

双层间隔靶抗杆式弹性能的数值模拟^{*}

李俊青, 刘天生

(中北大学化工与环境学院, 太原 030051)

摘要:文中结合长杆弹侵彻双层间隔靶的实验, 采用三维非线性动力学有限元程序 LS-DYNA3D 模拟了面、背板不同布置时长杆弹侵彻双层间隔靶的侵彻过程, 研究了双层间隔靶面、背板的不同布置对其抗弹性能的影响, 计算结果与实验结果吻合较好, 得出弹杆的剩余动能的变化曲线, 通过分析, 结果表明, 倾斜的放置面板或背板可以提高双层间隔装甲的抗弹性能, 且面板同样放置时, 随着背板倾斜角度的增大抗弹性能提高, 研究结果对优化装甲的设计可提供参考。

关键词: 双层间隔靶; 抗弹性能; 面板; 背板; 侵彻

中图分类号: TJ410.2 **文献标志码:** A

Numerical Simulation in the Capacity for Anti-Penetrati on Enrironment of Twolayer Spaced Target

LI Junqing, LIU Tiansheng

(School of Chemical Industry and Environment, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: It is very significant to study armor's protected ability, with respect to the actual experiment in this paper, when face plate and back board are different arranged, the process of projectile against two-layer spaced target was simulated with explicit finite element software LS-DYNA 3D, the effect of different arrangement of face plate and back board into the capacity for anti-penetration of two-layer spaced target was studied. The results of simulation were in good agreement with experimental results. Obtained the velocity and kinetic energy changing curve for penetrating through two-layer spaced target, the conclusion and its analysis indicate that the capacity for anti-penetration of two-layer spaced target can be improved by arranging obliquity the face plate or back board, moreover arranging similarly the face plate, the capacity for anti-penetration is increased with the back board's obliquity angle increasing. The studied results can provide reference for the design of two-layer spaced armor.

Keywords: two-layer spaced target; anti-penetration capacity; face plate; back board; penetration

0 引言

国内外防护装甲的发展和设计^[1-2]已成为广泛研究的课题,一方面要提高其防护能力,另一方面要尽量减轻自重,不影响所防护目标的机动能力。多层间隔装甲是20世纪70年代出现的一种新型装甲,影响其防护性能的装甲材料^[3]已有很多人探讨过,关于在有限的空间内如何放置靶板以达到最佳防护效果,目前研究很少。文中以双层间隔靶为研究对象,将其等厚度的面、背板分为几种不同的布置情况,在弹丸侵彻双层间隔靶板实验的基础上,利用 LS-DYNA3D 非

线性有限元软件分别对侵彻过程进行数值模拟,根据弹丸的剩余动能分析面、背板的布置对双层间隔装甲抗侵彻能力的影响,并利用数值模拟方法进一步研究背板的倾斜角度对双层间隔装甲抗弹能力的影响,从而为提高靶板的防护性能提供技术途径。

1 数值模型模拟的建立

1.1 结构模型

将双层靶的面、背板布置分列以下4种情况(见图1),代号分别为a、b、c、d,两层靶板间的间距即面、背板中心之间的距离 l 都为13mm,且弹

^{*} 收稿日期:2008-10-16

作者简介:李俊青(1984-),女,内蒙古乌兰察布盟人,硕士研究生,研究方向:装甲防护工程。

体侵彻方向如图中所示。针对 b, 根据背板的倾斜角度又分 b1 和 b2(见图 2) 两种情况。

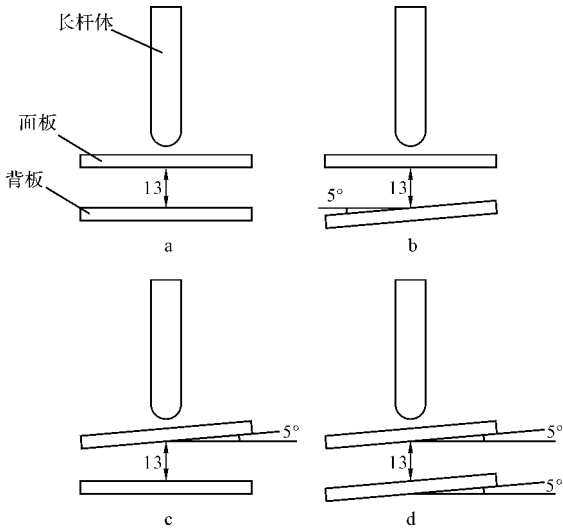


图 1 面背板不同布置的双层间隙靶

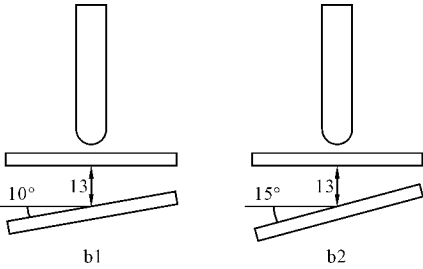


图 2 面背板不同布置的双层间隙靶

1.2 基本假设

根据穿甲工程力学的理论^[4], 长杆体和靶板为均匀连续介质, 忽略一切热效应, 包括由摩擦所产生的热, 由于变形或摩擦热对材料性能的影响和它们引起的相变; 不计空气阻力, 不考虑重力的作用, 不考虑靶板的侧边效应, 忽略靶板的刚体运动, 长杆体和靶板的初始应力为零。

1.3 有限元模型与材料参数

弹体和靶板都为材质均匀的普通低碳钢, 密度为 $7.83 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, 长杆弹长径比为 9, 长为 45mm。每块靶板厚度都为 4 mm, 长、宽各为 100mm。

计算模型的网格划分采用 Langrange 法。侵彻体和靶板单元类型均采用 SOLID164, 网格单元形状为八结点六面体, 靶板与弹丸直接作用区域网格加密。在对称边界上施加对称约束, 侵彻体和靶板均采用 JOHNSON_COOK 材料模型和 Gruneisen 状态方程。

侵彻体和靶板之间的接触算法采用的是:

ERODING_SURFACE_TO_SURFACE, 在靶板边界处施加非反射边界, 单位采用 $\text{cm} - \mu\text{s} - \text{g}$ 。计算时间为 $120\mu\text{s}$ 。每 $2\mu\text{s}$ 输出一个结果数据文件。由于所研究问题具有对称性, 在模拟计算过程中采用对称面的方法, 侵彻体和靶板均取 1/2 原型。

Johnson-cook 模型的应力应变关系^[7]:

$$\sigma_y = (A + B\bar{\epsilon}^n)(1 + c \ln \epsilon^*) (1 - T^{*m}) \quad (1)$$

其中: A, B, C, n 和 m 是材料常数, $\bar{\epsilon}^p$ 塑性应变效果, $\epsilon^* = \bar{\epsilon}^p / \epsilon_0$ 为有效塑性应变率, $T^* = \frac{T - T_{\text{room}}}{T_{\text{melt}} - T_{\text{room}}}$ 为相当温度; m 为常数。计算时采用 Gruneisen 状态方程, 对于可压缩材料, 压应力表达式如下:

$$p = \frac{\rho_0 C^2 \mu [1 + (1 - \frac{\gamma_0}{2}) \mu - \frac{a}{2} \mu^2]}{[1 - (S - 1) \mu]^2} + (\gamma_0 + a \mu) E \quad (2)$$

式中: ρ_0 为初始密度; E 为内能; $\mu = (\rho / \rho_0 - 1)$, ρ 为当前密度; c, ϵ, γ_0 和 a 为材料参数。

2 数值模拟结果及分析

2.1 面背板的布置对双层间隙装甲防护性能的影响

设定弹丸的初始速度为 1200m/s, 侵彻方向一定, 分别对 a、b、c、d 及 b1、b2 不同面、背板布置的双层靶板侵彻过程进行模拟, 并利用 LS-PREPOST 后处理软件导出弹丸侵彻过程的数据, 根据这些数据利用 Excell 得出弹丸侵彻 a、b、c、d 时的速度随时间的变化规律和动能随时间的变化规律曲线(见图 3 和图 4)。

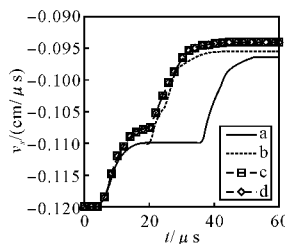


图 3 弹丸速度随时间变化规律

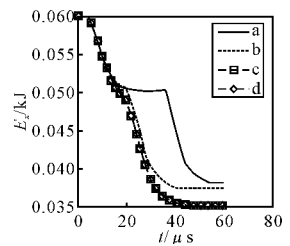


图 4 弹丸动能随时间变化规律

由图 4 可以看出, 双层间隙装甲面、背板的布置对其的抗弹性能是有一定影响的, 随着面、背板的不同布置, 它们消耗弹丸动能的情况也各

不相同,弹丸以相同的初始速度侵彻 a、b、c、d, d 消耗弹丸的动能最多, a 消耗的最少, 如果从弹丸剩余动能的角度来评价靶板的防护性能, 那么靶板防护性能从优到劣的顺序为 d、c、b、a, c 与 d 的防护性能几乎同等。可见, 带有一定角度倾斜的放置面板或背板可以提高双层间隔装甲的抗弹性能。

2.2 靶板的倾斜角度对双层间隔装甲防护性能的影响

为进一步探讨面板一样放置时, 背板倾斜角度对双层间隔装甲抗弹性能的影响, 将弹丸侵彻 b、b1、b2 时速度和动能随时间的变化规律作比较(见图 5 和图 6)。

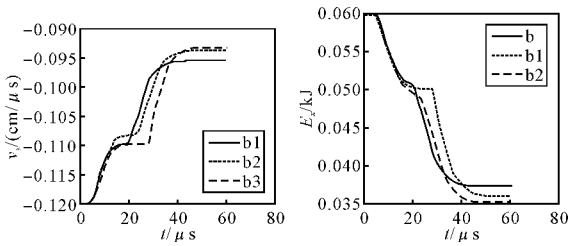


图 5 弹丸速度随时间变化规律 图 6 弹丸动能随时间变化规律

由图 6 可以看出, 面板一样放置时, 背板倾斜的角度对双层间隔装甲的抗弹性能是有一定影响的。刚开始侵彻时, b、b1、b2 消耗动能的情况一致, 随着背板倾斜角度(由 $5^\circ \sim 15^\circ$) 的增加, 消耗弹丸的动能也越来越多, 抗侵彻能力也越来越强。这是因为, 弹丸侵彻方向不变, 当背板倾斜放置时, 弹丸在入射背板时, 弹丸的有效穿深由原来的靶板厚度 h 变成 $h' = \frac{h}{\cos \theta}$ (见图 7), 由于弹丸入射方向和靶板厚度 h 不变, 随着背板倾斜角度 θ 的

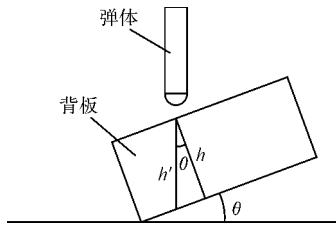


图 7 背板放置示意图

增大, $\cos \theta$ 减小, h' 增大, 从而提高双层间隔靶的抗侵彻能力。可见, 适当地增加背板的倾斜角度能为双层间隔装甲的设计和实际应用提供参考。

3 实验结果与计算结果比较

为了研究面背板的不同布置对双层间隔装甲抗侵彻能力的影响, 对 a、d 靶板进行了侵彻实验, 实验选用海 25 加长身管弹道炮为发射装置, 保证弹体获得 1.2km/s 的初速度, 为得到理想的弹体侵彻方向, 将靶板放置在距炮口 30m 远处。在靶板后面设置铝箔靶进行速度测量, 获得弹丸的剩余速度, 弹体和靶板的尺寸、材料与模拟的一致。通过实验结果与模拟结果的对比(见表 1), 说明模型的建立, 参数的选择基本正确, 应用 LS-DYNA 软件分析靶板 a、b、c、d、b1、b2 抗弹性能问题的计算结果是可以相信的。

表 1 实验结果与计算结果比较

靶板	弹体初速度/(m/s)		弹体剩余速度/(m/s)	
	实验值	估计值	实验值	估计值
a	1209	1200	954	966
d	1200	1200	925	939

4 结论

通过利用 LS-DYNA3D 模拟长杆体以相同的初速度和入射方向侵彻不同面背板布置情况下的双层间隔靶板, 得出了整个侵彻过程中弹杆的剩余速度和剩余动能随时间的变化规律, 通过数值结果与实验结果比较, 证明计算模型是合理和有效的, 计算结果可以相信。由计算结果可知, 随着面、背板的不同布置, 双层间隔靶消耗弹丸动能的情况也各不相同, 这表明面背板的布置对双层间隔装甲的防护性能是有影响的, 并且当面板一样放置, 随着背板倾斜角度的增大, 双层间隔装甲的抗弹性能逐渐提高。

参考文献:

[1] 张自强, 赵宝荣, 张锐生, 等. 装甲防护技术基础[M]. 北京: 兵器工业出版社, 2000.
 [2] 步建兴. 俄罗斯装甲防护发展[J]. 国外坦克, 2006(10): 32-35.
 [3] 李晓源, 时捷, 董瀚. 材料因素对装甲钢板抗弹性能的影响[J]. 钢铁研究学报, 2008, 20(8): 1-4.
 [4] 赵国志. 穿甲工程力学[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1992: 106-107.