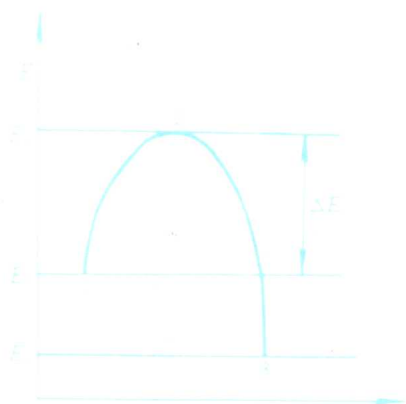


爆炸及其应用技术

张俊秀 刘光烈 主编



兵器工业出版社



TB41

二-485

爆炸及其应用技术

张俊秀 刘光烈 刘桂涛 编著

兵器工业出版社

863229

图书在版编目(CIP)数据

爆炸及其应用技术/张俊秀,刘光烈编著. —北京:兵器工业出版社,1998.4

ISBN 7-80132-433-1

I. 爆… II. ①张… ②刘… III. 炸药-爆炸-基本知识
IV. 038

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 01413 号



兵器工业出版社出版

(邮编 100081 北京市海淀区车道沟10号)

新华书店总店科技发行所发行

各地新华书店经销

北京市迪鑫印刷厂印装

*

开本:850×1168 1/32 印张 14 375 字数:370.8 千字

1998 年 4 月第 1 版 1998 年 4 月第 1 次印刷

印数 1—2000 定价 28.00 元

内容简介

本书主要介绍炸药爆炸理论及其应用技术方面的基础知识。全书共分 12 章,内容包括:炸药爆炸的基本现象,炸药的起爆感度,爆轰波的传播和参数的计算,爆发产物和爆炸冲击波对周围介质的作用;炸药在控制爆破、金属爆炸成型、爆炸焊接以及爆炸切割、爆炸硬化等技术中的应用等。

本书可作为高等学校弹药与战斗部专业的教材,也可作为民用工程爆炸技术专业教材,还可以供从事弹药及民用爆炸技术的科技人员参考。

出版说明

在 21 世纪即将来临之际,根据兵器工业科技与经济发展对于人才素质和质的要求,兵器工业总公司教育局组织兵工专业教学指导委员会制定了《兵器工业总公司“九五”教材编写与出版规划》。在制定规划的过程中,我们力求贯彻国家教委关于“抓重点,出精品”的教材建设方针,根据面向 21 世纪军工专业课程体系和教学内容改革的总体思路,本着“提高质量,保证重点”的原则,精心遴选了在学校使用两遍以上,教学效果良好的部分讲义列入教材规划,兵工专业教学指导委员会的有关专家对于这些规划教材的编写大纲都进行了严格的审定。可以预计,这批“九五”规划教材的出版将促进兵工类专业教育质量的提高、教学改革的深化和兵器科学与技术的发展。

本教材由张守中教授主审。

殷切地希望广大读者和有关单位对本教材编审和出版中的缺点与不足给予批评指正。

1997 年 8 月 17 日

前 言

目前,无论在军事上还是在国民经济建设中,炸药均得到了广泛的应用。仅以民用为例,炸药被广泛地用于工程爆破、金属爆炸成型、爆炸焊接、爆炸切割、爆炸硬化、爆炸压制、爆炸合成金刚石.....

炸药以爆炸的形式,迅速释放化学能并对周围介质作功。研究炸药发生爆炸的条件,爆轰的传播规律及爆炸效应,从理论上和技术上解决炸药爆炸时对外界作功的有效应用,这是炸药应用(军用和民用)专业工程技术人员和教学、研究人员必备的基础知识。

现已出版的教材和科技书籍中,尚无既系统研究炸药爆炸理论问题,又系统介绍爆炸应用技术方面的专著。为此,我们在这方面做了尝试,力求弥补过去教材和专著之不足。

本书内容,着重于介绍炸药爆炸理论及其应用技术方面的基本知识,全书共分12章。绪论和1~8章由张俊秀副教授编写;9章和10章由刘光烈教授编写;11章和12章由刘光烈教授和刘桂涛老师合写。全书由张俊秀和刘光烈主编。张守中教授任本书主审。张守中教授、李伟民教授、徐明义副教授参加了本书的审定,为本书的编写工作提出了宝贵的意见,在此深表谢意!

由于作者水平有限,虽竭尽所能,谬误之处,恐所难免,恳请读者批评指正。

编者

1997年4月

绪 论

爆炸是一种能量释放的过程。在自然科学中,通常将爆炸分为物理爆炸、化学爆炸和核爆炸。任何爆炸过程都具有两个明显的特点,即过程的极高变化速度和极高能量密度。

炸药爆炸属于化学爆炸。炸药在一定的外界因素作用下,发生高速化学反应,同时生成大量气体产物和放出大量热能,从而对周围介质做功,产生爆炸作用。炸药作为一种能源,与其它能源相比具有体积小,质量轻,制造和控制容易等独特优点,因而在军事上和国民经济建设的许多领域均得到广泛的应用。因此,研究炸药爆炸现象的发生、爆炸传播的规律,炸药爆炸作用及其在工程技术上的应用等基本理论、实验技术和工程应用技术,则成为弹药与战斗部工程专业和从事各种民用爆炸技术工程人员所必备的基本知识和技能。

目前,随着军事技术和民用爆炸技术的发展,不仅炸药爆炸理论的研究越来越深入,而且炸药应用的范围也越来越广泛。

在军事上,由于炸药爆轰的巨大威力,使各种战斗部能够对敌方的有生力量、技术兵器、防御工事及其它目标,进行有效地杀伤和破坏。特别是现代,战斗部的运载工具得到了高速的发展,使战斗部不仅能发射或投掷到敌方阵地的整个战役纵深,而且还可发射到敌人的后方,破坏其军事和经济的重要设施。因此,在战争中炸药的消耗量愈来愈大,如第一次世界大战中,交战国双方共消耗弹药十亿发以上;在第二次世界大战中,原苏联卫国战争开始后的前几个月,就消耗完了贮存几十年的弹药;在二次大战最后几个月中,美国仅炸弹就消耗了 100 万吨;在美国侵越战争中,美国一方就消耗了弹药 1900 万吨,消耗增长的趋势是十分明显的。

原子武器是一种更大规模的杀伤、破坏性武器。它的出现给军事上带来了许多新问题,但是,原子武器不可能代替装填常规炸药的武器,常规炸药在现代战争中仍占有重要的地位,更何况原子武器的传爆系列还是由常规炸药制备的呢。

综上所述,炸药被广泛用来装填陆、海、空三军弹药,如装填各种口径和作用的炮弹,如杀伤弹、杀伤爆破弹、爆破弹、混凝土爆破弹、半穿甲弹、碎甲弹、破甲弹等;还用来装填各种火箭战斗部、导弹战斗部、鱼雷、水雷、地雷、各种航弹、工程兵用爆破药块、各式引信的导引传爆药、扩爆装药以及核武器的传爆系列、云爆武器的抛射系列等。

炸药在国民经济建设中,同样起着十分巨大的作用,它不仅减轻了人类的体力劳动,而且也创造了巨大的社会财富。

如在采矿业,煤和各种矿石开采每年都要消耗大量的炸药。现在的炸药爆破技术,已用于地质勘探和石油开采工作中。

在农业方面,开垦基地、兴修水利、松动土壤等,炸药有着特殊的贡献。炸药的爆炸技术,已用于人工降雨、驱散冰雹、击碎冰凌的作业中。

炸药的爆炸技术在工业方面的应用日益广泛,例如爆炸成型、爆炸切割、爆炸焊接、爆炸复合材料等已广泛用于汽车、飞机、轮船和化工设备制造中。爆炸合成金刚石这一技术在冶金领域里早已开始探讨和应用。至于“引滦入津”的引水工程使用了大量的炸药和采用了多种爆破技术,更是众所周知的了。

在交通运输方面,劈山开路、凿通隧道、疏通河流、消除暗礁等工程,往往离不开炸药及爆破技术。利用定向爆破技术,进行远距离抛射堆积可以构筑拦水大坝,搬山填海,建造海港,使江河改道。在上述工程中,使用炸药不仅可以减轻人们的劳动强度,而且还可以节省资金和提高工效。在我国广东虎头山万吨炸药定向爆破,被誉为世纪之爆,就是一个范例。

在城建方面,近 20 年来,随着工业和城市建设的迅猛发展,在

人口和建筑物密布的城市中,各种建筑物的拆除工程和开挖工程越来越多。采用人工、机械难以满足缩短工期,保障安全的要求。在此形势下,促使爆破技术在原有基础上进一步提高,即产生了控制爆破。控制爆破的出现和应用,突破了城市这个爆破禁区,为炸药的应用开辟了新天地。例如,在1976年为在北京天安门广场修建毛主席纪念堂,我军工程兵部队,经过精心设计精心施工,安全地拆除了广场两侧总面积达12000m²的楼房。这是我国首次运用控制爆破技术,在繁华市区所实施的大型拆除工程。

在现代尖端科学的研究和成果中,也广泛地应用了炸药的爆炸技术。炸药的爆炸技术往往作为获得高温、高压、高速的一种手段,爆炸激光就是其中一例。人造卫星、宇宙飞船也应用了爆炸技术。

至于在医学上,用炸药的爆炸技术治疗某些疾病,早已见诸报端,就不复述了。

在电力建设上也应用了炸药。具体来说,架空电力线采用爆炸压接就是一例。所谓爆炸压接,就是利用炸药爆炸产生的巨大能量,将钢芯铝绞线、避雷线与各种规格的铝压接管或钢压接管压成一个整体,使其具有一定的机械强度和电气性能。其典型结构是:在两根导线或地线外面,再套一根特制的铝压接管或钢压接管,再在压接管外包上适量炸药,用雷管引爆,几乎在装药爆炸完成的同时,接头的压接也就完成了。

综上所述,炸药在现代工业、现代农业、现代科学技术、现代国防中具有重要作用,并获得了广泛的应用。

目 录

绪论

第一章 炸药与爆炸 (1)

一、爆炸现象及其特征 (1)

二、炸药的爆炸及其特征 (3)

三、炸药化学变化的形式 (7)

四、炸药的分类 (9)

五、炸药的爆炸性能 (13)

参考文献 (40)

第二章 炸药的起爆和感度 (41)

一、概述 (41)

二、炸药的热爆炸及热感度 (42)

三、炸药的机械作用起爆和机械感度 (53)

四、炸药的冲击波起爆和冲击波感度 (57)

五、炸药的静电感度 (66)

六、影响炸药感度的因素 (66)

参考文献 (71)

第三章 爆轰波流体力学理论 (72)

一、概述 (72)

二、爆轰波的基本关系式 (73)

三、爆轰波的性质 (79)

参考文献 (90)

第四章 爆轰波参数 (91)

一、气相爆轰波参数 (91)

二、凝聚炸药爆轰波参数 (98)

三、爆轰参数的实验测定	(127)
参考文献	(141)
第五章 影响炸药爆轰传播的因素	(143)
一、影响凝聚炸药爆轰传播的因素	(144)
二、高速爆轰和低速爆轰	(159)
三、爆轰波形状的控制	(163)
参考文献	(170)
第六章 爆轰产物的膨胀及对周围介质的作用	(171)
一、爆轰产物的流动方程	(171)
二、几种爆轰产物的流场	(178)
三、炸药爆炸对刚性介质的作用	(188)
四、炸药爆炸对物体的驱动	(209)
参考文献	(224)
第七章 爆炸冲击波初始参数	(225)
一、爆轰波垂直入射时介质中冲击波初始参数	(225)
二、爆轰波斜入射时介质中冲击波初始参数	(252)
参考文献	(266)
第八章 冲击波高压技术	(267)
一、冲击波高压技术概述	(267)
二、冲击波及简单波的 $p-u$ 曲线	(267)
三、用 $p-u$ 曲线确定介质界面处冲击波初始参数	(271)
四、用 $p-u$ 曲线确定冲击波与自由界面作用时的 初始参数	(273)
五、物体高速碰撞时界面处冲击波初始参数	(275)
六、利用炸药爆炸获得高压——化爆高压技术	(283)
参考文献	(294)
第九章 炸药在控制爆破中的应用	(295)

一、控制爆破的定义、要求和类型	(295)
二、控制爆破的应用原理	(297)
三、控制爆破的程序	(310)
四、控制爆破拆除的设计方案	(312)
五、控制爆破药孔参数与药孔布设设计	(316)
六、药量与装药方式设计	(323)
七、框架结构的爆破拆除	(335)
八、排架结构的爆破拆除	(346)
九、承重墙结构的爆破拆除	(356)
十、水压控制爆破	(361)
参考文献	(368)
第十章 特种结构物的爆破拆除	(369)
一、烟囱与水塔的类型与结构	(369)
二、烟囱与水塔的爆破拆除设计原理	(370)
三、烟囱、水塔控制爆破设计方案的选定	(371)
四、烟囱、水塔控制爆破设计	(371)
五、特种结构物的定向倾倒与坍散过程	(377)
六、特种结构物的爆破施工与安全	(378)
七、特种结构物爆破拆除举例	(379)
参考文献	(385)
第十一章 金属爆炸加工	(386)
一、爆炸成形	(387)
二、爆炸焊接	(404)
三、爆炸压接	(413)
四、爆炸切割	(417)
五、爆炸硬化	(423)
六、爆炸压制	(425)
七、爆炸强化	(428)
八、爆炸冲孔	(429)

参考文献.....	(431)
第十二章 爆炸安全技术	(432)
一、早爆的预防	(432)
二、拒爆的预防与处理	(438)
三、加强思想教育和技术培训	(441)
参考文献.....	(442)

第一章 炸药与爆炸

一、爆炸现象及其特征

在自然界中存在着各种爆炸现象。广义地讲,爆炸是物质系统的一种极为迅速的物理的或化学的能量释放或转化过程,是系统蕴藏的或瞬间形成的大量能量在有限的体积和极短的时间内,骤然释放或转化的现象。在这种释放或转化过程中,系统的能量将转化为机械功以及光和热的辐射等。

爆炸可以由各种不同的原因引起,但不管是何种原因引起的爆炸,归根结底必须有一定的能源。按照能量的来源,爆炸可以分为三类,即物理爆炸、化学爆炸和核爆炸。

1. 物理爆炸

物理爆炸是由系统释放物理能引起的爆炸。例如,高压蒸汽锅炉当过热蒸汽压力超过锅炉能承受的程度时,锅炉破裂,高压蒸汽骤然释放出来,形成爆炸;陨石落地、高速弹丸对目标的撞击等物体高速碰撞时,物体高速运动产生的动能,在碰撞点的局部区域内迅速转化为热能,使受碰撞部位的压强和温度急剧升高,并在碰撞部位材料发生急剧变形,伴随巨大响声,形成爆炸现象;自然界中的雷电也属于物理爆炸,它是由带有不同电荷的云块间发生强烈的放电现象,使能量在 10^{-6} — 10^{-7} s 内释放出来,放电区达到极大的能量密度和高温,导致放电区空气压力急剧升高并迅速膨胀,对周围空气产生强烈扰动,从而形成闪电雷鸣般的爆炸现象;高压电

流通过细金属丝时,温度可达到 $2 \times 10^4 \text{ }^\circ\text{C}$,使金属丝瞬间化为气态而引起爆炸现象;此外,地震和火山爆发等现象也能属于物理爆炸。总之,物理爆炸是机械能或电能的释放和转化过程,参予爆炸的物质只发生物理状态或压力的变化,其性质和化学成分不发生改变。

2. 化学爆炸

化学爆炸是由于物质的化学变化引起的爆炸。如炸药爆炸,可燃气体(甲烷、乙炔等)或悬浮于空气中的粉尘(煤粉、面粉等)以一定的比例与空气混合时,在一定的条件下所产生的爆炸均属于化学爆炸。化学爆炸是通过化学反应,将物质内潜在的化学能,在极短的时间内释放出来,使其化学反应产物处于高温、高压状态的结果。一般气相爆炸和粉尘爆炸的压力可以达到 $2 \times 10^5 \text{ Pa}$,高能炸药的爆炸时爆轰压可达 10^{10} Pa 以上,二者爆炸时产物的温度均可达 $(3 \sim 5) \times 10^3 \text{ K}$,因而使爆炸产物急剧向周围膨胀,产生强冲击波,造成对周围介质的破坏。化学爆炸时,参予爆炸的物质在瞬间发生分解或化合,变成新的爆炸产物。

3. 核爆炸

核爆炸是核裂变(如原子弹是用铀 235、钚 239 裂变),核聚变(如氢弹是用氘、氚或锂核的聚变)反应所释放出的巨大核能引起的。核爆炸反应释放的能量比炸药爆炸时放出的化学能大得多,核爆炸中心温度可达数 10^7 K ,压力可达 10^{15} Pa 以上,同时产生极强的冲击波、光辐射和粒子的贯穿辐射等,比炸药爆炸具有更大的破坏力。化学爆炸和核爆炸反应都是在微秒量级的时间内完成的。

综上所述,爆炸过程表现为两个阶段,在第一阶段中,物质的(或系统的)潜在能以一定的方式转化为强烈的压缩能;第二阶段,压缩急剧膨胀,对外做功,从而引起周围介质的变形、移动和破坏。不管由何种能源引起的爆炸,它们都同时具备两个特征,即能源具有极大的能量密度和极大的能量释放速度。这两个特征综合起来,

也可以说爆炸是功率密度极大的能量释放(转化)过程。几种爆炸现象的能量功率密度见表 1-1。

表 1-1 几种爆炸的能量功率密度数量级

序 号	爆 炸 现 象	功率密度(E)/(kW · cm ²)
1	凝聚炸药的爆炸	10 ⁷
2	气相炸药的爆炸	10 ³
3	金属射流侵彻装甲初始速度 8×10^3 m/s	10 ⁸
4	穿甲弹穿甲初始速度 1.5×10^3 m/s	10 ⁶
5	强脉冲放电	10 ⁶
6	铀裂变	10 ¹³
7	凝聚炸药燃烧	10 ⁰

从表中数据可以看出,核爆炸功率密度比物理爆炸和化学爆炸高千百万倍。一般物理爆炸和化学爆炸的功率密度基本相同,但是由于化学爆炸的引爆装置和爆炸源具有体积小,质量轻,制造和控制容易等优点,因而无论在国民经济建设还是在国防建设中都得到了广泛的应用。

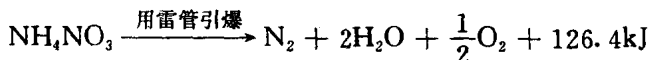
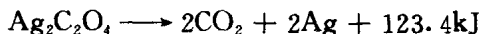
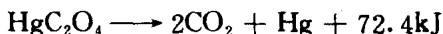
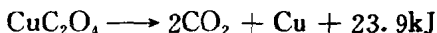
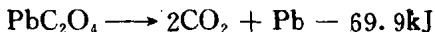
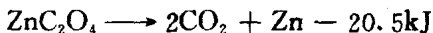
二、炸药的爆炸及其特征

从热力学意义上说,炸药是一种相对不稳定的物质,在外界作用下,能够自行发生高速化学反应,放出大量的热,并生成大量气体产物。以上三点,称为炸药爆炸的三个特征,也是任何化学反应导致爆炸的必备条件,三者互相关联,缺一不可。

1. 反应过程的放热性

反应放热是产生爆炸的必要条件之一,只有伴随热的释放,才会有爆炸反应的激发和爆炸反应的自动进行。此外,爆炸现象是一

种能量的转化过程,即炸药通过爆炸反应释放的化学能变成爆炸反应产物的热能,产物的热能再转化为对环境介质所做的机械功。不放热或放热量相对较少的化学反应均不能产生爆炸现象。例如:



上述分解反应中, ZnC_2O_4 和 PbC_2O_4 因是吸热反应不发生爆炸; HgC_2O_4 、 $\text{Ag}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 、 NH_4NO_3 因是放热反应,而且释放的热量较多,则能发生爆炸;而 CuC_2O_4 虽然也是放热反应,但因放热较少,基本不显示爆炸性。这表明,反应过程的放热性是发生化学爆炸的首要条件。

但是,是不是凡放热反应都发生爆炸呢?是否放热越多的化学反应爆炸就越强烈呢?实际上并不是这样。例如,硝化甘油爆炸时放出的热量为 6222kJ/kg ,梯恩梯爆炸时放出的热量为 4232kJ/kg ,而煤和苯燃烧时放出的热量却分别为 8925kJ/kg 和 9763kJ/kg 。可见,一个放热反应过程是否发生爆炸,不能只看放热多少,如前所述,爆炸过程还必须具备极大的能量密度。煤燃烧时放热量虽然比硝化甘油爆炸时大得多,但前者的能量密度只有 $171.79 \times 10^5\text{J/m}^3$,而后者则高达 $988.84 \times 10^7\text{J/m}^3$ 。能量密度取决于化学反应过程进行的速度。这样就决定了爆炸必备的第二个特征。

2. 反应过程的高速度

爆炸反应的高速度是区别一般放热化学反应的重要标志。只有极高化学反应速度,即极高的能量释放速度,才能造成反应产物