

3. 电流稳定率: $\frac{\Delta I}{I_0} < 5\%$ ($\Delta t = 0; 8\mu s$ 内)

该指标系所用示波器显示的综合误差, 包含电缆接头及压阻探头质量引起的误差。单纯由线路引起的电流稳定率尚未测算。

A CONSTANT CURRENT SOURCE — THYRATRON CONSTANT CURRENT USED FOR THE METHOD OF PRESSURE RESISTANCE IN LABORATORY

Li Yin

测量物质速度的一种电磁技术

程桂淦 徐敏英 李士掌

(1981年4月16日收到)

一、实验装置

本实验的装置由直流电磁铁、传感件、试件、爆炸透镜四个部件组成。

1. 直流电磁铁

直流电磁铁的作用是产生均匀而恒定的磁场, 它的结构示意图于图1。其中激磁线圈共有两个, 每个5000匝, 由直径为0.93毫米的漆包线绕成, C字形铁芯由国产纯铁加工而成, 其截面积为 60×80 平方毫米。实验时, 两个线圈串联后由GZH 3-21型半导体硅整流设备供电, 线圈电阻为120欧姆, 当供电电流为2安培时, 电压降为240伏。

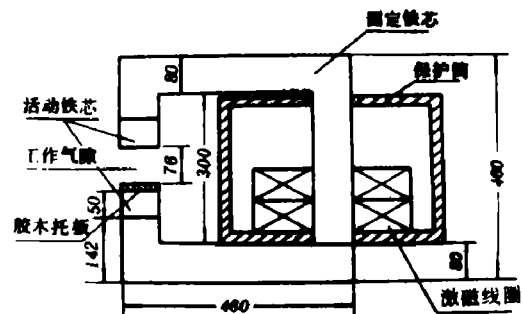


图1 电磁铁结构示意图

为了多次使用铁芯和线圈, 放炮时采取了两项保护措施: 在线圈外加了厚20毫米的铝保护筒; 在固定铁芯的上下磁极上各加一块横截面积为 60×80 平方毫米、高为50毫米的活动铁芯, 同时在

下活动铁芯上又放了一块 $60 \times 80 \times 8$ 的胶木托板,这些都作为每次实验的消耗品。

工作气隙中磁场的强度用CST-1型数字高斯计测量。在对应于安装传感件的两个位置附近分别选取10个点测量了磁场强度,其结果如表1所列。由表中的20个数据求得 B 的平均值为 914 ± 15 高斯。

表1 在气隙中不同座标点(X 、 Y 、 Z)上测得的 B 值

Z (毫米)	Y (毫米)		X (毫米)	
	2.5	3.5	2.5	3.5
2.0	885	909	898	912
3.0	908	933	913	930
4.0	914	940	919	936
5.0	911	933	913	930
6.0	894	909	892	910

2. 传感件

所谓传感件,就是切割磁力线运动的导体。它是由铜箔做成口型,其横段为切割磁力线的部分,长度为40毫米,宽为2毫米,厚为0.03毫米。实验时将其嵌入试件中的测量位置。

3. 试件

本次实验所采用的试件材料为有机玻璃。在离试件受载面5毫米的第一层上布一个传感件,在离试件受载面8毫米的第二层上布一个传感件。其布置情况如图2所示。

4. 爆炸透镜

实验中我们使用了 $\phi 50$ 的小透镜,把它直接贴在有机玻璃试件正中心爆炸,在有机玻璃中产生的压力约为9万巴。小透镜药量约为87克。其平面度经光测与电测检验,在 $\phi 40$ 范围内小于150毫微秒。

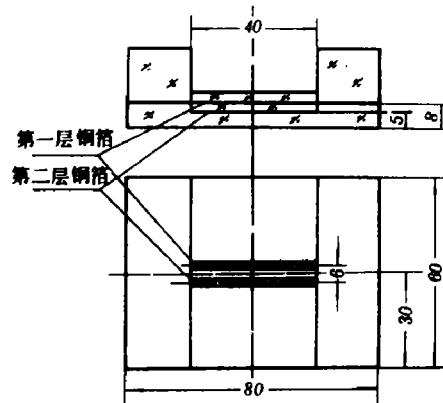


图2 传感件与试件装配示意图

二、传输与记录系统

实验中使用的传输与记录系统方框图示于图3。在击波压力作用下,探头传感件给出的电信号经长度为100米的SYV-75-19高频同轴电缆和均衡网络送到SS-6300和SS-311同步示波器的垂直输入端,在荧光屏上呈现出的信号波形用UP-21相机拍照记录。均衡网络的主要作用在于将经电缆传输而发生畸变的信号波形恢复原状,从而达到精确测量的目的。

示波器采用外触发。探头上的触发探针在击波压力作用下给出一个尖脉冲信号,经过同步机

同时触发两台示波器。

在这次实验中、根据信号幅度的予估值,对示波器在2-8伏范围内进行了标定。标定结果,电压 ϵ 与波形幅度 h 保持良好的线性关系,其斜率 K 对SS-6300和SS-311分别为 0.58 ± 0.006 (相对误差为1.03%)和 0.53 ± 0.006 (相对误差为1.13%)。

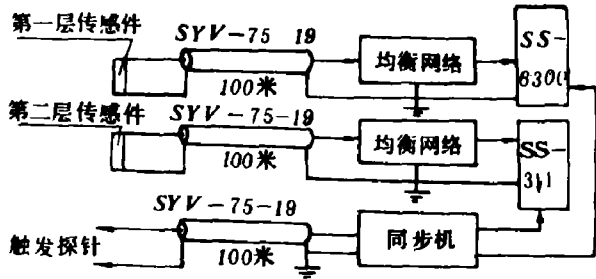


图3 传输与记录系统方框图

三、实验结果和误差分析

1. 实验结果

这次实验共放了六炮,图4给出三幅典型的波形图。图4 a是六号炮第一层上的信号。图4 b是六号炮第二层上的信号。图4 c是十三号炮第一层上的信号,它与其他炮的差别是在试件外面包了一层0.06毫米厚的铜箔,有机玻璃试件受载面上镀了一层铜,目的是消除干扰。记录信号前沿~0.2微秒。测得的电压及相应物质速度如表3所列。得出的物质速度为 1.51 ± 0.03 毫米/微秒,其相对误差为2%。

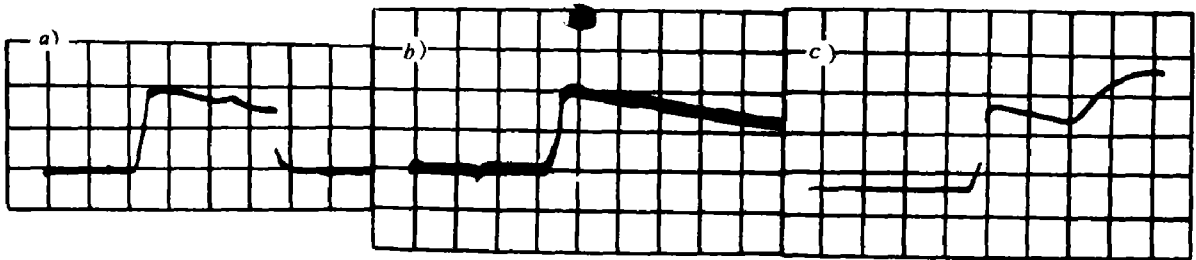


图4 a 六号炮第一层上的信号,记录仪器为SS-6300。b 六号炮第二层上的信号,记录仪器为SS-311。c 13号炮第一层上的信号,记录仪器为SS-6300。

表3 物质速度的实测值

炮号	第一层上电压幅度 ϵ_1 (伏)	第二层上电压幅度 ϵ_2 (伏)	第一层上物质速度 u_1 (mm/ μ s)	第二层上物质速度 u_2 (mm/ μ s)
6	5.73	5.41	1.57	1.48
7	5.40	5.53	1.48	1.51
8	5.60	5.33	1.53	1.46
9	5.55	5.58	1.52	1.53
10	5.70	5.46	1.56	1.49
13	5.61	5.40	1.53	1.48

2. 误差分析

根据磁感应电动势 $\epsilon = Bl u \times 10^{-8}$ 和测量误差传递公式得出 u 的相对误差为

$$\frac{\sigma_u}{u} = \left[\left(\frac{\sigma_\epsilon}{\epsilon} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_B}{B} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_l}{l} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

式中 σ_ϵ 、 σ_B 、 σ_l 分别表示电动势 ϵ 、磁场强度 B 及传感件长度 l 的标准误差。现对这些误差给予定量分析。

(1) B 的误差

B 的误差来源包括:

① 磁场的均匀性。这次实验用的电磁铁, 当激磁电流为 2 安培时, 表 1 所示实测的磁场强度 $B = (914 \pm 15)$ 高斯, B 的标准误差 $\sigma_B = 15$ 高斯, 相对误差 $\sigma_B / B = 1.6\%$ 。

② 测量仪器精度的误差。我们使用的数字高斯计精度为满量程 $0.5\% \pm 1$ 个字。此误差已包含在前一项内。

③ 各次实验之间由于电流测量的视差引进的误差。为了估计这一项的影响, 我们试举出另外一次 B 的实验结果, 其加电电流的读数仍为 2 安培, 共测了十个点, 得 B 的平均值为 940 高斯。

(2) ϵ 的误差

这一项误差完全是由于传输与记录系统的偶然误差和判读时人的主观视差引起的。

我们知道, 电动势 ϵ 的大小是根据信号幅度 h 用标定的电压——幅度关系 $\epsilon = k h$ 得到的。由这个式子可求得 ϵ 的相对误差为

$$\frac{\sigma_\epsilon}{\epsilon} = \left[\left(\frac{\sigma_k}{k} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_h}{h} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

式中 σ_k / k 为斜率的相对误差, 前面已给出 $\sigma_k / k = 1.0\% \sim 1.1\%$ 。 σ_h / h 为幅度的相对误差, 这一项主要是由于人们在判读时的主观视差引起的, 为估计其大小, 我们试取示波器扫描线宽度的 $1/4$ 作为 σ_h , 示波器扫描线宽度在胶片上一般为 0.7 毫米, 信号幅度 h 一般约为 11 毫米, 由此求得 $\sigma_h / h = 1.5\%$ 。将具体数据代入上式则得 ϵ 的相对误差为 $\sigma_\epsilon / \epsilon = 1.8\%$ 。

(3) l 的误差

此项误差主要是由探头安装工艺和试件机加工公差引起的。探头安装带来的误差由装置设计加工保证可以忽略不计。对 σ_l 影响较大的是加工公差, 我们取其最大值 0.08 毫米作为标准误差 σ_l , 则相对误差 $\sigma_l / l = 0.2\%$ 。

将 $\sigma_B = 1.6\%$ 、 $\sigma_\epsilon / \epsilon = 1.8\%$ 、 $\sigma_l / l = 0.2\%$ 代入 (2) 式则得 $\sigma_u / u = 2.4\%$ 。因此, 我们从实测结果给出的误差 2% 是可信的。

关于其他一些不确定因素的影响, 例如: 透镜平面度对传感件有效长度的影响; 炸药爆轰性能的不稳定性在各炮之间所引起的差异等。这些因素如果存在的话, 也已包含在实验的综合误差 2% 之内, 但目前尚不便进行定量分析。

3. 与自由面法光测结果的比较

我们用光学方法对同样强度的冲击波进行了测量。测量的参数是自由面速度, 然后用二倍近似给出物质速度。测得的数据如表 4 所列, 其平均值为 $\bar{u} = (1.52 \pm 0.04)$ 毫米/微秒, 相对误差为 2.6%。由此可见, 在实验误差范围内, 电磁法测试结果与自由面法光测结果是一致的。

表4 光测结果

炮号	1	2	3	4	5	6
自由面速度 u_f (mm/ μ s)	3.048	3.162	2.967	2.955	3.027	3.109
物质速度 u (mm/ μ s)	1.524	1.581	1.484	1.478	1.514	1.554

四、讨论

根据我们做过的工作提出几点看法。

1. 关于传感件的宽度,在苏联人的报告中一般都取10毫米左右,他们认为传感件只有做得足够宽才能消除绕流对测试的影响。但在我们的实验中,发现传感件的宽度为8毫米或2毫米对测试并无影响,其原因我们认为是在我们的实验条件下,绕流并不很严重或者根本就不存在。

2. 实验中发现,从传感件到同轴电缆的引线长度对信号是有影响的,引线长引入的干扰大,引线短引入的干扰小。为了减小干扰,在试件受载面镀一层厚度为0.01毫米的铜膜,试件的其余表面用厚度为0.06毫米的铜箔包起来,然后在铜箔上开一小孔,让电缆的芯线伸进去,电缆外导体与铜箔焊在一起。这种措施是有效的。

3. 当传感件切割磁力线运动时,其中产生的电动势在测试回路中形成的电流会产生附加磁场,其作用是使得原来的恒磁场 B 减小。作为估计,我们取总电流 $I = 5 \text{伏} / 75 \text{欧姆} = 0.07 \text{安培}$,其中5伏为传感件产生的电动势,75欧姆为电缆特性阻抗。然后在传感件宽度方向上按传感件厚度划为67个单元,这样每个单元的平均电流就成为0.001安培,如果我们只考虑单个单元对附加磁场的贡献,那么根据电流通过导线时在周围产生磁场的公式 $H = 2I / R$,取 $R = 0.015 \text{毫米}$,则算得 $H = 2$ 奥斯特,这对 B 的影响可以忽略。

4. 当这种方法用于核爆炸环境、炸药爆轰波波测量以及岩石中弹塑性双波结构的测量时,都能取得较好的结果。

参加这项工作的有程桂淦、徐敏英、杨秋、罗福康、张守成、金琪、高峰山、李士掌等同志。此外,在这种方法的研究过程中,从一九七〇年到一九七五年先后曾有崔国容、孙成纲、石太、相三成、马振华、刘吉群、李文峰等同志参加过。

林俊德同志参加了本文的讨论,并提出了一些恳切意见,作者们表示衷心感谢。

AN ELECTROMAGNETIC TECHNIQUE FOR MEASURING MATERIAL VELOCITY

Cheng Guigan Xu Minying Li Shizhang