

# RDX 炸药粒度对其爆轰性能的影响

杨斌林, 陈荣义, 曹晓宏

(长沙矿山研究院, 湖南 长沙, 410012)

**摘要:** 本文制备了4种粒度的RDX, 分别进行爆轰性能试验, 并对试验结果进行了理论上的定性分析。结果表明: 随着RDX炸药粒径的减小, 其机械感度降低, 冲击波感度增高, 临界直径减小, 爆速增大。

**关键词:** RDX; 粒度; 爆轰性能; 机械感度; 冲击波感度

中图分类号: TQ564.3 文献标识码: A

## Influence of Particle Size of RDX on the Detonation Properties

YANG Bin-lin, CHEN Rong-yi, CAO Xiao-hong

(Changsha Institution of Mining Research, Changsha, 410012)

**Abstract:** Four particle-sizes of RDX were prepared, and their detonation properties were tested respectively. Theoretical analysis were done to the test results and the result showed that with decreasing the particle size of RDX, its mechanical sensitivity and critical diameter decreased, and its sensitivity of shock wave and detonation velocity increased accordingly.

**Key words:** RDX; Particle size; Detonation property; Mechanical sensitivity; Sensitivity of shock wave

RDX作为单质猛炸药,在爆破器材中有着广泛的应用,通常使用的是结晶形态的颗粒RDX。随着爆破工程对爆破器材提出更多更新的要求,使用不同形态、不同颗粒大小RDX的新型爆破器材越来越多。但是,由于未对不同粒度RDX的爆轰性能变化规律进行系统的研究,使其应用具有一定的盲目性。本文旨在探讨不同粒度RDX对其爆轰性能的影响。

## 1 RDX 试样的制备

### 1.1 1号RDX试样

对标准的结晶RDX过60目筛,得到粒径大于

60目的筛上RDX,称之为1号RDX,其直径1640 $\mu\text{m}$ 。

### 1.2 2号RDX试样

对标准的结晶RDX过80目筛,得到粒径小于80目的筛下RDX,称之为2号RDX,通过粒度分析仪对其进行分析,所得结果如表1所示。

表1 2号RDX粒度分析数据

Table 1 Analysis data of No.2 particle size of RDX

粒度分布 / %	10	50	90	平均
粒径 / $\mu\text{m}$	17.70 以下	53.42 以下	93.56 以下	54.89

收稿日期: 2004-04-19

作者简介: 杨斌林(1965-),女,高级工程师,从事民用起爆器材研究开发。

### 1.3 3号 RDX 试样

采用硬质合金湿磨法研磨 RDX 3 小时,  $W_{球}$ :  
 $W_{料}$ :  $W_{蒸馏水}$ =1:1:1, 过滤后烘干, 即为 3 号 RDX。  
通过粒度分析仪对其进行分析, 所得结果如表 2 所示。

表 2 3号 RDX 粒度分析数据

粒度分布 / %	10	50	90	平均
粒径 / $\mu\text{m}$	1.58	12.43	23.29	12.78
	以下	以下	以下	

### 1.4 4号 RDX 试样

采用硬质合金湿磨法研磨 RDX 6 小时,  $W_{球}$ :  
 $W_{料}$ :  $W_{蒸馏水}$ =1:1:1, 过滤后烘干, 即为 4 号 RDX。  
通过粒度分析仪对其进行分析, 所得结果如表 3 所示。

表 3 4号 RDX 粒度分析数据

粒度分布 / %	10	50	90	平均
粒径 / $\mu\text{m}$	1.22	8.77	16.57	8.95
	以下	以下	以下	

## 2 不同粒度 RDX 的爆轰性能试验

### 2.1 撞击感度试验

采用卡斯特落锤仪, 5kg 落锤从 250mm 高度落下撞击试样, 以试样爆炸百分数表示撞击感度。一般进行两组平行试验, 每组试验 25 发, 每发 30mg。置信度为 95%, 两组中只要有一组结果落在另一组结果的置信区间内, 就认为这两组结果是平行一致的, 就可用这两组的平均值作为该试验的感度值。试验结果如表 4 所示。

表 4 RDX 撞击感度试验值

组次	1号 RDX	2号 RDX	3号 RDX	4号 RDX
第 1 组	36	28	24	16
第 2 组	44	36	12	16
平均值	40	32	18	16

### 2.2 摩擦感度试验

采用科兹洛夫摩擦摆, 摆角为  $90^\circ$ , 挤压压强为 474.6MPa, 以爆炸百分数表示摩擦感度。一般进行两组平行试验, 每组 20 发, 每发试验药量为 20mg; 置信度为 95%, 两组中只要有一组结果落在另一组结果的置信区间内, 就认为这两组结果是平行一致的, 就可用这两组的平均值作为该试验的感度值。试验结果如表 5 所示。

表 5 RDX 摩擦感度试验值

组次	1号 RDX	2号 RDX	3号 RDX	4号 RDX
第 1 组	36	44	40	32
第 2 组	40	40	40	44
平均值	38	42	40	38

### 2.3 冲击波感度及临界直径试验

采用楔形试验法来测定 RDX 的冲击波感度和临界直径。将炸药试样制作成楔形, 由厚端处引爆, 以爆轰停止传播处的失败厚度表示冲击波感度的大小。以楔形试验的失败厚度外推到  $0^\circ$  角的失败厚度作为炸药装药的临界直径。楔形试验装置见图 1。

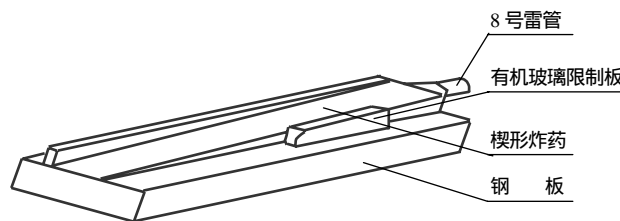


图 1 固体炸药楔形试验装置

Figure 1 V-shape experiment device of solid explosive

试验条件和方法: RDX 装药密度为  $0.812\text{g}/\text{cm}^3$ , 楔形顶角采用  $2.0^\circ$ 、 $2.4^\circ$ 、 $2.8^\circ$  和  $3.0^\circ$ 。先测试出不同 RDX 在各楔形顶角下的爆轰失败厚度, 每项进行 3 组平行试验, 取其平均值, 用以比较不同粒度 RDX 的冲击波感度; 然后以失败厚度为纵坐标, 楔形角为横坐标作图, 将楔形角外推到  $0^\circ$ , 求得不同粒度 RDX 的临界直径。试验结果见表 6。

### 2.4 爆速试验

采用电探针法测定 RDX 在一定条件下的爆速, 炸药试样装在壁厚为 0.36mm、内径为 9.64mm 的铁管中, 装药密度均为  $0.975\text{g}/\text{cm}^3$ ; 进行 3 组平行试

验, 取平均值。试验结果如表 7 所示。

表 6 RDX 楔形试验失败厚度与临界直径

Table 6 Failure thickness and critical diameter of

炸药	RDX V-shape test				外推到 0° (临界直径)
	2.0°楔 形角	2.4°楔 形角	2.8°楔 形角	3.0°楔 形角	
1 号 RDX	2.52	2.38	2.25	2.17	3.21
2 号 RDX	2.18	2.02	1.85	1.76	2.96
3 号 RDX	1.92	1.81	1.70	1.64	2.46
4 号 RDX	1.74	1.61	1.49	1.43	2.35

表 7 RDX 爆速试验值

Table 7 Test value of RDX detonation velocity

炸药 试样	1 号 RDX	2 号 RDX	3 号 RDX	4 号 RDX
爆速 /(m·s <sup>-1</sup> )	5 725.54	5 605.63	5 903.32	6 033.30

### 3 试验结果及理论分析

#### 3.1 撞击感度试验结果与分析

从表 4 可看出, RDX 的撞击感度随其颗粒度减小而明显降低。

撞击起爆属于热点起爆机理, 有关热点的形成机理<sup>[1]</sup>, 一般认为有以下几点: (1) 裂缝里或空隙中气体的绝热压缩、空穴塌陷; (2) 炸药晶粒之间、炸药与固体物质或金属之间的摩擦; (3) 晶体间的位错或由于机械失效面引起的剪切带的形成。热点形成后, 能否引起炸药的爆轰则取决于以下几个方面: (1) 热点的大小; (2) 热点的温度; (3) 热点的密度(数目)。根据热爆炸理论计算, 当热点密度相同时, 热点半径增大, 则热点起爆温度减小, 即起爆感度提高。RDX 在撞击作用下形成的热点, 主要是机械作用下导致晶粒微缺陷处应力集中而产生的<sup>[2]</sup>, 故其热点的大小与晶粒缺陷的尺寸有关。一般来说, 炸药晶体颗粒的粒度越大, 其微缺陷也越大, 同时微缺陷的数目也越多。也就是

说炸药晶体的颗粒越大, 其在撞击作用下形成的热点的半径也越大, 其单晶体中形成的热点数也越多, 所以 RDX 的撞击感度随其药剂晶体尺寸的增加而增大。

#### 3.2 摩擦感度试验结果与分析

从表 5 可看出, 当 RDX 的粒度明显减小时, 其摩擦感度基本不变。

炸药的摩擦起爆也属于热点起爆机理<sup>[3]</sup>。RDX 在形成热点后, 热点处的炸药发生熔化。熔化后在压力作用下发生粘性流动, 按粘性流动规律, 粘度  $\mu$  的流体, 薄层厚度为  $h$ , 面积为  $A$  的平面, 以  $v$  的速度运动时, 所消耗的能量(变为热能)  $H$  为:

$$H = \mu A v^2 / h \quad (1)$$

假设一薄层炸药, 密度为  $\rho$ , 接触面积为  $A$ , 比热为  $c$ , 质量为  $m$ , 可由滑动速度  $v$  求温升  $T$ 。反之, 如令  $T$  相当于爆发点, 这可以反推滑动速度  $v$ 。因  $H = Tmc$ , 则:

$$T = H / mc = \mu A v^2 / hmc \quad (2)$$

由(2)式可知, 当试验条件一定且炸药中无杂质时, 温升  $T$  主要取决于  $\mu$  与  $c$ , 而  $\mu$  与  $c$  则与炸药的种类有关。所以摩擦感度试验时, RDX 的感度与其粒度无多大关系。

#### 3.3 冲击波感度试验结果与分析

从表 6 可看出, 当 RDX 的颗粒度减小时, 楔形试验的失败厚度均明显减小, 表明其冲击波感度明显提高。

RDX 的冲击波起爆也属于热点起爆机理<sup>[4-5]</sup>。固体炸药中存在一定的气泡、杂质和间隙, 冲击加载往往在这些区域附近形成局部高温, 而高温的产生是由于冲击波多次反射与碰撞、空穴塌陷形成射流、马赫反射等。局部热点以高速燃烧的形式向外传播, 冲击波后紧跟一个有热点形成的燃烧波, 它不断地加强前导冲击波, 使其强度不断提高, 最后发展成爆轰波。热爆炸理论计算和实验均表明: 在冲击波作用下, 由气泡形成的热点, 要比纯炸药形成的热点容易起爆; 炸药空隙度愈大, 炸药中所含气泡数也越多, 则其起爆的热点数也越多, 故炸药也越容易被起爆。

(下转第 56 页)

(上接第 52 页)

如空隙度相同时,晶体颗粒越大,则气泡半径越大,气泡数越少,热点数越少。故 RDX 炸药随其粒度的减小,其冲击波感度逐渐增加。

### 3.4 爆速和临界直径试验结果与分析

从表 6、表 7 可看出,当 RDX 的颗粒度减小时,其爆速增大,爆轰临界直径减小。

在其他装药条件相同的情况下,炸药的稳定爆速值与装药的直径有关,当装药直径小于某一临界直径时,爆轰就会熄灭。装药直径对爆轰的影响,来源于装药侧表面向爆轰波反应区内部传播的径向膨胀波的作用。当装药直径有限时,处于高压状态的化学反应区内的介质,必然产生径向膨胀;同时,介质的径向膨胀又使反应区能量受到损失,而且越靠近边界损失越大,反应区越宽损失越大。

在装药直径小于极限直径、其他装药条件相同时,炸药的颗粒尺寸越小,反应区内化学反应速度越快,化学反应时间越短,化学反应区的宽度也就越窄;反应区内受膨胀波影响的区域越小,支持爆轰传播的能量也越多,爆速也就越高;同时,由于爆轰反应区的能量损失越小,能稳定传播爆轰的临界直径也就越小。

## 4 结论

通过试验和理论分析,得到如下结论:

(1)随着 RDX 炸药颗粒直径的减小,其单晶体颗粒内的热点数和热点尺寸减小,故撞击感度降低;

(2)RDX 的摩擦感度试验表明,在其他条件不变的情况下,RDX 的摩擦感度与其颗粒直径的大小无关;

(3)RDX 的楔形试验结果表明,装药密度一定时,颗粒越小的药剂其含有的气泡数越多,即热点数越多,故 RDX 冲击波感度随其粒径的减小而增高;其临界直径随粒径的减小而减小;

(4)试验证明,颗粒越小的 RDX,由于其爆轰反应区的化学反应速度越快,反应区越窄,能量损失越小,支持爆轰传播的能量越高,故 RDX 的爆速随其粒径的减小而增大。

参考文献:

- [1] P.Gray P.R.Lee. Thermal explosion theory [M]. Cabridge. UK,1996.
- [2] 孙锦山等. 理论爆轰物理 [M]. 北京:国防工业出版社,1995.
- [3] 蔡瑞娇. 火工品设计原理 [M]. 北京:北京理工大学出版社,1999.
- [4] Dremine A N, Koldunov S A. Initiation of detonation by shock waves in cast and pressed TNT [M]. Vzyvnoe. Delo, 1973.
- [5] Home P M. Mechanisms in shock initiation of detonation [R]. AD-775 580, 1973.