

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2013.01.013

大炸高下破甲弹的侵彻性能研究^{*}

朱绪强^{①②} 成一^① 李德才^② 脱金奎^② 高堂正^② 张焱^②

①南京理工大学化工学院(江苏南京,210094)

②黑龙江北方工具有限公司(黑龙江牡丹江,157000)

[摘 要] 为研究大炸高下破甲弹对装甲目标的侵彻情况,运用 AUTODYN-2D 软件对大炸高下破甲弹均质靶和单层间隔穿深进行了数值模拟研究,仿真结果与均质靶、单层间隔靶实验吻合较好,证明使用仿真模拟方法可以指导破甲弹设计。单层间隔靶、多层间隔靶试验表明,1.78m 以上炸高下破甲弹侵彻深度波动变大,在距离轻型装甲目标 5 m 内作用,小口径破甲弹能对目标产生足够威胁。

[关键词] 破甲弹 炸高 数值模拟 均质靶 单层间隔靶 多层间隔靶

[分类号] TJ41 TQ560.7

引言

炸高指聚能装药在爆炸瞬间,药型罩的底端面至目标表面的距离。炸高对破甲威力的影响可以从两方面来分析:一方面炸高的增加有利于射流充分伸长,从而破甲深度增加;另一方面随着炸高增加,射流不稳定性增加,延伸到一定程度后出现断裂,反而使破甲深度降低^[14]。目前,各国装甲车辆一般都要求能防 RPG—7 火箭弹,其常用技术手段是采用护板、间隙装甲、复合装甲、反应装甲、栅格装甲。例如,“布雷德利”步兵战车间隙装甲最外层是 6.35 mm 的钢装甲,第二层为 25.4 mm 的间隙,第三层为 6.35 mm 的钢装甲,第四层 88.9 mm 的间隙,最后一层为 25.4 mm 的铝装甲背板,总厚度 152.4 mm,其中钢装甲总厚度为 12.7 mm,铝装甲厚度为 25.4 mm。这些装甲防破甲弹的主要作用原理一是使射流断裂,二是使破甲弹提前爆炸,即炸高变大,利用空隙拉长甚至拉断射流,从而达到减小破甲弹毁伤效果的目的。为研究小口径破甲弹对具有间隙装甲、栅格装甲防御手段装甲车辆的毁伤效果,本文进行了某破甲弹大炸高下对装甲目标的毁伤效果研究。

1 侵彻能力仿真

使用 AUTODYN—2D 软件对射流形成及装甲侵彻进行了仿真模拟,根据诸多文献证实,仿真计算可以较好地模拟实际试验,有效降低试验消耗^[5-10]。

1.1 战斗部及靶块参数

破甲弹直径为 80 mm,炸药为 8701,装药量为 650 g,装药密度为 1.72 g/cm³;药型罩为双锥药型罩,药型罩材料为紫铜;弹体及风帽材料为 7A04 铝。目标靶块为直径 110 mm 45 号钢。

1.2 参数设置

计算中炸药装药模型为高能炸药爆轰模型(High Explosives Burn),状态方程为 JWL 方程。参数取值如表 1 所示。对金属材料变形行为采用了 Johnson-Cook Gruneisen 方程进行描述。药型罩、靶板及隔板材料参数取值^[6-7]如表 2。

表 1 炸药参数

Tab.1 The properties of explosives				
名称	材料	密度/ (g·cm ⁻³)	爆速/ (m·s ⁻¹)	爆压/ GPa
炸药	8701	1.72	8425	29.6

表 2 战斗部与靶板参数

Tab.2 The properties of warhead and target				
名称	材料	密度/ (g·cm ⁻³)	屈服强度/ MPa	剪切模量/ GPa
药型罩	紫铜	8.96	90	46.0
壳体	7A04	2.75	330	27.6
隔板	酚醛塑料	1.19	50	—
靶板	45	7.83	790	81.8

^{*} 收稿日期: 2012-10-28
作者简介: 朱绪强(1980~),男,博士生,工程师,主要从事弹药设计。E-mail:zhuxuqiang@163.com
通信作者: 成一(1952~),男,博导,教授,主要从事火工技术的研究。E-mail:chengyi20@yahoo.com.cn

1.3 计算结果

破甲弹在某炸高条件下对厚装甲的侵彻能力试验称为均质靶试验,单层间隔靶反映了破甲弹对有护板装甲目标的侵彻能力。均质靶试验设计炸高 200mm;单层间隔靶试验布靶情况为:180mm 炸高,6 mm A3 钢板,1.6 m 间隙,500 mm 45 号钢靶板。均质靶射流形成及侵彻见图 1,计算结果为穿深 615 mm,仿真显示射流连续侵彻靶板,没有断裂现象。单层间隔靶射流形成及侵彻见图 2,计算结果为穿深 325 mm,其侵彻深度约为均质靶试验的 52.8%。射流侵彻单层间隔靶主靶板后形状如图 3。

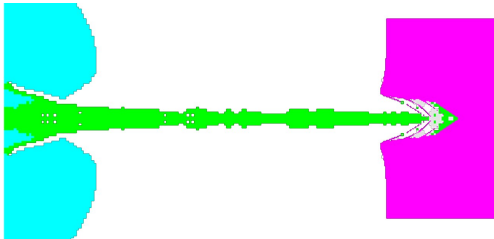


图 1 射流形成及均质靶侵彻

Fig.1 Formation of jet and penetration to homogeneous target

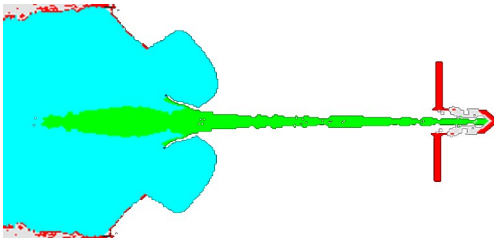


图 2 射流形成及单层间隔靶侵彻

Fig.2 Formation of jet and penetration to single layer space target



图 3 单层间隔靶侵彻后主靶板射流

Fig.3 Jet after penetration to single layer space target

2 试验

2.1 均质靶试验

设计炸高 200 mm,药柱对 45 号钢破甲数据如表 3。射流入口直径在 27 mm 左右,基本是规则圆孔,入口处产生横贯半端面的裂纹,裂纹沿 45 号钢棒长度方向,长度不大于 100 mm,典型均质靶侵彻效果如图 4。

2.2 单层间隔靶

布靶情况为:180 mm 炸高,6 mm A3 钢板,1.6

表 3 均质靶试验

Tab.3 Test of homogeneous target

序号	1	2	3	4	5	平均
穿深/mm	642	631	649	631	639	639
入口直径/mm	30	28	25	27	25	27



图 4 均质靶侵彻

Fig.4 Penetration to homogeneous target

m 间隙,500 mm 45 号钢靶板。射流穿透 6 mm A3 钢板后,对 45 钢主靶板的侵彻尺寸见表 4,此时的出口直径均为 8mm。典型单层间隔靶侵彻效果如图 5。射流入口一般是椭圆孔,第 1 块主靶板出口及后续靶块射流入口均为圆孔,断裂射流、杵体、间隔靶破片在主靶板上留下多处浅坑,图 5 中的主靶板下方放置的是药型罩杵体,杵体由于撞击靶板变为扁形。

表 4 主靶板侵彻数据

Tab.4 Data of penetration to major target

序号	1	2	3	4	5	平均
穿深/mm	246	420	440	315	370	358
入口/mm	25 × 15	27 × 25	30 × 16	25 × 17	30 × 21	27 × 19



图 5 单层间隔靶侵彻

Fig.5 Penetration to single layer space target

2.3 多层间隔靶

多层间隔靶试验反映了破甲弹对多层间隙装甲

3.0 层钢板,5.0 m 炸高 2 发穿深差 2.0 层钢板,穿深跳动比例达到 50% 以上。炸高 5m 穿深最低,仍有 3.0 层钢板,说明该战斗部距离间隙装甲、栅格装甲轻型车辆 5 m 内作用都有足够毁伤威力。

3 结论

通过试验、仿真及分析,得出以下结论:

1) 设计的仿真模拟方法可以指导破甲弹设计。

2) 1.78 m 以上大炸高情况下破甲弹侵彻深度波动较大,稳定性不好,尤其是在炸高达到 4.00m 以上时。

3) 在距离轻型装甲目标 5 m 内作用,小口径破甲弹能对目标产生足够威胁。

参 考 文 献

- [1] 王儒策,赵国志. 弹丸终点效应[M]. 北京:北京理工大学出版社,1993:273-274.
Wang Ruce, Zhao Guozhi. The terminal effects of projectile[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 1993: 273-274.
- [2] 高森烈. 炸高对破甲深度影响的实验研究[C]//破甲技术文集. 北京:国防工业出版社, 1982:28-37.
Gao Senlie. Experimental study on effect of standoff distance on penetration depth[C] // HEAT Technology. Beijing: National Defense Industry Press, 1982: 28-37.
- [3] 张元军,李四川,彭小明. 破甲战斗部的炸高设计和制造工艺[J]. 四川兵工学报, 2009,30(12): 124-125.
Zhang Yuanjun, Li Sichuan, Peng Xiaoming. Shaped charge jet warhead design and manufacturing processes [J]. Journal of Sichuan Ordnance,2009,30(12): 124-125.
- [4] 黄正祥,陈惠武,官程. 大炸高条件下药型罩结构设计[J]. 弹箭与制导学报,2000(3): 51-53.
Huang Zhengxiang, Chen Huiwu, Guan Cheng. The design of liner under large standoff distance condition[J]. Journal of Projectiles Rockets Missiles and Guidance,

2000(3): 51-53.

- [5] 朱铭颀,顾文彬,唐勇,等. 炸高对侵彻效应影响试验和数值模拟研究[J]. 爆破器材,2010, 39(2):31-34.
Zhu Mingjie, Gu Wenbin, Tang Yong, et al. The experimental & numerical simulation of the standoff effect to penetration properties[J]. Explosive Materials, 2010, 39(2):31-34.
- [6] 徐全军,白帆,伍睿星. 占据式聚能装药射流形成的数值模拟及试验研究[J]. 爆破器材, 2011, 40(3):11-13.
Xu Quanjun, Bai Fan, Wu Ruixing. Numerical simulation of jet formation by shaped charge with the inhibitor and experimental investigation[J]. Explosive Materials, 2011, 40(3):11-13.
- [7] 吴焕龙,杜明章,杨超,等. 射孔弹聚能射流侵彻钢靶的数值仿真与实验分析[J]. 爆破器材,2012, 41(2): 30-33.
Wu Huanlong, Du Mingzhang, Yang Chao, et al. Numerical simulation and experimental analysis of shaped charge jet penetrating into steel target[J]. Explosive Materials, 2012, 41(2):30-33.
- [8] 江增荣,王海福,李世才,等. 某型破甲弹动态威力数值模拟[J]. 弹箭与制导学报,2006,26(2):54-56.
Jiang Zengrong, Wang Haifu, Li Shicai, et al. Numerical simulations of dynamic power for A HEAT[J]. Journal of Projectiles Rockets Missiles and Guidance, 2006,26(2): 54-56.
- [10] 王成,恽寿榕,黄风雷. 大锥角聚能装药射流形成及对多层靶侵彻的数值模拟研究[J]. 爆炸与冲击, 2003,23(4):349-354.
Wang Cheng, Yun Shourong, Huang Fenglei. Numerical simulation of jet formation by wide angle shaped charge and penetration into multilayer targets[J], Explosion and Shock Waves, 2003,23(4):349-354.

Penetration of Shaped Charge Jets under Large Standoff Distance

ZHU Xuqiang^{①②}, CHENG Yi^①, LI Decai^②, TUO Jinkui^②, GAO Tangzheng^②, ZHANG Yan^②

①School of Chemical Engineering, Nanjing University of Science & Technologies (Jiangsu Nanjing, 210094)

② Heilongjiang North Tool Co., Ltd. (Heilongjiang Mudanjiang, 157000)

[ABSTRACT] AUTODYN-2D numerical simulation was carried out to study the penetration of homogeneous target and single layer space target of shaped charge jets at large standoff distances. It was found that the numerical simulation was coincided with homogeneous target and single layer space target experiments, and could provide a guideline for the design of shaped charge jet. Experiments of single layer space target and multilayer space target showed that the penetration depths were waved when the standoff distance was less than 1.78 meters, and the small caliber had enough threaten to light armored vehicle within a distance of 5 meters.

[KEY WORDS] shaped charge jet, standoff distance, numerical simulation, homogeneous target, single layer space target, multilayer space target