

水面舰艇生命力

张耀祖
陈 华 编
林荣国



海 军 工 程 学 院

一九八九年十二月

水面舰艇生命力

张耀祖 陈 华 林荣国编

海军工程学院

一九八九年十二月

水 面 舰 艇 生 命 力

张耀祖 陈 华 林荣国 编

海军工程学院教材处 出版

海军工程学院印刷厂 印刷

(此书系华光Ⅳ型激光照排)

787×1092毫米·1/16开本·20.8印张·532.8千字

1989年12月第一版第一次印刷

印数1—3000册

院内统一书号 89205.59

定价:6.84元

前 言

由于本院水面舰艇机电管理专业课程设置与课程内容的变迁,按照水面舰艇机电管理和维修专业的教学大纲,在陈仁铃、隆玄民等同志合编的《水面舰艇生命力》教材的基础上重编的。

在编写过程中,我们注意与《舰船原理》课程的衔接,注意加强生命力观点,坚持理论联系实际的原则,吸取国内外的新成就以及地方和部队使用训练的实践经验。同时,结合机电管理干部的需要,补充了“稳性规范”,“舰艇生命力计算方法”等内容。

本书可作为水面舰艇机电管理,电器设备管理,舰艇管理工程等专业本科学员的教材,也可供海军装备论证、维修、监用部门和机电业务干部以及舰艇各级指挥员参考。

本书第二、三、四章由张耀祖主编;第一、五章由陈华主编;第六、七章由林荣国主编。全书由张耀祖、陈华审订。

由于我们水平有限,编写时间仓促,有些内容的教学实践经验较少,书中一定会有不少缺点和错误,恳切希望读者不吝指正,深表谢意。

编 者

1989年12月于海军工程学院

绪 言

战争的基本原则是保存自己,消灭敌人。一切技术的、战术的、战役的、战略的原则,都是执行这个基本原则时的条件。舰艇作为海上的作战工具,不仅应拥有强大的攻击手段,能够进攻和打击敌人,消灭敌人,同时还应具备良好的防御能力,防御敌人的进攻,最大限度地减少敌人的打击,以保存自己,取得战争的胜利。舰艇生命力就是指舰艇在遭受敌人攻击时,仍能有效地维持自己使命的能力。舰艇生命力是舰艇防御力的一个重要方面,是构成舰艇战斗力的重要因素之一。

在现代海战中,对舰艇的威胁可以来自海上、空中和水下。可以是炮弹、导弹、火箭和炸弹对舰艇的击穿和杀伤作用;也可以是鱼雷、水雷等在水下的接触爆炸和非接触爆炸对舰艇的强烈冲击破坏作用;还可以是核武器在空中、水面或水下爆炸对舰艇造成巨大的机械性冲击破坏以及化学性(沾染和放射性微粒)破坏。舰艇生命力的使命就是要战胜和削弱这些威胁,有效地保存自己从而为消灭敌人提供必要的条件。因此,从广泛的意义上看,舰艇生命力可以包含很大的范围,它的研究不仅包含舰艇遭到破损后的不沉性、机动性、船体的破损强度、武器和技术装备的抗损性、防火防爆、损害管制、舰艇防护和人员防护等方面;还包含消磁、消声,抗导弹系统、电子干扰、电子对抗及隐身术等等,以达到减少命中、减少发现保存自己的目的。

随着科学技术的飞跃发展,提高舰艇生命力是一个极复杂的课题。它涉及到很多学科,世界各国都企图应用系统工程的方法来解决。近十年来,经过潜心研究,应用系统工程的理论、概率数学和模糊数学的方法、应用计算机技术,提出了对舰艇生命力进行综合评估方法,已使舰艇生命力的研究从定性过渡到定量阶段。尽管方法不很完善,但为舰艇论证、设计提出了舰艇生命力指标,以保障舰艇具有较强的生命力。

本教程不可能在很广泛的范围内去研究舰艇生命力,不少内容已有专门的科学分支。在武器装备愈趋复杂,科学技术分工愈趋完臻的今天,任何一门科学都不可能包罗万象。因此,我们只能从狭义的范围去研究舰艇生命力。我们把舰艇生命力定义为:“舰艇抵抗各种破损灾害,最大限度地保持与恢复其航行与作战的能力”。也就是说把舰艇生命力的研究范围限制在对各种破损灾害的斗争。

从海战和海损事故的实例来看,舰艇造成的灾害主要表现在:使舰艇破损进水,甚至倾覆或沉没;使舰艇着火或爆炸;破坏各种技术装备;对舰员进行杀伤和毒害。从第二次世界大战中661艘各类战斗舰只的实例看(见下表所列的统计数字),破损的类型主要是使不沉性降低,火灾和爆炸,技术器材损伤等。

军舰的典型破坏(按舰种分类)

破损类型	航空母舰	战列舰	巡洋舰	驱逐舰
不沉性降低	63 艘 47%	81 艘 55%	71 艘 45%	88 艘 40%
强度破坏	—	2 艘 1%	11 艘 7%	20 艘 9%
技术器材损坏	38 艘 28%	47 艘 32%	57 艘 36%	88 艘 40%
火灾和爆炸	34 艘 25%	18 艘 12%	19 艘 12%	24 艘 11%
共 计	135 艘	148 艘	158 艘	220 艘

为了抵抗各种破损灾害,保障舰艇生命力的工作必须建立在预防的基础上。在平日,损害未发生之前,必须遵守以防为主的原则,无论在设计结构上,器材配置上、舰艇机动和舰员行动上,都设法防止灾害发生,或使灾害发生的可能性最小,这就是“预防”的问题。在破损灾害发生后,应极力限制其蔓延,使其局限在最小的范围内,产生的影响与后果最小,这就是“限制”的问题。已经发生了灾害,最好是立即消除其影响,恢复舰艇的正常状态,这就是“消除”的问题。对破损灾害的“预防、限制、消除”是保障舰艇生命力的基本原则。

保障舰艇生命力的工作贯穿在从舰艇设计到舰艇整个服役过程之中,舰艇设计者和使用者都应根据“预防、限制、消除”这个基本原则,从三个途径来提高舰艇的生命力,这包括原始设计和改装设计时,进行舰艇生命力论证,保证舰艇、装备、系统具有良好的生命力;从组织技术措施上保障舰艇生命力,就是从人员的严密组织和技术器材的正确管理使用措施上保障生命力,从斗争活动上保障舰艇生命力。

在舰艇上,一切保障舰艇生命力的活动,统称为舰艇损害管制。《舰艇损害管制条例》中明确规定:保障舰艇生命力是全体舰员共同的战斗职责。舰首长对全舰的损管工作实施组织指挥。机电长除领导本部门损管外,还应协助舰首长具体组织领导全舰性损管。因此,对保障舰艇生命力的基本原则,是舰首长和机电长必须掌握的,以便在平时能正确运用生命力观点分析掌握本舰的生命力状况,考虑如何充分发挥其优点,避免和弥补其弱点,使舰艇具有最大的抵抗破损灾害的能力;能正确地向舰员进行保障舰艇生命力方面的教育和损管训练。在发生破损灾害情况下,能熟练地运用保障舰艇生命力的基本原则和方法,沉着地组织领导舰员与破损灾害作斗争,取得损管的成功和战斗的胜利。

本教程主要讲授武器对舰艇的破坏作用;舰艇不沉性以及保障舰艇不沉性的技术措施;保障技术装备生命力的基本原则;防火防爆;损害管制的组织指挥等。

目 录

第一章 武器对舰艇的破坏作用

- 第一节 概说..... (1)
- 第二节 爆炸现象及特征..... (3)
- 第三节 炸药空中爆炸..... (6)
- 第四节 普通装药武器空中爆炸对舰艇的破坏作用及其防护 (13)
- 第五节 炸药水中爆炸 (17)
- 第六节 普通装药武器水中爆炸对舰艇的破坏作用及其防护 (23)
- 第七节 各种武器弹药对军艇的杀伤效果 (27)
- 第八节 核武器爆炸对舰艇的破坏作用及其防护 (32)

第二章 抗沉文件和稳性衡准

- 第一节 抗沉文件及其应用 (49)
- 第二节 稳性衡准和提高稳性的措施 (64)

第三章 舰艇平日防沉

- 第一节 合理装载 (69)
- 第二节 舰艇抗风浪性计算 (92)
- 第三节 舰艇搁浅与脱浅 (97)
- 第四节 舰艇进出坞..... (107)
- 第五节 舰艇拖带..... (112)

第四章 保障舰艇不沉性

- 第一节 破损进水后的浮性稳性..... (120)
- 第二节 不沉性恶化的影响和不沉性指标..... (134)
- 第三节 保障舰艇不沉性的结构措施..... (136)
- 第四节 保障舰艇不沉性的组织技术措施..... (146)
- 第五节 为舰艇不沉性而斗争..... (150)

第五章 舰艇技术装备生命力

- 第一节 主动力装置生命力..... (174)
- 第二节 主动力装置所属辅机的贮备与布置..... (194)
- 第三节 动力管系生命力..... (198)
- 第四节 电能装置生命力..... (208)
- 第五节 动力装置抗冲击振动..... (254)
- 第六节 动力装置的战斗使用..... (255)

第六章 舰艇防火防爆

- 第一节 燃烧和爆炸的一般概念..... (265)
- 第二节 舰艇构造上的防火防爆..... (270)

第三节	舰艇消防装备·····	(275)
第四节	舰艇灭火基本原则·····	(297)
第五节	舰艇日常防火防爆·····	(299)
第七章	舰艇损害管制组织	
第一节	舰艇损管组织·····	(304)
第二节	损管指挥·····	(307)
参考文献		

第一章 武器对舰艇的破坏作用

第一节 概 说

舰艇生命力的不断发展,直接与武器和技术装备的发展紧密相联。因此,研究舰艇的生命力,首先应了解各种武器的特点及其对舰艇的攻击方式和破坏作用。

攻击舰艇的武器,从历次海战及科学技术的发展来看,主要有火炮、鱼雷、水雷、深水炸弹、炸弹、导弹及核武器等。随着人类社会的发展,生产力和科学技术水平的不断提高,特别是在历次战争的直接推动下,这些武器也随之不断地加以完善和发展。

舰炮历史最悠久(600余年)。从发展过程来看,其战斗作用有明显缩小的趋势。在1914~1918年的第一次世界大战中,被舰炮击沉的大中型水面舰艇占27%,而在1941~1945年的第二次世界大战中,被舰炮击沉的大中型水面舰艇占18%多一些。第二次世界大战过程中,由于航空母舰和航空兵的巨大作用,宣布了大量巨炮时期的结束。第二次世界大战后,加之反舰导弹的诞生和不断发展,舰炮的作用进一步降低。战列舰这一排水量最大、舰炮最集中的舰种已被淘汰,退出现役。其余舰种上的火炮,也有不少被导弹所代替,到现在为止,舰炮都在130毫米以下。过去曾作为海战中主要攻击武器的舰炮,现在其使命则发生了根本变化,由攻击转为主要用于防御。然而对130毫米以下的舰炮,还不能完全取代,这有两方面的原因:一方面在距目标25公里(130舰炮的最大射程)以内,由于对方电子战、假目标的干扰,以及导弹的射击死区、发射第一发导弹以后再发射导弹的困难、可靠性和导弹系统造价等原因,舰对舰导弹与130毫米以下舰炮并用是不可缺少的;另一方面,在距离目标13公里以内,舰炮的命中率相当高,加上炮弹的造价低,使用舰炮系统最有利,没有必要使用导弹。况且对130毫米以下的舰炮,大体上都能高平两用,自动跟踪。对轻型舰艇,选用爆破弹和穿甲弹能够充分击破。所以,在一定条件下,舰炮对舰艇生命力仍有一定的威胁。

水雷出现于十九世纪初叶。1904~1905年的日俄战争中,布设了6365颗;1914~1918年的第一次世界大战中,布设了310,000颗。炸沉军舰202艘,商船586艘。总共炸沉各类舰船788艘。在被击沉的水面舰艇总数中,有40%因触雷沉没。在第二次世界大战中,自1941年~1945年间,共布设了约80万颗水雷,被炸沉的大、中型水面舰艇34艘,占总数的5%。炸沉炸伤各类舰船约3780艘。1945年美国对日本布设了13000颗水雷,四个半月内炸沉炸伤日本各类舰船670艘,占日本当时舰船的四分之三,造成了日本海交通瘫痪。日本被炸沉炸伤的战斗舰艇146艘,其中沉没者主要是小型舰艇,战列舰、巡洋舰和航空母舰没有因触雷而沉没。1950年9月,朝鲜人民军在抗击美军元山登陆战役中,布雷3000颗,炸沉炸伤美舰船9艘,美登陆部队被迫徘徊于日本海,登陆时间推迟8天。从历史上看,第一次世界大战时期,是水雷作用的高峰,在水面舰船因各种原因而遭到的损失中,触雷的损失占首位。水雷的突出缺点是它的被动性和消极性。第二次世界大战后,为克服水雷的不足,提高其性能,各国都在大力开展舰船物理场在水雷中的应用研究,积极研制特种水雷,制造新型的非触发水雷,如遥控水雷、自动上浮

水雷、“拍手”水雷、反潜水雷等。因此，在近代或未来的海战中，水雷仍不失其战斗作用。

鱼雷是海军所特有的纯海军武器，其使用规模在每次相继发生的战争中都有增加。在第一次世界大战中，发射了 1500 条鱼雷；而在第二次世界大战中，总共发射了 30000 条鱼雷，超过第一次世界大战的 20 倍。在鱼雷出现的初期，被它消灭的舰船是不多的，直到第二次世界大战，鱼雷的战斗作用得到了巨大的发挥。在第一次世界大战中，总共沉没了 351 艘舰艇，其中被鱼雷击沉的有 79 艘（战列舰 14 艘、巡洋舰 26 艘、驱逐舰 39 艘），占 23%。值得注意的是，大型军舰中有 49% 是被鱼雷击沉的。在第二次世界大战中，各军各兵种的鱼雷武器共消灭了 369 艘水面舰艇（包括 6 艘战列舰、19 艘航空母舰、45 艘巡洋舰、110 艘驱逐舰），占被消灭舰艇的 38.5%。此外被鱼雷和其他武器共同击沉的水面军舰占 7.5%。鱼雷是第二次世界大战中消灭水面舰艇最多的海军武器之一（同航空炸弹不相上下）。第二次世界大战时期的鱼雷，原则上说都是不能自动寻找目标的鱼雷，叫做直航鱼雷。直航鱼雷航程越远误差越大，当时的补救办法是多发射，往往是雷群式的。第二次世界大战后，鱼雷有了许多新发展，主要在制导方式上有个突变，先后原则上都能自动寻找目标。在装药品种上，都采用了威力等于梯恩梯 1.6~1.7 倍的混合装药，在鱼雷的品种上，增加了一种反潜鱼雷。说穿了，现代鱼雷实际上就是一种“水下导弹”，对舰艇有着很大的威胁。

航空炸弹用于袭击军舰的历史是比较短的，但发展却很快。轰炸机是在第一次世界大战前不久和第一次世界大战中开始使用的，当时主要应用于德、英、法之间，彼此轰炸对方的首都巴黎、伦敦和柏林。航空母舰的出现，起到了活动飞机场的作用。1917 年英国开始由巡洋舰改装航空母舰，1918 年用以攻击德国的飞机库。第一艘正式的航空母舰于 1922 年建成，仅二十年的时间，这一舰种就发展成了战舰的中心。它迫使战列舰不仅让出主力舰种的宝座，且并同战后出现的舰载反舰导弹一起迫使战列舰退出历史舞台。在第二次世界大战中，由航空炸弹击沉的大中型水面舰艇就有 183 艘，占各类海军武器击沉大中型水面舰艇的 26%；由炸弹同鱼雷、炮弹共同击沉的大中型水面舰艇占 7%。如上所述，航空炸弹同鱼雷一样，是击沉大中型水面舰船最多的武器之一。由航空炸弹炸伤的大中型水面舰艇则更多，接近各类海军武器击伤数的一半。航空炸弹一经登上历史舞台，仅隔 20 年，不论是就炸弹自身而言，还是在诸海军武器之间相比，都占据了其作用的高峰。第二次世界大战后，主要资本主义国家在大力发展核弹的同时，仍然在继续改进和发展普通炸弹。如新型超音速炸弹，低空高速轰炸用的减速炸弹（专为低空高速水平轰炸而发展的一种装有减速装置的炸弹），制导炸弹等。制导炸弹的命中精度达 70% 以上，比普通炸弹提高十倍以上。尽管在现代条件下暴露出普通航空炸弹在命中准确性和投弹飞机安全方面的缺点，但制导炸弹和导弹的出现绝不能意味着普通炸弹无用或可有可无。航空炸弹对舰艇生命力仍具有很大的威胁。

反舰导弹是在第二次世界大战后新发展的一种海军武器。反舰导弹指的是舰对舰导弹、空对舰导弹、潜对舰导弹和岸对舰导弹。到七十年代后期，拥有舰对舰导弹的国家已达 30 多个，已研制出的舰对舰导弹有 20 余种，装备的舰艇有 460 多艘，其中大约 60% 以上是快艇一类的小型舰艇。若把空对舰、岸对舰、潜对舰的导弹加在一起，拥有反舰导弹的国家，导弹的种类，导弹的运载系统应该更多。六十年代中期以后，从国外发生的比较著名的海战看，如 1967 年第三次中东战争的海上战斗，1971 年印巴战争的海上战斗，1973 年第四次中东战争的海上战斗，1982 年的马岛海战等。它们都是以反舰导弹为主要进攻手段。反舰导弹已开始成为打击水面舰艇的主要武器。反舰导弹的发展，迅速取代了火炮在海军武器中达几世纪之久的主导统治，

使得各国海军的战略战术发生根本性的变化。导弹同火炮相比,不论是在射程、威力方面,还是在命中精度方面,都有明显的优越性。国外有人认为,一次齐射发出的6枚导弹所能达到的效果,等价于35000门中口径火炮一次齐射所放出的炮弹的效果。美国有人认为,在水翼艇装备“捕鲸权”导弹后,其火力等于第二次世界大战时战列舰的火力。目前,世界各国都已普遍装备了反舰导弹武器。导弹已成为对舰艇生命力的主要威胁。

第二次世界大战后期,出现了破坏威力巨大的原子武器。但到目前为止,原子武器在海战中还没有实际使用过。但从原子武器爆炸试验时对舰艇的破坏作用看,其对舰艇生命力有着致命的威胁。

尽管各种武器的威力以及对舰艇的破坏作用相差很大,但其爆炸作用原理却有着共同之处。本章主要介绍普通装药武器空中爆炸和水中接触与非接触爆炸对舰艇的破坏作用及破坏特征,原子武器对舰艇的破坏作用和各种弹药武器对军舰的损伤效果等内容,以使读者建立一个武器对舰艇及其技术装备的破损概念和定量关系,从而拟定较为符合实际情况的破损想定,以便在舰艇的设计、建造和管理使用中做出相应的对策,最大限度地保障和提高舰艇以及技术装备的生命力。

第二节 爆炸现象及特征

一、各种爆炸现象

一般而论,爆炸系指一种极为迅速的物理或化学的能量释放过程。在此过程中,系统的内在势能转变为机械功及光和热的辐射等等。爆炸对外作功的根本原因就在于系统原有高压气体或爆炸瞬间所形成的高温高压气体或汽泡的骤然膨胀。

再者,爆炸的一个重要特征是使爆炸点周围的介质发生急剧的压力突跃,而这种压力突跃恰是爆炸破坏作用的直接原因。

爆炸可以由各种不同的物理现象或化学现象而致。就引起爆炸的性质来看,其现象大致可分为如下几类:

1. 物理爆炸现象

蒸汽锅炉或高压气瓶的爆炸均属此类。这是由于过热水迅速转变为过热蒸汽造成的高压冲破容器阻力引起的,或是由于充气压力过高,超过气瓶强度发生破裂而引起的。再如地震、强火花放电(闪电)等现象,也是一种物理爆炸现象。

2. 化学爆炸现象

炸药的爆炸以及甲烷、乙炔以一定的比例与空气混合所产生的爆炸,均属化学爆炸现象。

炸药爆炸进行的速度高达每秒数千米到万米之间,所形成的温度约3000~5000℃,压力高达数十万个大气压,因而能迅速膨胀并对周围介质作功。

3. 核爆炸

核爆炸的能源是核裂变(如 U^{235} 的裂变)或核聚变(如氘、氚、锂核的聚变)反应所释放出的核能。

核爆炸反应释放出的能量比炸药爆炸放出的化学能大许多倍。核爆炸可形成数百万到数千万的高温(℃),在爆炸中心区造成数百万大气压的高压,同时还有很强的光和热的辐射以及

各种粒子的贯穿辐射,比炸药爆炸具有大得多的破坏作用。核爆炸的能量约相当数万吨到数千万吨标准炸药 TNT 爆炸的能量。

对舰艇能够构成一定威胁的爆炸主要是炸药爆炸和核爆炸,所以本章重点研究炸药爆炸现象及其规律性和各种弹药武器对舰船的损伤效果。

二、炸药爆炸的基本特征

从热力学意义上说,炸药是一种相对地不稳定系统,即它在外界因素作用下,能够发生高速的放热反应,同时造成强烈的呈压缩状态的高温高压气体。例如,一个炸药包用雷管引爆时,人们看到,炸药包瞬时化为一团火光,形成烟雾并产生轰隆巨响,在爆炸附近形成一股强烈的爆炸风,使周围的物体或被破坏或受到强烈振动。

分析这一爆炸现象:一团火光表明炸药爆炸过程是放热的,因而形成高温而发光;爆炸瞬间完成说明爆炸过程的速度极高;仅用一个小雷管即可将大包炸药引爆,说明雷管爆炸后炸药中所产生的爆炸化学反应过程是能自动传播的;烟雾表明炸药爆炸过程中有大量的气体产生,而气体的迅速膨胀则是使物体发生破坏或震动的原因。

综上所述,炸药爆炸过程具有三个基本特征,即过程的放热性,过程的瞬时性,过程中生成大量的气体产物。三个条件是什么炸药爆炸必须具备的。三者互相联系,缺一不可。否则,炸药也就失去了它的效力。

1. 反应过程的放热性

放热性是炸药爆炸反应必须具备的第一个条件,没有这个条件,爆炸过程就根本不能发生。只有首先具备放热反应的物质才可能具有爆炸性。

爆炸反应过程中所放出的热称为爆炸热(或爆热)。其大小是爆炸破坏作用的根据,是炸药爆炸做功能力的标志。因此,它是炸药的一个极为重要的参数。一般的,普通炸药的爆炸热约在 900~1800 大卡/公斤左右。

2. 瞬时性

爆炸反应同一般化学反应相比,有一个最突出的不同点,就是爆炸过程的极高速度——即瞬时性。一般化学反应也可以放热,而且有许多普通化学反应放出的热量比炸药爆炸时放出的热量大的多,但它们并未能形成爆炸现象,其根本原因就在于它们的反应过程进行得很慢。例如煤块燃烧反应的放热量为 2130 大卡/公斤,一公斤 TNT 的爆炸热只有 1093 大卡/公斤。前者反应完了所需的时间为数分钟到数十分钟,而后者仅仅需要十几到几十微秒,时间相差数千万倍。

由于炸药爆炸反应速度极高,只需在(10^{-5} ~ 10^{-6})秒内就可完成反应。因而实际上可以近似地认为,爆炸反应所放出的能量全部聚集在炸药爆炸前所占据的体积内,从而造成了一般化学反应所无法达到的能量密度(参看表 1-1)

表 1-1 某些炸药和燃料混合物的能量密度

炸药或燃料混合物名称	每升炸药或燃料混合物的能量密度(大卡/升)
硝化甘油	2380
T·N·T	1626
碳与氧的混合物	4.1
苯蒸汽与氧的混合物	4.4

炸药或燃料混合物名称	每升炸药或燃料混合物的能量密度(大卡/升)
氢与氧的混合物	1.7

注:表中引用的燃料能量密度是根据如下假设计算的:即假定这些物质是在其原先占据的体积内完成反应的。

从表 1-1 所列数据可知,炸药爆炸所达到的能量密度要比一般燃料燃烧所达到的能量密度高数百倍乃至数千倍。正是由于这个原因,炸药爆炸才具有巨大的能量和强烈的破坏作用。

爆炸过程进行的速度,一般是指爆轰波在炸药装药中传播的直线速度,这个速度称为炸药的爆速。一般炸药的爆速大约在每秒数千米到一万米之间。

从本质上讲,爆轰波就是沿爆炸物传播的一种强冲击波。与一般冲击波的主要不同点在于,在其传过后,爆炸物因受到它的强烈冲击作用而立即发生高速化学反应,形成高温高压的爆轰产物并释放出大量的化学反应热能。所释放出来的这些能量又供给爆轰波对下层爆炸物进行冲击压缩。因此,爆轰波就能够不衰减地稳定传播下去。可见,爆轰波乃是后面带有一个高速化学反应区的强冲击波。

在爆轰过程中,前沿冲击波面与后面的化学反应区是以相同的速度沿爆炸物传播的,该速度称为爆轰波的传播速度,简称爆速,以 D 表示,见图 1-1 所示。对于一定装药密度的炸药,其爆速是一个特定值。例如密度为 1.59 克/厘米^3 的 TNT,其爆速约为 6900 米/秒 左右。

3. 反应过程中必须形成气体产物

气体产物是炸药在爆炸过程中所产生的一种物质,这种物质是由固体或液体炸药定容地进行高速化学反应而转化成的高温高压气体——常称之为爆炸产物。

炸药爆炸时之所以能够膨胀做功并对周围介质造成破坏,根本原因之一就在于,炸药爆炸瞬间有大量气体产物生成。假如一个反应过程不能产生大量的气体产物,那么爆炸瞬间就不能造成高压状态,因此也就不能产生由高压到低压的膨胀过程及爆炸破坏效应。这首先是因气体在标准状态条件下密度比固体和液体物质要小得多,而在爆炸瞬间,炸药则是由固体立即定容地转化为气体,再加之反应的放热性,而使气体处于强烈的压缩状态,形成高温高压。其次,气体与固体和液体物质相比具有大得多的体积膨胀系数,这使得气体成为爆炸做功的优质工质。炸药爆炸过程正是利用气体的这种特点将炸药的势能迅速地转变为爆炸机械功,从而产生爆炸破坏效应。

一般情况下,气体产物的温度——称之为爆温,可达 $3000 \sim 5000^\circ\text{C}$,压力——称之为爆压,高达数十万大气压。

由上面的定性讨论可以得出结论:只有具备以上三个特征的反应过程才具有爆炸特性。因此,我们可以对炸药的爆炸现象作如下解释:炸药的爆炸现象是一种以高速进行的能自动传播的化学反应过程,在此过程中放出大量的热并生成大量的气体产物。

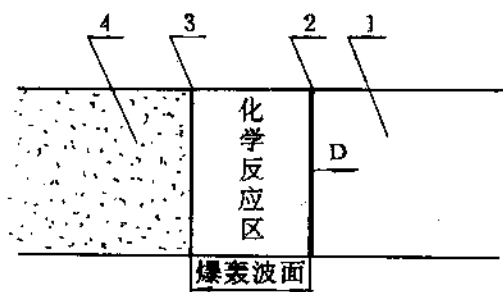


图 1-1 爆轰波面示意图

- 1—原始爆炸物 2—前沿冲击波面
3—反应区终止断面 4—爆炸产物

三、常用炸药特性

常用普通炸药有下列几种:

1. 梯恩梯。学名三硝基甲苯,化学分子结构为 $C_7H_5O_6N_3$,简写 TNT,是一种标准烈性炸药。

2. 黑索金。学名环三次甲基三硝胺,化学分子结构为 $C_3H_6O_6N_6$,简写 RDX。黑索金经常与 TNT 及其它炸药混合制成其它烈性炸药,如梯黑铝(TTA)就是由 60%的 TNT、24%的 RDX 和 16%的铝粉混合制成。

3. 特屈儿。学名三硝苯酚甲硝胺,化学分子结构是 $C_7H_5O_6N_3$,比梯恩梯灵敏,常用作传爆药。

4. 泰安。学名四硝酸戊四脂,化学分子结构为 $C_5H_8O_{12}N_4$,简写 PETN,比特屈儿更灵敏,常用作引爆药。

普通常用炸药的爆炸参数见表 1-2

表 1-2 某些常见炸药的爆炸参数

炸药名称	装药密度	爆温	爆压	爆速	爆热	气体产物体积
	克/厘米 ³	K	千巴	毫米/微秒	大卡/公斤	升/公斤
黑索金	1.80	4040	347	8.75	1510	908
特屈儿	1.70	2920	251	7.58	1160	760
泰安	1.67	3010	300	7.98	1487	790
梯恩梯	1.64	2937	190	6.95	1093	740

第三节 炸药空中爆炸

一、基本物理现象

当炸药在空气中爆炸时,其周围介质直接受到具有高温、高速、高压的爆炸产物的作用。在装药和介质的界面处,爆炸产物以极高的速度向周围扩散,如同一个超音速活塞一样,强烈地压缩着相邻的介质——空气,使其压力、密度、温度突跃式的升高,形成初始冲击波。与此同时,由于相邻介质——空气的初始压力和密度都很低,因而就有一个稀疏波从界面向爆炸产物内传播。因此,爆炸产物在空气中初始膨胀阶段同时出现两种情况:向爆炸产物内传入稀疏波,在空气介质中则形成初始冲击波。

爆炸产物这个“活塞”最初以极高的速度运动,由于能量的传递和损耗,它的速度很快衰减,一直到零为止。当爆炸产物膨胀到某一特定体积(有的称之为“极限体积”)时,它的压力降至周围介质未扰动时的初始压力 P_0 ,但爆炸产物并没有停止运动,由于惯性作用而过度膨胀,一直到某一最大容积。此时爆炸产物的平均压力低于介质未经扰动时的初始压力 P_0 ,出现了“负压区”。出现负压后,周围介质反过来对爆炸产物进行第一次压缩,使其压力不断增加。同样,由于惯性作用产生过度压缩,爆炸产物的压力又稍大于 P_0 ,并开始作第二次膨胀——压缩脉动过程。经过若干次脉动后,最终停止,达到平衡状态。对空气而言,有实际意义的只是第一次膨胀——压缩脉动过程。

爆炸产物与空气的界面最初是分开的。以后,由于脉动过程,特别是分界面周围产生涡流等作用,使界面愈来愈模糊,最后与介质混在一起。

通常认为,爆炸产物停止膨胀往回运动时,空气冲击波就与爆炸产物脱离,并独自向前传播。两者脱离的距离很难精确确定。对球形装药爆炸时,近似地认为发生在 $10\sim 15$ 倍装药半径 r_0 处,平均可取 $12r_0$ 。这时,空气冲击波波阵面压力为 $10\sim 20$ 公斤/厘米²,波的传播速度 $D=1000\sim 1400$ 米/秒,波阵面后的质点流动速度 $u=800\sim 1200$ 米/秒。空气冲击波在传播过程中,在介质中存在着一个已受扰动区和未受扰动区的分界面,此分界面称为冲击波波阵面。如果在离爆炸点不同距离处放置压电传感器进行压力测定,则可以得到如图 1-2 所示的结果。中心为药柱爆炸前的位置,中间是压力不大的爆炸产物,最外面为空气冲击波波阵面,其压力最大,称之为峰值压力。波阵面后压缩区压力衰减很快,在压缩空气层之后有一负压区(又称稀疏区),其压力低于未经扰动介质的压力 P_0 。

如果我们在距爆心 r 处进行压力测定,则冲击波通过后就测得该点空气冲击波(有时称爆炸冲击波或爆炸波(Blast Wave),以区别于其它冲击波。一般认为爆炸波是指由正压区与负压区构成的冲击波)超压 ΔP 随时间 t 变化的曲线。典型的空气冲击波波形如图 1-3 所示。空气冲击波到达该点的瞬间,介质压力由 P_0 突跃到 P_1 ,随后压力很快衰减,经过 t_+ 时间后压力低于未经扰动介质的压力。通常把这种冲击波称为理想空气冲击波,其中 AB 段为正压区,BC 段为负压区。对于带壳装药或战斗部来说,空气冲击波的 $\Delta P(t)$ 曲线不再象图 1-3 那样光滑了,上面往往叠加着一系列的小压力扰动。因为壳体破裂后形成许多超音速破片,破片穿过空气时,其周围产生弹道波。

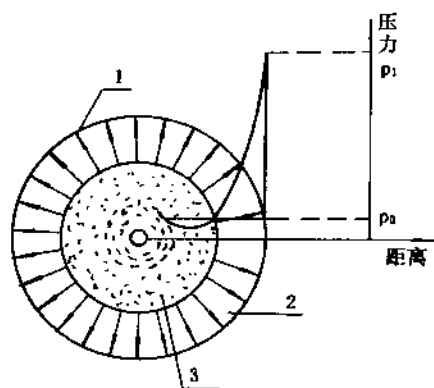


图 1-2 冲击波阵面后压力分布示意图
1—冲击波阵面; 2—正压区; 3—负压区。

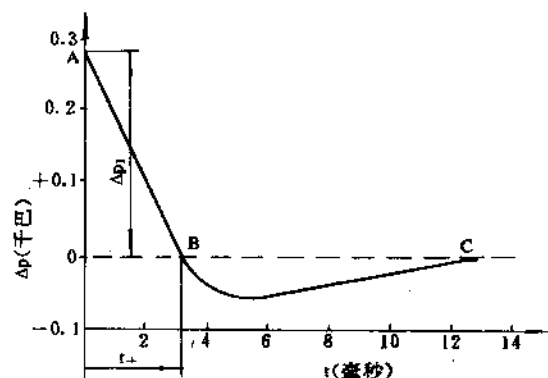


图 1-3 一公斤梯恩梯爆炸后在 5 米远处的 $\Delta P(t)$ 曲线

图 1-4 所示为爆炸冲击波在空气中传播的情况, 图中 $t_1, t_2, \dots$ 等分别表示爆炸后的不同时刻。由图可见:

1. 随着空气冲击波向外传播, 其正压区不断拉宽。这是因为冲击波波阵面是以超音速的速度 D 向前运动的, 而正压区的尾部是以与压力 P_0 相对应的空气音速 C_0 ($C_0 < D$) 运动的缘故。
2. 随着空气冲击波向外传播, 波阵面上的压力 P 和传播速度 D 等迅速下降, 原因是: 首

先,假设冲击波是以球面波的形式向外传播的,随着传播距离的增大,波阵面的表面积不断增大,此时即使没有其它能量的损耗,但通过波阵面单位面积的能量也将不断减小(对柱面波或其它形式的波阵面也是如此);其次,如前所述,空气冲击波正压区随着波的传播,不断拉宽,受压缩的空气量不断增大,使得单位质量空气的平均能量不断下降;此外,冲击波的传播不是等熵的。所以,在强度较大的空气冲击波的作用下,空气受到冲击绝热压

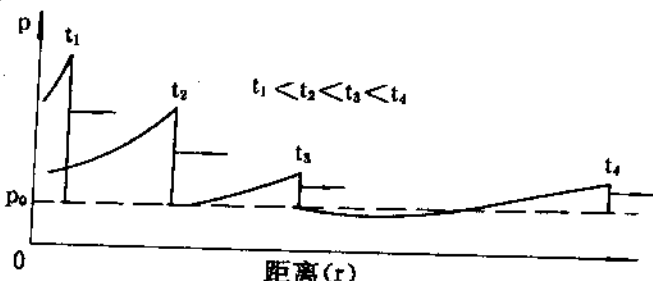


图 1-4 空气冲击波的传播过程

缩,温度升高,消耗了部分冲击波的能量。基于上述原因,空气冲击波在传播过程中,波阵面上的压力是迅速衰减的,并且初始阶段衰减快,后期衰减渐缓。如爆炸产物由开始膨胀形成初始冲击波到冲击波传到装药半径 r_0 的十二倍距离处时,波阵面的压力由 10^3 kg/cm^2 很快衰减到约 $10 \sim 20$ 公斤/厘米²。往后,冲击波继续向前传播,压力衰减变慢,在距爆心足够远处冲击波就逐渐过渡为音波。

二、炸药爆炸传给空气冲击波的能量

炸药爆炸时,传给空气冲击波的能量可以根据热力学的结果进行简单估算。爆炸产物膨胀到极限体积 V_l 时所具有的能量 E_l 为:

$$E_l = \frac{P_0 V_l}{k - 1} \quad (1-1)$$

炸药爆炸放出的初始能量 E 为:

$$E = m Q_v = \rho_0 V_0 Q_v \quad (1-2)$$

式中: m ——炸药的质量;

Q_v ——炸药的爆热;

ρ_0 ——炸药的装填密度;

V_0 ——爆炸前炸药的容积。

如果忽略其他的能量损耗,那么,炸药爆炸后传给冲击波的能量 E_s 可写成:

$$E_s = E - E_l$$

代入(1-1)、(1-2)式得:

$$E_s = m \left[Q_v - \frac{P_0 V_l}{(k - 1) \rho_0 V_0} \right] \quad (1-3)$$

或

$$\frac{E_s}{E} = 1 - \frac{\rho_0 V_l}{(k - 1) \rho_0 Q_v V_0} \quad (1-4)$$

对中等威力的炸药,取 $Q_v \approx 1000$ 大卡/公斤, $\rho_0 = 1.6$ 克/厘米³。若把 $\frac{V_l}{V_0} = 1600$, $P_0 = 1$ 公斤/厘米², $k = 1.25$ 代入上式,则可得:

$$\frac{E_s}{E} = 1 - \frac{1 \times 10^4 \times 1600}{(1.25 - 1) \times 1.6 \times 10^3 \times 427 \times 10^3} = 90.6\%$$

若 $k=1.4$, 则 $\frac{E_s}{E}=0.97$ 。

由简单估算可知, 裸露装药爆炸时大约有 90% 的能量传给了冲击波, 而留在爆炸产物中的能量不到 10%。实际上传给冲击波的能量要少得多, 这是由于爆炸产物膨胀过程的不稳定性和炸药爆炸时不能放出全部能量的影响。一般说来, 传给冲击波的能量大约占炸药总能量的 70% 左右。

三、空中爆炸对目标的破坏

装药在空中爆炸时, 对目标的破坏作用与离爆心的距离有关。当离爆心距离 $r \leq (10 \sim 15)r_0$ 时, 目标直接受到爆炸产物和空中冲击波的作用。当 $r > (10 \sim 15)r_0$ 时, 空气冲击波已与爆炸产物分离独自向前传播, 目标只受到冲击波的作用。因此, 爆炸产物只在近距离起作用, 而较远的距离上冲击波则起着主要的破坏作用。

根据 0.3~100 吨梯恩梯炸药地面爆炸实验得到, 超压 $\Delta P_m = 0.02 \sim 0.12$ 公斤/厘米² 的空气冲击波可引起玻璃的破坏, 而超压 $\Delta P_m > 0.76$ 公斤/厘米² 时可引起普通砖墙的倒塌, 甚至把钢筋混凝土屋顶压塌。对于核爆炸, 由于冲击波正压区很长, 破坏作用就严重得多。如 $\Delta P_m = 0.2 \sim 0.3$ 公斤/厘米² 时就能使砖木结构建筑物产生破坏, 当 $\Delta P_m > 1$ 公斤/厘米² 时, 除了很坚固的钢筋混凝土耐震建筑物外, 其余建筑将全部破坏。可想对舰艇的破坏将是如何。

需要指出的是, 目标离爆心愈近, 尽管冲击波波阵面压力很高, 破坏作用很强, 但是由于所作用面积较小, 破坏只带有局部性。目标距爆炸中心较远时, 虽然冲击波阵面的压力衰减了, 但由于目标受作用面积大大增加, 正压作用时间增长, 往往造成目标大面积总体性的破坏。

四、空气冲击波的主要参数

空气冲击波的能量主要集中在正压区。就破坏作用来说, 正压区的影响比负压区大得多, 一般可以不考虑负压区的作用。

因此, 冲击波对目标的破坏作用可以用三个参数来度量: (1) 波阵面压力即冲击波的峰值压力(或超压) ΔP_m 。(2) 正压区作用时间(或冲击波正压持续时间), 以 t_+ 表示。(3) 比冲量(或冲量密度), 即正压区压力函数对时间的积分值, 以 i_+ 表示。 $i_+ = \int_0^{t_+} P(t) dt$ 。上述三个参数表征了冲击波的破坏作用的大小, 因而是冲击波的主要特征量。

五、冲击波参数计算

下述公式都是在各种爆炸条件下进行大量试验后, 归纳的经验公式, 使用时应注意特定条件。

(一) 空气冲击波特征参数的计算

1. 在无限介质中爆炸时, 空气冲击波峰值超压 ΔP_m (即所谓自由场峰值超压) 的计算。

无限空中爆炸是指炸药在无边界的空中爆炸。这时, 空气冲击波不受其它界面的影响。一般认为, 无限空中爆炸时, 装药的对比高度应满足:

$$\frac{H}{\sqrt[3]{\omega}} \geq 0.35$$