

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.03.003

某型弹丸侵彻深度的影响因素

陈雪礼¹, 王克印¹, 苾军红², 韩星星¹

(1. 军械工程学院 基础部, 石家庄 050003; 2. 总装备部 驻 5413 厂军代室, 石家庄 050031)

摘要: 弹丸的侵彻深度直接影响到爆轰角的大小和破片的毁伤效果。在经验公式的基础上, 通过推导侵彻深度的数学表达式, 研究该型弹丸侵彻深度的主要影响因素, 并以某型弹丸为应用实例进行参数化分析, 运用 MATLAB 数值计算软件得到相应的曲线关系图。数值分析弹丸侵彻深度的影响因素, 可为控制弹丸起爆位置和弹药设计提供依据和参考, 有利于提高弹片的毁伤效率。

关键词: 侵彻深度; 影响因素; 数值分析

中图分类号: TJ410.6 **文献标志码:** A

Influence Factors of Certain Type Shell Penetration Depth

Chen Xueli¹, Wang Keyin¹, Chang Junhong², Han Xingxing¹

(1. Dept. of Basic Theories, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China;

2. Military Representatives Office in No. 5413 Factory, General Armament Department, Shijiazhuang 050031, China)

Abstract: The shell penetration depth directly influences the detonation angle and destruction effect. The influence factors of penetration depth are researched through the expression deduction based on the experiential formula. Parameterized analyzed for a kind of shell and the influence factors relation plot is worked out by MATLAB. The influence factors of numerical analysis shell penetration depth can provide evidence and reference for shell detonated point controlling and ammunition design. It also can improve the shell fragments damage efficiency.

Keywords: penetration depth; influence factors; numerical analysis

0 引言

弹丸碰击目标后还有一定的末速度, 在惯性力作用下会侵彻到目标介质中, 从而使得战斗部起爆位置呈现随机分布, 直接影响弹丸的侵彻破坏效果和破片的飞散。根据战斗部的爆轰作用形式, 控制其侵彻深度, 使其在到达指定深度后爆炸, 才能够获得最佳的战斗效能。因此, 需要通过研究弹丸的侵彻深度, 并对主要影响因素进行数值分析, 从而为控制弹丸的起爆位置提供依据。计算弹体侵彻深度的公式约有 40 种, 方法互不相同且都有各自的应用范围和应用条件^[1]。笔者根据某型炮弹特点, 选择合适的经验公式并推导出侵彻深度表达式, 利用 MATLAB 计算软件对主要影响因素进行分析研究。

1 侵彻深度对爆轰角的影响

战斗部起爆位置的改变, 影响爆轰角的大小和破片的飞散效果, 弹丸侵彻爆轰时破片飞散如图 1。

通过动态爆轰试验, 发现当侵彻深度较小时, 爆轰角也较小, 对破片飞散的影响也较小。侵彻深度增大时, 爆轰角迅速增大, 部分破片直接抛射到

目标介质中, 利用率降低, 影响杀伤效果。随着侵彻深度的增加, 甚至会出现“盲炸”现象^[2]。

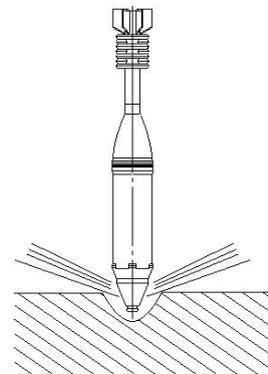


图 1 弹丸侵彻爆轰示意图

2 侵彻深度的影响因素分析

在我国, 一般采用如下弹丸侵彻深度的别列赞计算公式^[3]:

$$l_m = iK_n \frac{M}{D^2} v \quad (1)$$

式中, l_m 为弹丸最大侵彻深度, m; i 为弹形系数, 非远射程弹取为 1.0; K_n 为目标性质系数, m^2s/kg ;

收稿日期: 2010-10-30; 修回日期: 2010-12-01

基金项目: 石家庄市科技局 2008 年科技攻关项目 (08108P11A)

作者简介: 陈雪礼 (1985—), 男, 四川人, 硕士研究生, 从事现代设计理论及应用研究。

M 为弹丸的质量, kg; D 为弹丸的直径, m; v 为弹丸的着速, m/s。原型实弹试验中所用的弹径在 0.075~0.203 m 之间, 只要超出这个范围就要进行修正。

设对应侵彻深度 l 时的弹丸速度为 v_t , 由式 (1) 可以求得

$$v_t = v_c - \frac{D^2}{iK_n M} l \quad (2)$$

运用牛顿定律, 整理可得

$$\frac{D^2}{iK_n t} l = F - Mg \quad (3)$$

式中, F 为侵彻阻力, N; t 为弹丸侵彻时间, 小于最大侵彻时间 t_m , s。

再根据能量守恒定律

$$\frac{1}{2} M v_c^2 - \frac{1}{2} M v_t^2 = (F - Mg) l \quad (4)$$

把式 (2)、式 (3) 代入式 (4) 中, 整理得到侵彻深度的表达式

$$l = \frac{v_c}{\frac{D^2}{2iK_n M} + \frac{1}{t}} \quad (5)$$

设

$$f_D = \frac{D^2}{iM} = \frac{4A}{\pi iM}$$

式中, A 为侵彻的最大阻力面积, m^2 ; f_D 为弹丸侵彻时的阻力面积的函数, m^2/kg 。

所以, 侵彻深度的表达式可以写成

$$l = \frac{v_c}{\frac{1}{2K_n} f_D + \frac{1}{t}} \quad (6)$$

从式 (6) 可以看出, 某型弹丸在发射条件一致的情况下, 弹丸侵彻深度主要受目标介质的性质、侵彻阻力面积、侵彻时间的影响。

2.1 阻力面积变化时的侵彻深度研究

算例: 某型弹丸, 弹重 4.7 kg, 着速 260 m/s, 弹形系数为 1, 目标介质为坚实粘土 $K_n = 7 \times 10^{-6} m^2/s/kg$, 时间小于最大侵彻时间取为 2 ms。运用工程计算软件 MATLAB 编程计算, 得到侵彻深度关于阻力面积的变化曲线如图 2。

从图 2 可以看出, 对某种目标介质射击时, 阻力面积越大则侵彻阻力也越大, 侵彻深度锐减。如果阻力面积足够大, 则侵彻深度趋近于零, 实现地面炸; 如果阻力面积足够小, 则侵彻深度趋近于无

穷, 实现深钻地, 但必须考虑实际工程需要和弹药设计原则。根据炮弹的战斗效能要求, 确定合适的侵彻深度目标, 就可以通过改变侵彻阻力面积的方法控制炸点位置。但必须综合考虑弹丸飞行阻力和飞行稳定性的要求, 选取合理的阻力面积。

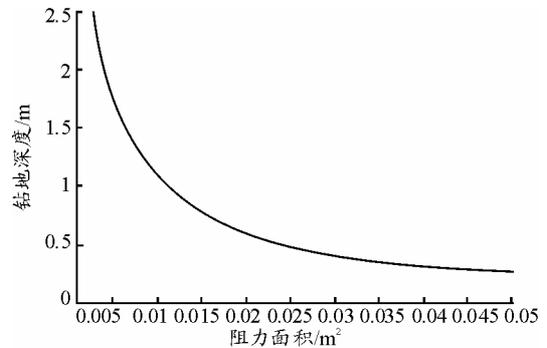


图 2 侵彻深度与阻力面积关系图

2.2 不同目标介质的侵彻深度研究

同种弹药对不同的目标介质射击时, 弹丸的侵彻深度呈现不同特点, 即目标介质的阻力系数 K_n 影响侵彻深度。不同介质的 K_n 值如表 1^[4]。

表 1 弹丸侵彻不同介质时的 K_n 值

介质名称	$K_n / (m^2 \cdot s \cdot kg^{-1})$	介质名称	$K_n / (m^2 \cdot s \cdot kg^{-1})$
松土	17×10^{-6}	树木	6×10^{-6}
粘土	10×10^{-6}	砖	2×10^{-6}
坚实粘土	7×10^{-6}	混凝土	1.3×10^{-6}
坚实砂土	6.5×10^{-6}	石灰岩、砂岩	1.6×10^{-6}
砂土	4.5×10^{-6}	钢筋混凝土	0.8×10^{-6}

在阻力面积变化的同时, 考虑不同目标介质的影响, 运用 MATLAB 编程计算, 得到侵彻深度与目标介质关系的曲线组如图 3。

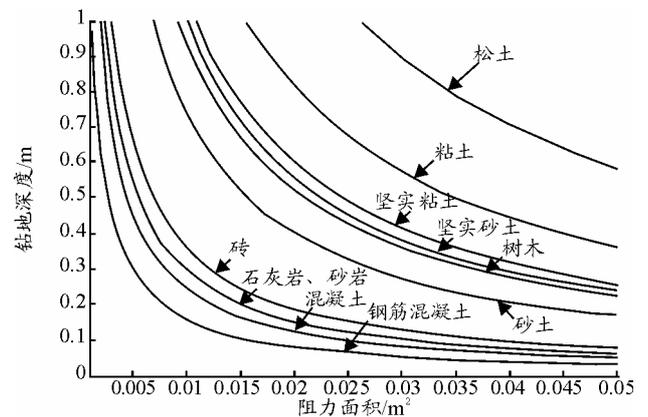


图 3 目标介质对侵彻深度的影响关系

从图 3 可以看出, 当阻力面积一定时, 侵彻深度随目标介质的不同变化很大。对于小口径弹药, 即侵彻面积较小时, 对各种介质目标射击时侵彻深度变化较大; 侵彻面积较大时,

(下转第 25 页)

导雷达搜索阶段), 跟踪制导雷达的发现目标概率、确认目标概率等几乎为 0。即干扰开始时刻对跟踪制导雷达系统影响最大, 当干扰施加在跟踪制导雷达系统的搜索阶段, 跟踪制导雷达系统的各项性能指标明显降低。干扰施加越晚, 各性能指标越高。

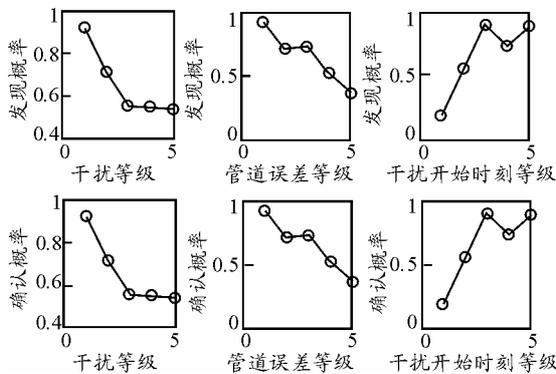


图 10 Arena 模型仿真模型仿真结果图

4 结束语

结果表明, Petri 网和 Arena 综合建模法能更好地分析真实系统。同时, Petri 网模型的结构化分析可以对 Arena 模型工作流程进行校验, 使模型与实际系统更加贴近。通过 Petri 网模型 S 变量、T 不变

量、进程网等分析方法可以分析跟踪制导雷达工作流程, 通过设定 Arena 模型中的不同摄动因素, 可以得到在不同想定条件下 Arena 模型的工作流程, 通过 Arena 模型中仿真步骤 1)、2)证实了 Arena 流程与 Petri 网中对应的 T 不变量一致, 证明了 Arena 流程与 Petri 网模型的进程网一致, 从而验证了前述 2 个命题。

参考文献:

[1] Shaun P. Hayes. SYSTEMS ARCHITECTURE FOR A TACTICAL NAVAL COMMAND AND CONTROL SYSTEM[D]. CALIFORNIA: NAVAL POSTGRADUATE SCHOOL, 2009.
 [2] Carla Bacchus, Ian Barford, David Bedford, et al. Digital Array Radar for Ballistic Missile Defense and Counter-Stealth Systems Analysis and Parameter Trade off Study[D]. CALIFORNIA: NAVAL POSTGRADUATE SCHOOL, 14 Sep, 2006.
 [3] 谢代华, 张伟. 弹道导弹中段飞行 ISAR 成像转角条件仿真与分析[J]. 电讯技术, 2009, 49(1): 67-71.
 [4] 田野, 高建军, 宿富林. 导弹目标逆合成孔径雷达成像的仿真[J]. 计算机仿真. 2006, 23(06): 49-51.
 [5] 冯德军, 王雪松, 肖顺平, 等. 弹道目标中段雷达成像仿真研究[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(11): 2511-2516.

 (上接第 7 页)

曲线变化趋于平稳, 即对于各种介质目标侵彻面积对侵彻深度的影响减弱。在确定弹丸侵彻面积后, 通过对应阻力面积点画垂线, 与曲线组相交, 交点即为对应各目标介质的侵彻深度。

2.3 时间对侵彻深度的影响

当侵彻时间小于最大侵彻时间时, 随着侵彻时间的增加侵彻深度增大。当侵彻时间大于最大侵彻时间后, 弹丸速度为零, 侵彻深度达到最大深度, 不再变化。其变化趋势如图 4。

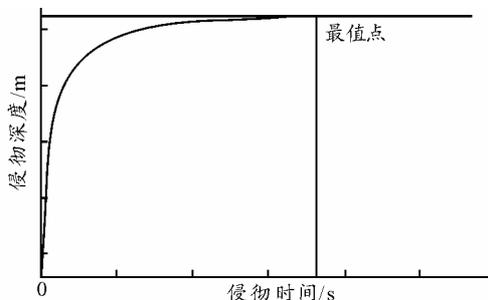


图 4 侵彻深度与侵彻时间的关系图

2.4 弹头形状对侵彻深度的影响

弹头形状对侵彻深度的影响可以通过影响因子系数的形式写入侵彻深度表达式中^[5]。

对于某型弹丸可以通过调整引信起爆时间来控制侵彻时间。当引信作用时间极短时, 弹丸侵彻深度小, 但此时弹丸末速较大, 对破片的飞散影响很大, 相当于沿弹丸运动方向给破片一个初速, 直接影响破片的毁伤效能, 应综合考虑。

3 结束语

运用数值分析的方法研究某型弹丸侵彻深度的主要影响因素, 得到了相关影响因素曲线图, 为控制战斗部爆轰位置提供了重要依据, 对弹丸设计也有一定的参考价值。

参考文献:

[1] Heuze F E. An Overview of Projectile Penetration into Geologic Materils, with Emphasis on Rocks[J]. Int J Rock Mech Min Sci, 1990, 27(2):151-158.
 [2] 赵晓利, 王军波. 弹药学[M]. 北京: 解放军出版社, 1998: 12.
 [3] 王军波, 李彦学, 高敏. 引信系统分析与设计原理[M]. 北京: 解放军出版社, 2001.
 [4] 李占雄, 等. 引信工程设计手册[S]. 北京: 总装备部军标出版发行部, 2004.
 [5] 程兴旺, 王富耻, 李树奎, 等. 不同头部形状长杆弹侵彻过程的数值模拟[J]. 兵工学报, 2007, 28(8): 930-933.