

## 虾蟹塘投饵船三叶螺旋桨设计及水动力仿真分析

陈雷雷, 冉胡泽, 胡庆松, 李俊

## Hydrodynamic simulation analysis of three-blade propeller of shrimp and crab pond feeding boat

CHEN Leilei, RAN Huze, HU Qingsong, LI Jun

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12024/jsou.20200503028>

### 您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

#### 渔船螺旋桨图谱设计分析

Propeller design analysis of trawler

大连海洋大学学报. 2000, 15(3): 227 <https://doi.org/10.12024/jsou.200003027>

#### 基于动网格与滑移网格混合技术的导管螺旋桨推力研究

Research of the Ducted Propeller' Thrust Based on Hybrid Technique of Moving Grid and Sliding Grid

广东海洋大学学报. 2017, 37(4): 105 <https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-9159.2017.04.016>

#### 渔船螺旋桨优化节能效果研究

Research on energy-saving of propeller of fishing vessels

渔业现代化. 2014, 41(3): 65 <https://doi.org/10.3969/j.issn.1007-9580.2014.03.013>

#### 船载投饵装置平衡抖料系统设计与试验

Design and test of balanced shaking system for boat-borne bait feeding device

上海海洋大学学报. 2020, 29(6): 928 <https://doi.org/10.12024/jsou.20190802773>

#### 螺旋桨导管的一种简易修复法

A Simple Method to Repair the Erodible Propeller Ducts

大连海洋大学学报. 1995, 10(1): 39 <https://doi.org/10.12024/jsou.199501039>

#### 自动投饵船及其测控系统的设计与开发

Design of an automatic feeding boat and its control system

渔业现代化. 2013, 40(6): 30 <https://doi.org/10.3969/j.issn.1007-9580.2013.06.007>

文章编号: 1674-5566(2021)05-0893-12

DOI:10.12024/jsou.20200503028

## 虾蟹塘投饵船三叶螺旋桨设计及水动力仿真分析

陈雷雷, 冉胡泽, 胡庆松, 李俊

(上海海洋大学 工程学院, 上海 201306)

**摘要:** 为提高虾蟹塘投饵船投饵精确率,降低工作能耗,增加工作稳定性及可靠性,提出一种针对虾蟹塘投饵船的三叶螺旋桨设计方法。根据船体尺寸和整体功耗上限确定3种适宜虾蟹塘投饵船搭载的螺旋桨,直径尺寸分别为0.05、0.06和0.07 m,并以船舶螺旋桨射流理论方程和叶片边缘点坐标方程为基础,通过叶片边缘三维坐标生成三维叶片曲线,从而建立螺旋桨三维模型。应用Ansys CFD软件,采用雷诺平均纳维叶-斯托克斯(RANS)方程以及SST  $k-\omega$  湍流模型构建水动力仿真实验,分析螺旋桨最大轴向射流速度与平均轴向射流速度之间的误差,通过分析各螺旋桨叶片截面压力、转速以及平均轴向射流速度之间的关系来获得具有较好敞水性能的螺旋桨。通过虾蟹塘实地试验,分析实际船速与最大轴向射流速度之间的误差,验证螺旋桨设计的可靠性,同时在满足虾蟹塘投饵船船速、船体推力以及整体功耗的情况下,以螺旋桨工作效率为试验指标,对比在不同转速下各直径螺旋桨的实际工作效率。结果表明:针对虾蟹塘投饵船螺旋桨的设计方法是可行的,实际船速与最大轴向射流速度之间的误差小于10%,同时,虾蟹塘投饵船在搭载直径0.07 m螺旋桨、转速3 500 r/min时,螺旋桨工作能耗为135 W,最高平均船速为1.46 m/s,工作效率达70.9%。

**关键词:** 虾蟹养殖; 投饵船; 螺旋桨; 敞水性能

**中图分类号:** S 951 **文献标志码:** A

中国是水产养殖大国,2018年我国水产养殖总产量达4 991万t,占全国水产品总产量比例达77%以上。作为水产养殖的重要组成部分,虾蟹养殖的规模逐年增加,2018年,虾产量409.04万t,同比增长16.44%,蟹产量105.07万t,同比增长1.32%<sup>[1]</sup>。在养殖规模增长、人工成本增加、养殖生态化要求提高的背景下,虾蟹塘投饵船作为一种虾蟹养殖自动化设备,逐渐为人们所重视。虾蟹塘工作要求及环境特殊,对投饵船的运行速度和整体功耗有较高的要求,且投饵船动力系统布局空间有限,这使得推进装置的研究成为虾蟹塘投饵船成功与否的关键之一。

近年来,我国在自动化虾蟹塘投饵船设备的探索和推广上开展了一系列的工作。综合国内文献,虾蟹塘投饵船推进装置主要分两种方式。第一种是使用明轮作为推进装置,胡庆松等<sup>[2]</sup>和程志金<sup>[3]</sup>研究设计了一种基于明轮驱动虾塘自

主导航投饵船,平均船速达0.72 m/s,具有良好的抗风性,但工作效率仅为31.79%。第二种是使用螺旋桨作为推进装置,孙月平等<sup>[4]</sup>研究设计了一种空气螺旋桨风力驱动投饵船,试验表明投饵船具有良好的稳定性,但平均船速只有0.42 m/s,效率损耗较大。胡庆松等<sup>[5]</sup>研究设计了一种直径为0.1 m的三叶小型螺旋桨作为推进装置,其螺旋桨工作状态为浸没式,试验表明空载投饵船船速能够达到1.2 m/s,满载时可达1.02 m/s,并通过研究使用螺旋桨推进虾蟹塘投饵船的饵料负载试验表明,当平均船速达到1 m/s时,投饵船的工作效率较人工精细化管理养殖效率提高50%。因此相比于低船速、高能耗以及低效率的明轮以及半潜式水上风力螺旋桨作为推进装置,水下螺旋桨显然拥有更好的研究价值。

本研究虾蟹塘投饵船载体,由于其船体尺寸较小,船体尾部浮重部分距离船体底部的尺寸不

收稿日期: 2020-05-03 修回日期: 2020-08-17

基金项目: 上海市科技兴农推广项目(沪农科推字[2018]第14号);国家自然科学基金(51309150)

作者简介: 陈雷雷(1981—),男,副教授,博士,研究方向为农业装备及其自动化。E-mail: llchen@shou.edu.cn

通信作者: 胡庆松, E-mail: qshu@shou.edu.cn

足0.1 m,因此螺旋桨的直径通常小于0.1 m,是一种特殊类型的小型螺旋桨,螺旋桨桨叶数量与转速成反比趋势。若使用高转速多叶螺旋桨,则桨叶转过的地方会产生真空,无法产生推力,根据本文选定的高转速电机,设定三叶小型螺旋桨作为主要研究目标较为合适。小型螺旋桨的仿真理论已有一些国内外学者对其开展了有意义的研究。林伟豪等<sup>[6]</sup>利用 Fluent 研究小型螺旋桨射流的 CFD 模型,结果表明小型螺旋桨射流具有完整性,并可以根据 CFD 软件预测螺旋桨尾流速度。螺旋桨周围的湍流计算使用雷诺平均纳维叶-斯托克斯方程(Reynolds-Averaged Navier-Stokes, RANS),实验表明使用 RANS 计算预测螺旋桨的整体性能和流动特性方面取得了合理的一致性<sup>[7-13]</sup>。姜东栓<sup>[14]</sup>、杨美红等<sup>[15]</sup>、孙承亮等<sup>[16]</sup>采用 SST k- $\omega$  湍流模型和 SIMPLE 算法分析了螺旋桨在不同进速系数下的推力、扭矩与表面压力分布特点,并指出 SST k- $\omega$  模型在预测小型螺旋桨的整体敞水性能和流量特性时为较佳的湍流模型。OCHI 等<sup>[17]</sup>和王诗洋等<sup>[18]</sup>通过数值模拟方法对螺旋桨毂的研究表明,桨毂造成毂涡可导致螺旋桨叶片最小5%的整体推力下降。但目前,针对小型螺旋桨尺寸、转速与功耗之间的匹配优化研究较少。

因此,本文基于虾蟹塘投饵船的具体工作环境及船体尺寸上限,提出一种虾蟹塘投饵船三叶小型螺旋桨设计方法。通过理论计算以及 CFD 仿真分析,研究虾蟹塘投饵船小型螺旋桨尺寸、转速与功耗之间的匹配优化问题。最后通过虾蟹塘实地实验计算螺旋桨实际工作效率,验证了本文提出的螺旋桨设计、仿真与实验方法的实用性和可靠性。

## 1 投饵船螺旋桨的分析与设计

### 1.1 背景及基本尺寸分析

所研究三叶小型螺旋桨(以下简称螺旋桨)以双体式船式虾蟹塘投饵船为应用对象。虾蟹塘投饵船集成 GPS 导航、三轴陀螺仪、姿态传感器、电子罗盘、自动投饵系统、螺旋桨推进系统等高精度、高可靠性设备,搭载移动式投饵装置平衡抖料系统,主要可用于虾塘和蟹塘的投料饲养工作,以遥控和自控两种方式在虾蟹塘进行

精确投饵,可以实现远程投饵或无人自主投饵<sup>[19-20]</sup>,而螺旋桨决定了投饵船的运行速度、稳定性及能耗,是投饵船成功与否的关键所在。

虾蟹塘投饵船搭载两个螺旋桨作为推进装置,其双螺旋桨的运行具有左右对称性,螺旋桨叶片旋转具有轴对称性<sup>[21]</sup>。如图1所示,单船体尾部浮重距船体底部的距离只有0.08 m,构成了螺旋桨的直径尺寸上限。桨毂作为螺旋桨的核心轴,其性能的优劣影响螺旋桨在水中的敞水性能表现<sup>[22]</sup>,虾蟹塘投饵船工作受池塘内增氧管线、水草等影响,为保证船体工作时不搁浅,桨毂长度应小于导流罩长度0.2 m(图1),同时螺旋桨桨毂直径应不小于螺旋桨直径的14%来满足其足够的强度支撑叶片。根据刘爱兵等<sup>[23]</sup>的研究,具有一定弧度的桨毂所受阻力较小,抗空化能力较优。因此,选定虾蟹塘投饵船螺旋桨的圆弧形桨毂直径  $D_h$  为 0.012 5 m,桨毂长度为 0.025 m,螺旋桨直径  $D_p$  尺寸分别为 0.05 m、0.06 m 和 0.07 m 进行研究。

### 1.2 螺旋桨轴向射流计算

螺旋桨射流速度由3个速度分量与湍流强度组成,其中轴向射流速度是造成射流沿中心轴方向流动的主要速度分量。由此通过选定螺旋桨射流的初始流出速度可以预测整个螺旋桨的轴向射流分布,获得螺旋桨射流发展区的最大轴向射流速度。在理想状态下,螺旋桨流出速度方程<sup>[24]</sup>和流出系数方程<sup>[6]</sup>的表达式如下:

$$1 - C_t = V_o/nD_p \quad (1)$$

$$E_o = (D_p/D_h)^{-0.403} C_t^{-1.79} \beta^{4.93} \quad (2)$$

式中: $V_o$ 为流出速度,m/s; $E_o$ 为流出系数,0.8~0.9; $n$ 为螺旋桨转速,r/s; $D_p$ 为螺旋桨直径,m; $C_t$ 为螺旋桨推力系数; $D_h$ 为螺旋桨轮毂直径,m; $\beta$ 为叶片盘面比。

虾蟹塘投饵船螺旋桨直径小于0.1 m,因此取流出系数  $E_o = 0.8$ ,流出速度  $V_o = 2$  m/s。以螺旋桨直径  $D_p = 0.07$  m、转速  $n = 58$  r/s 为例,根据公式1可得理想状态下螺旋桨的推力系数  $C_t = 0.51$ 。圆弧形桨毂直径  $D_h = 0.012 5$  m,根据式2可得直径0.07 m的螺旋桨叶片盘面比的大小为  $\beta = 0.862$ ,同理直径为0.05 m以及0.06 m的螺旋桨叶片盘面比经计算分别为  $\beta = 0.699$  和  $\beta = 0.799$ ,推力系数  $C_t$  分别为0.31和0.43。

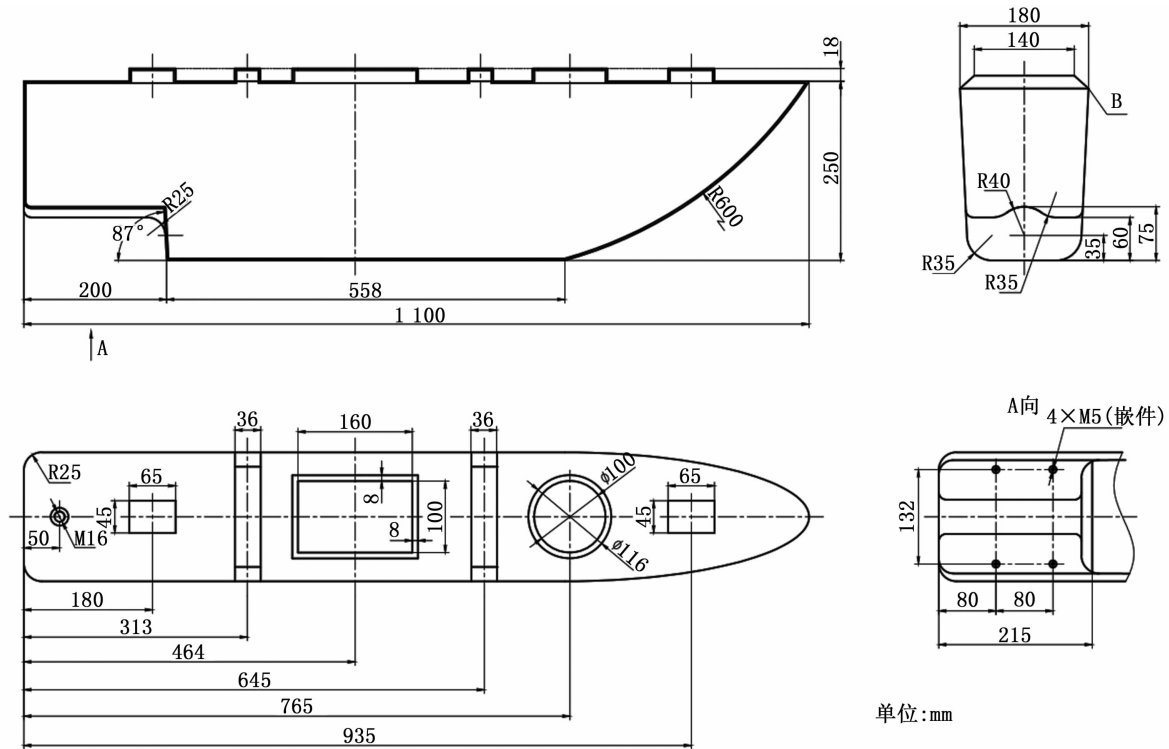


图1 虾蟹塘投饵船单船体尺寸示意图

Fig.1 Schematic diagram of single hull size of shrimp and crab pond feeding boat

通过螺旋桨流出速度可推导螺旋桨射流发展区最大轴向射流速度,其方程如下:

$$V_{\max}/V_o = 0.59(x/D_p)^{-\beta/4} \quad (3)$$

式中: $V_{\max}$ 为最大轴向射流速度, m/s;  $x$ 为距初始流出平面的轴向距离, m。

根据 STEWART 等<sup>[25]</sup> 研究表明螺旋桨最大轴向射流速度只有在  $x/D_p = 0.35$  以内有效, 超过该距离后, 轴向射流速度沿着螺旋桨射流轴线将呈现逐渐衰减状态, 直到  $x/D_p = 3.25$  衰减结束。根据螺旋桨最大轴向射流速度的有效性, 将  $x/D_p = 0.35$  以及上述所得各螺旋桨叶片盘面比代入公式 3, 可得螺旋桨直径  $D_p = 0.07$  m 最大轴向射流速度  $V_{\max} = 1.48$  m/s。同理直径为 0.05 m 以及 0.06 m 螺旋桨在转速  $n = 58$  r/s 时其射流发展区最大轴向射流速度分别为 1.41 和 1.46 m/s。

螺旋桨最大轴向射流速度与螺旋桨实际工作时的推进速度(以下简称船速)存在误差, 因此需要通过 CFD 软件建立水动力仿真模型计算得出螺旋桨平均轴向射流速度。根据射流内任何截面处的平均速度分布遵循高斯正太分布, 射流发展区平均轴向射流速度的横向分布方程<sup>[26]</sup>

如下:

$$V_{x,r}/V_{\max} = e^{\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{d-R_{mo}}{R_{mo}+0.075(x-R_p)}\right)^2\right]} \quad (4)$$

式中: $V_{x,r}$ 为平均轴向射流速度, m/s;  $d$ 为距旋转轴线的径向距离, m;  $R_{mo}$ 为平均轴向射流速度位置, m;  $R_p$ 为螺旋桨半径, m。

由式(4)可知, 当距旋转轴线的径向距离越大分布越广时, 螺旋桨平均轴向射流速度将越大, 根据螺旋桨射流速度分量原理, 当螺旋桨的平均轴向射流速度越高时, 螺旋桨的船速以及敞水性能也更高。根据式(3)可知螺旋桨轴向射流速度在  $x/D_p = 3.25$  衰减结束, 以螺旋桨直径 0.07 m 为例, 即距初始流出平面的轴向距离  $x = 0.228$  m 时, 螺旋桨轴向射流速度为最小值, 因此取平均轴向射流速度位置  $R_{mo} = 0.13$  m。

### 1.3 叶片边缘方程

将螺旋桨叶片边缘的一点沿旋转轴中心展开, 其旋转一周所留下的轨迹线为螺旋线, 将螺旋线展开, 则成为一条与旋转轴线夹角为  $\Phi$  的螺距线, 螺距线与旋转轴线的端点形成几何三角形, 桨叶角及三维坐标方程如下:

$$\begin{cases} \Phi = \arctan \frac{p}{2\pi r} \\ \sin \Phi = z/L \\ \cos \Phi = r\theta/L \end{cases} \quad (5)$$

式中:  $p$  为螺距,  $m$ ;  $z$  为轴向坐标距离,  $m$ ;  $L$  为基准点距离前缘边缘点或后缘边缘点的距离,  $m$ 。

以直径 0.07 m 螺旋桨为例, 其叶片的参数如表 1 所示。

表 1 直径 0.07 m 螺旋桨叶片参数  
Tab.1 Parameters of propeller blade with a diameter of 0.07 m

截面半径 Section radius/mm	基准点距后缘 Datum point from trailing edge/mm	基准点距前缘 Datum point from leading edge/mm
0.9	9.91	-9.91
11.6	24.41	-24.41
30.5	15.36	-15.36
35.0	0	0

#### 1.4 建立几何模型

结合上述理论计算所得的螺旋桨几何参数以及虾蟹塘投饵船工作实际需求, 虾蟹塘投饵船螺旋桨以转速 3 500 r/min 为例, 其设计应该满足的主要技术指标如表 2 所示。

表 2 虾蟹塘投饵船三叶小型螺旋桨参数统计  
Tab.2 Parameter statistics of three-blade small propeller of shrimp and crab pond feeding boat

参数项 Parameter item	螺旋桨直径 $D_p/m$		
	0.05	0.06	0.07
轮毂直径 $D_h$ Wheel diameter/m	0.012 5	0.012 5	0.012 5
叶片盘面比 $\beta$ Blade-to-disk ratio	0.699	0.799	0.862
推力系数 $C_t$ Thrust coefficient	0.31	0.43	0.51
最大轴向射流速度 Maximum axial jet velocity/(m/s)	1.40	1.44	1.47

利用表 1 叶片参数及公式(5), 经过轴坐标系换算得出虾蟹塘螺旋桨的叶片边缘三维坐标(如表 3 所示的 0.07 m 直径螺旋桨坐标), 同理可得 0.05 和 0.06 m 直径的三维坐标。由表 3 三维叶片边缘点可获得叶片曲线, 如图 2 所示(其中 A1 点与 A8 点重合), 然后进行曲面填充加厚即可获得螺旋桨单叶片的三维模型。3 种不同直径的虾蟹塘投饵船螺旋桨三维模型如图 2 所示。

表 3 螺旋桨直径(0.07 m)叶片边缘点三维坐标  
Tab.3 Three-dimensional coordinates of blade edge points of propeller diameter (0.07 m)

坐标点 Coordinate points	x/mm	y/mm	z/mm
A1	0	3	0
A2	0.9	8.18	11.5
A3	11.6	24.18	12.5
A4	30.5	15.18	4.5
A5	35	0	-3
A6	32.5	-7.18	-8
A7	7.6	-2.53	-13.5
A8	0	3	0

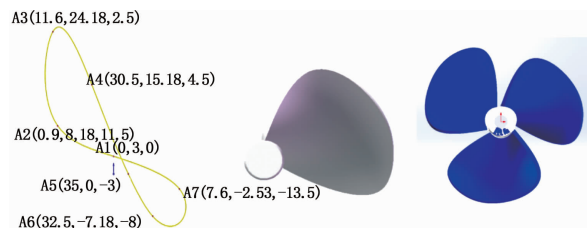


图 2 螺旋桨叶片边缘三维曲线及叶片填充模型

Fig.2 Three-dimensional curve of the propeller blade edge

## 2 螺旋桨 CFD 仿真分析

### 2.1 CFD 控制方程及湍流模型

螺旋桨的敞水性能即螺旋桨单独模型在均匀水流中发出的推力功率与收到功率的比值, 它可以预测螺旋桨在水中的射流速度, 并提供详细的流场参数和趋势, 通过流场趋势的优良与否来检验分析螺旋桨在水中的工作效率。CFD 数值模拟是水动力仿真的一个重要步骤, 在螺旋桨敞水性能预测中, 它可以有效地预测螺旋桨周围射流分布, 缩短设计周期。近年来由于计算机性能的不提高, CFD 软件的湍流模型以及离散方案的改进, RANS 方程的求解变得更加精确<sup>[27]</sup>。为进一步分析所设计的虾蟹塘投饵船螺旋桨的敞水性能, 采用 Ansys CFD 软件求解未知雷诺应力项 RANS 方程来模拟螺旋桨在水中工作时周围的流场流动。根据孙承亮等<sup>[16]</sup>基于 CFD 的对转螺旋桨水动力的分析研究表明: RANS 方程和 SST  $k-\omega$  模型在小型螺旋桨水动力模拟计算中具有计算误差最小的优势。基于上述结论, 虾蟹塘投饵船螺旋桨 SST  $k-\omega$  湍流模型方程<sup>[28]</sup>如下:

$$\frac{\partial \rho k}{\partial t} + \frac{\partial \rho k u}{\partial x} + \frac{\partial \rho k v}{\partial y} + \frac{\partial \rho k w}{\partial z} =$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial y} \right] +$$

$$\frac{\partial}{\partial z} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial z} \right] + P_k - \rho \beta^* k \omega \quad (6)$$

$$\frac{\partial \rho \omega}{\partial t} + \frac{\partial \rho \omega u}{\partial x} + \frac{\partial \rho \omega v}{\partial y} + \frac{\partial \rho \omega w}{\partial z} =$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\omega} \right) \frac{\partial \omega}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\omega} \right) \frac{\partial \omega}{\partial y} \right] +$$

$$\frac{\partial}{\partial z} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\omega} \right) \frac{\partial \omega}{\partial z} \right] + \alpha \frac{\omega}{k} P_k - \rho \beta \omega^2 \quad (7)$$

式中:  $\mu_t = \rho k / \omega$ ; 由 SST 理论推导得到湍流模型常数值为  $\alpha = 5/9, \beta = 0.075, \beta^* = 0.09, \sigma_k = 2.0, \sigma_\omega = 2.0$ 。

## 2.2 网格划分与边界条件

网格划分的质量与边界条件的清晰设定将直接影响控制方程离散的精度和速度导致最终仿真计算结果的精确程度。仿真试验中, 静止域

长度设置为螺旋桨直径的 20 倍, 直径为螺旋桨直径的 5 倍, 旋转域设置在静止域内部尺寸且略大于螺旋桨直径, 如图 3 所示。在旋转域与静止域的边界场建立交界面, 给予旋转域一定的角速度使其相对于静止域绕螺旋桨旋转轴匀速旋转运动和自由运动来模拟实际工作情况。在螺旋桨周围旋转域以及静止域周围设置网格加密区, 利用 Mesh 模块对所建仿真模型采用六面体网格划分, 为提高数值模拟的精确性、准确性和稳定性, 对静止域、旋转域及螺旋桨进行网格加密处理, 网格的总数达到 6 173 129 个, 单元节点为 1 068 896 个。有研究<sup>[29]</sup>指出: 当网格尺度低于螺旋桨直径的 1.76% 时, 其水动力性能和尾涡模拟具有较高可靠性, 因此, 选择静止域加密区的网格尺度为  $5 \times 10^{-4}$  m, 对应螺旋桨旋转域加密区的网格尺度设置为  $5 \times 10^{-4}$  m, 均在 1.76% 之内。

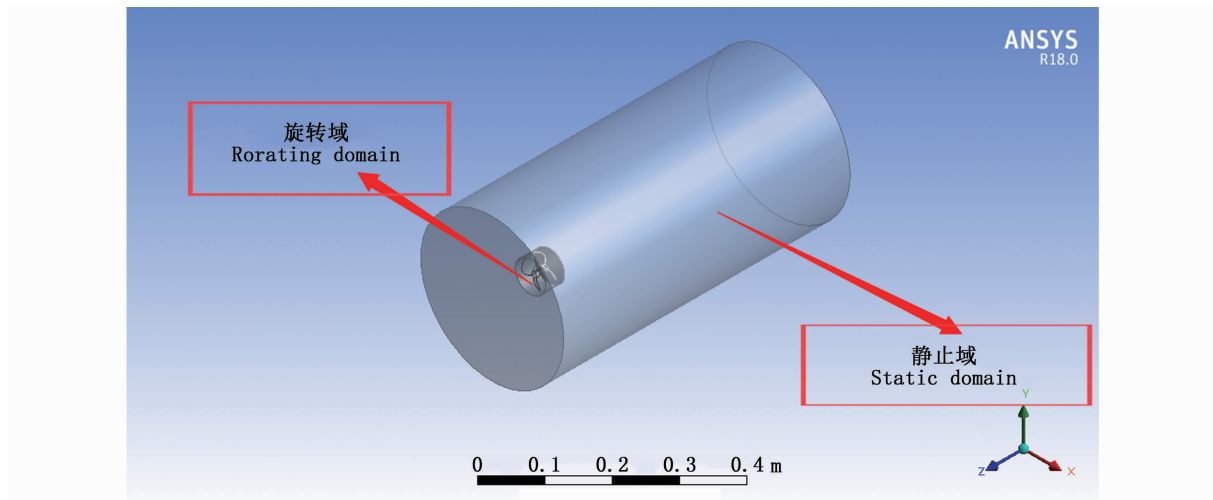


图3 静止域和旋转域

Fig.3 Static domain and rotation domain

## 2.3 水动力性能仿真计算

为了分析 3 种不同直径螺旋桨在模拟虾蟹塘工况下进行工作的水动力性能, 利用控制变量法, 改变旋转域转速以及螺旋桨的直径参数来判断螺旋桨叶片截面压力与平均轴向射流速度之

间的关系。旋转域设置的转速分别为  $n_1 = 3\ 000$  r/min、 $n_2 = 3\ 500$  r/min 和  $n_3 = 4\ 000$  r/min。各种不同直径螺旋桨在各转速下的叶片截面压力云图, 以 0.07 m 直径螺旋桨为例, 其云图如图 4 所示。



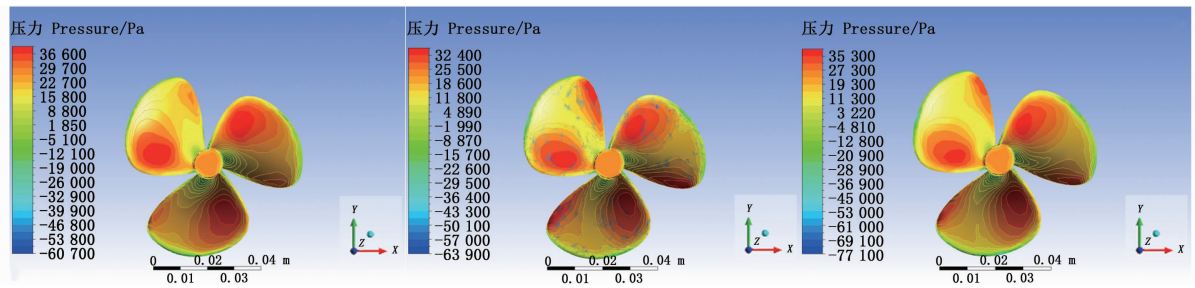


图4 螺旋桨直径  $D_p = 0.07$  m 不同转速下的叶片截面压力分布云图

Fig. 4 Cloud diagrams of blade cross-section velocity and pressure at different speeds with propeller diameter  $D_p = 0.07$  m

根据表4中的数据,螺旋桨叶片截面压力的最大值在3500 r/min时最小,且都在  $n_2 = 3500$  r/min时,最大叶片截面压力为最小值,而叶片截面压力的最小值为先增加再减少,说明在  $n_2 =$

3500 r/min时,叶片截面压力的差值变化为最小。根据图5所示螺旋桨叶片截面压力差值变化曲线,当  $n_2 = 3500$  r/min时,其截面正压力与截面负压力的差为最小。

表4 不同转速下各直径螺旋桨仿真截面压力最值

Tab. 4 Maximum and minimum pressures of simulated section of propellers of each diameter at different rotating speeds

螺旋桨直径 Propeller diameter/m	转速 Rotating speed $n_1 = 3000$ r/min		转速 Rotating speed $n_2 = 3500$ r/min		转速 Rotating speed $n_3 = 4000$ r/min	
	最大值 Maximum	最小值 Minimum	最大值 Maximum	最小值 Minimum	最大值 Maximum	最小值 Minimum
	0.05	31 321.2	-47 699.7	25 084.3	-33 901.2	34 660.1
0.06	42 879.3	-82 595.9	30 564.1	-57 798.1	39 952.8	-75 158.3
0.07	40 142.8	-72 357.6	35 732.3	-65 841.6	39 028.3	-87 371.1

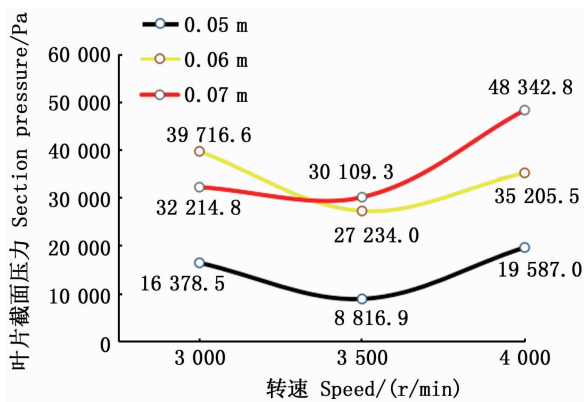


图5 螺旋桨叶片截面压力差值变化曲线  
Fig. 5 Curve of pressure difference of propeller blade section

为了进一步分析螺旋桨叶片截面压力差值的变化与平均轴向射流分布的关系,在Fluent中得出螺旋桨在静止域和旋转域纵向剖面的轴向速度分布云图,图6为  $D_p = 0.07$  m时不同转速下的轴向速度分布云图。根据式4所得结论,当

距旋转轴线的径向距离越大分布越广时,螺旋桨平均轴向射流速度将越大。因此,可以得出当螺旋桨叶片截面正压力绝对值减去叶片截面负压力绝对值无限趋向于零时,螺旋桨平均轴向射流速度达到最大值。

根据螺旋桨射流速度分量原理,当螺旋桨的平均轴向射流速度越高时,螺旋桨的推进效率越高,因此暂定转速  $n_2 = 3500$  r/min为虾蟹塘投饵船螺旋桨的额定转速。

为深入研究螺旋桨实际工作射流速度与平均轴向射流速度的关系,经仿真计算分析,各直径螺旋桨的平均轴向射流速度与平均轴向射流速度位置的关系曲线如图7所示,螺旋桨的平均轴向射流速度随平均轴向射流速度位置越远而越少,其中在20~30 mm处,都有较为明显的速度衰减。而转速在  $n_2 = 3500$  r/min时,各螺旋桨的平均轴向射流速度衰减都较为平缓,这也验证在该转速下,螺旋桨的敞水性能以及工作效率为最优。

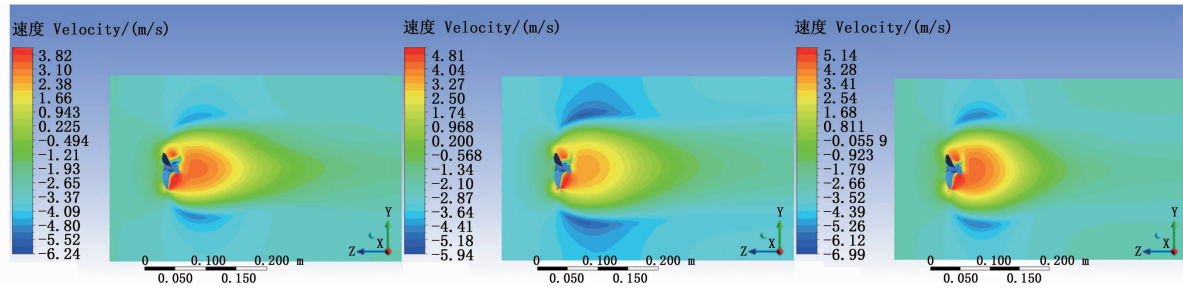


图 6 螺旋桨  $D_p = 0.07$  m 纵向剖面轴向射流速度云图

Fig. 6 Axial jet velocity cloud of longitudinal section of propeller  $D_p = 0.07$  m

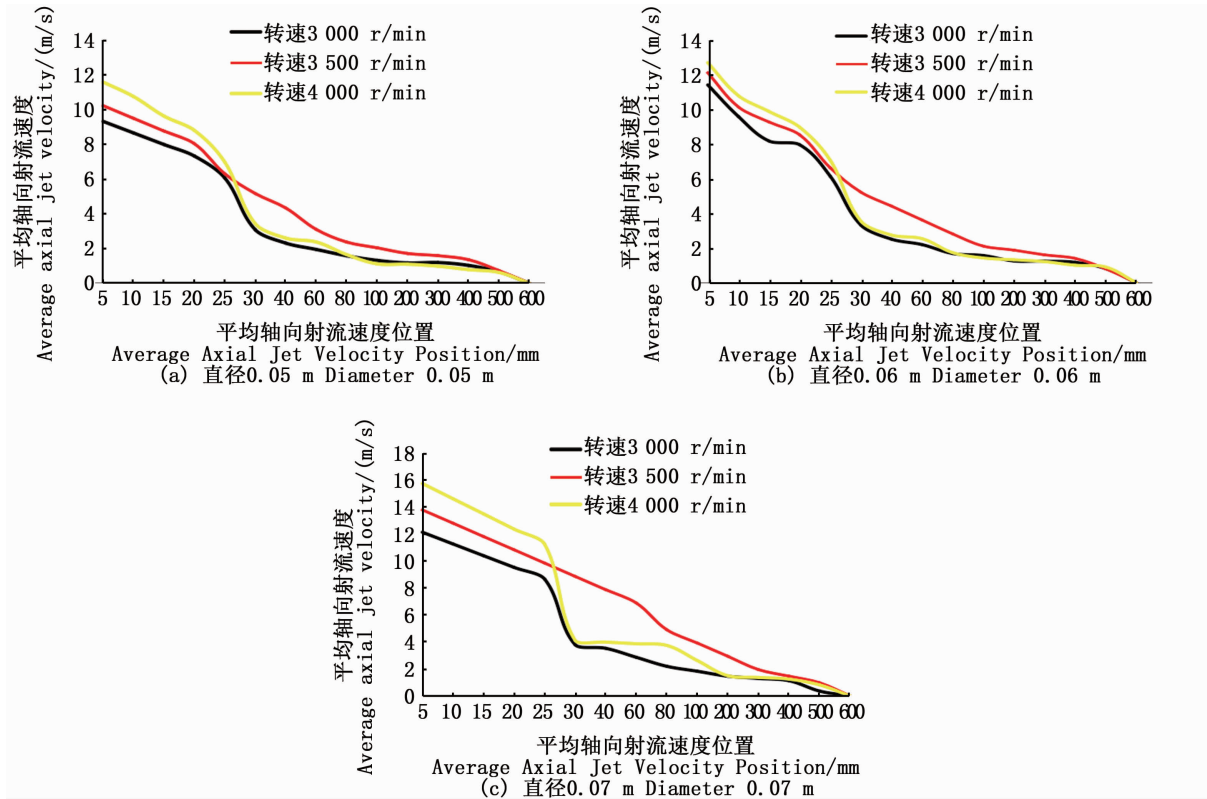


图 7 螺旋桨平均轴向射流速度与位置关系曲线

Fig. 7 Curve of average axial jet velocity and position of propeller

各螺旋桨在  $n_2 = 3\ 500$  r/min 时的工作效率线性直线如图 8 所示,螺旋桨直径  $D_p = 0.07$  m 相较其他直径螺旋桨的效率线性直线斜率绝对值更大,表明在相同时间内所需达到相同平均轴向射流速度的时间更短,螺旋桨的敞水性能最优。根据式(5)所选定的平均轴向射流速度位置  $R_{m0} = 0.13$  m 时得出各螺旋桨在各转速下的平均射流速度来对比理论计算所得的最大射流速度。如表 5 所示,理论计算所得的最大轴向射流速度与数值模拟所得平均轴向射流速度的值误差范围小于 6%,验证了使用船舶射流理论方程所计算

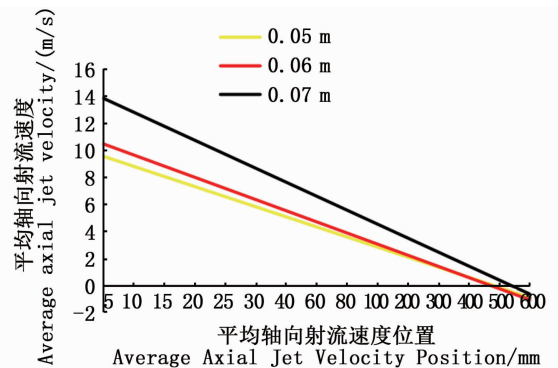


图 8  $n_2 = 3\ 500$  r/min 各直径螺旋桨效率线性直线

Fig. 8  $n_2 = 3\ 500$  r/min linear propeller diameter



得出的螺旋桨最大轴向射流速度具有可靠性。因此根据水动力模拟实验结果,选定直径  $D_p =$

$0.07\text{ m}$ 、 $n_2 = 3\ 500\text{ r/min}$  为最佳匹配虾蟹塘投饵船螺旋桨。

表 5 最大轴向射流速度值与平均轴向射流速度值误差

Tab.5 Error between the maximum axial jet velocity value and the average axial jet velocity value

转速 Rotating speed/(r/min)	直径 Diameter/m	最大射流速度 Maximum jet velocity/(m/s)	平均射流速度 Average jet velocity/(m/s)	误差 Error/%
3 000	0.05	1.38	1.30	5.78
	0.06	1.43	1.35	5.59
	0.07	1.46	1.38	5.48
3 500	0.05	1.41	1.34	4.96
	0.06	1.45	1.38	4.83
	0.07	1.49	1.43	4.03
4 000	0.05	1.44	1.38	4.17
	0.06	1.47	1.42	3.41
	0.07	1.49	1.45	2.68

### 3 试验对比与可行性分析

为了进一步分析虾蟹塘投饵船螺旋桨的能耗特性及验证仿真分析方法的可行性,根据本文 CFD 水动力仿真试验结论,将螺旋桨模型保存为二进制模型,通过将所设计螺旋桨模型导入 Sprint-3D 进行 3D 打印,获得螺旋桨实物,进行螺旋桨实物现场试验。试验于 2019 年 12 月 10 日在上海市奉贤区四团镇虾蟹塘合作养殖基地进行,如图 9 所示,试验设备见表 6。



图 9 实验现场设备

Fig.9 Experimental field equipment

将 3 种不同直径螺旋桨与同一虾蟹塘投饵船体进行搭载安装后,分别试验其整体性能,并采集相关试验数据。试验内容为:测试不同螺旋桨在不同转速、不同负载下的船速、拉力、工作电流。

试验过程:分空载和满载两种情况测试螺旋

桨搭载船体时的船速以及电功耗。将虾蟹塘投饵船设定 4 个 GPS 定点坐标,选择自主导航模式工作,测试区间为 50 m,利用船头搭载的传感器与岸边传感器对接,实现类光电门测速。同时为保证试验数据的准确性,所测电流、船速等数据都在船体相对匀速的行驶状态下测量且均为 3 次测量的平均值。功率大小测试,以不同螺旋桨配合不同电机,并针对实际虾蟹塘投饵船工作情况,在试验中添加不同载重,并测量其船速以及具有载重的功率消耗。现场试验结果见表 7。

表 6 实验硬件

Tab.6 Experimental hardware

类别 Type	设备名称 Device name	参数规格 Parameter specification
模块 Module	无线通讯	2.4 GHz 点对点通讯或 4G 通讯
	主控航行模块	内置姿态传感器、三轴陀螺仪、GPS
	电机	12 V - 3 000、3 500、4 000 r/min
	电源模块	12 V - 30 Ah
船体 Hull	长 × 宽 × 高	1.1 m × 0.18 m × 0.25 m
	质量	5 kg
推进装置 Propulsion device	小型三叶螺旋桨	$D_p = 0.05\text{ m}$ 、 $D_p = 0.06\text{ m}$ 、 $D_p = 0.07\text{ m}$
配重装置 Balance weight	投饵箱	虾蟹饵料 30 kg

表 7 中各工况下的平均船速与平均轴向射流速度的误差均在 10% 之内,船体负载的影响对于消耗的电流来说没有太大的浮动变化,整体功率趋势呈现平缓状态。但是负载影响船速,负载越重,船体行驶的速度会变得越慢。针对于虾蟹塘投饵船特殊工况来看,由于刚开始投饵工作时

船体为满载状态,此时应满足相对较高的船速来保证精确投饵的整体效率。

由于表 7 中所测电流值皆为单个螺旋桨的电流测试值,因此在选定螺旋桨时电流应以 2 倍值作为参考,根据投饵船搭载的电瓶容量为 30 Ah,所需工作时间单次为至少 1 h,将满载时船速低于 1.2 m/s 以及满载电流超过 12 A 的试验参

数淘汰,将剩余螺旋桨测试数据进行螺旋桨工作效率计算:

$$\eta = \frac{V \times T \times D_p^2 \times 10^6}{2W^2} \quad (8)$$

式中:  $T$  为推力大小,kg;  $W$  为功率,W;  $V$  为船速,m/s;  $\eta$  为螺旋桨工作效率。

表 7 螺旋桨试验数据结果

Tab.7 Test data results

螺旋桨直径 Propeller diameter/m	参数项 ParameterItem	载重 Load											
		电机转速 Motor speed 3 000 r/min				电机转速 Motor speed 3 500 r/min				电机转速 Motor speed 4 000 r/min			
		0 kg	10 kg	20 kg	30 kg	0 kg	10 kg	20 kg	30 kg	0 kg	10 kg	20 kg	30 kg
0.05	电压 Voltage/V	12											
	电流 Electric current/A	3.23	3.39	3.50	3.80	4.75	5.11	4.84	4.96	6.43	6.62	6.74	6.92
	功率 Power/W	48.36	40.68	42.00	45.60	57.00	61.32	66.48	65.52	77.16	79.44	80.88	83.04
	推力 Thrust/N	1.80	1.70	1.80	1.60	2.20	2.10	2.30	2.20	2.70	2.60	2.70	2.80
	船速 Ship speed/(m/s)	1.29	1.22	1.13	1.08	1.33	1.23	1.17	1.16	1.36	1.31	1.25	1.21
	最大轴向射流速 Maximum axial jet velocity/(m/s)	1.38				1.41				1.44			
	平均轴向射流速度 Average axial jet velocity/(m/s)	1.30				1.34				1.38			
	平均船速 Average ship speed/(m/s)	1.18				1.23				1.28			
	平均船速与平均轴向射流速度的误差 Error/%	9.23				8.21				7.25			
	0.06	电压 Voltage/V	12										
电流 Electric current/A		4.32	4.91	4.47	4.48	7.68	7.76	8.01	8.11	8.79	8.97	9.01	9.26
功率 Power/W		51.84	58.92	53.64	53.76	92.16	93.12	96.13	97.32	105.48	107.64	108.12	111.12
推力 Thrust/N		2.30	2.10	2.20	2.40	2.70	2.60	2.70	2.80	3.20	3.30	3.30	3.50
船速 Ship speed/(m/s)		1.31	1.26	1.22	1.18	1.35	1.31	1.27	1.23	1.41	1.38	1.33	1.26
最大轴向射流速 Maximum axial jet velocity/(m/s)		1.43				1.46				1.47			
平均轴向射流速度 Average axial jet velocity/(m/s)		1.35				1.38				1.42			
平均船速 Average ship speed/(m/s)		1.24				1.29				1.35			
平均船速与平均轴向射流速度的误差 Error/%		8.15				6.52				4.93			
0.07		电压 Voltage/(V)	12										
	电流 Electric current/A	7.93	8.23	8.05	7.02	10.9	11.11	11.34	11.5	12.24	12.91	13.23	13.24
	功率 Power/W	95.16	98.76	96.60	84.24	130.8	133.32	136.08	140.40	134.88	130.92	134.76	134.88
	推力 Thrust/N	2.40	2.50	2.30	2.40	3.50	3.60	3.50	3.80	4.10	4.30	3.80	3.90
	船速 Ship speed/(m/s)	1.42	1.35	1.29	1.19	1.55	1.54	1.46	1.31	1.68	1.60	1.52	1.29
	最大轴向射流速 Maximum axial jet velocity/(m/s)	1.46				1.48				1.49			
	平均轴向射流速度 Average axial jet velocity/(m/s)	1.38				1.42				1.45			
	平均船速 Average ship speed/(m/s)	1.32				1.46				1.52			
	平均船速与平均轴向射流速度的误差 Error/%	4.35				2.82				4.83			

根据表 8 可知螺旋桨的工作效率在转速  $n_2 = 3\ 500\ \text{r/min}$  时效率比  $n_3 = 4\ 000\ \text{r/min}$  时的效率要高,其效率最高为  $D_p = 0.07\ \text{m}$  螺旋桨的

70.90%,相比  $D_p = 0.06\ \text{m}$  螺旋桨工作效率高 1.38%,平均船速为 1.46 m/s。通过测算,使用该螺旋桨搭载虾蟹塘投饵船管理养殖池塘,效率

提高 63%。实际船速与最大轴向射流速度之间的误差不超过 10%。在能耗方面,本文设计的螺旋桨驱动的能耗保持在 150 W 以内,不仅工作效率更高且能耗更低,验证了本文针对虾蟹塘投饵

船螺旋桨研究的可靠性。对比我们利用 SST  $k-\omega$  湍流模型方程得出选定直径  $D_p = 0.07 \text{ m}$ 、 $n_2 = 3\ 500 \text{ r/min}$  为最佳匹配虾蟹塘投饵船螺旋桨的仿真结果一致。

表 8 实验效率结果

Tab. 8 Test efficiency results

螺旋桨直径及电机转速 Propeller diameter and motor speed	载重 Load/kg			平均效率 Average efficiency/%	平均能耗 Average energy consumption/W
	0	10	30		
0.05 m 螺旋桨 4 000 r/min	77.09	67.46	61.42	67.62	80.13
0.06 m 螺旋桨 3 500 r/min	77.25	70.70	63.34	69.52	94.68
0.06 m 螺旋桨 4 000 r/min	72.99	70.75	64.29	68.91	108.09
0.07 m 螺旋桨 3 500 r/min	78.69	76.42	61.87	70.90	135.12

#### 4 结论

针对虾蟹塘投饵船,根据船舶螺旋桨射流理论方程计算得出螺旋桨的基本参数以及螺旋桨最大射流速度,再通过叶片边缘点坐标方程计算出单个螺旋桨叶片的三维坐标,在此基础上,应用 SolidWorks 等三维软件实现虾蟹塘投饵船螺旋桨的快速设计。

基于雷诺平均纳维叶-斯托克斯(RANS)方程以及 SST  $k-\omega$  湍流模型方程,使用 Ansys CFD 软件,可以对虾蟹塘投饵船螺旋桨进行较为准确有效的水动力仿真分析试验,为螺旋桨设计合理性提供依据。分别仿真分析了转速  $n_1 = 3\ 000 \text{ r/min}$ 、 $n_2 = 3\ 500 \text{ r/min}$  和  $n_3 = 4\ 000 \text{ r/min}$  下螺旋桨的叶片截面压力云图以及叶片纵向剖面轴向速度云图。仿真试验结果表明:当转速在 3 500 r/min 时,螺旋桨叶片截面正压力与截面负压力的差为最小,同时各直径螺旋桨的轴向射流分布距旋转轴线的径向距离最远。根据仿真计算所得螺旋桨平均轴向射流速度与理论计算所得最大轴向射流速度之间的误差小于 6%,验证了水动力仿真模型的有效性。

现场试验结果表明,在满足虾蟹塘投饵船工作工况下,转速  $n_2 = 3\ 500 \text{ r/min}$  的工作效率比  $n_3 = 4\ 000 \text{ r/min}$  时的工作效率要高,其中,  $D_p = 0.07 \text{ m}$  螺旋桨的效率为 70.90%,相比  $D_p = 0.06 \text{ m}$  螺旋桨工作效率高 1.38%,比  $D_p = 0.05 \text{ m}$  螺旋桨工作效率高 3.28%,同时,所设计螺旋桨的驱动能耗可控制在 150 W 以内,增加螺旋桨推进系统的使用寿命。

本文提出了一种针对虾蟹塘投饵船所使用

的三叶小型螺旋桨推进装置的研究与设计方法,基于船舶射流理论以及水动力仿真试验分析,并依托大量的实地试验数据,得出了转速与螺旋桨的最优匹配值,对虾蟹塘投饵船推进装置的研究和应用具有很好的借鉴价值。后续研究,将进一步结合虾蟹塘投饵船螺旋桨的特点,综合考虑轴向、切向和径向射流速度分量的影响,在优化虾蟹塘投饵船螺旋桨设计的同时完善虾蟹塘投饵船螺旋桨设计理论。

#### 参考文献:

- [1] 农业农村部渔业渔政管理局,全国水产技术推广总站,中国水产学会. 中国渔业统计年鉴 2019[M]. 北京:中国农业出版社,2019.  
Fishery and Fishery Administration Bureau of the Ministry of Agriculture. 2019 China fishery statistics yearbook [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2019.
- [2] 胡庆松,曹佳瑞,郑波,等. 明轮驱动虾塘自主导航投饵船设计与可靠性试验[J]. 农业机械学报,2019,50(11): 121-128.  
HU Q S, CAO J R, ZHENG B, et al. Design and reliability test of paddle wheel driven shrimp pond autonomous navigation feeding boat [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(11): 121-128.
- [3] 程志金. 一种新型喂虾机: 中国, 201820315770.9[P]. 2019-02-22.  
CHENG Z J. A Novel feed shrimp machine: CN, 201820315770.9[P]. 2019-02-22.
- [4] 孙月平,赵德安,洪剑青,等. 河蟹养殖船载自动均匀投饵系统设计及效果试验[J]. 农业工程学报,2015,31(11): 31-39.  
SUN Y P, ZHAO D A, HONG J Q, et al. Design of automatic and uniform feeding system carried by workboat and effect test for raising river crab [J]. Transactions of the

- Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(11): 31-39.
- [5] 胡庆松, 郑波, 曹佳瑞, 等. 船载投饵装置平衡抖料系统设计及试验[J]. 上海海洋大学学报, 2020, 29(6): 928-937.
- HU Q S, ZHENG B, CAO J R, et al. Design and test of balanced shaking system for boat-borne bait feeding device [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2020, 29(6): 928-937.
- [6] 林伟豪, 崔永刚. 船舶螺旋桨射流理论与工程计算[M]. 天津: 天津大学出版社, 2018.
- LIN W H, CUI Y G. Ship propeller jet theory and engineering computation [M]. Tianjin: Tianjin University Press, 2018.
- [7] MORGUT M, NOBILE E. Influence of grid type and turbulence model on the numerical prediction of the flow around marine propellers working in uniform inflow [J]. Ocean Engineering, 2012, 42: 26-34.
- [8] YAO J X. Investigation on hydrodynamic performance of a marine propeller in oblique flow by RANS computations[J]. International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, 2015, 7(1): 56-69.
- [9] MIZZI K, DEMIREL Y K, BANKS C, et al. Design optimisation of propeller boss cap fins for enhanced propeller performance[J]. Applied Ocean Research, 2017, 62: 210-222.
- [10] FUNEDO I. Analysis of unsteady viscous flow around a highly skewed propeller [J]. Journal of Kansai Society of Naval Architects, 2002, 237: 39-45.
- [11] RHEE S H, JOSHI S. CFD validation for a marine propeller using an unstructured mesh based RANS method [C]//ASME/JSME 2003 4th Joint Fluids Summer Engineering Conference. Honolulu: ASME, 2003.
- [12] 郑小龙, 黄胜, 王超. 基于 CFD 的螺旋桨定常水动力性能预报精度研究[J]. 舰船科学技术, 2014, 36(12): 11-15.
- ZHENG X L, HUANG S, WANG C. Study of precision of steady hydrodynamic performance prediction of propeller of based on CFD[J]. Ship Science and Technology, 2014, 36(12): 11-15.
- [13] KORSSTRÖM A, MIETTINEN P, HÄNNINEN S K, et al. Investigation of the propeller slip stream over an Azipod propulsor by PIV measurements and CFD simulations [C]//Proceedings of the 4th International Symposium on Marine Propulsors. Austin, 2015.
- [14] 姜东栓. CFD 技术在螺旋桨粘性流场计算中的可靠性预报分析[J]. 中国水运, 2017, 38(7): 43-44.
- JIANG D S. Reliability prediction analysis of CFD technology in calculation of propeller viscous flow field[J]. China Water Transport, 2017, 38(7): 43-44.
- [15] 杨美红, 李铁骊, 胡俊明, 等. 基于 CFD 法的对转螺旋桨敞水性能参数匹配研究[J]. 船舶工程, 2016, 38(11): 42-46.
- YANG M H, LI T L, HU J M, et al. Study on open water performance of parameters matching of counter-rotating propellers based on CFD method [J]. Ship Engineering, 2016, 38(11): 42-46.
- [16] 孙承亮, 赵江滨. 基于 CFD 的对转螺旋桨水动力性能分析[J]. 舰船科学技术, 2019, 41(2): 36-40.
- SUN C L, ZHAO J B. Hydrodynamic performance analysis of counter-rotating propellers based on CFD [J]. Ship Science and Technology, 2019, 41(2): 36-40.
- [17] OCHI F, FUJISAWA T, OHMORI T, et al. Simulation of propeller hub vortex flow [C]//First International Symposium on Marine Propulsors. 2009.
- [18] 王诗洋, 解学参, 王超, 等. 参数选择对螺旋桨水动力性能的影响[J]. 船舶工程, 2010, 32(6): 4-8.
- WANG S Y, XIE X S, WANG C, et al. Effect of parameters selection on hydrodynamic performance of propeller [J]. Ship Engineering, 2010, 32(6): 4-8.
- [19] 张丽珍, 杨加庆, 邵祺, 等. 基于北斗定位系统的虾塘投饵管控系统的设计和实现[J]. 全球定位系统, 2017, 42(2): 83-87.
- ZHANG L Z, YANG J Q, SHAO Q, et al. Design of management and control system of feeding in shrimp farming based on BDS [J]. Gns World of China, 2017, 42(2): 83-87.
- [20] 胡庆松, 程文平, 李俊. 移动式虾塘投饵装置偏心抖料及抛饵系统优化与试验[J]. 上海海洋大学学报, 2016, 25(5): 794-800.
- HU Q S, CHENG W P, LI J. Eccentric shaking and bait throwing system optimization and experiment of the mobile shrimp feeding machine [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2016, 25(5): 794-800.
- [21] ATKINS W S. Best practice guidelines for marine applications of computational fluid dynamics [R]. 2004.
- [22] 贵忠东, 丁凡, 袁野, 等. CPP 桨毂机构电液伺服加载试验台[J]. 农业机械学报, 2014, 45(1): 313-320, 300.
- GUI Z D, DING F, YUAN Y, et al. CPP hub electrohydraulic servo loading test bench [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(1): 313-320, 300.
- [23] 刘爱兵, 谢清程, 张俊武. 桨毂形状对螺旋桨水动力影响仿真[J]. 船舶工程, 2019, 41(4): 42-46.
- LIU A B, XIE Q C, ZHANG J W. Simulation of the effect of hub shape on propeller hydrodynamics [J]. Ship Engineering, 2019, 41(4): 42-46.
- [24] HASHMI H N. Erosion of a granular bed at a quay wall by a ship's screw wash [D]. Belfast: Queen's University of Belfast, 1993.
- [25] STEWART D P J, HAMILL G A, JOHNSTON H T. Velocities in a ship's propeller wash [Z]. Rotterdam: International Symposium on Environmental Hydraulics, 1991.

- [26] HAMILL G A, KEE C. Predicting axial velocity profiles within a diffusing marine propeller jet [J]. *Ocean Engineering*, 2016, 124: 104-112.
- [27] LIU C B, LI J, LI Y, et al. Scale-resolving simulation and particle image velocimetry validation of the flow around a marine propeller [J]. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE A*, 2019, 20(8): 553-563.
- [28] 任芸, 刘厚林, 舒敏骅, 等. 考虑旋转和曲率影响的 SST  $k-\omega$  湍流模型改进[J]. *农业机械学报*, 2012, 43(11): 123-128.
- REN Y, LIU H L, SHU M H, et al. Improvement of SST  $k-\omega$  turbulence model and numerical simulation in centrifugal pump [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2012, 43(11): 123-128.
- [29] 胡健, 耿冲, 冯峰. 基于大涡模拟的螺旋桨梢涡数值分析[J]. *华中科技大学学报(自然科学版)*, 2017, 45(11): 68-73.
- HU J, GENG C, FENG F. Numerical analysis of propeller tip vortex based on large eddy simulation [J]. *Journal of Huazhong University of Science and Technology (Nature Science Edition)*, 2017, 45(11): 68-73.

## Hydrodynamic simulation analysis of three-blade propeller of shrimp and crab pond feeding boat

CHEN Leilei, RAN Huze, HU Qingsong, LI Jun

(College of Engineering Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** In order to improve the accuracy of feeding boats in shrimp and crab ponds, reduce energy consumption, and increase stability and reliability, a design and hydrodynamic simulation experiment is proposed for the three-blade propeller of feeding boats in shrimp and crab ponds. According to the hull size and the upper limit of overall power consumption, the propeller diameters of the three suitable shrimp and crab pond feeding boats were set to be 0.05, 0.06 and 0.07 m, respectively, and the theoretical equation of the ship's propeller jet and the coordinate equation of the blade edge point are as follows: Basically, a three-dimensional blade curve is generated from the three-dimensional coordinates of the blade edge to establish a three-dimensional model of the propeller. Using Ansys CFD software, the Reynolds average Navier-Stokes (RANS) equation and the SST  $k-\omega$  turbulence model were used to construct a hydrodynamic simulation experiment, and the error between the maximum axial jet velocity and the average axial jet velocity of the propeller was analyzed. The relationship between blade section pressure, rotation speed and average axial jet velocity was analysed to obtain the propeller with the best open water performance. Through the shrimp and crab pond field experiments, the error between the actual ship speed and the maximum axial jet velocity was analyzed to verify the reliability of the propeller design. At the same time, it met the requirements of the shrimp and crab pond feeding boat speed, hull thrust and overall power consumption. Taking the working efficiency of the propeller as the experimental index, the actual working efficiency of the propellers of different diameters at different speeds was compared. The results show that the design method for the propeller of the shrimp and crab pond feeding boat is feasible. The error between the actual ship speed and the maximum axial jet velocity is less than 10%. At the same time, the shrimp and crab pond feeding boat is equipped with a 0.07 m diameter propeller. When the rotating speed is 3 500 r/min, the working energy consumption of the propeller is 135 W, the highest average ship speed is 1.46 m/s, and the working efficiency reaches 70.9%.

**Key words:** shrimp and crab pond culture; feeding boat; propeller; hydrodynamic performance