

一种简便的压阻测压方法

王翔 汪源浚 傅秋卫 王为

(中物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 介绍了用直流电压源和锰铜压力计测量压力的一种方法。该方法的测量电路非常简单, 便于匹配, 与以往传统的脉冲电源供电的测量方法相比, 不仅可省去触发系统, 而且由于流过压力计的电流很小(约20mA), 所产生的派生磁场对样品和飞片的磁化作用减少了两个数量级以上。同时此法也是一种低成本的压力测量方法。

关键词 锰铜压力计 压力测量 直流电压源 脉冲电源

中图法分类号 O348.2

1 引言

目前在冲击波与爆轰波研究领域, 锰铜压力计得到广泛应用。锰铜压力计大体上可分成两种: 一种是静态电阻为 50Ω 左右的双引线压力计, 与之配合工作的是脉冲恒压源供电的桥式测量电路^[1,2]; 另一种是静态电阻为 $0.05\sim 0.5\Omega$ 的低阻抗四引线压力计, 配合工作的是脉冲恒流源^[3,4]。一般前一种压力计用于测量中低压力, 而后一种压力计用于测量20GPa以上的较高压力。

对于低阻抗压力计, 为了提高信噪比以及测量较低的压力, 恒流源供给压力计的电流必须足够大, 一般为 $5\sim 10\text{A}$, 甚至高达 50A ^[5,6]。此时, 一方面为提高测量精度和扩展测量范围, 必须设法抵消静态脉冲电压 V_0 , 文献[4]对这些方法做了介绍(或采用差分测量); 另一方面由于流经压力计的电流较大, 以至于不得不考虑以下事实: 当脉冲电流流过压力计时, 由压力计及其引线所界定的回路将产生脉冲磁场, 当电流为 50A , 周围介质为空气, 则所界定区域中心的磁感应强度约几百高斯。换言之, 当脉冲大电流加在压力计上时, 整个样品(压力计埋入样品中)都处于脉冲磁场之中。不言而喻, 当金属飞片冲击样品时, 必将穿过压力计产生的磁力线, 必然在压力计上感应出相应的感生电动势, 叠加到压力计的输出信号上。若研究的样品是铁或铁磁性材料, 则此感生电动势强度将会更大, 以至于对压力信号形成较强的干扰, 金孝刚等人^[7]在利用锰铜压力计研究镍的力学特性时观测到了这种影响。此外, 在研究冲击压缩下材料的相变(如非导体-导体)及观测材料多波结构时, 由于附加的感应电动势的影响, 使得有些测量结果难以分析。

众所周知, 要使给压力计供电的脉冲(恒压或恒流)电源工作, 必须有一个可靠的触发信号, 以便在受压之前给压力计提供一定时间的脉冲电流。而一旦此触发信号没能给出, 或没有按时给出, 将使整个试验失败。也就是说, 试验的成功率与脉冲电源触发信号的可靠性密切相关。

王翔: 男, 1968年2月生, 助工, 大专。

1998-03-27收到原稿, 1998-05-18收到修改稿。

关。

为了解决上述问题,我们提出一种采用直流恒压源供电的压阻测量方法(以下简称 DC 法),此法不仅能克服上述两种方法的不足,而且测量电路极其简单,试验成功率显著提高,测试成本明显降低。

2 DC 恒压源-压阻测压方法

图 1 为 DC 法的工作原理图,其中 E 为实验室常见的直流恒定电压源(或直接用干电池), R_g 为锰铜压力计初始电阻, R 为匹配/限流电阻,压力信号从 A 点处输出到示波器记录。从图 1 可看出,此测量电路非常简单,只需 3~4 个元件和一根电缆(它既给压力计提供工作电流,又同时传输压力信号)。其等效电路见图 2 所示。

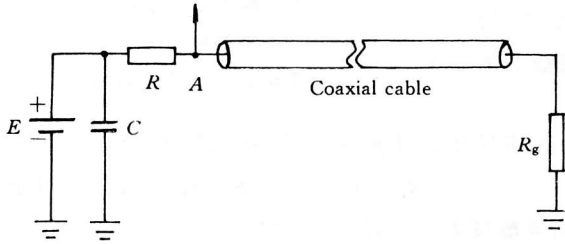


图 1 DC 法测量原理图

Fig. 1 Schematic of DC method circuit

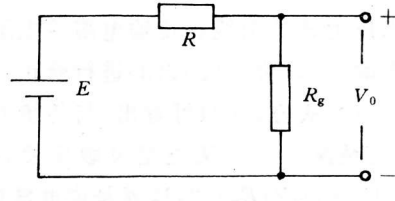


图 2 等效电路图

Fig. 2 Equivalent circuit

此电路实际上是一个简单的分压器,经过计算可得出压力计上的电压变化 ΔV 与压力计电阻值变化 ΔR 之间的关系

$$V_0 = \frac{R_g}{R + R_g} \cdot E \quad (1)$$

则
$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{R}{R + R_g + \Delta R_g} \cdot \frac{\Delta R_g}{R_g} \quad (2)$$

或
$$\frac{\Delta R_g}{R_g} = \frac{R + R_g}{R - (\frac{\Delta V}{V_0})R_g} \cdot \frac{\Delta V}{V_0} \quad (3)$$

在进行压力测量之前,应对所用锰铜压力计进行冲击标定。锰铜的压阻效应一般可用下式表示

$$\frac{\Delta R}{R} = k(\Delta p) \quad (4)$$

式中: k 为压阻系数。用 Rosenberg^[8]的方法进行一系列平面冲击实验,由冲击速度和标准材料的雨贡纽参数计算出冲击压力 Δp ,由示波器记录 ΔV ,并代入(3)、(4)式即可得到压阻系数 k 。

DC 法虽然简单,但在具体应用时应注意以下几个问题:

(1) 图 1 中的 R 应等于信号电缆的传输波阻抗 Z_0 (一般为 50Ω)。电容 C 的选取应满足 $RC \gg \tau$, τ 为待测压力脉冲持续时间,一般为 $5\sim 10\mu s$ 左右。其作用是将电压源的内阻和引线电感交流短路,使得从压力计沿电缆向右看过去,电缆处于匹配状态。

(2) A 点应直接连到示波器的输入端,可用“T”型 BNC 连接器,示波器输入阻抗用高阻 ($1M\Omega$),耦合方式为交流(AC)。这样,电压源的直流电压将不能进入示波器,由于示波器在

AC耦合方式时的输入时间常数较大,一般为几十毫秒,这对于持续时间为 τ 的压力脉冲信号来说,不会带来失真,同时能够充分利用示波器高灵敏度,使压力脉冲测量精度得到提高。

(3) 电压源的电压 E ,在压力计功率允许范围内,尽可能高一些,以增大压力计输出信号幅度,提高信噪比。压力计应选用大阻值双引线结构的量计,一般取 $R_g = R_0$,当 $\Delta R \ll (R + R_g)$ 时,从公式(2)可看出,此时有最高探测灵敏度。图3显示出电压源的电压 E 一定时,压力计初始电阻 R_g 与示波器记录的压力信号 ΔV 的关系。

(4) 在进行压力计的标定或精确测量时,应考虑压力计的引线和传输电缆线电阻及接触电阻的影响,并对公式(2)、(3)进行修正。

(5) 从公式(2)可看出,与传统的恒流源串接压力计测压公式 $\Delta V/V_0 = \Delta R/R_0$ 相比,在相同 V_0 情况下,DC法测量灵敏度要相对低些,当 $R \approx R_g, \Delta R \ll (R + R_g)$ 时,公式(2)可近似为 $\Delta V/V_0 \approx (\Delta R/R_0)/2$,这就是说此法的探测灵敏度是恒流法的二分之一。

3 初步实验结果及讨论

利用DC法,我们测量了冲击压缩下有机玻璃(PMMA)中的冲击压力 p 。实验是在 $\phi 57\text{mm}$ 一级轻气炮上进行的,在这次平面冲击实验中,同时和传统的脉冲恒流法进行了对比。用LY12铝板作飞片,以 728m/s 的速度撞击PMMA靶,实验结果如图4所示。在第一层PMMA-PMMA界面上同时对称放置了两种压力计G1、G2。G1为双引线 50Ω 压力计,采用DC法记录压力历史,电源电压 E 取 3V ,压力计工作电流约为 25mA ;G2为四引线“ Π ”型压力计,初始阻值 0.4Ω ,由脉冲恒流源供电。在第二层PMMA-PMMA界面上又放置了G3,G3和G2属同种压力计。G1、G2、G3均为北京应变计厂的产品,为单面聚酰亚胺(Kapton)基底封装,上面涂上一层绝缘胶,总封装厚度为 $50\mu\text{m}$ 。实验表明,DC法测得的压力与用流体力学理论计算的结果基本相符,说明DC法测量压力是正确可行的,差异源于 50Ω 压力计未经过标定。

从图4中可看出,两者的波形剖面大体是一致的,但还是有一些细节上的不同:G1的压力波形平顶部分较平,冲击-稀疏拐点明显;而G2压力波形在冲击波到达后快速达到某一压力后,接着有明显的爬升;G3波形的的前沿有一“负脉冲”,Z. Rosenberg^[9]认为这个“负脉冲”是PMMA的压电效应对压力计所引起的干扰,因为PMMA在压力为 2.0GPa 左右产生冲击极

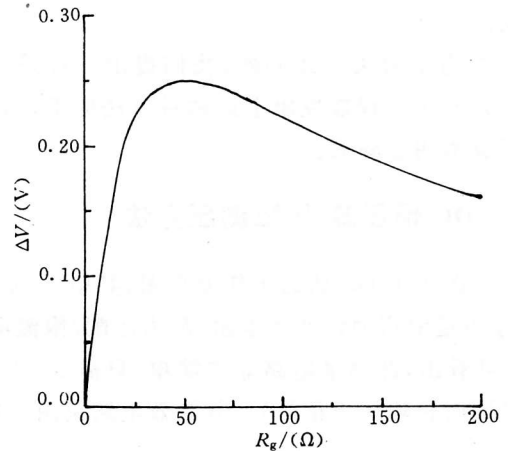


图3 压力计输出 ΔV 与初始电阻 R_g 的关系(电源电压 E 不变)

Fig. 3 The relation of ΔV and R_g

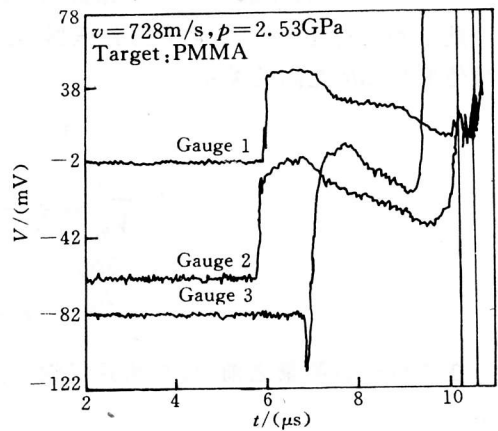


图4 用DC法测得的压力波形

Fig. 4 Pressure waveforms measured in DC method

化效应^[10],更为有趣的是 Kapton 在 2.0GPa 的压力点也出现冲击极化现象^[10],并且 PMMA 和 Kapton 的冲击极化点刚好对应着它们雨贡组曲线的拐点(2.0GPa),我们所使用的两种压力计均用 Kapton 做基底,但同样的情况下 G1、G2 却没有这种现象。因为对比实验只进行了一次,故上述现象还须在今后的实验中进一步研究。

4 结 论

初步对比实验表明,DC 法测量压力具有较多的优点,由于供电线路不需要触发,大大提高了测量可靠性和试验的成功率,因为所需电流极小,使流经压力计的电流所附加的电磁干扰减小了两个数量级。此外,DC 法采用低压电源(也可使用干电池)供电,克服了传统脉冲恒流源因工作电压较高而带来的电子开关设计、通道隔离以及使用和维修安全等问题(如北京理工大学 MH-6 型 9A 脉冲恒流源的工作电压高达 450V),并且测试线路很容易与同轴电缆匹配。特别是,DC 法对多通道压力测量具有明显的优势,是一种简便、可靠和低成本的压力测试方法。

作者在行文期间与吴强、李欣竹、贺红亮等同志进行了有益的讨论,并得到吴强同志的大力支持,在此深表感谢!

参 考 文 献

- 1 Oved Y, Luttwak G, Rosenberg Z. *J Comps mater*, 1978, 12: 84
- 2 胡泽根, 吴光华, 曹述生. 爆炸与冲击, 1988, 8(3): 249
- 3 陈雪芳, 马法成, 张若棋. 爆炸与冲击, 1988, 8(3): 243
- 4 王翔, 傅秋卫. 高压物理学报, 1996, 10(2): 157
- 5 Vantine H C, Chan J, et al. *Rev Sci Instrum*, 1980, 51(1): 116
- 6 王诚洪, 马法成. 爆炸与冲击, 1987, 7(1): 41
- 7 金孝刚. 低压下镍的力学特性及相结构研究. 私人通讯, 1995
- 8 Rosenberg Z, Yaziv D, Partom Y. *J Appl Phys*, 1980, 51(7): 3702
- 9 Rosenberg Z, Ginzburg A. On the Source for Failure of Commercial Manganin Gauges at High Shock Pressures. In: Schmidt S C, Tao W C, ed. *Shock Waves in Condensed Matter-1995*. New York: American Institute of Physics, 1996. 1049~1052
- 10 Sheffield S A, Bloomquist D D. Low Pressure Hugoniot in Polymeric Materials. In: Nellis W J, Seaman L, Graham R A, ed. *Shock Waves in Condensed Matter-1981*. New York: American Institute of Physics, 1982. 57~61

A SIMPLE METHOD FOR MANGANIN PIEZORESISTANCE MEASUREMENT

Wang Xiang, Wang Yuanjun, Fu Qiuwei, Wang Wei

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

ABSTRACT A method for manganin piezoresistance measurement that uses a d. c. power supply is described. This technique is very simple and easy to match. Compared with the conventional technique which uses pulse power supply, it not only omits the trigger system, but also can reduce the electromagnetic disturbance which is caused by the magnetic field derived from the current traversing in the gauge, because the current flowing over the gauge is very weak (about 20mA). Furthermore, the technique is also a low cost method for dynamic pressure measurement.

KEY WORDS manganin stress gauge, stress measurement, d. c. power supply, pulse power supply.