

表1 CL-20在常用溶剂中的溶解性(常温)

Table 1 The solubility of CL-20 in common solvents (at room temperature)

solvent	dipolenoment solubility /Debye	solubility /%	solvent	dipolenoment solubility /Debye	solubility /%
acetone	2.69	>5	isopropyl ether	1.22	0.28
normal aldehyde	2.45	>5	trichloromethane	1.15	2.82
chlorobutane	1.90	0.49	ariation gasoline	1	0
ethyl acetate	1.88	>5	benzene	0	0.89
1,2-dichloroethane	1.86	0.10	petroleum ether	/	0.10

表2 溶剂的沸点

Table 2 Boiling point of solvents

solvents	boiling point / °C	solvents	boiling point / °C
acetone	56	cyclohexane	81
trichloromethane	61	formic acid	81
isopropyl ether	68	cydohexene	83
normal aldehyde	75	1,2-dichloroethane	84
carbon tetrachloride	77	ariation gasoline	90 ~ 100
chlorobutane	78	nitrotoluane	101
ethylacetate	78	petroleum ether	60 ~ 90
benzene	80		

2.3 粘结剂的选择

在高聚物粘结炸药的研制中,使用性能优良的粘结剂对提高炸药的综合性能起着重要作用,例如国内在炸药中使用的BA共聚物、氟橡胶等;美国在炸药中使用的Kel-F, Estane, KratonG等高聚物,使炸药保持有较高的爆炸能量,同时具有优良的安全性,因此得到广泛应用。在对CL-20炸药进行包覆研究时,也首选这些高聚物为粘结剂。表3列出了常用高聚物在溶剂中的溶解性试验结果。结果表明,对CL-20溶解度较小的1,2-二氯乙烷可作为Estane、BA、PIB和PBD等常用高聚物的溶剂,也能够适应工艺需要。根据表3的结果,本实验选用BA和Estane高聚物为粘结剂。

3 结果及讨论

3.1 高聚物与钝感剂复合体系的钝感结果

以BA和Estane高聚物为粘结剂,以石墨为钝感剂,对RDX、HMX、CL-20进行包覆得到几种不同配方的高聚物粘结炸药,并对其感度进行测试,结果见表4。撞击感度(10 kg, 25 cm)和摩擦感度(3.92 MPa, 90°)测试分别按GJB772A-97 601.1和602.1方法进行。

从表4可以看出,“BA-G”复合体系对RDX具有明显的钝感效果,但对CL-20的钝感效果并不十分明显。试验还表明,单独使用Estane粘结HMX或CL-20时,其感度依然很高;但当采用“Estane-G”复合体系

粘结钝感时,HMX或CL-20感度降低十分明显,钝感效果显著。5 s爆发点试验表明,CL-20包覆后热感度变化不大,所以包覆钝感仅仅是对机械感度的钝感,基本不影响热感度。

表3 高聚物的溶解性试验结果

Table 3 The solubility test of polymer binders

solvents	BA	FB	PIB	TEP	EP35	Estane	PBD
ethylacetate	+	+	×	×	×	+	×
petroleum ether	×	×	*	*	*	×	×
1,2-dichloroethane	+	×	+	×	×	+	+
trichloromethane	+	×	+	×	×		×
isopropyl ether	×	×	+	×	×	×	×
ariation gasoline	×	×	+	*	*	×	+

Note: + soluble, × insoluble, * soluble in heating and agitating.

表4 不同炸药配方的感度试验结果

Table 4 The impact sensitivity test results of explosive formulas

formulas	impact sensitivity / %	friction sensitivity / %	temperature of explosion in 5 s / °C
RDX/BA/G	96.5/3.0/0.5	24	20
CL-20/BA/G	96.5/3.0/0.5	100	100
HMX/Estane	96.5/3.5	72	96
HMX/Estane/G	95.5/3.5/1.0	0	0
CL-20/Estane	95.8/4.2	100	96
CL-20/Estane/G	94.8/4.2/1.0	8	24
CL-20		100	100

3.2 包覆工艺对钝感效果的影响

CL-20炸药的晶体形态是直接影响其机械感度的重要因素,它的特性落高(H_{50})值随着晶形的不同而变化^[8],变化范围为8.1~26.9 cm,变化的幅度较大,当晶型类似平行四边形、颗粒均匀碎晶少时,其感度较低;反之晶形为细针状、颗粒细小时,感度偏高。本文所采用的CL-20样品的晶型类似平行四边形,颗粒较均匀,图1、图2分别为未包覆和经Estane-G包覆的CL-20的颗粒扫描电镜照片。表5给出了不同包覆工艺条件下制备的样品的感度测试结果。特性落高的测试采用GJB772A-97 601.2方法(5 kg, 50 mg)。

比较图1和图2可以发现,用Estane-G作粘结剂包覆质量好,颗粒较光滑,结晶上的尖锐棱角在粘结剂的良好包覆下隐没,加上石墨在炸药受到外力作用下的润滑效果,使得炸药的感度显著降低。

由表5可见,两种工艺条件所制备包覆样品的钝感效果差别较大。这两种工艺的区别主要是包覆造粒时加入“Estane-G”的顺序不同。由此可见,造粒工艺影响包覆质量,进而影响配方的安全性。因此,优良的钝感材料必须采用合理的工艺过程,才能充分发挥包

覆钝感功能,提高炸药的安全性。

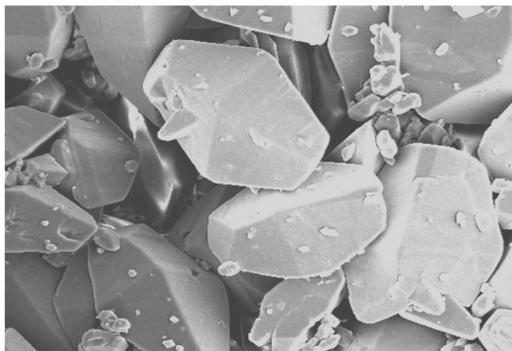


图 1 未包覆的 CL-20 晶体 500x

Fig. 1 Crystal of CL-20 uncoated, 500x

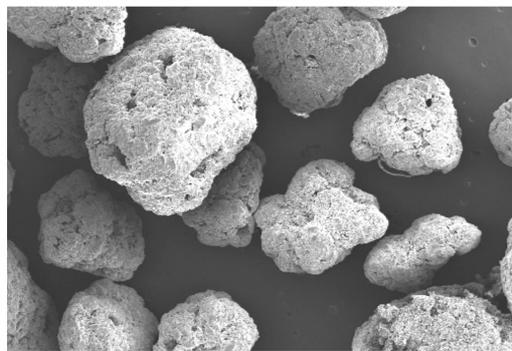


图 2 包覆后的 CL-20 颗粒 30x

Fig. 2 Crystal of CL-20 coated, 30x

表 5 包覆工艺对感度的影响

Table 5 The effect of coating methods on impact sensitivity

formulas	coating technology	H_{50} /cm	standard deviation
CL-20	-	18.6	0.19
CL-20/Estane/G 97/2/1	Technology A	63.1	0.37
CL-20/Estane/G 97/2/1	Technology B	38.0	0.14

3.3 TATB 的钝感结果

单质炸药 TATB 是一种典型的不敏感含能材料,在混合炸药中常用作钝感剂^[9]。为了与粘结剂包覆效果比较,采用 TATB 对 CL-20 进行了钝感研究。通过改变 TATB 的含量及颗粒度,对其配方的机械感度进行了测试,结果见表 6。从表中数据可见,TATB 颗粒度的大小对高聚物粘结炸药钝感作用影响较大,当 TATB 颗粒度较大时,钝感作用并不明显;当 TATB 颗粒度小于 1 μm 时,其钝感作用较为显著,但其用量较大,也会降低配方的爆炸能量。

4 结 论

采用“Estane-G”复合体系,能显著降低 CL-20 炸

药的机械感度,但不影响热感度,在采用同样复合体系时,优化造型粉包覆工艺条件,可更有效降低 CL-20 配方感度。单质炸药的钝感作用对高聚物、钝感剂以及它们的混合体系具有选择性,TATB 颗粒度小于 1 μm 、含量为 20% 时能够降低 CL-20 炸药的机械感度。

表 6 TATB 对 CL-20 的钝感试验结果

Table 6 The desensitization test of CL-20 with TATB

CL-20/TATB	CL-20 particle size/ μm	TATB particle size/ μm	impact sensitivity/%	friction sensitivity/%
100/0	-	-	100	100
80/20	10	18	100	100
80/20	43	12.9	100	52
80/20	136	18	80	100
80/20	136	0.7	24	12

参考文献:

- [1] Golfier M, Graindorge H, Longevialle Y, et al. New energetic molecules and their applications in energetic materials [A]. Proceedings of 29th International Conference of ICT [C], Karlsruhe, 1998. V3 - 1 ~ 3 - 18.
- [2] Pavla Vavra. Procedure for selection of molecular structures of explosives having performance [A]. Proceedings of 30th International Conference of ICT [C], Karlsruhe, 1999. P49 - 1 ~ 49 - 4.
- [3] Bircher H R, Mader P, Mathiee J. Properties of CL-20 based high explosives [A]. Proceedings of 29th International Conference of ICT [C], Karlsruhe, 1998. P 94 - 1 ~ 94 - 14.
- [4] Braithwaite P C, Hatch R L, Lee K, et al. Development of high performance CL-20 explosives formulation [A]. Proceeding of 29th International Conference of ICT [C], Karlsruhe, 1998. V4 - 1 ~ 4 - 7.
- [5] 陈鲁英, 杨培进, 张林军, 等. CL-20 炸药性能研究 [J]. 火炸药学报, 2003, 26(3): 65 - 67.
CHEN Lu-ying, YNAG Pei-jin, ZHANG Lin-jun, et al. Study of the performance explosive CL-20 [J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2003, 26(3): 65 - 67.
- [6] Mark J Mezger, Steve M Nicolich, Donald A Jr Geiss, et al. Performance and hazard characterization of CL-20 of formulations [A]. Proceeding of 29th International Conference of ICT [C], Karlsruhe, 1999. V4 - 1 ~ 4 - 14.
- [7] Simpson R L, Urtiew P A, Omellas D L, et al. CL-20 performance exceeds that of HMX and its sensitivity is moderate [J]. Propellants, Explosives and Pyrotechnics, 1997, 22: 249 - 255.
- [8] 金韶华, 于昭兴, 刘进全, 等. 六硝基六氮杂异伍兹烷的机械撞击感度 [J]. 火炸药学报, 2004, 27(2): 17 - 19.
JIN Shao-hua, YU Zhao-xing, LIU Jin-quan, et al. Impact sensitivity hexanitrohexaazaisowurtzitane [J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2004, 27(2): 17 - 19.
- [9] 徐容, 田野, 刘春. TATB 对 CL-20 的钝感研究 [A]. 2002 年火炸药技术及钝感弹药学术研讨会论文集 [C], 珠海, 2002. 11.
XU Rong, TIAN Ye, LIU Chun, et al. Study on insensitive technology on CL-20 [A]. Proceedings of Symposium on Propellants, Explosives and Insensitive Munitions [C], Zhuhai, 2002. 11. (下转 199 页)