

锰铜压力计在测量中的接地问题^{*}

王 为, 王 翔, 叶素华

(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, 四川绵阳 621900)

摘要: 锰铜压力计是冲击波物理实验研究中重要的传感器之一。对锰铜压力计在冲击压力测量中的“接地”问题进行了分析和讨论。分析和实验表明, 不正确的“接地”会给冲击压力测量带来较大的偏差, 甚至得到畸变的测量结果。

关键词: 锰铜压力传感器; 冲击压力测量; 接地

中图分类号: O521.3

文献标识码: A

1 引 言

早在 20 世纪初, 人们就发现了许多金属材料(包括锰铜)具有压阻特性, Bridgman 等人曾利用锰铜作为压力计测量了流体静压力。20 世纪 50 年代以来, 随着研究工作的不断深入以及动态高压研究工作的开展, 锰铜所具有的压阻灵敏度较高、温度系数很小等优势相对于其它材料凸现出来, 人们陆续将其做成压力计应用于动态高压实验测量中^[1-2]。由于锰铜压力计可以做成既小且薄, 又能较方便地嵌入被测样品材料内部而不明显影响原有压力场的分布, 因此, 锰铜压力计被广泛用于炸药爆轰过程、材料动态响应等相关应力波剖面的测量中^[3-4]。

但是, 相对于石英传感器及 PVDF 等压电式传感器, 锰铜压力计的测量和使用技术相对复杂。由于压阻系数相对较低, 在某些低压测量中锰铜计的输出信号只有数十毫伏, 容易受其它信号源的干扰。同时, 锰铜计测量系统又是一个强干扰源, 由于锰铜计在工作时需要一个强脉冲恒流源为其供电, 电流一般高达 10 A, 甚至达到 50 A^[4-5], 当锰铜计受边侧稀疏波作用引线被剪切或拉断时, 会产生强干扰信号。此外, 在中低压测量时, 锰铜压力计的压阻信号较小, 当其叠加在大的基信号上时, 较难判读, 因而迫使人们采用复杂的电子线路来测量^[6-7]。这样一来, 实际测量中在锰铜压力计的信号上又经常叠加了较大的“噪声”, 多个计在同一系统中进行测量时, 相互之间的干扰也很严重^[8]。在一些测量系统中, 由于恒流源的输出是不能“共地”的, 这时, 不正确的连线或不恰当的“接地”, 就会出现信号前沿变差、幅度异常、极性相反等错误信号。因此, 在使用锰铜压力计时要仔细考虑各个测量环节, 才能获得满意的测量结果。文献[8]中讨论了锰铜计信号的完整性和抗干扰问题, 本工作主要针对锰铜压力计在特定测试系统中的“接地”问题进行分析和讨论, 为正确使用锰铜压力计和解读实验波形提供参考。

2 锰铜压力计测压的基本原理和测试线路

大量的实验研究表明, 在一定的压力范围内, 锰铜压力计的电阻随压力的变化可以表述为

$$p = a + b \frac{\Delta R}{R_0} + c \left(\frac{\Delta R}{R_0} \right)^2 \quad (1)$$

式中: p 表示作用于锰铜压力计上的压力, ΔR 是锰铜敏感元件的电阻变化量, R_0 是其初始电阻, a 、 b 、 c 分别是 3 个实验常数。实际测量中, 在锰铜压力计上施加一恒定电流, 测量锰铜压力计两端的电压变化, 就可以得到相应的电阻变化, 即有

^{*} 收稿日期: 2005-03-16; 修回日期: 2005-07-16

作者简介: 王 为(1973—), 女, 工程师, 主要研究方向为动高压实验光电测试技术, E-mail: ww2492429@126.com

$$\Delta R/R_0 = \Delta V/V_0 \quad (2)$$

式中: V_0 是电阻上的初始电压, ΔV 是锰铜计电阻变化所对应的电压变化量。

锰铜压力计主要有两种:一种是高阻值(约 $50\ \Omega$)的双引线结构的压力计,一般采用桥式测量线路,用于测量 $0.1\sim 10\ \text{GPa}$ 的低压力;另一种是小阻值(约 $0.05\ \Omega$)四引线结构的压力计,用于测量大于 $10\ \text{GPa}$ 的中高压力。小阻值四引线结构的压力计可以有效地减小“高压旁路”效应,故在实际测量中得到大量应用,图1是一个典型的H型小阻值四引线锰铜压力计的测试线路示意图。其工作过程是:同步触发信号按一定的时间提前触发脉冲恒流源,脉冲电流经同轴电缆送到锰铜计的电流输入端,另一端通过同轴电缆接到示波器,记录电流在锰铜计上的电压降信号 V_0 和 ΔV 。

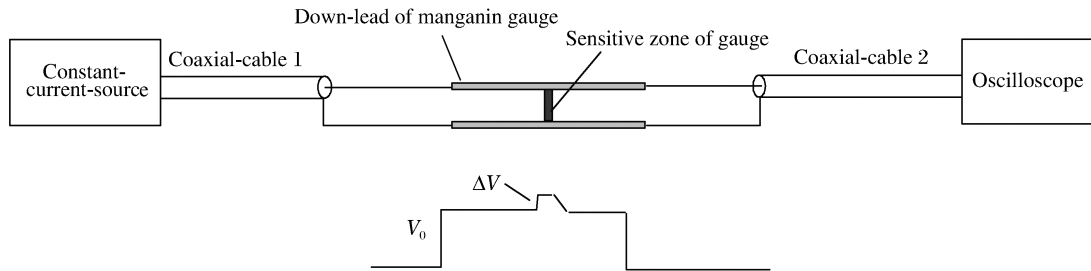


图1 锰铜压力计测试线路及压阻信号示意图

Fig. 1 The sketch of pressure measurement circuitry using manganin gauge and its pressure resistance signal

3 锰铜压阻测试系统的“接地”问题

由于锰铜压阻信号幅度相对较小(数十毫伏),为防止干扰信号,提高实验测试精度,在图1所示的测量系统中,示波器、传输电缆以及实验装置均采用“接地”措施。但是在许多实验中发现,测试系统“接地”后经常出现异常和畸变的信号波形,甚至造成实验失败,这实际上是不恰当的“接地”造成的。

计及线路电阻,图1所示的测试线路其等效电路如图2所示,其中 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 分别是压力计的四根引线电阻,约 $1\ \Omega$;压力计敏感区电阻 $R_g \approx 0.1\ \Omega$; R_L 为电路中的负载,这里是示波器 $50\ \Omega$ 的输入阻抗; I_0 为恒流源输出的脉冲电流; V_0 是示波器记录到的信号电压。在正常情况下,测量时仅将测量线路中示波器一端接地,而恒流供电端悬浮,如图2所示。

当恒流源工作时,电流经 R_2 、 R_g 、 R_1 返回电源,则示波器测得的信号 V_0 为

$$V_0 = i \cdot R_g \quad (3)$$

实测的信号波形见图3,这个信号就是实际测量中的初始电压幅值 V_0 。当脉冲恒流源输出电流为 $10\ \text{A}$ 时, V_0 为 $1\ \text{V}$ 左右,说明测试系统正常。

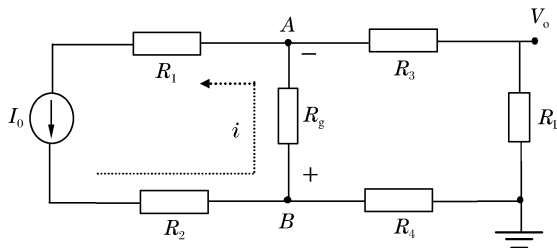


图2 等效电路图

Fig. 2 The sketch of equivalent circuit

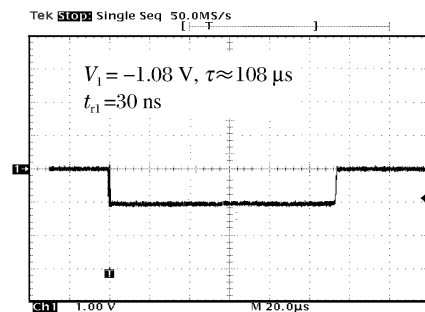


图3 示波器记录的信号波形

Fig. 3 The signal recorded by oscilloscope

当压力计信号电缆与恒流源供电电缆的外皮线短路并出现接地时,测试系统变成如图4所示,实验得到图5(a)所示的初始恒流波形。与前面的情况相比,其波形的幅度增加了十几倍,前沿上升时间由 $40\ \text{ns}$ 增加到 $1.1\ \mu\text{s}$ (此值为示波器自动测量判读波形的前沿上升时间值,下同)。

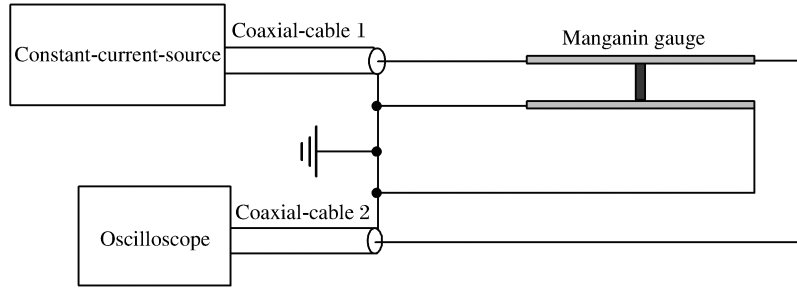
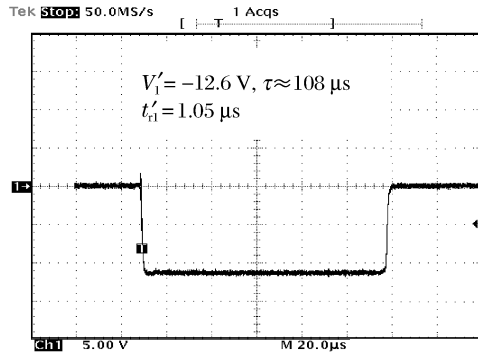
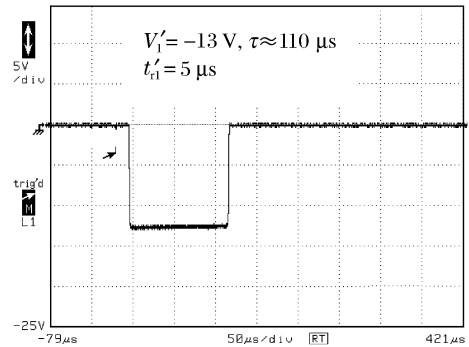


图 4 不正确的测试系统“接地”

Fig. 4 The incorrect “grounding” method of measurement system



(a) Through 2 m length cable



(b) Through 20 m length cable

图 5 实验中错误“接地”时的恒流波形

Fig. 5 The constant-current waveforms under incorrect grounding condition in experiment

实际上图 4 所示的线路可画成如图 6(a)所示的等效电路图。这时示波器测量到的初始电压为

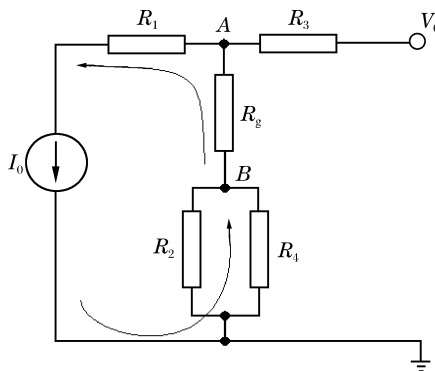
$$V_0 = I_0 \left(\frac{R_2 R_4}{R_2 + R_4} + R_g \right) \quad (4)$$

假设 $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$, (4) 式便可写成

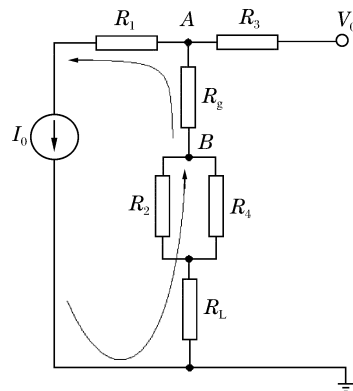
$$V_0 = I_0 (R/2 + R_g) \quad (5)$$

可见,当锰铜计的引线电阻相对于敏感区电阻不可忽略时,将得到错误的测量结果。

同理,恒流源输出端也不可接地,尤其在传输电缆较长时。因为传输电缆的负载电阻(R_L)信号同样会叠加到被测信号中,详情见图 6(b)。



(a) The grounding of manganin gauge's current input end



(b) The grounding of manganin gauge's current output end

图 6 四引线锰铜压力计同相接线可能出现的错误接地线路等效图示

Fig. 6 The equivalent sketch of possible incorrect grounding of 4 down-leads manganin gauge's connection

实际工作中,由于采用细导线接地并与两根同轴电缆连接,电流流过几十米长度的电缆线的电阻和电感效应不可忽略。所以公式(5)中的 R 应当还包括一部分接地引线的电阻,所以示波器观测到的初始电压值要比正常情况下的大一些;另一方面,考虑到引线电感效应,初始电流波形的前沿也会比正常情况下的缓慢,见图5(b),静态模拟动态实验情况,信号通过20 m电缆传输后,由于系统引入引线的电感效应,信号上升前沿时间由40 ns增加到约5 μ s。比较图3和图5,上述两种效应均得到证实。

此外,四引线锰铜压力计测试系统还可能采用图7所示的交叉连接方式,这时候更要杜绝恒流源端接地。图8所示是可能出现的错误接地后所对应的等效电路图。图9是四引线锰铜压力计交叉接线时正确和错误“接地”后所对应的初始电压波形。

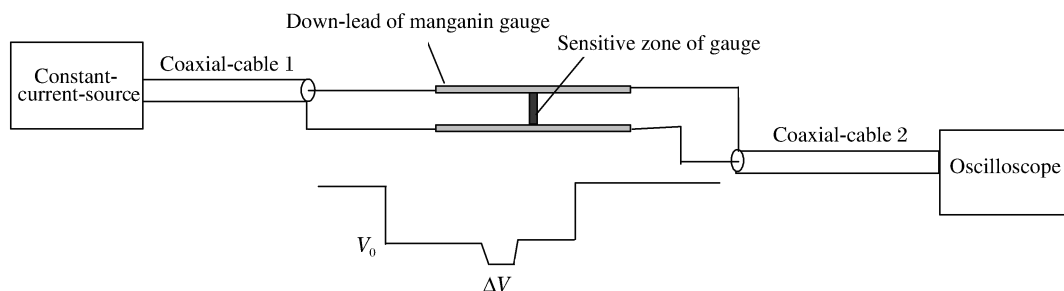
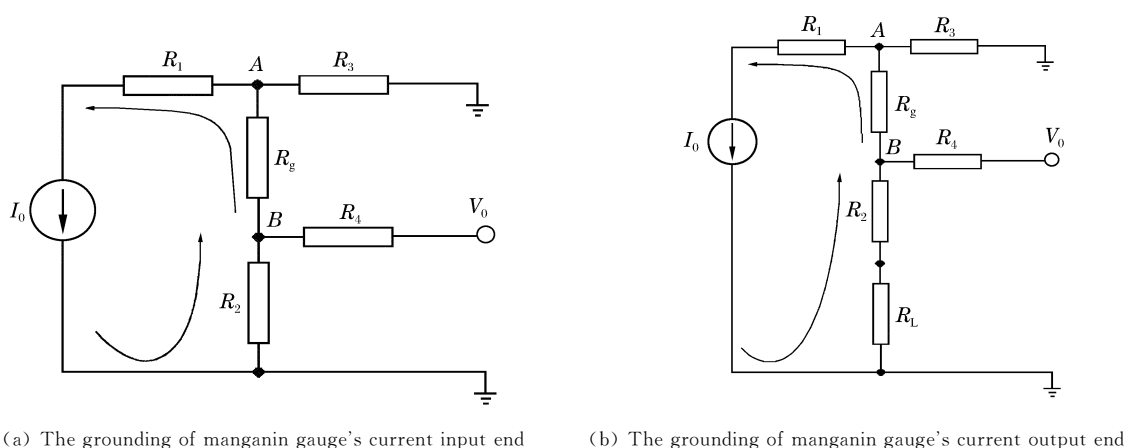


图7 四引线锰铜压力计交叉接线测试系统

Fig. 7 The sketch of 4 down-leads manganin gauge's crossed connection

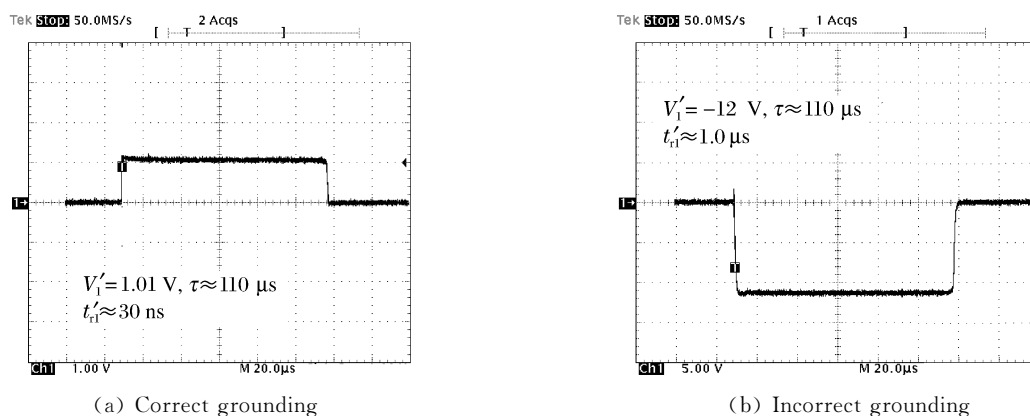


(a) The grounding of manganin gauge's current input end

(b) The grounding of manganin gauge's current output end

图8 四引线锰铜压力计交叉接线可能出现的错误接地线路等效图示

Fig. 8 The equivalent sketch of possible incorrect grounding of 4 down-leads manganin gauge's crossed connection



(a) Correct grounding

(b) Incorrect grounding

图9 正确“接地”和错误“接地”时的初始电压波形

Fig. 9 The initial voltage waveforms of correct and incorrect grounding situation

4 讨论与结论

以上分别讨论了锰铜压力计在实验中的两种接线方式,及其它们错误“接地”带来的结果,并通过静态实验得到了证实。实验结果表明:

(1) 锰铜压力计在测试系统中只有正确接线和正确“接地”时,才能得到真实的信号和达到抗干扰的效果。

(2) 不论哪种接线方式,若“接地”错误,得到的信号电压幅值叠加了锰铜压力计引线电阻的电压信号。如果锰铜压力计引线电阻较大(如北京红星应变计厂生产的四引线锰铜计,其引线电阻约 $1\ \Omega$,比敏感区有效电阻大 10 倍),将会造成初始电压较大的测量误差。因此在设计锰铜计结构时,要尽量减小引线电阻,如在锰铜引线上镀一层铜或银。

(3) “接地”错误还将导致信号波形的上升前沿变慢,随着电缆长度的增加,这种影响会越发严重,很可能对信号的物理解读带来歧异的理解。

总之,在进行电子测量实验时,在进行系统“接地”处理过程中要持谨慎态度,同时可以通过测量和判读实验前锰铜压力计静态的初始电压幅度来判断计的“接地”是否正确,以避免造成测试系统的错误,从而进一步提高实验的成功率。

References:

- [1] Hu Z G, Wu G H, Cao Sh Sh. A Manganin Gauge Used in Gas Gun [J]. *Explosion and Shock Waves*, 1988, 8(3): 249-254. (in Chinese)
胡泽根, 吴光华, 曹述生. 气炮用锰铜应力计 [J]. *爆炸与冲击*, 1988, 8(3): 249-254.
- [2] Sun Ch W, Wei Y Zh, Zhou Zh K. *Applied Detonation Physics* [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2000. (in Chinese)
孙承伟, 卫玉章, 周之奎. *应用爆炸物理* [M]. 北京: 国防工业出版社, 2000.
- [3] 穆哈迈德·苏塞斯卡. 炸药测试方法 [M]. 邵英斌, 译. 绵阳: 中国工程物理研究院流体物理研究所, 1998.
- [4] Wang X, Fu Q W. A New Method of Manganin Piezoresistance Measurement [J]. *Chinese Journal of High Pressure Physics*, 1996, 10(2): 157-160. (in Chinese)
王 翔, 傅秋卫. 一种锰铜压阻测量新方法 [J]. *高压物理学报*, 1996, 10(2): 157-160.
- [5] Wang X, Wang Y J, Fu Q W, et al. A Simple Method for Manganin Piezoresistance Measurement [J]. *Chinese Journal of High Pressure Physics*, 1998, 12(3): 236-240. (in Chinese)
王 翔, 汪源浚, 傅秋卫, 等. 一种简便的压阻测压方法 [J]. *高压物理学报*, 1998, 12(3): 236-240.
- [6] Peng K Y, Duan Zh P, Huang Zh P. A New Technique of Range Expansion for the Lower Resistance Manganin Piezoresistors—Double Constant Current Piezoresistance [J]. *ACTA Armamentar*, 1998, 19(1): 80-82. (in Chinese)
彭昆雅, 段卓平, 黄正平. 低阻值锰铜压阻计量程扩展新技术——双恒流压阻法 [J]. *兵工学报*, 1998, 19(1): 80-82.
- [7] Urtiew P A, Forbes J W, Tarver C M. Calibration of Manganin Pressure Gauges at 250 °C [A]//*Shock Compression of Condensed Matter-1999* [C]. New York: AIP, 1999: 1019-1022.
- [8] Greenwood D, Forbes J, Garcia F. Improvements in the Signal Fidelity of the Manganin Stress Gauge [A]//*Shock Compression of Condensed Matter-2001* [C]. New York: AIP, 2001: 1157-1159.
- [9] Duan Zh P, Guan Zh Y, Huang Zh P. High Resistance Foil-Like Manganin Gauge Design and Dynamic Calibration for Lower Shock Pressure Measurement [J]. *Explosion and Shock Wave*, 2002, 22(2): 169-173. (in Chinese)
段卓平, 关智勇, 黄正平. 箔式高阻值低压锰铜压阻应力计的设计及动态标定 [J]. *爆炸与冲击*, 2002, 22(2): 169-173.

The Grounding Problem in the Measurement with Manganin Pressure Gauge

WANG Wei, WANG Xiang, YE Su-Hua

(Laboratory for Shock Wave and Detonation Physics Research,
Institute of Fluid Physics, CAEP, Mianyang 621900, China)

Abstract: The manganin pressure gauge is one of the most used sensors in shock wave physics experiments. The grounding problem for the measurement of shock pressure by manganin gauge is stated and discussed in this paper. The analysis and experiments show that the incorrect grounding methods will bring large error in the measurement of shock pressure or even abnormal profiles.

Key words: manganin piezoresistance gauge; stress measurement; grounding