

# 海流对水弹道的影响数值分析\*

张月华

(海军装备部 装备研究院,北京 100841)

**摘要:**在考虑主要影响因素的基础上,作合理的假设,用数值处理的方法对海流对水弹道的影响进行计算.在一定的假设条件下应用 ANSYS/LS-DYNA 软件仿真计算水流体的流向、流速对导弹的水下弹道的影响.

**关键词:**ANSYS/LS-DYNA;海流;水弹道

**中图分类号:**TU352.1

**文献标识码:**A

**文章编号:**1006-0707(2009)03-0008-03

## 1 数学模型的建立

数值模型由水、空气和导弹 3 部分组成,其中水、空气介质材料采用欧拉网格建模,单元使用多物质 ALE 算法,导弹采用拉格朗日网格建模,导弹与水、空气之间采用耦合算法.模型中水、空气介质周边采用透射边界条件,本文中利用这一假设,采用单层实体网格建模,这种简化既可以充分利用 ANSYS/LS-DYNA 程序中的多物质 ALE 算法,又可以将模型尺寸大大减小.数值模型采用 cmr g ms 单位制.

### 1.1 水介质、空气介质材料模型

ANSYS/LS-DYNA 中水、空气介质的材料模型选用空白材料(NULL),通过此材料来避免计算应力、应变.水、空气介质的状态方程选用 Gruneisen 模型<sup>[1]</sup>.它定义压缩材料的压力为

$$p = \frac{\rho_0 C^2 \mu [1 + (1 - \frac{\rho_0}{2}) \mu - \frac{a}{2} \mu^2]}{[1 - (S_1 - 1) \mu - S_2 \frac{\mu^2}{\mu + 1} - S_3 \frac{\mu^3}{(\mu + 1)^2}]^2} + (\rho_0 + a \mu) E$$

其中:  $C$  为  $\mu_s - \mu_p$  曲线的截距;  $E$  为介质的初始条件下单位体积的内能;  $S_1, S_2, S_3$  是  $\mu_s - \mu_p$  曲线斜率的系数;  $\mu = \rho - \rho_0 / \rho_0$ ;  $a$  是  $\rho_0$  的一阶体积修正;  $\rho_0$  是 Gruneisen 常数.

表 1 水、空气介质的材料模型及状态方程参数

材料	密度 $\rho_0 / (g \cdot cm^{-3})$	$C$	GAMAO
水	1.025	0.65	0.35
空气	0.001 252	0.15	1.40

### 1.2 导弹结构材料模型

导弹的结构材料为铝合金,为了考虑材料在冲击载荷作用下不变形,数值计算中导弹结构材料的本构关系采用 RigidMaterial 模型<sup>[2]</sup>.用刚性体定义有限元模型中的刚硬部分可以大大减少显示分析的时间,因为定义一个刚性体后,刚性体内所有节点的自由度都耦合到刚性体的质量中心上去.

表 2 弹体的材料模型及状态方程参数

材料	密度 $\rho_0 / (g \cdot cm^{-3})$	弹性模量	泊松比
铝合金	2.75	0.72	0.32

## 2 仿真计算

### 2.1 几点说明

- 1) 潜艇发射导弹时的深度和速度不变;
- 2) 不考虑潜艇的纵倾角、横倾角,只考虑潜艇在水平方向和垂直方向的运动;
- 3) 不考虑海面风速、海面波长、平均波高等;
- 4) 导弹出水过程中水流速度的大小不变,假定为 5 m/s,只考虑其方向的变化;
- 5) 潜艇沿  $x$  轴正向运动,导弹出筒时沿  $y$  轴正向运动.

### 2.2 水流体方向不同时导弹在 $x$ 方向的变化曲线

为研究方便,将研究水流体的速度方向与潜艇运动方向几个比较特殊的情况:

- 1) 水流体的速度方向与潜艇运动方向相同时(见图 1,图 2).

\* 收稿日期:2008-11-10

作者简介:张月华(1963—),男,河北霸州人,高级工程师,主要从事武器装备管理研究.

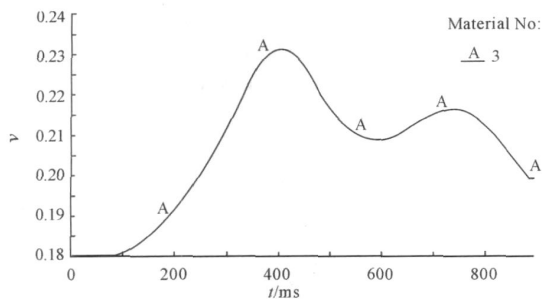


图1 水流体方向与潜艇运动方向相同时, x方向导弹变化曲线

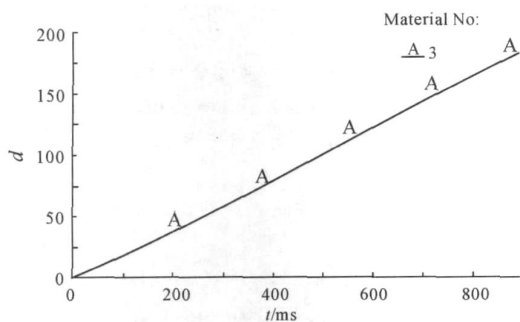


图2 水流体方向与潜艇运动方向相同时, x方向导弹变化曲线

2) 水流体的速度方向与潜艇运动方向成 45 时 (见图 3,图 4).

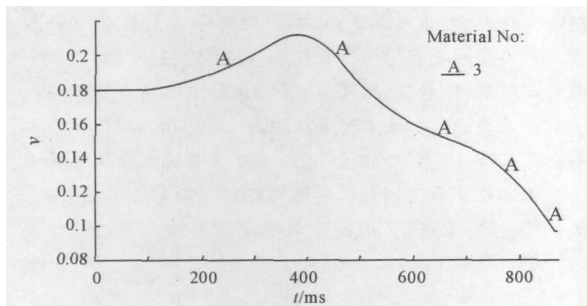


图3 水流体方向与潜艇运动方向成 45 时, x方向导弹变化曲线

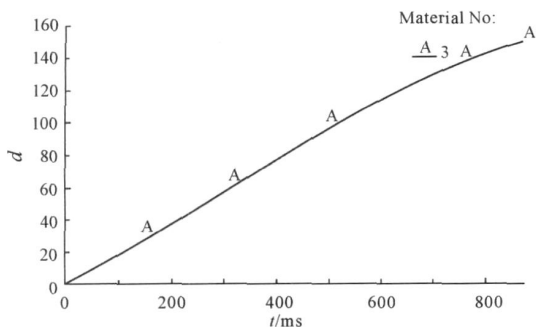


图4 水流体方向与潜艇运动方向成 45 时, x方向导弹变化曲线

3) 水流体的速度方向与潜艇运动方向成 135 时 (见图 5,图 6).

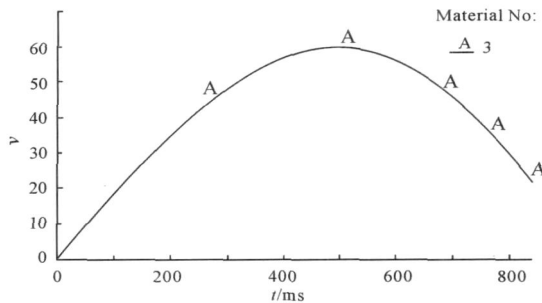


图5 水流体方向与潜艇运动方向成 135 时, x方向导弹变化曲线

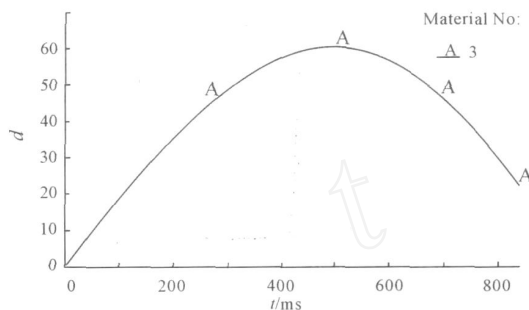


图6 水流体方向与潜艇运动方向成 45 时, x方向导弹变化曲线

4) 水流体的速度方向与潜艇运动方向相反时 (见图 7,图 8).

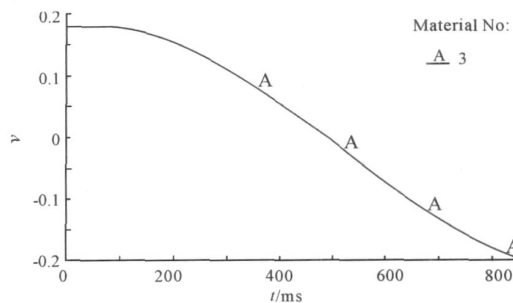


图7 水流体方向与潜艇运动方向相反时, x方向导弹变化曲线

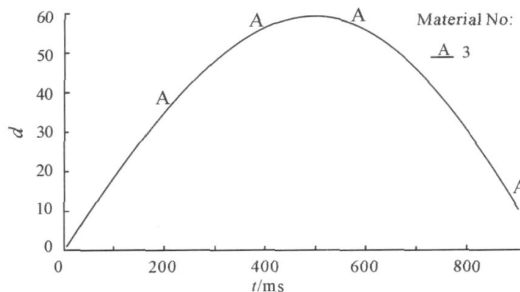


图8 水流体方向与潜艇运动方向相反时, x方向导弹变化曲线

### 3 数据分析

在图1中,导弹在水下运动的过程中出现了3个峰值,导弹出筒后400 ms时,其在X方向的速度达到最大值为2.3 m/s;在614 ms时,其在X方向的速度为2.09 m/s;在742.5 ms时,其在X方向的速度值为2.16 m/s,在整个过程中,其速度最小值为1.8 m/s.说明水流体速度与潜艇速度同向时,使导弹水下弹道在X方向的速度远大于导弹出筒时的速度.

在图3中,导弹在水下运动的过程中出现了一个小峰值,即在386.1 ms时,导弹在X方向的速度为2.13 m/s,此后,导弹的速度不断的减小,在导弹离开水面时,速度的大小为1.29 m/s.说明水流体速度与潜艇速度方向夹角为 $45^\circ$ 时,其在X方向的速度比图1平稳.

在图5、图7中,导弹在水下运动的过程中速度的变化趋势基本一致,当流体速度方向与潜艇速度方向夹角大于 $90^\circ$ 时,导弹在X方向上的速度由1.8 m/s变为-2.0 m/s左右.

在图2中,导弹的加速度在X方向的位移的最大值为1.85 m;在图4中,导弹的加速度在X方向的位移的最大值为1.51 m;在图6中,导弹的加速度在X方向的位移的最大值为0.6 m,离开水面时导弹在X方向的位移为0.2 m;在图8中,导弹的加速度在X方向的位移的最大值为0.59 m,离开水面时导弹在X方向的位移为0.09 m.

通过上述图形分析的比较,可得出以下结论:

1) 水流体速度方向与潜艇速度方向夹角小于 $90^\circ$ 时,导弹在X方向的速度值相对较大,该夹角越小,导弹在X方向的速度值越大,这就可能使导弹在X方向的位移增大,导致导弹的俯仰角变大,不利于导弹的作战效能的发挥.水流体速度方向与潜艇速度方向夹角大于 $90^\circ$ 时,导弹在水下运动的过程中X方向的速度变化趋势基本一致,同时导弹在X方向的位移呈二次曲线,其位移的大小相对前者要小得多,从而使导弹的俯仰角变小,有利于导弹作战效能的发挥.

2) 水流体速度方向与潜艇速度方向夹角小于 $90^\circ$ 时,导弹在在X方向的速度曲线有变化峰值,不利于导弹在水中运动的稳定;相反,则有利于导弹在水中运动的稳定.

### 4 结束语

1) 运用ANSYS/LS-DYNA软件可以定性得到流体速度对导弹水下弹道的一些影响;

2) 潜艇发射导弹时,尽可能使潜艇速度方向与水流体速度方向相反.

### 参考文献:

- [1] 尚晓江. ANSYS/LS-DYNA 动力分析方法与工程实例[M]. 北京:中国水利水电出版社,2006.
- [2] 杜忠华. 动能弹侵彻陶瓷复合装甲机理[D]. 南京:南京理工大学,2002.
- [3] 白金泽. LS-DYNA3D 理论基础与实例分析[M]. 北京:科学出版社,2005.
- [4] Lstc. Ansys/ls-dyna user's guide (ansys release7.0 documentation) [Z]. USA:LSTC,2001.
- [5] 李健,王晓鸣,赵国志. 长杆弹垂直侵彻有限厚靶攻角对弹道极限速度影响的研究[J]. 兵工学报,1995(1):23-27.
- [6] 时党勇,李裕春,张胜民. 基于ANSYS/LS-DYNA8.1进行显式动力分析[M]. 北京:清华大学出版社,2005.
- [7] 慈明森. 金属在大变形、高应变率 and 高温条件下的本构模型和数据[J]. 弹箭技术,1998(3):32-42.
- [8] 王继周,李晋霞,怡震中. 管材拉拔中不均匀变形与残余应力[J]. 塑性工程学报,2001,8(4):40-43.
- [9] 王亚军,王峰,李约翰. 有限元分析系统在结构计算中的比较及展望[J]. 基建优化,2003,24(4):50-54.
- [10] 刘二勇,董湘怀. 在板料成形仿真中的应用[J]. 计算机应用,2006,11.