

钝感高能炸药 JB-9001 冲击 Hugoniot 关系测试

于川 池家春 刘文翰 李良忠 杨淑英

(中国工程物理研究院流体物理研究所)

摘要 本文利用“压力对比法”实验技术,通过锰铜压力计测试待测炸药样品和 LY12 铝样品在 LY12 铝飞片的同时撞击下的界面压力 p_{exp} 和 p_{Al} ,由冲击波关系式和正交回归直线拟合分析,确定了钝感高能炸药 JB-9001 的冲击 Hugoniot 关系。

关键词 冲击 Hugoniot 关系 压力对比法

1 引言

炸药的冲击 Hugoniot 关系,是炸药的基本性能参数,是研究炸药冲击引爆和确定化学反应速率函数,以及进行爆轰数值模拟不可缺少的数据。在一定条件下,其形式可为直线关系式:

$$u_s = C_0 + \lambda u_p \quad (1)$$

式中: u_s 为炸药中冲击波速度; u_p 为炸药中冲击波波阵面后的质点速度; C_0 和 λ 为炸药冲击 Hugoniot 关系的待定系数。

本文采用“压力对比法”,测试并确定了以 TATB 为基的塑料粘结炸药 JB-9001 的冲击 Hugoniot 关系。

2 实验装置与测试技术

“压力对比法”实验装置如图 1 所示。

该实验装置中,待测炸药样品和 LY12 铝样品对称放置于有机玻璃板的圆孔内,在样品的上表面和粘贴于固定板上表面厚度为 1mm 的 LY12 铝盖板之间安装 F4/203A 型锰铜压力计,每一个压力计与配置的一台脉冲恒流源和一台 7844 示波器相联接。

实验时,由雷管、传爆药柱、平面波透镜和主炸药柱构成的爆轰加载系统经过衰减层驱动紧贴于衰减层下表面的 $\varnothing 160\text{mm} \times 3\text{mm}$ 的 LY12 铝飞片。

飞片在飞行过程中,首先将安装在有机玻璃固定板上并与同步机相联的一对触发探针导通,向同步机输入触发信号。同步机即刻同步触发各个恒流源向压力计输出恒定电流,同时恒流源向示波器输出触发信号。

经过 10mm 的空腔飞行,飞片撞击 LY12 铝盖板。当冲击波到达压力计所在的界面

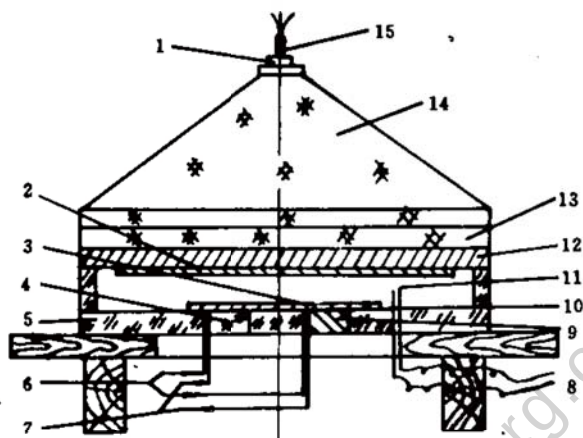


图 1 “压力对比法”实验装置示意图

- 1——传爆药柱, 2——LY12 铝飞片, 3——LY12 铝盖板, 4——JB-9001 样品, 5——固定板,
6——接恒流源, 7——接示波器, 8——接同步机, 9——LY12 铝样品, 10——锰铜压力计,
11——触发探针, 12——衰减层, 13——主炸药柱, 14——平面波透镜, 15——雷管。

Fig. 1 Scheme of experimental arrangement of pressure comparing method

- 1——Booster, 2——LY12 aluminum flyer, 3——LY12 aluminum plate, 4——JB-9001 sample,
5——Fixing plate, 6——Joint for constant-current source, 7——Joint for oscillograph,
8——Joint for synchronous trigger, 9——LY12 aluminum sample, 10——Manganin stress gauges,
11——Pins, 12——Attenuating plate, 13——Donor charge,
14——Plane wave generator, 15——Detonator.

时,将在示波器上得到压力计的压阻讯号。典型的压阻讯号如图 2 所示。

由图 2 所示的实验照片测出对应于作用点处的 $\Delta V/V_0$, 即为压力计活性区电阻的相对变化 $\Delta R/R_0$ 。由标定得到的 F4/203A 型锰铜压力计的压阻关系^[1]:

$$p = 0.61 + 30.86(\Delta R/R_0) + 21.16(\Delta R/R_0)^2 - 6.61(\Delta R/R_0)^3 \quad (\text{GPa}) \quad (2)$$

即可求得界面压力。

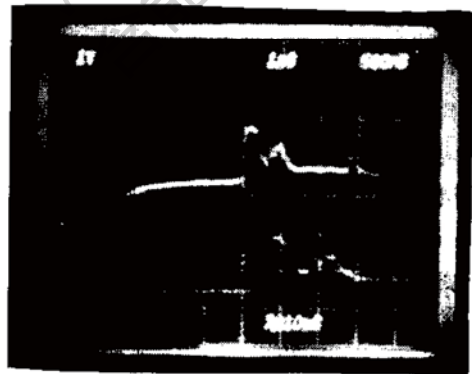


图 2 7844 示波器压阻讯号

Fig. 2 7844 oscillogram

3 实验结果与分析

由(2)式,我们可以求得在 LY12 铝飞片的同时撞击下,LY12 铝样品和待测炸药样品

的界面压力 p_{Al} 和 p_{exp} , 炸药的质点速度 u_p 可通过这两个压力的对比关系确定。

由于 LY12 铝的冲击 Hugoniot 关系是已知的, 由实验测得的 LY12 铝样品界面的压力 p_{Al} , 可以在图 3 所示的 Hugoniot 关系图上确定出一条 LY12 铝飞片的反射冲击 Hugoniot 关系曲线。由撞击界面的连续性条件可知, LY12 铝飞片的该条反射冲击 Hugoniot 关系曲线将在其上的对应于 p_{exp} 的点与待测炸药的冲击 Hugoniot 关系曲线相交, 交点的横座标值, 即是炸药的质点速度 u_p 。

u_p 也可通过简单的关系求得。LY12 铝的冲击 Hugoniot 关系为:

$$p_1 = \rho_{01}(C_{01} + \lambda_1 u_{p1})u_{p1} \quad (3)$$

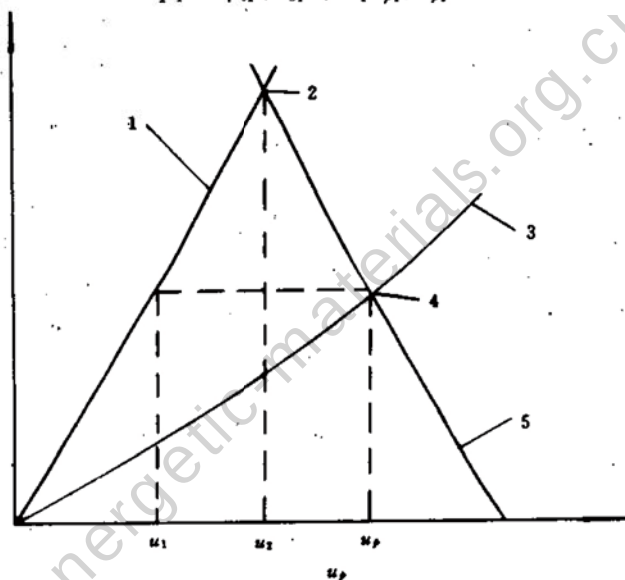


图 3 “压力对比法”确定 Hugoniot 参数示意图

1——LY12 铝冲击 Hugoniot 曲线; 2—— p_{Al} (测量); 3——待测炸药冲击 Hugoniot 曲线;
4—— p_{exp} (测量); 5——LY 铝飞片反射冲击 Hugoniot 曲线。

Fig. 3 The scheme of pressure comparing method determining Hugoniot parameters

1——Shock Hugoniot of LY12 aluminum, 2—— p_{Al} (measured),
3——Shock Hugoniot of explosive test sample, 4—— p_{exp} (measured),
5——Shock Hugoniot of LY12 aluminum flyer.

由图 3 可见:

$$p_{exp} = \rho_{01}(C_{01} + \lambda_1 u_1)u_1 \quad (4)$$

$$p_{Al} = \rho_{01}(C_{01} + \lambda_1 u_2)u_2 \quad (5)$$

$$u_p = 2u_2 - u_1 \quad (6)$$

解(4)、(5)、(6)式, 即得到 u_p 的计算式:

$$u_p = \frac{2\sqrt{C_{01}^2\rho_{01}^2 + 4\lambda_1\rho_{01}p_{Al}} - \sqrt{C_{01}^2\rho_{01}^2 + 4\lambda_1\rho_{01}p_{exp}} - C_{01}\rho_{01}}{2\lambda_1\rho_{01}} \quad (7)$$

对 LY12 铝^[2]: $\rho_{01} = 2.785\text{g/cm}^3$; $C_{01} = 5.328\text{km/s}$; $\lambda_1 = 1.338$ 。

炸药中冲击波速度 u_s 可由动量关系式:

$$p_{\text{exp}} = \rho_0 u_p u_s \quad (8)$$

确定。由一对 u_p, u_s 数据, 即可确定出待测炸药冲击 Hugoniot 关系的一个状态点。

通过改变主炸药和衰减层的材料和厚度, 使飞片获得不同的飞行速度, 可以得到不同的界面压力 p_{A} 和 p_{exp} , 相应得到不同的 u_p, u_s 数据对, 从而可得到待测炸药冲击 Hugoniot 关系上的一系列状态点。

表 1 为 JB-9001 炸药冲击 Hugoniot 关系测试的实验参数和结果数据。表中的质点速度 u_p 和冲击波速度 u_s , 分别由 (7) 式和 (8) 式计算得到。

对 u_s, u_p 数据进行正交回归直线拟合^[3], 即可得到待测炸药 JB-9001 的冲击 Hugoniot 关系:

$$u_s = (2.79 \pm 0.22) + (1.42 \pm 0.20)u_p, \quad (0.40 \text{ km/s} < u_p < 1.51 \text{ km/s}) \quad (9)$$

图 4 和图 5 分别为 JB-9001 炸药的冲击 Hugoniot 关系 $u_s \sim u_p$ 图和 $p \sim u_p$ 图, 图中的“.”为实验数据点。

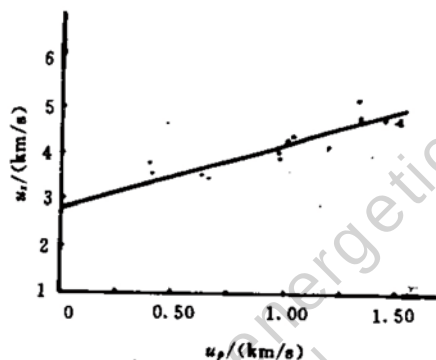


图 4 JB-9001 炸药冲击 Hugoniot 关系 $u_s \sim u_p$ 图

Fig. 4 The $u_s \sim u_p$ relation of JB-9001

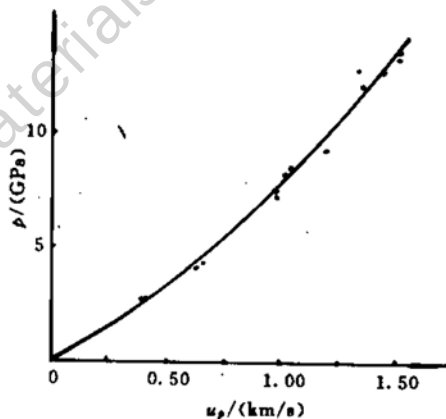


图 5 JB-9001 炸药冲击 Hugoniot 关系 $p \sim u_p$ 图

Fig. 5 The $p \sim u_p$ relation of JB-9001

由图可见, JB-9001 炸药的 u_s, u_p 实验测试数据采用正交回归直线关系式拟合是比较适当的, 拟合得到的炸药冲击 Hugoniot 关系 C_0 和 λ 参数的均方根差不超过 0.22, 分散度较小。

由“压力对比法”测试炸药的冲击 Hugoniot 关系, 实验装置设计及数据处理过程比较简单, 确定的参数具有较高的准确性, 是一种比较可靠的实验测试方法。本文采用的 F4/203A 型锰铜压力计, 经标定, 其测压误差小于 5%, 随着压力计制作技术和实验装置安装技术的提高, 该方法将会更加完善起来。

致谢: 参加本实验的还有王广军、王翠莲、唐斌等, 王圣平对本文的研究工作提出过指导意见, 在此一并致谢。

表 1 JB-9001 炸药冲击 Hugoniot 关系测试的实验结果
Table 1 The experimental results of shock Hugoniot determination of JB-9001

实验号	主炸药柱、衰减层 厚度与材料/(mm)	LY12 铝-LY12 铝界面压力 $\Delta R/R_0$	LY12 铝-JB-9001 界面压力 $p_{\text{AL}}/(\text{GPa})$	LY12 铝-JB-9001 界面压力 $\Delta R/R_0$	JB-9001 炸药中初始冲击波参量 $p_{\text{exp}}/(\text{GPa})$	JB-9001 炸药中初始冲击波参量 $\rho_0/(\text{g}/\text{cm}^3)$	JB-9001 炸药中初始冲击波参量 $u_r/(\text{km}/\text{s})$	JB-9001 炸药中初始冲击波参量 $u_i/(\text{km}/\text{s})$
5	20(JO-9159)+10Cu	8.71/16.52	21.78	6.60/18.97	13.63	1.8731	1.51	4.81
1	20(JO-9159)+10Cu	8.50/16.22	21.64	7.51/21.92	13.42	1.8737	1.51	4.74
16	30RHT-902+10Cu	8.15/15.67	21.45	6.85/20.08	13.33	1.8831	1.50	4.73
10	15(JOB-9003)+10Cu	10.90/21.76	20.55	7.75/23.41	12.90	1.8729	1.44	4.78
17	30RHT-902+15Cu	8.40/17.70	19.33	6.33/19.04	12.95	1.8756	1.33	5.18
2	20RHT-902+10Cu	5.92/12.67	18.96	4.77/15.30	12.10	1.8694	1.34	4.82
19	10RHT-902+10Cu	6.15/15.49	15.78	4.61/18.88	9.30	1.8737	1.19	4.16
15	15TNT+10Cu	5.29/15.26	13.59	4.04/18.09	8.47	1.8718	1.03	4.40
18	25RTBa-904+10Cu	5.31/15.77	13.16	4.62/21.61	8.12	1.8746	1.01	4.30
20	10Cu	4.89/15.26	12.44	3.54/18.20	7.38	1.8732	0.97	4.04
14	20(JO-9159)+10Air+10Cu	4.62/14.51	12.35	3.79/19.85	7.23	1.8737	0.97	3.96
13	10Air+10Cu	4.35/21.22	7.77	3.02/26.82	4.36	1.8874	0.66	3.49
7	40JH-9006+15Cu	3.17/16.06	7.46	2.06/18.77	4.25	1.8763	0.63	3.57
6	30JH-9006+10Air+15Cu	1.74/14.23	4.68	1.33/19.96	2.77	1.8740	0.41	3.62
12	40JH-9006+20Air+15Cu	2.62/21.78	4.61	1.25/18.11	2.84	1.8728	0.40	3.83

参 考 文 献

- 1 池家春. F4/203A 型锰铜压力计对撞击载荷的响应 (私人通信). 1982.
- 2 池家春. 未反应炸药雨贡曲线测量的初步设想 (私人通信). 1980.
- 3 刘智敏. 误差与数据处理. 北京: 原子能出版社, 1981.

DETERMINATION OF SHOCK HUGONIOT OF INSENSITIVE HIGH EXPLOSIVE JB-9001

Yu Chuan Chi Jiachun Liu Wenhan Li Liangzhong Yang Shuying

(Southwest Institute of Fluid Physics, CAEP)

ABSTRACT Using the pressure comparing method to measure the pressure p_{exp} and p_{Al} with manganin stress gauges on the surface of JB-9001 and LY12 aluminum samples impacted simultaneously by a LY12 aluminum flyer, we obtained the shock Hugoniot of insensitive high explosive JB-9001.

KEY WORDS shock Hugoniot, pressure comparing method.