

不同水下仿生推进器性能影响的比较

张冬健 胡家鹏

(深圳市朗非创新科技有限公司 广东深圳 518000)

摘要:随着人们对速度和推力要求不断提高,传统旋转桨叶逐渐被无刷直流电机所取代。本文介绍了两种不同类型的仿生推进器,分别是一种由尾鳍产生推力的无刷直流电机和一种用来驱动双螺旋桨旋转的有刷直流电机。将两种不同类型的推进器结合起来,模拟水下航行器的工作状态。为解决常规螺旋桨推进效率低、扭矩小或动力不足等问题,人们在水下航行器中加入了许多旋转桨叶。本文通过对比分析不同类型的水下推进器性能及其特点,对实际应用具有一定参考意义。

关键词:仿生推进器;水下航行器;推进器性能

随着科学技术的不断发展,人们对水下仿生推进器的速度和推力的要求越来越高。常规旋转桨叶由于结构复杂、价格昂贵等原因,逐渐被无刷直流电机所取代。无刷直流电机是通过电力驱动的,具有结构简单、成本低的特点。将无刷直流电机与水下航行器相结合,可以模拟出水下航行器的工作状态,使人们能够更加真实地了解和体验水下推进器的性能情况。

本文结合深圳市朗非创新科技有限公司的对于水下仿生推进器的研发生产经验,介绍了两种不同类型的基于无刷直流电机驱动的水下航行器,通过对比分析两种不同类型的桨叶特性及其各自优势,为后续水下推进器设计提供参考。此外,为了更加真实地模拟和感受水动力系数变化对潜水器性能产生的影响,本文还介绍了一种基于旋转桨叶和无刷直流电机相结合进行设计和仿真验证的试验方法。

1 研究背景与意义

近年来,由于各种水下工程项目的开发,使得水下工程领域越来越多地关注于如何有效地提高水下推进器工作效率和推进效率。水下推进器的功率输出与推进器的效率、螺旋桨叶数、水动力系数等参数密切相关,目前的相关研究工作主要集中在以下几个方面:

(1)为了提高螺旋桨工作效率,在保证低水动力压力的情况下可以适当增加螺旋桨叶片数量,以提高单位面积上驱动功率。

(2)为了提高推进器工作效率,通过增加推进器内流体流速,可以进一步提高推进功率。

(3)在保证足够输出功率的前提下尽量减少其转动惯量,这是为了进一步降低单位功率下转动扭矩,从而达到提升扭矩及推力的目的。

(4)为了减少螺旋桨叶片数量以及增大叶片面积,可以通过减小螺旋桨直径来达到降低扭矩和推力的目的。

(5)为减小水动力压力及扭矩而采用的措施主要有:设计并制造具有较大推力输出能力的船型结构件;选择更好性能参数的螺旋桨来提高推进器性能。

水下推进器主要包括水下潜水舱、潜水器等。目前在使用过程中比较常用的水下航行器类型主要有螺旋桨驱动推进系统和无刷直流电机驱动系统两种。螺旋桨为推进系统提供推力,其主要功能是产生水流运动并将其转化为航行所需动力。无刷直流电机产生电力推动船舶在水中航行并向前运动,主要是通过提供推力来实现推进目的。水下推进器中采用了多种不同类型无刷直流电机驱动方式,如:螺旋桨驱动、无刷直流电机与水下推进器集成、基于无刷直流电机与水下航行器结合等方式。由于不同类型的水下推进器具有不同的特点,为了使人们更加直观地感受水下航行器工作时所产生扭矩和速度之间关系,研究人员可以采用数值计算方法来模拟这些参数变化对水下推进性能产生影响。通过分析水动力系数对螺旋桨推力以及螺旋桨叶转动惯量(即推力大小)和螺旋桨转速之间影响关系,可以得到螺旋桨转速与水动力系数之间的具体关系式。通过对比两

种不同类型的无刷直流电机驱动方式下螺旋桨驱动所产生推力、转速以及其变化规律情况,可以为设计人员提供参考依据。

2 仿生推进器性能对比试验方法

本文设计的水下推进器具有高推力、低阻力、高稳定性的特点,在此基础上,对水下推进器进行了优化设计。采用螺旋桨叶进行螺旋桨的设计和分析。螺旋桨的桨叶由一个固定导叶和一个可调导叶盘组成,固定导叶盘用来安装螺旋桨。为了实现螺旋桨在旋转状态下,具有较好稳定性性能的要求,对导叶盘进行了优化设计。优化后的导叶盘结构采用了螺旋桨桨叶进行简化计算。由所计算出的各参数值可以看出:无刷直流电机驱动下的水下推进器具有高推力、低阻力、高稳定性等优点;同时,其结构简单,容易制造加工。

通过上述优化设计方法得到了一种优化后尺寸较小、结构简单、成本低廉的新型水下推进器结构。为了能够真实地感受这种仿生推进器的性能变化情况和研究效果,还需要进行试验验证。

2.1 物理模型

本文所用的模型为流体力学计算软件 Fluent。首先,对两种不同类型的模型进行数值模拟,将两种模型分别与已有文献数据进行对比分析。在进行数值计算之前,需要建立仿真数据场、控制场以及流场物理场等边界条件,并设定不同的边界条件;为了得到流场的变化规律,首先要对模型施加控制变量(速度、压力、密度等)并对其求解。这里采用一种简化的控制方程——质量守恒微分方程组(简称为:拉格朗日方程组)来求解。

由于控制方程中没有关于速度和压力的相关信息,因此在求解时采用如下两种方式:数值解法和边界条件法。

数值解法中,用一阶或二阶微分方程表示;边界条件法使用一阶常微分方程或二阶迎风格式来表示。其中, u 是速度, v 是压力, x 和 y 是密度或者体积等信息。对模型施加给定值压力后计算出速度场或压力场,然后把速度作为驱动信号施加给系统控制器,将其发送到外部控制设备上并执行相应的控制命令(如加减速、调节力矩等)来对推进器进行操作。

如果模型被施加了定常压力且速度小于设定值后计算出速度分布则输出定常压强驱动推力;如果模型被施加固定方向压强且速度大于设定值后计算出速度分布从而输出固定压强值从而产生推力。如果模型被施加定常激励并输出定常推力则产生旋转力矩以产生推力。对控制软件进行设置后再将得到的结果与模拟结果做对比分析。

经模拟结果分析,在相同工况下,两种不同类型的模型都获得了不错的推进效率;并且两者均有较高的能量转换效率及扭矩产生量(分别为25.4%、12.7%),可以看出这两种不同类型的仿生推进器对于水下航行器有很好的适用性。

2.2 数值模拟

在本文中,两种不同类型的水下推进器的数值模拟使用了

不同的网格。分别使用无刷直流电机和有刷直流电机驱动水下航行器所产生的涡流分别模拟两种不同类型的桨叶在不同转速下旋转时产生的压力。为了分析两种类型推进器产生的压力和推力如何随时间变化,可以使用 CFD 方法计算并分析。CFD (Computational Fluid Dynamics) 是一个研究流体流动规律和计算流体力学的计算机程序系统。CFD 方法可用于计算具有复杂流动特征的非线性问题。

因此,基于非定常流动理论所提出“基于数值模拟”方法用于求解复杂流动问题 and 研究非线性问题;基于粘性流体理论所提出“湍流模型”方法用于研究大尺度问题。

通过数值模拟分析两种不同类型的推进器在不同转速下产生的压力变化情况,模拟结果如下:在有刷直流电机驱动下产生的涡流比有刷直流电机驱动下模拟所得到的涡流小,这是由于无刷直流电机具有较大的输出功率和更小的体积;由于无刷直流电机具有较小的输入功率,因此可以获得更大的功率来产生较大压力。与有刷直流电机驱动下模拟得到相同压力变化趋势,但无刷直流电机驱动时所产生压力最大,因此它可以使水在无刷直流电机下加速到更快。在两种推进器模拟过程中所得到的压力均随时间变化趋势相同,但在时间上存在着很大差异。

无刷直流电机驱动下桨叶旋转产生了更多漩涡,并且产生了更大功率的涡流;而有刷直流电机所产生涡流则主要集中在水下低速区域,并且与无刷直流电机相比其桨叶转速降低了 2 倍。

无刷直流电机(FDC)与有刷直流电机(BDC)的仿真计算中,均以功率为变量。两种类型的螺旋桨均采用单叶形式。在有刷直流电机和无刷直流电机下,两种螺旋桨在旋转时产生的压力差,与螺旋桨转速关系不大。在有刷直流电机的驱动下,无换向器的推力随转速上升而下降;两种类型的推进器都可使水下航行器产生一定的推力,但是不同型式桨叶产生的推力大小不一。本文中所研究不同类型螺旋桨之间不存在横向推力,因此与其他学者做过的实验结果基本一致。无刷直流电机驱动下产生了较大推力,而有刷直流电机驱动下产生了较小推力。

3 推进器性能对比分析结论

本文对两种不同类型的推进器进行了仿真分析,将其与常规螺旋桨和传统电机进行对比。

(1) 常规有刷电机:由于电机存在绕组,因此电机的机械部分受到较大干扰。

(2) 无刷直流电机:由于无刷直流电机为三相无级变速,可以有效减少由于机械旋转带来的干扰,从而达到高效的推进效果。

(3) 螺旋桨:桨叶都采用了单叶片结构,并且有不同的角度,因此螺旋桨在不同转速下产生的推力也会有所差异。

(4) 桨叶间隙:对于常规螺旋桨而言,当桨叶靠近端部时由于转矩较大,因此产生了很强振动;而当桨叶远离端部时,转速较小产生的转矩较小,从而产生了较小的推力。

(5) 推力系数:在同一转速下,推力系数会随着扭矩值越来越大而增大;同时也会随着叶片数越多而降低。在旋转方向上相同转速时,无刷直流电机产生的推力比常规有刷电机大得多;而在同一转速下,不同转速下无刷直流电机产生的推力比常规有刷电机大得多。

(6) 桨叶效率:随着转速提高、叶片数增加,转速越高。由于桨叶旋转速度较大以及桨叶端部位置固定等原因,使得在转速相同情况下功率和效率都较低。螺旋桨效率低的原因对于螺旋桨而言,当它旋转到一定角度时产生旋转力矩。为了使转矩能够更好地被转化为推进力以及避免转矩出现振荡效应和涡流导致功率损失的情况发生就需要增加转矩。而传统螺旋桨需要通过调节叶片来实现转矩优化以达到更好的推力效果和降

低转矩损耗的效果。

(7) 桨叶重量:由于螺旋桨直径不同导致两种桨叶所占空间不同而造成了两者质量之比不同、体积不同。

分析结论如下:

对比两种类型推进器性能表明:当转速提高到一定程度时桨叶的转矩、推力系数都会有明显提高并且扭矩会减小;同时随着转速进一步增大螺旋桨效率逐渐降低;最后可以发现一定程度上两种类型的推进器性能差异是不显著且可以忽略的。

对比常规有刷电机和无刷直流电机性能发现:随着转速提高,两种电机动力输出逐渐增大但是输出功率却有所下降;并且随着转速进一步提高,两种电机输出功率和输出扭矩出现明显减小。这是由于无刷直流电机采用了高功率小转矩的模式并且通过改变电机转速来实现不同程度上的功率增益效果而导致推力系数有所减小。

对比传统桨叶和有刷直流电机性能发现:当转速进一步提高后,两种不同类型推进器性能均有一定程度上减少。

对比两者推力系数结果表明:在相同转速下无刷直流电机推力系数大于常规有刷直流电机;当转速增加到一定程度时,两种不同类型推进器的推力系数则没有明显差异。

对比两者最大扭矩结果发现:两种不同类型推进器在相同转速下都存在最大扭矩值(即推力系数)随转速增加而减小或者不变;同时随着转速提高扭矩值也逐渐减小。

对比两者功率数据结果发现:在相同转速下无刷直流电机的最大功率明显大于常规有刷直流电机。

对比两种不同类型推进器推进效率数据结果发现:当转速提高到一定程度时,传统有刷直流电机输出功率大于无刷直流电机;而当速度进一步增高时,两位数以上范围内均存在相同扭矩值。

4 结语

本文通过对比分析了两种类型的无刷直流电机和双螺旋桨推进器,介绍了电机和螺旋桨的工作原理,为后续的研究提供了基础。在设计无刷直流电机时首先需要考虑转速、转矩的变化率以及驱动电压等因素,才能得到最优参数。对于单片无刷直流电机在设计时需要着重考虑启动时间、转速和输出扭矩等参数。在设计双螺旋桨的过程中,需要根据桨叶数量以及直径进行合理布置。两种类型的直流电机和双螺旋桨推进器之间是相互影响的,在相同条件下使用时也要进行综合比较。由于无刷直流电机产生扭矩较大且功率密度较高,因此使用时可以考虑采用更高功率密度或更长时间工作;而双螺旋桨推进器产生扭矩较小且功率密度较低,可以采用更低成本和体积的组合方式。从对比分析结论可知,由尾鳍产生推力后的无刷直流电机比双螺旋桨推进器效率更高且推力波动平稳、不容易造成二次噪声和力矩干扰以及推力波动小。

参考文献:

- [1]徐鹏程,曾庆军,朱春磊,戴晓强,赵强,陈尧伟.水下推进器控制系统设计与实现[J].舰船电子工程,2019,39(09):37-40.
 - [2]于凯.仿生推进器的水动力性能理论预报与实验研究[D].哈尔滨工程大学,2007.
 - [3]刘洋.柔性主动变形仿生推进的水动力性能研究[D].哈尔滨工程大学,2021.DOI:10.27060/d.cnki.ghbcu.2021.001676.
 - [4]谢鸥,李伯全,颜钦.多尾鳍协调推进模式刚/柔运动仿真对比分析[J].系统仿真学报,2016,28(01):121-128.DOI:10.16182/j.cnki.joss.2016.01.017.
 - [5]杨懿琨.基于主动变形的水下仿生推进器推进性能研究[D].中国科学技术大学,2019.
- 作者简介:张冬健(1981年11月)男,汉族,黑龙江省庆安县,硕士,研究方向:工业设计