

文章编号: 1001-1455(2009)04-0439-05

动能火箭弹定深技术*

杨东来, 张有龙, 李 昊

(总装备部工程兵科研一所, 江苏 无锡 214035)

摘要: 根据某火箭破障弹的性能特点, 设计了动能侵彻战斗部和机械定深发火机构, 使其可根据目标的强度和厚度控制战斗部在最佳深度处爆炸, 以发挥战斗部的爆破威力。理论和试验证明所设计的动能火箭弹结构合理可行。

关键词: 爆炸力学; 火箭破障弹; 机械定深发火机构; 战斗部

中图分类号: O385

国标学科代码: 130·3530

文献标志码: A

1 引言

火箭破障武器按其侵彻战斗部作用方式, 分为串联随进战斗部^[1](或复合战斗部系统)和动能侵彻战斗部2种。其中串联随进战斗部由一个前级聚能装药和随进弹头组成。当串联战斗部接近目标一定高度时, 前级聚能装药首先形成爆炸成型弹丸对目标沿弹头方向炸开一个孔洞, 第二级随进战斗部依靠本身的动能沿此洞口继续侵彻, 随进战斗部上的延时引信引爆战斗部装药, 最终毁伤目标。动能侵彻战斗部以其结构简单, 炸药装填系数高, 作用稳定可靠, 近年来在火箭武器上得到了广泛研究并装备部队。

某新型火箭破障弹用来破坏一定厚度的防御工事。采用动能侵彻, 即在火箭弹发射后, 利用自身的动能侵彻目标一定深度后, 根据不同介质的强度和厚度, 通过设计的机械定深发火机构来调节战斗部的起爆时机, 发挥战斗部的最大爆破威力, 并破除障碍物。这就要求火箭破障弹在设计上满足: 动能足, 战斗部强度高, 精度好, 引信的定深功能好, 威力大。而自适应定深技术的设计与火箭弹的设计参数和目标的性质紧密相连。因此本文中, 在重点解决动能火箭弹定深技术的同时, 对该类武器的总体结构设计进行研究。战斗部壳体选用超硬铝, 可提高炸药的装填系数, 同时使弹体在侵彻过程中变形量较小, 动能损失少; 火箭发动机装药采用毛刷式装药结构^[2], 喷管采用微推偏设计, 以提高火箭弹的射击精度。

2 定深机构发火机构的设计

火箭破障弹采用火箭发射、动能侵彻, 采用机械定深发火机构控制传爆序列达到定深爆炸。基于定深原理, 设计中套管及其敏感簧(见图1), 识别目标的阻力。目标分为硬目标、中等硬度目标和软目标3种类型。

无论目标阻力的大小, 首先利用火箭弹的侵彻过载外套管解除卡簧和剪切销的约束, 向前运动, 直至解除对内套管的限制, 再利用中套管上的敏感簧的抗力来识别目标阻力的大小, 进而确定解除保险和起爆的时机, 发挥最大的爆破效果。当遇到侵彻惯性力比敏感簧抗力小的软目标时, 敏感簧抗力克服侵彻惯性力推动内套管运行到位, 限位钢珠落下, 解除对击针的约束, 起爆传爆序列; 当遇到侵彻惯性力比敏感簧抗力大很多的硬目标时, 在侵彻过载的作用下, 中套管始终限制内套管和敏感簧的运动, 直至侵彻到位, 侵彻过载消失, 再在弹簧抗力的作用下推动内套管运行到位, 限位小钢珠落下, 解除对击针的约束, 起爆传爆序列; 当介质的阻力介于以上2种强度之间的中等硬度目标时, 目标运动到侵彻惯性力小于敏感簧抗力时, 边侵彻边解除保险, 直至最终起爆传爆序列。

* 收稿日期: 2008-02-22; 修回日期: 2008-07-11

作者简介: 杨东来(1974—), 男, 工程师, 硕士。

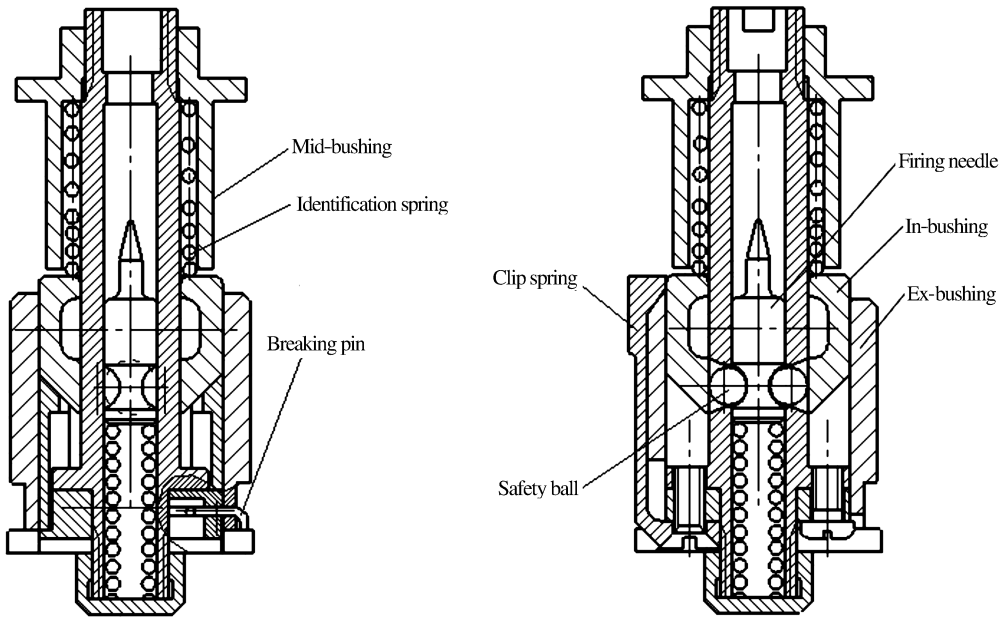


图1 机械定深发火机构结构

Fig. 1 Schematic diagram of the structure of a mechanical delay ignition device for the breaching depth control

2.1 侵彻土石介质时的阻力

对于土石介质类目标,一般用二项式阻力公式来计算目标阻力。假设:阻力可分为静阻力和动阻力2部分;静阻力与弹丸横断面积成正比,而动阻力则与弹丸横断面积和速度平方之积成正比^[3]。二项式阻力公式最常用的形式为

$$R = i \frac{\pi D^2}{4} (a + cv^2) g = i \frac{\pi D^2}{4} a (1 + bv^2) g \quad (1)$$

式中: R 为侵彻阻力; D 为弹丸钻入目标部分最大的直径; a 为目标的静阻力系数, c 为目标的动阻力系数, $b=c/a$,为动静阻力系数之比; i 为弹形因数,球形弹取 $i=1$,现代尖形弹取 $i \approx 0.9$,由文献[4],长形弹取 $i=2/3$; v 为侵彻目标过程中的弹丸速度。

2.2 侵彻土石介质的行程和时间

弹丸的运动方程为

$$m \frac{dv}{dt} = -R \quad (2)$$

式中: m 为弹丸质量。

将式(1)代入式(2)中并积分,可求得弹丸行程

$$l = \frac{2m}{i\pi D^2 c} \ln \frac{1 + bv_c^2}{1 + bv^2} \quad (3)$$

再将式(1)代入式(3)中,可求得弹丸在土石介质中侵彻行程与阻力加速度 a_R 的关系

$$l = \frac{2m}{i\pi D^2 c} \ln \frac{(1 + bv_c^2)a}{2ka_R} \quad k = \frac{2m}{i\pi D^2} \quad (4)$$

当速度为零时,可求得弹丸的最大行程

$$l_m = \frac{2m}{i\pi D^2 c} \ln(1 + bv_c^2) \quad (5)$$

对应于行程 l 的弹丸运动时间

$$t = \frac{4m}{i\pi D^2 \sqrt{ac}} (\arctan(\sqrt{b}v_c) - \arctan(\sqrt{b}v)) \quad (6)$$

2.3 弹丸起爆位置和解保时间的确定

假设击针刺发火帽引爆战斗部过程是瞬间的,实际过程中,相比解保时间来讲很小,为了计算的方便,可忽略不计。

对于侵彻阻力比较小的软目标,内套管侵彻惯性力小于敏感簧的抗力。对于弹丸,由于侵彻阻力小,侵彻速度相对较大;对于定深机构,尽管惯性力小,但足以克服卡簧和剪切削的约束,外套管运行到位后,内套管在侵彻惯性力和敏感簧的共同作用下,解除对限位钢珠约束。也就是说这种作用是在弹丸侵彻过程中完成的,边侵彻,边解保,边引爆战斗部。可计算出外套管、内套管运行到位的时间,此 2 个时间之和即为解保时间,再根据式(6)和式(3)可求出对应的行程。此时弹丸所处的位置为起爆位置。

对于阻力比较大的硬目标、定深机构,由于侵彻惯性力很大,远大于卡簧和剪切削的约束力,外套管很快就会解除对内套管的约束,但此时内套管的惯性力远大于敏感簧抗力,使内套管无法解除对限位钢珠约束。因此在侵彻过程中战斗部不会起爆,当侵彻结束后,侵彻加速度瞬间降为零,内套管的惯性力瞬间消失。在敏感簧抗力的作用下,内套管运行到位,解除对限位钢珠的约束,击针刺发火帽,引爆战斗部。此时,弹丸侵彻速度为零,根据式(5)就可求得弹丸的最大行程,此时弹丸所处的位置即为起爆位置。解保的时间就为弹丸侵彻的时间,联合式(5)和式(6)即可求出。

对于中等硬度目标,弹丸-引信系统对这种目标的作用介于以上 2 种之间。即在运行过程中弹簧的抗力加速度与内套管的惯性加速度比较接近,内套管运行的时间相对比较长,但对弹丸来说按此惯性加速度,运行的深度控制在可接受的范围内。因此加速度就设计为中套管敏感簧的抗力。这个抗力设计是否合适,对定深引信能否在工程许可的范围内达到定深非常重要。

3 应用

3.1 理论应用

假设: $D=130\text{ mm}$, $m=17\text{ kg}$, $v_c=260\text{ m/s}$, $i=2/3$ 。土石介质参数和破障弹在不同目标中的侵彻参数见表 1,表中, a_m 为最大加速度, t 为解保时间, l_i 为起爆时侵深。弹丸在不同土石介质中的侵彻行程与阻力加速度的关系见图 2。

表 1 各种目标的参数和尖头弹对不同目标的侵彻

Table 1 Characteristic parameters of targets and obstacle-breaching parameters of the motion rocket

目标类型	序号	目标	$a/(t/m^2)$	$b/(ms^2/m^2)$	$c/(kg \cdot s^2/m^4)$	l_m/m	$a_m/(km/s^2)$	t/ms	l_i/mm	
									$t_0=2\text{ ms}$	$t_0=3\text{ ms}$
	1	砂	435	200	87	2.838 5	34.220		461.0	655.6
	2	土-砂	600	200	120	2.057 9	47.190		442.5	619.6
土砂石	3	粘土-砂	1 045	35	37	3.027 7	19.050		481.3	697.6
	4	长满草的土	700	60	42	3.561 4	19.170		484.4	702.7
	5	砂、粘土工程	461	60	28	5.342 1	12.630		492.8	722.5
	6	良好的石砌工程	5 520	15	83	0.625 3	60.220	6.8		
	7	中等的石砌工程	4 400	15	66	0.685 7	48.000	8.5		
砖石混凝土	8	砖砌工程	3 160	15	47	1.374 9	34.480	11.9	458.6	645.4
	9	某工事	6 860	15	103	0.498 2	74.840	5.5		
	10	钢筋混凝土	33 500	10.5	352	0.240 6	310.750	3.0		

3.2 试验应用

对于软目标(敏感簧的抗力大于内套管的惯性过载力),是在侵彻过程中爆炸的,解除外套管和剪切削的约束后,敏感簧就开始推着内套管运动,直至战斗部发生爆炸。定深机构解保是一个连续动作,时间一般不超过 3 ms。由于敏感簧的抗力是一个定值,当目标阻力大时,弹丸侵彻速度小,但内套管运动到位的时间相对较长;反之,弹丸侵彻速度相对较大,但内套管运动到位的时间相对较短,因此,对于软目标,弹丸起爆的深度可控制在一定的范围内。

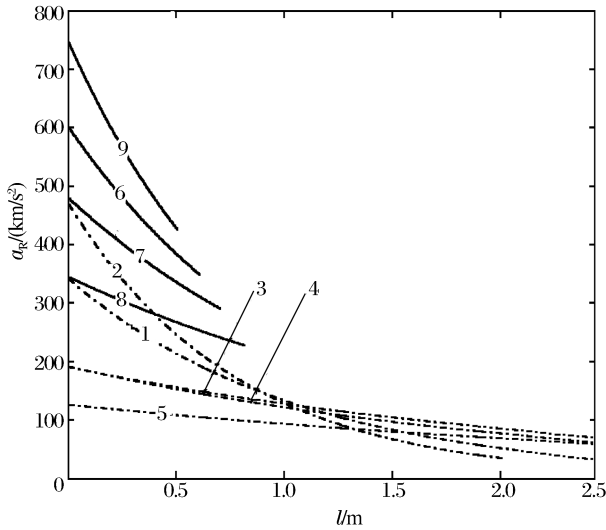


图2 弹丸侵彻不同土石介质时加速度与行程关系

Fig.2 Curves of distance and breaching acceleration

当然,对于超过 15 km/s^2 的介质则超过该定深机构的使用范围。对于钢靶,介质的阻力超过弹丸的强度,弹丸一经撞击就解体爆炸;对由钢筋混凝土构筑的墙体,侵彻爆破试验结果:通过高速录像分析其起爆深度为约 0.15 m 。

3.3 结果分析

(1)可以看出,以上几类目标的最大侵彻阻力加速度在 $15 \sim 200 \text{ km/s}^2$ 的大范围内变化,但在一定深度内其阻力加速度变化不大,这一范围对定深引信的设计有很重要的意义。

(2)从式(1)可以看出,当速度为零时,阻力并不为零,这个阻力为静阻力。反映在侵彻过程中,此时阻力就会从静阻力瞬时变为零。

(3)这2种弹丸侵彻不同软目标时,阻力加速度变化不大,若在设计时中套管簧的抗力加速度超过这几类软目标的最大阻力加速度 5 km/s^2 ,起爆时间延长不到 1 ms ,侵彻深度变化不到 200 mm 。对于爆破来讲,这个深度并不会对爆破效果带来本质上的差异。这些结论与实际试验基本吻合。因此通过调整中套管簧的抗力和从解保到起爆的时间,就可做到在工程上许可的范围内实现定深,从而发挥一定装药量战斗部的最大爆破威力。

4 结束语

相比串联随进破障火箭弹,单一动能侵彻破障火箭弹具有结构简单、炸药装填系数高、侵彻动能大等特点,若再配以专门设计的自适应定深发火机构,可实现在不同厚度和不同强度的介质目标中选择合适的时机起爆战斗部,从而发挥战斗部最大的爆破效果。

参考文献:

- [1] 段建,杨黔龙,周刚,等.串联随进战斗部侵彻混凝土靶实验研究[J].爆炸与冲击,2007,27(4):364-369.
DUAN Jian, YANG Qian-long, ZHOU Gang, et al. Experimental studies of a tandem follow-through warhead penetrating concrete target[J]. Explosion and Shock Waves, 2007,27(4):364-369.
- [2] 杨东来,张有龙,李昊.某新型火箭武器后喷危险界的解决方案[J].工兵装备研究,2006,25(5):23-25.
YANG Dong-lai, ZHANG You-long, LI Hao. Solution for dangerous boundary of back fire of a new rocket weapon [J]. Engineer Equipment Research, 2006,25(5):23-25.
- [3] 《引信设计手册》编写组.引信设计手册[M].北京:国防工业出版社,1978:49-51.
- [4] 季宗德,周长省,邱光申.火箭弹设计原理[M].北京:兵器工业出版社,1995:96-97.

对于硬目标(敏感簧的抗力小于内套管的惯性过载力),是在侵彻过程结束后,惯性力消失后,敏感簧就开始推着内套管运动,直至战斗部发生爆炸。解除外套管的约束和外套管运动与解除内套管的约束和内套管运动是分开的,不连续的。对于某工事9、中等的石砌工程7、良好的石砌工程6,其侵彻阻力加速度在 $10 \sim 40 \text{ km/s}^2$,侵彻的时间在 $6 \sim 10 \text{ ms}$,因此在侵彻深度 $0.3 \sim 0.4 \text{ m}$ 时发生爆炸。对某工事9的侵彻爆破试验也证明了这一点。

对于中等目标,是在侵彻过程中,解除外套管的约束后,弹丸继续运动,当内套管的惯性力小于敏感簧的抗力后,敏感簧才开始推着内套管运动,直至战斗部发生爆炸。其起爆深度应在硬目标和软目标的起爆深度之间。由砖构筑的墙体就是这类目标的典型代表,侵彻爆破试验结果为:通过高速录像分析其起爆深度为约 0.5 m 。

Adaptive breaching-depth control techniques for a new obstacle-breaching rocket projectile

YANG Dong-lai*, ZHANG You-long, LI Hao

(The Frist Engineers Scientific Research Institute of the General Armaments Departments,
Wuxi 214035, Jiangsu, China)

Abstract: A mechanical delay ignition device was designed on the basis of the characteristics of the investigated obstacle-breaching rocket projectile. The designed ignition device can check the obstacle-breaching power and make the kinetic energy penetrating warhead explode at the optimal depth. Theoretical and experimental results prove that the designed kinetic energy rock projectile structure is practicable.

Key words: mechanics of explosion; obstacle-breaching rocket; mechanical delay ignition device; warhead

* Corresponding author: YANG Dong-lai

E-mail address: ydllgh@sohu.com

Telephone: 86-510-85352417

(责任编辑 丁峰)

CAEP-IFP-DISAR-01 全光纤激光干涉测速仪

CAEP-IFP-DISAR-01 型全光纤激光干涉测速仪(All Fiber Displacement Interferometer System for Any Reflector, AFDISAR)是中国工程物理研究院流体物理研究所冲击波物理与爆轰物理国防科技重点实验室研制的最新一代先进激光干涉测速仪,主要用于冲击波物理和爆轰物理实验研究中位移或速度剖面的连续测量。该仪器采用全光纤结构,具有测速范围宽广、结构简单、体积小、抗振动、免调试和可靠性高等特点。仪器操作简单(非专业人员经过简单培训即可独立操作)、测试效果佳、实验准备周期短、运行成本低,在冲击波物理和爆轰物理实验以及航空、航天、工业控制与检测等领域具有广泛用途。

仪器主要技术性能指标:(1)激光波长:1 550 nm;(2)同时测量点数:1点、2点、4点任选;(3)速度测量范围:1 m/s~9 km/s;(4)速度测量精度: $\leq 1\%$;(5)系统最快响应时间:50 ps;(6)测量景深:0~15 mm(更长景深可定制);(7)一体化干涉主机架构,免调试,易操作;(8)仪器外形尺寸:427 mm×350 mm×133 mm(19"标准3U机箱);(9)仪器供电要求:交流电 200~240 V,50、60 Hz,功耗小于 50 W;(10)仪器重量:约 10 kg。

(中国工程物理研究院流体物理研究所提供)