文章编号：1000-5773(2005)01-0093-04

串联动能侵彻弹侵彻混凝土靶研究*

王可慧，初 哲，周 刚，王金海，朱玉荣，闵 涛，韩娟妮

（西北核技术研究所，陕西西安 710024）

摘要：设计了一种串联型动能侵彻弹。对该侵彻弹在不同条件下侵彻半无限混凝土靶进行了数值模拟和系列尺寸实验研究，并对该侵彻弹对目标的毁伤机理进行了分析，计算结果与实验结果较为一致，为该结构侵彻弹侵彻硬目标的研究提供了依据。

关键词：侵彻弹；侵彻；混凝土；数值模拟

中图分类号：O385；TJ414 **文献标识码**：A

1 引 言

关于动能弹侵彻混凝土等硬介质的理论和实验研究的报道很多[1~5]。所研究弹体一般为卵型或锥形头部的等截面长杆弹，只有一级战斗部，结构较为简单。本研究设计了一种由截面不等的两级弹体串联而成的动能侵彻弹，其目的是在目标内不同深度实行两点爆炸，增大破坏效应，并对该侵彻弹侵彻混凝土靶进行了数值模拟和实验研究。

2 串联结构侵彻弹设计

串联动能侵彻弹由两级战斗部串联组成，其结构见图 1。一级弹体截面直径为 30 mm，长度为 230 mm，质量为 0.69 kg；二级弹体截面直径为 40 mm，长度为 100 mm，质量为 0.6 kg，两级之间采用锥型联接体联接，弹总长 330 mm，弹质量 1.3 kg。弹体材料为 30CrMnSiNi2A，由于对联接体在侵彻过程中的强度不作要求，其材料采用硬铝合金。

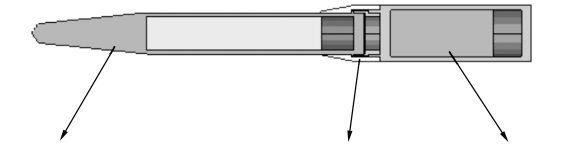


图 1 侵彻弹结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the penetrator

3 数值模拟

采用有限元程序 DYNA3D，对上述所设计的串联侵彻弹在不同条件下撞击半无限混凝土靶进行了数值模拟。

3.1 计算模型和参数

弹体材料采用弹塑性模型；混凝土材料采用 Johnson-Holmquist 模型[6~7]，混凝土抗压强度为 30 MPa，其它材料参数以混凝土的强度为基础确定[8]。

3.2 垂直侵彻计算结果与分析

对串联侵彻弹分别以 407 m/s、442 m/s、630 m/s 的速度垂直侵彻 30 MPa 混凝土靶进行了计算。计算结果表明，在一级弹体侵入靶体的初始阶段，两级弹体之间的联接锥套完好，二级弹体对一级弹体起助推作用；随侵彻深度的增加，锥套开始破坏，两级弹体分离，二级弹体仍有足够的动能对一级弹体产生的弹洞进行扩空，两级弹体均侵入靶体内，分离后两级之间未产生较大距离。图 2 为侵彻弹在 407 m/s着速下垂直撞击混凝土靶的模拟过程。

* **收稿日期**：2003-12-12；**修回日期**：2004-09-28

作者简介：王可慧(1975—)，女，硕士，助理研究员. E-mail：wkh0521@sohu.net

侵彻结束后,两级弹体结构完好。在上述着靶速度下,一级弹体侵彻 30 MPa 混凝土的深度分别为 0.4 m、0.45 m、0.74 m。

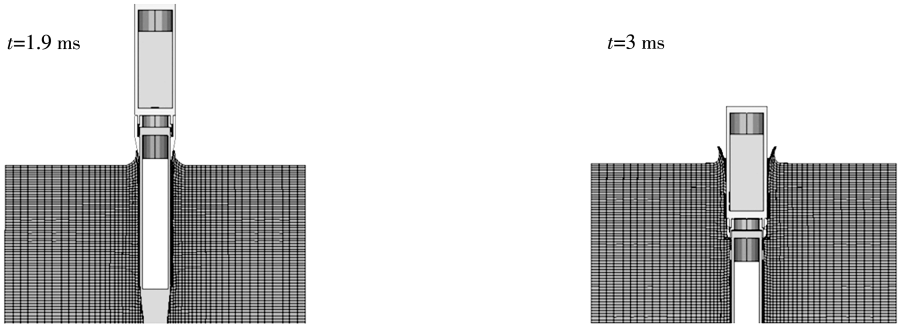


图 2 侵彻弹垂直侵彻混凝土靶的数值模拟

Fig. 2 Simulation of the penetrator normal impacting concrete target

3.3 斜侵彻计算结果与分析

对串联侵彻弹以 75°着角、387 m/s、705 m/s 的着靶速度侵彻混凝土靶进行了数值模拟,结果表明:侵彻过程中锥套折断,二级弹体的运动方向发生偏离,从而产生与一级弹体不同轴的弹洞;一级弹体侵入靶体内部,二级弹体较钝,且由于横向载荷与攻角的作用,侵入靶体的深度较浅。图 3 为侵彻弹以 387 m/s 的着速、75°着角侵彻混凝土靶的数值模拟结果。

计算结果表明,侵彻过程中两级弹体均未发生明显的塑性变形。其中,在 75°着角、705 m/s 的着靶速度下,一级弹体侵彻 30 MPa 混凝土的深度约为 0.7 m。

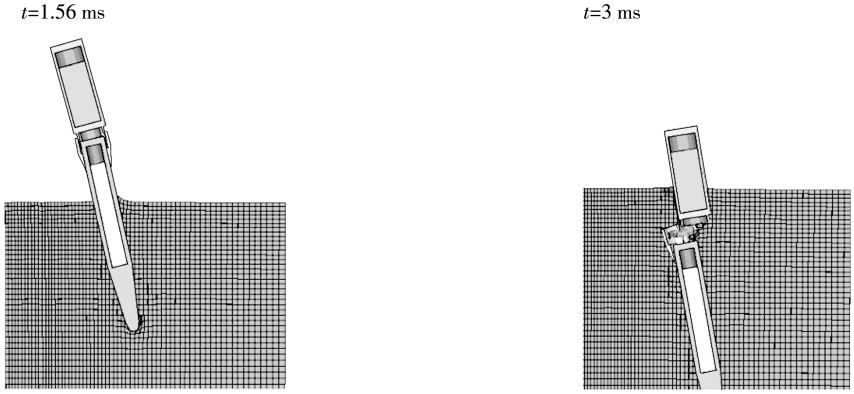


图 3 侵彻弹斜撞击混凝土靶的数值模拟

Fig. 3 Simulation of the penetrator obliquely impacting concrete target

4 实验研究

采用∅130 mm 轻气炮,以上述所设计的侵彻弹为原型,进行了不同缩比尺寸的垂直侵靶和斜侵靶实验。

4.1 实验靶板的设计

实验靶采用抗压强度为 30 MPa 的混凝土靶板,靶的横向尺寸取弹径的 30 倍[4,9],靶板厚度 $L=P/0.7$,P 为弹体侵彻深度,其取值参照数值计算结果。

4.2 实验结果与分析

共进行了 6 发侵靶实验,其中 4 发垂直侵靶实验,2 发着角为 75°的斜侵靶实验,实验条件及实验数

据见表 1。

1∶1 垂直侵靶的实验结果表明,在侵彻弹对混凝土靶的侵彻过程中,联接锥套破坏,两级弹体分离,先后侵入靶内形成同轴弹洞;一级和二级弹体均无明显塑性变形。图 4 为侵彻弹以 442 m/s 的速度垂直撞击靶板后的正面图,图 5 为侵彻弹以 630 m/s 的速度垂直撞击混凝土靶后的弹体结构变形情况。

表 1　侵彻弹侵彻混凝土靶的实验数据

Table 1　Experimental data of the penetrator impacting concrete targets

No.	Scale	Impact angle /(°)	Impact velocity /(m/s)	Experimental depth/(mm)
1	1∶1	90	407	339
2	1∶1	90	442	383
3	1∶1	90	629	698
4	1∶1	90	630	671
5	1∶2	75	387	160
6	1∶2	75	705	359

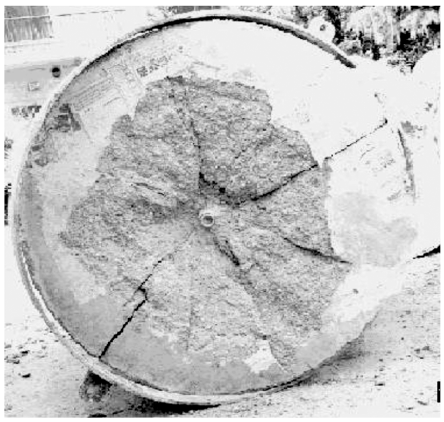


图 4　侵彻弹垂直撞击混凝土靶的实验图片

Fig. 4　Experiment of the penetrator normal impacting concrete targets

1∶2 缩比弹以 75°着角侵彻混凝土靶时,联接锥套折断,两级弹体分离,在弹洞内只有一级战斗部,二级战斗部崩落于靶箱内,弹洞呈椭圆形。分析认为,当缩比弹撞击混凝土靶时,由于横向过载,联接锥套折断,二级弹体侵彻轨迹发生偏转,且侵入靶体的深度较浅,由于实验靶横放,因而崩落于靶外,二级弹体均无明显变形,图 6 为侵彻弹以 705 m/s 的速度斜撞击混凝土靶后的弹体结构变形情况。

由表 1 中弹体侵彻深度数据可见,不同缩比尺寸数据自恰,较好地反映了侵彻深度的尺寸相似律。以上实验现象及实验数据与计算结果基本一致,表明了本计算结果的可信度。



图 5　侵彻弹垂直撞击混凝土靶后的结构变形情况

Fig. 5　Structural deformation of the penetrator normal impacting concrete targets



图 6　侵彻弹斜侵彻混凝土靶后的结构变形情况

Fig. 6　Structural deformation of the penetrator obliquely impacting concrete targets

5　结　论

与通常研究的侵彻弹或穿甲弹不同,本研究所设计的侵彻弹为动能型二级串联结构,其侵彻过程较为复杂。在不同着靶速度和着角下,该侵彻弹侵彻 30 MPa 混凝土靶的数值计算和实验研究表明:

(1) 在侵靶过程中,两级弹体联接体折断,一级弹体和二级弹体侵入靶体不同深度,装药情况下将发生两点爆炸,从而对目标的深层和浅层均构成毁伤;在垂直撞击下,一级弹体以 630 m/s 的速度侵彻 30 MPa混凝土的深度约为 0.7 m;

(2) 在 705 m/s 着靶速度范围内,该侵彻弹侵彻 30 MPa 混凝土靶后,两级弹体结构完好,表明所设计的弹体强度满足侵靶要求。

References:

[1] Lurk V K, Forrestal M J. Penetration into Semi-Infinit Reinforced-Concrete Targets with Ogival Nose Projectiles [J]. Int J Impact Eng, 1987, 6(4): 291－301.

[2] Forrestal M J, Altman B S. An Empirical Equation for Penetration Depth of Ogive-Nose Projectiles into Concrete Targets [J]. Int Impact Eng, 1994, 15: 395－405.

[3] Frew D J. Penetration of Concrete Targets with Ogive-Nose Steel Rods [J]. Int J Impact Eng, 1998, 21(6): 489－497.

[4] Young C W. The Development of Empirical Equation for Predicting Depth of an Earth Penetrating Projectile [R]. SC-DR-67-60, 1967.

[5] Bernard R S. Depth and Motion Prediction for Earth Penetrators [R]. US: Army Waterways Experiment Station, 1979.

[6] Holmquist T J, Johnson G R. A Computational Constitutive for Concrete Subjected to Large Strains [A]. Proceeding of Fourteenth International Symposium on Ballistics [C]. Quebec City, Canad, 1993. 591－600.

[7] Johnson G R, Cook W H. Fracture Characteristics of Three Metals Subjected to Various Strains, Strain Rates, Temperatures and Pressures [J]. J Eng Fract Mech, 1985, 21(1): 31－48.

[8] Wang K H. Numerical Simulation and Theoretical Studies of Long Rod Projectile Penetration into Concrete Targets [D]. Xi'an: Northwest Institute of Nuclear Technology, 2002. (in Chinese)
王可慧. 长杆弹侵彻混凝土靶的数值模拟与理论研究 [D]. 西安: 西北核技术研究所, 2002.

[9] Rosinsky R W. Lagrangian Finite Element Analysis of the Penetration of Earth Penetrating Weapons [R]. DE87-005267, 1985.

Numerical Simulation and Experimental Study of Penetrator with Composite Structure Impacting Concrete Targets

WANG Ke-Hui, CHU Zhe, ZHOU Gang, WANG Jin-Hai,
ZHU Yu-Rong, MIN Tao, HAN Juan-Ni

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

Abstract: In this paper, a kinetic penetrator with tandem warheads is designed. Numerical simulations and a series of size scaled experiments were conducted for the penetrator impacting semi-infinite concrete targets under different impact condition. The damage mechanism of the penetrator to target has been analyzed. Computational results and experimental results are in good agreement, which provides technical support for the design of penetrator impacting hard targets.

Key words: penetrator; impacting; concrete; numerical simulation