

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2013.05.010

国外新型火工药剂安全技术研究进展^{*}

任晓雪 柏席峰 彭翠枝 王 昕

中国兵器工业集团公司北方科技信息研究所(北京,100089)

[摘 要] 在系统调研和整理国外最新相关资料的基础上,介绍了国外新型火工药剂安全技术的研制现状,并根据目前的发展状况,预测特征感度药剂、超细化、钝感化火工药剂技术将是未来新型火工药剂安全技术的主要发展方向。

[关键词] 特征感度药剂 纳米火工药剂 钝感药剂

[分类号] TJ45+7 TD235.2+2

引言

新型高安全火工药剂对火工品的敏感性、输出威力、储存安定性、勤务处理安全性及作用可靠性等有很大影响。近年来,世界各国广泛开展火工药剂安全技术研究,先后研制出一系列新型特征感度药剂、高能不敏感药剂和纳米火工药剂,并加以测试与评估,为火工品的安全使用打下了坚实的基础。

1 国外新型火工药剂安全技术发展概况

目前,国外对新型火工药剂安全技术的研究主要包括研发各种特征感度药剂、钝感药剂和超细化药剂。近年来,国外在合成新型安全钝感单质起爆药(如多硝基苯类耐热起爆炸药)的同时,还对常用起爆药和耐热炸药进行细化和钝化,包括对 RDX、CL-20(六硝基六氮杂异伍兹烷)和六硝基芪(HNS)等的超细化处理,以进一步提高其安定性,尤其是实现高温高压环境下的使用安全。另外,由于冲击片雷管的应用前景明朗,为其研究适用药剂和飞片材料也是实现高安全性火工品设计的重要途径。

1.1 特征感度药剂技术

特征感度药剂是指对特定能量形式刺激(例如激光、电、机械、热作用)具有发火能量小、响应快而对其它能量形式刺激钝感的炸药和火药,主要有激光敏感药剂、撞击敏感药剂、冲击敏感药剂、导电敏感药剂和热敏感药剂。

1.1.1 激光敏感药剂

近年来的研究表明,配位化合物起爆药大多能被激光起爆,成为激光敏感药剂的主要研究方向^[1]。激光通过光纤传输,因此要求药剂的粒度很细。药剂反射系数对激光火工品点火成功起到了决

定性作用,这是激光火工品不同于其它火工品最显著的特点。激光敏感药剂的制备方法主要有采用粒度小的含能材料、添加炭黑、增强光吸收率等。

2001 年公布的有关薄膜激光起爆药专利和 2007 年公布的有关可用激光点燃的混合物专利^[2],都是关于激光敏感药剂的发明专利。前者的应用机理是这种薄膜激光起爆药的底部是一层透明、钝感的材料,底层上面是一层敏感药剂,在敏感药剂的上面是一层反射薄膜。整个光学起爆系统还包括一个激光源,激光源通过光纤与起爆药连接在一起,此外还有电源、起爆器外壳。敏感药剂中还沉淀有一层吸光物质如炭黑,敏感药剂吸收激光的能量后,被迅速加热后发生爆炸输出,其输出能量可比输入的脉冲激光能量大 5~20 倍。后者则是含有起爆药、炸药、氧化剂和还原剂的混合药。

1.1.2 撞击敏感药剂

Dasse 等^[3]研究了一种撞击敏感的耐热烟火混合物,由起爆药和硒粉或者硫粉组成。起爆药是金属氮化物,其质量分数为 80%~99%,硒粉或硫粉的质量分数为 1%~20%,硒粉和硫粉的颗粒在 2~250 μm 之间。这种混合物包括 95% 的银氮化物和 5% 硒粉,可用于撞击敏感火帽。专利 WO2007119037A1 中介绍的起爆药含有红磷、氧化剂、钝感填充物和淀粉^[4]。

1.1.3 冲击敏感药剂

Rauber 等^[5]提出了一种新型冲击雷管药剂及其制备方法,适用于小型武器的冲击敏感药剂,包括一种特殊的金属还原剂、两种氧化剂和炸药混合物。其中的金属可以用金属锆,氧化剂是具有不同价态

^{*} 收稿日期:2013-05-21
作者简介:任晓雪(1965~),女,副研究员,主要从事火炸药科技情报研究。E-mail:xxue906@163.com

的氧化剂(高价的二氧化锰、低价的硝酸钾),炸药是含多元醇脂肪族的硝酸盐。这种雷管药剂可用于子弹火帽,用于训练的小口径弹药。

1.1.4 导电敏感药剂

美国专利 US5557061 中,发明人提出的导电敏感药剂主要由铝、炭粉、细化的四氮烯组成^[6],此外,混合药剂中还包括斯蒂芬酸铅、硫化锑、硝酸钡。电流钝感的专利^[7]中描述了一种雷管用钝感传爆药,当 1A 的电流或者 1W 功率的能量作用时都不会发生意外发火。该传爆药中斯蒂芬酸铅的质量分数为 40%~80%,炭或石墨的质量分数为 2%~10%,其余为氧化铅。当混合药剂中的石墨质量分数超过 1% 时,其最小发火时间可达 8 μ s。

1.1.5 热敏感药剂

专利 WO2006126927^[8]中提出了热激发点火药,要求其在某一个温度范围内能快速地自动点火,点火温度应低于产气剂的熔点。所介绍的这种点火药主要包含 3-硝基-1,2,4-三唑-5-酮(NTO)、脒基脒硝酸盐(GUN)或者 N-脒基脒二硝酰胺盐(GUDN)。此外,在药剂中还添加有其它的氧化剂可减少残渣的生成量。通过控制各个组分的质量分数,可将点火温度控制在 150~180 $^{\circ}$ C 范围内。在有关热起爆的烟火药及其应用专利^[9]中,介绍了一种散热性非常好的烟火药混合物,其主要组分的质量分数为:20%~80% GUDN;20%~70% NTO;5%~60% NG(硝化甘油)。

1.2 钝感药剂技术

为了改善弹药的耐久性和安全性,美国国防部要求所有新型弹药都必须具有能够抵御意外事故、火灾和敌人攻击的能力^[10],适应这一要求的一种方法就是使用不敏感弹药(IM)。为此,美国、英国、澳大利亚等国开展了钝感弹药用的传爆药配方及性能评估的研发工作,并取得一定进展。尤其是美国提出了开发新型传爆药的计划,目标是开发一种输出能量高于 PBXN-7,而钝感性能至少要与其相当的新型传爆药,最终研制出了 TNBFI、LLM-105 等新型热安定或高能钝感传爆药,瑞典也研制了极具应用潜力的 GUDN 配方。这些新型钝感药剂包括钝感起爆药、点火药、延期药及传爆药等。

1.2.1 钝感起爆药

当前,起爆药技术的发展重点已从敏感类起爆药的合成逐步转向安全钝感类、耐热类起爆药的合成,基本要求是在保持原有的输出能量前提下,进一步改善钝感特性,从而提高系统的安全性。

美国海军水面战术中心印第安那分部与太平洋

含能材料研究公司研究人员联合开展了安全性能好于斯蒂芬酸铅的无铅、无毒且环境友好的起爆药研究^[11]。其中最具代表性的产品为 7-羟基-4,6-二硝基-5-氢-苯并呋咱的钾盐(KDNP)。从其安全性能数据可以看出,KDNP 的摩擦感度、撞击感度和静电放电感度均低于常规斯蒂芬酸铅(NSL)。

美国洛杉矶“白杨”国家实验室高能炸药科技部的动力与含能材料分部、北卡罗来纳州立大学化学系,以及伯克利国家实验室物理生物科学分部研究人员于 2006 年合成出了 5-硝基四唑-N²-高铁酸盐起爆药。与当前使用的起爆药相比,该起爆药具有起爆感度可控、易于制备、加工处理安全、运输方便等特点,且在 250 $^{\circ}$ C 以下能够长期保持稳定,具有非常好的应用前景。

波兰军事技术大学开展氯酸铜(II)配位起爆药的合成与爆炸性能研究,通过这一研究项目的实施,成功合成了氯酸铜与 4-氨基-1,2,4-三唑架桥配位体(桥连配体)构成的配位化合物。首次证实这种化合物具有非常好的综合性能:摩擦感度(10N)较低;热安定性(分解温度高于 250 $^{\circ}$ C)较好;含能起爆性能(1.4g/cm³ 时为 6.5km/s)较高。在测试过程中,200mg 的压装起爆药一遇到火,就能引爆 PETN。因此,这种环境友好且安全的化合物可以替代叠氮化铅与斯蒂芬酸铅^[12]。

1.2.2 钝感点火药

瑞士国防部研究人员采用新型还原剂开展高能钝感点火剂配方研制工作。在该研究中,研究人员以高氯酸钾为氧化剂,采用锆—铝合金(锆质量分数分别为 53% 和 75%)为还原剂配制了几种点火剂配方。之后,研究人员对上述配方的撞击感度、摩擦感度和静电放电感度等安全数据进行了试验研究,从测试结果中得出,锆质量分数为 53% 的点火剂配方的撞击感度、摩擦感度和静电放电感度均低于锆质量分数为 75% 的配方。通过对上述两种锆—铝合金新型还原剂制备的点火剂配方及其燃速、反应热和热性能等的评估发现,与传统配方相比,这类点火剂对外界刺激的感受度更低,反应热更高^[13]。

德国 Dynamit Nobel 公司公布了一项美国专利(US6997998)^[14],介绍了一种无铅和无钡的点火药。该点火药具有较高的安定性,且不含有毒物质,配方含有 5%~70% 的起爆药和其它组分(如敏化剂、还原剂、炸药和惰性物质等)。该点火药最大特点是贮存在潮湿或温暖的场所时,其安定性较好。

1.2.3 钝感传爆药

在热安定传爆药配方研制方面,美国发明了一

种新型热安定传爆药^[15],并探索了制备方法,该传爆药采用的炸药是 2,4,7,9-四硝基-10H-苯并糠醛[3,2-b]吡啶(TNBFI),所采用的炸药克服了传统药剂的种种不足(如特屈儿的热安定性差)。采用典型的 12A 型落锤撞击感度仪测试,落锤下落高度为 50~241cm;采用 BAM 摩擦感度仪测出的极限感度大于 36kg;爆炸物对火花间隙不敏感。

在高能钝感传爆药方面,美国研制出 2,6-二氨基-3,5-二硝基吡嗪-1-氧(简称 LLM-105)新型炸药^[16]。LLM-105 是一种新型分子,其性能与钝感性介于 HMX 与 1,3,5-三氨基 2,4,6-三硝基苯(TATB)之间。它的能量是 HMX 的 85%,比 TATB 高 15%。LLM-105 热安定性好,对撞击、静电火花和摩擦均具有钝感性,其撞击感度接近 TATB,这些综合性能足以说明 LLM-105 是一种高能钝感材料。

N-脒基脒二硝酰胺盐(简称 GUDN,商品名为 FOX-12)是一种极钝感的含能材料,瑞典防务研究院(FOI)已证实,GUDN 是一种高能炸药^[17],在大药柱中作传爆药时会产生爆轰,达最大理论装药密度时的爆速约为 8200m/s,其密度为 1.67g/cm³,因此 GUDN 的爆炸性能高于 TNT。而最令人关注的是,随着 GUDN 含量的提高,相关配方所产生的性能与钝感性也会相应提高。

在 2007 年的国际钝感弹药与含能材料技术研讨会上,美国海军公布了由其武器实验室开发的传爆药——PBXW-14 的鉴定试验结果^[18]。PBXW-14 是一种 HMX/TATB/粘结剂基钝感传爆药,该传爆药已于 2003 年在霍斯顿陆军弹药厂实现了规模化生产,批产量为 136.08kg。

尽管 PBXW-14 的全尺寸不敏感弹药(IM)性能鉴定试验目前还没有完全结束,但是从现有的测试结果可以看出,其稳定性和安全性均优于包括 PBXN-7 在内的其它传爆药;通过爆速、临界直径、真空热安定性等参数的比较,可以认定 PBXW-14 的性能优于 PBXN-7;其摩擦感度、静电感度和撞击感度与 PBXN-7 相当。

1.2.4 钝感延期药

延期药在实际应用过程中需要可靠和精确的延期药组分,但燃烧过程中往往受到含能材料的粒度、质量分数、环境压力与温度等内外界条件的影响。为此,国外近年来围绕延期药的安全性能开展研究,并取得成效。比如美国海军在完善 MK141 延期药柱的生产工艺的同时,提高了硼—铬酸钡烟火延期药的使用安全。MK141 的引信系统包括烟火延期药柱,用于延缓作用时间,以保证使用者的安全。美

国海军水面战中心印第安岬分部研究人员采用压伸延期药柱的方法,改进了硼—铬酸钡烟火延期药的生产工艺,提高了可靠性,同时降低了生产成本^[19]。

1.3 新型微、纳米火工药剂技术

火工药剂的超细化(微米、纳米化)已成为提高火工药剂安定性的重要途径。美国是最早开展相关研究的国家,现已取得了大量的成果,推出了多种新型微、纳米火工药剂。这些纳米药剂有在原有 RDX、CL-20 等药剂基础上改进得到的微、纳米 RDX 和 CL-20,也有新型纳米含能材料,如亚稳态分子间复合物和亚稳态纳米含能复合物、纳米多孔硅、微/纳米铜和纳米铝热剂等。

1.3.1 亚稳态分子间复合物(MIC)

亚稳态分子间复合物是一种新型含能材料,又被称为“超级铝热剂”,其典型的配方是由粒度范围在 30~200nm 的金属燃料和金属氧化物构成的。

Al-MoO₃、Al-WO₃、Al-CuO、Al-Bi₂O₃ 属于亚稳态纳米含能复合物(简称 MNC),这类复合物撞击感度、高温输出和低温点火极限等性能非常好,有望替代目前在用的斯蒂芬酸铅。2006 年,美国洛斯·阿拉莫斯国家实验室对亚稳态分子间复合物(MIC)配方进行了试验研究^[20-21],研究人员采用遥控装填法对大药量的 MIC 实现了安全装填,并完成了相关测试,显示出受试材料不会随意被引燃,安定性好。

1.3.2 纳米 RDX 和 CL-20

Render 等通过超临界流体技术得到的颗粒为 70nm 左右的 RDX,其撞击感度、冲击波感度都较微米级 RDX 明显降低。美国 Tappan 等制备的纳米 CL-20 的机械感度更低。

CaroleRossi 等利用基于氧化铝/氧化铜的纳米材料和金、铂、铬薄膜加热材料,以标准微加工方法在玻璃基座制造出了纳米雷管^[22],点火可靠性可达 98%,发火温度超过 2000℃,输出能量约为 60mJ,该方法有很高的集成度,且安全、可靠性高,可以用于批量生产。

1.3.3 纳米多孔硅

近年来,将纳米多孔硅用作起爆药的研究颇受重视。2000 年,美国劳伦斯·利弗莫尔国家实验室的研究人员在多孔硅基材上合成出了高能炸药 RDX 或 PETN 的纳米晶体复合材料,还利用溶胶—凝胶方法制备了纳米含能材料。2002 年,Mikulc 等制备了 Gd(NO₃)₃(硝酸钆)填充的多孔硅为基的复合炸药,此后不久,世界范围内便纷纷开展了硅和纳米多孔硅的研究。瑞士和英国研究人员合作开展了纳米硅晶研究,成功开发了大规模制备纳米硅晶

的工艺技术并进行了性能评估,最近还研究了纳米硅晶与 II、IV 价铅氧化物的反应性。

纳米硅粉(或纳米硅粒)作为还原剂可以加速烟火药的反应性,曾有研究人员开展过微米硅粒与几种氧化剂如 $[\text{SnO}_2, \text{Fe}_2\text{O}_3, \text{KNO}_3, \text{Sb}_2\text{O}_3, \text{Pb}_3\text{O}_4, \text{PbCrO}_4, \text{Cu}(\text{SbO}_2)_2]$ 配制而成的点火药的研究,但有关纳米硅粒的氧化作用还未见报道。为此,美、英等国近年来对含纳米硅的点火药剂进行了系统研究。此外,美国正在探索将纳米多孔硅含能材料与激光起爆技术相结合,以设计出安全性更好、更智能化的安全与解除保险系统。

1.3.4 纳米铝热剂

纳米铝热剂因性能较高而成为当前研究的热点,在未来弹药系统中的应用是一个非常值得关注的方向。为此,美国采用纯纳米铝热剂与能够产生气体的聚合物,研制出一种纳米铝热剂改性点火药。这种聚合物改性纳米组分的 ESD(静电放电能)值为 125mJ,同时还保持其特有的燃烧特性。如此高的 ESD 值使纳米铝热剂基点火药可以避免任何意外刺激的点火^[23]。

2011 年,法国圣路易研究所对铝/氧化铬($\text{Al}/\text{Cr}_2\text{O}_3$)铝热剂配方进行了研究。试验发现,以纳米 Cr_2O_3 为基配方的摩擦感度明显降低了两个数量级,可以满足安全水平要求较高的应用。

1.4 冲击片雷管药剂技术

基于直列式爆炸序列在保障弹药安全性和发火可靠性方面的巨大优势,其应用越来越广泛。近年来,冲击片雷管(或爆炸箔起爆器)中的药剂技术已成为国外火工品技术发展的一大热点。现阶段,国外研究的冲击片雷管受主药主要有六硝基芪(HNS)和 1,3,5-三氨基 2,4,6-三硝基苯(TATB)。

六硝基芪是一种热稳定性很好的钝感高能炸药。特别是满足高比表面积、高纯度和稳定形貌的超细 HNS,其对短脉冲冲击波更加敏感,在用于冲击片雷管时能够提供稳定的阈值起爆能量。而机械感度、静电感度较低,耐热、抗辐射性能又好,既安全又易于起爆,目前已成为最重要的冲击片雷管药剂。

除 HNS 外,TATB 也是一种很有应用潜力的冲击片雷管受主药,国外已经成功利用小飞片起爆 TATB,目前用于冲击片雷管的 TATB 颗粒的比表面可达每克几十平方米。

2 国外火工药剂安全技术发展趋势

随着引信与火工品高新技术的发展,安全型火工药剂的性能、制造工艺也在不断的改进,主要趋势是向特征感度药剂、超细化和钝感化药剂方向发展。

2.1 注重特征感度药剂研究

随着火工品技术的发展,新型火工品急需与之配套的新型特征感度的火工药剂。为此,国外近年来研制出一系列新型激光敏感药剂、撞击敏感药剂、冲击敏感药剂等,旨在提高火工品在意外刺激下的安全性。

各种火工药剂对不同形式的外界能量表现出很大的选择性,正是火工药剂感度的这种选择性,使得药剂对于外界给予的能量刺激的类型和形式具有“识别功能”,这大大地提高了火工药剂的安全性和火工品的作用可靠性。因此,改善火工药剂的感度指标是提高火工品本质安全性的重要途径之一。

2.2 微纳米化技术是火工药剂安全技术的发展方向之一

纳米含能材料不仅可以储存更多的能量,还可按非传统的方法控制能量释放,因其具有独特的性能和结构而成为突破国防应用技术障碍的重要途径之一。美国密苏里大学采用中等孔隙率的 Fe_2O_3 作氧化剂并用纳米铝颗粒作燃料,研制出一种燃烧性能可变的纳米含能复合物。鉴于纳米铝热剂的放热反应温度高,美国陆军计划用它与可产生气体的聚合物配制出一种纳米铝热剂基改性点火药,该点火药的最大特点是在反应过程中能够产生非常高的温度,静电放电感度低,是发射药较为理想的一种高性能点火药。

2.3 火工药剂钝感化是实现火工药剂安全的重要途径

随着现代战争的发展,火工品在执行任务中所处的环境越来越恶劣,完成航空、航海和深井任务对钝感类火工药剂提出了新需求。为此,国外在原有 RDX 等高能炸药研究基础上改进得到了钝感 RDX(I-RDX)。与此同时,以美国为代表的西方国家研制出了 KDNP、LLM-105、GUDN 等一系列新型钝感起爆药、传爆药等。

火工药剂钝感化技术的快速发展,不仅为各国在火工药剂配方、制造工艺等方面增加了技术储备,而且还促进火工品的更新换代。钝感化火工药剂的应用,大大改善武器系统的本质安全性和战场生存力,进而推动装备的现代化。

3 结束语

我国在新型高安全火工药剂的研究领域已做了大量的研究工作,并取得了一定进展。但与欧美军事强国相比,其研制规模与应用水平仍有一定的差距。在此,建议有关方面加大对新型高安全火工药剂应用的研究力度,围绕关键技术的解决深入开展

基础研究工作,力争在新型高安全火工药剂应用方面取得突破性进展。

参 考 文 献

- [1] 王燕兰,盛涤伦,马凤娥,等. 三唑类配位起爆药密度泛函理论研究[J]. 火工品,2009(3):14-18.
Wang Yanlan, Sheng Dilun, Ma Feng'e, et al. DFT study on primary explosives of coordination compound with triazoles as ligands[J]. Initiators & Pyrotechnics, 2009(3): 14-18.
- [2] Erickson K L. Thin-film optical initiator; US, 6276276B1 [P]. 2001-08-21.
- [3] Dassé G. Percussion-sensitive thermostable pyrotechnic compound; US, 4877466 [P]. 1989-10-31.
- [4] Saxby M E. Primer compositions; WO, 2007119037A1 [P]. 2007-10-25.
- [5] Rauber W, Tobler M. Percussion primer compound and method for its preparation; US, 5492577 [P]. 1996-02-20.
- [6] Ramaswamy C P. High temperature stable, low input energy primer/detonator; US, 5557061 [P]. 1996-09-17.
- [7] Bentley J R. Conducting primer compositions; US, 4968364 [P]. 1990-11-06.
- [8] Röstlund S, Vörde C, Sjöqvist C, et al. Pyrotechnic thermal fuse; WO, 2006126927 [P]. 2006-11-30.
- [9] Marlin F. Pyrotechnic compositions initiatable by heat, and their use; WO, 2008001005A3 [P]. 2008-02-28.
- [10] <http://www.globalsecurity.org/military/systems/munitions/explosives-im.htm>, 2005.
- [11] Fronabarger J W, Williams M D, Sanborn W B, et al. KDNP-A lead free replacement for lead styphnate [J]. Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 2011, 36 (5): 459-470.
- [12] Cudzilo S, Nita M. Synthesis and explosive properties of copper(II) chlorate(VII) coordination polymer with 4-amino-1,2,4-triazole bridging ligand [J]. Journal of Hazardous Materials, 2010, 177 (1-3): 146-149.
- [13] Berger B P, Mathieu J, Folly P, et al. Insensitive reducing agents for high performance pyrotechnic igniter compositions [C]//38th International Annual Conference of ICT. Berghausen, Fraunhofer Institute für Chemische Technologie, 2007: 210-217.
- [14] Hagel R, Redecker K. Lead-and barium-free propellant charges; US, 6997998 [P]. 2005-03-01.
- [15] Quinlin W T, Thorpe R, Lightfoot J M. Thermally stable booster explosive and process for manufacture; US, 7015334 [P]. 2006-11-05.
- [16] Tran T D, Pagoria P F, Hoffman D M, et al. Characterization of 2,6-diamino-3,5-dinitropyrazine-1-oxide (LLM-105) as an insensitive high explosive material [C]//33rd International Annual Conference of ICT. Berghausen, Fraunhofer Institute für Chemische Technologie, 2002: 330-338.
- [17] Sjöberg P. GUDN as an ingredient in insensitive war heads and boosters [C]//37th International Annual Conference of ICT. Berghausen, Fraunhofer Institute für Chemische Technologie, 2006: 227-235.
- [18] Scott W, Barry T. Navy qualification testing of PBXW-14 explosive [R]. NDIA. IM/EM Technology Symposium, 2007.
- [19] Stockinger J, Reed T. Government-contractor teaming to improve the MK 141 diversionary charge delay manufacturing process [C]//Proceedings of the 29th International Pyrotechnics Seminar. USA: IPS, 2002: 817-822.
- [20] Sanders V E, Asay B W, Foley T J, et al. Combustion and reaction propagation on metastable intermolecular composites (MIC) [C]//Proceedings of the 33rd International Pyrotechnics Seminar. USA: IPS, 2006: 113-122.
- [21] Ellis M. Environmental acceptable medium caliber ammunition percussion primers [R]. New Jersey: Armament research, development and engineering center, munitions engineering technology center picatinny arsenal, 2008.
- [22] Zhang Kaili, Rossic C, Petrantonio M, et al. A nano initiator realized by integrating Al/CuO-based nanoenergetic materials with a Au/Pt/Cr microheater [J]. Journal of Microelectromechanical Systems, 2008, 17 (4): 832-836.
- [23] Puszynski J A, Bulian C J, Swiatkiewicz J J. Processing and ignition characteristics of aluminum-bismuth trioxide nanothermite system [J]. Journal of Propulsion and Power, 2007, 23 (4): 698-706.

Latest Achievements and Application Status of Foreign Pyrotechnics Safety Technologies

REN Xiaoxue, BAI Xifeng, PENG Cuizhi, WANG Xin

North Institute for Scientific and Technical Information, China North Industries Group Corporation (Beijing, 100089)

[ABSTRACT] Based on the collection and investigation of the latest foreign information, it introduced the latest achievements and application status of foreign pyrotechnics safety technologies. According to the present development situation, it implies that development in characteristic sensitivity, ultra-fine and insensitive pyrotechnic composition are the future trend of new pyrotechnic compositions.

[KEY WORDS] characteristic sensitivity composition, nano pyrotechnic composition, insensitive explosive