVH 特性多目标拓扑优化研究*

张宇 张仲鹏

(西南交通大学 机械工程研究所,成都 610031)

Study on multi-objective topology optimization on NVH features of car body

ZHANG Yu,ZHANG Zhong-peng

(Research Institute of Mechanical Engineering of Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

【摘要】建立了某车身地板结构动力学有限元模型,通过分析自由模态固有频率和多点激励下频率响应,验证了车身地板数值分析模型的有效性。以地板结构各激励点最大振动速度的平方和最小化作为目标函数,建立了多目标拓扑优化模型。通过解读优化结果,提出了地板结构改进方案。改进后的车身地板结构各阶自由模态固有频率增加达10%以上,各激励点速度响应大大降低,NVH特性明显提高。研究表明,减小振动速度的多目标拓扑优化设计是一种改善车身NVH特性的有效方法。

关键词:车身地板;多点激励;多目标拓扑优化;NVH

【Abstract】 A dynamic finite element model for a car body floor was built, which availability was proven by analyzing both free modal inherent frequency and frequency response under multi-support excitation. A multi-objective topology optimization model was structured with the sum of squares of maximum vibration velocity at excitation points and minimum as the objective function. Floor structure improvement plan was proposed by analyzing the optimization results. The free modal inherent frequency for each order of improved car body floor was increased by 10% more. And the NVH character of new floor structure is obviously improved. Research shows that, the multi-objective topology optimization design with vibration velocity reduced is an effective method to improve the NVH character of car body.

Key words: Car body floor; Multi-support excitation; Multi-objective topology optimization; NVH

中图分类号:TH16 文献标识码:A

1 前言

汽车行驶中常因外部激振力作用而产生各种形式的振动,不仅引起振动疲劳,缩短使用寿命,而且导致辐射噪声,影响乘坐舒适。因此,NVH特性始终是车辆精品化设计和发展中一个需要考虑的方面。车身地板是车室声腔的主要组成部分之一,合理的地板设计对改善和提高整车NVH特性具有重要意义。利用拓扑优化方法合理设计板件上加强筋的位置和几何尺寸,是目前研究车身NVH性能的一个热点问题^[1]。结构振动特性优化通常分为动力特性优化和振动响应优化^[2]。大量文献对汽车结构进行了动力特性多目标拓扑优化^[3,4]。关于车身结构振动响应多目标拓扑优化的文献相对较少,而振动响应却能更好地预测结构动态力学性能。对某车身地板进行了多点激励频响分析,然后以各激励点最大振动速度平方和最小为目标函数,以期通过多目标拓扑优化为结构改进提供概念参考,使地板结构动力特性得到提高,振动响应得到改善。

2 车身地板结构有限元动力学分析

2.1 车身地板有限元模型的建立

将车身地板CAD模型导入HyperMesh中完成单元离散。因为线性三角形单元应变矩阵为常数矩阵,将导致有限元模型刚度与实体结构误差偏大,于是选用四边形单元为主构成数值模型,将三角形单元数量控制在5%以内。最后得到地板结构有限元模型,如图1所示。其中包含2333个节点和2354个单元。

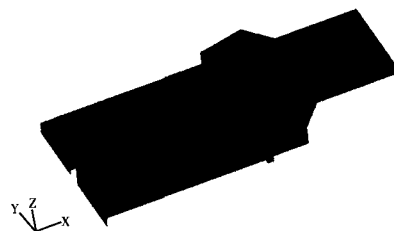


图1 地板结构有限元模型

Fig.1 Floor structure finite element model

2.2 车身地板自由模态分析

采用MSC.Nastran软件提供的Lanczos方法计算地板自由模态,前6阶为结构刚体位移模态,从第7阶开始为结构弹性振动模态。各低阶频率和振型描述,如表1所示。

表1 地板结构低阶模态分析结果

Tab.1 Floor structure low order modal analysis results

| 阶次 | 频率(Hz) | 振型描述 |
|----|--------|--------------|
| 7 | 15.02 | 地板整体垂向一阶弯曲振型 |
| 8 | 16.829 | 地板整体横向一阶扭转振型 |
| 9 | 20.768 | 前地板局部振型 |
| 10 | 21.509 | 前地板局部振型 |
| 11 | 21.95 | 前地板局部振型 |
| 12 | 22.536 | 前地板局部振型 |
| 13 | 23.51 | 地板整体垂向高阶弯曲振型 |

2.3 车身地板频响分析

频响分析是一种研究结构在正弦曲线振动载荷作用下的稳

态响应技术⁹。车辆行驶时,不平路面引起的振动激励通过副车架安装点传递至车身地板⁶。为预测车辆行驶动态性能,在车身地板副车架安装点施加单位正弦曲线振动载荷。在车身 CAE 分析中,常用激励点处的速度导纳评价结构刚度⁷。由于地板结构具有对称性,提取地板右侧前、后载荷作用点速度响应曲线,如图 2 所示。由图 2 可见,自由模态垂向振型固有频率与速度响应峰值相对应,表明地板结构动力学有限元模型具备有效性。

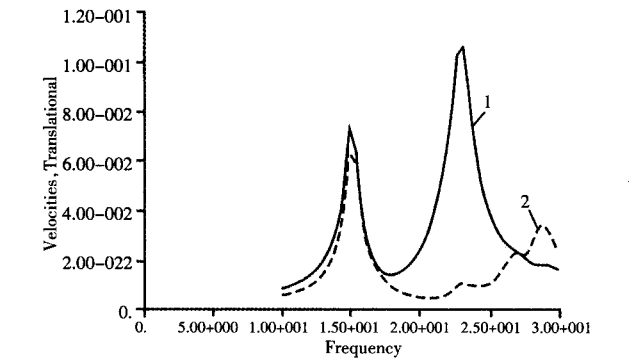


图 2 地板右侧前、后激励点处速度频率响应
Fig2 Floor before and after the right incentive point speed response curve
1.地板右侧前激励点速度响应曲线 2.地板右侧后激励点速度响应曲线

3 车身地板结构多目标拓扑优化

3.1 多目标拓扑优化目标函数

研究表明,薄板结构振动对外辐射的声功率为结构振动速度的二次性函数⁹。若能通过拓扑优化降低地板结构振动速度,将会使车身结构 NVH 性能得到优化。OptiStruct 软件中采用线性加权法和自定义函数法来处理多目标优化问题。选取地板结构 4 个频响激励点最大振动速度的平方和作为拓扑优化目标函数。

3.2 车身地板结构多目标拓扑优化及解读

在拓扑优化过程中,为方便冲压制造,选择加强筋类型为直线型,设置加强筋截面最小宽度为 50mm,最大高度为 8.5mm,拔模角为 60°,采用 1-Pln Sym 关于 $x-z$ 平面对称模式组为约束。地板多目标拓扑优化结果,如图 3 所示。通过解读拓扑优化结果,将其转化成最合理的等效结构,如图 4 所示。

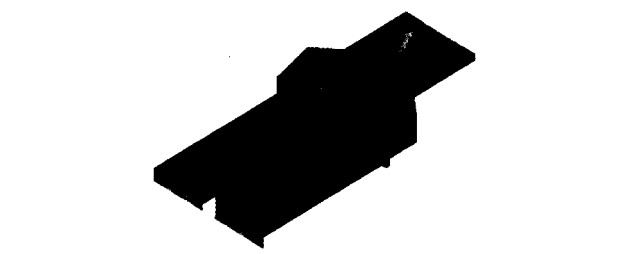


图 3 地板多目标拓扑优化结果
Fig.3 Floor multi-objective topology optimization results

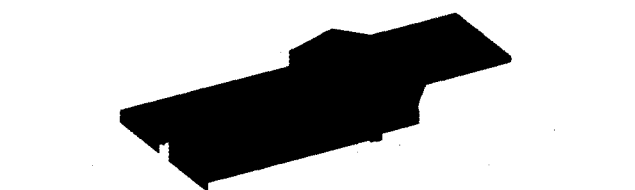


图 4 地板改进结构
Fig.4 Floor structure is improved

4 车身地板结构优化结果验证

对改进后的地板结构进行动力学分析,计算获取各低阶固有频率和振型,如表 2 所示。地板右侧前、后载荷激励点处速度响应曲线,如图 5 所示。由地板结构优化后的动力学分析结果可看出:各低阶频率相对提高率达 10%以上;各低阶振型表明前地板局部区域刚度增大;各激励点速度响应大幅降低。以上计算结果表明地板结构改进后的 NVH 特性得到优化。

表 2 地板改进结构低阶模态分析结果
Tab.2 Floor structure is improved low order modal analysis results

| 阶次 | 频率(Hz) | 频率相对提高率 | 振型描述 |
|----|--------|---------|--------------|
| 7 | 17.133 | 14.07% | 地板整体垂向一阶弯曲振型 |
| 8 | 19.489 | 15.81% | 地板整体横向一阶扭转振型 |
| 9 | 27.735 | 33.55% | 地板整体垂向高阶弯曲振型 |
| 10 | 34.668 | 61.18% | 前地板局部振型 |
| 11 | 35.412 | 61.33% | 前地板+后地板局部振型 |
| 12 | 36.874 | 63.62% | 后地板局部振型 |
| 13 | 50.252 | 113.75% | 地板整体横向高阶扭转振型 |

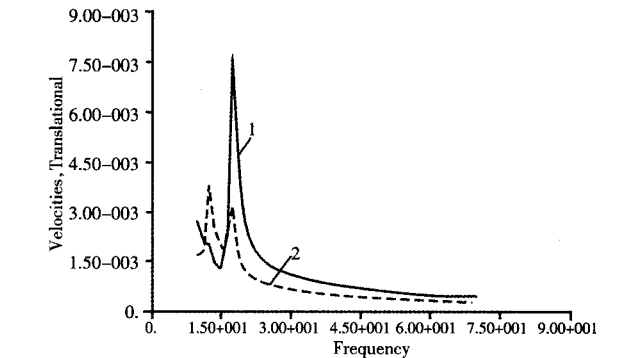


图 5 地板优化各激励点速度响应
Fig.5 Floor optimize various incentive point response speed
1.地板优化后右侧前激励点速度响应曲线
2.地板优化后右侧后激励点速度响应曲线

5 结束语

(1)采用基于多点频响激励的振动速度多目标拓扑优化方法,为车身地板结构优化提供了很好的概念参考。(2)通过合理设计车身地板加强筋的位置和几何形式,使其结构振动和辐射噪声性能得到优化,提高了 NVH 性能。(3)基于板件结构动态性能的多目标拓扑优化方法可为车身结构 NVH 性能优化提供有效的概念参考,并为进一步地细节优化奠定基础。

参考文献

[1] 邓兆祥,高书娜,胡玉梅.基于拓扑优化的轿车车身低噪声设计[J].振动与冲击,2008,27(11):168-172.
[2] 张军,兆文忠,张维英.振动板减振降噪多目标优化设计研究[J].机械强度,2008,30(3):400-404.
[3] 范文杰,范子杰,苏瑞意.汽车车架结构多目标拓扑优化方法研究[J].中国机械工程,2008,19(12):1505-1508.
[4] 祝小元,方宗德,申闪闪,等.汽车悬架控制臂的多目标拓扑优化[J].汽车工程,2011(33):138-141.
[5] 隋允康,杜家政,彭细荣.MSC.Nastran 有限元分析与优化设计实用教程[M].北京:科学出版社,2004.
[6] 庞剑,湛刚,何华.汽车噪声与振动—理论与应用[M].北京:北京理工大学出版社,2006.
[7] 王志亮,刘波,桑建兵,等.动刚度分析在汽车车身结构设计中的应用[J].机械设计与制造,2008(2):30-31.
[8] 黎胜,赵德有.结构声辐射的振动模态分析和声辐射模态分析研究[J].声学学报,2004,29(3):200-208.