

小口径空炸榴弹破片散布模型及应用

张 克, 王光华, 李 引

中国兵器装备集团公司第 208 研究所, 北京 102202

[摘要] 在 Shapiro 公式的基础上, 建立了在地面坐标系内运动弹体爆炸的破片直线弹道方程模型。运用该模型研究了空炸榴弹地面破片散布状态, 通过试验数据和计算结果对比, 表明该模型计算结果准确性好、效率高且计算简单, 为进一步研究空炸榴弹杀伤威力奠定了基础。

[关键词] 破片散布; 动态弹体; 空炸; 静爆

[中图分类号] TP391.9, E932.3

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2007)08-0026-04

Fragment Spatial Distribution Model for Small Caliber Air-burst Grenade and Its Applications

ZHANG Ke, WANG Guanghua, LI Yin

The 208th Institute, China South Industries Group Corporation, Beijing 102202, China

Abstract: This fragment spatial distribution model is based on the Shapiro formula, where the ground and the shell body coordinate systems are established. The straight-line trajectory equation for the fragment spatial distribution in the ground coordinate system is obtained. The calculation results indicate that this method is of good precision, efficient and easy to use, and may serve as a basis for the future research on power of destruction for air-burst grenades.

Key Words: fragment spatial distribution; dynamic grenade body; airburst; static burst

CLC Numbers: TP391.9, E932.3

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2007)08-0026-04

0 引言

空炸榴弹破片散布研究属终点效应学研究内容。在研究过程中主要采用两种方法: 试验分析法和计算机模拟分析法。试验分析法耗资较大, 由于试验条件限制, 目前国内主要进行的是静爆试验研究。但是, 战斗状态时弹丸的运动会对破片初速产生一定影响, 进而影响空炸榴弹破片的散布状态和弹丸威力, 因此静爆试验法有一定局限性。本文主要通过理论计算和试验相结合的方法研究某型号小口径空炸榴弹破片的空间散布。

破片的空间分布是确定破片杀伤威力的重要参数之一。破片的散飞角将直接影响破片的空间分布, 因此要研究破片的空间分布, 必须首先求解破片的散飞角。

目前, 求解破片散飞角的方法主要有 Taylor 角近似求解法和 Shapiro 公式求解法。Taylor 角求解法主要用于预测静态破片散飞特性; Shapiro 公式求解法则是 Taylor 角求解法的具体应用, 既可预测静爆弹体破片散飞角, 又可用于研究动态弹体爆炸时的破片散飞情况^[1]。本文主要在 Shapiro 公式的基础上对静爆及动态弹体空爆的破片空间散布特性进行了深入研究。

1 空炸榴弹破片散布模型

1.1 弹体坐标系与地面坐标系的转换方程

由于 Shapiro 公式的推导主要是在弹体坐标系内完成, 而破片散布是在地面坐标系内, 因此, 有必要利用坐标系间的转换方程对地面坐标系内破片散布状态

收稿日期: 2007-01-12

作者简介: 张 克, 男, 北京市中国兵器装备集团公司第 208 研究所, 硕士研究生, 研究方向为自动武器与弹药工程研究;

E-mail: hanxiaozhang@tom.com

王光华(通讯作者), 男, 北京市中国兵器装备集团公司第 208 研究所, 研究员级高级工程师, 研究方向为自动武器与弹药工程; E-mail: wangguanghua@sina.com

进行研究。

如图 1 所示,弹体坐标系 $O_1x_1y_1z_1$ 的坐标原点 O_1 取在弹体的起爆点, O_1x_1 轴与弹体纵轴重合, 指向弹丸运动的方向为正; O_1z_1 轴位于弹体纵向对称面内与 O_1x_1 轴垂直, 指向上为正; O_1y_1 轴垂直于 $O_1x_1z_1$ 平面, 方向按右手直角坐标系确定。地面坐标系 $Oxyz$ 是与地球表面固连的坐标系。坐标原点 O 选取为炸点在地面上的投影点; Ox 轴取弹道面与水平面的交线, 指向弹体运动的方向为正; Oz 轴沿垂线向上; Oy 轴与其他两个坐标轴垂直并构成右手坐标系。假设弹体运动速度 v_1 的方向与弹体轴 O_1x_1 重合, 落角为 ω , 炸高为 h 。

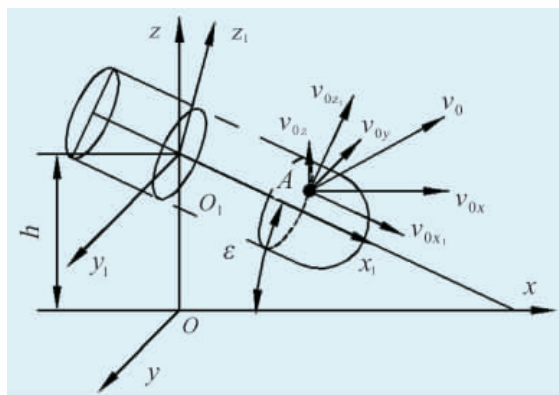


图 1 静爆状态破片初速矢量图

Fig. 1 Vector diagram of fragment's initial velocity in the static burst state

根据坐标转换方程^[2]可得

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z-h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\omega & 0 & \sin\omega \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\omega & 0 & \cos\omega \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

假设弹体坐标系内任意破片 A 的坐标为 $A(x_{1A}, y_{1A}, z_{1A})$ 。将 $A(x_{1A}, y_{1A}, z_{1A})$ 代入方程(1), 可得任意破片在地面坐标系内的坐标方程为

$$\begin{cases} x_A = x_{1A} \cos\omega + z_{1A} \sin\omega \\ y_A = y_{1A} \\ z_A = -x_{1A} \sin\omega + z_{1A} \cos\omega + h \end{cases} \quad (2)$$

1.2 静爆状态破片速度方程

如图 2 所示, 根据 Shapiro 公式, 可以求得弹体上任意破片 A 静爆状态下初速 v_0 的偏转角 θ_s 。在弹体坐标系中, 任意破片 A 点的初速 v_0 在 O_1x_1, O_1y_1, O_1z_1 上的速度分量分别为 $v_{0x_1}, v_{0y_1}, v_{0z_1}$, 则有

$$\begin{cases} v_{0x_1} = v_0 \sin\theta_s \\ v_{0y_1} = v_0 \cos\theta_s \cos\beta \\ v_{0z_1} = v_0 \cos\theta_s \sin\beta \end{cases} \quad (3)$$

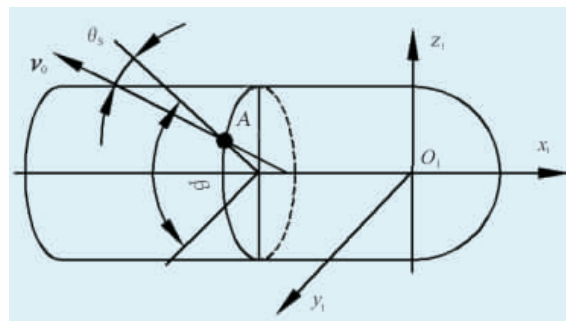


图 2 破片初速示意图

Fig. 2 Fragment's initial velocity

其中, θ_s 为静爆状态下破片的偏转角, β 为 A 点在 $O_1y_1z_1$ 平面上的投影与 O_1y_1 轴夹角。

如图 1 所示, 设任意破片 A 的初速 v_0 在地面坐标系 Ox, Oy, Oz 上的各个分量分别为 v_{0x}, v_{0y}, v_{0z} 。根据速度矢量法则, 可得出静爆状态下破片在地面坐标系内的速度矢量方程

$$\begin{cases} v_{0x} = v_0 \sin\theta_s \cos\omega + v_0 \cos\theta_s \sin\beta \sin\omega \\ v_{0y} = v_0 \cos\theta_s \cos\beta \\ v_{0z} = v_0 \cos\theta_s \sin\beta \cos\omega - v_0 \sin\theta_s \sin\omega \end{cases} \quad (4)$$

1.3 动态弹体破片初速方程

假设弹体运动速度 v_1 在地面坐标系 Ox, Oy, Oz 上的速度分量分别为 v_{1x}, v_{1y}, v_{1z} ; 则有

$$\begin{cases} v_{1x} = v_1 \cos\omega \\ v_{1y} = 0 \\ v_{1z} = -v_1 \sin\omega \end{cases} \quad (5)$$

根据速度矢量合成法则, 弹体上任意破片的初速为 $v = v_0 + v_1$, 因此, 由方程(4), (5)联立得出动态弹体上任意破片在地面坐标系内的初速方程为

$$\begin{cases} v_x = v_1 \cos\omega + v_0 \sin\theta_s \cos\omega + v_0 \cos\theta_s \sin\beta \sin\omega \\ v_y = v_0 \cos\theta_s \cos\beta \\ v_z = v_0 \cos\theta_s \sin\beta \cos\omega - v_1 \sin\omega - v_0 \sin\theta_s \sin\omega \end{cases} \quad (6)$$

1.4 破片直线弹道方程

破片获得初速后, 在空气中飞行时将受到重力和空气阻力作用。重力使破片飞行弹道发生弯曲; 空气阻力造成破片速度衰减。由于破片速度高, 飞行至目标的时间短, 距离也不会很大; 同时, 由于破片质量很小, 因此计算时可忽略重力对破片速度的影响, 认为破片飞行弹道近似为直线弹道^[1,3]。

由以上分析得知, 弹体上任意破片 A 在地面坐标系内的直线弹道方程为

$$\frac{x-x_A}{v_x} = \frac{y-y_A}{v_y} = \frac{z-z_A}{v_z} \quad (7)$$

将方程(2),(6)代入方程(7),可得地面坐标系内破片的直线弹道方程为

$$\frac{x-x_{1A}\cos\omega-z_{1A}\sin\omega}{v_1\cos\omega+v_0\sin\theta_s\cos\omega+v_0\cos\theta_s\sin\beta\sin\omega}=\frac{y-y_{1A}}{v_0\cos\theta_s\cos\beta}$$

$$=\frac{z+x_{1A}\sin\omega-z_{1A}\cos\omega-h}{v_0\cos\theta_s\sin\beta\cos\omega-v_1\sin\omega-v_0\sin\theta_s\sin\omega} \quad (8)$$

1.5 破片落点坐标方程

求解地面上破片落点坐标,可令 $z=0$,代入方程(8)可得到落点坐标方程为

$$x=f_1(x_{1A}, z_{1A}, \omega)+f_2(v_0, v_1, \theta_s, \omega, \beta, h)\cdot f_3(v_0, v_1, \theta_s, \omega, \beta)$$

$$y=y_{1A}+f_2(v_0, v_1, \theta_s, \omega, \beta)\cdot f_4(v_0, \theta_s, \beta)$$

$$z=0$$

式中,

$$f_1(x_{1A}, z_{1A}, \omega)=x_{1A}\cos\omega+z_{1A}\sin\omega$$

$$f_2(v_0, v_1, \theta_s, \omega, \beta, h)=$$

$$\frac{x_{1A}\sin\omega-z_{1A}\cos\omega-h}{v_0\cos\theta_s\sin\beta\cos\omega-v_1\sin\omega-v_0\sin\theta_s\sin\omega}$$

$$f_3(v_0, v_1, \theta_s, \omega, \beta)=v_1\cos\omega+v_0\sin\theta_s\cos\omega+v_0\cos\theta_s\sin\beta\sin\omega$$

$$f_4(v_0, \theta_s, \beta)=v_0\cos\theta_s\cos\beta$$

2 模型应用

为了检验模型的准确性,本文对某型号小口径空炸榴弹破片散布特性进行了理论分析和试验验证。试验方法如图3所示,水平地面上无间隙地铺满25 mm厚的松木板,松木板所占面积为 Y m(长) $\times X$ m(宽);弹体位于松木板所包围的矩形中心的正上方,弹体落角 $\omega=0$,弹头朝向地面坐标系 Ox 轴的正向;炸高 h 分别为1,2,3,4,5,6 m;试验中,全透和半透破片均作为有效破片处理。假设该型号榴弹破片初速为 $v_0=1\,250$ m/s,落角 $\omega=0$,静爆弹体运动速度 $v_1=0$,动态弹体运动速度 $v_1=200$ m/s,破片着地能量 $E\geq 78.4$ J即为有效破片^[1]。

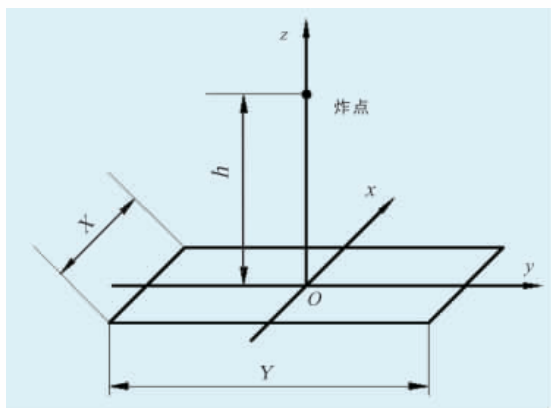


图3 静爆试验示意图

Fig. 3 Test of static burst

2.1 空炸榴弹静爆状态地面破片散布研究

2.1.1 不同炸高的地面破片分布密度研究

表1为该小口径榴弹在不同炸高爆炸,破片在地面某相同面积内散布的试验数据与理论计算数据的比较。

表1 静爆破片地面散布状态统计表

Table 1 Fragment ground distribution in static burst

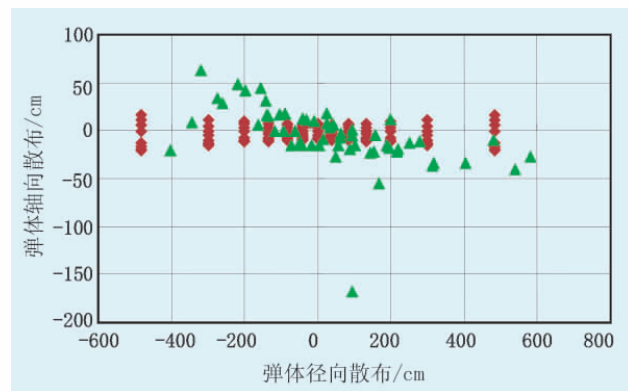
炸高/m	破片总数		
	试验值	理论值	误差/%
1	111	105	5.4
2	96	91	5.2
3	82	77	6.1
4	78	77	1.28
5	69	63	8.7
6	56	56	0

从表1数据可以看出,在相同范围内,试验数据与理论计算值的最大误差绝对值不超过8.7%,最小误差为0。因此,该模型对于分析破片地面散布状态的近似计算具有一定的精度。

理论计算和试验结果均表明,随着炸高增大,相同面积内的总破片数逐渐减少,即破片密度逐渐减小。

2.1.2 空炸榴弹破片地面散布特性研究

图4为弹体在2 m炸高静爆,有效破片地面分布的理论计算值与试验数据的对比示意图,图中(0,0)点为地面坐标系原点。



▲——试验数据(test) ◆——理论计算值(theoretical value)

图4 静爆状态地面有效破片散布图

Fig. 4 Effective fragment ground distribution in static burst

从图4可以看出,静爆弹体破片散布有以下特点。

1) 理论计算与试验的有效破片轴向散布范围大致相同。轴向分布均以炸点为中心,破片沿轴线向前后分布。需要指出的是,试验与理论计算的破片径向分布中心线有一定的夹角,主要是试验过程中弹体轴与地面

坐标轴纵轴之间有一定夹角引起的。

2) 径向分布的理论计算范围与试验数据分布范围基本相同。2 m 炸高处弹体静爆, 破片径向分布宽度均为 10 m 左右。

3) 理论计算和试验数据均表明, 静爆弹体的破片在坐标原点(炸点在地面投影)附近分布稠密, 向两端逐渐分布稀疏。

2.2 静态和动态弹体的地面破片散布比较

由于运动弹体速度对破片初速产生影响, 因此破片在地面散布状态存在差异。图 5 为 2 m 炸高处动态弹体和静态弹体爆炸后地面破片散布的理论计算对比示意图((0, 0)点为地面坐标系原点)。

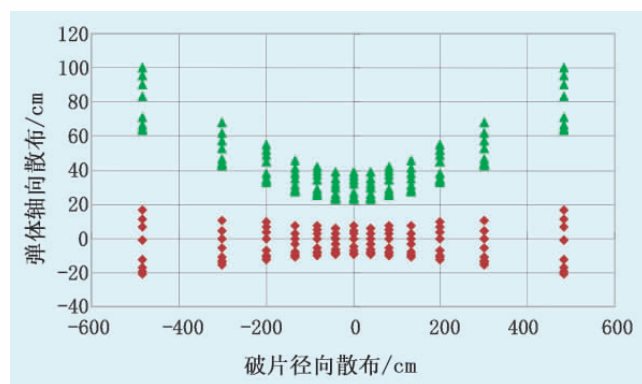
从图 5 可以看出, 动态弹体破片散布具有以下特点。

1) 动态弹体地面破片散布中心与静爆弹体破片散布中心不重合。动态弹体破片散布中心位于炸点前方 0.3 m 左右, 因此如果目标位于坐标原点, 动态空炸榴弹应根据炸高适当提前炸点位置才能获得对目标更好的杀伤效果。

2) 弹体运动速度对地面破片整体散布形状有一定影响。图中静爆弹体地面散布外形为双曲面状, 而动态弹体则有差异。

3) 动态弹体爆炸后的破片径向散布范围与静爆弹体的破片径向散布范围大致相同, 即运动弹体对破片径向散布影响不显著。

4) 与静爆弹体破片径向散布相同, 动态弹体爆炸后的径向破片在弹体轴线附近散布稠密, 在远离轴线处破片散布稀疏。



▲——动态弹体破片(Fragment in dynamic grenade burst)

◆——静爆弹体破片(Fragment in static burst)

图 5 动爆和静爆地面破片分布图

Fig. 5 Fragment ground distributions in static and dynamic grenade bursts

3 结论

本文在 Shapiro 公式的基础上, 建立了在地面坐标系内破片空间散布的直线弹道方程模型。通过试验数据和理论计算对比, 证明该模型对研究静爆空炸榴弹地面破片散布密度具有较高的精度。试验结果和应用该模型计算结果均表明, 随着炸高的增大, 地面破片散布密度逐渐减小; 有效破片的散布范围与试验结果吻合得较好。需要指出, 理论计算的有效破片数比试验中的有效破片数多, 主要是由于理论计算过程中是按等质量、等初速破片计算的, 试验弹体爆炸过程中破片质量和初速呈随机分布, 因此有效破片数目之间存在差异。仿真算例结果表明, 运动弹体空炸的地面破片散布中心不与炸点在地面上的投影点重合, 而是在炸点的前方。因此, 在应用中应根据炸高及弹体速度适当提前炸点相对于目标点的位置, 才能获得较好的杀伤效果。综上所述, 该模型可用于研究空炸榴弹破片散布状态, 减少试验量, 节约开支; 同时, 克服了试验方法难以研究动态弹体空炸破片散布特性的局限性, 因此, 具有一定的现实意义。

本文对空炸榴弹杀伤威力的研究还只是初步的, 考虑破片的初速、破片质量分布、落角、杀伤标准等均比较简单。事实上, 弹体上各个破片的初速均有一定差异, 破片的质量分布具有很大的随机性, 弹体的落角与弹丸的外弹道参数相关, 而各个国家的杀伤标准也有区别。因此, 针对以上情况, 如果需要分析空炸榴弹的杀伤威力, 该模型还有待于进一步深入研究、改进。

参考文献 (References)

- [1] 隋树元, 王树山. 终点效应学 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2000: 1-6, 87-90, 97-100.
SUI Shuyuan, WANG Shushan. Terminal effects [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2000: 1-6, 87-90, 97-100.
- [2] 钱杏芳, 林瑞雄, 赵亚男. 导弹飞行力学 [M]. 北京: 北京理工大学出版, 2003: 29-36.
QIAN Xingfang, LIN Ruixiong, ZHAO Yanan. Missile flight mechanics [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2003: 29-36.
- [3] 孙业斌. 爆炸作用与装药设计 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1987: 83-89.
SUN Yebin. Explosion effect and charge design [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1987: 83-89.

(责任编辑 赵佳)