

固体火箭推进剂

张端庆 等 编著



兵器工业出版社

固 体 火 箭 推 进 剂

张端庆等 编著

兵器工业出版社

内 容 简 介

本书较全面的介绍了与固体推进剂生产有关的各个方面,包括固体推进剂的能量、燃烧、力学和贮存等性能,双基、复合和改性双基推进剂的制造工艺,推进剂的无损检测和包覆层,固体推进剂的配方设计和装药设计,以及有关劳动保护与环境保护的措施。

本书主要供从事推进剂的科研、生产、设计、使用和管理方面的科技人员使用,并可作为高等院校教学用参考书。

固体火箭推进剂

张端庆等 编著

兵器工业出版社 出版发行

(北京市海淀区车道沟10号)

各地新华书店经销

海淀昊海印刷厂印装

开本: 787×1092 1/16 印张: 36.25 字数: 997千字

1991年8月第1版 1991年8月第1次印刷

印数: 1~500 定价: 36.50元

ISBN 7-80038-266-4/TQ·9

内部发行

前 言

自从第二次大战以来,关于固体推进剂的研制,在国外已取得很大进展并在理论与实践上都有所发现。在我国关于固体推进剂的研制已有30余年的历史并积累了丰富的经验。为了总结国内先进经验并吸取国外最新成就,满足广大科技人员的需要,特编写本书。

目前,在国内还没有系统、完整论述固体推进剂的专著,因此在本书的取材方面,力求做到全面、系统。本书包括双基、复合和改性双基三大类固体推进剂,分为13章,前两章叙述固体推进剂的分类,应用,组分,配方,基本性能以及发展方向。第3~6章分别为固体推进剂的能量性能,燃烧性能,力学性能和贮存性能。第7~9章依次评论双基、复合和改性双基推进剂的制造工艺。关于固体推进剂的无损检测,不论在国内还是国外都有长足的发展并开发了许多新测试方法,故在本书中列为第10章。为强调包覆层(包括绝热层和衬里层)和包覆技术的重要性,在第11章中对它们做了专门论述。第12章以大量篇幅提出了固体推进剂的配方设计和装药设计并强调了它们在固体推进剂技术中的重要地位。最后一章简要介绍了固体推进剂的危险性能,中毒性能,以及劳动保护和环境保护的主要措施。本书引用了大量国内外资料,反映了国内外现有水平。

本书是在原兵器工业部的领导下,由北京理工大学、华东工学院、太原机械学院、西安近代化学研究所、兴安化学材料厂、庆阳化工厂和惠安化工厂等单位组成编写组,在张端庆主持下经集体编著而成。各章的编写者如下:第1、2和13章,张端庆;第3章,王建民、詹彩琴;第四章,李上文、杨明忠、潘文达、马燮圻;第5章,贾展宁;第6章,张续柱;第7章,程春杨、赵杏沾;第8章,贾棠棠、韩金明、焦文锡、许兆佳、邓德本;第9章,安国栋;第10章,吴凤歧;第11章,朱明勤;第12章,李凤生。本书最后经周明、吕平、金泽渊、牛秉彝、朱明勤、罗钧陶、李上文等专家校核、审定,在此表示衷心感谢。

限于编者水平,书中缺点和错误之处在所难免,敬请读者批评指正。

1986年12月

编 者

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 固体推进剂在火箭技术中的地位.....	(1)
第二节 固体推进剂发展简史与分类.....	(2)
一、发展简史.....	(2)
二、分类.....	(3)
第三节 固体推进剂的技术要求和应用.....	(4)
一、一般要求.....	(4)
二、特殊要求.....	(5)
第四节 固体推进剂的现有水平、发展趋势与展望.....	(7)
一、固体推进剂的发展历程与现状.....	(7)
二、固体推进剂发展的趋势与展望.....	(8)
第二章 固体推进剂的组份与配方	(14)
第一节 固体推进剂的组份.....	(14)
一、粘合剂.....	(14)
二、氧化剂和高能炸药.....	(25)
三、溶剂和增塑剂.....	(29)
四、固化剂、交联剂和偶联剂.....	(34)
五、高能燃烧剂.....	(39)
六、燃烧催化剂和燃烧稳定剂.....	(40)
七、安定剂和防老剂.....	(41)
八、工艺附加剂和其它附加剂.....	(43)
第二节 双基推进剂.....	(43)
一、双基推进剂的性能.....	(43)
二、双基推进剂的配方.....	(43)
第三节 复合推进剂.....	(48)
一、聚硫橡胶推进剂.....	(48)
二、聚氯乙烯推进剂.....	(50)
三、聚氨酯推进剂.....	(53)
四、聚丁二烯推进剂.....	(59)
第四节 改性双基推进剂.....	(64)
一、改性双基推进剂的组份与配方.....	(64)
二、改性双基推进剂的性能.....	(66)
第三章 固体推进剂的能量性能	(69)
第一节 火箭对固体推进剂能量性能的要求.....	(69)

一、固体推进剂在火箭发动机中的功能转化	(69)
二、火箭对固体推进剂能量性能的要求	(70)
第二节 固体推进剂能量示性数的表示法	(71)
一、比冲	(71)
二、特征速度	(72)
三、固体推进剂能量示性数的理论计算过程	(73)
第三节 固体推进剂的假定化学式和总热焓	(74)
一、固体推进剂的假定化学式	(74)
二、固体推进剂的总热焓	(78)
第四节 固体推进剂在确定的火箭发动机燃烧室内燃烧过程的热力计算	(79)
一、燃烧产物的平衡组成	(79)
二、燃烧产物平衡组成的总焓	(91)
三、固体推进剂的爆热和定压理论燃烧温度	(92)
四、燃烧产物的熵和其它热力参数的计算	(97)
第五节 燃烧产物在喷管膨胀过程中的热力计算	(100)
一、喷管出口处的温度 T_e	(100)
二、计算喷管出口处燃烧产物的总焓 H_e	(103)
三、计算喷管出口处燃烧产物的组成	(104)
四、喷管出口处其它热力参数的计算	(104)
第六节 固体推进剂理论比冲和特征速度的计算	(104)
一、固体推进剂理论比冲的计算	(104)
二、固体推进剂特征速度的计算	(105)
三、总述固体推进剂标准理论比冲和特征速度的计算步骤	(106)
第七节 弹道摆法测定固体推进剂的比冲和特征速度	(109)
一、测定原理	(109)
二、测定程序	(110)
第四章 固体推进剂的燃烧性能	(112)
第一节 固体推进剂稳态燃烧机理	(112)
一、稳态燃烧理论模型	(112)
二、催化作用机理的研究	(122)
三、稳态燃烧机理研究的实验技术概述	(126)
第二节 燃烧性能参数及其调节	(128)
一、燃烧性能参数	(129)
二、影响燃烧速度的因素	(132)
三、从发动机工作情况看调节燃烧性能参数的意义	(133)
四、推进剂燃烧性能参数调节途径	(135)
第三节 固体推进剂的非稳态燃烧	(142)
一、不稳定燃烧的现象、后果及分类	(142)
二、声燃烧不稳定性	(143)

三、声不稳定燃烧的抑制方法	(145)
四、非声燃烧不稳定性	(157)
五、燃烧转爆轰	(159)
六、点火	(160)
七、熄火	(161)
第四节 推进剂燃气的无烟化	(162)
一、推进剂燃气无烟化的意义	(162)
二、电磁波的传输特性	(162)
三、影响电磁波透过燃气的因素	(165)
四、固体推进剂无烟化的途径	(167)
五、各种类型的无烟推进剂	(172)
六、燃气烟的测定	(174)
第五章 固体推进剂的力学性能	(176)
第一节 固体推进剂力学性能与发动机应用的关系	(176)
一、固体火箭发动机装药的受力分析	(176)
二、贴壁浇铸装药的强度计算	(176)
三、推进剂破坏准则与强度校核	(180)
四、固体火箭发动机对推进剂力学性能的要求	(183)
第二节 固体推进剂力学性能实验与描述	(184)
一、固体推进剂力学性能实验	(184)
二、时间温度等效原理与主曲线	(188)
三、固体推进剂粘弹行为的力学模型及表达式	(195)
第三节 固体推进剂力学性能的特征	(203)
一、固体推进剂的应力-应变行为	(203)
二、固体推进剂的冲击强度	(205)
三、固体推进剂的动态力学性能	(206)
四、固体推进剂的玻璃化温度 T_g 和脆化温度 T_b	(208)
第四节 固体推进剂力学性能研究进展	(211)
一、偶联剂在固体推进剂中的应用	(211)
二、低温不脆变的高能推进剂	(212)
第六章 固体推进剂的贮存性能	(214)
第一节 固体推进剂的物理安定性	(214)
一、吸湿	(214)
二、晶析	(217)
三、汗析	(221)
第二节 固体推进剂的化学安定性	(221)
一、热分解对推进剂贮存性能的影响	(221)
二、水解对推进剂贮存性能的影响	(228)
三、氧化对推进剂贮存性能的影响	(229)

四、后固化对推进剂贮存性能的影响	(230)
第三节 复合推进剂的热老化	(233)
第四节 固体推进剂的贮存寿命	(238)
一、双基推进剂的贮存试验	(238)
二、复合推进剂的贮存试验	(242)
三、推进剂贮存期间非破坏性试验	(243)
四、推进剂贮存期的确定	(244)
第七章 双基推进剂制造工艺	(249)
第一节 双基推进剂制造工艺综述	(249)
一、制造工艺发展概况	(249)
二、双基推进剂制造工艺的理论基础	(249)
第二节 吸收药的制造	(258)
一、吸收的物理化学过程	(258)
二、吸收工艺过程及工艺条件	(261)
三、喷射器的设计	(266)
四、其它吸收工艺	(269)
第三节 螺旋压伸成型工艺	(269)
一、典型螺旋压伸工艺流程	(270)
二、各工序的物理化学过程	(270)
第四节 螺旋挤压的工艺理论基础及控制	(273)
一、药料在螺压过程中的运动及产量	(273)
二、药料在螺压过程中的状态分析	(275)
三、螺压过程工艺温度的控制	(278)
四、螺杆设计	(279)
第五节 模具设计分析	(281)
一、模具的作用及结构	(281)
二、药料在模具内的流动	(281)
三、模具内药料压力的发展	(282)
四、模具主要部件的设计	(285)
五、离模膨胀的影响因素	(286)
第六节 双基推进剂其它成型工艺	(286)
一、柱塞式挤压工艺	(286)
二、溶剂法挤压工艺	(287)
三、捲卷式工艺	(287)
四、双螺杆螺旋压伸工艺	(287)
五、无辊压工序工艺	(287)
六、超声挤压	(287)
第八章 复合固体推进剂制造工艺	(288)
第一节 概述	(288)

第二节 氧化剂准备	(289)
一、氧化剂粉碎	(289)
二、干燥	(293)
第三节 原材料准备与燃料预混工艺	(294)
一、原材料准备	(294)
二、燃料预混工艺	(295)
第四节 混合工艺	(296)
一、混合工艺概况	(296)
二、间歇卧式混合机混合工艺过程及操作规程	(297)
三、连续混合工艺及其它混合系统	(299)
第五节 浇铸工艺	(301)
一、浇铸工艺及其发展	(301)
二、真空浇铸工艺过程	(302)
第六节 固化工艺	(304)
一、固化机理	(304)
二、固化方式和设备	(309)
第七节 脱模与整形工艺	(311)
一、脱模工艺过程	(311)
二、整形工艺过程	(312)
第八节 发动机装药可能出现的主要问题及解决途径	(312)
一、大批量发动机装药时推进剂批间性能的再现问题	(312)
二、生产过程中工序检验方法	(313)
三、脱模剂种类和涂敷方法	(313)
四、多批推进剂浇铸一发大型发动机问题	(313)
五、装药的蠕变和下沉	(314)
第九章 改性双基推进剂的制造工艺	(315)
第一节 概述	(315)
一、改性双基推进剂浇铸工艺的发展概况及工艺特点	(315)
二、改性双基推进剂浇铸工艺流程	(316)
第二节 浇铸药粒的制备	(317)
一、浇铸药粒制备的工艺流程	(317)
二、机械造粒工艺	(319)
三、浇铸药粒的质量控制参数	(323)
第三节 充隙浇铸	(324)
一、药粒装填	(324)
二、溶剂配制	(325)
三、浇铸	(326)
第四节 球形药的制备	(326)
一、球形药的应用及其典型组成	(326)

二、球形药制备的工艺流程·····	(328)
三、球形药制造原理及主要工艺条件·····	(329)
四、球形药的主要质量指标·····	(336)
五、连续化成球工艺·····	(336)
第五节 配浆浇铸 ·····	(338)
一、固体物料混同及混合溶剂配制·····	(338)
二、淤浆配制·····	(341)
三、淤浆浇铸·····	(345)
四、配浆浇铸的连续化工艺·····	(349)
第六节 固化成型 ·····	(352)
一、固化机理·····	(352)
二、固化工艺条件·····	(356)
三、固化过程中推进剂体积的收缩和加压固化技术·····	(356)
四、固化质量·····	(357)
第七节 充隙浇铸和配浆浇铸工艺的评述 ·····	(359)
一、浇铸工艺与压伸工艺的对比·····	(359)
二、充隙浇铸工艺与配浆浇铸工艺的对比·····	(360)
第八节 模具装配、脱模和整形 ·····	(361)
一、对模具装配的要求·····	(361)
二、脱模工艺·····	(361)
三、整形·····	(362)
第十章 固体推进剂的无损检测 ·····	(363)
第一节 超声波检测 ·····	(363)
一、超声波的物理性质·····	(363)
二、穿透法超声波检测·····	(367)
三、脉冲反射超声波检测·····	(373)
第二节 X射线检测 ·····	(376)
一、X射线检测原理·····	(376)
二、X射线检测方法·····	(376)
第三节 CT扫描 ·····	(380)
一、检测原理·····	(380)
二、图象建立原理·····	(381)
三、电子计算机断层装置的构成·····	(384)
四、CT图像分析·····	(384)
五、CT扫描的特点·····	(385)
第四节 激光全息 ·····	(385)
一、激光全息原理·····	(385)
二、全息图的观察·····	(386)
三、激光全息的特点·····	(386)

第十一章 固体推进剂的包覆	(387)
第一节 概述.....	(387)
第二节 对固体推进剂装药包覆层的基本要求.....	(387)
一、耐烧蚀性.....	(387)
二、相容性.....	(388)
三、强度和延伸率.....	(389)
四、粘结性能.....	(389)
五、老化性能.....	(390)
六、工艺性能.....	(390)
第三节 包覆层的发展概况及主要类型.....	(390)
一、双基推进剂的包覆材料.....	(391)
二、改性双基推进剂的包覆材料.....	(392)
三、复合推进剂的包覆材料.....	(393)
第四节 几种主要的包覆工艺.....	(393)
一、自由装填式推进剂药柱的包覆.....	(393)
二、壳体粘结式发动机装药的包覆.....	(395)
第五节 增塑剂的迁移问题.....	(398)
一、迁移的性质.....	(398)
二、迁移性质的试验方法.....	(400)
三、抑制迁移的途径.....	(403)
第六节 包覆层的开裂及脱粘问题.....	(405)
一、开裂、脱粘现象与原因分析.....	(405)
二、粘结机理.....	(406)
三、粘结强度的测定及脱粘的检测.....	(406)
四、防止开裂和脱粘的措施.....	(408)
第七节 包覆层的设计准则.....	(410)
第八节 包覆层技术的发展.....	(413)
一、新材料的研究.....	(413)
二、包覆层新配方和包覆工艺的研究.....	(414)
三、包覆装药的完整性和寿命预估.....	(414)
四、加强基础性工作.....	(414)
第十二章 固体推进剂的配方与装药设计	(415)
第一节 固体推进剂配方的设计原则与基本任务.....	(415)
一、固体推进剂配方的设计原则.....	(415)
二、固体推进剂配方设计的基本程序.....	(415)
第二节 固体推进剂的配方设计.....	(416)
一、双基推进剂的配方设计.....	(416)
二、复合推进剂的配方设计.....	(419)
三、改性双基推进剂的配方设计.....	(421)

第三节 固体推进剂的装药设计	(424)
一、装药设计的基本任务及一般程序	(425)
二、设计参量的计算	(426)
三、药型及装药结构的选择	(428)
四、单孔管状药的装药设计	(436)
五、内孔星形药柱的装药设计	(454)
六、内孔车轮形药柱的装药设计	(481)
七、腰型药柱的装药设计	(493)
八、端面燃烧装药设计	(508)
九、嵌金属丝药柱的装药设计	(510)
十、装药点火性能的设计	(531)
第十三章 固体推进剂的劳动保护与环境保护	(538)
第一节 固体推进剂的危险性能	(538)
一、危险性能的预测	(538)
二、固体推进剂组分的危险性能	(543)
三、固体推进剂的危险性能	(550)
第二节 固体推进剂的安全技术	(555)
一、工房设备方面的安全技术	(555)
二、生产操作方面的安全技术	(558)
第三节 固体推进剂的劳动保护	(559)
一、固体推进剂及其组份的毒性	(559)
二、防护措施	(562)
第四节 固体推进剂的环境保护	(562)
一、环境标准	(563)
二、环境保护措施	(564)

第一章 绪 论

第一节 固体推进剂在火箭技术中的地位

自第二次世界大战以来,从V-2火箭到洲际导弹,从人造地球卫星到宇宙飞船与航天飞机,火箭技术有了很大的发展,作为火箭能源的推进剂相应地也取得了飞跃的进步。在火箭推进的领域中,尽管出现了核推进、电磁推进等先进的推进概念,但是化学推进仍然是迄今为止的主要推进方式。所谓化学推进就是应用物质在发动机中发生化学反应而放出的能量作为能源,以化学反应产物作为工质的一种推进方式。在化学推进中,参加化学反应的全部组份称为化学推进剂。根据化学推进剂在通常条件下所呈现的物理形态,可以分为液体推进剂、固体推进剂及固液混合推进剂。而实际使用的主要还是固体推进剂和液体推进剂。

最早使用的推进剂是固体推进剂。由于液体推进剂能量较高、易于控制,因此在德国V-2火箭基础上发展起来的液体火箭发动机,是宇宙开发的先锋,在战后十年间成为空间飞行器和中远程导弹的主要运载工具。但是,与液体发动机比较,由于固体发动机与具有如下优点:①结构简单、维护方便、它不需要液体发动机的燃料贮箱和供应系统、它的维护费只是液体发动机的10%,②零部件少、作用可靠性高,③发射准备时间短、短时间内能产生较大推力、特别适宜于战术火箭、导弹使用,④使用安全、贮存期长、一般贮存期都达10年以上,⑤燃烧时不需要外界供应氧气、可在真空中飞行、用作宇宙航行的动力装置;因此在二十世纪六十年代逐渐发展成为在军事领域中居支配地位,在空间研究方面也获得了广泛的应用。

在军事领域中,固体推进剂占有巨大的优势。据不完全统计,目前西方各国正在使用或研制的大约100种火箭、导弹武器系统中,约85%为固体发动机,而液体发动机、涡轮喷气发动机、冲压喷气发动机约各占5%。以美国为例,在陆海空三军研制和使用的火箭、导弹中,用固体发动机的占80.8%,液体发动机占7.7%。

就战略导弹而言,美国和苏联第一代洲际和中程导弹都是液体发动机,这类导弹已逐渐为固体发动机和可贮存液体发动机所取代。从美苏发展战略导弹近三十年的历史中可以看出,美国走的是先液体,后固体,并逐步以固体取代液体的道路;苏联走的是先液体,继而固体液体并进的道路。参见表1-1。

在战术火箭、导弹领域中,由于更易发挥固体发动机的特长,应用更为广泛。国外现装备的40多种地对空导弹,基本上都是固体发动机,战术火箭也都是固体发动机。由此可见,在战术武器中,由于固体发动机固有的优点,在火箭推进中占有压倒的优势。将来随着固体发动机重新点火和推力可控技术的发展,将为固体推进剂的应用开辟更为广阔的前景。

但是固体推进剂也有缺点,如排气速度和质量比较低,重新启动和推力控制比较困难。而且液体推进剂为了与固体推进剂竞争,正趋向预包装液体推进剂系统。这种系统既有液体发动机能量高、易于控制的优点,又兼固体发动机使用方便的优点,在战术火箭导弹中

表1-1 美、苏、法主要导弹使用的固体推进剂

国别	型 号	类型	射程 (km)	所用推进剂			发射方式
				第一级	第二级	第三级	
美 国	海神	二级	4,600	PBAN	CMDB		潜射
	三叉戟-I	三级	7,200	XLDB	XLDB	XLDB	潜射
	三叉戟-II	三级		XLDB	XLDB	XLDB	潜射
	北极星-A ₃	二级	4,500	PU(+硝基增塑剂)	CMDB		潜射
	潘兴-I	二级	1,800	HTPB	HTPB		机动平台发射
	民兵-III	三级	13,000	PBAN	CTPB	CTPB	地下井发射
	MX	四级	11,100	HTPB	HTPB	NEPE	平行公路发射 第四级为液体
苏	SS-14	二级	2,000	固体	固体		公路机动发射
	SS-15	三级	5,600	固体	固体	固体	公路机动发射
	SS-X-17	二级	2,000	固体	固体		潜射
	SS-20	二级	4,500	固体	固体		机动筒式发射
	SS-13	三级	8,000	固体	固体	固体	地下井发射
	SS-16	三级	9,000	固体	固体	固体	机动和地下井发射
法 国	S ₂	二级	>3,000	PU	PU		机动发射
	S ₃	二级	>3,500	PU	PU		机动发射
	M ₁	二级	>2,500	PU	PU		潜射
	M ₂ /M ₂₀	二级	>3,000	PU	CTPB		潜射
	M ₄	三级	>4,000	CTPB	CTPB	CTPB	潜射

得到了应用和发展。因此，固体推进剂还不能完全取代液体推进剂。

第二节 固体推进剂发展简史与分类

一、发展简史

火箭与火药是我国的伟大发明，这已是世界公认的历史事实。我国古代的炼丹家从公元3世纪开始，经过不断总结经验直到公元808年形成了固定的黑火药配方，这就是最初的火药。公元969年我国制成了世界上第一支火箭——火药火箭，公元975年这种火药火箭作为一种武器，首次应用于战争。13世纪中国的黑火药与火箭先传入阿拉伯国家，以后又传到欧洲。1833年和1846年相继发明了硝化纤维素和硝化甘油，为火药的发展提供了新的原料。1886年维也里制成了硝化纤维素发射药，1890年诺贝尔以硝化甘油增塑硝化纤维素首先制成了双基发射药。在第二次世界大战初期，火药都是作为枪炮弹丸的发射药。而用于火箭推进的火药——固体推进剂，则是在第二次世界大战中发展起来的，并在五十年代以后取得了重大的进展。

• 目前国内一般火药书中均载有公元682年炼丹家孙思邈提出黑火药配方，作为中国发明火药的起始，此说出于冯家昇著《火药的发明和西传》(1950年)，近年已被国内外专家否定。火药是中国人发明，这是肯定的。但火药的发明有一发展过程，根据赵子立教授的考证：有文字记载的，在公元三世纪(西晋)炼丹家葛洪所著《抱朴子》一书载有“饵服雄黄法”，提出雄黄与硝石等混炼的配方，这是研究黑火药的开始。直到公元808年载于清虚子的《铅汞甲庚至宝集成》上有“伏火矾法”，所述黑火药配方与现代配方相似。本书采用他的观点。

1935年苏联首先将双基推进剂（DB）应用于军用火箭，制成的火箭炮在卫国战争中起了重要作用。1940年美国也开始将双基推进剂应用于火箭推进系统。1942年美国首先研制成功第一个复合推进剂——高氯酸铵、沥青复合推进剂，为发展更高能量的固体推进剂开辟了新的领域。与此同时，美国还研制成功了浇铸双基推进剂，为发展浇铸工艺打下了基础。1947年美国加利福尼亚工学院的喷气推进实验室研制成功了聚硫橡胶推进剂（PS）。为了满足洲际导弹和空间飞行器用大型发动机的需要，五十年代中期发展了聚氨酯推进剂（PU），五十年代后期发展了聚丁二烯丙烯酸推进剂（PBAA）、聚丁二烯丙烯酸丙烯腈推进剂（PBAN）。六十年代又出现了端羧基聚丁二烯推进剂（CTPB）与端羟基聚丁二烯推进剂（HTPB）。五十年代还发展了聚氯乙烯塑溶胶推进剂（PVC）。改性双基推进剂是五十年代后期在双基和复合推进剂基础上发展起来的一种新型固体推进剂，它的主要品种有复合改性双基推进剂（CMDDB）、交联改性双基推进剂（XLDB）、复合双基推进剂（CDB）与硝酸酯增塑聚醚推进剂（NEPE），目前仍在发展中。关于美国固体火箭推进剂研究与发展过程参见表1~2。

我国的火药工业创始于1895年，在上海龙华兵工厂建立火药厂，至1949年中华人民共和国成立，仅能生产枪炮用的发射药。1950年为适应抗美援朝战争的需要，在东北首先采用难挥发性溶剂压伸工艺制成了双基推进剂。1958年在固体推进剂领域，开展了科研与新产品试制，发展了浇铸双基推进剂、聚硫橡胶推进剂及其它复合推进剂。1960年我国第一条半连续化螺旋压伸生产线投入生产，为大批量生产双基推进剂提供了重要手段，在这条生产线上不仅生产了多种型号的野战火箭用双基推进剂，而且还试制了几种型号的战术导弹用双基推进剂。七十年代我国研究与发展了改性双基推进剂与聚丁二烯推进剂。现在我国已建立起强大的固体推进剂工业，不仅具有一定产量，而且研制的品种齐全、性能也接近世界先进水平。

表1-2 美国固体推进剂主要品种研制发展简况

类型	开始研制时间	研制单位	粘合剂	氧化剂	成型方式
沥青推进剂	1942年	加利福尼亚工学院 航空喷气通用公司	沥青	高氯酸铵 硝酸铵	压伸 浇铸
浇铸双基推进剂	1942年	炸药研究室	硝化纤维素	硝化甘油	浇铸
聚硫橡胶推进剂	1947年	加利福尼亚工学院 聚硫橡胶化学公司	聚硫橡胶	高氯酸铵 硝酸铵	浇铸
聚氯乙烯推进剂	1950年	大西洋研究公司	聚氯乙烯	高氯酸铵	压伸 浇铸
聚氨酯推进剂	1954年	航空喷气通用公司 聚硫橡胶化学公司 大西洋研究公司	聚氨酯	高氯酸铵	浇铸
聚丁二烯推进剂	1957年	联合工艺中心 洛克希德推进公司	聚丁二烯	高氯酸铵	浇铸
改性双基推进剂	1957年	赫克力斯公司	硝化纤维素 硝化甘油	高氯酸铵	浇铸

二、分类

综上所述，到目前为止，实际使用的固体推进剂可以分类如下：

(一) 双基推进剂：一种均质推进剂，其主要组份为硝化纤维素与硝化甘油，还有一些添加剂。与枪炮用的双基发射药在基本组份上无区别，仅多了燃烧催化剂与燃烧稳定剂，质量要求更为严格，以使其性能适应火箭发动机的需要。

(二) 复合推进剂：以高聚物粘合剂为弹性基体，其中掺有氧化剂（如高氯酸铵）和金属燃料（如铝粉）及其它添加剂，是一种多相混合物的异质推进剂，根据粘合剂的种类不同，复合推进剂有以下四种：

1. 聚硫橡胶推进剂，
2. 聚氯乙烯推进剂，
3. 聚氨酯推进剂，
4. 聚丁二烯推进剂。其中又分为聚丁二烯丙烯酸推进剂、聚丁二烯丙烯酸丙烯腈推进剂、端羧基聚丁二烯推进剂与端羟基聚丁二烯推进剂。

(三) 改性双基推进剂：以硝化甘油增塑的硝化纤维素塑胶弹性体为粘合剂，加入氧化剂（高氯酸铵）、高能炸药（奥克托今）和金属燃料（铝粉）及其它添加剂所组成的多相混合物，也是一种异质推进剂，可分为以下两类：

1. 复合改性双基推进剂（CMDB），是以硝化纤维素和硝化甘油塑溶胶为粘合剂，高氯酸铵为氧化剂，并适当加入奥克托今、铝粉及其它添加剂所形成的一种不交联的固体推进剂。

2. 交联改性双基推进剂（XLDB），是在CMDB推进剂中引入交联剂而形成的一种交联固体推进剂。它既保持了CMDB推进剂的能量水平，也使其力学性能，特别是低温延伸率获得明显提高，成为改性双基推进剂的一个新品种。新近发展的品种有硝酸酯增塑聚醚推进剂（NEPE），它用硝酸酯增塑聚醚和乙酸丁酸纤维素取代硝化纤维素，固体装填量高达80%左右，能量更高，力学性能也得到极为显著的提高，而且认为它体现了固体推进剂的最新水平。

第三节 固体推进剂的技术要求和应用

一、一般要求

固体推进剂是火箭的动力，根据使用对它提出了一系列的技术要求，一般可以归纳如下：

(一) 应具有较高的能量和密度。

(二) 应具有良好的燃烧规律性和稳定性；应在较低压力下能正常燃烧，使得火箭发动机壳体尽量减轻，应具备一定的燃速；并要求压力和初温对燃速的影响要小，即压力指数和温度系数低。

(三) 应具有良好的力学性能，以适应火箭和导弹发射和飞行时所受到各种力的复杂作用。在使用温度范围内不软化，不变脆，不产生裂缝。

(四) 应具有良好的物理安定性和化学安定性。以保证在气候条件变化范围很大的情况下可以长期贮存，保持使用性能不变。

(五) 对冲击波、摩擦、热能、静电等的感度要低，以保证固体推进剂在使用、生产、运输和保管过程中的安全。

(六)应具有良好的工艺性能,在一定的生产工艺条件下,能安全地制造出所要求的形状和尺寸。

(七)应具备一定的经济性,原料来源丰富,成本低。

二、特殊要求

但是火箭的用途很多,不同类型的火箭、对固体推进剂的技术要求,除了以上一般的要求以外,尚有各自的特殊要求,以下分别叙述之。

(一)野战火箭

野战火箭是战术火箭中最普通,使用量最大的一种。一般采用多管发射,在短时间内形成密集的强大火力,其主要战术技术指标是射程和密集度。要求推进剂具有较高的能量和燃速,同时由于使用量大,也要考虑成本。涡轮式火箭由于每分钟约2万转的高速旋转,要求推进剂有较高的机械强度。因为当装药燃烧到后期弧厚减薄时,如果强度不高,抵抗不住由于离心力产生的压力,则药管碎裂造成二次压力峰过高。

(二)航空火箭

航空火箭包括空对空和空对地两种,由于在高空发射,对推进剂提出如下特殊要求。

1. 因为是在飞机上发射,首先要考虑火箭发动机工作时的安全性。燃烧室要能承受一定的压力,为了提高精度,要提高火箭离开发射器时的速度,因此燃烧室压力不能设计得太低。其次要考虑燃烧室排气的组成,如燃烧废气被飞机发动机吸入,能否造成“喘振现象”,甚至使发动机熄火;发射时不能有坚固的物体(碎片)向后抛出而损伤飞机的某些零件,如位于火箭发射装置后面的机翼、尾翼等;另外,排气如含有腐蚀性成份(如氯化氢等),也会使飞机尾流中的零部件如吊舱整流罩、连接操纵台和发射装置的插座等受到损坏。

2. 推进剂要能经受飞机飞行时的振动、起飞、着陆时的过载,高空的低温低气压,通过雨区和阴云层时的影响以及空气动力加热等。

推进剂装药要在地面进行一系列模拟试验,试验条件随装载的飞机类型而异。一般航空火箭弹要求承受的振动,频率为20~200Hz,过载为4g;起飞着陆过载为20g。推进剂要能在-50~+50℃范围内正常工作,而且还要能承受短时间加热到120℃(发动机外表面温度,当飞行速度大于2Ma时的动力加热所致)。

(三)反坦克火箭

反坦克火箭一般用于对付近距离的坦克,由于目标小,要求火箭精度好。又因这类武器大都是单兵发射,为避免燃气烧伤射手,要求推进剂在发射筒内燃完,所以推进剂燃速要高,温度系数要小,燃烧室压力不宜太低,可以选在50~100MPa之间。为了安全,要求推进剂力学性能好,另外要求侵蚀燃烧效应小。对于火箭增程反坦克武器,由于采用尾管药发射,发射时加速度较大,甚至超过6000g,固体推进剂应能承受这一加速度而不变形或不破裂。

(四)火箭式深水炸弹

这类武器装备在军舰上对付潜艇。一般是多管齐射(如24管齐射),火箭飞行一定距离进入水下,达到一定深度时爆炸。对推进剂装药的要求,基本上与野战火箭相同,主要是保证良好的密集度,要求推进剂装药静止试验时压力跳动要小。由于在舰艇上使用,要求装药能耐海水侵蚀。

(五)弹射火箭推进剂装药