

文章编号: 1006-9941(2010)01-0088-05

浇铸型高能 CMDB 推进剂的力学性能

王 晗, 樊学忠, 刘小刚, 李吉祯, 齐晓飞

(西安近代化学研究所, 陕西 西安 710065)

摘 要: 研究了硝化棉种类和含量、高氯酸铵粒径, 以及双基球和黑索今含量等对复合改性双基(CMDB)推进剂力学性能的影响。结果表明, 随着含氮量 12.0% 的 NC 的降低, CMDB 推进剂 20 °C 和 50 °C 下的拉伸强度和延伸率均显著降低。在 CMDB 推进剂中添加适量含氮量 13.0% 的 NC 和 12.6% 的 NC 均有助于提高推进剂拉伸强度; 含氮量 13.0% 的 NC 不利于改善推进剂的延伸率; 而含氮量 12.6% 的 NC 有助于提高推进剂的低温延伸率, 但对推进剂高温延伸率影响不显著。在 CMDB 推进剂中添加适量的双基球对提高推进剂的拉伸强度和延伸率均有利。AP 的粒径对 CMDB 推进剂力学性能影响显著, 小粒径的 AP 有利于提高推进剂的拉伸强度, 而大粒径的 AP 有利于改善推进剂的延伸率。随着 RDX 取代 AP 量的逐渐增大, CMDB 推进剂在高温和常温下的拉伸强度先增大后减小, 而延伸率先增减小后增大。

关键词: 固体力学; 固体推进剂; 复合改性双基推进剂; 力学性能; 硝化棉; 高氯酸铵; 黑索今

中图分类号: TJ5; V512; O34

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2010.01.022

1 引 言

复合改性双基(CMDB)推进剂具有长储性能好、完善的工业基础和成熟的生产技术, 是现役战术武器的主要推进剂品种之一^[1]。目前工程化应用的浇铸型 CMDB 推进剂(硝化棉含量一般在 29% 左右), 实测比冲为 230 s 左右, 难以满足新一代战术武器系统的需求^[2-6]。因此提高浇铸 CMDB 推进剂能量是高能推进剂研究的主要向之一^[7]。实现浇铸型 CMDB 推进剂高能化的可行途径是: 降低硝化棉的含量, 提高推进剂中比 NC 能量高的固体组分 AP、RDX、HMX 等含量。但随着推进剂中 AP、RDX、HMX 等组分含量的增加, 硝化棉的含量减少(少于 20%), 浇铸型 CMDB 推进剂的力学性能恶化, 难以满足发动机的使用要求, 故提高该类推进剂的力学性能也是研究的重点。国内外对低 NC 含量的浇铸型 CMDB 推进剂力学性能研究较少。为了探索低 NC 含量的高能 CMDB 推进剂结构特点与其力学性能之间的规律, 系统地研究了硝化棉种类和含量、固体填料 AP 粒度等对 CMDB 推进剂力学性能的影响, 为低硝化棉含量的浇铸高能 CMDB 推进剂力学性能研究提供参考。

收稿日期: 2009-03-22; 修回日期: 2009-09-09

作者简介: 王晗(1973-), 男, 工程师, 博士, 主要从事固体推进剂配方和工艺研究。e-mail: wanghanzhangru@yahoo.com.cn

2 试验部分

2.1 主要原材料及设备

主要原材料: 1 号硝化棉(1[#] NC, 13.0% N); 2 号硝化棉(2[#] NC, 12.6% N); 3 号硝化棉(3[#] NC, 12.0% N); 双基球(DB ball, 组分为 3[#] NC 和 NG, 其百分含量比为 9:1); 硝化甘油(NG); 黑索今(RDX, $d_{50} = 44.90 \mu\text{m}$); 高氯酸铵(AP, $d_{50} = 335 \mu\text{m}, 214 \mu\text{m}, 127 \mu\text{m}, 8 \mu\text{m}, 4 \mu\text{m}$); 铝粉(Al, $d_{50} = 10.18 \mu\text{m}$); 吉纳(DINA); 安定剂; 其它功能助剂。

主要设备: 2 L 行星捏合机(中国), INSTRON4505 材料试验机, GSM-5800S 扫描电镜(美国)。

2.2 推进剂基础配方

CMDB 推进剂配方: NC(12.0% N), 15.0% ~ 25.0%; NG, 30.0%; AP, 13% ~ 32%; RDX, 0 ~ 12%; Al, 15% ~ 20%; DINA(3.5%), 安定剂(1.5%)。

2.3 推进剂样品制备

推进剂样品均采用淤浆浇铸工艺制备。即将混匀固料加入到配制好的液料中, 在 2 L 行星式捏合机中混合 1 h 左右, 将药浆在真空状态下浇铸到模具内, 70 °C 固化 72 h, 退模。

2.4 测试仪器及试验方法

推进剂力学性能: 将推进剂制成 10 mm × 10 mm × 120 mm 药块在 INSTRON 4505 材料试验机中进行

测试, 拉伸速率为 $100 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, 试验方法参照 GJB770B-2005 中的方法 413.1。

推进剂剖面形貌: 将推进剂在 INSTRON 4505 材料试验机上拉断后, 用扫描电镜观察推进剂的断面, 得到推进剂不同放大倍数的断面形貌的扫描电镜照片。

3 结果与讨论

3.1 不同含量和种类的 NC 对 CMDB 推进剂力学性能的影响

目前工程化应用的浇铸 CMDB 推进剂的 3[#]NC 百分含量均在 25% 以上, 因此以 3[#]NC 含量为 25% 的配方为基础研究 3[#]NC 含量对 CMDB 推进剂力学性能的影响, 配方变化为逐渐减少配方中 3[#]NC 含量, 相应增加其 AP 和 Al 粉的含量 (AP 含量和 Al 含量始终保持比为 5:3), 其它组分含量不变, 其配方的力学性能测试结果见表 1。

表 1 NC(12.0%N) 含量对 CMDB 推进剂力学性能的影响
Table 1 Effect of NC (12.0% N) content on mechanical properties of CMDB propellant

3 [#] NC/%	+20 °C		+50 °C	
	σ_m /MPa	ε_m /%	σ_m /MPa	ε_m /%
25	1.584	51.40	0.307	22.919
23	1.392	42.10	0.296	21.700
20	0.770	23.97	0.173	21.636
17	0.625	22.13	0.092	20.045
15	0.486	21.62	0.068	18.686

从表 1 可看出, 随着配方中 3[#]NC 含量的减少, 固体 (AP 和 Al) 含量相应增加, CMDB 推进剂常温 (20 °C) 和高温 (50 °C) 下的拉伸强度 (σ_m) 和延伸率 (ε_m) 均明显下降。

文献[8]指出, 3[#]NC 球仅能在分子浓度相对有限的 NG 和少量的增塑剂作用下有限溶胀, 形成粘度很大、体积有限且不具有流动性的高溶液体系单元。推进剂中 3[#]NC 含量较高、填料量相对较少, 则溶胀后的每个相对独立的高分子浓溶液体系单元周围的高分子浓溶液体系单元数目较多, 提高了高分子浓溶液体系单元彼此接触的几率和接触面积; 同时也会增大高分子浓溶液体系单元与填料之间的接触面积。而接触的几率和接触面积有利于塑化后的 3[#]NC 球相互搭接形成能结构密实、连续性较好黏结剂基体, 也有利于黏结剂基体对填料较好地包裹。而当推进剂中 3[#]NC 含量降低时, 高分子浓溶液体系单元彼此接触的几率和接

触面积较小, 形成的黏结剂基体结构也就疏松且其连续性也较差, 黏结剂基体也不能对填料很好包裹。

3[#]NC 为 25% 和 15% 的 CMDB 推进剂的拉伸断面形貌如图 1 所示。从图 1 可明显看出, 3[#]NC 含量较高时 (图 1a), CMDB 推进剂中黏结剂基体结构密实, 且其连续性较好; 同时黏结剂基体和 AP 以及 Al 之间粘接也较为牢固; 而 3[#]NC 含量较低时 (图 1b), CMDB 推进剂中的黏结剂基体疏松, 并且其连续性较差; 同时黏结剂基体也不能对 AP 及 Al 粉很好包裹。因此基于以上试验事实和理论分析可认为, 3[#]NC 含量对推进剂黏结剂基体的结构密实、连续性以及黏结剂基体对填料包裹效果有很大影响, 3[#]NC 含量较高, 推进剂黏结剂基体密实、连续性较好, 且能对填料很好包裹, 推进剂力学性能较好。

从表 1 还可看出, 当 3[#]NC 含量低于 20% 时, CMDB 推进剂力学性能急剧恶化。因此为了探索改善低 NC 含量 (20% 以下) CMDB 推进剂力学性能的技术途径, 在上节研究的的基础上选用 3[#]NC 含量为 20% 的 CMDB 推进剂配方为基础, 保持配方中其它组分含量不变, 分别逐渐以一定量的 1[#]NC、2[#]NC 相应取代等量 3[#]NC, 研究了 1[#]NC、2[#]NC 和 3[#]NC 配合对 CMDB 推进剂力学性能的影响, 其结果分别见表 2 和表 3。

从表 2 可知, 随着 1[#]NC 取代 3[#]NC 量的增加, CMDB 推进剂常温和高温的拉伸强度逐渐增大, 而其

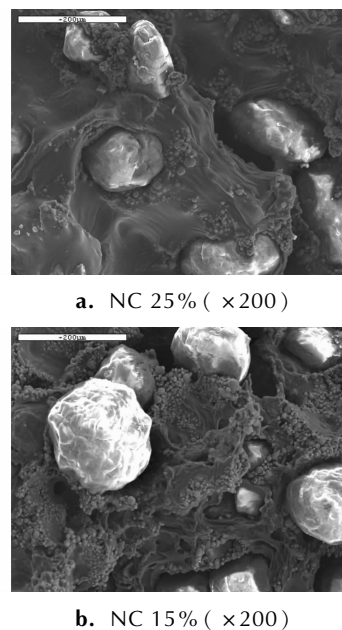


图 1 不同 NC (12.0% N) 含量的 CMDB 推进剂拉伸断面 SEM 图像

Fig. 1 SEM photographs of tensile fracture surface of CMDB propellant with different contents of NC (12.0% N)

表 2 NC(13.0%N)含量对 CMDB 推进剂力学性能的影响

Table 2 Effect of NC(13.0%N) content on the mechanical properties of CMDB propellant

3 [#] NC /%	1 [#] NC /%	+20 °C		+50 °C	
		σ_m /MPa	ϵ_m /%	σ_m /MPa	ϵ_m /%
20	0	0.770	23.976	0.173	21.936
18	2	1.015	18.748	0.216	17.838
16	4	1.130	16.007	0.276	14.360
14	6	1.383	12.881	0.373	12.138
12	8	1.591	10.105	0.420	10.331
10	10	1.364	10.052	0.357	10.036

表 3 NC(12.6%N)含量对 CMDB 推进剂力学性能的影响

Table 3 Effect of NC(12.6%N) content on the mechanical properties of CMDB propellant

3 [#] NC /%	2 [#] NC /%	+20 °C		+50 °C	
		σ_m /MPa	ϵ_m /%	σ_m /MPa	ϵ_m /%
20	0	0.770	23.976	0.173	21.936
18	2	1.240	39.076	0.244	20.000
16	4	1.299	40.714	0.259	19.619
14	6	1.388	41.692	0.302	20.448
12	8	1.357	41.190	0.290	20.181
10	10	1.322	40.695	0.275	19.267

延伸率逐渐减小;当 1[#]NC 取代 3[#]NC 的质量分数超过 8% 时,推进剂常温和高温的拉伸强度反而减小,其延伸率持续减小。

从表 3 可看出,随着 2[#]NC 取代 3[#]NC 量的增加,CMDB 推进剂常温的拉伸强度和延伸率逐渐增大;但取代质量分数超过 6% 时,推进剂的常温拉伸强度和延伸率反而减小,但其变化幅度减缓。在高温时,推进剂拉伸强度和常温的变化趋势相同;但其延伸率变化幅度不大。

比较表 2 和表 3 的数据可知,在推进剂中添加适量的 1[#]NC 和 2[#]NC 均有助于提高推进剂拉伸强度;同时也可看出 1[#]NC 不利于改善推进剂的延伸率,而 2[#]NC 在低温下有助于提高推进剂的延伸率,但其对推进剂高温延伸率影响不大。综合分析认为,2[#]NC 改善推进剂力学性能效果较好。

含 1[#]NC 和 2[#]NC 的推进剂拉伸强度和延伸率的不同与 1[#]NC 与 2[#]NC 的溶胀、溶解性能有关。文献 [8] 指出淤浆浇铸的推进剂中的 1[#]NC 球在固化后 NC 球之间的界限鲜明,不能明显在 NG 中溶解。因此我们认为,在淤浆浇铸推进剂中加入的 1[#]NC 球,推进剂固化后由于 1[#]NC 球不能在 NG 中很好地塑化,导致塑化后的 1[#]NC 球之间不能粘接在一起,也不能对推进剂中的填料很好包裹,即没有起到黏结剂的作用。

因此加入 1[#]NC 球相当于相对降低了推进剂中黏结剂的含量而相对提高了填料的含量,使推进剂中黏结剂基体的结构的密实性和连续性遭到破坏,使推进剂的延伸率降低。但由于 1[#]NC 球又可有填料对黏结剂的增强作用,会使推进剂拉伸强度在一定范围内有所提高。而 2[#]NC 在 NG 中除了膨润外,还在 NG 中能部分溶解,使固化后推进剂中的 2[#]NC 球既有部分黏结剂的作用,也有填料对黏结剂的增强作用^[8]。因此 2[#]NC 球不但能提高推进剂拉伸强度,而且有助于改善推进剂的延伸率。

3.2 双基球含量对 CMDB 推进剂力学性能的影响

为了探索改善低 NC 含量(20% 以下)的 CMDB 推进剂力学性能奠定技术基础,本试验也以 3[#]NC 含量为 20% 的配方为基础,保持其它组分含量不变,仅以双基球逐步等量取代基础配方中 3[#]NC,研究了双基球含量对 CMDB 推进剂力学性能的影响,其结果见表 4。

表 4 双基球含量对 CMDB 推进剂力学性能的影响

Table 4 Effect of DB ball content on the mechanical properties of CMDB propellant

DB ball/%	+20 °C		+50 °C	
	σ_m /MPa	ϵ_m /%	σ_m /MPa	ϵ_m /%
0	0.700	23.976	0.173	21.936
2	1.350	59.876	0.200	23.267
4	1.439	64.543	0.234	24.462
6	1.242	63.052	0.204	23.048
8	1.236	61.843	0.203	22.938
10	1.227	60.238	0.200	21.705

从表 4 可知,随着双基球含量逐渐提高,CMDB 推进剂的常温、高温的拉伸强度和延伸率均逐渐增大。当双基球含量为 4% 时,推进剂的常温、高温的拉伸强度和延伸率分别达到最大值。此后双基球含量继续增加,推进剂的常温、高温的拉伸强度和延伸率反而逐渐减小。试验结果表明,在 CMDB 推进剂中,添加适量的双基球有利于提高推进剂的拉伸强度和延伸率。

我们认为双基球中含有少量硝化甘油(NG),NG 均匀分布于 NC 大分子间,降低了 NC 分子间的相互作用力,即 NC 已进行了预塑化。因此在固化过程中,和纯 3[#]NC 球相比,NG 更容易扩散到双基球内,使双基球内的 NC 容易塑化,使双基球有较高的溶胀度^[8],进而会使溶胀后的双基球更易相互粘接并对填料包裹。因此在推进剂中加入适量的双基球,可提高推进剂中黏结剂基体结构的密实性和连续性,有助于提高推进剂的常温、高温的拉伸强度和延伸率。但加入过量的双

基球,会使推进剂中 NC 量相对减少,反而使推进剂的黏结剂基体结构的密实性和连续性遭到破坏,进而使推进剂的常温、高温的拉伸强度和延伸率反而降低。

3.3 AP 粒度对 CMDB 推进剂力学性能的影响

文献[9]曾报道改变 AP 的粒度也能调节 CMDB 推进剂力学性能。为用不同粒度改善低 NC 含量(20% 以下)的 CMDB 推进剂力学性能奠定技术基础,本试验以 3[#]NC 含量为 23% 的配方为基础,保持配方中其他组分含量不变,仅改变 AP 的粒度,研究了 AP 粒度对 CMDB 推进剂力学性能的影响,其结果见表 5。

表 5 AP 粒度对 CMDB 推进剂力学性能的影响

Table 5 Effect of AP particle size on mechanical properties of CMDB propellant

$d_{50}/\mu\text{m}$	+20 °C		+50 °C	
	σ_m/MPa	$\varepsilon_m/\%$	σ_m/MPa	$\varepsilon_m/\%$
335	1.216	56.06	0.196	27.600
214	1.246	55.55	0.200	25.619
127	1.392	42.10	0.296	22.700
8	1.849	22.01	0.347	21.862
4	2.214	19.24	0.353	20.481

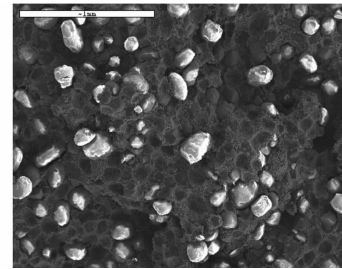
由表 5 可知,随着 AP 粒度的减小,CMDB 推进剂的高温、常温的拉伸强度逐渐提高,但其延伸率逐渐降低。从表 5 还可看出,小粒径的 AP 有利于提高 CMDB 推进剂的拉伸强度,而大粒径的 AP 有利于改善 CMDB 推进剂的延伸率。

含不同粒度 AP 的 CMDB 推进剂拉伸断面 SEM 图像如图 2 所示。从图 2a 可观察到,AP 粒度较大时,推进剂黏结剂基体连续性较好,白色大颗粒 AP 分散不均匀,且大多数 AP 颗粒未被黏结剂包覆,AP 粒子裸露。相比之下,图 2b 中粒度较小的 AP 较好地均匀分散并被包覆于黏结剂基体中,其两相界面结合也较为牢固,但黏结剂基体连续性较差。基于以上试验结果我们认为,在 CMDB 推进剂中,AP 粒度越小,其比表面积越大,AP 与推进剂黏结剂基体之间的接触面积增加,使 AP 和黏结剂之间的物理粘接作用增强,使推进剂的拉伸强度提高^[9]。但 AP 粒度越小,也会使推进剂黏结剂基体结构连续性破坏,降低了推进剂的延伸率。

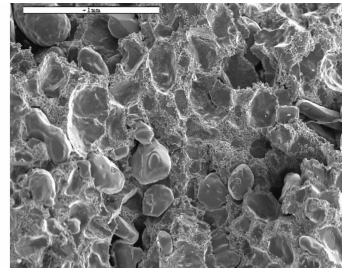
3.4 RDX 含量对 CMDB 推进剂力学性能的影响

粒度不同的填料之间的级配也对 CMDB 推进剂的力学性能有影响,因此利用不同含量的粒度不同填料进行适度级配也是改善低 NC 含量(20% 以下)的 CMDB 推进剂力学性能技术途径之一。本试验仅以 3[#]NC 含量为 25 % 的配方为例,配方中组分含量不变,

以 RDX ($d_{50} = 44.90 \mu\text{m}$) 逐步取代配方中的 AP ($d_{50} = 127 \mu\text{m}$),研究 RDX 等量取代 AP 对 CMDB 推进剂力学性能的影响,结果见表 6。



a. $d_{50} = 127 \mu\text{m}$ (x50)



b. $d_{50} = 8 \mu\text{m}$ (x400)

图 2 含不同 AP 粒度的 CMDB 推进剂拉伸断面 SEM 图像

Fig. 2 SEM photographs of tensile fracture surface of CMDB propellant containing AP with different particle sizes

表 6 RDX 含量对 CMDB 推进剂力学性能的影响

Table 6 Effect of RDX content on mechanical properties of CMDB propellant

AP /%	RDX /%	+20 °C		+50 °C	
		σ_m/MPa	$\varepsilon_m/\%$	σ_m/MPa	$\varepsilon_m/\%$
32	0	1.217	47.729	0.243	17.462
28	4	1.243	43.129	0.261	15.590
24	8	1.393	31.081	0.274	12.367
20	12	1.238	33.652	0.242	13.462
16	16	1.187	41.048	0.232	14.557

由表 6 可知,随着 RDX 取代 AP 质量分数的增加,CMDB 推进剂在高温和常温下的拉伸强度呈先增大而后减小的现象,而推进剂延伸率则先减小而后增大。

我们认为在 CMDB 推进剂中添加 RDX 后,粒度不同的 RDX ($d_{50} = 44.90 \mu\text{m}$)、AP ($d_{50} = 127 \mu\text{m}$) 和 Al ($d_{50} = 12.18 \mu\text{m}$) 之间进行了粒度级配,使推进剂高温和常温的拉伸强度增大,而延伸率减小。当 RDX 含量达到某一值时,RDX、AP 和 Al 之间的粒度级配达到最佳值,此时推进剂高温和常温下的拉伸强度最大,延伸率最小。此后 RDX 含量继续增加,RDX 和 AP 以及 Al 之间的粒度级配逐渐偏离最佳值,推进剂在高温和常温下的拉伸强度反而逐渐减小,延伸率逐渐增大^[10]。

4 结 论

(1) 3[#]NC(12.0% N)对推进剂的力学性能有很大影响,随着其含量的减少,CMDB 推进剂 20 °C 和 50 °C 下的拉伸强度和延伸率均显著降低。

(2) 添加适量 1[#]NC(13.0% N)和 2[#]NC(12.6% N)均有助于提高推进剂拉伸强度。但 1[#]NC 不利于改善推进剂的延伸率,而 2[#]NC 有助于提高推进剂的低温延伸率,但对推进剂的高温延伸率影响不大。

(3) 在 CMDB 推进剂中,添加适量的双基球有利于提高推进剂的拉伸强度和延伸率。

(4) AP 粒径对 CMDB 推进剂的力学性能也有较大的影响,小粒径的 AP 有利于提高推进剂的拉伸强度,而大粒径的 AP 有利于改善推进剂的延伸率。

(5) RDX 取代 AP 的量对 CMDB 推进剂的力学性能也有较大的影响;随着 RDX 量的增加,CMDB 推进剂在高温和常温下的拉伸强度先增大而后减小,而其延伸率先减小而后增大。

参考文献:

- [1] 李一苇. 国外重视在战略和战术导弹中应用改性双基推进剂[J]. 火炸药学报,1983(2): 52-56
LI Yi-wei. Foreign Attach importance to the application of composite modified double base propellants in strategic and tactical missile[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 1993 (2): 52-56.

- [2] Afshani M E, Sahafian A, Hamidi A. Experimental research on composite modified double base propellants[C]//Proceedings of the 2003 International Autumn Seminar on Propellants, Explosives and Pyrotechnics. Guilin, 2003: 491-498.
[3] LIAN Shun-hua. Preparation process of porous ammonium perchlorate and its effect on the burning rate of solid propellant[J]. *Journal of Propulsion Technology*, 1993 (4): 72-78.
[4] Beckwith S W, Carroll H B. Bulk modulus determination of solid propellant void content[J]. *Journal of Spacecraft and Rockets*, 1985, 22(2): 156-161.
[5] Raman K V, Singh H, Rao K R K. Ballistic modification of composite modified double-base propellants containing ammonium perchlorate[J]. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 1987, 12: 13-16.
[6] 杨明忠, 滕学锋. AP/CMDB 推进剂的成型工艺[J]. 火炸药学报, 1996, 19(3): 31-32.
YANG Ming-zhong, TENG Xue-feng. Process technology of AP/CMDB propellant [J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 1996, 19(3): 31-32.
[7] 樊学忠, 李吉祯, 刘小刚. 新型固体推进剂研究现状和发展趋势[C]//2008年火炸药学术研讨会论文集. 贵阳, 2008: 307-312.
[8] 张端庆, 王建民, 李上文, 等. 固体火箭推进剂[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1991: 352-353.
[9] 曾甲牙. 固体填充剂对推进剂力学性能的影响[J]. 固体火箭技术, 2002, 25(1): 46-50.
ZENG Jia-ya. Effects of solid filler on mechanical properties of propellants[J]. *Journal of Solid Rocket Technology*, 2002, 25 (1): 46-50.
[10] 刘浩斌. 颗粒尺寸分布及堆积理论[J]. 硅酸盐学报, 1991(2): 164-172.
LIU Hao-min. Theory of Particle size distribution and accumulation [J]. *Journal of the Chinese Ceramic Society*, 1991(2): 164-172.

Mechanical Properties of Casting High Energy Composite Modified Double-base Propellant

WANG Han, FAN Xue-zhong, LIU Xiao-gang, LI Ji-zhen, QI Xiao-fei

(Xi'an Modern Chemistry Research Institute, Xi'an 710065, China)

Abstract: Effects of the varieties and contents of nitrocellulose(NC)ball, particle sizes of ammonium perchlorate(AP), contents of AP and RDX on the mechanical properties of casting high energy composite modified double-base (CMDB) propellant, were studied. Results show that, the tensile strength and elongation at +20 °C and +50 °C of the CMDB propellant decrease significantly with the decreasing of NC (12.0%N) content. Appropriate content of NC (13.0% N) and NC (12.6% N) balls in CMDB propellant can enhance the tensile strength of CMDB propellant. But NC(13.0N%) ball is not helpful to the improvement of tensile elongation of the propellant, while NC(12.6%N) ball is beneficial to the improvement of the propellant elongation. At the same time, appropriate content of DB ball composed of NC(12.0%N) and NG in the propellant will improve the tensile strength and the elongation of the propellant. Particle sizes of AP have influences on the mechanical properties of the propellant. AP with smaller particle size is helpful to improve the tensile strength of the propellant, while AP with bigger granularity is conducive to the improvement of the propellant elongation. When RDX content in CMDB propellant increases gradually, the tensile strength of CMDB propellant at +20 °C and +50 °C firstly increases and then decreases, while the elongation at +20 °C and +50 °C firstly decreases and then increases.

Key words: solid mechanics; solid propellant; composite modified double-base propellant; mechanical property; nitrocellulose; ammonium perchlorate; RDX

CLC number: TJ5; V512; O34

Document code: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2010.01.022