

文章编号: 1672-8785(2008)12-0015-03

爆轰产物温度测量技术研究

崔文丽¹ 韩 焱² 郭亚丽²

(1. 中北大学理学院, 山西 太原 030051;

2. 中北大学信息与通讯工程学院, 山西 太原 030051)

摘 要: 为了对冲击压缩下介质和爆轰产物的温度进行测量, 本文选择光学法作为测温方法。根据光学测温原理, 介绍了如何在实验中用高温计实现爆轰产物温度的测量。通过对实验和理论所得到的炸药爆轰产物温度分布曲线进行比较, 验证了该方法的可行性。

关键词: 光学测温; 比色法; 光学高温计

中图分类号: O433 **文献标识码:** A

Research on Detonation Temperature Measurement

CUI Wen-li¹, HAN Yan², GUO Ya-li²

(1. School of Science, North University of China, Taiyuan 030051, China;

2. School of Information and Communication Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: In order to measure the temperature of the medium and detonation products under impact and compression conditions, an optical measurement method is chosen in this paper. According to the principle of optical temperature measurement, how to use a pyrometer to measure the temperature of detonation products in experiment is described. Through the comparison of the temperature distribution curves of detonation products obtained in experiment with the theoretical ones, the feasibility of this method is verified.

Key words: optical temperature measurement; colorimetry; optical pyrometer

1 引言

为了研究起爆过程中炸药向爆轰产物的转化、反应能量的释放以及化学反应的速率, 我们希望能同时测量冲击压缩及反应状态下炸药或爆轰产物的压力和温度。但是, 通常意义下的炸药或爆轰产物的物态方程都不以温度为自变量, 而仅仅是力学方程组封闭所要求的关系式。要想对持续时间短、反应速度快的爆轰过程进行温度测量, 其合理途径是采用光学方法。为

了达到准确测量的目的, 本文将主要从传感器的选用以及如何用光学法进行测量方面进行研究。

2 光学测温原理

光学测温^[1]方法较多, 如: 谱线相对强度法、比色法、亮温法、辐射温度法、光谱线的多普勒和斯托克效应增宽法等等。对于爆炸研究领域待测辐射体为微秒至纳秒量级的脉冲光源来说, 可采用比色法。

收稿日期: 2008-09-01

基金项目: 山西省自然科学基金资助项目(2007012003)

作者简介: 崔文丽(1980—), 女, 山西阳泉人, 硕士, 研究方向为工程应用物理研究。

比色法是一种发射光谱学方法。该法根据热辐射理论, 通过将被测光源一定波长的辐射强度与标准光源的辐射强度进行比较, 来得到被测光源的温度。普朗克公式给出的黑体和灰体辐射的强度分布关系式为

$$I(\lambda, T) = \varepsilon(\lambda, T) C_1 \lambda^{-5} [\exp(C_2/\lambda T) - 1]^{-1} \quad (1)$$

若 $\exp(C_2/\lambda T) \gg 1$, 则式 (1) 可简化为维恩辐射定律:

$$I(\lambda, T) = \varepsilon(\lambda, T) C_1 \lambda^{-5} \exp(-C_2/\lambda T) \equiv \varepsilon J(\lambda, T) \quad (2)$$

3 硬件选择及数据处理方法研究

3.1 光学高温计的选择

利用比色法可以对爆轰产物的温度进行测量, 那么在实验中如何实现? 利用光学高温计可以解决这个问题。光学高温计的光电转换接收系统可把辐射强度转换为接收系统的电压信号, 电压信号 V 与辐射强度的关系为

$$V = KI(\lambda, T) \quad (3)$$

式中, 常数 K 与波长、传输损耗、干涉滤光片透过率等因素有关, 与温度无关, 可通过定标实验来确定。将待测光源与标准光源的辐射强度进行比较, 可得:

$$\frac{V}{V_0} = \frac{I(\lambda, T)}{I_0(\lambda, T)} = \frac{\varepsilon(\lambda, T)}{\varepsilon_0(\lambda, T)} \exp \left[\frac{C_2}{\lambda} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (4)$$

式中, T_0 为标准光源温度, $\varepsilon_0(\lambda, T_0)$ 为标准光源发射率。

现将上式两端取对数:

$$\begin{aligned} \ln \left(\frac{V}{V_0} \right) &= \ln \frac{I(\lambda, T)}{I_0(\lambda, T)} \\ &= \ln \frac{\varepsilon(\lambda, T)}{\varepsilon_0(\lambda, T)} + \frac{C_2}{\lambda} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right) \end{aligned} \quad (5)$$

利用几种波长数值进行实验, 做出 $\ln(V/V_0) - \lambda^{-1}$ 曲线, 若待测光源的光谱符合黑体或灰体辐射分布, 做出的曲线应是一条直线, 其斜率为

$$\tan \Phi = C_2 \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right) \quad (6)$$

截距为 $\ln[\varepsilon(\lambda, T)/\varepsilon_0(\lambda, T)]$, 只要画出式 (5) 的曲线, 就可通过式 (6) 计算出待测光源的温度 T 。

由于单色高温计一次实验只能测量一个波长的辐射强度, 而要得到一条直线至少需做两次不同波长的实验, 但仅靠控制实验条件几乎不可能得到完全重复的结果, 所以为了减少测量系统的误差以及多次试验引起的随机误差, 可使用多通道光学高温计。

3.2 多通道光学高温计的数据处理方法研究

目前高温计有二、四、六通道等三种。由于双通道光学高温计只有在已知或假定待测光源发射率 ε 的条件下, 才能测量其温度, 而多通道高温计不但可以获取准确的温度数据, 而且还能得到爆轰产物的瞬时发射率, 所以可采用多通道高温计的数据处理方法^[2]进行研究。

现设 n 个通道的工作波长分别为 $\lambda_i (i = 1, 2, \dots, n)$, 对应于 λ_i 的真实辐射强度应为式 (2) 描述的 $I(\lambda_i, T)$, 记相应波长辐射强度的测量值为 I_i , 两者之残差假定为 Δ_i ,

$$\varepsilon J(\lambda_i, T) - I_i + \Delta_i = 0 \quad (7)$$

这里, $I(\lambda_i, T) = \varepsilon J(\lambda_i, T)$, 利用最小二乘法求解 ε 、 T , 因为

$$\frac{\partial}{\partial \varepsilon} \left(\sum_{i=1}^n \Delta_i^2 \right) = 0 \quad (8)$$

$$\frac{\partial}{\partial T} \left(\sum_{i=1}^n \Delta_i^2 \right) = 0 \quad (9)$$

可得:

$$\varepsilon = \frac{\sum_{i=1}^n I_i J(\lambda_i, T)}{\sum_{i=1}^n J^2(\lambda_i, T)} \quad (10)$$

$$\varepsilon = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i^{-1} I_i J(\lambda_i, T)}{\sum_{i=1}^n \lambda_i^{-1} J^2(\lambda_i, T)} \quad (11)$$

将两式迭代求解, 即得 ε 和 T 值。

3.3 实验方法研究

图 1 为实验装置与测试系统的示意图, 该系统的设计依据^[3]是红外辐射测温技术的基本原理, 采用光学系统成像并接收辐射能量, 然后用

光电探测器将光信号转换成电信号, 再将该信号传送给处理电路, 经计算即可得到物体表面的温度分布。在实验^[4]中, 多通道高温计可通过光纤采集传输光能量, 光电转换元件可选用高灵敏度光电倍增管, 其型号根据待测光源的发射光谱范围决定, 工作波长由干涉滤光片控制。且光纤要与待测光源直接耦合, 这样可确保传输光信号的可靠性。为了保护光纤, 其探头应尽量不与被测样品接触, 最好安装在爆炸室或燃烧室壁的窗口上。另外, 还应将爆炸室或燃烧室抽成真空, 这样可消除空气冲击波辐射所造成的干扰。

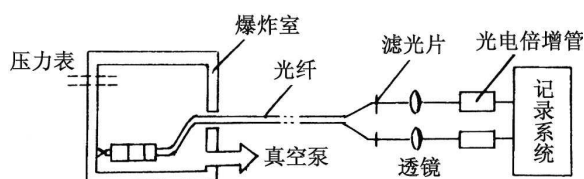


图 1 实验装置与测试系统示意图

利用上述实验装置得到的 TNT 爆炸产物的光辐射强度记录图如图 2 所示。

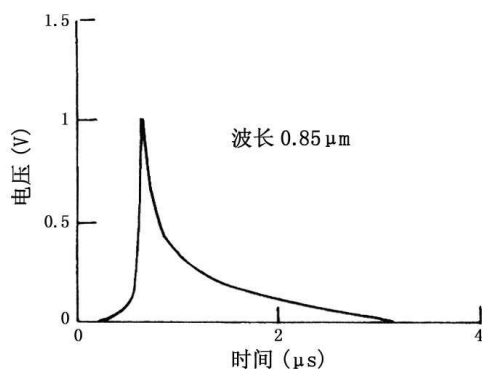


图 2 TNT 炸药爆炸产物的光辐射强度

对图 2 进行处理, 可得 TNT 炸药爆轰产物的温度分布曲线 (如图 3 所示)。

由图 3 可知, 在同一波长条件下, 对于爆轰产物的温度随时间变化的规律, 通过计算所得

到的曲线与实验测量所得到的曲线基本吻合, 从而验证了该实验方法的可行性。

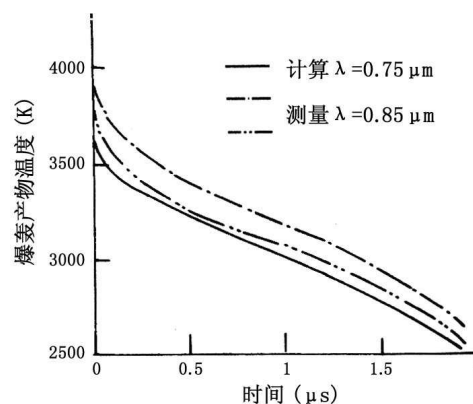


图 3 TNT 炸药爆轰产物的温度变化图

4 结论

依据比色测温原理, 通过测量爆轰产物的温度, 基本上得到了温度随时间变化的分布曲线。使用多通道高温计进行测温并用最小二乘法处理数据, 得到的结果与实验结果基本接近, 证明上述方法可以满足爆轰产物温度测量的要求, 但也存在一些问题需要解决, 比如爆轰中的炸药和产物是一个时空分布的瞬态温度场, 某些部分可能是非平衡的, 把它等效成一个单温的黑体或灰体, 并且不考虑光辐射在通过未反应炸药、气体产物、周围介质和传输介质 (窗口、光纤等) 之后的谱分布, 在理论上可能有些简化。今后应进一步加强测温精度方面的研究。

参考文献

- [1] 王魁汉, 李友, 王柏忠. 温度测量技术的最新动态及特殊与实用测温技术 [J]. 自动化仪表, 2001, 22(8): 1-7.
- [2] 孙晓刚, 李成伟, 戴景民, 等. 多光谱辐射测温理论综述 [J]. 计量学报, 2002, 23(4): 248-250.
- [3] 彭利军, 杨坤涛, 章秀华. 光学测温技术中的物理原理 [J]. 红外, 2006, 27(10): 1-4.
- [4] 曹柏林, 杨鸿. 辐射测温计数的应用研究 [J]. 天津理工大学学报, 1998, 14(2): 56-58.