

doi: 10.7690/bgzdh.2016.02.024

# 含水介质装甲对聚能射流防护性能研究

朱福林, 赵择东

(中北大学机电工程学院, 太原 030051)

**摘要:** 为提高匀质装甲抗聚能射流性能, 提出一种新型的含水介质装甲结构。通过 LS-DYNA 软件对聚能射流对含水介质装甲的侵彻过程进行仿真, 对比分析匀质装甲和含水介质装甲的防护性能, 并对前置装甲的厚度进行优化。结果表明: 含水介质装甲较匀质钢装甲能大大增强装甲的防护性能, 通过合理设计前置装甲的厚度可进一步提高对聚能射流的防护能力。

**关键词:** 聚能射流; 含水介质装甲; 侵彻; 数值仿真

**中图分类号:** TJ415.0 **文献标志码:** A

## Research on Protective Performance of Aqueous Medium Armor to Shaped Jet

Zhu Fulin, Zhao Handong

(College of Mechatronic Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China)

**Abstract:** In order to improve the performance of homogeneous armor resist the shaped charge jet, put forward a new type of the aqueous medium armor's structure. Through the LS-DYNA software simulate the process of shaped charge jet penetrate the aqueous medium armor, comparative analysis the protection performance of homogeneous armor and aqueous medium armor, and optimized the thickness of forward armor. The results show that: the aqueous medium armored relatively homogeneous armor can greatly enhanced armor protection performance, through optimal designing preposition armor thickness to further improve protection performance to shaped charge jet.

**Keywords:** shaped charge jet; aqueous medium armor; penetration; numerical simulation

### 0 引言

增强装甲的防护性能可以提高坦克的战场生存能力和军事要求以及减少被杀伤和破坏。可靠的装甲防护是坦克防护能力的基础。现代主战坦克最常见的是爆炸式反应装甲和陶瓷复合装甲。爆炸式反应装甲质量轻, 在起到防护作用的同时也带来了负面影响, 车载武器被击中的同时产生爆炸冲击波会危及步兵的安全<sup>[1]</sup>; 陶瓷复合装甲随陶瓷厚度的增加破甲弹侵彻深度减少, 但同时增加了坦克的质量。新型防护装甲不但要提高防护能力, 还要在质量、成本和安全方面体现其先进性<sup>[2]</sup>。由于水介质密度较小、质量较轻且不会造成人员伤害, 笔者对含水介质装甲对聚能射流的防护机理进行分析和研究, 为反应装甲的设计提出一种新的构想。

### 1 水介质对装甲防护性能的影响

#### 1.1 水介质对射流速度的衰减作用

射流高速入水, 由于水对射流的各种反作用力, 所受到的冲击压力会随着射流和装甲的相互作用而变化。在高速入水的初始阶段, 会产生对水的冲击

作用, 引起一个近似于水中声速辐射出去的短暂的高速激波, 在接触面形成一个冲击压力峰值。其特点是持续时间短, 压力峰值较高。这个极大的冲击压力使射流头部变形墩粗、长径比缩小, 在水中运动的阻力也随之增大, 对射流速度具有衰减作用。速度降低的程度与射流入水速度密切相关, 射流入水速度越大, 头部磨损越大, 速度衰减越快。入水速度过高时, 射流头部变形甚至破裂脱落, 丧失侵彻能力<sup>[3]</sup>。

#### 1.2 水介质中射流的损伤机理

射流在水中的运动过程是水介质与射流作用的耗能过程, 在水中的损伤利用水的低密度效应、吸能效应、磨损效应、动力学效应和良好的退热性。水介质可起到对射流的缓冲作用, 吸收部分未受干扰射流的头部能量。

在射流与含水介质装甲的整个运动过程中, 由于装甲沿切线方向不产生位移, 射流受到含水装甲作用的垂直于运动方向的力被相互抵消, 导致弹不会产生与运动方向垂直的位移; 所以可以假定, 射流对装甲的侵彻是一个定常运动过程。

收稿日期: 2015-11-18; 修回日期: 2015-12-26

作者简介: 朱福林(1990—), 男, 山东人, 在读硕士, 从事弹药工程、弹箭模拟仿真研究。

## 2 含水介质装甲参数的初步设计

### 2.1 含水介质装甲模型的初步设计

基于水介质对射流速度的衰减和对射流的损伤作用，笔者初步设计一种“前置钢靶+水介质+后置钢靶”的三明治盒体式结构。前置钢靶厚度为 10 cm，水介质为 50 cm，后置钢靶为 115 cm。

这种“三明治”盒体式装甲的优势为：

- 1) 结构简单，成本较低；
- 2) 水介质较其他装甲材料的密度低，降低了坦克等车载武器的承载质量；
- 3) 相对爆破式反应装甲，可降低被反应装甲诱爆的机率，提高了坦克和伴随步兵的安全性；
- 4) 在增强对聚能装药破甲弹防护的同时，也增强了对穿甲弹的防护能力。

### 2.2 含水介质装甲的防护机理

射流撞击装甲时，其强大的动能逼迫构成装甲板块的物质向四周液态流动，让出一条隧道。同时，射流的头部也不断向四周扩散，射流也就不断被耗费，如果射流在完全被消耗掉前穿透装甲，则在撞击和穿透过程中形成的碎片便高速摄入车载武器内部，杀伤人员、破坏器械。

这种盒状的密闭容器式装甲对垂直侵彻的射流冲击波和爆轰波进行反射，产生横向作用力，对射流起到了一定的切割和干扰作用，衰减和消耗了冲击波和爆轰波。金属射流本身的密度并不高；因此一些金属与非金属材料重叠的装甲结构，也可以大量地消耗射流能量，扰乱射流穿透的途径，降低其侵彻能力<sup>[4]</sup>。

射流向前撞击，是一个按弹性波往返传播而分成一系列逐渐降低强度的撞击过程，是一个不连续分阶段进行的运动过程。

## 3 金属射流侵彻含水介质装甲仿真模型

### 3.1 材料模型

含水介质装甲由炸药、药型罩、空气、钢靶和水介质 5 部分组成，如表 1 所示。

表 1 各单元材料和材料模型  $\text{kg}/\text{cm}^3$

单元号	部件名称	材料	密度	状态方程
1	聚能装药	TNT	1.63	JWL
2	药型罩	紫铜	8.96	GRUNEISEN
3	空气	Air	0.001 252	GRUNEISEN
4	靶板	45 钢	7.83	Nonlinear
5	水介质	水	0.998	GRUNEISEN

### 3.2 有限元模型

有限元模型如图 1。炸药、药型罩、空气采用

欧拉网格建模，单元使用多物质任意拉格朗日-欧拉 (ALE) 算法，优点是可克服单元严重畸变引起的数值计算困难，并实现流体-固体耦合的动态分析。钢靶和水构成的靶板采用 Lagrange 算法，射流通过耦合将能量和压力传递给靶板，实现对靶板的侵彻，而靶板对射流起几何约束作用。聚能装药设置在含水介质装甲上方一定炸高处，引爆聚能装药，即为仿真聚能射流的形成及侵彻含水介质装甲的过程<sup>[5]</sup>。

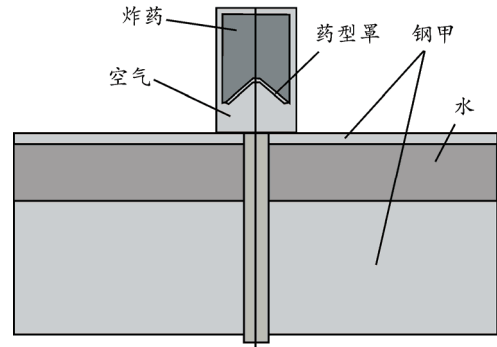
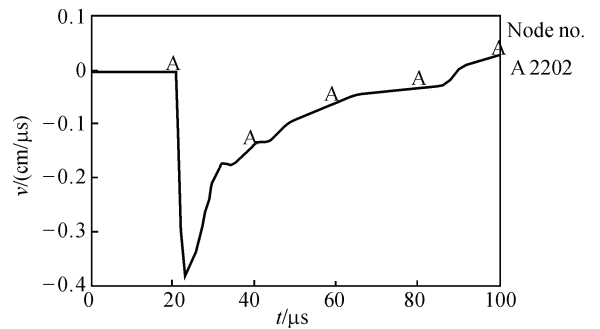


图 1 射流侵彻含水介质装甲有限元模型

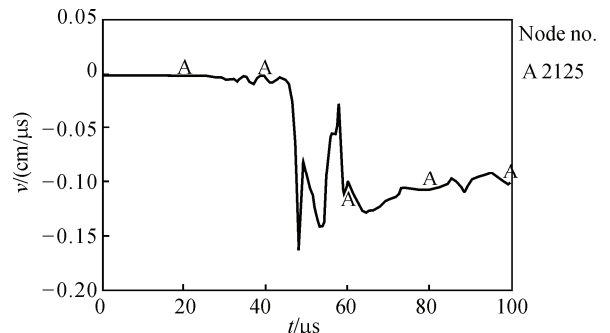
## 4 仿真结果及分析

### 4.1 运动特性的对比

对射流侵彻匀质装甲和含水介质装甲的仿真结果，分别提取钢靶厚度为 12、15 和 18 mm 三处节点的速度，对比分析曲线如图 2~图 4 所示。

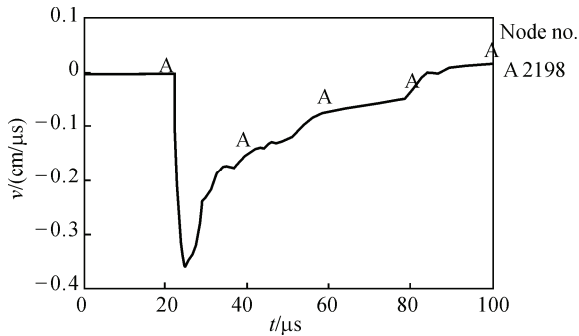


(a) 匀质装甲

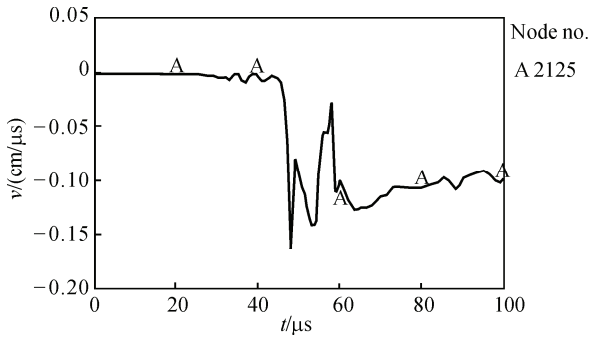


(b) 含水介质装甲

图 2 钢靶厚度为 12 mm 处匀质装甲与含水介质装甲节点速度曲线

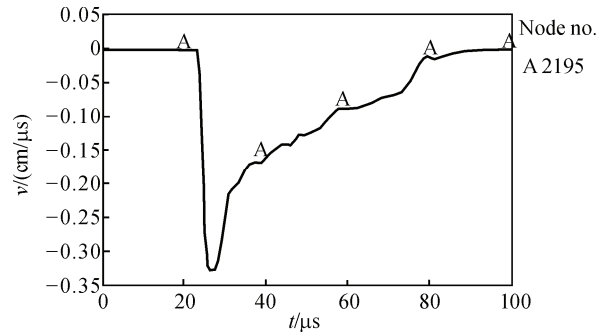


(a) 匀质装甲

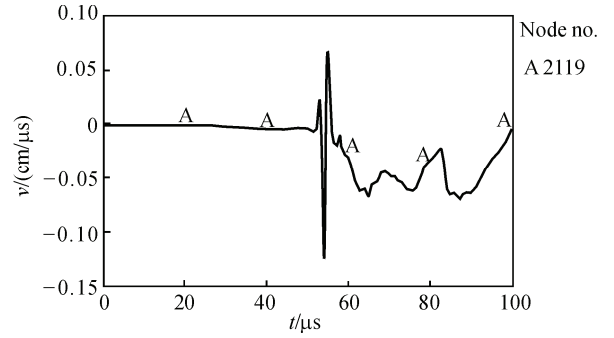


(b) 含水介质装甲

图 3 钢靶厚度为 15 mm 处匀质装甲与含水介质装甲节点速度曲线



(a) 匀质装甲



(b) 含水介质装甲

图 4 钢靶厚度为 18 mm 处匀质装甲与含水介质装甲节点速度曲线

表 2 2 种情况下节点速度的对比

种类	12 mm 处节点的最大速度	15 mm 处节点的最大速度	18 mm 处节点的最大速度
匀质钢装甲	3 800	3 600	3 250
含水复合装甲	1 700	1 120	1 200
速度衰减百分比/%	28.9	68.9	63.1

通过对节点速度对比分析，从而得到水介质对射流速度具有极大的衰减作用，如表 2 所示，可以有效提高装甲的防护能力。

#### 4.2 能量耗散的对比分析

射流在飞行一段时间和距离后，将在不同位置产生径缩，继而被拉断，原来完整的射流断成许多段，径缩特别是被拉断后的射流严重丧失侵彻能力；因此，射流径缩、断裂的时间大大提前，使破甲能力显著下降。射流在空气中自由飞行时，其断裂以强度控制的拉伸断裂为主；而当射流在爆炸式反应装甲的干扰作用下，其断裂为表面张力和惯性控制的扰动失稳为主。图 5、图 6 验证了射流损伤机理。

射流首先侵彻前置钢靶，继而侵彻水装甲，前后钢靶和水装甲不断地对射流做周期性切割扰动作用，持续干扰了射流的连续性和稳定性，从而大大降低和阻碍了破甲射流对主装甲的侵彻作用。

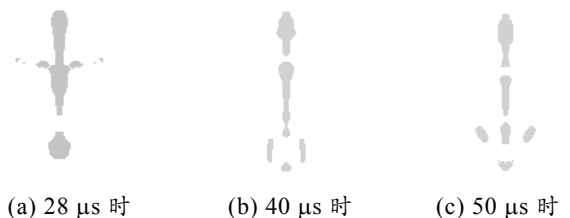


图 5 射流侵彻含水介质装甲时的杆体形状

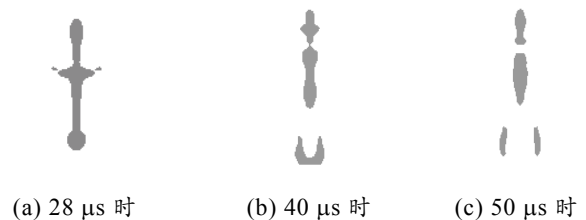


图 6 射流侵彻匀质装甲时的杆体形状

#### 4.3 侵深结果分析

比较仿真结果可知：同一射流对匀质钢靶的最大侵彻深度为 72.5 mm，对含水介质装甲钢靶的最

大侵彻深度为 29 mm，防护能力明显增强，如图 7。

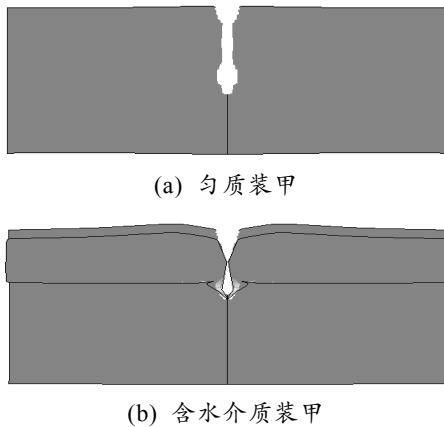


图 7 射流对匀质装甲和含水介质装甲最大侵深对比

#### 4.4 前置装甲厚度的影响

复合装甲抗弹性能主要与各层靶板的厚度比

例、材料性能、钢靶布置、夹层结构材料及倾角有关。笔者在钢靶总厚度和水介质厚度不变的情况下，调整前置钢靶的厚度，以达到提高含水介质装甲防护性能的目的。

水装甲的抗射流能力与水的厚度有关。在一定厚度范围内和一定弹速条件下，随着水装甲厚度的增加，射流的穿深值减小。若将含水介质装甲外挂到坦克等车载武器外面，要满足一定的质量和空间要求。增加水的厚度意味着增加坦克等车载武器的质量。

笔者建立前置钢靶厚度不同的 7 个仿真模型，即含水介质装甲 1~7，分别进行仿真，分析射流对各前置钢靶厚度不同的含水介质装甲的侵彻深度，如表 3 所示。为避免赘余，仅列出前置钢靶厚度分别为 5、10 和 50 mm 时的侵彻效果图，如图 8 所示。

表 3 含水介质装甲 1~7 的靶板结构及射流的最大侵深结果对比

mm

含水介质靶	前置钢靶厚度	水介质厚度	后置钢靶厚度	侵彻钢靶总厚度	侵彻钢靶厚度占总厚度百分比/%
1	5	50	120	29.5	23.6
2	8	50	117	30.6	24.5
3	10	50	115	31.8	25.4
4	20	50	105	33.9	27.1
5	30	50	95	41.0	32.8
6	40	50	85	41.0	33.0
7	50	50	75	50.0	40.0

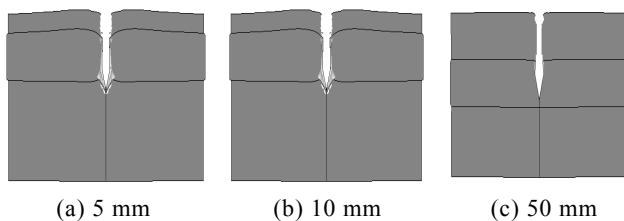


图 8 3 种含水介质装甲的最大侵深对比

对比含水介质装甲 1~7 的仿真结果可以看出：射流侵深随前置钢靶厚度的减小而减小，前置钢靶的厚度对防护能力有较大影响；所以在满足加工工艺和实际作战要求的条件下，应使前置钢靶的厚度达到最小，使含水介质装甲对聚能射流的防护能力达到最强。

#### 5 结论

仿真结果表明：这种“三明治”盒体式结构能

显著降低射流的速度，从而使侵彻能力下降；所以这种含水介质装甲兼有对抗穿甲弹和破甲弹的防护性能，不但能防空心装药弹的打击，而且能有效地提高坦克的战场生存能力。

#### 参考文献：

- [1] 张跃民. 车载武器[M]. 北京：航空工业出版社，2010：1-3.
- [2] 赵慧英，沈兆武，刘天生. 反应装甲与陶瓷复合装甲集成技术研究探索[J]. 爆炸与冲击，2006，26(1)：21-26.
- [3] 杨莉，张庆明，时党勇. 爆炸成型模拟弹丸对水介质侵彻的数值仿真[J]. 弹箭与制导学报，2009，29(2)：117-119.
- [4] 王凤英，刘天生. 毁伤理论与技术[M]. 北京：北京理工大学出版社，2009：5-7.
- [5] 时党勇，李裕春，张胜民，等. 基于 ANSYS/LS-DYNA 8.1 进行显式动力分析[M]. 北京：清华大学出版社，2005：313-330.