

圆锥形导偏体导偏性能试验研究

陈多兵 陆 明 陈晓旭

(解放军理工大学工程兵工程学院, 南京 210007)

摘要 导偏技术是对防护工程进行有效防护, 使其免受精确制导武器打击的技术途径之一. 采用球墨铸铁圆锥导偏体, 进行了 37 mm 半穿甲弹模拟打击试验. 试验结果表明: 导偏结构可使弹体偏转 10° 以上, 弹体导偏后对靶体的侵彻深度减少了 $2/3$ 以上. 在试验的基础上, 又对这种导偏体的导偏机理和误差原因进行了分析, 并指出导偏结构后部一个阻力尽可能小的空间是弹体形成尽可能大偏转角的必要条件之一. 这种导偏结构可以应用于重要的国防和人防工程之中.

关键词 导偏体, 侵彻, 导偏机理

EXPERIMENTAL STUDY ON THE GUIDING-DEFLECTION PERFORMANCE OF CONES

CHEN Duobing LU Ming CHEN Xiaoxu

(Engineering Institute of Engineer Corps, PLA Univ. of Sci. & Tech., Nanjing 210007, China)

Abstract Guiding-deflection technique is one of efficient technical ways to protect engineering constructions against precision-guided weapons. In this paper, ductalloy guiding-deflection cones (GDC) are adopted, and simulated impact tests with 37 mm semi-armour piercing projectiles are carried out to test the guiding-deflection performance of the GDC structure. Test results indicate that the structure can make the projectile deflect more than 10 degrees, and the penetration depth into the target is reduced to less than its $1/3$. On the basis of test results, the guiding-deflection mechanism of GDC as well as the test errors are analyzed, and a conclusion is reached that a space with as small resistance as possible behind the guiding-deflection structure is one of prerequisites to achieve large deflection angles. The guiding-deflection structure can be applied in some important engineering constructions of national defence and civil-air defence.

Key words guiding-deflection cones (GDC), anti-penetration, guiding-deflection mechanism

常规精确制导武器侵彻能力不断增强, 对防护工程构成了极大威胁^[1]. 因此, 如何提高防护工程抗钻地弹的打击能力, 增强工程的防护效果是人们极为关注的问题. 目前, 防护工程抗钻地弹打击的技术措施, 除主动防护技术之外, 主要集中在两个方面^[2~5]: 一是钻地弹末端导偏技术, 即采用合理的导偏结构, 使钻地弹撞击导偏体时产生明显偏转, 弹的飞行姿态发生变化, 从而减小弹的侵彻深度; 二是防护工程新材料技术, 即选择强度大的遮弹层材料, 阻止弹体的侵彻. 本文主要针对第一项技术进行研究, 即采用导偏体对模拟钻地弹进行末端导偏试验研究, 并对导偏机理进行分析.

1 试验情况

1.1 试验方案

试验采用的导偏体为球墨铸铁 (QT600) 中空正圆锥体, 底面直径 60 mm, 壁厚 10 mm, 顶角 60° . 模拟弹为 37 mm 高速半穿甲弹, 弹长 180 mm, 弹重 810 g 左右, 弹头材料为 35CrMnSiA. 试验发射弹 8 发, 弹攻角均在 0° 左右, 弹速 1000 m/s 左右. 另外, 在导偏体后部 1 m 处放置尺寸为 $\phi 1200 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$ 钢丝网混凝土靶体, 以进行有无导偏体时弹体对靶板侵彻深度的比较. 试验采用高速摄影仪 (型号为 FASTCAM ultima 40k) 记录模拟弹与导偏体撞击前

后飞行姿态的变化情况. 试验装置布置如图 1 所示.

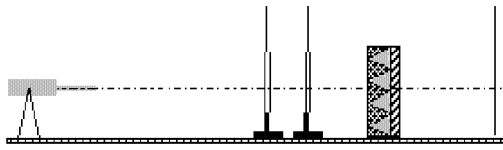


图 1 试验装置布置情况

1.2 试验结果

试验结果见图 2 和表 1. 从图 2 的弹体飞行姿态变化情况可以看出, 弹体和导偏体发生高速撞击后, 弹体绕质心发生了转动, 其着靶姿态发生了变化; 从表 1 可以看出, 在弹体与导偏体撞击后 1ms 时, 弹体的偏转角最小为 12°, 最大为 66°, 大部分

在 20°~30° 之间, 这表明导偏体对弹体具有较强的导偏效果. 另外, 由表 1 在有导偏体时的侵彻深度对比还可以看出 (第一发没有设置导偏体), 弹体和导偏体发生高速撞击后侵彻靶板深度减少 2/3 以上, 说明弹体穿过导偏体后侵彻威力大幅削弱.

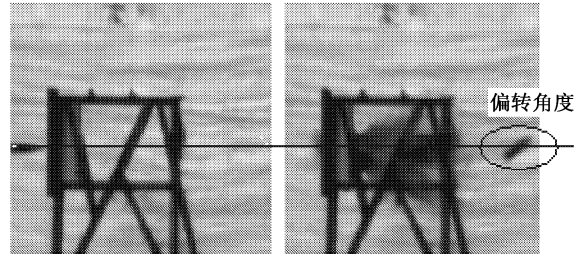


图 2 导偏体对弹体的导偏效果

表 1 弹体导偏及侵彻试验结果

弹序	入射速度 /m·s ⁻¹	试验结果		计算结果			
		侵彻深度 /mm	着靶角度 /(°)	初始偏转角* /(°)	偏转角速度 /rad·s ⁻¹	着靶角度 /(°)	速度减少量 /m·s ⁻¹
1	982	400					
2	1068	95	27	0.42	634	34.37	10.98
3	1030	105	31	0.45	657	37.39	11.38
4	1009	75	22	0.47	671	39.03	11.62
5	1000	110	46	0.48	677	39.74	11.73
6	1002	125	23	0.48	676	39.60	11.70
7	1004	90	34	0.48	674	39.81	11.68
8	1057	100	43	0.43	641	35.54	11.09

注: 初始偏转角为弹体和导偏体分离时偏转角度.

2 导偏机理分析

2.1 撞击时弹体受力分析

弹体和导偏体之间的相对运动是一个十分复杂的过程. 为了使问题得到简化, 作如下假设:

(1) 导偏体作用在弹体头部的力只有沿导偏体表面法线方向上的力 F , 其在水平方向和轴线方向上的分力分别为 $F \cos \alpha$ 和 $F \sin \alpha$, 如图 3 所示.

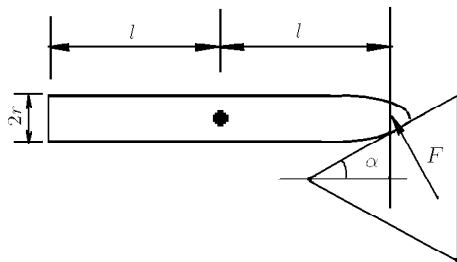


图 3 弹体受力分析

(2) 弹体为刚体, 即不计弹体与导偏体撞击时的变形.

(3) 在导偏体与弹体的作用时间 Δt 内, 弹体与导偏体之间的作用力从零匀速增加到 F_{\max} .

根据以上假设, 可得撞击过程中任意时刻 t 导偏体对弹体的侧向作用力为

$$F = \frac{F_{\max}}{\Delta t} t$$

2.2 弹体撞击导偏体后运动情况

设弹体质量为 m , 弹长为 $2l$, 则弹体的转动惯量为 $J = \frac{ml^2}{3}$.

由式 $Fl \cos \alpha = J\varepsilon$ 得

$$\varepsilon = \frac{Fl \cos \alpha}{J} = \frac{3F_{\max} \cos \alpha}{ml\Delta t} t$$

式中, 弹体与导偏体之间的作用时间 t 为变量, 对上式积分 (初始条件: $t = 0$ 时, $\omega = 0$) 可得任意时刻 t 弹体绕质心转动的角速度为

$$\omega = \frac{3F_{\max} \cos \alpha}{2ml\Delta t} t^2$$

对上式再次积分 (初始条件: $t = 0$ 时, $\theta = 0$) 得任意时刻 t 弹体绕质心转过的角度为

$$\theta = \frac{F_{\max} \cos \alpha}{2ml\Delta t} t^3$$

由以上两式可得弹体与导偏体分离 (Δt 时刻) 时, 弹体绕其质心转动的角速度和转过的角度分别为

$$\omega_0 = \frac{3F_{\max} \cos \alpha}{2ml} \Delta t \quad (1)$$

$$\theta_0 = \frac{F_{\max} \cos \alpha}{2ml} \Delta t^2 \quad (2)$$

由冲量定理知

$$m\Delta v = \int_0^{\Delta t} F \sin \alpha dt$$

则撞击后弹体水平方向线速度的改变量为

$$\Delta v = \frac{F_{\max} \Delta t \sin \alpha}{2m} \quad (3)$$

设弹丸与凸体的最大接触面积可等效为图中阴影部分等边三角形的面积, 如图 4 所示.

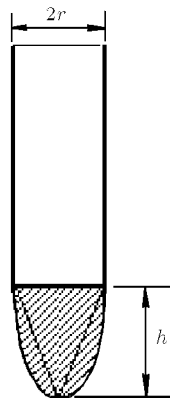


图 4 最大等效面积

假定作用在弹体头部力的最大值等于圆锥材料的动态强度与最大接触面积的乘积, 即:

$$F_{\max} = \sigma_p \cdot S_{\max}$$

将 $S_{\max} = rh$ 和 $\Delta t = \frac{h}{v}$ 代入上式可得

$$\omega_0 = \frac{3\sigma_p r h^2 \cos \alpha}{2mlv} \quad (4)$$

$$\theta_0 = \frac{\sigma_p r h^3 \cos \alpha}{2mlv^2} \quad (5)$$

$$\Delta v = \frac{\sigma_p r h^2 \sin \alpha}{2mv} \quad (6)$$

若不计弹体在偏转过程中的重力和旋转阻力, 则在撞击后 t 时刻 (或距离 s) 时, 弹体绕质心转过的角度为

$$\theta = \theta_0 + \omega_0 t = \theta_0 + \omega_0 \frac{s}{v - \Delta v} \quad (7)$$

导偏层与靶体之间的距离为 1m, 弹体入射速度均在 1000m/s 左右. 弹体与导偏体发生高速撞击后水平方向线速度改变量不大 (经计算, 一般在 20m/s 以下), 所以在撞击后 1ms 时可近似认为弹体和靶体接触, 1ms 时弹体偏转角度可认为是弹体的着靶角度. 弹丸质量及形状参数是已知量. 取凸体材料的动态极限屈服强度 $\sigma_p = 2.5\sigma_s = 1500 \text{ N/mm}^2$, 即可根据以上公式计算出每发弹与凸体撞击后的角速度、着靶角度以及水平线速度减少量. 计算结果见表 1.

2.3 计算结果分析

由于高速摄影仪水平放置, 故高速摄影只记录弹体垂直方向的偏转, 不能反映出水平方向的偏转. 这使得计算结果和试验结果的着靶角度存在一定偏差.

从以上公式可知, 弹体与导偏体撞击后产生了一个偏转角速度和偏转角度. 由于弹体和导偏体之间高速撞击, 两者之间的作用力很大, 从而使弹体产生了很大的偏转角加速度和角速度. 同时, 由于作用时间极其短暂, 所以在弹体与导偏体分离时, 偏转角度很小 (见表 1). 欲使弹体形成一定的偏转角度, 须为弹体提供一个阻力尽可能小的飞行空间以使弹体继续偏转. 可见, 该空间是弹体形成尽可能大偏转角的必要条件之一.

3 结 论

通过模拟打击试验和理论分析, 可以初步得出以下结论:

(1) 锥形球墨铸铁导偏体对来袭弹体具有较强的导偏效果. 弹体和导偏体高速撞击后 1ms 时偏转角度大多在 $20^\circ \sim 30^\circ$ 之间.

(2) 与无导偏层相比, 弹体经导偏后侵彻靶体威力大幅降低, 侵彻深度减少 2/3 以上.

(3) 导偏层后部一个阻力尽可能小的空间是弹体形成尽可能大偏转角的必要条件之一.

参 考 文 献

- 1 Heierli W, Eiff A. 精确制导武器时代的防御. 王承数译. 防护工程, 1994(1): 52~57 (Heierli W, Eiff A. The recovery in

- precisely controlled and guided weapon age. Translated by Wang Chengshu. *Defense Engineering*, 1994 (1): 52~57(in Chinese))
- 2 李晓军, 张殿臣, 李清献. 国外常规武器破坏效应与工程防护技术研究. 洛阳: 总参工程兵科研三所, 2002(Li Xiaojun, Zhang Dianchen, Li Qingxian. Study on the Damage Effects of Foreign Conventional Weapons and Engineering Protection Techniques. Luoyang: the Third Scientific Research Department of Engineering Corps of General Staff, 2002(in Chinese))
 - 3 何堂甫. 国外钻地和穿甲武器发展概况研究报告. 1998, 01(He Tangfu. Report on the Survey of Foreign Earth-penetrating and Armor-piercing Weapons. 1998, 01(in Chinese))
 - 4 何春霞. 抗钻地武器导偏技术及新材料应用论证研究. [博士论文]. 南京: 解放军理工大学, 2005(He Chunxia. Research on the Guiding-deflection Technology and Application of New Material. [Ph D Thesis]. NanJing: PLA Univ. of Science and Technology, 2005(in Chinese))
 - 5 Ranzen RR, et al. Observation concerning the penetration mechanism of tubular hypervelocity penetrators. *Int J Impact Engng*, 1991, 11(3): 289~303