文章编号: 1000-5773(2006)03-0327-04

激光状态方程实验数据在线处理程序的开发及应用*

舒 桦,傅思祖,黄秀光,马民勋,顾 援

(上海激光等离子体研究所,高功率激光物理联合实验室,上海 201800)

摘要:主要介绍一套用于提高激光状态方程实验数据处理效率的程序,该数据处理程序减少了手工处理方法引入的人为因素的影响,减小了随机误差,大大提高了数据处理效率,并可以实现实验数据的在线处理。

关键词:激光状态方程;数据处理;阻抗匹配;冲击波

中图分类号: O521.3;TN24 **文献标识码**:A

1 引 言

在激光状态方程实验中,由于高功率激光器具有重复运行的特点,在一天中可以进行多发次(约10 发次)的实验,一轮实验中总计会形成几十到上百幅实验图像,而每一发次的实验图像都必须进行多点、多区域的统计计算,如用手工处理,效率非常低且容易出错,因此,有必要开发研制一套实验数据的在线处理程序,以便在实验现场实现记录图像的快速处理和测量数据的即时计算。更为重要的是,通过在线程序可以在现场即时地给出处理结果,因而能及时发现实验中所存在的问题,并可以通过及时改变或优化各种实验条件,有效地引导下一发次实验的顺利进行,从而提高实验成功率,降低研究成本,对于激光状态方程这类基础性实验研究而言,这一点是极为有益的。

2 在线处理程序开发

2.1 程序处理对象介绍

程序处理对象是实验记录到的靶背冲击发光图像,它是一幅与靶结构相对应的数字化图像。以阻抗匹配靶为例,图 1(a)和图 1(b)分别给出了靶结构示意图和相应的发光图像[1-2],图像在水平方向上是空间分辨的,在垂直方向上是时间分辨的,图像中包含了冲击波脱出靶基底面和两个台阶面的时间信息。

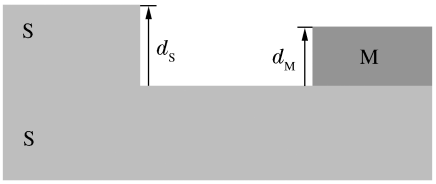


图 1(a) 阻抗匹配靶示意图(S 表示标准材料,M 表示待测材料)

Fig. 1(a) Sketch map of impedance-match target (S is standard material, M is test sample)

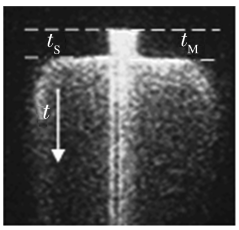


图 1(b) 阻抗匹配实验图像

Fig. 1(b) Shock break-out signal

* **收稿日期**: 2005-05-28; **修回日期**: 2005-07-28

作者简介: 舒 桦(1979—),男,硕士研究生,主要从事激光状态方程研究.
E-mail: shuhua_79@hotmail.com

如何快速而又准确地确定冲击波脱出靶背面的时刻是非常重要的，该时刻选用的是冲击发光为峰值强度 50%的点，具体通过内插法来求得，其精度可以达到亚像素水平。根据辐射强度-时间分布图(如图 2 所示)可知，其前沿陡峭、轮廓清晰易识别，而峰值部分不清晰(其噪声区域可长达几皮秒至几十皮秒)，选用强度 50%点对误差影响比较小[3-4]。

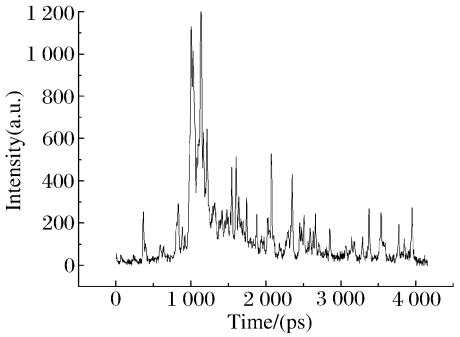


图 2 辐射发光轮廓图

Fig. 2 Sketch map of radioluminescence

进一步，通过在空间方向上进行多点的统计平均计算后，就可确定冲击波在两台阶中的度越时间 t_S、t_M，根据已知的台阶厚度 d_S 和 d_M，就能够分别推算出标准材料和待测材料中的冲击波速度 D_S 和 D_M

$$D_S = d_S/t_S, \quad D_M = d_M/t_M \tag{1}$$

为了更高效地开发程序，采用基于 windows 操作系统的编程软件 Delphi 作为开发平台，采用 Delphi的脚本语言开发，程序具有很好的人机对话界面，操作简便。

程序结构如图 3 所示，它由 4 部分组成：(1) 原始数据输入部分，将实验记录文件写入到内存；(2) 程序的核心——原始数据处理模块，确定冲击波脱出靶背面的时刻；(3) 状态参量计算模块，其根据阻抗匹配原理[5-6]，并结合模块二的计算结果，求出待测材料的参数(冲击波压力 p、波后粒子速度 u)，同时给出各个物理量的不确定度；(4) 数据的存储和输出模块，它把计算结果写入到特定的数据库(数据库还存储了标准材料的数据，以供实验数据进行比对)。

程序部分界面如图 4 所示，界面包括程序的功能菜单、常用快捷键、原始记录图像及其计算结果。

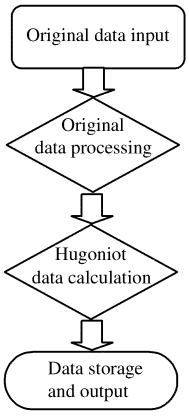


图 3 程序结构

Fig. 3 Program structure

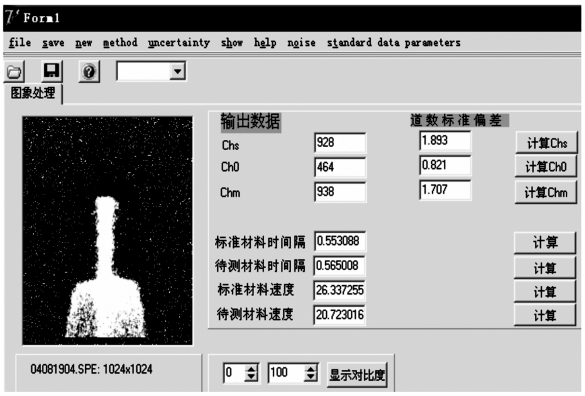


图 4 程序界面

Fig. 4 Program interface

2.2 程序处理的原则

原始数据处理部分是该程序的核心部分，也是处理过程中工作量最大的部分，该过程处理结果的好坏直接影响到数据结果的精度，因此需要根据激光状态方程实验数据处理本身的特点，编写相应的算法。

在信噪比比较好的情况下，冲击波辐射发光轮廓如图 2 所示，它有一个很明显的上升区域，该上升区一般约 60 ps，且没有双峰叠加。因此，在这种情况下只需要输入一些判定条件(冲击波脱出靶面的参考时间、采样道数和采样数据个数)，程序就能通过上升区域的大小及上升区域和辐射发光的峰值位置关系，准确找到真正的上升前沿，并根据前面所说的时间确定方法，求出冲击波脱出靶背面的时刻。

2.3　程序处理结果的存储及输出

实验数据处理完后需要进行归档存储,数据可以直接以文本的形式输出,也可以保存在程序的 experimental.db 数据库中,因此,实现数据的输出和写入是很方便的。并且在该数据库中还存储了一个比较全面的国内外理论计算及实验测量给出的材料状态数据,可随时调用,并可与本程序的处理结果同时输出到一幅状态曲线图上,这样,可以很便捷直观地进行数据比对,并给出二者间的偏离程度等,图 5给出了实验数据和理论计算的对比图。

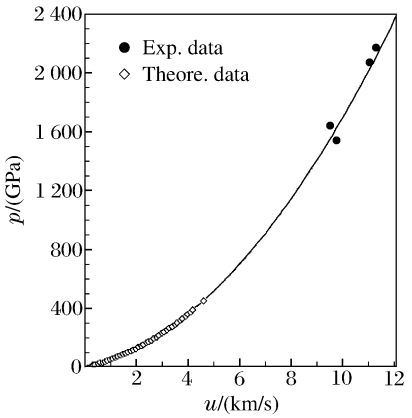


图 5　理论数据和实验数据的比较图

Fig. 5　Comparison of theoretical data and experimental data

3　程序性能测试

为了验证程序的可信度,用该程序对结构较为复杂的阻抗匹配靶实验图像进行了处理,并和手工处理结果进行了对比。在处理中对基底和二台阶面分别取 20 个数据,且取数的空间区域完全相同,两种处理结果(程序处理和手动处理结果)如图 6 所示。进一步给出了各状态参量的计算结果及其不确定度的对比数据,结果如表 1 所示。可以看出两种处理结果得到的冲击波脱出靶背面时刻点的一致性非常好。但是,一般情况下手工处理这样一幅图像需要约 60 min,而程序处理只需要约 2 min,因此,利用该程序处理实验数据可使工作效率大大提高。

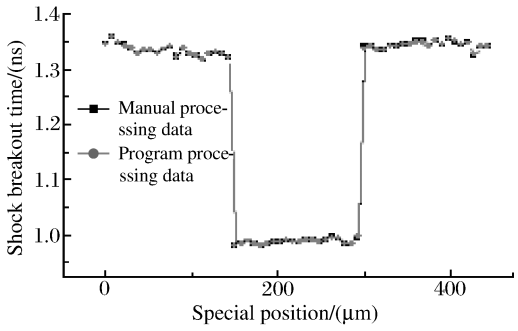


图 6　两种处理结果一致性比较图

Fig. 6　Comparison of two kinds of processing means

表 1　待测材料状态参量及其不确定度对比表

Table 1　Comparison of sample Hugoniot data and their uncertainties

p_M/(TPa)		Δp_M/(TPa)		D_M/(km/s)		ΔD_M/(km/s)		u_M/(km/s)		Δu_M/(km/s)	
Manual processing	Program processing	Manual processing	Program processing	Manual processing	Program processing	Manual processing	Program processing	Manual processing	Program processing	Manual processing	Program processing
141.310 0	141.291 9	8.726 4	8.709 1	17.934	17.935	0.559	0.558	8.820	8.818	0.549	0.548

4　结　论

该程序能系统地处理激光状态方程实验数据,比原来的手动处理大大提高了效率,通过大量的数据处理结果可以看出,该程序的性能是让人满意的。不足的地方是,对信噪比较差的实验数据处理还有一定的问题,要解决这一问题,需要有合理的算法。

References:

[1]　Gu Y, Ni Y L, Wang Y G, et al. Experimental Observation of Laser Driven High Pressure Shock Waves [J]. Acta Physica Sinica, 1988, 37(10): 1690-1693. (in Chinese)

顾　援,倪元龙,王勇刚,等.激光驱动高压冲击波的实验观察 [J].物理学报,1988,37(10):1690-1693.

[2] Fu S Z, Gu Y, Wu J. et al. Laser-Driven Shock Stability in Al and Shock Compressibilities of Fe up to 0.8 TPa and SiO_2 up to 0.4 TPa [J]. Phys Plasmas, 1995, 2(9): 3461-3465.

[3] Montgomery D S, Lerche R A, Laumann C W, et al. Evaluating the Accuracy of Optical-Streak-Camera Sweep Rates Using Uncertain Data [J]. Rev Sci Instrum, 1992, 63(10): 4322-4326.

[4] Rothman S D, Evans A M, Horsfield C J, et al. Impedance Match Equation of State Experiments Using Indirectly Laser-Driven Multimegabar Shocks [J]. Phys Plasmas, 2002, 9(5): 1721-1733.

[5] Ma M X, Gu Y. Problem about Error in Impedance-Match Experiment [J]. Chinese Journal of High Pressure Physics, 1991, 5(2): 150-153. (in Chinese)
马民勋, 顾 援. 阻抗匹配实验中的误差问题 [J]. 高压物理学报, 1991, 5(2): 150-153.

[6] Jing F Q. Introduction to Experimental Equation of State [M]. Beijing: Science Press, 1988: 83. (in Chinese)
经福谦. 实验物态方程导引 [M]. 北京: 科学出版社, 1988: 83.

A on-Line Program to Process Laser Equation of State Experimental Data

SHU Hua, FU Si-Zu, HUANG Xiu-Guang, MA Min-Xun, GU Yuan

(*National Laboratory on High Power Laser and Physics, Shanghai Institute of Laser Plasma, Shanghai* 201800, *China*)

Abstract: A on-line program which can process laser equation of state experimental data more effectively has been developed. The processing program can decrease random error due to manual process, and it can process data much more effectively and process experimental data on-line.

Key words: laser equation of state; data processing; impedance-match; shock wave