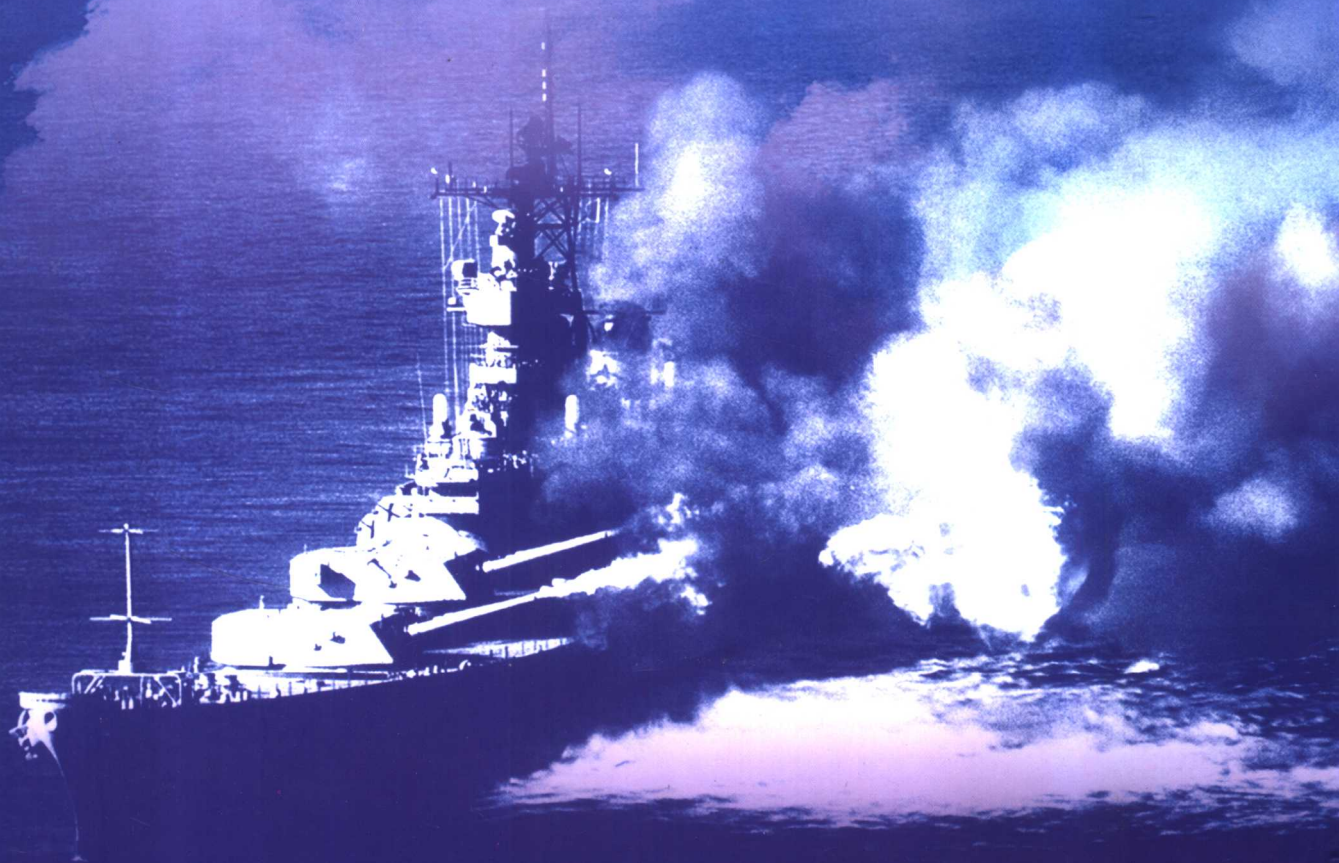


舰艇及设备 冲击响应分析技术

汪 玉 • 主编



海潮出版社

舰艇及设备 冲击响应分析技术

汪 玉 ● 主编



海潮出版社

内 容 简 介

2004年10月28~29日在北京召开了“军船抗冲击学组成立大会暨首次学术交流会”。会议共收到论文48篇。本书汇编其中论文43篇(中文36篇、英文7篇)。内容主要包括:舰艇抗冲击技术综述、舰艇总体及结构冲击分析技术、舰艇系统及设备冲击分析技术、舰艇生命力评估技术、舰艇抗冲击新概念技术等。

本书可供从事舰艇及设备冲击响应分析工作的工程技术人员阅读,亦对广大从事舰艇抗冲击技术研究、应用和开发的科研人员有较大的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

舰艇及设备冲击响应分析技术/汪玉主编. —北京:
海潮出版社, 2006
ISBN 7-80213-129-4

I. 舰... II. 汪... III. ①军用船—冲击响应—分
析—文集②军用船—机械设备—冲击响应—分析—文集
IV. U674.7—53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 017928 号

出版发行: 海潮出版社
社址邮编: 北京市西三环中路 19 号 100841
责任编辑: 张慧
电 话: (010) 66969736
传 真: (010) 66969745
印 刷: 北京市荣海印刷厂
开 本: 889mm×1194mm 1/16
印 张: 19.25
字 数: 500 千字
版 次: 2006 年 3 月第 1 版
印 次: 2006 年 3 月第 1 次印刷
书 号: ISBN 7-80213-129-4
定 价: 45.00 元

《舰艇及设备冲击响应分析技术》编委

主 编：汪 玉

副主编：（按姓氏笔画排序）

王 强 刘建湖 华宏星

孙永华 何 琳 李兆俊

杜俭业 胡刚义 彭 旭

前 言

舰艇的抗冲击能力是舰艇生命力的重要组成部分，因而也是舰艇非常重要的战术技术性能和指标要求。随着现代武器装备的飞速发展，特别是水中兵器威力的大幅度提高，使得舰艇面临着日益恶劣的冲击环境，对舰艇的抗冲击性能也提出了更高的要求。长期以来，以美国为代表的世界各海军强国投入了大量的人力和财力，始终致力于舰艇抗冲击技术的研究和发展，其舰艇的抗冲击能力现已达到了较高的水平，并逐步形成了完整、先进的舰艇抗冲击研究、设计、试验和评估体系。为适应二十一世纪海战的需求，迅速提高我国海军舰艇的抗冲击性能，必须加速开展舰艇抗冲击技术的研究和试验工作，并尽快建立和完善具有中国特色的舰艇抗冲击技术研究、管理体制，这已成为各级领导和广大舰艇抗冲击工作者的共识。

为抓住机遇，深入推动我国舰艇抗冲击技术的发展，在上级领导和机关的关心和支持下，军船学术委员会抗冲击学组已于2004年10月在北京成立。军船抗冲击学组既是联系广大舰艇抗冲击工作者的纽带，也是开展舰艇抗冲击学术交流的平台。根据在军船抗冲击学组成立暨第一次学术会上交流的及会后征集到的论文，经过优选和整理，特编辑出版了该论文集。本论文集主要收集了近五年来国内优秀的舰艇抗冲击研究论文，题材广泛，内容丰富，既有水下非接触爆炸的研究内容，也有运用计算机数值模拟技术进行的舰艇抗冲击深化研究，还有部分向国际学术会议或刊物投送的英文论文稿。所有论文的内容，均属军船抗冲击学组提出的舰艇抗冲击研究的“十大工作内容”和“五大关键技术”的范畴。不仅比较全面的展示了国内舰艇抗冲击技术研究的近况和成果，而且还为从事舰艇抗冲击工作者提供了诸多研究工作的参考资料。为便于国内读者阅读使用，我们在文集中还一并刊载了英文论文的中文稿。

值此论文集出版之际，谨向各位论文作者和部分论文的版权单位表示衷心的感谢。由于时间较紧，水平有限，对该论文集出版的不足之处，恳请各位读者批评指正。

编 者

二〇〇五年十一月

目 录

舰艇抗冲击技术综述

国外舰艇抗冲击技术发展概况及启示	孟庆国 杜俭业 (3)
舰船装备论证阶段的抗冲击要求	王官祥 张继明 汪玉 (8)
舰船水下爆炸数值计算方法综述	湛勇 汪玉 华宏星 沈荣瀛 (14)
舰艇抗冲击设计研究面临的问题及对策	陈明 彭旭 陈秀珍 (24)
我国舰船设备抗冲击技术的现状及其发展建议	王强 (25)
水下爆炸冲击波的数值模拟研究	张振华 朱锡 白雪飞 (26)

舰艇总体及结构冲击分析技术

流体介质中圆板受冲击载荷时的弹塑性非线性动力响应	湛勇 张军 汪玉 华宏星 沈荣瀛 (35)
刚塑性圆板受水下爆炸载荷时的动力响应分析	湛勇 汪玉 华宏星 沈荣瀛 (43)
刚塑性板在柱状炸药接触爆炸载荷作用下的花瓣开裂研究	张振华 朱锡 (51)
瞬时模态法计算圆板受水下爆炸时的变形	湛勇 汪玉 沈荣瀛 华宏星 (58)
水下爆炸载荷作用下自由环肋圆柱壳的非线性动态 响应研究	张振华 朱锡 冯刚 李玉节 刘建湖 何斌 (66)
潜艇典型结构在爆炸冲击载荷作用下开裂判据的试验研究	张振华 朱锡 刘润泉 (73)
潜艇艇体结构在水下爆炸冲击载荷作用下损伤研究	张振华 朱锡 (78)
考虑流固耦合作用的舰船抗冲击仿真计算	汪玉 周璞 刘东岳 华宏星 沈荣瀛 (85)
舰艇在远场水下爆炸载荷作用下动态响应的数值计算方法研究	张振华 朱锡 冯刚 孙雪荣 (92)
舰船非接触式水下爆炸数字仿真有限元方法	王官祥 汪玉 (98)
大型舰船模型三维有限元振动及冲击计算	吴广明 沈荣瀛 华宏星 (102)
水面舰艇舷侧防雷舱结构水下抗爆防护机理研究	张振华 朱锡 刘润泉 (108)
水面舰艇舷侧防雷舱结构模型抗爆试验研究	朱锡 张振华 刘润泉 朱云翔 (115)
潜艇在深水压力作用下爆炸冲击响应与损伤的数值试验研究	姚熊亮 郭君 许维军 (123)

舰艇系统及设备冲击分析技术

舰船非线性抗冲隔振系统中的非光滑动力学问题	冯奇 (135)
弹性浮筏隔振系统动力学特性及冲击响应分析	王志刚 冯奇 汪玉 (148)
双层隔振系统动力学建模和响应计算	贺华 冯奇 (153)
带刚性限位的双层隔振系统的离散模型	贺华 冯奇 汪玉 (158)
船舶设备在冲击环境下的随机离散模型	贺华 冯奇 (162)
碰撞振动对浮筏隔振系统的影响	温建明 冯奇 (166)
模态分析在冲击动力学分析中的应用	王官祥 汪玉 (171)
浮筏隔振装置抗基础冲击的研究	王治国 (175)
用 ANSYS 进行抗冲击仿真	王官祥 赵玫 (179)

船舶推进轴系动力学仿真	孙洪军 沈荣瀛 (182)
尾轴架冲击响应计算分析	梅永娟 吴荣宝 金咸定 (187)

舰艇生命力评估技术

潜艇艇体结构生命力评估体系研究	张振华 朱锡 冯刚 方斌 (201)
基于支持向量机的舰艇抗冲击生命力分析	蒋丰 冯奇 汪玉 (206)
一种分析潜艇抗冲击生命力的新技术	汪玉 蒋丰 冯奇 (211)

舰艇抗冲击新概念技术

舰船抗冲瓦结构新概念及水下抗爆机理研究	汪玉 杜俭业 谌勇 童宗鹏 (223)
多孔材料和结构的抗冲击特性研究	唐志平 胡时胜 虞吉林 (232)

英文版论文

NUMERICAL ANALYSIS OF THE DYNAMIC RESPONSE OF WARSHIP SUBJECTED TO SHOCK WAVE INDUCED BY LONG-DISTANCE UNDERWATER EXPLOSION	Zhang Zhenhua Zhu Xi Feng Gang Sun Xuerong (243)
EXPERIMENT AND NUMERICAL INVESTIGATIONS OF THE DYNAMIC RESPONSE OF RING-STIFFENED CYLINDER SUBJECTED TO UNDERWATER EXPLOSION	Zhu Xi Zhang Zhenhua Feng Gang Li Yujie Liu Jianhu He Bin (250)
THE DYNAMIC MODELING AND THE RESPONSE ANALYSIS TO IMPACT OF THE ELASTIC FLOATING RAFT SYSTEM	Wang Zhi-gang Feng Qi Wang Yu (255)
STOCHASTIC MODEL OF CONTACT SYSTEM	Hua He Qi Feng (268)
STUDY ON MATHEMATICAL MODELS OF ANTI-SHOCK ISOLATION SYSTEM OF A MARINE ENGINE	Yu Wang Qi Feng Qi Yue Wang (276)
A NEW METHOD OF EVALUATING THE VULNERABILITY OF NAVAL VESSEL TO SHOCK LOADINGS	Jiang Feng Feng Qi Wang Yu (283)
STUDY ON UNDERWATER SHOCK ISOLATION MECHANISM USING A NOVEL CONCEPT OF TWO LAYERED STRUCTURE	Wang Yu Du Jiangye Chen Yong Tong Zong Peng (291)

舰艇抗冲击技术综述

国外舰艇抗冲击技术发展概况及启示*

孟庆国¹ 杜俭业²

(1 海军装备部舰艇部 北京; 2 海军装备研究院舰船所 北京)

摘 要: 本文通过引入冲击的内涵, 重点介绍了国外主要海军舰艇抗冲击技术的发展历史和现状, 并分析了各国(地区)舰艇抗冲击技术体系的不同和特点, 可为我国舰艇抗冲击技术的发展提供参考。

关键词: 舰艇 抗冲击

1 引言

攻击能力和抗打击能力是舰艇战斗力的两个方面, 必须“两手都要硬”, 才能称得上真正意义上的战斗力强。这正如古代武士的矛和盾一样, 只重视矛的锋利而忽略盾的坚固, 就会因易受伤害而容易失去战斗力。任何一艘舰艇, 不论其攻击力和主动防御能力有多强大, 在战时执行任务的过程中不可避免会遭到敌方水下武器的攻击(水雷、深弹和鱼雷)。因此, 抗冲击技术的发展水平的高低在某种程度上也反映了一个国家舰艇设计与制造水平的高低。从美国学者 H. C. Pusey 的观点来看, 在生命力评估的 23 项内容中, 有 14 项基础性的工作是舰艇和设备的抗爆和抗冲, 主要有打击致命性评估, 破坏现象, 破坏和失效模式, 系统的响应, 损伤性数据库等。开展这些工作的基础是舰艇抗爆理论和实船及模型爆炸试验技术和试验数据、资料的积累。

2 冲击的内涵

2.1 冲击的定义

冲击是指一个系统在相当短的时间内(通常以毫秒计), 受到瞬态激励, 其位置、速度或加速度发生突然变化的物理现象。在日常生活、工作中, 可遇到大量的冲击问题: 如手锤敲打钉子, 坠落物体在触地的瞬间, 车辆的颠簸、碰撞, 舰艇遭受水中兵器的攻击而引起的水中爆炸, 飞机的着陆, 火炮及导弹的发射后坐力等等都伴随着冲击现象。

2.2 冲击的特点

冲击具有如下几个特点: ①冲击作用的持续时间非常短暂, 因此剧烈的能量释放、转换和传递的时间很短, 是骤然间完成的。②冲击激励函数不呈现周期性。在冲击作用下, 系统所产生的运动为瞬态运动, 而振动激励函数一般都是周期性的, 系统运动响应为稳态振动。③在冲击作用下, 系统的运动响应与冲击作用的持续时间及系统的固有频率或周期有关。④系统对冲击作用的响应(位移、速度或加速度)在冲击持续时间内与作用结束后是不同的。前者称初始响应, 后者称残余响应。

2.3 冲击对舰艇的危害

在现代海战中, 舰艇遭受敌方攻击的主要冲击源有三个: ①接触性爆炸, 如遭受导弹、激光炸弹直接攻击,

*本文已在《论证与研究》上发表。

造成局部的舰体损伤及舰用系统、设备损伤；②水中非接触性爆炸，如遭受鱼雷、水雷爆炸的冲击；③自身武器发射时后坐力造成的冲击，也会影响到舰载设备的正常运转。其中，舰艇遭受水下非接触爆炸的概率比直接命中的概率大，而且其破坏是全船性的，主要破坏后果包括：舰体容易发生冲击屈曲甚至破损、内部设备会发生大范围的冲击破坏失效、导致使舰艇丧失机动能力或作战能力，从而很难逃脱遭到二次、三次打击，导致人、舰覆灭的命运。

3 国外抗冲击技术发展概况和趋势

3.1 早期研究概况

舰艇抗冲击研究的历史可以追溯到 19 世纪。美国海军早在 1860 年就进行了船体抗爆试验。英国海军 1874 年 8 月 4 日，在英格兰 Portsmouth 的 Stoke 海湾对蒸汽动力的推进双层铁皮装甲的 Oberon 改进型战舰进行的冲击试验是有资料记载的最早的机械设备抗冲击研究和第一次全面的水下爆炸试验。英国的 RINA 在 1881 年也进行了实船水下爆炸试验。

第一次世界大战的海战实践使参战各国海军认识到，水下爆炸不仅能造成船体的破坏，而且会造成机电设备的错位、破损和电路的开裂及轴系的变形等。大量的船只经受了水下爆炸以后，尽管其船体仍保持水密性，但由于内部设备遭受冲击后功能丧失，导致舰艇完全丧失战斗力。这些战例促使美国海军在第一次世界大战期间就开始制作冲击试验机，用来考核舰艇机械电器设备抵抗由自身武器发射时后坐力造成的冲击破坏的能力。

日本在 1930 年利用伦敦裁军协定所裁减下来还搁置在船台上的在建军舰的船体进行了全面、细致的抗爆防护实船水下爆炸试验，根据试验结果设计建造的“大和号”战列舰在遭受到 8 枚鱼雷攻击后仍能够处于漂浮状态。这是重视抗冲击防护后取得显著效果的十分典型的范例。

3.2 美海军舰艇抗冲击技术研发情况

在第二次世界大战初期，美国军舰由于舰上火炮发射时产生的冲击造成了舰载电器设备和机械设备出现大量故障。为了解决这类冲击损伤的问题，美军即开始研究舰艇的冲击响应和冲击隔离问题。二战期间，不断改进提高的武器的猛烈炮火以及水中兵器的水下爆炸造成战舰严重的破坏，致使美国在此期间共损失了 47 艘主战舰和 42 艘潜艇。为此，美国海军充分意识到要提高战舰的生命力，不仅要改进结构的设计，而且必须研究和提高舰载设备对水下冲击所产生的严酷的动态响应的抵抗能力。1943 年美国海军舰艇建造局（The Bureau of Ships）组织召开专题研讨会，研究包括战列舰、巡洋舰、驱逐舰、潜艇和扫雷舰艇等在内的舰载电器设备和机械设备的冲击破坏及防护问题。

美国开展大规模的舰艇设备抗冲击试验和冲击隔离设计理论研究则开始于 1946 年，当时利用所缴获的轴心国的大量战舰在太平洋比基尼群岛进行了大规模的实船（水面舰艇和潜艇）水下爆炸试验。试验结果表明，舰艇的薄弱环节在于推进轴系和未经良好抗冲击防护的电子设备，管路也是系统、设备中比较薄弱的部分。在大量实船水下爆炸试验的基础上，美海军进行了广泛、系统的理论研究。从 1947 年正式召开第一届冲击和振动研讨会开始，以后每年举行 1~2 次。1989 年 11 月 14~16 日，由泰勒研究中心水下爆炸研究部召开了第六十届冲击和振动研讨会。此后每年召开一次研讨会，成百名代表参加，发表 70~80 篇论文，内容涉及冲击、碰撞、动态试验、水下爆炸及振动等等。1950 年出版的《水下爆炸研究》1~4 卷汇集了大量的舰艇抗爆研究资料，从爆炸载荷到舰艇的破坏都进行了系统地研究。

1958 年为了应付可能发生的核战争，美国进行了大规模的核武器水下爆炸试验，得到了很多有价值的结论。通过大规模的水下爆炸试验得出了一整套舰艇抗爆、抗冲击设计方法和考核方法，同时也提出了模拟舰艇设备冲击环境的试验考核设施和设备试验考核方法，即 MIL-S-901 系列。

战后美国一直坚持首制舰进行实船水下爆炸验收试验, 试验的内容包括冲击环境测量、装备系统的冲击考核以及数值方法的验证等。美国将这一要求写入了美国法典, 大至航母, 小至护卫舰, 在交船后都必须进行水下爆炸的例行试验, 试验时所有操船人员都在战位上, 既能作为舰艇各系统的抗冲击能力考核手段, 又能作为模拟实战的演习。试验中经常发现即使经过仔细设计的系统、设备也都会存在一些防护缺陷, 这些问题要及时整改, 直到验收通过。实船例行水下爆炸试验的时间通常持续半年左右, 一般说来经过冲击试验考核的单件设备在实船水下爆炸时不会再出现破坏, 然而整个设备系统通常会出现一些问题, 需要在试验过程中进行整改。经过 5 次实弹试验后, 舰艇的抗爆能力都会有明显的提高。美国最新研制的“海狼”级潜艇也计划耗资六千一百万美元进行水下爆炸试验, 爆炸的药量达到 10000 磅(4536 公斤)。

在当代世界各国海军中, 对舰艇及舰载设备抗水下冲击研究水平最高的是美国, 其次是北约、澳大利亚、日本等国家。美海军在抗冲击方面采取了两项独具特色的强制措施, 这也是美国抗冲击技术的独特特征:

一是新研制的或试验期超过 5 年的舰艇设备都必须进行实验室冲击试验(≤ 181 吨)或冲击计算考核, 合格后才可装舰/艇。

二是规定每艘新型研制舰艇在交付使用前都必须进行实船水下爆炸试验考核, 考核不合格不能服役, 必须进行抗爆抗冲击设计, 直至合格。

美海军强调用冲击试验考核舰艇设备抗冲击能力和作为舰艇设备的验收标准。在美国军标中明确规定: 凡设备通过了冲击试验, 也就符合了冲击环境的要求, 即凡设备通过了冲击试验, 也就表明它能承受未来海军实战中的严酷条件。对于那些过重、过大的不能进行试验的设备, 则要求通过理论模型计算来确定其冲击载荷。

为了模拟舰艇机械设备的冲击环境, 美国海军早在 1954 年就制定了军用规范 MIL—S901B, 规定了船用设备和系统强碰撞冲击试验的要求, 用来考核舰艇设备抗冲击能力和作为舰艇设备的验收标准, 并且于 1963 年更新为 901C。根据实战经验和教训, 将原来规定的必须进行冲击试验的设备重量由 30t 提高到 180t。1989 年又将规范更新为 901D。新的规范规定了被试验设备按质量分为三个等级, 分别在轻量级冲击试验机、中量级冲击试验机和浮动冲击试验台上进行, 规范还规定了敲击次数和摆锤的跌落高度。另外, 美国为了考核潜艇的重型设备, 近来还建造了专门用于潜艇重型设备冲击考核的下潜到水下的冲击试验平台。

3.3 欧洲海军舰艇抗冲击技术研发情况

开展舰艇抗冲击实船试验可以提高海军舰艇的抗冲击能力。但是冲击试验需要大量的费用和时间, 投入很大; 而通过冲击建模、仿真预测冲击响应, 并结合部分的冲击试验进行校核是西欧海军普遍采用的方法。

二十世纪七十年代联邦德国海军的 BV043/73 冲击标准, 主要是采用舰艇设备冲击建模和计算的方法考核舰载设备的冲击防护问题。它同时给出了抗冲击设计计算所需的冲击波形、冲击幅值和冲击作用时间。冲击速度和相应的冲击时间按设备重量的不同来确定, 并考虑到舰艇类型的不同(水上, 水下), 安装部位的不同(外部连接, 内部连接), 以及冲击作用方向的不同(垂向、横向、纵向)进行加权。但是 BV043/73 冲击标准建立在较小的冲击载荷、理想半正弦波冲击波形及线性叠加冲击响应的基础上, 由此垂向冲击时, 位移响应仅达 25-30mm; 横向冲击由于规定的载荷小, 故位移响应仅 20mm 左右。在 BV043/73 标准下, 抗冲击元件最大允许垂向位移要求为 35mm。

然而近二十年来, 随着水中兵器的发展, 命中精度的提高和水下爆炸当量的加大对舰艇及其设备的威胁更为严重。特别是英国~阿根廷马岛海战后, 欧、美西方诸国基于海战中舰载设备的损坏及运行情况, 对冲击防护的标准, 即 BV043/73、MIL901C 及设备抗冲击性能等, 进行了全面的评估及分析。西欧一些国家全面冻结了海军新造舰船计划, 先后投入大量的财力、物力进行研究和试验来解决上述问题。在北约海军装备技术委员会(NATOMECE)协调和 BWB 的主持下, 进行了大量的实船试验, 制订了新的冲击、振动和噪声标准, 具有代表性的是德国海军军械局 BV043/85 与 BV045/85, 以下简称 85 标准。法国、美国及北欧诸国均基于 BV043/85 标准建立了相应的独立标准及其执行文件, 如英国的 DEFSTAN07—55 和美国的 MIL901D 都与该标准相互认

可。

1989年后,西方国家海军根据新军标,在冲击计算模型、研制符合新军标要求的隔冲器及舰艇的隔冲设备改装等冲击防护方面做了许多工作:①建立了单层隔振系统非线性冲击计算模型,完成了按BV043/85冲击标准的隔冲系统校核程序。②研制符合新军标要求的隔冲器,以取代现役产品。③对现役舰艇进行了改装,即对所有舰载设备的抗冲击系统进行评估与更新,为此付出了大量的经费。仅1992年至1994年,按上述过程,德国完成了十条潜艇(Noski)、四条水面舰艇(布勃登F123),荷兰完成了潜艇及驱逐舰各一艘,希腊、丹麦等完成了四条水面舰艇的改装任务。④对于海军新造舰船计划解冻后建造的舰艇均采用了符合BV043/85新标准的抗冲击系统。

西方国家海军对于新标准的使用仍是高度控制在保密范围内的,仅在西欧国家海军现役和研制舰艇中才使用最新抗冲击技术。1992年,德国出口澳大利亚的十条潜艇亦采用了85军标。除此以外,凡出口至中东、南亚、东南亚、南美、南非的舰艇中,均是73标准的抗冲击系统。

现在北大西洋公约组织(NATO)仍然每2年安排部分实船作抗爆试验研究。

欧洲海军舰艇抗冲击技术的突出特点是:

- 1.所有装舰设备尽量通过加装隔离支撑来强化抗冲击性能;
- 2.冲击性能考核以标准仿真计算为主,试验为辅。
- 3.计算考核程序和隔离支撑设备标准系列化。
- 4.定期组织实船爆炸试验。

3.4 俄罗斯海军舰艇抗冲击技术研发情况

俄罗斯亦在发展新的抗冲击技术体系,但对有关俄罗斯舰艇设备抗冲击水平的报道较少。自1992年后,俄罗斯曾多次参加在西欧举办的海军技术展览交流和学术会议(1994、1996年法国及英国海军和1995年乌克兰军方展览会)。西欧认为前苏联舰艇在抗冲击技术水平仅达到西欧的七十年代水平。但是从引进的俄罗斯舰艇看,其抗冲击设计的观念也在转变。

俄罗斯已将舰载设备按缓冲固定装置的用途分为:1)减振型、2)抗冲击型、3)抗冲击或减振型、4)防振型、5)防振/抗冲击型等数种类型,并对抗冲击效果、缓冲固定装置的设计及周期等都做出了明确详细的规定。俄拥有设备弹性固定装置的计算程序包,适用于IBM兼容计算机在操作系统Microsoft Windows 95/98环境下工作。

在我国技术人员与俄技术人员进行技术交流的过程中发现,俄技术人员对舰船的冲击薄弱环节在计算和设计中十分重视,具有深厚的抗冲击技术功底。

3.5 亚洲海军舰艇抗冲击技术研发情况

在亚洲,除了日本在舰艇抗冲击方面一直比较重视以外(日本在1930年时便很重视舰艇抗冲击防护工作),很少有关于其他国家抗冲击研究的资料和数据。然而据最新资料显示,韩国海军目前正在进行舰艇水下爆炸冲击试验,以提高舰艇的生命力和战斗力。

4 国外海军舰艇典型抗冲击体系

从冲击考核体系来看,美国、英国、德国、荷兰和法国属于一个冲击考核体系—全面实战模拟考核体系。瑞典的海军舰艇的冲击考核属于另一个体系—典型试验考核体系,实船首制舰的水下爆炸考核只进行100kg黑索金药量的考核,装舰设备只对重量小于2000kg的进行落台冲击机考核,其他设备根据其在舰艇上所处的位置以及它的抗冲击等级,按设计冲击谱进行设计。目前这两个体系有相互交融的趋势。

美国和西欧虽然同属全面实战模拟冲击考核体系,但也有本质的区别。

美国依靠其强大的经济实力,装舰设备均采用军用专门设备,因此 MIL 标准要求上舰的轻型(电子)设备必须连同其标准支撑系统一起进行试验,最后测定设备的响应是否超标;对较重的设备要经过平台或海试。因而在相同的冲击输入量级下,设备本身的抗冲击性能也就成了能否上舰的主要依据,而对其支撑系统的要求则较低。

而以德国为代表的西欧由于经济实力的限制,装舰设备主要选用通用性强,便于市场投标竞争的设备,从设备本身抗冲击能力讲,陆用、舰用相差无几,或设备本身的抗冲击能力不会因标准的更改而有数量级的增长。因此 BV 标准侧重强调依靠弹性支撑系统所具备的较大三向大位移变形能力,来吸收冲击能量。即 BV 标准的着眼点不是设备的抗冲击性能,而是弹性系统吸收冲击能量的能力。所以,满足 MIL 标准的抗冲击隔离器不一定满足 BV 标准,而满足 BV 军标的抗冲击隔离器必然满足 MIL 军标。

另外,在标准形式上, BV043/85 与 MIL 军标一个突出的差异是: BV85 军标不仅是一种规范化的冲击计算程序的说明,同时还包括一个非线性系统的冲击计算程序和一份执行文件。冲击计算程序的规范化,使海军部门在项目指标验收中,既能取得合理、正确的数据,又能减少试验经费及商业纠纷。由于冲击程序本身已经过多次海上试验考核,使之形成舰艇设备抗冲击设计中唯一可以使用的计算方法,其带来的益处是极大的。执行文件为海军部门的指令性文件,随着时间推移, BV 标准文本不用改变,而执行文件中的许多考虑可能会逐年强化(这些参数均为程序本身的输入参数,可以调整、修改),这样就使 BV 军标及其标准程序具备了极大的灵活性。

总之,在抗冲设计中德国与美国海军的主要不同是:(1)根据船体的不同部位,输入的冲击加速度、速度与位移不同,故冲击载荷也分不同级别;(2)中小机组及大部分的电子设备必须采用具有一定位移量的弹性抗冲系统;(3)大量的海上试验及能模拟实船冲击波形的冲击台试验,对弹性的抗冲系统及其元件进行考核;(4)建立标准的计算模型、方法和程序并通过海上试验考核,形成统一的标准程序。

显然,美国海军凭借其强大的经济实力,在舰船抗冲击方面追求的是绝对的安全可靠性,而欧洲由于经济实力有限,加之其海军战略和规模不同,追求的是高效费比下的合适的抗冲击安全性能,对大多数发展中国家来讲,欧洲的做法和策略是合理可取的。

5 国外海军舰艇抗冲击技术研发特点及对我国舰艇装备发展的启示

西方海军强国抗冲击技术的发展可以概括为五个共同特点:(1)研究历史长,始于二次大战末期;(2)冲击标准体系完备;(3)防护隔离元件和装置系统配套;(4)理论、设计、评估方法成熟,模型和软件规范;(5)冲击试验频繁、现役舰艇改装到位。总之,在西方海军强国,以抗冲击性能为核心的生命力与打击能力同等重要;从舰艇概念设计到建造施工都十分重视抗冲击性能的综合设计和生产工艺研究,并与其他性能优化平衡;在研制的每一个阶段都有具体的抗冲击工作实施要求和计划;舰艇抗冲击的设计、校核、评估工作始终贯穿舰艇研制全过程。

西方海军强国长期重视并长期致力于舰艇抗冲击技术的发展,已经建立起系统全面的舰艇抗冲击体系,在提高舰艇生存能力和保障舰艇战斗力方面做了许多工作。他们对舰艇抗冲击技术的重视程度值得我们思考,他们的抗冲击管理机制、抗冲击技术体系(尤其是欧洲)值得我国学习和借鉴。

舰船装备论证阶段的抗冲击要求*

王官祥¹ 张继明² 汪玉²

(1 海军装备研究院规范所 上海 2 海军装备研究院舰船所 北京)

摘 要: 本文论述了舰船抗冲击要求的重要意义,从船体、设备和人员三个方面分析了国内外的现状,提出了在舰船装备论证阶段应提出的抗冲击要求。

关键词: 冲击 舰船论证

1 引言

舰船系统和设备在战斗中受到多种冲击作用,如水中非接触性爆炸、接触性爆炸、空中爆炸及武器发射等引起的冲击作用。

水中非接触式爆炸主要为核弹、水雷或炸弹在水中爆炸。由此产生的强大压力以爆炸点为中心,以球面冲击波的形式在水中传播。处于波及范围内的舰船,其水中的船体上将受到突然施加的冲击力作用,由此而产生突发位移。这种形式的冲击是舰船可能遇到的最严重的冲击形式之一。接触性爆炸是由炮弹、炸弹或鱼雷直接接触船体的爆炸。接触性爆炸在局部释放大量的能量,而非接触性爆炸的能量则是分布广泛的。经验表明,在远离爆炸点处,结构所受到的接触性爆炸冲击的严重程度不如水中非接触性爆炸大。空中爆炸及武器发射等引起的冲击作用主要是航弹在空中爆炸和舰船自己的火炮射击时产生的冲击波,通过空气传递直接作用在暴露的设备上,或作用在安装设备的外舱壁和外甲板上。这样的设备受到中等程度的冲击脉冲。

设备对舰船上上述冲击运动响应会造成一种或几种不利影响。这些不利影响可以归纳为机械损坏、误动作等。

舰船的抗冲击性能是与战斗力、生命力有关的重要性能。世界各国海军都非常重视这一性能。美国海军《舰船通用规范》规定:重量小于、等于约为 23 吨的设备,或重量小于此的装在一个共用底盘座上的成套设备均应在冲击试验机上进行冲击试验。对于重量超过 23 吨的系统和设备,或当实验室的条件(如尺寸等)不允许对某一系统和设备进行冲击试验时,则应进行抗冲击动力学(动态)分析。此外,美国海军还规定:每型首制舰在建成后均须做水下爆炸试验。

如何提高海军舰船装备的抗冲击能力,是一个系统工程。这涉及到舰船装备的论证、设计、建造各个阶段,而论证阶段尤为重要。如果论证阶段根本就没有提出要求,其他阶段的工作就无从做起。相反,如果论证阶段就有了一个明确、合理、全面的要求,就能指导、促进后面阶段的工作。在舰船装备论证阶段中,我们应从船体、设备和人员三方面提出抗冲击要求。

2 冲击环境

冲击环境一般由速度和加速度来表示。联邦德国《舰艇建造规范》BV0430 中规定了半正弦、衰减正弦波形。它们均是时间函数,适合于时域计算。这是世界上多数国家使用的方法。美国海军则规定了一种适合于频域计算的冲击加速度和速度公式,与时间无关,与质量和频率有关。其速度和加速度公式源于经验公式中的“计算设计速度、极限加速度法”的单质量模型。通过引入力学中的动力学(动态)模型,将其推广到多质量系统。

*本文已在《论证与研究》上发表。

我国国军标 GJB1060.1《舰船环境条件要求机械环境》中规定的冲击环境基本上套用了美国的方法。

在运用 GJB1060.1 时需注意的,该标准没有直接给出加速度和速度的值,需要通过模态分析,算出系统的模态质量,然后才能算出速度和加速度。

3 船体的抗冲击要求

船体的抗冲击要求主要应从两方面来提:材料和结构。

材料方面,船体必须能承受大的变形而不断裂或裂开,应尽量使用高强度和高韧性的钢材,不使用脆性材料(例如铸铁)。船体的焊缝应与艇体材料有相匹配的抗冲击强度。

结构方面,力求采用纵向桁条结构。板簧尽量成正方形加固。优先使用对称的肋骨型材。为了避免应力集中,对船体外壳应力变化不均匀的部位(海水进口、排水口)应十分审慎设计。应加强纵梁。力求沿船体纵向的断面模数尽可能均匀分布。

潜艇须有适量的水密舱室。艇体变形不应导致临近艇体处的舱壁破裂。

对潜艇而言,有一个安全半径的概念。在水下爆炸时,使潜艇耐压壳体不产生塑性变形,潜艇耐压壳体距爆心的最近距离 R_a 确定为潜艇的安全半径。可用计算方法或实验方法确定。我国《舰船通用规范》103 章中规定了潜艇的安全半径计算方法。

对具有抗空中核爆炸要求的舰船, GJB1060.1《舰船环境条件要求 机械环境》中作出了规定。

核武器水下爆炸时,耐压船体安全半径计算应按 HJB169 规定的方法进行。

除了上述规范和标准外,我们还可参考美国《舰船通用规范》和《IIN DD993 驱逐舰规范》中“072 章冲击”、美国吉布斯与科克斯公司(Gibbs&COX Inc)为巴西海军编写的《驱逐舰设计指导性文件》及联邦德国 BV0430《冲击安全性》等资料。这些资料比较系统、全面。

船体的冲击试验要求,目前我国海军没有规定。《舰船通用规范》里规定了强度计算要求。

4 设备抗冲击要求

(一) 抗冲击等级

设备抗冲击要求,首先牵涉到划分设备和系统的抗冲击等级的问题。目前将抗冲击等级分为 A、B、C 三类,定义如下:

1.A 级

A 级系指保证舰船的安全和持续作战能力所必需的那些系统、分系统和设备。在舰船受到攻击期间和攻击之后未受重大损毁的条件下,使舰船保持下列能力所需要的设备、系统和装置应定为 A 级:

- (1) 航行能力;
- (2) 导航能力;
- (3) 通信能力;
- (4) 雷达工作能力;
- (5) 声纳工作能力;
- (6) 对海、防空和反潜作战能力;
- (7) 电子对抗作战能力;
- (8) 应急和损管系统的运行能力;
- (9) 海上补给能力;
- (10) 少数医疗设施的工作能力;

(11) 保障上列各项能力所需要的其他系统的运行能力。

除非另行规定, 否则组成 A 级系统或分系统的所有设备均应定为 A 级。

2.B 级

B 级系指对舰船的安全和持续作战能力不是必需的、但可能产生松动而伤害人员、损坏 A 级设备的那些非 A 级系统、分系统和设备。为了便于理解上述定义, 如果由于冲击而使某个设备或其一部分可能造成下列情况者, 则认为该设备为 B 级设备:

(1) 碰撞与伤害 A 级设备操作或管理人员;

(2) 碰撞并引起 A 级设备或系统严重损坏或故障;

(3) 引起 A 级系统和设备电气短路、功能性损毁, 或引起易燃液体、易燃气体或弹药的着火;

(4) 由于内部损坏或由于松动以及与其他物体的碰撞引起有害的、易燃的、放射性的或其他危险性的液体或气体的释放;

(5) 影响 A 级系统所需要的电力、工作液、水或任何其他日用设施的工作, 导致 A 级系统造成重大损坏或误操作。

3.C 级

除 A、B 级以外的设备。C 级设备没有相应的冲击试验或冲击设计要求。

在具体的舰船装备论证中, 应具体规定设备的抗冲击等级。

(二) 设计要求

设备的设计要求很多, 这里列出一些主要的原则, 供参考。

机械设备的耐冲击结构设计的一般原则是: 必须特别注意避免应力集中。

电子设备的外壳设计中要重点注意提高刚性, 使最低的固有频率在 30 至 35Hz 以上。

A 级和 B 级设备的基座, 凡尚未与被安装的设备(或所模拟的设备)一起作过冲击试验的, 均应按动态设计, 使之符合 GJB1060.1 的规定。在基座塑性变形使设备达不到其规定等级, 以及此类变形主要是梁一类构件弯曲的情况下, 可以使用弹塑性设计。其他情况下, 则使用弹性设计。

连续工作应力应与冲击应力合成。各个冲击方向(垂向、横向和纵向)均应单独考虑。

这里需要注意的是, 设计单位往往声称他们在设计中已经考虑了冲击问题, 并已进行了抗冲击设计。实际上他们并没有按规范规定的动态方法进行设计, 而是沿用了以前的静态方法, 即冲击因子等方法, 这是不符合要求的。

(三) 冲击试验要求

目前, 我国只规定了冲击机试验。GJB150.18 中规定, 重量在 13.4t 以下须做冲击试验。实际上, 目前国内只能做 2.7t 以下设备的冲击试验。超过 2.7t 的, 必须按 GJB1060.1 的规定做抗冲击动力学(动态)分析。每型首制舰不要求做水下爆炸试验。今后, 应加强浮动平台的冲击试验方法的研究, 也应进行整舰的冲击试验研究。

这里需要指出的是, 抗冲击动力学分析按不同的方法, 会得出不同的结果。在实际工作中, 必须严格审查, 防止走过场。

A 级和 B 级设备均应按军用规范 GJB 150.18 要求的冲击试验进行抗冲击鉴定。

冲击试验报告均需经海军批准。

1. 减振安装的系统

减振安装的系统或设备, 应与减振固定件(包括缓冲器(减振器)一起进行冲击试验。如果设备准备按刚性固定与减振固定配置二种方式安装在舰上, 则不应与减振固定件一起进行冲击试验。

2. 基座

不要求对基座作冲击试验, 但承制单位可以自己做这类试验。冲击试验时, 被支承的设备应按舰上安装的