

## 【兵器与装备】

## 钻地战斗部与地下目标毁伤关系的分析\*

张学伦<sup>1</sup>, 曾 焱<sup>2</sup>

(1.兵器装备集团公司国营第5013厂,重庆 402760;2.空军驻西南地区军事代表室,重庆 402760)

**摘要:**对地下目标的防护进行了分析,类比构造了等效典型地下目标特性.通过对钻地战斗部的性能分析,确立了不同侵彻能力条件下战斗部可能的装填系数.立足于常规武器的毁伤能力,利用经验公式对在爆炸作用下地下目标的毁伤进行了研究,分析了钻地战斗部的侵彻性能、装填系数与不同厚度等效典型目标毁伤效能的关系,为攻击地下目标的弹药系统的论证和研究提供了一定的参考.

**关键词:**地下目标;毁伤;钻地战斗部;装填系数

**中图分类号:**TJ760.3+1

**文献标识码:**A

**文章编号:**1006-0707(2008)03-0006-03

据估计,目前世界上约有10 000多处隐藏在地下的军事设施,其中1 000余处是具有战略意义的洲际弹道导弹发射井、指挥与控制中心、生化武器生产与存储设施等<sup>[1]</sup>.随着武器系统精度的提高和高效毁伤技术的发展,对常规武器在侵彻/爆炸作用下对地下深层钢筋混凝土防护结构产生的冲击,以及对近距离和内部爆炸、接触爆炸的毁伤破坏研究已经成为热点.北京理工大学的王云峰、董永香、冯顺山根据固定装药量在不同爆炸位置对目标结构的不同破坏模式,评估了对目标作用的失效破坏程度<sup>[2]</sup>.

## 1 地下目标分析

据研究,各国对于高价值军事设施按重要性的不同进行了不同程度的加固防护,其中对战略指挥通讯设施的防护最为保险可靠,要求它们能承受一定当量的核攻击.该类设施一般均深埋地下,有极厚的防护层,如美国韦瑟山绝密工程防护层厚度为75~95 m;夏延山地下指挥中心主体坑道的防护层厚度为420~525 m;俄罗斯莫斯科地下指挥中心防护层厚度为180 m,而台湾地区的战略指挥防护工程的防护层厚度一般在30 m以上,最深的达100 m左右.在现有技术水平下,以常规武器用常规方法对该类目标进行攻击很难奏效,即便是目前最重的常规钻地弹,其侵彻能力也非常有限,例如对于极其坚硬的花岗岩层,据估计最大侵彻深度在15 m左右.如果想彻底摧毁深埋的花岗岩层下数百米的军事设施,只有一个办法——动用核钻地弹.军事指挥中心、通讯指挥中心、弹药库、飞机掩体等的防护相对战略指挥通讯设施的防护等级要低得多,由于目标所担负的功能不同,其防护方式、防护层厚度也不同.

目标的防护材料基本由粘土、混凝土或钢筋混凝土构成,防护层的等效混凝土厚度从1.8 m到6 m不等.表1列出了典型硬目标的特性数据<sup>[3]</sup>.

表1 典型目标特性

种类	结构	等效混凝土厚度/m
单层地下 C <sup>3</sup> I 设施	坚固粘土 + 钢筋混凝土	1.8
雷达通讯掩蔽部	粘土1.6 m + 块石混凝土 土1.7 m + 钢筋混凝土 0.45 m	2.2
拱形屋顶 C <sup>3</sup> I 设施	紧密土2.4 m + 混凝土 1.8 m	2.1
飞机掩体	粘土1.8 m + 加固拱顶 2.4 m + 钢板隔层1 m	3
深层地下洞库	稳定土20 m + 钢筋混凝土 2 m	6
单层地下指挥所	钢筋加固混凝土3.7 m	3.7~4.0
地地导弹战备掩体	加固土6 m + 钢筋加固 混凝土4 m	4.6~5.8

许多得到保护的设施是薄层“掘开式”设计,只有厚度低于3.05 m的混凝土结构覆盖层(厚度是根据相当的钢筋混凝土厚度而测算的,复合结构、岩石和土壤的实际厚度可能要厚得多)<sup>[4]</sup>.本研究立足于常规钻地武器的侵彻能力,以导弹待命掩体为例构建一个典型地下目标结构:混凝土防护层厚度为 $H$ ,防护层下为四周带钢筋混凝土侧壁

\* 收稿日期:2008-03-11

作者简介:张学伦(1966—),男,重庆人,研究员级高级工程师,主要从事弹药工程设计研究.

的自由空间,如图1所示。

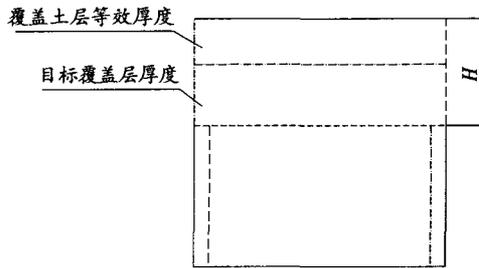


图1 典型目标工事示意图

## 2 钻地战斗部性能

战斗部是武器(导弹或炸弹)直接用于摧毁、破坏目标,完成战斗使命的有效载荷。针对不同的目标,对战斗部也有不同的性能要求。战斗部技术的发展最大程度地适应了目标的变化,同时又促进了目标的发展演变<sup>[4]</sup>。由于目标结构的复杂性,不可能用一种战斗部对所有的典型目标实现高效毁伤。随着武器系列化和“一弹多头”设计思想的发展,国外有很多武器(特别是对地导弹)已配置2种或更多类型的战斗部。针对同一武器平台,根据武器系统打击毁伤目标的不同,战斗部使用的类型也不相同,装填系数也相差较大。表2为同一武器平台在对付不同目标时战斗部的配备情况。

表2 不同类型战斗部的特性参数

战斗部名称	对付的目标类型	侵彻能力	炸药装填系数
MK84	地面的跑兵阵地、车辆、碉堡等目标	(地面触发爆炸)	0.479
BLU-109/B	地下的指挥与控制中心、防御设施、地下存储防御设施和武器基地	1.8~2.4 m 厚混凝土	0.278
BLU-116/B	地下的指挥中心和飞机掩体等多层设施	3.6~6.1 m 厚混凝土	0.141

通过对国外对地攻击武器战斗部的数据收集与分析,一般爆破式战斗部的装填系数为0.45~0.55,侵彻钢筋混凝土能力在1~2 m的钻地战斗部的装填系数为0.2~0.3,侵彻钢筋混凝土能力在4~6 m的钻地战斗部的装填系数为0.1~0.15,侵彻钢筋混凝土能力在8~10 m的深钻地战斗部的装填系数小于0.1。

设一质量为 $M$ 、弹径为 $d$ 的战斗部以初速 $v_0$ 侵彻混凝土靶,靶体密度及无约束抗压强度分别为 $\rho$ 和 $f_c$ ,战斗部侵彻的半无限厚混凝土靶包括一个锥形弹坑和一个隧道区。侵彻试验的减速度曲线表明,在锥形弹坑区阻力脉冲上升,在隧道区阻力脉冲下降。在锥形弹坑区和隧道区,作用在战斗部头部的轴向总阻力分别为<sup>[5]</sup>:

$$F = \begin{cases} cx & x/d < k \\ \pi d^2 (sf_c + N^* pv^2)/4 & x/d \geq k \end{cases} \quad (1)$$

式中: $c$ 是一常数; $v$ 是战斗部侵彻过程中的瞬时速度; $S$ 是相关于混凝土无约束抗压强度 $f_c$ 的一个无量纲经验常数。有:

$$S = \begin{cases} 82.6f_c^{-0.544} \\ 72f_c^{-0.5} \end{cases} \quad (2)$$

$N^*$ 为战斗部尖卵形头部形状因子,有:

$$N^* = \frac{1}{3\psi} - \frac{1}{24\psi^2} \quad (3)$$

式中: $\psi = s/d$ 是尖卵形头部曲径比 $CRH$ , $s$ 为尖卵形母线圆弧半径。

战斗部对混凝土的无量纲侵彻深度的工程近似公式为:

$$H/d = 1/2 \quad (4)$$

当战斗部正侵彻混凝土靶体时,弹体所受轴向载荷远大于弹体所受横向力,因此为简化问题,按一维(沿轴向)问题进行强度分析。若弹壳体材料的临界抗拉强度为 $\sigma_\sigma$ ,设弹体任一截面的壳体厚度是 $h_t$ ,则有弹体壳体在抗压条件下的无量纲极限厚度是<sup>[5]</sup>:

$$h_t/d = d_c = (1 + I/N)/(4\sigma_\sigma) \quad (5)$$

考虑一种极限情况,取战斗部壳体为等厚度筒体设计,其装填比为<sup>[6]</sup>:

$$\alpha = \frac{M_c}{M_s + M_c} = \frac{\rho_1 \left( \frac{1}{4} - \frac{h_t}{d} \right)}{\rho_p h_t/d + \rho_1 \left( \frac{1}{4} - \frac{h_t}{d} \right)} \quad (6)$$

式中 $\rho_1, \rho_p$ 分别是炸药和弹体的密度。

通过对式(4)和(5)联解,可求出战斗部具备的侵彻能力与战斗部炸药装填系数的近似关系,见图2。

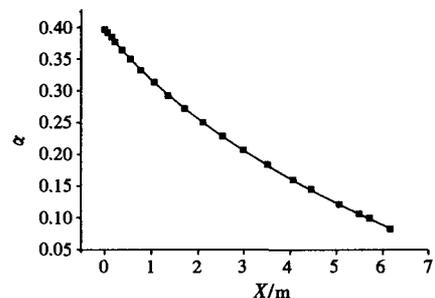


图2 侵彻能力与装填系数的关系

## 3 毁伤分析

目标的特性包括功能特性和结构特性2部分。目标结构毁伤(或称物理毁伤)是指由于毁伤元的作用,使目标整体内在联系或组合方式发生了影响完成任务的改变或失效破坏;功能毁伤是指在毁伤元的作用下,目标完成任务的能力受损或者内部人员和设备的运转效率降低<sup>[7]</sup>。

对地下目标而言,只要战斗部侵彻到防护层某一深度爆炸,如果爆炸作用后导致防护层结构破坏,防护层将被爆炸贯穿。防护层一旦被贯穿,爆炸产物、介质碎块等进入目标内部,通常认为此时目标被摧毁<sup>[7]</sup>。

假设战斗部在某个侵彻深度  $x_0$  处爆炸时,对应目标毁伤的最高级别(产生爆破漏斗坑,混凝土大块被震塌,碎块以高速向后飞散),认为此时目标被摧毁,即既有功能毁伤,又有结构毁伤.常规武器爆炸作用对单层介质构成的工事结构及顶盖内表面不震塌临界距离——不震塌半径  $r_z$  为<sup>[8]</sup>:

$$r_z = mK_z \sqrt[3]{C} \quad (7)$$

式中:  $K_z$  为介质材料的不震塌系数;  $C$  为战斗部等效 TNT 装药量,单位为 Kg;  $m$  为堵塞系数.

设目标防护层厚度为  $H$ ,则有战斗部的侵爆深度  $L = x_0 + r_z$ .当  $H = L$  时,目标被破坏毁伤.以  $H$  为横坐标,战斗部的装填系数和侵彻深度为纵坐标,在直角坐标系中可求出不同厚度的典型目标遭受毁伤所对应的同一战斗部应有的侵彻能力与战斗部可能的炸药装填系数的相互关系,如图 3 所示.

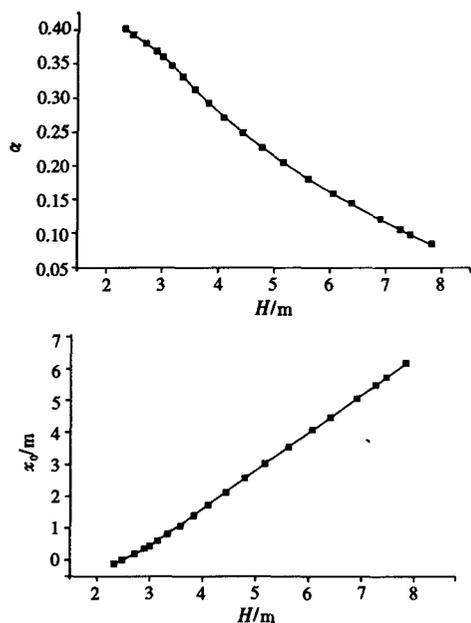


图 3 战斗部性能与不同厚度典型目标的毁伤关系

## 4 结束语

地下军事目标毁伤研究具有重要的战略意义,但由于目标的特殊性和保密性,难以寻求地下军事目标的完全等效关系,因此,对钻地战斗部对地下目标的毁伤研究存在相当大的困难.通过对钻地战斗部侵彻能力与炸药装填系数的相互匹配关系和典型目标毁伤的意义分析,以及寻求钻地战斗部性能与不同厚度典型等效目标毁伤的关系,对辅助钻地战斗部性能设计与目标毁伤关系研究有着重要的意义.

## 参考文献

- [1] 严晓峰. 钻地弹—无孔也要入[J]. 兵器知识, 2005(2): 57-58
- [2] 王云峰, 董永香, 冯顺山. 爆炸载荷作用下地下目标破坏失效分析[C]//2005年弹药战斗部学术交流会议论文集. 北京: [出版者不详], 2005: 120-123.
- [3] 罗星. 西方攻击加固深埋目标的战斗部[J]. 飞航导弹, 1998(12): 24-30.
- [4] 藏晓京. 国外攻击硬目标和深埋地下目标的引战技术发展[J]. 飞航导弹, 2006(1): 43-51.
- [5] 陈小伟. 动能深侵彻弹的力学设计(I)[J]. 爆炸与冲击, 2005, 25(11): 499-505.
- [6] 陈小伟. 动能深侵彻弹的力学设计(II)[J]. 爆炸与冲击, 2006, 26(1): 71-78.
- [7] 王云峰, 冯顺山, 董永香, 等. 地下硬目标毁伤分析[J]. 弹箭与制导学报, 2006, 26(4): 132-134.
- [8] GJBZ20419.2-1998, 防护工程防常规武器结构设计规范[S].