

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.09.007

大炸高下喇叭罩聚能装药静态侵彻能力

于鑫, 刘军卿

(武汉军械士官学校轻武器教研室, 武汉 430075)

摘要: 为了提高大炸高条件下药型罩的侵彻能力, 对喇叭罩聚能装药形成的射流侵彻均质钢板进行数值模拟。运用 AUTODYN-2D 非线性动力学分析软件的 Euler 算法对其进行数值模拟和试验结果对比, 在分析顶薄底厚的变壁厚喇叭罩壁厚变化规律对其所形成射流的侵彻能力的影响。验证结果表明: 当药型罩壁厚范围在 1.35 ~ 1.48 mm, 壁厚差控制在 0.03 ~ 0.05 mm 内时, 其侵彻能力稳定, 能满足设计指标。

关键词: 数值模拟; 聚能射流; 喇叭罩

中图分类号: TJ51 **文献标志码:** A

Static Penetration of Shaped Charge with Trumpet Liner for Great Gap

Yu Xin, Liu Junqing

(Staff Room of Small Arms Research, Wuhan Ordnance Petty Officer Institute of PLA, Wuhan 430075, China)

Abstract: In order to improve the big burst height of the mask to the case conditions penetration ability, to the horn cover can charge formed together jet penetration homogeneous plates in the numerical simulation. Use AUTODYN-2D nonlinear dynamics analysis software Euler algorithm of the numerical simulation and experimental results contrast and analysis on the top of the change of the thick thin wall thickness horn wall thickness variation law to cover the formation of the penetration ability of the jet influence. The result indicates that, when medicine type cover wall thickness in range from 1.35 to 1.48 mm, wall thickness difference control in 0.03 ~ 0.05 mm in its penetration ability stability, can satisfy the design index.

Key words: numerical simulation; gather to jet; horn cover

0 引言

破甲技术是对付装甲目标的主要手段之一, 近几十年国内外学者对破甲战斗部已经有了比较深入系统的研究。在破甲战斗部^[1-2]中, 聚能装药药型罩是破甲弹的核心元件, 其侵彻能力是非常重要的一个指标。国内对小炸高条件下的聚能药型罩的侵彻能力的研究已经比较成熟, 而在大炸高条件下有关药型罩的侵彻能力研究较少。因此, 笔者应用 AUTODYN-2D^[1-6]软件对 75 mm 口径的喇叭形型药型罩进行数值模拟, 获取了其稳定侵彻的参数范围。

1 数值模拟

1.1 数值方法

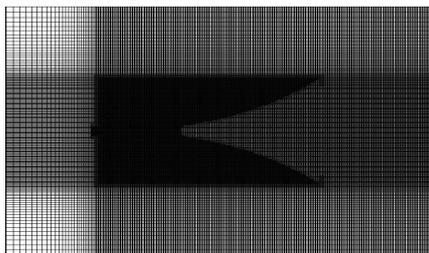


图 1 聚能装药计算模型

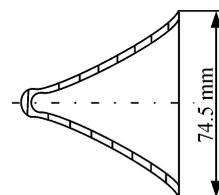


图 2 喇叭罩剖面图

应用非线性动力学仿真软件 AUTODYN-2D 对 76 mm 口径的喇叭形药型罩的聚能装药爆炸形成射流以及射流侵彻的全过程进行数值模拟。在这个过程中, 装药、药型罩材料都发生了大变形, 因而采用 AUTODYN-2D 的 Euler 算法。计算模型如图 1 所示。计算网格在聚能装药区域、射流经过的区域按等间距划分, 聚能装药外空网格按变间距划分。为提高计算效率, 先加载聚能装药部分的网格, 随着射流的运动, 逐次加载靶板等部分的网格; 当炸药能量释放完全形成射流后, 删除炸药及壳体。药型罩结构如图 2 所示。罩形呈喇叭状, 罩壁母线由不同心的圆弧切成, 是变壁厚的, 其变化规律是顶薄底厚, 模拟计算时壁厚变化范围为 1.1 ~ 1.5 mm。药型罩材料为紫铜, 装药为 8701 炸药, 装药直径为

收稿日期: 2012-04-05; 修回日期: 2012-05-04

作者简介: 于鑫(1977—), 男, 吉林人, 学士, 讲师, 从事轻武器维修研究。

76 mm。靶板材料为均质钢, 设置的主靶板厚 80 mm, 后效靶板厚 10 mm, 倾斜 30°设置, 炸高为 1 200 mm。

所有材料数据均参照 AUTODYN-2D 标准数据库, 材料的部分参数及材料模型如表 1 和表 2。

表 1 8701 炸药材料模型及部分参数

炸药	状态方程	$\rho/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	CJ 压力/ GPa	爆速/ $(\text{km}\cdot\text{s}^{-1})$	能量密度/ $(\text{GJ}\cdot\text{m}^{-3})$	Gurney 常数
8701	JWL	1.695	29.66	8.4	8.5	2.425

表 2 其他材料模型及部分参数

材料	状态方程	强度模型	$\rho/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	剪切模量/ GPa	屈服强度/ GPa
紫铜(药型罩)	Shock	Johnson Cook	8.960	46.0	0.120
钢(验证靶)	Shock	Johnson Cook	7.830	77.0	0.835
铝(壳体)	Shock	Johnson Cook	2.785	27.6	0.265

1.2 模拟结果

将聚能战斗部的初速(着靶速度)设置为 $0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 进行数值模拟, 即可模拟出静态下喇叭罩聚能装药的侵彻情况。图 3~图 6 为射流在不同时刻的瞬间状态。图 3 是 $20 \mu\text{s}$ 时炸药驱动药形罩形成射流时的材料状态; 图 4 与图 5 分别是 $60 \mu\text{s}$ 与 $116 \mu\text{s}$ 时射流的状态; 图 6 是 $300 \mu\text{s}$ 时射流侵彻靶板时的状态, 此时靶板已被穿透, 射流继续侵彻后效靶板。从数值模拟可以看到: 在射流刚刚形成时, 射流头部速度最大可达 $14\ 000 \text{ m/s}$, 射流尾部速度也有 $4\ 000\sim 5\ 000 \text{ m/s}$; 即使在 $150 \mu\text{s}$ 后, 射流头部速度也保持在 $10\ 000 \text{ m/s}$ 以上, 因而在大炸高下仍然有很强的侵彻能力。

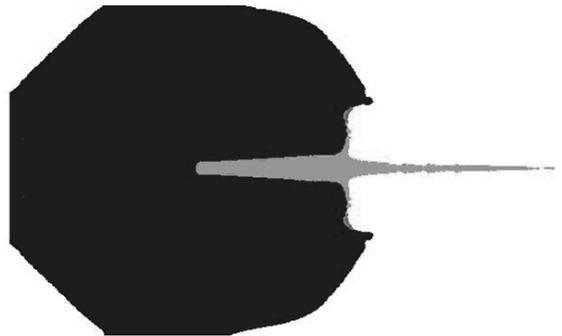


图 3 $20 \mu\text{s}$ 时射流的状态



图 4 $60 \mu\text{s}$ 时射流的状态



图 5 $116 \mu\text{s}$ 时射流的状态

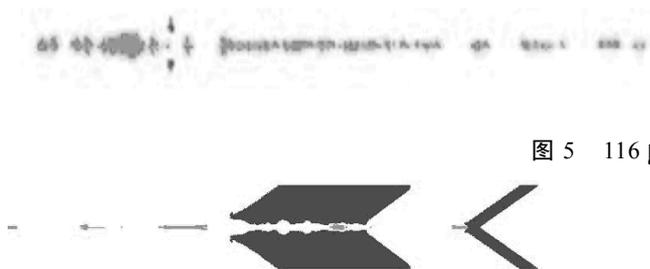


图 6 $300 \mu\text{s}$ 时射流侵彻靶板的状态

2 数值模拟与试验结果的比较

试验装置的设置如图 7。试验靶采用 80 mm 厚的均质钢板, 其后等间距设置 3 块 10 mm 厚的后效靶板, 靶间隔距离为 10 mm , 靶板倾斜角度为 30° 。表 3 是同一批次加工的同类型不同壁厚药形罩的试验结果。由表 3 可以看出, 试验 4 和试验 6 未穿透靶板, 侵彻深度较小。结合数值模拟分析其原因: 试验 4 中喇叭罩顶壁厚太薄, 同时壁厚变化太快, 形成的射流头部速度虽然很大, 但速度梯度也较大, 在大炸高下断裂成很多很细小的颗粒, 同时壁厚减小, 射流有效质量减少了, 这些因素都削弱了射流的侵彻能力; 而试验 6 中, 喇叭罩的壁厚变化规律

是顶厚底薄, 同时壁厚较大, 形成的射流速度较低, 因而射流侵彻能力比变化规律为顶薄底厚的药型罩形成的射流要低。

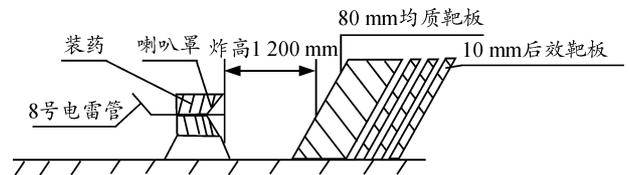


图 7 试验装置示意图

经过对比可见, 试验结果和数值模拟的结果相近, 但数值模拟的结果要比试验的结果更理想, 这是由于数值模拟是在理想条件下进行的, 而试验受到了加工工艺、试验条件和试验环境等因素的影响。考虑到以上因素, 同时根据表 3 的数据, 药型罩壁厚范围采用 $1.35\sim 1.48 \text{ mm}$, 同时罩顶和罩底壁厚差不宜过大, 也不宜过小, 控制在 $0.03\sim 0.05 \text{ mm}$ 内, 其侵彻能力比较稳定, 能够满足设计指标。

表 3 试验结果与数值模拟结果的比较

序号	(距喇叭罩口 60 mm 处壁厚/10 mm 处壁厚)/mm	射流侵彻入口尺寸/(mm×mm)	侵彻深度/mm	后效靶板现象	数值模拟结果
试验 1	1.37/1.43	32×35	163	第 1 块后效靶板有喷铜	侵彻深度 160 mm, 后效靶穿透
试验 2	1.36/1.41	20×40	171	第 1 块后效靶板穿透	侵彻深度 160 mm, 后效靶穿透
试验 3	1.35/1.39	20×45	171	无后效	侵彻深度 160 mm, 后效靶穿透
试验 4	1.29/1.37	9×20	131(未透)	无后效	侵彻深度 160 mm, 后效靶穿透
试验 5	1.37/1.40	35×30	171	第 1 块后效靶板穿透	侵彻深度 160 mm, 后效靶穿透
试验 6	1.47/1.45	45×27	135(未透)	无后效	侵彻深度 142 mm, 无后效
试验 7	1.31/1.36	40×30	168	第 1 块后效靶板穿透	侵彻深度 160 mm, 后效靶穿透
试验 8	1.44/1.48	30×45	175	第 1 块后效靶板有喷铜	侵彻深度 160 mm, 后效靶穿透

3 结论

针对提高战斗部大炸高下的破甲能力, 笔者对喇叭形药型罩的侵彻能力进行了数值模拟与试验研究, 主要结论有:

1) 喇叭罩采用顶薄底厚的变化规律, 只要将壁厚的变化率控制在一定的范围内(不使射流头部与尾部的速度梯度过大), 就可显著提高射流头部的速度, 同时也使射流的侵彻能力得到提升。

2) 在大炸高下, 由于射流在空气中的运动时间较长, 射流拉伸断裂成颗粒, 如果颗粒太小, 将影响射流的开坑和侵彻, 从而降低射流的侵彻能力, 因而药型罩顶部壁厚不宜太小。

3) 对比数值模拟和试验的结果, 药型罩壁厚范围采用 1.35~1.48 mm, 同时其壁厚差控制在 0.03~0.05 mm 内, 其侵彻能力比较稳定, 能够满足设计

(上接第 17 页)

从图 4 中可见, 进攻角为 45°时, 舰艇编队的射击次数在舰艇编队间距大约为 16.2 链(3 km)时由 6 次减少为 5 次, 而当进攻角为 90°时, 舰艇编队的射击次数在编队间距大约为 59.3 链(11 km)时由 6 次减少为 5 次, 而进攻角为 120°时, 舰艇编队的射击次数在编队间距大约为 91.8 链(17 km)时才由 6 次减少为 5 次。这是因为在同样的编队间距下, 进攻角的增大, 相当于目标的进攻线绕被进攻舰顺时针旋转, 增大了协同防空区的纵深, 从而增加了射击次数。同时如果进攻舷角大于被进攻舰的右禁射角, 被进攻舰将无法进行拦截, 只有掩护舰独自进行拦截。从图 5 可见, 当目标流的时间间隔比较大时, 在杀伤区纵深一定的情况下, 目标在防空武器系统一次射击周期过程中, 突袭的距离就比较短, 这样就可使射击拦截的次数增大。而从图 6 中可知, 当间距相同时, 射击次数随目标速度的增加而快速下降。这是因为, 目标速度越快, 其杀伤区远界距离越近, 从而造成杀伤区纵深越短。

指标。

参考文献:

[1] 曾新吾, 薛鸿陆. 线形聚能装药的理论研究[J]. 爆炸与冲击, 1988, 8(2): 97-105.
 [2] 江增荣, 王海福, 李世才, 等. 某型破甲弹动态威力数值模拟[J]. 火箭与制导学报, 2006: 54-56.
 [3] Century Dynamics Inc. Interactive Non-linear Dynamic Analysis Software AUTODYN Users Manual[M]. America: Century Dynamics Inc., 2001.
 [4] Karless E V. Computer Simulation of Shaped Charge Jet Fragmentation[C]//19th International Symposium of Ballistics. Interlaken. Switzerland: Casino Kursaal Congress Center, 2001: 819-826.
 [5] 郝莉, 王成, 宁建国. 聚能射流问题的数值模拟[J]. 北京理工大学学报, 2003, 23(1): 19-21.
 [6] 王海福, 江增荣, 李向荣. 药型罩参数对聚能装药水下作用效应的影响[J]. 北京理工大学学报, 2006, 26(5): 405-409.

4 结论

笔者建立了双舰编队协同防空的射击次数模型, 将编队的射击次数分解为被进攻舰和掩护舰的射击次数的集合, 并对航路捷径不为零情况下, 掩护舰的杀伤区纵深及射击次数进行了研究。仿真结果表明: 该模型能有效计算双舰编队的射击次数, 有助于进行编队防空作战效能分析。由于舰艇编队队形方式很多, 下一步将研究 3 舰和 4 舰编队在不同队形下的射击次数计算问题。同时由于模型是在一定假设条件下进行的, 还需进一步完善。

参考文献:

[1] 腾克难. 舰空导弹反导作战拦截射击次数的建模方法[J]. 火箭与制导学报, 2004, 24(3): 21-23.
 [2] 董文洪, 栗飞, 刘涛, 等. 基于多目标通道的防空导弹射击次数模型[J]. 兵工自动化, 2009, 28(9): 17-19.
 [3] 王峰. 舰空导弹对群目标射击次数模型研究[J]. 现代防御技术, 2008, 36(3): 22-26.
 [4] 钟志通, 童幼堂. 提高舰空导弹编队反导能力方法研究[J]. 战术导弹技术, 2001, 3(3): 6-10.
 [5] 荆发标, 康晓予. 编队防空反导作战拦截次数模型[J]. 舰船科学技术, 2011, 33(6): 120-122.