

测量射流质量、速度、动能分布的图象处理方法*

吴 蕾

(西南流体物理研究所, 成都 610003)

摘 要 1989年研制了一套图象处理程序,利用闪光X射线照相拍摄的射流底片图象,可给出射流质量、速度、动能沿射流前进方向的分布数据。以石油射孔弹为例,给出了射流上述特征参数,同时,还给出了射流的“速度——质量(百分点)”实验数据,该结果与理论数值模拟结果比较,相符较好。

关键词 射流,闪光X射线摄影,图象处理

1 引 言

射流破甲过程是一个非常复杂的二维过程,其中包括射流产生和射流侵彻两个接连发生的过程。在这两个过程中,与时间、空间关联的3个主要射流特征量:射流质量分布、速度分布、动能分布很难通过实验测定,过去一直没有找到很好的方法。理论计算可给出射流的“速度——质量(百分点)”综合特征曲线数据,但尚无人对其进行过测量。由于过去不能把射流产生和射流侵彻两个过程分开,很难将理论计算与实验对照进行研究,从而给理论研究增加了许多难度。本图象处理方法要以2台时间关联差动的闪光X射线设备为条件,采用时间关联差动的2张射流闪光X射线照相底片为原始图象。用计算机控制的微光密度计对原始图象数字化,然后,进行下述图象预处理和射流特征量图象处理。

2 图象预处理

理论分析和许多实验结果^[1~3]均说明,X射线照相底片图象的净光密度 $(D - D_b)$ 与曝辐的照射量 (H) 成线性关系,即

$$(D - D_b) = kH \quad (1)$$

式中 D 为底片上照射量为 H 处的光密度值, D_b 为底片本底($H=0$ 处)光密度值, k 为与底片、增感屏、冲洗条件和X射线束的能谱特性有关的一个常量。光子能量为单能的平行X射线束穿透物质时的衰减规律为

$$H = H_0 \exp[-\mu \rho d] \quad (2)$$

式中, H_0 和 H 分别为X射线束穿透厚度为 d 的物质之前和衰减之后的照射量, ρ 为物质的体密度, μ 为质量衰减系数。当X射线束为准单色或能谱不甚宽时,式(1)、(2)依然成立,这时 μ 为等效单能质量衰减系数^[2]。

设照相的X射线摄影场是均匀的,透视物的质量厚度分布(即面密度)为 $m(x, y)$,其中 x, y 为垂直于X射线束的坐标系(象和物已换算为相同坐标)。

$$m(x, y) = [\rho d]_{(x, y)} \quad (3)$$

根据式(1)和(2),式(3)可表示为

$$m(x, y) = \{\ln(kH_0) - \ln[D(x, y) - D_b]\} / \mu \quad (4)$$

式中 $D(x, y)$ 为透视物X射线照相原始光密度图象。将数字化后的原始图象作降噪预处理,然后作背景清零处理,可得到净光密度图象

$$D_{\#}(x, y) = D(x, y) - D_b \quad (5)$$

将 $D_{\#}(x, y)$ 图象作自然对数图象变换,所获图象用

* 本文的研究工作在吴世法老师指导下完成,文中射流闪光X射线照相底片由马松合、邵乃林、李方远、郜玉栋等老师提供。图象数字化有刘瑞根同志协同完成。对上述各位的指导、协作、帮助在此一并表示衷心感谢。

$[\ln D_{\#}]_{(x,y)}$ 表示。根据式(4)它与 $m(x,y)$ 的关系可表示如下

$$\mu \cdot m(x,y) = (\ln k H_0) - [\ln D_{\#}]_{(x,y)} \quad (6)$$

上述物 $m(x,y)$ 和象 $[\ln D_{\#}]_{(x,y)}$ 关系式中存在 2 个常数量 μ 和 $(\ln k H_0)$ ，它们是与实验条件有关的 2 个未知常量，可以通过下述定标方法给出。

设在闪光 X 射线照相实验的同时，放置材料与透视物相同(即 μ 相同)、面积适当、密度均匀、厚度分别为 d_1 和 d_2 (已知)的 2 块定标样品，将定标样品图象拍摄在透视物图象同一底片上，因而定标样品的物： $\mu \rho d_1$ 和 $\mu \rho d_2$ 与其相应的象 $[\ln D_{\#}]_1$ 和 $[\ln D_{\#}]_2$ 也完全符合式(6)。将实测的和已知的 ρd_1 、 $[\ln D_{\#}]_1$ 和 ρd_2 、 $[\ln D_{\#}]_2$ 两组数据分别代入式(6)可得联立方程，从中即可解出 μ 和 $\ln k H_0$ 2 个未知常量。将此两常量代入式(6)，即可用 $[\ln D_{\#}]$ 进行处理产生出 $m(x,y)$ 图象。

2 测量射流质量、速度、动能分布的图象处理方法

设 2 台闪光 X 光机的差动时间为 $\Delta t = t_2 - t_1$ ，可获得 2 幅不同时刻的射流图象。以某有杵石油射孔弹为例， $t_1 = 35 \mu s$ ， $t_2 = 39.8 \mu s$ 。经图象预处理后，该两时刻射流质量厚度图象 $m_1(x,y)$ 和 $m_2(x,y)$ 分别示于图 1 中的上图和下图，该 2 幅射流图象原分别照在不同底片上，图 1 已将它们的空间关联坐标的原点统一了。

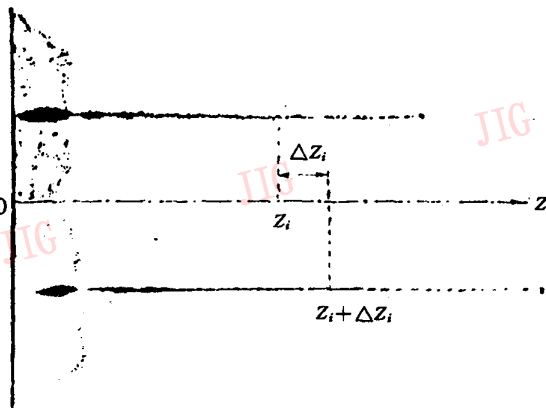


图 1 某有杵石油射孔弹射流图象

上图引爆后 35μs 下图：引爆后 39.8μs。

Fig. 1 Jet image of an oil-well shaped charge with slug after ignition 35 μsec (above) and 39.8 μsec

2.1 测量射流的质量分布 $M(Z)$

适当选定射流的切片厚度 δ_z ， Z 为射流前进方向坐标，用图象统计程序求出射流每一切片内的质量 $M(Z)$ ，即为射流质量分布，

$$M(Z) = \sum_x \sum_y m(x,y), (x,y) \in \delta_z \quad (7)$$

有杵石油射孔弹射流质量分布用式(7)处理出的结果为：在 $t_1 = 35 \mu s$ 时刻为 $M_1(Z)$ ，示于图 2；在 $t_2 = 39.8 \mu s$ 时刻为 $M_2(Z)$ ，示于图 3。

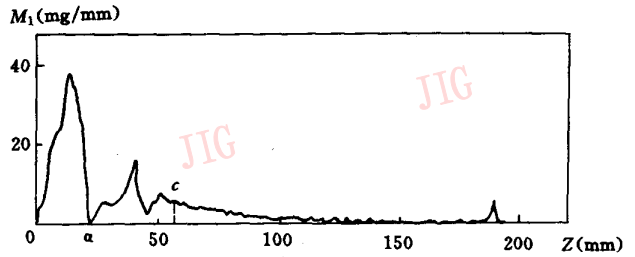


图 2 引爆后 35μs 时刻射流质量分布曲线

Fig. 2 Mass distribution of jet after ignition 35 μs.

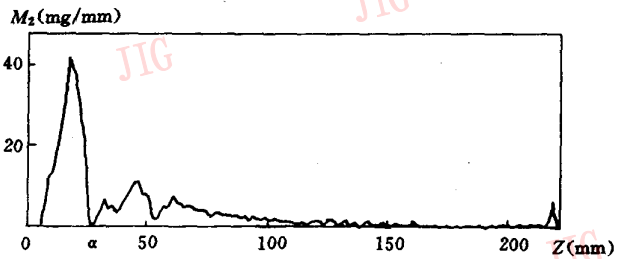


图 3 引爆后 39.8μs 时刻射流质量分布曲线

Fig. 3 Mass distribution of jet after ignition 39.8 μs.

2.2 测量射流的速度分布 $V(Z)$

射流产生过程中各微元(在前进方向)的速度基本上是不变的，各质量微元在前进方是有序的，前后不会互串。设 t_1 时刻在 Z_i 处切片的质量为 $M_1(Z_i)$ ，见图 1，经过 $\Delta t (t_2 - t_1)$ 后， t_2 时刻该切片假定运动到 $Z_i + \Delta Z_i$ 处。 $M_1(Z)$ 中在 $Z \leq Z_i$ 范围内的质量积分与 $M_2(Z)$ 中在 $Z \leq Z_i + \Delta Z_i$ 范围内的质量积分应是恒等的，即

$$\sum_{Z=0}^{Z_i} M_1(Z) = \sum_{Z=0}^{(Z_i + \Delta Z_i)} M_2(Z) \quad (8)$$

依据式(8)编制求速度分布的程序。在 $M_1(Z)$ 中每一个 Z_i 处可找出满足式(8)的一个 ΔZ_i 值，于是速

度分布即为

$$V(Z_i) = \Delta Z_i / \Delta t \quad (9)$$

为了保证射流速度分布计算的精确度,应让 $M_1(Z)$ 的总质量与 $M_2(Z)$ 的总质量恒等,预先进行核算和作必要的校正,使下式成立

$$\sum_{Z=0}^{TOP} M_1(Z) = \sum_{Z=0}^{TOP} M_2(Z) \quad (10)$$

式中 TOP 为射流顶端的 Z 值。图 4 为用式(8)和式(9)编制的程序计算出的有杵石油射孔弹射流的速度分布曲线 $V(Z)$ 。

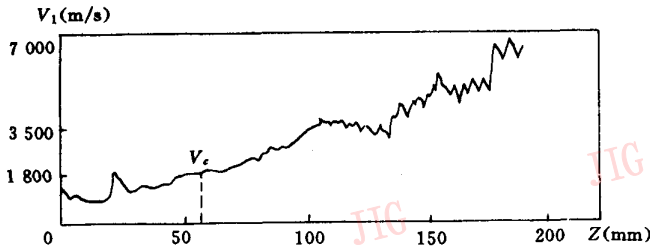


图 4 引爆后 35μs 时刻射流的速度分布曲线
Fig. 4 Velocity distribution of jet after ignition 35 μs.

2.3 测量射流的动能分布 $E(Z)$

当给出空间关联的质量分布 $M(Z)$ 和速度分布 $V(Z)$ 以后,根据动能的定义即可算出射流的动能分布,

$$E(Z) = \frac{1}{2} M(Z) V^2(Z) \quad (11)$$

图 5 为由式(11)计算出的有杵石油射孔弹射流的动能分布曲线。

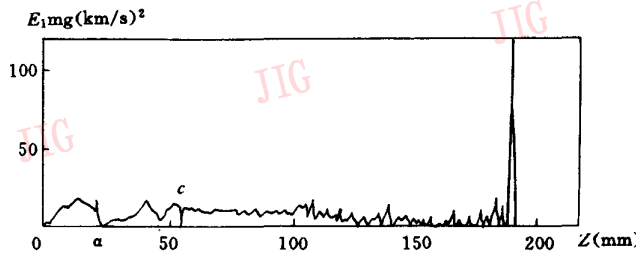


图 5 引爆后 35μs 时刻射流的动能分布曲线
Fig. 5 Kinetic energy distribution of jet ignition 35 μs.

3 射流“速度——质量(百分点)”图象处理结果

射流质量(百分点)的定义式为

$$F_M(Z_i) = \sum_{Z=0}^{Z_i} M(Z) / \sum_{Z=0}^{TOP} M(Z) \quad (12)$$

$V(Z) - F_M(Z)$ 为射流“速度——质量(百分点)”曲线,它是射流穿甲理论计算中表征射流特性很重要的一个综合性参量。由图象处理给出 $V(Z)$ 和 $M(Z)$ 之后,根据式(12)程序即可给出 $V(Z) - F_M(Z)$ 曲线。图 6 中小圆点即为有杵石油射孔弹射流 $V(Z) - F_M(Z)$ 实验给出的数据。

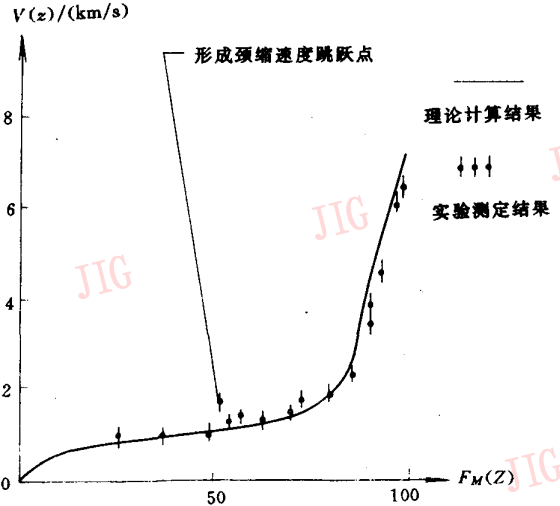


图 6 射流速度——质量(百分点)曲线
Fig. 6 Velocity-mass(percentage) distribution of jet.

图 6 中的 $V(Z) - F_m(z)$ 实线是由陈森华老师和侯敏同志提供的。该有杵石油射孔弹射流 $V(Z) - F_M(Z)$ 理论计算结果与实验测量结果基本相符。

参考文献

- 1 吴世法. X 光照相诊断精确计量中的图象处理技术. 全国第四届图象科学大会论文集, 1988.
- 2 吴世法. 近代成像技术与图象处理. 北京: 国防工业出版社, 1997, 494.
- 3 Corney G M. X 射线和 γ 射线照相效应. 米斯 CEK, 詹姆斯 TH 主编, 陶宏等译. 照相过程理论上册, 北京: 科学出版社, 1979, 232~245.



吴蕾, 1987年合肥工业大学计算机应用专业本科毕业, 毕业后在中国工程物理研究院流体物理研究所从事图象处理研究工作, 现已获美国环俄明州立大学计算机工程专业硕士学位, 是计算机软件工程师。本文研究工作于1989年在流体物理研究所工作期间完成。

A Method of the Image Processing for Measuring the Distribution of Mass Velocity and Kinetic Energy of the Jet

Wu Lei

(South-west Institute of Fluid Physics Chengdu 610003)

Abstract A new method of image processing is developed for measuring the distribution of mass, velocity and kinetic energy of the jet. As a sample jet of oil punching bomb is given, the "Velocity—Mass (Percentage)" of this jet is given and conforms with the result of numerical simulation.

Keywords Jet, Flash X-Ray photography, Image Processing

(上接 877 页)

A Method Based On Wavelet For FBM Image Synthesis

Cao HanQiang, Zhu Guangxi, Zhu Yaoting, Wang Xiang

(Department of Electronics & Information Engineering Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)

Abstract In this paper, a new algorithm based on wavelet for FBM image synthesis is given. FBM is a zero-mean nonstationary Gaussian random process. The synthesis of such images is important in fields such as the simulation of astronomical images and fractal image analysis. Since FBM exhibits a self-similarity with respect to scale, we show that FBM can be synthesized by using wavelets. Mallat's filter-based wavelet representation can be used to synthesize a good approximation to FBM.

Keywords Fractal, Fractal image synthesis, Wavelet, FBM image