

文章编号: 1006-9941(2003)04-0209-04

# 硝基胍炸药的机械感度和爆炸性能研究

段卫东, 吕早生

(武汉科技大学, 湖北 武汉 430081)

**摘要:** 研究了硝基胍(NQ)的晶型对其装药、爆炸性能的影响;测定了以硝基胍为基的混合炸药(NQ97)的撞击感度、摩擦感度及其爆速、爆压。实验证明,用NQ97代替B炸药来装填武器,可以改进武器系统的安全性能,且不会降低武器系统的威力。

**关键词:** 爆炸力学;硝基胍;低易损性炸药;爆炸性能;机械感度

**中图分类号:** TQ560

**文献标识码:** A

## 1 引言

弹药使用过程中的意外事故和战争中弹药系统的大量殉爆事故的惨痛教训,使人们认识到片面追求炸药能量的提高已不能满足武器弹药现代化的需要。现在低易损性炸药已成为火炸药发展的重要方向<sup>[1,2]</sup>,而不敏感单质炸药是发展低易损性炸药的基础。我们关于硝基胍炸药(NQ)爆炸性能的研究就是在此基础上进行的。

## 2 硝基胍的晶型及其装药、爆炸性能

硝基胍有 $\alpha$ 和 $\beta$ 两种晶型<sup>[3]</sup>。工业上生产的粗制NQ为细小长针、中空的 $\alpha$ 晶型,假密度很低,在 $0.15\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 左右,一团一团地粘结在一起,流散性很差。 $\beta$ 晶型的NQ为棱柱状,假密度大约 $0.8\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ,颗粒度较大,具有良好的流散性。实验研究发现,只有 $\beta$ 晶型的硝基胍适合于作低易损性炸药的组分,而 $\alpha$ 晶型的硝基胍不适宜,其原因为:

(1)  $\alpha$ 晶型的硝基胍假密度很低,流散性很差,难以装药成型。

(2) 在 $205.6\text{ MPa}$ 压力下, $\alpha$ 晶型的硝基胍压药密度只有 $1.57\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ,而在同样压力下, $\beta$ 晶型的硝基胍压药密度为 $1.64\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ,装药密度低爆轰威力必定较小。

(3)  $\alpha$ 晶型的硝基胍爆轰自持性很好,一旦被意外点火,爆轰很容易传播。实验用 $\Phi 20\text{ mm}\times 30\text{ mm}$

的8701药柱引爆同样直径的硝基胍, $\beta$ 晶型的硝基胍很难被引爆;而 $\alpha$ 晶型的硝基胍药则敏感得多,即使在密度较高的情况下也能稳定爆轰。

## 3 硝基胍的撞击感度和摩擦感度

通过正交实验法,综合观察比较各种配方的硝基胍炸药的流散性、假密度和装、压药性能,确定以 $\beta$ 晶型硝基胍为基的混合炸药(NQ97)的配方为:  $\text{NQ}/\text{ABS}/\text{DNT} = 97/1.5/1.5$ ,其中ABS(丙烯腈-丁二烯-苯乙烯的共聚物)为粘结剂,DNT(二硝基甲苯)为活性增塑剂。对NQ97我们测定了其撞击感度和摩擦感度。

### 3.1 撞击感度

#### 3.1.1 用爆炸百分数表示的NQ97的撞击感度

撞击感度实验是在落锤仪上进行的,实验条件为:  $10\text{ kg}$ 落锤, $25\text{ cm}$ 落高,药量 $50\text{ mg}$ 。在此项实验时,为了进行对比,同时还测试了 $\alpha$ 晶型的硝基胍配方的撞击感度。

NQ97: 实验25发,爆炸0发,爆炸百分数0%。

$\alpha$ 晶型NQ: 配方 $\alpha\text{ NQ}/\text{ABS}/\text{DNT} = 94/3/3$ ,实验25发,爆炸0发,爆炸百分数0%。

上述实验结果表明,以 $\beta$ 晶型或是以 $\alpha$ 晶型硝基胍为基的混合炸药其撞击感度都较低。

#### 3.1.2 用 $H_{50}$ 表示的NQ97的撞击感度

NQ97的撞击感度为0%,没能确切地表明它对冲击的敏感程度,为了更直观地表示NQ97的撞击感度,又测定了其50%的爆炸特性落高( $H_{50}$ ),测试条件为: 落锤 $10\text{ kg}$ ,药量 $50\text{ mg}$ 。

实验时先确定开始时的落高 $h$ 和调整间距 $d$ ,其

收稿日期: 2002-11-27; 修回日期: 2003-03-04

作者简介: 段卫东(1965-),男,博士,副教授,研究方向为爆炸力学及工程爆破。

后的落高则为： $h \pm d$ 、 $h \pm 2d$ 、 $h \pm 3d$ ……，以“×”，“0”表示爆炸与否，最后对实验数据进行统计处理得到

NQ97 的  $H_{50}$  值。取  $h$  为 95 cm， $d$  为 5 cm。实验结果见表 1。

表 1 NQ97 的 50% 爆炸落高实验结果

Table 1 Experimental results of drop height to 50% exploding probability for NQ97

落高/cm	序号																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
95	0		0																						
100		×		0		0										0									
105					×		0								×		0								
110								0		0				×			0				0				
115									×		0		×					0		×		0			0
120												×								×				×	

根据公式<sup>[4]</sup>：

$$H_{50} = C + d \left[ \frac{1}{N(\times)} \sum in_i(\times) - \frac{1}{2} \right] \quad (1)$$

$$\text{或 } H_{50} = C + d \left[ \frac{1}{N(0)} \sum in_i(0) + \frac{1}{2} \right] \quad (2)$$

式中： $H_{50}$  为 50% 爆炸特性落高，cm； $C$  为实验中的最低落高，cm； $d$  为实验间距，cm； $N(\times)$  为实验中发生反应的总数； $N(0)$  为实验中未反应的总数； $i$  为落高的水平序数，为 0, 1, 2, 3, 4, 5； $n_i(\times)$  为在每一落高中发生反应的次数； $n_i(0)$  为在每一落高中没有发生反应的次数。

根据发火总数  $N(\times)$  或不发火总数  $N(0)$  的数值大小来确定使用公式 (1) 或公式 (2)。如果  $N(\times)$  等于  $N(0)$ ，可任选其中一个公式，如果  $N(\times)$  与  $N(0)$  不相等，则应选择其中较小的代入相应公式中进行计算。

本实验中， $N(0) = 15$ ， $N(\times) = 10$ ， $N(0) > N(\times)$ ，所以选用公式 (1) 进行计算，得 NQ97 的 50% 爆炸特性落高为 110 cm。

### 3.2 摩擦感度

为保证生产、使用和运输过程中的安全，对炸药的摩擦感度进行测试十分必要。我国通常用摩擦感度仪测试炸药的摩擦感度<sup>[5]</sup>，试样药量为  $(0.03 \pm 0.001)$  g，表压为 50 kg，摆锤的摆角为  $90^\circ$ 。为了比较，对三种不同配方的 NQ 的摩擦感度进行了测试。

NQ97：实验 25 发，爆炸 0 发，爆炸百分数 0%；

$\alpha$  晶型 NQ 配方： $\alpha$  NQ/ABS/DNT = 94/3/3，实验 25 发；爆炸 0 发；爆炸百分数 0%；

NR-3 配方： $\beta$  NQ/ABS/DNT/RDX = 94/1.5/1.5/3；实验总发数 25 发；爆炸 0 发；爆炸百分数 0%。

上述实验结果表明， $\beta$  晶型的硝基胍和  $\alpha$  晶型的硝基胍摩擦感度都很低，均为 0%；对  $\beta$  晶型的硝基胍当加入 3% 的黑索今时其摩擦感度仍为 0%，这说明当需要改进 NQ97 的某些爆轰性能时，加入适量的能量更高的炸药，其摩擦感度仍可满足使用要求。

## 4 NQ97 爆速、爆压的测试

爆速和爆压是衡量一种炸药是否满足战术技术要求的重要指标，其测量技术一直是爆炸研究领域的一个重点，下面介绍采用电磁法对 NQ97 爆速、爆压的测试结果。

### 4.1 测试系统

以铜箔作为电磁速度传感器，用亥姆霍兹线圈（图 1）提供磁场。在炸药的不同深度嵌放两条铜箔，记下爆轰波到达每条铜箔的时间和铜箔在磁场中运动时切割磁力线所产生的感应电动势（用 DM902 作记录仪），就可在一发实验中同时测出炸药的爆速和爆轰产物粒子的速度，计算出炸药的爆轰压。

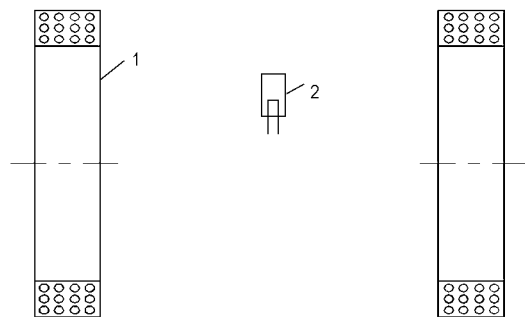


图 1 亥姆霍兹线圈电磁法测试示意图

1—亥姆霍兹线圈，2—实验装置

Fig. 1 Sketch of electromagnetic measurement using Helmholtz coil

1—Helmholtz coil, 2—experimental set-up

4.2 试验装置

试验装置如图2所示,炸药件尺寸见表2。平面波透镜起爆药柱,考虑到NQ的撞击感度很低,为了保证其达到稳定爆轰速度,增加一个8701加载药柱,作为传感器用的铜箔一片安装在柱状炸药式样与小条的接触面上,一片安装在中条与小条的接触面上。

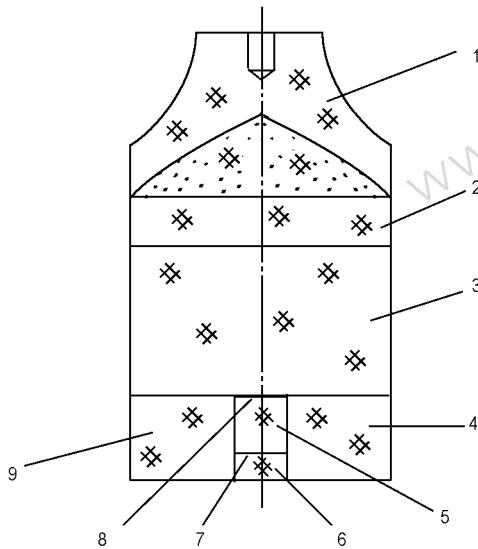


图2 试验装置

- 1—平面波透镜, 2—8701 加载药柱, 3—NQ97 炸药柱,
- 4,9—大药条, 5—中药条, 6—小药条,
- 7—铜箔传感器 II, 8—铜箔传感器 I

Fig. 2 Experimental set-up

- 1—plane wave lens, 2—columned 8701 initiating explosive,
- 3—NQ97 explosive sample,
- 4,9—large rectangular explosive sample,
- 5—medium rectangular explosive sample,
- 6—minor rectangular explosive sample,
- 7—copper foil sensor II, 8—copper foil sensor I

表2 炸药件的尺寸

Table 2 Size of explosive pieces

炸药件	尺寸/mm	件数/每发	压药压力/t
柱状	$\Phi: 50$	1	40
	$h: 30$		
	$L: 40$		
大药条	$w: 20$	2	16
	$h: 15$		
	$L: 40$		
中药条	$w: 10$	1	8
	$h: 10$		
	$L: 40$		
小药条	$w: 10$	1	8
	$h: 5$		

4.3 实验结果

4.3.1 计算公式

$$D = h / (t_1 - t_2) \tag{3}$$

$$u = \varepsilon / Bw \tag{4}$$

$$p = \rho_0 Du \tag{5}$$

$$\gamma = D/u - 1 \tag{6}$$

式中:  $t_1, t_2$  分别为爆轰波到达铜箔传感器 I、II 的时间,  $\mu s$ ;  $B$  为亥姆霍兹线圈的磁感应强度, T;  $D, u$  分别为炸药和爆轰产物粒子速度,  $mm \cdot \mu s^{-1}$ ;  $\varepsilon$  为铜箔切割磁力线产生的感应电动势, V;  $h, w$  分别为条状炸药件的高度和宽度, mm;  $\rho_0$  为炸药试样的密度,  $g \cdot cm^{-3}$ ;  $p$  为炸药的爆轰压, GPa;  $\gamma$  为爆轰产物的多方指数。

4.3.2 实验结果

为了比较不同晶型 NQ 的爆炸性能,在同样条件下压制了  $\alpha$  晶型 NQ ( $\alpha$  NQ/ABS/DNT = 94/3/3) 和  $\beta$  晶型 NQ ( $\alpha$  NQ/ABS/DNT = 94/3/3, NQ97) 两种炸药试件,分别测定了它们的爆速和爆压,结果见表3。

表3  $\alpha$  型 NQ 和  $\beta$  型 NQ 的爆速、爆压实验测试结果

Table 3 Experimental measurement result of detonation velocity and pressure about  $\alpha$  NQ and  $\beta$  NQ

试件	$\alpha$ NQ 配方					NQ97 配方				
	1#	2#	3#	4#	平均值	1#	2#	3#	4#	平均值
$B/T$	0.0638	0.0638	0.0638	0.064	—	0.0647	0.0647	0.0653	0.0653	—
$t_1/\mu s$	314	333	322	320	—	325	314	315	317	—
$t_2/\mu s$	193	193	193	193	—	193	193	193	193	—
$\Delta t/\mu s$	1.21	1.4	1.29	1.27	—	1.32	1.21	1.22	1.25	—
$h/mm$	9.853	10.17	9.98	9.92	—	10.47	10.28	10.07	10.11	—
$w/mm$	10.16	10.16	10.16	10.17	—	10.16	10.14	10.17	10.17	—
$\varepsilon/v$	1.28	1.312	1.332	1.302	—	1.368	1.432	1.396	1.448	—
$\rho_0/g \cdot cm^{-3}$	1.521	1.504	1.521	1.515	1.515	1.612	1.625	1.629	1.626	1.623
$D/mm \cdot \mu s^{-1}$	8.143	7.264	7.736	7.811	7.739	7.932	8.496	8.253	8.088	8.193
$u/mm \cdot \mu s^{-1}$	1.975	2.024	2.055	2.0	2.014	2.081	2.183	2.102	2.18	2.137
$p/GPa$	24.46	22.11	24.18	23.67	23.61	26.61	30.14	28.26	28.67	28.42
$\gamma$	3.123	2.59	2.76	2.91	2.846	2.81	2.89	2.93	2.71	2.84

表3结果表明,实验中出现爆速误差较大的现象,分析其主要原因有两个,一是药条延长度方向厚度不均匀,测量出的厚度与安放传感器的位置不同,造成了计算误差;二是测量本身存在加大误差,因为药条硬度不大,在用千分尺测量时,使用力度不同,会引起测量数据出现加大误差。但实验结果作为定性的研究是可信的。

从电磁法测量结果看,在同样压药条件下,以 $\alpha$ NQ为基的炸药密度、爆速、爆压均低于以 $\beta$ NQ为基的NQ97炸药。这说明作为低易损性炸药, $\beta$ 晶型硝基胍的爆炸性能优于 $\alpha$ 晶型硝基胍。

以 $\beta$ 晶型NQ为基的NQ97混合炸药,满足低易损性炸药爆速大于 $7\,900\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,能量与B炸药( $\rho_0 = 1.707\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 时, $p = 27.6\text{ GPa}$ )相当的要求,用NQ97代替B炸药装填武器时,武器的威力不会降低。

## 5 结 论

(1) 实验证明,只有 $\beta$ 晶型的硝基胍适合于作低易损性炸药的组分而 $\alpha$ 晶型的硝基胍不适于作低易

损性炸药的组分。

(2) 无论是 $\beta$ 晶型的硝基胍或是 $\alpha$ 晶型的硝基胍其撞击感度、摩擦感度都较低。

(3) 以NQ为基的NQ97混合炸药,在压药密度为 $\rho_0 = 1.623\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 时, $D = 8\,193\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , $p = 28.4\text{ GPa}$ ,满足低易损性炸药爆速大于 $7\,900\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,能量与B炸药相当的要求,用NQ97代替B炸药装填武器时,武器的威力不会降低。

## 参考文献:

- [1] 李普庆. 低易损性炸药的评价方法[J]. 火炸药学报, 1995(2): 15-18.
- [2] 唐桂芳. 含NTO的铸装PBX炸药研究[J]. 火炸药学报, 1995(1): 14-18.
- [3] 张明,方乃相. 高松装密度硝基胍的制备[J]. 含能材料, 1996,4(3): 137-142.
- [4] 徐更光. 炸药性能及应用[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1988.

# Mechanical Sensitivity and Explosive Performance of Nitroguanidine(NQ)-based Composite Explosives

DUAN Wei-dong, Lü Zao-sheng

(Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081, China)

**Abstract:** The effects of crystal form of NQ-based composites on their explosive performances were studied. The impact sensitivity, friction sensitivity, detonation velocity, and detonation pressure of the composites were all measured. The author's experimental results proved that the safety of various ordnances could be improved, and the explosive power could be remained when composite B is substituted with NQ97—a NQ-based composite.

**Key words:** explosion mechanics; nitroguanidine(NQ); low vulnerable explosive; explosive performance; sensitivity