

基于车身电子电器零件振动频率的研究

彭玉环 刘卫东

(江铃汽车股份有限公司 江西 南昌 330001)

摘要: 随着汽车智能化成为趋势, 电子电器零件重要性越发凸显。汽车电子电器零件的共振会导致零件硬件的失效, 进而导致软件的失效, 严重影响车辆的安全运行。本文介绍一种基于电子电器零件安装在车辆车身不同位置 and 不同安装方向的共振频率研究, 以确保电子电器零件满足车辆运行要求。电子电器零件的固有频率和安装方向以及轴向上的共振频率, 和车身安装位置上的模态, 共同作用影响零件在车身上的共振频率。

关键词: 电子电器零件; 共振频率; 车身模态

0 引言

电子电器零件在车辆正常工作中起至关重要的作用, 尤其由于电子电器零件软件、硬件结合的特殊性, 微小的损坏可能会导致重大的失效。而共振会导致电子电器零件产生结构松动、断裂等物理失效, 进而导致电子电器零件软件功能的失效。因此, 电子电器零件在设计时和选择安装的车身位置时, 尽量避免与安装车身部件产生共振。本文介绍一种基于电子电器零件安装在车辆车身不同位置 and 不同安装方向的共振频率研究, 以确保电子电器零件满足车辆运行要求。电子电器零件的固有频率和安装方向以及轴向上的共振频率, 和车身安装位置上的模态, 影响电子电器零件在车辆使用中是否产生共振。

1 车身模态计算

电子电器零件在车辆上各个位置安装, 每个安装位置的模态也不一样。通常对车身整体模态进行分析, 必要时对特定位置的车身附件模态进行分析。

车身模态是车身的固有属性。车身模态分为试验模态和仿真模态。在设计前期阶段, 通过建立仿真模型, 模拟得出车身仿真模态数据。在车身样件生产出来后, 通过试验方法得到车身实际模态数据。

1.1 仿真模态

仿真模态参数包括模态频率、模态振型与模态阻尼。车身模态振型为车身在特定频率下的振动形状, 而该特定频率即为模态频率。

仿真模态为建立模态模型, 利用质量、刚度、阻尼等理论数据, 得到振动系统的动力学运动方程, 如公

式 (1) 所示, 最终通过特定的数值计算方法求解出该动力学方程的特征根, 得到振动系统的模态频率与振型。对于仿真模态而言, 通常将描述系统特征的运动方程组用矩阵形式表示为:

$$[M]\{\ddot{x}(t)\} + [C]\{\dot{x}(t)\} + [K]\{x(t)\} = \{f(t)\} \quad (1)$$

式中: $[M]$ — 质量矩阵;

$[C]$ — 阻尼矩阵;

$[K]$ — 刚度矩阵。

$[M]$, $[C]$, $[K]$, 连同相应的加速度向量、速度向量和位移向量以及外力向量一起组成基本运动方程。建立矩阵需要完善材料参数、结构参数, 质量数据和结构, 越接近实际, 得出的模态参数越准确。一般仿真质量与实际质量的误差控制在 5% 以内。结构数据需建立多个焊点、多个单元, 单元边界结合点需与实际 3D 数据一致, 一般结合点在 60 万个以上为宜。通过仿真得到车身仿真模态值。图 1 所示为车身仿真模型参考。

1.2 试验模态

试验模态为实测值, 通过相应的试验方法得到需要的数值, 比如加速度, 通过公式计算求得车身模态振型、模态频率与模态阻尼。通常考虑车身结构和安全性, 一般采用激振器法测试。

激振器法模态测试主要是通过分析仪输出信号源来控制激振器, 激励被测试件, 输出信号有先进扫频正弦、随机噪声、正弦、调频脉冲等信号。车身一般采用多点同时激励法 (MIMO)。

采用激励法时, 需先根据仿真数据选择刚度较大的悬挂位置, 再安装好加速度传感器和机座。

按照有限元仿真分析, 选取刚度较大的激励点。一般根据车身结构选择一个或多个激振器。试验过程中对

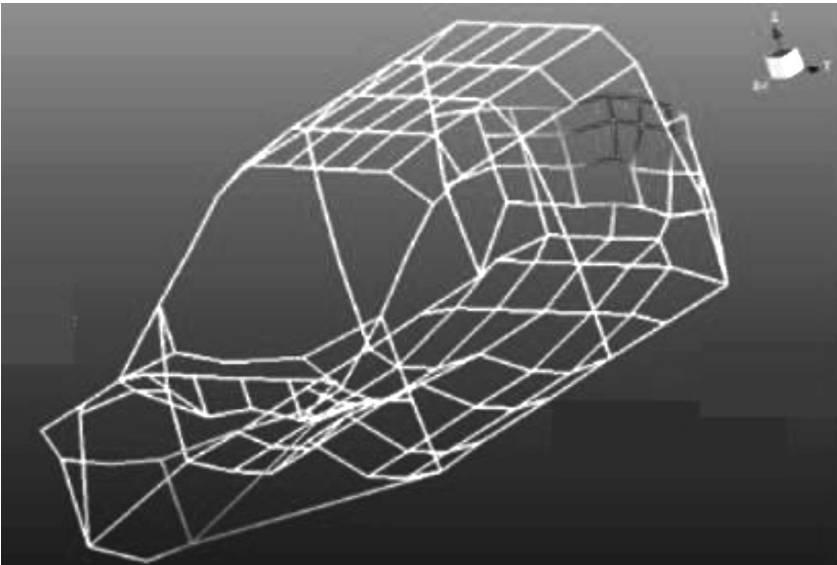


图 1 车身仿真模型

测试点进行数据采集，测试完成后再次检查数据，保证数据有效性。得到车身各个位置和轴向的车身试验模态值。

根据仿真模态值和试验模态值分析得出车身各个位置的模态值 H 车身。仿真模态值和试验模态值，作为布置在相应位置上的电子电器零件共振频率及固有频率评估的参考限值。

2 电子电器零件的频率设计

2.1 电子电器零件的共振频率

共振频率是指一物理系统在特定频率和波长下，比

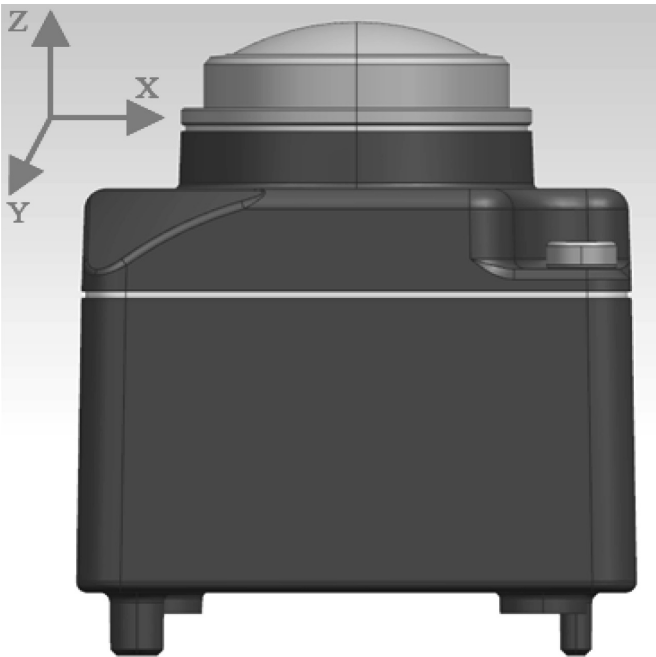


图 2 示例零件在整车上的安装方向

其他频率和波长以更大的振幅作振动的情形。

电子电器零件的安装位置和安装方向是零件共振频率的影响因数。

将零件按照整车车身上的安装方向布置在振动台架上，根据车身的试验模态和仿真模态综合评估后，制定在车身各个位置上布置的电子电器零件的扫描频率 H 和加速度 a ，用于测试零件在相应状态下的共振频率。分别在 X 轴、 Y 轴、 Z 轴对零件在要求的频率 H 及加速度 a 下进行扫描，当某一频率振幅明显大于其他频率时，此为共振频率。在同一轴向可能有多个共振频率点，此时应以最小的共振点为最低限值。

根据图 2 和图 3 布置要求，对电子电器零件进行 X 轴、 Y 轴、 Z 轴测试。

假设电子电器零件在 X 轴、 Y 轴、 Z 轴振动分别得出最小共振频率值 H_X, H_Y, H_Z 。

在零件设计状态中， $H_{\text{车身}}$ 与 H_X, H_Y, H_Z 关系如下：

$H_X < 1/2 \times H_{\text{车身}}$ 或 $2 \times H_{\text{车身}} < H_X$

$H_Y < 1/2 \times H_{\text{车身}}$ 或 $2 \times H_{\text{车身}} < H_Y$

$H_Z < 1/2 \times H_{\text{车身}}$ 或 $2 \times H_{\text{车身}} < H_Z$

2.2 电子电器零件的固有频率

固有频率是零件本身的频率，不受外界条件影响。仅与零件的固有特性有关，如密度、刚度、形状、材质等。在前期设计阶段，通过 CAE 分析预先计算出固有频率，对刚度等固有特性调整，以满足设计

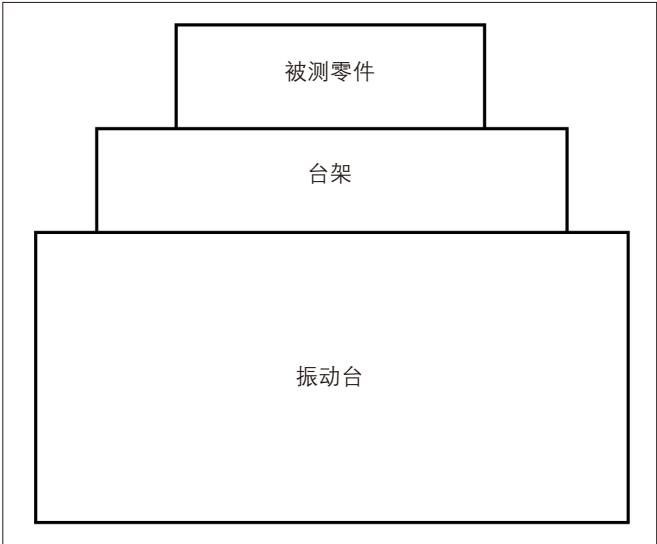


图 3 振动测试

(下转第 87 页)

表 3 分力（有限元分析）

序号		1	2	3	4
Von-Mises 应力 /MPa	工况 1	310.24	110.22	300.59	57.66

表 4 合力（有限元分析）

序号		1	2	3	4
Von-Mises 应力 /MPa	工况 1	253.56	34.37	261.13	68.57

表 5 对比表

数据来源	加载方式	点 1	点 2	点 3	点 4
有限元计算	分力加载	310.24	110.22	300.59	57.66
试验		325.53	116.82	302.14	53.26
有限元计算	合力加载	253.56	34.37	261.13	68.57
试验		256.44	66.45	268.94	46.37

理论计算值基本一致，应力小的点试验数据与有限元模型位置修正后理论计算值差别较大。

4 结语

（1）有限元计算对于试验具有较大的指导意义。

（2）后续强度计算采取有限元仿真计算－静强度试验－有限元修正模型的模式，从而形成有效指导设计的有限元分析模型。

（3）分力和合力从实际的试验效果验证可以得出，因工装、加载相序会对实验结果有影响，涉及多向加载的试验尽量使用多向加载的方式。

（4）有限元分析应力集中点理论值与试验结果误差较小，在以后的有限元分析与试验验证中，应尽量选取应力集中点，减小误差。

参考文献：

[1] 李刚，李芾，黄运华.100% 低地板轻轨车辆的发展与运用 [J]. 机车电传动,2013(4):51-55+64.
[2] 罗斌. 轨道车辆低地板车车体铰接装置研制 [D]. 成都：西南交通大学,2018.
[3] 罗斌，刘文松，庄征宇，等. 低地板车车体转动铰接装置的研究 [J]. 机车电传动,2018(6):93-96+101.
[4] 彭立群，林达文，王进，等. 低地板车铰接装置力学性能试验设计与研究 [J]. 机车电传动,2020(6):149-154.

作者简介：彭丽军（1986-），男，汉族，湖南常德人，本科，工程师，研究方向：机械开发设计及试验验证。

（上接第 84 页）

要求，降低实车使用风险。同时也有利于保证产品稳定性。

电子电器零件固有模态通过 CAE 分析计算出频率 H_{CAE} 。固有频率应不小于各个轴测试出的最小共振频率，即：

$$\begin{aligned} H_X &\leq H_{CAE} \\ H_Y &\leq H_{CAE} \\ H_Z &\leq H_{CAE} \end{aligned}$$

在电子电器零件设计过程中，应考虑安装在车身上可能出现的共振风险。零件与车身振动频率关系满足如下要求，旨在尽可能地保证产品的可靠性。

$$\begin{aligned} H_X &\leq H_{CAE} < 1/2 \times H_{\text{车身}} \text{ 或 } 2 \times H_{\text{车身}} < H_X \leq H_{CAE} \\ H_Y &\leq H_{CAE} < 1/2 \times H_{\text{车身}} \text{ 或 } 2 \times H_{\text{车身}} < H_Y \leq H_{CAE} \\ H_Z &\leq H_{CAE} < 1/2 \times H_{\text{车身}} \text{ 或 } 2 \times H_{\text{车身}} < H_Z \leq H_{CAE} \end{aligned}$$

3 结语

本文介绍了一种基于电子电器零件安装在车辆车身不同位置 and 不同安装方向的共振频率研究，以确保电子电器

零件满足车辆运行要求。通过分析整车车身仿真模态，将相应布置位置的实测数据作为被测电子电器零件的共振测试依据，得出共振数据。同时计算出零件固有频率。参数值关系均满足 2.2 部分的要求，电子电器零件越安全。在电子电器零件设计阶段，固有频率设计在条件允许的情况下，越大越好。

参考文献：

[1]Heylen W, Lammens S,Sas P. 模态分析理论与试验 [M]. 白化同，郭继忠，译. 北京：北京理工大学出版社,2001.
[2] 郭耀麟. 某乘用车白车身模态分析 [J]. 内燃机与配件,2019(17):72-74.

作者简介：彭玉环（1990.06-），女，汉族，江西南昌人，本科，助理工程师，研究方向：电磁兼容，可靠性；刘卫东（1989.08-），男，汉族，江西南昌人，硕士研究生，工程师，研究方向：电子电器、智能网联。