

直接测量物质的状态方程 ——电磁速度传感器的改进

梁 云 明

(北 京 工 业 学 院)

物质冲击状态方程的测量是一项重要的基础研究工作,传统的做法是用对比法,自由面法或阻滞法测量,工作量很大.这几种方法对于状态方程的测量来说,都是间接的测量.我们改进了电磁速度传感器,实现了直接测量.

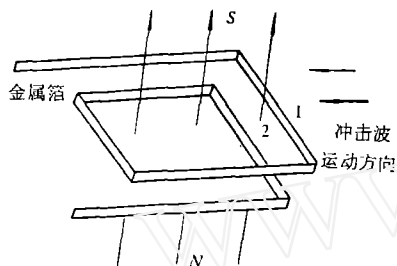


图1 串联传感的原理示意

改进的速度传感器埋入被测介质,放置磁场中.当冲击波到达动臂“1”时,“1”的运动使铜箔两端产生电动势.若运动方向,动臂和磁场方向互相垂直,由法拉第定律直接可得

$$E = u \cdot L \cdot B \times 10^{-4} \text{ V}$$

其中 $L(\text{mm})$ 是动臂长度; $u(\text{mm}/\mu\text{s})$ 是动臂运动速度,在金属箔很薄时,很快就与介质的运动速度相一致.当激波到达动臂“2”时,端点电动势反应出“2”的突跃和“1”和“2”的联合作用.这样,由“1”的运动可得 E_1 ,而测得 u_1 ;由“2”的运动可得 E_2 ,而测得 u_2 ;由“1”和“2”突跃的时间差 Δt 可测得激波速度 $\bar{D} = \frac{x_{12}}{\Delta t}$.从测得的 $\bar{u} = \frac{1}{2}(u_1 + u_2)$ 和 $\bar{D}$,就可测得介质的压力 $\bar{P} = \rho_0 \bar{D} \bar{u}$ 和其它各个状态参数.

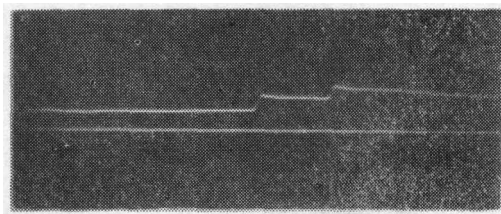
串联传感器的实测波形如照片1所示.有机玻璃样块和传感器的试件装配由图2示意.起爆前的整体装置如图3所示.

使用这种方法,即使对状态方程未知的介质的冲击压力也可以直接测出,而无须标定;它与压阻法及其它测压方法相比有明显的优点.

无论是改变加载药柱或传感器的位置都可以改变冲击波的强度,就可以测得许多组 $\bar{D}$ 和 $\bar{u}$ 的值.这样,测量物质的冲击状态方程

$$D = C_0 + \lambda u$$

中的系数 C_0 和 λ 就变得非常直接和简便了.我们设计的电磁场是 2000 高斯,本次实验实际使用在 400—500 高斯附近,每次实验都需分别测量.



照片1 串联传感器实测波形

本文于 1982 年 4 月 24 日收到.

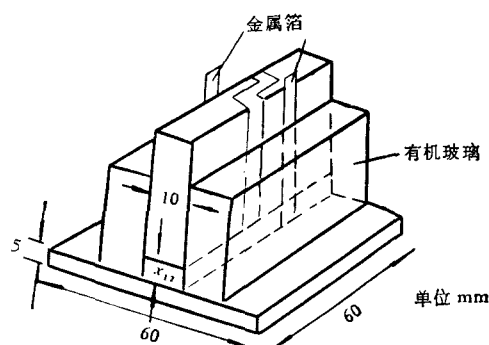


图2 有机玻璃试件装配示意

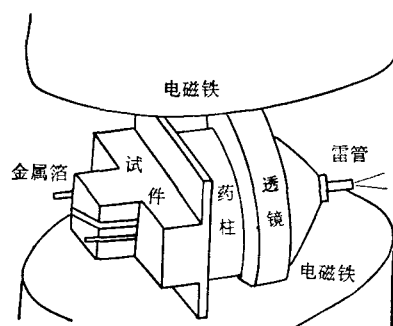


图3 起爆前的装置示意

我们用 TNT 和 8321 两种炸药加载,测得国产有机玻璃板的冲击参数由表 1 列出。

表 1 实验测量数据

参 数	序 号	12-5-2	11-16-1	11-20-3	11-20-1	11-26-4	11-26-2	11-20-5
$\bar{u}$		0.99	1.16	1.11	1.21	1.35	1.58	1.14
$\bar{D}$		4.73	4.94	5.03	5.51	5.64	6.36	5.62

用最小二乘法处理得 $C_0 = 2.21$, $\lambda = 2.62$, 相关系数 $r = 0.91$, 实验装置的实物见照片 2。

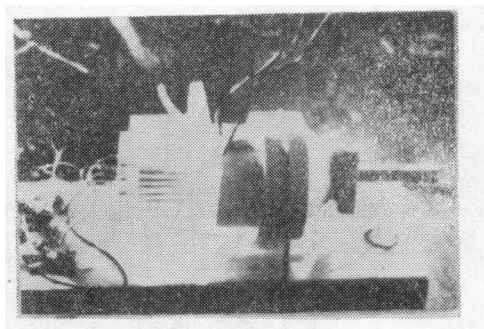
由上列数据与国产有机玻璃棒的数据^[3] $C_0 = 2.87$, $\lambda = 1.88$ 相比, 最大相对误差达 20%。

如果将“1”和“2”放在同一平面上,传感器的输出就增加一倍,而并不要求加宽平面范围。实验证明将讯号放大一个量级也是不难实现的。这对测量弱击波有实用价值。多圈传感器的放大作用,并没有对讯号前沿带来明显的影响。我们用 CD3 型小电感电桥测量带有 $\phi 1\text{ mm}$ 长 130 mm 的单芯塑料导线的传感器,单圈值为 $0.31\text{ }\mu\text{H}$, 5 圈值也仅有 $0.51\text{ }\mu\text{H}$ 。爆炸实验中实测的波形和数据见照片 3 和表 2。传感器圈数比为 1:3:5。实测电压比 1:2.6:5.2。可见将讯号放大一倍其误差也不会大于 5%。

将传感器放在 TNT ($\rho_0 = 1.50\text{ g/cm}^3$) 和有机玻璃的界面上,测得界面的速度为 $1.93\text{ mm}/\mu\text{s}$, 计算值为 $1.84\text{ mm}/\mu\text{s}$, 相差 5%。

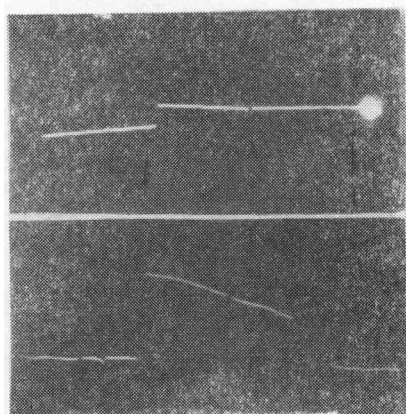
表 2 多圈传感器实测值

序 号	圈 数	$E(\nu)$	u	示 波 器
11-26-3	1	0.51	1.07	SB-11-2
11-26-3	3	1.30	0.91	SB-11-1
11-26-3	5	2.60	1.09	OK-17



照片 2 试验装置实物

自左向右: 试件, 药柱, 透镜, 雷管



照片 3 一圈和五圈的波形

目前, 这项研究还在继续深入。用于各种介质(岩石、土壤、炸药、液体等)中状态方程测量和现场工程测量的恒磁探测器已完成初步设计。从实验室的试验可以看出, 制成小型测速、测压传感器是完全可行的。

本文部分实验工作有 1981 年毕业生蒋君平、甄广平和隋建辉参加完成, 赵衡阳、黄正平和徐更光先生的支持也为本文作出了贡献。

参 考 文 献

- [1] Erickson, L. M., et al., The Electromagnetic Velocity Gauge: Use of Multiple Gauges, Time Response, and Flow Perturbations, 7th Sump. On Detonation (1981).
- [2] 赵衡阳, 梁云明, 电磁法实验研究, 爆炸与冲击, 1(1981).
- [3] 张宝铎等, 爆炸及其作用, 国防工业出版社 (1979).

A NEW METHOD FOR DIRECT MEASUREMENT OF EOS —AN IMPROVEMENT OF EMV GAUGE

Liang Yunmin

(Beijing Institute of Technology)

Abstract

We have developed an in-situ electro-magnetic velocity gauge system for measuring both the velocity of shock wave and the velocity of particles at the same place in insulate material directly. Two normal velocity gauges were welded in series, each sensitive arm was inserted in a different plane perpendicular to the direction of shock wave. It simplified the method for measuring the shock relations. In this Way we obtained the data tested in PMMA plate.

If we embed several arms of the series gauge in the same plane, the amplitude of out-put signal of particle velocity will be multiplied by the numbers of single stages. It is very useful for measuring a weak wave.