



空天科学与工程系列教材

火箭推进剂

The Rocket propellant

张炜 鲍桐 周星 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

空天科学与工程系列教材

火箭推进剂

张 炜 鲍 桐 周 星 编著

国防工业出版社

内 容 简 介

《火箭推进剂》是高等学校推进剂专业课程的教科书。本书从介绍火箭发动机的基本原理出发,着重讨论了复合固体推进剂的组成及功能、制造工艺、能量性能、燃烧性能、力学性能、贮存老化性能和安全性能方面的表征参数、影响因素和调节技术,最后简要介绍了液体推进剂的相关知识。

本书可作为高等院校固体推进剂专业、含能材料专业与固体火箭发动机专业本科生的教材或参考书,也可供从事推进剂科研、生产的专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

火箭推进剂/张炜,鲍桐,周星编著. —北京:国防工业出版社,2014.8

空天科学与工程系列教材

ISBN 978-7-118-09416-9

I. ①火... II. ①张... ②鲍... ③周... III. ①火箭推进剂—高等学校—教材 IV. ①V51

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 155120 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

*

开本 710 × 1000 1/16 印张 13¼ 字数 245 千字

2014 年 8 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 48.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

序

目前,火箭和导弹主要以化学推进剂燃烧及能量转换的方式获得动力。能量高、燃速可调范围大、特征信号低、安全可靠的高性能化学推进剂是提升火箭和导弹性能的物质基础。推进剂的研制涉及化学、材料、力学、燃烧等学科,其专业性较强。目前国内相应专业的教材较少,尤其缺少涉及各学科综合知识的专业入门教材。

本教材着重介绍复合固体推进剂的组成及功能、制造工艺,推进剂能量性能、燃烧性能、力学性能、贮存老化性能和安全性能方面的表征参数、影响因素和调节技术,同时简要介绍液体推进剂,并补充关于火箭推进剂的部分最新研究成果。

全书共分九章。绪论部分介绍固体推进剂的基本概念及其分类、火箭发动机对推进剂的基本要求、固体推进剂的历史和发展趋势。第1章为火箭发动机概述。简要介绍火箭发动机原理、火箭发动机的主要性能参数,并对比分析常用的液体火箭发动机和固体火箭发动机的组成结构和特点。第2章为复合固体推进剂的组分及其功能。着重阐述各组分的功能、推进剂对各组分的要求。第3章为复合固体推进剂制造工艺。内容涉及原材料准备、燃料预混、混合、浇注、固化、脱模、整形等制备工艺流程;基于HTPB推进剂的固化反应原理,给出HTPB推进剂配方计算方法。第4章为固体推进剂的能量性能。阐述能量性能的表征参数、影响因素、提高能量的技术途径,并简要介绍目前常用的复合固体推进剂品种。第5章为固体推进剂的燃烧性能。首先简要介绍燃烧和火焰的基本概念、复合固体推进剂主要组分的热分解特性,然后阐述燃烧性能的表征参数、影响因素、燃速调节方法等方面进行。第6章为固体推进剂的力学性能。阐述复合固体推进剂力学性能的特征、基本试验方法、力学性能的影响因素和调节方法。第7章为复合固体推进剂的贮存老化性能。首先分析固体推进剂的老化特征、产生老化的内在原因和环境影响因素,然后讨论复合固体推进剂中粘合剂的老化机理,最后介绍固体推进剂的贮存期预估及老化防护措施。第8章为复合固体推进剂的安全性。首先针对不同的外界激源,分别介绍固体推进剂的热感度、机械感度和静电感度,然后讨论固体推进剂的危险效应,最后简要介绍推进剂的危险等级。第9章为液体推进剂。简要介绍液体推进剂的相关知识。

本书的编写工作由张炜、鲍桐和周星合作完成。张炜参与了全书各章的编写,鲍桐主要参与第4章和第7章的编写,周星主要参与第8章和第9章的编写。全书由张炜统稿。

由于作者水平有限,难免有疏漏和不妥之处,敬请读者批评指正。

编著者

2014年1月

目 录

绪论	1
0.1 固体推进剂及其分类	1
0.1.1 双基推进剂	1
0.1.2 复合固体推进剂	1
0.2 火箭发动机对推进剂的基本要求	4
0.3 固体推进剂的历史和发展趋势	4
复习题	7
第1章 火箭发动机概述	8
1.1 火箭和导弹的发展史	8
1.1.1 火箭和导弹	8
1.1.2 火箭的发展史	8
1.1.3 导弹的发展史	9
1.2 火箭推进原理	11
1.2.1 喷气反作用力	11
1.2.2 火箭的主动段最大末速	12
1.2.3 多级火箭	12
1.3 喷气发动机	13
1.4 化学火箭发动机	14
1.4.1 火箭发动机的主要性能参数	14
1.4.2 液体火箭发动机	18
1.4.3 固体火箭发动机	21
复习题	22
第2章 复合固体推进剂的组分及其功能	23
2.1 复合固体推进剂的组成	23
2.2 复合固体推进剂的主要组分及其功能	23
2.2.1 氧化剂	23

2.2.2 金属燃料	24
2.2.3 粘合剂	25
2.2.4 固化剂和交联剂	25
2.2.5 增塑剂	26
复习题	26
第3章 复合固体推进剂制造工艺	27
3.1 氧化剂的准备	28
3.1.1 高氯酸铵的技术指标	28
3.1.2 氧化剂粉碎	29
3.1.3 氧化剂过筛	29
3.1.4 氧化剂干燥	29
3.2 其它原材料准备及燃料预混工艺	30
3.2.1 金属燃料准备	30
3.2.2 功能助剂准备	32
3.2.3 燃料预混	34
3.3 推进剂混合工艺	35
3.3.1 混合设备	35
3.3.2 混合工艺	38
3.4 推进剂浇注工艺	42
3.4.1 浇注工艺	42
3.4.2 浇注工艺条件	43
3.5 推进剂固化工艺	45
3.5.1 固化工艺	45
3.5.2 固化工艺条件	46
3.5.3 固化工艺技术发展	48
3.6 脱模整形工艺	49
3.6.1 脱模	49
3.6.2 整形	50
3.7 HTPB 推进剂固化反应原理	51
3.7.1 HTPB 推进剂的固化反应	51
3.7.2 固化参数的选择	55
3.7.3 HTPB 推进剂配方计算方法	57
复习题	59

第 4 章 固体推进剂的能量性能	60
4.1 火箭发动机中推进剂的能量转换过程	60
4.2 推进剂能量性能的代表参数	61
4.2.1 爆热	61
4.2.2 爆温	62
4.2.3 燃气比容	62
4.2.4 燃气平均分子量	63
4.2.5 比冲	63
4.2.6 特征速度	64
4.2.7 密度	64
4.2.8 密度比冲	64
4.3 推进剂能量性能的影响因素及提高推进剂能量的途径	65
4.3.1 比冲的影响因素分析	65
4.3.2 提高能量的化学途径	66
4.3.3 提高能量的工程途径	70
4.4 推进剂配方与能量性能的关系	70
4.4.1 氧化剂与燃料比例关系的代表参数	70
4.4.2 固体推进剂的最佳比冲	71
4.5 高能量密度物质及其应用	73
4.5.1 新型氧化剂	73
4.5.2 新型含能添加剂	75
4.5.3 新型金属燃料	78
4.5.4 新型含能粘合剂	79
4.5.5 新型含能增塑剂	81
4.6 常用的复合固体推进剂	82
4.6.1 AP/Al/HTPB 三组元推进剂	84
4.6.2 AP/硝胺/Al/HTPB 四组元推进剂	84
4.6.3 NEPE 推进剂	85
4.6.4 叠氮粘合剂推进剂	87
4.6.5 含高能量密度物质推进剂	88
4.6.6 低特征信号推进剂	89
4.6.7 低易损推进剂	90
4.6.8 燃气发生剂	92

4.7 提高比冲效率的途径	93
4.7.1 提高推进剂燃烧效率的途径	93
4.7.2 提高喷管效率的途径	95
复习题	96
第5章 固体推进剂的燃烧性能	97
5.1 燃烧及火焰	97
5.1.1 燃烧及其基本特征	97
5.1.2 火焰及其分类	97
5.2 复合固体推进剂主要组分的热分解特性	98
5.2.1 AP的热分解	98
5.2.2 硝胺的热分解	100
5.2.3 粘合剂的热分解	100
5.3 固体推进剂燃烧性能的特征参数	104
5.3.1 燃速	104
5.3.2 燃速压强指数	104
5.3.3 燃速温度敏感系数	105
5.4 复合固体推进剂燃烧性能的影响因素	105
5.4.1 燃烧室压强	106
5.4.2 装药初温	106
5.4.3 燃烧表面的气相流动特性	106
5.4.4 氧化剂的种类、含量和粒度	107
5.4.5 粘合剂类型	108
5.4.6 金属含量	108
5.4.7 燃速调节剂	108
5.4.8 在推进剂药柱中嵌入金属丝(或金属纤维)	109
5.5 复合固体推进剂燃速的调节方法	110
5.5.1 调节燃速的物理方法	110
5.5.2 调节燃速的化学方法	111
复习题	111
第6章 固体推进剂的力学性能	112
6.1 复合固体推进剂力学性能的特征	113
6.2 固体推进剂力学性能的基本试验方法	115
6.2.1 恒定应变速率试验	115

6.2.2	应力松弛试验	117
6.2.3	蠕变试验	118
6.2.4	动态试验	120
6.3	复合固体推进剂的粘弹行为及表征	122
6.3.1	线性粘弹行为的特点	123
6.3.2	线性粘弹行为的积分表达式——Boltzman 叠加原理	123
6.3.3	线性粘弹行为的微分表达式	124
6.3.4	时—温等效原理	127
6.3.5	高固体含量复合固体推进剂力学性能的特点	127
6.4	固体火箭发动机对推进剂力学性能的基本要求	128
6.5	复合固体推进剂力学性能的影响因素	128
6.5.1	粘合剂基体	129
6.5.2	固体填料	132
6.5.3	填料—基体界面间相互作用	134
6.5.4	其它因素	136
6.6	复合固体推进剂力学性能的调节方法	137
6.6.1	粘合剂品种和规格选择的基本要求	137
6.6.2	交联固化体系的选择和调节方法	138
6.6.3	键合剂的结构特征和选择原则	140
复习题		142
第7章 复合固体推进剂的贮存老化性能		143
7.1	概述	143
7.2	固体推进剂老化与老化特征	143
7.3	产生老化的内在原因	144
7.3.1	粘合剂预聚物结构的影响	144
7.3.2	氧化剂的影响	145
7.3.3	其它组分的影响	145
7.4	影响老化的环境因素	147
7.4.1	温度	147
7.4.2	湿度	147
7.4.3	应变与应变循环	148
7.4.4	真空与辐照的影响	150
7.4.5	表面效应与界面效应	150

7.5	复合固体推进剂中粘合剂的老化机理	151
7.5.1	后固化	151
7.5.2	氧化交联	152
7.5.3	高聚物的断链	153
7.6	固体推进剂的贮存期预估	154
7.6.1	固体推进剂老化试验方法	154
7.6.2	双基推进剂贮存期的预估	155
7.6.3	复合固体推进剂贮存期的预估	155
7.7	固体推进剂的老化防护	158
7.7.1	改善氧化剂的热分解特性	158
7.7.2	提高粘合剂体系的抗老化能力	159
7.7.3	提高药柱表面的抗氧化能力	161
复习题		162
第8章	固体推进剂的安全性	163
8.1	概论	163
8.2	热感度	163
8.2.1	爆发点	164
8.2.2	火焰感度	165
8.3	机械感度	165
8.3.1	撞击感度	166
8.3.2	摩擦感度	167
8.3.3	高速冲击感度	168
8.4	静电感度	169
8.5	危险效应	170
8.5.1	梯恩梯(TNT)当量	171
8.5.2	冲击波的危害	171
8.5.3	火灾和破片的危害	172
8.6	危险等级	172
复习题		173
第9章	液体推进剂	175
9.1	概论	175
9.1.1	液体推进剂的分类	175
9.1.2	对液体推进剂的要求	177

9.1.3	液体推进剂的发展及应用	179
9.2	液体推进剂的主要使用性能	183
9.2.1	液体推进剂的物理化学性能	183
9.2.2	液体推进剂与材料的相容性	186
9.2.3	液体推进剂的贮存性能	187
9.2.4	液体推进剂的安全性能	188
9.2.5	液体推进剂的毒性	190
9.3	液体氧化剂	190
9.3.1	红烟硝酸	190
9.3.2	四氧化二氮	191
9.3.3	过氧化氢	192
9.3.4	液氧	192
9.3.5	氧化亚氮	193
9.4	液体燃料	193
9.4.1	偏二甲基肼	193
9.4.2	胺肼	194
9.4.3	烃类燃料	195
9.4.4	液氢	195
9.4.5	煤油	196
复习题		197
参考文献		198

绪 论

0.1 固体推进剂及其分类

化学推进(Chemical Propulsion)是指利用物质在火箭发动机中发生化学反应(燃烧)放出的能量作为能源、以其反应产物作为工质的推进方式。

化学推进剂(Chemical Propellant)是指在火箭发动机燃烧室中通过燃烧产生热能、其燃烧产物作为工质,通过喷管将工质热能转化为喷气动能的一类含能物质。化学推进剂是化学推进方式中参与化学反应的全部组分的统称。

根据推进剂各组分在常温常压下呈现的物态,可将推进剂分为液体推进剂(Liquid Propellant)和固体推进剂(Solid Propellant)。

按液体推进剂进入发动机的组元数分类,可将液体推进剂分为单组元、双组元和多组元液体推进剂等。

按其主要组分之间是否存在相界面,将固体推进剂进一步分为均质推进剂和非均质推进剂两类。均质推进剂的典型代表是双基推进剂(Double - Base Propellant, DB),非均质推进剂的典型代表是复合固体推进剂(Composite Solid Propellant, CSP)。

0.1.1 双基推进剂

双基推进剂是将硝化纤维素(Nitrocellulose, NC)溶胀在硝化甘油(Nitroglycerin, NG)中均匀混合而成。硝化甘油是硝化纤维素的溶剂,因此双基推进剂是均相体系,属于均质固体推进剂。

硝化纤维素和硝化甘油的分子中均含有氧化剂(氧原子和硝酸酯基)和可燃元素(C、H等)。双基推进剂的比冲较低。

0.1.2 复合固体推进剂

复合固体推进剂是具有特定性能的含能复合材料。它是以高分子粘合剂为弹性基体(连续相)、固体氧化剂和金属燃料等为填料(分散相),并具有一定的物理、化学和力学性能的多相混合物。

从材料的角度看,复合固体推进剂是一种颗粒增强的聚合物基复合材料。从材料的功能和用途看,复合固体推进剂是含能材料。微观上,复合固体推进剂存在固体填料与基体之间的相界面,因此它属于非均质固体推进剂。

复合固体推进剂主要由氧化剂、金属粉和粘合剂等组分组成。氧化剂提供燃烧所需要的氧,金属粉和粘合剂作为燃料。氧化剂、金属粉等固体填料分散在粘合剂预聚物和增塑剂等液体组分中,混合成药浆。药浆一般采用真空浇注工艺成型。最后通过化学交联反应,固化成具有粘弹性的推进剂药柱。

在复合固体推进剂中,添加金属粉可以提高燃烧热、密度和能量。最常用的金属粉是铝粉,因为它的燃烧热和燃烧效率高、价格低廉、来源丰富。低特征信号推进剂仅含少量的金属粉,以抑制不稳定燃烧。对无烟推进剂来说,不使用金属粉。

常用的氧化剂是高氯酸铵(Ammonium Perchlorate, AP)。对于一些特殊的应用,也使用硝酸铵(Ammonium Nitrate, AN)和高氯酸钾(Potassium Perchlorate, KP)。在气体发生器中使用的燃气发生剂中,使用硝酸铵、硝基胍(Nitroguanidine)和硝酸胍(Guanidine Nitrate)作为氧化剂。为了进一步提高推进剂的能量,往往添加标准生成焓为正值的硝胺炸药——HMX(奥克托今)或RDX(黑索金)部分取代AP,起到消烟补能的作用。

按氧化剂类型分,复合固体推进剂可分为高氯酸铵复合固体推进剂、硝酸铵复合固体推进剂和硝胺(Nitramine)复合固体推进剂等。

也可以按复合固体推进剂中使用的粘合剂分类。粘合剂的名称通常使用聚合物链节的命名。但为了正确地识别,也应说明固化系统。固化系统的选择取决于聚合物分子上的化学活性基团。常用的化学活性基团是羧基($-\text{COOH}$)、羟基($-\text{OH}$)和硫醇基($-\text{SH}$)。

按粘合剂类型分,复合固体推进剂可分为化学交联型和塑溶胶型两大类。前者主要包括聚硫橡胶(Polysulphide, PS)复合固体推进剂、聚氨酯(Polyurethane, PU)复合固体推进剂、聚丁二烯(Polybutadiene, PB)复合固体推进剂等。而后者主要包括聚氯乙烯(Polyvinylchloride, PVC)复合固体推进剂、改性双基(Composite Metalized Double - Base, CMDB)固体推进剂等。

1. 聚丁二烯复合固体推进剂

聚丁二烯推进剂的粘合剂是丁二烯的均聚物或丁二烯与其它单体的共聚物。CTPB(端羧基聚丁二烯)、PBAA(丁二烯—丙烯酸共聚物)和PBAN(丁二烯—丙烯酸—丙烯腈三元共聚物)是带羧基的三种常用聚丁二烯粘合剂。这些聚合物可用诸如MAPO、TAM或BITA等氮丙啶化合物进行固化。但这些固化

反应在推进剂贮存老化过程中发生逆反应,即解聚反应,使推进剂力学性能降低。因此,往往要加入环氧化合物类固化剂,如双酚 A 型环氧化合物。用环氧化合物的固化反应不会发生逆反应。

2. 聚氨酯复合固体推进剂

聚氨酯(PU)推进剂的粘合剂是以 C—C 或 C—O 键为主链、以羟基为官能团、且与异氰酸酯固化后生成氨基甲酸酯基团的一类聚合物。主链为酯基的聚酯型粘合剂遇水易降解,因此聚氨酯推进剂主要使用聚醚型或碳氢粘合剂。最常见的 PU 推进剂以 HTPB(端羟基聚丁二烯)为粘合剂预聚物。这种聚合物主链为聚丁二烯,与 CTPB 的主链结构类似,只是用羟基代替了羧基作活性官能团。羟基聚醚和 HTPB 都用二异氰酸酯或多异氰酸酯固化。如果使用二异氰酸酯,为了使固化后粘合剂结构具有网状结构,一般要使用三元醇做交联剂,如己三醇。通常聚氨酯是需要增塑的,高能聚氨酯推进剂使用硝酸酯基增塑剂(含—O—NO₂基的小分子有机化合物),这些推进剂也可用硝基异氰酸酯固化。

3. 聚硫复合推进剂

聚硫(PS)推进剂粘合剂的骨架为聚丁基缩甲醛、聚丁基醚或聚乙基缩甲醛,这些聚合物含有硫醇(—SH)基。固化时这些基团与对醌二肟反应,生成分子间的—S—S—键,固化成弹性橡胶。但—SH 在生成—S—S—键时会产生水,严重影响推进剂的质量。

4. 聚氯乙烯复合固体推进剂

聚氯乙烯(PVC)推进剂是将细的塑溶胶聚氯乙烯颗粒、氧化剂、金属粉、增塑剂(如酞酸二丁酯或癸二酸二辛酯)混合均匀制成药浆浇注而成。当温度升高到 325 ~ 350℃ 时,加热约 1h,混合物胶化成弹性体。PVC 推进剂也可以压延成型。压延过程中摩擦热使推进剂中 PVC 熔化或塑化。由于 PVC 推进剂混合物的粘度高,一般它的浇注过程比其它推进剂缓慢。

5. 饱和碳氢粘合剂复合固体推进剂

近期,复合推进剂中也采用了一些端部带羧基或羟基的、主链完全饱和的、二官能度或三官能度碳氢化合物作为粘合剂。这些聚合物分子的活性官能团可以提供交联支化点,与固化剂反应实现交联。

6. 氟碳复合固体推进剂

氟碳(FC)推进剂的制法是:首先用溶液中沉积出来的氟碳弹性体(如 Viton A)将金属粉和氧化剂包覆,然后将包覆物挤压成药条,最后将药条加工成所希望的几何形状,装填于发动机内。

0.2 火箭发动机对推进剂的基本要求

火箭发动机对推进剂的基本要求是：

- (1) 能量性能好。即比冲高、密度大。
- (2) 燃烧性能好。即在发动机中推进剂燃烧时应有一定的规律性且燃烧稳定。
- (3) 贮存性能优良。即在长期贮存后,火箭或导弹仍能安全可靠使用。
- (4) 力学性能好。即推进剂药柱能承受在生产、运输、贮存和发射过程中的各种载荷作用,并保证装药的结构完整性。
- (5) 安全性能好。即对外界的意外激源(撞击、摩擦、静电、热、冲击波等)的敏感度尽可能低,无毒或低毒,生产和使用过程中放出的废气和排出的污水不严重污染环境。
- (6) 原材料来源广,生产工艺简单,价格便宜。

0.3 固体推进剂的历史和发展趋势

1. 固体推进剂的发展史

固体推进剂的历史可追溯到黑火药时代。黑火药是我国古代的四大发明之一。唐初公元 682 年左右,孙思邈发明黑火药,在中国炼丹家的著作中就有初期黑火药组成及配方的记载。宋初公元 969 年,我国用黑火药制成火药火箭,用于战争。13 世纪左右,黑火药由中国经阿拉伯国家传至欧洲。直到 14 世纪,欧洲才开始应用黑火药。

黑火药由硝石(硝酸钾)、硫磺和木炭组成,是一种原始的异质火箭推进剂,也就是复合固体推进剂的雏形。黑火药最大的缺点是燃烧时产生大量的烟雾、成气性差、能量低。因此,黑火药在推进剂上的使用受到限制。

随着工业和武器的发展,迫切需要比黑火药性能更好的推进剂。1846 年,几乎同时发明了硝化甘油(NG)和硝化纤维素(NC)。诺贝尔将这两种物质互溶制成了双基火药。由于其燃烧释放的能量和产生的气态燃烧产物都超过黑火药,并且不产生黑烟,很快得到了大规模的应用。19 世纪末,科学家用醇醚溶剂胶化硝化纤维素制得单基火药,继而又以硝化甘油来胶化硝化纤维素制得双基火药。单基火药和双基火药一直用作枪炮发射药。

现代导弹的动力装置初期使用的是液体推进剂,如德国的 V - II 火箭。第

二次世界大战期间,双基固体推进剂首先用于各种小型火箭发动机中,发挥了较大的威力,开辟了固体推进剂的新纪元,形成了固体推进剂和液体推进剂竞争发展的局面。大型固体火箭或导弹动力装置需要燃烧表面复杂的大型推进剂药柱。双基推进剂的挤压工艺和力学性能不能满足上述要求,因而浇注成型的橡胶状复合固体推进剂得到了发展。

最早的浇注型复合固体推进剂是 1942 年美国喷气推进实验室(JPL)研制的 KP/沥青推进剂(GALCIT),它由沥青和高氯酸钾组成,在飞机助推器上得到应用。沥青推进剂能量低、力学性能差,很快就被以交联弹性体为基的复合固体推进剂所代替。1946 年 JPL 又研制成功了 AP/PS(聚硫橡胶)复合固体推进剂,使复合推进剂的性能有了较大的提高。随着含活性官能团液态高分子预聚合物合成技术的发展和成熟,以及固体火箭发动机对推进剂能量性能不断提出的高要求,促使研发出了性能优于聚硫橡胶的聚醚(或聚酯)复合推进剂。随后,聚氯乙烯(PVC)推进剂、聚丁二烯(PB)推进剂等复合推进剂新品种相继问世。

与此同时,双基推进剂也在快速发展。为适应火箭导弹对推进剂高能量、高性能的要求,双基推进剂的性能不断改进,经历了复合改性双基(CMDB)、交联改性双基(XLDB)、复合双基(CDB)和弹性体复合双基(EMCDB)的发展历程,曾成为能量最高的一种实用固体推进剂。

20 世纪 70 年代末至 80 年代初,为满足战略导弹 MX 的性能要求,美国研制成功 NEPE 推进剂,即硝酸酯增塑的聚醚聚氨酯推进剂。该种推进剂采用聚醚聚氨酯(如聚乙二醇,PEG)和乙酸丁酸纤维素作粘合剂,液态硝酸酯(如 NG)或混合硝酸酯(如 NG/BTTN)作含能增塑剂,添加奥克托今(HMX)、高氯酸铵(AP)和铝粉(Al)等组分。NEPE 推进剂突破了双基和复合推进剂在组成上的界限,集两类推进剂的精华于一体,在能量和力学性能方面超过了现有各种固体推进剂,是现役导弹推进剂中能量最高的一种推进剂,代表着近期复合固体推进剂的发展方向。

新型叠氮粘合剂(含 $-N_3$ 基团)的研制成功,又为粘合剂的含能化提供了可行的技术途径,使得复合固体推进剂的能量进一步提高。

2. 固体推进剂的发展趋势

复合推进剂的发展趋势是高能、低特征信号和钝感。

20 世纪 80 年代以来,继 NEPE 高能推进剂投入实际应用之后,新型含能材料和高能推进剂的探索研究又开始活跃起来。

在含能材料方面,制备了一些可供实用的高能量密度物质——含能添加剂、叠氮粘合剂和叠氮增塑剂,并对聚叠氮缩水甘油醚(GAP)推进剂为代表的高能