

文章编号: 1006-9941(2012)02-0161-06

环氧树脂复合材料端面包覆多孔粒状发射药的初步研究

杨春海, 何卫东, 堵平, 王泽山

(南京理工大学化工学院, 江苏 南京 210094)

摘要: 为了消除大口径火炮主装药粒在燃烧过程中端面的减面燃烧, 改善火炮的弹丸行程压力曲线, 以 25/37 硝基胍发射药做基药, 在研究不同阻燃剂含量环氧树脂复合材料的力学性能、热膨胀性能、固化性能和相应配方包覆药开孔率的基础上, 对包覆药的开孔率与包覆材料的组成和性能之间的关系进行了分析比较, 最后得出结论: 当混合阻燃剂($m(\text{石英}) : m(\text{二氧化钛}) = 1 : 2$)占 E_{44} 环氧树脂树脂(含 43% 的 650 聚酰胺固化剂)质量的 40%, 外加 10% 1 : 1 的醇酮混合稀释剂时, 在室温下固化可以得到开孔率达到 99% 以上的端面阻燃包覆药粒。

关键词: 高分子化学; 发射药; 环氧树脂; 端面包覆; 开孔率

中图分类号: TJ55; O63

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2012.02.005

1 引言

众所周知, 制造高燃烧渐增性的发射药, 一直是火药工作者的研究热点。改变发射药的燃烧渐增性可以通过调节发射药燃烧过程中的燃面和发射药本体的燃速变化两种途径实现, 前者属于物理方法, 成功应用的有多孔粒状药和 PSS (programmed splitting stick) 程序分裂棒状药^[1], 后者属于化学方法, 此法一般是通过钝感技术实现^[2]。目前应用较多的是将以上物理和化学相结合的方法, 对多孔粒状药进行阻燃包覆, 国外在这方面研究较早, 成熟的多为各种高分子材料的阻燃包覆药^[3-6], 国内不但对各种高分子阻燃包覆进行了研究^[7-11], 而且对不同的包覆方式也进行了大量的研究^[12], 获得了性能稳定, 燃烧渐增性较高的包覆发射药和成熟可靠的包覆技术, 但使用的高分子阻燃包覆材料因为常含有非含能阻燃剂会影响到发射药的能量, 环氧树脂中因为有大量氧元素的存在, 用于发射药包覆材料会减少非含能阻燃剂造成的能量损失, 但目前还未见相关文献报道。

将包覆药用于大口径火炮部分装药, 可以获得压力“平台”效应, 但是一般占装药质量优势的主装药多为多

孔粒状药, 其燃烧过程由于端面减面燃烧的存在, 给压力“平台”的进一步改善造成困难。据文献[12]研究结果表明: 目前最常见的三种包覆方式中, 对内弹道结果起主要作用的是发射药端面包覆层, 如果对主装药药粒的端面也进行阻燃包覆, 虽然可以消除初始燃烧时端面的减面燃烧, 但是却形成了整体装药初始燃面只有侧面的减面燃烧, 使整个装药燃烧的初始燃面较小, 难以在极短的时间内建立所需压力, 也不利于压力“平台”的建立, 而且理论上, 当这种包覆主装药药粒燃烧至端面开孔时, 很可能会与包覆药产生大量破孔同时发生, 燃面激增而形成压力叠加效应, 增大形成压力尖峰的几率。

为了消除主装药药粒端面的减面燃烧, 同时又保证有足够的初始燃面, 作者用不同配方的环氧树脂基复合阻燃材料对大口径火炮用的 25/37 硝基胍主装药的端面进行了开孔包覆试验研究, 发现通过调节环氧树脂基复合阻燃材料的配方可以制成开孔的端面包覆药, 为提高发射药装药的主装药燃烧渐增性提供又一新方法。

2 实验部分

2.1 试剂与仪器

试剂: 环氧树脂 E_{44} , 分子量为 340 ~ 700, 星辰化工无锡树脂厂生产, 工业品; 650 聚酰胺, 胺值为 200 ± 20 , 分子量为 600 ~ 1100, 南京化工原料总公司, 工业品; 石英粉, 南京化学试剂有限公司, AR; TiO_2 , 镇江钛白粉有限公司 ZA-100, 工业品; 稀释剂, 1 : 1 醇酮溶液配制, AR。

收稿日期: 2011-04-29; 修回日期: 2011-06-09

作者简介: 杨春海(1977-), 男, 博士, 从事发射药配方设计和装药设计研究。e-mail: dahai7719@yahoo.com.cn

通讯联系人: 何卫东(1962-), 男, 副研究员, 主要从事含能材料及装药设计研究。e-mail: hewedong@mail.njust.edu.cn

仪器: 万能材料试验机, 美国 Instron 公司 3367 型; 热机械分析仪, 瑞士 Mettler Toledo 公司 TMA/SDTA841e; 分散搅拌机, 上海诺顶仪器设备有限公司 J1-1 型; 球磨机, 南京大学仪器厂 QM-ISP2-CL 行星式齿轮; 涂料用涂刷 5 支, 医用针筒 5 支。

2.2 实验过程

2.2.1 环氧树脂基包覆液的制备

将石英粉用球磨机球磨 6 h 后与 TiO_2 按照 1 : 2 质量比混合均匀制成混合阻燃剂, 置于 70 °C 烘箱干燥 24 h 后, 按照表 1 的配方质量分别加入准备好的环氧树脂中搅拌 15 min 后, 再加入环氧树脂质量 75% 的 650 聚酰胺固化剂, 再放入搅拌机进行分散搅拌, 同时逐步添加此混合液质量 10% 的稀释剂后再搅拌 20 min 后制成 10 种配方包覆液, 再进行下一步包覆。

表 1 各配方包覆液中阻燃混合物的含量

Table 1 The content of combustion inhibiting mixture in different formula coating liquid

No.	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]	7 [#]	8 [#]	9 [#]	10 [#]
the content of combustion inhibitor/%	60	50	40	35	30	25	20	15	10	5

2.2.2 发射药的端面包覆

首先将 25/37 硝基胍发射药端面切割平整, 清理干净碎屑后, 分别用针筒将制备好的包覆液滴在发射药药粒一个端面, 保持各配方包覆液的滴加量相同, 然后置于 60 °C 烘箱固化 8 h, 之后再重复以上步骤, 进行另一端面的包覆过程, 制得端面包覆的发射药样品。

2.2.3 环氧树脂阻燃材料静态力学性能试验

将相同质量的 10 种包覆液分别涂在干净的载玻片上, 置于 60 °C 烘箱固化 8 h 之后, 取出置于盛有乙醇的器皿中浸泡 15 min 后将固化树脂膜用刀片揭起, 再在 60 °C 烘箱中驱除表面乙醇液膜, 之后制成哑铃型, 在常温 20 °C, 低温 -60 °C 下保温 12 h, 用材料试验机测试其抗拉性能并记录结果。

将上述不同配方的包覆液在圆柱形磨具内固化后取出, 在常温 20 °C, 低温 -60 °C 下保温 12 h 后, 用材料试验机测定各配方包覆材料的抗压性能。

2.2.4 环氧树脂阻燃材料和发射药基体的热膨胀性能试验

将各配方包覆液固化后制成高 2 mm 的圆柱体, 用瑞士 Mettler Toledo 公司热机械分析仪对其进行线胀系数测量。

2.2.5 发射药端面包覆开孔率试验

定义药粒端面包覆固化后的开孔数与未涂覆前药粒总孔数之比为开孔率, 对上述 10 种配方的包覆液分别涂覆于 4 个药粒端面, 固化后记录每种配方 4 个包覆药开孔率结果。

由于在包覆药药粒燃烧时只要燃气能进入内孔, 就可以点燃药粒内孔燃烧, 因此在各配方端面包覆药粒开孔率的计算中, 固化后不论开孔大小, 将可以流通空气的孔都计为开孔。

3 结果与讨论

3.1 各配方固化材料的拉伸试验结果分析

10 种配方固化材料的拉伸性能见表 2。

表 2 各配方固化材料的拉伸性能

Table 2 Tensile properties of different formula cured materials

No.	-60 °C		20 °C	
	σ /MPa	ϵ_{\max} /%	σ /MPa	ϵ_{\max} /%
1 [#]	3.5202	14.2678	3.9554	19.0188
2 [#]	7.9018	8.3512	8.2901	15.6107
3 [#]	10.008	6.0887	12.1004	9.8965
4 [#]	11.1291	5.6895	13.1747	8.1695
5 [#]	12.0700	4.6931	14.0948	6.9801
6 [#]	14.5768	4.0104	15.0045	5.9991
7 [#]	15.6299	3.6954	16.6838	4.9246
8 [#]	16.0112	3.0218	18.3058	4.1887
9 [#]	18.4091	2.3447	19.7973	3.3516
10 [#]	20.1245	2.0113	21.3688	2.8695

Note: σ is tensile strength, ϵ_{\max} is the maximum of tensile strain.

由表 2 可以看出, 在低温 -60 °C 下和常温 20 °C 下, 随着阻燃剂含量的降低, 抗拉强度逐渐增强, 最大拉伸应变逐渐降低, 这主要是因为随着阻燃剂含量的逐渐减少, 线性的环氧树脂和线性聚酰胺分子链形成的交联节点逐渐增多, 固化后形成的交联网络结构的密度逐渐增大, 导致了其抗拉性能逐渐增强、最大拉伸应变越小。对比低温和常温下的抗拉强度和拉伸应变, 可以看到低温下抗拉强度和最大拉伸应变都小于常温, 这是由于在低温下, 树脂分子链的弹性降低, 和阻燃剂粘性变差, 表现出相对脆化的性质, 较常温容易发生断裂, 因此其抗拉强度和最大形变率都较常温低。

3.2 各配方固化材料的压缩测试结果分析

表 3 为各配方固化包覆材料在低温 -60 °C 和常温下 20 °C 下压缩结果。由表 3 可以看出, 样品从 1[#] 到 10[#] 随着混合阻燃剂含量的逐渐递减, 固化材料的

抗压强度逐渐减弱,其原因主要是由于混合阻燃剂本身的体积可压缩性很小,它在材料中填充了环氧树脂交联网络间的空隙,其含量越高,材料的抗压强度越高。反之,材料的抗压强度越低。对比同种配方材料低温与常温下的抗压强度,可以看出,在阻燃剂含量大于35%时(1[#]~4[#]),其低温最大压缩应力低于常温,阻燃剂含量小于35%时(5[#]~10[#]),低温最大压缩应力高于常温,这是由于在阻燃剂含量高于35%时,树脂形成的交联网络结构较少,链状结构居多,树脂分子链与阻燃剂以及阻燃剂之间的粘结强度较差,表现出比常温较低的抗压强度,随着阻燃剂含量的降低,小于35%时,树脂分子链密度增大,大部分形成了交联网络结构,低温下高分子网络结构的刚性较常温大,因此表现出比常温较高的抗压强度。

对比低温和常温下的最大压缩应变,阻燃剂含量从高到低,低温和常温压缩应变都降低,且其低温下的压缩量都小于常温,这是由于随着阻燃剂含量从高到低,树脂分子链固化后形成的网络结构密度越大,其弹性形变量越小的缘故;对同一样品来说,由于在低温下其树脂分子链段刚性增加,形变能力变小,因此出现低温下压缩形变小于常温下的结果。

3.3 各配方固化材料的线热膨胀系数

一般认为,发射药的使用环境温度范围在-40~50℃。考察此温度范围内发射药与包覆材料的线膨

胀行为,可以从侧面反映出环境温度对它们粘结强度的影响。表4是各个配方固化材料(1[#]~10[#])和发射药(0[#])在-40~50℃范围内的线膨胀系数值,由表4中数据可知,随着阻燃填料的含量增加,其各温度下的线膨胀系数值也增大,这主要是因为随着阻燃填料含量的增加,固化材料中的树脂分子链含量减少,形成的交联网络结构减少,而链状结构相对增多,在受到相同的温度场作用时,链状结构链段较交联网络结构形变约束较小,受温度影响的形变较大,因此出现了表4中的结果。

表3 各配方固化材料的抗压性能

Table 3 Compressive properties of different formula cured materials

No.	-60℃		20℃	
	σ /MPa	ϵ_{max} /%	σ /MPa	ϵ_{max} /%
1 [#]	58.7694	49.8942	-	-
2 [#]	54.0123	36.2860	-	-
3 [#]	51.4650	35.0504	-	-
4 [#]	50.0127	32.9721	-	-
5 [#]	40.0326	26.9635	31.0905	56.4756
6 [#]	28.3701	21.3215	17.2364	55.5901
7 [#]	21.6502	17.2651	16.5601	50.0809
8 [#]	19.8979	16.4593	13.7433	49.3603
9 [#]	16.1642	12.1632	11.0810	48.0102
10 [#]	9.8461	9.5836	5.9789	46.1245

Note: σ is compression strength, ϵ_{max} is the maximum of compressive strain, "-" is out of the measurement range of instrument.

表4 各配方固化材料的线膨胀系数

Table 4 Linear expansion coefficient of different formula cured materials

No.	0 [#]	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]	7 [#]	8 [#]	9 [#]	10 [#]
linear expansion coefficient($\times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$)	1.432	1.606	1.374	1.237	1.206	1.201	1.183	1.105	1.073	0.962	0.849

Note: 0[#] is propellant; 1[#]~10[#] is cured films.

比较发射药和各包覆层固化材料在-40~50℃之间的线膨胀系数值。1[#]~5[#]配方的各线膨胀系数被包覆药粒的值比较接近,作为基药的阻燃包覆层,包覆层和基药药粒有相对较高的粘结强度。

3.4 各配方端面包覆药的开孔率

对不同配方阻燃包覆材料包覆药粒端面后固化,分别统计每个配方制得的4个样品药粒的开孔率,并计算其平均值,计入表5。

表5为各配方端面包覆药粒的开孔率统计值,由表5可知,各配方阻燃包覆药粒,固化后的开孔率相差较大,并且随着阻燃填料的增加,开孔率先增大之后再减小,其中3[#]配方制得的阻燃包覆药粒的开孔率最

高,达到99%,其整体和局部效果图如图1所示。

表5 各配方端面阻燃包覆药粒的开孔率

Table 5 The opening ratios of end-surface-coated multiperforated granular propellant with different formula

No.	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]	7 [#]	8 [#]	9 [#]	10 [#]
the opening ratios of 4 samples/%	14	47	98	90	74	55	24	46	11	15
	16	45	100	94	75	55	25	44	12	16
	13	48	100	93	78	52	29	47	17	15
	13	44	98	91	77	54	30	47	16	18
the average value of value of opening ratios/%	14	46	99	92	76	54	27	46	14	16

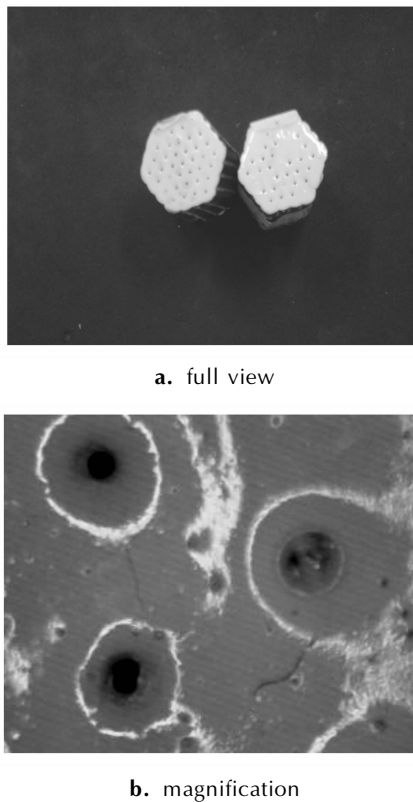


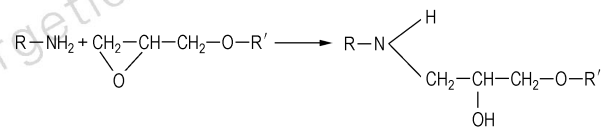
图1 3[#]配方制得包覆固化后图片
Fig.1 Picture of coated propellant for 3[#] formula

造成以上开孔率的结果,其主要原因之一在于各配方包覆液固化过程中的界面张力的作用和液膜强度的变化:在粒状药孔口边缘,有包覆液、空气和发射药端面三者形成的界面,当药粒孔径的大小一定时,由于包覆液配方中阻燃剂含量的不同,在界面处形成的界面张力和液膜强度也不同,当阻燃填料的含量小于40%时(4[#]~10[#]),随着阻燃剂含量逐渐减小,虽然其界面张力逐渐增大,其液膜的抗张强度也增大,同时由于在固化前期,随着阻燃剂含量逐渐减小,包覆液的粘度也逐渐降低,在重力的作用下包覆液会部分流入药粒内孔从而形成堵孔的几率增大,因此,表5从4[#]~10[#]样品,虽然阻燃剂含量减少,开孔率却降低;当阻燃剂填料大于40%时(1[#]~3[#]),此时包覆液粘度较大,重力作用已不能使包覆液流入药粒内孔,此时随着阻燃填料的增大,虽然液膜抗张强度降低,但是其表面张力也迅速减小,因此,表3中从3[#]到1[#]样品,开孔率降低。

此外,虽然各样品包覆液涂刷量相同,但由于阻燃剂含量不同,其固化后材料的收缩性不同,最后形成的固化膜厚度不同:阻燃填料含量越高,最后形成的固

化包覆层越厚,在包覆层动态固化的后期,其动态表面张力降得越低,从而最终固化后的开孔率越小,因此从3[#]到1[#]样品,阻燃填料已经相对较多,固化后成膜厚度也逐渐增大,这也是造成其开孔率下降的一个因素。

包覆液在固化过程中的反应性收缩是指包覆液在固化的过程中,包覆液中环氧树脂与聚酰胺分子靠近反应时,环氧基和胺基之间发生如下的亲核加成反应:



当这样的两条或两条以上的分子链靠近时会形成一条链状结构或交联网络结构,从分子链间的距离转变为分子内的化学键,会造成一定量的体积收缩。这种收缩的大小取决于环氧树脂和聚酰胺固化剂的反应量,反应量越多,造成的收缩越大,当这种收缩碰到发射药药粒孔口界面处就有助于形成开孔。当阻燃填料的含量小于40%时,随着环氧树脂和聚酰胺固化剂的增多,多条分子链相遇的几率增大,形成的网络结构越密实,这种相互交联的网络结构会跨过药粒内孔形成一个网络“桥梁”,降低药粒孔口的开孔率,而其收缩性会表现为整个包覆液面的收缩,因此表5中从3[#]~10[#]样品,随着树脂量的增多,开孔率逐渐降低;当阻燃剂含量大于40%时,环氧树脂和聚酰胺固化剂含量减少,大多反应形成链状结构,在界面张力的作用下很难形成孔口网状“桥梁”,因此从3[#]~1[#]样品,随着树脂含量的减小,反应收缩量变小,对开孔率的贡献减小。

3.5 稀释剂对包覆阻燃材料的影响

图2是3[#]配方包覆液多加20%稀释剂固化后的端面效果:可以在表面明显看到有许多大小不同的小孔,这些小孔大部分是包覆液在固化过程中稀释剂的挥发所造成的,除稀释剂外,配方中H₂O分子、环氧树脂分子碎片、聚酰胺分子碎片等小分子物质的挥发同样会造成微小的空间空隙,这些空隙中的空气在来不及排出的情况下随着固化的进行在表面张力和固化收缩的共同作用下进一步扩大,最终形成了小孔,当这些小孔出现在药粒孔口时,在表面张力的作用下有利于提高开孔率,同时造成包覆层强度的下降。特别是稀释剂,由于相比较其他易挥发小分子含量较大,不但会影响包覆材料的强度,而且对包覆液界面张力和粘度影响较为显著,进而会影响到开孔率,因此要严格控制稀释剂添加量。

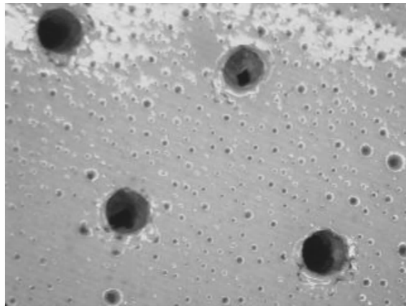


图2 多加20%稀释剂的3#配方包覆药端面放大照片

Fig.2 Picture of end-surface-coated propellant for 3# formula added 20% dilution

3.6 3#配方端面阻燃包覆材料的开孔率随固化时间的变化情况

将3#配方制备的包覆液药粒在室温下固化,得到图3所示的开孔率随时间变化关系的曲线,可以看到在室温下,其开孔率在15 h内可以达到90%以上,16 h后开孔率可以达到99%,说明在前15 h之内,稀释剂等小分子的挥发,环氧树脂的固化交联反应的速度都较快,因而开孔率上升较快,到了后期稀释剂等小分子的挥发结束,环氧树脂的固化交联反应的速度也变慢,因而开孔率趋于稳定直至不变。

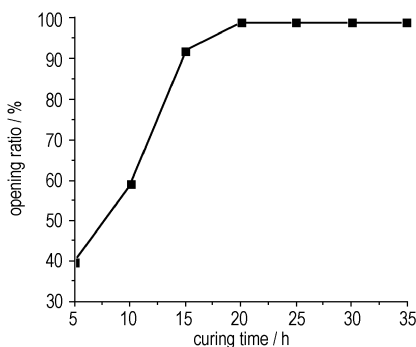


图3 3#配方包覆药开孔率随固化时间的变化(20 °C)

Fig.3 Transformation of opening ratios with curing time of coated propellant for 3# formula materials(20 °C)

4 结论

利用650聚酰胺树脂作E₄₄环氧树脂的固化剂(质量比=3:4),石英粉和二氧化钛混和物(质量比=1:2)做阻燃填充材料配成包覆液,外加乙醇和丙酮的混合稀释剂稀释,涂覆于25/37硝基胍发射药端面,固化后可以制得具有一定开孔率的端面包覆药。

所制包覆药的开孔率受到包覆液表面张力、液膜强度、稀释剂等小分子的挥发性大小以及包覆液固化

收缩性大小等因素的影响,这些因素的影响取决于包覆液的组成,当混合阻燃剂为树脂总量的40%,稀释剂为包覆液质量10%时,在室温下固化可以得到开孔率达到99%以上的端面阻燃包覆药粒。

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: 219-221.
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: 219-221.
- [2] 王琼林,杨文宝,郝宁. 国外发射药钝感包覆技术研究进展[J]. 火炸药,1994,17(3): 40-43.
WANG Qiong-lin, YANG Wen-bao, HAO Ning. The progress of study on deterrent-coated technique of overseas propellants[J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 1994, 17(3): 40-43.
- [3] Mellow D. Nitrocellulose propellant containing diffused linear polyester burning rate deterrent: US,3743554[P],1973.
- [4] Flanagan Joseph E, Lo George A, Frankel Milton B, et al. Gun propellant grains with inhibitor coating: US,3948697[P],1976.
- [5] Williams Pafelix A. Process for deterrent coating of triple base propellant compositions: US,4300961[P],1981.
- [6] Bolinder B, Schmid H. Surface inhibitor for weapon bar: SE, 451719[P],1987.
- [7] 黄洪勇,王泽山. 两种工艺制造的低温感包覆火药性能的比较研究[J]. 火炸药学报,2000,23(1): 6-8.
HUANG Hong-yong, WANG Ze-shan. Comparison study of two technology of making coated propellant with low temperature sensitivity[J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2000, 23(1): 6-8.
- [8] 堵平,何卫东,王泽山. 发射药用聚二甲基丙烯酸乙二醇酯钝感包覆层性能研究[J]. 火炸药学报,2007,30(5): 70-74.
DU Ping, HE Wei-dong, WANG Ze-shan. Research on performance of PEDMA deterring-coating-layer of propellant[J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2007, 30(5): 70-74.
- [9] 堵平,何卫东,王泽山. 低温感发射药包覆层的力学性能[J]. 火炸药学报,2005,28(2): 35-38.
DU Ping, HE Wei-dong, WANG Ze-shan. Mechanical performance of coating-layer of LTSC propellant[J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2005, 28(2): 35-38.
- [10] 堵平,何卫东,王泽山. 降低含NC细粒包覆药的包覆层低温脱粘率研究[J]. 南京理工大学学报,2006,30(2): 236-239.
DU Ping, HE Wei-dong, WANG Ze-shan. Depressing out-adhesive ratio of coating-layer in propellants containing NC at low temperature[J]. Journal of Nanjing University of Science and Technology, 2006, 30(2): 236-239.
- [11] 何卫东,董朝阳. 高分子钝感发射药的低温感机理[J]. 火炸药学报,2007,30(1): 9-11.
HE Wei-dong, DONG Chao-yang. Study of low temperature coefficient mechanism of polymer deterred propellants[J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2007, 30(1): 9-11.
- [12] 罗运军,刘玉海,何卫东,等. 不同包覆方式包覆火药的燃烧性能[J]. 弹道学报,1995,7(2): 22-26.
LUO Yun-jun, LIU Yu-hai, HE Wei-dong, et al. Combustion properties of coated-propellant with different coating ways[J]. Journal of Ballistics, 1995, 7(2): 22-26.

Preliminary Study of Multiperforated Granular End-surface-coated Propellant by Epoxy Resin Composite Materials

YANG Chun-hai, HE Wei-dong, DU Ping, WANG Ze-shan

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

Abstract: The end surface of the principal propellant exists regressive burning in large caliber gun. The $p-l$ curve of projectile can be perfected as the regressive burning eliminated. Hereon, different fire retardant amounts epoxy resin composites(ERC) were studied. On the basis of tests of mechanical properties, thermal expansion properties, curing properties of these ERC and open-pore-ratio of coated 25/37 nitroguanidine propellant by ERC, the relationships between the open-pore-ratio and the properties of ERC were analyzed. Results show 99% open-pore-ratio can be achieved when the mass formula of ERC is as follow: 60% resin (E_{44} epoxy resin : 650 polyamide = 4 : 3), 40% mixed fire retardant (quartz powder : TiO_2 = 1 : 2), added 10% diluting agent (alcohol : acetone = 1 : 1).

Key words: polymer chemistry; propellant; epoxy resin; end-surface-coated; open-pore-ratio

CLC number: TJ55; O63

Document code: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2012.02.005



《含能材料的研究与发展》专辑征稿

——纪念董海山院士诞辰 80 周年

董海山院士,含能材料专家,1932年10月出生于河北滦县。董海山院士长期从事核武器用高能炸药的合成与应用研究,是我国这一领域的著名专家和主要学术带头人之一。董海山院士首次合成出一系列“并列多硝基化合物”等近20种新化合物,与兵器部、中科院合作成功研究了2号炸药和HMX的合成工艺,并研制了我国第一个“塑料粘性炸药”,阐明了以硝仿为酸组分的曼尼希反应机理,发现了伯胺的三硝基乙基-N-亚硝基化反应,论证了炸药某些性能的代表方法,负责研制成功了低感度高能炸药、新传爆药和钝感炸药等产品,用于两弹型号装备,为我国“两弹一星”事业做出了突出贡献。

董海山院士作为《含能材料》创始人之一及第一任主编,生前一直关心支持刊物的成长与发展。为纪念董海山院士诞辰80周年,《含能材料》将于2012年第5期组织出版《含能材料的研究与发展》专辑。内容包括含能材料研究的合成、性能、安全评价、应用等,特别是含能材料的研制、应用中的新思路与新方法。

《含能材料》诚邀董海山院士的同学、同事、朋友撰稿,缅怀董海山院士为我国含能材料发展所做贡献,共同探讨含能材料的发展变化,共同促进含能材料学科的进步。

来稿时请在“拟投栏目”中选择《含能材料的研究与发展》——纪念董海山院士诞辰80周年专辑。专辑截稿时间为2012年7月30日。

《含能材料》编辑部