

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2014.04.001

挠性炸药的发展及应用*

王晓峰 南 海

西安近代化学研究所(陕西西安,710065)

[摘 要] 挠性炸药具有临界直径小、爆速高、挠性优良、易携带等特点,成为现代高聚物黏结炸药的发展重点类型之一,文中综述了国内外挠性炸药的发展概况,介绍了典型挠性炸药的配方及其主要性能,总结了挠性炸药在军事和民用领域的应用情况,提出了关于挠性炸药研究方向的发展建议。

[关键词] 挠性炸药;爆破炸药;切割炸药;导爆索;爆炸成型

[分类号] TQ564

引言

挠性炸药是由高能单体炸药与高弹态聚合物(如天然橡胶、合成橡胶及热塑性弹性体)组成的混合炸药,有时也在配方中加入增塑剂^[1]。挠性炸药外观像皮革、橡皮或软质塑料制品,具有优良的挠性、自持性和一定的弹性、韧性,能制成绳索、板、片、带、管和棒状产品,其制品可以自由弯曲、折叠和缠绕,易于携带,在军、民领域中应用广泛^[2]。

1 挠性炸药的产生和发展

1.1 国外挠性炸药发展概况

挠性炸药是高聚物黏结炸药的一种,是随着高聚物黏结炸药的发展而发展起来的。第二次世界大战后期,随着高分子材料的发展以及导弹、核武器的需要,人们开始研究用塑料作为黏结剂和钝感剂,与难以单独成型的黑索今制成可压装的炸药造型粉,既保持了高能炸药的爆炸性能,又利用了高分子材料容易成型和加工的优点。最早的高聚物黏结炸药是美国洛斯·阿拉莫斯科学实验室(LASL)于1944年开始研制的,1947年生产了第一个塑料黏结炸药PBX-9205。20世纪50年代后,高分子材料的品种不断增加,可以作为炸药黏结剂的不仅是塑料类,而且也出现了多种类型的高聚物黏结炸药,其中就有1960年研制出的挠性炸药^[3]。

挠性炸药采用的高聚物黏结剂及其增塑剂最初是惰性的,如20世纪60年代美国杜邦公司研制的EL-506系列挠性炸药中的EL-506A和EL-506D。EL-506A由太安(PETN)、弹性黏结剂和增塑剂组成,是一种抗水挠性炸药,在较宽的温度范围内保持挠性,可用刀子切割,对撞击钝感,可制成片状、带状

和管状等,能在7600 m深水下起爆和传爆,广泛用于水下爆破及特种工程中。EL-506D由PETN和异丁橡胶等组成,其特征是能以很小的直径传播爆轰,美国劳伦斯·利弗莫尔国家实验室(LLNL)对其改型(去除了其中的红色染料油)后,改代号为LX-02^[4]。为满足炸药有较小临界直径的特殊应用的需求,LASL研制了XTX-8003炸药(LLNL对其改型后称为LX-13),由PETN和硅酮树酯(Sylgard 182)组成,1974年用于爆炸逻辑网络。为提高XTX-8003的热安定性,LASL将配方中的PETN换成了黑索今(RDX),称为XTX-8004,其爆轰临界直径比XTX-8003稍大。这两种炸药未固化时如油灰状,可以在适度的压力下通过小孔挤注成型,固化后是白色橡胶状物^[4]。

20世纪70年代是国外挠性炸药迅速发展的时期,形成了很多挠性炸药配方。黏结剂常采用橡胶、聚异丁烯、树脂、聚四氟乙烯等,增塑剂通常采用己二酸二辛酯(DOA)、乙酰柠檬酸三丁酯(ATBC)等。主炸药除了常用的PETN和RDX外,也开始采用奥克托今(HMX)、六硝基芪(HNS)、塔考特(TACOT)等,制成特种挠性炸药。如美国六硝基芪耐热挠性炸药,由HNS和PTFE组成,大型爆炸装药已用于阿波罗宇宙飞船系统和月球表面试验器,小型装药在耐热石油射孔器材及深海水下特种工程上得到广泛应用;美国塔考特耐热挠性炸药,由TACOT和PTFE组成,安定性、耐热性和耐氧化性优良,在260℃加热12 h后仍很安定,被广泛用于导弹、火箭、超高速飞机的控制器,也用作抛掷物件装置的装药,还可制成小直径柔软的导爆索。

* 收稿日期:2013-12-26

作者简介:王晓峰(1967~),男,研究员,从事混合炸药技术研究。E-mail: wangxf_204@163.com

1973 年,美国的 Wells 提出用含能黏结剂的 EL-506C 型挠性炸药,该炸药由 PETN、硝化棉(NC)和 ATBC 组成,具有多种产品形状,最普通的是板片、均匀薄片和筒形卷,室温下存放 4 年挠性不变,可引爆、压爆和点火引燃,也可切割、穿孔、压缩和粉碎,因此,它能有效而经济地解决各类工程问题,如金属硬化和金属切割等,还被确认为军用炸药。1975 年, Wells 又提出 FXRNC-I 型挠性炸药,用 RDX 替换 EL-506C 中的 PETN,使它在能量、安定性以及成本上更有优势。之后, Wells 又用含能增塑剂替换惰性增塑剂,使炸药威力得到了进一步提高^[5-6],如 FXRNC-II 型挠性炸药,用三羟甲基乙烷三硝酸酯(TMETN)替换 FXRNC-I 中大部分的 ATBC 后,爆速比 FXRNC-I 增加了 430 m/s,达到了 7440 m/s。而由 HMX、NC 和二缩三乙二醇二硝酸酯(TEGDN)组成的全含能组分挠性炸药,爆速可达 8219 m/s,威力为 131.3% TNT 当量。

此后,挠性炸药的发展陷入一段沉寂期,20 世纪 90 年代后才又渐渐恢复,研究的重点已从单纯追求能量转为对综合性能的重视和对特定应用要求的满足。1992 年,美国公布了一种低易燃性的雷管敏感挠性炸药专利^[7],主炸药为 PETN 或 RDX,黏结剂为耐火聚合物(含有阻燃材料)。目前,美国 Ensign-Bickford 航空与防务公司在挠性炸药的开发和应用方面走在世界的前列,近些年来不断推出各种新产品,这些新产品备受美国军方的青睐^[8-9]。例如,该公司新推出的 Primasheet 2000 是一种防水 RDX 基挠性炸药,符合美国 MIL-E-46676 标准,如今已被美国军方所采用;该公司新近研制的 ACETM 先进切割炸药,系一种聚能装药切割系统,采用新型聚能装药药型罩及优化的炸高,满足极端挠性切割工具的要求,符合美国军方标准 MIL-E-46676,对冲击波相对不敏感,使事故爆炸或者意外爆炸的可能性大大降低;该公司还专门为战车反应装甲系统设计了一种 LF-2 挠性炸药,该炸药对轻武器子弹射击和火力的刺激极不敏感,甚至 LF-2 在被点燃时也能够自动熄灭,但是它能被高速空心装药射流所引爆。如今该炸药已被用于美国军方多种战车平台上。

除美国以外,其他国家也较关注挠性炸药的研究与应用。例如,英国世界防务系统公司新近研制了一种挠性炸药^[10],其配方为 PETN/RDX/DMNB/其他(质量比 61.28/26.69/0.21/11.82),主要用于特种爆破;捷克研制了一种 RDX 基(质量分数 88%)挠性炸药,也主要用于特种爆破作业^[11]。韩国研制的挠性炸药 DXD-19,由 PETN、丙烯酸乙酯

和丁酯共聚物(HyTemp-4454)以及含能增塑剂 BDNPA/F 等组成,用于可变形战斗部的爆炸驱动装药。

2006 年,印度高能材料研究实验室(HEMRL)研制出一种 NTO 基片状挠性炸药,是一种新型不敏感炸药,计划用于坦克车辆的爆炸反应装甲。该炸药配方与参照配方 RDX/Estane 相比,用 NTO 部分替代 RDX 后,爆炸性能和力学性能均有了显著的提高,而对外界冲击和摩擦刺激更不敏感。

1.2 国内挠性炸药发展概况

西安近代化学研究所于 1974 年定型了一种以橡胶为黏结剂、RDX 为主体炸药的挠性炸药,被称为橡皮炸药,性质似橡皮,弹性大,挠曲性强,浸入常温海水 30 d,质量增加 80%,仍能用 8# 雷管起爆。它可制成各种形式,如制成直径 50 mm、长 700 mm 的粗绳状,用尼龙绳串起来,用于扫雷和开路;也可制成定向的聚能药条,用于空间飞行装置的分离;做成片状,用于杀伤、爆破、水下声源及爆炸成型等。近年来,又研制了以 PETN 为主体炸药的多种挠性炸药配方,如 FEX-I^[12]、NI-1^[13]等,并对其贮存寿命、力学性能等进行了研究。

北京理工大学选用 PETN 为主体炸药、室温硫化甲基硅橡胶为黏结剂,于 1992 年研制出了一种 PETN 基挠性混合炸药^[14],该混合炸药具有临界直径小、直径效应弱等特点,适用于小直径装药技术(如爆炸逻辑网络的装药)。1998 年,又研究了小直径挠性炸药挤塑成型工艺以及适合于挤塑工艺的黏结剂配方,成功地挤塑出以太安为主体、直径约为 1.2 mm 的药条^[15]。

中国工程物理研究院研制了一种具有小直径、大长径比、大拐角传爆特性的挠性炸药,主炸药选用经过敏化处理的 PETN,黏结剂选用室温硫化有机硅模具胶,传爆临界直径 0.3 mm,传爆拐角 140°,传爆长度大于 1500 mm,达到同类炸药 XTX-8003 的水平,满足小直径沟槽和薄层装药要求,已用于平面波发生器、爆炸逻辑网络以及某些常规战斗部起爆装置中。

原华北工学院在分析捷克成型橡胶炸药基础上,研究了一种 RDX 基挠性炸药,性能与捷克炸药相近,并装入反应装甲进行了射流引爆试验^[16]。

1.3 挠性炸药的典型配方及性能

上述国内外挠性炸药的配方及主要性能见表 1^[17-18]。

2 挠性炸药的应用

2.1 挠性炸药在军事领域的应用

表 1 挠性炸药的典型配方及主要性能

Tab. 1 Typical formulations and main properties of the flexible explosive

名称或代号	国别	配方(质量比)	密度/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	爆速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
Detasheet A (EL-506A)	美国	PETN/黏结剂;85/15	1.48	7000
Detasheet C (EL-506C)	美国	PETN/NC/ATBC;63/8/29	1.48	7200
LX-02(EL-506D)	美国	PETN/异丁橡胶/ATBC/SiO ₂ ;73.5/17.6/6.9/2.0	1.44	7370
FXRNC- I	美国	RDX/NC/ATBC/草绿染料;63/8/28.2/0.8	1.47	7011
FXRNC- II	美国	RDX/NC/ATBC/草绿染料/TMETN; 63/8/8.2/0.8/20	1.54	7441
LX-13(XTX-8003)	美国	PETN/硅酮橡胶;80/20	1.53	7300
XTX-8004	美国	RDX/硅酮橡胶;80/20	1.55	7220
—	美国	HMX/NC/TEGDN;68/14/18	1.59	8219
—	美国	HNS/PTFE;90/10	1.70	7000
—	美国	TACOT/PTFE;88/12	1.50	6350
—	英国	PETN/RDX/DMNB/其他; 61.28/26.69/0.21/11.82	1.57	7900
—	捷克	RDX/其他;88/12	1.58	7950
DXD-19	韩国	PETN/HyTemp-4454/含能增塑剂/ATEC/CAB; 73/13/6.2/6.3/1.5	1.52	7210
橡皮炸药	中国	RDX/其他;88/12	1.43	7125
—	中国	PETN/有机硅模具胶;76/24	1.49	7140
NI-1	中国	PETN/天然橡胶;88/12	1.53	7540

挠性炸药作为一种特种炸药,在军事领域有着广泛的用途:

1)作为爆破装药。如美国 M118 型爆破装药,又被称为 Flex-x 或片状装药,由 4 片长 317.5 mm (12.5 in)、宽 82.55 mm (3.25 in)、质量为 0.227 kg (0.5 lb) 的片状装药组成,每片装药都有一个压力敏感的黏胶带,可黏附在物体表面,黏胶带表面有一层可揭去的纸膜,用以保护黏胶带。这种片状装药能够快速用于不规则的和弯曲表面的爆破,也可以用于小规模的清障爆破,尤其适用于钢材切割。又如美国 M186 型卷盘爆破装药,是将宽 76.2 mm (3 in)、厚 6.35 mm (0.25 in) 的长条形炸药装药卷成一盘,长达 15.24 m (50 ft),每英尺的装药量大约为 0.227 kg (0.5 lb),装药的一面附有一黏胶带,胶带表面有一层可揭去的纸膜,适合于需要使用长达几英尺挠性炸药的爆破作业,特别是切割钢材、树木和不规则形状物体。橡皮炸药可制成 $\varnothing 50 \text{ mm} \times 700 \text{ mm}$ (或其他规格) 的药棒,中心嵌入 $\varnothing 8 \text{ mm}$ 的尼龙绳,将 10~20 节这样的药棒连成“一条龙”,可用于扫雷和破除障碍,开辟通路。

2)作为切割装药。挠性线型空心爆破装药用军用雷管起爆,爆轰能聚集成高速射流,可用于切割

金属及其他结构材料^[19-20],用于销毁废弃爆炸军械或切割爆炸军械装置。橡皮炸药可作高空火箭分离器,把橡皮炸药制成 $\varnothing 8 \text{ mm}$ 药条,药条内预制聚能槽,用于多火箭的高空分离,也可用于特种爆破装置,如控制聚能、控制紧急阀门及破坏保险装置等。

3)作为导爆装药。挠性炸药可制成各种用途的柔性导爆索,具有可靠起爆、传爆的性能,普通线绕导爆索在水下拒爆, $\varnothing 8 \text{ mm}$ 的橡皮导爆索在 15 m 深的海水中浸泡 24 h,与雷管对接,仍能可靠起爆和传爆。还可采用挤塑^[21]或辗片切条等方法制备小尺寸挠性炸药药条,可应用于各种沟槽网络装药。

4)作为驱动装药。工程上常采用薄片挠性炸药爆炸加载的方法来形成对结构的冲量载荷^[22-23],加载比冲量与挠性炸药厚度近似成线性增加关系;相同厚度的挠性炸药在不同波阻抗表面爆炸产生的冲量载荷不同,波阻抗越大,传入的冲量越大^[24-33]。如将薄片挠性炸药贴在可变形战斗部壳体的外侧,先于主装药起爆,向内压缩壳体变形,可以减小壳体破片的飞散角,提高目标方向的破片密度。

此外,挠性炸药还可以作为爆炸反应装甲装药,甚至装入信封或装订成册,或制成带、索、球、玩具和装饰品,供侦察人员和特工人员使用。

2.2 挠性炸药在民用领域的应用

民用方面,挠性炸药广泛用于金属爆炸加工、特种爆破作业、油井射孔作业等。

1) 金属爆炸加工。挠性炸药可用于高强度金属的铆接、爆炸成型和焊接、金属表面硬化、金属板的压合等。将挠性炸药制成片状,贴于工件表面,金属表面在爆炸瞬间高温高压的作用下,表面发生金相变化,从而得到高强度的金属,爆炸强化后的强度是淬火强度的 3 倍。两种性质不同的金属在爆炸瞬间产生的高温高压作用下完全熔合在一起,这种焊接可以完成一般电焊难以完成的工作。

2) 特种爆破作业。挠性炸药耐水性好,又具有优良的爆炸性能,可用于水下爆炸切割及拆船。把挠性炸药制成片状,可以大面积爆破清除附在沉船表面的海生物、铁锈、泥沙等杂物,为后续切割金属扫清障碍。将挠性炸药制成带“V”型聚能槽的药棒,布放于欲切割的船甲板处并固定牢,一次起爆可切割十几米,水下作业方便,工效高。对于船桅杆,可利用挠性炸药的曲挠性,将桅杆围住,一次爆破即可以完成切割。挠性炸药还可用于采矿、深水工程、水下开沟等特种爆破工程。

3) 油井射孔作业。将挠性炸药通过挤压成型制成导爆索,具有弹性、耐水、耐油等特点,代替石油射孔器材中的普通导爆索,可克服普通线绕导爆索在石油井下易断节、有时出现传爆不完全的缺点。

此外,挠性炸药还可用于爆炸合成人造金刚石,以及做地质勘探的大面积爆破等高速激波发生器的能源等。由于挠性炸药可按要求设计物理化学性能不同的配方,制造多种形状的产品,制品又无需外壳,因而使用方便安全。

3 建议

从以上所述挠性炸药的发展和应用现状可以看出,挠性炸药作为一种满足特定应用需求的特种炸药品种依然有广泛的应用前景。未来挠性炸药的发展和改进,应加强以下几个方面的工作:

1) 挠性炸药的主要组分 RDX、PETN 等是能量水平较高的常用炸药,因而挠性炸药的爆速在 6000 ~ 8000 m/s 之间,从具有的能量水平看,已可以满足绝大部分使用需要。今后应更加关注综合性能的提高,如老化性能、环境适应性等;尤其值得关注的是,不敏感炸药是今后军用混合炸药发展的方向,挠性炸药也应满足低易损性要求,因此,不敏感挠性炸药应成为今后军用挠性炸药发展的重点。

2) 挠性炸药的设计与其应用要求密不可分,因此,应大力加强挠性炸药的应用技术研究,尤其是在

民用领域的应用研究,在此基础上形成系列化产品,包括配方的系列化及其制品的系列化,以满足不同应用对象的要求。民用挠性炸药对能量的要求并不高,相反,对低爆速挠性炸药的需求比较广泛,但民用炸药对成本的控制比较严格,民用挠性炸药的研发应努力降低成本。

3) 挠性炸药制备通常先将炸药与添加剂制成型粉或捏合成腻子状,然后再通过压伸、压延等挤压方式制成挠性炸药,有的还需要加温进行硫化。这种工艺生产效率较低,人工操作较多,产品产量上不去,在压伸、压延等工艺上的安全性问题也比较突出,上述问题成为制约挠性炸药广泛应用的重要因素。因此,应大力发展挠性炸药及其制品的制造工艺技术,提高工艺本质安全性和生产能力。

参 考 文 献

- [1] 国防科学技术工业委员会科学技术部. 中国军事百科全书·火炸药、弹药分册[M]. 北京:军事科学出版社,1991.
- [2] 孙国祥. 高分子混合炸药[M]. 北京:国防工业出版社,1985.
- [3] 孙业斌,惠君明,曹欣茂. 军用混合炸药[M]. 北京:兵器工业出版社,1995.
- [4] Terry R G, Alphonse P, John F B, et al. LASL explosive property data [M]. California: University of California Press, 1980.
- [5] Wells F B. Flexible explosive composition comprising particulate RDX, HMX or PETN and a nitrostarch binder plasticized with TEGDN or TMETN; US, 4014719A [P]. 1977-03-29.
- [6] Wells F B. Flexible explosive composition comprising particulate RDX, HMX, or PETN and a high viscosity introcellulose binder plasticized with TEGDN; US, 4014720A [P]. 1977-03-29.
- [7] Wagner M G. Low flammability cap-sensitive flexible explosive composition; US, 5080735A [P]. 1992-01-24.
- [8] Primasheet Flexible Explosive. <http://www.valleyassociates.com/2007>.
- [9] Advanced cutting explosive. <http://www.eba-d.com/>
- [10] Sheet explosive PL SEM RDX/PETN based. <http://www.explosia.cz/>
- [11] Sheet explosive PL SEM. <http://www.explosia.cz/>
- [12] 唐桂芳,王晓峰,衡淑云,等. FEX-1 挠性炸药贮存寿命的预估[J]. 火炸药学报,2003,26(2):19-21.
Tang Guifang, Wang Xiaofeng, Heng Shuyun, et al. An estimation on the storage life of flexible explosive [J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2003, 26(2):19-21.

- [13] 王晓峰,李巍,南海,等. PETN 基挠性炸药的力学性能[J]. 火工品,2013(1):28-31.
Wang Xiaofeng, Li Wei, Nan Hai, et al. Mechanical properties of PETN-based flexible explosive [J]. Initiators & Pyrotechnics,2013(1):28-31.
- [14] 毛金生,蔡瑞娇,陈福梅. PETN 为基挠性炸药在精细装药中的应用[J]. 北京理工大学学报,1992,12(2):110-115.
Mao Jinsheng, Cai Ruijiao, Chen Fumei. Application of a flexible explosive based on PETN in the precise charge technology [J]. Journal of Beijing Institute of Technology,1992,12(2):110-115.
- [15] 张小虎,焦清介,蔡瑞娇,等. 挠性炸药条挤塑成型研究[J]. 火工品,1998(1):15-17,21.
Zhang Xiaohu, Jiao Qingjie, Cai Ruijiao, et al. The modelling technique for pliable explosive in small diameter charge[J]. Initiators & Pyrotechnics,1998(1):15-17,21.
- [16] 骆兵,王凤英. 某新型挠性炸药的制备工艺及性能测试[J]. 安全与环境学报,2004,4(增刊):156-159.
- [17] 贝静芬. 世界弹药手册[M]. 北京:兵器工业出版社,1990.
- [18] Ness L, Williams A. Jane's ammunition handbook 2006-2007 [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [19] Helfgen W, Lindner G, Lingens P, et al. Process for the production of flexible explosive formed charges; US, 4113811A[P]. 1978-09-12.
- [20] Alford S C. Flexible linear explosive cutting or fracturing charge; US,5377594A [P]. 1995-01-03.
- [21] Jack S, Ronald R V, David A C. Method for injection molding of explosive and pyrotechnic material; US, 3879504 [P]. 1975-04-22.
- [22] 隋树元,王树山. 终点效应学[M]. 北京:国防工业出版社,2000.
- [23] Jeziorny A. Parameters characterizing the kinetics of the non-isothermal crystallization of poly (ethylene terephthalate) determined by DSC[J]. Polymer, 1978, 19(10):1142-1144.
- [24] 林鹏,王长利,王等旺. 挠性炸药比冲量的数值模拟与实验研究[J]. 火炸药学报,2011,34(4):30-33,48.
Lin Peng, Wang Changli, Wang Dengwang. Numerical simulation and experimental studies on impulse of flexible explosive [J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants,2011,34(4):30-33,48.
- [25] 谢遂志,刘登祥,周鸣峦. 橡胶工业手册第一分册[M]. 修订版. 北京:化学工业出版社,1993.
- [26] 松全才,杨崇惠,金韶华. 炸药理论[M]. 北京:兵器工业出版社,1997.
- [27] 杨清芝. 现代橡胶工艺学[M]. 北京:中国石化出版社,1997.
- [28] 魏秀贞. 高分子材料[M]. 北京:兵器工业出版社,1998.
- [29] 过梅丽,赵得禄. 高分子物理[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2005.
- [30] 高大元,文雯,舒远杰,等. 热塑性弹性体改性 B 炸药的性能研究[J]. 含能材料,2012,20(5):534-540.
Gao Dayuan, Wen Wen, Shu Yuanjie, et al. Performance of modified composition B with thermoplastic elastomer[J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2012,20(5):534-540.
- [31] 涂小珍,张波,韦兴文,等. TATB 基高聚物黏结炸药高温力学性能[J]. 含能材料,2013,21(3):306-309.
Tu Xiaozhen, Zhang Bo, Wei Xingwen, et al. Mechanical properties of TATB based PBX at high temperature [J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2013, 21(3):306-309.
- [32] 唐明峰,李明,蓝林钢. 浇注 PBX 力学性能的研究进展[J]. 含能材料,2013,21(6):812-817.
Tang Mingfeng, Li Ming, Lan Lin'gang. Review on the mechanical properties of cast PBX[J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2013,21(6):812-817.
- [33] 赵玉刚,傅华,李俊玲,等. 三种 PBX 炸药的动态拉伸力学性能[J]. 含能材料,2011,19(2):194-199.
Zhao Yugang, Fu Hua, Li Junling, et al. Dynamic tensile mechanical properties of three types of PBX [J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2011, 19(2): 194-199.

Development and Application of Flexible Explosives

WANG Xiaofeng, NAN Hai

Xi'an Modern chemistry Research Institute (Shaanxi Xi'an, 710065)

[ABSTRACT] Because of advantages such as small critical diameter, high detonation velocity, excellent flexibility and easily taken, the flexible explosive has become one of most important polymer bonded explosives. In this article, the developing progress of flexible explosives is reviewed, and the typical formulations as well as their main properties of flexible explosives are introduced. Upon the summarization of military and industrial applications of flexible explosives, some advice focused on the research direction of flexible explosives is proposed.

[KEY WORDS] flexible explosives; blasting explosives; cutting explosives; detonating fuse; explosive forming