

# NACA0020 剖面舵水动力性能研究

张晨亮<sup>1,2,3</sup>, 刘小健<sup>1,2</sup>, 夏召丹<sup>1,2</sup>, 万德成<sup>3</sup>, 王金宝<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup>上海市船舶工程重点实验室, <sup>2</sup>中国船舶与海洋工程设计研究院)

(<sup>3</sup>上海交通大学, 船舶海洋与建筑工程学院, 上海, 200210, Email: Jzhang\_maric@163.com)

**摘要:** 重点研究了 NACA0020 剖面舵水动力性能, 旨在研究舵翼型与其升阻力性能的关系, 为实船舵型选取提供理论支持, 本研究使用水池试验和基于重叠网格 IDDES 的 CFD 仿真两种方法对该舵型进行研究, 于此同时我们还研究了我所自主设计的凹翼型舵进行对比研究, 由于篇幅限制主要通过 CFD 方法进行流场分析对该舵型水动力性能进行理解分析。

**关键词:** NACA0020, 重叠网格, IDDES

## 1 引言

对于内河船舶而言由于航道的特殊情况, 船舶的操纵性非常重要, 其中回转性主要与舵的升力有关, 因此对于舵的水动力学, 尤其是大攻角时水动力性能的研究就显得尤为重要, 这对于船舶设计阶段舵翼型的选取以及舵机的匹配以及实船使用阶段航行的指导都有重要的意义。本研究即针对我单位设计的内河、远洋两用船舶的舵翼型选取, 对常规 NACA0020 翼型舵水动力性能进行研究, 给出其在不同攻角下的升力、阻力性能变化, 同时对其流场特性进行展示与分析, 增强对舵水动力性能的认识, 积累经验, 进一步指导船舶设计过程中舵翼型的选取。

本研究使用 CFD 方法对该舵翼型舵的水动力性能进行研究, 其中 CFD 求解器使用我单位基于 OpenFOAM 开源 CFD 程序库自主开发的求解器 overFoam-MARIC, 该求解器集成重叠网格技术, 能有效处理舵大角度旋转运动, 针对大攻角状态流场边界层分流剧烈的情况, CFD 计算使用 IDDES 湍流模型, 确保对分离涡流进行有效的捕捉。本研究对 NACA0020 翼型舵 5°攻角到 40°攻角的状态进行了数值计算, 对应的我们也对我单位改进的 MARIC 舵型进行了相同工况的计算, 同时在针对两种舵型水动力性能我们也进行了试验研究, 本次工作旨在对比两种翼型的水动力性能, 积累相关的设计经验, 同时通过 CFD 精细流场的理解分析, 找到不同翼型舵水动力性能与其流场的关系, 进一步指导设计, 由于篇幅限制, 只对 5°~40°攻角下 NACA0020 翼型 CFD 计算结果进行展示分析, 探讨流场

细节与舵升力、阻力等水动力性能间的关系。

表 1 舵型参数

| 项 目             | 单位    | 实舵         | 舵模     |
|-----------------|-------|------------|--------|
| 舵型              | -     | NACA0020 型 |        |
| 舵面积 $A_R$       | $m^2$ | 62.07      | 0.0686 |
| 舵高 $h_R$        | m     | 9.45       | 0.315  |
| 平均舵宽            | m     | 6.57       | 0.219  |
| 底面舵宽            | m     | 6.30       | 0.210  |
| 顶面舵宽            | m     | 7.59       | 0.253  |
| 展弦比 $\lambda_k$ | -     | 1.438      |        |

计算使用重叠网格技术,计算网格使用背景网格+贴体网格的方式,对于不同攻角算例,只需转动贴体网格,背景网格保持不动,背景进流、出流、远场边界条件保持不变。入口流速为 3m/s 与水池试验一致。

### 3 数值方法

本研究 CFD 计算,使用基于 OpenFOAM 开发的重叠网格求解器 overFoam-MARIC<sup>[1]</sup>,其主要求解流程与 OpenFOAM 自带求解器类似,控制方程包括连续性方程和动量方程,湍流模型采用 kOmegaSSTIDDES,速度压力解耦采用 OpenFOAM 特有的 PIMPLE 算法,方程离散,时间导数项使用二阶退步格式,对流项使用带限制的中心差分格式,扩散项使用中心差分格式,保证了有限体积法二阶离散精度。

### 4 计算结果分析

该舵型的阻力升力随攻角的变化如图 1 所示,其中阻力随着攻角的增大而增大,趋势与文献[2-3]中所示的 NACA0012, NACA0024 舵型的阻力趋势相同,关于升力的计算,在大攻角情况下舵会出现失速现象,即升力随攻角增大而减小,而阻力会加速增加,本研究的计算中舵攻角计算到 40°仍未出现升力减小现象,阻力增加趋势明显,但升力的增加趋势已经变缓,在[2]中,其 CFD 计算也未捕捉到失速现象;文献[4]等中对一系列的 NACA 舵型的水动力性能进行了试验或者数值分析,大部分 NACA 舵型在 35°前会出现失速现象,但文章中研究的舵型均为弦长沿高度方向不变化,或均匀缓慢变化的简单舵型,而文章中也证明所研究的带有弦长变化的舵型会存在失速角延迟的现象,这也与我们水池试验

的结果吻合。这其中的原因不难解释，对于等弦长舵型，失速的原因是攻角增大时叶背脱离点前移导致整个叶背处在紊流中，叶背流速降低压强增大，导致与叶面的压差相对小攻角状态减小或者增加不大，再加上舵叶法向量随着攻角的增大沿升力方向分量变小，沿阻力方向分量变大，所以导致升力的减小，但对于本研究舵型，由于高度方向上弦长不等，所以不同高度截面涡脱落位置不同，不同高度脱落的涡相互干扰，不会形成明显的压差减小，因此在本研究计算中并未出现失速现象，当然随着攻角的增大舵面法相分量逐渐与阻力方向一致肯定会出现升力减小的情况，但船舶舵转角一般在  $40^\circ$  以内，所以更大的攻角这里就不做研究。此外雷诺数的不同也会对舵的升阻力性能产生影响，本研究考虑的为舵的模型尺寸，雷诺数为  $1e6$  量级，而实船的为  $1e8$  量级，也会导致失速现象的提前发生。

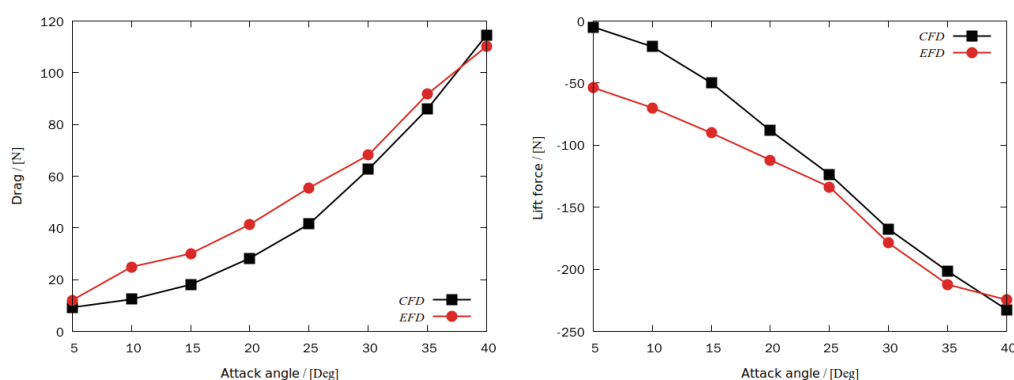


图1 阻力、升力随攻角变化曲线

从流场结构来看，速度场图 2 可以看出水流打在舵上形成驻点，在叶面速度较低，尤其是大攻角的工况，而叶背面在导边处由于扰流速度较高，也会因此形成低压区，这就是舵叶升力的流动机理，之后叶背处流动会分离，在舵背面会形成一定的死水区，之后叶背、叶面的来流会相互作用形成交替的涡结构；从图 3 截面的流线和涡强度场可以看出，在叶面流动分离发生在接近随边的位置，随着攻角的增大涡脱落强度逐渐增大，在叶背流动分离在小角度工况下分离位置在导边之后，随着攻角的增大涡脱落位置逐渐向导边移动在  $35^\circ$ 、 $40^\circ$  攻角下几乎在导边处就发生了分离，涡强度也是随着攻角增大而增强，正如上文中讨论的失速原理，在小角度工况下，叶背流动分离位置接近随边位置，随着攻角的增大向导边位置移动，导致叶背压力增加与叶面压差减小，而本研究考虑的舵型在  $5^\circ$  攻角下叶背流动分离位置已经接近导边位置，叶背后存在死水区，攻角增大叶背压差变化不大，因而本文考虑舵型在  $40^\circ$  攻角下仍未出现失速现象，与一般 NACA 翼型不同。

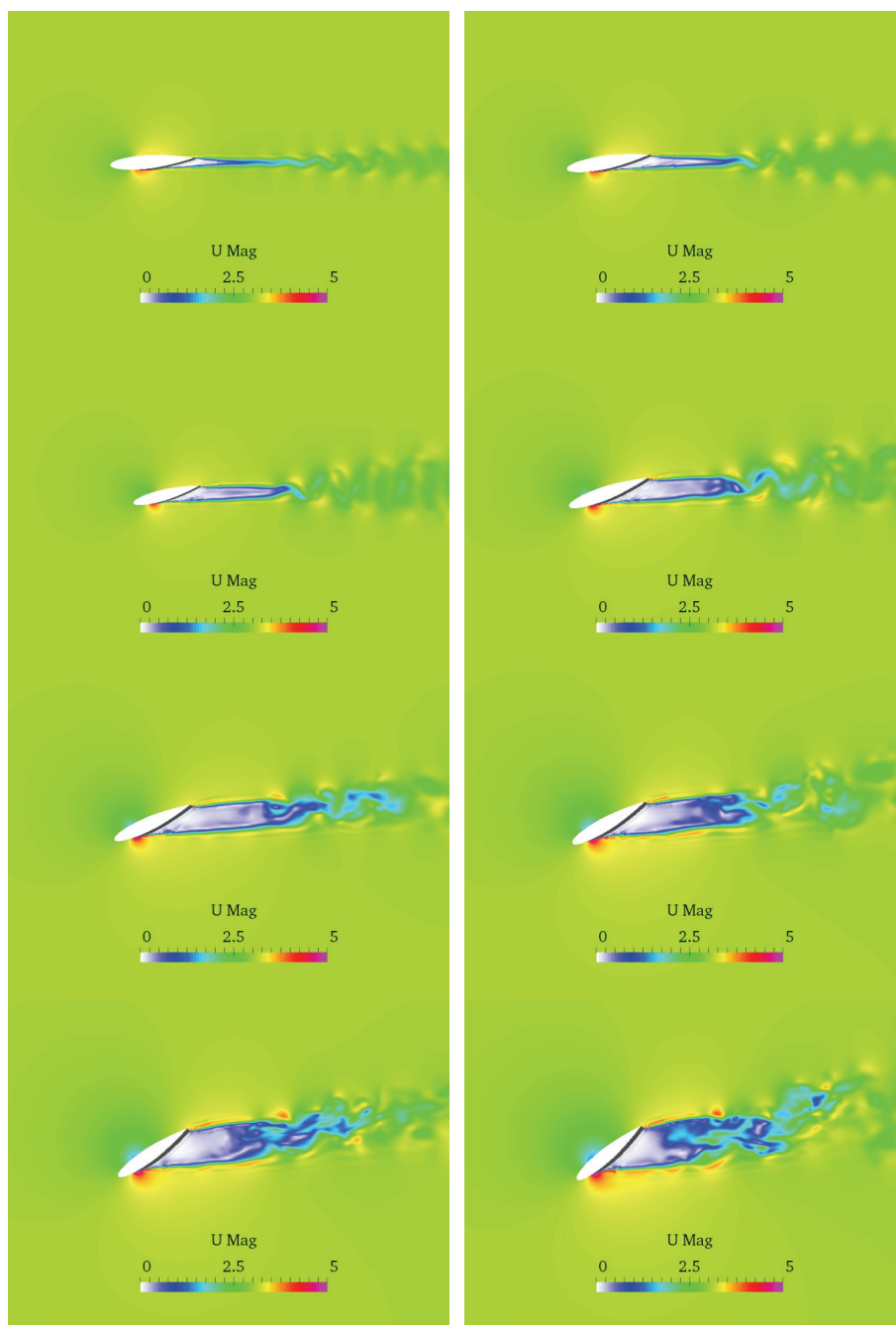


图 2 不同攻角下水平截面速度场云图

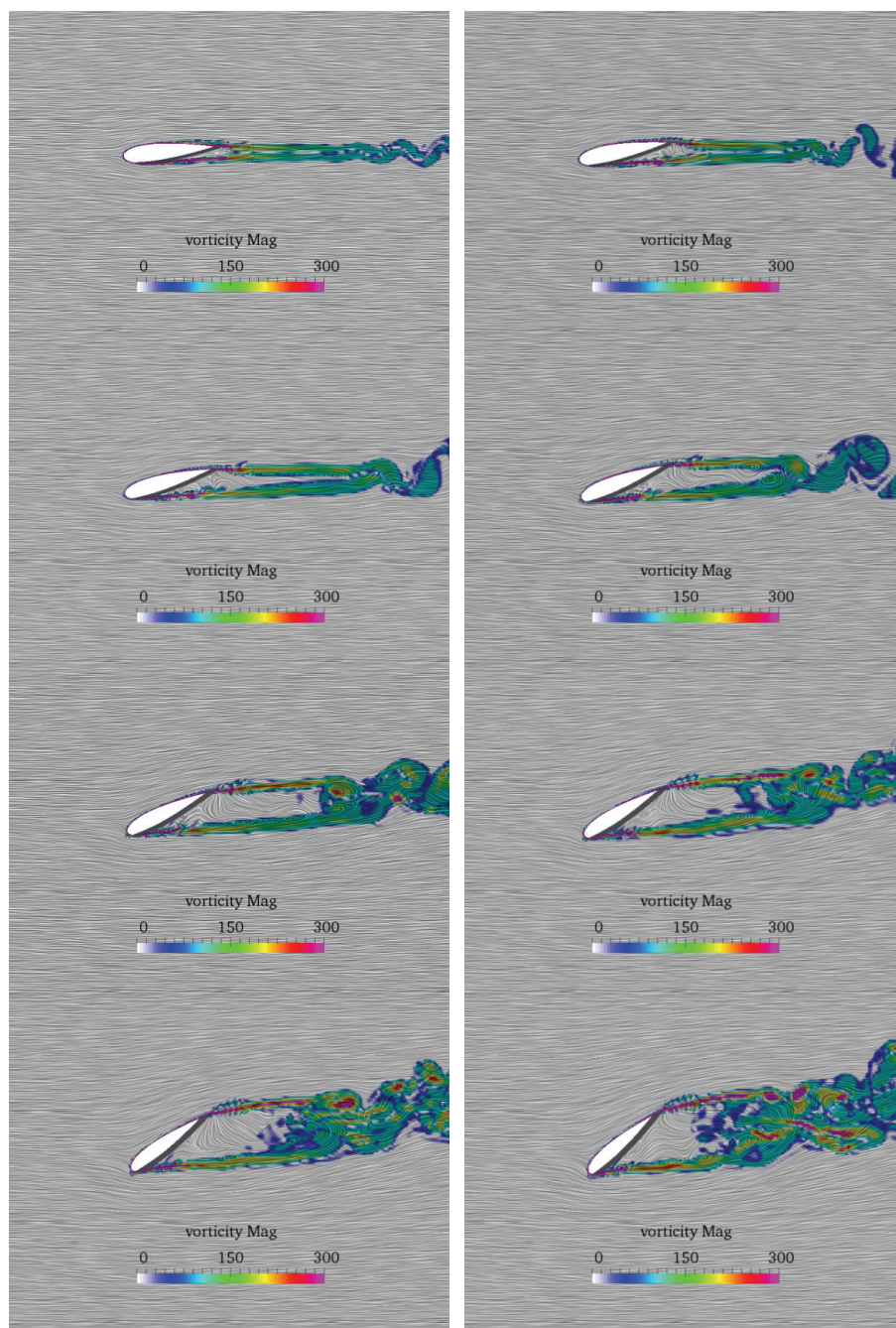


图3 不同攻角下水平截面涡量场云图

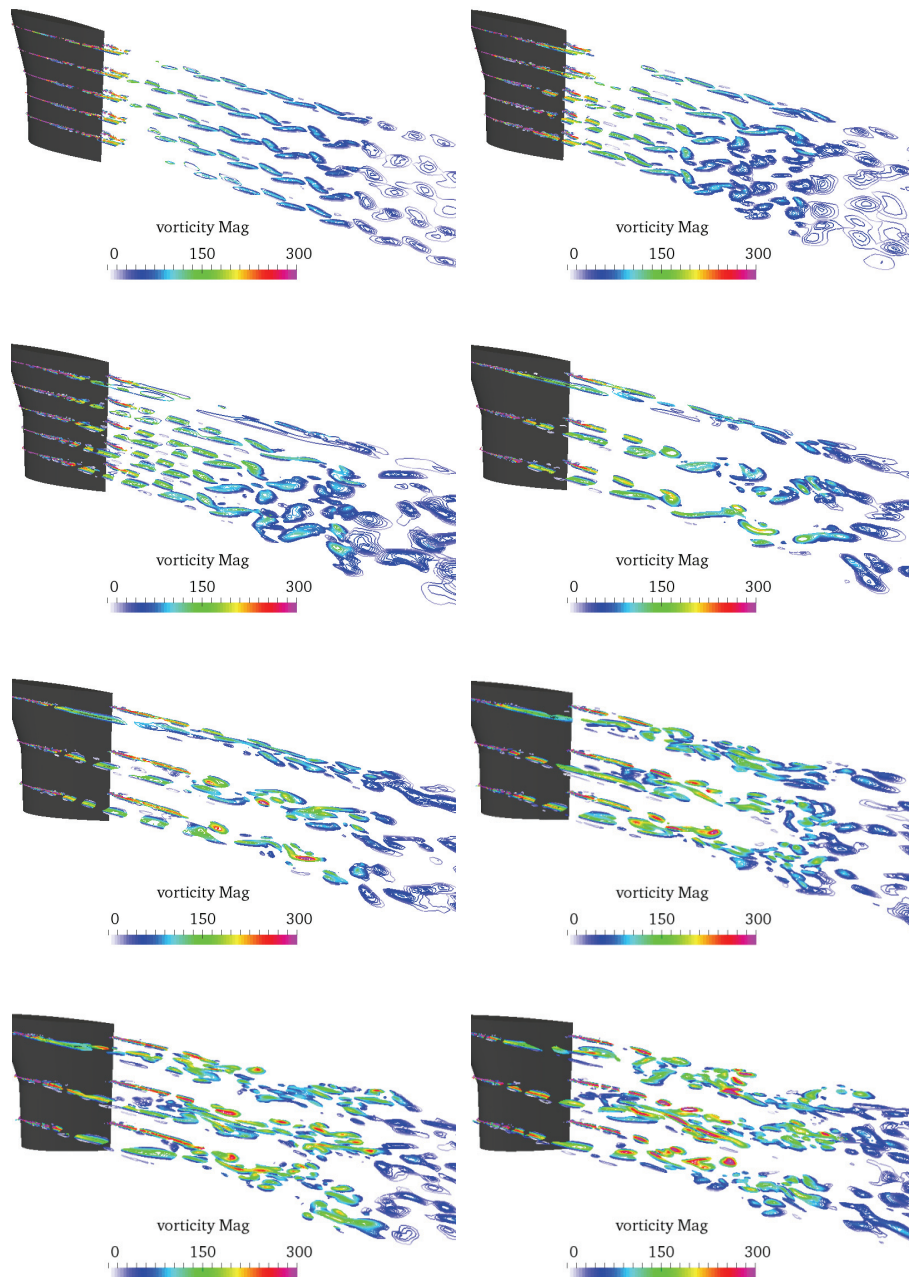


图4 不同攻角下不同垂向位置水平截面涡等值线图

图4给出了不同截面处的涡结构，可以看出小攻角情况每个截面的涡情况为规则

的交替涡流，且垂向不同截面涡结构相似，随着攻角的增大涡流强度逐渐增大，且不同截面的我结构差异逐渐显示出来，猜测这种垂向的不均匀性也是本文研究舵型未发生明显失速现象的一个原因。

## 参 考 文 献

- 1 Zhang Chenliang, Liu Xiaojian, Fan Sheming. Implementation of overset grid in OpenFOAM and its application to ship maneuvering. Exeter, UK, 2017.
- 2 Tasif Tahsinul Haque, Rahman Habibur, Fazle Arafat Bin, et al. Numerical prediction of flow past a marine rudder. Procedia Engineering, 2017, 194: 59–66.
- 3 Van Nguyen Trieu, Ikeda Yoshiho. Hydrodynamic characteristic of rudder sections with high lift force. J Jpn Soc Naval Archt Ocean Eng, 2013, 19: 403-406.
- 4 Carr Jared, Ferraz Rafael, Gao Songqi, et al. Investigation of the effect of tubercles on airfoil performance. 2014.
- 5 Miller Steven. Lift, drag and moment of a NACA 0015 airfoil. Department of aerospace engineering, 2008, 28.

### Investigation of hydrodynamics of a NACA0020 section rudder

ZHANG Chen-liang<sup>1,2,3</sup>, LIU Xiao-jian<sup>1,2</sup>, XIA Zhao-dan<sup>1,2</sup>, WAN De-cheng<sup>3</sup>, WANG Jin-bao<sup>1,2</sup>

(1 Shanghai Key laboratory of Ship Engineering, 2 Marine Design and Research Institute of China)

(3 Shanghai Jiao Tong University, Naval Architecture and Civil Engineering, Shanghai, 200210, Email: Jzhang\_maric@163.com)

**Abstract:** This paper focuses on the hydrodynamic performance of NACA0020 section rudder, aiming to study the relationship between the rudder airfoil and its lift resistance performance, and provides theoretical support for the selection of rudder type of actual hull. This paper uses towing tank test and CFD simulation based on overset grid and IDDES turbulence model. The rudder type was studied. At the same time, we also studied the comparative study of our own designed concave airfoil rudder. Due to space limitations, this paper mainly analyzes the NACA rudder hydrodynamic performance through the flow field given by CFD method.

**Key words:** NACA0020, Overset, IDDES.