

1 GPa 压力脉冲发生器的研究及锰铜压阻 技术在低压宽脉冲测量中的应用

刘仓理 谢庆海
(西南流体物理研究所)

摘要 本文阐述了新研究的一种在甘油介质中可产生 0 ~ 1 GPa 压力宽脉冲的加载装置, 以及用于该装置测量的相应锰铜计测试系统。同时对锰铜计在 1 GPa 以下的压阻系数进行了动态标定。实验结果表明, 所研制的装置可产生脉宽 10 微秒以内, 压力脉值为 0 ~ 1 GPa 的脉冲, 与理论设计基本相符。

关键词 压力脉冲发生器 锰铜计 传感器

1. 前言

在各种膛压传感器的应用中, 首先碰到的问题是对压力传感器如何进行动态标定。对于 0.1 GPa 以下的测压传感器, 一般采用击波管进行动态标定, 但对于 0.1 GPa 以上的压力传感器, 激波管就无法对其进行动态标定, 而且激波管由于平台时间有限 (小于 ms 量级) 所标定的频响在低频区不确定。因而需要研制一种对大于 0.1 GPa 的压力传感器进行动态标定的系统。目前, 国内外对这个问题仍未彻底解决, 因而, 影响了测压传感器的应用与发展。

太原机械学院潘德恒, 路宏年^[1]教授等就高压传感器的动态标定提出了一种“准 δ 函数脉冲校准系统响应”理论。这种理论对动加载装置提出了较严格的要求: 在液体介质中所产生的加载波应能满足准 δ 函数定义要求, 波形延缓时间应在 10 微秒以内, 而且在此加载波之后的几百微秒内不能有另外的加载波存在; 在动加载过程中对待标传感器有较可靠的保护措施; 用其它高频响传感器对加载波形进行监测。按照以上要求, 我们设计了相应的加载装置和测试系统。实验结果表明, 理论设计是成功的。同时, 对测试系统中使用的锰铜计在 1 GPa 以下的压阻系数进行了动态标定。结果表明, 所研制的测试系统是可靠的。

2. 装置的设计方案

所设计的压力脉冲发生器装置的原理如图 1 所示。它是利用高压气体推动弹丸运动, 当弹丸前端的一级冲击平板撞击由重轻两种材料组成的组合冲击平板时, 组合冲击平板被分离, 其二级轻冲击平板以高于弹丸撞击速度撞击挡板下面的无水甘油, 二级冲击平板的飞行速度与材料有关。由于选用的二级冲击平板的冲击阻抗与无水甘油的冲击阻抗相近, 且固定待标传感器的高阻抗材料在冲击波传播方向采用发射形设计, 故在甘油中形成一单峰压力脉冲。压力脉冲的宽度取决于二级冲击平板及甘油层的厚度和物性参数 (有关具体计算在后面详述)。同时, 由于采用了重轻组合分离平板系统, 既降低了对弹丸发射系统的要求, 又完全阻挡了弹丸的运动, 使二级冲击平板撞击甘油后以一定的速度反弹, 这样确保了待标定传感器

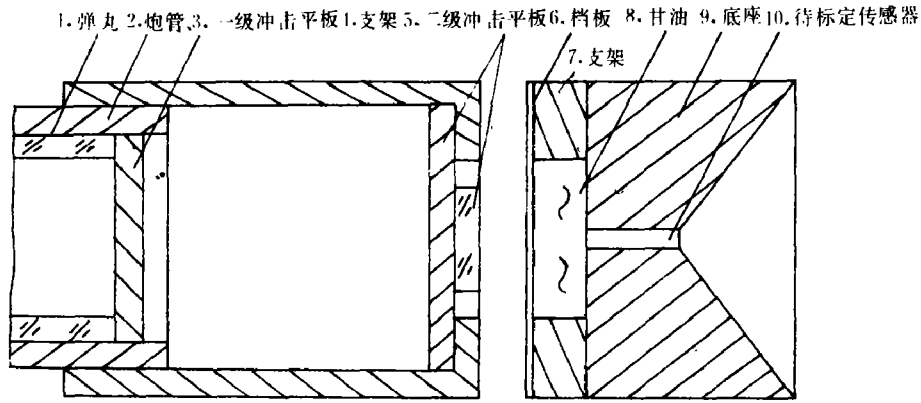


图1 压力脉冲发生器原理图

Fig. 1 The scheme of pressure-pulse generator

1. Projectile; 2. Gun; 3. The first shock plate; 4. Support; 5. The second shock plates; 6. Shield; 7. Support; 8. Glycerine; 9. Back seat; 10. The transducer

的安全。有关参数的设计分析如下:

(1) 二级冲击平板的增速率

为了能在发射能力较小的炮上利用轻材料平板在无水甘油中产生 1 GPa 的压力, 设计了重-重-轻的组合冲击平板系统, 利用文献 [2] 中的计算公式

$$\frac{v}{v_0} = \frac{2 m_1}{m_1 + m_2} \quad (1)$$

式中, v 和 v_0 分别为轻重平板的飞行速度, m_2 和 m_1 分别为轻重平板的质量。

由 (1) 式可以看出, 为了提高 v/v_0 的值, 就必需增大 m_1 , 减小 m_2 , 但往往 m_1 和 m_2 的选择受其它条件的限制。我们在设计中, 选择的理论增速率为 1.7, 考虑到其它因素的影响, 计算时取 $v/v_0 = 1.5$ 。

(2) 无水甘油介质中应力峰值的计算

选用有机玻璃为二级轻冲击平板, 其雨贡纽关系为 $D_2 = c_2 + \lambda u$, 密度为 ρ_2 , 厚度为 h_2 。无水甘油的雨贡纽关系为 $D_3 = c_3 + \lambda_3 u$, 密度为 ρ_3 , 厚度为 h_3 。并设二级轻平板的飞行速度为 v , 则甘油中的冲击波峰值压力为

$$\left. \begin{aligned} p_1 &= \rho_3 D_3 u_3 \\ u_3 &= \frac{1}{(2\lambda_2 - 2\lambda_3 \frac{\rho_1}{\rho_2})} \left\{ (c_2 + 2\lambda_2 v + \frac{\rho_3}{\rho_2} c_3) - [(c_2 + 2\lambda_2 v + \frac{\rho_3}{\rho_2} c_3)^2 - 4(\lambda_2 - \frac{\rho_3}{\rho_2} \lambda_3)(c_2 v + \lambda_2 v^2)]^{1/2} \right\} \end{aligned} \right\} (2)$$

当冲击波传播到无水甘油与待标传感器 (钢) 的交界面时, 由于无水甘油的冲击阻抗低于钢的冲击阻抗, 则此冲击波在钢表面向甘油中反射一冲击波, 反射冲击波的强度为

$$\left. \begin{aligned} p_r &= F p_i \\ F &= (1-n) / (1+n) \\ n &= (\rho_1 D_2) / (\rho_2 c_1) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

式中 p_r 为反射冲击波强度, F 为反射系数, ρ_1 和 c_1 为钢密度和弹性波速度。

冲击波反射后, 无水甘油介质内的最终压力为

$$\left. \begin{aligned} p_{top} &= p_i + p_r = (1+F) p_i \\ p_{top} &= \frac{2 p_i}{1+R} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

利用上述公式, 可计算出 $p_{top} \sim v$ 曲线如图 2 所示。

(3) 压力波形及宽度

对图 1 所示装置, 二级冲击平板击靶后平板和甘油中的波系图如图 3 所示

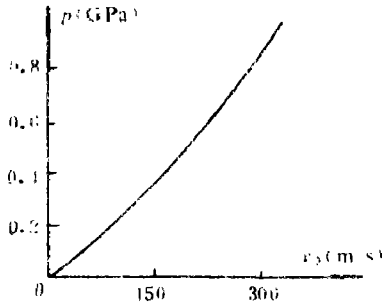


图 2 $p_{top} \sim v$ 曲线
Fig. 2 $p_{top} \sim v$ curve

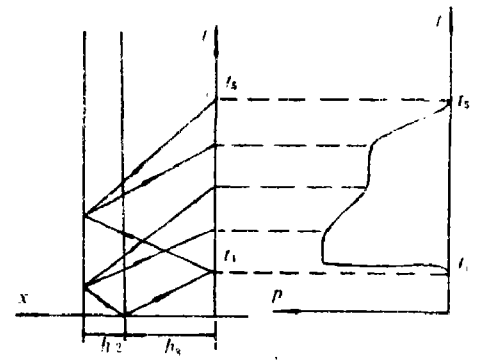


图 3 波系及波形图
Fig. 3 The wave and wave shape

在图 3 中, t_1 和 t_5 分别为脉冲压力的起始时刻和终了时刻, 它们可由下式计算

$$\left. \begin{aligned} t_1 &= h_3 / D_3 \\ t_5 &= 2t_1 + h_2 / D_2 + h_3 / c_2' + h_3 / c_3' \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

式中, c_2' 为有机玻璃中的零压声速, c_3' 为甘油中的零压声速。

由 (5) 式可得出压力脉冲的总宽度为

$$\Delta t = h_2 (D_2 + c_2') / (D_2 c_2') + h_3 (D_3 + c_3') / (D_3 c_3') \quad (6)$$

利用上式计算得到的 $\Delta t \sim p_i$ 曲线如图 4 所示。

由以上理论分析和计算结果可以看出, 图 1 所示的脉冲压力发生器装置所产生的压力脉冲可以达到原设计要求。

3. 测试系统

为了实现长时间监测无水甘油中的压力历史, 选用锰铜计做为测压传感器, 但首先需要解决弱信号的传输问题及锰铜计在 1 GPa 以下压阻系数的标定。基于测试要求, 对已有测试系统

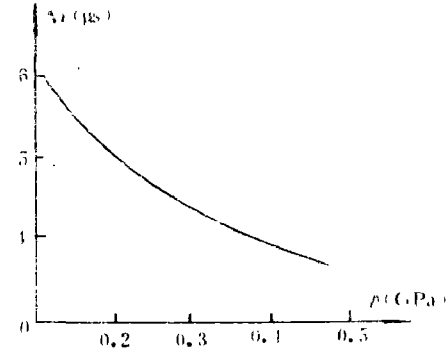


图 4 $\Delta t \sim p_i$ 曲线
Fig. 4 $\Delta t \sim p_i$ curve

做了如下改变: 供电时间由原有的 400 μs 加长到 1200 μs; 压力讯号采用高灵敏度传输系统, 对供电电流提高到 5.5 A 左右; 对记录仪器采用相应的抗干扰措施。经实验验证, 采用以上措施后, 测试系统满足了实际要求。实验所用的测试方框图如图 5 所示。

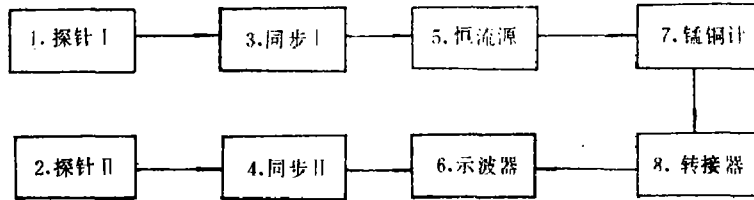


图 5

Fig. 5

1. Probe I; 2. Probe II; 3. Synchronism I; 4. Synchronism II;
5. Galvanostatic source; 6. Oscillograph; 7. Manganin gauge;
8. Transducer

实验中所使用的锰铜计仅标定了 2 ~ 18 GPa 范围内的压力, 而本工作所测量的范围还未进行标定。为了能较精确的测量压力值, 对锰铜计在 0.3 ~ 1 GPa 范围内的压力进行了初步标定。标定是在一门小炮上进行的, 采用对称碰撞, 并用激光测速系统测量弹丸的碰撞速度, 利用电探针和锰铜计的起跳测量材料中的冲击波速度, 由实验结果和下述关系可确定出锰铜计的压阻系数 α

$$\left. \begin{aligned} u &= U_0 / 2 \\ D &= h / \Delta t \\ \rho &= \rho_0 Du \\ \alpha &= \frac{\Delta V}{\rho V_0} \end{aligned} \right\} (7)$$

式中, U_0 为弹丸速度, h 为样品厚度, Δt 为冲击波走时, ρ_0 为材料密度, V_0 和 ΔV 为锰铜计的初始电压和受压后电压变化值。

实验测得的典型锰铜计压力示波图如图 6 所示。

对实验测得的锰铜计在 0.3 ~ 1 GPa 范围内的压阻系数为

$$\alpha = 2.42 \times 10^{-1} \pm 0.05 \times 10^{-1} \text{ (GPa}^{-1}\text{)}$$

4. 实验结果

根据图 1 所示装置设计, 太原机械学院设计并制作了发生器并与测试系统进行了联机调试, 实验结果表明, 压力脉冲发生器的设计和所研制的测试系统是成功的。

示波器记录的锰铜计压力信号如图 7 所示。

利用本系统, 对 Kistler 传感器进行了动态标定, 图 8 为其传感器输出讯号, 图 9 为此

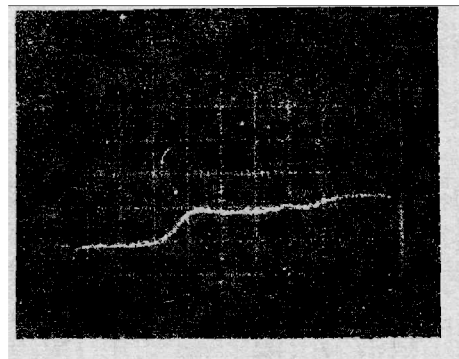
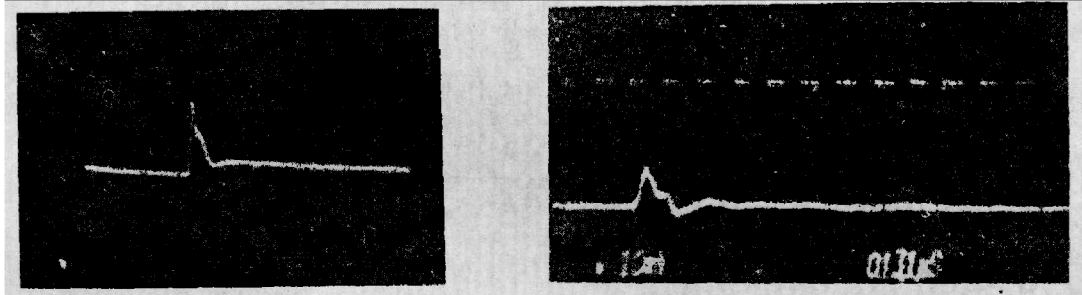


图 6. 锰铜计压力讯号

Fig. 6 Record of the manganin gauge



垂直灵敏度10 mV, 扫速10 μ s
 (a) $p_{max} = 0.82$ GPa, $\Delta t = 5 \mu$ s
 垂直灵敏度10 mV, 扫速5 μ s
 (b) $p_{max} = 0.25$ GPa, $\Delta t = 8 \mu$ s

图 7 锰铜计讯号
 Fig 7 Record of the manganin gauge

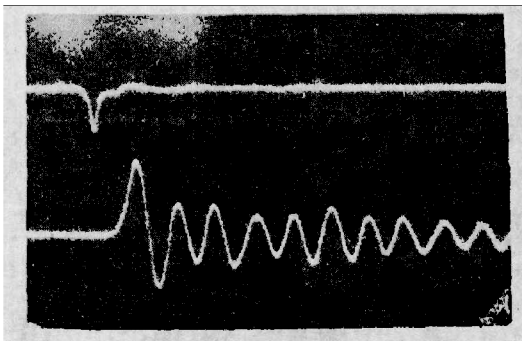


图 8 Kistler 传感器输出讯号
 Fig. 8 Record of the Kistler transducer

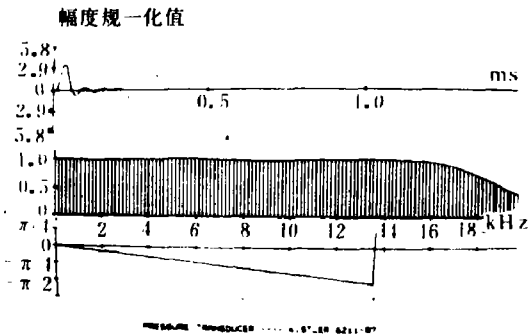


图 9 Kistler 传感器幅频特性
 Fig. 9 Amplitude-frequency characteristics of the Kistler transducer

传感器的幅频特性。

5. 结 语

本系统的研制成功为膛压传感器的动态标定提供了一种加载手段。

发生器的机械设计和制造由太原机械学院路宏年教授主持, 调试工作在太原机械学院进行, 得到了潘德恒, 路宏年教授的指导, 图 8、图 9 是由太原机械学院提供, 张万甲副研究员指导了本项工作, 锰铜计的标定得到了西南材料与结构研究所乐同培等同志的帮助, 在此表示感谢

参 考 文 献

[1] 路宏年, 私人通信, 1988.
 [2] 经福谦等著, 实验物态方程导引, 科学出版社, (1987), 150.

STUDIES ON THE 1 GPa PRESSURE-PULSE GENERATOR AND THE MEASURING SYSTEM UNDER LOWER AND WIDER PRESSURE RANGE

Liu Cangli, Xie qinghai

(Southwest Institute of Fluid Physics)

ABSTRACT The loading system that could generate 1 GPa pressure-pulse in glycerine was reported in this paper. The measuring system used in this set-up was reported also. The pressure-resistance coefficient of the manganin gauge was calibrated dynamically between 0.3~1 GPa. The experimental results showed that the loading set-up generated a single-pulse with 0~10 μ s width and an amplitude of 0~1 GPa. The results were very similar to the calculated in this paper.

Using the set-up, the amplitude-frequency characteristics of the Kistler transducer, was obtained.

KEY WORDS generator, manganin gauge, transducer.