

## 二维电磁粒子速度计

曹思勤

### 引言

电磁粒子速度计方法最初应用在炸药内爆参数的粒子速度测量<sup>[1]</sup>。以后又应用于惰性介质和岩石<sup>[2]</sup>。最近,该方法发展为解决多种问题<sup>[3-7]</sup>。这种方法应用在炸药内的难点是要建立一个强磁场,费用不能太贵。有两种方法,一种为电磁铁,另一为Helmholtz线圈。前者炸药只能限制在 $\phi 50$  mm以内,否则电磁铁要受到破坏,后者则磁场强度受到局限。要建立0.1 T的磁场,如线的半径为10 cm,30圈,则直流电需要大于1000 A方能符合要求,这样一个直流电源价格是十分贵的。

本文介绍一种改进的电磁速度计方法,这种方法可以在炸药或绝缘体内进行二维粒子速度的测量。

### 实验装置与分析

实验装置如图1所示。一对大的线圈放置成和一对较小的线圈垂直,在它们的中心就能建立起一均匀交叉磁场。大线圈的半径为400 mm,每个绕25圈;小线圈的半径为200 mm,每个也绕25圈。四个线圈互相串联。电源为一组电容器组,因为线圈中的电流是脉冲式的,所以磁场也随时间而变。

样品如图2所示。一有机玻璃块一端和 $\phi 42 \times 10$  mm的混合炸药B接触,在有机玻璃的边缘附近装有两个互相垂直的速度计,以记录速度的两个分量。整个系统放在交叉磁场的中心,各个磁场和各个速度作用元垂直。显然,每个速度记录代表其相应的速度分量。

电磁计中的感应电动势为

$$\begin{aligned} E &= -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d}{dt} \left[ l \int_0^y B_z(\xi, t) d\xi \right] = -l \left[ \int_0^y \frac{dB_z}{dt} d\xi + B_z \frac{dy}{dt} \right] \\ &= -l \left[ \frac{dB_z}{dt} y + B_z \frac{dy}{dt} \right] \end{aligned} \quad (1)$$

如图2所示,Z为垂直磁场之一的方向,y是速度计作用元的运动方向, $\frac{dy}{dt}$ 为计的速度并



图1 实验装置

用  $v$  表示之,  $l$  是作用元的长度,  $ly$  为计扫过的面积并用  $G$  表示之。如果我们近似认为电流变化是正弦的, 则  $B_z = B_0 \cdot \sin \omega t$ , 其中  $B_0$  为磁感强度的峰值, 则

$$E = l B_0 v \sin \omega t + G B_0 \omega \cos \omega t \quad (2)$$

式中  $\omega$  为角频率,  $\omega/\pi = 2/T$ ,  $T$  为电流周期。

如果把电容器放电开始的时刻定为  $t = 0$ , 则从方程式 (2), 可得  $E = G B_0 \omega$ , 经  $1/4 T$  时间后,  $\omega t = \pi/2$ , 得

$$E = l B_0 v \quad (3)$$

如果已知  $B_0$ ,  $l$  和  $E$ , 由方程式 (3) 可得  $v$ 。所以为要求粒子速度, 我们必须在时刻  $T/4$  时记录讯息, 换言之, 在电流等于峰值的时刻。为了消除电流变化带来的误差到极小, 我们尽可能把放电周期拉得很长。在我们的装置中, 电流的周期约为  $1000 \mu s$ , 而速度讯号的时间小于  $10 \mu s$ , 所以在此时间内的电流变化可以忽略不计, 如图 3 所示。

线路图如图 4 所示, 能源为 2 台串联的  $9 \mu F$  的电容器, 充电到  $9 kV$ ;

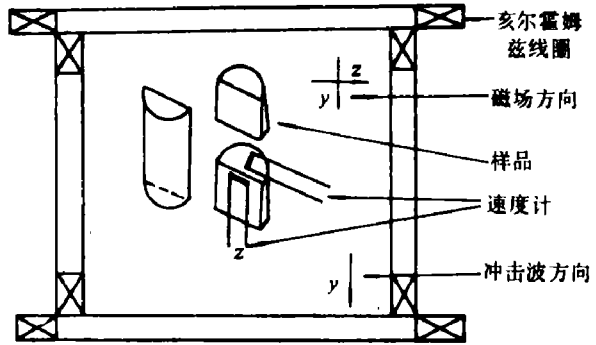


图 2 样品和速度计示意图

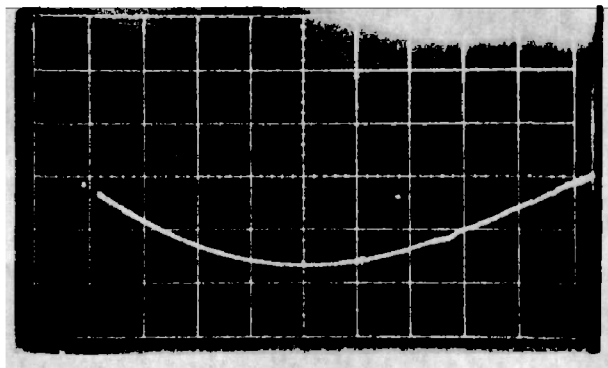


图 3 电流波形  
横坐标: 时间,  $50 \mu s/div$   
纵坐标: 电动势,  $0.1 V/div$

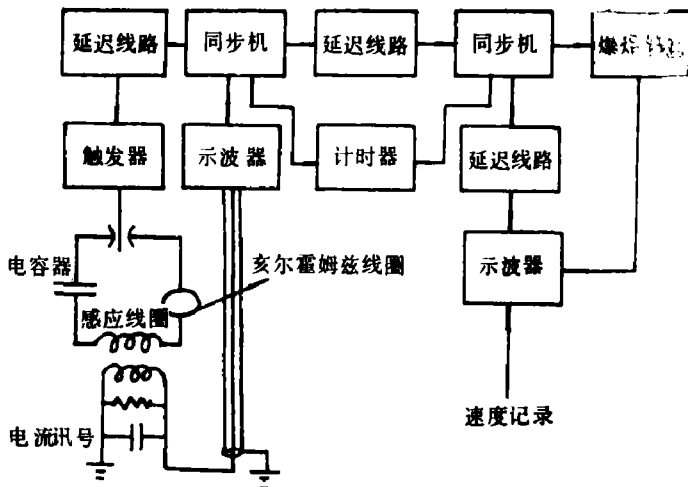


图 4 装置线路图

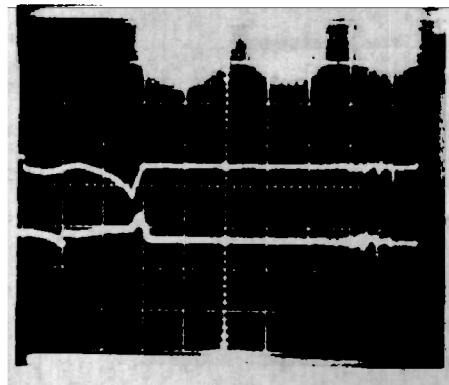


图 5 速度两个分量的典型结果

同步器的一道触发一台示波器,以记录脉冲电流,另一道接一延迟线路使电容器延迟  $20 \mu\text{s}$  放电,第三道经时间延迟线路延迟  $T/4$  到第二台同步器;第二台同步器的一道触发起爆线路,另一道触发示波器记录速度。脉冲电流是用感应线圈记录的,如图 3 所示。

典型的的结果如图 5 所示。图上为两个速度分量的记录。经换算后,分量的矢量和与在该点的全速度是符合的。

## 结 论

我们发展了一种二维电磁速度计方法。这种方法对爆炸和高压实验物理十分有用和方便,其费用对任何实验室说来并不昂贵。

参加本工作的有贺凤琴、陈丕琪、王翠莲等,一并表示感谢。

## 参 考 文 献

- [1] Dremin, A. N. & Adadurov, G. A., *Soviet Physics-Solid State*, **6** (1964), 1379.
- [2] Ainsteworth, D.L. & Sullivan B. R., Tech. Report No. 6-802, *US Army Engineer Water ways Experiment Station, Vicksburg, Miss* (1967).
- [3] Bernard Hays, *Rev. Sci. Instrum.* **52**, (1981), 47.
- [4] Boroduev, A. A. et al., *Soviet Phys. of Combustion and Explosion*, **4** (1983), 146.
- [5] Fowles, G. R., *Dynamic response of materials to intense impulse loading*. Edited by P. C. Chou and A. K. Hopkins, Air Force Materials Lab. (1972).
- [6] Gideen Rosenberg and Duvall, G. E., *J. Appl. Phys.*, **51**, (1980), 319.
- [7] Gupta, Y. M. et al., *Rev. Sci. Instrum.* **51** (1980), 183.

# TWO DIMENSIONAL ELECTROMAGNETIC VELOCITY GAUGE TECHNIQUE

Cao Siqin

## Abstract

In this paper, a modified method of electromagnetic velocity gauge is suggested, which can be used for two dimensional velocity field measurement in an explosive or in an insulator. Preliminary experimental results are obtained.