

设备缓冲平台在水下爆炸载荷作用下冲击响应分析

郑长允, 赵鹏远, 赵红光, 宋敬利

中国人民解放军 91439 部队, 辽宁大连 116041

摘要 在水下爆炸舰船抗冲击试验中, 缓冲平台是设备冲击防护的有效工具。为检测缓冲平台在爆炸载荷下的缓冲特性, 用小型浮动冲击平台作为试验冲击载体, 对缓冲平台和平台上设备的基础输入进行测量, 并采用冲击谱分析方法进行处理分析, 得到了缓冲平台冲击响应特性。试验分析结果表明, 缓冲平台采用不同的阻尼比对平台设备冲击响应的影响较大; 当设备的自身质量较大时, 平台上设备响应谱会出现明显的谱跌现象; 在设备抗冲击防护设计时, 应当考虑设备质量及固有频率对冲击谱的影响, 这样有利于减小设备抗冲击防护设计难度。

关键词 水下爆炸; 冲击谱; 缓冲平台; 冲击响应

中图分类号 O389

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2012.18.004

Shock Response of Buffer Platform for Equipment in Under-water Explosion

ZHENG Changyun, ZHAO Pengyuan, ZHAO Hongguang, SONG Jingli

Unit 91439, People's Liberation Army, Dalian 116041, Liaoning Province, China

Abstract In the under-water explosion ship shock resistance test, the buffer platform is an effective tool for shock protection for the equipments. A small floating shock platform used as the test impact target, to test the buffering performance of the buffer platform under the explosion charge, with basic inputs of the buffer platform and the equipments on it being measured. The shock spectrum analysis method is used, to obtain the responses of the buffer platform. It is indicated that for the buffer platform, different damping ratios have a great influence on the platform equipment shock response; when the equipment has a large mass, the platform equipment response spectrum shows an apparent dip trend; in the equipment shock protection design, the effects of the mass of the equipment and the natural frequency on the shock spectrum should be considered, to reduce the design difficulty for the impact protection device.

Keywords under water explosion; shock spectrum; buffer platform; shock response

0 引言

在水下爆炸舰船抗冲击试验中^[1], 通常采用缓冲平台作为设备冲击防护工具, 用冲击谱来描述设备的冲击响应, 并由此找出设备在不同安装频率时的冲击响应, 为设备的安全防护设计提供依据。

在国外, 冲击谱是用来估算冲击破坏的有力工具^[2-3], 美国针对舰船设备的抗冲击考核建立了很多规范性文件, 如美国军用标准 MIL-STD-1540C, MIL-STD-810E 规定了用冲击谱来表述舰船的冲击环境。中国目前还没有形成系统的指导

性文件, 但是冲击谱分析方法已经在舰船设备安全性评估方面得到广泛应用, 并且得到行业认可。冲击谱分析方法在冲击试验中采用直接测量被试设备的冲击加速度^[4], 然后通过 Duhamel 积分计算不同固有频率的冲击响应, 得到其最大值作为固有频率的函数, 进而得到冲击谱曲线, 再将其绘制在三重网格坐标上得到冲击谱。依据该方法得到的冲击谱可作为设备冲击环境分析的基础和改进设备安装方式的依据。本文通过测量缓冲平台和平台上设备的基础冲击输入, 对设备缓冲平台在水下爆炸载荷作用下冲击响应特性进行分析, 以

收稿日期: 2012-03-10; 修回日期: 2012-06-26

作者简介: 郑长允, 高级工程师, 研究方向为水中爆炸毁伤试验, 电子信箱: bluesea7181@163.com

有效保护设备的冲击安全。

1 冲击谱计算原理

冲击谱是冲击源施加于一系列线性、单自由度质量-弹簧系统时^[9],将各单自由度系统的响应运动中的最大响应值,作为对应于系统固有频率的函数而绘制的曲线,如图1所示。由冲击谱定义可知,冲击谱是单自由度系统受冲击作用后所产生的响应运动在频域中的特性描述,它不同于冲击源的傅里叶频谱,其区别在于:傅里叶频谱仅仅研究冲击源本身在频域中的能量分布属性,只是冲击源函数在频域中的展开,不涉及任何一个要研究的机械系统响应。

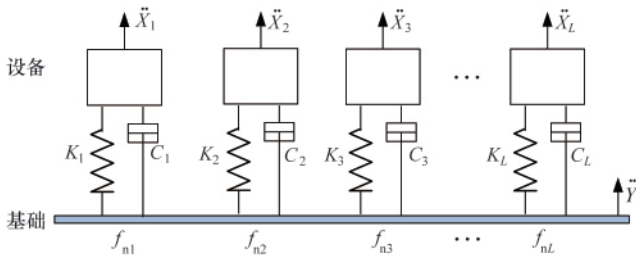
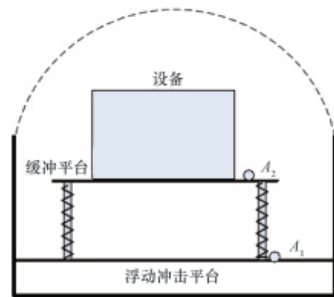


图1 冲击响应谱模型

Fig. 1 Model of the shock response spectrum

图1中, \ddot{Y} 为设备的基础输入, \ddot{X}_i 是各个设备对于基础输入的响应, M_i 表示设备质量, C_i 表示阻尼系数, K_i 表示设备的刚度, f_{n_i} 为设备的固有频率。



(a) 设备及测点布设

(a) Equipments and measuring points

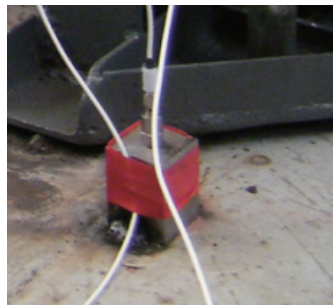


(b) 爆炸试验实况

(b) The explosive experiment

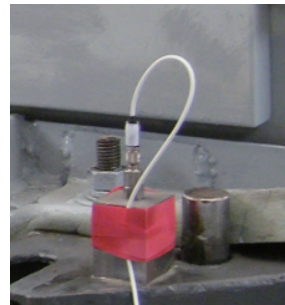
图2 试验工况

Fig. 2 Working situation of the experiment



(a) 缓冲平台基础 \$A_1\$ 测点

(a) \$A_1\$ measuring point on the base of the buffer platform



(b) 被试设备基础 \$A_2\$ 测点

(b) \$A_2\$ measuring point on the base of the equipment

图3 传感器安装位置

Fig. 3 Assembling positions of the sensors

当不考虑阻尼时,各设备的运动微分方程可表示为

$$[M] \cdot \{\ddot{X}\} + [K] \cdot \{X\} = -[M] \cdot \{\ddot{Y}\} \quad (1)$$

式中, $[M]$ 为质量对角矩阵, $\{\ddot{X}\}$ 为各设备冲击响应矩阵, $[K]$ 为刚度矩阵, $\{\ddot{Y}\}$ 为设备基础输入矩阵。

在一般情况下,缓冲减振器中存在阻尼,则需要考虑阻尼系数 C_i ,则上式需修正为

$$[M] \cdot \{\ddot{X}\} + [C] \cdot \{\dot{X}\} + [K] \cdot \{X\} = -[M] \cdot \{\ddot{Y}\} \quad (2)$$

式中 $[C]$ 为阻尼系数矩阵。

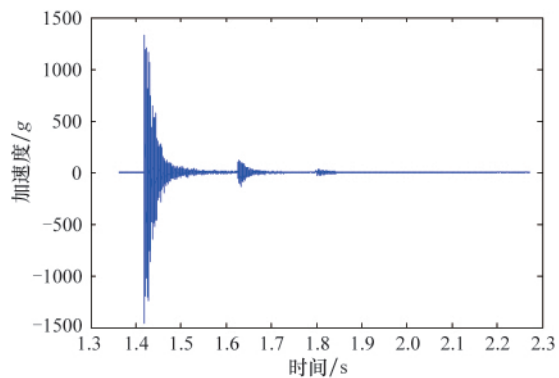
利用式(1)和式(2),可以把复杂的冲击时域曲线表示为简单的频域特性冲击谱。一般情况下,当设备质量较小时,而基础具有一定刚度时,设备受到的冲击谱为三折线谱,线谱具有在高频段为等加速度曲线、在中频段为等速度曲线、在低频段为等位移曲线的特性。

2 缓冲平台冲击响应测量

试验中缓冲平台安装在海上浮动冲击平台上,被试设备重量为 650kg,安装在缓冲平台上。爆源采用 2kg TNT 炸药,爆源与浮动冲击平台舷侧正中水平距离 5m,爆源入水深度 6m。加速度测量采用 PCB 公司的 ICP350B04 型传感器,量程为 $\pm 5000g$,频响范围为 0.5Hz—10kHz;采集设备采用 NI 公司的 PXI4498 采集仪。测量传感器通过刚性基座安装在缓冲平台基础和被试设备基础,试验工况和测点布设如图 2、3 所示。两个测点的冲击加速度时程曲线如图 4 所示。

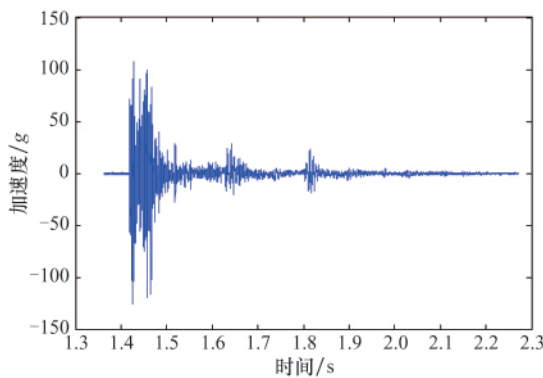
从图4可以看出,作用于缓冲平台基础上的冲击激励通过缓冲平台后幅值明显降低,这是由于缓冲装置的缓冲和阻

尼作用使得大部分能量被吸收而造成的结果。



(a) 缓冲平台基础 A₁ 测点

(a) A₁ measuring point on the base of the buffer platform



(b) 被试设备基础 A₂ 测点

(b) A₂ measuring point on the base of the equipment

图4 加速度时程曲线

Fig. 4 Acceleration curve versus time

3 冲击谱计算与分析

振动在结构中的传播是一个复杂过程^[5-6],与结构的材料特性,结构部件的连接方式等相关,这些特性都会因引入阻尼而影响振动传播。引起结构能量耗散的因素很多,主要有材料阻尼;周围介质对振动的阻尼;节点、支座联接处的阻尼。其中材料阻尼是能量耗散的主要原因。用冲击谱方法描述冲击对被试设备作用时,会因设备质量、缓冲平台的阻尼特性不同,相同的冲击输入会产生不同的冲击响应。

利用图4的测量结果作为设备的基础输入,选取缓冲平台结构阻尼比分别为0,0.05,0.1的三个阻尼系数,对设备的冲击响应进行计算。计算结果如图5所示。

从图5可以看出,随着阻尼比的增加,冲击谱的幅值明显变小;由于被试设备质量较大,结构惯性力与基础输入之间的相互作用使冲击谱被显著改变,在设备固有频率2Hz处出现明显的谱跌现象,这与一般小质量设备的冲击响应有着明显区别。

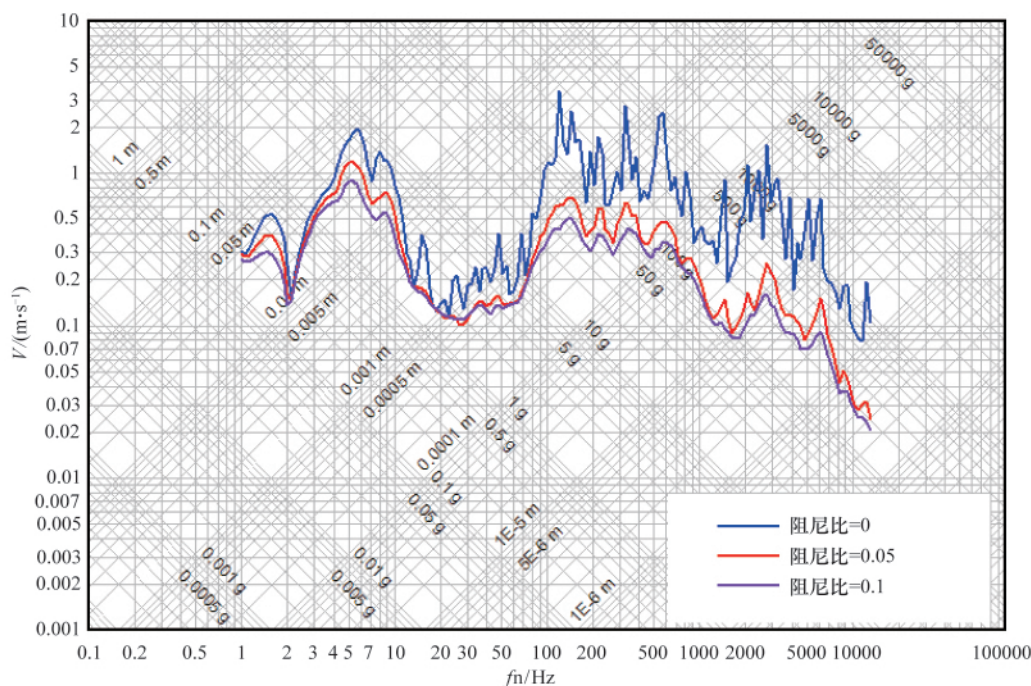


图5 不同阻尼比的被试设备基础冲击谱

Fig. 5 Base shock spectrum of equipment for different damping ratios

在上述冲击试验中,通常将系统简化为质量-弹簧-阻尼系统,当弹性基础上安装的大质量设备对冲击谱有显著的影响,因此在设备冲击防护设计时必须考虑谱跌的影响。如果在实际设备冲击防护设计中,不考虑设备质量的影响,则会出现对设备的抗冲击指标要求过高,但实际上设备并未承受如此大的冲击会增加设计难度,甚至由于所要求的抗冲击指标要求过高,而造成无法实现目标。所以研究缓冲平台阻尼特性和设备质量对冲击响应的影响,对提高设备抗冲击防护具有重要意义。

4 结论

通过上述分析,可以得到下面结论。

(1) 采用冲击谱考核缓冲系统是一种行之有效的方法,在冲击谱计算过程中要充分考虑到结构阻尼对冲击谱的影响。

(2) 随着结构阻尼比的增大,冲击谱幅值会明显降低,因此在缓冲平台设计时应考虑尽量增加结构阻尼以吸收更多的冲击能量、保护设备安全。

(3) 在大质量设备固有频率处冲击谱会产生明显谱跌现象,因此在抗冲击设计时必须考虑设备质量及固有频率对冲击谱的影响以减小设计难度。

参考文献 (References)

- [1] 汪玉, 华宏星. 舰船现代冲击理论及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
Wang Yu, Hua Hongxing. Shock theories and applications for modern ship[M]. Beijing: Science Publishing Company, 2005.
- [2] 姜涛, 王伟力, 张玮. 舰船弹性安装设备抗冲击设计的“谱跌”问题研究[J]. 舰船科学技术, 2009, 31(7): 56-59.
Jiang Tao, Wang Weili, Zhang Wei. Ship Science and Technology, 2009, 31(7): 56-59.
- [3] 李国华, 李玉节, 张效慈, 等. 浮动冲击平台水下爆炸冲击谱测量与分析[J]. 船舶力学, 2000, 4(2): 51-60.
Li Guohua, Li Yujie, Zhang Xiaoci, et al. Journal of Ship Mechanics, 2000, 4(2): 51-60.
- [4] Nelson F C. The response spectrum method of solution for displacement excitation[J]. Shock and Vibration Bulltin, 1981, 51(2): 205-109.
- [5] 屈维德. 机械振动手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1992.
Qu Weide. Handbook of mechanic vibrancy [M]. Beijing: Mechanic Industry Publishing Company, 1992.
- [6] 王文亮, 张文, 罗惟德, 等. 结构动力学 [M]. 上海: 复旦大学出版社, 1991.
Wang Wenliang, Zhang Wen, Luo Weide, et al. Structure mechanics[M]. Shanghai: Publishing Company of Fudan University, 1991.

(责任编辑 岳臣)

·学术动态·

“2012年‘多维信号处理技术’ 全国博士生学术论坛”征稿

教育部学位管理与研究生教育司、国务院学位委员会办公室拟定 2012 年 9 月 15—17 日在西安市联合召开“2012 年‘多维信号处理技术’全国博士生学术论坛”。

征稿范围:(1) MIMO 与阵列信号处理;(2) 空时自适应处理与 SAR-GMTI 技术;(3) 雷达成像(SAR/ISAR/InSAR)处理;(4) 雷达目标识别;(5) 智能信息处理;(6) 相干源识别技术;(7) 宽带阵列天线技术;(8) 侦查与截获;(9) 压缩采样及其应用技术。

全文截稿日期:2012 年 7 月 30 日

联系电话:029-88202276

电子信箱:phdxdian2012@gmail.com

大会网站:<http://see.xidian.edu.cn/conference/msp2012/>