

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2015.05.014

# 多孔结构的高能迫击炮附加药盒材料的制备及性能<sup>\*</sup>

葛瑞荣

安徽红星机电公司(安徽合肥,231135)

[摘 要] 结合超临界流体发泡技术在微孔聚合物中的应用,制备了具有多孔结构的高能迫击炮附加药盒材料。为保证附加药盒材料具有较好的耐热性,采用耐热性炸药 RDX 为含能组分,惰性聚合物为黏结剂,对材料内部形貌特征、能量、燃尽性、燃烧速度、耐热性和吸湿性进行了测试。结果表明:经超临界  $\text{CO}_2$  发泡的附加药盒材料内部为疏松多孔结构,微孔尺寸小于  $1\ \mu\text{m}$ ;高 RDX 含量的附加药盒材料具有较高的能量,含 70% (质量分数) RDX 的附加药盒材料火药力达到  $750\ \text{J/g}$ ; RDX 质量分数为 50% 时,有少量无害残渣,而 RDX 质量分数为 60% 以上时,附加药盒材料洁净燃烧;由于疏松多孔结构,微孔附加药盒材料的燃烧速度较传统发射药高;并且附加药盒材料具有较好的耐热性和防潮性。

[关键词] 迫击炮附加药盒材料;多孔结构;火药力;表观燃速;耐热性;防潮性

[分类号] TJ410

## 引言

迫击炮装药通常由基本装药和附加装药组成。附加装药由发射药和附加药盒(袋)组成,且药盒(袋)一般采用易燃的、灰分较少的丝、绸或棉纱纺织品制成。由于药包装药存在装配不均匀和调整药包不方便等缺点,用于装填粒状药和球扁药的附加药盒被广泛应用<sup>[1]</sup>。国内附加药盒是由易燃的、灰质少的布基经硝化棉胶浸泡、晾干、压制成型、缝合、精冲等工序制成;国外多采用塑料、尼龙等高分子材料做附加药盒,其优点是调整药盒比较方便,但在温度较低时,附加药盒很脆,装配时易发生折裂。

迫击炮在较高的射速下,炮管温度可达  $300\sim 600\ ^\circ\text{C}$ 。如果射击过程中因意外情况未能击发,附加装药在膛内高温的作用下极短时间内会燃烧或燃爆出膛,产生近炸近爆,甚至引燃迫击炮周围的弹药,将严重危及到操作人员的安全。因此,附加药盒需要足够的自燃温度,用以延长附加装药的耐温时间,以便操作人员在炮弹意外留膛时有更多的时间处理事故或脱离危险区域。

为了保证发射药能够在身管短、膛压低、热量散失大的情况下燃烧完全,迫击炮用发射药一般选用速燃性和高热量的双基药。如果附加药盒燃烧速度慢,或者厚度较大,可能导致燃烧不完全,未燃完残渣从炮口喷出,点燃周围弹药,或者未燃尽的药盒残渣留在膛内会影响下发弹丸发射。因此,迫击炮药

盒还应该具有较高的燃速和较好的燃尽性。同时,最好具有较高的能量,为弹丸发射提供能量。

附加药盒的吸湿性影响着药盒的使用性能,吸湿后的药盒燃速降低,燃烧残渣增加,势必影响弹丸发射的稳定性及安全性,因此,对附加药盒的另一个要求是较好的防水防潮性。

研究表明,疏松多孔的内部结构有利于燃烧火焰渗入发射药内部,从而形成渗透燃烧,大大降低发射药的燃烧时间<sup>[2-3]</sup>。微孔发泡塑料是 1981 年由美国麻省理工学院(MIT)的 Suh 教授<sup>[4-5]</sup>提出的,其特征是泡孔直径在  $1\sim 10\ \mu\text{m}$  之间,泡孔密度大于  $10^9$  个/立方厘米,并具有闭孔结构。本文借鉴超临界流体技术制备聚合物微孔材料的经验,利用超临界流体发泡技术,制备一种高燃速、高热量的耐热性可燃附加药盒材料,对附加药盒材料的内部形貌、能量、燃尽性、燃烧速度、耐热性、吸湿性进行研究。

## 1 超临界流体发泡原理及试样制备

如图 1 所示,超临界  $\text{CO}_2$  扩散进入聚合物基体中[(a)],充分溶解聚合物基体,形成聚合物熔体/超临界流体的均相体系[(b)];通过突然卸压或快速升温等方法使均相体系处于热力学不稳定状态,聚合物与气体由于相分离引发成核[(c)],气体扩散进入气核,泡孔长大,最后用淬火等方法使泡孔结构定型,形成微孔结构[(d)]<sup>[6-9]</sup>。因此,聚合物发泡过程可分为 4 个阶段:二氧化碳的吸收、气泡成

<sup>\*</sup> 收稿日期:2015-01-28

作者简介:葛瑞荣(1963~),男,高级工程师,主要从事火工品的研究。E-mail:geruirong2015@163.com

核、气泡长大及微孔定型。

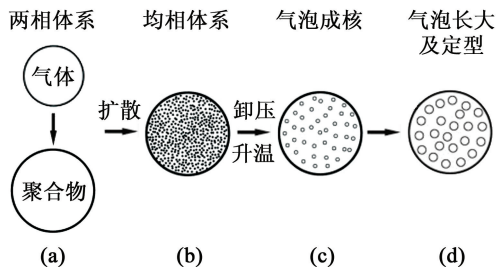


图 1 微孔发泡原理示意图

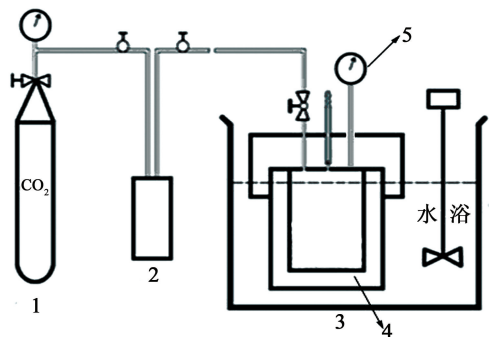
Fig. 1 Illustration of microcellular foaming process

采用快速降压法<sup>[10-11]</sup>对表 1 中的配方进行发泡,制备微孔附加药盒材料。试验装置(图 2)主要由 CO<sub>2</sub> 气源、恒温槽、增压泵、高压釜等组成。试验步骤为:将样品放入高压釜中,打开气源阀门,吹扫约 2 min,排除高压釜中的空气,关闭放气阀。根据饱和条件设置饱和压力,开启增压泵,将 CO<sub>2</sub> 注入高压釜内,达到制定压力后,关闭反应釜上的阀门,将高压釜放入恒温水浴中保压,饱和温度,达到保压时间后,开启放气阀突然降压,打开高压釜,取出样品,定型及干燥。

表 1 附加药盒材料的配方(质量分数)

Tab. 1 Formulations of additional charge kit (mass fraction) material

			%
编号	RDX	黏结剂	
1 <sup>#</sup>	50	50	
2 <sup>#</sup>	60	40	
3 <sup>#</sup>	70	30	



1 - 气瓶;2 - 增压泵;3 - 恒温槽;  
4 - 高压釜;5 - 压力表

图 2 试验装置图

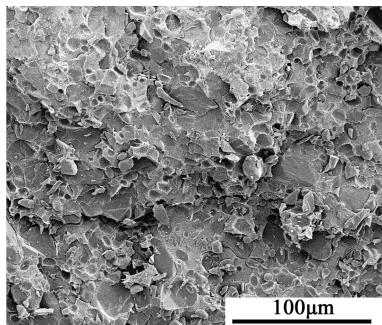
Fig. 2 Experiment equipments

## 2 附加药盒材料的性能

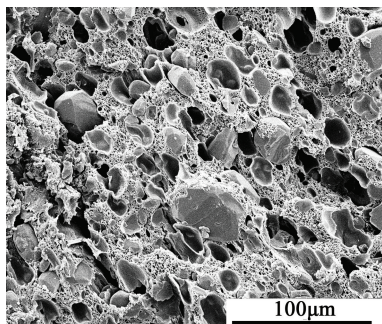
### 2.1 内部形貌

将样品在液氮中淬断,采用英国 Emitech 全自动磁控离子溅射仪 K550X 对样品进行表面喷金,用美国 FEI 公司的 QUANTA FEG 250 型扫描电镜对

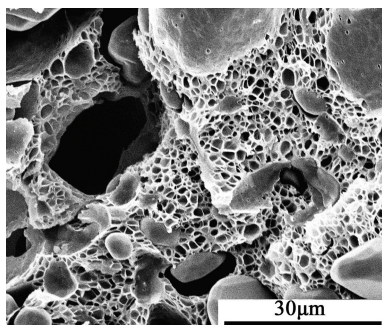
断面进行观察。图 3 为附加药盒材料的内部形貌,RDX 质量分数为 60%。由图 3 可见,发泡前药盒材料内部为密实结构,RDX 均匀分布在黏结剂基体中,经超临界 CO<sub>2</sub> 发泡后的样品具有疏松多孔的内部结构,微孔尺寸小于 1 μm。疏松多孔的结构可保证材料在燃烧时能迅速燃完。



(a) 发泡前(500×)



(b) 发泡后(500×)



(c) 发泡后(2000×)

图 3 附加药盒材料的内部形貌

Fig. 3 SEM photos of additional charge kit material

### 2.2 能量及表观燃速

附加药盒材料的火药力和燃烧性能采用密闭爆发器进行测试。点火药采用 2<sup>#</sup> 硝化棉,点火压力 10.98 MPa。

火药力按照式(1)进行计算:

$$\frac{P_m}{\Delta} = f + \alpha p_m \quad (1)$$

式中: $p_m$  为密闭爆发器最大压力; $\Delta$  为装填密度; $f$  为材料的火药力; $\alpha$  为材料的余容。

式(1)是以  $p_m/\Delta$  及  $p_m$  为坐标轴的直线方程,其中, $f$ 、 $\alpha$  是方程的截距和斜率。选择 2 个装填密

度 0.12、0.20 g/cm<sup>3</sup> 进行测试,测得相应的最大压力  $p_{m1}$  和  $p_{m2}$ ,利用两点法即可计算  $f$  和  $\alpha$ 。

图 4 为不同 RDX 含量的药盒材料的火药力及余容。由图 4 可见,随着 RDX 含量的增加,火药力呈线性增加,当 RDX 质量分数为 70% 时,火药力达到 750 J/g,在弹丸发射时,能够提供较高的能量。

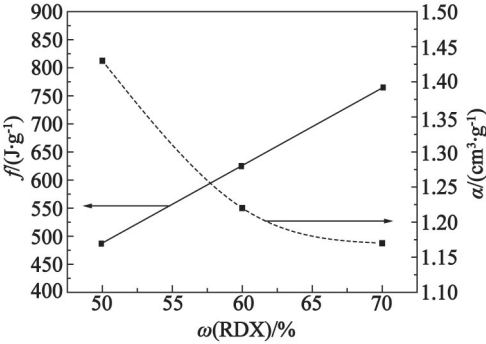


图 4 不同 RDX 含量时样品的火药力及余容  
Fig. 4 Powder impetus and covolume of samples with different RDX contents

表 2 为附加药盒材料在密闭爆发器内的燃尽性分析。附加药盒材料在密闭爆发器内单独燃烧时,消失性良好,并没有影响装填的残渣。RDX 质量分数为 50% 时,爆发器内残余少量碳颗粒,而这些颗粒在迫击炮射击时可以随着高温气流吹出膛,并不会影响下发弹丸的发射。当 RDX 质量分数为 60% 时,密闭爆发器点火塞被熏黑,附着微量颗粒,膛内无残余。RDX 质量分数为 70% 时,药盒材料完全消失,膛内及点火塞上无残余。

表 2 附加药盒材料的燃尽性表现

Tab. 2 Phenomenon of burning process of additional charge kit material

编号	气味	燃尽性表现
1 <sup>#</sup>	轻微臭味	爆发器内有少量黑色颗粒残渣
2 <sup>#</sup>	轻微臭味	点火塞粘附微量黑色颗粒,爆发器内无残余
3 <sup>#</sup>	气味不明显	消失良好

图 5 为附加药盒材料的表观燃速曲线。由于材料的内部为疏松多孔结构,因此燃烧速度较高,并且表观燃速随着 RDX 含量,即能量的增加而增高。当 RDX 质量分数为 70% 时,最大表观燃速达到约 35 cm/s,较一般发射药的表观燃速要高得多。较高的表观燃速保证了即使是较厚的药盒材料也能在弹丸发射时快速燃尽。

2.3 吸湿性

将试样放在敞口的称量瓶内,在  $(55 \pm 2)^\circ\text{C}$  烘箱内放置 24 h,然后在  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ 、湿度  $50\% \pm 10\%$

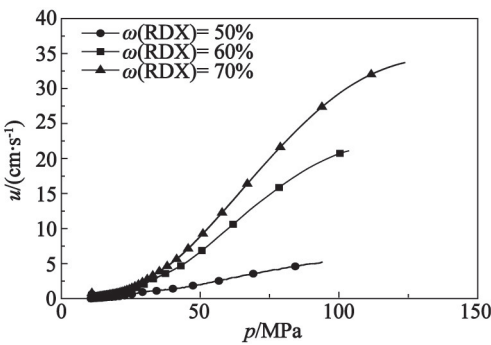


图 5 不同 RDX 质量分数时样品的  $u$ - $p$  曲线  
Fig. 5  $U$ - $p$  curves of samples with different RDX contents

的条件下放置 24 h。用天平称量每发试样的质量,之后置于可程式恒温恒湿安全(防爆)箱远控箱(型号 QTH-1P-D,上海奇珊电子科技有限公司)内,温度为  $(30 \pm 2)^\circ\text{C}$ ,相对湿度  $(95 \pm 3)\%$ 。放置时,试样之间、试样与箱壁、箱底及箱顶之间应保留适当间隔,以使空气能自由循环。从试验箱内取出样品,立即对试样进行称量。称量间隔为 2 h。

图 6 为附加药盒材料的吸湿率随时间的变化曲线。由图 6 可见,由于附加药盒材料采用耐水性较好的高分子为连续相,同时其内部结构为较为密实的闭孔结构,最大吸湿率小于 0.3%,防潮性较好。

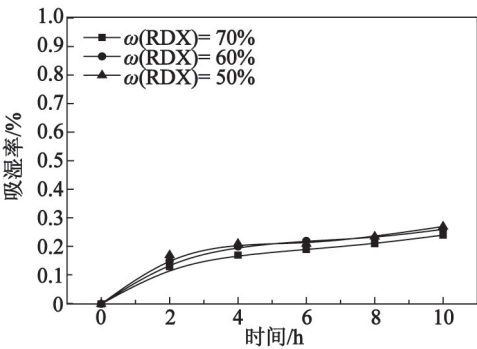


图 6 吸湿性曲线

Fig. 6 Hygroscopicity curves

2.4 耐热时间

通过烤燃试验测试附加药盒材料的耐热性。将试样置于恒定温度的金属块上,记录试样从接触金属块到冒烟或明火现象的时间,即为样品在该温度下的烤燃时间。每组试验做 5 次平行试验,烤燃时间取 5 次的平均值。表 3 为附加药盒材料在不同温度下的耐热时间。由表 3 可见,210  $^\circ\text{C}$  时,药盒材料在 5 min 内并未被点燃;温度升高,点火时间降低,当温度为 400  $^\circ\text{C}$  时,耐热时间约为 7 s;RDX 含量对耐热时间的影响不大。为了改善环形药盒材料的引燃情况和便于弹丸顺利下滑,药盒的外径比弹径小,一般取 2/3 火炮口径。因此药盒材料在炮



膛内的耐热时间要较试验值更高。由此可见,采用耐热性炸药作为含能材料的药盒材料的耐高温性能较好,耐热时间可以满足使用要求。

表 3 耐热时间  
Tab.3 Heat resistance time

温度/℃	210	220	250	300	350	400
1 <sup>#</sup>	>300	140.2	48.2	10.7	8.0	7.1
2 <sup>#</sup>	>300	137.8	48.1	10.4	8.1	7.3
3 <sup>#</sup>	>300	137.1	47.5	9.8	7.9	7.1

3 结论

利用超临界流体发泡技术制备了具有多孔结构的迫击炮附加药盒材料,同时对其性能进行了研究。试验表明,发泡后的附加药盒材料内部具有疏松多孔的结构,保证了其燃烧速度和燃尽性,并且该附加药盒材料能量高,为弹丸发射提供了较高的能量。新的附加药盒材料的吸湿率低,耐热性好,基本满足使用要求。

参 考 文 献

[1] 唐浩宇. PP87 式 82mm 迫击炮远程杀伤榴弹发射装药研究 [D]. 南京: 南京理工大学, 2005.

[2] Yang Weitao, Li Yuxiang, Ying Sanjiu. Fabrication, thermoanalysis, and performance evaluation studies on RDX-based microcellular combustible objects [J]. Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 2014,39(4): 568-573.

[3] Yang Weitao, Li Yuxiang, Ying Sanjiu. An investigation of the preparation and performance of microcellular combustible material[J]. Central European Journal of Ener-

getic Materials, 2014,11(2):257-269.

[4] Martini J E, Waldman F A, Suh N P. The production and analysis of microcellular thermoplastic foams [J]. SPE ANTEC Technical Papers, 1982,28: 674-676.

[5] Martini J E. The production and analysis of microcellular foam [D]. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology, 1981.

[6] Colton J S, Suh N P. The nucleation of microcellular thermoplastic foam: process model and experimental results [J]. Advanced Manufacturing Processes, 1986,1(3-4): 341-364.

[7] Goel S K, Beckman E J. Generation of microcellular polymeric foams using supercritical carbon dioxide. I: Effect of pressure and temperature on nucleation [J]. Polymer Engineering & Science, 1994,34(14): 1137-1147.

[8] Kumar V, Weller J. Production of microcellular polycarbonate using carbon dioxide for bubble nucleation [J]. Journal of Engineering for Industry, 1994, 116(4): 413-420.

[9] Xu Qun, Ren Xianwen, Chang Yuning, et al. Generation of microcellular biodegradable polycaprolactone foams in supercritical carbon dioxide[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2004. ,94(2): 593-597.

[10] Arora K A, Lesser A J, McCarthy T J. Preparation and characterization of microcellular polystyrene foams processed in supercritical carbon dioxide [J]. Macromolecules, 1998,31(14): 4614-4620.

[11] Kumar, V, Suh N P. A process for making microcellular thermoplastic parts [J]. Polymer Engineering & Science, 1990,30(20): 1323-1329.

Preparation and Properties of an Additional Charge Kit Material  
with Porous Structure Used in High Energy Mortar

GE Ruirong

Anhui Hongxing Mechanical and Electrical Company (Anhui Hefei, 231135)

[ABSTRACT] According to the supercritical fluid foaming technology in the preparation of microporous polymer, an additional charge kit material with porous structure used in high energy mortar was prepared. In order to maintain a good property of heat resistance, RDX was used as the energetic material and inert polymer was used as the binder. The inner porous structure, energy, combustion, burning rate, heat resistance and moisture absorption of this material were studied. The results indicate that after supercritical CO<sub>2</sub> foaming the internal structure of the kit was porous with micropore size of less than 1 um. The kit with high RDX content has high energy, and the additional kit gunpowder force was 750 J/g when the mass fraction of RDX reaches to 70%. There is little poisonless burning residue with the RDX content of 50% (mass fraction). And the clean combustion occurs when the mass fraction of RDX is above 60%. Because of the porous structure, burning rate of this material is higher than conventional propellants. This material performed well in heat resistance and moisture absorption tests.

[KEY WORDS] additional charge kit material used in mortars; porous structure; powder impetus; apparent burning rate; heat resistance; moisture absorption