

炸药园筒试验研究

夏水根 花平寰

本文叙述了采用T₂Y紫铜管的园筒试验，其引炸方式与背景光源均作了简化。给出了四种典型的高能炸药的实验结果并与广泛采用的标准园筒试验进行了比较。实验结果表明，所采用的试验装置和条件是合理的，所得数据是可靠的。

一、引言

为了评价炸药加速金属的能力，并为JWL状态方程^[1]提供必要的的数据，我们对一些高能炸药进行了标准园筒试验。

对于理想炸药，广泛采用内径为1吋的标准园筒试验。园筒由含铜99.99%以上的无氧铜管精加工而成，其长为12吋，壁厚为0.1022吋，内装炸药试样^[2]。试验时一端用平面波发生器起爆，以高强度的平行光作背景光源^[3]，用扫描相机采用单狭缝扫描的办法得到园筒壁径向膨胀的实验底片记录。

我们对上述条件作了一些改变。用牌号为T₂Y的紫铜管，用一个特屈儿药柱起爆，用筒易的氩气弹作背景光源。实验表明，条件的改变并没有对结果带来明显的影响。为了说明这一点，本文给出了能量上有代表性的四种高能炸药的试验结果。

二、实验

我们采用的标准园筒试验装置如图1所示。

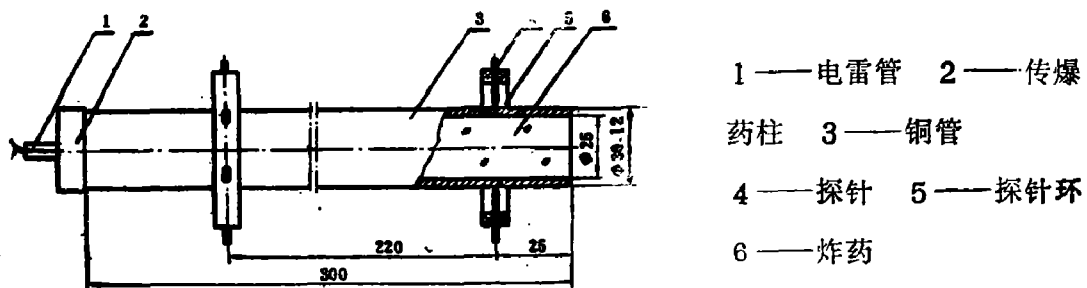


图1 园筒试验装置

本文收到日期：1981年4月11日

园筒由T₂Y冷拉制铜管车削加工而成,其含铜量在99.9%以上,实测密度为8.926 g/cm³,实测布氏硬度HB = 103。

炸药试样与园筒紧密配合,最大间隙不超过0.04mm。

用Φ32 × 11mm的特屈儿药柱起爆。它与雷管和园筒应在同一轴线上。我们把有机玻璃堆紧靠在园筒的另一端,用扫描相机测量稳定炸轰波到达炸药——有机玻璃界面时的波形。实验表明,当采用这种起爆方式时,所得波形与用平面波起炸时所得波形差异不大。

在园筒上相距220mm的位置上装有一对环形有机玻璃探针架,每个架上装有6个接触式探针。探针与管壁之间的间隙约0.08mm。通过网络将各探针接到示波器或E324时间间隔测量仪上测量炸药在园筒内的爆速。用这种方法测得的爆速偏高,应根据两个测点的波形作必要的修正。

园筒、扫描相机和氩气弹之间的相对位置如图2所示。园筒应水平放置,并与相机物镜光轴垂直。园筒与相机的最佳距离应使照相范围正好充满底片。相机狭缝在园筒上的照相位置距起爆端200mm。

我们将氩气弹放在适当的位置上,并采用了一些简单的措施得到了清晰度较高的底片记录。我们曾多次测量园筒壁未膨胀时的扫描像。结果表明约在25μs的时间内扫描像高度前后没有发生变化。这表明采用这样的背景光源时,照相位置上的光线基本上是平行光。

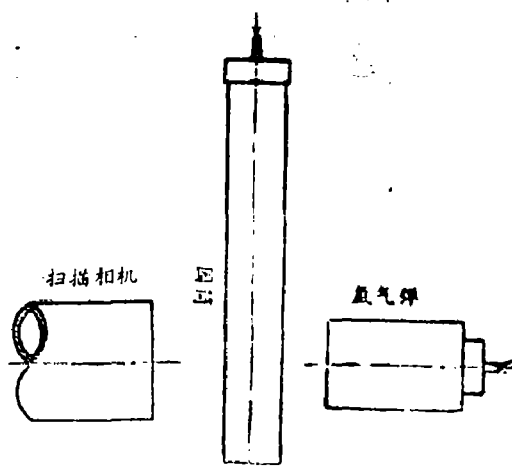


图2 实验安排示意图

三、数据处理

在阅读仪上读出底片上壁膨胀扫描轨迹的纵坐标和横坐标,然后根据像的放大率和扫描速度计算壁的径向膨胀距离 $R-R_0$ 。(R、R₀分别为壁径向膨胀半径和初始半径)和对应的时间t。在每条扫描轨迹上要读70多个点,此时 $R-R_0 \approx 25 \sim 30$ mm。

当园筒的直径和壁厚不同时,壁膨胀到同一距离 $R-R_0$ 所需要的时间也不等。为了数据统一,我们以图1所示的尺寸为标准,对其他尺寸园筒的实验时间t作了修正。我们用了下面的修正式:

$$t' = \frac{r}{r_0} \sqrt{\frac{R_0^2 - r_0^2}{R^2 - r^2}} \cdot t \quad (1)$$

式中R₀和r₀分别为标准园筒的外半径和内半径,R和r为要修正的园筒的外半径和内半径,t'为修正后的时间。我们经过多次使用后发现这个修正式是很有效的。

将每炮标准化后的 $R-R_0 \sim t$ 数据拟合成曲线 $t = f(R-R_0)$ 。我们用了N.E.Hoskin等人

[3]使用的拟合式:

$$t = A + B(R - R_0) + Ce^{D(R - R_0)} \quad (2)$$

式中A、B、C、D为拟合系数。

由图3底片记录可见,壁初始膨胀阶段有一相当高的表观速度,在这一阶段内不能用(2)式描述。因此本文中各炮的拟合起点选在 $R - R_0 \approx 5$ mm的位置。

将(2)式对t微商,得壁径向膨胀速度u:

$$u = (B + CDe^{D(R - R_0)})^{-1} \quad (3)$$

然后求出壁的比动能 $\frac{1}{2}u^2$ (即单位质量的壁所获得的动能)。

这样,便得到了每炮的实验结果。

四、结果及其分析

将上述同种装药的各炮所得的拟合曲线合并成一条,仍用(2)式表示。由这条曲线计算的 $R - R_0 \sim t$, $R - R_0 \sim u$, $R - R_0 \sim \frac{1}{2}u^2$ 数据就是这种装药的园筒试验结果。图3、4和5分别是PBX-9404等四种炸药的 $R - R_0 \sim t$, $R - R_0 \sim u$ 和 $R - R_0 \sim \frac{1}{2}u^2$ 的实验曲线。在这几个图中,①代表PBX-9404炸药,②代表PB-RDX,③代表TNT/RDX(40/60),④代表TNT。

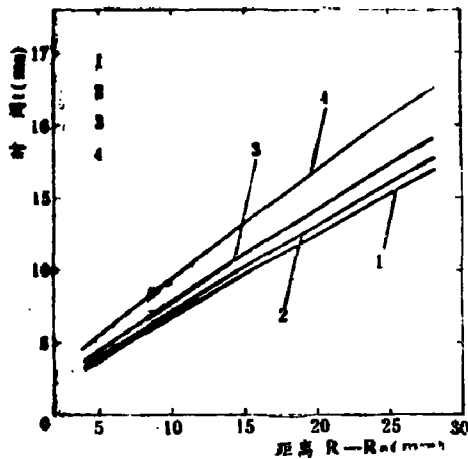


图3 壁膨胀时间与距离的关系

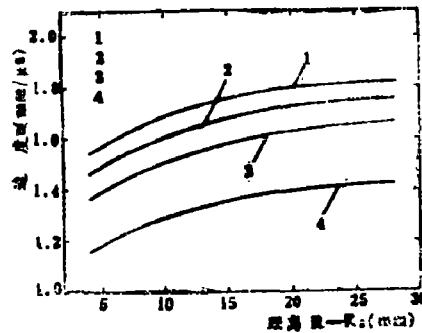


图4 壁膨胀速度与距离的关系

为了消除壁外空气冲击波引起的 $R - R_0$ 数据的测量误差^[4],我们采用了如下的近似修正式:

$$\Delta r = R \left[1 - \frac{n_0}{1 + (n_0 - 1)\eta} \right] \quad (4)$$

在此式的推导中要求满足 $R/R_s > n_0 / [1 + (n_0 - 1)\eta]$ 。式中R是从底片测量得到的壁径向膨胀表观半径; n_0 为未扰动空气的绝对折射率; η 为冲击波通过后空气的压缩比; R_s 为空气冲击波半径。计算中用到了W.E.Deal的空气冲击波雨贡纽曲线^[5]。

园筒壁的真实半径为:

$$R' = R - \Delta r \quad (5)$$

我们详细地测量过空气冲击波速度。经计算后发现空气冲击波对壁速带来的误差很小。在 $R - R_0 = 5 \sim 30 \text{ mm}$ 内, 仅在 0.1% 左右。因此在一般情况下不必进行修正。为了尽可能消除误差, 我们仍然对各种炸药的结果进行了修正。

在我们的实验中, 每种炸药各炮试验之间的重复性很好。速度偏差在 1% 以内, 比动能偏差在 2% 以内。表 1 中 TNT 装药的两炮实验数据就是一个典型的例子(我们只打了两炮)。我们对 TNT/RDX (40/60) 打了 5 炮, 而对 PBX-9404 和 PB-RDX 各打了 4 炮。其重复性都与 TNT 差不多。但时间的重复性较差, 各炮之间的最大偏差可能达 3% 以上。产生这种情况的原因主要是由于膨胀起始点的时间坐标不能准确确定所引起的。如果采取多次读数取平均值的办法, 则这种误差会减小一些。

为了将我们的实验结果与通常采用的标准圆筒试验结果相比较, 我们在表 2 中同时列出了利弗莫尔的结果^{[2][6]}。

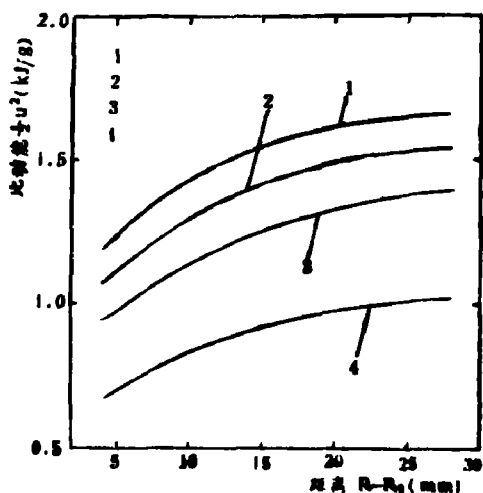


图 5 壁比动能与距离的关系

五、结 论

由试验结果可以得到如下几点结论:

1. 本试验所用的 PBX-9404 和 TNT, 试验结果与 J.W. Kury 以及 Brigitta M. Dobratz 等人的结果符合得很好。而 TNT/RDX (40/60) 的结果, 与他们的 Comp B (36/64) 接近, 这可能是两者配方相差不大的缘故, 因为我们所用的 TNT/RDX 的实测配比约是 TNT/RDX = 38/62, 且不含石蜡。

2. W.C. Davis 将理想炸药圆筒试验在 $R - R_0 = 6 \text{ mm}$ 和 19 mm 两处的比动能之间的关系总结成如下的经验式^[7]:

$$E^1/E^0 = 1.27 - 0.35(\rho_0 - 1.80) \quad (5)$$

式中 ρ_0 为炸药装药密度。

我们将四种炸药的实验值和由 (5) 式得出的计算值列于表 3。由表列数据可知二者的偏差很小, 都在 (5) 式给出的统计误差之内, 这表明我们的试验结果能很好地用 (5) 式描述。

3. 由稳定爆轰波波形测量, 背景光源光线平行性的测量以及试验结果的分析可知, 我们所用的试验装置和试验条件是合理的, 所得的结果是可靠的。

表1 两炮TNT的实验结果

炮号	ρ_0 g/cm ³	D mm/ μ s	R - R ₀ = 5 mm		R - R ₀ = 6 mm		R - R ₀ = 19mm	
			t μ s	u mm/ μ s	t μ s	u mm/ μ s	t μ s	u mm/ μ s
1	1.635	6.923	5.508	1.182	6.344	1.208	16.193	1.395
				0.698		0.730		0.974
2	1.634	6.943	5.580	1.194	6.408	1.219	16.214	1.399
				0.713		0.743		0.978
合并	1.634	6.932	5.544	1.188	6.376	1.214	16.204	1.397
				0.706		0.736		0.976

表2 几种炸药的圆筒试验结果

炸药	ρ_0 g/cm ³	D mm/ μ s	R - R ₀ = 5 mm		R - R ₀ = 6 mm		R - R ₀ = 19mm		作者
			u mm/ μ s	$\frac{1}{2}u^2$ kJ/g	u mm/ μ s	$\frac{1}{2}u^2$ kJ/g	u mm/ μ s	$\frac{1}{2}u^2$ kJ/g	
PBX-9404	1.852	8.847	1.575	1.240	1.605	1.287	1.795	1.612	本 工 作
PB-RDX	1.754	8.590	1.495	1.117	1.523	1.159	1.720	1.480	
TNT/RDX (40/60)	1.705	7.860	1.396	0.974	1.423	1.012	1.626	1.321	文 献
TNT	1.634	6.932	1.187	0.705	1.213	0.736	1.396	0.975	
PBX-9404	1.841	8.80	1.57	1.23	1.60	1.28	1.80	1.62	(2)
Comp B(36/64)	1.717	7.99	1.40	0.99	1.43	1.03	1.63	1.33	
TNT	1.630	6.94	1.18	0.70			1.40	0.98	
TNT	1.630	6.94					1.212	0.735	0.975

表3 园筒壁比动能之比的实测值和计算值

作者	炸药	ρ_0 g/cm ³	比动能实测值		$E^{1^{\circ}}/E^{\circ}$		偏差
			E° kJ/g	$E^{1^{\circ}}$ kJ/g	实测	计算	
本 工 作	PBX-9404	1.852	1.287	1.612	1.253	1.252	0.001
	PB-RDX	1.754	1.159	1.480	1.277	1.286	-0.009
	TNT/RDX (40/60)	1.705	1.012	1.321	1.305	1.303	0.002
	TNT	1.634	0.736	0.974	1.323	1.328	-0.005
文 献 (6)	PBX-9404	1.843	1.295	1.620	1.251	1.256	-0.005
	Comp B (36/64)	1.717	1.035	1.330	1.285	1.299	-0.014
	TNT	1.630	0.735	0.975	1.327	1.330	-0.003

参 考 文 献

1. E.L.Lee et al., UCRL-50422 (1968)
2. J.W.Kury et al., 4th Sym. (Int.) on Detonation (1965)
3. N.E.Hoskin et al., 4th Sym. (Int.) on Detonation (1965)
4. Gert Bjarnholt, 6th Sym. (Int.) on Detonation (1976)
5. W.E.Deal, J.Appl.Phys. 28, No.7 (1957)
6. Brigitta M.Dobratz, UCRL-51319 (1974)
7. W.C.Davis, LA-6677-MS

RESEARCH ON CYLINDER TEST

Xia Shui—Gen, Hua Ping—Huan

This paper describes the cylinder test with T2Y copper pipe in which the initiation method background light source are simplified. To compare with the standard cylinder test used widely, the experimental values of four typical high explosives are given. The test results show that the device and the conditions used in the experiments are reasonable, and the data obtained are reliable.