



2012-2013

*Report on Advances in
Ordnance Science and Technology*

中国科学技术协会 主编
中国兵工学会 编著

兵器科学技术学科发展报告
(含能材料)

中国科学技术出版社



學
科
發
展
報
告
研
究

014033378

TJ-12
01
2012-2013

2012—2013

兵器科学技术 学科发展报告 (含能材料)

REPORT ON ADVANCES IN ORDNANCE
SCIENCE AND TECHNOLOGY

中国科学技术协会 主编
中国兵工学会 编著



中国科学技术出版社

· 北 京 ·



北航

C1721901

TJ-12

01

2012-2013

图书在版编目 (CIP) 数据

2012—2013 兵器科学技术学科发展报告 (含能材料) / 中国科学技术协会主编; 中国兵工学会编著. —北京: 中国科学技术出版社, 2014.2

(中国科协学科发展研究系列报告)

ISBN 978-7-5046-6539-3

I. ① 2… II. ① 中… ② 中… III. ① 武器—技术发展—研究报告—中国—2012—2013 IV. ① TJ-12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 010813 号

策划编辑	吕建华 赵 晖
责任编辑	夏凤金
责任校对	王勤杰
责任印制	王 沛
装帧设计	中文天地

出 版	中国科学技术出版社
发 行	科学普及出版社发行部
地 址	北京市海淀区中关村南大街 16 号
邮 编	100081
发行电话	010-62103354
传 真	010-62179148
网 址	http://www.cspbooks.com.cn

开 本	787mm × 1092mm 1/16
字 数	288 千字
印 张	15
版 次	2014 年 4 月第 1 版
印 次	2014 年 4 月第 1 次印刷
印 刷	北京市凯鑫彩色印刷有限公司
书 号	ISBN 978-7-5046-6539-3/TJ·7
定 价	49.00 元

(凡购买本社图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换)

2012—2013

兵器科学技术学科发展报告

(含能材料)

REPORT ON ADVANCES IN ORDNANCE SCIENCE AND TECHNOLOGY

首席科学家 徐更光 王泽山

专 家 组

组 长 覃光明

副组长 (按姓氏笔画排序)

刘大斌 肖忠良 赵凤起 黄 辉 焦清介

成 员 (按姓氏笔画排序)

王伯良 王晓峰 王晶禹 邓少生 朱顺官

朱晨光 乔小晶 许毅达 李凤生 杨 利

杨光成 何卫东 宋秀铎 张玉成 张光全

张同来 陆 明 罗运军 周 霖 庞思平

赵省向 姜 炜 聂福德 黄振亚 盛涤纶

彭翠枝 葛忠学 褚恩义 谭惠民 潘仁明

潘功配

学 术 秘 书 潘仁明 安玉德 祝 翠 李 莹

序

科技自主创新不仅是我国经济社会发展的核心支撑，也是实现中国梦的动力源泉。要在科技自主创新中赢得先机，科学选择科技发展的重点领域和方向、夯实科学发展的学科基础至关重要。

中国科协立足科学共同体自身优势，动员组织所属全国学会持续开展学科发展研究，自2006年至2012年，共有104个全国学会开展了188次学科发展研究，编辑出版系列学科发展报告155卷，力图集成全国科技界的智慧，通过把握我国相关学科在研究规模、发展态势、学术影响、代表性成果、国际合作等方面的最新进展和发展趋势，为有关决策部门正确安排科技创新战略布局、制定科技创新路线图提供参考。同时因涉及学科众多、内容丰富、信息权威，系列学科发展报告不仅得到我国科技界的关注，得到有关政府部门的重视，也逐步被世界科学界和主要研究机构所关注，显现出持久的学术影响力。

2012年，中国科协组织30个全国学会，分别就本学科或研究领域的发展状况进行系统研究，编写了30卷系列学科发展报告（2012—2013）以及1卷学科发展报告综合卷。从本次出版的学科发展报告可以看出，当前的学科发展更加重视基础理论研究进展和高新技术、创新技术在产业中的应用，更加关注科研体制创新、管理方式创新以及学科人才队伍建设、基础条件建设。学科发展对于提升自主创新能力、营造科技创新环境、激发科技创新活力正在发挥出越来越重要的作用。

此次学科发展研究顺利完成，得益于有关全国学会的高度重视和精心组织，得益于首席科学家的潜心谋划、亲力亲为，得益于各学科研究团队的认真研究、群策群力。在此次学科发展报告付梓之际，我谨向所有参与工作的专家学者表示衷心感谢，对他们严谨的科学态度和甘于奉献的敬业精神致以崇高的敬意！

是为序。

韩明

2014年2月5日

前 言

中国兵工学会于2008—2009年、2010—2011年分别组织编写出版了两本《兵器科学技术学科发展报告》，报告比较全面地反映了我国兵器科学技术的发展现状、优势和特点，分析了与国际先进水平之间存在的差距，在国内外引起了较大反响，受到从事兵器及相关学科研究设计、生产使用、教学和管理的科技工作者的欢迎。

含能材料作为武器装备核心材料之一，主要应用于陆、海、空及二炮各类武器系统，是完成发射、推进和毁伤的能源材料，是决定武器先进性的关键因素之一。自上世纪80年代，我国的含能材料进入了快速发展期，以高能低感和绿色制造为主要方向的发展趋势日趋明朗。

近五年，我国含能材料学科领域的研究十分活跃，基础理论方面的新观点、新原理和新方法，应用技术方面的新发明和新突破，研究成果的推广和成功转化等时有报道。为此，中国兵工学会在中国科协学会学术部的直接指导下，在中国兵器工业集团公司科技部、中国兵器科学研究院的大力支持下，组织了北京理工大学、南京理工大学、中北大学、中国兵器204所、中国兵器213所、中国兵器210所、中国工程物理研究院903所等单位的50多位专家学者开展含能材料学科发展研究，编制了由1份综合报告和5份专题报告组成的含能材料学科发展研究报告，回顾总结了我国近五年含能材料学科领域的研究进展，展示了我国该学科领域的自身优势、与国际先进水平间存在的差距和学科发展趋势，提出了我国含能材料重点发展的方向及其策略和建议。从一个侧面反映了我国兵器科学与技术领域近年来在提升自身实力、提高自身水平、增强自身活力的同时，对我国国防现代化建设所作出的重要贡献。

我们希望本报告能够为兵器科技未来发展的预测和导向，为重组兵器产业、促进专业整合、提升创新能力提供帮助，能够为相关大专院校专业建设、人才培养以及相关科研技术人员提供参考。

徐更光院士和王泽山院士是本报告的首席专家。国防科学技术大学、总装预研管理中心、总装炮兵技术研究所、中国兵器科学研究院等单位的专家参加了学科发展报告的研讨，并提出了许多宝贵意见。在此，谨向为含能材料学科发展研究工作的开展和报告的撰写给予关心、支持、帮助的单位 and 人士致以衷心的感谢！

中国兵工学会
2014年1月

目 录

序	韩启德
前言	中国兵工学会

综合报告

含能材料学科发展报告	3
一、引言	3
二、含能材料学科的最新研究进展	5
三、国内外含能材料研究进展比较	32
四、含能材料发展趋势及展望	43
参考文献	48

专题报告

发射药及其装药技术	53
固体推进剂设计与装药新技术	83
高能化合物及其制备新技术	105
混合炸药设计与制造技术	131
火工烟火药剂设计与制备技术	161

ABSTRACTS IN ENGLISH

Comprehensive Report

Advances in Energetic Materials	201
---------------------------------------	-----

Reports on Special Topics

Report on the Science and Technology Advancement of Gun Propellants	212
Report on the Science and Technology Advancement of Solid Propellants	213
Report on the Science and Technology Advancement of Single Compound Explosives	215
Report on the Science and Technology Advancement of Composite Explosives	216
Report on the Science and Technology Advancement of Pyrotechnics	217
缩写表	220
索引	226

综合报告

含能材料学科发展报告

一、引言

含能材料是一类含有爆炸性基团或含有氧化剂和可燃剂、能独立进行化学反应的化合物或混合物。含能材料主要应用于陆、海、空及二炮各类武器系统，是完成发射、推进和毁伤的能源材料。

黑火药是中国古代四大发明之一，是现代含能材料的始祖，是高功率化学能应用的先驱。黑火药的出现促成了武器从冷兵器时代向热兵器时代的跨越。

随着近代兵器科学技术的发展，含能材料在兵器中的做功形式、组成和功能出现了差异，逐步被细分为发射药、固体推进剂、炸药和火工烟火药剂，并在军事上和民间应用的需求驱动下逐步形成了各自的研究与应用领域。发射药是枪炮弹丸的发射能源，固体推进剂是火箭和导弹的运载动力能源，炸药是爆炸做功能源，火工药剂主要用于火炸药燃烧或爆炸的引发，烟火药剂用于产生光、烟等特种效应。

发射药、推进剂、炸药和火工烟火药剂均为亚稳态类物质，它们主要以燃烧或爆炸方式进行化学反应，而且即使在隔绝大气条件下，燃烧或爆炸仍能顺利进行，并能瞬间输出巨大功，体现了含能材料的“含能”特征。

含能材料是武器装备的核心材料之一，在国防工业中发挥着重要作用。含能材料以压力推进、反作用力推进和爆炸毁伤等方式应用于武器，含能材料的能量输出特点使得武器结构简单，使用机动灵活，反应敏捷，突防和攻击性能高效。作为武器的能源，含能材料性能与武器性能密切相关，它是决定武器先进性的关键因素之一。综合考虑兵器先进性、相容性、生存能力、机动性、工艺性以及性价比等因素，与其他能源相比，含能材料化学能在兵器上的应用具有明显的优越性。在民用领域，含能材料被广泛用作矿业、建筑、石油、冶金等机械加工和工程施工的能源，或用作热、光、烟的能源，在国民经济领域的应用范围正在不断拓展。作为军用和民用的含能材料，在今后相当长的时间里，仍无法被其他能源所取代。

武器与含能材料相互依存与促进。武器的需求牵引与技术进步为含能材料发展和创新提供条件和机遇；含能材料性能的进一步提高，促进武器发射能力、精确打击能力、机动

性和毁伤威力的增强,可促进和引领新一代武器及新概念武器的发展和创新。含能材料通过与武器的合理优化组合,可以使武器获得更优的战术技术性能,同时也可使含能材料的能量获得高效发挥。

鉴于国防的重要性,世界各国对含能材料进行了长期持续的研究,至20世纪70年代,逐步发展并形成了以具有能独立进行化学反应并输出能量为特征的含能材料知识体系,并被世界军械领域所接受和公认。这一领域的学术交流和学科建设不断推进,专业学会和研发机构相继建立和完善,例行的国际学术会议定期举行,专业期刊和书籍不断发行,高校设立相关专业招收学生进行培养。我国的含能材料学科也在发展中逐步形成,在1995年版国务院学位办《授予博士、硕士学位和培养研究生的学科、专业总览》中,将含能材料归为我国兵器科学与技术一级学科的17个二级学科之一。

我国含能材料学科自20世纪80年代以来进入了快速发展时期,以高能低感和绿色制造为主要方向的含能材料发展趋势日趋明朗。近5年,我国含能材料学科领域的研究十分活跃,基础理论方面的新观点、新原理和新方法,应用技术方面的新发明和新突破,研究成果的推广和成功转化等时有报道。我国相继开展了以提高含能材料能量为目标的高能量密度化合物、含能黏合剂、高热值可燃剂、高效能氧化剂的合成与制备及其应用研究;以提高含能材料能量利用率目标的低温感发射装药、高渐增性燃烧发射装药、温压和贫氧药剂及其与大气环境的优化耦合等理论与技术研究;以降低弹药敏感性为目标的不敏感炸药及其应用研究;以提高工艺安全性、降低能耗和减少/消除环境污染目标的绿色硝化、污水废气治理、远程控制—人机隔离—连续化—自动化生产、报废火炸药无害化处理与资源化利用等理论与技术研究,并取得了高增面和低温感发射装药、全等模块装药、CL-20等高能量密度化合物合成与工程应用、温压炸药、高能NEPE类推进剂、高固含量HTPB及CMDB推进剂、面源红外诱饵剂、全频谱发烟剂等重大研究成果,丰富和充实了含能材料学科的基础理论,扩展了含能材料的应用范畴,推动和引领了新一代大口径火炮、远程战术火箭、高威力毁伤弹药的发展,也促进了含能材料设计原理与方法、工艺原理与技术、应用技术和测试评估技术的同步进展。其中,全等模块装药技术及CL-20的工程化放大技术是我国近5年来含能材料研究领域取得的重大突破及标志性亮点。

纵观我国含能材料学科近年的快速发展和所取得的丰硕成果,从一个侧面反映了我国兵器科学与技术领域在提升自身实力、提高自身水平、增强自身活力的同时,对我国国防现代化建设所作出的重要贡献。

本报告分别从含能材料设计、制备/合成工艺技术、应用技术、性能测试与评估等方面回顾总结我国近五年含能材料学科领域的研究进展,并与国外该学科领域的发展现状进行了比较。可以看到,我国的含能材料学科体系已经发展并形成了自身的优势和特点,与国际先进水平之间的差距逐步缩小,部分领域已进入国际先进行列。报告还分析了含能材料的未来需求背景,展望了含能材料学科的发展趋势,提出了我国含能材料重点发展的方向及其策略和建议。

“含能材料学科发展研究”课题的开展和研究报告的撰写得到了中国科协学会学术部

的直接指导,北京理工大学、南京理工大学、中北大学、中国兵器 204 所、中国兵器 213 所、中国兵器 210 所、中国工程物理研究院 903 所等单位的 50 多位专家学者参与了该课题的研究。国防科技大学、总装预研管理中心、总装炮兵技术研究所、中国兵器科学研究院等单位的专家参加了学科报告的研讨,并提出了许多宝贵意见。南京理工大学牵头开展了课题研究与报告的撰写。中国兵器科学研究院和南京理工大学组织专家对报告进行了保密审查。

二、含能材料学科的最新研究进展

(一) 发射药

1. 发射药设计

(1) 设计方法

近年来,我国学者应用计算机仿真技术,开发了发射药配方设计与优化软件、支撑数据库等系列设计平台。比如采用人工干预优化算法,开发了发射药配方优化设计 EMATRIX 模块,采用动态链接库的方式实现了资源共享和混合编程,实现了发射药配方优选及其能量优化设计;又如基于逼近武器高压应用环境条件的求解模型,编制了具有离解和非离解特点的发射药配方热力学性质参数的计算软件。这些成果的应用,有利于发射药设计效率的提高和研制周期的缩短。

烟、焰、残渣被称为发射装药燃烧的有害现象。近年来,我国从发射药高压燃烧时凝聚态产物的形成机制入手,考察了发射药原料质量、配方氧平衡、发射药尺寸偏差、燃烧场等因素与凝聚态产物之间的定性与定量关系,以此为基础提出了诸如使用优质黏合剂、控制配方氧平衡、强化装药点火一致性等技术措施来抑制发射药燃烧凝聚态物质的生成。这些基础研究成果对“洁净燃烧发射药”的设计和消除或减弱身管武器发射时遇到的烟、焰、残渣等有害燃烧现象提供了指导性建议。

(2) 发射药配方

1) 高能发射药。主要采用混合含能增塑剂、混合含能黏合剂、高能量密度化合物等技术途径,获得高能发射药。比如使用以 NG/DIANP 为混合含能增塑剂、RDX 为高能氧化剂的高能发射药,在爆温 $\leq 3500\text{K}$ 时,火药力可达 1275kJ/kg ,该发射药试用于 30mm 口径火炮,从常温、低温内弹道试验效果看,在 550MPa 高压下膛内燃烧稳定。使用 GAP/NC/N100 为混合含能黏合剂、RDX 为高能氧化剂的高能发射药,在爆温 $\leq 3600\text{K}$ 的条件下,火药力可达 1270kJ/kg ,低温抗冲强度 $> 7\text{kJ/m}^2$;在发射药配方中引入 CL-20、DNTP、TNAZ 等高能量密度化合物,明显提高了发射药的能量,火药力可达 1300kJ/kg 左右。与原有最高能量的发射药相比,火药力提高了 5% 以上。

2) 高强度发射药。发射药的力学性能高膛压、高初速身管武器中备受关注,因为它

与发射安全息息相关。我国科研人员采取了调节黏合剂体系的低温力学性能、控制高能固体填料颗粒结构及其在黏合剂体系中分散的均一性、加入键合剂等技术途径,有效地改善了发射药的力学性能,部分高强度发射药的低温冲击强度提高了 50% 以上。比如在太根发射药设计时,在配方中添加热塑性弹性体和高能添加剂 RDX,低温冲击强度达到 10kJ/m^2 以上,燃烧稳定。

3) 高燃速发射药。近年来我国科研人员重点研究了功能材料和预制微孔结构对发射药燃速的影响。其中使用高燃速功能材料的途径,发射药的正比式燃速系数至 $3\text{mm}/(\text{s} \cdot \text{MPa})$ 以上,是传统高能发射药的 3 倍左右,且高温、低温、常温燃烧性能稳定。基于内容法球形药工艺条件的控制技术和超临界流体发泡原理制备的表观高燃速发射药,其内部均匀分布了一定数量和孔径的气孔,燃烧时表观燃速获得大幅提高。

4) 低敏感发射药。也称 LOVA 发射药,是为适应高过载作用而发展起来的新型发射药品种。近年来我国学者看好硝化棉(NC)基低敏感发射药和含能热塑性弹性体(ETPE)基低敏感发射药。其中开发的以硝化棉(NC)为黏合剂、丁基硝氧基乙基硝胺(BuNENA)为含能增塑剂、黑索今(RDX)为高能氧化剂的低敏感发射药,即使火药力高达 1205kJ/kg ,但它对热作用、射流撞击、快速烤燃、慢速烤燃和子弹撞击等敏感度明显低于传统三基发射药,在 30mm 火炮上内弹道性能稳定。

5) 改性单基发射药。单基发射药虽然是传统品种,但因其力学强度良好,仍然在使用。不过近年来我国开始重视了单基发射药的改性,目标是提高发射药能量、增强发射药燃烧渐增性和降低装药温度系数。技术途径包括浸渍增能、钝感和包覆处理。此外,还结合新型有机消焰剂和低烟雾功能材料的应用,以期降低发射装药炮口火焰和烟雾。比如在单基发射药中引入高能炸药和低爆温增塑剂,得到的复合改性单基发射药,其火药力 $> 1170\text{kJ/kg}$,在常温内弹道试验时对比单樟发射药,弹丸初速提高 3% 左右。

2. 发射药制造工艺技术

我国在发射药制备工艺技术方面,近年来,我国重视生产安全、环保和产品质量,“安全”、“环保”等理念在行业中得到了进一步强化。工艺创新成果时有报道,这些成果在发射药生产中的应用,缩小了与国外发射药制造工艺的技术水平差距,这些成果包括自动喷射吸收工艺、剪切压延工艺、多层变燃速发射药挤出工艺、双螺杆挤出成型工艺等。其中,双螺旋连续高效塑化技术与装备,解决了传统间断法制备 NC 氮量大于 13.0% 的高氮量单基药时难以塑化的关键技术,实现了人机隔离、远距离控制、连续自动化制造;自动化喷射吸收工艺基本实现了吸收工序的连续化和自动化;连续剪切压延塑化造粒技术,用于硝胺发射药产品工业生产,实现了吸收药脱水、混合、预塑化以及造粒工艺过程的人机隔离、远距离控制、安全、连续化和自动化,燃爆事故率降为零;双螺杆挤出柔性工艺技术进入工程化试验研究;多层变燃速发射药挤出工艺已进行小批量试制;为满足武器应用对高燃速、高渐增性和燃烧洁净性的需求,利用微胶囊技术结合传统的球形药工艺,研制了一类具有核壳结构的微孔球形药制造工艺技术。

针对发射药生产过程的环保问题,开展了大量工艺环保技术研究,在废酸处理技术、硝烟回收技术、溶剂回收技术以及废水处理技术方面取得了很大进展,并应用这些技术实施了生产线改造,实现了发射药生产废物排放量的大幅度削减和排放物的达标。

3. 发射药应用技术

(1) 发射药装药数字化仿真

配合低温感装药技术的推广应用,我国着力研究了低温感装药条件对装药燃烧的影响规律,以此为基础,开发了低温感组合装药的内弹道模型和可逆的装药设计仿真软件,对低温感装药技术在型号的应用起到促进作用。

(2) 提高弹道效率和炮口动能的发射装药新技术

发射装药能量的渐增性释放能够提高发射武器的内弹道效率。近年来,我国在高渐增性燃烧发射药装药技术方面开展不少研究,并取得了多项成果。

在解决驱溶、非均等弧厚等制造工艺难题基础上,设计并制备了高增面性的37孔粒状发射药,与现有19孔发射药相比,燃烧增面性提高了5%~12%。针对155mm火炮的远程发射指标要求,开发了组合低温感装药,在降低膛压的情况下提高了炮口动能。开发了由程序控制燃面预分裂发射药结构和颗粒固结结构,其 L_m/L_0 可达到3以上, B_m 值在0.5左右。研制的中心开孔式双层结构变燃速发射装药,具有明显的燃烧渐增效应,目前在装备上已获应用。设计了中间为快燃速层、两边为慢燃速的“快芯”层状发射药,采用压片成型工艺进行加工,并完成了装填密度大于 1.0g/cm^3 的30mm火炮内弹道试验,结果表明,在不增加最大膛压的条件下可提高弹丸炮口动能8%~14%。

(3) 提高武器机动性能和勤务处理能力的发射装药新技术

这里主要是指模块装药技术,它是针对大口径压制火炮提出的、近年来国内外都很关注的新型发射装药技术,该技术的应用便于火炮发射的自动装填,提高射速。我国经过近几年的研究,技术推进十分明显。主要表现在:

研制的单元全等模块装药,与双模块装药相比,其勤务处理效率明显提高,火炮自动装填系统、弹药贮运系统以及火控系统的设计均可大大简化,该技术解决了兼顾小号装药燃尽性和大号装药膛压限制的世界性技术难题,可兼容现装备的弹丸和引信,实现全射程覆盖,火炮射速能够明显提高,同时为发展精确弹药提供了优良的弹道环境。

发展了一种高增面、低温感的远程模块装药,可在不使用加长身管和提高膛压等手段的条件下提高火炮射程,同时其勤务操作更为便利。如,该装药应用于52倍口径、155mm火炮后,在不提高膛压的条件下可提高火炮射程20%以上,超过了目前世界上先进的G6高膛压火炮的炮口动能。该技术具有通用性,可在122mm榴弹炮等型号上推广应用,简化射击条件,提高勤务处理的效率。

4. 发射药性能测试与评估

基于密闭爆发器燃烧实验,选择恒面燃烧的发射药试样,采用精确压力测试手段和分

段数据处理,建立了发射药燃速的精确测试方法,可直接获得压力指数(n)随压力(p)的变化曲线。同时也建立了不同压力范围测量与校准方法的技术规范,以及 $\sim 400\text{MPa}$ 压力范围内的测压装置和测压元件的标准。开发了测量发射药动态力学性能的动态挤压试验装置和模拟膛内力学环境的多次撞击试验装置,为发射药及其装药的高压动态力学强度和高膛压发射安全性研究提供了新手段。

(二) 固体推进剂

1. 固体推进剂设计

近年我国主要开展了含能黏合剂与增塑剂的分子模拟、固体推进剂力学性能、能量性能、燃烧性能等性能参数值的预估以及推进剂配方设计。

(1) 推进剂设计方法

开发了通过单质含能材料组分的量子化学参量预测其性质和性能的神经网络法、非线性模拟法;建立了双基和改性双基推进剂燃烧、力学和机械感度特性预估模型;研制了基于配方组元数据库的固体推进剂专家系统,并用于固体推进剂配方的优化设计。

(2) 新型推进剂

1) 螺压复合改性推进剂(CMDB)。

CMDB是我国战术导弹、火箭弹装药的主要品种之一。近期的研究重点是提高CMDB的能量和改善其力学与燃烧性能。

在提高CMDB推进剂能量方面,采用了提高高能炸药含量和在配方中引入新型高能单质炸药等方法。其中,高固体含量CMDB推进剂的能量水平与法国“飞鱼”导弹所用的无烟硝胺类CMDB推进剂的能量水平相当,燃烧性能良好,压力指数(n)维持在 $n < 0.4$ 的水平。HMX高含量的高能CMDB推进剂,密度高,比冲达到了 $2500\text{N} \cdot \text{s/kg}$ 以上,目前已在宇航工程和多个型号武器上得到应用。引入CL-20的CMDB推进剂,当控制金属燃料铝粉含量在一定范围时,获得了 $19.6 \sim 39.2\text{N} \cdot \text{s/kg}$ 的比冲增益。

在改善力学性能方面,主要方法是使用高性能增塑剂和黏合剂。比如使用二缩二乙醇二硝酸酯/NG的混合增塑剂和共混聚氨酯弹性体及纤维素甘油醚,将DINA取代DNT,用螺压工艺制备的CMDB推进剂,其力学性能达到高温(50°C)抗压强度 $\geq 8\text{MPa}$,压缩率 $\geq 25\%$ 的水平。

在改善CMDB推进剂燃烧性能方面,探索了纳米有机金属盐类催化剂的使用效果,结果表明,该途径可使推进剂的燃速提高 $2 \sim 10\text{mm/s}$ 。

2) 交联改性双基(XLDB)推进剂。

XLDB推进剂能量仅次于NEPE推进剂,是各国竞相发展的高能推进剂品种之一。近年的研究重点是改善XLDB推进剂的力学性能,以提高装药在较大尺寸下工作的结构完整性。在以下方面取得了进展:在XLDB推进剂中直接使用HDI对NC大分子实现交联,获得了常温下30%左右的延伸率;应用不同的聚醚预聚物通过异氰酸酯与NC进行交联,分