

基于 CFturbo 的离心式吸鱼泵设计

刘平, 林礼群, 徐志强, 谌志新

(中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所, 农业农村部渔业装备与工程技术重点实验室, 上海 200092)

摘要:传统的离心式吸鱼泵设计基本上是根据设计经验与相似泵推导设计, 导致设计周期长且性能参数无法确定。为了更加快速、精确地设计出不同尺寸类型的吸鱼泵, 并估算出离心式吸鱼泵的流量、扬程等性能参数, 运用 CFturbo 设计软件进行参数化设计吸鱼泵, 通过 CFturbo 软件建立吸鱼泵的三维模型, 并通过软件内置经验函数优化设计, 然后通过 CFD 流体动力学软件进行数值模拟仿真验证, 最终设计出符合性能参数要求的离心式吸鱼泵, 实现离心式吸鱼泵的快速研发。

关键词:离心式吸鱼泵; 参数化设计; 数值模拟仿真; CFturbo

中图分类号:S972.65

文献标志码:A

文章编号:1007-9580(2019)04-031-05

随着渔业现代化的发展, 对于渔获水产品的产量和质量的要求都在不断提高, 因此, 保证水产养殖和海洋捕捞生产作业过程中渔获物的成活率和无损率是渔业生产所必须面对的重要问题^[1-3]。解决此问题的重要途径就是不断提高渔业生产过程中的自动化、机械化和智能化水平, 尽量减少渔业生产过程中因落后的生产技术、繁复的操作等因素造成的生产损耗。吸鱼泵作为大水面网箱养殖、工厂化养殖和海洋捕捞生产作业中的重要设备, 无论是水产养殖生产中鱼类的换池、分级、放养和起捕, 还是渔业捕捞生产中的渔获起捕、分级、转运, 均要求对鱼体无任何损伤^[4-6]。国外早在 20 世纪 50 年代就开始开发研制吸鱼泵, 到现今高效吸鱼泵的发展已经极为成熟, 规格各异、种类繁多; 吸鱼泵在中国的使用起步较晚, 急需大力发展。目前在捕捞和养殖行业使用最多的是真空吸鱼泵和离心式吸鱼泵。

本设计针对离心式吸鱼泵叶轮快速设计的关键、难点进行分析。利用离心式吸鱼泵实现活鱼输送, 其叶轮结构与普通离心泵叶轮有着很大的区别^[7-10], 例如日本共荣造机制造的旋转式无叶片活鱼吸鱼泵^[11], 其口径从 75 mm 到 250 mm, 为保护活鱼在经过叶轮的过程中减少损伤, 需选定适当流速, 以超过鱼逆流而逃的速度为宜, 其效率

比其他类型的泵低得多。高效率泵的叶轮形式不适合活鱼输送, 即流速低、损伤少, 流速高、效率高。最大提升效率与尽可能减少渔获损伤是吸鱼泵设计的重要研究内容。针对吸鱼泵叶轮设计的复杂性, 以 CFturbo 设计 8 英寸吸鱼泵为例, 通过流体动力学软件分析, 设计模型并验证其可行性。

1 离心泵设计

采用 CFturbo 进行离心泵设计。CFturbo 是一款专业用于压缩机、离心泵叶轮及蜗壳的设计软件, 是由一家德国专业从事旋转机械研究设计的公司开发^[12]。CFturbo 设计流程简单快捷, 从开始界面选择所要设计的旋转机械种类, 然后根据设计需求输入流量、扬程、转速以及流体介质等主要参数软件, 根据内置经验函数和计算方程自动生成旋转机械的几何尺寸和外形特征, 用户根据初步生成的模型进行自定义修改完成机械设计。以吸鱼泵为例, 具体设计步骤如下:

全局参数设置 创建新的工程项目并选择 Pump 离心泵设计, 在全局参数设置中定义设计模型额定设计点参数, 输入吸鱼泵设计流量、扬程和叶轮转速, 并在通用设置中定义流体介质以及叶轮转向、机械效率等参数, 确定流体进入叶轮入口

收稿日期:2019-02-13

基金项目:中国水产科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(2016YJS012)

作者简介:刘平(1982—), 副研究员, 硕士, 研究方向:海洋渔业装备。E-mail:liuping@fmiri.ac.cn

通信作者:谌志新(1969—), 研究员, 研究方向:海洋渔业工程装备。E-mail:chenzhixin@fmiri.ac.cn

条件。CFturbo 通过内置函数自动求解计算出吸鱼泵叶轮的基本尺寸和几何模型。

叶轮几何模型参数化设计 根据额定设计点参数计算出叶轮几何模型和尺寸,对于默认计算模型,其参数可以按照设计要求进行叶轮模型尺寸参数的修改,诸如叶轮的进出口直径和进出口宽度、轮毂直径等重要参数。

叶轮子午面几何尺寸设计 根据叶轮几何尺寸的计算以及修改结果,软件自动绘制出叶轮流道子午面的几何图形,用户根据设计需求可以自行调整和修改子午面几何线型和参数,通过观察界面上显示的实时流道过流面面积、曲率变化等信息,找到适合设计要求的参数。

叶轮叶片设计 叶轮子午面设计完成后,进入叶片设计模块,通过叶片模型形式的选择,对进出口流体的液流角进行设计,不但能够使用软件自带默认参数进行设计,还能够自定义各种参数进行模型修改,以满足设计需求。叶轮叶片形式、数量和液流角设计完毕后需要对叶片中心线曲率进行设置,通过曲线控制点的移动来修改叶片弦长、叶片不同位置的液流角以及过流面面积等。最后对叶片厚度进行设计,以满足叶轮应力、磨损等要求。

模型剪切 完成叶轮模型设计后,软件默认得到叶轮模型固体域和流道流体域,通过剪切操作,将固体域和流体域分开,以方便后续叶轮应力分析和流体分析等操作。剪切操作完毕后即可选取所需要的部分进行导出,保存成所需格式用于 CAD/CAE/CFD 模块中。

2 吸鱼泵设计

2.1 吸鱼泵性能参数设定

以 8 英寸吸鱼泵为设计实例,通过流量、扬程、转速等基本参数进行吸鱼泵设计。本设计的吸鱼泵系统工作参数设定:流量 320 t/h,设计扬程 9 m,转速 700 r/min。由于其功能要求的特殊性,对离心式吸鱼泵的效率不做要求,最大限度做到以功能实现为主,兼顾效率。为保证吸鱼泵工作时渔获无损或最小损伤,必须增大流体通道,同时,为满足叶轮平衡、降低制造难度,选择双流道叶轮进行分析设计。以此条件在 CFTurbo 中选择

设计模块,根据所选设计模块,软件根据设计参数和该模块经验函数计算出叶轮的进出口直径和进出口宽度以及叶片角度等数值,根据 8 英寸吸鱼泵初始参数计算,得到叶轮设计参数为:叶片数量 2 片,叶轮入口直径 220 mm,叶轮直径 480 mm,出口宽度 110 mm,入口安装角度 7.7° ,出口安装角度 10° ,轴功率 11.8 kW。

根据 CFTurbo 软件设计提示输入上述参数值,并结合软件计算结果按设计要求修改相关参数,软件自动根据数据调整生成叶轮轴面投影图,经过基本参数的修正和叶轮子午面流道设计,最终得到图 1。

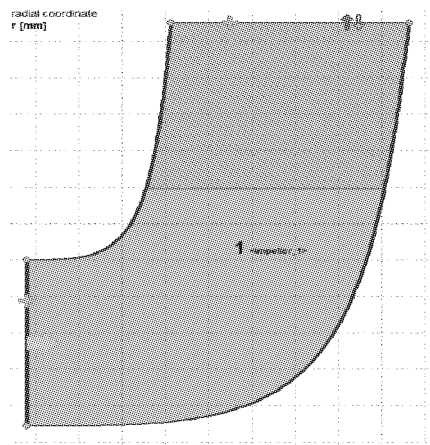


图 1 叶轮子午面轴面投影图

Fig.1 Meridian plane projection of impeller

2.2 吸鱼泵叶轮模型建模

叶轮子午面设计完毕后,选择叶轮叶片形式为双叶轮,根据软件默认计算所得到的进出口安装角数值进行角度修正,使叶片过流速度变化更加柔和,避免和减少活体输送过程中因速度变化太大造成活体对叶轮的撞击和摩擦。完成叶片中心线的确认后对叶片进行厚度设计,通过控制点调整好叶片厚度后对叶片头部进行磨圆和叶片尾部剪切,完成叶轮的设计。

2.3 吸鱼泵叶轮模型输出

叶轮设计完毕后,将默认设计叶片区域和流体区域划分开,并对固态域和流体域使用剪切操作;设置剪切操作叶轮外圆附加的流体延伸区域数值,以方便后续流体动力学分析;设置叶轮模型的输出精度,最后进行剪切操作,选择 Solid trimming 进行模型剪切,由此完成所有叶轮设计

步骤。完成模型剪切后,叶轮叶片和流体域的图片显示如图2所示;将模型直接导出成 .stp 或者 .igs 等格式为 ANSYS fluent 或者 CFX,为流体动力学软件分析所用。

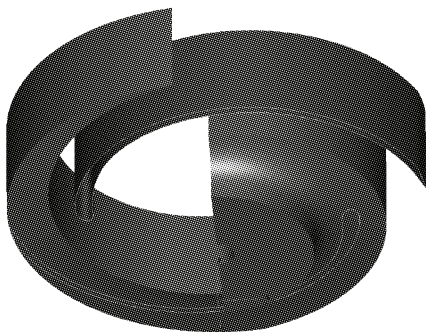


图2 叶轮叶片及流体模型

Fig. 2 Model of impeller blade and fluid

3 吸鱼泵流体分析

3.1 物理模型和流体域导入

根据设计参数利用 CFTurbo 软件设计吸鱼泵(图3),将物理模型和流体域模型导出至流体分析软件 PUMPLinx 中进行流体分析,通过 CFTurbo 的 CAE 接口将模型需要分析的部分导入流体分析软件中,CAE 接口能够将软件设计过程中的输入输出值作为参数,智能化地导入到流体分析软件 PUMPLinx 中。

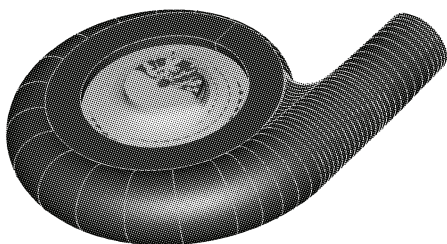


图3 吸鱼泵三维图

Fig. 3 Three-dimensional model of fish pump

将吸鱼泵流体域进行网格划分,将实体模型按三维网格类型进行划分。根据网格的无关性原则^[13-15],理论上网格密度及精细度与误差成反比,与求解计算时间成正比,在计算机条件可行范围内尽量提高网格精细度,通过软件将导入流体域进行网格划分,采用 Interior Volumes 网格划分模式生成封闭几何体内部网格(图4),设置其最

大单元网格尺寸为 0.05,最小为 0.001,面网格尺寸为 0.025,网格数为 144 157,面元数为 571 785,其节点数为 248 790。设定叶轮进出口与蜗壳进出口面,并将其连接面进行交互设定,按照设计参数设定叶轮旋转速度和方向,其他面设定为固定面,完成吸鱼泵流体分析前处理工作。

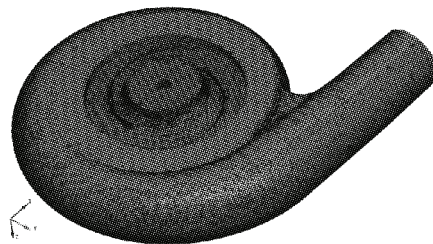


图4 吸鱼泵网格划分图

Fig. 4 Meshing of fish pump

3.2 吸鱼泵内部流场模拟

PUMPLinx 采用全空化模型(Full Cavitation Model)^[16-18],该模型基于两相流的模型思想,用 Rayleigh-plesset 方程求解气泡变化的动态过程,该模型经历了真实应用的测验和验证,能可靠地模拟各种旋转机械的流场数值。吸鱼泵网格划分完毕后进行模型数值模拟计算的参数设定,可以根据设计需要调整进出口流量、转速等信息,设定流体介质为水,其流体流动设定为不可压缩湍流,设置泵壳部分为无滑移壁面,叶轮部分流体设置为顺时针旋转。本次模拟采用吸鱼泵设计参数进行导入,叶轮转速为 700 r/min,出口流量为 320 t/h。模拟计算采用稳态计算模拟,收敛条件设置为 0.001,完毕后采用 500 次迭代计算。

3.3 流场分析

参数设定完毕后对吸鱼泵进行流体分析,采用稳态计算,计算结果收敛,根据计算结果模拟流场流线(图5),根据流线图可得液体从入口吸入后经叶轮加速,流体在叶轮流道上速度达到最大,经叶轮将液体高速甩出后,在泵壳内旋转,最后从出口流出,流体速度上无明显跳跃突变,由叶轮加速后液体离开叶轮流道后速度递减,内部无旋涡流产生,符合离心式吸鱼泵内部流体变化规律。同时,隔舌处分流平滑,无旋涡等不利流线形成,能够最大限度保护活体避免尖锐物刮伤和撞击,降低渔获的损伤率。根据吸鱼泵内部流场压力分布图(图6)可知,流道内部压强由入口经叶轮流

道到出口,压力逐渐增大,无突变压力,符合离心式叶轮泵的内部流场压力规律。

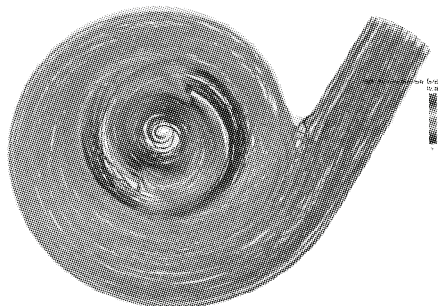


图5 吸鱼泵内部流线图

Fig. 5 Internal flow of fish pump

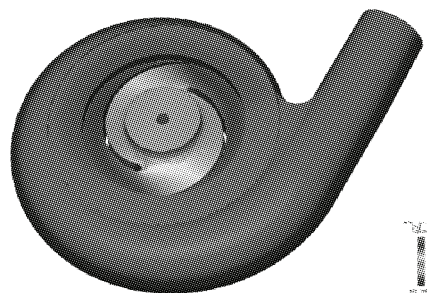


图6 吸鱼泵内部流场压力分布图

Fig. 6 Internal flow pressure distribution of fish pump

4 吸鱼泵性能预测及验证

扬程是泵所抽送的单位重量液体从泵入口处到泵出口处能量的增值,单位重量液体的能量在水力学中称为水头,通常由压力水头、速度水头和位置水头 $z(m)$ 组成^[19-20],即

$$E_d = \frac{P_d}{\rho g} + \frac{v_d^2}{2g} + Z_d \quad (1)$$

$$E_s = \frac{P_s}{\rho g} + \frac{v_s^2}{2g} + Z_s \quad (2)$$

因此可得扬程

$$H = \frac{P_d - P_s}{\rho g} + \frac{v_d^2 - v_s^2}{2g} + (Z_d - Z_s) \quad (3)$$

式中: P_d 、 P_s —泵出口、进口处液体的静压力; v_d 、 v_s —泵出口、进口处液体的速度; Z_d 、 Z_s —泵出口、进口到测量基准面的距离。

根据分析结果可知进出口流量 $Q = 321.552 \text{ m}^3/\text{h}$;进出口压力 $P_d = 189\ 687 \text{ Pa}$ 、 $P_s = 986\ 40.7 \text{ Pa}$ 、进出口速度 $v_d = 2.843 \text{ m/s}$ 、 $v_s = 2.35 \text{ m/s}$ 。此处吸

鱼泵安装高度近乎相同,故位置水头忽略不计,根据扬程公式可计算得到扬程 $H = 9.415 \text{ m}$ 。

图7可知,吸鱼泵扬程在设定流量条件下通过软件优化设计后扬程约为 9.3 m ,与流体软件分析结果近似,由此证明,基于 CFTurbo 的吸鱼泵设计能够满足设计需求,且经过软件优化调整后在额定转速、流量条件下其扬程比设计要求更优。

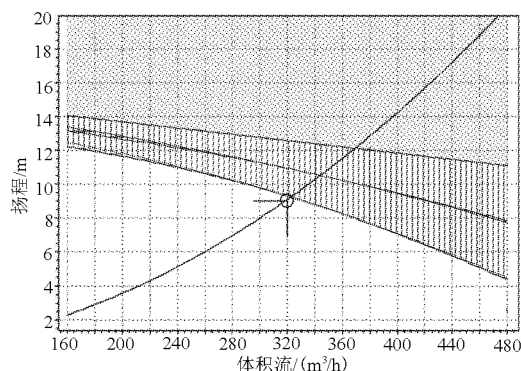


图7 CFTurbo 设计吸鱼泵性能预测

Fig. 7 Performance prediction of fish pump designed by CFTurbo

5 结论

利用 CFTurbo 软件设计了离心式吸鱼泵,实现了吸鱼泵的参数化设计,可以直观地通过软件进行三维建模并调整模型以达到设计要求,同时还能直接预测所设计的吸鱼泵性能,配合 CFD 软件进行流体分析仿真,以达到吸鱼泵产品的快速设计兼优化。以 8 英寸吸鱼泵为例,验证了基于 CFTurbo 的吸鱼泵设计和仿真,为吸鱼泵设计提供了一种快速建模和优化的参数化设计方法。□

参考文献

- [1] 刘健,钱晨荣,黄洪亮,等. 国内外吸鱼泵研究进展[J]. 渔业现代化,2013,40(1):57-62.
- [2] 叶燮明,徐君卓. 国内外吸鱼泵研制现状[J]. 现代渔业信息,2005,20(9):7-8.
- [3] 刘平. 基于 ANSYS CFX 的吸鱼泵的内部流场分析[J]. 流体机械,2014,42(11):43-46.
- [4] 黄滨,关长涛,林德芳,等. 网箱真空活鱼起捕机的研究[J]. 海洋水产研究,2004,25(3):54-60.
- [5] SUMMERFELT S T, DAVIDSON J, WILSON G, et al. Advances in fish harvest technologies for circular tanks[J]. Aquacultural Engineering, 2009, 40: 62-71.
- [6] 叶燮明,徐君卓,陈海鸣,等. 网箱吸鱼泵的研制和试验[J].

- 渔业现代化,2003(3):25-26
- [7] 日本有限会社. 二光テクノ. R201 魚類移送機[EB/OL]. [2012-10-23]. <http://www.nicotech.net/pc/index.html>.
- [8] 日本松阪製作所. 活魚移送泵[EB/OL]. [2012-10-23]. <http://www.matsusakaltd.CO.jp/PRODUCT.htm>.
- [9] Inventive Marine Products Limited of Canada. CanaVac Fish Pumps [EB/OL]. [2012-11-20]. <http://inventivemarine.com/canavac>.
- [10] Magic Valley Heli-Arc Manufacturing Incorporated of America. Fish Pump Models [EB/OL]. [2012-11-20]. <http://www.aqualifeproducts.com/index.html>.
- [11] 许钟,杨宪时. 吸鱼泵在日本的应用[J]. 渔业机械仪器, 1996(3):31-33.
- [12] 张素香,王承禄,孙铁,等. 基于 CFturbo 的离心泵扭曲叶轮设计方法的研究[J]. 流体机械,2016,44(5):56-59.
- [13] 余皓,杨志刚,朱晖. 两厢车空气动力阻力数值解与网格无关性研究[J]. 计算机仿真,2013,30(1):227-231.
- [14] 王川,施卫东,陆伟刚,等. 不同叶片厚度的不锈钢冲压井泵性能模拟与试验[J]. 农业机械学报,2012,43(7):94-99.
- [15] 刘平,徐志强,徐中伟. 离心式吸鱼泵叶轮的设计[J]. 流体机械,2016,44(3):50-54.
- [16] 刘厚林,刘东喜,王勇,等. 三种空化模型在离心泵空化流计算中的应用评价[J]. 农业工程学报,2012,28(16):54-59.
- [17] 李文广. 全空化模型预测离心泵汽蚀性能的准确度[J]. 水泵技术,2013(5):1-7.
- [18] 明廷锋,郭井加,曹玉良,等. 离心泵内流场空化特性的数值模拟研究[J]. 机电工程,2016,33(6):643-647.
- [19] 关醒凡. 现代泵技术手册[M]. 北京:宇航出版社,1995:8-15.
- [20] IGOR J K, JOSEPH P M, PAUL C, et al. Pump Handbook [M]. 4th edition, New York: McGraw-Hill Professional, 2008: 2.143-2.145.

Design of centrifugal fish pump based on CFturbo

LIU Ping, LIN Liquan, XU Zhiqiang, CHEN Zhixin

(Fishery Machinery and Instrument Research Institute, Chinese Academy of Fishery Science,
Key Laboratory of Fishery Equipment and Engineering, Ministry of Agriculture and Rural Affairs,
Shanghai 200092, China)

Abstract: The design of traditional centrifugal fish pump is basically based on design experience and similar pump design, resulting in long design cycle and uncertain performance parameters. In order to design fish pumps of different sizes and types more rapidly and accurately and estimate the parameters such as flow and head of centrifugal fish pump, CFturbo design software is used for parametric design of fish pump. CFturbo is used to establish three-dimensional model of fish pump, the experience function is built into the software to optimize the design, then CFD software is used for numerical simulation and verification, and finally centrifugal fish pump meeting the performance parameters is designed to realize its rapid development.

Key words: centrifugal fish pump; parametric design; numerical simulation; CFturbo