

杀爆弹对地面钢筋混凝土目标毁伤研究^{*}

孙 韬,游 宁,沈晓军,郭 敏

(63961 部队,北京 100012)

摘要:针对杀爆弹对地面钢筋混凝土构筑工事的毁伤需求,进行了杀爆弹对不同厚度钢筋混凝土靶板的累积毁伤试验,建立了杀爆类弹药对地面钢筋混凝土工事目标毁伤命中弹数分析模型,计算了不同射程时的射击用弹量,所得结果与实际数据相符。

关键词:杀爆弹;钢筋混凝土目标;毁伤

中图分类号:O383.2 **文献标志码:**A

Study on Explosive Warhead Destroying to Ground Concrete Target

SUN Tao, YOU Ning, SHEN Xiaojun, GUO Min

(No. 63961 Unit, Beijing 100012, China)

Abstract: Complete cumulative destroying test of explosive warhead destroying to reinforced concrete targets that have different thickness, set up the ammunition consumption model for the explosive warhead hit-to-kill ground concrete targets, calculate the ammunition consumption of explosive warhead that have different range destroying to this kind of target, calculate result correspond to actual combat data.

Keywords: explosive warhead; concrete target; destroying

0 引言

研究分析表明,未来局部战争中火力装备必须具备对大量的诸如由钢筋混凝土构筑而成的地面坚固工事目标的作战能力。美军的统计数据和对未来战争的分析预计(AD-A 177645),40%的战斗针对混凝土类目标。近年来,国内外大量文献报道了弹药对混凝土结构的毁伤研究情况,主要集中在对穿甲弹、半穿甲弹的侵彻分析、或者混凝土介质本构关系的分析、或者爆破效应研究等等,对在目标表面爆炸、且有不同着靶动能和着靶姿态的弹药对钢筋混凝土结构的毁伤研究,涉及到军事用途的敏感性,尚未见到详细研究资料。配用触发引信的杀爆弹是压制火炮的主用弹种,配备量大,对地面钢筋混凝土工事的射击毁伤,体现为多发命中下的累计毁伤过程。不同弹种对钢筋混凝土目标的毁伤能力均可用射击用弹量表述,而计算射击用弹量需要利用毁伤命中弹数数据,该数据需要通过试验和分析得到,目前未见有对应数据。因此,文中将在毁伤试验的基础上,得出毁伤命中弹数的分析模型,通过计算典型弹种的射击用弹

量,并对照实际射击用弹统计数据,以此判别所建模型的适用性。

1 毁伤试验研究

采用炮射试验方法,进行了3种配用弹头机械触发引信的杀爆弹对0.5m和1m厚钢筋混凝土目标的多发累积毁伤试验,墙体混凝土强度均不低于C35、钢筋设置满足构筑相关要求^[1]。其中,引信为铝本体机械触发引信及钢本体机械触发引信,均装定为长延时。3种杀爆弹均装填TNT炸药,装药质量及对混凝土靶板产生破孔毁伤的部分试验数据见表1。

试验结果表明,钢筋混凝土靶板的毁伤状态依赖于弹丸着靶动能、炸药装药、着靶姿态、配用引信等。杀爆弹对混凝土靶墙与整体混凝土工事结构的毁伤发数间存在着较好的等效性,且单发弹丸对目标入射面的破坏作用区域直径约1.0~1.5m,相同入射状态产生的最大破坏深度近似相等。相同弹丸入射同样厚度的目标,产生破孔毁伤所需弹药发数 N 与单发动能 T 的乘积存在如下关系式:

$$N_1 T_1 \approx N_2 T_2 \quad (1)$$

^{*} 收稿日期:2011-03-31

作者简介:孙韬(1965-),男,山西太原人,高级工程师,博士,研究方向:弹药工程。

式中角标 1、2 代表不同的动能。

表 1 杀爆弹对混凝土目标的毁伤试验结果

杀爆弹类型	目标类型	墙体厚度 (m)/倾角(°)	着靶动能/10 ⁵	发数
1 型杀爆弹 铝本体引信, 5.5kgTNT	3m×3m 靶墙	1/60	6.80	12
	3m 直径 工事	0.5/30	20.42	5
2 型杀爆弹 铝本体引信, 3.2kgTNT	3m×3m 靶墙	1/0	105.60	4
	3m 直径 工事	1/0	105.60	5
	3m×3m 靶墙	1/0	19.07	26
	3m×3m 靶墙	0.5/35	69.12	2
2 型杀爆弹 钢本体引信, 3.2kgTNT	3m×3m 靶墙	0.5/0	139.66	1
3 型杀爆弹 铝本体引信, 3.2kgTNT	3m×3m 靶墙	0.5/0	34.64	6
	3m 直径 工事	0.5/0	34.03	4
	3m×3m 靶墙	0.5/0	18.33	7

此外,相同弹丸(配用相同引信)入射不同厚度钢筋混凝土目标,相同动能产生破孔毁伤所需弹药发数 N 与目标厚度 H 之间近似满足如下关系式:

$$N_1/H_1 \approx N_2/H_2 \quad (2)$$

2 命中毁伤弹数模型

某型杀爆弹以相同着靶状态射击破坏厚度为 H 的混凝土类目标,取 Δ 为单发杀爆弹产生的最大破坏深度,由爆炸力学的研究成果有:

$$\Delta \propto K_a K_z C^{\frac{1}{3}} \quad (3)$$

其中, K_a 为混凝土介质材料的抗爆炸压缩系数,一般钢筋混凝土工事的混凝土强度在 C30 ~ C50 之间,取该值为 0.145^[1]; K_z 为介质材料的抗爆炸局部破坏系数,一般取 0.42^[1]; C 为弹丸炸药装药量(kg)。

根据试验结果,目标出现穿孔性破坏所需发数 n_s 可表述为:

$$n_s = H/\Delta \quad (4)$$

考虑弹丸运动对爆炸的影响、弹丸着角、引信状态,取:

$$n_s = \frac{H}{K_a K_z C^{\frac{1}{3}} \eta_c \eta^2 K_f} \quad (5)$$

式中: η_c 为由于弹丸入射状态造成炸药装药形状影响系数^[1], 设 β 为弹丸着角, 取:

$$\eta_c = 0.33 + 1.05 \sin^2 \beta \quad (6)$$

η 为弹丸自身速度造成的炸药装药量以及爆炸破片对单纯炸药爆破的影响系数, 由下式确定^[2]:

$$\eta = \left[1 + \frac{m \cdot (V \cdot \cos \beta)^2}{2C_{TNT} \cdot Q_c} \right]^{\frac{2}{3}} \quad (7)$$

式中: m 为弹丸质量; V 为弹丸着靶速度; Q_c 为对应炸药 C 的爆热; C_{TNT} 为杀爆弹炸药装药等效 TNT 炸药的装药量^[2]:

$$C_{TNT} = C \left[\frac{\alpha}{2-\alpha} + \frac{2(1-\alpha)}{2-\alpha} \left(\frac{r_0}{r_m} \right)^{2\gamma-2} \right] \quad (8)$$

式中: α 为装填系数, 即炸药重量与战斗部重量之比; γ 为爆炸产物绝热指数; r_0 为装药半径; r_m 为爆炸形成破片达到最大速度时的半径; K_f 为引信延期装定对钢筋混凝土结构的破坏影响系数, 对铝本体触发引信取 0.8 ~ 1.2, 钢本体检 1.2 ~ 2.0。

定义命中钢筋混凝土结构第 N 发导致工事的功能丧失系数 LF 为:

$$LF = Q \cdot \frac{A_k}{A} \quad (9)$$

式中: A_k 为参照面积, 取本次试验等效靶的面积 3m×3m; A 为目标被杀爆弹作用的最大面积, 对独立结构的单兵防御工事、火炮工事, 取其正面面积; Q 为混凝土目标结构强度降低系数, 且:

$$Q = (1 \sim 2) \frac{N}{(K_n \cdot n_s)} \quad (10)$$

K_n 为考虑弹丸着靶位置随机性散布的修正系数, 根据试验结果取:

$$K_n = [(2 \sim 5)A/A_k + n_s]/n_s \quad (11)$$

则命中 N 发杀爆弹, 每发相对独立时, 对混凝土内人员杀伤的概率为:

$$P_N = 1 - \Pi(1 - LF) \quad (12)$$

对应不同的毁伤程度, 即可得到对应的毁伤命中弹数 ω 。

对有高大门窗、射口的混凝土目标, 射弹从门窗、射口飞入目标内的可能性完全存在, 因此对该类混凝土目标的毁伤事件成为一个或门事件, 设弹丸从射口飞入目标内对内部毁伤的事件为 A_1 、弹丸破坏目标结构导致内部毁伤的事件为 A_2 , 只要两者有一个发生, 内部的毁伤事件即发生。考虑 A_1 、 A_2 之间相互独立, 则有:

$$P(A_1 + A_2) = 1 - (1 - P(A_1))(1 - P(A_2)) \quad (13)$$

对射口处有防护门及挡弹装置的坚固工事, 需要

直接命中(1 ~ 4) 发杀爆弹方能对内部造成毁伤。设该类工事射口面积 S_1 、工事正面面积 S_0 ，工事射向与弹丸入射方向夹角为 θ ，由指数毁伤率，命中 1 发弹对工事的毁伤概率为：

$$P = 1 - \left(1 - \frac{S_1 \cos\theta}{(1 \sim 4)S_0}\right) \left(1 - \frac{1}{K_n \cdot n_s}\right) \quad (14)$$

则毁伤命中弹数的数学期望为：

$$\omega = \frac{1}{P} \quad (15)$$

3 毁伤计算

取步兵防御工事钢筋混凝土墙壁厚 0.5~0.6m, $A=A_k$ ；火炮工事墙壁厚 1.0m, $S_1/S_0=1/4$ 。1 型杀爆弹初速取 600m/s, 2 型杀爆弹初速取 800m/s, 3 型杀爆弹初速取 620m/s, 计算得到对典型混凝土目标的命中毁伤弹数见表 2~表 3。表 3 中数值的第一个值是工事射口无防护情况下, 式(14)中每种弹丸取 2 发命中射口即可毁伤工事的结果；第二个值是工事射口有防护情况下的结果, 其中, 式(14)中(1~4)范围对 1 型杀爆弹取 3 发, 2 型和 3 型杀爆弹取 4 发。

表 2 毁伤步兵防御工事命中毁伤弹数(毁伤程度取 80%)

射距/km	杀爆弹		
	1 型	2 型	3 型
4	3.5	3	6
5	4	3	7
6	4	3	8
7	4	3.5	9
8	4	3.5	8
9	4	4	8
10	4	4	7
11	4	5	7
12	4	5	7

表 3 毁伤火炮工命中毁伤弹数

射距/km	杀爆弹		
	1 型	2 型	3 型
4	6.0~7.9	6.1~9.5	6.7~11.4
5	6.1~8.1	6.1~9.6	6.8~11.7
6	6.2~8.2	6.1~10.0	6.9~11.8
7	6.3~8.3	6.2~10.1	7.0~11.9
8	6.3~8.3	6.3~10.4	7.0~11.9
9	6.2~8.2	6.4~10.5	7.1~11.9
10	6.2~8.2	6.5~10.8	7.2~11.8
11	6.1~8.1	6.6~10.9	7.2~11.8
12	6.2~8.1	6.6~11.0	7.4~11.7

取射击误差为两组误差型(诸元误差和射弹散布误差), 诸元误差服从或接近正态分布, 射弹散布服从或接近最有利散布, 对应最有利散布法, 达到一定毁

伤程度的弹药消耗量 N 为^[3]：

$$N = \frac{RE_d E_f \omega}{\nu \tau} \quad (16)$$

式中： ν 为矩形目标幅员； τ 为与目标毁伤幅员、散布中间误差以及命中毁伤弹数 ω 有关的系数, 可查表得到； E_d 、 E_f 为决定诸元的距离和方向中间误差； R 与毁伤程度相关, 可查表得到。

取坚固火炮工事阵地(4 门)的目标幅员为正面 240m、纵深 140m, 毁伤程度取 50%；步兵防御阵地幅员为正面 300m、纵深 100m, 毁伤程度取 25%。3 型杀爆弹的初速同前, 计算不同射程的弹药消耗量见表 4、表 5。

表 4 对火炮工事的毁伤用弹量(发)

射距/km	杀爆弹	
	1 型	3 型
4	127~167	142~242
5	235~312	262~451
6	342~453	381~652
7	508~670	557~960
8	710~935	
9	1042~1379	
10	1497~1980	
11	2086~2770	

表 5 对步兵防御阵地毁伤用弹量(发)

射距/km	杀爆弹	
	1 型	3 型
4	355	608
5	662	1159
6	1048	1834
7	1628	2848

对照实际的部分毁伤统计数据: 炮目距离 10km、11km, 破坏坚固火炮工事消耗 1 型杀爆弹分别为 1543 发、1987 发；炮目距离 5~6km, 3 型杀爆弹破坏单个坚固永备工事共需 120~150 发, 文中的计算结果与其相符。

美军 M198 式 155mm 牵引火炮杀爆弹近距离平射, 在配有混凝土侵彻引信时, 5 发炮弹可以在 1m 厚钢筋混凝土墙上打出 1.5m 宽的缺口^[4]。由式(5), 取弹丸着靶速度 800m/s, 引信系数 K_f 取 1.2~2.0, 计算得到出现穿孔性破坏所需发数 $n_s=3.5\sim 5.8$ 发, 平均为 4.7 发, 与 5 发的数值非常接近；如取引信系数 K_f 为 0.8~1.0, 计算得到出现穿孔性破坏所需发数 $n_s=6.9\sim 8.6$ 发。这一结果说明杀爆弹配用引信不同时, 作用效果相差将很大。

阻急剧增大的缘故。

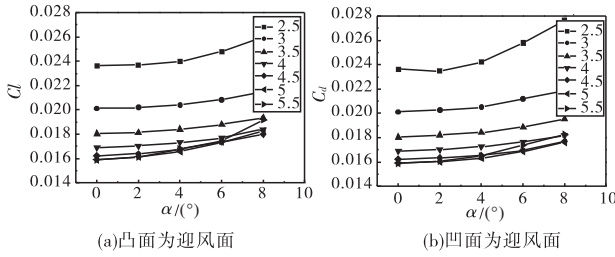


图 7 阻力系数随迎角的变化曲线

如图 8 所示, δ 为处于同一平面的一对弧形翼的升力系数差, 当其乘以作用力臂可以近似等效为滚转力矩系数。由于文中研究的是单片弧形翼, 未考虑弧形翼与弹身之间的干涉影响, 可假设

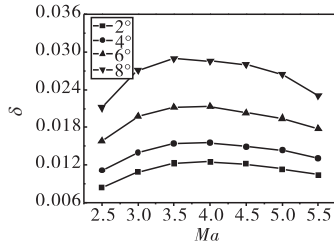


图 8 一对弧形翼升力系数差随马赫数变化曲线

其压力中心离弹轴的位置是固定不变的, 所以其滚转力矩系数等于升力系数差乘以某个常数。因此, 当马赫数一定情况下, 滚转力矩系数随迎角的增大而增大; 当迎角一定情况下, 滚转力矩系数先是增大后减小。当弹体上同一平面上的一对翼存在压力差时, 由力学等效原理可以转化为弹体上的一个升力和滚转力矩。由弧形翼的压力中心系数可知其产生升力处于弹的质心之后使迎角减小, 同时滚转力矩使弹产生自旋, 两者都有利于火箭弹的飞行稳定性^[8]。

4 结论

文中对弧形翼在小迎角超音速飞行状态下的三维绕流场进行了数值模拟, 给出了该翼型的流场结构, 分析了其空气动力学特性随飞行马赫数和迎角变

化的规律, 得出以下结论:

- 1) 当凹面为迎风面时, 弧形翼的升力系数比凸面为迎风面时的升力系数大。
- 2) 在相同迎角下, 弧形翼升力系数随马赫数的增大而减小; 在相同马赫数下, 弧形翼升力系数随迎角的增大而增大, 近似呈线性变化。
- 3) 对于同一迎角下, 在马赫数 [2.5, 5.0] 范围内, 弧形翼的阻力系数是随着马赫数的增大而减小。
- 4) 假设弧形翼压力中心离弹轴的位置固定不变情况下, 当马赫数一定情况下, 滚转力矩系数随迎角的增大而增大; 当迎角一定情况下, 滚转力矩系数先是增大后减小。

参考文献:

[1] C Wayne Dahlke. The aerodynamic characteristics of wrap-around fins at mach numbers of 0.3 to 3.0, AD-A-036715[R], 1990.

[2] William D Washington. Experimental investigation of rolling moment for a body-wing-tail missile configuration with wrap around wings and straight tails at supersonic speeds, AIAA-83-2081[R], 1983.

[3] 陈雄, 郑亚, 周省长, 等. 应用 TVD 格式研究冲压增程弹丸进气道复杂流场[J]. 弹道学报, 2004, 16(3): 33-38.

[4] 朱自强, 吴子牛, 李津. 应用计算流体力学[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1998.

[5] FLUENT 6.3 User's Guide[Z]. Fluent Inc., 2006.

[6] 郑健, 周省长, 鞠玉涛. 超声速、高超声速弧形翼气动特性数值研究[J]. 弹箭与制导学报, 2006, 26(4): 227-229.

[7] 鞠玉涛. 弧形翼-身组合体空气动力特性的数值模拟研究[D]. 南京: 南京理工大学, 1999.

[8] 沈仲书, 刘亚飞. 弹丸空气动力学[M]. 北京: 国防工业出版社, 1984.

(上接第 109 页)

4 结论

研究表明:

- 1) 配用弹头触发引信的杀爆弹对混凝土目标的单发毁伤能力与着靶动能、炸药装药量、引信状态密切相关;
- 2) 毁伤用弹量分析结果与实战数据相符, 毁伤命中弹数模型可用于杀爆弹对地面坚固工事目标的毁伤效能评估;
- 3) 对头部机械触发引信进行结构强度及延时机

构改进, 可显著提高杀爆弹较高速度下对混凝土目标的毁伤效能。

参考文献:

[1] GJBz20419.2-1998 防护工程防常规武器结构设计规范[S].

[2] 北京工业学院. 爆炸及其作用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1979.

[3] 程云门. 评定射击效率原理[M]. 北京: 解放军出版社, 1984.

[4] 张书坤, 莫雯雯. 城市作战[M]. 重庆: 电脑报电子音像出版社, 2010.