

侵地武器及其气炮实验

林俊德

(西北核技术研究所, 西安 710024)

[摘要] 简述了侵地武器的发展历史和现状, 侵彻战斗部技术在精确制导武器中已被广泛应用, 小爆炸威力侵地核武器的开发已经主要不是工程技术方面的问题; 介绍了气炮实验技术及其在侵地武器研究中的应用, 气炮模拟实验结果表明, 岩土侵彻存在良好的力学相似关系, 混凝土侵彻同花岗岩侵彻存在许多质的差异; 介绍了一种通过侵深实验数据分析计算侵彻弹体加速度、速度和位移变化过程的方法。

[关键词] 武器试验; 岩土侵彻; 气炮; 撞击; 实验技术

[中图分类号] TJ76; TJ012.4 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2003)11-0025-09

1 侵地武器

侵地武器 (earth-penetrating weapon, EPW) 也称“穿地弹”或“钻地弹”, 是一种特殊用途的精确制导武器。它通过弹体入侵到地下数米乃至数十米后的爆炸来攻击目标, 对地下“坚固目标”具有其他攻击方式难以实现的杀伤效果。

图1是美国专门用于攻击地下坚固军事目标的 GBU-28 和 GBU-24 激光制导杆形侵地炸弹, 它由飞机高空投掷, 借助飞机航速和重力加速度获得必要的侵地弹速, 在1991年的海湾战争中首次使用, 2001年的阿富汗战争中被用来攻击基地组织的地下弹药库。据报道, 2003年的伊拉克战争中的2次“斩首行动”都使用了 GBU-28 侵地弹。GBU-28 侵地弹总质量 2 130 kg, 填装 306 kg 炸药, 弹长 5.84 m, 弹体外径 370 mm, 爆炸药柱直径 254 mm, 可入侵 30 m 土层, 入侵 6 m 混凝土。

除杆形侵地弹之外, 许多已有弹型也被赋予了侵彻功能。在精确制导技术和智能引信技术的配合下, 侵彻与爆炸的结合显著提高了这些武器的战术效果。图2的 GBU-32 型“联合制导攻击弹 (join direct attack munition, JDAM)”就是一个典型例

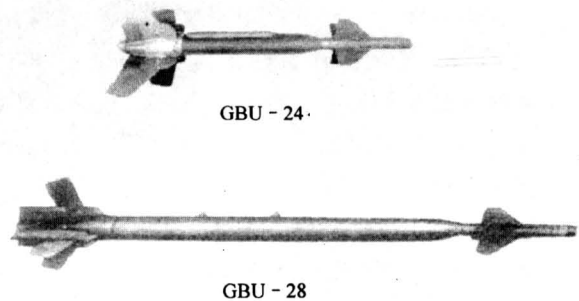


图1 美国2种型号杆形侵地弹

Fig.1 Two long rod earth-penetrating bombs of America

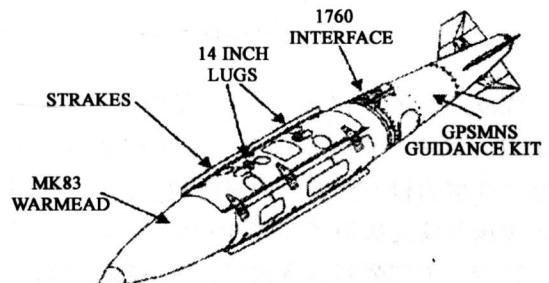


图2 美国 GBU-32 型 JDAM 侵彻弹

Fig.2 The JDAM penetrating bomb GBU-32 of America

子。GPS等多种制导手段的应用和装备侵彻弹壳,使航弹的杀伤力倍增,它曾在1999年科索沃战争中用于袭击我国驻南斯拉夫大使馆。

侵地武器研究已经有半个世纪的历史。核武器问世后,重要国防设施迅速转入地下,提高核武器攻击地下目标的效率成为迫在眉睫的课题。爆炸实验研究表明,爆炸中传入地下的力学能份额同爆点埋深关系非常密切,地面爆炸传入地下的力学能只占总爆炸能的约5%,即便是侵深不大的成坑爆炸,其对地下设施的破坏能力也可以比地面爆炸高出好几倍,因而研制侵地核武器就变得顺理成章。

美国早在20世纪60年代就进行过系列性的航弹大地侵彻实验,表1是部分实验结果^[1]。

除了空投核武器的侵地模拟实验之外,美国还进行了弹道导弹核武器的侵地模拟实验。图3是1979年国外报刊披露的美国潘兴-II导弹运载的侵地核武器的模拟实验照片。

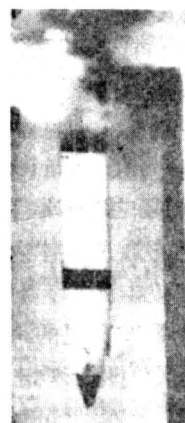
表1 20世纪60年代美国进行航弹大地侵彻实验部分结果

Table 1 Some earth penetrating experimental results of America

地表层地质	弹径 /mm	弹质量 /kg	弹速 /m·s ⁻¹	侵深 /m
干湖底淤泥	112	103	61	2.00
干湖底淤泥	137	70	64	2.10
干湖底淤泥	216	137	96	2.68
干湖底淤泥	229	464	146	5.2
干湖底淤泥	229	464	320	16.84
干湖底淤泥	458	321	274	19.80
淤泥冻土	229	580	122	4.56
淤泥冻土	229	560	238	10.50
冰	229	404	146	5.47
潮湿散沙	229	565	122	10.50
潮湿散沙	229	525	267	21.60
砂岩	229	353	268	3.05
砂岩	229	415	250	3.10



a. 模拟实验的核侵地弹头



b. 侵地模拟实验

图3 核导弹侵地弹头模拟实验

Fig.3 The experiment on simulative nuclear earth-penetrating head of missile

1996年联合国通过全面禁止核试验条约(CTBT)以来,出现了许多关于美国和俄罗斯研制低爆炸威力侵地核武器的报道和评论,2003年5月,美国参议院撤消了为期10年的低威力核武器研制禁令。人们强烈地意识到,由于低爆炸威力侵地核武器可以不产生严重的地面放射性污染,不具有大规模杀伤性,从而模糊了核武器与常规武器的界线,降低了使用核武器的门槛,有可能成为大国的又一种重要威慑手段。

其实,美国开发小当量低污染战术核弹远不是近年的事。早在20世纪50年代末期美国就进行过

一系列诸如核炮弹战术武器的相关试验。据不完全统计,美国在1958年一年就进行了23次爆炸当量低于1000 t TNT的核试验。表2是报刊披露的部分试验信息。美国研制核武器小型化的成就也早已不是秘密,一些用于刺激天然气核试验的核爆炸装置直径仅198 mm。图4是1969年代号为“Rulison”的刺激天然气核试验的核爆炸装置。

图5是一组美国在内华达核试验场冲积土地层进行的爆炸弹坑实验结果^[2],图中的“w”是爆炸的TNT炸药质量。可以看到,当埋深增大到约100~120 m时,1000 t TNT核爆炸就不再出现弹

坑，爆炸是全封闭的。核爆炸遵守爆炸相似律。对于一个 100 t 和 10 t TNT 当量的核爆炸，形成全封闭爆炸的爆点埋深分别只需 50 m 和 25 m。

表 2 1957~1958 年间美国在内华达核试验场进行的部分小当量核试验

Table 2 Some low-yield nuclear tests of America in Nevada during 1957~1958

序号	试验日期	试验代号	爆炸方式	爆炸当量 /t TNT
1	1957-06-02	Franklin	塔爆, 90 m 高	120
2	1957-09-06	Wheeler	气球吊挂, 150 m 高	197
3	1957-12-09	Coulomb-C	地面	500
4	1958-09-12	Otero	地下	38
5	1958-09-19	Eddy	气球吊挂, 150 m 高	83
6	1958-10-08	Tamalpais	地下	72
7	1958-10-10	Quar	塔爆, 30 m 高	79
8	1958-10-14	Neptune	地下	115
9	1958-10-22	Rushmore	气球吊挂, 150 m 高	188
10	1958-10-24	Catroa	塔爆, 22 m 高	21
11	1958-10-29	Erans	地下	55
12	1958-10-29	Humboldt	塔爆, 7.5 m 高	8

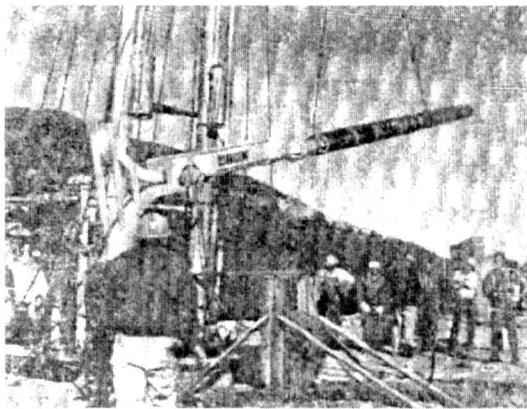


图 4 “Rulison” 刺激天然气核试验的核爆炸装置吊装

Fig.4 Nuclear explosion equipment for “Rulison” test

上述侵地武器和小当量核武器研究历程和研究成果表明，在技术上美国已经具备研制生产类似 GBU-28（土层侵深 30 m）那样的十吨到百吨级侵地核武器的能力，对于土介质中的地下目标，以小威力核武器实现无强烈地面放射性污染的封闭爆炸，在技术层面上是现实的。

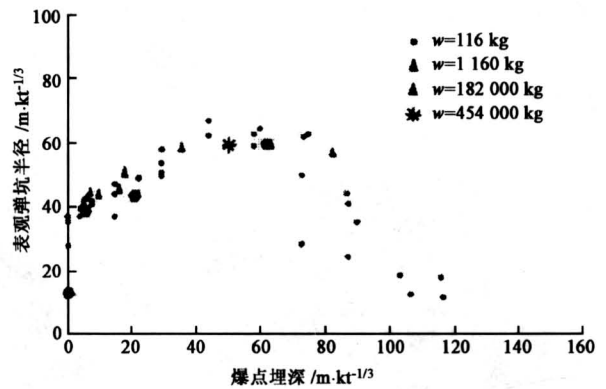


图 5 不同爆点埋深的弹坑半径

Fig.5 Radius of craters for different explosive depth

2 气炮实验技术

气炮是 20 世纪 60 年代发展起来的力学实验设备，它可以发射从百米每秒到万米每秒速度的不同形状和材质的弹体，弹速连续可调而且重复性良好，是高速撞击和超高速撞击的主要实验手段。起初得到发展的是单级压缩气炮，它的弹速通常小于 1 500 m/s，主要用来做材料动力学、侵彻和高速撞击现象的规律研究实验。随着航天技术和太空动能武器的发展，超高速撞击实验的需求随之变得重要起来，二级气炮也就随之问世，其最大弹速通常为 4 000~8 000 m/s。

1982 年，西北核技术研究所完成了 57 mm 口径的单级压缩气炮研制，最大弹速 1 400 m/s，90 年代研制了口径 130 mm 单级压缩气炮和 10 mm 口径的非火药驱动二级气炮（最大弹速 7 000 m/s）。图 6 是西北核技术研究所的气炮结构简图，根据弹速要求给高压气室充入一定气压的氮气或氦

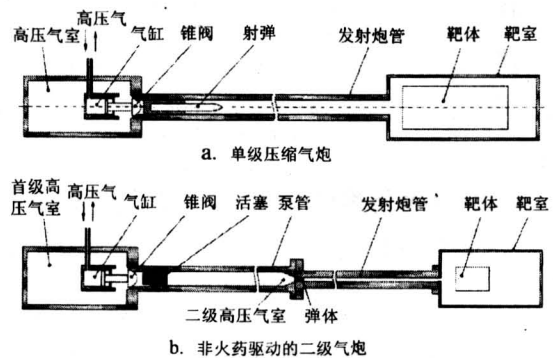
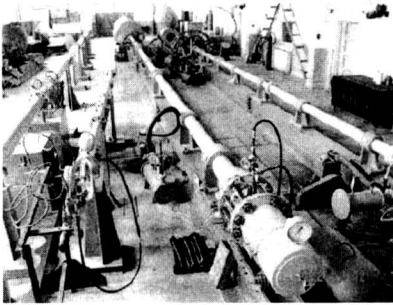


图 6 西北核技术研究所的气炮简图

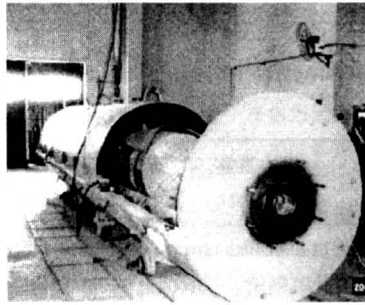
Fig.6 Sketch of gas gun built in NINT

气，依靠气缸快速泄气开启高速锥阀，射弹在高压气体驱动下获得设置的弹速。二级气炮依靠高速活塞压缩泵管里的氢气，它可在锥形二级气室内产生

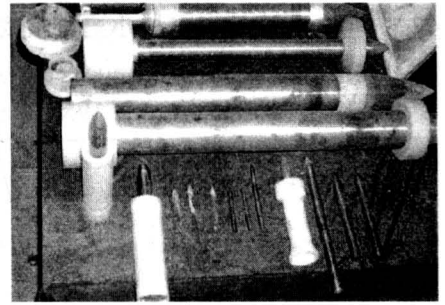
高达千兆帕级的驱动气压，从而获得远高于单级气炮的弹速。图7是西北核技术研究所的气炮实验大厅、侵地弹实验靶箱和部分侵地弹实验弹体。



a. 西北核技术研究所的气炮实验大厅



b. 130 轻气炮靶箱



c. 侵地实验弹体和弹托

图7 西北核技术研究所气炮

Fig.7 Gas guns built in NINT

气炮实验能力的主要技术指标是弹速和发射弹体质量，图8是130气炮（炮管口径130mm）在不同气压驱动下的弹速变化情况，130气炮最大驱动气压为30MPa，它能使1kg弹体获得1400m/s弹速，64kg弹体获得近300m/s弹速，基本覆盖了武器侵彻实验的全部弹速需求范围。

关键。

图9是西北核技术研究所不同条件下杆形弹体侵入花岗岩实验中出现的一些具有启发性的物理力学现象：(a)是高强度钢（屈服强度1300MPa）弹体静态压入花岗岩靶体（单轴抗压强度154MPa）的情景，它不能构成入侵，靶面只出现一个直径约9mm、深度约4mm的浅坑，弹头发生塑性变形；(b)是同样的高强度钢弹以424m/s弹速入侵花岗岩靶体的情景，弹体入侵了101mm（弹长的2/3）深，弹头完好无损；(c)是紫铜（屈服强度70MPa）弹体在781m/s弹速下入侵花岗岩靶体出现的“流体侵彻现象”，靶体出现一个60mm深的锥形弹坑，弹体从弹坑壁面外流形成一个酒杯似的筒体（坑中的铜杯姿态是侵彻后人为了安放的），筒底保留着一个约2mm厚的铜币形的弹体尾端。

超高速撞击同高速撞击的区分主要是撞击体和靶体表现为流体特性，此时的人侵弹坑不是随弹速的增大而加深，而是随弹速的增大而变大，在弹速足够大时则出现一个近于半球形的浅弹坑。图10是在西北核技术研究所的10mm口径二级气炮上进行的一次尼龙弹撞击硬铝靶体的实验结果。尼龙弹直径10mm，质量0.73g，硬铝靶体直径80mm，厚40mm，撞击弹速7.0km/s，迎面弹坑直径40mm，深18mm，靶体背面出现严重层裂（应力波反射发生的表层拉伸断裂现象），但是弹坑与层裂区未贯通。

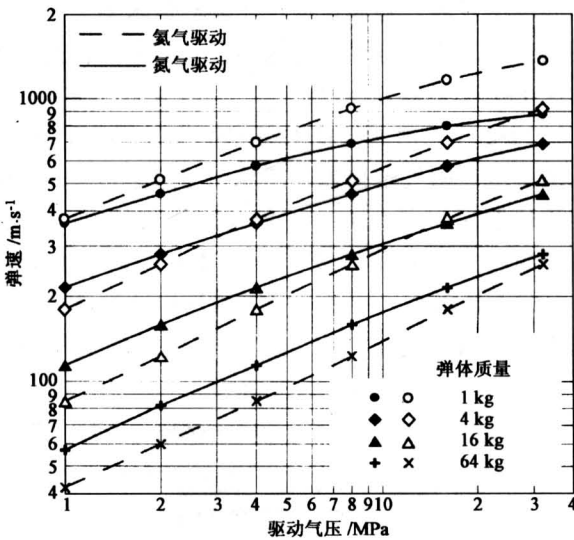


图8 130气炮在不同气压驱动下的弹速

Fig.8 Projectile velocities of 130 mm caliber gas gun

高速撞击产生的物理力学现象同人们熟知的静力学现象差异很大，积累动力学研究的实验数据及其分析经验仍然是今天解决侵彻动力学问题的

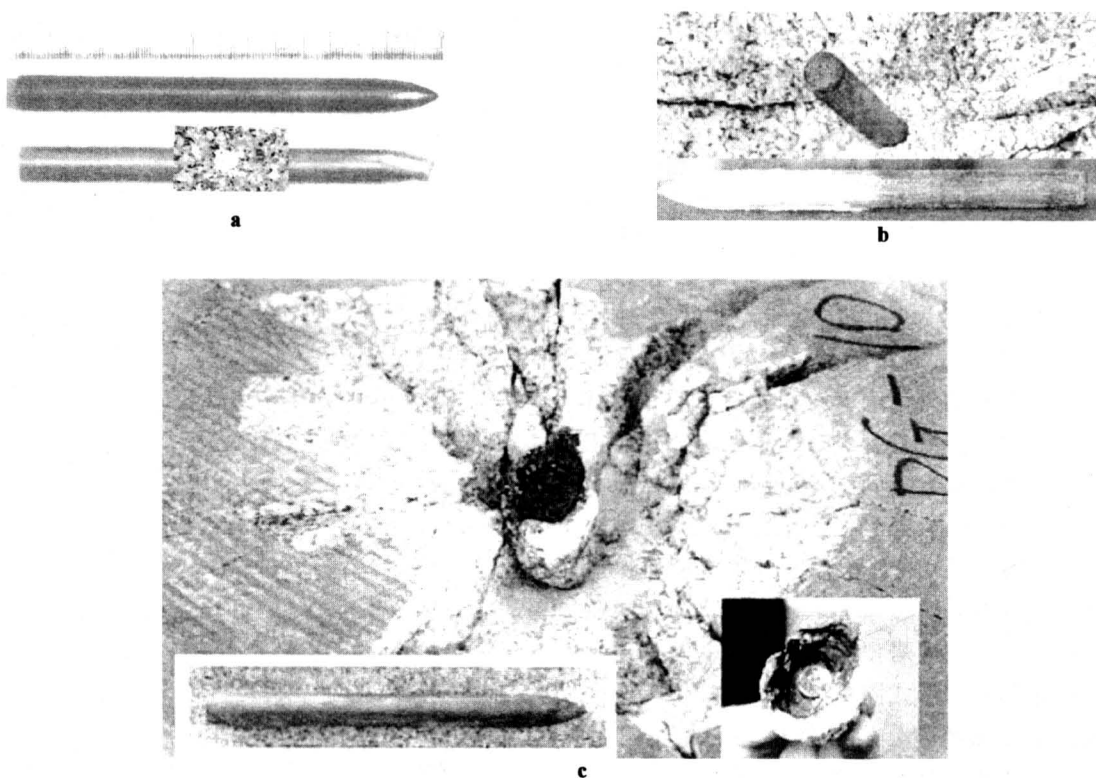


图 9 花岗岩侵彻现象

Fig.9 Phenomena on penetrating granite

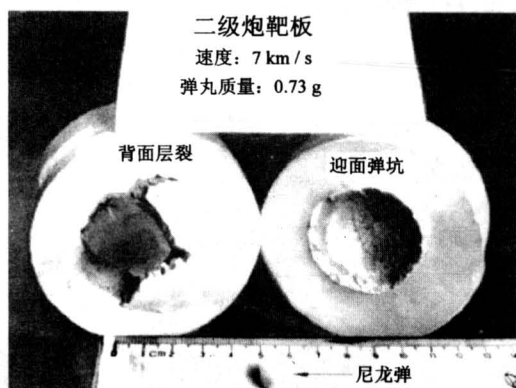


图 10 尼龙弹超高速撞击后的硬铝靶体

Fig.10 Aluminum target impacted by nylon projectile

比起火药驱动的滑膛炮，采用压缩气炮做侵彻实验具有一系列优点。首先，它没有火药炮的噪声干扰和废气污染，便于在室内应用，因而可以使用更为完善的测量技术，并且可以提高工作效率。其次，压缩气炮是以调节驱动气压改变弹速的，它连续可调，重复性好，这对于需要精确对比的实验是很重要的。此外，在需要考查弹内零部件（比如引

信、炸药）生存性能和进行弹内测量（比如加速度、应变）的实验中，如果采用火药炮发射模拟弹，模拟器件必须经受高温高压气体的作用和极高的发射加速度，而实际上无论是由飞机还是由火箭运载的真实弹体，其发射条件都不会如此恶劣，这不但影响模拟的真实性，而且增加了实验难度，甚至可能导致一些模拟实验无法进行。压缩气炮模拟实验的弹体受力和加速度不及火炮模拟实验的 1/10，因此麻烦少得多。

以上介绍的只是气炮的概貌和部分实验。气炮是一种适用面相当宽广的实验设备，它在获取材料动力学、动高压物理和航空航天技术的基础数据方面经常扮演不可替代的角色，在撞击、侵彻类型的武器科学研究和一些撞击事故与灾难的分析中也是一个重要帮手。

3 侵地武器气炮模拟实验的部分结果

3.1 岩土侵彻相似规律

许多以实验为基础的力学研究都以建立相似律作为起点，一旦相似律被确认，相似条件被掌握，

就会给研究工作和研究成果的应用带来巨大的效益。比如，爆炸相似准则的建立使得应用小药量爆炸研究大量爆炸现象的规律变成可能，还可以通过化学爆炸模拟实验来掌握核爆炸力学效应的基本规律。

图 11 是通过气炮实验获得的一组混凝土与花岗岩的侵彻相似律实验结果，弹体材料为 40CrNiMo，屈服强度为 1 300 MPa，弹径为 10~40 mm，弹体长径比为 10。混凝土靶体的单轴抗压强度为 16.5 MPa，花岗岩靶体的单轴抗压强度为 154 MPa。实验结果表明，在相同的弹形和靶材条件下，弹体侵彻深度具有良好的相似性，几何相似的不同大小弹体具有相同的侵深/弹径比。

从图 11 的侵深曲线可以清楚地看到：花岗岩的侵深约为混凝土的 1/3；两种靶材的侵深随弹速变化规律之间存在着明显差异，混凝土侵深随弹速的 1.5 次幂增长，花岗岩侵深随弹速线性增长。这种侵深与弹速的相关形式同美国陆军防护工程设计手册的混凝土侵深经验公式^[3]和 R. S. Bernard 的岩石侵深经验公式^[4]是一致的。

3.2 混凝土侵彻与花岗岩侵彻的差异

侵深规律的差异源于弹体入侵物理力学过程的不同，这在靶体破坏形态上得到明显反映。图 12 是不同弹速侵彻时混凝土靶体和花岗岩靶体的破坏形态。随着弹速的加大，混凝土靶体的破坏变得越

来越局限，400 m/s 弹速侵彻的混凝土主要表现为脆性破坏，靶体出现众多径向裂缝，650 m/s 弹速侵彻的混凝土靶体强烈地表现为塑性破坏形态，不但靶体径向裂缝基本消失，而且弹体穿过的孔道变得规整光滑。相反，花岗岩靶体的破坏形态始终表现为典型的脆性破坏形态，随着弹速的加大，径向裂缝增多，破坏规模增大。

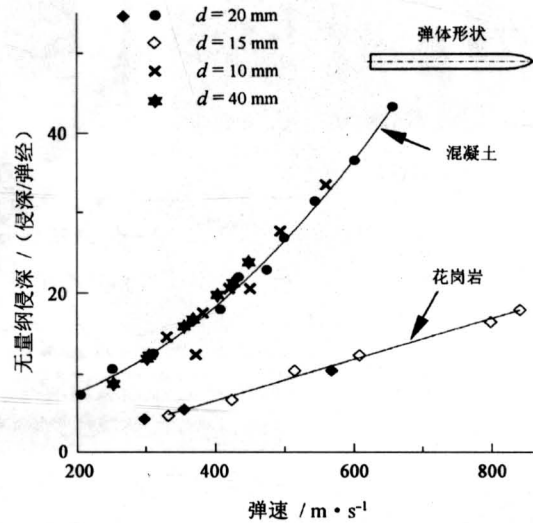


图 11 不同弹速下混凝土与花岗岩的入侵深度
Fig. 11 Penetrating depths for concrete and granite targets

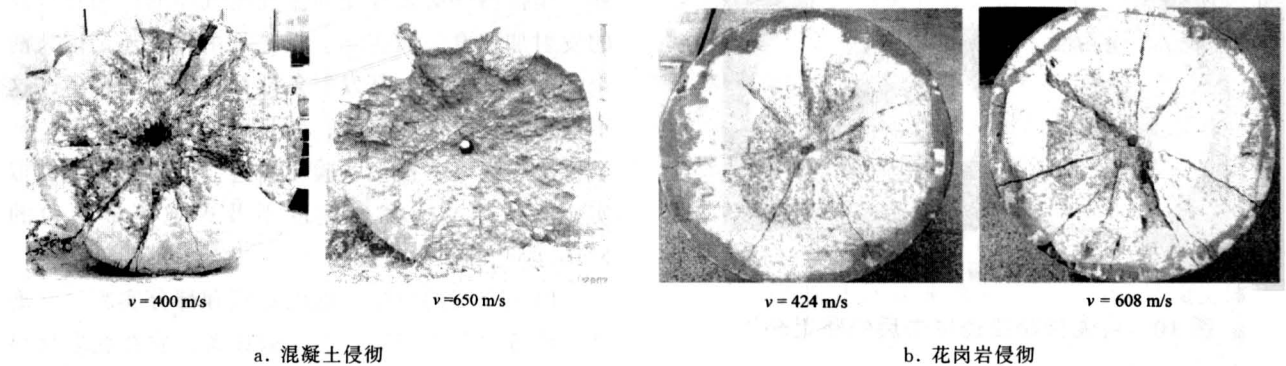


图 12 混凝土和花岗岩侵彻的靶体破坏形态
Fig. 12 The configurations of penetrated targets

上述差异主要是靶材的动力学性能不同造成的，在这里，靶材孔隙度扮演了重要角色。混凝土的孔隙度通常在 10 % 左右，弹体附近的高应力和大变形造成强烈的孔隙闭合过程，弹速越大，孔隙闭合的过程进行得越快，孔隙闭合的范围也越大，

侵彻应力波衰减也越快，所以远离弹体的靶体破坏就越小。混凝土孔隙高速闭合过程伴有强烈的颗粒撞击和摩擦，由此产生的颗粒表面温升促使高压下的混凝土发生粘结现象，从而形成整齐光洁的侵彻弹孔。花岗岩的孔隙度在 1 % 左右，孔隙闭合范围

和程度都远小于混凝土，所以它的破坏形态受弹速的影响很小。

4 弹体侵彻运动参数和运动过程计算

4.1 侵深经验公式

根据图 11，混凝土和花岗岩数据拟合的侵深经验公式为

混凝土 ($\sigma_c = 16.5 \text{ MPa}$):

$$\begin{aligned} H/d &= kv^n, 206 \text{ m/s} < v < 657 \text{ m/s}; \\ k &= 0.00243; n = 1.50 \end{aligned} \quad (1)$$

花岗岩 ($\sigma_c = 154 \text{ MPa}$):

$$\begin{aligned} H/d &= av + b, 332 \text{ m/s} < v < 839 \text{ m/s}; \\ a &= 0.0254; b = -3.57 \end{aligned} \quad (2)$$

式中 H 为侵深 (m)， d 为弹径 (m)， v 为弹速 (m/s)。

4.2 侵彻阻力与侵彻加速度

假设在侵深增量 dH 距离内侵彻阻力 F 不变，根据能量守恒原理得

$$F dH = \frac{1}{2} m [(v + dv)^2 - v^2] = m v dv,$$

侵彻阻力为

$$F = m v \frac{dv}{dH}. \quad (3)$$

由式 (1) 微分可得到混凝土侵彻的 (dH/dv) = $dknv^{n-1}$ ，代入式 (3) 得混凝土侵彻阻力为

$$F_c = \frac{m v^{2-n}}{knd}. \quad (4)$$

代入经验公式参数 $k = 0.00243$ ， $n = 1.50$ ，可以得出 $m = 0.46 \text{ kg}$ 、 $d = 0.02 \text{ m}$ 的弹体入侵强度 16.5 MPa 混凝土的侵彻阻力为

$$F_c = 6310 v^{1/2} (\text{N}), \quad (5)$$

式中弹速 v 以 m/s 计，对应的弹头轴向应力（假设不存在侧面摩擦）为

$$\sigma_{cp} = 4F_c / (\pi d^2) = 20.1 v^{1/2} (\text{MPa}). \quad (6)$$

由式 (2) 可得花岗岩侵彻的 $dH/dv = ad$ ，代入式 (3) 得花岗岩侵彻阻力为

$$F_g = \frac{mv}{ad}, \quad (7)$$

代入经验公式参数 $a = 0.0254$ ，可以得出 $m = 0.19 \text{ kg}$ 、 $d = 0.015 \text{ m}$ 的弹体入侵强度 154 MPa 花岗岩的侵彻阻力为

$$F_g = 528 v (\text{N}), \quad (8)$$

式中弹速 v 以 m/s 计，对应的弹头轴向应力（假设不存在侧面摩擦）为

$$\sigma_{gp} = 3.0 v (\text{MPa}). \quad (9)$$

式 (4) 至式 (9) 是经验公式，它适合于在提供数据的弹速范围内使用，外推应用必须谨慎。

假设弹体在侵彻过程中受到的阻力保持恒定，根据能量守恒法则可以得到全侵深的平均阻力为

$$\bar{F}_c = \frac{mv^2}{2H}. \quad (10)$$

表 3 是根据式 (6)、式 (9) 和式 (10) 计算的侵彻弹体轴向应力和轴向加速度。

表 3 侵彻弹体的轴向应力和轴向加速度

Table 3 The stress and acceleration of penetrating projectile in axis direction

靶	弹体		应力峰值	加速度峰值	平均加速度
	d / m	m / kg	$\sigma_{\max} = F_c / (\pi d^2)$ /MPa	$A_{\max} = F_c / m$ / $10^5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$	$\bar{A} = \bar{F}_c / m$ / $10^5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
混凝土 ($\sigma_c = 16.5 \text{ MPa}$)	0.02	0.46	206	288	1.47
			657	515	2.64
花岗岩 ($\sigma_c = 154 \text{ MPa}$)	0.015	0.19	332	996	7.82
			839	2517	13.2

4.3 弹体运动过程

根据侵彻阻力随弹速的变化关系可以计算出弹体加速度、速度和位移的变化过程。在侵深 $H \approx 3d$ (弹径) 的范围内，尖形弹头和靶面剪切破坏弹坑降低了侵彻阻力，这阶段的弹体受力情况很复杂，但对弹体侵彻运动整体而言，其影响是局部性的，暂且假设它随侵深呈正弦函数增长，即：

$$F_r = F \sin\left(\frac{\pi}{6} \cdot \frac{x}{d}\right), 0 < x < 3d, \quad (11)$$

$$x = \int v dt,$$

F 是由式 (4)、式 (7) 计算的侵彻阻力， x 为弹头的靶面距， v 是弹速， t 是以弹头着靶为起点的时间。

由式 (5)、式 (11) 可得 $d = 0.02 \text{ m}$ ， $m =$

0.46 kg，弹体的混凝土侵彻加速度为

$$A = \frac{F_c}{m} = 13\,720 v^{0.5} (\text{m/s}^2), \quad x > 3d, \quad (12)$$

$$A = 13\,720 v^{0.5} \sin\left(\frac{\pi x}{0.12}\right) (\text{m/s}^2), \quad x < 3d, \quad (13)$$

式中 v 是弹速 (m/s)， x 是弹头尖端的靶面距 (m)。

弹体运动计算中，在弹速低于实验值之后，弹体的侵彻阻力也须要假设，假设的原则有两条：运动参数的变化曲线是平滑的；当弹速下降到 0 时，位移（侵深）恰好等于实验值。

图 13 和图 14 是根据式 (12)、式 (13) 和上述低弹速阻力假设计算的 657 m/s 着靶弹速的 $d = 0.02 \text{ m}$ 、 $m = 0.46 \text{ kg}$ 入侵混凝土弹体运动的加速度、速度和位移的变化过程。

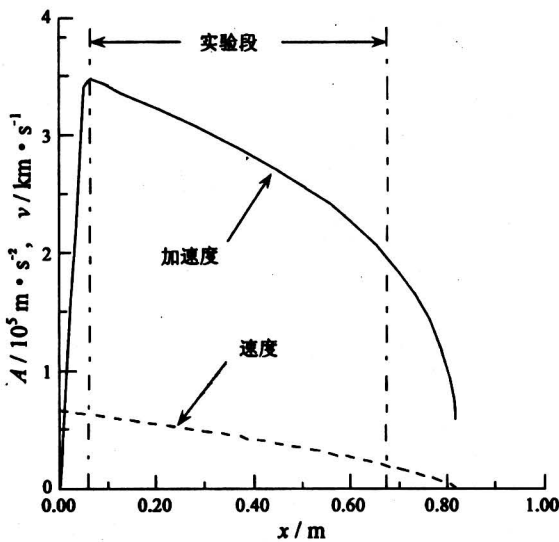


图 13 混凝土侵彻的弹体加速度和速度随侵深的变化

Fig.13 The acceleration and velocity of projectile depending on penetrating depth for penetrating concrete

由式 (8)、式 (11) 可得 $d = 0.015 \text{ m}$ ， $m = 0.19 \text{ kg}$ 弹体的花岗岩侵彻加速度为

$$A = \frac{F_c}{m} = 2\,779 v (\text{m/s}^2), \quad x > 3d, \quad (14)$$

$$A = 2\,779 v \sin\left(\frac{\pi x}{0.09}\right) (\text{m/s}^2), \quad x < 3d. \quad (15)$$

图 15 和图 16 是根据式 (14)、式 (15) 和上

述低弹速阻力假设计算的 839 m/s 着靶弹速的 $d = 0.015 \text{ m}$ ， $m = 0.19 \text{ kg}$ 弹体运动的加速度、速度和位移的变化过程。

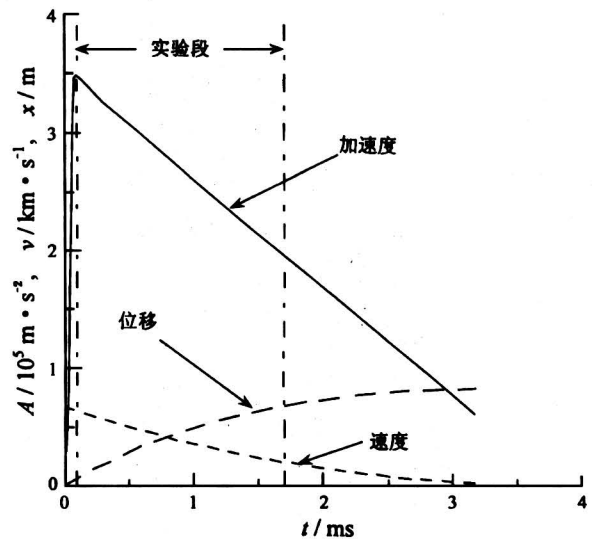


图 14 混凝土侵彻的弹体加速度、速度和位移随时间的变化

Fig.14 The acceleration, velocity and displacement of projectile depending on penetrating time for penetrating concrete

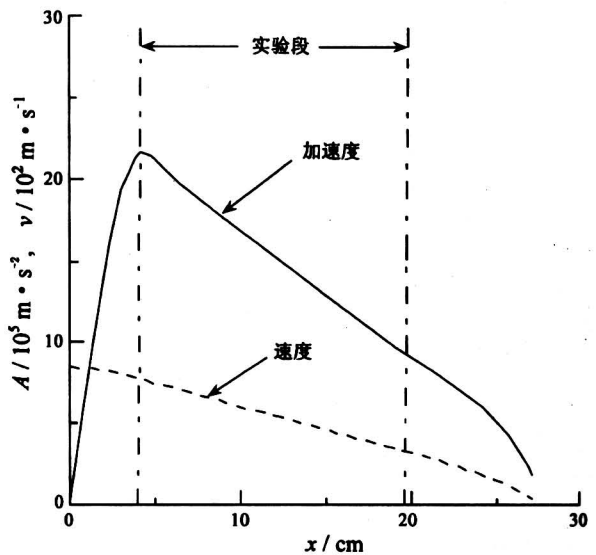


图 15 花岗岩侵彻的弹体加速度和速度随侵深的变化

Fig.15 The acceleration and velocity of projectile depending on penetrating depth for penetrating granite

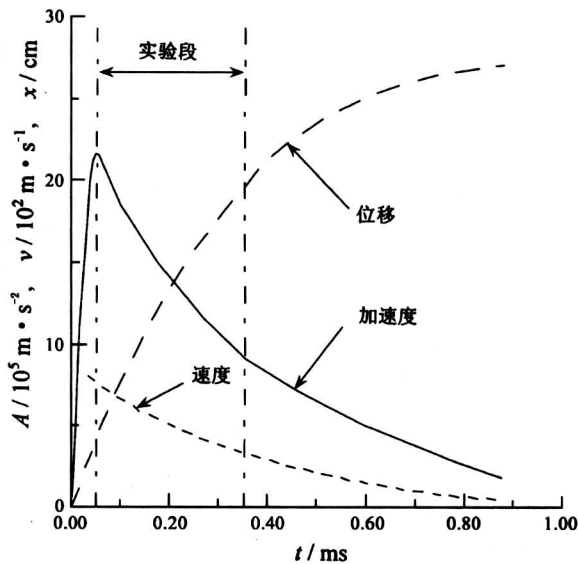


图 16 花岗岩侵彻的弹体加速度、速度和位移随时间的变化

Fig. 16 The acceleration, velocity and displacement of projectile depending on penetrating time for penetrating granite

5 结语

侵地武器研究的军事性质决定了其提供交流的研究成果数量和深度都是相当有限的, 交流中出现的实验数据也经常是背景资料残缺不全。由于岩土

侵彻课题本身的复杂性和各研究单位实验能力与实验规模的限制, 加之学术交流广度和深度不足的制约, 文献中出现的侵地规律表达公式五花八门。比如, 公开文献提供的混凝土侵深经验公式就不下十多种, 到底采用哪一个全靠读者自己的判断了。当读者尚不具备足够的侵彻实践经验和专业知识, 在只能简单接受文献作者结论的情况下, 仅仅依靠文献开展学术研究是困难的, 甚至有被误导的危险。在缺乏必要的研究实践经验和专业知识的情况下, 应用公开文献资料进行工程设计必然存在巨大风险。所以, 开展科学的实验研究取得第一手资料是理解辨认已有研究成果的重要条件, 更是发展已有认识和解决自身特定工程技术课题所不可缺少的。

参考文献

- [1] Young C W. The development of empirical equation for predicting depth of an earth penetrating projectile [R]. SC-DR-67-60, 1967
- [2] Nordyke M D. Nuclear craters and preliminary theory of mechanics of explosive crater formation [J]. J Geophys Res, 1961, 66:3439
- [3] Department of Army. Fundamental of Protective Design for Conventional Weapons (Technical Manual) [M]. TM5-855-1, 1986
- [4] Bernard R S. Depth and motion prediction for earth penetrators [R]. S-78-4, 1978

Earth-penetrating Weapons and Their Experiments Upon Gas Gun

Lin Junde

(Northwest Institute of Nuclear Technology, Xi'an 710024, China)

[Abstract] The history and the actualities of developing earth-penetrating weapon are described. The fighting assemblies with penetrator have been applied in accurate guided weapons widely. The technical difficulties for developing low-yield earth-penetrating nuclear weapons have not been primary obstacle. The experimental technique of gas gun and its applications in earth-penetrating weapon tests are introduced. The experimental results indicate that there is a favorable analogical relation among earth-penetrating events, but there are many essential differences between penetrating phenomena of concrete and of granite. A method for calculating profiles on acceleration, velocity and displacement of penetrating projectile upon penetrating depth data is introduced.

[Key words] test of weapon; earth penetrating; gas gun; impact; experimental technique