

国外重视在战略和战术导弹中 应用改性双基推进剂

李 一 苇

一、前 言

五十年代中期,由于战略导弹和大型助推器对高能推进剂的需要,在双基推进剂和复合推进剂的基础上,发展了改性双基推进剂。这种推进剂是在以硝化棉和硝化甘油为基的双基推进剂中加入复合推进剂的氧化剂高氯酸铵、燃料铝粉而组成,故也称为复合改性双基推进剂。由于性能优越,工业生产基础良好,二十多年来,受到各国普遍重视,并逐步应用于各种战略和战术导弹中。

二、改性双基推进剂是美国战略导弹的主要装药之一

美国战略导弹有海基和陆基导弹两大系列。自五十年代中期以来,海基战略导弹先后发展了“北极星”A₁、“北极星”A₂、“北极星”A₃、“海神”、“三叉戟”Ⅰ和“三叉戟”Ⅱ六种型号。陆基导弹有“民兵”Ⅰ、“民兵”Ⅱ、“民兵”Ⅲ和“MX”。导弹各级发动机采用的推进剂品种有:聚氨基甲酸酯推进剂(PU),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),端羧基聚丁二烯推进剂(CTPB),改性双基推进剂(CMDB)和交联改性双基推进剂(XLDB)。即将装备使用的推进剂有端羟基聚丁二烯推进剂(HTPB)和新发展的改性双基推进剂(NEPE)。当前使用的主要是聚丁二烯-丙烯酸-丙烯腈推进剂、端羧基聚丁二烯推进剂以及改性双基推进剂。从推进剂性能比较看,最有发展前途的是端羟基聚丁二烯推进剂和交联改性双基推进剂。

在两系列导弹中采用改性双基推进剂的陆基战略导弹有“民兵”Ⅰ第三级、“民兵”Ⅱ第三级、“MX”第三级〔1〕;海基导弹“北极星”A₂第二级、“北极星”A₃第二级、“海神”导弹第二级〔2〕、“三叉戟”Ⅰ第一、二、三级〔3〕、正在研制的“三叉戟”Ⅱ的各级发动机可能也要采用。根据有关资料和导弹、推进剂研制年代分析,“民兵”Ⅰ、“民兵”Ⅱ、“北极星”A₂和“北极星”A₃导弹中采用含有硝化棉、硝化甘油、高氯酸铵和铝粉为主要组分的改性双基推进剂。“海神”导弹中采用含硝化棉、硝化甘油、高氯酸铵、铝粉和奥克托今为主要组份的改性双基推进剂〔4〕。“三叉戟”Ⅰ导弹中采用交联改性双基推进剂(XLDB)〔5〕,其成份包括硝化棉、硝化甘油、聚己二酸乙二酯(PGA)、六次甲基二异氰酸酯(HDI)、奥克托今、高氯酸铵、硝基二苯胺及三苯基铋等。在“MX”导弹中将采用新的改性双基推进剂“NEPE”〔1〕,它是在交联双基推进剂基础上发展的一种新的推进剂,采用硝酸酯增塑的聚醚和乙酸丁酸纤维素取代交联改性双基推进剂中硝化棉,因而比交联改性双基推进剂具有更优良的低温力学性能。

由美国现装备使用的推进剂可以看出:

1. 改性双基推进剂一直应用于美国陆、海基战略导弹中

美国自1957年研制改性双基推进剂以来,就先后应用在“北极星” A_2 、 A_3 、“海神”导弹、“民兵”Ⅰ、“民兵”Ⅱ导弹中,1981年装备部队的最新远程潜地导弹“三叉戟”Ⅰ和1984年完成部署的最新大型陆基导弹“MX”还将采用改性双基推进剂。由此可以认为,美国自大型战略导弹研究以来至八十年代一直在使用改性双基推进剂。

2. 改性双基推进剂是美国海基(潜地)导弹的主要装药

具有高比冲和高密度的改性双基推进剂特别适用于体积受限的潜地导弹。由于核潜艇服役期限较长,常常是在已服役的潜艇上更新导弹,这就要求在导弹总体尺寸基本不变或变动不大的情况下,成倍地增加射程和有效载荷。因此,高比冲、高密度的改性双基推进剂在这类导弹中得到了广泛应用,而且由开始应用于末级发动机进而发展到各级发动机中全部采用。现举例说明采用改性双基推进剂对潜地导弹射程和有效载荷提高作出的贡献。

(1)从“北极星” A_1 改进为 A_2 时,射程由2200公里提高到2800公里。由于潜艇装弹的局限性,导弹总体尺寸不能增加。据潜地导弹系统技术和计划管理负责人之一富尔曼称:〔6〕“北极星” A_1 的第一级和第二级发动机装有聚氨酯推进剂,推进剂的比冲为231秒,密度分别为1.66克/厘米³和1.69克/厘米³。在“北极星” A_2 的第二级发动机中改用了改性双基推进剂(比冲约为240~250秒,密度1.8克/厘米³),连同第一级发动机的加长,使射程增加了600公里,达到了海军要求的2,800公里的水平。

(2)“三叉戟”Ⅰ导弹是最新远程潜地导弹,射程7,400公里,有效载荷为1.36吨,装有突防能力较强的7个子弹头。海军要求“三叉戟”Ⅰ导弹不仅能部署到新的“三叉戟”潜艇上,而且还要装在现有的“海神”导弹核潜艇上。所以希望它的外形尺寸与“海神”导弹相同,只是比“海神”导弹略重一些,而射程却约为“海神”导弹的两倍。为达到这些要求,从推进剂方面需提高单位体积推进剂的能量;提高推进剂能量利用率;为推进剂提供更多的空间并减轻结构重量等。具体措施有:

a. 增加推进剂装填量。在弹头整流罩内加上一个第三级发动机。另外使控制系统小型化,重新安排好仪表舱,以便为推进剂提供更多的空间。

b. 进一步提高推进剂的能量。在导弹第一、二级发动机中不用通常的复合推进剂,全弹三级全部采用高能交联改性双基推进剂。由于推进剂性能的提高,为导弹射程和有效载荷的提高创造了40%的条件。发动机结构材料的改进也有利于增加推进剂的装填量和提高燃烧室的工作压力〔8〕。正如美海军作战部副部长格里菲恩所说:“三叉戟”Ⅰ导弹射程提高主要是由于采用了改进的高能推进剂和增强了第三级。

3. 改性双基推进剂多用于高性能的末级发动机

从美国战略导弹发动机装药看到,绝大多数末级发动机采用改性双基推进剂。如“北极星” A_2 、 A_3 、“海神”的第二级发动机和“民兵”Ⅰ、“民兵”Ⅱ和“MX”的第三级发动机都装有改性双基推进剂。从理论上分析,导弹末级发动机的性能对导弹射程、有效载荷和精度的影响较前几级要大。例如,美国在考虑提高“北极星” A_2 的射程时,就认识到提高第二级发动机的性能比第一级具有更大的优越性〔6〕。如减轻第二级结构重量所增加的射程比减轻第一级同样重量所增加的射程大八倍。在第二级中提高推进剂的比冲较第一级也更有效。有人曾计算过,一枚中程二级导弹,第一级的推进剂比冲提高1秒,射程将增加约30公

里，第二级的推进剂比冲提高1秒，射程增加约50公里。可见，末级发动机在材料和推进剂的选择上较前几级要高，这也进一步说明改性双基推进剂是能量特性很优越的一种推进剂。

由上可见，在六十年代，改性双基推进剂就在美国战略导弹上获得应用，并对战略导弹的发展起过重要作用。这表明，它的性能基本上满足使用要求。在七十年代，改性双基推进剂性能又获得重大改进的情况下，可进一步满足先进的战略导弹发动机设计的要求。

三、国外重视在战术导弹中应用改性双基推进剂

长期以来，改性双基推进剂主要用于战略导弹。近年资料明显地表明，各国都已将它用于战术导弹中。例如：

美国

(1) 在陶-2(TOW-2)反坦克导弹中使用。陶式导弹是美国第二代反坦克导弹。世界上已有二十多个国家购有此种导弹。导弹发动机原装有M₇普通双基管状药。1981年(ARMOR)杂志报导，新研制的改进型“陶-2”导弹的续航发动机采用壳体粘结的交联双基推进剂。发动机总重量只增加1.25磅，而总冲提高约30%，导弹射程由3000米提高到5000米以上。

(2) 在“小榔树”地空导弹中使用。“小榔树”是美国近程低空导弹，过去，它的发动机采用复合推进剂，1981年资料〔7〕报导，1975年以来，美国研究了改进型“小榔树”防空武器系统，使用特征信号最小(无烟)的改性双基推进剂，现正在作昼夜温度循环试验，模拟野外条件下贮存情况。

英国

英国萨姆菲尔德研究所自1958年就开始研究改性双基推进剂。曾用150毫米发动机筛选了许多配方，也进行480毫米直径的发动机点火试验。认为这种推进剂可制成高效率的壳体粘结的、安全和储存性能良好的装药，能适应于野战和海军作战遇到的温度和振动条件。因而成功地完成了发展阶段，得到批准，投入生产，现已应用于第二代全天候中程的低、中、高空舰空导弹“海标枪”的助推器中。推进剂比冲为244秒(压力为126巴)，燃速22毫米/秒，储存期7年以上，工作温度为0~40℃。〔8〕

法国

在潜舰型飞鱼/SM39导弹的续航发动机中采用复合双基推进剂〔9〕。在反坦克导弹“米兰”、“霍特”、地空导弹“罗兰特”、空舰导弹“飞鱼”、反舰导弹AS15TT和AS30Laser中可能也要采用〔10〕。

日本

近年来，日本防卫厅技术研究本部第三研究所久保田浪之介等人对复合双基推进剂作了深入研究。日刊<防卫通讯>称，在1976年研制的第三代反坦克导弹“中马特”中采用复合双基推进剂，该导弹从八十年代起将成为日本反坦克武器装备的主力。1981年杂志〔11〕报道，防卫厅技术研究本部决定，在地空导弹SAM-1、未来的空空导弹XAAM-1和XATM-3导弹中，自1982年起全部采用复合双基推进剂。

西德

西德火炸药研究所自1961年开始研究复合双基推进剂，现在正在发展一种适用于生产浇铸双基、复合双基和复合推进剂的通用设备，以便生产改性双基推进剂，用于反坦克、防空和轻型炮兵火箭中。〔12〕〔13〕

由上看出,美、英、法、日和西德都已经或正在准备将改性双基推进剂应用于小型战术武器中。

四、改性双基推进剂为什么会获得广泛应用

在战略和战术导弹发展的推动下,在吸取复合推进剂特长的基础上,二十多年来,改性双基推进剂在组成和性能上有了很大发展。如美国除了有通常的改性双基推进剂外,还有含奥克托今或黑索今的高能改性双基推进剂,高能交联改性双基推进剂(XLDB),低温力学性能优良的新型改性双基推进剂(NEPE)以及日本和西德研制的复合双基推进剂(CDB)。它们都已越出了原来双基推进剂的传统概念,而是以合成高分子预聚物部分或全部取代硝化棉,以奥克托今部分或全部取代高氯酸铵组成的既具有改性双基推进剂的能量性能,又具有复合推进剂力学性能的一类推进剂。在某种意义上说,它们是双基与复合推进剂相结合的产物。这类推进剂的突出优点是:

1. 能量高

改性双基推进剂有机地组合了双基与复合推进剂的含能成分,它是当前国外实际使用的能量最高的一种推进剂。比冲达250~255秒,密度1.8克/厘米³。超过了聚丁二烯(丁羧、丁羟)复合推进剂的水平^{[14][15]}。能量高的原因在于:

(1) 它的粘合剂硝化棉是一种含硝酸酯基的高分子,而复合推进剂的粘合剂大多是惰性粘合剂。在推进剂中采用含氧粘合剂是难能可贵的。回顾六十年代,为了提高推进剂的能量,国外曾大力研究高能粘合剂、高能氧化剂和高能添加剂。在粘合剂方面就是想把含能基团如硝基、硝酸酯基、二氟氨基引入粘合剂分子中去。虽然做了许多研究工作,但结果是令人失望的。因为要在一般聚合物上引入含能基团,在工艺上难度较大,即使合成了含能粘合剂,也由于其安定性、相容性、力学性能差,毒性大,成本高等原因而未能付诸实用。所以现装备的复合推进剂仍然采用惰性粘合剂。然而改性双基推进剂的粘合剂-硝化棉是稳定的带硝酸酯基的含氧粘合剂,它的生产工艺和安定处理问题早已得到解决,并已有成熟的生产和使用经验。

(2) 改性双基推进剂以硝化甘油作增塑剂。硝化甘油是具有正氧平衡的液态炸药,也是硝化棉的良好增塑剂和溶剂。它比常用的惰性增塑剂对提高推进剂能量的贡献要大。

(3) 添加高能组分奥克托今(或黑索今)。奥克托今的生成热为正值,密度1.9克/厘米³。以奥克托今部分代替高氯酸铵,使推进剂燃气火焰温度降低,但由于奥克托今同时使燃气平均分子量降低,所以即使在燃温下降的情况下,也会获得较高的比冲。在改性双基推进剂中奥克托今含量在20%左右时,推进剂最大理论比冲达270秒,比不含奥克托今的高5秒左右。

(4) 改性双基推进剂的比冲效率高。它较高的氧系数和燃烧温度,有利于铝粉燃烧完全。因此当改性双基推进剂与复合推进剂的理论比冲相同时,改性双基推进剂的实测比冲要大。

2. 原材料有工业生产基础、工艺成熟、成品推进剂性能重现性好

改性双基推进剂主要原材料硝化棉和硝化甘油工业生产已有相当长的历史,生产工艺成熟,性能稳定。硝化棉是天然的棉纤维素经硝化而成。在硝化前,经一系列精制处理,去除低分子杂质。硝化棉的分子结构显然也比较复杂,但由于分子量相当大,分子量大小略有波

动对性能的影响少,所以表现出有相当一致的化学性质、力学性质和弹道性能^[15]。不像复合推进剂的粘合剂是人工合成的聚合物,制造它需要相当高水平的高分子合成工业为基础,工艺过程控制要求十分严格,才能控制好预聚物的分子量分布、官能度分布、官能团位置和活性等。因而不易制得性能稳定的预聚物。粘合剂性能的稳定性对推进剂性能重现性有很大影响。另外推进剂的制造工艺也是影响因素之一,改性双基推进剂是塑溶胶体系,固化过程是一个物理过程,只是硝化甘油渗透到硝化棉分子中,使其膨润和溶解,工艺过程易于控制,制得的推进剂性能稳定。复合推进剂是化学交联体系,它的粘合剂是合成的高分子预聚体。为了便于混合和浇铸,固化前,液态预聚物的分子量只有几千,只是在固化过程中,预聚物与固化剂之间发生化学反应,使推进剂由液态转变为固态,固化反应复杂,性能不易控制,所以复合推进剂性能重现性逊于改性双基推进剂。

3. 排气烟雾少、腐蚀性小,有利于制成无烟推进剂

推进剂无烟对隐蔽导弹发射阵地、提高武器生存能力、防止排气对无线电信号的干扰,延长发射架使用寿命和改善射手工作条件都是极为重要的。

4. 改性双基推进剂抗化学老化性能较好。贮存期较长,美国已有使用10~15年之久的改性双基推进剂,说明它的使用寿命可达10年以上。^[4]

综上所述,改性双基推进剂在将近25年的发展历程中,吸取了复合推进剂的长处,弥补了双基推进剂的不足,发展成为能量最高、工艺性能和贮存性能良好的,具有一定弹道和力学性能,产品性能重现性好的一类固体火箭推进剂。它与端羟基聚丁二烯推进剂一起,构成了当前固体推进剂的主要发展方向,不仅成为美国战略导弹的主要装药之一,并已经在许多国家的战术导弹中获得应用,显示了广阔的发展前景。

参 考 资 料

- (1) AIAA 80-1184
- (2) “国外固体弹道导弹资料汇编”七机部二院情报室1979年12月
- (3) Aviation Week & Space Technology June 16, 1980.
- (4) N77-25240
- (5) 美国专利4,052,943
- (6) AIAA 78-355
- (7) N81-12256
- (8) “海标枪导弹系统简介”国外战术导弹1980年第9期
- (9) <Air et Cosmos>1981年11月 №881
- (10) <Air et Cosmos> 1981年1月31日 №845
- (11) 日本<国防经济通讯>1981年
- (12) ICT Interation Annual Conference 1978
- (13) AD-A033497
- (14) NASA SP-8064
- (15) Rocket Propulsion Elements 1976
- (16) 兵工技术情报专题报告(82)—39 兵器工业部第二一〇研究所