

兵器科学与技术丛书

火炸药科学技术

主 编 王泽山
副主编 欧育湘 任务正



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

兵器科学与技术丛书

火炸药科学技术

主 编 王泽山

副主编 欧育湘 任务正

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

火炸药科学技术/王泽山主编. —北京:北京理工大学出版社,
2002.12

(兵器科学与技术丛书)

ISBN 7-5640-0003-1

I. 火… II. 王… III. ①发射药②炸药 IV. TQ56

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 059614 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68912824(发行部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

电子邮箱 / chiefedit@bitpress.com.cn

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 涿州星河印刷厂

开 本 / 880 毫米×1230 毫米 1/32

印 张 / 12.875

字 数 / 292 千字

版 次 / 2002 年 12 月第 1 版 2002 年 12 月第 1 次印刷

印 数 / 1~2000 册

定 价 / 25.00 元

责任校对 / 郑兴玉

责任印制 / 李绍英

图书出现印装质量问题,本社负责调换

兵器科学与技术丛书编辑委员会

主任委员 蓝祖佑

副主任委员 陈鹏飞 杨卓 邱晓华

常务编委 胡国强

编委 (以姓氏笔画为序)

马宝华 马福球 王泽山 王校会

王儒策 冯崇植 古鸿仁 田棣华

任务正 刘玉岩 朵英贤 张天桥

杨绍卿 陈运生 周立伟 欧育湘

范宁军 郑慕侨 赵国志 郭治

曹翟 魏云升

序

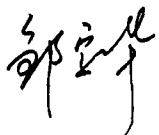
兵器科学技术的发展凝结着人类的智慧。军事需求是兵器发展的动力,技术推动是兵器发展的条件。每个时代的兵器都标志了这个时代的科学技术水平。兵器从简单到复杂,从低水平到高新技术,经历了古代兵器、近代兵器和现代兵器三个阶段。兵器科学与技术也在不断地发展和变化。19世纪,由内弹道学和外弹道学构成的弹道学(包括中间弹道、终点弹道、创伤弹道)的发展,硝化甘油、单基火药、双基火药和梯恩梯炸药的出现及其基础学科(力学、化学、自动化学等)在兵器上的应用,标志着兵器科学技术学科的基本理论已基本形成。兵器科学技术的产生及发展,加快了兵器的发展速度,而兵器的发展又不断丰富着兵器科学技术的内涵。

进入20世纪之后,科学技术的发展使兵器进入了现代兵器时代。现代兵器已不再是简单的冷兵器或热兵器,而是组成越来越复杂的、性能优良的高科技的武器系统,涉及探测识别、发射运载、动力传动、定位定向、指挥控制、通讯导航、高效毁伤、战场评估、电子对抗以及综合技术保障等方面。现代战争也进而发展成为高新技术兵器装备体系与体系之间的对抗,军事需求和技术进步促使兵器科学技术的基本理论和学科体系进一步地不断完善和发展。

展望21世纪,随着光电子技术、微电子技术、计算机技术、生物技术、空间技术以及新材料、新能源等一大批高新技术的迅猛发展,人类社会将发生全方位的深刻变化,引发以高新技术为主要特征和推动力的新军事领域的深刻变革。这也会进一步推

动兵器科学技术的发展,丰富兵器科学技术的内涵,使其逐渐形成空气动力学、爆炸力学、理论力学、弹道学、材料力学、自动化学、电子学、光学、合成化学、理论化学、系统学、信息学等学科的综合性工程应用学科。兵器科学技术随着军事革命和技术浪潮的到来,将会把它推向新的技术高峰,不断地发展。

由兵器科学与技术丛书编辑委员会组织近百名专家、学者编写的《兵器科学技术总论》、《坦克装甲车辆》、《火炮与自动武器》、《弹药工程》、《制导弹药技术》、《火炸药科学技术》、《目标探测与识别》、《火力与指挥控制》八册书,较全面、系统地总结了兵器科学技术的发展经验,既是一套有完整科学体系的兵器科学技术的学术专著,又是一套深入浅出地介绍兵器科学技术基本知识的科技读物,是对宣传、总结和推动兵器科学技术发展的重大贡献。借此机会对参与《兵器科学与技术丛书》编写工作的各位专家、学者所付出的辛勤劳动表示衷心的感谢。



2001年8月

前 言

本书是《兵器科学与技术》丛书的《火炸药科学技术》分册。为了把握好学科的高度,在有关专家的参与下,本分册的编著者根据火炸药的理论与实践经验,对本书内容和书稿进行了深入的探讨和反复的修改,按照《兵器科学与技术》丛书的编写要求,完成了《火炸药科学技术》分册的编著任务。

《火炸药科学技术》论述了火炸药科学研究的范围、基本原理以及它和兵器其他学科的渗透与交叉关系;对20世纪该学科在国内、外的发展进行了回顾和总结;对本世纪的发展趋势和前景进行了展望和预测,并对火炸药学科与技术的发展趋势提出了对策性的分析。

在第一章导论中,论述了火炸药学科领域与研究的基本内容;火炸药的组成与性能特征;火炸药在武器装备中的地位和作用。论述了武器对火炸药的战术、技术要求,火炸药在武器中的应用方式及其功能转换过程;从黑火药出现,单质炸药、军用混合炸药、工业炸药、发射药和推进剂的发展等不同的角度,描述了火炸药发展的历史沿革。表明世界各国,尤其是中华民族在火炸药发展史中的重要地位和作用。在导论中还列举了火炸药的各种民用技术,火炸药与环境等诸多方面值得注意的问题。

第二章是炸药的科学与技术。本章首先阐述了炸药爆炸的特征和炸药分子结构的特点,武器对炸药的基本要求和炸药的分类方法,还列举了军用及民用炸药的类别。之后简要地综述了基本的炸药理论,其中包括炸药的爆炸化学反应及热力学,炸药的热分解、热爆炸、爆轰以及燃烧转爆轰等。本章的第三节是炸

药性能及其测试和评估技术,分析了影响炸药性能(如安定性、感度、爆炸特性、爆炸作用等)的因素,叙述了这些性能的经验计算方法和测试方法。作为重点在本章的第四节论述了单质炸药的分子设计和炸药合成化学。针对炸药的分子设计讨论了经验、半经验及量化等计算方法;对炸药分子化学讨论了用于单质炸药合成的一些典型反应,如硝化、硝解、酯化、酸胺缩合、叠氮化、硝基重排等反应。第五节叙述各类军用炸药及民用炸药的性能、配方、制造工艺及其应用技术,还阐明了混合炸药的配方设计原则及计算方法。本章还论述了当今倍受人们瞩目的高能量密度化合物的重要性、发展概况及典型高能量密度化合物的性能及合成技术。在本章的第七节,综述了几类作为粘结剂、增塑剂、氧化剂的新型含能化合物,如叠氮化合物、含硝酰氧基或硝胺基的高聚物、新型硝酸酯、含能热塑性弹性体及二硝酰胺铵盐等。

第三章的内容是发射药及其装药技术。根据加农炮、榴弹炮、高初速火炮、高射速火炮、迫击炮、无后坐力炮和轻武器的结构特点,指明了它们对发射药及其装药的一般技术要求和特殊要求。在此基础上,论述了发射药组成及其性能的调节技术,其中包括烧蚀性能、力学性能、焰与烟、安全性、易损性和物化安定性等性能的调节技术。本章将发射药的燃烧性能作为单独一节进行了讨论。以硝化棉、硝化甘油、黑索今的热分解为基础,分析了发射药热分解与燃烧性能的相关性,讨论了双基、改性双基、硝胺和低易损性等发射药的燃烧现象,稳态燃烧模型及其燃速的预估方法,进而评述了现有发射药燃烧性能的调节技术和检测技术。本章还对发射药装药设计技术进行了细致的论述,介绍了装药结构及装药元件和现有装药设计的基础模型,概述了装药设计的实施过程:装药的弹道设计、点火系统设计、辅助元件选择、结构选择、样品试制、点火具和装药元件配置、靶场试验以

及生产试制、靶场验收与鉴定等。本章还概括了装药特征的数值模拟技术,以及密闭爆发器、势平衡与小口径火炮等模拟技术,对国内、外的装药技术进行了系统的分析,列举了现今装药发展的新技术。在发射药制造工艺中,在高聚物溶解特性、药料流变特性等理论的基础上,描述了发射药的加工过程和药料的物理状态。阐明了溶剂法发射药制造工艺,无溶剂法制造工艺,球形和小粒等发射药制造工艺和可燃军械元器件的制造工艺。评述了发射药制造技术的近期发展趋势。本章的最后一节是发射药及其装药的民用技术。介绍了利用发射药作气源、作功能源的有关技术,以及利用发射药的热能和声、光、烟效应的有关技术。

第四章是有关固体推进剂的科学与技术。首先概述了火箭武器对固体推进剂的要求和固体推进剂的分类与配方设计,着重讨论固体推进剂的能量、燃烧、力学性能、储存和使用寿命、特征信号等特性及其调节技术。对固体推进剂及其组分的热分解、稳态燃烧等固体推进剂的燃烧理论进行了深入的探讨。描述了双基推进剂和复合推进剂的稳态燃烧和燃烧催化等理论,影响推进剂燃速的因素以及双基、改性双基和复合等推进剂的燃速与压力指数的调节技术。对固体推进剂在发动机中的不稳定燃烧进行了讨论。指明火箭发动机对推进剂力学性能的要求,分析了影响双基和复合推进剂力学性能的因素和提高力学性能的技术途径。在固体推进剂长储稳定性及其控制技术论述中,明确了固体推进剂的老化特征和决定固体推进剂老化的因素,在此基础上提出了改善固体推进剂储存性能的技术方法。指明了羽流现象及其危害性,提出了控制羽流的特征信号的技术途径。本章还对固体推进剂的挤压成型工艺、浇铸成型工艺以及固体推进剂的包覆工艺作了概述。

第五章进一步强调了火炸药在国防工业和国民经济中的地

位和作用,指出:火炸药是直接影响并决定着武器装备的性能和军队战斗力的发挥,是赢得战争胜利的保障。本章通过对国内、外火炸药科学与技术的回顾,分别对发射药、推进剂和炸药在20世纪的发展及其成就作了精辟的评述。在对本世纪火炸药技术发展趋势和预测的讨论中,概括了发射药、推进剂和炸药的发展趋势、发展方向及其前景,并提出了相应的对策。

为了把握好火炸药学科理论的高度和深度,撰写出完整、系统的火炸药科学与技术的专著,《兵器科学与技术》丛书编委会聘请了有关专家参与了本书的撰写工作。他们是火炸药科学理论、性能、工艺与检测等技术领域的知名学者和专家,具有深厚的理论修养和丰富的实践经验。由这些学者和专家所进行的《火炸药科学技术》撰写工作,是火炸药学科承上启下、继往开来的工作,具有现实和深远的意义。

直接参加编著本书的学者和专家(按姓氏笔画)有:于永忠、王泽山、任务正、邢浴仁、吕春绪、李春鹏、李上文、严金良、陆安舫、郝仲璋、赵宝昌、赵凤起、张豪侠、欧育湘、曹欣茂、谭惠民和杨红梅。其中,由王泽山主写第一章,欧育湘主写第二章,赵宝昌主写第三章,谭惠民主写第四章,任务正主写第五章。

本书作为《兵器科学与技术》丛书的组成部分,系统地、全面地概述了当今火炸药科学与技术建设、发展及其研究成果,预测了本世纪该学科的发展趋势和前景,是火炸药专业人员和非专业科技人员与科技管理人员的重要参考书,是必备的火炸药学术专著。

本书作者

目 录

第一章 导论	(1)
第一节 概述.....	(1)
第二节 火炸药的组成与特征.....	(9)
第三节 火炸药在武器装备中的地位和作用.....	(15)
第四节 火炸药的发展史.....	(24)
第五节 火炸药在国民经济中的地位和作用.....	(34)
第二章 炸药	(40)
第一节 炸药通论.....	(40)
第二节 炸药理论.....	(47)
第三节 炸药主要性能的测试和评估技术.....	(66)
第四节 炸药合成化学和炸药分子设计.....	(82)
第五节 军用炸药和民用炸药.....	(111)
第六节 高能量密度化合物.....	(134)
第七节 其他新型含能化合物.....	(141)
第三章 发射药及其装药	(152)
第一节 身管武器对发射药及其装药的技术要求.....	(152)
第二节 发射药的组成和性能调节.....	(157)
第三节 发射药的燃烧性能.....	(180)
第四节 发射药装药设计与技术.....	(194)
第五节 发射药制造工艺.....	(242)
第六节 发射药及其装药的民用技术.....	(261)

第四章 固体推进剂	(266)
第一节 概述.....	(266)
第二节 固体推进剂的性能及其调节技术.....	(277)
第三节 固体推进剂的制造工艺.....	(359)
第四节 固体推进剂绝热包覆技术.....	(367)
第五章 火炸药科学与技术展望	(374)
第一节 火炸药科学与技术的回顾.....	(375)
第二节 本世纪火炸药技术发展趋势和预测.....	(386)
参考文献	(399)

第一章 导 论

第一节 概 述

一、学科领域

火炸药是一类化学能源材料，主要用于军事，以完成推进、炸毁、抛射等作战目的。火炸药是陆、海、空军武器的能源，也是某些驱动装置与爆炸装置的能源。

在火炸药的组分中含有氧化剂和可燃物，它们被激发后，在没有外界物质参与下能进行剧烈的化学反应，并在短时间内释放出巨大的能量。因此，火炸药又是重要的含能材料。而石油、煤、木材等释放能的化学反应，常需要外界供氧。所以，石油、煤、木材等不是含能材料。火炸药科学与技术隶属于材料学科领域。

火炸药的组分有单一组分和复合组分两种类型。最基本和最传统的火炸药是发射药、推进剂和炸药。

虽然发射药、推进剂和炸药都是含能材料，但是，它们在组成结构、应用场所和反应过程等方面还存在着明显的差别。炸药被激发后发生爆炸反应，反应在数微秒内完成，并以极高的功率对外作功，使周围介质受到强烈的冲击，并发生变形或破碎。发射药主要用于枪炮弹丸的发射，推进剂主要用于火箭和导弹的推进。发射药和推进剂是以燃烧的方式释放能量，燃烧波的传播速度为几毫米每秒至几十毫米每秒。

由于火炸药的化学反应可以在隔绝大气的条件下进行，能在

瞬间输出巨大的功率,反应过程可以控制,所以采用该能源的装置,其结构简单、轻便,适合于运输和储存。发射药被广泛用于压力推进,如抛射枪炮弹丸、水雷和鱼雷;推进剂主要用于反作用推进,如发射火箭和导弹,或用作某些驱动装置的能源;炸药可以作为炮弹、导弹、地雷等的爆炸装药。火炸药还可以用于采矿、工程爆破、金属加工和地质勘探等技术领域。作为能源材料,火炸药服务于我国国防和国民经济事业,尤其在兵器装备中,它是不可缺少的组成部分。火炸药技术是决定武器威力和射程的关键技术。

火炸药科学与技术所涉及到的基础理论有无机、有机、分析、物化、高分子等化学。涉及到化工领域的合成、工艺、分析检测以及生产过程和设备。

火炸药的制备和应用,遵从于材料和化学等科学的理论。但是,火炸药是含能材料,是处于亚稳定状态的一类物质,其主要的化学反应是燃烧和爆炸。所以,火炸药还有其自身的规律和理论,该理论在多年的实践中得到发展,目前已形成较完整的理论体系和各国极为关注的科学领域。

火炸药科学和技术与各国的国防实力密切相关,因此在该领域内各国都集中一批高水平的科学家,重点研究火炸药设计、燃烧、爆炸和弹道等理论;研究火炸药的制造技术;研究它在武器装备、宇航和工农业生产方面的应用理论;研究和发展高性能的火炸药新品种。

二、研究的基本内容

(一) 发展高能和具有特定性能的火炸药,研究其设计理论

研究火炸药新品种和探索新能源火炸药是火炸药科学研究

的重点和长远的研究方向。

①发展高能量密度火炸药 决定弹丸的初速、火箭最大速度以及决定炸药作功能力的关键因素是火炸药的潜能和装药密度。目前火炸药研究的重点之一是设计和制备高能量密度的火炸药,研究的内容有:研究高能量密度的单组分炸药;发展性能良好的粘结剂;研究高能量、高密度的推进剂和发射药;研究含能添加剂和高燃速火药。上述任何方面的研究成果,都将促进火炸药高能量密度技术的进展。

②发展新能源火炸药 现有火炸药大多数是由碳、氢、氧、氮(C、H、O、N)等元素组成的物质,被广泛应用的主要是固体物质。研究显示,在碳、氢、氧、氮元素系统中,火炸药仍有较为广阔的发展前景。目前已发展的、具有代表性的火炸药新能源技术主要有:

液体发射药 它在能量特征和流动特征上具有优越性。液体发射药明显的优点是可以获得较高的炮口动能,因为液体发射药的流量可调节,配方的氢/碳比值(H/C)高。已研制的由硝酸羟胺(HAN)、三乙醇胺硝酸盐(TEAN)、 H_2O 组成的XM46液体发射药具有较好的性能。对于液体发射药,目前正进行着有关燃烧的压力振荡、火炮结构、储存稳定性以及点火等诸多问题的研究。

反应中摄取环境组分的火炸药 典型的代表是燃料空气炸药和贫氧推进剂。

燃料—空气炸药是不含或者少含氧、破坏面积大的一种炸药。该炸药的主要成分是易挥发的燃料(如环氧丙烷)。使用时,它的挥发气体与空气混合,借助于空气中的氧发生爆炸反应。成分中有时含有高能添加剂或性能调节剂。用这类炸药制造的弹药除含有燃料外,弹的中心设有一级爆炸装药,还有引发装置,在距地面适当的高度其引发装置启动,爆炸后将燃料分散,混入空气达到最佳的配比后,二次引信引发燃料空气炸药而爆炸。该弹药可

以对付坦克、防御工事、清除雷场、飞机着陆场和反舰导弹等目标。在常用炸药梯恩梯(TNT)的爆炸反应中,有26.0%的氧来自于TNT自身,而含环氧丙烷的燃料—空气炸药爆炸反应的氧来自大气。与TNT等质量的燃料—空气炸药所释放的能量是TNT的7倍,因此,燃料空气炸药的质量效率高。

另一种摄取环境组分的火炸药是贫氧推进剂,体系的氧平衡系数为0.3~0.4。贫氧推进剂常以硼(B)、铝(Al)、镁(Mg)等金属为燃料,以奥克托今(HMX)等高能硝胺和高氯酸铵为氧化剂。使用时,贫氧推进剂在发动机中燃烧生成没有完全燃烧的产物,该产物进入冲压发动机,并与冲压发动机从空气中获取的氧作用继续燃烧,产生比固体推进剂高一倍以上的比冲。因此,利用贫氧推进剂的推进器,在射程、快速拦截和尾追高机动目标方面都具有优势,贫氧推进剂还具有较高的质量效率。

电热—化学推进能 电热—化学推进同时利用了电能和化学能,可以将一定质量的弹丸推进到很高的速度。该系统除了火炮之外,其重要的组成部分是脉冲能量系统和等离子发生器。通过脉冲能量产生等离子体,等离子体进入存有能源火炸药(或固体或液体或固液混合的燃料)的化学能燃烧室,在此处,依靠电和火炸药反应释放的双重能量,对弹丸作功。

目前,国际上正在考虑和进行新型高能量密度材料的研究。例如:研究N原子族高能亚稳定态物质,以及研究同核异构体等新的含能物质。

③发展独具特征的火炸药品种 研究火炸药的性质,一方面是为了使用它,同时要发现某些性能的内在规律,利用这些规律来改造火炸药的性质或创造新的火炸药品种。

各类武器分别需要具有特定性能的火炸药,如某些场合需要燃速稳定的推进剂、需要高猛度的高爆速炸药;而某些场合却需

要弹道效率高的变燃速发射药、需要作功能力高的低爆速炸药；战略导弹主要追求推进剂高能量，而战术导弹则要求推进剂具有良好的特征信号性质。因此，研究不同环境条件下需要的特殊火炸药是火炸药研究的一项内容，研究工作在保证火炸药基本性能的基础上，集中于某一些性能的解决，这往往是发展火炸药新品种的捷径。

④研究制备火炸药的工艺技术 设计和合成的火炸药，只有成为产品后才能进入应用阶段。

火炸药研究的一项重要内容是它的生产工艺技术。产品的成本和产量、生产过程与环境的相容性，以及生产过程的安全性等都与生产工艺有关。通过生产工艺的研究，可以增加生产能力、降低成本、减少污染，并推动研究成果的产品转化进程。目前，火炸药工艺研究的主要内容有：

生产过程连续化、自动化和遥控化等生产的现代化技术；

火炸药柔性制造等生产工艺技术；

新的工艺过程及有关的技术；

生产过程的本质安全程度和与环境保护技术；

生产过程的在线检测技术。

⑤研究火炸药的设计理论 主要研究火炸药的设计方法和合成理论；研究火炸药的燃烧、爆炸和弹道等理论；研究火炸药在武器装备、宇航以及在工农业生产方面的应用理论等。

（二）研究火炸药的应用技术

1. 改善使用条件，采用新结构，提高武器的整体威力

火炸药的威力和效率与武器的结构密切相关。例如火炮和导弹这两种武器，它们的工作压力分别为数百兆帕和十余兆帕；导弹是一次性使用的武器；火炮要重复使用。所以火炮用的发射药必需强度高、烧蚀低，而能量则不能太高，以增加火炮的使用寿命