

柱形破片对多层间隙靶侵彻试验研究^{*}

魏继锋, 王树山, 马峰

(北京理工大学爆炸科学与技术国家重点实验室, 北京 100081)

摘要:对钨合金柱形破片侵彻多层铝合金间隙靶板进行了试验研究, 模拟预制破片弹中杀伤元对目标的侵彻特性。分析了破片质量、着靶速度对多层靶板侵彻能力的影响, 获得了基础试验数据, 并结合工程计算模型, 拟合得到了靶板侵彻层数随破片质量、着靶速度的数学方程。该拟合方程可用于评估长径比为1且正侵彻的钨柱形破片的侵彻能力, 对预制破片弹的破片选择提供实用参考。

关键词:破片; 多层间隙靶; 长径比; 侵彻速度

中图分类号: O385 **文献标志码:** A

Experimental Investigation on Cylindrical Fragments Penetrating into Multi-spaced Targets

WEI Jifeng, WANG Shushan, MA Feng

(State Key Laboratory of Explosion Science and Technology, BIT, Beijing 100081, China)

Abstract: Multi-spaced targets of Aluminum alloy penetrated by cylindrical tungsten fragments were experimentally investigated, which simulates the penetrating capability of fragments to target. The penetrating layer is analyzed with the variety of fragment mass and velocity. On the basis of experimental results, a simulating formula of was established. The formula can be used to evaluate the normal penetrating ability of tungsten cylindrical fragment whose ratio of length to diameter is 1. Those studies provide practical reference for fragment warhead.

Keywords: fragment; multi-spaced target; ratio of length to diameter; penetrating velocity

0 引言

破片对靶板的侵彻能力是衡量破片型弹药、战斗部杀伤威力的基本要素之一, 是评价其杀伤能力的一个重要手段。采用的破片材料以钢材料和钨材料居多, 其中钨合金材料因其高密度、高强度得到了更为广泛的使用。弹丸对靶板的侵彻能力与着靶速度、靶厚、靶间距以及弹靶材料的密度和动态特性等诸多因素相关, 内容涉及弹塑性力学、损伤力学、断裂力学等诸多学科。在不同弹丸形状对单层靶板的侵彻方面研究较多^[1-3], 对多层靶的研究主要集中在球形破片侵彻方面的研究, 且研究结果大多针对单一质量或两对比质量破片进行, 而破片质量变化对侵彻性能系统性研究很少。

N. K. Gupta^[4]进行了带夹套的实心卵形弹

丸在 800~880m/s 速度范围内对中性钢、RHA 钢和铝三种材料的侵彻实验, 分析了靶板厚度 (4.7~40mm) 和靶板强度对靶板破坏形式、弹丸余速的影响趋势。午新民等^[5]进行了 1g 钨合金球侵彻多层硬铝靶的实验研究, 靶板间距选取 30mm 和 60mm 两种厚度, 破片速度在 300~1800m/s 范围内, 试验结果表明在着靶速度低于 1100m/s 时, 侵彻能力与着靶速度呈线性关系; 在 1100~1400m/s, 侵彻能力基本一致; 大于 1400m/s 侵彻能力迅速下降。并与钢球的侵彻能力进行了对比分析。

文中将典型目标等效为多层间隙铝合金靶板, 以不同质量的钨合金破片作为杀伤元素, 研究破片对多层间隙靶的侵彻/贯穿规律及机理, 为弹药破片的威力考核和威力设计提供实用参考。

^{*} 收稿日期: 2008-12-23

作者简介: 魏继锋 (1977-), 男, 山西高平人, 讲师, 博士, 研究方向: 战斗部结构设计、战斗部终点效应。

1 试验方法与试验方案

1.1 试验方法

破片侵彻多层间隙靶试验在室外靶场进行。破片选用钨合金材料,密度为 17.5g/cm^3 ,间隙靶材料为 LY2A12,密度为 2.78g/cm^3 。试验时破片由弹道枪发射出去,经空气中衰减飞行后到达靶板表面,进而撞击间隙靶实施侵彻。破片速度由装药量调节,试验场地布置如图 1 所示。

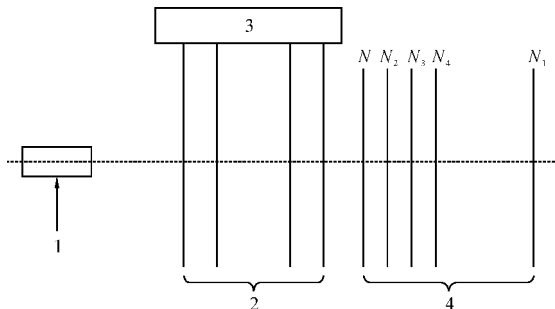


图 1 破片侵彻多层靶试验布置图

试验系统包括加载装置、测速靶、测试仪和多层组合靶。根据对目标的易损性分析,其具有的最大等效层数为 12。试验中放置 18 层靶板,目的是考察破片的最大侵彻能力,等效靶板长宽均为 1m,厚度为 2mm,靶板间隙为 30mm。

1.2 试验方案

为了研究破片质量对靶板正侵彻时的侵彻规律,选取了 5 种钨柱质量作为试验用破片,质量分别为 0.5g、1.0g、2.0g、3.0g、4.0g,长径比均为 1。试验中,依照质量大小依次进行试验,每种破片试验数量均为 20 发。预制破片着靶侵彻速度由测速靶系统得到,并记录每次射击后的目标等效多层靶的侵彻层数。

2 试验结果与分析

试验中靶板被侵彻情况如图 2 所示,从中可以看出,破片穿过靶板时保持了圆柱底部与靶板接触状态(即正侵彻),靶板形式主要以冲塞破坏为主。

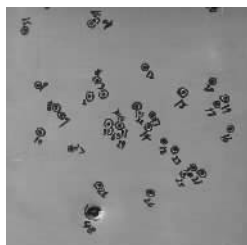


图 2 靶板被侵彻试验结果

试验结果表明,在相同破片质量情况下,随着破片速度的增加,侵彻靶板的层数也在增加。为

了研究在相同侵彻层数情况下,质量变化对所需速度的影响,对试验数据进行了筛选。选取了 $N = 4$ 和 $N = 8$ (N 表示破片侵彻靶板层数,以下同)两种情况,观察变化趋势。

从图 3 可以看出,在侵彻相同多层靶情况下,破片质量越大,侵彻靶板所需的速度越小。图 3 中曲线的斜率在逐渐减小,表明随着质量的增加,速度减小的趋势也在减小。

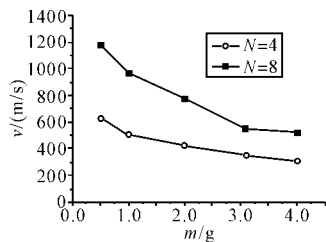


图 3 两种侵彻层数下破片质量与速度的对应变化

3 试验模型与结果验证

3.1 无量纲试验模型

根据已有理论,在靶板材料一定的条件下,破片侵彻靶板的层数 N 与破片速度 v 、破片质量 m 和破片的侵彻阻力面积 S 有关,故侵彻层数 N 可以表示为 v 、 m 和 S 的函数。

假设破片层数 N 与速度 v 、质量 m 、侵彻阻力面积 S 符合如下函数关系:

$$N = K v_i^\alpha m_i^\beta S_i^\gamma \tag{1}$$

其中: N 为破片侵彻层数; K 为系数; v_i 为破片速度, m/s ; m_i 为破片质量, kg ; S_i 为破片侵彻阻力面积, cm^2 ; α, β, γ 为系数。

根据图 2 的试验结果,穿孔全部为底部正穿孔,因此可认为破片在飞行过程中姿态保持不变,始终底面朝向靶板,并最终实施正侵彻,则侵彻阻力面积可由式(2)给出:

$$S = \pi r^2 \tag{2}$$

其中 r 为圆柱破片底部半径。

结合侵彻试验数据并进行数据处理,拟合得到式(1)中的系数 K, α, β 和 γ 如式(3)所示。

$$N = 0.0234 v_i^{1.3759} m_i^{0.5258} S_i^{-0.0612} \tag{3}$$

由此得到了试验结果的拟合方程。该试验模型的适用条件为:① 破片材质为钨合金,破片形状为圆柱状,且长径比为 1;② 侵彻靶板为多层间隙铝靶;③ 破片对靶板侵彻的形式为正侵彻。

3.2 试验结果验证

为了验证拟合方程的切合程度,现将利用拟

防御技术,2008,36(4):23-26,50.

[2] A I Tyatyushkin, B E Fedunov. Possibilities of defense from a missile attacking from the back hemisphere by a vertical maneuver[J]. Journal of Computer and Systems Sciences International, 2006, 45(1):120-127.

[3] K W Shim, D J Monaghan, C G Armstrong. Mixed dimensional coupling in finite element stress analysis[C]// Proceedings, 10th International Mes-

hing Roundtable, Sandia National Laboratories, 2001:269-277.

[4] 夏盛来,何景武. 基于工程应用的有限元网格划分研究[J]. 飞机设计, 2008, 28(4):10-13.

[5] 张英云,涂佑青. 最新使用金属材料手册[M]. 南昌:江西科学技术出版社,1999.

[6] 相升海,张平,李世鹏,等. 导弹轨姿控舱体的强度分析[J]. 固体火箭技术,2006,29(5):350-353.

(上接第 124 页)

合方程(3)得到的拟合曲线和试验数据,以破片速度和侵彻层数分别为参量表示出来。图 4、图 5 给出了 1.0g 和 4.0g 破片质量时,破片速度与侵彻层数的试验点及拟合曲线。

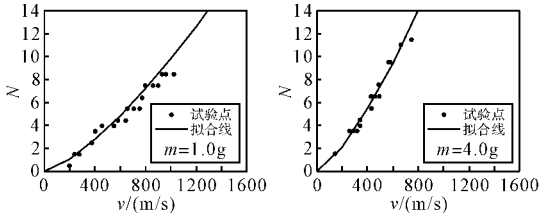


图 4 1.0g 破片速度与侵彻层数 图 5 4.0g 破片速度与侵彻层数

从图 4 和图 5 可以看出,拟合方程得出的拟合曲线与试验点符合很好,表明建立的理论计算模型较为贴切,假定的函数关系能够较好地体现钨柱形破片正侵彻多层靶板的基本状况。

图 6 示出了不同钨柱破片质量时的拟合曲线变化情况。结果表明,对某一破片质量,随着破片速度的增加,破片侵彻层数逐渐增加且幅度在变大(曲线斜率逐渐变大),侵彻层数与速度的 1.3759 次方成正比;对某一破片速度,侵彻层数随破片质量的增加而增加,侵彻层数与质量的 0.5258 次方成正比。

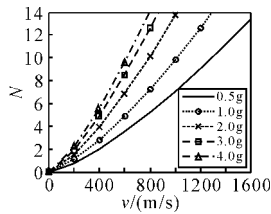


图 6 不同破片质量拟合曲线比较图

通过杀伤目标的易损性分析可获得其对应的等效间隙靶层数,当战斗部进行破片选择时,就可依据图 6 得出不同质量破片所需的侵彻速度。再结合战斗部质量、装药威力、杀伤密度等战术技术指标要求,就可便捷的优选出适合的破片。

4 结论

本研究对五种不同质量的钨柱破片侵彻多层间隙铝靶进行了试验研究,得到了破片侵彻速度、破片质量与侵彻层数的关系。试验模型考虑了侵彻速度、破片质量、侵彻阻力面积三个方面对侵彻层数的影响。该试验模型基于大量试验数据,并经数学处理得到,拟合关系式对于钨柱形破片长径比为 1 且正侵彻多层间隙靶形式的研究具有普适性。

上述研究结果可以加深钨柱破片对多层靶侵彻方面的研究和理解,可对战斗部预制破片的选择提供实用参考。

参考文献:

[1] 米双山,张锡恩,陶贵明. 钨球侵彻 LY-12 铝合金靶板的有限元分析[J]. 爆炸与冲击,2005,25(5):477-480.

[2] 管公顺,张伟,庞宝君,等. 铝球弹丸高速正撞击薄铝板穿孔研究[J]. 高压物理学报,2005,19(2):132-138.

[3] T B Ćrvik, Langseth M, Hopperstad O S, et al. Ballistic penetration of steel plates[J]. International Journal of Impact Engineering, 1999, 22(9/10):85-87.

[4] N K Gupta, V Madhu. An experimental study of normal and oblique impact of hard-core projectile on single and layered plates[J]. International Journal of Impact Engineering, 1997, 19(5/6):395-414.

[5] 午新民,翟晓丽,蒋浩征. 钨合金球侵彻多层等间隙硬铝靶实验研究[J]. 北京理工大学学报,1997(1):111-116.