

减振与降噪

船用橡胶隔振器冲击刚度曲线试验研究

钱伟忠¹, 马炳杰^{2,3}, 王志刚^{2,3}, 王舒楠^{2,3}, 程敏霞^{2,3}(1. 海军上海地区装备修理监修室, 上海 200090; 2. 七一一研究所, 上海 201108;
3. 船舶与海洋工程动力系统国家工程试验室, 上海 201108)

摘要: 以船用橡胶隔振器为研究对象, 通过跌落试验获取了典型橡胶隔振器的冲击刚度曲线, 并定量分析了预压和跌落高度对冲击刚度的影响。结果显示: 相同位移下, 有预压情况测得的刚度曲线比无预压情况得到的曲线其最大位移明显减小; 跌落高度越高, 即冲击速度越大, 冲击刚度也越大。

关键词: 橡胶隔振器; 冲击刚度; 预压; 跌落试验

中图分类号: U664; TB535 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2021)01-0046-03

Experimental Analysis of the Shock Stiffness Curve
of Marine Rubber IsolatorsQian Weizhong¹, Ma Bingjie^{2,3}, Wang Zhigang^{2,3}, Wang Shunan^{2,3}, Cheng Minxia

(1. Department of Ship Repairing, Navy Shanghai District, Shanghai 200090;

2. Shanghai Marine Diesel Engine Research Institute, Shanghai 201108;

3. National Engineering Laboratory for Marine and Ocean Engineering Power System, Shanghai 201108)

Abstract: To study marine rubber isolators, the shock stiffness curves of typical rubber isolators were obtained through drop test. And quantitative analysis was carried out on the influence of preload and drop height on shock stiffness. The results show that under the same displacement, the maximum displacement of stiffness curve with preload is obviously smaller than the one without preload. And as the drop height increases, the shock speed increases, thus the shock stiffness increases too.

Key words: rubber isolator; shock stiffness; preload; drop test

0 引言

随着冲击环境要求的提高, 橡胶隔振器作为隔离冲击、保护设备的常用元器件, 其冲击刚度越发受到重视。目前国内在隔振抗冲设计中一般将隔振器的冲击刚度视为定值, 并取为动刚度的 1.5 ~ 2.5 倍^[1]。橡胶材料由于同时存在超弹性和粘弹性特性, 其冲击刚度实际呈现强非线性特征, 并受到多种因素的影响。而其强非线性特征又使冲击刚度曲线难以通过仿真获取。本文以 DY 型、GZ 型橡胶隔振器为研究对象, 基于 DCS-3000 型跌落式冲击试验台,

通过力传感器和位移传感器测试获取隔振器冲击力和位移曲线, 并计算得出冲击刚度曲线; 同时, 分析隔振器有无预压和不同跌落高度对冲击刚度曲线的影响规律, 为工程应用提供试验数据支撑。

1 隔振器冲击试验

1.1 试验对象及台架

本文采用的两型隔振器和试验台架如图 1 ~ 图 3 所示。图 1 为压缩剪切型 DY 型隔振器, 图 2 为压缩型 GZ 型隔振器, 图 3 为跌落式试验台架。试验时将隔振器安装于台架的砧台上。

收稿日期: 2019-09-20; 修回日期: 2020-10-13

作者简介: 钱伟忠(1968—), 高级工程师, 主要研究方向为船舶装备维修, oscejie@163.com。



图 1 DY 型隔振器



图 2 GZ 型隔振器



图 3 试验台架

1.2 试验原理

橡胶减振抗冲击元件在冲击载荷的作用下会产生较大变形。可以将橡胶元件的变形量与冲击载荷绘制成如图 4 所示的曲线。该曲线为一般橡胶元件的冲击特性曲线^[2~7], 指示隔振器在一定冲击速度下的最大冲击力和最大冲击位移, 以及冲击力回到零时的残余位移、参考刚度、等效刚度、阻尼系数及阻尼比等参数^[8]。结合图 4, 抗冲击隔离元件的冲击特性参数可定义并描述为:

(1) 最大冲击力 F_m , 单位 N, 抗冲击隔离元件在冲击载荷作用下产生的最大抵抗力;

(2) 最大冲击位移 D_m , 单位 mm, 抗冲击隔离元件在冲击载荷作用下达到的最大变形量;

(3) 残余位移 D_r , 单位 mm, 冲击结束后, 抗冲击隔离元件上抗力为零时的残余变形量;

(4) 参考刚度 K_p , 单位 N/mm, 在动态力与压缩变形关系曲线中的坐标原点 O 到最大位移点 B

的直线斜率;

(5) 等效刚度 K_e , 单位 N/mm, 在动态力与压缩变形关系曲线中, 用过原点的某一直线的斜率来表示抗冲元件的等效刚度。等效的条件是该直线与水平坐标围成的三角形 (OCD) 面积与最大冲击能量相当, 即:

$$K_e = 2W_m / D_m^2 \quad (1)$$

式中: W_m 为最大冲击能量, N·mm。

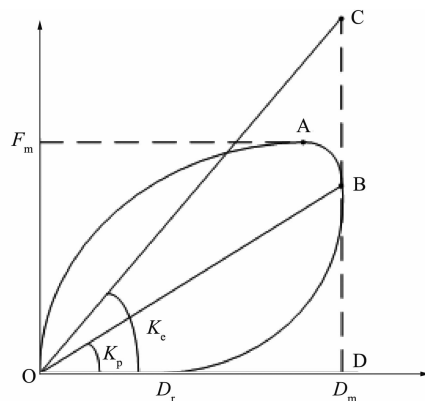


图 4 橡胶元件冲击特性曲线

1.3 试验方案

1.3.1 预试验

提升台面使波形发生器的最低点距砧台 100 mm, 进行跌落预试验。记录半正弦脉冲持续时间, 然后根据脉冲持续时间调整不同硬度或厚度的波形发生器组合, 最终使半正弦脉宽控制在 50 ms 左右。

1.3.2 无预压跌落试验

根据元件的额定载荷要求, 在跌落台面上布置相应的质量块, 并使元件处于自由无预压状态, 调整台面高度, 分别使波形发生器最低点距砧台 50、100、150、200、250、300 mm, 进行自由跌落试验, 记录力信号和位移信号。

1.3.3 有预压跌落试验

依据元件的额定载荷要求在跌落台面上布置相应的质量块, 收紧元件上下两个夹具间的螺杆装置, 使其收缩。收缩行程为静态试验下测得的该元件在额定载荷下的变形位移。调整台面高度, 分别使波形发生器的最低点距砧台 50、100、150、200、250、300 mm, 进行自由跌落试验, 记录力信号和位移信号。

以上试验过程中, 每次跌落距上次跌落结束时间不应少于 1 min。若元件在未达到 300 mm 跌落高度之前就已破坏, 即元件发生明显变形或橡胶出现裂纹, 则该元件试验结束。

2 试验结果分析

对采集到的时域曲线做滤波处理,合成得到动态力 F 随位移 S 变化的 F - S 曲线,如图5所示。依次连接各跌落高度 F - S 曲线特征段的切线刚度,得到由分段直线拟合而成的刚度曲线。

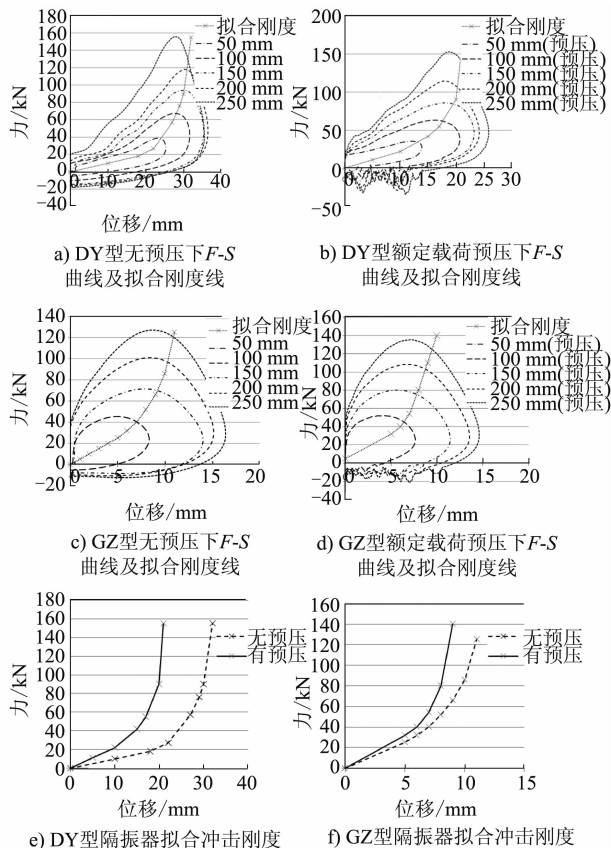


图5 隔振器刚度拟合曲线

(1) 相同预压、不同跌落高度下, F - S 曲线有较大差异。跌落高度越高,即冲击速度越大,在冲击加载过程中,隔振器的冲击力-冲击位移曲线的斜率越大;即便是在隔振器的线性变形范围内,冲击刚度也随着冲击速度的增大而增大。

(2) 在跌落高度达到一定值之后,各型式的隔振器的冲击曲线都呈现出了比较明显的非线性特征段;同时冲击力-变形特性曲线的斜率变化剧烈;达到一定变形极限后,冲击力值几乎直线上升。

(3) 有预压情况测得的刚度曲线比相同位移下无预压情况测得的曲线最大位移明显减小。且在同一冲击位移处,曲线的斜率也有一定程度的增大。这表明:预压后隔振器的冲击刚度有所提高。

(4) 从隔振器的冲击曲线来看:GZ隔振器的

曲线和坐标轴围成的面积比较宽大,DY的相对较小。由此可知,GZ平板压缩式结构(中间有一铁板)隔振器阻尼较大,在冲击过程中消耗的能量较大;半剪切半压缩结构的DY式隔振器的阻尼则相对较小。而隔振器要有优异的隔冲能力,必须要有足够的弹性体变形空间以吸收大的冲击能量。

(5) 从DY型隔振器两种预压状态下的 F - S 曲线来看:其非线性特征比较明显;而且,较高跌落高度的 F - S 曲线所围成的面积将较低跌落高度的曲线整个包围了,说明:随着跌落高度的增大,隔振器消耗的冲击能量也在增加。

3 结论

(1) 橡胶型隔振器的冲击刚度受不同结构形式、冲击输入能量大小、是否预压三者因素的影响。

(2) GZ型平板压缩式隔振器,变形空间大,内部阻尼粘滞特性较强,较DY型压缩、剪切型橡胶隔振器有更好的隔冲性能。

(3) 橡胶型隔振器冲击刚度特性受输入能量大小影响较大,冲击输入能量越大,非线性特征表现得越明显,等效冲击刚度越大。

(4) 预压后,橡胶隔振器最大变形位移明显减小,冲击刚度较未预压状态显著提高。

参考文献

- [1] 严济宽. 机械振动隔离技术 [M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1986.
- [2] 周文亮, 王强, 石理碧. 隔振器冲击刚度的试验研究 [J]. 噪声与振动控制, 2003, 23 (6): 15-17, 34.
- [3] 赵兵, 朱石坚, 翁雪涛, 等. 橡胶隔振器冲击刚度的试验研究 [J]. 海军工程大学学报, 2005 (3): 82-85.
- [4] 吴善跃, 黄映云, 朱石坚, 等. 基于冲击模拟台的减振器冲击特性测试 [J]. 武汉理工大学学报 (交通科学与工程版), 2007 (1): 53-56.
- [5] 黄映云, 吴善跃, 朱石坚, 等. 减振器冲击性能测试方法研究 [J]. 船舶工程, 2007, 29 (1): 1-4.
- [6] 谭波, 黄映云. 锤击法测量减振器冲击刚度 [J]. 噪声与振动控制, 2003, 23 (4): 43-45.
- [7] 航空航天工业部第一研究院七〇二所. 船用隔振器跌落式冲击试验研究报告 [R]. 1995.
- [8] VALENTE A X C N, MCCLAMROCH N H, MEZIC I, et al. Hybrid dynamics of two coupled oscillators that can impact a fixed stop [J]. International Journal of Non-Linear Mechanics, 2003, 38 (5): 677-689.