

YM-2膜式镱应力传感器 及其动态压阻特性*

陈雪芳 马法成 张若棋

(国防科技大学)

摘要 本文介绍了用纯度为99.95%的镱作原料,采用真空蒸发、沉积方式制成的低应力传感器。用 $\phi 100$ mm压缩气体炮为加载手段,在0~3.4 GPa压力范围内对镱应力传感器进行了标定。

关键词 镱应力传感器, 应力, 压阻特性。

1. 引言

随着科学技术的发展,人们越来越关心材料在低应力作用下的动态特性。1970年,Keough首先建议用镱制作传感器,因镱在压应力作用下,电阻有一个非常大的正变化,这是锰铜、碳等材料所不及的。由于镱的这种特性,提供了测量低应力脉冲的可能性。Smith C. W.等^[1]在1971年制成了镱应力传感器,并用它测得了在岩石中应力-时间剖面。

1985年,我们参考文献[2,3]用纯度为99.95%、厚度为0.07 mm的镱箔制成初始电阻为 0.2Ω 的应力传感器,成功地测得了有机玻璃中的冲击波压力剖面(图1)。为有效地测得材料在低压下的动态特性,必须增大输出讯号的幅度,提高测试精度。为此,要设法增大镱应力传感器的初始电阻,减小传感器的厚度。1985年底我们着手研制成蒸发沉积式(膜式)镱应力传感器,并对该传感器进行了动态标定。它具有比镱箔大得多的初始电阻,同时厚度大大地减小,这就有高的信噪比,快的脉冲上升前沿。1986年以后,我们用这种传感器测出了有机玻璃和碳酚醛材料中的冲击波压力剖面(图2和图3),还测量了岩石、铁、铝中的冲击波压力,都取得了满意的结果。



图1 箔式镱应力传感器电阻相对变化波形图 $2 \mu\text{s}/\text{div}, 50\text{mV}/\text{div}$

2. 传感器结构

采用纯度为99.95%的稀土金属镱为原料,按技术要求严格消除金属表面氧化物,采用真空蒸发沉积工艺,在已蒸镀好的铜电极上蒸镀上镱,然后覆盖保护层。用厚度为0.05 mm的聚脂薄膜作为传感器基片,FS-203 A胶为粘接剂,采用工字型四端引线结构(图2)。

*本文曾于1987年8月全国第二次高速冲击动力学会议上宣读过。

1988年4月6日收到原稿。

我们用的阻值在 $(2 \sim 5) \Omega$ 之间, 传感器总封装厚度为 0.15 mm 。

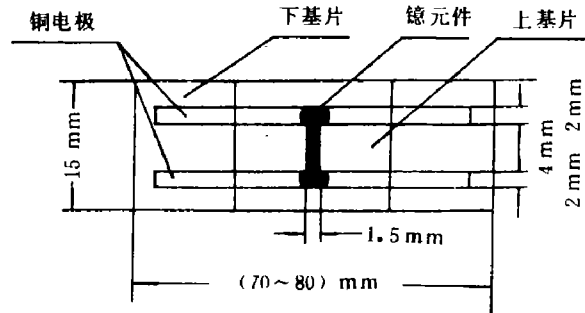


图2 镱应力传感器结构图

金属镱在空气中极易氧化, 为验证镱应力传感器经长期存放后, 是否有因氧化而改变阻值的情况发生, 我们对传感器进行抽样老化实验, 其结果见表1。由表1可见, 传感器存放340天后阻值仍然稳定, 这说明在制作中采用的保护措施是有效的。

表1 传感器阻值随时间变化表 单位 Ω

传感器编号	存放天数				
	1	3	7	9	340
2-12	3.032	3.032	3.017	3.022	3.169
2-13	3.467	3.339	3.430	3.407	3.481
2-10	3.139	3.156	3.132	3.100	3.064
3-11	3.494	3.464	3.472	3.428	3.524
3-12	3.831	3.822	3.794	3.751	3.913
4-13	1.219	4.197	4.196	4.171	4.180

3. YM-2膜式镱应力传感器的动态标定

在 $0 \sim 3.9 \text{ GPa}$ 压力范围内对镱应力传感器进行了标定。用 $\phi 100 \text{ mm}$ 压缩气体炮作为加载手段, 利用已知雨贡纽参数的材料作为靶板, 把镱应力传感器封装在靶板中, 在对称碰撞条件下, 测出弹丸击靶时的速度, 就可算出靶中峰值应力值, 从而求出 $\sigma(t) \sim (\Delta R/R_0)(t)$ 曲线。

$\phi 100 \text{ mm}$ 压缩气体炮其弹速范围为 $5 \sim 500 \text{ m/s}$, 弹速重复性误差 $\leq \pm 5\%$, 碰撞倾斜角 $< 0.7 \text{ m rad}$, 炮管真空度在真空机组停机一分钟内保持在 1 Pa 量级内。根据所需弹速, 分别采用铝弹、塑料弹和木弹。采用具有单次扫描功能, 有足够频响的示波器记录传感器的 $(\Delta V/V_0)(t)$ 波形, 用计数器测定弹速。

测试装置图如图3所示。图中靶和飞片材料均为有机玻璃(或LY-12铝), 靶的尺寸为 $\phi 135 \times 6 \text{ mm}$, 飞片尺寸视需要而定, 一般为 $\phi 100 \times 7 \text{ mm}$ 。靶和飞片的雨贡纽参数见表2。a、b、c、d为测量弹丸碰撞靶时端面不平度电探针; e、f为测弹丸击靶时速度电探针; g为测量弹丸速度及平齐度公用接地探针; (h,i)和(j,k)为二组仪器触发探针。靶板后

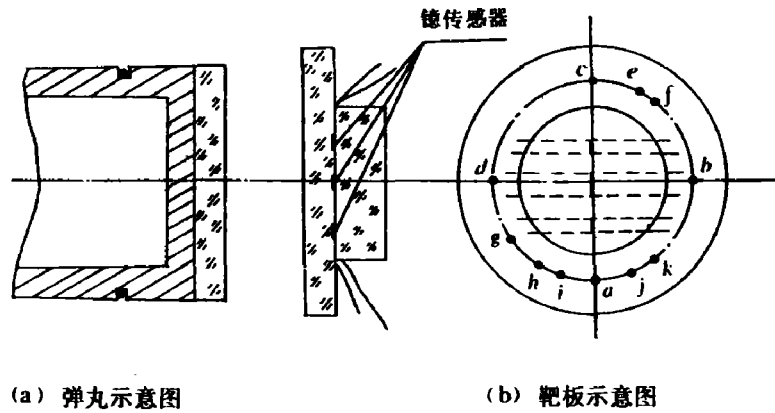


图3 测试装置示意图

表2 有关材料的雨贡纽参数^[4]

材 料	ρ_0 (g/cm ³)	C_0 (mm/ μ s)	λ
有机玻璃	1.180	2.52	1.36
Ly-12铝	2.790	5.44	1.28

表面 $\phi 60$ mm 范围内布置三个镲应力传感器, 可在同一个压力点得到三个数据。传感器用914胶粘在靶板和同材料的压块之间。

在标定中, 采用恒流供电, 通过测量传感器上的电压相对变化来确定其电阻的相对变化的。测试系统由图4给出。标定用的PR-2脉冲恒流电源是专门为低压测试而研制的, 具体线路由参考文献[5]给出。

在 $0 \sim 3.4$ GPa 应力范围内镲应力传感器标定曲线形式为

$$0 < \sigma < 0.5 \text{ GPa}$$

$$\sigma = 2.642 \left[1 - e^{-9.825 (\Delta R / R_0)} \right] + 8.231 \left(\frac{\Delta R}{R_0} \right)$$

均方根误差为0.0057 GPa

$$0.5 < \sigma < 3.4 \text{ GPa}$$

$$\sigma = 2.529 + 9.187 \left(\frac{\Delta R}{R_0} \right) + 0.792 \left(\frac{\Delta R}{R_0} \right)^2 - 0.114 \left(\frac{\Delta R}{R_0} \right)^3$$

均方根误差为0.0309 GPa

式中 R_0 为传感器的初始电阻, ΔR 为传感器受压后电阻的改变量。图5给出了标定曲线, 为了比较起见, 图中同时给出了Keough D. D.^[3]的标定曲线, Keough标定的压力范围为 $0 < \sigma < 3.9$ GPa。在低压段, 两曲线接近。在较高压力下, 两曲线则差别较大。这是由于我们采用的原料和文献[3]中不同, 另外, 两者虽然都是蒸发沉积工艺, 但具体制造过程有差别, 所得的结果就会有较大的差异。可见, 镲应力传感器的压阻特性明显地和原料纯度、加工工艺封装等因素有关。

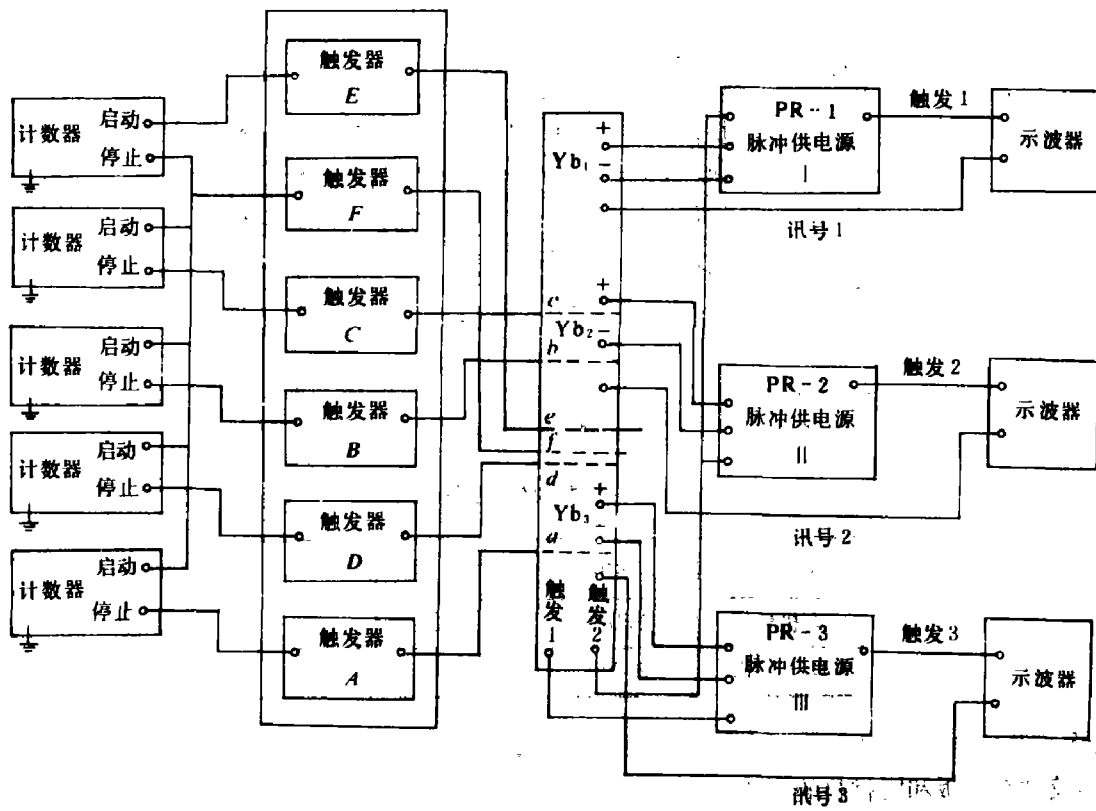


图4 测试系统方框图

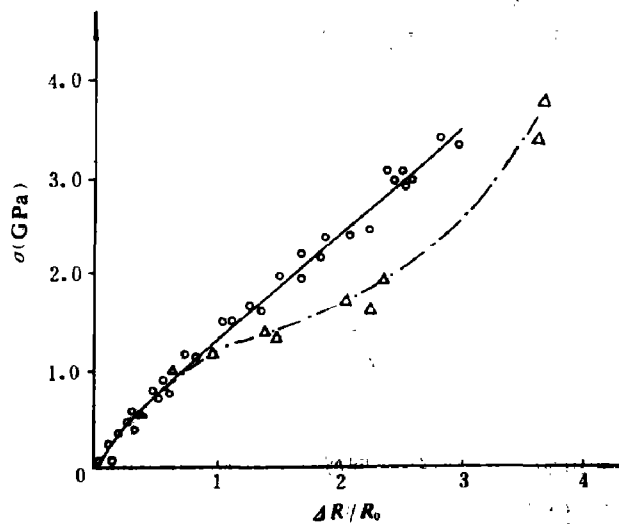


图5 镓应力传感器动态标定曲线

— 本文标定曲线 ○ 本文实验数据
 - - - 文献[3]标定曲线 △ 文献实验数据

图6 给出了不同峰值应力下，传感器电阻的相对变化值的实验波形图。从图中可以看

出应力脉冲波形上升前沿陡峭、传感器动态响应时间 $10^{-8} \sim 10^{-7}$ s。

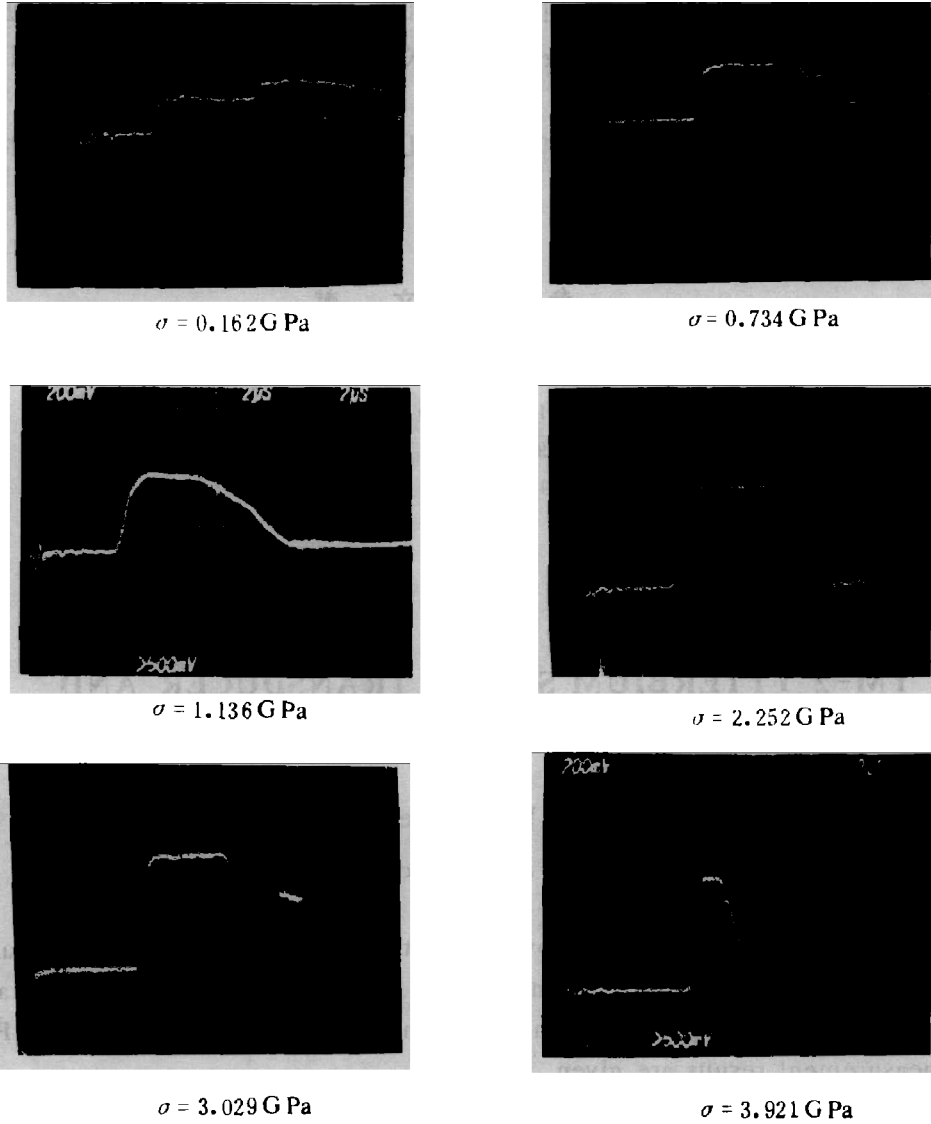


图6 不同峰值应力下的传感器电阻相对变化

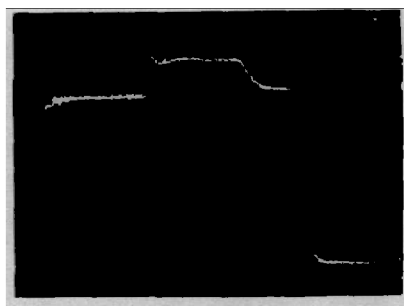


图 7
(靶板为有机玻璃)

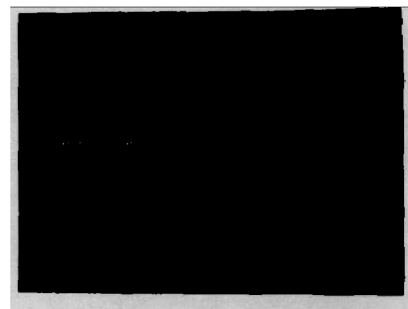


图 8
(靶板为有机玻璃)

标定实验中,我们回收了部分传感器。图7给出了封装在两层0.2 mm厚的玻璃纤维片中,在冲击加载($\sigma = 0.48 \text{ GPa}$)后回收,再次加载($\sigma = 0.435 \text{ GPa}$)时的压阻波形。为了比较起见,图8给出了在同样封装条件下第一次加载($\sigma = 0.48 \text{ GPa}$)时的压阻波形。

参加本工作的还有唐森、徐渊。对洛阳89002部队信礼田等,电子工业部熊兴帮等同志的支持和帮助表示感谢。

参 考 文 献

- [1] Smith, C.W., AD-740146 (1972) .
- [2] Ginsberg, Michael J. et al., AD-A010262 (1973) .
- [3] Keough, Douglas D., AD-612491 (1965) .
- [4] 89002部队,几种材料的冲击压缩特性(1984) .
- [5] 马法成等,爆炸与冲击,5(4)(1985),74.

YM-2 YTTERBIUM STRESS TRANSDUCER AND ITS PIEZORESISTANCE BEHAVIOR

Chen Xuefang Ma Facheng Zhang Ruoqi

(National University of Defense Science and Technology)

ABSTRACT A type of ytterbium low-stress transducer is reported in this paper. It is made by the vapor-deposited technique with 99.95% pure ytterbium. We calibrated it using a $\phi 100 \text{ mm}$ barrel diameter air gas gun in the range from 0 to 3.4 GPa and some measurement results are given

KEY WORDS ytterbium stress transducer, stress, piezoresistance characteristics .