

# 国外新型火工药剂技术发展研究<sup>\*</sup>

任晓雪 彭翠枝

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的技术发展概况,重点阐述了国外绿色起爆药与纳米铝热剂的研究现状,并根据目前的发展状况,预测未来国外新型火工药剂的主要趋势是向绿色化、超细化、钝感化和高能化发展。

[关键词] 火工药剂 起爆药 纳米铝热剂

[分类号] TJ45+7 TD235.2+2

## 引言

火工药剂是各种引燃和引爆火工品的能源装药,是火工品技术的关键,它对火工品的敏感性、输出威力、贮存安定性、勤务处理安全性及作用可靠性等有很大影响。本文通过调研国外近年来用于各类点传火系统、起爆系统中的火工药剂的技术发展概况、研制与应用现状,分析国外火工药剂的发展趋势,为我国火工药剂技术的发展探索科学合理的途径。

### 1 国外新型火工药剂的研制状况

进入 21 世纪以来,无铅、无毒的绿色起爆药研究非常活跃,美国科学家成功制备了 4 个系列的 5-硝基四唑-N<sup>2</sup>-高铁酸盐起爆药及双(3,5-二硝基-1,2,4-三唑-N<sup>1</sup>)铜氨络盐,获得大量具有不同起爆感度和爆炸性能的绿色起爆药新配方;瑞典博福斯公司基于新型氧化剂设计出无铅的绿色起爆药新配方;美、德等国利用纳米技术开发亚稳态分子间复合物(MIC)、纳米多孔硅基起爆药。

随着先进的安全火工品技术的发展,火工药剂品种和配方的不断翻新,装备品种的日益丰富,使火工药剂技术获得了新发展,安全、绿色、高能量、耐热的火工药剂成为当前发展的重点。

#### 1.1 绿色火工药剂的研制与进展

##### 1.1.1 不含铅绿色单质起爆药的研制与开发

当前,世界各国都在进行绿色含能材料研究,叠氮化铅作为传统的起爆药,虽然具有可靠性高、价廉、易于生产、热安定性适中(分解温度为 320 ~ 340℃)等优势,但它同时存在毒性高、遇 CO<sub>2</sub> 后易分解、撞击感度(1 ~ 4J)和摩擦感度(0.1 ~ 1N)高等诸多不足。在过去数十年里,人们一直在探寻叠氮

化铅的理想取代物。

早在 20 世纪 80 年代,美国海军就启动了取代叠氮化铅研究项目。2004 年,美国战略环境研究发展计划(SERDP)中设定 PP1364 项目开展中口径 M—59 针刺雷管用新型起爆药研究,2005 年又追加投资开展合成与评价研究。研究人员从 30 种候选化合物(代号为 1A ~ 30A)中选择了 1,5-二氨基四唑铁盐(28A)、5-硝基四唑铜(II)盐(13A)和反-四氨二叠氮基高氯酸钴(III)盐(2A)3 种新型起爆药及钝化叠氮化银作为替代叠氮化铅的候选起爆药作进一步开发和评价。最终选择了钝化叠氮化银和 1,5-二氨基四唑铁盐(28A)在 M—59 针刺雷管中做进一步评估<sup>[1-2]</sup>。

美国海军水面战中心印第安岬分部与太平洋含能材料研究公司研究人员联合开展取代斯蒂酚酸铅的无铅或新型无毒且环境友好的起爆药研究<sup>[3]</sup>。研究人员通过性能表征,确定了一系列具有一定适用性的目标产品,其中最具代表性的产品为 7-羟基-4,6-二硝基-5-氢-苯并咪唑的钾盐(KDNP)。研究人员针对这种新型含能材料的合成技术、产品形态、化学性能等进行了一系列试验研究,并就安全性、适用性进行了评估。研究得出,KDNP 易于制备、热安定性极佳,而且安全性好,是替代目前各种弹药用斯蒂酚酸铅的理想选择。该材料目前已通过美国海军部鉴定,并已列入 2009 年出版的 SW010—AG—ORD—010 手册之中。

2011 年,美德两国共同研制出了一种可替代叠氮化铅的绿色起爆药——5-硝亚胺基四唑钙盐,并开展了性能表征、起爆及感度测试等试验研究<sup>[4]</sup>。研究发现,5-硝亚胺基四唑钙盐的热安定性好(高达

<sup>\*</sup> 收稿日期:2011-07-29

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

360℃),污染小,不溶于水及其他有机溶剂,合成路径简单,产率高且可放大生产,是最有望替代目前使用的叠氮化铅的一种新型起爆药。

美国劳斯-阿拉莫斯国家实验室的研究人员在 US7592462B2 专利中,介绍了他们发明的一种无铅起爆药及其合成方法<sup>[5]</sup>。该起爆药的分子式为  $[M^{II}(A)_R(B^X)_s](C^Y)_T$ ,其化合物可按照  $[M^{II}(H_2O)_6]D_2 + R(A) + S(BX) + T(C_Y) \rightarrow [M^{II}(A)_R(B^X)_s](C^Y)_T$  反应式制备而成。值得一提的是,在本发明的起爆药合成中,采用了无水乙醇与按化学当量配置的反应物反应而生成定量的单一物质,从而避免了危险的精制步骤。

5,5'-偶氮四唑盐是一种新型不敏感富氮化合物,美国海军水面战中心合成出了带有 5-氨基四唑和 2,4,6-三氨基-s-三唑阳离子的 5,5'-偶氮四唑复盐,并通过一系列试验对其热安定性、感度和爆炸性能等进行了表征<sup>[6]</sup>。研究证实,两种分别含 5-氨基四唑和 2,4,6-三氨基-s-三唑阳离子的 5,5'-偶氮四唑复盐均表现出了较好的热安定性,而且撞击感度、摩擦感度、静电放电感度及起爆反应性也比较低。

### 1.1.2 绿色混合起爆药的研制

近几年来,为了替代有毒的含铅起爆药,以美国为代表的西方国家新开发了一系列新型无铅或无毒起爆药。除此之外,绿色混合起爆药的研究及其进展主要包括:瑞典采用新型含能氧化剂成功研制出不含铅的绿色起爆药;美国发明了一系列不含铅的绿色火工药剂的新配方。

#### 1.1.2.1 新型不含铅的绿色混合起爆药

美国劳斯—阿拉莫斯国家实验室的研究人员于 2011 年研制出了一种新型无铅起爆药<sup>[7]</sup>,该含能化合物分子式为  $(Cat)_2^+[M^{++}(5\text{-nitro-1H-tetrazolato-}N_2)_x(H_2O)_y]$ 。新型配方中的特殊化合物包括硝基四唑钴·三水合物的铵盐  $NH_4[Co^{II}(NT)_3(H_2O)_3]$ 、硝基四唑钴·三水合物的钠盐  $Na[Co^{II}(NT)_3(H_2O)_3]$  等。研究人员将制备出的化合物与已公开发表的有关斯蒂芬酸铅或叠氮化铅的相关值进行比较后认为,上述金属铵盐化合物的密度较小,

但都具有较高的爆速。此外,就撞击感度、火花或摩擦感度而言,上述材料加工时的安全性也更高些。与金属铵盐相比,所制备的钠等碱金属盐具有一定的热安定性。金属钠盐与金属铵盐的火花感度类似,但它的撞击与摩擦感度更高些。

美国专利 US 7981225B1 中介绍了一种无铅起爆药<sup>[8]</sup>,该无铅起爆药内含 60% 三叠氮三聚氰、20% 硝酸钡和 15% 三硫化锑。

瑞典博福斯公司研究人员采用新型含能氧化剂取代铅化合物,同时还研究了某些组分对配方性能的影响<sup>[9]</sup>。新配方研制选用新型氧化剂为二硝酰胺四氨铜  $[(Cu(NH_3)_4(N_3O_4)_2]$ 、二硝酰胺六氨锌  $[Zn(NH_3)_6(N_3O_4)_2]$  和二硝酰胺四氨钯  $[Pd(NH_3)_6(N_3O_4)_2]$  3 种二硝酰胺金属氨合物。这类氧化剂自身能迅速燃烧,当与锆或钛一类的还原剂混合后,燃速便会显著增加。表 1 列出了几种以二硝酰胺四氨铜为氧化剂、以锆为还原剂的起爆药配方及其主要性能。

#### 1.1.2.2 不含铅的绿色击发药

美国 George C. Mei 等人最新发明了两种无铅无毒绿色火工药剂<sup>[10]</sup>:一种是无铅无毒烟火药,一种是含该烟火药的绿色击发药。其中,无铅无毒烟火药内含 30%~80% 的硝酸氧铋、10%~50% 可燃剂;无铅无毒击发药内含 20%~80% 的上述烟火药、20%~50% 的起爆药、2%~10% 的敏化剂。此外,美国国防部和能源部研究人员联合推出了一种新型的无毒击发药,并对其制备工艺和在不同弹药中的配用情况进行了介绍<sup>[11]</sup>。该发明中的击发药制备采用水浆制备工艺,所制备的击发药稳定性好、起爆能力强、起爆可靠性高,而且成本较低、安全性高,可用于工业化生产。

### 1.2 高性能起爆药的研制与进展

在上述取代传统含铅起爆药的研发过程中,具有高能、钝感、安全的高性能起爆药也获得了一定发展,纳米多孔硅基起爆药便是其中的一种。

据 2008 年 2 月出版的《材料科学与工程》报道,南非比勒陀利亚大学通过深入研究,建立了多孔

表 1 瑞典在研几种起爆药配方的燃速、氧平衡和燃烧温度

配 方	氧平衡/%	燃烧温度/K	燃速/(mm·s <sup>-1</sup> )
Cu(NH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> [N(NO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> ] <sub>2</sub> (100%)	9.31	2210	12.9~13.4
Cu(NH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> [N(NO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> ] <sub>2</sub> /Zr(80/20)	0.43	2820	18~19
Cu(NH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> [N(NO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> ] <sub>2</sub> /Zr(60/40)	-8.45	3211	爆炸
Cu(NH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> [N(NO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> ] <sub>2</sub> /Zr(40/60)	-17.32	3393	爆炸

硅的微结构模型,并依据该模型研究了多孔硅腐蚀速率与电流的关系、腐蚀液 HF 浓度与多孔硅孔隙率的关系以及单晶硅片的电阻率与多孔硅孔隙率的关系等,并且提出了计算多孔硅孔隙率和多孔硅比表面积的拟合公式<sup>[12]</sup>。此外,南非研究人员还对新型多孔硅基起爆药的配方组成展开了研究,选择了  $\text{Gd}(\text{NO}_3)_3$ 、S、 $\text{NaClO}_4$  这 3 种氧化剂(含量为 25% ~ 45%)分别与多孔硅(含量为 75% ~ 55%,孔径为 2 ~ 10 nm,比表面大于  $1000\text{m}^2/\text{cm}^3$ )组成炸药配方。研究表明, $\text{Gd}(\text{NO}_3)_3$ 、S、 $\text{NaClO}_4$  3 种氧化剂,其爆炸威力依次升高,敏感度依次降低,而点火延迟时间则依次缩短。该研究结果对氧化剂的选择具有重要的指导意义。

### 1.3 国外纳米火工药剂的研制状况

纳米铝热剂由用作氧化剂的纳米金属氧化物和纳米金属粒子燃料构成。一旦被引燃,这类材料就会发生氧化还原反应,从而释放出大量的热量。由于其燃烧速度与反应速度可控,因而引起广泛关注。

纳米铝热剂在未来弹药系统中的应用是一个非常值得关注的问题。2010 年,美国密苏里大学与美国陆军武器装备研究发展中心共同研制出一种燃烧性能可变的纳米含能复合物<sup>[13]</sup>。在这类复合物中,采用中等孔隙率的  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  作氧化剂,纳米铝粒子作燃料。试验证实这种纳米铝热剂非常适合用作发射药的点火药。

为了确保发射药能够准确点火,需提高点火药的的压力和火焰持续时间,为此,美国陆军提出由纯纳米铝热剂与能够产生气体的聚合物构成的一种纳米铝热剂改性点火药<sup>[14]</sup>。与常规点火药相比,这种点火药的最大特点是在反应期间能够产生非常高的温度。更重要的是,这类聚合物能降低纳米铝热剂点火药的静电放电(ESD)感度。研究人员采用氧化铁/铝/聚合物点火药对 JA2 发射药成功进行了模拟点火试验。

2010 年,美国专利 US 7670446B2 介绍了一种亚稳态纳米含能复合物(MNCs)的制备及其在底火中的湿式装填方法<sup>[15]</sup>。该方法是将纳米级反应物在惰性液体中进行分散,或加入纳米级表面活性改良剂,以改善反应物遇水呈惰性的特性,混合之前在水或水溶液中加入固体反应粒子添加剂。反应物经混合之后,需保持含能材料中的水分,以提高击发药在底火中的预装填及最后干燥时的安全性。

法国德法研究院、ISL 实验室等多家单位联合,用红磷作纳米氧化铜含能配方中的还原剂,采用不同金属氧化物进行试验研究,并首次报道了该项研

究成果<sup>[16]</sup>。通过试验研究充分证明,在没有氧的情况下,会发生含能反应。但在起爆与扩大反应过程中,氧起着很重要的作用。此外,磷—纳米铝热剂(P-NT)粉压缩后会产生具有较好凝聚力的片状物,燃速随磷含量的增加呈线性增长。在实际应用中,由于 CuO 为基的 P-NT 混合物所具有的特殊性能,这类混合物可以大量用于燃烧弹中。

在纳米铝热剂的研究中,氧化性、燃料粒度是重要的研究参数。为此,法国圣-路易研究所研究人员研究了铝/氧化铬( $\text{Al}/\text{Cr}_2\text{O}_3$ )铝热剂配方中的氧化物粒度对铝热剂热性能的影响<sup>[17]</sup>。通过研究,法国圣路易研究所首次证实了  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  基铝热剂的反应性与  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  粒度有很大关系。与目前已报道的含能材料相比,铝热剂中的纳米级  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (10 ~ 15 nm)的点火延迟时间大大缩短,燃速( $340 \pm 10\text{mm/s}$ )明显提高;纳米级  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  基铝热剂的撞击感度和摩擦感度较低,因此适用于安全要求较高的应用领域。此外,该铝热剂易被静电放电( $< 0.5\text{mJ}$ )引爆,但可通过金属降感处理,利用这一特性可用来研制对火花特别敏感的起爆药。

## 2 国外火工药剂技术发展趋势

随着军事技术的发展与进步,以及高新武器的需求,国外近年来在现有火工药剂的研制基础上,改进并开发了一系列新型火工药剂<sup>[18-19]</sup>。为满足目前对高性能、钝感弹药武器及环境友好的要求,未来火工药剂将会向绿色、高能不敏感及纳米化方向发展。

### 2.1 发展绿色火工药剂

高氯酸盐是一种可能的致畸剂并且对甲状腺功能有不利影响;铅对环境有危害作用,影响人类健康。在美国,单是陆军每年就要消耗掉 1000 多磅(454 kg)含铅起爆药,其中铅的量高达 710 磅(322.3 kg)。鉴于铅的严重污染和健康威胁,1993 年美国总统克林顿签署了第 12866 号总统令,要求减少或消除有害物质或化学品的排放量。近期,美国科学家还制定了绿色起爆药的 6 个标准,即:吸湿性小和对光不敏感;对引发刺激敏感,但是对处理和运输不太敏感;至少在  $200^\circ\text{C}$  以下时是稳定的;压延期间化学稳定性好;不含铅、汞、银、钡、铈等有毒金属元素;不含高氯酸盐<sup>[20-21]</sup>。

近几年来,美国启动了绿色起爆药的多个研究项目,如:美国海军取代叠氮化铅研究项目、美国战略环境研究与发展计划(SERDP)正在实施的“中口径弹药用无铅电底火”、“中口径弹药触发雷管用新型起爆药研究”(PP1364 项目)、美国陆军研究开发



和工程司令部的新型不含重金属起爆药项目等,目的都是以环境更友好的无毒起爆药来取代含铅起爆药。

此外,备受人们关注的富氮化合物是一类不含铅,且具有广泛应用前景的新型起爆药。目前,在该领域内发展了众多的起爆药品种,其中有的起爆性能优于叠氮化铅,形成逐步取代叠氮化铅起爆药的趋势,有的火焰感度优于斯蒂酚酸铅,有些品种甚至可以代表着起爆药向高能、钝感、绿色的方向发展。

## 2.2 注重高能不敏感火工药剂的研究

随着现代火工品的研究与发展,要求与之相应的火工药剂具有比较高的起爆能力。起爆药的起爆能力越强,炸药达到稳定爆轰所需爆速增长期越短,消耗在增长爆速的药量越少,炸药的爆炸效能就发挥得越好。可见,提高起爆力的同时不断优化综合性能是起爆药发展的最本质要求。与此同时,起爆药的基本发展思路之一,是在保持原有的输出能量前提下向钝感化方向发展,以提高系统的安全性。

## 2.3 发展超细粒度的纳米火工药剂

目前,纳米含能材料业已成为研究新型含能材料的一种重要的手段,它可以通过各种途径提高性能<sup>[22]</sup>。近年来,以纳米铝与金属氧化物混合制得的一类超级铝热剂(suprathermites)时常见诸文献报道<sup>[23-24]</sup>,这类铝热剂具有十分优异的综合性能,法国法德圣路易研究所用红磷代替纳米铝作还原剂开发新一代烟火药——红磷基纳米铝热剂。在今后的研究计划中,研究人员将通过量热实验测量 CuO/P 基铝热剂燃烧所放出的能量,以便确定最佳配方。

除此之外,继德国 Mikulec 等人于 2002 年制备了  $Gd(NO_3)_3$  填充的多孔硅为基的复合炸药之后,世界范围内便纷纷开展了硅和纳米多孔硅的研究。

从以上研究动态中可以断定,为满足未来武器弹药对性能的要求,就必须发展超细粒度的纳米火工药剂。

## 3 结束语

火工品性能的提高关键是火工药剂性能的提高。没有雷汞,就没有雷管、火帽的形成;没有高能量密度材料(如:纳米结构和工程材料、络合物类起爆药等),就不能获得亚稳态分子间复合物,也就不会有高能钝感、耐高温性好的起爆药和抗环境过载性能强的新型火工品,以及无铅无污染击发药。火工药剂的创新直接影响着先进武器装备的先进性。了解与分析国外火工药剂技术的发展现状与未来发展趋势,借鉴国外先进技术与成熟经验,避免或少走弯路,对我国相关技术的研究与发展具有十分重要

的现实意义。

## 参 考 文 献

- [1] Bichay M., Hirlinger J., Fronabarger J., et al. Lead Azide Replacement Program [C]. NDIA Fuze Conference, 2005.
- [2] Bichay M., Hirlinger J. New Primary Explosives Development for Medium Caliber Stab Detonators [R]. USA: Strategic Environmental Research and Development Program, 2004: 1364.
- [3] Fronabarger J. W., Williams M. D., Sanborn W. B., et al. KDNF - A Lead Free Replacement for Lead Styphnate [J]. Propell. Explos. Pyrot., 2011, 36(5): 459-470.
- [4] Fischer N., Klapötke T. M., Stierstorfer J. Calcium 5-Nitriminotetrazolate——A Green Replacement for Lead Azide in Priming Charges [J]. J. Energ. Mater., 2011, 29(1): 61-74.
- [5] Huynh M. H. V. Explosive Complexes; US, 7592462B2 [P]. 2009-09-22.
- [6] Warner K. F., Granhdn R. H. Synthesis of Insensitive 5,5'-Azotetrazolate Salts [J]. J. Energ. Mater., 2011, 29(1): 1-6.
- [7] Hiskey M. A., Huynh M. H. V. Primary Explosives; US, 7875725B2 [P]. 2011-01-25.
- [8] Mehta N., Cheng G., Cordaro E. A., et al. Lead Free Detonator and Composition; US, 7981225B1 [P]. 2011-07-19.
- [9] Röstlund S., Vörde C. Lead Free Pyrotechnic Initiating Composition Based on Energetic Oxidizers [C]. 38th International Annual Conference of ICT, 2007: v33.
- [10] Mei G. C., Pickett J. W. Lead-Free Nontoxic Explosive Mix; US, 6878221B1 [P]. 2005-04-12.
- [11] Erickson J., Sandstrom J. L., Johnston G., et al. Nontoxic Percussion Primers and Methods of Preparing the Same; US, 2011/0000390A1 [P]. 2011-01-06.
- [12] du Plessis M. Nanoporous Silicon Explosive Devices [J]. Mater. Sci. Eng. B., 2008, 147(2-3): 226-229.
- [13] Bezmelnitsyn A., Thiruvengadathan R., Barizuddin S., et al. Modified Nanoenergetic Composites with Tunable Combustion Characteristics for Propellant Applications [J]. Propell. Explos. Pyrot., 2010, 35(4): 384-394.
- [14] Puszynski J. A., Bulian C. J., Swiatkiewicz J. J. Processing and Ignition Characteristics of Aluminum-Bismuth Trioxide Nanothermite System [J]. J. Propul. Power, 2007, 23(4): 698-706.
- [15] Puszynski J. A., Bichay M. M., Swiatkiewicz J. J. Wet Processing and Loading of Percussion Primers Based on Metastable Nanoenergetic Composites; US, 7670446B2 [P]. 2010-03-02.

- 2003;347-382.
- [7] 刘自镛,蒋荣光. 工业火工品[M]. 北京:兵器工业出版社,2003: 339-340.
- [8] 张敏. 煤矿许用导爆索工艺技术的研究[J]. 爆破器材,2011,40(1):35-37.
- [9] 梁纯,孙新波,王海东. 导爆索爆速的测定及影响因素分析[J]. 测井技术,2006(1):31-32.
- [10] 龚康平. 编织型导爆索研究[J]. 爆破器材,2009,38(1):11-13.

## Application of Process Quality Control in Detonating Cord Production

YU Guoxin, WANG Juan

Hebei Weixing Industrial Explosive Materials Co., Ltd. (Hebei Xinle, 050700)

[ABSTRACT] This paper studies the process quality control of detonating cord explosive weight and detonation velocity. Through the calculation of process capability, the appropriate control limits of the detonating explosive weight and detonation velocity are pointed out. The parameter adjustment methods with explosive weight and explosive speed in the detonating cord production are also analyzed in this paper. When these methods applied to production, it not only guarantees the detonating cord quality, but also saves raw material, with the explosive weight adjusted from  $(12.0 \pm 0.5) \text{ g/m}$  to  $(11.5 \pm 0.5) \text{ g/m}$ .

[KEY WORDS] detonating cord, quality, process capability, explosive weight, detonation velocity

(上接第 23 页)

- [16] Comet M., Siegert B., Schnell F., et al. Phosphorus-Based Nanothermites: A New Generation of Pyrotechnics Illustrated by the Example of n-CuO/Red P Mixtures [J]. Propell. Explos. Pyrot., 2010,35(3):220-225.
- [17] Gibot P., Comet M., Eichhorn A., et al. Highly Insensitive/Reactive Thermite Prepared from  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  Nanoparticles[J]. Propell. Explos. Pyrot., 2011,36(1):80-87.
- [18] Fronabarger J. W., Williams M. D., Sanborn W. B., et al. DBX-1—A Lead Free Replacement for Lead Azide [J]. Propell. Explos. Pyrot., 2011,36(6):541-550.
- [19] Fischer D., Klapötke T. M., Piercey D. G., et al. Copper Salts of Halo Tetrazoles: Laser-Ignitable Primary Explosives [J]. J. Energ. Mater., 2012,30(1):40-54.
- [20] Huynh M. H. V., Hiskey M. A., Meyer T. J., et al. Green Primaries: Environmentally Friendly Energetic Complexes[J]. PNAS,2006,103(14):5409-5412.
- [21] Huynh, M. H. V., Coburn M. D., Meyer T. J., et al. Green Primary Explosives: 5-Nitrotetrazolato- $\text{N}^2$ -Ferrate Hierarchies[J]. PNAS,2006,103(27):10322-10327.
- [22] Subramanian S., Tiegs T., Limaye S., et al. Nanoporous Silicon Based Energetic Materials[R]. US: Vesta Sciences Monmouth Junction Nj, 2008.
- [23] Piercey D. G., Klapötke T. M. Nanoscale Aluminum-Metal Oxide (Thermite) Reactions for Application in Energetic Materials[J]. Cent. Enr. J. Energ. Mater., 2010,7(2):115-129.
- [24] du Plessis M. Nanoporous Silicon Explosive Devices[J]. Mater. Sci. Eng. B,2008,147:226-229.

## Analysis on the Development of Foreign Pyrotechnic Composition Technology

Ren Xiaoxue, Peng Cuizhi

North Institute for Scientific and Technical Information (Beijing, 100089)

[ABSTRACT] Based on the collection and investigation of the latest foreign information, this paper provides an overview of the development of foreign pyrotechnic composition, with the latest achievements and application status of foreign pyrotechnics technologies emphasized especially. And accordingly it forecasts that the future developmental trend of pyrotechnic composition is developing the green, insensitive, ultra fine and high performance pyrotechnic composition.

[KEY WORDS] pyrotechnic composition, primary explosive, nanothermites