

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2020.02.014

基于 CFD 的某负压吸附装置水动力学特性分析*

孙 川¹, 张庆力^{1*}, 刘贵杰¹, 郭 栋¹, 连军帅², 何 锐²

(1. 中国海洋大学 工程学院, 山东 青岛 266100; 2. 青岛光明环保技术有限公司, 山东 青岛 266100)

摘要:针对人工清理浒苔难度大、效率低等问题,设计了一种近岸浒苔负压打捞装置。通过螺旋桨产生负压来吸附浒苔;采用了 Fluent 软件计算负压吸附水动力性能,通过动态仿真测出了负压吸附装置产生的负压大小,分析了局部水流的流速、流域面积与负压吸附力的关系,并通过实验验证了仿真的可靠性。研究结果表明:螺旋桨旋转产生的负压能有效地吸附浒苔,对于提高浒苔的打捞效率有显著效果。

关键词:螺旋桨;负压吸附装置;Fluent;吸附力

中图分类号:TH69

文献标识码:A

文章编号:1001-4551(2020)02-0181-04

Analysis of hydrodynamic characteristics of a negative pressure adsorption device based on CFD

SUN Chuan¹, ZHANG Qing-li¹, LIU Gui-jie¹, GUO Dong¹, LIAN Jun-shuai², HE Rui²

(1. College of Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China;

2. Guangming Environmental Protection Technology Limited Company, Qingdao 266100, China)

Abstract: Aiming at the difficulty and inefficiency of manual cleaning of enteromorpha, a near-shore canola negative pressure salvage device was designed. The enteromorpha was adsorbed through the suction of the negative pressure generated by the propeller. Fluent software was used to calculate the hydrodynamic performance of negative pressure adsorption. Through dynamic simulation, the negative pressure generated by the negative pressure adsorption device was measured, and the relationship between the flow velocity, the watershed area and the negative pressure adsorption force formed by the local water flow was analyzed. The reliability of the simulation was verified by experiments. The results indicate that the negative pressure generated by the rotation of the propeller can effectively absorb the canola, and it has significant effect on improving the fishing efficiency of enteromorpha.

Key words: propeller; negative pressure adsorption device; Fluent; adsorption force

0 引 言

近年来,青岛海域经常由于浒苔爆发性增殖而引起水体变坏^[1]。浒苔是一种分布广泛的大型石莼绿藻,大量浒苔漂浮聚集到近海,不但会阻塞航道,还会破坏海洋生态系统^[2-3]。为了消除浒苔带来的负面效应,并使其变废为宝^[4-8],国内外不少专家对浒苔的打

捞和处理进行了研究^[9-12]。

目前,研发人员设计了多种浒苔打捞船^[13],提高了浒苔的打捞效率。但由于近岸湾区水域流动性差,易造成近岸浒苔积聚;又因近岸海域面积较小,水深较浅,现有浒苔打捞船只无法靠近。

针对这一问题,本文将提出负压吸附浒苔的方法。

收稿日期:2019-05-16

基金项目:山东省青岛市民生科技计划项目(16-4-2-4-nsh)

作者简介:孙川(1994-),男,山东青岛人,硕士研究生,主要从事海洋机电装备设计与制造、先进制造技术方面的研究。E-mail:850439859@qq.com

通信联系人:张庆力,男,高级工程师。E-mail:zql6129@ouc.edu.cn

1 负压吸附装置的结构介绍

1.1 负压吸附装置工作原理

负压吸附打捞装置由支架、传送网带、螺旋桨和液压马达等组成,其工作原理如图 1 所示。

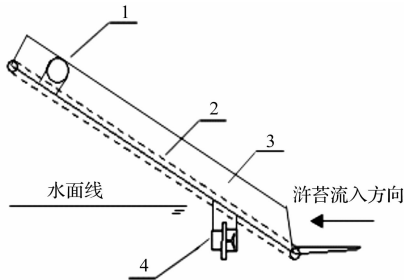


图 1 负压吸附装置工作原理

1—支架;2—传送网带;3—挡板;4—螺旋桨

图 1 中,液压马达带动螺旋桨旋转,使前后产生负压,在水中产生局部水流,将浒苔吸附到打捞船的传送链上,实现浒苔的打捞。

负压吸附装置的关键部件是螺旋桨。在实际工作状态下,螺旋桨前端有网状传送带,对螺旋桨旋转产生的尾流造成一定的影响,因此,在仿真过程中,需要在螺旋桨的前段设置一带孔的挡板。

1.2 螺旋桨的设计特性

螺旋桨的直径、螺距比、叶片数、转速等,都会对负压大小和水的局部流速产生影响,直接影响负压吸附装置的工作性能。

1.2.1 螺旋桨直径

螺旋桨在固定处旋转时,叶梢的轨迹称为梢圆,其直径即为螺旋桨直径 D 。通常螺旋桨的直径越大,转速越慢,效率越高;但直径过大时,桨叶盘面处的平均伴流会减小。因此,在选择螺旋桨直径时,要考虑传送装置的尺寸和近岸湾区的面积及水深。

液压马达功率与螺旋桨直径的关系式为:

$$W = \left(\frac{D}{10}\right)^4 \times \left(\frac{H}{10}\right) \times \left(\frac{V}{1000}\right)^3 \times 0.45 \quad (1)$$

式中: W —功率; D —螺旋桨直径; H —螺距; V —转速。

结合传送装置的宽度,根据式(1)计算得到螺旋桨直径参数为 $D = 300 \text{ mm}$ 。

1.2.2 螺距

本研究取某半径处与螺旋桨共轴的圆柱面剖分桨叶,截得桨叶剖面,将该叶剖面的鼻尾线延长,环绕轴线一周,其两端点的轴向距离即是该桨叶半剖面的螺距 $H^{[14]}$,则有:

$$F = D \times H \times L_{\text{桨宽}} \times P_{\text{大气压}} \times V^2 \times 0.25 \quad (2)$$

式中: F —螺旋桨推力。

根据式(2)可得,螺距越大,桨的推力越大。

1.2.3 螺距比

螺距比 H/D 是表征螺旋桨几何特性的一个重要因素, H/D 愈大,桨叶对桨轴的倾斜度愈大。本文选用的螺距比为 0.8,则可得到 $H = 240 \text{ mm}$ 。

1.2.4 转速

转速选择时考虑:(1)要保证对湾区浒苔有效打捞;(2)当螺旋桨超过最佳转速后,由于其转动时周围的水来不及流过来,会产生“空泡”现象,降低吸附效果^[15]。本文选择一个液压马达,使其带动螺旋桨产生的转速为 250 r/min 。

2 吸附装置螺旋桨运动特性分析

针对工作状况下螺旋桨动态流场压力及流场速度,本文采用 Fluent 对螺旋桨的水动力性能进行计算^[16],结果作为螺旋桨周围流场分布的仿真依据。

2.1 负压吸附装置模型构建

本文用 NX10.0 构造了螺旋桨模型。实际工作条件下,螺旋桨前方有网状的浒苔传输装置,根据传输装置的网孔大小,本文构造了简化的带孔挡板,用以代替浒苔传输装置。

负压吸附装置模型如图 2 所示。

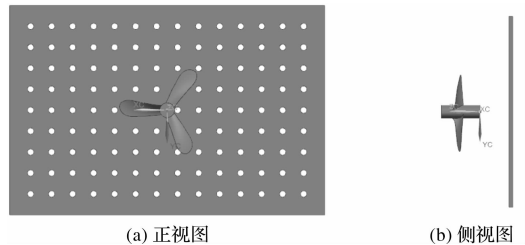


图 2 负压吸附装置模型

2.2 网格划分

本文采用非结构化网格进行叶片部分的划分,其他区域采用结构化网格。

以螺旋桨直径为 300 mm ,叶片厚度为 4 mm 的螺旋桨为例,本研究使用 GAMBIT 对其用非结构化网格进行网格划分。

负压吸附装置网格划分如图 3 所示。

图 3 中,挡板面网格大小为 3 mm ,螺旋桨网格大小为 4 mm 。

2.3 边界条件设定

本研究将模型置于流场域中,流场域尺寸取长

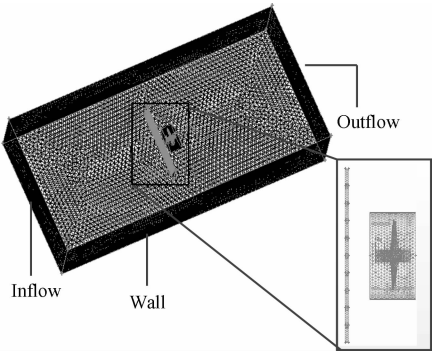


图3 负压吸附装置网格划分

15 000 mm,宽度和高度为7 500 mm。该区域为流场控制体的静止区域。在螺旋桨模型附近再建立一个旋转区域,假定该区域的流场域内流场绕X轴旋转,根据实际螺旋桨转速,设定流场转速为300 r/min。螺旋桨相对该区域内水流呈静止状态。

2.4 流场模拟及计算

本文得出的流场速度、流场压强变化图如图4所示。

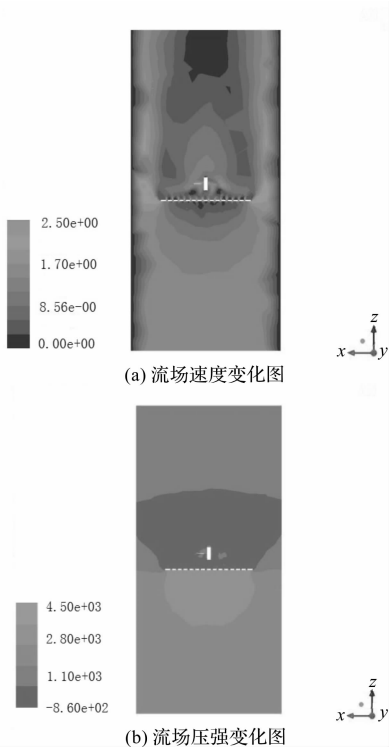


图4 流场速度和压强变化云图

从图4可以看出:(1)在传输装置吸附浒苔一侧的海水有一定的流速,随着距离传输装置越近,海水的流速会减小;(2)在带有开口网格的传输装置吸附浒苔的一侧的海水有一定的负压,所产生的负压一直延续到传输装置,随着距离传输装置越近,海水的压力会越来越小。

2.5 流场计算结果输出

本研究在Fluent后处理中输出螺旋桨周围流场的速度矢量分布数据,根据仿真需要按照一定距离截取相对于传送装置与螺旋桨相反一侧截面上的速度矢量分布,根据需要调节数据点的密度,导出螺旋桨附近速度矢量分布变化曲线和压强分布变化曲线如图5所示。

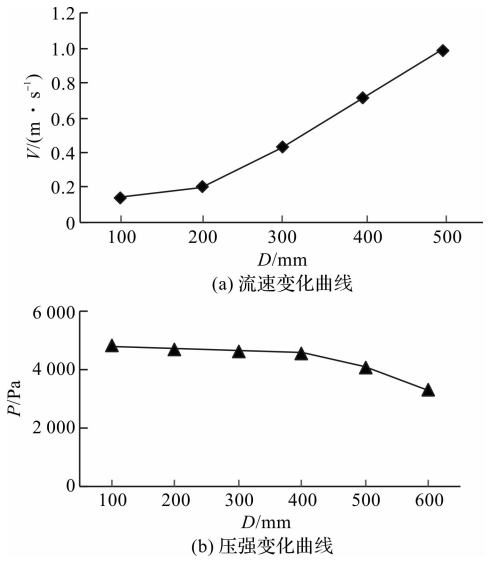


图5 流速和压强变化曲线

由图5可知:(1)由于传输装置带有通孔,会有一些的海水从传输装置通过通孔流过,但距离越近流速会越小;(2)由于螺旋桨旋转产生负压,传输装置附近的水压逐渐减小。

3 螺旋桨动态特性的实验验证

为了验证仿真结果的准确性,本文进行螺旋桨动态特性的实验。实验设备为螺旋桨、传输装置、DATA-52 压力变送器、LGY 型智能流量流速仪等。

3.1 实验过程

(1)打开液压马达,使螺旋桨保持一定的速度旋转;(2)在液压马达外侧垂直于出口的断面上取5条垂直于出口面的直线,每条垂线均匀布置5个测点;(3)测出螺旋桨尾流水压力和流速;(4)根据测得的数据绘制流速、压强变化曲线。

3.2 结果分析

通过实验得出的流速、压强变化折线图如图6所示。

对比实验结果可以得出:仿真结果基本合理;随着与螺旋桨和传送装置的距离越近,水的流速越小,所受的压强也会越小;海水由压强高的位置往低的位置流,

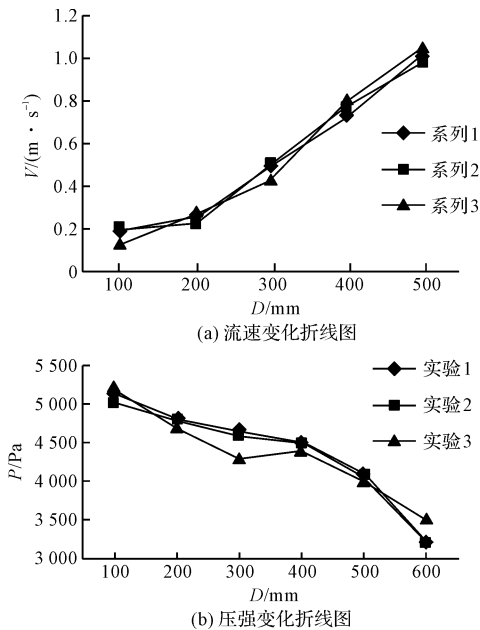


图 6 流速和压强变化折线图

则所要打捞的浒苔会随着海水的流动附到传送装置上,也会被海水所产生的压力差压到传送装置上。由此可见,该负压吸附装置能明显提高浒苔的打捞效率。

4 结束语

针对人工清理浒苔难度大、效率低等问题,本研究设计了近岸浒苔负压打捞装置;采用负压吸附装置有效地加快浒苔的打捞速度。

针对负压吸附装置的实验及仿真结果表明:螺旋桨旋转在传送装置后方产生的负压影响范围和流速影响范围约为 700 mm,在此范围内该吸附装置对浒苔的快速打捞吸附有明显效果。

参考文献 (References):

- [1] 罗民波,刘 峰.南黄海浒苔绿潮的发生过程及关键要素研究进展[J].海洋渔业,2015,37(6):570-574.
- [2] 刘英霞,常显波,王桂云,等.浒苔的危害及防治[J].安徽农业科学,2009,37(20):9566-9567.
- [3] 李德萍,杨育强,董海鹰.2008 年青岛海域浒苔大爆发天

- 气特征及成因分析[J].中国海洋大学学报,2009,39(6):1165-1170.
- [4] 林英庭,朱风华,徐 坤,等.青岛海域浒苔营养成分分析与评价[J].饲料工业,2009,30(3):46-49.
- [5] 姚东瑞.浒苔资源化利用研究进展及其发展战略思考[J].江苏农业科学,2011,39(2):473-475.
- [6] QIAO Kai-li, TIAN Wei-jun, BAI Jie, et al. Preparation of biochar from enteromorpha prolifera and its use for the removal of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from aqueous solution [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2018, 149(3):80-87.
- [7] LIU Su-su, LIU Xian-hua, WANG Ying, et al. Electricity generation from macroalgae enteromorpha prolifera hydrolysates using an alkaline fuel cell research article [J]. *Biore-source Technology*, 2016, 222(9):226-231.
- [8] 李瑞香,吴晓文,韦钦胜,等.不同营养盐条件下浒苔的生长[J].海洋科学进展,2009,27(2):211-216.
- [9] 王学端.浒苔的海上打捞清理技术实践与探讨[J].河北渔业,2015(3):48-50.
- [10] 乔方利,马德毅,朱明远,等.2008 年黄海浒苔暴发的基本状况与科学应对措施[J].海洋科学进展,2008,26(3):409-410.
- [11] 李大秋,贺双颜,杨 倩,等.青岛海域浒苔来源与外海分布特征研究[J].环境保护,2008(16):45-46.
- [12] 温连杰,江崇波,马兆江,等.山东省 2010—2014 年海洋灾害概况及防御对策建议[J].海洋开发与管理,2016,33(6):98-104.
- [13] 姜紫彬.随船浒苔打捞、脱水、打包一体化装备关键技术研究[D].济南:济南大学机械工程学院,2017.
- [14] 李 龙.考虑伴流场的无人自治水下航行器推进系统设计[D].天津:天津大学机械工程学院,2016.
- [15] 赵 威.船用螺旋桨优化设计及参数研究[D].上海:上海交通大学电子信息与电气工程学院,2009.
- [16] 黄冬平,崔建昆,王仲伟.基于 Fluent 的内啮合齿轮泵分离式月牙板受力分析[J].流体机械,2017,45(6):49-52-25.

[编辑:程 浩]

本文引用格式:

孙 川,张庆力,刘贵杰,等.基于 CFD 的某负压吸附装置水动力学特性分析[J].机电工程,2020,37(2):181-184.

SUN Chuan, ZHANG Qing-li, LIU Gui-jie, et al. Analysis of hydrodynamic characteristics of a negative pressure adsorption device based on CFD [J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2020, 37(2):181-184.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>