

文 79—004

舰船抗冲击译文集

(一)

第六机械
工业部 第七研究院第七〇二研究所

一九七九年四月

编 者 的 话

第二次世界大战中人们发现,水中兵器在舰艇近处爆炸时,常常并不引起船体有严重损伤,然而船上许多重要设备、装置和系统,却因受到爆炸冲击的作用而遭受广泛的破坏,致使舰艇丧失战斗力,被迫处于挨打的地位,以至使整舰陷于灭顶之灾。

因此,努力增强各类舰船(其中包括在战时可作为战舰后备队的商船在内)的抗冲击能力,已成为战后各国海军极为关注的一个重要课题。随着核武器的出现,以及越来越多、越来越复杂的电子设备装遍于现代舰船之上,这一问题的必要性和艰难,就显得更加突出了。

第二次世界大战至今,美国等若干主要海军国家,均就舰船抗御水下非接触爆炸攻击所产生的强冲击运动的能力问题,花费了相当可观的人力、物力,进行了大量的试验研究和理论研究,并逐步建立了相应的冲击试验规范和理论的设计分析方法。这些国家的经验和技術,有许多方面值得我们借鉴和参考。

但是,舰船抗冲击问题的意义及其严重性,并没有被更多的人所理解和重视。出版本译文集的目的,在于使国内在舰船研究、设计和制造部门中有更多的管理人员和技术人员能对此引起重视,为他们了解国外在这一领域中所作的努力和目前所达到的技术发展水平,提供方便的参考资料。

第一期《舰船抗冲击译文集》包含四篇译文,两篇是六十年代的,另两篇是七十年代的。六十年代的两篇,虽年代久远些,但其内容仍不失其参考价值。波特(Bort)于1962年写的一文,仍然是目前为止有关舰船设备抗冲击设计方法和规范的一篇较为全面的评述。“西海岸冲击试验基地”一文,可使人们对六十年代中期时美国海军抗冲击试验研究的技术发展水平有一个总的了解。1974年公布的旧金山海军船厂内的大型浮动冲击平台的试验资料,是这一最新冲击试验装置的初步介绍,此项试验设施据报导准备列入规范以供使用。“船上冲击环境及其测量”一文是一九七七年底发表的,文中含有两艘大型水面舰只在水下爆炸试验期间测量得到的船上不同部位处冲击运动的实测波形,这对于加深了解船上冲击环境的一般特征,颇有参考价值。

编者预定陆续出版几期译文集。从第二期开始,将只刊载七十年代以来国外有关试验研究和理论研究的有代表性的译文。限于译者水平,编译中的不妥之处和不足之处,在所难免,恳望国内同行及有关领导批评、指正。

七〇二研究所 九室

1979年4月

目 录

编者的话

船上冲击环境及其测量..... 1

美国海军大型浮动冲击平台..... 9

西海岸冲击试验基地20

抗冲击设计方法和抗冲击规范的评定.....38

船上冲击环境及其测量

M.W. 奥利森 R.O. 贝尔谢姆*

摘 要

本文包含因邻近爆炸所引起的舰船冲击环境之评述。讨论了舰船结构和设备对这种环境的响应。

要对近处的水下非接触爆炸对水面舰船所产生的机械冲击环境作出完全令人满意的描述，人们的能力是很有限的。设备的冲击环境受几种因素的影响。除了药包大小和离舰船的爆炸距离（攻击的几何位置）这些明显的影响因素外，其它的影响是：舰船结构对水下冲击的响应，以及设备和舰船结构的动特性。已经有了表征自由场冲击波[1]及其所引起的舰船结构运动的合理的试验方法，而关于舰船结构动特性方面令人满意的完备的描写，则尚未作过系统的阐述。

一、冲击环境

水下爆炸时约有百分之五十的能量，是以水下冲击波的形式从爆炸点向外传播的。对于一个处在水中某一固定点的观察者来说，该冲击波是以指数波形和很短的持续时间出现的一种瞬态压力，其传播速度差不多是每秒五千英尺。

爆炸释放出的其余能量，包含在爆炸点处的高压气泡内，当气泡向上浮动时，它以一种振荡的方式作膨胀和收缩，最后在水面排出。气泡脉动引起了两种效应，第一，由于气泡体积排水量的变化，导致气泡周围的水经受振荡运动；第二，由于气泡的收缩，便产生能量逐次降低的冲击波**。

虽然一种效应在船体总强度计算中可能很重要，但对于船内的冲击环境来说，一般情况下它们并不是重要的因素。船内冲击环境受炸药量大小及其相对于舰船的位置的影响。

关于可引起船壳致命破坏的情形，超出了本文的讨论范围，这里仅集中考虑小药量常规炸药在近距离范围内；大量级的核装药在远距离范围内，以及两者不同的组合情形下对舰船的影响（图 1）。

可以基于在靶船处的压力-时间冲量，建立起攻击几何位置之间的肤浅的等效关系。自由场冲量与炸药离舰船的距离成反比关系。在近水面处的有效冲量，还受表面反射稀疏波的影响，它与入射压力波组合，使得净压力急剧地减小到零。对于大装药情形，压力衰减得比较缓慢，因而当攻角较浅时，表面切断效应将引起自由场冲量的减小。

作用于靶船上的载荷作为攻击几何位置的函数而变化。小装药对舰船近距离爆炸时，靶船的受载状态具有局部性的趋势——船壳上各点的受载之严重程度，随着离开最接近于装药的地方而减小。巨量装药远离舰船爆炸时，冲击波近乎于平面波，船壳上各点几乎同时受到载荷作用。

* 美国海军研究试验所

** 这不是一种冲击波，而是一种脉动压力波，原文的提法在概念上是错误的。译时对此保留不变。——译者

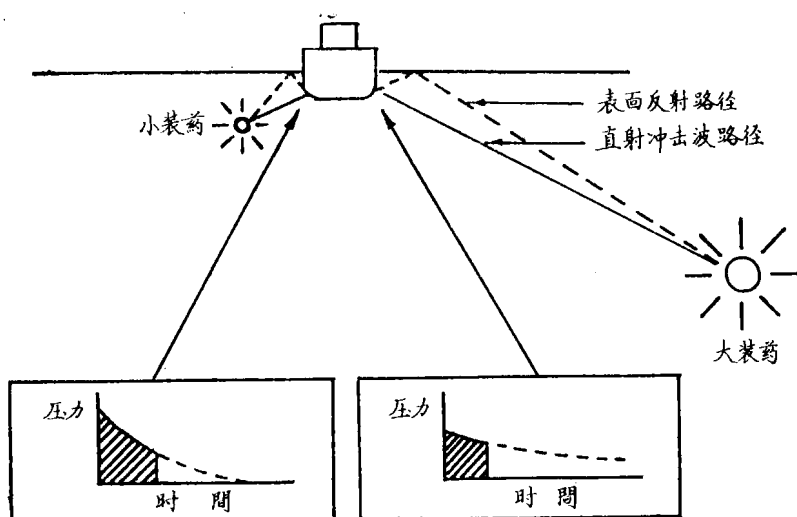


图 1 压力-时间之冲量

传递给船壳的冲击波能量，初时乃以运动的动能形式出现。当船只开始运动时，约束力便起作用。在水平方向，由于在船只离炸药较远一侧水的惯性作用，使运动受到抑制；另外，压力波传到这一侧时还出现反向的脉冲载荷作用。在垂向，除有重力作用外，还有因船只对初始速度的响应作向上运动时，由船底空泡所引起的非平衡空气压力的作用，而使运动受到抑制。通常，垂向的响应为水平方向响应的 2 到 4 倍。

二、舰 船 响 应

如果一艘水面舰船确是刚硬的——即没有结构柔性或结构振型——那么，它对水下冲击的响应将如图 2 所示。冲击波的脉冲载荷将引起一个初始峰值的锯齿型速度波形，和一个近于抛物线

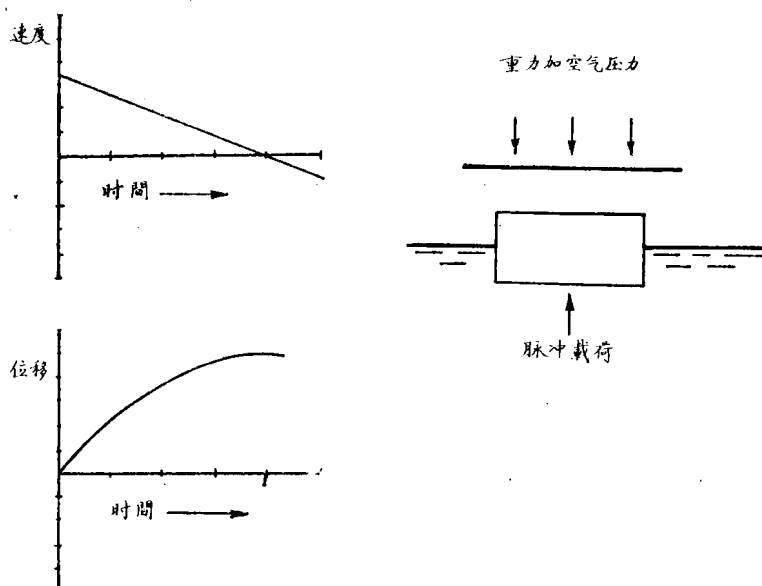


图 2 刚性结构对水下冲击的响应

的位移波形。

当然，水面舰船结构是具有结构振型的。对于典型的大船，其振型频率从第一阶梁式鞭击振型的一赫芝开始向上排列 [2]。初始传递给船底的动能的一部分，以刚体运动的形式出现，其余的能量则引起舰船结构以不同的结构振型作振荡变形。

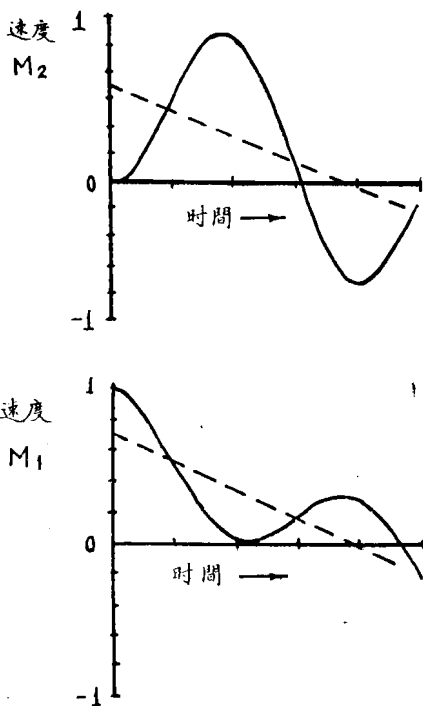
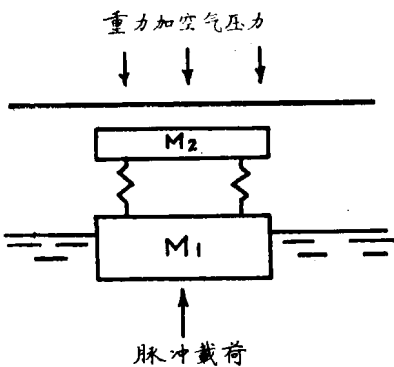


图 3 示出一水面舰船中横剖面中央部分的两振型表示法。每一质量对作用于下面一块质量 (M_1) 上的脉冲载荷的响应，可用在类似于刚性质量的锯齿型速度波形上迭加一个振荡分量的方法来表示。换句话说，入射能量的一部分被耦合于非刚性振型中。

所指明的这种简单模型的响应运动，与在冲击试验期间作的试验测量并没有不一致的地方。下面质量 (M_1) 的波形代表水面舰船船舱区域的波形。上面质量 (M_2) 的振荡运



动可经常在上甲板部位看到。船舱区域的振荡运动，没有图 3 所指出的那么明显，但实际记录的谱分析表明，在大多数情况下这种振荡运动都是存在的。

自然，两质量表示法是舰船结构的一种非常简化的模型。在一艘舰船上，质量和弹性乃是分布在结

图 3 水面舰船中剖面两振型表示法

构框架构件，船壳和甲板，以及附着其上的机械装置之中的。虽然合成振型和它们相应振型，都难以用分析和试验的方法加以确定，但试验数据趋向于表明，在大多数的水面舰船上，至少有一个占优势的低频振型。通常它的范围是 10 到 30 赫，并且往往有一个可与船的最大宽度相比的节线间隔。

图 4 是 18,000 吨 战斗补给舰中横剖面的结构草图。进行冲击试验时，大型常规装药被放在离开右舷的一侧。测量了主甲板以下的左舷、中心线和右舷部位、以及主甲板以上中心线部位船体结构的响应。

图 5 所示的速度波形是接近于船上测量仪安装部位处的情况。它们显示出头 100 毫秒的响应运动。注意到船舱区的速度波形的的前沿比较陡峭，而中心线和左舷部位的速度波形的陡然上升，依次有所滞后。滞后时间相应于冲击波在船壳下通过的传播时间。因此，相对于冲击波的移动时间而言，船舱区乃显得是动力可弯的。

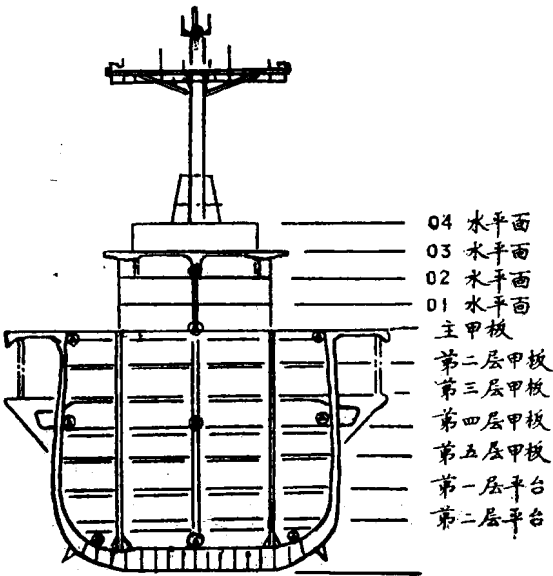


图 4 18,000 吨战斗补给舰中横剖面的结构草图

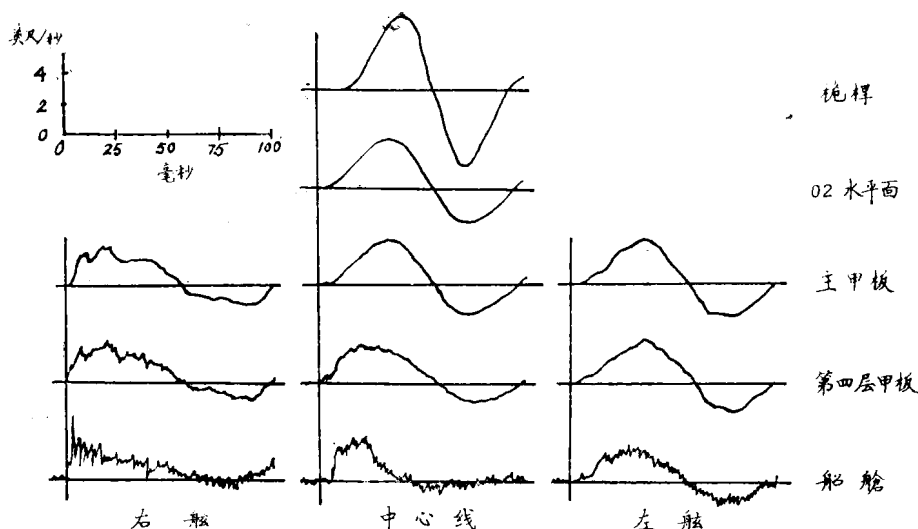


图 5 船体对冲击试验响应的速度波形

当冲击能量在船体结构中向上传播时,高频运动分量便因船体结构振型的作用而衰减,因而低频振型的响应就变得更加突出。事实上,如果只考虑中心线处的测量仪,将不难证明关于船体结构响应的简单两振型模型的正确性。在 02 水平面和桅杆位置测到的向上速度的最大值,与在船舱测到的不甚明显的振荡分量几乎反相。当用两振型模型来计算左舷和右舷测量仪位置的速度波形时,其不适用性就变得明显了。

如所预计,船舱部位结构运动的高频分量是最明显的。实际上,船体的这一部分受入射冲击波的影响最大。冲击波载荷能激发起从最低频率到最高频率的结构振型。但是,高频振型往往引起比较接近的节线间隔,即它们涉及的是船体的小区域,因而,在这些振型中的能量不容易在船体的大范围内传播。于是,在上甲板装仪器部位,较高频率振型不会强有力地被激发出来,因而高频运动分量就被逐渐地衰减。

在某种意义上,可以把船体结构视为一个机械的低通滤波器。位于上甲板部位的许多设备,将经受一个不甚严厉的冲击环境。

图 6 是第二次世界大战时期 28,000 吨航空母舰中横剖面的结构草图。这只是现在航母设计的部分代表。作为特色,航母设计与较小的舰船相比有几个不同的地方:上层建筑结构被移到一个舷侧;内部框架在主甲板或飞机库甲板处被间断;中横剖面更接近于矩形;以及多层的舷侧液舱使船壳的左、右两舷的垂向刚度增大。

冲击试验是在该航母的右舷一侧进行的。在航母中横剖面的低于主甲板部位之左舷、中心线和右舷位置处,以及在航母上层建筑结构中心线的上面位置处,均用测量仪器对结构的运动作了测量。

对该航母进行的一次试验所测得的速度波形示于图 7。这些速度波形反映船上放置测量仪器地方的冲击运动。这些速度波形的主要特性与小型舰船差不多。船舱区域的速度波形,比舰只上

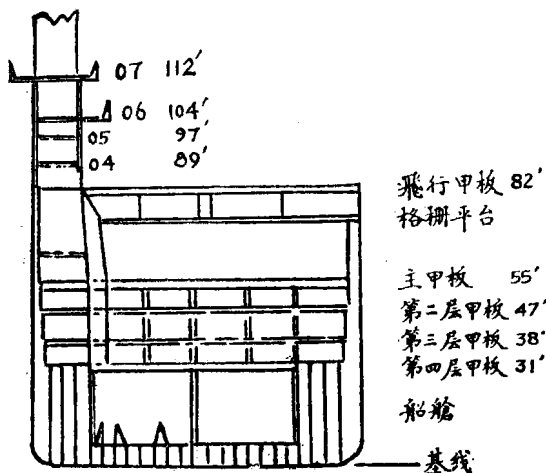


图 6 28,000 吨航母中横剖面的结构草图

层部位更明显地具有一个陡峭的前沿和更高的运动频率。在中心线的测量仪位置处，上甲板部位的运动几乎就是正弦型的，并且与船舱中心线测量仪位置处运动的振荡分量几乎反相。这一组速度波形，使得关于舰船的主要结构振型，有了一个近似的经验的明确性。

在飞行甲板部位，中心线位置处的速度波形几乎是正弦的，但是，左、右舷边的速度波形则更接近于一个矩形。主甲板部位的速度波形，与飞行甲板部位相应位置处的波形是相似的。波形

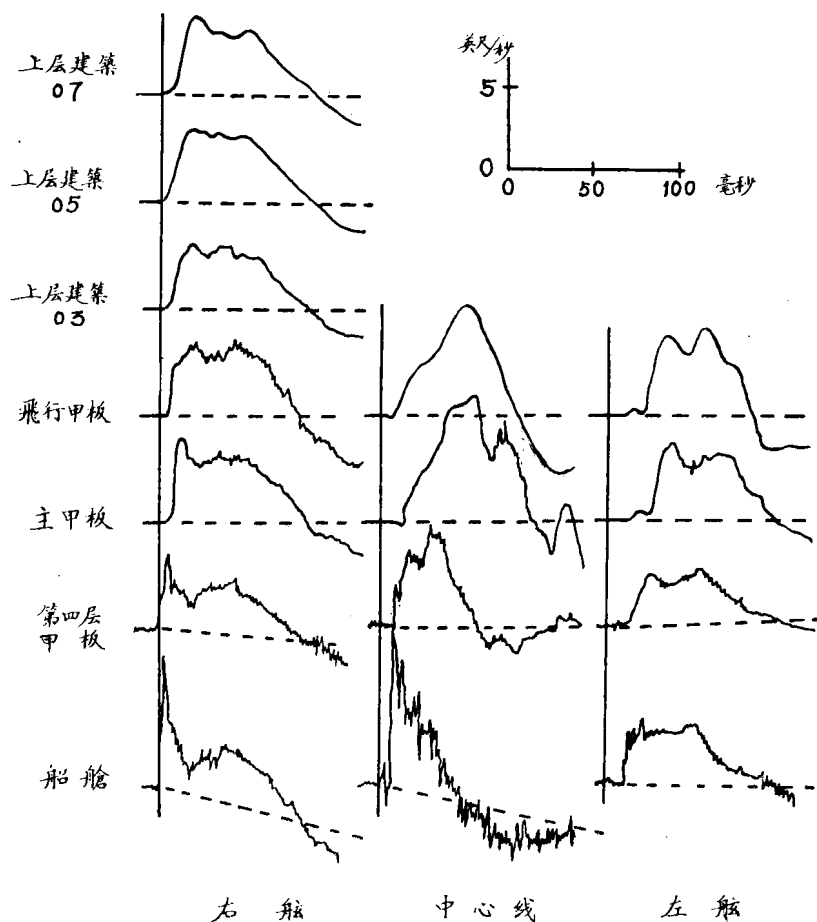


图 7 航空母舰对冲击载荷的速度响应

之间的差别意味着中心线测量仪位置对于左、右舷边测量仪位置有相对挠度。

由三组测量仪中的每一组所得到的记录数据，用电子学的方法将它们结合起来，积分而得到甲板中心线位置相对于甲板两边测量仪位置连线的相对挠度之时间曲线[3]。这种挠度时间曲线表明，其所经受的振荡挠度频率，约在 10 到 15 赫附近。

这种分析，以及其它所提出的数据，导致这样的结论，即结构响应振型含有中心线区域相对于两边的垂向振荡。这种振型可能要涉及舰只总质量的相当大一部分。由于这种振型为入射冲击所强有力地激发，因而，它也就可能含有入射冲击能量的一个重要部分。

另一结果与船上的设备的冲击环境有关。在大多数情况下，设备的破坏都与设备内部在设备自身固有频率处因冲击所引起的变形有关[4]。引起这种变形的能量，必然地要经过船体结构的传递。如果结构振型与某项设备的固有频率近似相同，而该结构振型又含有重要的能量，那末，看

来似乎会增大设备破坏的可能性。

不同等级的战舰中, 船内设备冲击环境的不同特点, 是和结构振型相关联的。原则上, 结构振型均能计算出来。实际上, 这种计算表明它是不适宜的, 因此, 不同等级战舰之船内冲击环境特点, 均依据于舰船冲击试验期间所取得的试验数据。

更主要的关切并不仅仅在于舰船结构的响应运动, 而在于船上重要设备的破坏势态 (Potential)。

技术上的目标, 是要在工程精度范围内定量确定由冲击引起的船上任意设备的机械应力效应。只要设备基础处相应的输入运动 (或等效的设计值) 已经限定, 那么, 该设备的工程计算就不是太困难的。

利用船体结构响应的特点, 可以简易地将输入运动加以综合, 这种假定是诱人的。不幸, 此方法的有效性是很有限的。

船上设备对冲击破坏的敏感性, 是设备的固有频率、船体结构、以及冲击强度 (Severity) 的函数。如果设备频率与邻接的船体结构的运动频率相比较, 那么, 有时便可利用设备的重量和测量该设备基础处的峰值加速度来近似估计该设备中的应力。反之, 如果设备频率比较低 (这是遇到有抗冲击安装的设备时的一种情况), 有时便可依据对设备基础的相应偏移来近似估计该设备中的应力。对于设备的结构频率与船体结构振型频率位于同一频率范围的情形, 就没有适合的单一的或简单的参数可用于表征对设备起作用的冲击环境的有效强度。

一般来说, 由冲击所引起的安装于船上之设备的响应运动, 将在该设备基础处引起相应的反作用力。这些反作用力, 又往往要改变该设备基础处未安装设备时所能观察到的输入运动, 通常也就以这种途径来减小响应运动以及设备中相应的应力 [5]。

在图 8 中, 借助于冲击谱分析方法, 将测量到的冲击速度响应, 由时间域转换成频率域。纵坐标是一个简单的机械振子在沿横坐标轴方向每一频率处所显示的响应量。

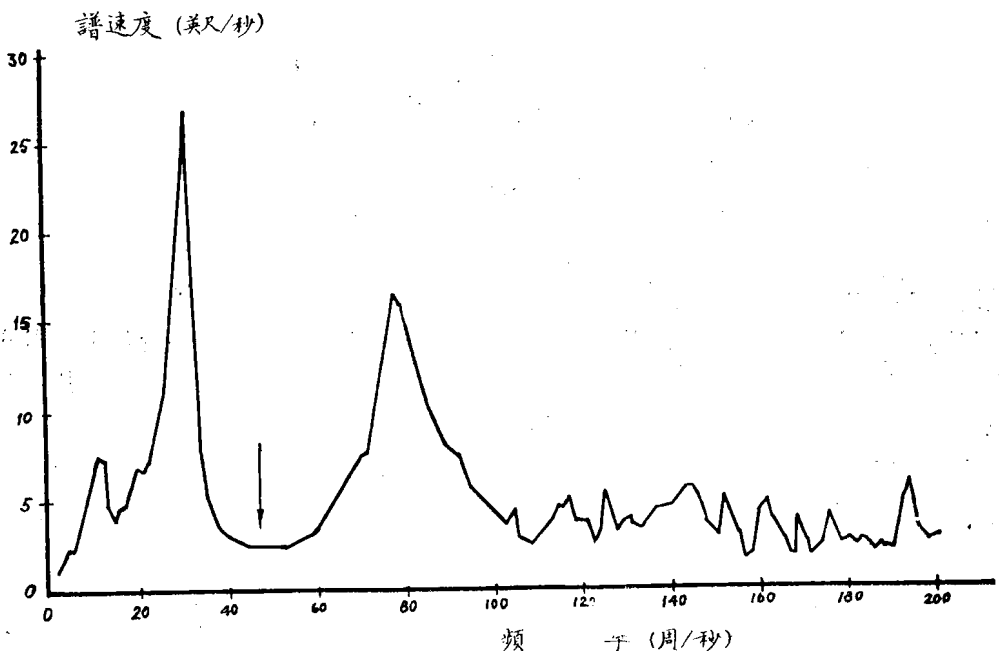


图 8 冲击速度响应谱

图8的速度记录,乃是在装于巡洋舰第三层甲板的重型甲板平台上、重8,000磅的机械质量-弹簧组合件之基础处测到的。垂向箭头指明该质量-弹簧系统的基频为47赫。

能够证明,该质量-弹簧系统中的最大应力,直接与在其固有频率处测到的冲击谱值有关[6]。而该频率处的冲击谱值,大大低于其它频率处的谱值。实际上,组合件还对该船的基础结构产生反作用,使冲击作用减轻。但这个质量-弹簧系统是人为制造的,对其作设计和安装是为了证明结构相互作用的影响。

图9中的谱是从一现役舰船上涡轮发电机组(SSTG)基础测到的速度响应而获得的。该机组重33,000磅,通过垂直的管支柱而固定于巡洋舰的船壳上。该机组装置显示明显的单一固有频率将近是30赫。这是结构对船体反作用的又一个证明——在该设备的固有频率处出现冲击谱值的明显降低。

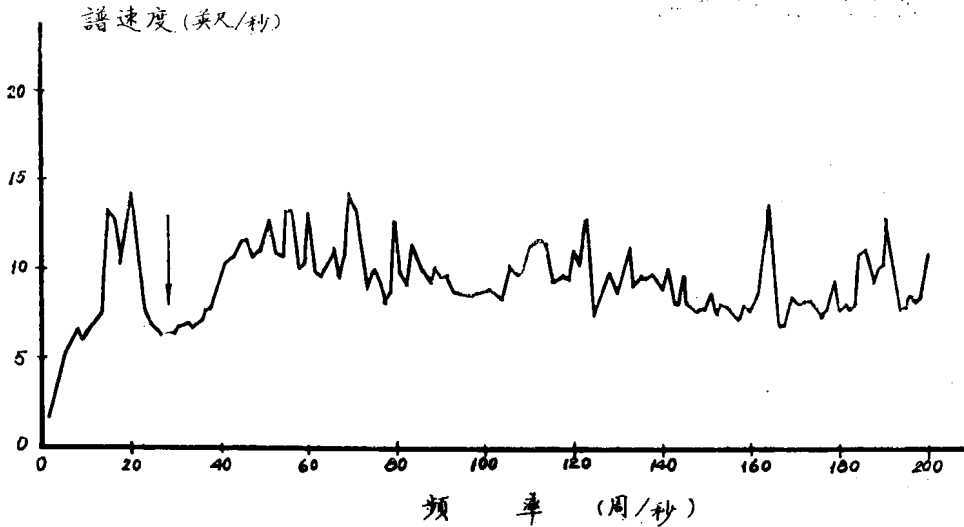


图9 在船上涡轮发电机组基础处的速度响应谱

一般来说,结构相互作用的影响是由设备及邻接的船体结构两者的模态频率(modal frequency)和模态重量(modal weight)决定的。附于重型的船体结构上的轻型设备,可能只引起无负荷船舶结构响应的微小的变动。

反之,比较重的设备可以期望它会对自身的环境产生一个比较大的缓和作用。

在为表征舰船冲击环境所作的努力中,需要考虑结构的这种相互作用因素,这就提出了一个重大的难题,即不但要指明舰船结构运动的特点,也要指明舰船结构的动态特性。

在电网络分析中类似的难题,可借助于特蕾宁(Theremin)定理(在线性系统中应用的几个网络定理之一)容易地加以简化。根据这个定理,由实际电源及无源电路元件组成的一个复杂的电网络,常常可以用一个等效电源和一个等效电路阻抗来表示。舰船结构的类似表示,可以包含一个等效速度时间曲线和一个在船体结构选定处的等效的机械导纳(mobility)。在过去几年就已提出建议要发展这样一种表征法,但是尚未实现[7]。的确不清楚,现时的技术能力是否足以完成这一任务。

适当表征船体结构的另一方法,隐含在海军的动力设计分析方法(DDAM)中。动力设计分析方法中所使用的数值,是从设备基础处取得的运动测量结果中推出的[8]。这种测量结果同时考虑了结构的相互作用和舰船的基本结构响应。适当地解释之后,该运动测量结果将适合于其它

的类似设备之用。

但是,目前形式的动力设计分析方法,对于各类船上设备的工程分析来说尚嫌不足。任何一个试验测量结果,实质上是反映了舰船的结构响应和结构动力学、以及设备的结构动力学的组合影响。当然,存在着众多可能的组合情形。大量的试验测量结果的综合,便得出一个用于许多更重要组合作用的广义的设计输入。但是,实用上,这种数据的基础,并非宽广得足以反映工程所关心的全部的组合作用。

事实上,现在对船上设备作冲击分析的能力是有限的;还不能对船上所有设备作出具有工程精度所能接受的冲击应力计算。

然而评定设备抗冲击性能的能力还是存在的。利用动力设计分析方法能够对许多重要的船上设备作出分析。被选用的一类船上设备,依据已有的舰船冲击环境的运动特征加以分析是经得起检查的,新的方法还在研究之中。

参 考 文 献

- [1] Cole, R. H., Underwater Explosions, Princeton Univ. Press (1948). Reprinted, Dover (1965).
- [2] Vane, F., "Shock and Vibration in Ships," Ch. 46, Shock and Vibration Handbook, Harris, C. H. and Crede, C. E. (Eds) McGraw-Hill (1961).
- [3] Oleson, M. W., "An Experimental Approach to Understanding Shock Response," Shock Vib. Bull, U. S. Naval Res. Lab., Proc., 40 Pt. 2, P.P. 1-19 (Dec 1969).
- [4] O' Hara, G. J., "Background for Mechanical Shock Design of Ships Systems," NRL Rep. 6267 (Mar 1965).
- [5] O' Hara, G. J., "Effect Upon Shock Spectra of the Dynamic Reaction of Structures," NRL Rep. 5336 (Dec 1958).
- [6] Blake, R. E. and Swick, E. S., "Dynamics of Linear Elastic Structures," NRL Rep. 4420 (Oct 1954).
- [7] Belsheim, R. O., O' Hara, G. J., and Oleson, M. W., "A Proposed Navy Shock Program," NRL Memo. Rep. 2342 (Aug 1971).
- [8] Belsheim, R. O., and O' Hara, G. J., "Shock Design of Shipboard Equipment, Part 1-Dynamic Design Analysis Method," NRL Rep. 5545 (Sept 1960). Also Publ. as NAVSHIPS 250-423-30 (May 1961).

[吴用舒译自 «The Shock and Vibration Digest» Vol. 9, No. 12,
Dec. 1977, P. P. 8-12 M. W. Oleson, and R. O. Belsheim., "Shipboard
Shock Environment and Its Measurement," 赵本立校]

美国海军大型浮动冲击平台

第一部分：实物描述与负荷容量

C. G. 施拉德*

提 要

安装在舰船上的设备，须经冲击试验考核，或者要设计成能满足海军冲击规范标准的要求。过去，能作试验的负荷重量只达 40,000~60,000 磅。现在造出了大型浮动冲击平台，经过校准，其冲击特性与以前的试验装置一致。船上冲击的直接试验容量，现在可扩展到重达 400,000 磅左右的设备项目。

一、背 景

海军要求，如有可能，应对装船设备按 MIL-S-901 规范做冲击试验。MIL-S-901 标准中规定的试验机的适用的试验负荷可达 60,000 磅。

1969 年，美国海军研究试验所 (NRL) 委托西海岸冲击试验基地 (WCSF) 指导研制大型浮动冲击平台 (LFSP)，要求冲击平台的冲击试验负荷能达 60,000~320,000 磅。研究结果表明，如果大型浮动冲击平台要按原有浮动冲击平台 (FSP) 比例放大来设计，就必须节俭一些。将 HY80 钢改为 HTS 钢，把底部结构的内甲板去掉，成为敞开式的构架。

1971 年，海军船舶系统司令部 (NSSC) 给西海岸冲击试验基地下达任务，并签定合同计划及技术要求。1973 年 2 月，大型浮动冲击平台按规定建造完毕，并交付西海岸冲击试验基地。

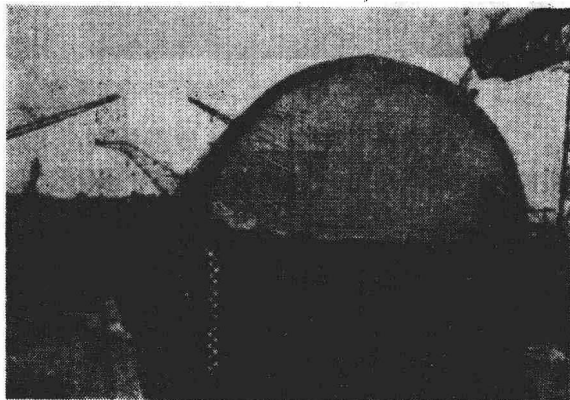


图 1 大型浮动冲击平台

二、实 物 描 述

大型浮动冲击平台是一个矩形的平底驳船，长 50 英尺，宽 30 英尺(图 1)。它的两侧及首尾是高出底部 12 英尺的抗冲击围壁，由围壁再向上延伸是 6 英尺高的轻型舷墙。底部、两侧及两端的抗冲击围壁是用 1/2~1 英寸的 HTS 钢板建造的，并用肘板和筋加强之；舷墙用 3/8 英寸

* 加利福尼亚州、旧金山、西海岸冲击试验基地。

的 HTS 钢板建造。大型浮动冲击平台 8 英尺高的底部，布满了纵横加强筋交错隔成每个小格为 4 平方英尺的、小型箱子似的排列。这些加强筋的上端用宽 8 英寸、厚 3 英寸的凸缘加顶，构成安装面，试验负荷通过一个合适的基础结构固定于它的上面。大型浮动冲击平台的顶部，由三段中心高 18 英尺的幕布所复盖。大型浮动冲击平台能容纳的最大试件的尺寸为 46 英尺×26 英尺×32 英尺。对于较高的试验物，可以用专门配置的顶盖来代替标准幕布。空载时，大型浮动冲击平台的吃水为 62 英寸，加载 500,000 磅时，吃水将增大到 124 英寸左右，此时干舷即抗冲击围壁还留有 20 英寸。这意味着，按照装置的这一容量，只要设备的重量分布能满足大型浮动冲击平台稳性的要求，处理重达 400,000 磅的试验项目是完全可以的。

图 2 示出安装于大型浮动冲击平台中的作为校准试验负荷的浮动冲击平台 (FSP)，其尺寸为 28 英尺×16 英尺×10 英尺。

图 3 表示构成浮动冲击平台基础的三块安装板之一的近景。

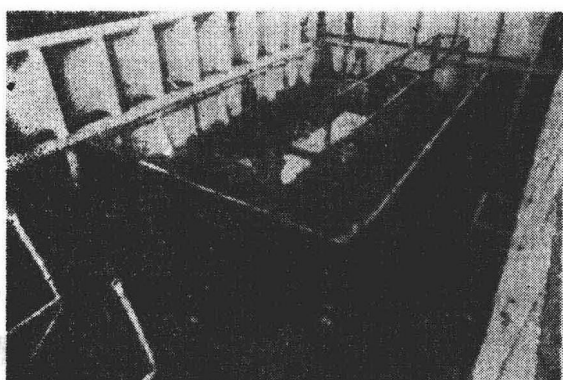


图 2 作为校准试验负荷的浮动冲击平台

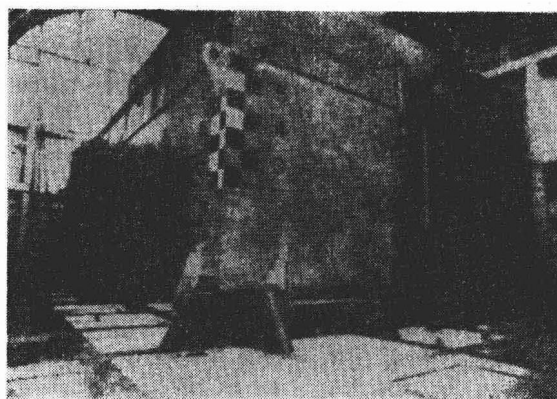


图 3 安装板详图

大型浮动冲击平台的船上冲击环境，是通过 300 磅炸药，于水深 20 英尺，距平台一定距离上的爆炸来产生的。炸药包的大小和深度，以及试验场区位置，要按对周围环境的干扰作用小的原则来选择。药包参数的确定，要能使得气泡在首次膨胀时就泄出水面，以防止气泡脉动与平台底部的相互作用。试验是在距最近的结构物——码头 900 英尺的地方进行的。码头作为试验操作的基地，在那里还设有控制站。试验排列的几何位置有严格控制。大型浮动冲击平台位置的固定，一边靠登陆艇 (LCM) 拉紧一根绳索，另一边用 (把平台拉回码头的) 绳索与码头拉紧，药包与大型浮动冲击平台之间的相对位置的固定，一边用一根药包外拉绳索与一小艇拉紧，相对的另一边，用绳索由药包浮筒至大型浮动冲击平台之间加以约束。试验之后，借助于登陆艇通过一根回收绳索，把大型浮动冲击平台拉回码头。除了登陆艇和牵住药包外拉绳索的小艇外，还使用一只声纳小船巡查试验区域，以防止把鱼炸死。另外，在旁边还停泊有一只拖船，作为紧急情况下救助之用。

试验操作过程，在参考文献中有详细说明。

三、结 论

1973 年 5 月间，完成了连续十四次的校准试验。在试验中没有遇到显著的困难，试验结果表明，在大致规定的冲击强度要求范围内重复进行试验，对大型浮动冲击平台的结构没有影响。

这项工作系由海军船舶系统司令部在 S4815 计划 63714 大纲中提出的。

参 考 文 献

- [1] "Operation Manual for Large Floating Shock Platform (LFSP)" NAVSHIPYD HUNTERS PT Technical Report 10-73 of July 1973.

第二部分：冲击特性

E. W. 克莱门茨*

一、背 景

为了使舰船有最大的战斗力，海军要求，凡船上设备均要设计成能抗御敌方兵器爆炸所引起的冲击破坏效应，而且，如有可能，在验收前要用与此相似的冲击条件，对设备进行试验考核。这样，就需要有一个能产生可控制的、类似于船上所出现的冲击环境的手段，这既是验收试验所必要的，也是为设计与改进提供一种工具所不可少的。海军已经有了一套由 MIL-S-901 规范所规定的作验收试验用的冲击试验机。它由轻型冲击机（试验负荷最大为 400 磅），中型冲击机（试验负荷为 250~6,000 磅），以及浮动冲击平台（试验负荷为 6,000~60,000 磅）所组成。这些冲击机在设计上和使用上很不一样，但它们对试验负荷所提供的冲击环境，却相当一致。现在又加进了大型浮动冲击平台，使试验装置的负荷容量可高达 400,000 磅。

二、校准试验系列

1973 年 5 月对本文第一部分所介绍的这一大型浮动冲击平台作过八次校准试验。在大型浮动冲击平台交付给西海岸冲击试验基地不久的 1973 年 3 月，曾更早地作过六次初步试验。两次试验系列，均由西海岸冲击试验基地和海军研究试验所的人员共同执行。

起初六次试验是空台试验。之后，把一个浮动冲击平台（FSP）安装到大型浮动冲击平台（LFSP）上面，作为试验负荷，第二个试验系列中的四次试验是在这种条件下进行的，在浮动冲击平台的内底充水，使负荷增大，最后再做四次试验。

每次试验的炸药量都是 300 磅，药包深度为 20 英尺。根据地理条件上的考虑，如合适的水深、与平台的接近程度等，药包参数曾作过局部的调整。药包的这一大小和深度，可以保证气泡在首次膨胀时便能排出水面。因此，大型浮动冲击平台的总位移量要比浮动冲击平台的小得多，这是因为它的位移是由冲击波，而不是由被气泡所排开的水流引起的。大型浮动冲击平台在试验中的主要控制变量，是药包离开平台的远近，即药包位置与该平台最近点之间的水平距离。其次是药包的方位，即药包是更靠近该平台的某一侧还是某一端。药包离平台远近的影响，主要的是控制所产生的冲击作用之强度，而方位的影响在于改变横向及纵向的冲击分量之相对强度。药包离平台的远近变化范围是 45~120 英尺。在大型浮动冲击平台无负荷的情况下，药包是在靠近两

* 华盛顿——海军研究试验所。

侧和两端炸药的；而在加有负荷的情况下，药包是在左舷和尾端爆炸的。各次爆炸时详细的几何位置列于表 I。

表 I 大型浮动冲击平台历次校准试验简表

次 序	日 期 (1973 年)	接 近 部 位	药包与 LFSP 之水平距离 (英尺)	所 加 负 荷 (千磅)
1	2 月 28 日	左 舷	70	0
2	3 月 1 日	左 舷	55	0
3	3 月 2 日	左 舷	45	0
4	3 月 5 日	尾 端	45	0
5	3 月 6 日	右 舷	45	0
6	3 月 7 日	首 端	45	0
7	5 月 7 日	左 舷	120	112.6
8	5 月 9 日	左 舷	70	112.6
9	5 月 10 日	左 舷	45	112.6
10	5 月 16 日	尾 端	45	112.6
11	5 月 17 日	左 舷	70	176.9
12	5 月 18 日	左 舷	45	176.9
13	5 月 22 日	左 舷	45	176.9
14	5 月 23 日	尾 端	45	176.9

三、试 验 负 荷

作为试验负荷的浮动冲击平台，是用三块横向通过的板与大型浮动冲击平台的安装面相联接的，其中两块位于接近浮动冲击平台两端部的地方，一块位于中部。在浮动冲击平台内的一些防冲击架上，放置有记录装置、测量仪器及点火控制电路。一个集中安装的单自由度系统 (SDOF)——由一个控制的弹簧系统所支承的、5,000 磅重的混凝土质块，也放在其中。这是美国舰船 研究与发展中心几年前为另一个课题而设计的，其仅有的重要振型是刚基础频率 (fixed base frequency) 为 30 赫的垂向移动。加在大型浮动冲击平台上的总重量是 112.6 千磅，后来用水充入浮动冲击平台的内底，总重量便增加到 176.9 千磅。安装系统极为刚硬，以至于对这么大的重量负荷，在总的板弹簧上的总质量之移动频率，将大约是 240 赫和 300 赫。因此，混凝土质块的特性，实质上 and 把它直接加在大型浮动冲击平台上的情形是一样的。

四、测 量 仪 器

对于第一个试验系列，安装传感器是为了测量大型浮动冲击平台底部五个位置的速度。这些

传感器是带有电子积分设备的置于防冲罩 (Shock-mitigating housing) 中的加速度计。第二个试验系列期间, 有更多的这种传感器安装在大型浮动冲击平台安装面上的浮动冲击平台座板的基础处及其内部。应变计贴在大型浮动冲击平台中间断面的壳板上和横向加强筋的中心线上。输出信号记录在磁带上。每次试验后, 将磁带回放, 并通过积分器, 在振子示波器上显示出每一个速度传感器之速度和位移的时间曲线, 以及每一应变计的应变-时间记录曲线。有一些速度记录还被输送到模拟式冲击谱分析仪 (Analog Shock Spectrum Analyzer)。

五、大型浮动冲击平台的速度

在大型浮动冲击平台上测到的速度波形, 主要受测量位置和取向的影响。对于一个给定方向, 速度的大小随测点与药包之间的距离的增大而减小。当药包距大型浮动冲击平台水平距离减小时, 总的来说速度是增大的, 而对于给定的一炮, 在大型浮动冲击平台各处测到的速度, 还是有可观变化的。速度曲线的波形, 主要由测量的方向决定。当有关结构的频率达一千赫左右时, 垂直方向和水平-平行方向*的速度波形, 具有急剧上升 (约 1 毫秒) 和逐步衰减 (约 50 毫秒) 的特点。水平-横向方向**的速度, 由一个相当快的上升 (约 10 毫秒) 和缓慢的下降 (约 300 毫秒) 过程所调幅的结构频率组成 (图 1)。壳板上的速度与加强筋顶部的大型浮动冲击平台安装面上的速度是相类似的, 但前者的量级较大, 上升得更陡些, 甚至可能有相当一部分能量乃位于速度传感器的通频极限 2 千赫以上。因此, 在壳板上得到的测量结果, 要比在安装面上或在浮动冲击平台上的测量结果可靠性差些。关于安装面速度, 其垂向峰值速度大小随测点位置的变化, 最大值为最小值的 1.75 倍。这样一种变化范围足以使得各点的结果变得不分明, 因而讲给定方向上和给定位置类型处所有测量值的平均值是适宜的, 例如说, 安装面垂向平均速度, 或浮动冲击平台的横向平均速度等等。

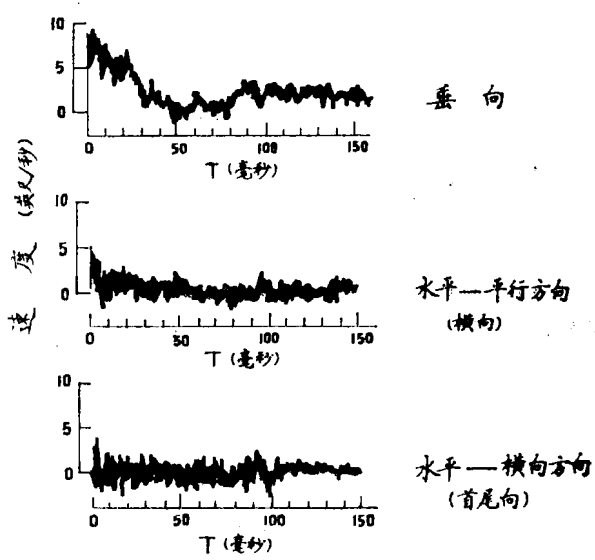


图 1 在大型浮动冲击平台安装面上测到的典型速度波形

水平-平行方向的速度变化较小, 水平-横向方向的速度变化更是轻微。按平均值来说, 峰值速度随测量方向的变化, 垂向: 水平-平行方向: 水平-横向方向为 1:0.7:0.3。药包方向 (端面爆炸, 或侧面爆炸) 的重要影响, 取决于大型浮动冲击平台轴线 (横向与前后方向) 和试验轴线 (水平-平行方向和水平-横向方向) 之间的取向。可以预料, 端面爆炸时的平均峰值速度将比侧面爆炸时略低一些, 这是因为在端面爆炸时, 大型浮动冲击平台离开药包的平均距离要略为大一。不过, 这种减低的程度并不一致, 它的量级就与名义上是完全相同的两次爆炸所可能出现的

* 水平-平行方向系指平行于拟定的药包位置与大型浮动冲击平台的最近点之连线的这样一种方向, 此即舷侧爆炸时的横向, 端面爆炸时的首尾方向。
** 水平-横向方向系指垂直于拟定的药包位置与大型浮动冲击平台的最近点之连线的这样一种方向。

正常变化一样。当试验负荷由零增加到112.6千磅时，对壳板上的速度峰值未显示有何影响。而当负荷由112.6千磅增加到176.9千磅时，则峰值速度有明显的降低。在安装面上，当负荷从112.6千磅增加到176.9千磅时，峰值速度也显示出类似的降低。这些影响都概括在图2A和2B中，表明了平均峰值速度对药包离大型浮动冲击平台水平距离的关系。

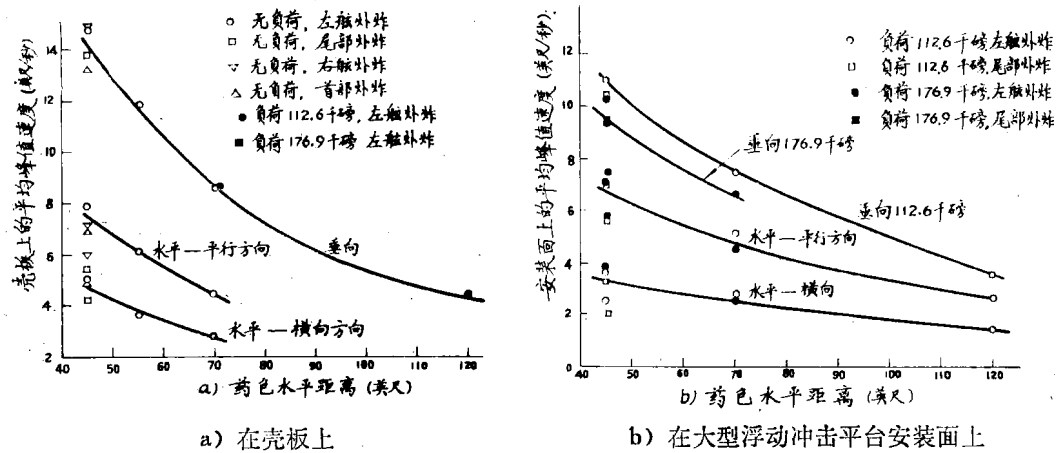


图 2 平均峰值速度随药包距离的变化

六、负荷（浮动冲击平台）的速度

在浮动冲击平台中测到的速度波形，与单独对该平台做试验时在同一位置处测得的速度波形是相似的[1]，这表明，由于安装结构比浮动冲击平台结构本身还刚硬（作为自由-自由梁，其振

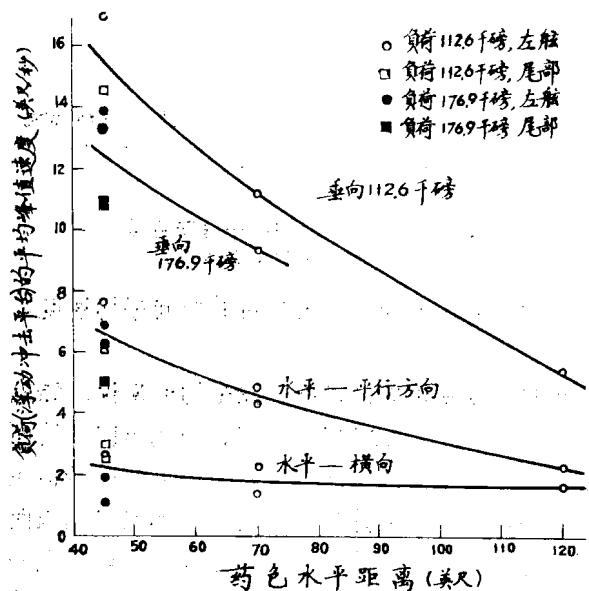


图 3 负荷(浮动冲击平台)的平均峰值速度随药包水平距离的变化

浮动冲击平台安装面上的平均峰值速度的1.5倍。在两个水平方向上，由位置所引起的这种变化要小得多，在浮动冲击平台和大型浮动冲击平台内，平均峰值速度基本上是相同的。前者的平均

型频率约120赫)，因而浮动冲击平台局部结构的细节，对确定具体的波形之细节起了支配作用。浮动冲击平台内的大多数传感器，是装在其周边与安装板接近的地方，这些区域与大型浮动冲击平台安装面之联接是非常刚性的。所以，这些地方的波形，很像是在与其相联的大型浮动冲击平台之波形上加上一个可分辨出的正弦分量。靠近浮动冲击平台中心的测点，正好位于小方格之上。因而，速度波形具有更明显的正弦特性。速度波形的量值和速度量值的变化，在浮动冲击平台内均要比在大型浮动冲击平台安装面上来得大。在小方格之上的中心处，测到的峰值速度最高，周边的也比较高，而且各测点之间的变化要比在大型浮动冲击平台中来得更大一些。在垂向，最高的峰值速度是最小的2.5倍，而平均峰值速度是大型