

装甲车关键部位损伤检测虚假模态识别

杜勤 祁金秋 邱小矿 马增敏 李克雷
北京北方车辆集团有限公司 北京 100072

摘要:在实际工程结构的设计中,很多结构在工作状态下会受到动态载荷的作用,因此就面临着共振损伤甚至失效的风险。结构发生共振时,即使强度足够,也可能发生损坏和故障。模态分析是结构动态设计及设备故障诊断的重要方法。通过模态分析方法分析结构在容易发生共振的频率范围内的各阶主要模态特性,就可以预言结构在此频段内在外部或内部各种振动源作用下产生的实际振动响应。本文针对基于协方差的随机子空间辨识法的虚假模态,研究了装甲车中油箱基于模态能量的虚假模态剔除方法。

关键词:油箱;有限元分析;模态置信度;随机子空间;虚假模态剔除

引言:

有限元分析法是一种数学建模并通过计算机进行计算的方法。它首先将研究对象进行离散化建模,再根据约定的步骤对所建模型进行计算以获得应力、应变、位移等参数。有限单元法是将连续体理想化为有限个单元的集合体,使单元仅在有限个结点上相连接,即以有限个有限单元体系代替一个有无限个自由度的连续体作为物理上的近似。具体做法是先进行单元分析,用结点位移表示单元内力,然后将单元再合成结构,进行整体分析,建立整体平衡条件。通过结构几何条件、结点荷载等求出结构单元中的结点位移和内应力。有限元分析方法可以把结构的运动微分方程转化为各个离散时刻的方程,用逐步积分的方法对该代数方程组进行解耦,可以得到各个离散时刻的响应值。

一、基本原理

按有限元分析理论可以建立结构模型,结构计算模型是进行结构静、动力分析时所采用的能够反映结构力学特性和构造特点的计算图式,建立结构模型时应遵循以下的原则:

- 1、模型中各个部分采用的单元类型以及结构的划分,要尽可能的再现真实结构的行为特征;
- 2、结构内部各个独立部分之间的连接,要模拟的真实自然;
- 3、整个体系与外界接触的边界条件,要尽可能地准确、接近;
- 4、模型的建立还要充分考虑所要研究的内容,抓住主要矛盾舍弃次要和无关的部分,达到模型的简单化以提高计算速度^[1]。

二、基于光纤光栅传感器的油箱模态测量实验方案及过程

油箱是装甲车辆的部位,由于装甲车油箱背部有支

架约束,且油箱厚度较小,所以本次实验主要研究油箱正面的模态振型。

实验所用的光纤光栅解调仪选用的是美国微米光学光纤传感国际公司生产的SM255解调仪,一共八个传感通道,频带范围为80nm。综合考虑仿真结果以及光纤光栅解调系统的解调频带范围,将油箱正面划分为12行9列的网格(除第一行为8列)。实验前先用粗砂纸和细砂纸对传感器粘贴位置进行打磨,再用酒精棉擦拭干净至测点位置清洁平滑,有利于测量结果更为精准。利用光纤熔接机以及熔接棒将单个的光纤光栅应变传感器熔接成串,再用瞬干胶在每一个网格内依次粘贴一个光纤光栅应变传感器,光纤光栅传感器光纤光栅的粘贴方向为横向粘贴。

实验时选择力锤敲击来给定激励输入,模拟实际工作环境中的振动信号。分别敲击油箱表面红色序号位置,每个测点敲击4至6次,无连击现象。用光纤光栅解调仪采集信号,采样率设置为5000Hz^[2]。

三、基于光纤光栅传感器的油箱模态测量实验结果

因为油箱自身体积和质量较大,所以一般只针对低频阶次进行分析和研究,因此本次实验主要分析了油箱前四阶的模态。

从单个测点的时域图中可以看出光纤光栅传感器能检测到油箱表面受到力锤敲击后的振荡衰减信号,并且靠近油箱中心区域因为刚度较小所以信号幅值较大,而靠近油箱边缘区域刚度大信号幅值较小^[3]。

将光纤光栅传感器采集得到的中心波长变化数据代入公式转换成应变值,并且用随机子空间算法进行分析后得到的稳定图进行模态识别。

从模态稳定可以看出,在把不同阶次模型的固有频率计算结果满足稳定图限定条件的点全部绘制在稳定图中后,在不同模型中反复出现的点形成了4条稳定轴,因此可以确定悬臂梁模态系统阶次为4阶,找到这

4条稳定轴对应的频率数值求取平均值,即识别出了的悬臂梁的前4阶模态参数,分别对应的频率为69.846Hz、77.336Hz、86.396Hz、100.949Hz。

从实物图中可以看出,因为油箱正面有五个螺栓固定约束,所以振型图大致被划分为上下左右对称的四部分。振型结果可以得到验证,第一阶振型图形状主要为右半边区域上下侧一半上凸一半下凹,第二阶振型图为两半边区域都是上下对称凹凸状,第三阶和第四阶振型形状则为左右半边区域上下侧同时上凸或下凹。油箱前四阶的模态频率和阻尼比下表1所示:

表 1

模态阶数	模态频率 (Hz)	阻尼比 (%)
1	69.846	0.02
2	77.336	0.11
3	86.396	0.23
4	100.949	0.16

四、基于加速度传感器的油箱模态测量实验结果

为了与光纤光栅传感器测得的油箱模态结果作对比,本次研究还采用了压电陶瓷加速度传感器测量油箱模态,采集仪和解调软件选用的是北京东方噪声振动技术研究所提供的技术支持。同样的参考有限元分析结果,先在油箱上划分好网格如下图1所示:



图 1 油箱网格划分图

用磁座将五个压电陶瓷加速度传感器吸附在油箱表面的五个测点附近。同样利用力锤敲击油箱表面作为激励输入信号,与基于光纤光栅测量油箱模态的OMA方法不同,加速度传感器采用的是EMA方法,即力锤的激励是可测的。实验过程中用力锤依次敲击表面测点,每个测点敲击一次,每敲击一次采集仪采集一次数据。

加速度传感器测得的模态振型结果与光纤光栅传感器测得的结果基本一致,一阶模态振型为右半边区域上下侧一半上凸一半下凹的形状,二阶振型则为两半边区域都是上下对称凹凸状,第三阶和第四阶则为上下两侧区域同时上凸或下凹的振型。同样分析后得到的模态频率和阻尼比如表2所示:

表 2 光纤光栅传感器和压电陶瓷传感器测量模态频率和阻尼比

模态阶数	压电陶瓷加速度传感器		光纤光栅传感器		频率相对误差
	模态频率 (Hz)	阻尼比 (%)	模态频率 (Hz)	阻尼比 (%)	
1	68.161	0.13	69.846	0.02	2.47%
2	76.683	0.14	77.336	0.11	0.85%
3	86.162	0.25	86.396	0.23	0.27%
4	99.102	0.15	100.949	0.16	1.86%

从结果可以看出,两种传感器测得的油箱模态振型大体一致,从模态频率上看,相对误差最大也只有2.47%,能够相互验证两种测量结果的准确性。虽然两种传感器测量结果与有限元仿真结果有所差异,首先是因为有限元分析只是针对油箱本身分析,而实际测量中还要考虑震动支架的约束、质量以及传感器和连接线的质量影响,所以在模态频率上与仿真结果不同。而从模态振型上来看,两种传感器测量得到的结果相似但是和仿真结果有些许差距,这是因为实际测量过程中要考虑到系统性能和误差影响,测点数目有限,无法求得完整的模态振型。这也为之后的模态测试在传感器数目以及参考点的选择上提供了宝贵的经验。

对于两种测量方法的对比,压电陶瓷加速度传感器检测法对于采集的数据使用的是特征系统实现算法,而光纤光栅传感器检测法使用的是随机子空间法;对于激励来说,加速度法激励是可测的,而光纤光栅法激励是不可测的,在实际工作现场,激励一般都是不可测的振动和噪声信号,所以光纤光栅法更为实用;其次加速度传感器自身质量较光纤光栅来说偏大,对于测量结果影响也更大;并且装甲车的实际工作环境比较恶劣,加速度传感器抗电磁干扰能力差,而光纤光栅传感器不受电磁干扰的影响,在恶劣的工作环境下,能发挥出独到的优势。所以综上所述,光纤光栅法能测量装甲车油箱的模态,并且相较于加速度传感器来说,光纤光栅传感器一是质量较轻,二是抗电磁干扰能力强,在实际的工业现场更为实用。

五、结语

基于仿真结果,可以尝试将有限元分析、模态置信度、随机子空间、虚假模态剔除等技术运用在装甲车辆关键部件的模态识别中,为故障预防提供重要技术支持。

参考文献:

- [1]装备再制造设计及其内容体系[J].朱胜,姚巨坤.中国表面工程.2019(04)
- [2]装甲车辆行进间炮口振动角度误差预测模型[J].宋泉良,卢志刚,王维,方子穆,翟晓燕.火力与指挥控制.2019(04)
- [3]车载炮射导弹行进间射击精度[J].刘全胜,王帅帅,高玉水,卢皓.四川兵工学报.2019(11)