

文章编号: 1006-9941(2007)02-0188-05

## 硝胺类炸药颗粒表面包覆的研究进展

安崇伟, 宋小兰, 王毅, 郭效德, 李凤生

(南京理工大学国家特种超细粉体工程技术研究中心, 江苏 南京 210094)

**摘要:** 以包覆材料为主线, 对国内外硝胺类炸药(RDX、HMX 和 CL-20 等)的表面包覆研究进行了综述。对多种包覆材料、包覆方法以及包覆机理进行了归纳总结, 阐述了表面包覆对硝胺类炸药的分散性、机械感度以及对推进剂和发射药力学性能和燃烧性能的影响。并指出了今后研究工作中应注意的一些问题和研究重点。

**关键词:** 材料科学; 硝胺类炸药; 包覆材料; 包覆方法; 包覆机理

**中图分类号:** TQ564.2; TJ55

**文献标识码:** A

### 1 引言

硝胺类炸药(RDX、HMX 和 CL-20 等)具有能量高、性能稳定和制造方便等优点, 已经在各主装药、火工药剂和固体火箭推进剂中得到了广泛应用。为了满足现代武器对能量的要求, 硝胺类炸药在各类武器装药中所占的比例在逐步增加。目前研究的改性双基推进剂中硝胺类炸药的含量已提高到 55%, 有些配方甚至高达 60% 以上; 而复合推进剂(NEPE)中的硝胺的含量高达 70%~80%<sup>[1]</sup>。硝胺炸药含量过大, 在满足能量要求的同时, 也会带来很多问题, 如推进剂的力学性能降低、机械感度升高和燃速降低等。混合炸药的流散性、成型性及安全性降低<sup>[2]</sup>。国内外很多学者研究<sup>[3-5]</sup>表明, 对硝胺类炸药进行适当的表面改性或包覆是提高其综合性能的一种重要方法。本文侧重介绍了近几年硝胺类炸药颗粒表面包覆的一些包覆材料和相应的包覆方法, 并对包覆后达到的效果进行了述评。

### 2 硝胺类炸药的包覆材料和包覆方法

#### 2.1 表面活性剂

目前, 随着超细化技术的发展, 超细 RDX、HMX 已经得到广泛应用, 但在使用过程中通常存在着分散性差这一问题, 为了解决此类问题, 南京理工大学国家特种超细粉体中心<sup>[6]</sup>做了大量研究, 他们发现表面活性剂的种类和用量对表面改性的效果有很大影响, 并

通过优化设计得到了分散性良好的超细 RDX。其主要方法是把 RDX 超细粉放入无离子水中混合成浆状液, 加入表面活性剂, 在超声波分散下形成稳定体系, 然后脱水, 干燥, 继而得到分散良好的超细 RDX。此种方法工艺简单, 是目前对超细 RDX 表面处理的一种主要方法。

表面活性剂对硝胺类炸药的作用机理可能是通过氢键、色散等作用对炸药表面进行改性, 合适的表面活性剂能极大地降低水的表面张力, 使炸药与水的亲和性增大, 改善了润湿性。同时, 使 Hamaker 常数减小, 降低了粒子之间的吸引能, 形成了有效的空间位阻, 使粒子之间的排斥能上升, 故大大提高了粒子之间的分散性。

#### 2.2 钝感剂包覆硝胺炸药

RDX、HMX 的机械感度比较高, 给炸药的应用、贮存和运输都带来了很大的安全隐患。为了降低危险性, 可用钝感剂对 RDX 颗粒进行包覆, 常用的钝感剂有硬脂酸、石蜡和石墨等。

王晓丽<sup>[7]</sup>等用物理气相沉积(PVD)技术在 RDX 表面上包覆了一层硬脂酸薄膜, 并对包覆后的 RDX 进行了撞击感度和摩擦感度测试, 结果表明, 随着硬脂酸含量的增加, 其机械感度也相应降低。并指出蒸镀前硬脂酸的含量为 9% 时, 能明显降低机械感度。张树海<sup>[8]</sup>等则运用超临界溶液快速膨胀(RESS)技术对硝胺炸药颗粒进行了包覆, 包覆剂选用的是硬脂酸, 结果同样表明包覆后的撞击感度明显降低。RESS 工艺是一种安全性较高的绿色环保工艺, 不需要水和有机溶剂, 但是该方法还处于初始研究阶段, 包覆工艺还不成熟。Kazuo Nakajima<sup>[9]</sup>指出薄膜的形成模式有三种: 岛状生长模式、层状生长模式和中间生长模式。硬脂酸和石蜡为低熔点固体, 热塑性较好, 硬度较小, 易于变形, 与硝胺类炸药有很好的相容性, 其分子能与硝胺

收稿日期: 2006-05-22; 修回日期: 2006-07-25

基金项目: 总装预研项目(41328030507)

作者简介: 安崇伟(1980-), 男, 在读博士生, 研究方向为含能材料的细化和表面包覆研究。e-mail: acw98081b1@163.com

通讯联系人: 李凤生, 男, 博导, 现任国家特种超细粉体工程技术研究中心主任。

炸药分子键合,在炸药晶体表面能按照层状生长模式形成一层薄膜。

Manning<sup>[10]</sup>等对用在推进剂中的硝胺炸药进行了石墨包覆研究,所用硝胺炸药颗粒平均粒径为2~8 μm,石墨的用量不超过硝胺重量的2%。其方法是把硝胺炸药颗粒放入混有石墨的一种易挥发溶剂中,然后蒸发掉溶剂,完成包覆,并对撞击感度等进行检测。结果表明,包覆后的硝胺炸药比未包覆的撞击感度降低了40%;而按照同一配方制作的推进剂,其撞击感度的特性落高由包覆前的54.2 cm上升到116.5 cm。

由此可见,用钝感剂包覆能较好地降低炸药的机械感度,但是目前所用的钝感剂大都是惰性的,过量使用会损耗炸药的输出能量,因此如何使炸药的安全性和能量输出之间达到一种最好的平衡是研究过程中不可忽视的问题。

### 2.3 高分子聚合物包覆

高分子材料具有良好的机械性能,生产、成型和加工工艺也比较简单,已经广泛应用到固体推进剂和高分子混合炸药中。高分子材料用于包覆硝胺类炸药的种类很多,为了叙述方便,本文挑选了几种常用的有代表性的高聚物种类,对其包覆方法工艺及包覆效果进行了介绍。

#### 2.3.1 硝化棉

硝化棉(NC)是在发射药、混合炸药和双基推进剂中应用最广泛得一种高分子材料。自1929年Olsen<sup>[11]</sup>提出硝化棉球形药制造原理以来,各国研究者先后就其制造方法、工艺参数及其球形药等性能进行了大量研究。NC包覆RDX的方法主要有内溶法和悬浮法两种。单文刚<sup>[11]</sup>等采用悬浮法制备了硝化棉包覆催化剂的球形药,并研究了工艺过程中的一些参数对球形药性能的影响。刘小刚<sup>[12]</sup>等用一种表面活性剂对RDX进行了预处理,然后采用内溶法制备了稳定的NC-RDX包覆球,并对用NC-RDX包覆球制作的交联改性双基推进剂(XLDB)进行了力学性能的研究,结果表明采用NC-RDX包覆球的XLDB推进剂高低温抗拉强度和延伸率均有较大幅度的提高,特别是低温延伸率,比单独采用RDX的XLDB推进剂提高了将近2倍。

#### 2.3.2 聚酯类粘剂

聚氨酯、聚丙烯酸酯等具有良好的物理机械性能,优异的耐寒性、弹性、高光泽、软硬度随温度变化不太大、耐有机溶剂等优点,在混合炸药和推进剂等领域得到了广泛应用<sup>[13]</sup>。聚酯类包覆硝胺炸药的方法很多,可根据包覆材料和炸药的具体性质选择合适的包覆方法。

Smith<sup>[14]</sup>等人运用溶液悬浮法用聚丙烯酸酯对RDX和HMX进行了包覆,制造出了可压缩的钝感塑性炸药。刘云飞<sup>[15]</sup>等采用乳液聚合法制备了聚丙烯酸乙酯乳液,然后用加入明矾破乳法对HMX进行了包覆,包覆后的HMX热分解温度基本不变,感度有所下降。陆铭<sup>[16-19]</sup>等分别以水性聚氨酯乳液和聚氨酯/丙烯酸酯核/壳乳液包覆了RDX,通过外壳溶出实验,包覆层的质量分数为1.48%,而撞击感度的特性落高值较包覆前提高了约50%;此外,他们还研究了在相同的水性聚氨酯乳液(WPU)包覆量下,破乳法和乳液聚合法包覆RDX对其撞击感度的影响,研究结果表明破乳法包覆的RDX的撞击感度明显高于乳液聚合法包覆得到的RDX。

#### 2.3.3 叠氮聚合物

Murray<sup>[20]</sup>的研究指出,叠氮聚合物对机械刺激的感度较低,热性能也比较稳定。目前,叠氮聚合物的种类主要有:聚叠氮缩水甘油醚(GAP)、3,3-二叠氮甲基氧丁环的聚合物(BAMO)和3-叠氮甲基-3-甲基氧丁环(AMMO)等。GAP具有正的生成热(154.6 kJ·mol<sup>-1</sup>),密度(1.3 g·cm<sup>-3</sup>)比丁羟胶(HTPB)高40%以上,能和硝胺类炸药相容。Chan<sup>[21]</sup>等以GAP为粘结剂、以含能的物质三羟甲基乙烷三硝酸酯(TMETN)和二缩三乙醇二硝基酯(TEGDN)的混合物或以2,2-二硝基丙基缩甲醛/乙醛(BDNPF/A)为增塑剂对RDX和HMX进行了包覆,制成了一种高能钝感、机械性能良好和优异的防老化性能的混合炸药。Simpson R L<sup>[22]</sup>等用GAP包覆了CL-20,包覆后的炸药撞击感度、摩擦感度和静火花感度等都大有改善,与LX-14炸药相当。

#### 2.3.4 键合剂聚合物

键合剂是作为改善固体推进剂力学性能和工艺性能的添加剂。在A E oberth<sup>[4]</sup>提出键合剂作用理论后,国内外对键合剂的种类和作用机理等方面都进行了大量的研究。目前,硝胺类推进剂的“脱湿”现象十分严重,一般的键合剂如醇胺、多元胺、海因等极性小分子在NEPE和CDMB推进剂的应用效果不是很明显。为了解决此类问题,一般选用的键合剂主要有以下几种:(1)中性聚合物(NABA),该类键合剂最早是由Kim<sup>[23]</sup>等提出,它的出现为解决硝胺推进剂“脱湿”问题指出了方向,王北海<sup>[24]</sup>研究了NEPE推进剂用NABA键合剂的分子设计和合成,吴文辉<sup>[25]</sup>等的研究表明,NABA能在硝胺颗粒周围形成一层高模量的中间相,有效的解决了“脱湿”问题,提高了推进剂的拉伸性能。(2)树形分子键合剂(DBA),这是国内研究

人员最近研发的一种新型键合剂,潘碧峰<sup>[26]</sup>等用此类键合剂对 RDX 进行了包覆,指出树形键合剂(DBA)在 RDX 晶体表面形成了一层粘流状的吸附层,发现键合剂和 RDX 的 NO<sub>2</sub> 基团形成了氢键,证明了 DBA 作为 RDX 键合剂的有效性。(3) 酰胺类聚合物键合剂,此类键合剂设计原理类似于 NABA 键合剂,姚维尚<sup>[27]</sup>等研究了此类键合剂和硝胺的相互作用;雷英杰<sup>[28]</sup>研究了三种新型聚醚环酰胺类键合剂对硝胺发射药力学性能的影响,结果表明该键合剂不但能改善硝胺发射药的力学性能,而且与发射药的相容性较好。

这些键合剂的包覆工艺比较简单,首先将键合剂溶入一定量的水中,然后加入硝胺炸药,搅拌一段时间脱水干燥即可。

### 2.3.5 聚脲类

国内外有关聚脲类包覆材料的报道不是很多,起初的一些包覆材料由于胺和异氰酸酯反应后会残留一些碱性杂质,因此只能用在 PEG/PEFO 推进剂系统中改善其力学性能。但由于 CMDB 推进剂不能中和其碱性,因此这些物质不能用于 CMDB 推进剂中。为了解决这类问题,Oberth<sup>[29]</sup>等发明了一种独特的改进型聚脲类配方,与以往不同的是该包覆材料为中性。其包覆方法如下:将待包覆的硝胺炸药粉状在惰性非溶剂烃类介质(如己烷或庚烷)中制成浆状流体悬浮液,然后在剧烈搅拌下往这种悬浮液中缓慢加入溶解在非水溶剂(如甲苯、丙酮、二氯甲烷)中的胺(最好是二乙撑三胺)溶液,胺溶液添加完后,再缓慢加入 3-硝基氮杂戊烷二异氰酸酯,之后过滤淤浆,干燥包覆好的固体颗粒。将这种材料包覆的 HMX 用到推进剂中,可改善其力学性能。

### 2.3.6 橡胶类

金韶华<sup>[30,31]</sup>等采用挤出造粒法、溶液悬浮法和水悬浮法三种不同的工艺,选用氟橡胶、丁腈橡胶为包覆材料,对  $\epsilon$ -HNIW 进行了包覆,并对包覆样品进行了扫描电镜分析和机械撞击感度测试,考察了其钝感效果及包覆工艺对样品机械撞击感度的影响。通过比较,溶液悬浮法、水悬浮法工艺制备的样品机械撞击感度要比挤出造粒法的低。

高分子材料包覆硝胺类炸药机理方面的研究目前还不深入,还没有形成一个成熟的理论体系。不同的高分子材料与硝胺类炸药分子的作用机理肯定不同。一般认为二者之间既存在物理作用(分子间的范德华力),又存在化学作用(分子间的化学键结合)。大量的研究结果都已经证明当包覆剂和包覆物质之间能形

成化学键时,其包覆效果会更佳。因此在选择和设计高分子包覆剂时,应尽可能使高分子上带有能与硝胺分子键合的基团,提高包覆效果。

## 2.4 复合包覆法

在实际应用中,为了使硝胺炸药具有某一特定性能,往往用一种包覆材料包覆不能满足其要求,这就需要两种或多种物质复合包覆。如蔚红建<sup>[32]</sup>等为了改善推进剂的力学性能,用高分子材料包覆 RDX 与键合剂匹配技术有效地解决了推进剂的脱湿问题,提高了其力学性能;黄亨建<sup>[33]</sup>等在石油醚溶液中用石蜡包覆了 RDX,包覆颗粒烘干过筛以后再用一种高聚物包覆,得到了钝感的 RDX;陈鲁英<sup>[34]</sup>等以高聚物粘结剂 Estane 和石墨 G 组成的“Estane-G”复合钝感剂为包覆材料,采用溶液水悬浮法对 CL-20 进行了包覆,明显降低了炸药的机械感度。

## 3 讨论与展望

综上所述,国内外学者对硝胺炸药颗粒表面包覆进行了大量研究,并取得了很好的应用效果,但是武器的发展对炸药的性能提出了更高要求,硝胺炸药颗粒表面包覆研究还任重道远。在今后的研究工作中,笔者认为应侧重以下几个方面:(1) 选择和设计新型的包覆材料以及选择合适的包覆方法。包覆材料的性质和包覆方法的优劣都直接影响着最终产品的性能,因此如何选择和设计包覆材料以及根据包覆材料的物理化学性质,选用较为合适的包覆方法,使其具有理想的应用性能,是今后应着重研究的问题。(2) 包覆机理的深入研究。硝胺类炸药包覆研究工作涉及到包覆的界面化学理论、高分子包覆材料的分子设计和粒子填充的弹性体界面“脱湿”理论等,目前各种理论知识都还没有形成一种稳定的理论体系,对包覆机理的进一步探讨是以后研究工作中不可忽视的问题。(3) 工业化生产。目前大多数包覆研究方法仅仅局限于实验室阶段,不能进行批量生产,远远不能满足国防需求,因此如何将其连续化、工业化也是今后研究工作所急需解决的问题。

### 参考文献:

- [1] 张晓宏,赵风起,谭惠民,等. 用键合剂改善硝胺 CMDB 推进剂的力学性能[J]. 火炸药学报, 2005, 28(2): 1-5.  
ZHANG Xiao-hong, ZHAO Feng-qi, TAN Hui-min, et al. Improving mechanical property of CMDB propellant containing nitramine with bonding agent[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellant*, 2005, 28(2): 1-5.
- [2] 任务正,王泽山. 火炸药理论与实践[M]. 北京: 中国北方化学

- 工业总公司, 2001.
- [3] Kincaid J F, Reed R. Bonding agent for HMX [P]. USP4350542, 1982.
- [4] Oberth A E, Bruenner R S. Binder filler interaction and propellant mechanical properties [J]. *Transaction of Society of Theology*, 1965, 9: 165.
- [5] Somoza. Process for reducing sensitivity in explosives [P]. USP5279492, 1994.
- [6] 李凤生, 杨毅. 纳米/微米复合技术及应用 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2002.
- [7] 王晓丽, 焦清介, 李国新, 等. 钝化黑索今薄膜及其感度的研究 [J]. *火工品*, 2003, (3): 23-26.  
WANG Xiao-li, JIAO Qing-jie, LI Guo-xin, et al. Study on desensitizing RDX film and its sensitivity [J]. *Initiators & Pyrotechnics*, 2003, (3): 23-26.
- [8] 张树海, 苟瑞君, 张景林, 等. 硝胺炸药的超临界溶液快速膨胀包覆技术研究 [J]. *火工品*, 2004, (2): 20-26.  
ZHANG Shu-hai, GOU Rui-jun, ZHANG Jing-lin, et al. Study on the RESS coating technology of nitromine explosives [J]. *Initiators & Pyrotechnics*, 2004, (2): 20-26.
- [9] Kazuo Nakajima. Thickness-composition diagrams of Stranski-Krastanov mode in the GaPSb/GaP and InGaAs/GaAs systems [J]. *Journal of Crystal Growth*, 1999, 203: 376-386.
- [10] Manning. Reduction of energetic filler sensitivity in propellants through coating [P]. USP6524706, 2003.
- [11] 单文刚, 孙铁刚, 张国东, 等. 硝化棉包覆催化剂球形药的制备工艺研究 [J]. *含能材料*, 1996, 4(2): 75-78.  
SHAN Wen-gang, SUN Tie-gang, ZHANG Guo-dong, et al. Preparation of nitrocellulose ball propellant containing combustion catalyst [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 1996, 4(2): 75-78.
- [12] 刘小刚, 王克强, 邵重斌, 等. 硝化棉包覆黑索今的新方法 [J]. *含能材料*, 2003, 11(3): 153-154.  
LIU Xiao-gang, WANG Ke-qiang, SHAO Chong-bin, et al. A new method of RDX coated with nitrocellulose [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2003, 11(3): 153-154.
- [13] 孙国祥. 高分子混合炸药 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1985.
- [14] Smith, Kjell-Tore. Pressable plastic-bound explosive composition [P]. USP20050072503, 2005.
- [15] 刘云飞, 杨荣杰, 谭惠民, 等. 聚丙烯酸乙酯包覆奥克托金 (HMX) 的研究 [J]. *北京理工大学学报*, 1998, 18(3): 370-374.  
LIU Yun-fei, YANG Rong-jie, TAN Hui-min, et al. Study on HMX coating with polyethyl acrylate [J]. *Journal of Beijing Institute of Technology*, 1998, 18(3): 370-374.
- [16] 陆铭, 陈煜, 孙杰, 等. 水性聚氨酯乳液的制备及其在含硝胺推进剂中的应用 [J]. *精细化工*, 2004, 21(11): 876-880.  
LU Ming, CHEN Yu, SUN Jie, et al. Preparation of waterborne polyurethane latex and its application in nitramine energetic propellants [J]. *Fine Chemicals*, 2004, 21(11): 876-880.
- [17] 陆铭, 孙杰, 陈煜, 等. 聚氨酯-丙烯酸酯核-壳乳液的制备及其包覆的 RDX [J]. *火炸药学报*, 2004, 27(3): 17-20.  
LU Ming, SUN Jie, CHEN Yu, et al. Preparation of polyurethane-acrylate core-shell latex and its coating of RDX [J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellant*, 2004, 27(3): 17-20.
- [18] 陆铭, 陈煜, 罗运军, 等. 水性聚氨酯乳液的制备及其包覆 RDX 的研究 [J]. *推进技术*, 2005, 26(1): 89-92.  
LU Ming, CHEN Yu, LUO Yun-jun, et al. Preparation of waterborne polyurethane latex and study on its cladding of RDX [J]. *Journal of Propulsion Technology*, 2005, 26(1): 89-92.
- [19] 陆铭, 孙杰, 陈煜, 等. 包覆方法对 PBX-RDX 撞击感度的影响 [J]. *含能材料*, 2004, 12(6): 333-337.  
LU Ming, SUN Jie, CHEN Yu, et al. Effects of coating methods on PBX-RDX impact sensitivity [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2004, 12(6): 333-337.
- [20] Murray J S, Politzer P. Structure-sensitivity relationship in energetic compounds [A]. The 21st ICT International Annual Conference [C], 1990.
- [21] Chan. Energetic binder explosive [P]. USP5316600, 1994.
- [22] Simpson R L, Urtiew P A, Ornellas D L, et al. CL-20 performance exceeds that of HMX and its sensitivity is moderate [J]. *Prop Expos Pyrotech*, 1997, 22: 249.
- [23] Kim C S. Filler reinforcement of polyurethane binder using a neutral polymeric bonding agent [P]. USP4915755, 1990.
- [24] 王北海. NEPE 推进剂用中性聚合物键合剂的分子设计 [J]. *推进技术*, 1994, 3: 47-53.  
WANG Bei-hai. Molecular design of neutral polymeric bonding agent for NEPE propellants [J]. *Journal of Solid Rocket Technology*, 1994, 3: 47-53.
- [25] 吴文辉, 黎玉钦, 罗明树, 等. 中性聚合物键合剂对硝胺推进剂相界面的作用 [J]. *推进技术*, 2001, 22(4): 337-340.  
WU Wen-hui, LI Yu-qin, LUO Ming-shu, et al. Interfacial, reinforcement of neutral polymeric bonding agent (NAPA) in nitramine propellants [J]. *Journal of Propulsion Technology*, 2001, 22(4): 337-340.
- [26] 潘碧峰, 张磊, 罗运军, 等. 树形键合剂包覆 RDX 及其相互作用研究 [J]. *推进技术*, 2003, 24(5): 470-473.  
PAN Bi-feng, ZHANG Lei, LUO Yun-jun, et al. Study on interaction between RDX and dendritic bonding agent [J]. *Journal of Propulsion Technology*, 2003, 24(5): 470-473.
- [27] 姚维尚, 吴文辉, 戴键吾, 等. 硝胺推进剂界面键合的表征研究 [J]. *推进技术*, 1995, 16(3): 57-62.  
YAO Wei-shang, WU Wen-hui, DAI Jian-wu, et al. The characterization of interfacial bonding in nitramine-filled propellants [J]. *Journal of Propulsion Technology*, 1995, 16(3): 57-62.
- [28] 雷英杰, 杨文宝, 胡荣祖. 新型键合剂在硝胺发射药中的应用 [J]. *火炸药学报*, 2002, 2: 59-60.  
LEI Ying-jie, YANG Wen-bao, HU Rong-zu. Research on three novel bonding agent in nitromine-filled propellants [J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2002, 2: 59-60.
- [29] Oberth. Coatings for solid propellants [P]. USP5600088, 1997.
- [30] 金韶华, 于昭兴, 欧育湘, 等. 六硝基六氮杂异伍兹烷包覆钝感

- 的探索[J]. 含能材料, 2004, 12(3): 147-150.
- JIN Shao-hua, YU Zhao-xing, OU Yu-xiang, et al. Investigation of coating desensitization of HNIW [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2004, 12(3): 147-150.
- [31] 金韶华, 吴秀梅, 王伟, 等. 高分子包覆  $\epsilon$ -HNIW 方法对样品机械冲击感度的影响[J]. 安全与环境学报, 2005, 5(5): 6-8.
- JIN Shao-hua, WU Xiu-mei, WANG Wei, et al. Effect of coating method of polymer  $\epsilon$ -HNIW on impact sensitivity of different samples [J]. *Journal of Safety and Environment*, 2005, 5(5): 6-8.
- [32] 蔚红建, 张丽涵, 刘小刚, 等. RDX 包覆与某种键合剂的匹配性研究[J]. 火炸药学报, 2002, (4): 49-50.
- WEI Hong-jian, ZHANG Li-han, LIU Xiao-gang, et al. The studies on the suitable combination of coating RDX with a bonding agent [J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2002, (4): 49-50.
- [33] 黄亨建, 董海山, 张明, 等. 高聚物改性 B 炸药研究(II) [J]. 含能材料, 2005, 13(1): 7-9.
- HUANG Heng-jian, DONG Hai-shan, ZHANG Ming, et al. Research on modification of composition B with Polymers (II) [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2005, 13(1): 7-9.
- [34] 陈鲁英, 赵省向, 杨培进, 等. CL-20 炸药的包覆钝感研究[J]. 含能材料, 2006, 14(3): 171-173.
- CHEN Lu-ying, ZHAO Sheng-xiang, YANG Pei-jin, et al. The coating and desensitization of CL-20 [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2006, 14(3): 171-173.

## Research on Surface Coating of Nitroamine Explosives Particles

AN Chong-wei, SONG Xiao-lan, WANG Yi, GUO Xiao-de, LI Feng-sheng

(National Special Superfine Powder Engineering Research Center, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China)

**Abstract:** The surface coating researches on nitroamine explosives (such as RDX, HMX and CL-20) are reviewed. Various kinds of surface coating materials, methods and mechanics are summarized. The influence of surface coating on explosive dispersity, mechanical sensitivity are clearly explained. It is pointed out that the mechanical performance, combustion properties of propellant are improved by means of suitable surface coating. The issues and priorities in the future research are also proposed.

**Key words:** materials science; nitroamine explosive; coating material; coating method; coating mechanics



### 2007 年《推进剂研究论文专辑》征稿启事

推进剂是战术导弹、战略火箭和航天飞行的动力能源,是军用含能材料研究中最活跃的部分,科技水平发展最快的一个学科,受到含能材料工作者密切地关注。为使有关研究成果得到更好的交流,促进推进剂技术的发展,本刊将于 2007 年第 4 期组织出版《推进剂研究论文专辑》。

专辑内容包括:固体(液体)推进剂的配方、性能、工艺技术、安全特性等理论研究、实验设计,新材料在推进剂中的应用、推进剂的发展前景与发展方向。本专辑特别欢迎与高能含硼富燃料推进剂、高能量密度物质(HEDM,如 GAP、CL-20)推进剂、无毒或低毒绿色推进剂、金属化胶体推进剂、高密度碳氢燃料、吸热型碳氢燃料等有关内容的学术论文。

请各位作者积极撰稿,来稿请注明“推进剂研究论文专辑”。