

doi: 10.7690/bgzdh.2024.06.010

基于高速摄影技术的弹丸炸高测量方法

于智, 李剑, 周立峰

(安徽神剑科技股份有限公司, 合肥 230022)

摘要: 基于低空低速弹药的工作原理、自身特点、技术指标, 以某型反恐弹药为研究对象, 以高速摄影机为主要测试仪器, 通过对镜头景深、像素点标定、时间统一、全站优化等的设计, 得到一种高精度低成本的测试方法并通过靶试验证精确可靠。结果表明, 该测试方法可为低空低速弹药的外弹道优化设计提供试验数据支撑。

关键词: 景深; 透视变形; 标定; 炮口触发; 时间统一

中图分类号: TJ06 **文献标志码:** A

Measurement of Burst Height of Projectile Based on High-speed Photography

Yu Zhi, Li Jian, Zhou Lifeng

(Anhui Shenjian Technology Company Limited, Hefei 230022, China)

Abstract: Based on the working principle, characteristics and technical indicators of low-altitude and low-velocity ammunition, taking a certain type of anti-terrorism ammunition as the research object and high-speed camera as the main test instrument, a high-precision and low-cost test method is obtained through the design of lens depth of field, pixel calibration, time unification and total station optimization, which is proved to be accurate and reliable by the target test. The results show that the test method can provide test data support for exterior ballistic optimization design of low altitude and low velocity ammunition.

Keywords: depth of field; perspective distortion; calibration; muzzle trigger; time unification

0 引言

干扰弹、反恐防暴弹等弹药是通过纳米粉、毫米波、荧光剂等手段实现对敌方对抗、欺骗、干扰等作战使命的特种弹药, 其外弹道大多数呈现低空低速空中开仓使用的特点^[1-3]。随着国内客户对此系列弹药研制需求, 如何针对其外弹道特点来设计一种可视化低成本精度高的测试方法越来越迫切, 笔者以某型 76 mm 柱地式荧光染色弹为研究对象, 以高速摄影机为主要测试仪器, 通过对镜头景深、像素点标定、时间统一、全站仪优化等设计, 得到一种高精度低成本的测试方法并通过靶试验证其精确可靠^[4-7]。

1 外弹道参数及测试方案设计

1.1 弹丸外弹道参数

本文中弹药理论炸点在地面 X 轴方向投影范围为(280, 320)m, 炮口为坐标系原点, 弹丸前进方向为 X 轴正方向, 中心点为 300 m, 弹道线为抛物线, 开仓时间为发射后 9 s 左右, 炸点姿态明显(见图 1), 开仓高度在 50~75 m 之间, 弹丸开仓后残体垂直落至地面, 测试目的是捕捉弹丸开仓高度及引信作

用时间。



图 1 空中开仓点姿态

1.2 测试方案确定

笔者以高速摄像机为主要的测试设备, 选用移轴长焦镜头对焦, 根据镜头成像景深与理论炸点坐标之间关系, 模拟计算以距离发射点正后方 h_1 处架设高速摄像机为拍摄点, 在此处聚焦标杆, 标定像素点与标杆长度之间比例关系, 得到标尺; 架设炮位固定炮口触发线, 击发弹丸炮口线同步将触发信号传输至时间继电器延时后启动高速摄影机进行拍摄, 后期软件处理中定位其一瞬间引信作用照片, 参照标尺通过高速摄影分析软件计算得出弹丸理论高度及引信作用时间; 最后全站仪记录弹丸实际落弹点, 优化得知弹丸开仓实际炸高。现场布局如图 2 所示。

收稿日期: 2024-02-22; 修回日期: 2024-03-27

第一作者: 于智(1993—), 男, 安徽人。

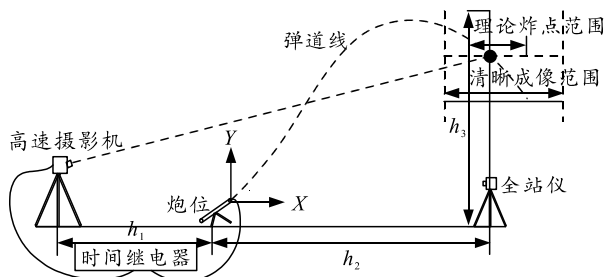


图 2 现场布局

2 镜头景深及画幅视场高度的计算

2.1 镜头景深

拍摄位置在弹道线正后方与炸点之间距离较远，根据镜头成像原理，理论炸点所处平面与镜头焦平面需一致才能减少透视变形，提高拍摄精度。考虑实际靶试过程中镜头对焦标杆后会有抬升镜头仰角至获取最大视场高的操作，从减少焦平面精度误差的角度考虑，暂定移轴变焦镜头(型号：尼康 PC85mm f 2.8)来保障本次操作，如图 3 所示。

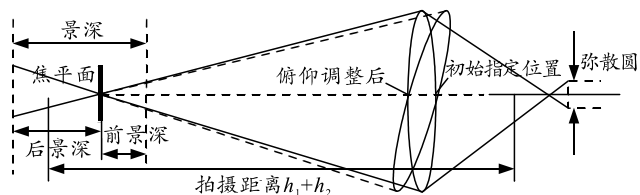


图 3 移轴镜头聚焦

景深俗称清晰成像范围，需包含理论炸点范围才能被高速摄影机捕捉到，根据所选镜头的技术参数如表 1 所示，根据式(1)计算得到。

表 1 景深计算

h_1+h_2	焦距	光圈	弥散圆直径	前景深	后景深
450	0.085	2.8	0.000 03	298.5	∞ (此时对焦为超焦距, 后景深为无穷远)
450	0.085	2.0	0.000 03	355.0	
300	0.085	2.8	0.000 03	233.2	
300	0.085	2.0	0.000 03	214.0	

$$\begin{aligned} \text{后景深} &= \frac{\text{弥散圆直径} \times \text{光圈} \times \text{拍摄距离}^2}{\text{焦距}^2 - \text{弥散圆直径} \times \text{光圈} \times \text{拍摄距离}}; \\ \text{前景深} &= \frac{\text{弥散圆直径} \times \text{光圈} \times \text{拍摄距离}^2}{\text{焦距}^2 + \text{弥散圆直径} \times \text{光圈} \times \text{拍摄距离}}; \\ \text{景深} &= \text{后景深} + \text{前景深}. \end{aligned} \quad (1)$$

本文中弹药理论炸点在地面 X 轴方向投影中心点 300 m。对比上表的计算过程可看出：景深所包含的范围大于理论炸点范围，可获得清晰的成像，镜头选择完成。

2.2 画幅视场高度

由 2.1 节计算可知，在景深满足成像清晰要求的情况下如何协调景深、拍摄位置、画幅视场高度

之间的关系是关键。笔者设计选取拍摄点 h_1 ，当 $h_1 > 300$ m 时启动高速摄影(型号：Photron FASTCAM Viewer)，以此时电脑画面显示分辨率的水平像素数与垂直像素数之比为 1 280:1 024 为例，将高速摄影机主机及软件画面显示翻转 90°，此时显示分辨率之比变为 1 024(水平)×1 280(垂直)bit，画幅拍摄高度增高至 1.25 倍，装上移轴镜头将镜头物镜推至最大处微调聚焦，聚焦至标杆(标杆所处位置为理论炸点在地平线投影的中心点)让标杆清晰成像，保持标杆位置，然后将镜头缩回至最小值，观察电脑显示此时视场高度较低，旋转移轴镜头俯仰旋钮，求得分辨率 dpi 与标杆长 L 之间的比例后，将视场中标杆的顶点调整至电脑视场中画幅的最底点，用式(2)计算此时的最大视场高度。

$$\text{最大视场高度} = L + \frac{1280}{\text{dpi}} * L^2. \quad (2)$$

比较此时最大视场高度是否大于 75 m，若可行，可将高速摄影架设点位 h_1 固定。

3 时间统一信号触发

在完成高速摄影机及镜头相关设置的基础上，笔者布置细铜丝固定在炮口中央，等待拉发机构启动发射药包推动弹丸出膛时扯断铜丝，产生幅值 1V 的震荡信号传递给时间继电器延时 8 s(相机可拍摄时长为 2.14 s，在引信作用前 1 s 启动拍摄)后经 BNC 转接线将高速摄影启动摄录，使炸点作用时间与拍摄时间一致，定位炸点作用瞬间，得出引信作用时间。时统触发如图 4 所示。

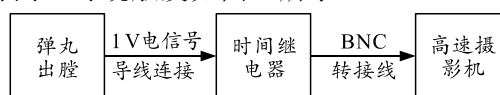


图 4 时统触发

4 数据优化

理论焦平面与理论弹道炸点曲线一致，实际抛物情况下弹丸开仓炸点受风速、发射装药等其他条件影响会造成实际焦平面与理论焦平面不一致，每发弹药开仓点都需重新聚焦标杆修订标尺，以保持与实际焦平面一致来减少误差，使操作过于繁琐，笔者采用图 5 所示的弹丸残体落点距离反推实际炸高，其计算如式(3)所示。

$$H_3 = (H_2 + h_1) \cdot h_3 / (h_1 + h_2). \quad (3)$$

至此基于高速摄影技术的弹丸炸高测量和数据优化完成。