

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2014.02.006

薄片橡胶炸药的制备及性能研究*

刘 瑶 王建华 刘玉存 袁俊明 常双君

中北大学化工与环境学院(山西太原,030051)

[摘 要] 基于橡胶炸药的优良特性及其广泛用途,率先将高温硫化硅橡胶与室温硫化硅橡胶混合,作为橡胶炸药的黏结剂,通过组分的配比及制备工艺的研究,得到一种能够可靠起爆、稳定传爆的临界厚度为 0.4 mm 的薄片橡胶炸药配方,即太安:高温硫化硅橡胶:室温硫化硅橡胶=85:9:6,其中额外加入了两种硫化剂,即过氧化双(2,4-二氯苯甲酰)和四乙氧基硅烷,并对该橡胶炸药进行了机械感度和爆速的测定。结果表明:其撞击感度爆炸百分数为 32%,摩擦感度爆炸百分数为 36%,药片厚 0.6 mm,密度 1.50 g/cm³ 时其爆速达到了 6850 m/s。

[关键词] 薄片橡胶炸药;制备工艺;机械感度;临界厚度;爆速

[分类号] TJ55 ;TQ564.2

引言

橡胶炸药属挠性炸药的一种,以高级炸药为爆炸组分,以天然橡胶或合成橡胶为黏结剂,采用橡胶生产工艺,得到具有良好的物理机械性能,外观像皮革、橡皮或软质塑料制品的炸药^[1]。由于其具有弹性和挠性,可以卷曲折叠,因而能制出面积大、长度长的制品,这样可以避免使用时衔接不好而影响传爆;由于具有一定的柔软性,也可以很便利地贴附在凹凸不平的物件上进行爆破作业;甚至可以做成薄片装订成册;还可以染色进行伪装,以假乱真避开敌人耳目。因而,其应用非常广泛^[2]。

挠性炸药研究是在 20 世纪 50 年代发展起来的^[3],由于硅橡胶具有吸附性能高、热稳定性好、化学性质稳定、有较高的机械强度等优点,已被广泛用于生产。如 LANL 试验室研制的 XTX-8003 炸药,是以太安为爆炸组分,以硅酮橡胶为黏结剂,其配方为太安/硅酮橡胶=80/20(质量比);中物院研制的 GI-920 炸药,其中太安与 RTV-133 的质量比为 80/20,其改进配方:太安/MSR-55=76/24(质量比)^[4];毛金生等人^[5]研制出的一种挠性混合炸药,也是以 PETN 为主体炸药,单一室温硫化甲基硅橡胶为黏结剂。

对于片状橡胶炸药,在金属爆炸加工工艺方面有突出应用。陈富勇等人研究的 SEP-3^[6]塑板片炸药,是一种临界厚度 3 mm,以 RDX 和用 C₁₂H₁₀、C₁₄H₁₈O、MO 配制的黏结剂为主要成分的混合片状

炸药,已充分应用于高猛钢爆炸硬化技术^[7];陈维波^[8]对塑料板状炸药配方、工艺、性能及敏感度等都进行了比较详细的论述,提出可稳定爆轰的药片厚度在 3 mm 以上;安二峰等人^[9]研究的用于爆炸硬化的片状高聚物黏结塑性炸药,其能可靠传爆的药片厚度控制在 2 mm 以上。国外,对于片状炸药的研究也颇多,其中,Joseph^[10]等人研究的低易损性片状炸药,是以 RDX/TATB 为基、HTPB 为黏结剂的混合炸药,其中控制药片厚度为 5 mm,进行了冲击波感度测试;Mukundan^[11]等人研究的以 3-硝基-1,2,4-唑-5-酮为基的低易损片状炸药,其药片厚度控制在 5 mm 以上,并进行了相关性能测试。

目前急需一种厚度在 1 mm 以下的超薄药片,以达到高过载、低成本的目的。另外,一些特殊的平面波发生器对于片状炸药的厚度要求也越来越小。基于此目的,本研究率先将高温硫化硅橡胶与室温硫化硅橡胶混合使用,以太安为主体炸药,开展薄片状橡胶炸药的制备研究。

1 试验部分

1.1 试剂与仪器

药品:太安(简称 PETN),粒度 10~20 μm(自制),中物院提供;高温硫化硅橡胶(简称 HTV)、室温硫化硅橡胶(简称 RTV)、过氧化双(2,4-二氯苯甲酰)(简称双二四),深圳市佳海鑫硅橡胶有限公司;甲苯、乙酰柠檬酸三丁酯(简称 ATBC),分析纯,天津市东丽区天大化学剂厂;四乙氧基硅烷,分析

* 收稿日期:2013-09-22

作者简介:刘瑶(1988~),女,硕士研究生,主要从事橡胶炸药配方设计及制备的研究。E-mail:zhdxly0123@163.com

通信简介:王建华(1977~),女,副教授,主要从事含能材料改性测试研究。E-mail:wjh522996@sohu.com

纯,磐石市大田化工助剂研究所。

仪器:普通型家用压面机;WL-1 型落锤仪;摆式摩擦仪;2BS-10A 100MHz 十段智能爆速测量仪,南京理工大学民用爆破器材研究所。

1.2 试验研究方案

橡胶炸药制备的工艺流程图如图 1 所示。

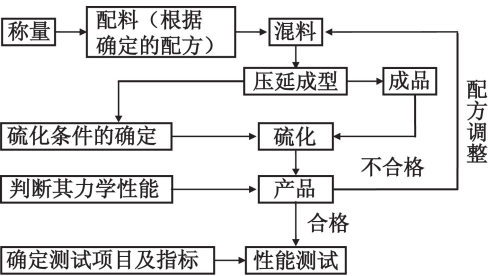


图 1 橡胶炸药制备的工艺流程图

Fig. 1 Process chart of rubber explosive preparation

由于高温硫化硅橡胶是固体,需要溶剂进行溶解。在众多可溶解的溶剂中,综合挥发性、毒性、成本以及膏体状硫化剂过氧化双(2,4-二氯苯甲酰)的溶解特性,选用甲苯作为溶剂。同时,溶剂甲苯的加入,可保证太安在与硅橡胶混合时分散均匀,并且使混合过程采用湿混方式,降低了混药的危险性。

根据已选配方,确定各组分的量,并进行称量,先将高温硫化硅橡胶溶于甲苯中,加入适量硫化剂双二四,溶解完毕,加入太安,搅拌混合,然后加入液态室温硫化硅橡胶,充分搅拌成黏稠液状,最后加入适量的四乙氧基硅烷。随着不断搅拌,混合炸药中的室温硫化硅橡胶与硫化剂四乙氧基硅烷逐渐发生交联化学反应,甲苯也不断挥发,混药钵内的流体变得越来越黏稠,最后成面团状。接着在压面机上进行压延,为提高混药的均匀性,经多次压延,调整压面机两辊之间的距离,控制药片厚度为 0.6 mm,最后得到满足要求的混合药片。

药片的硫化是关键,使用的是两种硅橡胶,硫化过程分两段硫化:一段温度控制在 45 ℃,硫化时间 30 min,二段硫化温度控制在 90 ℃,硫化时间 2 h。一段硫化时,室温硫化硅橡胶即可完全硫化,使硅氧键形成网状结构,使整个药片初步成为一个整体;二段硫化,即高温硫化阶段,高温硫化硅橡胶完全硫化,也使未硫化的室温硫化硅橡胶完全硫化,药片变软,塑性增加。

1.3 配方的确定

本配方经过数十次试验,其中典型的 4 次试验如表 1 所示。总质量 10 g,不计忽略成分,试验外加硫化剂双二四和四乙氧基硅烷。

表 1 试验配方

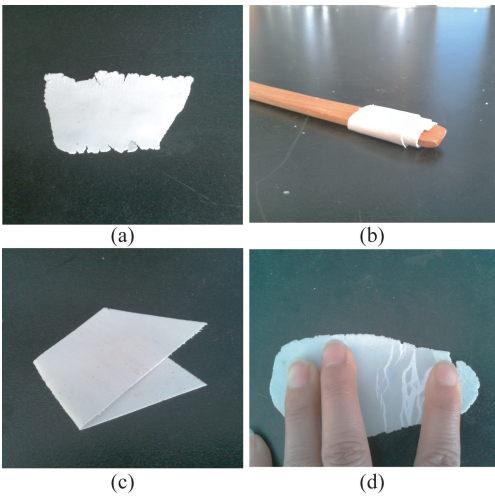
Tab. 1 Experiment formulas

配方	PETN	HTV	RTV	%	
				ATBC	
1	85	10.0	5.0	—	
2	85	9.0	6.0	—	
3	83	10.2	6.8	—	
4	80	10.8	7.2	2	

1.3.1 综合外观

以高温硫化硅橡胶为黏结剂的混合炸药比较松散,装药密度的均匀性难以控制,但其可压制成片状,再进行片状装药;而以室温硫化硅橡胶为黏结剂的混合炸药未固化时呈面团状,在适度压力作用下具有一定的流动性,但做成药片整体偏软,强度不够,不利于使用。

本研究结合二者优点,将其混合使用。配方 1 黏合的过程中较干,但不影响成型,经压延、硫化后得到的成品表面光滑,可弯曲,但不可折叠,周边成花瓣状,整体效果差,如图 2(a)所示;配方 2 调整两种胶比例,得到成品表面光滑,密度均匀,可弯曲折叠,有一定强度及韧性,整体效果较佳,如图 2(b)、(c)所示;配方 3 由于胶质量分数的增加,得到的成品表面光滑,韧性增加,可弯曲折叠,整体效果良好,其外观与配方 2 相近;配方 4 由于增塑剂乙酰柠檬酸三丁酯的加入,拉伸率明显增加,但药片整体偏软,强度较差,撕裂的过程中会出现橡胶与炸药不同步延伸现象,如图 2(d)所示。



(a) 配方 1; (b)、(c) 配方 2; (d) 配方 4

图 2 部分样品形态

Fig. 2 Morphology of some samples

几种配方相比较,橡胶质量分数的增加,有利于力学性能的增加;其中,表观性能较佳的是配方 2 和

配方 3。配方 1 和配方 2 相比较,炸药质量分数相同,只是两种硅橡胶质量比不同,但表观性能差别很大,当高温硫化硅橡胶与室温硫化硅橡胶的质量比接近 3 : 2 时,效果最佳。

1.3.2 拉伸性能

在两种硅橡胶配比确定的前提下,本研究还额外做了炸药质量分数从 80% ~ 89% 时几种典型配方的拉伸性能测试,具体结果见表 2 所示,试验过程如图 3 所示。

表 2 几种配方的拉伸性能

Tab. 2 Tensile properties of several formulas

拉伸性能	炸药质量分数/%			
	83	85	86	88
拉伸强度/Mpa	0.54	0.52	0.32	0.13
伸长率/%	53.2	35.0	18.6	8.6



图 3 拉伸性能测试试验过程图

Fig. 3 Experimental process of tensile performance test

表 2 结果表明,随着炸药质量分数的递增,混药难度增加,成品力学性能降低。其中,当炸药质量分数达到 86%,试样表面开始不光滑,周边花瓣较大,拉伸性能及挠曲性降低;当炸药质量分数达到 88% 时,混合炸药整体偏干、发脆,韧性较低,不可弯曲折叠;当炸药质量分数为 89% 时,已无法成型;当炸药质量分数小于 86% 时,成品整体效果均良好,韧性、挠曲性、以及拉伸性能都较佳。

从表 2 数据还可以看出,几种配方拉伸性能远大于中物院研究的挠性炸药^[12-13](其伸长率都在百分之几)。其中,拉伸性能最佳的是炸药质量分数为 83% 的配方,其伸长率达到了 53.2%;当炸药质量分数为 85% 时,其伸长率为 35.0%,完全满足应用要求。

此外,试验还对几种配方进行了传爆性能测试,结果表明,当炸药质量分数小于 85% 时,在传播过程中容易熄爆。

最后综合外观、力学性能以及传爆性能,确定最佳配方为配方 2,即太安 : 高温硫化硅橡胶 : 室温

硫化硅橡胶 = 85 : 9 : 6,并额外加入硫化剂双二四和四乙氧基硅烷,其中,双二四的加入量为高温硫化硅橡胶的 1.4%,四乙氧基硅烷的加入量为室温硫化硅橡胶的 5%。

1.4 性能测试

1.4.1 撞击感度性能测试

撞击感度表示炸药受到机械撞击时发生爆炸的难易程度。撞击感度参照 GJB772A—97 进行测试,应用 WL-1 型落锤仪,落锤质量为 (10 ± 0.01) kg,落高为 25 cm,每发药量为 50 mg。研究得到的是片状炸药,出于符合实际情况考虑,取样的时候仍采用片状,试样厚 0.6 mm,密度 1.50 g/cm^3 ,用裁刀选取 $\varnothing 8 \text{ mm}$ 的圆片。结果发生爆炸的试样数 $n = 8$,所以爆炸百分数 $= 8/25 \times 100\% = 32\%$ 。

试验采用 PETN 为主体炸药,对于 PETN,其机械感度和热感度都较高,因此美军标 MIL-STD-1316C 中限制了 PETN 的使用范围,由于试验中加入了较高比例的惰性黏结剂,使其机械感度及热感度均降低,进而其应用范围有所扩大。试验所得橡胶炸药撞击感度为 32%,与骆兵^[14]等人研究的以 RDX 为基的挠性炸药(撞击感度为 24%)相比,两者撞击感度相近;而与黄亨建^[12]等人研究的一种以 PETN 为基,撞击感度为 $(90 \pm 8)\%$ 的低比冲量片状挠性炸药相比,其感度较小;基于目前 0.6 mm 以下的薄片炸药的应用要求,试验所得橡胶炸药的感度在可接受的范围内。

1.4.2 摩擦感度性能测试

采用摆式摩擦仪按照 GJB772A—97 标准进行测试,条件为摆角 $(80 \pm 1)^\circ$ 、表压为 (2.45 ± 0.01) MPa,每发试验药量为 (20 ± 1) mg,受到摩擦作用时,伴有爆炸声、发光、冒烟、试样变色、与试样接触的滑柱面有烧灼痕迹、分解等现象判为爆炸。取样仍采用片状,选取 $\varnothing 6 \text{ mm}$ 的圆片。结果发生爆炸的试样数 $n = 9$,所以爆炸百分数 $= 9/25 \times 100\% = 36\%$,即得到该橡胶炸药的摩擦感度为 36%。

摩擦感度是指炸药在摩擦力作用下,发生燃烧或爆炸的难易程度,是检验炸药能否应用于生产与科研的重要指标,试验所得橡胶炸药摩擦感度为 36%,与常见橡胶炸药摩擦感度的对比如表 3 所示。从表 3 中可以看出,试验所得橡胶炸药摩擦感度相对较低,可完全满足当前应用要求。

1.4.3 临界厚度的测试

对于片状炸药临界厚度的测试,采用 45# 钢板,得到不同厚度的台阶式沟槽,如图 4 所示。硫化前将混合药体填入沟槽中,硫化后可得到不同厚度的

表 3 摩擦感度的对比
Tab.3 Contrast of the friction sensitivity

配方	PETN/HTV/RTV	RDX/聚异丁烯 /凡士林	RDX/天然橡胶/ 硫磺/氧化锌等	PETN/有机硅 模具胶等	PETN/聚氨酯 /硅橡胶
摩擦感度	36	84 ^[15]	60 ^[15]	36 ^[13]	60

药片,然后经最厚端起爆。共做了 3 组试验。结果表明每组试验在 0.4 mm 时可以稳定传爆,0.2 mm 时都不爆,0.3 mm 时不稳定,所以最终测得能够可靠传爆的药片厚度为 0.4 mm。

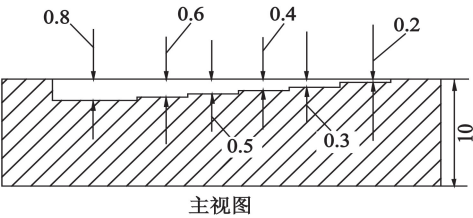


图 4 钢板主视图的全剖面(单位:mm)

Fig.4 All- sectional view of the steel plate(unit :mm)

目前,国内所进行的片状橡胶炸药研究,其临界厚度都相对较大,其中已应用于金属爆炸硬化方面的橡塑板片炸药^[6-9],其临界厚度都在 2 mm 以上。中物院袁启纯等人^[13]研究的挠性炸药其临界厚度为 0.3 mm;黄亨建等人^[12]研究的低比冲量片状挠性炸药,其临界可靠传爆厚度为 0.38 mm;挠性炸药一般用于爆炸逻辑网络,而国内对于爆炸逻辑网络用药的技术要求,除对爆速以及应用安全等各方面的要求以外,临界尺寸一般小于等于 0.5 mm×0.5 mm。试验所得橡胶炸药临界可靠传爆厚度为 0.4 mm,完全满足当前国内对薄片状炸药临界厚度的要求。

1.4.4 爆速的测定

根据 GJB 77A—97 方法 702.1,采用爆速仪测定其爆速。试验装置如图 5 所示。采用 8 号雷管直接起爆,当爆轰波沿着药片各点时,由于爆轰波阵面的电离导电特性,使本来相互绝缘的各探针依次通电,并使相应的电容器一次放电,从而把产生的脉冲信号先后传给爆速仪进行记录。爆炸后基板上可靠传爆的效果图如图 6。

基于平面波发生器对于薄片橡胶炸药的应用要求,最终药片厚度控制在 0.6 mm 以下,当密度为 1.50 g/cm³ 时,该橡胶炸药的爆速为 6850 m/s。目前薄片状炸药主要应用于金属爆炸加工及平面波发生器,其爆速应用范围为 5000 ~ 7000 m/s,所以试验所得橡胶炸药爆速完全满足当前薄片炸药领域对



图 5 爆炸前试验装置图

Fig.5 The device before explosion experiment



图 6 爆炸基板上可靠传爆效果图

Fig.6 Effect of reliable detonation on explosive substrate

炸药爆速的要求。试验过程中发现,装药密度对爆速的影响非常大,其中厚 0.5 mm 的药片,装药密度为 1.28 g/cm³ 时,其爆速只有 6000 m/s,从而得知试验中除增加炸药质量分数外,可以提高装药密度来达到提高爆速的目的。

2 结论

- 1) 通过多次试验,得到表面光滑、密度均匀、可弯折折叠、韧性较佳、有一定强度、临界厚度为 0.4 mm 的薄片橡胶炸药,其配方为太安:高温硫化硅橡胶:室温硫化硅橡胶=85:9:6,并额外加入硫化剂过氧化双(2,4-二氯苯甲酰)和四乙氧基硅烷。
- 2) 通过试验确定制备橡胶炸药的工艺及条件。工艺:混药→压延→硫化→性能测试;条件:硫化分两段,一段硫化温度为 45 ℃,硫化时间 30 min;二段硫化温度为 90 ℃,硫化时间 2 h。
- 3) 该橡胶炸药撞击感度爆炸百分数为 32%,摩擦感度爆炸百分数为 36%;药片厚 0.6 mm,密度 1.50 g/cm³ 时爆速达到 6850 m/s。

参 考 文 献

- [1] 陆明. 炸药的分子配方与设计[M]. 兵器工业出版社, 2004.
- [2] 姚振刚, 徐世帅. 能弯曲折叠的橡胶炸药[J]. 科技大观园, 2003(3): 41.
- [3] 孔国祥. 高分子混合炸药[M]. 北京: 国防工业出版社, 1985.
- [4] 黄薇, 黄亨建, 袁启纯, 等. 大面积炸药网络装药性能研究[J]. 含能材料, 2005, 13(增刊): 7-9.
Huang Wei, Huang Hengjian, Yuan Qichun, et al. Properties of explosive charging for large area logic net work [J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2005, 13 (zl): 7-9.
- [5] 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.
- [6] 陈勇富. SEP-3 橡塑板片炸药[J]. 矿冶工程, 1994, 14(2): 8-13.
- [7] 陈勇富, 洪有秋. 高锰钢爆炸硬化机理·炸药·应用[J]. 海南矿冶, 1994(3): 20-24.
- [8] 陈维波. 塑料板状炸药[J]. 爆炸与冲击, 1984, 4(3): 65-70.
- [9] 安二峰, 陈鹏万, 杨军. 一种爆炸硬化用高聚物黏结塑性炸药及应用研究[J]. 含能材料, 2008, 16(6): 734-737.
An Er'feng, Chen Pengwan, Yang Jun. Application study on a polymer bonded plastic explosive after explosion hardening[J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2008, 16(6): 734-737.
- [10] Joseph M D, Jangid S K, Satpute R S, et. al. Studies on advanced RDX/TATB based low vulnerable sheet explosives with HTPB binder[J]. Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 2009, 34(4): 326-330.
- [11] Mukundan T, Nair J K, Purandare G N, et. al. Low vulnerable sheet explosive based on 3-nitro-1,2,4-triazol-5-one[J]. Journal of Propulsion and Power, 2006, 22(6): 1348-1352.
- [12] 黄亨建, 张明, 韩超, 等. 一种低比冲量片状挠性炸药[C]//中国工程物理研究院科技年报. 2003: 363.
- [13] 袁启纯. 一种挠性炸药配方及性能研究[C]//新世纪, 新机遇, 新挑战: 知识创新和高新技术产业发展. 北京: 中国科学技术年会, 2001: 447.
- [14] 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.
- [15] 第五机械工业部第二〇四研究所. 火炸药手册[M]. 1981.

Preparation and Performance Study of Thin Rubber Explosive

LIU Yao, WANG Jianhua, LIU Yucun, YUAN Junming, CHANG Shuangjun

College of Chemical Engineering and Environment, North University of China (Shanxi Taiyuan, 030051)

[ABSTRACT] Based on excellent properties and extensive use of rubber explosives, in this study, HTV (high temperature vulcanization) silicone rubber and RTV (room temperature vulcanization) silicone rubber were mixed as the adhesive of rubber explosive. A sheet rubber explosive which could be initiated reliably and detonated stably was prepared through studying the ratio of ingredients and preparation process. The critical thickness of the sheet rubber explosive for stable booster was 0.4 mm, and its formula was 85% PETN, 9% HTV silicone rubber and 6% RTV silicone rubber, in which 2,4-dichlorobenzoyl peroxide and tetraethoxysilane were added additionally. Mechanical sensitivity and detonation velocity of the rubber explosive were also measured. The results show that its impact sensitivity is 32% and the friction sensitivity is 36%. The detonation velocity of the rubber explosive reaches 6850 m/s at the tablet thickness of 0.6 mm and the density of 1.50 g/cm³.

[KEY WORDS] thin rubber explosive; preparation technology; mechanical sensitivity; critical thickness; detonation velocity

声 明

1、本刊对发表的文章拥有出版电子版、网络版版权, 并拥有与其他网站交换信息的权利。本刊支付的稿酬已包含以上费用。

2、本刊文章版权所有, 未经书面许可, 不得以任何形式转载。

《爆破器材》编辑部