

几种炸药对金属的加速能力

黄友梅 范时俊 金增寿

张银亮 薛彭寿 禹仲祥

(1981年12月25日收到)

本文介绍了TN、Comp B、PETN、1015、HMX、1005、882和2015炸药的园筒试验数据，并比较了它们对金属的加速能力

加速金属是炸药的主要用途之一。本文利用金属园筒的膨胀试验比较了几种炸药对金属的加速能力。此外，还可以用金属园筒膨胀试验来选择含有添加剂的混合炸药最佳配方，以便最有效地利用炸药对金属的加速能力。利用金属园筒的膨胀过程，可以得到爆炸产物的状态方程，这对理论及工程计算是很有用途的。

一、实 验

1. 园筒试验的参数^[1]：铜园筒内径 25.02—25.12mm、外径 30.24—30.27mm，园筒壁厚约2.6mm，园筒长约305mm，园筒内装填直径约25mm的受试炸药。装药在一端引爆，在距引爆端约200mm处用转镜扫描照相机记录园筒外壁半径R随时间t的运动轨迹。

将 $t=t(R)$ 数据对冲击波光折射进行修正后，用下述公式拟合^[2](适用于 $R-R_0 \geq 5mm$)：

$$t = A + B(R - R_0) + C \cdot (R - R_0)^D \quad (1)$$

式中A、B、C和D为与炸药有关的常数，受试炸药的各常数值列于表1中（R——园筒的运动外壁半径(cm)； R_0 ——未爆炸前园筒的原始外壁半径(cm)；t——时间(μs)）。

表1 (1) 式中各种炸药的参数值

炸 药	TNT	Comp B	PETN	HMX	1015	1005	882	2015
A	2.32026	1.92251	1.77799	1.28464	3.43498	1.69554	4.15487	4.23169
B	7.22452	6.12163	5.59614	5.43417	5.14568	5.54441	4.73382	4.90041
C	-1.88838	-0.798065	-1.33666	-1.33470	-3.12784	-1.41710	-3.53983	-3.50452
D	-2.1250	-1.55757	-2.46553	-2.28962	-0.84404	-2.43093	-0.627791	-0.56499

2. 爆炸材料参数列于表 2 中。

表 2 受试炸药的组成和参数

炸 药	组 成	ρ_0 g/cm ³	$Q_{0,0}$ (汽) Kcal/kg	装 填 系 数
TNT	100%	1.620	9 8 7	0.3946
PETN	100%	1.758	1 3 7 2	0.4308
Comp B	TNT / RDX = 36/64	1.711	1 1 5 0	0.4193
HMX	HMX / B = 99.5/ 0.5	1.847	1 3 4 6	0.4572
1005	HMX / 添加物 = 95/ 5	1.834	1 2 6 1	0.4519
1015	HMX / F = 85/ 15	1.853	1 2 5 1	0.4501
882	882/ B = 99.5/ 0.5	1.836	1 3 2 8	0.4407
2015	882/ 添加物 = 96.5/ 3.5	1.818	1 3 0 0	0.4473

二、数 据 处 理

从式 (1) 可得园筒外壁的运动速度 V 和加速度 a :

$$V = [B + CD e^{D(R-R_0)}]^{-1} \quad (2)$$

$$a = -CD^2 V^3 e^{D(R-R_0)} \quad (3)$$

根据(3), 可写出能量平衡方程为

$$mQ = E_{\text{冲}} + E_{\text{动}} + E_{\text{位}} + E_{\text{变}} + \frac{1}{2}MV^2 \quad (4)$$

式中 M ——金属园筒的质量; m ——炸药质量; V ——园筒壁的最大运动速度; Q ——产物中水为汽态时的爆热; $E_{\text{冲}}$ ——以冲击波形式传给空气的能量; $E_{\text{动}}$ ——爆炸产物的动能; $E_{\text{位}}$ ——爆炸产物的内能; $E_{\text{变}}$ ——消耗于园筒的塑性应变能。

我们感兴趣的是爆炸转化能 mQ 中提供给加速园筒壁的能量 $MV^2/2$, 这两者之比

$$\frac{MV^2}{2mQ} = \frac{V^2}{2\alpha Q} \quad (5)$$

可作为能量利用率的指标。式中 α 叫装填比:

$$\alpha = \frac{\text{单位长度炸药质量}}{\text{单位长度园筒质量}}$$

表 3 列出了各种炸药的 $(R - R_0)$ 、 t 、 V 和 a 值。将表 3 数据作成曲线图。图 1 和图 2

表3 实验测得到的(R-R₀), t和v、a值

炸药	TNT			comp B			PETN			HMX			1015			1005			882			2015		
	t μs	D mm/μs	a mm/μs ²	t μs	D mm/μs	a mm/μs ²	t μs	D mm/μs	a mm/μs ²	t μs	D mm/μs	a mm/μs ²	t μs	D mm/μs	a mm/μs ²	t μs	D mm/μs	a mm/μs ²	t μs	D mm/μs	a mm/μs ²	t μs	D mm/μs	a mm/μs ²
0.5	5.189	1.162	4.658	4.618	1.494	2.963	4.186	1.525	3.613	1.562	8.487	3.908	1.471	4.047	1.523	8.774	3.936	1.573	3.967	4.040	1.564	3.226		
0.6	6.121	1.189	4.131	5.582	1.513	2.634	4.831	1.576	4.154	1.612	7.420	4.518	1.500	4.693	1.576	7.624	4.566	1.598	3.906	4.675	1.584	3.168		
0.7	6.970	1.230	3.600	5.940	1.529	2.326	5.458	1.618	4.872	1.654	6.375	5.242	1.527	5.318	1.620	6.493	5.188	1.622	3.836	5.302	1.604	3.108		
0.8	7.748	1.252	3.064	6.590	1.544	2.050	6.069	1.652	5.477	1.689	5.399	5.981	1.554	5.928	1.656	5.439	5.800	1.645	3.758	5.922	1.623	3.043		
0.9	8.538	1.280	2.643	7.236	1.556	1.785	6.669	1.680	6.071	1.718	4.519	6.528	1.579	6.526	1.696	4.582	6.403	1.668	3.680	6.534	1.642	2.978		
0.0	9.314	1.298	2.225	7.786	1.566	1.566	7.260	1.702	6.656	1.732	3.683	7.158	1.602	7.115	1.710	3.683	6.998	1.689	3.588	7.140	1.660	2.908		
1.1	10.080	1.314	1.863	8.513	1.576	1.366	7.845	1.720	7.233	1.761	3.709	7.778	1.625	7.697	1.732	3.001	7.588	1.710	3.497	7.740	1.677	2.834		
1.2	10.838	1.327	1.549	9.146	1.584	1.187	8.424	1.734	7.806	1.777	2.516	8.358	1.646	8.272	1.745	2.407	8.168	1.730	3.401	8.333	1.693	2.758		
1.3	11.638	1.338	1.281	9.776	1.592	1.031	8.999	1.746	8.372	1.790	2.045	8.893	1.666	8.843	1.757	1.927	8.744	1.749	3.300	8.921	1.709	2.679		
1.4	12.334	1.346	1.053	10.403	1.597	0.891	9.586	1.754	8.935	1.800	1.654	9.590	1.684	9.410	1.767	1.537	9.312	1.768	3.202	9.503	1.725	2.603		
1.5	13.076	1.353	0.863	11.028	1.602	0.770	10.138	1.761	9.541	1.808	1.333	10.180	1.702	9.975	1.775	1.222	9.875	1.786	3.097	10.081	1.739	2.521		
1.6	13.814	1.360	0.708	11.652	1.607	0.665	10.706	1.767	10.055	1.814	1.071	10.766	1.718	10.538	1.781	0.968	10.433	1.802	2.990	10.653	1.754	2.445		
1.7	14.548	1.364	0.576	12.273	1.610	0.572	11.271	1.772	10.611	1.820	0.861	11.345	1.734	11.098	1.786	0.765	10.985	1.818	2.888	11.221	1.767	3.362		
1.8	15.281	1.368	0.469	12.894	1.614	0.493	11.836	1.774	11.167	1.824	0.689	11.920	1.748	11.658	1.790	0.604	11.532	1.834	2.780	11.785	1.780	2.282		
1.9	16.011	1.371	0.381	13.512	1.617	0.424	12.397	1.778	11.722	1.828	0.551	12.490	1.760	12.216	1.793	0.476	12.075	1.849	2.675	12.345	1.793	2.204		
2.0	16.740	1.374	0.310	14.130	1.619	0.364	12.961	1.780	12.274	1.830	0.440	13.056	1.774	12.773	1.795	0.375	12.614	1.863	2.570	12.900	1.805	2.125		
2.1	17.466	1.376	0.251	14.748	1.621	0.313	13.522	1.781	12.859	1.832	0.351	13.618	1.765	13.332	1.797	0.295	13.148	1.877	2.468	13.453	1.816	2.045		
2.2	18.193	1.378	0.204	15.366	1.623	0.269	14.084	1.785	13.376	1.834	0.280	14.176	1.786	13.866	1.798	0.232	13.680	1.890	2.367	14.002	1.828	1.972		
2.3	18.921	1.379	0.165	15.980	1.624	0.231	14.644	1.788	13.930	1.835	0.223	14.732	1.806	14.442	1.799	0.182	14.207	1.902	2.265	14.547	1.838	1.894		
2.4	19.647	1.380	0.133	16.596	1.626	0.198	15.206	1.784	14.479	1.836	0.178	15.284	1.816	14.998	1.800	0.143	14.732	1.913	2.165	15.090	1.844	1.808		
2.5	20.376	1.382	0.109	17.210	1.627	0.170		15.031	1.837	0.142	15.834	1.824	15.553	1.801	0.112	15.253	1.924	2.068	15.629	1.858	1.747			

画出了 $V = V(R - R_0)$, $V = V(t)$ 的曲线; 图3画出了 $a = a(R - R_0)$ 的曲线。

表4列出了 $R - R_0 = 5.19mm$ 处园筒壁的相对动能及与文献[3]的比较; 图4画出了以TNT为能量基准的其他炸药的相对能量曲线。

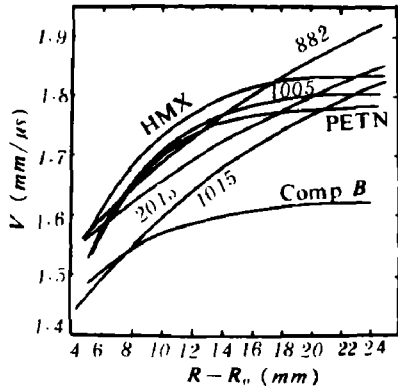


图1 $V = V(R - R_0)$ 曲线

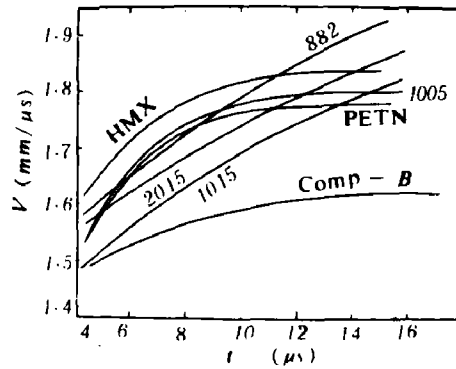


图2 $V = V(t)$ 曲线

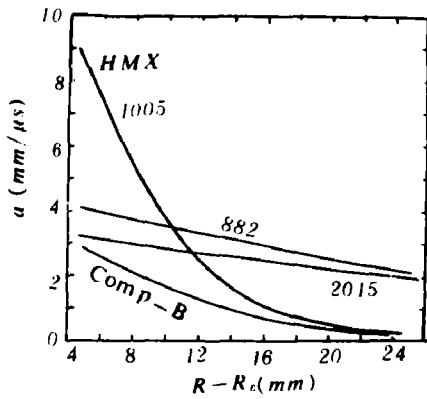


图3 $a = a(R - R_0)$ 曲线

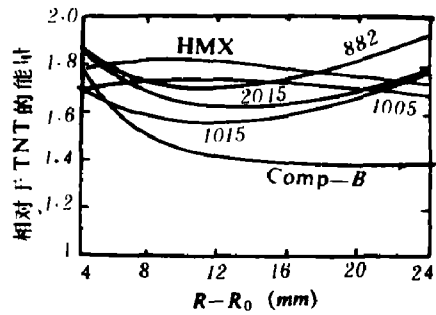


图4 各种炸药相对于TNT的能量

表4 在 $R - R_0 = 5, 19mm$ 处的相对外壳动能及与文献比较

炸 药	$V_{5mm}/\mu s$	$V_{19mm}/\mu s$	$(V/V_{TNT})_5^2$	$(V/V_{TNT})_{19}^2$	$(V_5/V_{19})^2$	$\frac{MV_5^2}{2mQ}$	$(\frac{MV_5^2}{2mQ}) \cdot$
TNT	1.162	1.371	1	1	0.72	0.58	0.58
Comp B	1.494	1.617	1.653	1.391	0.85	0.65	0.63
PETN	1.525	1.778	1.722	1.682	0.74	0.64	0.65
HMX	1.562	1.828	1.807	1.778	0.73	0.65	0.63
1015	1.471	1.760	1.602	1.648	0.70	0.66	0.68
1005	1.523	1.793	1.718	1.710	0.72	0.67	
882	1.573	1.849	1.832	1.819	0.72	0.70	
2015	1.564	1.793	1.812	1.710	0.87	0.66	

* 数据取自文献〔3〕

三、结果与讨论

1. 由 $V = V(R - R_0)$ 图可看出：在 $R - R_0 = 5mm$ 处园筒壁已获得了速度的大部分。如 $R - R_0 = 25mm$ 处的速度为 100%，则受试炸药在 $R - R_0 = 5mm$ 处已获得了速度的 84—93%。

从图还可以比较由各种炸药所驱动的园筒速度的大小。如在 $R - R_0 = 19mm$ 处，其速度的排列顺序为 882 > HMX > 1005 = 2015 > 1015 > Comp B > TNT。对于速度曲线有交叉的情况也可以分空间（或时间）区间来比较速度的大小。如将 882 和 HMX 进行比较就很有趣：在 $R - R_0 < 17mm$ 时，HMX 的园筒速度大于 882 的，但在 $R - R_0 > 17mm$ 时，情况就相反了，882 有较高的壁速。这一现象对于弹药设计充分利用爆炸能量是有意义的。同时也说明：为了评定一种炸药能量，不能固定在某一膨胀体积下来比较，而要视其使用目的，以便最有效地利用金属——炸药体系之间的耦合能量，可以期望，在大膨胀时，882 将比 HMX 要好。

其次，比较 1005 和 1015 的壁速曲线可以发现：主体药中加入惰性添加剂后，整个速度曲线都在主体药曲线之下，并且形状很相似。如 HMX 和 1005，882 和 2015；但当加入活性添加剂后（如 1015 中的氟橡胶）可以改变能量的释放速率，特别是在膨胀后期更加明显。在爆轰量热计中测定爆热时也曾发现，不管在炸药分子结构中还是在混合炸药的添加剂中含有一定量的氟元素后，其爆热都有一定程度的增加。现在又从园筒试验证实这种影响是在膨胀后期才起作用的。

2. 从加速度 $a = a(R - R_0)$ 图可见：HMX、TNT、Comp B 等炸药的园筒壁加速度减小很快，其速度很快就达到稳定值，在 $R - R_0 = 25mm$ 时其加速度只有 $0.1 - 0.2mm/\mu s^2$ ；而 882 及其混合炸药 2015，加速度的减小很慢，其速度在 $R - R_0 = 25mm$ 处还有明显增加的趋势。

园筒壁的运动是由于爆炸反应的化学能的释放或爆炸产物与园筒外的介质间有压力差所造成的。因此，根据牛顿第二定律，只要能量的释放未终止，或压力差还存在，就有加速度存在，并且它与作用在园筒壁上的压力变化是一致的。同时加速度变化的快慢也反映了爆炸能量释放的快

慢和能量传递过程的快慢。

3. 从表4可见: 在 $R - R_0 = 19m$ 处受试炸药提供给圆筒壁的相对动能 $\frac{MV^2}{2mQ}$ 都在58—70%的范围内, 而剩余的42—30%的能量主要消耗在爆炸产物的动能和位能上, 这与文献值^[3]是相符的。

在 $R - R_0 = 5m$ 处, 圆筒壁已获得了 $R - R_0 = 25m$ 处能量的 (70—87)%。

在 $R - R_0 = 19m$ 处, 882 炸药比目前公认最强的 HMX 炸药传给圆筒壁的动能要大, 分别为 TNT 的 1.819 和 1.778 倍

参 考 文 献

- [1] 禹仲祥、金增寿等 “炸药的圆筒试验” 待发表
 [2] Lee, E. L., Horing, H. C., Kury, J. W., U C R L - 50422, (1968)
 [3] Баум, Ф. А., и др. “Физика Взрывов”, Москва (1975)

METAL ACCELERATING ABILITY OF SEVERAL EXPLOSIVES

Huang Youmei Fan Shijun Jin Zengshou
 Zhang Yinliang Xue Pengshou Yu Zhongxiang

Abstract

In this paper, cylinder test data of explosives TNT, Comp B, PETN, 1015, HMX, 1005, 882 and 2015 are given, and their metal accelerating abilities are compared.