

文章编号: 1006-9941(2008)04-0441-05

RDX 粒径和表面能对 HTPB 推进剂力学性能的影响

杜美娜, 罗运军

(北京理工大学材料科学与工程学院, 北京 100081)

摘要: 采用 Washburn 薄层毛细渗透技术测定了符合军标的六个不同级别 RDX 的表面能及其分量。选用非极性的二碘甲烷和 1-溴萘作为测定不同级别 RDX 表面能色散分量的探针液体, 极性的乙二醇和甲酰胺作为测定不同级别 RDX 表面能极性分量和酸、碱分量的探针液体。研究发现, 随着粒径的增大, RDX 的总表面能略微增大。制备固含量为 15% 的 RDX/HTPB/IPDI 推进剂胶片, 研究了 RDX 的粒径和表面能对 HTPB 推进剂力学性能的影响。结果表明, 含有相同固含量的不同级别 RDX 的 HTPB 推进剂胶片的最大应力与单个 RDX 粒子的界面粘附能呈指数衰减函数, 即 $y = 0.5242 + 0.6973 \exp(-1.161 W_{adh}^0)$ 。

关键词: 固体力学; RDX; 表面能及其分量; HTPB 推进剂; 力学性能

中图分类号: TJ55

文献标识码: A

1 引言

固体推进剂是一种复合材料, 固体填料与粘合剂两相界面之间的相互作用对固体推进剂的力学性能有重要影响。目前提高固体推进剂能量的技术途径主要有: 应用新型高能量密度化合物, 提高配方中高能固体的含量等, 但这些方法都会使固体推进剂的力学性能变差。因此, 对固体推进剂的界面性质进行表征, 研究提高固体推进剂力学性能的方法很有必要。另外, 通过改变炸药的粒度来改善固体推进剂的性能已成为固体推进剂技术发展的一个重要途径。炸药晶体的大小对其性能有显著影响。在固体推进剂的生产中, 为了提高固体装填量, 往往用两种以上粒径的颗粒以一定的比例进行级配, 以获得最大装填密度。因此, 研究不同粒径固体填料的表面性质有重要的意义^[1-2]。近年来, 薄层毛细渗透技术测定粉体表面的接触角和固体表面能的成分受到广泛关注。本实验依此利用薄层毛细渗透法测定了固体推进剂中高能固体填料——符合国军标六个粒度级别的 RDX 的表面能及其分量, 探讨了 RDX 的粒径和表面能对 HTPB 推进剂胶片力学性能的影响。

2 实验部分

2.1 仪器和试剂

INSTRON 力学拉伸机 (AGS-J, SHIMADZU), 拉伸速

度为 $100 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, 常温测试。气相色谱仪 (GC-14C, SHIMADZA), 真空干燥箱 (DZF-6050 型, 上海一恒科技有限公司), 油泵 (2XZ-2 型旋片式真空泵, 中国浙江临海市精工真空设备厂), 隔水式恒温培养箱 (GHP-9050 型, 上海一恒科技有限公司), 分析天平 (Adventurer, 奥豪斯, 中国)。

正庚烷、正辛烷、1-溴萘、二碘甲烷、乙二醇和甲酰胺, 均为分析纯。探针液体的表面张力及其分量以及粘度等参数见文献[3-5]。不同级别 RDX: RDX1 (平均粒径为 0.1930 mm)、RDX2 (平均粒径为 0.1450 mm)、RDX7 (平均粒径为 0.1062 mm)、RDX6 (平均粒径为 0.1061 mm)、RDX8 (平均粒径为 0.07220 mm) 和 RDX5 (平均粒径为 0.05770 mm)。端羟基聚丁二烯 (HTPB), 羟值 $= 0.515 \text{ mmol KOH} \cdot \text{g}^{-1}$ 。固化剂: 异佛尔酮二异氰酸酯 (IPDI), $\bar{M}_n = 222.3 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, 分析纯。催化剂: 二月桂酸二丁基锡, 分子量 $\bar{M}_n = 631.55 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, 使用时配制成质量分数为 1% 的邻苯二甲酸二丁酯溶液。

2.2 样品的制备

采用一步法制备 15% 固含量的不同级别 RDX/HTPB/IPDI 胶片。在烧杯中依次加入粘合剂 HTPB、固化剂 IPDI、催化剂 T12、固体填料 RDX, 手工搅拌 30 min 混合均匀。在 $60 \text{ }^\circ\text{C}$ 烘箱中预热后将混合体系倒入聚四氟乙烯模板, 放入真空干燥器 ($60 \text{ }^\circ\text{C}$) 抽真空至表面平整无气泡。取出后放入 $60 \text{ }^\circ\text{C}$ 水浴烘箱, 固化 7 天即可制得不同级别 RDX/HTPB/IPDI 胶片。将制得的胶片在切样机下切成哑铃状样条, 每个胶片可制得 4~6 个样条, 在力学拉伸机下检测其力学性能。

2.3 实验方法

采用毛细渗透法测定不同级别 RDX 的表面能及

收稿日期: 2007-09-25; 修回日期: 2008-03-11

基金项目: 国家重大基础研究项目资助 (61340010201)

作者简介: 杜美娜 (1981-), 女, 博士, 从事高能火药表、界面性质研究。

通讯联系人: 罗运军 (1964-), 教授, 博士, e-mail: yjluo@bit.edu.cn

其分量,实验原理见文献[6]。HTPB 粘合剂体系的表面性质见文献[7]。

3 结果与讨论

3.1 液体在粉体表面的接触角

整个 Washburn 毛细渗透实验是在室温下进行。首先用饱和正庚烷作为渗透液,预接触形成双层膜,确保接触角 $\theta = 0^\circ$ 。称取预接触前后薄板的质量,计算得到次级微孔体积 V_p 。根据预接触前和渗透实验后薄板的质量,计算薄板的总空隙体积 V_t 。预接触实验发现,不同级别 RDX 薄板对正庚烷蒸气的吸附量很小,次级微孔体积 V_p 与总空隙体积 V_t 之比小于 5%,故次级微孔体积 V_p 相对于总空隙体积 V_t 可忽略不计。因此 RDX 不具有次级微孔,其毛细渗透过程适用经典 Washburn 方程。然后分别以甲酰胺、1-溴萘、二碘甲烷和乙二醇为渗透液,测试各个探针液体在铺有不同级别 RDX 的薄板上的渗透曲线。

以 RDX5 为例,说明各种探针液体在铺有 RDX5 的薄板上的毛细渗透曲线(见图 1)。从图 1 可看出,渗透速度从大到小依次为:甲酰胺、1-溴萘、二碘甲烷和乙二醇。渗透速度是由探针液体的粘度和表面张力、探针液体与固体粉末的接触角以及薄板的仪器常数共同决定的。薄板的仪器常数 R_p 差别不大,每块薄板的 R_p 由正庚烷求得。表 1 列出了各种探针液体预接触和未预接触时所得接触角的余弦值,分别为 $\cos\theta_r$ 和 $\cos\theta_a$,两者平均值 $\cos\theta$ 为该探针液体与 RDX5 固体粉末的接触角余弦值。甲酰胺的表面张力最大,而粘度居中,所以渗透速度最快。1-溴萘相对于甲酰胺而言,表面张力减小且粘度增大,所以渗透速度比甲酰胺慢。二碘甲烷相对于 1-溴萘而言,表面张力稍大,粘度稍小,但接触角却显著增大,综合各个因素使得二碘甲烷的渗透速度比 1-溴萘慢。对于乙二醇而言,其粘度明显大于其它探针液体,所以渗透速度最慢。

3.2 固体表面能及其分量

根据不同探针液体在 RDX5 粉体表面上的接触角,可以求得 RDX5 粉体的表面能的各个分量。1-溴萘和二碘甲烷的表面张力较大且仅含有非极性成分,显示非零接触角,因而可选为求取表面能非极性成分的探针液体,其测定结果分别为 $23.27 \text{ mJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 和 $24.15 \text{ mJ} \cdot \text{m}^{-2}$,两者基本一致,偏差小于 3.7%,取其平均值作为 RDX5 粉体表面能非极性成分的测定结果,即 $\gamma_s^{\text{LW}} = 23.71 \text{ mJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 。乙二醇和甲酰胺的表面张力含有极性成分,用于 RDX5 粉体表面能极性成分

的测定。具体计算过程见文献[6],不再详述,其测试结果为: $\gamma_s^{\text{AB}} = \sqrt{\gamma_s^+ \gamma_s^-} = 16.49 \text{ mJ} \cdot \text{m}^{-2}$,其中 $\gamma_s^+ = 1.149 \text{ mJ} \cdot \text{m}^{-2}$, $\gamma_s^- = 51.87 \text{ mJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 。所以 RDX5 粉体的总表面能 $\gamma_s^{\text{T}} = \gamma_s^{\text{LW}} + \gamma_s^{\text{AB}} = 40.20 \text{ mJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 。结果表明,RDX5 表面能中非极性成分占大多数,略显碱性。这对选取有效的键合剂,提高力学性能,改善界面^[8-11],实现界面增强、增韧和体系增容有指导意义。

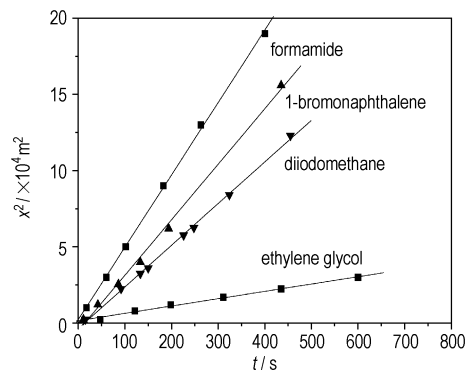


图 1 不同探测液体对铺有 RDX5 的薄板的渗透曲线

Fig. 1 The distance squared for RDX5 plates versus the time for different probe liquids

表 1 各种探针液体在 RDX5 薄板上预接触和未预接触接触角及其余弦值

Table 1 The contact angles and theirs cosine values on the plates of the RDX5

probe liquid	$\cos\theta_a$	$\cos\theta_r$	$\cos\theta$	$\theta/(\circ)$
1-bromonaphthalene	0.4533	0.5046	0.4789	61.42
diiodomethane	0.4435	0.4800	0.4617	62.53
ethylene glycol	0.3962	0.4130	0.4046	66.17
formamide	0.3026	0.3300	0.3163	71.60

3.3 粒径对 RDX 的表面能的影响

根据与 2.2 节相同的计算过程,计算了 RDX1、RDX2、RDX5、RDX6、RDX7 和 RDX8 的表面能及其分量(见表 2)。从表 2 可以看出,随着粒径的增加,RDX 总表面能略微增加,但变化量很小。色散分量、极性分量和酸性分量呈现相同的规律,但是碱性分量变化趋势相反:粒径越大,数值越小。RDX 固体颗粒表面能与粒径之所以有上述的关系,主要是由于微粒的线度效应和原子振动的非简谐效应对粒子的表面能有影响^[12]。对不同级别 RDX 的总表面能及其各个分量对其粒径进行曲线拟合,得到总表面能以及各个分量随粒径变化的关系式:

$$\text{总表面能 } \gamma_s^{\text{T}} = -77.92x^2 + 47.55x + 37.73,$$

色散分量 $\gamma_s^{LW} = 10.78x + 23.07$,
 极性分量 $\gamma_s^{AB} = 88.57x^2 + 39.44x + 4.517$,
 酸性分量 $\gamma_s^+ = 5.164x + 0.8494$,
 碱性分量 $\gamma_s^- = -84.54x + 64.72$ 。

3.4 RDX 的粒径和表面能对 HTPB 胶片力学性能的影响
 用力学拉伸机检测所制胶片最大应力、最大应变和弹性模量,结果见表 3,拉伸速度为 $100 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$,常温测试,测量结果取平均值。

表 2 不同级别 RDX 的表面能及其分量

Table 2 The surface free energy and its fractions for RDX with different size

sample	particle size/mm	$\gamma_s^T/\text{mJ} \cdot \text{m}^{-2}$	$\gamma_s^{LW}/\text{mJ} \cdot \text{m}^{-2}$	$\gamma_s^{AB}/\text{mJ} \cdot \text{m}^{-2}$	$\gamma_s^+/\text{mJ} \cdot \text{m}^{-2}$	$\gamma_s^-/\text{mJ} \cdot \text{m}^{-2}$
RDX5	0.0577	40.20	23.71	16.49	1.149	59.16
RDX8	0.0722	40.88	23.91	16.97	1.219	59.06
RDX6	0.1061	41.73	24.10	17.63	1.382	56.23
RDX7	0.1062	41.81	24.17	17.64	1.387	56.07
RDX2	0.1450	43.20	24.71	18.49	1.649	51.83
RDX1	0.1930	43.95	25.15	18.80	1.823	48.48

表 3 RDX/HTPB/IPDI 胶片力学性能测试结果 (15% 固含量)

Table 3 The mechanical properties of RDX/HTPB/IPDI films (15% solid)

sample	particle size/mm	maximum stress/MPa	maximum strain/%	modulus of elasticity/MPa
RDX5	0.05770	0.7526	797.0	0.7560
RDX8	0.07220	0.6226	988.4	0.5170
RDX6	0.1061	0.5721	441.4	0.8122
RDX7	0.1062	0.5342	643.6	0.6498
RDX2	0.1450	0.5144	486.5	0.7227
RDX1	0.1930	0.4718	816.9	0.4847

HTPB 与 RDX 之间的界面张力为^[13]:

$$\begin{aligned} \gamma_{ij}^T &= \gamma_{ij}^{LW} + \gamma_{ij}^{AB} \\ &= [\gamma_i^{LW} + \gamma_j^{LW} - 2\sqrt{\gamma_i^{LW}\gamma_j^{LW}}] + \\ &2[\sqrt{\gamma_i^+\gamma_j^-} + \sqrt{\gamma_j^+\gamma_i^-} - \sqrt{\gamma_i^+\gamma_j^-} - \sqrt{\gamma_i^-\gamma_j^+}] \end{aligned} \quad (1)$$

两者之间的粘附功 W_{adh} , 可由 Dupr e 关系式给出^[13]:

$$W_{adh} = \gamma_i + \gamma_j - r_{ij} \quad (2)$$

根据不同级别 RDX 的表面能测试结果以及 HTPB 的表面能及其分量^[14-15], 通过式(1)和(2)计算得出了 RDX 和 HTPB 粘合剂之间的界面张力和粘附功(见表 4)。从表 4 可以看出, 随着 RDX 粒径的增大, RDX 与 HTPB 之间的界面张力减小, 但粘附功则增大。这主要是由于 RDX 的表面能及其分量与粒径呈规律性变化。

分别以 HTPB 与固体颗粒间界面张力和粘附功为横坐标, 对最大应力、最大应变及弹性模量作图, 发现, HTPB 体系与 RDX 固体颗粒间界面张力及粘附功与 RDX/HTPB/IPDI 胶片的最大应力、最大应变及弹性模量无规律。主要是由于影响固体推进剂力学性能的因素, 除了粘合剂和固体颗粒的表面性质, 还有粒径等很多因素, 上述的研究只考虑了表(界)面性质, 而没有

将两者有机结合起来, 所以难以得到粘合剂体系与固体颗粒间表(界)面性质与力学性能的关系。对如何得到表(界)面性质与力学性能的关系进行了大量的尝试。研究过程中发现, 粘合剂体系胶片发生断裂的时候, 多是从一个固体颗粒表面开始, 即当断裂发生时, 应力在一个固体颗粒上集中, 导致粘合剂体系与固体颗粒间产生裂纹, 从而断裂。假定固体粒子均为规则球形, 且均匀分布于粘合剂体系中, 定义粘合剂体系与固体颗粒之间的粘附功与单个固体颗粒的表面积相乘为粘合剂体系与该固体颗粒单个粒子界面粘附能(J/粒子), 计算方程式为:

$$\begin{aligned} W_{adh}^0 &= W_{adh} \cdot S = \pi d^2 \cdot (\gamma_i^T + \gamma_j^T - \gamma_{ij}^T) \\ &= \pi d^2 \cdot (\gamma_i + \gamma_j - [\gamma_i^{LW} + \gamma_j^{LW} - 2\sqrt{\gamma_i^{LW}\gamma_j^{LW}}] - \\ &2[\sqrt{\gamma_i^+\gamma_j^-} + \sqrt{\gamma_j^+\gamma_i^-} - \sqrt{\gamma_i^+\gamma_j^-} - \sqrt{\gamma_i^-\gamma_j^+}]) \end{aligned} \quad (3)$$

其中, S 和 d 分别表示固体颗粒的表面积和粒径; γ_i^T 和 γ_j^T 分别表示粘合剂体系和固体颗粒的总表面能; γ_i^{LW} 和 γ_j^{LW} 分别表示粘合剂体系和固体颗粒的表面能色散分量; γ_i^+ 和 γ_j^+ 分别表示粘合剂体系和固体颗粒表面能的酸性分量; γ_i^- 和 γ_j^- 分别表示粘合剂体系和固体颗粒表面能的碱性分量。

不同级别 RDX 单个粒子界面粘附能计算结果见表 4。结果发现单个粒子的界面粘附功能与粒径呈良好的线性规律(见图 2)。

将单个粒子界面粘附能与固体颗粒填充的粘合剂体系力学性能相联系, 研究发现, RDX/HTPB/IPDI 体系最大应力随单个 RDX 粒子界面粘附能的增大而下降, 下降趋势可用指数衰减函数拟合(见图 3), 拟合方程为:

$$y = 0.5242 + 0.6973\exp(-1.616W_{adh}^0) \quad (4)$$

表4 各类RDX与HTPB之间的界面张力、粘附功以及单个粒子的粘附功

Table 4 The interface tension and adhesion energy between RDX and HTPB and the adhesion energy of each RDX particle

sample	particle size /mm	interface tension /mN · m ⁻¹	adhesion energy /mJ · m ⁻²	adhesion energy of each particle / (× 10 ⁻⁹ J/particle)
RDX5	0.05770	10.60	65.98	0.6901
RDX8	0.07220	10.20	67.26	1.113
RDX6	0.1061	9.492	67.94	2.378
RDX7	0.1062	8.312	68.97	2.444
RDX2	0.1450	6.548	69.50	4.591
RDX1	0.1930	6.056	69.75	8.162

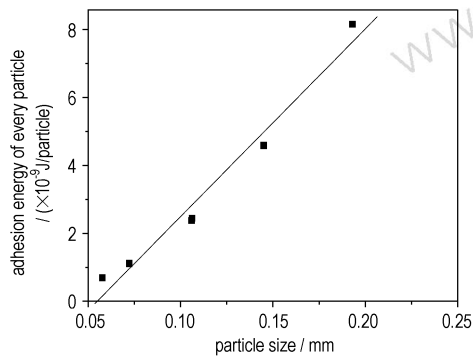


图2 粒径与单个不同粒径RDX粒子和HTPB之间界面粘附能的关系

Fig. 2 The interface adhesion energy between RDX and HTPB vs the particle size

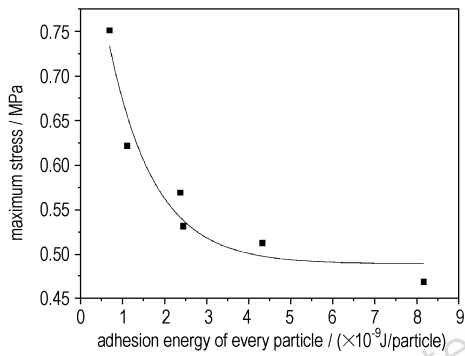


图3 RDX/HTPB/IPDI体系最大应力与单个粒子的界面粘附能的关系

Fig. 3 Maximum stresses vs the interface adhesion energy of each particle

而最大应变和弹性模量与单个粒子界面粘附能的大小无明显规律可循(见图4和图5)。这个发现对建立推进剂体系力学模型以及提高其力学性能有很重要的指导意义。减小单个固体颗粒的界面粘附能可以提高体系的最大应力。

4 结论

(1) RDX的表面能及分量与粒径呈函数关系变

化。其中总表面能 $\gamma_s^T = -77.92x^2 + 47.55x + 37.73$, 色散分量 $\gamma_s^{WL} = 10.78x + 23.07$, 极性分量 $\gamma_s^{AB} = 88.57x^2 + 39.44x + 4.517$, 酸性分量 $\gamma_s^+ = 5.164x + 0.8494$ 和碱性分量 $\gamma_s^- = -84.54x + 64.72$ 。

(2) 单个粒子的界面粘附能和RDX/HTPB/IPDI胶片的最大应力呈指数衰减函数,对于不同类别RDX,函数可表示为 $\gamma = 0.5242 + 0.6973\exp(-6.616W_{adh}^0)$ 。该式中各系数的物理意义,有待进一步研究。这个规律的发现对建立推进剂力学模型有很重要的意义。

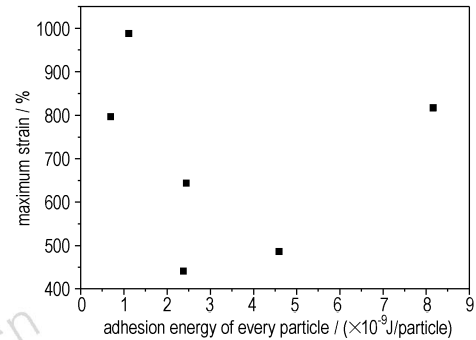


图4 RDX/HTPB/IPDI体系最大应变与单个粒子的界面粘附能的关系

Fig. 4 Maximum strains vs the interface adhesion energy of each particle

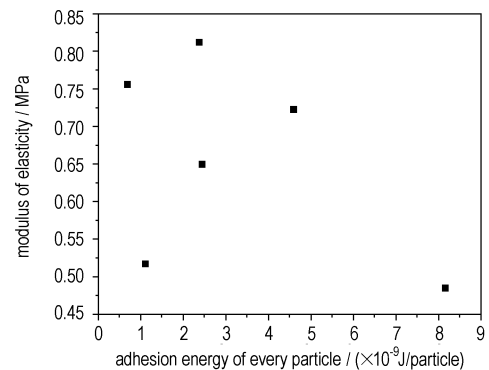


图5 RDX/HTPB/IPDI体系弹性模量与单个粒子的界面粘附能的关系

Fig. 5 Modulus of elasticities vs the interface adhesion energy of each particle

参考文献:

- [1] 杜磊, 邓剑如, 李洪旭. 表界面化学原理在复合固体推进剂中的应用[J]. 推进技术, 2000, 21(1): 64-66.
DU lei, DENG Jian-ru, LI Hong-xu. Application of surface and interface chemistry principles to solid propellant[J]. *Journal of Propulsion Technology*, 2000, 21(1): 64-66.
- [2] 张斌, 罗运军, 谭惠民. 多种键合剂与 CL-20 界面的相互作用机理[J]. 固体推进剂学报, 2005, 28(3): 23-26.
ZHANG Bin, LUO Yun-jun, TAN Hui-min. The interface action mechanism between several bonding agents and CL-20[J]. *Chinese Journal of Explosives and Propellants*, 2005, 28(3): 23-26.
- [3] Chwastiak S. A wicking method for measuring wetting properties of carbon yarns[J]. *Journal Colloid and Interface Science*, 1973, 42(2): 298.
- [4] Van Oss, Carel J. *Interfacial Forces in Aqueous Media* [M]. New York: Marcel Dekker, 2006.
- [5] Li Z, Giese R F, van Oss C J. The surface thermodynamic properties of talc treated with octadecylamine[J]. *Colloid and Interface Sci*, 1993, 156: 279-284.
- [6] 杜美娜, 罗运军, 李国平. Washburn 薄层毛细渗透法测定 ε 晶型 CL-20 的表面能及其分量[J]. 含能材料, 2007, 15(3): 269-272.
DU Mei-na, LUO Yun-jun, LI Guo-ping. Determination of the surface free energy components of the ε -CL-20 by thin-layer wicking technique [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2007, 15(3): 269-272.
- [7] 杜美娜, 罗运军, 杨寅, 等. 反相气相色谱法研究端羟基聚丁二烯 (HTPB) 粘合剂的表面性质[J]. 含能材料, 2007, 15(6): 646-649.
DU Mei-na, LUO Yun-jun, YANG Yin, et al. Surface properties of hydroxyl terminated polybutadiene by inverse gas chromatography [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2007, 15(6): 646-649.
- [8] Chen J D. Experiments on a spreading drop and its contact angle on a solid[J]. *Colloid and Interface Sci*, 1988, 122(1): 60-72.
- [9] D Li. Contact angles on hydrophobic solid surfaces and their interpretation[J]. *Journal of Colloid Science*, 1992, 148(1): 135-138.
- [10] 赵省向, 张亦安, 胡焕性, 等. 表面活性剂改善 RDX 在 EA 低共熔物体系中的分散性研究[J]. 固体推进剂学报, 2000, 23(3): 43-47.
ZHAO Sheng-xiang, ZHANG Yi-an, HU Huan-xing, et al. The study on the decentrality of the modified RDX in the EA low-eutectic system [J]. *Journal of Explosives & Propellants*, 2000, 23(3): 43-47.
- [11] 郭炜, 吴文辉, 卓萍. 反相气相色谱法表征氟橡胶与黑索金酸/碱性物质[J]. 含能材料, 2005, 13(1): 26-29.
GUO Wei, WU Wen-hui, ZHUO Ping. The study on the acid-basic character of RDX and fluorine-rubber by IGC [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2005, 13(1): 26-29.
- [12] 郑瑞伦, 张强. 超微粒的表面能随粒径和温度变化规律探讨[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 1997, 22(1): 33-38.
ZHENG Rui-lun, ZHANG Qiang. Study on rule of the surface energy of Ag ultrafine particle varying with the temperature and size [J]. *Journal of Southwest China Normal University (Natural Science)*, 1997, 22(1): 33-38.
- [13] 张福田. 分子界面化学基础 [M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 2006.
- [14] Deeptangshu S Chaudhary, Margaret C Jollands. An investigation into surface energetics of rice hull ash particles using inverse gas chromatography (IGC) [J]. *Journal of Materials Science*, 2005, 40: 4347-4353.
- [15] 邹其超, 张金枝, 张玉红. 两亲聚合物表面的反相气相色谱研究[J]. 分析化学, 2001, 29(9): 1012-1015.
ZOU Qi-chao, ZHANG Jin-zhi, ZHANG Yu-hong. Analysis of surface property of amphiphilic polymer by inverse gas chromatography [J]. *Chinese Journal of Analytical Chemistry*, 2001, 29(9): 1012-1015.

Effect of Particle Size and Surface Free Energy of RDX on the Mechanical Properties of HTPB Propellant

DU Mei-na, LUO Yun-jun

(School of Materials Science and Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: The surface free energy and its dispersive, polar, electron acceptor and electron donor components of RDX were determined by the Washburn equation with thin-layer wicking technique. The diiodomethane and 1-bromonaphthalene, which are neutral probe liquids, were used to determine the dispersive component of RDX. And the ethylene glycol and formamide, which are polar probe liquids, were used to determine the polar components of RDX. The results show that the surface free energy and its dispersive, polar, electron acceptor components increase with the increasing of particle size. And the electron donor component takes the opposite trend. Films of RDX/HTPB/IPDI with 15% mass content of RDX with different particle size were prepared. The effect of particle size and surface free energy of RDX on the mechanical properties of HTPB propellant were studied. The results show that the maximum stress well-regulated varies with the interface adhesion energy between HTPB/IPDI binder system and every RDX particle, which is $\sigma = 0.5242 + 0.6973 \exp(-1.616w_{adh}^0)$. The maximum stress of RDX/HTPB/IPDI system decrease with the increasing of the interface free energy of every RDX particle.

Key words: solid mechanics; RDX; surface free energy and its component; HTPB mechanical property