第10卷 第2期 高 压 物 理 学 报 Vol. 10, No. 2
1996年6月 CHINESE JOURNAL OF HIGH PRESSURE PHYSICS June, 1996

一种锰铜压阻测量新方法

王 翔 傅秋卫
(中国工程物理研究院流体物理研究所,冲击波物理与爆轰物理实验室,成都523信箱 610003)

摘要 简单分析了几种常用的恒流供电锰铜压阻测量方法,并对这些测试方法的特点和不足进行了讨论。最后介绍一种利用数字示波器进行高保真高精度测量的方法,利用此法不仅提高了压力测量的精度,并且把小阻值锰铜压力计的测量范围向低端扩展到0.17 GPa。

关键词 压阻效应 锰铜压力计 数字示波器
中图法分类号 O348.2

1 引 言

利用某些材料电阻率随压力增加而增加的压阻效应,制作成压力传感器来测量压力的方法称为压阻法。锰铜合金由于具有较高的灵敏度、较好的线性以及对温度不敏感等特性,成为制作压阻计的首选材料。

60年代,Bernstein 和 Keough[1],Feller 和 Price[2]等人首先把锰铜压阻计用于动高压测量,在这之后的30年中,许多研究人员对锰铜计的冲击响应、制作工艺、压阻特性[3~5]、迟滞效应等进行了广泛深入的研究;同时锰铜压阻测量技术也在不断地完善和发展,一些实验工作者提出了若干行之有效的实用的测量方法,大大地推动了锰铜压阻计在动高压测量中的应用。目前,锰铜压阻法已成为国际上最常用的动高压测量方法之一,广泛地应用于材料本构关系、动态断裂和炸药爆轰等动力学研究领域。

2 问题的提出

2.1 恒流供电压阻测量方法

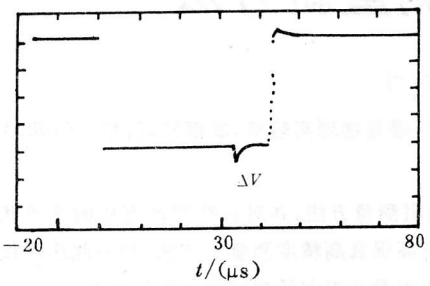
众所周知,锰铜压力计不能单独工作,使用时必须和脉冲电源一起组成有源压力探测器。目前实际使用的锰铜压力计主要有双引线和四引线结构,分别用脉冲恒压源和脉冲恒流源供电。一般常用的是脉冲恒流供电方式,则待测压力可用下式计算

$$kp = \frac{\Delta R}{R_0} = \frac{\Delta V}{V_0}$$

从上式可以看出,脉冲恒流供电方式在记录信号时有一个固有的初始电压 V_0,V_0不仅作为数据处理中的一个参量需要精确测量,而且给压阻信号 ΔV 的高精度测量带来不便。这是由于在实际测量中,由压力引起锰铜计的电阻增量ΔR相对静态电阻值R_0而言

1995年9月21日收到原稿,1996年2月2日收到修改稿。

是很微小的，即记录到的 ΔV 也是很小的，两者常常相差 1～2 个数量级，如果直接在示波器上记录，在示波器屏幕上 ΔV 仅仅表现为叠加在幅度很大的 V_0 上的一个“小鼓包”，见图 1。这个“小鼓包”恰恰是我们最感兴趣的部分，包括其幅度、前后沿等垂直和水平轴上的一切细节，因为这些细节不仅反映压力波峰值，还包含弹性先驱波、塑性波、层裂、破坏等过程信息十分有价值。如果 ΔV 在示波屏上只占整个垂直格的一格甚至不到，这些细节不仅无法分辨，而且其幅度测量误差较大，最终导致压力测量有较大的误差。



Channel 1: 2V/div, Offset: −6V

Timebase: 10 μs/div, Delay: −20 μs

图 1 采用恒流供电方式直接记录压力波形

Fig. 1 Typical record of the pressure wave with constant-current supply

脉冲恒流源供电的压阻测量方法，由于线路简单和数据处理方便等特点而得到广泛应用，然而由于静态电压 V_0 的存在，给准确测量 ΔV 带来困难。为此我们需要找到抵消 V_0 的测量电路。

2.2 几种实用的抵消测量方法

在具体实验工作中，探索出几种实际应用的抵消 V_0 影响的测量方法（如电容微分法、抵消放大法、双恒流压阻法），它们采用特殊的电路或引线连接方式抵消 V_0，这样 ΔV 就由零线起跳，可以充分利用示波器的高灵敏度，使细节得到充分放大。

然而，这些方法使得待测压力信号产生不同程度的高频或低频失真，或者是引入不必要的噪声。如电容微分法对于持续时间 1 μs 的压力脉冲，其平顶下降了近 10%～20%；而抵消放大法由于引入了抵消放大电路，因放大电路设计不完善而引入噪声，给测量带来误差，并且整套测量系统响应受放大器带宽限制。

3 直流偏置法

综上所述，为了放大记录 ΔV 以提高测量精度而采用抵消 V_0 的测量方法，在某种程度上却又或多或少带来了其它误差和失真。针对上述几种方法存在的缺点和精确测量压力的目的，我们在 1993 年提出了一种简便实用的高精度压阻测量方法，并在几十次实验中得到了应用，收到了良好的效果。

3.1 测量原理

数字示波器有一个非常优异的功能，称为直流偏移（DC offset），它是在 DSO 的输入衰减器和放大器之间插入一个经过校准的直流偏压实现的。但与模拟示波器不同的是，其偏置范围要大得多，一般为满屏幕的 10～20 倍（模拟示波器仅为上下 4 格），目前最好的 DSO 在高灵敏度时可达 10 万倍。表 1 是 HP54111D 在不同灵敏度时的偏置范围。

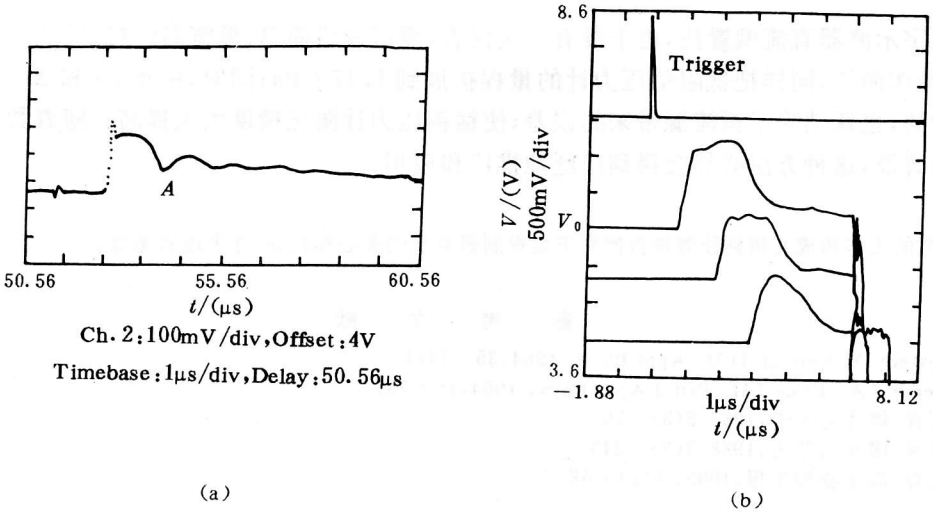
利用数字示波器的直流偏移功能，示波器在较高的垂直灵敏度设置情况下（根据预估的 ΔV 幅度设置示波器灵敏度），把初始 V_0 往下偏移，直到 V_0 的平顶部分落在示波器屏幕的中下部位置，由于 ΔV 在屏幕上占 1/2～3/4 的显示位置，这样就使得 ΔV 得到充分放大，压力信号（特别是低压小信号）的幅度测量精度和分辨率大大提高。

表 1　HP54111D 偏置性能

Table 1　DC offset ability of the HP54111D

Sensitivity/(mV/div)	Offset range/(V)
1～4	±0.2
5～49	±1
50～499	±10
500～5000	±40

数字示波器直流偏移法的另一个主要优点是测量系统响应和带宽，也就是说示波器本身的响应和带宽，对于 HP54111D 最高可达 350MHz，而 TEK DSA602 A 可达 500MHz，这就为精确真实地测量冲击波压力-时间剖面成为可能。图 2 是采用数字示波器直流偏置法记录的压力波形，从中可见压力波形由于得到充分无失真放大，波形干净完整，前沿细节清晰可辨，弹塑性拐点，表示层裂的拐点（图 2(a)中的 A 点）等时域特征都真实地反映出来。



(a)　　(b)

图 2　采用数字示波器直流偏置法记录的压力波形

(a)一种不锈钢材料的层裂信号，(b)冲击波通过多层靶的衰减畸变

Fig. 2　Typical record of the pressure wave with DSO DC-offset

(a)A spalling signal for stainless steel, (b)Attenuation and deformation of the shock wave propagating in multilayer target

3.2　实时测量 V_0

从图 2 中还可以看出，ΔV 压力信号是直接从 V_0 的平顶起跳的，那么 V_0 就可以实时精确地测量出来。这一点很重要，因为由前面提到的压力计算公式可见，要精确测量压力，就必须精确测量 V_0 及 ΔV，前面介绍的几种方法其 V_0 都是动态实验前事先测量的，实验中抵消 V_0，只记录 ΔV，这样 V_0 和 ΔV 在记录时间上不一致，一般认为在恒流源两次放电过程记录的 V_0 是不变的，但实际上由于恒流源内部的稳压电路简单，恒流源的设计原理又决定了其电流为大电容放电的指数衰减波形，只在很短时间内近似“恒定”，并且恒流源内部的放电半导体开关每次闭合时存在的导通电阻，以及恒流源、锰铜压力计和电缆线之间连接器的接触电阻，它们都具有一定程度的随机性，最终导致每次记录的 V_0 不尽相同，其中稳压电路的影响最大，这种差别有时可达 10%，用具有长余辉或无限余辉的数字示

波器来观测 V_0 的这种误差，我们可以看到明显的误差带。

要消除这种误差，第一是需要有一台设计精良的恒流源，优质的电缆及电缆连接器；另外就是实时测量 V_0。动态实验时一台示波器设置成高灵敏度记录 ΔV，另一台精确记录 V_0，在直流偏置法中就用不着浪费示波器的通道资源，仅用一个通道就可以同时高精度记录 V_0 和 ΔV，从而消除了这种误差。

直流偏置法在不增加测试线路复杂性的情况下，同样可以把小阻值压力计的测压量程扩展到 0.2 GPa 左右。以 HP54111D 为例，对于小尺寸小阻值的压力计，设其压阻系数 $K=0.029\ \mathrm{GPa}^{-1}$，那么直流偏置法可测量低至 0.17 GPa 的压力，在大于 0.17 GPa 的压力范围，其测量精度基本上是示波器本身的测量精度。

4 结 论

数字示波器直流偏置法，由于没有二次仪表，测试线路简单，带宽高，对信号的失真最小，且操作简便，同样把低阻值压力计的量程扩展到 0.17 GPa；同时，由于 V_0 和 ΔV 是实时记录的，也就消除了恒流源带来的误差，使锰铜压力计测压精度大大提高。随着数字示波器的普及，这种方法必然会得到广泛地推广和应用。

本文的工作和成文得到汪源浚教授和王金贵副研究员的关心和指导，作者谨致谢意。

参 考 文 献

1 Bernstein D, Keough D D. Appl Phys, 1964,35：1471
2 Fuller P J A, Price J H. Brit J Appl Phys, 1964,15：751
3 池家春. 爆炸与冲击,1983,3(3)：75
4 胡泽根. 爆炸与冲击,1988,8(3)：249
5 施尚春. 高压物理学报,1992, 6(1)：68

A NEW METHOD OF MANGANIN PIEZORESISTANCE MEASUREMENT

Wang Xiang, Fu Qiuwei

(*Laboratory for Shock Wave and Detonation Physics Research, Southwest Institude of Fluid Physics, P.O.Box* 523, *Chengdu* 610003)

ABSTRACT Different techniques in commonly used piezoelectric manganin gauge measurement with constant current supply are briefly discussed, along with their advantages and disadvantages. A new method with higher fidelity and accuracy by using digital oscilloscope is introduced, which can improve not only the accuracy in pressure measurement, but also extend the applicable pressure range for the small-resistance gauge to as low as 0.17 GPa.

KEY WORDS piedzo-effect, Manganin piezoresistance gauge, digital oscillograph.