

doi: 10.7690/bgzd.2014.04.017

水下航行器舱门开启过程仿真

孙善春

(中船重工第七一〇研究所仿真中心, 湖北 宜昌 443003)

摘要: 针对水下航行器的舱门在开启过程中航行器外形会发生变化的情况, 对航行器舱门开启过程的流体特性进行仿真分析。根据舱门开启过程的流体特性, 将得到的流体系数作为航行器动力学方程参数的变化曲线, 对舱门开启过程的运动进行了仿真, 并给出详细的计算过程。仿真结果表明: 该舱门开启过程设计合理, 随着舱门的开启, 虽然航行器的速度和攻角有所下降, 但各物理量的变化幅度仍然在常规范围内, 该方法为水下航行器存在外形变化时的运动仿真提供了思路。

关键词: 水下航行器; 运动仿真; 流体特性

中图分类号: TP391.9 **文献标志码:** A

Simulation of Underwater Vehicle's Cabin Door Opening Process

Sun Shanchun

(Simulation Center, No. 710 Research Institute of China Shipbuilding Industry Corporation, Yichang 443003, China)

Abstract: Aiming at the shape changes of the underwater vehicle at the cabin door opening, simulate hydrodynamics features of cabin door opening process. According to hydrodynamics feature of cabin door opening process, take hydrodynamics index as variation curve of vehicle dynamics equation index, simulate cabin door opening movement, then give the calculation process in detail. The simulation results show that the cabin door opening design is reasonable. When door is opening, the speed and attack angle decrease, but the changing amplitude of physical quantity is normally. The method will give reference for movement simulation when the underwater vehicle is changing in shape at movement.

Keywords: underwater vehicle; movement simulation; hydrodynamics features

0 引言

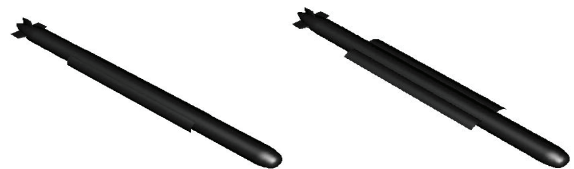
笔者研究的水下航行器具有自主航行的能力, 并且在航行过程中, 由于作业任务的需要, 会打开舱门。在舱门开启的过程中, 航行器的外形将发生变化, 这时, 航行器的流体动力特性也会随之变化。笔者先对航行器舱门开启过程的流体特性进行仿真研究, 在此基础上, 通过求解运动方程来研究舱门开启过程的航行器运动特性, 以了解水下航行器开舱过程的运动特性, 从而对设计方案进行仿真评估或对操控提供参考。

1 舱门开启过程流体动力特性仿真

1) 仿真方法简述。

舱门开启过程中, 航行器的流体动力外型会发生变化, 因此流体动力参数会随着舱门的开启而变化。此时流体动力参数是舱门开角的函数, 仿真时每 10° 开角作为一种计算状态, 共分为开角 0° 、 10° 、 20° 、 30° 、 40° 、 50° 、 60° 和 70° 共 8 种状态, 从而获得各个开角状态下的流体动力参数。求取方法采用数值水洞技术。数值水洞技术是指利用先进的 CFD 技术搭建一个在功能上类似于真实流体动力

试验环境的平台。数值水洞技术的物理模型就是真实的物理试验, 数值模型就是计算流体动力学模型, 环境平台可选用通用流体动力学软件 fluent。仿真时软件的具体设置可参考文献[1]。图 1(a)、(b) 分别为舱门开角为 20° 和 70° 时的流体动力外形。



(a) 20° 时的流体动力外形 (b) 70° 时的流体动力外形

图 1 舱门开角分别为 20° 和 70° 时的流体动力外形

2) 流体动力仿真结果。

舱门开启不同角度时的流体动力参数如图 2~图 4 所示, 分别为阻力系数、升力系数和俯仰力矩系数随攻角的变化曲线。本次仿真为单平面运动仿真, 即纵平面运动仿真, 因此主要计算纵平面的流体动力参数值。

从图 2 中可以看出: 随着舱门开角增大, 运载平台的阻力增大, 因此当推力不变时, 运载平台的速度会有所下降。

从图 3 中可以看出: 随着舱门开角增大, 升力

收稿日期: 2013-11-23; 修回日期: 2013-12-27

作者简介: 孙善春(1978—), 男, 辽宁人, 硕士, 高工, 从事水下航行体流体动力、弹道和动力学仿真研究。

系数导数(即图中曲线的斜率)将增大,这是因为舱门起到了展开翼的作用,与理论是相符的。

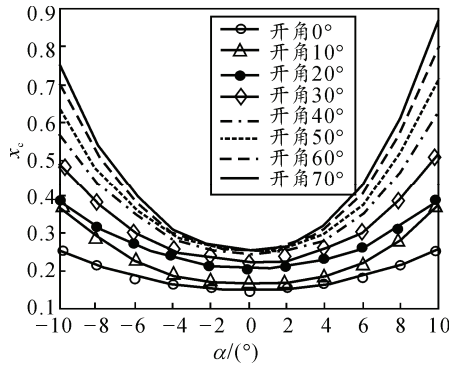


图 2 阻力系数随攻角的变化曲线

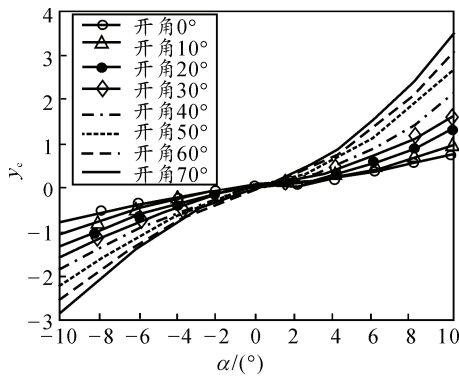


图 3 升力系数随攻角的变化曲线

从图 4 中可以看出:随着舱门开角增大,俯仰力矩系数导数(即图中曲线的斜率)将增大,这种结果一方面是升力系数增大的结果,另一方面是舱门的纵向位置决定的。俯仰力矩系数导数增大,意味着静稳定性下降,当然这种下降对运载平台的运动特性影响可以从运动特性仿真的结果来评估。

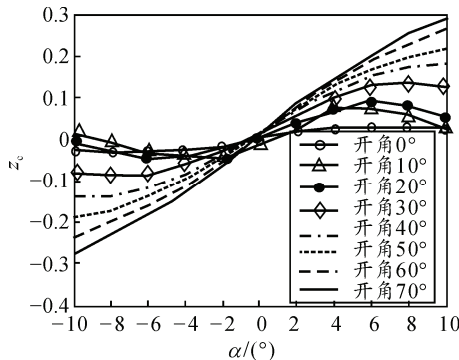


图 4 俯仰力矩系数随攻角的变化曲线

2 舱门开启过程仿真

建立航行器空间运动方程组主要用到体坐标系 $Oxyz$ 和地面坐标系 $Ox_0y_0z_0$ 2 种坐标系。体坐标系 $Oxyz$ 的原点位于航行器浮心所在横截面与航行器

轴线的交点, x 轴沿航行器轴线,指向航行器头部, y 轴位于航行器纵对称面内,垂直 x 轴,指向上方, z 轴垂直 Oxy 平面,按右手法则指向侧向。地面坐标系 $Ox_0y_0z_0$ 的原点取初始时刻航行器体坐标系的原点在水平面上的投影点; Ox_0 轴沿航行器的纵对称面与水平面的交线,指向前方; Oy_0 轴铅垂向上; Oz_0 轴按右手规则。

体坐标系用于建立航行器动力学方程,地面坐标系主要用于确定几何参数,地面坐标系和体坐标系之间的夹角确定了航行器的 3 个姿态角:俯仰角 θ 、偏航角 ψ 及横滚角 φ ,体坐标系原点在地面坐标系中的 3 个坐标: x_0 、 y_0 、 z_0 确定了航行器的空间位置。

利用动量和动量矩定理可以在体坐标系中建立如式 (1)~式 (15) 的航行器空间运动动力学方程组^[2]:

$$(m + \lambda_{11})\dot{v}_x - m y_c \dot{\omega}_z + m z_c \dot{\omega}_y + m[v_z \omega_y - v_y \omega_z - x_c(\omega_y^2 + \omega_z^2) + y_c \omega_x \omega_y + z_c \omega_z \omega_x] = -(G - B)\sin\theta + T + X \quad (1)$$

$$(m + \lambda_{22})\dot{v}_y + (m x_c + \lambda_{26})\dot{\omega}_z - m z_c \dot{\omega}_x + m[v_x \omega_z - v_z \omega_x + x_c \omega_x \omega_y + z_c \omega_y \omega_z - y_c(\omega_x^2 + \omega_z^2)] = -(G - B)\cos\theta\cos\varphi + Y \quad (2)$$

$$(m + \lambda_{33})\dot{v}_z - (m x_c - \lambda_{35})\dot{\omega}_y + m y_c \dot{\omega}_x + m[v_y \omega_x - v_x \omega_y + x_c \omega_z \omega_x + y_c \omega_y \omega_z - z_c(\omega_x^2 + \omega_y^2)] = (G - B)\cos\theta\sin\varphi + Z \quad (3)$$

$$(J_{xx} + \lambda_{44})\dot{\omega}_x + m y_c \dot{v}_z - m z_c \dot{v}_y + m y_c(v_y \omega_x - v_x \omega_y) + m z_c(v_z \omega_x - v_x \omega_z) = G\cos\theta(y_c \sin\varphi + z_c \cos\varphi) - B y_b \cos\theta \sin\varphi + M_x \quad (4)$$

$$(J_{yy} + \lambda_{55})\dot{\omega}_y + m z_c \dot{v}_x - (m x_c - \lambda_{35})\dot{v}_z + m z_c(v_z \omega_y - v_y \omega_z) + m x_c(v_x \omega_y - v_y \omega_x) + (J_{xx} - J_{zz})\omega_z \omega_x = -G(x_c \cos\theta \sin\varphi + z_c \sin\varphi) + M_y \quad (5)$$

$$(J_{zz} + \lambda_{66})\dot{\omega}_z - m y_c \dot{v}_x + (m x_c + \lambda_{26})\dot{v}_y + m x_c(v_x \omega_z - v_z \omega_x) + m y_c(v_y \omega_z - v_z \omega_y) \times (J_{yy} - J_{xx})\omega_x \omega_y = G(y_c \sin\theta - x_c \cos\theta \cos\varphi) - B y_b \sin\theta + M_z \quad (6)$$

$$\dot{\theta} = \omega_y \sin\varphi + \omega_z \cos\varphi \quad (7)$$

$$\dot{\psi} = \omega_y \sec\theta \cos\varphi - \omega_z \sec\theta \sin\varphi \quad (8)$$

$$\dot{\varphi} = \omega_x - \omega_y \tan\theta \cos\varphi + \omega_z \tan\theta \sin\varphi \quad (9)$$

$$x_0 = v_y(\sin\psi\sin\varphi - \sin\theta\cos\psi\cos\varphi) + v_z(\sin\theta\cos\psi\sin\varphi + \sin\psi\cos\varphi) + v_x\cos\theta\cos\psi \quad (10)$$

$$y_0 = v_x\sin\theta + v_y\cos\theta\cos\varphi - v_z\cos\theta\sin\varphi \quad (11)$$

$$z_0 = v_y(\sin\theta\sin\psi\cos\varphi + \cos\psi\sin\varphi) + v_z(\cos\psi\cos\varphi - \sin\theta\sin\psi\sin\varphi) - v_x\cos\theta\sin\psi \quad (12)$$

$$\alpha = -\arctan(v_y/v_x) \quad (13)$$

$$\beta = \arctan(v_z/\sqrt{v_x^2 + v_y^2}) \quad (14)$$

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} \quad (15)$$

式中： m 为质量； λ_{ij} 为附加质量； T 为推力；

(x_c, y_c, z_c) 为质心坐标； G 为重力； B 为浮力； (X, Y, Z) 为流体动力； (M_x, M_y, M_z) 为流体动力矩； (J_{xx}, J_{yy}, J_{zz}) 为转动惯量。

上述各式构成了航行器空间运动方程组，将流体系数代入方程组即可进行求解，得到各运动参数。

3 舱门开启过程仿真结果

在 Matlab/Simulink 中创建上述方程的仿真模型，并求解，具体过程参见文献[3-4]。舱门开启过程仿真结果如图 5 所示。

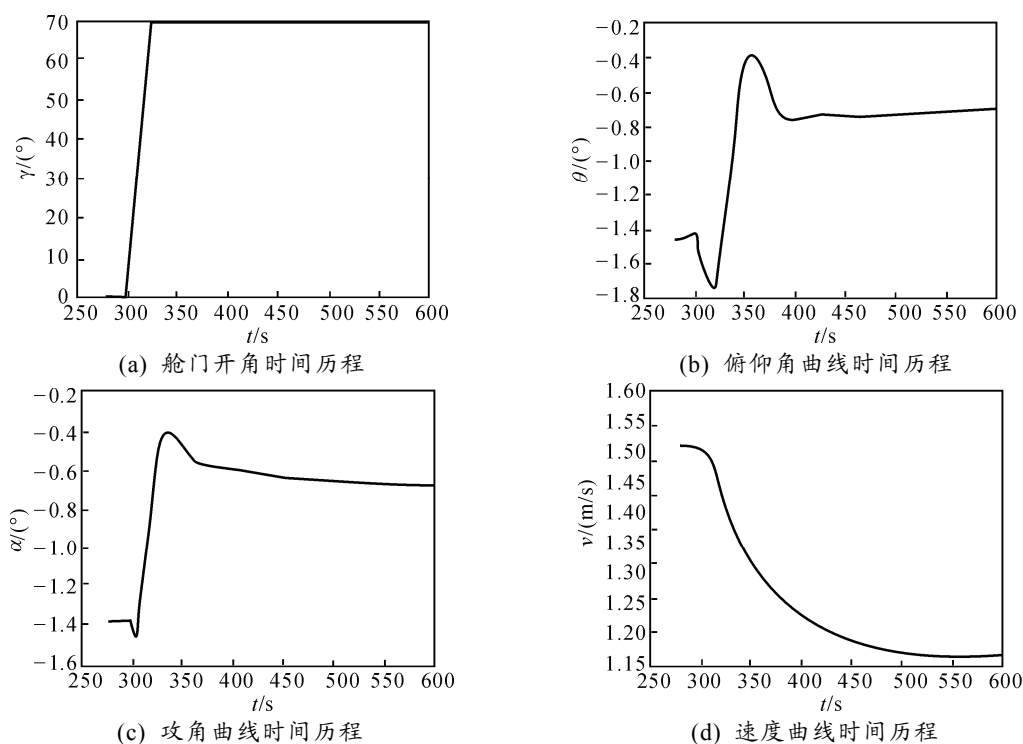


图 5 舱门开启时运动参数时历曲线

从图中可以看出：随着舱门的开启，航行器的俯仰角由原来的 1.45° 变化到 0.7° ，因为阻力增大的原因，航行器的速度有所下降，达到新平衡时的攻角有所下降。但各物理量的变化幅度仍然在常规范围内，并且变化过程也不剧烈，所以仿真结果表明舱门开启过程设计是合理的^[2, 5]。

4 结论

笔者通过变流体系数输入的方式求解水下航行器的运动方程，来研究舱门开启过程的航行器运动特性。文中介绍的仿真方法可以了解水下航行器开舱过程的运动特性，从而可以对设计进行仿真评估

或对操控提供参考，并为水下航行器存在外形变化时的运动仿真提供了思路。

参考文献：

- [1] 王福军. 计算流体动力学分析[M]. 北京：清华大学出版社, 2004: 185-253.
- [2] 严卫生. 鱼雷航行力学[M]. 西安：西北工业大学出版社, 2005: 39-46.
- [3] 刘甜甜, 秦峰, 朱晓勇, 等. 水下自主导航机器人系统[J]. 兵工自动化, 2012, 31(11): 66-72.
- [4] 沈建森, 朱书平, 周徐昌. 基于 Matlab/Simulink 的水下航行器建模与仿真[J]. 兵工自动化, 2012, 31(2): 24-27.
- [5] 李天森. 鱼雷操纵性[M]. 北京：国防工业出版社, 1997: 28-39.