

文章编号: 1001-1455(2005)02-0171-05

截卵形弹头对混凝土靶侵彻性能的试验研究*

王浩,陶如意

(南京理工大学动力工程学院,江苏 南京 210094)

摘要:介绍了截卵形弹头钻地弹对混凝土靶的侵彻试验研究结果。根据缩比钻地弹侵彻过程的高速录像和试验结果对弹丸运动状态进行了分析,得出了截卵形弹头钻地弹侵彻混凝土靶的速度变化曲线和阻力变化曲线;利用缩比理论,给出了标准钻地弹对混凝土靶侵彻性能的计算方法和分析结果。

关键词:爆炸力学;侵彻性能;侵彻;截卵形弹头;钻地弹;混凝土靶

中图分类号: O385 **国标学科代码:** 130·3530 **文献标志码:** A

1 引言

钻地弹一般由载体和侵彻战斗部组成。载体一般为巡航导弹弹体、航空炸弹弹体及火箭等,其运载功能是使侵彻战斗部在末段达到足够的速度。侵彻战斗部由侵彻弹头、高爆装药和引信组成,侵彻头一般为高强度钢或重金属合金材料,采用破片杀伤方式,引信通常为延时近炸引信或智能引信。侵彻战斗部一般采用大长径比的动能侵彻弹头,如美国的 GBU-28,其长径比达到了 11。钻地弹的性能一般取决于弹头对混凝土目标的侵彻能力。因此研究动能侵彻弹头对混凝土目标的侵彻贯穿效能是钻地弹研制设计中的关键环节。

截卵形是钻地弹弹头的主要形状,特别是对于超低空投弹的航空钻地弹系列,截卵形弹头可以有效地防止钻地弹大攻角击中目标瞬间的跳弹,因此,截卵形弹头是目前航空钻地弹采用的主要弹形。

目前,航空炸弹的弹径一般为 450~500 mm,质量 500~600 kg,对如此大的侵彻弹进行地面动态试验需要高动能的发射平台,不仅成本相当高,且试验操作也相当困难。本文中利用缩比理论,通过对几何相似缩小的钻地弹在火炮射击侵彻试验中的测试结果,研究截卵形标准钻地弹对混凝土靶侵彻性能以及在侵彻过程中弹丸速度及弹丸侵彻阻力的变化规律。

2 缩比试验条件

试验采用大口径 125 mm 滑膛火炮做发射平台。钻地弹以某制式航空钻地弹按几何尺寸 1:3.68 缩比。

(1) 缩比钻地弹参数:弹径 125 mm,弹丸飞行质量 18.7 kg,弹丸结构图与实物照片如图 1~2 所示。

(2) 混凝土靶参数:目标靶为无钢筋混凝土靶,混凝土无约束抗压强度为 45 MPa,靶体直径 2.0 m,靶体厚度 2.0 m。

(3) 钻地弹着靶状态:着靶速度 350~360 m/s,着靶攻角(弹轴与靶板平面法线夹角)小于 1°。

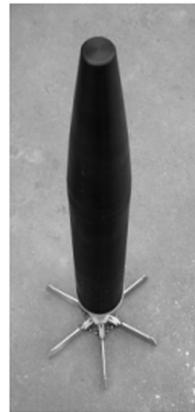


图 1 钻地弹实物照片

Fig. 1 Photograph of EPW

* 收稿日期: 2004-06-07; 修回日期: 2004-12-08

作者简介: 王浩(1961—),男,教授,博士生导师。

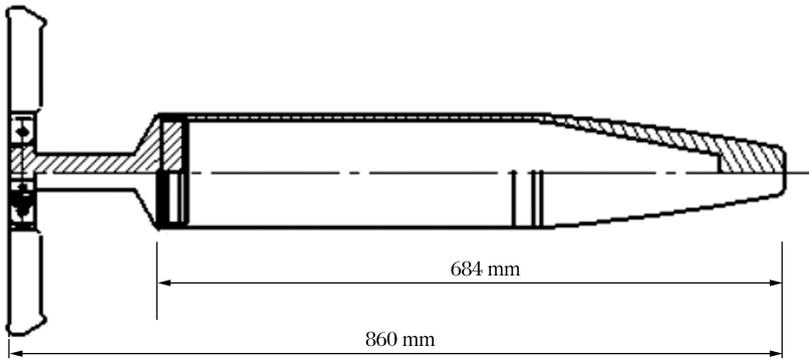


图 2 钻地弹结构示意图

Fig. 2 Structural sketch of EPW

3 缩比钻地弹的试验结果

3.1 侵彻性能

试验中使用高速运动分析仪(高速录像系统)记录了钻地弹侵彻混凝土靶的侵彻过程。图 3 列出了高速录像拍摄到的部分照片,图 4 是钻地弹着靶后的状态。表 1 给出了缩比钻地弹的侵彻性能参数。

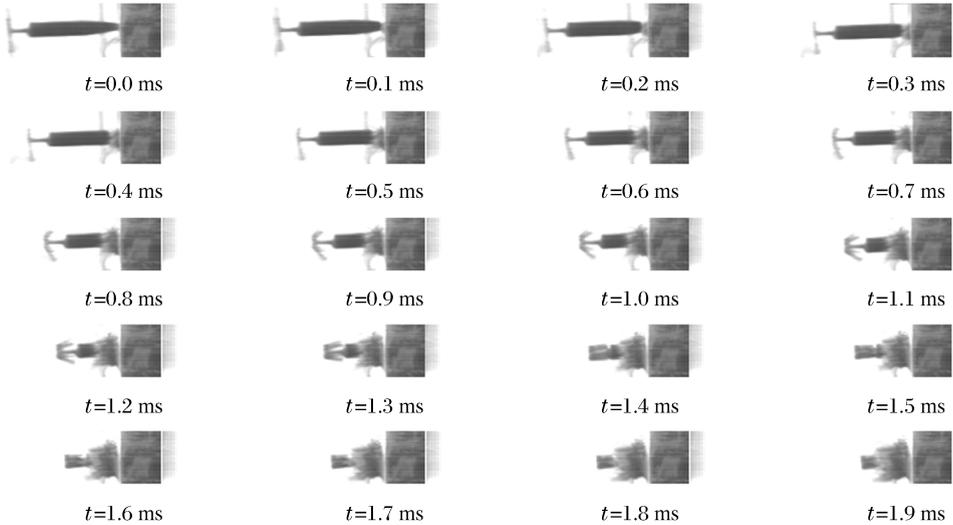


图 3 侵彻过程高速录像照片

Fig. 3 High-speed recording photographs of penetrating process



图 4 侵彻弹丸着靶后侵彻情况

Fig. 4 Conditions after penetrating projectile into target

表 1 侵彻性能结果

Table 1 The results of penetration

序号	着靶速度 /(m/s)	侵彻深度 /m	崩落区参数			
			最大高度 /m	最大宽度 /m	面积 /m ²	最大深度 /m
1	388	0.54	1.16	0.35	0.41	0.18
2	384	0.52	0.75	0.63	0.47	0.16
平均	386	0.53	0.95	0.49	0.44	0.17

3.2 侵彻过程速度与阻力

根据缩比钻地弹侵彻过程中的高速录像,分析了弹丸在侵彻过程中的位置变化和速度变化,并通过运动公式计算出了弹丸所受的运动阻力,如表 2 和图 5 所示,其中 L 、 v 、 a 、 F 、 p 分别为侵彻深度、弹丸速度、弹丸加速度、阻力、阻压, L_N 为弹头长度。

表 2 弹丸侵彻过程运动参数(序号 2)

Table 2 Motion parameters for the process of projectile penetrating (No. 2)

t/ms	L/m	$v/(\text{m/s})$	$a/(\text{km/s}^2)$	F/MN	p/MPa
0	0	384			
0.5	0.192	355	-134	2.51	204.6
0.6	0.230	345	-210	3.93	320.4
1.0	0.338	250	-201	3.76	306.5
1.5	0.438	154	-206	3.85	313.9
2.0	0.507	44	-220	4.11	335.1
2.2	0.522	0			

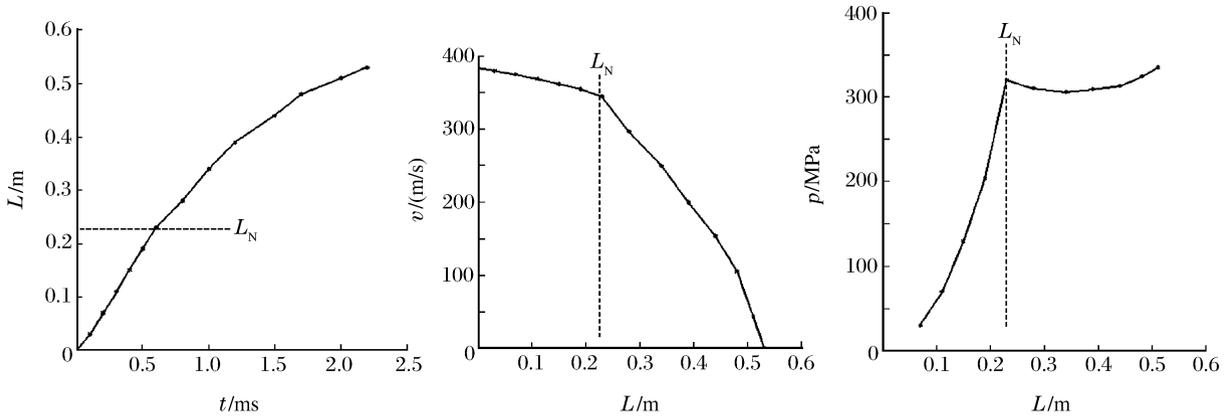


图 5 弹丸侵彻过程中弹丸运动参数变化曲线

Fig. 5 Variation of projectile motion parameters in the process of penetration

4 侵彻性能计算

4.1 侵彻深度计算

钻地弹攻击的主要目标为机库、机场跑道及地下掩体等坚固目标,多数钻地弹采用的钢筋混凝土抗压强度为 30~45 MPa。一般以无限厚度混凝土代表钻地弹侵彻的钢筋混凝土。

目前,预估射弹侵彻厚度的公式很多,但大多具有局限性,最具有代表性的是美国的 Young 公式,侵彻深度 L_{max} 的计算公式为^[1]

$$L_{\text{max}} = 1.8 \times 10^{-5} SKN(m/A)^{0.7} (v_c - 30.5) \quad v_c \geq 61 \text{ m/s} \quad (1)$$

式中: S 为考虑混凝土抗压强度的参数, $S \approx 0.9 \sim 1.0$, 根据试验结果取 $S = (30/\sigma)^{0.5}$, σ 是混凝土的抗压强度,其单位是 MPa; $K = \begin{cases} 0.46m^{0.15} & m < 182 \text{ kg} \\ 1 & m \geq 182 \text{ kg} \end{cases}$, m 是钻地弹侵彻弹体质量; $N =$

$\begin{cases} 0.56 + 0.183L_N/D & \text{卵形弹头} \\ 0.56 + 0.250L_N/D & \text{锥形弹头} \end{cases}$, D 是钻地弹侵彻弹体直径, L_N 是弹头部长度,单位均为 m; A 是弹丸横截面积, $A = \pi D^2/4$; v_c 是钻地弹着靶速度。

4.2 崩落区计算

崩落区的大小和深度一般取决于钻地弹的直径、着靶速度以及混凝土强度等诸多因素。在着速和混凝土靶相同的条件下,崩落区的大小和深度则仅取决于弹径,通常认为崩落区的深度约为弹径的2~4倍^[2~3]。从表1列出的崩落区的数据中可以看出,由于钻地弹着速较低,混凝土强度相对较高,崩落区的深度仅为弹径的1.4倍,崩落区的面积约为弹丸横截面的35倍。

4.3 侵彻过程中弹丸运动阻力计算

弹丸侵彻过程中的阻力一般由弹丸头部形状、弹丸横截面积、混凝土靶抗压强度以及着靶速度等因素决定,而其阻力则仅决定于弹丸头部形状、着靶速度和混凝土靶的性能。由试验结果可以看出,随着弹丸卵形头部侵彻深度的增加,弹丸所受到的运动阻力也在加大,当弹丸的卵形头部全部侵彻到混凝土靶内部以后,弹丸的运动阻力变化不大,接近一个常数值。根据试验结果的分析,假设在崩落区内弹丸的运动阻力忽略不计,弹丸的卵形部分侵彻混凝土靶的运动阻力可以假设是线性变化的。因此可以给出弹丸侵彻过程中阻压 F 的计算式

$$F = \begin{cases} F_0 L / L_N & h < L \leq L_N \\ F_0 & L > L_N \end{cases} \quad (2)$$

式中: F_0 是弹丸卵形头部全部侵彻到混凝土靶内部时的阻压; L 是侵彻深度; h 是崩落区的深度,试验表明其值可取弹径的1.2~1.5倍。

在缩比试验中,弹丸的形状是按照几何尺寸缩小的,混凝土靶抗压强度与弹丸着靶速度则与标准状态相同,可以认为标准钻地弹与缩比钻地弹在侵彻过程中受到的阻压相同。因此,标准钻地弹的侵彻过程中弹丸的运动阻力就等于缩比钻地弹的阻压与标准钻地弹的横截面积的乘积。根据弹丸运动公式可以推导出弹丸侵彻速度与侵彻深度的关系式

$$v = \begin{cases} v_c & 0 < L \leq h \\ \left[v_c^2 - \frac{AF_0(L^2 - h^2)}{L_N m} \right]^{\frac{1}{2}} & h < L \leq L_N \\ \left[v_1^2 - \frac{2AF_0(L - L_N)}{m} \right]^{\frac{1}{2}} & L > L_N \end{cases} \quad (3)$$

式中: v_1 是 $L=L_N$ 时弹丸的速度, F_0 的单位为N, L 、 h 的单位为m,其余量的单位同前。

当 $v=0$ 时,弹丸达到最大侵彻深度

$$L_{\max} = L_N + m v_1^2 / (2F_0) \quad (4)$$

5 标准钻地弹计算结果

标准钻地弹弹径0.46 m,飞行质量894 kg,弹体前部外形与缩比钻地弹几何相似。对标准弹在与缩比弹相同的着速下,对混凝土靶的侵彻性能进行仿真计算。

5.1 钻地弹侵彻性能计算

根据缩比钻地弹试验结果和计算公式(1)、(4),对某航空钻地弹的侵彻性能进行计算,如表3所示。混凝土靶抗压强度45 MPa,钻地弹着速386 m/s。结果表明,(4)式给出的计算结果与试验更接近。

表3 侵彻性能计算与试验结果

Table 3 Comparison of calculated and experimental penetrability

弹种	D/m	m/kg	L_N/m	L/m		
				式(1)	式(4)	试验值
标准弹	0.460	894.0	0.850	1.92	1.90	
缩比弹	0.125	18.7	0.230	0.55	0.53	0.53

5.2 侵彻过程中弹丸速度与阻力变化

在同质混凝土靶条件下,根据式(2)、(3)计算出了标准弹不同侵彻深度下的弹丸速度:当 L 分别为0、0.598、0.850、1.130、1.410、1.690、1.900 m时, v 分别为386、386、351、301、240、156、0 m/s。

6 结束语

利用缩比钻地弹试验结果分析较大弹径钻地弹的侵彻性能,不仅可以大幅度降低试验研究费用,而且也使得大弹径钻地弹的试验研究成为可能,这也是目前钻地弹研究中常用的试验研究方法。本文给出了在缩比理论和一定的假设条件下,利用缩比钻地弹的试验结果,分析和计算截卵形弹头钻地弹的侵彻性能和侵彻过程运动参数的方法。与目前常用的钻地弹侵彻深度计算公式相比,本文分析方法进一步给出了钻地弹侵彻过程中速度、加速度随时间和行程的变化规律,这对钻地弹智能引信的设计具有重要的参考价值,对截卵形弹头钻地弹标准弹的性能研究也具有重要的指导意义。

与用目前常用的截卵形弹头钻地弹侵彻深度计算公式计算结果的比较表明,本文方法具有一定的可靠性和实际应用价值。当然,将本文方法推广到其他类型的钻地弹还有待进一步的研究。

参考文献:

- [1] 尹放林,严少华,钱七虎,等. 弹体侵彻深度计算公式对比研究[J]. 爆炸与冲击,2000,20(1):79-82.
YIN Fang-lin, YAN Shao-hua, QIAN Qi-hu, et al. Contrast analysis on calculation of penetration depth of projectile[J]. Explosion and Shock Waves, 2000,20(1):79-82.
- [2] 蒋建伟,门建兵,万丽珍,等. 动能弹侵彻土壤混凝土复合介质的试验研究[J]. 北京理工大学学报,2001,21(4):420-423.
JIANG Jian-wei, MEN Jian-bing, WAN Li-zhen, et al. Experimental study on a kinetic energy penetrator penetrating a soil-and-concrete multi-layer target[J]. Journal of Beijing Institute of Technology, 2001,21(4):420-423.
- [3] 王瑞臣,王志军,蔡汉文. 弹丸斜侵彻混凝土介质的分析计算方法[J]. 弹道学报,2000,12(1):73-77.
WANG Rui-chen, WANG Zhi-jun, CAI Han-wen. Analytical method for oblique penetration of projectiles into concrete targets[J]. Journal of Ballistics, 2000,12(1):73-77.

Experimental study on the penetration performance of truncated-ogive nose projectile

WANG Hao^{*}, TAO Ru-yi

(Power Engineering College, Nanjing University of Science and Technology,
Nanjing 210094, Jiangsu, China)

Abstract: The paper discusses experimental results of launching truncated-ogive-nose earth penetrating weapon into concrete targets. The motion process of projectile is studied using the high-speed recording photographs of the reduce scale earth penetrating weapon penetrating process and test results. Velocity curves and resistance histories of truncated-ogive-nose earth penetrating weapon into concrete targets are recorded. At the same time, using reduce scale theory, computation method and analysis results of the penetrability are presented for standard earth penetrating weapon for concrete targets.

Key words: mechanics of explosion; characteristic of penetration; penetration; truncated-ogive-nose projectile; earth penetrating weapon (EPW); concrete targets

* Corresponding author: WANG Hao

E-mail address: wanghao@mail.njust.edu.cn

Telephone: 025-84317482