

水下爆炸简介

水下爆炸,又称水中爆炸,包括装药、炸弹、鱼水雷等在水中发生的化学爆炸和核武器在水中发生的水中核爆炸。由于常规水中兵器发展和水下防护技术发展的需要,人们对水下化学爆炸已有较为清晰的认识,一般认为包括装药的爆轰、冲击波的产生和传播、气泡的脉动和溃灭三个明显物理过程,其中后两个过程会受到自由表面、水底、侧壁、障碍物等流场边界的强烈影响,产生极其丰富而有趣的变化,反之也会对这些边界产生极其复杂的力学作用,这也引起了人们对水下爆炸问题研究的极大兴趣。

水下爆炸的研究始于19世纪。两次世界大战期间,大量舰船因水下爆炸而破坏、沉没,使得人们对水下爆炸的破坏威力有了深刻认识。二战后,美、苏两国利用缴获舰船大量开展水下爆炸试验,建立半经验计算公式,形成了较为系统的理论。1960年,美国科学家Cole在所著的《水下爆炸》一书中,清晰描述了爆炸冲击波、气泡脉动等主要现象及其变化规律,至今仍被公认为经典之作。1973年,苏联科学家Zamyslyayev等在所著的《Dynamic Loads in Underwater Explosion》一书中,进一步建立了包含气泡脉动过程的水中压力波的解析表达式,分析给出了自由面和底部效应、绕射效应、空化效应、冲击波和结构之间的相互作用特性。20世纪60年代以来,随着计算机技术的进步,关于水下爆炸问题的数值计算方法研究和水下爆炸问题的数值模拟研究方兴未艾,大大拓展了水下爆炸问题研究范围,加深了对其物理过程的认识。

20世纪80年代以来,水下爆炸逐渐成为我国学者的重要研究方向,在水下爆炸能量输出结构、水下爆炸载荷及其预报方法、水下爆炸实验测试技术、气泡脉动与溃灭规律、船体结构毁伤效应、舰船冲击环境等多个领域均取得了一定进展。然而,由于问题的复杂性,水下爆炸研究中还存在多个尚待进一步研究的问题:

(1)近场与接触爆炸载荷方面。经典水下爆炸理论对于近场爆炸(1倍药包半径以内)载荷没有给出有效的理论和计算方法,实验测试亦存在诸多困难。近距爆炸气泡脉动导致的冲击载荷计算尚无有效方法,气泡塌陷溃灭射流的形成条件、机理以及所产生的载荷定量计算尚不够完善。水中接触爆炸下,爆轰产物、水介质、船内空气介质等多种流体会与船体结构会产生强烈的流固耦合作用,并使船体外层结构产生破损,弹塑性不连续边界下气泡的膨胀扩散与脉动特性,外层结构破片、爆轰产物与水介质对内层结构的作用载荷等问题尚无可靠的计算方法。

(2)船体结构毁伤特性与计算方法方面。相对于舰船总体强度和局部强度,水下爆炸对舰船船体也会产生总体性和局部性的变形破坏。舰船局部结构在水下爆炸载荷作用下的毁伤计算主要集中在求解冲击波载荷作用下结构残余变形方面,关于气泡载荷(包括气泡脉动压力和射流载荷)作用下舰船局部结构的塑性变形研究较少,关于近场爆炸作用下结构破口计算仍以经验公式为主,船体局部结构的变形破坏模式、局部冲塞和破口花瓣开裂的理论计算方法等尚需结合现代舰船结构特性进一步完善。而船体总体性变形则以静态计算为主,对于船体“鞭状”振动响应与中拱、中垂失效缺乏动力学计算手段。针对水下近场与接触爆炸的双层船体、多舱结构等防护结构形式,尚无成熟的计算分析方法。

国务院学位委员会第七届船舶与海洋工程学科评议组成员

海军工程大学教授

朱锡