

文章编号:1006-9941(2021)03-0228-06

## 37孔硝基胍发射药单一装药和混合装药的燃烧性能

蒋帅<sup>1</sup>,刘琼<sup>2</sup>,南风强<sup>1</sup>,尹记红<sup>1</sup>,堵平<sup>1</sup>

(1.南京理工大学特种能源材料教育部重点实验室,江苏南京210094;2.辽宁庆阳特种化工有限公司,辽宁辽阳111002)

**摘要:** 为了解37孔硝基胍发射药单一装药和混合装药的定容燃烧性能,采用花边形37孔三胍-15发射药为主装药(MC),花边形19孔三胍-15包覆药为辅助装药(B)。通过定容密闭爆发器实验,装填密度为 $0.20\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ,在高温( $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ )、常温( $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ )、低温( $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ )条件下,研究弧厚对单一主装药燃烧性能的影响以及混合比例对混合装药(MC+B)燃烧性能的影响。结果表明,随温度降低,37孔单一主装药侵蚀燃烧现象越明显,燃烧渐增性越弱,而相同温度下,弧厚越大的主装药,其侵蚀燃烧现象越不明显,燃烧渐增性越强;温度越高,同一混合比例的混合装药 $\Delta L$ 、 $L_m/L_0$ 值越大,燃烧渐增性越好;相同温度下,混合装药的燃烧渐增性均强于单一主装药,且随着包覆药比例增加,侵蚀燃烧峰逐渐减小,说明包覆药的加入明显地提高了混合装药的渐增性并降低了侵蚀燃烧峰,且在 $50, 20, -40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下,混合装药获得较佳燃烧渐增性的混合比例均为7:3。

**关键词:** 37孔硝基胍发射药;单一装药;混合装药;侵蚀燃烧;燃烧渐增性

中图分类号: Tj55

文献标志码: A

DOI:10.11943/CJEM2020252

### 1 引言

在载荷和结构一定的前提下,为了使火炮的初速更高、射程更远,就必须提高发射药的能量,主要技术途径就是采用高能发射药和高装填密度装药来提高发射药的能量<sup>[1]</sup>。但随着装填密度的提高,火炮最大膛压亦相应地增加,因此,为确保最大膛压未超过火炮能够承受的最大范围,必须进一步提高发射装药的燃烧渐增性<sup>[2-3]</sup>。

如果发射装药在燃烧时,燃气生成量会随着燃烧时间的增长而增加,那么其燃烧就被称为渐增性燃烧。为了提高发射装药的燃烧渐增性,国内外学者陆续提出了很多不同的技术,比如钝感技术、多孔发射药、包覆发射药、混合装药等<sup>[4-6]</sup>。目前,世界上有报道的具有实用价值的超多孔发射药是37孔。杨春海等<sup>[7]</sup>为降低低温感装药中37孔硝基胍

发射药(主装药)减面燃烧的副作用,使用一种具有较大表面张力的环氧树脂复合材料为阻燃材料,采用涂刷法对37孔硝基胍发射药的端面进行不堵孔包覆,结果表明,该技术明显提高了37孔硝基胍发射药的燃烧渐增性。张丽娜<sup>[8]</sup>为进一步提高37孔硝基胍发射药的燃烧渐增性,选用二氧化钛作为阻燃剂,采用双层包覆工艺对37孔硝基胍发射药进行包覆,结果表明,内、外包覆层含量均为5%时包覆药的燃烧渐增性最好,相对于未包覆的37孔硝基胍发射药,其燃烧增面值提高了43.53%。

混合装药属于燃面和燃速结合的渐增性装药技术,同时拥有包覆发射药和未包覆发射药的优点<sup>[9-10]</sup>。由于包覆多孔粒状药具有比多孔粒状药更高的燃烧渐增性,若采用二者以不同质量比组合而成的混合装药,不仅可以提高装填密度,亦可进一步提高发射装药的燃烧渐增性,还能降低装药的弹道温度系数,起到低温感效果;此外,还可以通过调节二者的混合比例,使得渐增性得到进一步提高。大口径火炮装药一般采用大弧厚大粒多孔药为主装药,通过混合一定比例的小粒包覆多孔药来增加装药的燃烧渐增性<sup>[11]</sup>。韩博<sup>[12]</sup>将大弧厚37孔硝基胍发射药与19孔不均等大弧厚硝基胍包覆药以一定混合质量比例组成混合装药,有效地

收稿日期:2020-09-07;修回日期:2020-11-06

网络出版日期:2020-12-25

作者简介:蒋帅(1996-),男,硕士研究生,主要从事发射药性能研究。e-mail:2728503840@qq.com

通信联系人:堵平(1969-),男,研究员,主要从事发射药及装药研究。e-mail:dp1314@163.com

引用本文:蒋帅,刘琼,南风强,等.37孔硝基胍发射药单一装药和混合装药的燃烧性能[J].含能材料,2021,29(3):228-233.

JIANG Shuai, LIU Qiong, NAN Feng-qiang, et al. Combustion Performance of Single Charge and Mixed Charge of 37-hole Nitroguanidine Propellant[J]. Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao), 2021, 29(3):228-233.

提升了火炮初速和射程。

目前,尚未见国内外相关文献报道不同弧厚的37孔硝基胍发射药的燃烧性能及其与19孔硝基胍包覆药以不同混合比例组合而成的混合装药的燃烧性能研究。根据某新型装药要求,本工作选用花边形37孔粒状三胍-15发射药为主装药(MC)、花边形19孔粒状三胍-15包覆药为辅助装药(B),通过定容密闭爆发器实验,装填密度为 $0.20\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ,在高温( $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ )、常温( $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ )、低温( $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ )条件下,研究弧厚对单一MC燃烧性能的影响以及混合比例对混合装药(MC+B)燃烧性能的影响,为以后的火炮装药设计提供基础。

## 2 实验部分

### 2.1 试剂与仪器

三胍-15吸收药片,辽宁庆阳特种化工有限公司;棒状硝基胍,辽宁庆阳特种化工有限公司;丙酮(AR),乙醇(AR),硫酸钾(AR),南京化学试剂股份有限公司; $\text{TiO}_2$ (99.8% 100 nm 锐钛矿型),上海阿拉丁生化科技股份有限公司。

HIROXKH-1000型三维视频显微镜,美国科视达(中国)有限公司;超大屏电子数显卡尺,量程 $0\sim 200\text{ mm}$ ,上海恒量量具有限公司;JB-90D型数显恒数搅拌机,湖南力辰科技有限公司;转鼓包覆锅,泰州市黎明制药机械有限公司;AHX安全型水浴烘箱,南京理工大学机电厂;QHL-1P-D型程式高低温试验(防爆)箱,上海奇珊电子科技有限公司。

### 2.2 发射药样品制备

按照三胍-15多孔发射药的配方<sup>[12]</sup>,经原料预处理、胶化捏合、压伸、切药、烘干等发射药制备工序制得21/37H、23/37H、25/37H、27/37H、23/19H三胍-15发射药,然后采用双层包覆工艺对23/19H发射药表面用含 $\text{TiO}_2$ 的阻燃材料进行包覆处理,制得23/19HB11包覆药,其中包覆层质量百分数为11%,包覆层中 $\text{TiO}_2$ 含量为30%。

花边37孔发射药三维结构示意图如图1所示,每种发射药挑选25粒,利用三维视频显微镜、电子数显卡尺测量药粒尺寸。

其中弧厚 $2e_1$ 指相邻两内孔邻近外弧之间的水平距离,长度 $l$ 指药粒的长度,孔径 $d$ 指内孔的直径,外径 $D$ 指7个内孔所在中心线最外侧两外弧之间的水平距离,测量结果取平均值,见表1。

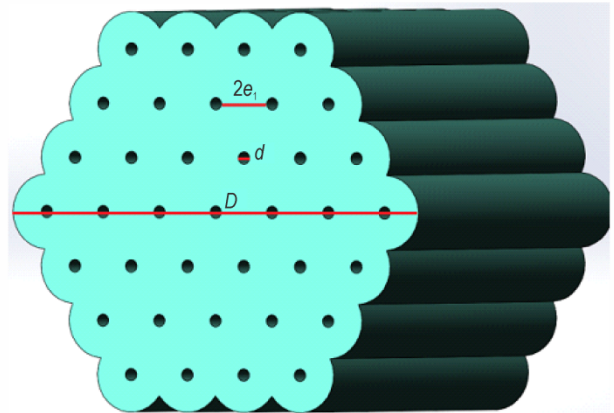


图1 花边37孔发射药三维结构示意图

Fig.1 The schematic diagram of three-dimensional structure of lace-shaped 37-hole propellant

表1 4种37孔硝基胍发射药和一种19孔硝基胍包覆药的药粒尺寸

Table 1 Particle size of four 37-hole nitroguanidine propellants and one 19-hole nitroguanidine coated propellants

samples	$l/\text{mm}$	$D/\text{mm}$	$d/\text{mm}$	$2e_1/\text{mm}$
21/37H	23.17	21.06	0.61	2.11
23/37H	25.35	23.04	0.63	2.30
25/37H	27.65	25.14	0.65	2.52
27/37H	28.90	26.28	0.65	2.69
23/19HB11	18.17	16.52	0.48	2.30

### 2.3 定容密闭爆发器实验

按照GJB 770B-2005火药试验方法703.1,实验温度为高温( $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ )、常温( $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ )、低温( $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ),实验前将待测试样品在高低温试验箱内保温8 h以上。密闭爆发器本体容积为 $700.00\text{ cm}^3$ ,装填密度为 $0.20\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ,点火药为 $(7\pm 0.001)\text{ g}$ 的2#硝化棉,点火压力为 $10.16\text{ MPa}$ 。

将实验所测得的压力-时间( $p-t$ )曲线进行处理后可得到动态燃烧活度-燃烧相对压力( $L-B$ )曲线:

$$L = \frac{1}{p \cdot p_m} \frac{dp}{dt}; B = p/p_m \quad (1)$$

式中, $p$ 为密闭爆发器实验压力,MPa; $L$ 为动态燃烧活度, $\text{MPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ; $p_m$ 为实验最大压力,MPa; $B$ 为燃烧相对压力。

## 3 结果与讨论

### 3.1 不同弧厚单一主装药的定容燃烧结果

在高温( $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ )、常温( $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ )、低温( $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ )下,21/37H、23/37H、25/37H、27/37H单一主装药定容燃烧的压力-时间( $p-t$ )曲线、动态燃烧活度-燃烧相对压力( $L-B$ )曲线如图2所示。

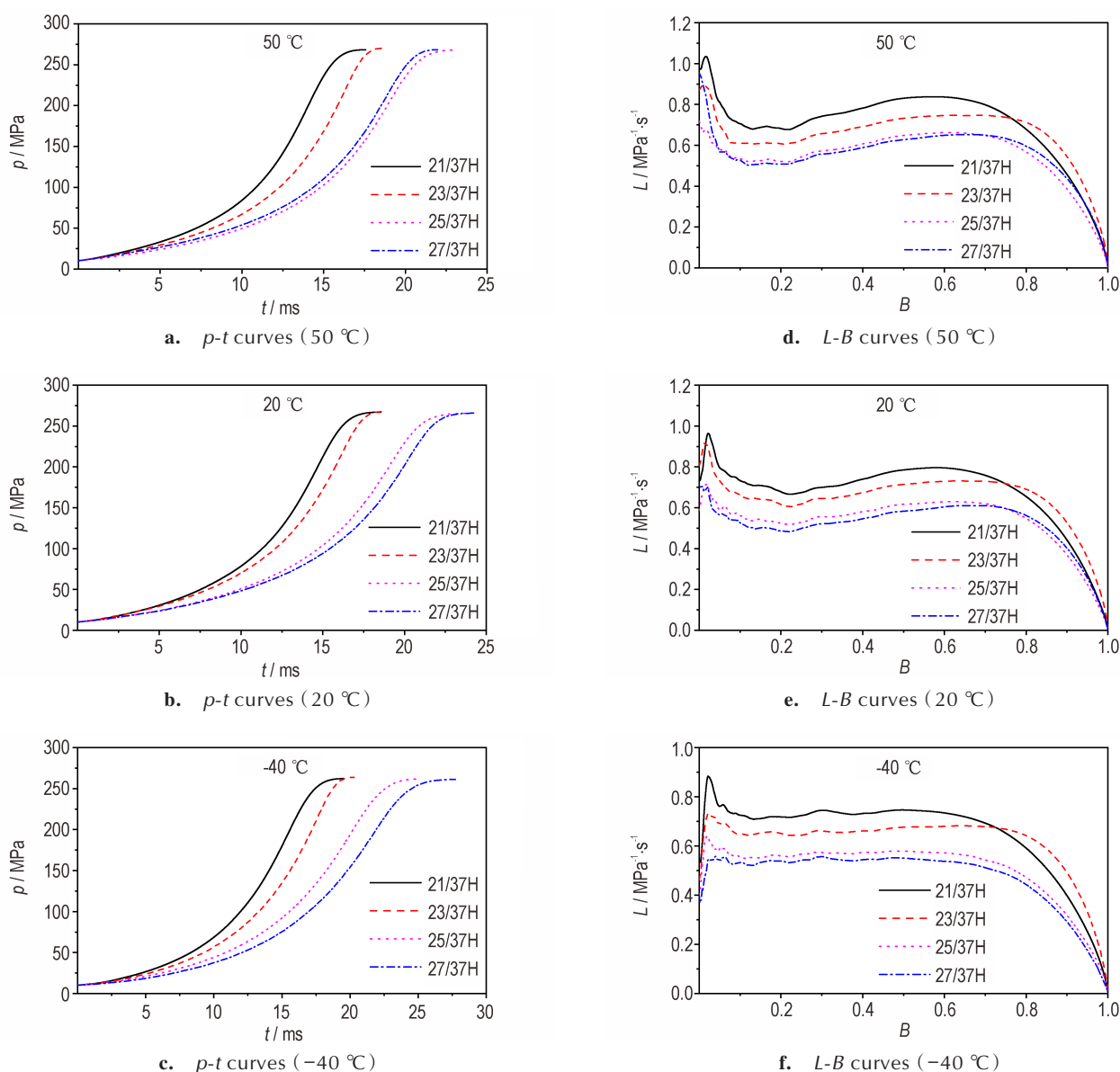


图2 3种温度下单一主装药的 $p-t$ 和 $L-B$ 曲线

Fig.2 The  $p-t$  and  $L-B$  curves of single main charge at three temperatures

由图2a、图2b、图2c可以得出3种温度下4种不同弧厚单一主装药的燃烧时间,结果见表2。

由表2可以看出,温度越高,同一弧厚37孔硝基胍发射药的燃烧时间越短,符合火药燃速随温度下降而降低的规律。在相同温度条件下,不同弧厚发射药的 $p-t$ 曲线之间有明显差距,弧厚越大的37孔硝基胍发射药,燃烧时间越长,说明火药燃速随弧厚增加而降低。

由图2d、图2e、图2f可以看出,单一主装药的燃烧活度先快速上升,出现了燃烧尖峰,随着燃烧的进行,活度变化表现为先下降后上升,表明发射药燃烧初

表2 3种温度下4种不同弧厚单一主装药的燃烧时间

Table 2 Burning times of single main charge with four different arc thickness at three temperatures

samples	$t / \text{ms}$		
	50 °C	20 °C	-40 °C
21/37H	17.567	18.546	19.540
23/37H	18.649	18.656	20.320
25/37H	23.143	23.867	24.965
27/37H	23.991	24.428	27.749

期发生了明显的侵蚀燃烧现象<sup>[13]</sup>;随温度降低,同一弧厚发射药起始燃烧活度越小,侵蚀燃烧现象越明显, $L-B$ 曲线的变化趋势越平缓。在相同温度条件下,不

同弧厚发射药的  $L-B$  曲线之间有明显差距,弧厚越大的 37 孔硝基胍发射药,其  $L-B$  曲线越低,起始燃烧活度越小,侵蚀燃烧现象越不明显。

药粒燃烧增面性 ( $\Delta L$ ) 和渐增性燃烧特征值 ( $L_m/L_0$ ) 可以作为判定发射药燃烧渐增性强弱的依据,即  $\Delta L$  和  $L_m/L_0$  值越大,燃烧渐增性就越强<sup>[14]</sup>。不同弧厚的 37 孔单一主装药在高、常、低温下的燃烧渐增性特征点见表 3。

表 3 21/37H、23/37H、25/37H、27/37H 发射药的燃烧渐增性特征点

Table 3 Characteristic points of combustion increase of 21/37H, 23/37H, 25/37H, 27/37H propellants

$T/^\circ\text{C}$	samples	$L_0$ / $\text{MPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$	$(B_m, L_m)$	$\Delta L$ / $\text{MPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$	$L_m/L_0$
50	21/37H	0.7055	(0.5769, 0.8378)	0.1323	1.1875
	23/37H	0.6093	(0.6290, 0.7463)	0.1370	1.2248
	25/37H	0.5259	(0.6194, 0.6637)	0.1378	1.2620
	27/37H	0.5098	(0.6505, 0.6529)	0.1431	1.2806
20	21/37H	0.7080	(0.5846, 0.7960)	0.0880	1.1242
	23/37H	0.6413	(0.6441, 0.7306)	0.0893	1.1392
	25/37H	0.5395	(0.6315, 0.6297)	0.0902	1.1671
	27/37H	0.5030	(0.6651, 0.6105)	0.1075	1.2137
-40	21/37H	0.7162	(0.4940, 0.7465)	0.0303	1.0423
	23/37H	0.6507	(0.6368, 0.6825)	0.0318	1.0489
	25/37H	0.5546	(0.4939, 0.5872)	0.0326	1.0588
	27/37H	0.5312	(0.4752, 0.5646)	0.0334	1.0629

Note:  $B$  is the relative pressure.  $L_0$  is the average value of  $L$  between  $B=0.1$  to  $B=0.2$ .  $(B_m, L_m)$  is the coordinates of the split point.  $L_m/L_0$  is the characteristic value of progressive combustion.  $\Delta L$  is the combustion enhancement value,  $\Delta L=L_m-L_0$ .

从表 3 和图 2 可以看出,温度越高,任一弧厚单一主装药的  $\Delta L$ 、 $L_m/L_0$  都越大,燃烧渐增性越强。在相同温度条件下,弧厚越大的单一主装药,其  $\Delta L$ 、 $L_m/L_0$  都越大,燃烧渐增性越强。

### 3.2 不同混合比例的混合装药定容燃烧结果

在高温 ( $50^\circ\text{C}$ )、常温 ( $20^\circ\text{C}$ )、低温 ( $-40^\circ\text{C}$ ) 下, 23/37H 单一主装药 (MC:  $B=10:0$ )、23/37H+23/19HB11 混合装药 (MC:  $B=8:2$ 、 $7:3$ )、23/19HB 单一包覆药 (MC:  $B=0:10$ ) 定容燃烧的  $L-B$  曲线如图 3 所示。

由图 3 可以看出,相同温度下,混合装药的起始燃烧活度比单一包覆药大,随着主装药比例的增加,起始燃烧活度变大,单一主装药的  $L-B$  曲线在起始阶段出现了明显的侵蚀燃烧峰,加入包覆药组成混合装药后,侵蚀燃烧峰明显减小,这是因为包覆药的包覆层表面

阻燃,降低了包覆药起始燃速,又由于包覆层的堵孔作用,初期内孔不燃烧,消除了起始侵蚀燃烧现象。随着混合装药中包覆药的比例增加,侵蚀燃烧峰逐渐减小,说明包覆药有明显降低起始侵蚀燃烧尖峰的效果。不同混合比例的 23/37H+23/19HB11 混合装药在高、常、低温下的燃烧渐增性特征点见表 4。

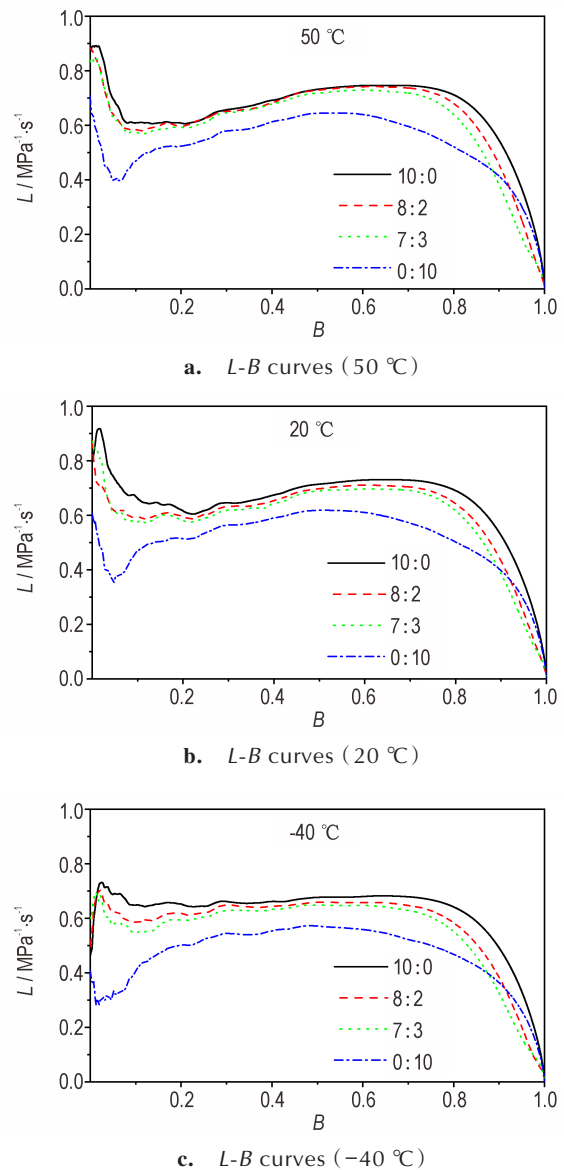


图 3 3 种温度下不同混合比例的混合装药的  $L-B$  曲线

Fig. 3  $L-B$  curves of mixed charges with different mixing mass ratios at three temperatures

由表 4 和图 3 可以看出,温度越高,相同混合比例的混合装药  $\Delta L$ 、 $L_m/L_0$  值越大,燃烧渐增性越好。相同温度下,混合装药燃烧渐增性均强于单一主装药,这是因为包覆药着火后,随着包覆层的破裂和逐渐燃尽,内



孔开始燃烧,燃面增大,从而明显地提高了混合装药的燃烧渐增性。

比较表4数据可知,高、常、低温下,与单一主装药(10:0)相比,混合装药(8:2)的 $\Delta L$ 、 $L_m/L_0$ 值分别提高8.76% $<$ 26.54% $<$ 83.65%, 2.15% $<$ 4.37% $<$ 4.60%,混合装药(7:3)的 $\Delta L$ 、 $L_m/L_0$ 值分别提高8.54% $<$ 22.40% $<$ 154.40%, 2.56% $<$ 4.13% $<$ 8.92%。表明:高、常温下,与单一主装药(10:0)相比,混合装药(8:2、7:3)的 $\Delta L$ 、 $L_m/L_0$ 值提高的幅度相差不大,但低

温下提高的幅度最大,这是因为低温下包覆药的包覆层强度较差<sup>[15]</sup>,在较小压力下就能破孔,比常、高温更早地参与燃烧,使渐增性提高得更多。

混合比例对混合装药燃烧渐增性产生影响,合适的混合比例是混合装药获得良好渐增性的保证,在装填密度为 $0.20\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 条件下,与混合装药(8:2)相比,高、常、低温下混合装药(7:3)的 $L_m/L_0$ 值分别提高0.40%、-0.24%和4.13%,因此,高、常、低温下,混合装药获得较佳燃烧渐增性的混合比例均为7:3。

表4 不同混合比例的23/37H+23/19HB11混合装药的燃烧渐增性特征点

Table 4 Characteristic points of combustion increment of 23/37H+23/19HB11 mixed charge with different mass ratios

$T/\text{°C}$	mixed mass ratios	$L_0/\text{MPa}\cdot\text{s}^{-1}$	$(B_m, L_m)$	$\Delta L/\text{MPa}\cdot\text{s}^{-1}$	$L_m/L_0$
50	10:0	0.6093	(0.6290, 0.7463)	0.1370	1.2248
	8:2	0.5935	(0.6182, 0.7425)	0.1490	1.2511
	7:3	0.5806	(0.5976, 0.7293)	0.1487	1.2561
	0:10	0.5062	(0.5534, 0.6451)	0.1389	1.2744
20	10:0	0.6413	(0.6441, 0.7306)	0.0893	1.1392
	8:2	0.5978	(0.6044, 0.7108)	0.1130	1.1890
	7:3	0.5869	(0.5997, 0.6962)	0.1093	1.1862
	0:10	0.4994	(0.5024, 0.6187)	0.1193	1.2389
-40	10:0	0.6507	(0.6368, 0.6825)	0.0318	1.0489
	8:2	0.6007	(0.5162, 0.6591)	0.0584	1.0972
	7:3	0.5679	(0.4996, 0.6488)	0.0809	1.1425
	0:10	0.4606	((0.4887, 0.5731)	0.1125	1.2442

## 4 结论

(1)在相同实验条件下,随温度降低,同一弧厚37孔单一主装药的侵蚀燃烧现象越明显,燃烧渐增性越弱;相同温度下,弧厚越大的37孔单一主装药,其侵蚀燃烧现象越不明显,燃烧渐增性越强。

(2)混合比例对混合装药的燃烧产生影响,在相同温度下,混合装药中的包覆药有明显降低起始侵蚀燃烧尖峰的效果,且随着包覆药的比例增加,侵蚀燃烧峰逐渐减小。

(3)包覆药的加入明显地提高了混合装药的渐增性,合适的混合比例是混合装药获得良好渐增性的保证。温度越高,同一混合比例的混合装药 $\Delta L$ 、 $L_m/L_0$ 值越大,燃烧渐增性越好;相同温度下,混合装药的燃烧渐增性均强于单一主装药,高、常、低温下,混合装药获得较佳燃烧渐增性的混合比例均为7:3。

### 参考文献:

[1] 王泽山,何卫东,徐复铭.火药装药设计原理与技术[M].北

京:北京理工大学出版社,2006:38-49.

WANG Ze-shan, HE Wei-dong, XU Fu-ming. The principle and technique for propellant charging design[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2006: 38-49.

[2] 饶立胜.高渐增性燃烧和高密度发射药研究[D].南京:南京理工大学,2007.

RAO Li-sheng. Research on high incremental combustion and high density propellant [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2007.

[3] Dahlberg J. Progressive propellant charge with high charge density: U.S. Patent 8 544 387[P]. 2013-10-01.

[4] Kubato N. Propellant and explosives [M]. Germany; 2002. ISBN: 3-527-30210-7.

[5] 赵强,刘波,王琼林,等.降低发射装药弹道温度系数技术的国内外研究进展[J].火炸药学报,2019,42(6):540-547.

ZHAO Qiang, LIU Bo, WANG Qiong-lin, et al. Research progress at home and abroad on the technology of reducing ballistic temperature coefficient of gun propellant charge [J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2019, 42(6): 540-547.

[6] 王泽山,史先杨.低温度感度发射装药[M].北京:国防工业出版社,2006.

WANG Ze-shan, SHI Xian-yang. Low temperature sensitivity propellant charge [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2006.

[7] 杨春海,何卫东,堵平.环氧树脂复合材料端面包覆多孔粒状发

- 射药的初步研究[J]. 含能材料, 2012, 20(2): 161-166.
- YANG Chun-hai, HE Wei-dong, DU Ping, et al. Preliminary study of multiperforated granular end-surface-coated propellant by epoxy resin composite materials[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2012, 20(2): 161-166.
- [8] 张丽娜, 王英博, 南风强, 等. 双层包覆对超多孔发射药燃烧性能的影响[J]. 含能材料, 2020, 28(6): 498-503.
- ZHANG Li-na, WANG Ying-bo, NAN Feng-qiang, et al. Effect of double-layer coating on combustion performance of super-porous propellant[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2020, 28(6): 498-503.
- [9] 徐前, 何卫东. 横切棒状和包覆粒状发射药混合装药定容燃烧性能[J]. 含能材料, 2017, 25(1): 39-43.
- XU Qian, HE Wei-dong. Constant volume combustion performance of cross-cut rod-shaped and coated granular propellant mixed charge[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2017, 25(1): 39-43.
- [10] 许涛. 部分切口杆状药、包覆药及其混合装药渐增性燃烧性能研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2016.
- XU Tao. Study on the incremental combustion performance of partial incision rod-shaped propellants, coated propellants and their mixed charges[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2016.
- [11] 史先扬. 低温感硝胺发射药的研究及弹道模拟[D]. 南京: 南京理工大学, 2002.
- SHI Xian-yang. Research and ballistic simulation of low-temperature sensitive nitroamine propellant [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2002.
- [12] 韩博. 高增面性大弧厚硝基胍发射药工艺技术研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2009.
- HAN Bo. Study on the process technology of high-increasing large-arc thick nitroguanidine propellant [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2009.
- [13] 张洪林. 侵蚀燃烧在发射装药内弹道中的应用研究[J]. 兵工学报, 2008, 29(2): 129-133.
- ZHANG Hong-lin. Application research of erosive burn in propellant charge interior ballistics[J]. *Acta Armamentarii*, 2008, 29(2): 129-133.
- [14] 黄振亚, 贾永杰, 崔鹏腾, 等. 叠氮硝胺发射药的燃烧性能调控技术[J]. 含能材料, 2013, 21(6): 795-799.
- HUANG Zhen-ya, JIA Yong-jie, CUI Peng-teng, et al. Modulating technology for combustion performance of azidonitramine gun propellant[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2013, 21(6): 795-799.
- [15] 罗运军. 低温感包覆火药装药技术的理论与实验研究[D]. 南京: 南京理工大学, 1994.
- LUO Yun-jun. Theoretical and experimental research on low temperature sensing coated gunpowder charge technology [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 1994.

## Combustion Performance of Single Charge and Mixed Charge of 37-hole Nitroguanidine Propellant

JIANG Shuai<sup>1</sup>, LIU Qiong<sup>2</sup>, NAN Feng-qiang<sup>1</sup>, YIN Ji-hong<sup>1</sup>, DU Ping<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Special Energy Materials, Ministry of Education, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China; 2. Liaoning Qingyang Special Chemical Co., Ltd., Liaoyang 111002, China)

**Abstract:** In order to understand the constant volume combustion performance of single charge and the mixed charge(MC+B) of 37-hole nitroguanidine propellant, a lace-shaped 37-hole triguanidine-15 propellant was used as the main charge (MC), and the lace-shaped 19-hole triguanidine-15 coated propellant was used as the auxiliary charge(B). The packing density is 0.20 g·cm<sup>-3</sup>, under 50 °C, 20 °C, -40 °C, the effect of arc thickness on the combustion performance of single main charge and the effect of the mixing mass ratios on the combustion performance of the mixed charge (MC+B) were studied through constant volume closed-bomb test. The results show that the lower the temperature, the more obvious the erosion and combustion phenomenon of the 37-hole single main charge. At the same temperature, the greater the arc thickness of the main charge, the less obvious the erosion and combustion phenomenon, the stronger the progressive combustion, and the better the combustion performance. The higher the temperature, the greater the value of  $\Delta L$ ,  $L_m/L_0$  of the mixed charge of the same mixing ratio, the better the progressive combustion. At the same temperature, the progressive combustion of the mixed charge is stronger than that of the single main charge, and as the ratio of the coated propellant increases, the erosion combustion peak gradually decreases, indicating that the addition of the coated propellant significantly improves the progressive combustion and reduces the erosion combustion peak of the mixed charge, and at 50 °C, 20 °C, -40 °C, the mixing ratio of the mixed charge to obtain better progressive combustion is 7:3.

**Key words:** 37-hole nitroguanidine propellant; single charge; mixed charge; erosion combustion; progressive combustion

**CLC number:** Tj55

**Document code:** A

**DOI:** 10.11943/CJEM2020252

(责编: 王艳秀)