

普通高等教育  
兵工类规划教材

# 双基火药

张续柱 编著



北京理工大学出版社

# 双 基 火 药

张续柱 编著

北京理工大学出版社

## 内 容 简 介

本书较全面地阐述了双基发射药、双基推进剂和改性双基推进剂，叙述了双基火药制造工艺、无损检测和包覆技术。

本书可作为高等院校火炸药专业教材。也可供从事双基火药生产、研究、使用的工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

双基火药/张续柱编著. 北京:北京理工大学出版社,1997.7  
ISBN 7-81045-286-X

I. 双… II. 张… III. 双基药 IV. TQ562

中国版本图书馆CIP数据核字(97)第10192号

北京理工大学出版社出版发行  
(北京市海淀区白石桥路7号)  
邮政编码100081 电话68912824  
各地新华书店经售  
北京房山先锋印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 11.25印张 340千字

1997年7月第一版 1997年7月第一次印刷

印数:1—800册 定价:18.50元

※图书印装有误,可随时与我社退换※

# 出版说明

遵照国务院国发 [1978] 23 号文件精神, 中国兵器工业总公司承担全国高等学校兵工类专业教材的规划、编审、出版的组织工作。自 1983 年兵总教材编审室成立以来, 在广大教师的积极支持和努力下, 在国防工业出版社、兵器工业出版社和北京理工大学出版社的积极配合下, 已完成两轮兵工类专业教材的规划、编审、出版任务, 共出版教材 211 种。这批教材出版对解决兵工专业教材有无问题、稳定教学秩序、促进教学改革及提高教学质量都起到了积极作用。

为了使兵工类专业教材更好地适应社会主义现代化建设需要, 特别是国防现代化培养人才的需要, 反映国防科技的先进水平, 达到打好基础、精选内容、逐步更新及利于提高教学质量的要求, 我们以提高教材质量为主线, 完善编审制度、制定质量标准及明确岗位职责, 制定了由主审人审查、责任编委复审和教编室审定等 5 个文件。根据兵工类专业的特点, 成立了十个专业教学指导委员会, 以更好地编制兵工类专业教材建设规划, 加强对教材的评审和研究工作。

为贯彻国家教委提出的“抓好重点教材, 全面提高质量, 适当发展品种, 力争系列配套, 完善管理制度, 加强组织领导”的“八五”教材建设方针。兵总教材编审室在总结前两轮教材编审出版工作的基础上, 于 1991 年制订了 1991~1995 年兵工类专业教材编写出版规划, 共列入教材 220 种。这些教材都是从学校使用两遍以上、实践证明是比较好的讲义中遴选的, 专业教学指导委员会从兵工专业教材建设的整体考虑对编写大纲进行了审查, 认为符合兵工专业培养人才要求, 符合国家出版方针。这批教材的出版必将对兵工专业教材的系列配套, 对提高教学质量和培养国防现代化人才, 对促进兵工类专业科学技术的发展, 起到积极的作用。

本教材由张端庆教授主审, 经中国兵器工业总公司火炸药专业教学指导委员会复查, 兵总教材编审室孙业斌教授审定。

限于水平和经验, 这批教材的编审出版难免有缺点和不足之处, 希望使用本教材的单位和广大读者批评指正。

中国兵器工业总公司教材编审室

1994 年 11 月

## 火药系列教材

# 双基火药

火药系列教材编审委员会

主任委员：王泽山

常务副主任委员：孙业斌

副主任委员：牛秉彝 戴健吾 刘继华

委员：（按姓氏笔划）

王泽山	牛秉彝	白木兰	刘继华	孙业斌
肖学忠	罗秉和	陆安舫	赵子立	张端庆
徐复铭	徐德平	谭惠民	戴健吾	

# 火药系列教材总序

“火药系列教材”就要问世了，我们谨以这套教材献给我国火药行业的全体同仁，希望它为发展我国火药科学技术、为培养火药专业后继人才做出贡献。

长期以来，火药不仅在军事上用于枪炮弹丸的发射和火箭导弹的推进，而且在民用方面也有着广泛的用途。火药（后来叫黑火药）是我国古代四大发明之一，公元3世纪我国古代劳动人民就发现了火药的燃烧性质，公元10世纪火药用于军事，此后中国出现了多种火药兵器。公元13世纪，火药才传入阿拉伯国家，进而传入欧洲，得到了广泛的应用。恩格斯曾提到中国的黑火药打破了欧洲16世纪的城堡。直到19世纪末，黑火药一直是各种枪炮和火箭的唯一发射能源，它对军事技术、人类文明及社会进步都产生了深远的影响。近代火药的制造始于19世纪初，1833年法国人布拉科诺（Braconnot）首先制出了硝化纤维素，为火药的革新打开了大门。1865年英国化学家阿贝尔FA.（Abel FA.）用细断法制得了安定的硝化纤维素，直到1884年法国化学家维也里P.（Vieille P.）用醇醚混合溶剂处理硝化纤维素，解决了它的密实成型问题，发明了单基火药。由于它燃烧时无烟且威力比黑火药大，从而取代了黑火药作为发射药的地位。1847年意大利人索布雷罗（Sobrero）制造出硝化甘油。1862年瑞典化学家诺贝尔AB.（Nobel AB.）开设了第一个硝化甘油工厂，1888年他用低氮量硝化纤维素和硝化甘油发明了巴力斯太型双基火药，为近代火药增加了新品种。第二次世界大战期间，为了满足大口径炮弹、大型火箭及形状复杂的发射装药要求，1937年在德国出现了三基药。1942年美国又研制出了一系列的复合火药，本世纪60年代又出现了高能量、高燃速以及力学性能和工艺性能良好的火药，明显地提高了推进火箭用的火药性能，与此同时，又加强了用于推进弹丸的装药研究。近年来，世界各国继续进行新火药和火药装药研究，也开展了改善单项性能指标的研究，研制适应不同武器要求的特种性能火药。例如研制高能低烧蚀发射药、高能高强度发射药、高能无烟推进剂、高能平台推进剂、高燃速推进剂及低燃速推进剂等，并以提高火药生存能力为重点，发展低易损性火药。

解放前，我国的火药工业发展缓慢，自1895年上海建立第一所单基无烟药厂后，到1945年才建立第一所双基火药厂。

建国以来，我国的火药工业与火药科学技术随着国民经济的迅猛发展，从仿制到自行设计，有了长足发展。我国研制的火药已有很多品种接近或赶上世界先进水平。但就火药学科总体而言，我国还落后于经济发达国家。为了使我国火药科学技术进一步发展，尽快缩小与先进国家的差距，达到国际水平，我们非常需要培养一支掌握现代火药知识且结构合理的技术队伍。这是振兴我国火炸药行业的百年大计，这套火药系列教材就是为了实现这一目的而编写的。另外，我国有一大批在火药园地上辛勤耕耘了几十年的专家，他们在长期的教学、科研和生产中，取得了丰硕的成果并积累了极其丰富的经验，这是我国火药行业非常宝贵的财富。现在这些专家大多年事已高，非常希望把他们多年积累的知识传给后人，进而发扬光大。这套“火药系列教材”也是为了实现专家们的这一心愿及为祖国留下这一宝贵财富而编写的。

“火药系列教材”共10本，包括火药原材料、设计理论、燃烧理论、生产工艺、应用技术、实验与性能以及安全技术等各个方面内容，取材适当、重点突出、符合专业教学大纲要

求。既反映现代火药科学技术水平及最新成果，又结合我国火药科研、生产现状及编著者本人多年积累的教学、科研经验。与国内已出版的同类专著和教材相比，内容有较大幅度的翻新，有一部分教材则系国内首次公开出版。本系列教材全面采用国家法定计量单位，贯彻执行国家现行标准，读后将令人有耳目一新之感。

本系列各门教材均聘请实际经验丰富、学术造诣较深的教授和副教授担任主编，编写大纲于1988年5月经专家审定后，教材的初稿又通过火药系列教材编审委员会初审和专家主审，最后由“兵总”教材编审室审定定稿。

“火药系列教材”的出版，归功于各编者数年来锲而不舍的辛勤劳动，归功于编审委员会各位专家的热情指导，归功于“兵总”教材编审室的积极倡导与卓有成效的努力工作，归功于中国兵器工业总公司教育局及有关领导的关心和支持，还归功于北京理工大学出版社和有关院校印刷厂的鼎力协助，我们对此深表感谢！

为了国防科学技术的现代化，我们期待所有的火药工作者，努力贡献自己的劳动和智慧，攀登火药科学的新高峰！

在我国编写“火药系列教材”尚属首次，限于水平，教材中的缺点、错误或不尽人意之处在所难免，我们热切希望读者不吝赐教。

“火药系列教材”编审委员会

王泽山 孙业斌

1993年2月

# 前 言

本书是根据兵器工业教材编审室火药系列教材编审委员会制订的《双基火药》课程教学大纲编写的。《双基火药》是火药系列教材之一，可作为高等院校火炸药专业的教材。

双基火药是火药学中的重要分支，无论从品种的繁多，性能的良好，还是在武器中使用的广泛性上，都占有很重要的地位。特别是在战术火箭与导弹的推进能源中，双基火药占有主导和支配的地位。从第二次世界大战以来，双基火药得到了长足的发展。到目前为止，枪械中使用的单基火药被双基火药取代的趋势日益明显，平台双基推进剂的应用愈来愈广泛，代表着双基火药学科发展方向和水平的改性双基推进剂，研制和应用异常活跃。随着科学技术的进步，新工艺不断出现，新型材料的研制成功与应用，促进了双基火药的更新换代和其性能的改进和提高，为提高武器的战术技术性能发挥着很大作用。本书是在学习有关专业课程的基础上，对双基火药的各种类型以产品为纲，阐述其基本理论、特色与规律性，力求反映近年来的技术发展成就和学术新水平，结合教材的特点，注意做到理论联系实际，简明扼要。

全书共分7章。第1章绪论，重点阐述了双基火药的特征与应用，对其品种、性能、工艺及原材料几个方面的发展趋势予以展望。第2章至第4章分别阐述双基发射药、双基推进剂和改性双基推进剂。双基球扁形药是双基发射药的重要品种，在枪械中应用广泛。平台双基推进剂是双基推进剂的重要品种，其性能优越，发展迅速，普遍受到人们的重视。改性双基推进剂性能调节范围大，对各种火箭与导弹有较强的适应性，成为大力发展、性能倍受青睐的先进品种。这些内容本书作了较为详细的阐述。第5章双基火药制造工艺，以连续螺旋压伸工艺为主，辅以其它工艺。重点阐明双基火药工艺理论基础、压延原理和螺压理论。对于生产设备及操作条件，由于篇幅的限制不可能较为详细介绍。通过工厂生产实习，以弥补其不足。第6章双基火药的无损检测，介绍了几种较为先进的无损检测技术在固体推进剂无损检测中的应用。第7章双基火药的包覆技术。推进剂的绝热包覆层是推进剂的组成部分，是影响推进剂性能发挥的较为薄弱的环节，书中从材料、工艺技术及常出现的包覆层问题等几个方面进行了阐述。

本书由张续柱编写，由华北工学院张端庆教授主审，并经牛秉彝教授、戴健吾教授、王泽山教授、刘继华教授和孙业斌教授等专家对书稿进行了审查，提出了许多宝贵意见，在此一并表示感谢！

限于编著者的水平和经验，书上肯定还有不少缺点和错误，恳请读者批评指正。

编 著 者

1995.9



# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	( 1 )
1.1 双基火药的发展简史 .....	( 1 )
1.2 双基火药的基本特征 .....	( 2 )
1.2.1 能量可调范围大 .....	( 2 )
1.2.2 燃速范围广 .....	( 3 )
1.2.3 可制成较大尺寸的药柱或发动机装药 .....	( 3 )
1.2.4 成型性能好 .....	( 4 )
1.2.5 双基母体为含能粘结剂 .....	( 4 )
1.2.6 工艺灵活, 生产周期短 .....	( 4 )
1.3 双基火药的应用 .....	( 5 )
1.3.1 双基发射药的应用 .....	( 5 )
1.3.2 双基和改性双基推进剂的应用 .....	( 6 )
1.4 双基火药的发展趋势 .....	( 10 )
1.4.1 双基火药的品种 .....	( 10 )
1.4.2 双基火药的性能 .....	( 13 )
1.4.3 双基火药的工艺 .....	( 14 )
1.4.4 双基火药用原材料 .....	( 17 )
参考文献 .....	( 18 )
<b>第 2 章 双基发射药</b> .....	( 20 )
2.1 双基发射药的类型及组成 .....	( 20 )
2.1.1 双基发射药的类型 .....	( 20 )
2.1.2 双基发射药的组成 .....	( 21 )
2.2 枪炮武器对发射药性能的要求 .....	( 23 )
2.2.1 提高枪炮发射弹丸初速的主要途径 .....	( 23 )
2.2.2 枪炮武器对发射药爆温的限制 .....	( 24 )
2.2.3 枪炮武器对双基发射药性能的要求 .....	( 24 )
2.3 双基发射药的性能 .....	( 25 )
2.3.1 双基发射药的能量示性数 .....	( 25 )
2.3.2 双基发射药的安定性 .....	( 26 )
2.3.3 双基发射药的燃烧性能及其它性能 .....	( 29 )
2.4 枪用双基球(扁)形药 .....	( 35 )
2.4.1 概述 .....	( 35 )
2.4.2 枪用双基球扁形药的配方及性能 .....	( 36 )
2.5 双基管状和粒状炮用发射药 .....	( 38 )
2.5.1 概述 .....	( 38 )
2.5.2 双基管状和粒状发射药的配方及性能 .....	( 39 )
2.6 双基片状迫击炮用发射药 .....	( 40 )

2.6.1	概述	(40)
2.6.2	片状双基发射药的配方及性能	(40)
	参考文献	(41)
<b>第3章</b>	<b>双基推进剂</b>	(42)
3.1	双基推进剂的类型及组成	(42)
3.1.1	双基推进剂的类型	(42)
3.1.2	双基推进剂的组成	(44)
3.2	双基推进剂的能量性能	(46)
3.2.1	能量性能示性数	(46)
3.2.2	提高双基推进剂能量的途径	(46)
3.3	双基推进剂的燃烧及其它性能	(47)
3.3.1	燃烧性能	(47)
3.3.2	其它性能	(51)
3.4	平台双基推进剂	(53)
3.4.1	平台双基推进剂的燃烧波特性	(53)
3.4.2	平台燃烧催化剂在双基推进剂中的应用	(54)
3.4.3	平台双基推进剂的燃烧催化理论	(57)
	参考文献	(61)
<b>第4章</b>	<b>改性双基推进剂</b>	(62)
4.1	复合改性双基推进剂	(62)
4.1.1	复合改性双基推进剂的组分与配方	(62)
4.1.2	复合改性双基推进剂的燃烧特性	(65)
4.1.3	复合改性双基推进剂的其它特性	(77)
4.2	交联改性双基推进剂	(82)
4.2.1	XLDB推进剂的配方及性能	(82)
4.2.2	XLDB推进剂力学性能影响因素及提高力学性能的途径	(85)
4.3	复合双基推进剂	(89)
4.3.1	复合双基推进剂的配方与能量性能	(90)
4.3.2	燃烧性能	(92)
4.3.3	热安定性和安全性能	(93)
4.3.4	力学性能	(94)
4.4	硝酸酯增塑的聚醚推进剂	(99)
4.4.1	NEPE推进剂的组分与配方	(99)
4.4.2	NEPE推进剂的性能	(100)
	参考文献	(106)
<b>第5章</b>	<b>双基火药制造工艺</b>	(108)
5.1	概述	(108)
5.1.1	发展概况	(108)
5.1.2	制造工艺的特点	(109)
5.2	制造工艺的理论基础	(109)
5.2.1	硝化纤维素与溶剂的溶解性能	(110)
5.2.2	双基火药的流变特性	(114)

5.3 吸收药的制造	(122)
5.3.1 吸收的物理化学过程	(122)
5.3.2 吸收药制造工艺	(126)
5.3.3 固体组分的表面处理	(129)
5.3.4 吸收药的质量	(131)
5.4 螺旋压伸成型工艺	(133)
5.4.1 螺旋压伸工艺流程	(133)
5.4.2 药料的驱水	(133)
5.4.3 压延	(134)
5.4.4 烘干	(135)
5.4.5 螺旋挤压成型	(135)
5.4.6 成型药柱的处理	(142)
5.5 双基药料的压延原理	(142)
5.5.1 压延时药料的受力分析	(143)
5.5.2 药料在压延过程中的流动分析	(144)
5.5.3 压延时药料内发生的物理化学变化	(147)
5.6 螺压理论	(149)
5.6.1 固体输送理论	(149)
5.6.2 熔化理论	(152)
5.6.3 熔体输送(计量)理论	(157)
5.6.4 螺杆和模具的特性曲线	(160)
5.7 双基球形药制造工艺	(161)
5.7.1 制造球形药的工艺流程	(161)
5.7.2 球形药制造原理	(163)
5.7.3 球形药的主要质量指标及其控制	(164)
5.8 浇铸工艺	(166)
5.8.1 浇铸工艺流程	(167)
5.8.2 充隙浇铸	(168)
5.8.3 配浆浇铸	(169)
5.8.4 固化成型	(170)
5.9 双基火药的其它成型工艺	(171)
5.9.1 柱塞式挤压工艺	(171)
5.9.2 薄片状双基火药工艺	(171)
参考文献	(171)
<b>第6章 双基火药的无损检测</b>	(173)
6.1 超声波检测	(173)
6.1.1 固体推进剂超声波穿透法无损检测	(173)
6.1.2 固体推进剂包覆层超声波脉冲反射法无损检测	(177)
6.2 X射线检测	(179)
6.2.1 X射线检测原理与方法	(179)
6.2.2 固体推进剂检测工艺	(180)
6.2.3 检测参数及其影响因素	(180)
6.3 激光全息检测	(182)

6.3.1	激光全息无损检测的原理	(182)
6.3.2	激光全息图的观察与记录	(183)
6.3.3	干涉条纹的判读及图像数据处理	(184)
6.4	CT 扫描检测	(185)
6.4.1	CT 检测原理	(185)
6.4.2	CT 图像建立原理	(186)
6.4.3	电子计算机 X 射线断层摄影装置的组成	(188)
6.4.4	CT 图像的分析	(188)
	参考文献	(189)
<b>第 7 章</b>	<b>双基火药的包覆技术</b>	<b>(190)</b>
7.1	概述	(190)
7.1.1	绝热包覆层在固体火箭发动机装药中的作用	(190)
7.1.2	对固体推进剂装药包覆层的要求	(191)
7.2	固体推进剂绝热包覆层材料	(194)
7.2.1	纤维素衍生物	(194)
7.2.2	树脂及塑料	(196)
7.2.3	高聚物弹性体	(198)
7.3	固体推进剂的包覆工艺	(201)
7.3.1	自由装填式推进剂药柱的包覆	(201)
7.3.2	壳体粘结式发动机装药的包覆	(205)
7.4	固体推进剂包覆层组分迁移和脱粘问题	(208)
7.4.1	迁移原因分析	(208)
7.4.2	抑制迁移的途径	(209)
7.4.3	脱粘、开裂原因分析	(210)
7.4.4	防止开裂和脱粘的措施	(211)
	参考文献	(213)

# 第 1 章 绪 论

双基火药是武器的能源之一，广泛用于枪炮、火箭和导弹中。一般说，双基火药用于发射枪炮弹丸的称为双基发射药，用于推进火箭和导弹的称为双基推进剂、改性双基推进剂。双基火药的发展促进了武器的发展，武器的发展又对双基火药的性能提出更高的要求，促进了双基火药的发展。

## 1.1 双基火药的发展简史

双基火药所用的基本原材料为硝化纤维素 (NC) 和硝化甘油 (NG)。硝化纤维素是 1833 年由法国人布拉科诺 (Braconnot) 首先研究出来，随后于 1865 年英国化学家阿贝尔 F A (Abel F A) 用细断法制得了安定的硝化纤维素。硝化纤维素的发明和发展为现代火药的研究打开了大门，促进了单基火药和双基火药的发明。硝化甘油是意大利都灵市一位工业化学家索布雷罗 A M (Sobrero A M) 于 1847 年发现的，他本人和以后的人们设法解决实际应用硝化甘油的办法。著名的瑞典化学家诺贝尔 A B (Nobel A B) 继续硝化甘油应用的工作，建立了硝化甘油制造工厂，在炸药方面开展应用研究的基础上于 1888 年用 40% 的硝化甘油和 60% 的硝化纤维素制造出巴利斯太 (Ballistite) 型双基发射药，发明了双基火药。双基火药的发明，增添了火药的新品种，扩大了在武器中的应用范围，推动着武器向前发展，为火药性能的提高奠定了技术基础。目前，巴利斯太型双基火药从组成到工艺发生了很大变革，性能有很大提高，它是大口径火炮、火箭和导弹应用的最主要的品种。

19 世纪随着工业的迅速发展，促进了双基火药的发展。以丙酮为挥发性溶剂，由高氮量的硝化纤维素和硝化甘油等制造柯达 (Card) 型双基发射药。它可利用单基火药工艺进行制造，成为挥发性溶剂双基发射药。目前，少数国家 (例如英国) 仍在使用的。在第二次世界大战前，美国于 1929 年开始研究球形药，1936 年设计出球形药工艺生产线，并由西方枪弹公司 (奥林、马休逊公司) 生产球形药。当时研制球形药有两个目的，一是以简单快速的方法制造枪药，以代替压伸单基药；二是利用安定性较差的硝化纤维素或过期单基药来生产单基球形药。后来发展为枪用双基球形药。球形药的生产方法很多，既可以生产枪用双基球形药，也可以生产浇铸双基推进剂用的塑溶胶硝化纤维素和改性双基推进剂用的球形药。目前世界各国使用的枪械装药多数为双基球 (扁) 形药，它成为双基火药的品种之一。

在第一次和第二次世界大战期间，对武器的需求十分迫切，火药的用量急剧增加，作为双基火药的原料硝化甘油严重缺乏。德国和原苏联开发硝化乙二醇、硝化二乙二醇代替硝化甘油，出现了硝化乙二醇或硝化二乙二醇的双乙型双基火药。由于硝化乙二醇的挥发性较大，致使火药的弹道性能波动较大，不宜使用。硝化二乙二醇 (硝化三乙二醇) 的一个明显特点是与硝化纤维素的溶解性能较好，它可与硝化甘油、硝化纤维素等组成混合酯火药。

1935 年原苏联科学家用添加燃烧催化剂和弹道稳定剂的方法降低双基火药完全燃烧的临界压力，制成压伸双基推进剂，应用于军用火箭。作为火箭炮装药在卫国战争中起了重要

作用。1940年美国也开始将压伸双基推进剂应用于火箭推进系统。目前压伸双基推进剂在小型战术火箭和导弹中占着主要地位。为了满足大型火箭的需要，生产大尺寸药柱成了武器发展的迫切要求。为了适应这种要求，1944年春美国炸药研究实验室发明了充隙法双基浇铸工艺，从而较好地解决了大尺寸和复杂药型药柱的生产途径问题。浇铸双基推进剂从此在火箭与导弹中获得应用。1946年Avery等人实验时发现，在双基推进剂组分中加入少量硬脂酸铅可以使双基推进剂的燃速-压力曲线出现“平台”，由此问世了平台双基推进剂。随着平台燃烧催化剂的大量研究及应用，平台双基推进剂的品种越来越多，是双基推进剂的重要品种之一。

由于高分子材料的成就，美国于1947年成功地研制出以聚硫橡胶为粘结剂，加入大量高氯酸铵（AP）和铝粉等的聚硫复合推进剂，相继发展了聚氨酯复合推进剂、丁羧复合推进剂和丁羟复合推进剂。在50年代中期，由于战略导弹和大型助推器对高能推进剂的需要，美国研究成功了复合改性双基推进剂（简称CMDB），它是在浇铸双基推进剂工艺的基础上，加入复合推进剂中的高能组分高氯酸铵和铝粉而组成的，是双基推进剂和复合推进剂互相结合的产物。由于其能量高，很快应用于60年代初期研制的美国第一代战略导弹“民兵”、“北极星”等型号的末级发动机中。在复合改性双基推进剂的发展过程中，形成了以含高氯酸铵为基的复合改性双基推进剂（简称AP-CMDB）和以含奥克托今（HMX）或黑索今（RDX）高能硝酸炸药为基的复合改性双基推进剂（简称HMX-CMDB）。后者有的也称为硝酸推进剂。复合改性双基推进剂不但在战略导弹领域，而且在战术火箭与导弹领域一直受到重视和发展，研究工作异常活跃，品种很多，性能各异，不断满足火箭与导弹对推进剂性能的要求。

为了适应壳体粘结式固体火箭发动机装药对推进剂力学性能的要求，70年代发展了交联改性双基推进剂（XLDB）和复合双基推进剂（CDB），它是为解决复合改性双基推进剂力学性能较差而提出的。尽管复合改性双基推进剂和交联改性双基推进剂有着优越的性能，但对于能量要求更高及使用温度范围更为宽广的某些战略导弹而言，它们的能量和低温力学性能尚不能满足要求。于是70年代以来，出现了硝酸酯增塑的聚醚聚氨酯推进剂，简称硝酸酯聚醚推进剂（NEPE），成功地应用于陆基MX导弹第三级发动机装药。

我国双基火药在40年代就开始生产，新中国成立后，双基火药的研制和生产得到长足的发展。双基推进剂50年代在火箭上得到应用，60年代开始研制改性双基推进剂。国外现有的品种，我国均已研制，有的获得应用，其主要性能指标接近或达到国外先进水平。

## 1.2 双基火药的基本特征

双基火药发展迅速、性能稳定和应用广泛的根本原因，在于它本身有很多基本特征。

### 1.2.1 能量可调范围大

双基火药的能量可调范围大，以适应各种武器对能量的要求。

双基发射药和双基推进剂的能量主要来源于硝化纤维素和硝化甘油。调整硝化纤维素与硝化甘油含量的比例范围，使其能量在较大范围内变化。硝化甘油是富氧的物质，富氧量为25.2g/kg，硝化纤维素是负氧的物质，当含氮量为13.25%时，负氧量为301g/kg，按照等物质量规则，硝化甘油与硝化纤维素之比应为8.57:1。实际上，硝化甘油含量很少超过60%。考虑到双基发射药和双基推进剂的安全性能、机械性能、贮存性能和使用温度范围的限制，硝

化甘油含量多数在 25%~40%，少数在 50%~60%。例如硝化甘油含量约为 26% 的双芳-3 发射药，其爆热为 3200KJ/kg，当硝化甘油含量约为 40% 的双迫型发射药，爆热达 5230KJ/kg。双基推进剂随着硝化甘油含量不同，理论比冲在 1660~2450N·s·kg<sup>-1</sup> 内变化。

改性双基推进剂能量较双基推进剂有较大的提高，其提高的程度视加入含能组分的种类与用量而定。在硝化甘油含量基本相同的条件下，加入含能材料吉纳，将 1 号硝化纤维素代替传统的双基推进剂的 3 号硝化纤维素组成的改性双基推进剂，比普通双基推进剂理论比冲高出 17.2%。用于“北极星”潜地弹道导弹 A<sub>2</sub> 和 A<sub>3</sub> 第二级发动机装药的改性双基推进剂，其配方为硝化纤维素 14%~32%，硝化甘油 10%~33%，高氯酸铵 5%~20%，铝粉 17%~18%，比冲在 2461~2501N·s·kg<sup>-1</sup>。在推进剂中随着奥克托今含量增加，可使能量有较大的提高。例如用于三叉戟 C<sub>4</sub> 导弹的一级、二级和三级发动机装药的交联改性双基推进剂，由硝化纤维素、硝化甘油和聚乙二醇己二酸酯等组成的粘结剂为 23%~30%，高氯酸铵为 4%~10%，奥克托今为 43%~53%，铝粉为 19% 左右，其比冲为 2599~2648N·s·kg<sup>-1</sup>。

### 1.2.2 燃速范围广

在双基发射药中，随着硝化甘油含量的增加，爆热提高，燃速增大。在相同的压力条件下，硝化甘油含量约为 40% 的双迫型发射药的燃速比含 20%~30% 的双芳型发射药燃速高。

双基和改性双基推进剂燃速范围很广。在双基推进剂中加入燃烧催化剂，可以调节燃速。当加入负催化剂时，燃速可降至 3.5~2.0mm/s。当加入正催化剂时，普通双基推进剂在 10mm/s 左右，也可以达到 20mm/s，乃至 35mm/s。随着反弹道导弹、防空导弹和反坦克导弹的发展，要求发展高燃速推进剂。改性双基推进剂不但能量高、燃速范围宽，而且燃速可调，可制成高燃速固体推进剂。例如硝化纤维素/硝化甘油约为 60%，高氯酸铵为 20%~30%，铝粉为 5%~10%，安定剂约为 2%，选择合适的燃烧催化剂，在保证比冲较大的情况下（一般为 2569~2599N·s·kg<sup>-1</sup>），燃速为 30~70mm/s。在复合改性双基推进剂中加入碳硼烷及其衍生物和多面体离子型硼氢盐等高燃速调节剂，可大幅度地提高推进剂的燃速。含有正己基碳硼烷的推进剂，在 13.7MPa 压力下，实测燃速为 144.78mm/s。含 4% 丙酸甲酯基碳硼烷，含超细高氯酸铵、铝丝和叠氮聚醚的推进剂，于 9.81MPa 压力下，燃速可达 154mm/s。含三氨基胍硼氢盐高燃速调节剂的推进剂，燃速可接近 1000mm/s。

### 1.2.3 可制成较大尺寸的药柱或发动机装药

双基火药按制造方法与成分的不同，有挥发性溶剂与难挥发性溶剂火药之分，分别简称为溶剂双基火药和无溶剂双基火药。前者在制造过程中采用了挥发性溶剂（例如丙酮），当塑化成型后，溶剂要从药柱或药粒中驱除掉，使得药柱直径不宜过大。溶剂压伸工艺生产的药柱的燃烧层厚度一般不超过 12mm 左右。一般所称的双基火药是无溶剂双基火药。

双基火药由于采用了难挥发性溶剂，成型后不需要驱除溶剂，可以用压伸方法、浇铸方法制成尺寸较大的药柱或直接浇铸到固体火箭发动机中，构成壳体粘结式发动机装药。用压伸的方法挤压的药柱，通常采用螺旋挤压机，最大挤压尺寸可达螺压机直径的 1.5~2 倍。无溶剂压伸工艺生产的药柱直径一般不超过 300mm，大量用于野战火箭中。浇铸工艺生产的药柱尺寸不受限制，而且药型也较为复杂。例如用浇铸工艺制造的“诚实约翰”“黄铜骑士”等火箭弹的自由装填式药柱直径达 762mm。对于壳体粘结式发动机装药，可以制备 1000mm 以

上的装药。例如用于战略导弹的“北极星 A<sub>2</sub>”和“北极星 A<sub>3</sub>”的第二级发动机所用的复合改性双基推进剂直径为 1370mm，用于“民兵 I”第三级发动机装药的复合改性双基推进剂直径达 2340mm。

#### 1.2.4 成型性能好

成型性能好主要表现在双基药料的塑性好，可以碾压成像纸一样厚的药片。当硝化纤维素和硝化甘油等制备成吸收药后，在一定的温度和压力作用下压延，压延时随着吸收药料水分含量的减少，硝化甘油进一步溶解塑化硝化纤维素，增强了药料的可塑性。由于药料塑性好，经多次辊压成张，成为薄片状，其燃烧层厚度可达约 0.1mm。双迫型发射药根据所使用的武器不同，其燃烧层厚度在 0.1~1.3mm 内变化，且厚度精度范围较小。例如 60mm 迫击炮用双片状药燃烧层厚度为  $0.10 \pm 0.02$ mm。

双基火药中硝化甘油含量较高是获得药料塑性好的前提。硝化甘油含量太少压不成张，含量过高增加了压延过程中的着火率，且易粘辊，制成的片状药也容易发粘，影响其使用。双迫型发射药中硝化甘油含量一般为 38%~44%。

#### 1.2.5 双基母体为含能粘结剂

在复合推进剂中，所用的粘结剂为惰性粘结剂，例如端羧基聚丁二烯、端羟基聚丁二烯、聚氨酯等。在改性双基推进剂中，硝化纤维素和硝化甘油母体作为含能粘结剂、特别是硝化甘油作为粘结剂是富氧含能的，对其能量调节有积极的作用。无论是改性双基推进剂还是复合推进剂，增加固体含量的主要目的是提高推进剂的能量。固体组分含量增加了，粘结剂含量就相应地减少了。为了保证推进剂的工艺性能和力学性能，粘结剂含量不能太低，即固体含量的提高受到限制。对于聚丁二烯类复合推进剂，要获得最高比冲，要有 88% 左右的固体含量，而且固体含量稍降低，能量就明显下降。改性双基推进剂以双基母体作为粘结剂，其固体含量可在较大范围内变化，且含量可达 50% 以上，其含量的变化对能量的影响不明显。

当以双基母体为粘结剂，加入不同固体物质组成的改性双基推进剂时，其结构由均质向非均质过渡。由 1 号硝化纤维素、硝化甘油、吉纳和铝粉等组成的改性双基推进剂，由于固体组分吉纳对能量较高的 1 号硝化纤维素有较好的溶塑性能，使其物理机械性能较好。当在双基母体粘结剂中添加固体物质为高氯酸铵、铝粉或硝酸类固体炸药时，其结构为非均质推进剂。为了提高固体含量以大幅度提高推进剂的能量，改善推进剂的力学性能，对含能粘结剂进行交联或加入键合剂等成为交联改性双基推进剂。

#### 1.2.6 工艺灵活，生产周期短

双基火药组分的多变性决定了双基火药制造工艺的灵活性。对于硝化甘油含量较高的双迫型发射药，采用压延生产工艺。对于双基球扁形枪用发射药，通常采用快速成型的球形药制造工艺。对于中等硝化甘油含量的巴利斯塔双基火药，一般用无溶剂压伸工艺。对于硝化甘油含量较高的双基推进剂和改性双基推进剂多数采用浇铸工艺，有的也采用压伸工艺。改性双基推进剂吸收了双基推进剂与复合推进剂的有用组分，因配方灵活多变，其制造工艺也有差别。既可以用浇铸工艺，也可以用无溶剂压伸工艺，甚至用溶剂压伸工艺。同样用于一种工艺生产的不同品种，其工艺也有着明显的差别。为此，双基火药的制造工艺应该与具体



的配方相适应,以安全、经济地生产出质量优良的双基火药为准则,不应该局限于某一不变的工艺模式之中。实际上,根据配方的不同所引起的具体工艺方法的改进是经常发生的。

与单基、三基发射药相对比较,双基火药生产周期短。双基球扁形药生产工艺比较简单,成型快速。压伸双基火药工序较少,不存在挥发性溶剂的驱除阶段。压延工艺生产的双迫型火药也只需要较少的设备就可以加工成型。浇铸工艺更为典型,特别是配浆浇铸工艺可以在配浆过程中方便地改变组分及其含量,可以缩短配方研制周期。例如美国赫克利斯公司的巴卡斯工厂在3个月内鉴定了50多个配方。

## 1.3 双基火药的应用

### 1.3.1 双基发射药的应用

根据枪炮兵器的要求,发射药的发展已经形成了单基、双基和三基(多基)发射药系列,应用于不同的枪炮武器之中,下面只简单介绍双基发射药在不同枪炮中的使用情况。

#### 1.3.1.1 野战炮用双基发射药

榴弹炮、加榴炮和加农炮在战场上是用来对付敌人整个纵深内的军事设施目标及有生力量的,并担负着掩护步兵和装甲车辆前进,对主要目标实施火力机动。因此这些武器不但应有足够的射程和精度,还应具有较大的机动性和威力,以满足不同战斗目的需要。这类火炮用发射药除单基和三基发射药外,还有双基发射药。如美国 MZ 型双基发射药曾用于 105mm 的 M35 加农炮和 37mm 的 M1A1 和 M9 加农炮, M8 型双基发射药用于 75mm 的 M35 加农炮, M26E1 型双基发射药装备在 152mm 火炮的多用途弹上。原苏联的 HII T 型双基发射药曾用于 100mm 的 M55 野炮, 122mm 的 M63II30、M55II74 加榴炮, 130mm 的 M54 加农炮和 M55 式 152mm 加榴炮。从药型上有单孔粒状药和管状药。

#### 1.3.1.2 迫击炮和无后坐炮用双基发射药

迫击炮是伴随步兵近距离消灭敌人的武器。无后坐炮是用于对付装甲车辆的。这类武器在保证好的机动性的前提下,要求射程和威力尽量大。要求发射药燃速高以保证膛内燃尽,能在较低的压力下稳定燃烧,着火引燃性能好和抗熄火能力强。通常使用火药力高、爆温高的速燃双基发射药。例如美国 M5、T18、T25、T28、T31、T32 和 T33 等双基发射药用于 90mm 的 M67、M61 滑膛无后坐炮。在线膛无后坐炮上除早期使用的 M2 型发射药外, 105mm 或 106mm 线膛无后坐炮上使用 M26 型双基发射药。M7、M8、M9 广泛用于各种口径的迫击炮。M8(M9)型双迫药用于 M2 和 M19 的 60mm 迫击炮以及 M7 和 M29 型双基药用于 81mm 迫击炮。这些火药组分中硝化甘油含量较高,火药力大于 1156KJ/kg,燃气温度大于 3700K。尽管这些武器的材料与大口徑线膛炮相同,但由于滑膛和低压下火药燃速较快,燃气与炮膛作用时间较短,燃气对炮管的烧蚀不很严重。

#### 1.3.1.3 机、步枪用双基发射药

机枪、步枪和手枪等轻兵器,用于近距离杀伤有生力量。要求这类武器质量轻便、口径小和弹丸初速高。特别是机、步枪对于步兵来说,小口径化具有明显的优点,主要是极大地增加了携弹量。例如有些国家装备的 4.85mm 枪弹、5.45mm 枪弹、SS109 和 M193 的 5.56mm 枪弹,其枪的质量较轻,约为 3.0~3.1kg,全弹质量由 7.62mm 口径枪弹的 16g 降低约 1 倍