

文章编号: 1006-9941(2016)10-0990-05

一种新型可燃药盒的特性研究

裔璐¹, 堵平¹, 刘琼²

(1. 南京理工大学化工学院, 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: 为了改善可燃药盒的力学性能, 适应单元药筒装药的特点, 设计制备了一种新型可燃药盒(NCCC), 对其与抽滤模压可燃药盒(SMCCC)的力学性能和燃烧性能进行测试研究, 分析了NCCC与主装药共同装药时的燃尽性。结果表明, 与SMCCC相比, NCCC的抗拉强度从32.68 MPa提高到94.18 MPa, 抗压强度从7.79 MPa提高到11.78 MPa, 表明力学性能得到明显改善; 但NCCC存在8 ms左右的点火延迟现象, 燃烧过程中压力上升缓慢, 燃速较低; NCCC与三氟-15 7/7H以不同比例组成混合装药, 当药盒含量在0%~60%时, 密闭爆发器试验的燃烧残渣主要来源于三氟-15 7/7H; NCCC装药的弹道试验表明, 其能够满足单元药筒装药的弹道性能要求。

关键词: 可燃药盒; 装药; 力学性能; 燃烧性能; 燃烧残渣

中图分类号: TJ55

文献标志码: A

DOI: 10.11943/j.issn.1006-9941.2016.10.012

1 引言

目前我国大口径榴弹炮采用的发射变装药主要是双药筒装药。但是双药筒装药存在装药繁琐、弹药利用率低、勤务处理困难等问题。而单元药筒装药改变双药筒内布袋式药包的装药形式, 采用一种新型可燃药盒的装药形式, 使单元药筒装药用一个药筒同时实现双药筒装药(减变装药和全装药)的作战效能, 使弹药利用率大大增加, 火炮的效能获得较大幅度的提高^[1]。

新型可燃药盒设计方法来源于可燃药筒。可燃药筒主要由硝化棉纤维制成, 自身含有能量, 结构疏松多孔, 孔隙分布不均一, 呈现出渗透性的燃烧特点, 不符合火药的几何燃烧规律^[2]。国内有众多学者对可燃药筒的燃烧特性进行了深入研究^[3-6], 但主要集中于可燃药筒自身的结构特点以及燃烧特性。为了适应单元药筒装药特点, 设计了以增强纤维为骨架, 硝化棉为含能成型剂的新型可燃药盒。新型可燃药盒参与了火药的共同燃烧, 对火药的燃烧性能产生明显影响, 进而对内弹道性能产生较大影响^[7-8]。因此研究新型可燃药盒和火药共同燃烧时的规律对改善单元药筒的弹道性能具有重要意义。

收稿日期: 2016-04-11; 修回日期: 2016-05-27

作者简介: 裔璐(1991-), 男, 硕士研究生, 主要从事含能材料方向的研究。e-mail: yilu0823@sina.com

通信联系人: 堵平(1969-), 男, 副研究员, 主要从事火药装药设计研究。e-mail: dp1314@163.com

传统的可燃药筒(药盒)的力学性能与燃尽性是一对矛盾。提高其力学性能的方法通常有使用高强度粘剂、提高药筒密度和添加增强材料^[9-11]。但这些方法通常都会不同程度的导致药筒燃烧不完全, 固体残渣较多, 严重影响火炮操作安全性。但是为了满足单元药筒装药的机械化装填, 对新型可燃药盒的力学性能提出了更高的要求, 怎样在保证燃尽性的基础上提高力学性能是关键。

本工作针对可燃药盒的力学性能和单元药筒装药的特点, 设计制备了一种新型可燃药盒, 研究了新型可燃药盒的力学性能和燃烧性能, 以及与主装药共同装药时的燃烧规律, 考察了新型可燃药盒与火药组成混合装药时的燃尽性, 为单元药筒装药的研究提供基础技术。

2 实验部分

2.1 材料与仪器

硝化棉(氮质量分数约14%)、平纹布、三氟-15 7/7H(AGu-15 7/7H)、抽滤模压可燃药盒, 辽宁庆阳特种化工有限公司。

Micromeritics AccuPyc II 1340 型真密度分析仪, 美国麦克仪器公司; Instron 3367 型精密万能材料试验机, 美国英斯特朗公司; Micromeritics ASAP2020 型氮气分子吸附附孔径分布测试仪, 美国麦克仪器公司。

2.2 试样制备

以硝化棉和平纹布为基础材料, 外加少量流变性

能调节剂、安定剂等成分。首先配制硝化棉溶液,然后通过传送装置将平纹布卷匀速通过硝化棉溶液浸渍压片,最后进行驱溶等后处理过程。最终制成的药盒的实物图见图 1,其成分中硝化棉占 55%,平纹布约占 44%。新型可燃药盒用 N-1 表示,抽滤模压可燃药盒用 N-0 表示。

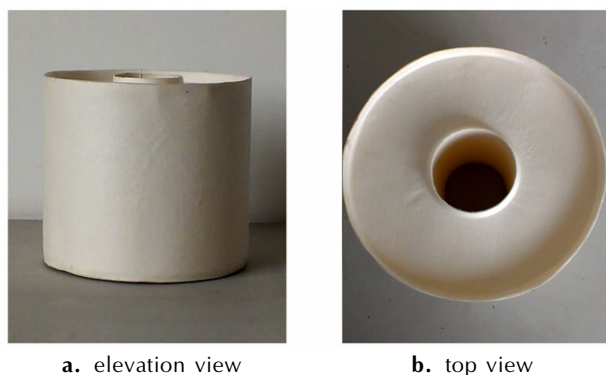


图 1 新型可燃药盒的正视图和俯视图

Fig.1 Elevation view and top view of new combustible cartridge case

2.3 性能测试

(1) 密度: 测试介质为高纯氮气。测试温度为 $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$, 试样尺寸为 $20\text{ mm} \times 10\text{ mm} \times 0.55\text{ mm}$ 。

(2) 抗拉强度: 按国军标 GJB 5472.1-2005, 剪成哑铃状, 进行抗拉强度测试, 测试温度为 $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$, 拉伸速度为 $10\text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, 每个试样测试 5 次求平均值。

(3) 抗压强度: 按国军标 GJB 5472.1-2005, 从药盒中部位切取 $(50 \pm 1)\text{ mm}$ 圆环, 上下截面平行, 外观平整, 测试温度为 $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$, 加载速度 $20\text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, 每个试样测试 5 次求平均值。

(4) 比表面积: 以氮气分子吸脱附孔径分布测试仪表征可燃药盒的孔结构参数, 测试温度为 $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$, 试样尺寸为 $10\text{ mm} \times 10\text{ mm} \times 0.55\text{ mm}$ 。

(5) 密闭爆发器试验: 密闭爆发器的体积为 98 mL , 测试温度为 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$, 2 号硝化棉为点火药, 点火药量为 1.1 g , 药盒试样尺寸为 $20\text{ mm} \times 10\text{ mm} \times 0.55\text{ mm}$, 测试方法依据 GJB5472.9-2005。

(6) 弹道试验: 采用 PL96-122 mm 榴弹炮对可燃药盒进行弹道试验, 榴弹炮炮口口径为 122 mm , 试验温度为常温 (约 20°C)。

(7) 对比样品为抽滤模压可燃药盒, 均按上述方式同样测试。

3 结果与讨论

3.1 可燃药盒的力学性能

新型可燃药盒 N-1、抽滤模压可燃药盒 N-0 的密度和力学性能数据见表 1。

表 1 N-0 和 N-1 力学性能对比

Table 1 Comparison of the mechanical properties of N-0 and N-1

composition	N-1	N-0
density/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	1.51	1.62
extension strength/MPa	94.18	32.68
compression pressure/MPa	11.78	7.79

由表 1 可见, 与抽滤模压可燃药盒 (N-0) 相比, 新型可燃药盒 (N-1) 的密度略低, 但其抗拉强度从 32.68 MPa 提高到 94.18 MPa , 提高了 188%; 抗压强度从 7.79 MPa 提高到 11.78 MPa , 提高了 51%, 力学性能得到明显改善。新型可燃药盒的骨架材料是由布纤维织成的网状的棉纤维, 空隙中由硝化棉胶涂覆填充而成, 部分硝化棉胶会渗入到棉布孔隙中与纤维相互缠绕, 这种结构可明显提高药盒的力学性能。

3.2 可燃药盒的定容点火特性

对 N-0 和 N-1 两种可燃药盒进行密闭爆发器试验, 比较两种药盒的定容点火特性, 点火强度为 10.98 MPa , 装填密度为 $0.2\text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。N-0、N-1 两种可燃药盒的比表面积 S_g 及密闭爆发器测得的点火时间 t_k 结果见表 2。点火时间定义为达到 10.98 MPa 时所需要的时间。

表 2 N-0 和 N-1 的结构参数及点火时间

Table 2 The construction parameter and ignition time of N-0 and N-1

Combustible cartridge cases	$S_g/\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$	t_k/ms
N-0	1.68	4.33
N-1	0.88	12.40

Note: S_g is the specific surface measured by nitrogen adsorption measurement; t_k is the ignition time measured by closed-bomb.

由表 2 可见, 相比 N-0, N-1 的点火时间 12.40 ms 明显延迟。主要是因为 N-1 的表面光滑且致密, 而 N-0 表面粗糙且结构疏松, 从表 2 中的比表面积数据也可以看出, N-0 的比表面积明显大于 N-1。N-1 比表面积小, 结构致密, 因而导热系数较大, 药筒表面与内层的温度梯度较小, 从而很难在极短时间内使药盒表面

温度达到着火温度。而 N-0 比表面积大, 结构疏松多孔, 因而导热系数低, 表面与内层的温度梯度相对较大, 因而药盒表面温度上升迅速, 在极短时间内即可达到着火温度。

图 2、图 3 为 N-0、N-1 在点火阶段的 $p-t$ 曲线和 $dp/dt-t$ 曲线, 从 $p-t$ 曲线可以看出, 两种药盒在 2 ms 内的压力上升趋势相似, 此时是点火药的燃烧, 2 ms 后 N-0 的压力迅速上升, 而 N-1 得压力上升缓慢。 $dp/dt-t$ 曲线反映了点火段的燃气生成速率, N-0 可燃药盒 2 ms 后燃气生成速率迅速上升, 此时药盒已经被点燃; 而 N-1 可燃药盒 2 ms 后燃气生成速率开始下降, 大约有 8 ms 延迟, 是其致密的结构导致的, 10 ms 左右药盒开始燃烧, 燃气生成速率再次上升。

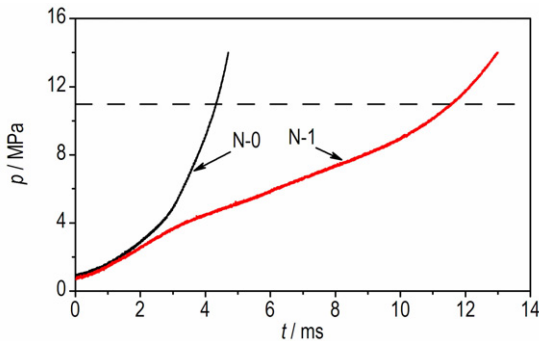


图 2 N-0 和 N-1 在点火阶段的 $p-t$ 曲线

Fig. 2 $p-t$ curves of N-0 and N-1 in period of ignition

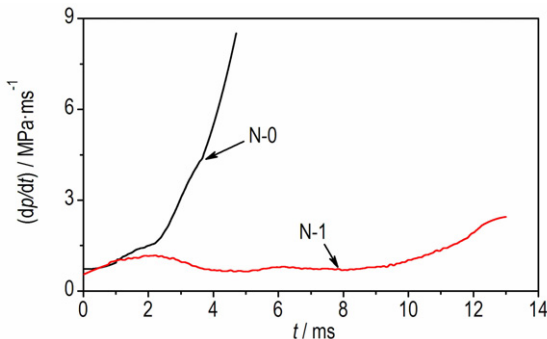


图 3 N-0 和 N-1 在点火阶段的 $dp/dt-t$ 曲线

Fig. 3 $dp/dt-t$ curves of N-0 and N-1 in period of ignition

3.3 可燃药盒的燃烧性能

图 4、图 5 为 N-0 和 N-1 的密闭爆发器 $p-t$ 曲线和 $u-p$ 曲线。从 $p-t$ 曲线可以看出, 与 N-0 相比, N-1 燃烧过程压力上升缓慢, 最大压力较低, 燃烧结束时间较长。从 $u-p$ 曲线可以看出, N-0 燃速较高, 最大燃速可达到 64 cm/s, 而 N-1 的燃速则相对平缓, 最大燃速为 1.5 cm/s。两种药盒的燃烧过程差别很大, 分析原因可能与两种药盒的结构和含能成分有关。新型可燃药盒结构致密, 比表面积小, 导致燃烧缓慢, 硝化棉含

量较低导致最大压力较小。抽滤模压可燃药盒的燃烧比较剧烈, 最大压力较大, 对提高装药的能量有利; 新型可燃药盒的燃烧则非常平缓, 燃烧稳定可控, 对主装药的燃烧规律不会产生很大影响。

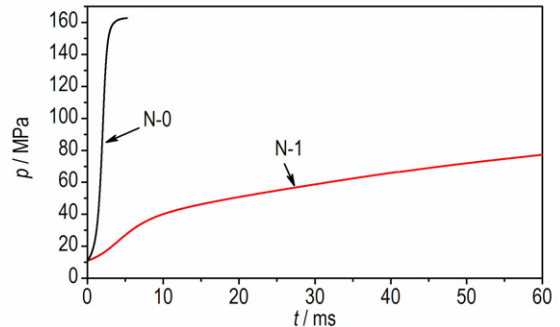


图 4 N-0 和 N-1 的 $p-t$ 曲线

Fig. 4 $p-t$ curves of N-0 and N-1

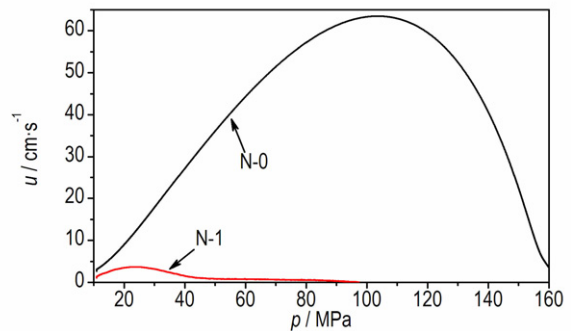


图 5 N-0 和 N-1 的 $u-p$ 曲线

Fig. 5 $u-p$ curves of N-0 and N-1

3.4 新型可燃药盒与三胍-15 7/7H 火药以不同比例装药的定容燃烧特性

为了研究新型可燃药盒 (N-1) 所占比例对混合装药燃烧性能的影响, 采用密闭爆发器对新型可燃药盒与三胍-15 7/7H 组成的混合装药的燃烧规律进行分析, 装填密度为 $0.2 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 可燃药盒所占比例分别为 0%, 5%, 10%, 20%, 40%, 60%, 80%, 90%, 100%。三胍-15 7/7H 与新型可燃药盒组成的混合装药的名称采用 MC-百分含量 (如 MC-5 表示混合装药中可燃药盒的含量占 5%), MC 为混合装药 (mixed charge) 的英文缩写。

混合装药的密闭爆发器 $p-t$ 曲线如图 6。由图 6 可见, 随着可燃药盒所占比例的增加, 混合装药起始阶段的压力上升速率减慢, 最大压力下降, 燃烧结束时间延长。在混合装药燃烧初期, 火药的燃烧起主要作用, 在燃烧过程中火药提供的压力环境有助于可燃药盒的充分燃烧, 当可燃药盒所占比例超过 60% 以后, 火药提供的压力环境不足以维持全部可燃药盒的完全燃

烧,燃烧结束时间大幅度延长。

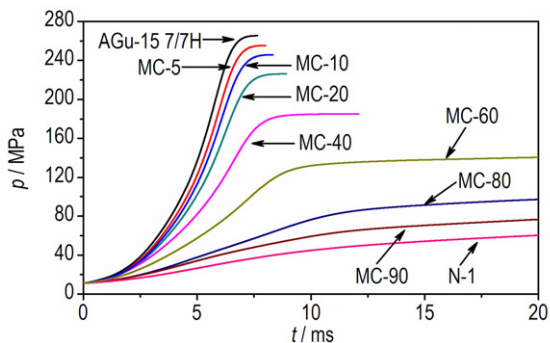


图6 混合装药密闭爆发器 p-t 曲线

Fig.6 p-t curves of mixed charge in closed-bomb

从图7中的 dp/dt-t 曲线可以看出,随着药盒含量的增加,dp/dt-t 曲线上上升阶段的陡度逐渐降低,峰值逐渐减小,达到峰值的时间延长,下降阶段逐渐趋于平缓。当药盒含量超过60%以后曲线不再有明显的峰,说明药盒燃烧过程相对平缓,没有压力突增的过程,这和药盒的含能成分低有关。药盒含量超过60%时燃烧末期显著增长。由此可见,可燃药盒的燃烧性能与混合装药中的火药量密切相关,它们共同作用的结果,构成了装药的燃烧过程,为了获得燃烧性能相匹配的药盒与火药的比例,需要充分考虑装药能量与药盒燃尽性的规律。

图8为新型可燃药盒与三爪-15 7/7H 火药以不同比例装药进行密闭爆发器试验后的燃烧残渣质量,可以看出随着药盒含量的增加,残渣的质量先减少再增加,药盒含量为60%时残渣质量最少。药盒含量为0%~60%时随着药盒含量的增加残渣质量逐渐减少,说明在这区间残渣主要来源于三爪-15 7/7H 火药,火药提供的压力环境与药盒燃烧过程相互作用有

助于药盒的充分燃烧;药盒含量从80%到100%,残渣质量逐渐增加,此时残渣主要来源于药盒,因为火药的质量逐渐减少,没有足够的压力环境提供给新型药盒充分燃烧,因而形成大量的炭黑。

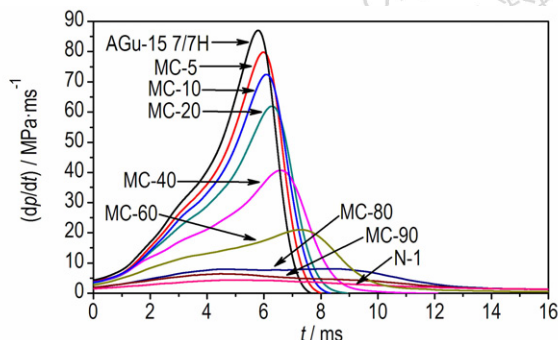


图7 混合装药密闭爆发器 dp/dt-t 曲线

Fig.7 dp/dt-t cures of mixed charge in closed-bomb

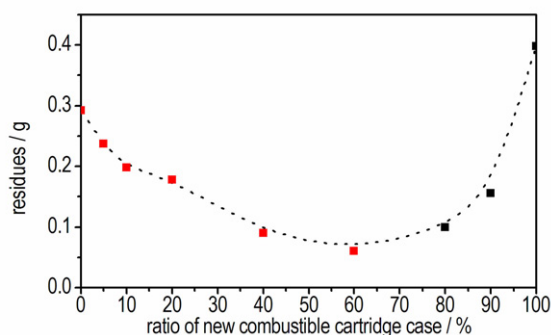


图8 混合装药密闭爆发器试验的燃烧残渣质量

Fig.8 The combustion residues of mixed charge in closed-bomb

3.5 新型可燃药盒装药的弹道试验

采用122 mm 榴弹炮对新型可燃药盒装药进行弹道试验,榴弹炮测得的新型可燃药盒装药的弹道性能结果如表3所示。药盒装药燃烧过程的压力用铜球测试,弹丸初速采用线圈测试。

表3 新型可燃药盒装药内弹道性能试验结果

Table 3 Experimental results of interior ballistic performance of new combustible cartridge case

No.	charge zone	main charge	coated-propellant	charge mass /g	initial velocity /m · s ⁻¹	bore pressure /MPa	phenomenon
1	1#	7 holes AGu-15		810	312.9	65.6	complete combustion
2	1#	7 holes AGu-15		810	310.6	66.6	complete combustion
3	2#	19 holes AGu-15	19 holes AGu-15	810+795×1	411.4	104.27	complete combustion
4	2#	19 holes AGu-15	19 holes AGu-15	810+795×1	411.3		complete combustion
5	3#	19 holes AGu-15	19 holes AGu-15	810+795×2	514.2		complete combustion
6	4#	19 holes AGu-15	19 holes AGu-15	810+795×3	615.6	192.9	complete combustion
7	4#	19 holes AGu-15	19 holes AGu-15	810+795×3	616.0	194.5	complete combustion
8	5#	19 holes AGu-15	19 holes AGu-15	810+795×4	716.7	256.2	complete combustion
9	5#	19 holes AGu-15	19 holes AGu-15	810+795×4	716.8	257.5	complete combustion

Note: The mass of basic cartridge case is 810 g; the mass of additional cartridge case is 795 g.

122 mm 榴弹炮单元药筒装药技术分为 5 个装药号, 1[#]号为基本药盒, 内装颗粒较小的 7 孔 AGu-15 火药, 2[#]~5[#]号装药在基本药盒的基础上分别添加 1~4 个附加药盒, 附加药盒内装颗粒较大的 19 孔 AGu-15 火药以及包覆火药。对 5 个装药盒分别进行弹道试验, 弹道试验的结果见表 3, 可以看出平行试验的平行性很好, 说明新型可燃药盒与主装药共同燃烧时的规律稳定可控; 初速和膛压大小能够满足榴弹炮对初速和膛压的分级要求, 保证 1[#]~5[#]号装药实现射程全弹道覆盖, 射程重叠量 $\geq 5\%$, 与现役 PL96-122 mm 榴弹炮弹道性能相当; 药盒燃烧完全, 膛底无残渣, 其能够满足单元药筒装药的弹道性能要求。

4 结 论

(1) 针对可燃药盒的力学性能差的问题, 设计制备了一种新型可燃药盒, 其抗拉强度从 32.68 MPa 提升到 94.18 MPa, 抗压强度从 7.79 MPa 提升到 11.78 MPa, 力学性能得到明显改善。但是其点火性能和燃烧性能均有所下降, 有 8 ms 左右的点火延迟, 定容燃烧实验压力上升缓慢, 燃速较低。

(2) 新型可燃药盒与三爪 7/7H 火药以不同比例装药时, 随着可燃药盒所占比例的增加, 混合装药起始阶段的压力上升速率减慢, 最大压力下降, 燃烧结束时间延长。药盒含量在 0%~60% 时, 燃烧残渣主要来源于三爪 7/7H。

(3) 弹道试验表明, 新型可燃药盒与主装药共同燃烧时的规律稳定可控, 药盒燃烧完全, 能够满足单元药筒装药的弹道性能要求。

参考文献:

[1] 高敏, 史先扬, 王泽山. 155 mm 火炮全等式模块装药的可行性讨论[J]. 弹道学报, 2003, 15(3): 14-18.

- GAO Ming, SHI Xian-yang, WANG Ze-shan. The feasibility study on uni-modular charges in the modular propelling charge system[J]. *Journal of Ballistics*, 2003, 15(3): 14-18.
- [2] 徐文娟. 两种可燃药筒燃气生成规律的分析比较[J]. 兵工学报, 1990, 8(3): 16-22.
- XU Wen-juan. Analysis and comparison of the rules governing gas generation in two types of combustible cartridge cases[J]. *Acta Armamentarii*, 1990, 8(3): 16-22.
- [3] Shedje M T, Patel C H, Tatkod S K. Polyvinyl acetate resin as a binder effecting mechanical and combustion properties of combustible cartridge case formulations[J]. *Defence Science Journal*, 2008, 58(3): 390-397.
- [4] 李煜, 赵成文, 郭德惠, 等. 可燃药筒的定容燃烧特性[J]. 火炸药学报, 2009, 32(4): 75-79.
- LI Yu, ZHAO Cheng-wen, GUO De-hui, et al. Constant-volume combustion properties of combustible cartridge case[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2009, 32(4): 75-79.
- [5] 徐文娟, 张会生. 可燃药筒活性的分析[J]. 南京理工大学学报, 1996, 20(1): 21-25.
- XU Wen-juan, ZHANG Hui-sheng. An analysis on the activity of combustible cases[J]. *Journal of Nanjing University of Science and Technology*, 1996, 20(1): 21-25.
- [6] 张兆钧, 徐文娟, 张会生. 三种可燃药筒燃烧特性分析[J]. 兵工学报, 1996, 17(1): 26-31.
- ZHANG Zhao-jun, XU Wen-juan, ZHANG Hui-sheng. Analysis on the burning properties of three kinds of combustible cartridges[J]. *Acta Armamentarii*, 1996, 17(1): 26-31.
- [7] 徐文娟. 可燃药筒与主装药匹配的研究[J]. 弹道学报, 1994, 22(4): 29-33.
- XU Wen-juan. Study on match between combustible case and propellants[J]. *Journal of Ballistics*, 1994, 22(4): 29-33.
- [8] 邹伟伟, 郝晓琴, 张志勇, 等. 小口径可燃药筒及装药的燃烧性能研究[J]. 兵工学报, 2015, 36(8): 1424-1429.
- ZOU Wei-wei, Hao Xiao-qin, ZHANG Zhi-yong, et al. Research on combustion performance of small-bore molded combustible cartridge case and charge[J]. *Acta Armamentarii*, 2015, 36(8): 1424-1429.
- [9] Remaly R F, Nusbaum M S, Johnson K G., et al. Duplex combustible cartridge case[R]. AD1648666, 1974
- [10] Kestusis G C, Pauline M S, William S L. Investigation of residue and coating stoichiometry on 120 mm combustible cartridge cases[R]. ARL-TR-2337, 2000.
- [11] 李煜, 郭德惠, 田书春, 等. 纤维增强组份对可燃药筒性能的影响[J]. 弹道学报, 2009, 21(4): 95-98.
- LI Yu, GUO De-hui, TIAN Shu-chun, et al. Influence of reinforced fibers on the properties of CCC[J]. *Journal of Ballistics*, 2009, 21(4): 95-98.

Characteristics of a Kind of New Combustible Cartridge Case

YI Lu, DU Ping, LIU Qiong

(School of Chemistry and Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: In order to improve the mechanical property of combustible cartridge case and adapt the feature of unit cartridge case charge, a kind of new combustible cartridge case(NCCC) was designed and manufactured. The mechanical property and combustion performance of NCCC and suction molding combustible cartridge case(SMCCC) were studied by experiment measurement. The burning-off property of NCCC in mixed charge with main charge was analyzed. Results show that compared with SMCCC, the tensile strength of NCCC increases from 32.68 MPa to 94.18 MPa and the compressive strength increases from 7.79 MPa to 11.78 MPa, revealing that its mechanical properties are significantly improved. But NCCC exists about 8ms ignition delay phenomenon and the pressure rises slowly, the burning rate is low in combustion process. When the percentage of NCCC is from 0% to 60% in mixed charge composed of NCCC and AGu-15 7/7H, the combustion residues in closed bomb are mainly from AGu-15 7/7H. The ballistic test of NCCC charge shows that it can meet the requirements of ballistic performance of unit cartridge case charge.

Key words: combustible cartridge case; charge; mechanical property; combustion performance; combustion residues

CLC number: TJ55

Document code: A

DOI: 10.11943/j.issn.1006-9941.2016.10.012