

# 数字图象处理技术在碎片杀伤 战斗部试验诊断中的应用

吴世法

(西南流体物理研究所)

**摘要** 本文提出的数字图象处理技术,可用于测量爆炸金属碎片的质量和碎片质心的空间位置。它采用的原始图象由闪光X光照相获得。初步实验结果表明,这项技术是可行的。

**关键词** 数字图象处理技术; 闪光X光照相; 碎片杀伤战斗部诊断。

## 1. 引言

动能杀伤弹的威力主要由碎片的动能及碎片在空间的分布和碎片数的能量分布决定,而碎片动能则由碎片质量和速度给出。测量碎片质量的传统方法是采用回收法,典型的回收法是在回收水池中进行,由水中爆炸,细网回收碎片,称重测出。但这方法分不清哪些是有效杀伤碎片,哪些是无效碎片,更给不出与爆炸初态时空关联信息。常用的方法是实弹模拟靶试验,观察杀伤效果,估计杀伤威力,但仍给不出准确的碎片动能及碎片的空间分布和能量分布数据,因而无法与理论计算结果核对。要测出碎片动能和碎片在空间的分布及能量分布是一个相当困难的问题,它必须测出每块碎片的质量及其与爆炸初态时空关联的质心位置,这是动能杀伤弹研究测试中至今没有解决的关键课题。

本文提出测量爆炸碎片质量和质心空间位置的数字图象处理技术,解决了上述关键课题。这种方法需要采用三台闪光X光机照相,得到时空关联的三幅不同方向的碎片投影图象:其中两台X光机同步,第三台时间差动。先用同步的两幅图象测量碎片质心空间位置,在已知爆炸初态空间位置的条件下,求出碎片飞行空间方向,然后用第三幅有时间差动的图象,求出在差动时间内碎片的平均速度。这三幅碎片图象都可以测出碎片的质量,当两片碎片图象有部分重叠时可设法扣除。如重叠太严重,将难于测出。

## 2. 测量爆炸碎片质量和质心空间位置的图象处理方法。

### 1) 碎片透视投影图象数据的线性校正和定标。

设碎片透视投影图象用黑密度 $D(d)$ 表示,其中 $d$ 是所对应的碎片透视厚度, $D(d)$ 和 $d$ 是非线性的, $H(d)$ 为 $D(d)$ 的全谱曝辐量,图象本底(即 $d=0$ 地方)全谱曝辐量为 $H(0)$ ,黑密度为 $D(0)$ ,X光源单色性并不好,设单色(谱)的曝辐量为 $I_a(\lambda)$ 和 $I_b(\lambda)$ ,则

$$H(d) = \int I_a(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

$$H(0) = \int I_b(\lambda) d\lambda \quad (2)$$

式中 $\lambda$ 为X光源的波长, 积分限为全谱范围。

根据物质(密度为 $\rho$ )的X光衰减规律有

$$I_d(\lambda) = I_0(\lambda)e^{-\mu(\lambda)\rho d} \quad (3)$$

式中 $\mu(\lambda)$ 为线衰减系数, 当 $d$ 给定后, 由(1)、(2)、(3)式可以找到一个 $\mu(d)$ 值, 使下式成立

$$H(d) = H_0 e^{-\mu(d)\rho d} \quad (4)$$

我们称 $\mu(d)$ 为X光源和透视厚度固定条件下的等效单色线衰减系数, 当 $d$ 改变时,  $\mu(d)$ 也相应改变。

记录X光图象的“屏片”(增感屏加底片)的曝辐(射)特性曲线为

$$D(0) - D(d) = \gamma(d) \cdot \lg e \cdot \frac{H(0)}{H(d)} \quad (5)$$

式中 $\gamma(d)$ 是点 $[D(0), \lg H(0)]$ 和点 $[D(d), \lg H(d)]$ 连线的斜率,  $\gamma(d)$ 对 $d$ 而言不是一个常数。

由公式(4)和(5)得

$$D(d) = D(0) - \gamma(d)\mu(d) \cdot \lg e \cdot \rho d \quad (6)$$

这就是物( $\rho d$ )和象 $[D(d)]$ 的非线性关系式。

图象数据线性校正, 要用阶梯减光板(材料与碎片材料完全相同), 在与爆炸碎片X光照射完全相同条件下, 制作 $D(d) \sim d$ 屏片记录特性曲线, 在曲线上选取与碎片图象数据大致相当的范围, 拟合一条线性校正直线,

(见图1), 这条直线的斜率为 $-\gamma \cdot \mu \cdot \lg e \cdot \rho$ 。运用图象处理分段线性化数据变换技术, 将碎片图象数据校正到拟合直线上, 经线性校正之后的碎片图象数据严格符合下列线性关系

$$D(d) = D(0) - \gamma \cdot \mu \cdot \lg e \cdot (\rho d) \quad (7)$$

任何已知 $d$ 的 $D(d)$ 值可用来定标,  $\gamma \cdot \mu$ 可由拟合直线斜率求出。

## 2) 求碎片质量的程序

经线性校正后碎片图象 $D(x, y)$ , 通过图象加法处理技术, 可得到下列图象

$$D(0) - D(x, y) = \gamma \cdot \mu \cdot \lg e \cdot (\rho d) \quad (8)$$

式中 $(\rho d) = m(x, y)$ 是碎片质量分布图象。然后通过图象除法处理技术, 除以常数图象 $\gamma \cdot \mu \cdot \lg e$ , 即得到碎片质量分布图象 $m(x, y)$ 。

通过图象统计处理技术, 对每一爆炸碎片象的 $m(x, y)$ 进行含完整碎片的面积分即可得

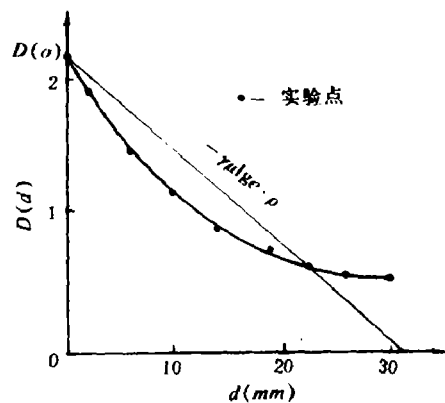


图1 铁 $D(d) \sim d$ 实验曲线

到该碎片的质量  $m_i$ 。

$$m_i = \oint_S m(x, y) ds \quad (9)$$

3) 求碎片质心空间位置程序

首先, 要在碎片质量分布图象  $m(x, y)$  中找到每一碎片的质心位置。设  $m(x, y)$  图象的  $(0, 0)$  象元为坐标原点, 某碎片质心在这坐标上的投影点 (即质心象点) 的座标为  $(x^c, y^c)$  根据质心定义有

$$\left. \begin{aligned} x^c &= \frac{\sum x_i m(x_i, y_i)}{\sum m(x_i, y_i)} \\ y^c &= \frac{\sum y_i m(x_i, y_i)}{\sum m(x_i, y_i)} \end{aligned} \right\} (x_i, y_i) \in S (\text{碎片面积}) \quad (10)$$

用  $m(x, y)$  图象自身座标值  $x, y$ , 分别制作图象  $X(x, y)$  和  $Y(x, y)$ 。

通过图象乘法处理技术, 得到图象  $Xm(x, y)$  和图象  $Ym(x, y)$ 。

通过图象统计处理技术, 对每一碎片求  $Xm(x, y)$  和  $Ym(x, y)$  的完整的面积分。再通过 (10) 式就可以求出  $x^c$  和  $y^c$ 。

用以上方法对同步照相得到两幅碎片图象, 分别求出质心投影位置, 再将零点校正到这两台 X 光机光束轴线交点 (图 2 中  $R, \theta, z$  均为零值位置) 的投影象点上, 图上  $(R, \theta, z)$  座标为碎片质心空间座标, 质心在  $1^*$  和  $2^*$  底片上的投影座标  $x_1^c, x_2^c$  就是  $R$  在底片  $1^*$  和  $2^*$  上的投影值,  $z$  的投影分别为  $y_1^c$  和  $y_2^c$ ,  $1^*$  和  $2^*$  X 光束轴线相交角为  $\alpha$ , 质心空间位置座标值可由下式给出,

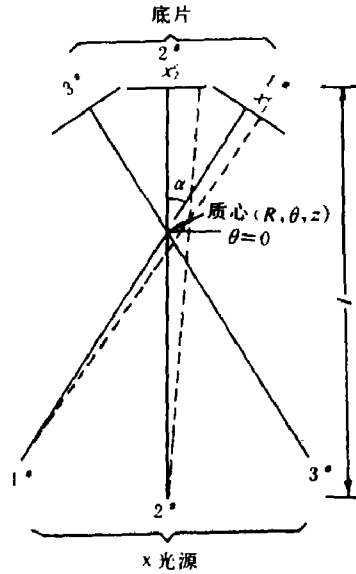


图 2 闪光照相示意图

$$\left. \begin{aligned} \theta &= \tan^{-1} \left\{ \frac{\frac{1}{x_2^c} - \frac{1}{x_1^c} \cos \alpha + \frac{1}{l} \sin \theta}{\frac{1}{l} - \frac{1}{l} \cos \alpha - \frac{1}{x_1^c} \sin \alpha} \right\} \\ R &= \frac{x_2^c}{\beta \left( \cos \theta - \frac{x_2^c}{l} \sin \theta \right)} \\ z &= \frac{y_i^c}{\beta} \quad (i=1, 2), \beta - \text{象放大倍率} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

3. 初步实验结果

1) 为了考核测量碎片质量和质心空间位置图象处理方法的可靠性, 我们用模拟铜碎片贴

在薄有机玻璃柱形壳体外表面上，柱形壳轴线位置放一根四节柱形铁杆，见图3，它的轴线

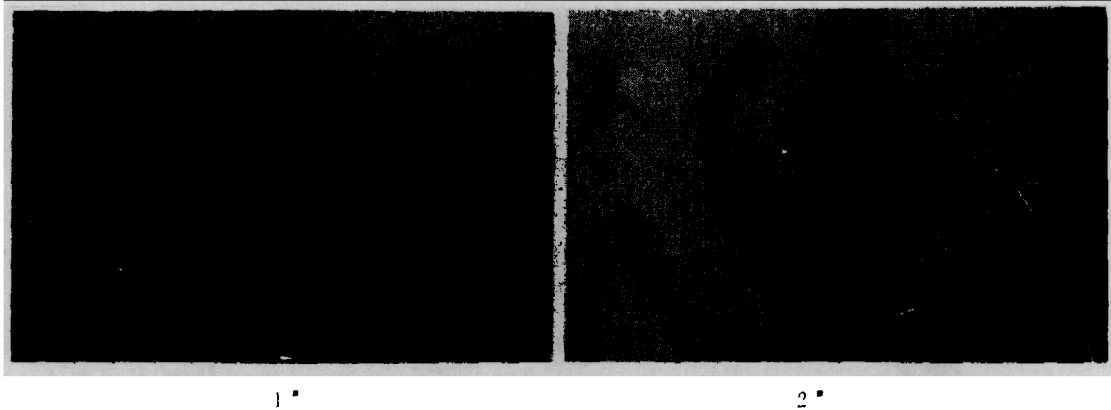


图3 两台相交 $\alpha$ 的X光系统照的碎片象

就是 $z$ 轴，安装时铁杆铅垂并通过两台X光机光束轴线交点。实验条件为： $\alpha=24.8^\circ$ ， $\beta=1.217$ ， $l=4120$  mm。测出碎片质量( $m$ )和质心位置( $\theta, R, z$ )，再与事先设置已知确切值进行比较，得出其偏差及一次测量标准偏差列于下表。

碎片编号(i)	$m_i$ (g)	$\Delta m_i$ (g)	$\Delta m_i/m_i$	$-\Delta\theta_i$ (度)	$\Delta R_i$	$z_{1i}$	$z_{2i}$
1	3.046	0.32	12%	-1.8	1.2	1.6	0.7
2	1.239	-0.16	-11%	0.3	-0.5	1.6	-0.2
3	1.064	0.12	13%	0.3	1.3	1.6	0.8
4	0.951	-0.08	-8%	0.2	0.6	2.0	-0.3
5	0.588	-0.08	-12%	-2.6	2.1	0.3	1.7
6	0.497	-0.13	(-20%)*	-0.8	1.1	-0.7	0.6
7	0.497	0.08	(19%)*	2.8	1.7	0.6	1.4
8	0.551	-0.08	-12%	0.6	0.1	-0.3	0.1
10	0.188	0.02	13%	1.7	1.6	2.0	1.2
12	0.127	-0.02	-13%	1.7	1.6	2.0	1.2
一次测量标准偏差:		$\pm 0.13$ g	$\pm 12\%$	$\pm 1.5^\circ$	$\pm 1.3$ mm	$\pm 1.2$ mm	

\*注 6.7号碎片象有部分重叠，未统计进标准偏差。

2) 一个试验性钢碎片杀伤弹部分碎片质量测量结果。见图4，按图上编号依次用图象处理方法测出碎片质量分别为(单位为克)

0.272,	0.036,	0.138,	0.456,	0.059,	0.309,
0.384,	0.152,	0.443,	0.051,	0.664,	0.167,
0.215,	1.209,	0.612,	0.152,	0.146,	0.106,
0.060,	0.914,	0.039,	0.285,	0.192,	0.236,
0.003,	0.004,	0.050,	0.034,	0.432,	0.959,
0.009,	0.495,	1.104,	0.500,	0.816,	0.304,
0.090,	总计: 11.123克				



图4 钢碎片杀伤弹部分碎片X光照相

闪光X光照相获得37片碎片场是在总杀伤立体角中的一个窗口取出来的，它具有统计代表性，碎片数质量分布统计见图5，37片碎片中大于0.5克的碎片6片，其质量和为5.864克，占37片的总质量（11.123克）的比例为53%。

为了证明碎片质量测量结果是可信的，我们将同一张底片上“8、7、年、2、月”五个铅字象也进行了处理，测出铅字质量为 $m$ ，用精密天平称出质量为 $m_0$ ，它们最大偏差为±10%。见下表。

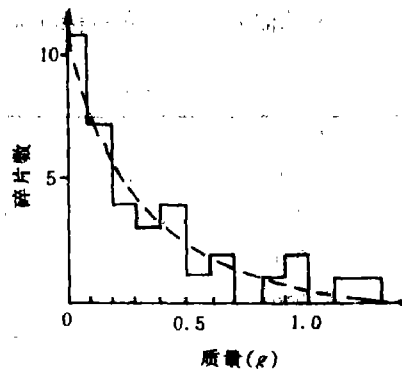


图5 碎片数质量统计分布

铅字	$m$ (g)	$m_0$ (g)	$(m-m_0)/m_0$
8	0.1988	0.17947	+10%
7	0.0772	0.07467	+3%
年	0.0896	0.09761	-8%
2	0.1034	0.10780	-4%

参加这项工作的还有王天富、周倬才、刘瑞根、邵乃林、丁宝贤、李延年等。

APPLICATION OF DIGITAL IMAGE PROCESSING  
IN THE DIAGNOSTIC OF FRAGMENTATIONS  
OF THE WARHEAD

Wu Shifa

*(Southwest Institute of Fluid Physics)*

**ABSTRACT** The digital image processing technique has been developed for measuring of fragment mass and the coordinates of its centre of mass. The original image is the fragment roentgenogram obtained with flash X-ray cineradiography. Preliminary results of this method show that this technique may be applicable.

**KEY WORDS** digital image processing, flash X-ray radiography, fragmentation warhead.