文章编号：1000-5773(2006)02-0202-05

串联战斗部前级聚能装药和隔爆结构设计与实验研究*

段 建，杨黔龙，周 刚，初 哲，田亚军，张 颖

（西北核技术研究所，陕西西安 710024）

摘要：前级聚能装药侵彻技术和两级隔爆技术在串联战斗部的设计研究中占有重要地位。从理论分析、实验研究的手段出发，分析了前级装药的结构设计及前级装药爆炸对后级的影响，设计了两种药型罩结构的聚能装药侵彻混凝土靶实验，以及以多孔铝为隔爆体的隔爆防护实验。实验结果表明，设计的前级装药在混凝土靶上侵彻出了深度为 8.2 倍、孔径为 0.4～0.6倍装药口径的孔洞；所采用的多孔铝隔爆结构有效地防护了二级弹体的破坏。实验效果比较理想。

关键词：串联随进战斗部；聚能装药；爆炸成型弹丸；多孔铝；隔爆体

中图分类号：TJ410.3 **文献标识码**：A

1 引 言

串联随进战斗部第一级采用聚能装药，第二级为随进的动能弹。当串联随进战斗部接近目标一定高度时，前级聚能装药首先起爆形成高速弹丸[1]对目标沿弹头方向炸开一个洞口，第二级随进动能弹依靠本身的动能沿此洞口继续侵彻，随进战斗部上以延时或智能引信引爆该侵彻战斗部主装药，并最终毁伤目标。

在进行串联随进战斗部的研究时，前级聚能装药侵彻技术及两级隔爆技术的研究非常重要。前级装药对混凝土目标的侵彻效果决定了前级装药是否能在目标靶上侵彻出孔径足够大、深度足够深的孔洞，以便为第二级随进弹的继续侵彻开辟有利通道。隔爆的采用，是为了保证第二级随进弹在前级装药爆炸冲击下免受损伤，并且能够顺利穿进前级装药侵彻的孔洞内。

本研究进行了前级聚能装药结构的分析与设计，并完成了球缺和大锥角两种药型罩结构的聚能装药侵彻混凝土靶实验，研究了前级聚能装药对混凝土靶的毁伤效果以及在靶体上形成的开坑口径与深度的关系。同时，设计加工了多孔铝隔爆体进行一、二级的隔爆防护，分析了在是否采用该隔爆技术两种情况下前级聚能装药爆炸对第二级弹体的影响。

2 结构设计

2.1 前级聚能装药结构设计

前级聚能装药结构设计主要包括药型罩结构设计、壳体结构设计、炸药的选取等。

2.1.1 药型罩结构设计

进行药型罩结构设计，对药型罩材料有一定的要求。首先，罩材料应选用高密度、高塑性的材料；其次罩材料强度要适当。要求高密度是因为罩材料密度直接决定着弹丸密度的大小，而弹丸密度愈大，则侵彻深度愈深。要求罩材料的高塑性主要是为了保证弹丸运动时不易断裂。

* **收稿日期**：2005-04-20；**修回日期**：2005-09-14

作者简介：段 建(1979—)，男，硕士，主要从事爆炸力学方面的研究. E-mail:dsj19790606@yahoo.com.cn

在进行药型罩设计时,罩的壁厚是一个重要方面。罩的壁厚[2]对 EFP 的形状及速度会产生较大的影响。罩壁厚太大不利于 EFP 的形成,要提高 EFP 的速度应用较小的药型罩壁厚,但罩壁厚过小药型罩容易被爆轰冲击而破碎,不能形成整体性能较好的 EFP。

药型罩曲率半径的变化,对 EFP 的形成也起着决定性作用。这是因为药型罩曲率半径的变化将引起爆轰波阵面作用于药型罩位置的改变,从而导致药型罩材料流动方向的变化。实验证明,随着药型罩曲率半径的增大,EFP 的速度随之增大。相反,EFP 的长度则随药型罩曲率半径的增大而减小,EFP 长度的减小将减低侵彻能力。

此外,药型罩锥角对 EFP 的性能有重要影响。当罩锥角增大时,罩微元法向收缩得慢,轴向梯度小,往往形成短粗的 EFP,而且 EFP 的整体速度也低,但它能侵彻出截面积较大的孔。随着罩锥角的减小,EFP 速度增加,弹丸长径比变大,这对侵深有利,但当锥角偏小时不能形成 EFP,而形成射流。

设计了两种药型罩结构,球缺形药型罩和大锥角形药型罩,材料选用紫铜。采用变壁厚的药型罩结构,$\delta=(0.03\sim0.04)D$(δ 为药型罩壁厚,D 为罩的底径)。大锥角药型罩高 $h=0.24D$,球缺药型罩高 $h=0.34D$,其中 $D=90$ mm。

2.1.2　壳体结构设计

壳体不仅为炸药和药型罩提供保护作用,另外壳体质量可增加炸药冲击压力的作用时间,从而增加传递给药型罩的总能量。装药壳体设计成圆柱与截锥形组合式的壳体,因为这种结构的壳体可以大大减小前级装药爆炸对后级的影响,有利于后级随进弹沿前级装药侵彻的孔洞继续侵彻。壳体材料选用 30CrMnSiA,厚度 $\delta_S=(0.04\sim0.06)D$。

2.1.3　炸药性能

炸药是形成爆炸成型弹丸的能源,炸药爆轰后将能量传递给药型罩,药型罩在爆炸载荷驱动下闭合,被挤压而形成 EFP 对目标进行侵彻。研究表明,炸药的爆轰压力是影响 EFP 侵彻的主要因素。由爆轰理论知[3],炸药的爆压是炸药爆速和装填密度的函数,即 $p_{CJ}=\rho_e U_D^2/\gamma$($p_{CJ}$ 为爆轰压力,γ 为多方指数,ρ_e 为炸药装填密度,U_D 为爆速)。所以为提高侵彻威力,应尽量选取高爆速炸药,而当炸药选定后,尽可能提高装填密度。

综合以上各种因素,设计了如图 1 所示的装药结构,炸药选用 JH-2 炸药。

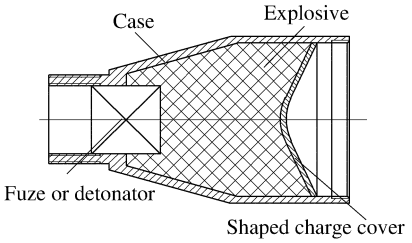


图 1　前级聚能装药结构示意图

Fig. 1　Schematic diagram of forward shaped charge structure

2.2　前后级隔爆设计

对于串联型钻地战斗部,第一级装药量较大,两级距离较小,第一级爆炸会对第二级产生重要的影响[4]。这些影响主要包括:(1) 爆炸后形成的空气冲击波超压对第二级战斗部的作用,冲击波超压可能损坏第二级弹体,甚至可能引爆第二级装药;(2) 空气冲击波和爆轰产物直接作用在第二级弹体上,产生较大的冲量,结果会使第二级战斗部的速度降低,并且可能引起第二级战斗部姿态的改变,从而使第二级战斗部不能顺利穿进由第一级战斗部爆炸在目标靶上所侵彻的孔洞内。基于这两方面的影响,要求串联钻地战斗部进行一、二级集成时采用隔爆防护。

本工作设计了一种简单的隔爆结构进行两级的隔爆,即在联接前后级战斗部的联接件内装填多孔铝隔爆材料进行两级的隔爆防护。由于多孔铝具有密度小、重量轻、单位体积吸能高、能有效衰减冲击波的优异性能,采用多孔铝作为近距离的抗冲击隔爆材料是比较理想的。

3　实验方案设计及结果分析

进行实验时,要确定聚能装药结构的炸高。炸高设计为药型罩口径的 3.5～5.0 倍,因为这个范围的炸高约为形成 EFP 的最佳炸高。如果炸高小于这个范围,不利于 EFP 弹丸的形成;如果炸高大于这

个范围,会使形成的 EFP 弹丸动能降低。两种情况都会降低侵彻效果。

实验所用目标靶为圆柱形混凝土靶,水泥、沙、石子、水质量比为 1∶1∶1.86∶0.37,养护期为一个月,抗压强度为 30 MPa。为减小边界效应的影响,圆柱靶周围用 6 mm 厚的钢圈加固。

实验布置如图 2 所示。实验装置由集成后的两级串联弹、起爆系统、混凝土靶及支架组成。其中两级串联弹是由球缺药型罩结构或大锥角药型罩结构的前级聚能装药和后级的随进装药通过联接件组合而成。采用集成后的两级串联弹进行实验,不仅可以研究前级聚能装药对混凝土靶的侵彻毁伤效应;同时也可以研究前级聚能装药爆炸对后级弹的影响。起爆方式采用药柱后端面中心点起爆。

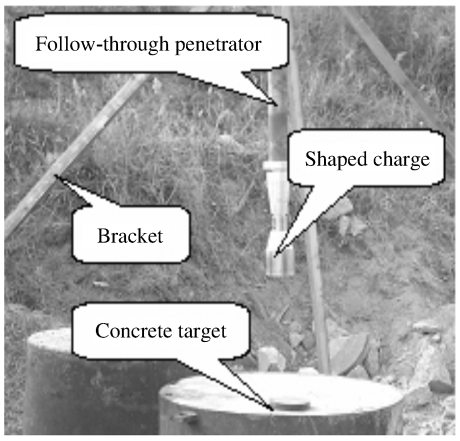


图 2 实验布置

Fig. 2 Experimental apparatus

第一发弹采用球缺药型罩结构聚能装药,炸高约为 4.6 倍的装药口径。混凝土靶为∅800 mm×1 000 mm 的圆柱体靶。聚能装药爆炸后混凝土靶的毁伤情况如图 3 所示。

第二发采用的是大锥角药型罩结构聚能装药,炸高约 4.2 倍装药口径。混凝土靶为∅800 mm×1 000 mm 的圆柱体靶。聚能装药爆炸后混凝土靶的侵彻毁伤情况如图 4 所示。

第三发弹采用球缺药型罩结构聚能装药,炸高约为 5.0 倍的装药口径。混凝土靶为∅500 mm×500 mm 的圆柱体靶。前级装药爆炸产生的 EFP 弹丸穿透了 500 mm 厚的混凝土靶,然后又在地面上侵出了∅100 mm×500 mm 的孔,如图 5 所示。



图 3 第一发弹侵彻混凝土靶图片

Fig. 3 Experiment of the first penetrator penetrating concrete target



图 4 第二发弹侵彻混凝土靶图片

Fig. 4 Experiment of the second penetrator penetrating concrete target





图 5 第三发弹侵彻混凝土靶图片及穿透后地面的侵彻情况

Fig. 5 Experiment of the third penetrator penetrating concrete target and ground

EFP 侵彻混凝土靶形成类似漏斗形孔洞,孔径为(0.4～0.6)D,孔深为(6.4～8.2)D。孔洞的长径比 $l/d=10\sim20$,l 为总开坑深度,d 为近似圆柱段的孔的直径。

三发弹爆炸后形成的 EFP 弹丸对混凝土靶的贯穿数据如表 1 所示。

表 1　EFP 对混凝土靶的贯穿数据

Table 1　Penetrative data of EFP penetrating concrete target

Shaped charge cover			Concrete target /(m×m)	Height of explosion /(mm)	Diameter of hole /(mm)	Depth of hole /(mm)
Model	Category	Material				
1	Spherical cover	Red copper	∅0.8×1	415	35～58	≈740
2	Cone cover	Red copper	∅0.8×1	375	37～45	≈575
3	Spherical cover	Red copper	∅0.5×0.5	450	36～40	Piercing target

同时进行了两级的隔爆防护实验。其中一发实验采用多孔铝隔爆,即在联接件内装填多孔铝隔爆材料。第一级聚能装药爆炸后,未能引爆第二级装药,并且第二级弹体没有受到损伤。第二级弹体受到第一级爆炸冲击后,弹体形状如图 6 所示;另外一发实验未采用隔爆,即在联接件内不装填任何材料。第一级聚能装药爆炸后,也未引爆第二级装药,但是第二级弹体头部受到了较严重的损伤。受损的第二级弹体形状如图 7 所示。从实验结果可以看出,所采用的多孔铝隔爆体有效地防护了前级装药爆炸对后级随进弹的破坏。



图 6　采用隔爆的第二级弹体情况

Fig. 6　Follow-through penetrator with explosion-proof structure



图 7　未采用隔爆的第二级弹体情况

Fig. 7　Follow-through penetrator without explosion-proof structure

4　结　论

本研究所设计的球缺型药型罩结构的聚能装药,爆炸时形成的 EFP 在混凝土靶上侵彻出了深度为 8.2 倍、孔径为 0.4～0.6 倍前级装药口径的孔洞,其孔洞长径比为 12～21;设计的大锥角药型罩结构的聚能装药,爆炸形成的 EFP 在混凝土靶上侵彻出了深度为 6.4 倍、孔径为 0.4～0.5 倍前级装药口径的孔洞,其孔洞长径比为 12～15。从两种药型罩结构的聚能装药对混凝土靶的侵彻效果可以看出,所设计的球缺药型罩结构的聚能装药对混凝土靶的侵彻效果要优于大锥角药型罩结构的聚能装药对混凝土靶的侵彻。

靶体上形成了较大的漏斗形开坑,孔洞周围还产生了较大面积的裂纹,孔壁也由于受到强烈冲击而变得疏松。这样就大大减小了第二级随进弹跳弹的可能性,并且为第二级随进战斗部的继续向前侵彻开辟了通道。

运用多孔铝隔爆体进行一、二级的隔爆,可大大减小前级装药爆炸对第二级的影响,可有效地运用于串联随进战斗部的两级近距离隔爆防护。

References:

[1] Reader D, Carleone J. Explosively Formed Projectiles [A]. //Seebass A R. Warhead [C]. Reston, VA : AIAA, 1993. 367-386.

[2] Wang J H. Two-Dimensional Non-Constant Flow and Shok Wave [M]. Beijing: Science Press, 1994: 492-496. (in Chinese)
王继海. 二维非定常流和激波 [M]. 北京:科学出版社, 1994: 492-496.

[3] Sui S Y, Wang S S. Terminal Effects [M]. Beijing: Press of the National Defence Industry, 2000: 272-275. (in Chinese)
隋树元, 王树山. 终点效应学 [M]. 北京:国防工业出版社, 2000: 272-275

[4] Tu H J, Yun S R, Zhao H Y. Blast Effect on the Follow-through Charge of a Tandem Warhead [J]. Acta Armamentarii, 1994, 3: 18-22. (in Chinese)
涂侯杰, 恽授榕, 赵衡阳. 破爆型串联战斗部第一级爆炸对第二级影响的研究 [J]. 兵工学报, 1994, 3: 18-22.

Structural Design and Experimental Study on Forward Shaped Charge and Explosion-Proof Body for Tandem Warhead

DUAN Jian, YANG Qian-Long, ZHOU Gang,
CHU Zhe, TIAN Ya-Jun, ZHANG Ying

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

Abstract: The forward shaped charge's penetrative technology and the two-stage explosion-proof technology are two key technologies in the studies of tandem warhead. Based on theoretic analysis and experimental study, we have analyzed the forward charge's structure and its blast effect on the follow-through penetrator, and conducted a design for the experiments of forward shaped charge penetrating concrete target by using porous aluminum as explosion-proof measure. The experimental results show that the forward charge penetrating concrete target forms a hole of 8.2 and 0.4～0.6 times the size of forward charge's diameter in depth and in diameter, repectively; and porous aluminum explosion-proof body effectively protects the follow-through penetrator being damaged from the forward charge's blast impact.

Key words: tandem follow-through warhead; shaped charge; explosively formed projectile; porous aluminum; explosion-proof body