

# 图像识别技术在战斗部静爆试验分析中的应用

李明富<sup>1,2a</sup>, 何 宸<sup>1,2a</sup>, 凌 艳<sup>2b</sup>, 金长江<sup>1,2a</sup>

(1. 四川省高校校企联合“航空电子技术”应用技术创新基地, 成都 610100;  
2. 成都航空职业技术学院 a. 航空电子工程系; b. 计算机工程系, 成都 610100)

**摘要:**在破片战斗部研制中,大量采用静爆试验的方法对其破片飞散特性进行研究,针对试验中对靶板上破片孔的统计分析工作,突破了目前常用的依靠人工对靶板或对其某一区域内的破片数量进行统计再进行分析的问题,提出了基于图像识别的靶板破孔识别分析方法,建立了图像靶孔到试验布局空间的转化模型,并以此为基础开发了靶板破孔识别分析程序。

**关键词:**图像处理;靶孔识别;破片场重构

**本文引用格式:**李明富,何宸,凌艳,等. 图像识别技术在战斗部静爆试验分析中的应用[J]. 四川兵工学报,2014(6): 101 - 104.

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1006 - 0707(2014)06 - 0101 - 04

## Application of Image Recognition Technology in the Warhead Explosion Test

LI Ming-fu<sup>1,2a</sup>, HE Chen<sup>1,2a</sup>, LING Yan<sup>2b</sup>, JIN Chang-jiang<sup>1,2a</sup>

(1. The Innovation Base of School-Enterprise Cooperation Aviation Electronic Technology in Sichuan, Chengdu Sichuan 610100, China; 2. a. Department of Airline Electronic Engineering;  
b. Department of Computer Engineering, Chengdu Aeronautic Vocational and Technical College, Chengdu 610100, China)

**Abstract:** In the development of fragment warhead, a lot of static explosion tests was used to study the fragment scattering characteristics. In the test, statistical analysis of the target plate fragment holes is a very important work. At present, to perform analysis work, a common used way relies on manpower to count up the number of target holes in a certain or whole area, it's inefficient and complicated. This paper proposed a new target holes identification method based on image recognition, and set up the space transformation model form image hole to the test target's layout. On this basis, a target plate holes identification analysis program was developed.

**Key words:** image processing; target holes identification; fragment field refactoring

**Citation format:** LI Ming-fu, HE Chen, LING Yan, et al. Application of Image Recognition Technology in the Warhead Explosion Test[J]. Journal of Sichuan Ordnance, 2014(6): 101 - 104.

破片战斗部设计中,最主要的威力指标是破片的数量、速度和飞散特性等。衡量破片战斗部的作用威力,一般采用静态爆轰试验来考核,即在战斗部静爆试验场周围布置一定角度范围的目标靶板,通过爆轰试验对目标靶板毁伤形成的

一定数量的破片孔结果进行统计,根据经验,计算得到相关试验所需的破片数及破片分布、破片密度等威力指标,从而为战斗部的方案评估、设计校验及定型验收环节提供直接依据。

收稿日期: 2014 - 01 - 20

基金项目: 四川省高校校企联合“航空电子技术”应用技术创新基地。

作者简介: 李明富(1978—),男,硕士,副教授,主要从事自动控制、图像处理技术研究。

现有的常规破片战斗部对目标靶板破片孔洞的数据统计,均是采用人工统计操作坊法,并且只统计某块靶板或其某一区域内的破片数量,不对每一破孔的位置进行统计。人工统计操作存在显著的几方面不足:①数以千、万计的破片数量统计是一个费时、费力的过程;②人工统计由于人员的疏忽,将不可避免带来统计误差。特别是在目标靶板数量较多情况下,统计效率及误差越发突出;③基于人工经验的定性、不完全分析,难以全面、准确地对破片分布密度、散布特性进行科学、客观的统计、分析。

将图像识别技术应用于破片数据统计分析,由于能对每个破片孔精确定位,且识别速度很快,将使破片战斗部试验结果的分析、评估在效率、精确度上得到显著提高。

## 1 破片穿孔识别

利用图像识别技术识别靶板上的破片孔主要有三步,首先对图像进行灰度处理,为进行快速边缘检测做准备;接着进行边缘检测,获得边缘二值图像(黑白图像);最后利用靶孔是类似圆形的特征,识别边缘二值图像中的圆形或类圆形边缘即获得靶板上靶孔。

### 1.1 图像灰度处理<sup>[1]</sup>

为了加快图像处理速度,在图像处理算法中,通常将彩色图像转换为灰度图像。

24位彩色图像每个像素用3个字节表示,每个字节分别对应R、G、B分量的亮度(红、绿、蓝),当R、G、B不同时变现为彩色,相同时则为灰度图像。

灰度处理一般有3种方法,式(1)为第一种处理方式,3种颜色值进行平均, $G_{ary}(i,j)$ 为转换后灰度图像在 $(i,j)$ 点的灰度值。

$$Gray(i,j) = \lceil R(i,j) + G(i,j) + B(i,j) \rceil \div 3 \quad (1)$$

根据人眼对颜色感应的不同,有了第二种算法

$$Gray(i,j) = 0.299 \times R(i,j) + 0.587 \times G(i,j) + 0.114 \times B(i,j) \quad (2)$$

从第二种算法可以看出,绿色占的比重大,因此第三种算法是直接采用G值作为灰度值,算法更快。

$$Gray(i,j) = G(i,j) \quad (3)$$

但是由于第二种与人眼对颜色的感应更接近,因此通常采用第二种算法。

### 1.2 靶板破孔边缘检测<sup>[1]</sup>

边缘检测的目的是找到图像中靶孔边缘像素,并形成二值边缘图像,从而为靶孔识别做准备。

对图像进行边缘检测的算法有多种,如模板边缘算子法、高斯算子法、Canny算法、形态学边缘检测法、小波变化边缘检测法和金字塔方法等。本文选择的是Canny边缘检测方法,与其他算法相比,本算法相对较简洁,且响应速度较快、检测精度较高。

Canny方法进行边缘检测分为4步:

- 1) 首先采用高斯滤波对图像进行平滑处理;
- 2) 利用一阶偏导算子找到图像灰度沿水平方向 $G_x$ 和

垂直方向 $G_y$ 的偏导数,并按式(4)和式(5)求出梯度的幅值G和方向 $\theta$ ;

3) 对梯度幅值进行非极大值抑制,即找到局部梯度最大点;

4) 利用双阈值算法检测边缘,并形成二值图像,边界处的灰度值为0,其余位置灰度值为255。

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (4)$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{G_y}{G_x}\right) \quad (5)$$

### 1.3 靶孔识别

靶孔识别是将图像处理获得的边缘二值图像的所有的边缘形状进行识别。根据靶孔边缘形状是圆形的特征,识别圆形或类似圆形的边缘,从而获得靶板上的破片穿孔。针对圆形特征识别问题,已有公开文献开展了相关的研究工作,如文献[2-5]。文献[2,3]中介绍的Hough算法对边缘图像的质量要求很高,一旦圆形出现变形,随机取出的3点在同一圆周上的概率就很小了,以致不能正确检测出结果。基于链码<sup>[4]</sup>的算法所利用的2个性质之一本身就对图像边缘识别提出了较高的要求,若边缘不封闭或局部畸形,算法就不能对圆进行有效识别。而文献[5]中所提出的算法本身也比较依赖于所识别的图像具有较严格的圆形对称特征。

而对于本文需要处理的靶板破孔识别问题,由于破片穿孔本身可能导致破孔的非规则圆形特点,对靶板的照相也可能导致靶孔形状变形;此外被破片打击后靶板的靶面图像本身的复杂性也会导致二值化处理后获得的边缘图像的不规则,也为靶孔识别带来了一定的难度。但是无论靶孔形状边缘如何复杂,对于靶板破孔边缘总存在一定的对称特性。针对这一特性,本文提出了以下靶孔识别算法。

对于某一边缘,若组成边缘的点在高度方向上间于 $m$ 行和 $n$ 行之间( $n > m$ ),则对于 $m$ 行和 $n$ 行之间的任意一行,如 $l$ 行,必然存在2个边缘点(上下象限点除外),即 $gray(l,i) = gray(l,j) = 0$ ,则认为是圆形边缘,对 $m$ 行和 $n$ 行之间的所有行进行扫描,并计算2点之间的距离,取其最大值作定义为 $D_x$ ,并记录此时2点之间的中点列坐标 $X_c$ ;同时定义 $D_y = n - m$ ,则圆的中心坐标为 $(X_c, Y_c)$ ,其中 $Y_c = m + 0.5 * D_y$ ;理想情况下圆的直径 $D = D_x = D_y$ 。

在实际图像识别获得的边缘形状,基本不可能是理想圆形,采用理想情况进行判断,大量真实靶孔就会被错误排除掉,会大大降低识别准确度。为了解决上述问题,允许 $D_x$ 和 $D_y$ 不相等情况,当 $\text{Max}(D_x, D_y) / \text{Min}(D_x, D_y)$ 小于某一阈值时则认为该边缘为圆形,此时圆的直径 $D$ 取值为 $\text{Max}(D_x, D_y)$ 。

此外,由于实际图像处理时不可能每一个边缘也都是封闭情况,严格按照圆形的对称特性,要求 $m$ 行和 $n$ 行之间的所有行都存在2个对称边缘点,也会存在部分真实靶孔被错误排除的情况。针对此问题,在实际识别时设置一个阈值 $c$ ,定义为 $m$ 行和 $n$ 行间只有一个边缘点的数量占边缘总行数的比例,若该比值大于阈值 $c$ 则认为该边缘为封闭边缘。

由于破片穿靶后形成的靶孔通常在一定范围内,即破孔

直径  $D$  应当在最小直径  $D_{\min}$  和最大直径  $D_{\max}$  之间,靶孔识别时将图像中直径  $D$  大于  $D_{\max}$  和小于  $D_{\min}$  的圆形特征孔排除掉,进一步增加靶孔识别的准确度。

## 2 图像靶孔到实际试验布靶孔间的映射

通过对图像进行识别,只是获得靶孔在图像中的相对位置,只有将靶孔位置进行转换,获得靶孔在试验布局空间的相对位置,才能对靶孔的分布特性以及战斗部破片飞散特性进行分析,从而利用试验数据反推获得战斗部破片场分布。因此,如何将图像中靶孔映射到真实靶场布局中,是将图像识别技术应用到靶孔识别的难点之一。

将图像中靶孔影射到试验布局空间,需要分两步进行:第一步是将图像中靶孔影射到真实靶板上,获得靶孔在真实靶板上的相对位置;第二步是利用试验布局参数,将靶板上的靶孔转换到试验布局空间。

### 2.1 图像靶孔到真实靶的影射

为了对图像中靶孔位置进行转换,获得靶孔在靶板上的相对位置,图像的靶板必须满足以下条件:

- 1) 靶板必须为长方形或正方形;
- 2) 靶板必须被完整包含在所识别图像中;
- 3) 图像中靶板的上下边必须平行。

为了获得靶孔在图像中靶板上的相对位置,首先需要在图像中标识出靶板的4个角对应的点,如图1中  $P_{t0}$ 、 $P_{t1}$ 、 $P_{t0}$ 、 $P_{t1}$ ,并计算获得其在图像中的坐标  $(X_{t0}, Y_{t0})$ 、 $(X_{t1}, Y_{t1})$ 、 $(X_{b0}, Y_{b0})$ 、 $(X_{b1}, Y_{b1})$ ,则对于图像中由上述4点构成的四边形中的任意点  $p(x, y)$ ,其在由上述4点确定的靶板上的相对位置(以  $P_{t0}$  为原点,向右向下为正)  $P(X, Y)$  的转换如式(6)~式(9)所示。

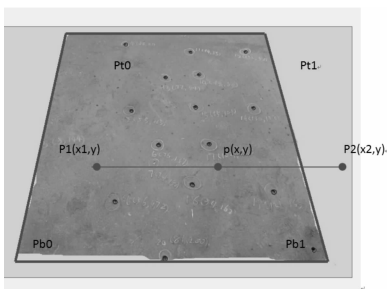


图1 靶板在图像中的位置

如图1中所示,  $p_1$  点和  $p_2$  点的横向坐标分别由式(6)和式(7)确定

$$x_1 = X_{t0} + \frac{(X_{b0} - X_{t0})}{(Y_{b0} - Y_{t0})}(y - Y_{t0}) \quad (6)$$

$$x_2 = X_{t1} + (y - Y_{t1}) \frac{(X_{b1} - X_{t1})}{(Y_{b1} - Y_{t1})} \quad (7)$$

则  $P$  点坐标则可由式(8)和式(9)确定,其中  $H$  为真实靶板的高度,  $W$  为真实靶板的宽度。

$$Y = \frac{(y - Y_{t0})}{(Y_{b0} - Y_{t0})} H \quad (8)$$

$$X = \frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)} W \quad (9)$$

根据式(8)和式(9)获得破片孔在靶板上的位置,并对所有破孔进行分析,即可获得破孔在靶板上的分布特性。

### 2.2 靶孔到试验布局空间的转换

获得靶孔在真实靶板上的相对位置后,需要进一步利用该靶板的在试验布局空间的位置参数,将其转换到试验布局空间。根据战斗部静爆试验中破片靶板的布置方式,通常靶板垂直平分线与弹轴在同一个面上,且该平面与靶面垂直,如图2所示,其中  $r$  为靶板距离,  $\theta$  为靶板方位角。

根据靶板在试验布局空间的位置关系,若靶板上任意点  $P_t(x_t, y_t)$  转换到试验布局空间后对应点为  $P_s(x_s, y_s, z_s)$ ,则转换关系如下式(10)、式(11)和式(12)所示,其中  $z_0 = W/2 - x_t$ 。

$$x_s = r \cos(\theta) - z_0 \sin(\theta) \quad (10)$$

$$y_s = y_t \quad (11)$$

$$z_s = r \sin(\theta) + z_0 \cos(\theta) \quad (12)$$

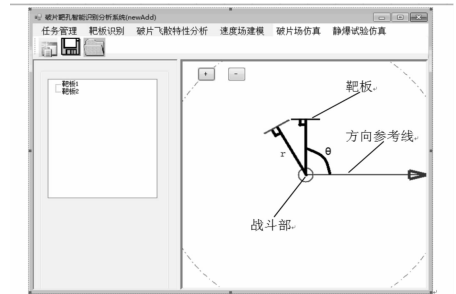


图2 靶板布局示意图

根据(10)、式(11)和式(12),同时结合静爆时战斗部空间布局,即可获得战斗部破片场的空间飞散特性(破片沿战斗部轴向和周向飞散特性)。

## 3 靶孔识别分析程序开发

根据上述靶孔图像识别方法及其到试验布局空间的转换算法,采用 Visual C# 语言,基于 DirectX 技术,开发了靶孔识别分析程序,实现了对图像中破片孔的识别及分析。同时考虑战斗部设置、破片飞散速度等因素,结合破片孔在试验布局空间的位置参数,实现了对破片场飞散特性的分析。同时利用分析获得的破片场飞散特性,重构获得了静爆破片场,对静爆破片场飞散进行了再现,如图3、图4和图5所示。

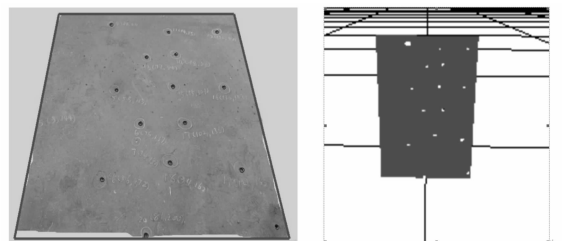


图3 图像识别及试验布局空间转换结果图像

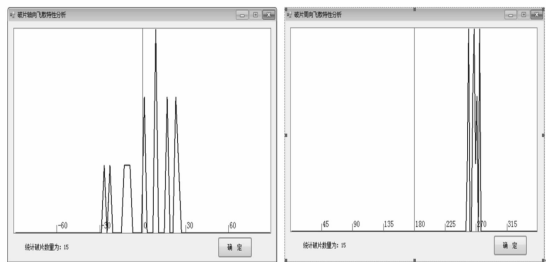


图4 破片飞散特性统计

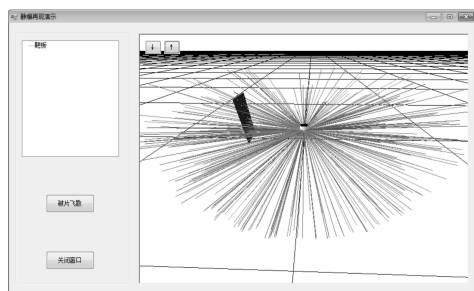


图5 破片场重构及飞散再现

## 4 结束语

本文将图像识别技术应用到破片战斗部静爆试验后破

(责任编辑 杨继森)

片效应靶穿孔分析中,并建立了图像中靶孔与试验布局空间靶孔的转换模型,从而实现了靶板破孔在试验布局空间的精确定位。同时基于上述模型,开发了靶孔识别分析程序。该技术的采用能显著提高对具有大量靶孔的靶板的处理速度和效率,且由于其能对每一破片孔进行精确定位,与传统方法相比也大大提高了破片飞散特性分析的精度。同时根据破片飞散特性重构获得的静爆破片场,也为将试验数据应用于武器毁伤仿真评估提供了途径。

## 参考文献:

- [1] 赵春江. C#数字图像处理算法典型实例[M]. 北京:人民邮电出版社,2005.
- [2] 王强,胡建平. 一种用于圆检测的快速 Hough 算法[J]. 小型微型计算机系统,2000,21(9):970.
- [3] 束志林,戚飞虎. 一种新的随机 Hough 快速圆检测算法[J]. 计算机工程,2003(6):87-89.
- [4] 吴亚雄,陈海燕,李宗伯. 基于链码的快速圆形识别方法[J]. 微机计算机应用,2009(10):49-52.
- [5] 李江涛,倪国强,王强,等. 一种快速准确识别圆形目标的新算法[J]. 激光与红外,2007(6):575-578.

(上接第 100 页)

- [5] 黄海龙,王宏. 一种基于小波变换和数学形态学的边缘检测算法[J]. 东北大学学报:自然科学版,2011,32(9):1315-1318.
- [6] 景少玲,叶鸿瑾,白静. 小波阈值去噪联合数学形态学的肺部图像边缘检测[J]. 计算机应用与软件,2013,30(11):187-191.
- [7] 王康泰,戴文战. 一种基于 Sobel 算子和灰色关联度的图像边缘检测方法[J]. 计算机应用,2006,26(5):1035-1037.
- [8] 钟都都,闫杰. 基于灰色关联分析和 Canny 算子的图像边缘提取算法[J]. 计算机工程与应用,2006(28):68

-71.

- [9] 赵蓓蕾,吴亚婷,李强. 基于形态学与灰度模态分析的阴影去除方法[J]. 兵工自动化,2013,32(12):15-19.
- [10] 马苗,田红鹏,张艳宁. 灰色理论在图像工程中的应用研究进展[J]. 中国图像图形学报,2007,12(11):1943-1951.
- [11] 周徽. 严重噪声污染下的模糊图像复原方法[J]. 重庆理工大学学报:自然科学版,2012(4):104-108.
- [12] 雷毅,谢静. 几种滤波算法在声纳图像处理中的比较分析[J]. 四川兵工学报,2012(6):95-97.

(责任编辑 杨继森)