

文章编号: 1003-1480 (2006) 01-0016-03

# 某型高能推进剂的爆炸当量

李全, 常新龙, 王云超

(第二炮兵工程学院, 陕西 西安, 710025)

**摘 要:** 根据 10kg 量级的 TNT, 25kg 和 50kg 量级的某型高能推进剂的空中爆炸试验数据, 利用曲线拟合的方法, 得出了 TNT 和高能推进剂空中爆炸的压力表达式, 计算出不同对比距离处高能推进剂的 TNT 当量比, 得出高能推进剂的 TNT 当量比平均值为 1.25。

**关键词:** 高能推进剂; 爆炸力学; TNT 当量; 超压公式

中图分类号: TJ450.6

文献标识码: A

## TNT Equivalence of High Energy Propellant

LI Quan, CHANG Xin-long, WANG Yun-chao

(The Second Artillery Engineering College, Xi'an, 710025)

**Abstract:** Based on the airborne explosion experiment results of 25kg, 50kg high energy propellant and 10kg TNT, the pressure formula of high energy propellant and TNT was obtained. By the method of curve fitting, the TNT equivalence of high energy propellant in various pressure-scaled distant was calculated. The average TNT equivalence of the high energy propellant is about 1.25.

**Key words:** High energy propellant; Explosion mechanics; TNT equivalence; Over pressure formula

高能推进剂具有能量高, 力学性能好, 密度高等优点<sup>[1]</sup>, 是新型固体火箭发动机常采用的推进剂。对高能推进剂危险性的研究是改进防护设施, 减小意外损失的重要途径之一。

我国对高能推进剂爆炸当量的试验研究较少, 利用爆热计算推进剂的爆炸当量, 结果误差都比较大。按美国国防部危险等级分类标准, 高能推进剂属于 1.1 级危险品, 其爆炸当量在 1.0 到 1.3 之间。目前对推进剂的试验研究多采用由实际爆炸输出来确定爆炸当量, 即在同样的径向距离处得到相同的爆炸峰值压力时的 TNT 药量和推进剂药量的比值, 由于推进剂的当量比是随径向距离变化的, 所以通常都是给出一个平均值。

本文将通过试验拟合出高能推进剂当量比和对比距离的关系, 并给出一个适用的平均值。

## 1 试验方法及数据结果

爆源分别为 8 个 10kg 的 TNT, 2 个 25kg 和 2 个 50kg 的高能推进剂。试验采用准空爆, 看作试样在无限空气中爆炸模型。将试样置于一定高度试样架上, 进行起爆。超压传感器布置于规定采样点上。TNT 炸高为 0.8m, 25kg 和 50kg 推进剂炸高分别为 1.1m 和 1.3m。试验数据如表 1 所示。

收稿日期: 2005-11-09

作者简介: 李全 (1981-), 男, 在读硕士研究生, 从事固体火箭发动机可靠性研究。

表 1 高能推进剂爆炸试验测量结果

| 距爆心距离<br><i>R</i> /m | 10kgTNT |       |       |       | 高能推进剂 |       |       |       |
|----------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                      | 第 1 组   | 第 2 组 | 第 2 组 | 第 2 组 | 25kg  | 25kg  | 50kg  | 50kg  |
| 7                    | -       | 155.0 | 154.1 | 160.1 | 376.2 | 404.5 | 764   | 738   |
| 10                   | 62.80   | 66.50 | 57.70 | 62.90 | 130.8 | 134.7 | 233.8 | 260.8 |
| 15                   | 31.51   | 31.40 | 32.28 | 33.30 | 61.2  | 63.0  | 89.0  | 96.4  |
| 20                   | 17.19   | 18.33 | 20.17 | 18.28 | 31.48 | 31.47 | 49.0  | 47.3  |
| 25                   | 13.55   | 13.30 | 13.99 | 13.66 | 24.4  | 26.43 | 35.35 | 34.42 |
| 30                   | 13.14   | 11.84 | 13.03 | 13.46 | 19.64 | 20.46 | 28.55 | 27.54 |
| 40                   | 8.20    | 8.41  | 8.75  | 8.55  | 14.47 | 15.34 | 18.74 | 19.06 |
| 45                   | 7.72    | 8.04  | 8.50  | 7.48  | 12.54 | 13.17 | 17.31 | 17.13 |

图 1 和图 2 分别是根据表 1 试验数据做出的 TNT 和高能推进剂的爆炸超压 ( $\Delta P$ ) 和对比距离 ( $\bar{r}$ ) 关系的试验曲线。

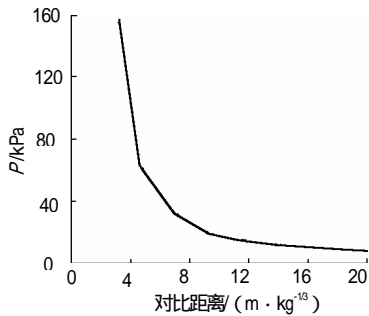


图 1 TNT 超压和对比距离的试验曲线

Fig.1 Testing curve of overpressure vs contrast distance for TNT

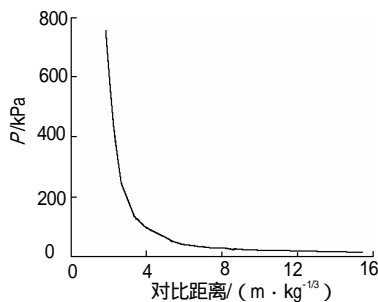


图 2 推进剂超压和对比距离的试验曲线

Fig.2 Testing curve of overpressure vs contrast distance for propellant

## 2 高能推进剂空中爆炸当量比计算

### 2.1 TNT 和高能推进剂超压表达式的试验拟合

根据炸药在空中爆炸的相似理论和试验数据, 拟合出了 TNT 和高能推进剂的爆炸压力表达式。

根据炸药在空中爆炸的相似理论有:

$$\Delta P = f\left(\frac{\sqrt[3]{w}}{r}\right) = f\left(\frac{1}{\bar{r}}\right) \quad (1)$$

(1) 式中:

$P$ ——空气冲击波超压值, kPa;

$w$ ——装药重量, kg;

$r$ ——到爆炸中心的距离, m;

$\bar{r}$ ——对比距离,  $m \cdot kg^{-1/3}$ ;  $\bar{r} = r / \sqrt[3]{w}$ 。

将 (1) 式展开为多项式并取其前 4 项得:

$$\Delta P = A_0 + \frac{A_1}{\bar{r}} + \frac{A_2}{\bar{r}^2} + \frac{A_3}{\bar{r}^3} \quad (2)$$

(2) 式中  $A_0, A_1, A_2, A_3$  为待定系数。

由边界条件可知, 当  $r$  趋于无穷时,  $P$  趋于零, 所以  $A_0=0$ , 即:

$$\Delta P = \frac{A_1}{\bar{r}} + \frac{A_2}{\bar{r}^2} + \frac{A_3}{\bar{r}^3} \quad (3)$$

这就是常见的超压计算公式, 系数  $A_1, A_2, A_3$  根据试验确定。

将试验数据整理后, 拟合出超压——对比距离关系曲线, 如图 3~4 所示。

按照最小二乘原理拟合出的超压计算公式分别为:

$$\text{TNT: } \Delta P = \frac{204.5}{\bar{r}} - \frac{842.8}{\bar{r}^2} + \frac{5\,947.7}{\bar{r}^3} \quad (4)$$

推进剂:

$$\Delta P = \frac{269.3}{\bar{r}} - \frac{1\,184.5}{\bar{r}^2} + \frac{6\,449.8}{\bar{r}^3} \quad (5)$$

由图 3~4 可以看出, 试验数据和曲线拟合得很好。

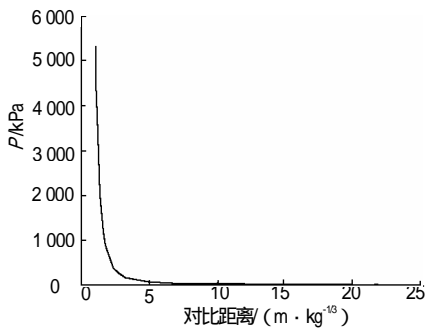


图3 TNT超压和对比距离的拟合曲线

Fig.3 Fitting curve of overpressure vs contrast distance for TNT

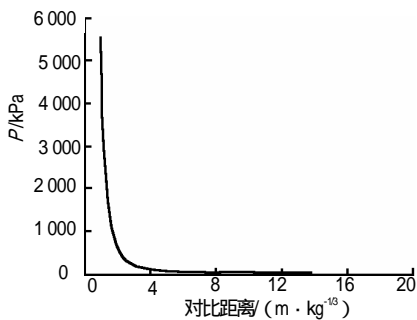


图4 推进剂超压和对比距离的拟合曲线

Fig.4 Fitting curve of overpressure vs contrast distance for propellant

## 2.2 TNT 当量比的计算

由 TNT 当量比的概念可知,高能推进剂的 TNT 当量比为:

$$E_q = \frac{W_{\text{TNT}}}{W_{\text{EM}}} = \left( \frac{\bar{r}_{\text{EM}}}{\bar{r}_{\text{TNT}}} \right)^3 \quad (6)$$

式中:

$W_{\text{TNT}}$ ——TNT 的重量, kg;

$W_{\text{EM}}$ ——推进剂的重量, kg;

$\bar{r}_{\text{TNT}}$ ——TNT 的对比距离,  $\text{m} \cdot \text{kg}^{-1/3}$ ;

$\bar{r}_{\text{EM}}$ ——推进剂的对比距离,  $\text{m} \cdot \text{kg}^{-1/3}$ 。

根据公式(4)和(5)可以计算出同一超压值时的  $\bar{r}_{\text{TNT}}$  和  $\bar{r}_{\text{EM}}$ , 代入(6)式即可求出。

根据推进剂的超压和对比距离,按拟合公式计算出 TNT 的对比距离  $\bar{r}_{\text{TNT}}$ , 再按(6)计算出推进剂在该点的当量比。

根据推进剂试验点和压强的分布,计算所得的数据见表 2。由于试验点分布的原因,在接近试验距离的范围内,计算结果较好,在较近和较远处误差较大。在接近试验距离的范围内,按上述方法计算得高能推进剂的平均当量比为 1.25, 在 1.0~1.3 之间,同美国公布的关于高能推进剂的爆炸当量的数据基本一致。

表2 推进剂 TNT 当量比计算结果

Tab.2 Calculating result of TNT equivalence for propellant

|  |          |          |          |          |          |          |          |          |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| $\bar{r}_{\text{EM}} / (\text{m} \cdot \text{kg}^{-1/3})$  | 1.900 1  | 2.394 0  | 2.714 4  | 3.420 0  | 4.071 6  | 5.129 9  | 5.428 8  | 6.786 0  |
| $\Delta P / \text{kPa}$                                    | 751.000  | 390.350  | 247.300  | 132.750  | 92.700 0 | 62.100 0 | 48.150 0 | 34.895 0 |
| $\bar{r}_{\text{TNT}} / (\text{m} \cdot \text{kg}^{-1/3})$ | 1.891 8  | 2.354 6  | 2.756 3  | 3.455 4  | 3.976 1  | 4.719 2  | 5.322 0  | 6.313 1  |
| $E_q / \text{kPa}$   | 1.013 2  | 1.051 0  | 0.955 0  | 0.969 6  | 1.073 8  | 1.284 5  | 1.061 4  | 1.242 0  |
| $\bar{r}_{\text{EM}} / (\text{m} \cdot \text{kg}^{-1/3})$  | 6.839 9  | 8.143 3  | 8.549 9  | 10.259 9 | 10.857 7 | 12.214 9 | 13.679 8 | 15.389 8 |
| $\Delta P / \text{kPa}$                                    | 31.475 0 | 28.045 0 | 25.415 0 | 20.050 0 | 18.900 0 | 17.220 0 | 14.905 0 | 12.855 0 |
| $\bar{r}_{\text{TNT}} / (\text{m} \cdot \text{kg}^{-1/3})$ | 6.706 9  | 7.204 6  | 7.692 3  | 9.149 1  | 9.587 7  | 10.373 4 | 11.792 5 | 13.587 0 |
| $E_q / \text{kPa}$   | 1.060 7  | 1.444 0  | 1.373 1  | 1.410 2  | 1.452 3  | 1.632 7  | 1.561 1  | 1.453 2  |

## 3 结论

(1) 通过 10kg, 25kg 和 50kg 的 TNT 和高能推进剂空中爆炸的试验数据,拟合出了这两种爆炸物的压力表达式,并与试验数据吻合。

(2) 根据高能推进剂的试验数据分布,用上述方法计算出了在不同对比距离处高能推进剂的当量比,得到其平均当量比为 1.25, 在 1.0~1.3 之间,同美国公布的关于高能推进剂的爆炸当量的数

据基本一致。

### 参考文献:

- [1] 侯林法.复合固体推进剂[M].北京:宇航出版社,1994.
- [2] 乔小玲等.岩石型乳化炸药的 TNT 当量[J].爆破器材,1998,27,(6).
- [3] 李广武等.硝酸酯增塑高能推进剂爆炸性能研究[J].固体火箭技术,2000,23,(3):44~48.