

两种组合电探针在爆轰实验中的应用

金山, 汤铁钢, 陈永涛, 李庆忠, 王健
(中国工程物理研究院 流体物理研究所, 四川 绵阳 621900)

摘要: 利用两种不同组合的电探针测试平面爆轰波驱动的金属飞片到达固定位置的时刻, 对比两种组合探针测试结果的一致性; 同时利用双灵敏度 VISAR (任意反射表面速度干涉仪) 记录飞片自由面的速度及位移历史, 并与电探针的测试数据对比。结果表明: 纵向组合探针的第 1 台阶探针与横向组合探针的测试结果一致, 第 2 台阶探针与横向组合探针的测试结果存在偏差, 随着纵向组合探针台阶的增加, 与横向组合探针的偏差增大, 其原因是探针对飞片运动的干扰。测点 1 的横向组合探针和纵向组合探针与 VISAR 的测试结果最大偏差分别为 0.71% 和 0.67%, 测点 2 的最大偏差分别为 0.98% 和 0.90%。横向组合探针可以和纵向组合探针一起, 组成更复杂的多层次探针阵列, 以便在一发实验中获得更多数据。

关键词: 信息处理技术; 爆轰; 组合探针; VISAR

中图分类号: O461.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1093(2012)08-1016-04

Application of Two Kinds of Combined Probes in Detonation Experiments

JIN Shan, TANG Tie-gang, CHEN Yong-tao, LI Qing-zhong, WANG Jian
(Institute of Fluid Physics, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, Sichuan, China)

Abstract: The arriving time of the metal flyer at some point was measured by two kinds of combined probes for checking their uniformity. Meanwhile, the free-surface velocity and displacement of the metal flyer were measured by double-sensitive VISAR for contrast with combined probes. Experiment results show that the first stage probe of the vertical combined probe coincides well with the horizontal combined probe; the second stage probe has a little difference with the horizontal combined probe; the difference increases along with the stage of vertical combined probe, and the reason is the interference of the probe on the flyer. The maximum differences at the measuring point 1 between two kinds of combination probes and VISAR are 0.71% and 0.67% respectively, and the maximum differences at point 2 are 0.98% and 0.90% respectively. Two kinds of combined probes can be used together to acquire more data in the experiments.

Key words: information processing; detonation; combined probe; VISAR

0 引言

利用电探针测量爆轰阵面、冲击波阵面或运动物体表面到达预定位置的时间, 是爆轰实验中常用

测试手段之一^[1]。1945年, Roberts 和 Nedzed 即利用电探针测量了钢中的冲击波速度和自由表面速度。1955年 Minshall 利用光杆探针测量了钢中弹性波和塑性波的波速。1965年 Richard 等研究了盖

帽式电探针,弥补了光杆探针不能测量非导体材料冲击波速度的缺点。随着电探针测试技术的发展,探针的种类、应用范围、测试精度及效率也进一步提高,如时间分辨率为亚纳秒级的同轴探针技术^[2]、可在一发实验中得到更多实验数据的高密集度小型组合探针技术^[3]等。

本研究同时采用纵向多台阶组合探针和横向多层次组合探针测试平面爆轰波驱动的金属飞片到达某点的时刻,同时利用双灵敏度 VISAR 取得飞片的实时自由面速度及位移历史,对比不同组合电探针的测试结果,同时与 VISAR 测试数据进行对比,探索研究不同组合电探针在爆轰实验中的应用。

1 平面爆轰波驱动金属飞片实验

1.1 电探针简介

爆轰实验中常用电探针有光杆探针、同轴探针、盖帽探针、弹簧探针等^[4]。当爆轰波、冲击波和飞片等到达或接近电探针敏感部分所在剖面时,电探针开关状态突变,并输出信号,测试系统主要包括电探针、脉冲形成网络、信号传输与记录、数据处理等。图 1 为电探针测试系统中常用的脉冲形成网络等效电路示意图。

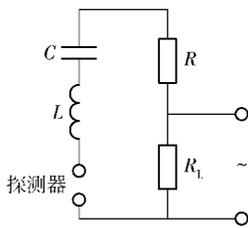


图 1 脉冲形成网络等效电路示意图
Fig. 1 RLC circuit diagram

图 2 为电探针得到的典型开关信号。

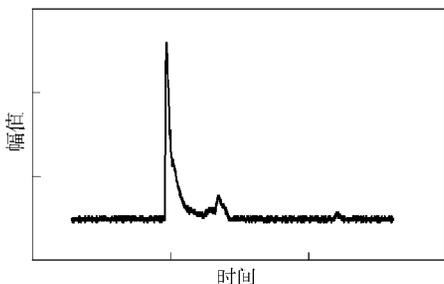


图 2 电探针典型信号图像
Fig. 2 Representative signal image

单个探针只能测得目标到达某一点的时刻,为了在一次实验中取得更多的信息,可用组合探针进

行测试。常用探针组合方法有纵向多台阶组合探针和横向多层次组合探针。纵向组合探针即在一个点布置多根探针,同时测量一个点多个层面的数据;横向组合探针是在多个点布置探针,每个点只布置一根探针,探针可以布置在同一层面或多个层面,同时测量多个点的数据。

1.2 实验装置

实验装置如图 3 所示。利用炸药透镜产生平面爆轰波驱动金属飞片,利用两种组合探针记录飞片到达某个剖面的时刻,利用双灵敏度 VISAR 记录飞片自由面速度。双灵敏度 VISAR 的条纹常数分别选取 350 m/(s·Fr)、450 m/(s·Fr)。

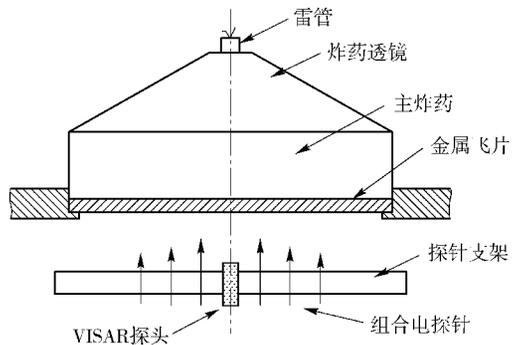


图 3 实验装置示意图

Fig. 3 Sketch of experiment setup

1.3 探针布局

组合电探针布局如图 4 所示。横向组合探针共 3 组,每组 2 个,3 组探针分别距离飞片表面 5 mm、10 mm、15 mm。纵向组合探针共 3 个台阶,距离飞片表面分别为 10 mm、15 mm、20 mm。

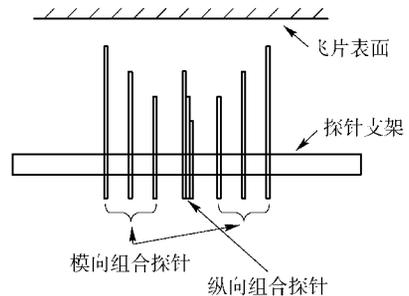


图 4 组合探针布局示意图

Fig. 4 Combination probe array

2 实验结果分析

2.1 不同组合的电探针测试结果对比

在距炸药透镜中心 100 mm 的圆周上选取两个对称测点进行测试,以减少炸药透镜本身波形差的

影响,每个测点均布有两种不同组合的电探针。表 1 即为电探针测得的飞片到达某一剖面时刻,其中 s 为飞片到某一剖面的距离, t_1 、 t_2 分别为每对横向组合探针测得的飞片到达时间, t_v 为纵向组合探针测得的飞片到达时间。

表 1 组合探针测试结果

s/mm	测点 1			测点 2		
	$t_1/\mu\text{s}$	$t_2/\mu\text{s}$	$t_v/\mu\text{s}$	$t_1/\mu\text{s}$	$t_2/\mu\text{s}$	$t_v/\mu\text{s}$
5	30.00	29.99		30.07	30.08	
10	31.56	31.57	31.58	31.67	31.65	31.65
15	33.04	33.06	32.90	33.13	33.12	32.95
20			34.18			34.22

从表 1 中可以看出,每个测点的 t_1 和 t_2 在同一剖面的差值为 $0.01 \sim 0.02 \mu\text{s}$,考虑到所用电探针导通时间为 $0.01 \sim 0.02 \mu\text{s}$,可以认为同一剖面每组横向组合探针的测试结果一致。

两个测点的纵向组合探针第 1 台阶,即距离飞层 10 mm 处,与同侧点的横向组合探针的测试结果最大差值为 $0.02 \mu\text{s}$,表明纵向组合探针的第 1 台阶探针与横向组合探针测试结果一致;两个测点的纵向组合探针的第 2 台阶探针,即距离飞层 15 mm 处,与同测点的横向组合探针的测试结果差值为 $0.14 \sim 0.18 \mu\text{s}$,与第 1 台阶探针相比,差异明显增大。

分析认为,造成这种结果的原因是探针对飞片运动的干扰。横向组合探针由于前后级横向距离大,前级对后级干扰小,而纵向组合探针前后级横向间距极小,前级对后级的干扰明显加大。

2.2 电探针与 VISAR 测试结果对比

利用双灵敏度 VISAR 测得的飞片自由面速度-时间曲线如图 5 所示。图中两条曲线分别为条纹常数选取 $350 \text{ m}/(\text{s}\cdot\text{Fr})$ 、 $450 \text{ m}/(\text{s}\cdot\text{Fr})$ 时的测试结果。

表 2 为两种组合电探针与 VISAR 测得的飞片到达固定剖面的时刻,其中 s 为飞片到固定剖面的距离, t_{h1} 、 t_{h2} 分别为两个测点每组横向组合探针测得的到达时间均值, t_{v1} 、 t_{v2} 分别为两个测点纵向组合探针测得的到达时间, t 为双灵敏度 VISAR 测得的到达时间(两个条纹常数测试结果均值)。

考虑到测试电缆及测试光纤的传输时间差(约 $0.12 \mu\text{s}$),修正后的结果对比如图 6 所示。其中曲线为 VISAR 测得的飞片自由面速度-时间曲线积分得到的位移-时间曲线, $h1$ 、 $h2$ 分别为两个测点横

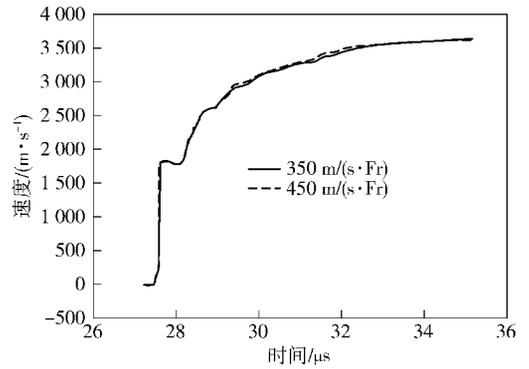


图 5 VISAR 测得的飞片自由面速度-时间曲线
Fig. 5 $v-t$ curves measured by VISAR

表 2 飞片到达固定点的时刻

Tab. 2 Time when the flyer arrived at some point

s/mm	$t_{h1}/\mu\text{s}$	$t_{v1}/\mu\text{s}$	$t_{h2}/\mu\text{s}$	$t_{v2}/\mu\text{s}$	$t/\mu\text{s}$
5	30.00		30.08		29.67
10	31.57	31.58	31.66	31.65	31.25
15	33.05	32.90	33.13	32.95	32.71
20		34.18		34.22	34.11

向组合探针测试数据, v_1 、 v_2 分别为两个测点纵向组合探针测试数据。

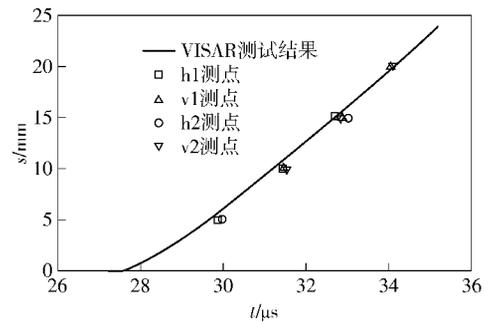


图 6 组合探针与 VISAR 测试结果

Fig. 6 Experiment results measured by combination probe and VISAR

经过修正后,测点 1 的横向组合探针与 VISAR 在 5 mm 、 10 mm 、 15 mm 处测试结果差值分别为 $0.21 \mu\text{s}$ 、 $0.20 \mu\text{s}$ 、 $0.22 \mu\text{s}$,最大偏差为 0.71% ;纵向组合探针与 VISAR 在 10 mm 、 15 mm 、 20 mm 处测试结果差值分别为 $0.21 \mu\text{s}$ 、 $0.07 \mu\text{s}$ 、 $-0.05 \mu\text{s}$,最大偏差为 0.67% 。

测点 2 的横向组合探针与 VISAR 在 5 mm 、 10 mm 、 15 mm 处测试结果差值分别为 $0.29 \mu\text{s}$ 、 $0.29 \mu\text{s}$ 、 $0.30 \mu\text{s}$,最大偏差为 0.98% ;纵向组合探针与 VISAR 在 10 mm 、 15 mm 、 20 mm 处测试结果差

值分别为 $0.28\ \mu\text{s}$ 、 $0.12\ \mu\text{s}$ 、 $-0.01\ \mu\text{s}$, 最大偏差为 0.90% 。

由于电探针与 VISAR 两套测试系统之间存在系统误差, 此处差值只能表明相对偏差, 而非绝对偏差。

3 结论

根据实验结果对比, 可以得到以下结论:

1) 纵向组合探针的第 1 台阶探针与横向组合探针的测试结果一致, 第 2 台阶探针与横向组合探针的测试结果存在偏差, 随着纵向组合探针台阶的增加, 与横向组合探针的偏差增大。造成这种结果的原因是探针对飞片运动的干扰。横向组合探针由于前后级横向距离大, 前级对后级干扰小, 而纵向组合探针前后级横向间距极小, 前级对后级的干扰明显加大。

2) 测点 1 处横向组合探针及纵向组合探针与 VISAR 的测试结果最大偏差分别为 0.71% 、 0.67% ; 测点 2 处横向组合探针及纵向组合探针与 VISAR 的测试结果最大偏差分别为 0.98% 、 0.90% 。

总之, 横向组合探针能够更精确地测量单点的数据, 但只能测得固定点的一个剖面的数据; 纵向组合探针能够测量固定点多个剖面的数据, 但后续

台阶会受到前面台阶的影响, 从而增大误差。横向组合探针可以和纵向组合探针一起, 组成更复杂的多层次探针阵列, 以获得多个面上不同点的数据。

参考文献 (References)

- [1] 黄正平. 爆炸与冲击电测技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006: 72-73.
HUANG Zheng-ping. Explosion and shock measuring technique [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2006: 72-73. (in Chinese)
- [2] 王建, 文尚刚. 以 HMX 为基的两种压装高密度炸药的燃烧转爆轰实验研究[J]. 高压物理学报, 2009, 23(6): 441-446.
WANG Jian, WEN Shang-gang. Experimental study on deflagration-to-detonation transition in two pressed high-density explosives [J]. High Pressure Physics, 2009, 23(6): 441-446. (in Chinese)
- [3] 李雪梅, 金孝刚, 李大红, 等. 内聚爆轰加载下金属圆管的自由面速度测量初探[J]. 兵工学报, 2007, 28(10): 1252-1255.
LI Xue-mei, JIN Xiao-gang, LI Da-hong, et al. Elementary measurement of free surface velocity of cylindrical metal tube under inward detonation [J]. Acta Armamentarii, 2007, 28(10): 1252-1255. (in Chinese)
- [4] 孙承纬, 卫玉章, 周之奎. 应用爆轰物理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2000: 177-180.
SUN Cheng-wei, WEI Yu-zhang, ZHOU Zhi-kui. Application of detonation physics [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2000: 177-180. (in Chinese)