

多相爆轰试验管结构设计及试验验证*

刘光烈

(南京理工大学化工学院, 南京 210094)

摘要 介绍了自行设计的多相爆轰试验管的结构及其作用原理。试验证实, 该试验管不仅能进行两相爆轰试验(气、液), 而且还可进行三相爆轰试验(气、液、固); 以环氧丙烷(PO)和环氧丙烷加铝粉为燃料在多相爆轰管的试验结果与野外试验结果相近。多相爆轰管试验对野外试验具有指导意义, 可减少野外试验次数, 并缩短试验周期。

关键词 燃料空气炸药 环氧丙烷(PO) 铝粉 爆轰试验

1 引言

在燃料空气炸药研究中, 为选择有使用价值的燃料, 常采用野外静爆方式进行。这一方式不仅耗时费力, 而且试验费用较高。如果将试验移入室内进行, 必要时再做验证性的野外试验, 不仅省时省力, 而且费用较低。

移入室内试验的关键是, 必须有一台能进行多相(两相或三相)爆轰的试验管。参考有关文献^[1,2]设计了一台多相爆轰试验管, 该管不仅能进行气、液两相而且也能进行气、液、固三相爆轰试验, 并取得了较满意的试验结果。

2 多相试验管的设计

2.1 设计要求

- a. 试验管呈水平状态放置;
- b. 在空气冲击波及高速气流作用下, 液态燃料在管内能较好地破碎、雾化; 对液、固相混合燃料, 其固相部分在抛射后能较均匀地分散。

2.2 试验管的结构及作用原理

如图1所示, 多相试验管由高压仓、膜片、燃料盒、加速仓、起爆仓等构成, 其中加速仓采用收敛-扩张管结构^[3,4]。当破膜器击穿膜片时, 高压仓气体急剧向右膨胀并在破膜仓形成一个向右传播的空气冲击波, 在冲击波及高速气流的共同作用下, 燃料盒被击碎, 其中燃料被破碎, 并经喷管加速后进一步雾化。经若干延时(毫秒级)后被引爆, 通过光测及电测对其爆炸效应进行测试。

为使燃料空气炸药能达到稳定爆轰, 试验管长度应长于4m。

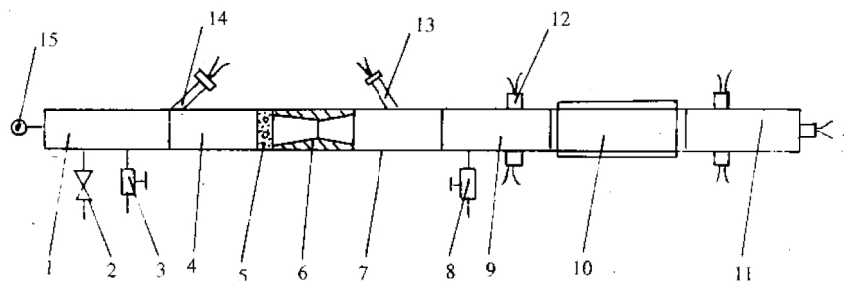


图 1 多相爆轰管示意图

- 1——高压仓；2——进气阀；3——放气阀；4——破膜仓；5——燃料仓；6——加速仓；7——起爆仓；
8——安全阀；9——电测仓；10——光测仓；11——电测仓；12——传感器；
13——起爆器；14——破膜器；15——压力表。

Fig. 1 Diagram of horizontal multiphase detonation tube

- 1——High-pressure chamber, 2——Inlet valve, 3——Air bleeder, 4——Film-split chamber, 5——Fuel chamber,
6——Speed up chamber, 7——Detonating chamber, 8——Safety valve, 9——Electric-metering chamber,
10——Optical-metering chamber, 11——Electric-metering chamber, 12——Sensor,
13——Initiator, 14——Film-split device, 15——Pressure gauge.

3 试验验证

3.1 管内试验

管内试验分三种情况进行,一种是以 PO 为燃料,另一种是以 PO + Al 为燃料,再一种是空白试验(即管内不装燃料)。试验结果如下:

a. PO 在延时 20 ~ 120ms 范围内均能实现多相爆轰,而延时在 80 ~ 120ms 范围内爆轰效果较佳,其爆轰压在 3MPa 左右,这可能是因为延时较长,PO 碎裂、雾化更充分,与空气混合更均匀的缘故。表 1 列出了延时为 80ms 时的试验结果。

表 1 环氧丙烷的爆轰试验结果

Table 1 Detonation experimental results of PO

组别	试 验 条 件		测 试 结 果 ¹⁾	
	燃料空气炸药中 PO 的体积分数 φ	PO 用量	爆轰压力 p	正压作用时间 t
	(%)	(ml)	(MPa)	(ms)
1	7.00	9.20	2.40	24.2
2	8.00	10.60	3.17	28.8
3	9.00	12.00	3.34	30.7

注: 1) 五次试验结果的平均值,表 2 同。

b. PO + Al 在延时 40 ~ 100ms 范围内均能实现多相爆轰,而延时在 40 ~ 70ms 范围内爆轰效果较佳,其爆轰压在 4MPa 左右;延时 80 ~ 100ms 范围内虽能实现多相爆轰,但爆轰效果欠佳,这可能是因为延时长,铝粉出现沉降的缘故。表 2 列出了延时为 40ms 时的试验结果。

c. 做空白试验时取延时为 20ms, 实测超压在 0.9MPa 左右。

表 2 环氧丙烷与铝粉混合燃料的爆轰试验结果

Table 2 Detonation experimental results of PO + Al

组别	试验条件			测试结果	
	PO 用量 (ml)	铝粉用量 (g)	混合燃料中 Al 质量分数 w (%)	爆轰压力 p (MPa)	正压作用时间 t (ms)
1	10.60	1.55	14	3.45	29.9
2	10.00	2.08	20	4.03	30.9
3	9.70	2.70	25	4.60	32.0

3.2 野外试验

3.2.1 试验条件

- 当燃料采用 PO 时, 延时取 120ms; 当燃料采用 PO + Al (铝粉的质量分数为 20%) 时, 延时取 100ms;
- 燃料装填量为 15kg;
- 测试方法和所用仪器与管内试验相同, 高速摄影机拍摄幅频 1100 幅/s。

3.2.2 试验结果

- 液态燃料的扩散速度在 260m/s 左右; 液、固相混合燃料的扩散速度在 320m/s 左右;
- 以 PO 和 PO + Al 为燃料的试验结果如表 3 所示。

表 3 野外静爆试验

Table 3 Field stationary blast test

序号	PO		PO + Al	
	云雾区内最高超压 p (MPa)	正压作用时间 t (ms)	云雾区内最高超压 p (MPa)	正压作用时间 t (ms)
1	2.92	25.5	3.87	30.2
2	3.00	27.0	4.05	29.3
3	2.86	26.3	3.95	30.7
4	3.04	28.4	4.00	28.9
5	2.98	25.9	3.91	29.6
平均值	2.96	26.6	3.96	29.7

4 试验结果与讨论

4.1 以 PO 为燃料的野外试验, 经计算, 爆轰前的云团体积百分浓度约为 8.3%, 与表 1 第二组数据相近; 以 PO + Al 为燃料的野外试验, 结果与表 2 第二组数据相同。

4.2 由表 1 和表 2 的第二组数据可以看出, 以 PO + Al 为燃料的管内试验, 其爆轰压力比 PO 高 0.86MPa, 正压作用时间长 2.1ms; 表 3 数据也类似, 以 PO + Al 为燃料的野外静爆试验, 其爆轰压力比 PO 高 1.00MPa, 正压作用时间长 3.1ms, 所以管内与野外试验结果一致。

4.3 多相爆轰管达到了预定设计要求, 可用于燃料空气炸药的选择及室内多相爆轰研

究,虽然不能取代野外试验,也难以模拟和测量燃料空气炸药所引起的空气冲击波超压,但仍不失为一种省时、省力,并为野外试验提供参考依据的手段。

参 考 文 献

- 1 Dabova E K. The Review of Scientific Instruments. 1967,38(4)
- 2 Strauss W A. Investigation of the Detonation of Aluminium Powder Oxygen Mixtures. AIAA. 1968(6): 1753
- 3 蔡祖恢. 工程热力学. 北京:高等教育出版社,1994.
- 4 蒋汉文,邱信立. 热力学原理及应用. 上海:同济大学出版社,1990.

DESIGN OF MULTIPHASE DETONATION TUBE AND ITS EXPERIMENTAL VERIFICATION

Liu Guanglie

(School of Chemical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094)

ABSTRACT The structure and function principle of a multiphase detonation tube are described. It is found that the tube can be used not only for gas-liquid two-phase detonation test but also for gas-liquid-solid three-phase detonation test. Compared the data listed in table 1, 2 and 3, it is verified that the correspondent experimental results of epoxypropane (PO) and PO + Al in the said tube are close to those obtained from the field stationary blast test. Therefore the parameters from the tube test can give a valuable guidance to the related field test, which reduces the cost in experiment number and period.

KEYWORDS aluminum powder, detonation test, epoxypropane (PO), fuel-air explosive.



作者简介 刘光烈(Liu Guanglie), 研究员, 1939年6月生, 1965年毕业于北京工业学院(现北京理工大学)炸药装药及炸药应用专业, 长期从事科研与教学工作。参与编著的“火炸药与装药概念”和主编的“炸药与装药安全技术”两本教材; 先后由兵器工业出版社出版。撰写论文30余篇。获科技成果奖多项。