

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2016.06.008

含退役双基发射药的低爆速炸药的研究^{*}

贾占山 关渊华 卜宪强 郭 洋
吉林三三零五机械厂(吉林敦化,133709)

[摘 要] 研究了一种含双基发射药的低爆速炸药。这种炸药以双基发射药作为敏化剂,以硝酸铵作为氧化剂,二者混合后形成低爆速炸药。炸药由质量分数为 75%~80% 的硝酸铵、15%~22% 的双基发射药、1%~5% 的密度调节剂和 1%~3% 的工艺添加剂组成。试验表明,在低爆速炸药中,随双基发射药质量分数的不同,可制备出满足不同需求的低爆速炸药产品。产品密度控制在 0.76~1.02 g/cm³ 之间,爆速在 1 500~2 200 m/s 之间,猛度在 8.8~9.7 mm 之间,殉爆距离达到 4 cm。分析探讨了双基发射药的含量、粒度、密度、直径等对爆速的影响。

[关键词] 双基发射药;低爆速炸药;资源化利用;性能

[分类号] TJ55;TQ562;TD235.2⁺¹

引言

低爆速炸药是一种极限爆速比较低的炸药,具有低爆速和低威力等特点,极限爆速一般为 1 500~2 200 m/s。在光面爆破、地震勘测、预裂爆破、爆炸复合(焊接)等领域得到了广泛的应用^[1]。其中,爆炸焊接材料在国防工业领域和国民经济建设中已获得广泛的应用。

废弃火炸药是特殊的危险品,必须妥善处理。传统的废弃火炸药的处理方法和处理过程不仅会对环境产生严重的污染,而且没有物尽其用^[2]。本文中所指的废弃火炸药处理主要是将退役发射药转化为民用炸药产品,变废为宝。该项目是国家“866 工程”提出的科技成果之一,以南京理工大学王泽山院士为首已研制出了含退役火药 HJZ 浆状炸药、HFZ 粉状炸药^[3]、含退役火药乳化炸药^[4]、含火药灌注炸药^[5]等。目前,本单位含火药乳化炸药工艺技术及设备科技成果立项工作已得到国家工信部批复,并获得国家实用新型专利证书^[6]。上述项目运用的火炸药主要是单基发射药。单基药性能优越、规格小,加工方便。而双基发射药虽然在废弃火药中占有很大比例,但由于感度较低、加工困难,利用双基发射药制造民用产品正处于研究开发利用阶段。因而,利用双基发射药研制低爆速炸药是国家“866 工程”的延续,对资源化再利用具有深远意义。

1 双基发射药的性能及加工

1.1 双基发射药的性能

双基发射药的品种主要有双芳型、乙芳型、双乙

型和双迫型等几种类型,主要由硝化棉、硝化甘油、硝化二乙二醇或其他硝酸酯塑化而成。硝化棉和液态硝酸酯是双基药的能量组成部分^[3]。单基药中硝化棉的质量分数在 95% 以上,含氮质量分数 12.76%~12.98%^[7]。而双基药的硝化棉质量分数只有 50% 左右。其他能量有效成分主要是硝化甘油或硝化二乙二醇,质量分数占 40% 左右,双基发射药中硝化纤维素的平均含氮质量分数为 11.92%,其含氮量与单基药比较接近。虽然组分不同,但所含能量完全能够满足民用炸药需要。由于双基药使用的安定剂是苯二甲酸二丁酯或乙基中定剂等,对硝化棉起到了软化、钝感和塑化作用。因此,双基药的起爆感度比单基药低,在加工过程中的安全性比单基发射药高。

通常双基发射药是以燃烧的形式释放内能,并对外做膨胀功^[3]。当起爆能量较大时,其能量以爆轰形式释放出来,又具有爆炸性。双基发射药及常见炸药的性能指标对比见表 1^[8]。

1.2 双基发射药的加工

大部分双基药以管状为主,也有一小部分是片状。由于发射药具有易燃性,无论哪种规格的双基药,在加工过程中利用水做冷却剂,发射药与水的质量比不小于 1:8。通过压延、粉碎的方法将双基药粉碎到一定粒度,然后经离心机脱水后形成所需双基药粉。药粉细度由粉碎机的筛网控制。双基药粉加工过程如图 1 所示。

双基发射药粉碎后,药粉的粒度在 40 目以上时

^{*} 收稿日期:2016-02-16

作者简介:贾占山(1963-),男,工程师,主要从事含退役火药的炸药的研究、开发和利用。E-mail:jzs9605@163.com

表 1 发射药及常见炸药性能比较

Tab. 1 A comparison of properties between propellants and common explosives

| 炸药名称 | 密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) | 爆速/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) | 爆热/ ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$) | 比容/ ($\text{L} \cdot \text{kg}^{-1}$) |
|--------|--|---|---|--|
| 单基药 | 1.02 | 4 600 | 3 663 | 948 |
| 双基药 | 1.00 | 3 900 | 3 173 | 1 011 |
| 铵油炸药 | 0.85 | 3 200 | 3 684 | 986 |
| 岩石乳化炸药 | 1.15 | 5 380 | 3 720 | 792 |

表 2 含双基药的低爆速炸药配方

Tab. 2 Formulation of the low detonation velocity explosive containing double-base propellant %

| 原材料 | 硝酸铵 | 双基发射药 | 密度调节剂 | 钝感剂 |
|------|---------|---------|-------|-------|
| 质量分数 | 75 ~ 80 | 15 ~ 22 | 1 ~ 5 | 1 ~ 3 |

个条件的配方,释放爆速低,在较大的直径下能以稳定爆轰的形式向周围扩展,维持低速爆轰,并达到稳定爆轰的状态。

2.2 含双基药低爆速炸药制备工艺

含双基发射药低爆速炸药是以双基发射药、硝酸铵为主要原材料制备而成。分别将两种原材料加工成一定细度的半成品,备用。将两种半成品按比例要求混合,再加入密度调节剂和工艺附加物混合均匀,混合时间为 10 ~ 15 min。然后进行内装药、封口、包装,即可完成。含双基发射药低爆速炸药制作工艺流程如图 2 所示。

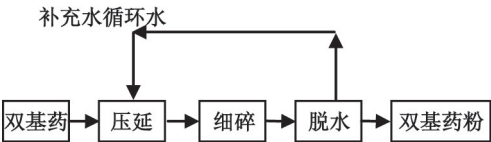


图 1 双基发射药粉加工过程

Fig. 1 Processing of double-base propellant powder

无雷管感度;只有40目以下粒度的药粉占60%时,才能被8#雷管起爆。双基药粉的平均自由装填密度为 0.79 g/cm³,殉爆距离为 8 cm,爆速可达 3 937 m/s,其氧平衡值为 -0.523 g/g^[7]。

2 含双基药低爆速炸药的制备

2.1 含双基药低爆速炸药配方

对于普通低爆速炸药,随着爆炸组分与稀释剂的质量分数的不同,可以得到低爆速炸药系列产品^[9]。在双基发射药低爆速炸药配方设计中,双基发射药为爆炸组分,硝酸铵为氧化剂。配方的确定按下列 3 条原则进行:1)爆炸完全;2)爆速低;3)零氧平衡。

双基药的定容爆热为 3 173 kJ/kg,爆速为 3 937 m/s,做功能力为 344 mL,完全具有足够起爆能量,使该体系达到爆炸完全;双基发射药氧平衡为 -0.523 g/g,硝酸铵的氧平衡为 0.2 g/g,有利于配方氧平衡调节;由于硝酸铵是钝感炸药,其密度为 0.8 g/cm³ 时理论爆速为 2 000 m/s。按照混合炸药的爆速等于各组分体积分数乘以各组分的爆速之积的总和的理论^[10],该配方再通过使用密度调节剂、钝感剂等,得到综合性能较好的低爆速性炸药的配比。据上述 3 个条件,确定含双基药低爆速炸药配方如表 2。

炸药低爆速爆轰,意味着能量释放速度相对高爆速炸药低^[11]。而双基发射药低爆速炸药必须将发射药质量分数控制在一定范围之内(15% ~ 22%);双基药的粒度控制为 60 目筛下物占 80% 以上;密度控制在 0.76 ~ 1.02 g/cm³ 之间。具备这 3

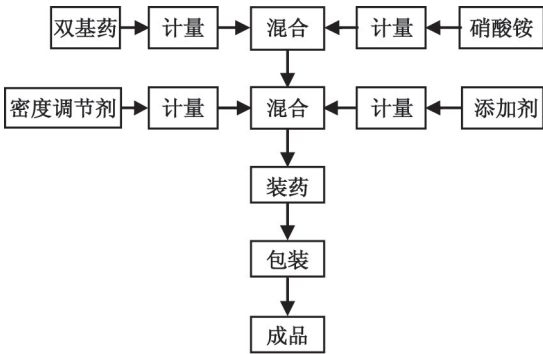


图 2 含双基发射药低爆速炸药的制作工艺

Fig. 2 Manufacture process of the low detonation velocity explosive containing double-base propellant

2.3 含双基药低爆速炸药的性能

含双基发射药低爆速炸药通常是粉状物,按照上述工艺要求,按双基药质量分数分别为 15%、18%、20%,设计出 A、B、C 3 个含双基药低爆速炸药的基本配方。具体性能见表 3。

表 3 含双基发射药低爆速炸药的性能

Tab. 3 Performances of the low detonation velocity explosive containing double-base propellant

| 配方 | 直径/ mm | 密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) | 殉爆距离/ cm | 爆速/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) | 猛度/ mm |
|----|-----------|--|-------------|---|-----------|
| A | 45 | 0.76 | 4 | 1 520 | 8.8 |
| B | 45 | 0.98 | 4 | 1 990 | 8.9 |
| C | 45 | 1.02 | 4 | 2 080 | 9.7 |

3 影响炸药爆速的因素

在含双基发射药低爆速炸药中,为掌握其配方

范围,满足低爆速性能及传爆和爆炸的反应完全,在上述 A、B、C 3 个基本配方的基础上,扩大了双基发射药粉的质量分数(18% ~ 25%),调整了密度调节剂含量和钝感剂的含量,对配方进行优化,设计了 5 个配方,分别为 D、E、F、G、H,其各自的爆炸性能见表 4。

表 4 双基药粉含量不同时的爆炸性能对比

Tab. 4 Performance comparison of explosives with different double-base propellant fraction

| 配方 | 直径/ mm | 密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) | 爆速/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) | 殉爆距 离/cm | 猛度/ mm |
|----|-----------|--|---|-------------|-----------|
| D | 45 | 0.79 | 1 820 | 4 | |
| E | 45 | 0.81 | 2 030 | 4 | 8.70 |
| F | 45 | 0.84 | 2 220 | 4 | |
| G | 45 | 0.92 | 2 470 | 5 | 8.92 |
| H | 45 | 0.95 | 2 650 | 6 | 9.40 |

3.1 质量分数对爆速的影响

表 4 的试验结果证明,当双基药粒度、装药条件一定时,随着双基发射药质量分数的增加,爆速、殉爆距离等也随之增高,反之则降低。当双基发射药质量分数低于 15% 时,爆炸性能不稳定,只有双基药质量分数控制 15% ~ 22% 之间时,其爆速值才能控制在 1 500 ~ 2 200 m/s 之间,见图 3。

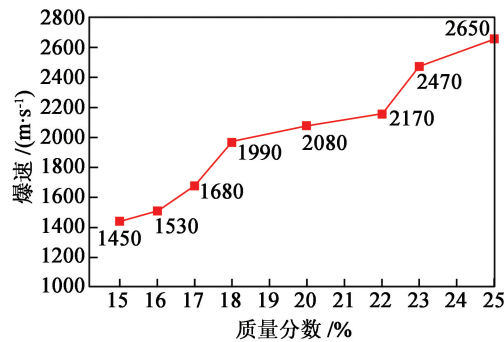


图 3 双基发射药的质量分数对爆速的影响
Fig. 3 Influence of mass fraction of double-base propellant on detonation velocity

3.2 粒度和密度对爆速的影响

根据爆炸理论,爆炸颗粒物的粒度越细,爆炸反应时在爆轰区内完成化学反应所需的时间就会越短,使得反应区变窄,爆轰波受侧向膨胀波的影响减弱,反应区中支持爆轰波传播的有效能量增加,从而使爆速提高^[7]。所以,双基药的粒度应控制在一定范围,保证一定量的微细粉来提高爆轰感度。试验证明,双基药粉粒度控制在 60 目筛下物达到 80% 以上时,才能满足低爆速炸药的要求。因而,双基药的粒度与爆速也有着密切关系。

在含双基发射药低爆速炸药中,当配方一定时,爆速随着密度的增大而升高。装药密度由密度调节剂的含量而定,密度调节剂质量分数应控制在 1% ~ 5% 之间,含双基药低爆速炸药密度一般控制在 0.76 ~ 1.02 g/cm³ 之间,才能保证低爆速的有效性。

3.3 装药直径与爆速的关系

炸药装药直径在临界直径和极限直径之间时,存在明显的装药直径与爆速的正比例关系^[12]。试验结果表明,含双基发射药低爆速炸药装药直径低于 15 mm 时,爆轰无法持续,即为其临界直径;当装药直径大于 32 mm 后,爆速的提升不再明显,即为极限直径。详见图 4。当装药直径达到 45 mm 时,爆速依然稳定在 2 200 m/s,此爆速更适于地质勘探。

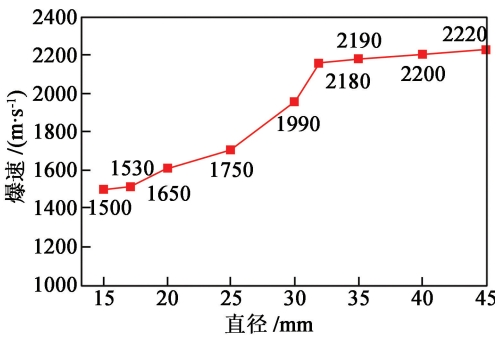


图 4 含双基发射药低爆速炸药直径与爆速的关系
Fig. 4 Relationship between the diameter of double-base propellant and detonation velocity

4 低爆速炸药性能比较

对 8 种低爆速炸药密度、爆速及其装药直径的数据进行统计(表 5^[10]),含双基发射药低爆速炸药具备密度大、爆速低和直径大的特点。而在实际爆破作业过程中,密度大更适宜炸药装填;爆速低能够确保低爆速作用的可靠性;大直径能够增加单孔装药量,从而发挥更好的爆破效果。

5 做功能力与爆炸能量分析

膨化硝铵炸药是一种较常见的粉状工业炸药,将其与含双基发射药低爆速炸药的做功能力进行比较。采用抛掷漏斗法测定相关数据,得到在孔深 40 cm 的情况下,膨化硝铵炸药与含双基发射药低爆速炸药的爆坑体积分别 0.178 8 m³ 和 0.209 0 m³。数据表明,含双基发射药低爆速炸药的做功能力明显优于膨化硝铵炸药。

炸药的爆炸能量与爆炸物的装药量有关。由于含双基发射药低爆速炸药能够在相对较大直径进行低爆速传播,因此,在相同装药长度时,因其直径较大使得装药量大,产生的爆炸能量也大。普通的低

表 5 低爆速炸药性能对比

| Tab. 5 Formulation and performance of low detonation velocity explosive | | | | |
|---|-----------------------------------|--|---|-------------|
| 工业炸药 | 配方(质量分数) | 密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) | 爆速/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) | 装药直径/ mm |
| TY ₁ | 87% TNT、13% 矿物微粉 | 0.623 | 2 090 | 22 |
| TY ₂ | 88% TNT、12% 高分子树脂微粉 | 0.710 | 2 370 | 22 |
| BY ₁ | 80% 黑索今、20% 矿物微粉 | 0.637 | 3 180 | 20 |
| BY ₂ | 75% 黑索今、25% 高分子树脂微粉 | 0.335 | 1 550 | 18 |
| 粉状低爆速炸药 | 50% 2 [#] 岩石硝铵炸药、50% 黑火药 | 0.769 | 2 010 | 32 |
| 低爆速膨化硝铵炸药 | 82.8% 膨化硝铵、3.6% 木粉、3.6% 燃料油 | 0.650 | 2 400 | 32 |
| 高能低爆速膨化硝铵炸药 | 81% 膨化硝铵、3.6% 木粉、2.7% Al 粉 | 0.630 | 2 350 | 32 |
| 含双基发射药低爆速炸药 | 含双基发射药炸药 E 配方 | 0.810 | 2 030 | 45 |

爆速炸药直径一般控制 22 ~ 32 mm 之间,由于受装药直径的限制,当装药长度一定时,装药量较少,不能发挥较好的爆炸效果。而双基发射药低爆速炸药直径可达 45 mm 以上,在相同的长度时,其装药量可增加 40% ~ 104%,在单位体积内有足够的能量传播。爆炸后产生冲击波的能量相应也大,并以低爆速的速度传播。尤其适于地质勘探,可以更好地提高分辨率。

6 机械感度

在含双基发射药炸药中,由于双基药本身含有较多的钝感性物质(例如苯二甲酸二丁酯、凡士林等),只需要加较少的钝感剂就可以获得很好的钝感效果。为完全满足机械感度的要求,试验中选择了不加钝感剂和添加钝感剂含双基药粉的低爆速炸药,测试其爆炸性能和机械感度(撞击感度、摩擦感度),试验结果见表 6^[7]。

表 6 一种含双芳-3 药粉体系的性能

| Tab. 6 Performance of a single-base powder containing aromatic and double-3 powder systems | | | | |
|--|--|---|------------------|------------|
| w (钝感剂)/% | 氧平衡/ ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) | v_D / ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) | H_{50} / mm | 摩擦感度/ % |
| 0 | -0.075 6 | 1 870 | 978 | 4 |
| 1.0 | -0.075 6 | 1 730 | 1 250 | 0 |

从表 6 中可看出,双基药粉状炸药在零氧平衡时和另一组含 1% 钝感剂的含双基发射药炸药对比,爆速 v_D 符合要求;对撞击感度特性落高指标 H_{50} 是合格的;对摩擦感度分别是 4% 和 0 也是合格的(TNT 为 8%)。从安全角度来讲,添加一定剂量的钝感剂对安全有保证,这种措施有利于降低撞击感和摩擦感度。

7 安全性能

7.1 相容性

采用 DSC 测试了单基药与硝酸铵、双基药(双

芳-3)与硝酸铵的相容性。其条件为升温速率 5 ℃/min,反应气体为氮气,混合物的发射药与硝酸铵按照质量比 1 : 1 进行测试。结果显示,单基药与硝酸铵混合物放热峰值位移为 1.7 ℃,双基药与硝酸铵混合物放热峰值位移为 5.1 ℃,因此,可以肯定单基药与硝酸铵是相容的。同时,双基药在高温(80 ℃以上)情况下相容性比单基药差^[7],但在常温条件下,完全能满足 6 个月至 8 个月的要求。

热分解是指在热的作用下,物质分子发生分裂,形成分子量小于原来物质的众多分解产物的现象。单、双基发射药的组分是含有能量基团—ONO₂ 或—NO₂ 的化合物,这 2 种基团中的化学键在热的作用下发生断裂,这些物质即使常温下也会发生缓慢的热分解反应,释放出能够催化进一步分解的 NO₂ 气体。为防止热分解的发生,单基药中二苯胺质量分数不得低于 0.6%,双基药中安定剂质量分数不小于 1% 时,能够有效地控制热分解。

7.2 储存性能

在常温储存条件下,对含双基发射药炸药进行储存性能考察。在 3 个月、6 个月和 8 个月时分别测试了其密度、爆速和传爆性能,均能满足产品性能要求,见表 7。

表 7 含双基药发射药低爆速炸药储存性能

| Tab. 7 Storage performance of low detonation velocity explosive containing double-base propellant | | | | |
|---|-----------|--|-------------|---|
| 时间/ d | 直径/ mm | 密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) | 殉爆距离/ cm | 爆速/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) |
| 0 | 45 | 0.95 | 4 | 1 975 |
| 90 | 45 | 0.95 | 4 | 1 990 |
| 180 | 45 | 0.97 | 3 | 1 930 |
| 240 | 45 | 0.97 | 2 | 1 900 |

一般储存几十年后退役下来的废旧发射药,作为民用炸药的原材料使用,其储存性能能满足民用

炸药有效期的要求^[7]。

8 结论

通过对含双基药低爆速炸药性能的研究,掌握了双基发射药的性质及其加工方法,通过调整双基药含量、粒度、水分、密度等指标,使其性能指标爆速完全控制在 1 500~2 200 m/s 范围内。在较大的直径范围内爆速低,并且传爆性能稳定。含双基发射药低爆速炸药的研究,为低爆速炸药增加了一个新品种,具有研究和推广应用的价值,并为废旧双基发射药再利用开辟新途径。

参 考 文 献

- [1] 余燕. 低爆速乳化炸药及其在爆炸焊接中的应用[D]. 淮南:安徽理工大学,2013.
- [2] 廖静林,江劲勇,路桂娥,等. 废弃火炸药的处理与再利用研究[J]. 装备环境工程,2010,7(4):108-111.
LIAO J L, JIANG J Y, LU G E, et al. Research of obsolete explosive and propellant utilization and recycle[J]. Equipment Environmental Engineering, 2010, 7(4):108-111.
- [3] 王泽山. 废弃火炸药的处理与再利用[M]. 北京:国防工业出版社,1999.
- [4] 王文栋,李建红,张志斌. 退役火药在乳化炸药和水胶炸药中的应用研究[J]. 爆破器材,2003,32(5):13-16.
WANG W D, LI J H, ZHANG Z B. Study and application of emulsion explosive and water gel explosives containing waste propellant[J]. Explosive Materials, 2003, 32(5):13-16.
- [5] 张迪,魏晓安,俞永华,等. 含 5/7 单基药灌注炸药的制备及性能研究并得到推广和运用[J]. 爆破器材, 2016,45(1):16-20.
ZHANG D, WEI X A, YU Y H, et al. Research on preparation and properties of perfusion explosive containing 5/7 single base propllant[J]. Explosive Materials, 2016,45(1):16-20.
- [6] 贾占山,关渊华,毕维忠,等. 使用含火药乳化炸药连续化工艺技术的设备:CN205347265U [P]. 2015-06-29.
- [7] 张丽华. 用废旧发射药制造民用炸药的研究[D]. 南京:南京理工大学,1998.
- [8] 贾占山,卜宪强. 含退役火药新型高爆速震源药柱配方和工艺的研究[J]. 爆破器材,2013,42(2):26-30.
JIA Z S, BU X Q. Formulation and process of new high detonation velocity featured seismic charge containing waste propellants[J]. Explosive Materials, 2013, 42(2):26-30.
- [9] 陆明,吕春绪,刘祖亮. 低爆速膨化硝酸铵炸药及其安全性研究[J]. 爆破器材,2002,31(2):1-4.
LU M, LÜ C X, LIU Z L. Study on low detonation velocity expanded ammonium nitrate explosives and its safe property[J]. Explosive Materials, 2002, 31(2):1-4.
- [10] 吕春绪. 工业炸药理论[M]. 北京:兵器工业出版社, 2003.
- [11] 魏晓安,何卫东,王泽山. 一种低爆速炸药的研制[J]. 爆破器材,2006,35(2):5-7.
WEI X A, HE W D, WANG Z S. Synthesis of a new low detonation velocity explosive[J]. Explosive Materials, 2006, 35(2):5-7.
- [12] 高玉杰. 工业炸药装药直径对爆速的影响[J]. 淮南职业技术学院学报,2012,12(3):11-15.
GAO Y J. The effects of charge diameter on the detonation velocity[J]. Journal of Huainan Vocational & Technical College, 2012, 12(3):11-15.

Development of A Low Detonation Velocity Explosive Containing Double-base Propellant

JIA Zhanshan, GUAN Yuanhua, BU Xianqiang, GUO yang

Jilin 3305 Machinery Factory (Jilin Dunhua, 133709)

[ABSTRACT] A low detonation velocity explosive containing double-base propellant was developed by mixing the double-base propellant as a sensitizer with ammonium nitrate as an oxidant. The explosive contains (mass fraction) 75%-80% ammonium nitrate, 15%-22% double-base propellant, 1%-5% density modifier and 1%-3% process additives. Testing results show that a series of low detonation velocity explosives could be produced to meet with various product requirements by changing the mass fraction of double-base propellant. Production control can be well realized within a density range of 0.76-1.02 g/cm³, a detonation velocity range of 1500-2200 m/s, a brisance range of 8.8-9.7 mm, and a sympathetic detonation distance up to 4 cm. The influence on detonation velocity was analyzed and discussed due to the variations in content, granularity, density and diameter of double-base propellants.

[KEYWORDS] double-base propellant; low detonation velocity explosive; resource utilization; performance