

调距桨在800 kW拖船全回转导管桨上的应用研究

高用亮¹, 黄朝彬², 韩波³

¹陆军某军代室, 山东 青岛

²无锡东方长风推进器有限公司, 江苏 无锡

³青岛前卫船厂, 山东 青岛

收稿日期: 2024年5月19日; 录用日期: 2024年6月10日; 发布日期: 2024年6月19日

摘要

本文着眼于全回转港作拖船变工况使用的特点, 系统分析了螺旋桨的工作特性, 结合实船需要提出了将可调距螺旋桨与全回转导管桨结合设计的研究方向, 并通过开展水动力分析、调距机构研发、机电一体化研究等工作, 实现了可调桨在全回转导管桨上的应用, 为同类船舶应用研究提供了借鉴。

关键词

可调桨, 全回转, 导管桨, 应用

Research on the Application of Controllable-Pitch Propeller in 800 kW Tugboat's Rudder Ducted Propeller

Yongliang Gao¹, Chaobin Huang², Bo Han³

¹A Military Representative Office of a Certain Army in Qingdao, Qingdao Shandong

²Wuxi Dongfang Changfeng Propeller Co., Ltd., Wuxi Jiangsu

³Qingdao Qianwei Shipyard, Qingdao Shandong

Received: May 19th, 2024; accepted: Jun. 10th, 2024; published: Jun. 19th, 2024

Abstract

Focusing on the characteristics of variable working conditions for controllable harbor tugboats,

文章引用: 高用亮, 黄朝彬, 韩波. 调距桨在800 kW拖船全回转导管桨上的应用研究[J]. 机械工程与技术, 2024, 13(3): 226-230. DOI: 10.12677/met.2024.133027

this paper systematically analyzes the working characteristics of propellers. Based on improving ship maneuverability, enhancing main engine power utilization, and improving fuel economy, this paper proposes a research direction combining controllable-pitch propellers with rudder ducted propellers in combination with actual ship needs. Through hydrodynamic calculation and analysis, research and development of pitch adjustment mechanisms, mechatronics research, and other work, the application of controllable-pitch propellers to rudder ducted propellers has been achieved, providing a reference for similar ship applications.

Keywords

Controllable-Pitch Propeller, Rudder, Ducted Propeller, Application

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

当前国内全回转舵桨、调距桨技术较为成熟，应用广泛，但两者融合设计的案例比较少见。将调距桨技术嵌入全回转导管桨，契合了港作拖船工况多变的特点，补齐了主机多工况使用功率发挥不足的短板[1]。本文以 800 kW 拖船为例，对港作拖船应用调距桨技术进行了研究探索。

2. 使用工况分析

800 kW 拖船属港作拖船，主要用于港湾作业，如拖带船只，协助大型船舶进出港、靠离码头、掉头和移位等，也可用于港口人员的交通及少量物品运送[2]，其采用定距全回转导管桨作为推进装置，性能指标满足使用要求。但由于定距桨设计工况是经综合权衡最高自由航速和最大系柱拖力两个指标而来[3]，使用工况一旦偏离设计工况就会出现“桨重”或“桨轻”现象。

1) 在拖带运输及港湾作业等重载工况下“桨重”。船舶航行阻力增加，船速降低，螺旋桨水动力扭矩亦增大，柴油机负荷增大，转速降低。此工况下柴油机转速远低于额定转速，额定功率不能完全发挥，主机功率利用率不高。

2) 自由航行及顺风顺流工况下“桨轻”。航行阻力减小，船舶航速增加，螺旋桨水动力扭矩减小。此工况下主机负荷轻，其转速因转速限制不能达到额定转速，主机未完全发出额定功率。

鉴于定距桨在非额定工况下，柴油机均不能完全发挥主机功率的实际，笔者以为：可在主机、螺旋桨主要参数不变的前提下，将定距桨改为调距桨，以提高其工况适应性，即：重载工况时，螺旋桨调小螺距。轻载工况时，螺旋桨调大螺距。

3. 研究思路

调距桨是桨叶螺旋面与桨毂可相对转动的一种螺旋桨，通过转动桨叶达到改变螺距的目的。当船舶处于不同工况时，可通过调整螺距使主机工作在最优状态。调距桨具有工况适应性好的优势，可最大限度地发挥主机功率，能突破主机怠速实现低速航行，契合了 800 kW 拖船港湾作业特点，且改进所需费用少，性能改善明显，性价比突出。

800 kW 拖船主要性能指标满足使用实际，主要针对其多工况下的适应性进行改进提高。主机及舵桨主要参数不变，将定距桨改为调距桨，并在此基础上，结合原桨叶图谱设计实际，通过系统计算明确螺

距调整边界,从调距结构、液压传动、反馈设计等方面对调距机构展开研究,实现调距桨与全回转导管桨的集成。

由于全回转导管桨舵桨功能合一,将调距桨引入导管舵桨中,螺距调整仅限于满足低速航行、提供最大拖力和最高自由航速等多工况需要,降低了桨叶转角频率和幅度,减轻了调距机构负荷,系统的可靠性可得到更好的保证。

4. 技术路径研究

4.1. 界定螺距边界

按照桨直径不变、有效功率不变、螺距可调的改进思路,沿用原定距桨图谱(No.19A 导管 + Ka4-70 螺旋桨敞水试验图谱)进行调距桨水动力计算。因船型及主机各参数未发生变化,实船有效功率直接调用 800 kW 拖船原始数据,采用图谱设计法重新评估最高自由航速、最大系柱拖力、拖带航行工况,以明确螺距边界范围。同时立足提高船舶燃油经济性,在主机额定功率下,计算、明确螺距-航速最佳匹配关系。

4.2. 调距结构研究

桨叶在各种外载荷作用下进行调距,需设置动力源来带动桨叶转动。国内较为成熟的技术方案是液压调距,调距力由调距机构中伺服油缸所产生,再通过桨毂中的转叶机构变成转叶扭矩。选用平面式固紧结构进行调距桨桨毂固紧,以发挥其强度高,拆装方便,技术成熟,应用广泛的优势[4],并基于此结构模型按照经验公式完成转叶扭矩估算,依据计算结果确定液压元器件工作参数、伺服油缸的壁厚以及开展桨毂的强度设计。本文引入的经验公式[5]如下:

$$M = (1 + K)(M_1 + M_2 + M_3 + M_4)$$

式中, M 为调距过程中每只叶片最大转叶扭矩; M_1 为每只叶片离心力在平面轴承上产生的摩擦力矩; M_2 为每只叶片推力,切力合成力在径向轴承上产生的摩擦力矩; M_3 为每只叶片推力,切力合成弯矩在平面轴承上产生的摩擦力矩; M_4 为每只叶片流体动力转叶扭矩; K 为引入设计工况作为计算工况而引起的总转叶扭矩修正值,

基于桨叶自身旋转变距和液压传动的特点,将调距结构分为三部分,即:桨毂组件、进油组件及反馈组件,如图 1、图 2 所示。螺旋桨桨叶通过紧固螺钉与曲柄盘连接成一体,并与桨毂形成平面式固紧机构,桨叶可绕着中心轴线旋转。活塞体通过滑块与曲柄盘底部销轴连接,将直线运动转化为桨叶的旋转运动。阀座固定在活塞体内部,将伺服油缸隔成左右油缸,可通过控制油压实现桨叶顺时针及逆时针旋转。

4.3. 反馈装置研究

桨叶螺距能否实现精确调控,很大程度上取决于螺距反馈机构的可靠性和精确性。借助于反馈机构,桨叶螺距角可实时反馈至控制系统,实现螺距的闭环控制。采用连杆机构作为反馈机构,以发挥其反馈精度高、技术成熟可靠的特点[6]。当伺服油缸受油压时,活塞体往复移动,带动与活塞体连结的两套机构——曲柄滑块机构和反馈机构同时运动。为了便于计算分析,在充分分析螺旋桨调距机构运动规律和特点,将其结构简化并建立如下运动模型,如图 3 所示。活塞的位移与桨叶的转角的关系为: $L' = L \sin \theta = 58 \sin \theta$,利用 UG 软件中建立反馈机构的运动仿真模型,通过软件计算可明确活塞往复运动经过反馈机构后的位移,即为与反馈杆相连齿条的位移,齿条位移经换算即可转化为转角信号。通过螺距传感器(编码器、电位器、自整角机等)将转角信号转化为电信号,反馈至控制系统,形成闭环控制。

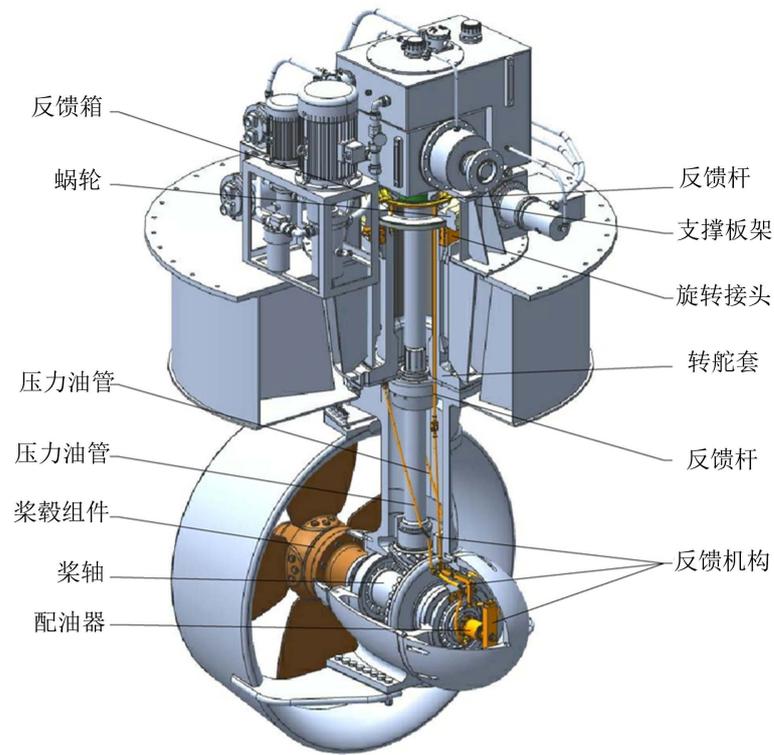


Figure 1. Sketch of distance adjusting system
图 1. 调距系统示意图

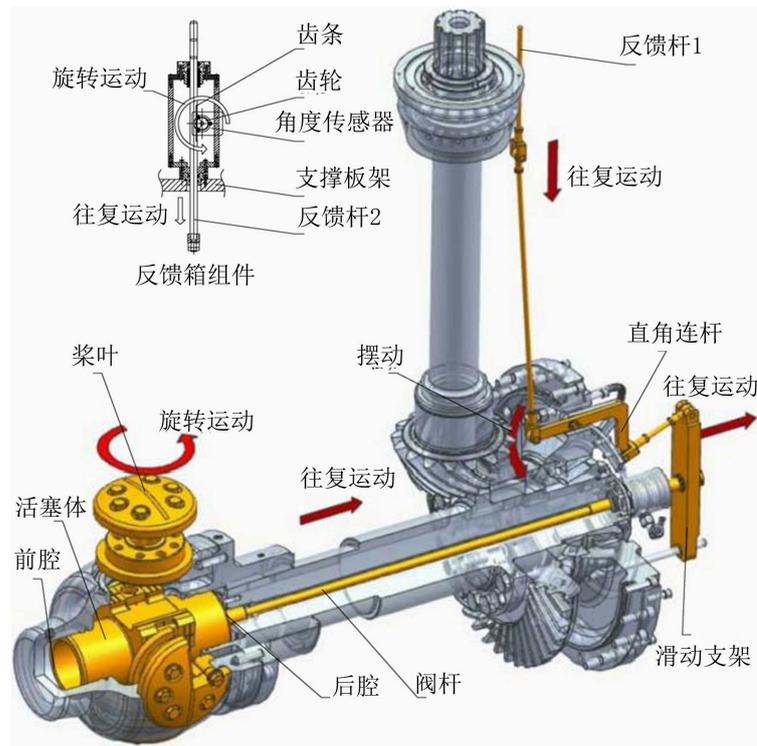


Figure 2. Schematic diagram of adjusting distance principle
图 2. 调距原理示意图

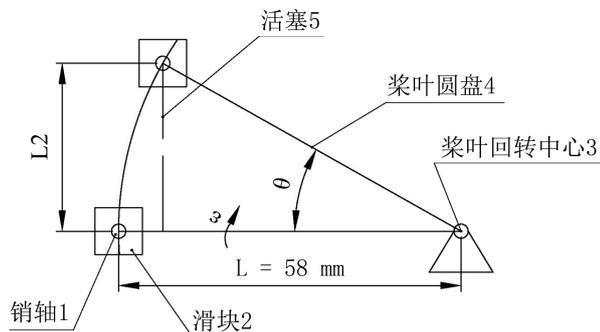


Figure 3. The motion model of feedback mechanism
图 3. 反馈机构运动模型

4.4. 液压系统设计

调距液压系统是驱使桨叶转动调距的职能机构,根据调距桨的工作需要,控制和调节液压油的压力、速度和方向,从而保证调距桨的调距和稳距。调距状态下,特别是零螺距附近需要较高的调距油压。稳距状态下,因桨叶平面轴承处的摩擦力矩与桨叶外载荷作用方向相反,能抵消部分外载荷,在常用船速附近稳距油压较小。

分析调距桨瞬时调距、长时稳距的工作特点,笔者提出如下技术应对措施:一是选用双泵系统。使系统能量得到合理利用,减少油液发热,提高元件使用寿命;二是采用液压锁设计。液压锁由两只液控单向阀组成,可保证桨叶稳定在设定位置上作长时间的稳距航行。将液压锁设置在动力油缸内,并通过其可靠工作,大大减少因系统中旋转密封泄漏而引起的电磁阀频繁动作,提高系统的稳距性能;三是选用比例流量控制阀,实现无极调距;四是选用电磁阀系统。在满足使用要求的前提下,使整个系统比较简单;五是调距液压系统与舵桨润滑系统采用同一油源,选择对油质清洁度要求较低的液压元件,以提高系统可靠性。

基于上述思路,通过将调距与滑油冷却功能液压回路集成,采用比例阀分配各自所需油液,重新设计集成阀块等,完成调距液压系统与舵桨原回转系统、润滑冷却系统的集成设计。

5. 结论

本文对可调距螺旋桨与全回转舵桨集成设计进行了大胆尝试,从螺距船速匹配以及调距结构、液压传动、反馈装置设计等四个方面介绍了实现技术路径,达到了改善港作拖船性能、提高主机燃油经济性的目的,为同类船舶推进器设计和航行性能优化提供了理论和技术支持。

参考文献

- [1] 李方川,王鹏,刘飞. 可调螺距螺旋桨的特性分析[J]. 中国水运(下半月), 2008(1): 57-58+65.
- [2] 付昭斌,孙成琪,郑燕祥. 全回转式调距桨港作船降耗初探[J]. 中国水运, 2020(7): 122-124.
- [3] 王国亮,王超,乔岳,黄胜. 可调螺距桨水动力性能预报及参数影响分析[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2015, 43(10): 42-49.
- [4] 霍国义. 舰船调距桨推进装置的建模与仿真分析[J]. 舰艇科学技术, 2017, 39(22): 4-6.
- [5] 杨琼方,王永生,刘承江. 调距桨调距过程中叶元体受力的 CFD 分析方法研究[J]. 船舶力学, 2010, 14(5): 458-465.
- [6] 刘文涛,刘志华,马骋,陈前. 调距桨动态调距计算方法研究[J]. 中国造船, 2022, 63(6): 14-30.