

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.07.009

轻武器杀伤效能评估理论与计算

陈强华, 王永娟

(南京理工大学机械工程学院, 南京 210094)

摘要: 为了有效评估轻武器杀伤效能, 对轻武器杀伤效能进行理论评估与计算。以终点弹道理论和创伤弹道学理论为依据, 建立球型破片和枪弹在明胶中的运动模型, 采用龙格-库塔法对运动模型进行编程, 计算出杀伤元的侵入速度与侵入深度随时间的变化曲线, 从而预测出杀伤元在明胶中传递的能量, 再将其应用于几种常用的基于能量传递的轻武器杀伤效能评估模型中, 即可快速评价杀伤元的杀伤效能。实例计算结果证明: 该方法简单、方便, 可为轻武器研究、设计、论证提供参考。

关键词: 球形破片; 枪弹; 能量传递; 运动模型; 杀伤效能

中图分类号: N945.16 **文献标志码:** B

Evaluation Theory and Calculation of Kill Efficiency for Small Arms

Chen Qianghua, Wang Yongjuan

(School of Mechanical Engineering, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: In order to evaluate kill efficiency for small arms effectively, kill efficiency for small arms was theoretically evaluated and calculated. Take the terminal ballistics theory and wound ballistics theory as reference, The kinetic model of Spherical fragment and bullet in gelatin was established, then the kinetic model was programmed by using the Runge-Kutta method, the penetration velocity and the penetration depth verse time for damage element were calculated by using this program, the transferred energy of damage element in gelatin was predicted. Then the transferred energy was applied to the evaluation models of kill efficiency for small arms based on the energy-transferring, so the kill efficiency of damage element could be estimated quickly. It was demonstrated by the instance that this method is simple and convenient, and could provide reference for study, design and demonstration of small arms.

Keywords: spherical fragment; bullet; energy-transferring; kinetic model; kill efficiency

0 引言

在杀伤有生目标的常规弹药中, 最常见的有枪弹和由破片起杀伤作用的各式榴弹、地雷等。杀伤元(枪弹或破片)之所以具有杀伤力, 是因其具有动能。将能量传递给组织, 机体就会发生损伤。由于明胶的某些物理性能具有与机体组织相类似的特点, 并能直观地反应弹头(或破片)侵彻的物理现象, 且试验的重复性较好, 因此, 笔者选用明胶作为机体组织模拟物, 建立杀伤元在明胶中的运动模型, 以预测杀伤元在明胶中的能量传递, 再依据相应的杀伤效能评估模型来评价杀伤元的杀伤(使人员丧失战斗力)效能。这种基于经验公式的评估分析方法能快捷地提供评估结果, 从而大大缩短评估周期。

1 球形破片在明胶中的运动模型

由于明胶是一种触变胶, 在一定压力下容易液化, 因此在破片侵彻过程中, 破片表面会被一层粘性液体包围, 即在破片与固体明胶之间存在一层粘

性流体层。假设明胶介质是不可压缩的流体, 忽略介质强度的作用, 可认为阻力由 2 部分组成, 即惯性力和粘性力之和^[1]。

图 1 表示球形破片在明胶中的运动状态及示力。

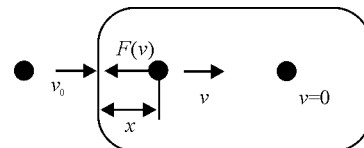


图 1 球形破片在明胶内的运动示意图

根据牛顿第二定律, 建立球形破片的运动模型:

$$\begin{cases} F = C_I \rho A V^2 + C_V \frac{\mu}{b} A V = -M \frac{dV}{dt} \\ \frac{dx}{dt} = V \end{cases} \quad (1)$$

式中: C_I 为惯性阻力系数; μ 为速度系数, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$; b 为边界层厚度, m ; A 为平均阻力面积, m^2 ; C_V 为粘性力系数; ρ 为明胶密度, kg/m^3 ; V 为瞬时速度, m/s ; x 为侵彻深度, m 。

收稿日期: 2011-03-23; 修回日期: 2011-04-08

作者简介: 陈强华(1987—), 男, 江西人, 硕士研究生, 从事机械类产品仿真及评估研究。

当投射物速度高于明胶声速(约 1 500 m/s)时, 应考虑材料的可压缩性; 而低速时, 投射物在明胶中产生的压力不足以使明胶液化, 此时的侵彻是对一个弹性固体的作用, 并非粘性流体, 最后是明胶强度起作用而使运动停止。因此, 该模型并不适用于特别高速或者低速时。该模型在一定速度范围内是有意义的, 可用来计算侵彻深度、速度衰减、能量损失等。虽然一般情况下投射物在侵彻结束阶段也存在速度降低问题, 但相对投射物的总能量来说, 强度作用也微不足道, 不会影响模型的使用。

2 枪弹在明胶中的运动模型

基于弹头为刚体忽略弹头变形与破碎、忽略弹头旋转和弹头重力、弹头运动发生在包含弹头轨迹的垂直平面内、忽略科式惯性力对弹头影响以及明胶为不可压缩粘性流体的假设, 建立了考虑垂直方向运动和偏转的弹头运动模型。图 2 表示枪弹在铅垂面内的运动状态及示力图^[2]。

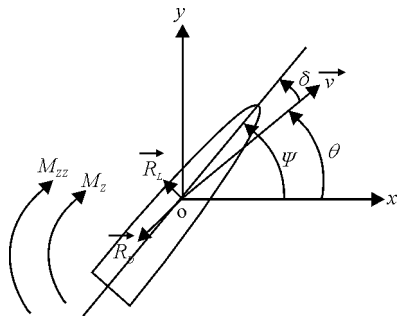


图 2 枪弹在铅垂面内的运动示意图

$$\begin{cases} \ddot{x} = -\left(\frac{1}{2m}\rho A_0\right) \cdot \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} \cdot \dot{y} \cdot C_L - \\ \quad \left(\frac{1}{2m}\rho A_0\right) \cdot \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} \cdot \dot{x} \cdot C_{D0} \cdot (1 + C_1 \delta^2) \\ \ddot{y} = \left(\frac{1}{2m}\rho A_0\right) \cdot \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} \cdot \dot{x} \cdot C_L - \\ \quad \left(\frac{1}{2m}\rho A_0\right) \cdot \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} \cdot \dot{y} \cdot C_{D0} \cdot (1 + C_1 \delta^2) \\ \ddot{\psi} = \left(\frac{1}{2I_b}\rho A_0\right) \cdot (\dot{x}^2 + \dot{y}^2) \cdot l \cdot C_M - \\ \quad \left(\frac{1}{2I_b}\rho A_0\right) \cdot \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} \cdot l^2 \cdot \dot{\psi} \cdot C'_{ZZ} \end{cases} \quad (2)$$

式中: ρ 为明胶密度, kg/m^3 ; l 为弹头长, m ; A_0 为平均阻力面积, m^2 ; m 为弹头质量, kg ; ψ 为偏转角, rad ; δ 为攻角, rad ; C_L 为升力系数; C_1 为弹形系数; C_{D0} - $\delta = 0$ 时的阻力系数; C_M 为稳定力矩系数; C'_{ZZ} 为赤道阻尼力矩系数对攻角的导数; I_b 为赤道转动惯量, $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ 。

3 杀伤效能评估模型

当投射物的结构参数和弹道参数为已知时, 在随机命中人体的条件下, 必然有一杀伤概率与之相对应, 杀伤判据就是表达这种对应关系的。显然, 它是评定弹药杀伤效能的基本依据。

3.1 以动能为标准的杀伤判据

在采用 78 J 动能标准时, 凡破片(或枪弹)所具有动能不小于上述规定值 78 J, 即认为具有杀伤能力, 并称之为杀伤破片^[3]。人体只要命中一枚杀伤破片, 就认为被杀伤。因此, 可将人员的杀伤概率等于杀伤破片的命中概率来处理, 也就是说:

$$\begin{cases} P(I/H) = 1, \text{当破片动能} \geq 78 \text{ J} \\ P(I/H) = 0, \text{当破片动能} < 78 \text{ J} \end{cases} \quad (3)$$

这种以动能为标准来评价和判定单个破片或其他投射物的杀伤威力的方法虽然比较简单, 但也非常粗糙。

3.2 以条件杀伤概率为标准的杀伤判据

1956 年, J.Sperrazze 认为, 对于同一类型的杀伤元, 质量为 m , 速度 v , 则形成创伤的严重程度是 mv^β 的函数, 并提出用威布尔概率分布函数^[4]来表达, 即:

$$P(I/H) = 1 - e^{-a(mv^\beta - b)^n} \quad (4)$$

式中: $P(I/H)$ 为一次随机命中执行特定任务的士兵在某一规定时间内丧失战斗力的概率; β 为实验结果确定的数值($\beta=3/2$); a, b, n 分别为根据杀伤元的类型、士兵承担的任务和丧失战斗力时间而确定的常数。

3.3 以明胶中传递的能量估计弹头的杀伤判据

1960 年, Dziemian 提出, 杀伤元在明胶靶中侵彻深度在 1~15 cm 间所传递的能量与随机命中人体时使步兵丧失战斗力的概率是相关的。二者的数学函数关系式如下^[4]:

$$P(I/H) = \frac{1}{1 + e^{-(a+bx)}} \quad (5)$$

式中: $P(I/H)$ 为一次随机命中时士兵丧失战斗力的概率。

$$x = \lg E_{1-15}$$

E_{1-15} 为侵彻明胶靶深度在 1~15 cm 间所传递的能量, J; a, b 为按照士兵承担的不同任务及不同的丧失战斗力时间而确定的常数。

后来, 经过对测量传递能量方法的对比, 发现

弹道摆法较为经济有效。因此美国阿伯丁靶场弹道实验研究所 (BRL) 正式采用弹道摆记录弹头在 15 cm 立方体的明胶靶中所传递的能量, 以判定弹头的杀伤威力, 此方法被称为 ΔKE 法^[5]。采用的函数式为:

$$P(I/H) = 1 - e^{-\alpha(\Delta KE)^n} \quad (6)$$

式中: $P(I/H)$ 为一次随机命中时士兵丧失战斗力的概率; ΔKE 为杀伤元在 15 cm 立方体的明胶靶中所传递的能量, J ; α, n 为根据士兵承担任务及丧失战斗力时间不同而确定的曲线拟合常数。

1975 年, Sturdivan 提出了另外的方法, 即 EKE 法^[5]。这种方法是将被步兵士兵一次随机命中时的丧失战斗力概率 $P(I/H)$ 与在明胶靶中投射物传递能量的期望值 (expected kinetic energy, EKE) 相联系。 $P(I/H)$ 与 EKE 函数关系式如下:

$$P(I/H) = \frac{1}{1 + \alpha \left(\frac{EKE}{\gamma} - 1 \right)^{-\beta}} \quad (7)$$

式中: α, β, γ 为与士兵承担任务及丧失战斗力时间有关的曲线拟合常数, 而:

$$EKE = \frac{m}{\alpha} \sum_{i=1}^{45} P_i (V_i^2 - V_{i-1}^2) \quad (8)$$

式中: m 为杀伤元质量, kg; V_i 为杀伤元在侵彻深 i 处的速度, m/s; V_0 为杀伤元碰击时的速度, m/s; P_i 为当侵彻深度为 i 时杀伤元存留在人体内的概率。

4 杀伤效能评估计算过程

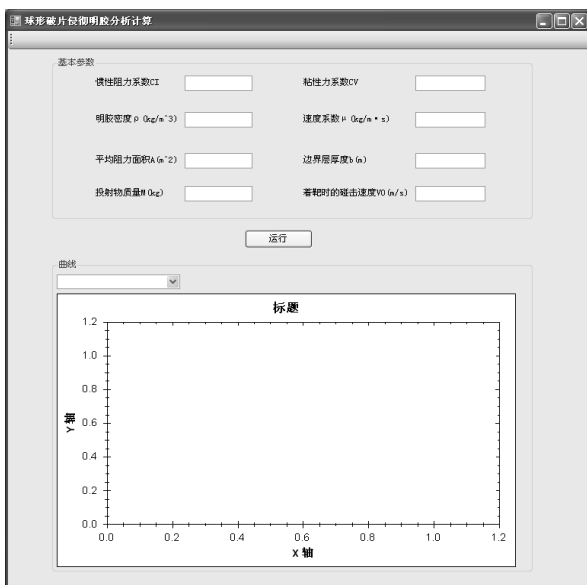


图 3 球形破片侵彻明胶计算分析
以球形破片为例, 介绍利用上述理论模型进行

轻武器杀伤效能评估计算的过程^[6]。利用 Visual C# 编程语言, 采用龙格-库塔法对球形破片在明胶中的运动模型进行编程, 程序界面如图 3, 在界面中输入模型的基本参数后运行程序得到侵彻深度、侵彻速度与时间的关系曲线。

球形破片的效能评估模型采用 ΔKE 法模型, 利用 Visual C# 对其进行编程, 程序界面如图 4, 将上一个程序模块得到的侵彻速度变化值及基本参数输入图 4 所示的程序界面运行程序得到最终的杀伤效能评估结果。



图 4 ΔKE 法杀伤效能计算

5 结论

上述理论模型主要是以能量传递理论为基础, 以杀伤元释放能量或能量速率为自变量, 以人员丧失战斗力程度为目标, 对轻武器杀伤效能进行评估, 方法简单, 易于编程实现, 对轻武器研究、设计、论证具有一定的价值。科学技术及创伤弹道学的不断发展, 以及人们对杀伤元致伤机理认识的不断完善, 必将促进杀伤效能评估理论模型的发展。

参考文献:

- [1] Sturdivan L. A Mathematic Model Of Penetration Of Chunky Projectiles In A Gelatin Tissue Simulant[R]. 1978, ADAU63525.
- [2] 徐明友. 火箭外弹道学[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1989: 94-102.
- [3] 刘荫秋, 王正国, 马玉媛, 等. 创伤弹道学[M]. 北京: 人民军医出版社, 1991: 114-126.
- [4] Eisler D, Chatterjee A, Burghart G. Casualty Assessments of Penetrating Wounds From Ballistic Trauma[R]. 2001, AD20010719041.
- [5] William B, Beverly. A Human Ballistic Mortality Model[R]. 1978, ADA058947.
- [6] 张燕军, 祖健, 徐旭, 等. 基于烧蚀磨损理论的某新型高炮内弹道性能预测[J]. 四川兵工学报, 2010, 31(8): 29.