

文章编号:1005-0523(2012)05-0080-03

# 基于Hyperworks的汽车背门扭转模态频率灵敏度分析

冯杰<sup>1</sup>, 陈蓓蓓<sup>2</sup>

(1. 同济大学铁道与城市轨道交通研究院, 上海 201804; 2. 上海船厂船舶有限公司修船事业部, 上海 202100)

**摘要:**采用一种新的方法进行汽车背门扭转模态频率的灵敏度分析,将内蒙皮划分为不同的区域,以厚度的变化来表示表面特征变化所带来的刚度变化。对背门的各个加强件和内蒙皮的不同区域的厚度进行参数化。利用Hyperworks软件进行灵敏度分析,精确求解出加强件的贡献大小与内蒙皮各个部位的贡献大小。对于正因子部件要其提高刚度,负因子部件则要削弱其刚度。分析结果精确地指出了下一轮设计的重点部位。

**关键词:**背门;加强件;灵敏度;刚度

**中图分类号:**U463.82+2

**文献标志码:**A

研发一款新型面包车,在最新设计的数模中,车的后背门经分析后发现其扭转模态频率过低。现要通过CAE手段来提高后背门的扭转模态频率,并为第二轮设计提供明确的设计方向。本文对加强件与内蒙皮各个区域进行灵敏度分析,找到最值得进行重新设计的区域。

## 1 研究方法 with 思想

对内蒙皮的各个区域和加强件而言,各个区域或加强件上的表面特征的变化会引起整体的扭转模态频率值的变化<sup>[1-2]</sup>。有的部分加强了能够使整体模态频率提高,这些部分被称为正因子部分;有的部分加强了反而会使整体模态频率下降,这些部分被称为负因子部分。正负因子的绝对值越大,则其所对应的部分的改变对整体的影响也就越大。而厚度的变化也能够达到与表面特征变化的效果,即引起刚度的变化<sup>[3]</sup>。

在多自由度系统中,等效角频率与等效刚度存在关系式:  $w_{cr}^2 = k_{cr}/m_{cr}$ ,其中等效角频率  $w_{cr}$  正比于模态频率,反比于等效质量  $m_{cr}$ ,当模态频率提高时,由公式可知等效刚度  $k_{cr}$  也会提高,从而提高整体的刚度。对于汽车背门而言,可以看成是一个多自由度的系统,当提高模态频率后,背门的整体刚度也得到了提高,从而满足解决背门刚度不足的问题。

基于此原理对内蒙皮的各个区域和各个加强件的厚度进行参数化,利用Hyperworks中的OptiStruct处理器进行灵敏度分析,得到各个部分对于整体模态频率值的贡献值大小,对于正因子部分,则在下一轮分析中应该加强其刚度,对于负因子部分,则要降低其刚度<sup>[4-6]</sup>。

## 2 对加强件进行灵敏度分析

对背门进行模态分析,求解出第一阶扭转模态频率为26.20 Hz。背门共有14个加强件,分别对其料厚进行参数化,在Hypermesh的OptiStruct模块下建立变量以及变量对应的部件的连接关系名,为了明确表示关联则将两者设为同名,分别是:变量J1对应车牌加强件左支撑;变量J2对应车牌加强件右支撑;变量J3对应车牌加强件;变量J4对应中央加强件;变量J5对应D柱加强件支撑1;变量J6对应D柱加强件支撑二;变量J7对应限位处加强件;变量J8对应铰链加强件左;变量J9对应铰链加强件右;变量J10对应D柱加强

收稿日期:2012-06-06

作者简介:冯杰(1987-),男,硕士研究生,研究方向为机械产品的可靠性与敏感度问题。

件支撑左;变量J11对应D柱加强件左;变量J12对应锁止处加强件;变量J13对应D柱加强件支撑右;变量J14对应D柱加强件右。

由于这是灵敏度分析,所要的结果是各个加强件对背门第一阶扭转模态频率的灵敏度大小,所以没有必要用真实的初始厚度以及各个加强件厚度所能够变化的范围,将所有加强件的初始厚度全部1 mm,将所有加强件的变化范围都设置为:最小值是0.7 mm,最大值是1.5 mm。对其进行灵敏度分析,目标是第一阶扭转模态频率为最大值<sup>[6-8]</sup>,处理器OptiStruct生成的Excel表格记录了各个变量的影响程度,见图1。

由分析结果得,在所有变量中,变量J4是最大的正影响因子,对应于中央加强件,灵敏度大小为0.141;变量J11,J14是两个最大的负影响因子,对应于D柱加强件左、D柱加强件右,灵敏度大小分别为-0.232,-0.179。对于正灵敏度对应的部件要进行加强,方法是增加厚度、增大整体尺寸和筋特征强化;对于负灵敏度对应的部件要进行弱化,方法是减小厚度、减小整体尺寸和筋特征弱化。

进行验证,将变量J11和变量J14通过减少其厚度进行弱化,将其厚度由原来的1 mm变为0.7 mm,并计算出弱化负灵敏度加强件后,背门的第一阶扭转模态频率为26.33 Hz,比原来提高了0.13 Hz;将变量J4通过增加厚度和优化筋特征来进行强化,将其厚度由原来的1 mm变为1.3 mm,并将变量J4对应的加强件的空腔设计的更大,而整体尺寸不变,并计算出强化正灵敏度加强件后,背门的第一阶扭转模态频率为26.50 Hz,比原来提高了0.3 Hz。

可见灵敏度分析的结果是完全正确的,减小某些加强件的厚度反而能提高性能,而优化筋特征又可以最大程度上的节省材料用量。这可以减少用料,因为即使每一个件减少很少的材料用量,在整体的成本预算上也会节省很大开支。

### 3 内蒙皮的灵敏度分析

此分析是将内蒙皮划分为一块一块的区域,对不同的区域的部件赋予不同的料厚值,从而实现各个区域的刚度变化。对所划分的6个部分进行参数化,变量N1对应的区域是内蒙皮顶端拐角;变量N2对应的区域是内蒙皮立柱;变量N3对应的区域是内蒙皮顶端中央;变量N4对应的区域是内蒙皮立柱下拐角;变量N5对应的区域是内蒙皮底端下拐角;变量N6对应的区域是内蒙皮中央伸出处。初始厚度值都设为0.7 mm,变化范围都是最小值为0.5 mm,最大值为1 mm。

实际上,内蒙皮是冲压件,其厚度是相同的,不可能如此变化,如此设定只是为了找到到底哪个区域进行表面筋特征的重新设计是最值得的,这是一种等效转变的思想方法<sup>[9]</sup>。同加强件的灵敏度分析,以第一阶扭转模态频率的最大值为目标,处理器OptiStruct生成的Excel表格记录了各个变量的影响程度。见图2。分析结果表明,变量N4,N6对应的区域是最值得重新进行表面筋特征优化设计的区域,灵敏度值分别为1.90,2.27。

进行验证,将区域4和区域6的厚度由原来的0.7 mm变为1 mm,进行强化,并求得强化后背门的第一阶扭转模态频率为27.93 Hz,比原来提高了1.73 Hz。通过改变背门内蒙皮对应区域的筋特征可以达到提高背门扭转刚度的目的。因为造型的原因,美观的外

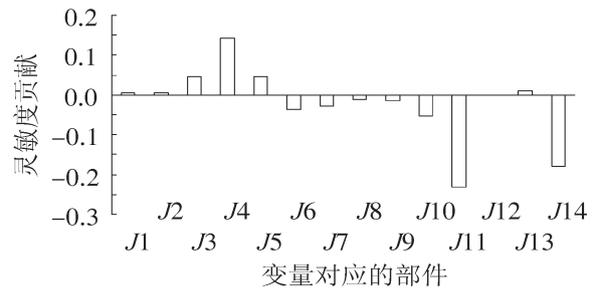


图1 加强件的影响因子  
Fig.1 Affecting factors of reinforcement parts

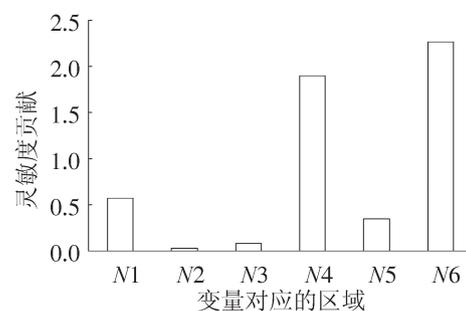


图2 内蒙皮各区域的敏感度  
Fig.2 Sensitivity of different regions

形可以提高销量,但是美观的造型并没有考虑性能,通过内蒙皮的优化设计,既提高了性能又保留了造型的美观。

#### 4 结论

1) 灵敏度分析指出最值得重点设计,避免了优化设计的盲目性。背门加强件的弱化设计和筋特征的强化设计可以提高性能,同时节省材料用量,节约成本。

2) 巧妙的将内蒙皮进行区域划分,并以厚度的变化来表示表面特征的变化,精确指出了最值得进行表面特征优化设计的区域。通过优化目标区域的筋特征来提高性能,不但减少了其它部门工作量,而且保留了美观的造型设计。

#### 参考文献:

- [1] 陈国定,武力. 轿车白车身结构的相对灵敏度分析[J]. 机械设计,2007,24(4):22-24.
- [2] 刘显贵,陈无畏. 基于刚度灵敏度分析的轿车白车身结构优化[J]. 机械设计,2009,26(12):58-60.
- [3] 赵常虎,余海东,郭永进. 影响轿车白车身扭转刚度的关键结构研究[J]. 机械设计,2007,24(8):66-68.
- [4] 张洪伟,张以都,王锡平,等. 基于灵敏度分析·的某农用车车架的动力修改[J]. 机械设计,2006,23(6):49-51.
- [5] 胡志远,浦耿强,高云凯. 轻型客车车身刚度灵敏度分析及优化[J]. 机械强度,2003,25(1):67-70.
- [6] 毛玉明,郭杏林,赵岩,等. 基于灵敏度分析的结构动态载荷识别研究[J]. 振动与冲击,2010,29(10):1-3.
- [7] 崔岸,王登峰,陈海潮,等. 基于模态灵敏度分析的商用车驾驶室结构优化[J]. 汽车工程,2010,32(6):535-539.
- [8] 张灶法,朱壮瑞,孙凌玉,等. 白车身动态灵敏度应力分析的等效子结构法[J]. 东南大学学报:自然科学版,2001,31(2):39-41.
- [9] 卢奕志,刘永明. 车轮与曲线钢轨接触的有限元分析[J]. 华东交通大学学报,2011,28(5):63-65.

## Sensitivity Analysis of Torsion Mode Frequency of Car Rear Door Based on Hyperworks Software

Feng Jie<sup>1</sup>, Chen Beibei<sup>2</sup>

(1. The Urban Mass Transit & Railway Research Institute, Tongji University, Shanghai 201804, China; 2. Ship Repair Department, Shanghai Shipyard Co., Ltd., Shanghai 202100, China)

**Abstract:** This paper applies a new method in conducting the sensitivity analysis of torsion mode frequency of the inner skin of car rear door. Firstly, the inner skin is divided into different regions, and the changes of stiffness resulting from altering the surface features can be indicated by the changes of thickness. Then the thickness of the reinforcement parts and the different regions of the inner skin will be parameterized. By using Hyperworks for sensitivity analysis, the amount of contribution to the stiffness of the reinforcement parts and the regions of the rear door's inner skin can be precisely calculated, which finds the stiffness should be improved if the part's contribution is positive, or vice versa. The analysis result points out the key points for the next round design.

**Key words:** rear door; reinforcement part; sensitivity; stiffness