

# 全回转式调距桨港作船降耗初探

付昭斌<sup>1</sup>, 孙成琪<sup>1</sup>, 郑燕祥<sup>2</sup>

(1. 广东海洋大学海运学院, 广东 湛江 524088; 2. 湛江港龙腾船务有限公司, 广东 湛江 524000)

**摘要:** 为解决全回转式港作拖船高油耗的问题, 本文在分析调距桨主要特性和控制方式的基础上, 全面分析了影响油耗的因素, 进而提出降耗的措施。

**关键词:** 主机转速; 油耗; 调距桨; 全回转式

**中图分类号:** U674.24

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1006—7973 (2020) 07—0122—03

港口是对外经济交流的窗口和现代物流业的重要环节, 作为船舶港内安全作业的重要辅助工具, 港作拖船燃油消耗直接影响了拖轮公司的经营成本。因其优良的船舶操纵特性, 全回转式港作拖船已经成为港口拖船使用的首选。但相比其他港作拖船而言, 全回转式调距桨拖船的油耗普遍较高。因此, 如何降低全回转式港作拖船的油耗, 显得非常必要。

围绕降耗问题, 冯树强<sup>[1]</sup>提出控制船舶速度等措施来降低油耗; 潘永良<sup>[2]</sup>在分析拖船运行特点的基础上, 提出遵循热工运行规律, 增强节能降耗意识等措施来降耗; 王伟<sup>[3]</sup>提出合理调整船舶吃水差来降低远洋船舶油耗的措施; 曹用顺、陆汉林<sup>[4,5]</sup>认为采用经济航速节能效果显著; 莫司丞<sup>[6]</sup>采用鱼翅分析法, 研究得出设备自身质量、设备运行环境和管理是引起粤海铁路火车渡轮主机高油耗的主要原因; 张琳<sup>[7]</sup>认为可通过优化拖轮调度计划和改变驾驶行为等措施来降低油耗。上述研究是从某个方面研究了全回转式港作船的油耗情况。本文拟在分析全回转式推进器的主要特性和控制方式的基础上, 全面分析影响油耗的因素, 进而提出降低油耗的措施。

## 1 全回转式调距桨工作原理及主要特性

### 1.1 调距桨工作原理

根据螺旋桨理论, 当流体以某一速度  $w$  与螺旋桨桨叶弦线以某一攻角  $\alpha$  流入时, 将在桨叶处产生垂直于  $w$  的升力和翼型阻力  $D$ , 此合力可平行或垂直于螺旋桨轴线进行分解, 可得推力  $T$  和旋转阻力  $D$ 。在固定螺距下, 只能通过调节主机转速  $n$  来改变水动力角, 实现船舶的加减速操作; 但对于可调螺距螺旋桨, 除此之外, 还可通过改变桨叶叶片处的螺距角方式, 改变水动力角, 从而实现船舶加减速操作。另外, 全回转调距桨没有舵机, 改变螺旋桨导流管回转角度, 可以控制船舶的航向, 起到了舵机的作用。

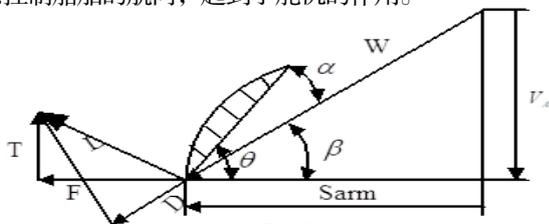


图1 调距桨工作原理图

### 1.2 调距桨的主要特性

根据文献<sup>[8,9]</sup>, 调距桨的主要特性如下:

(1) 可以根据不同的工况, 调整螺距角, 始终保持螺旋桨推进效率处于最佳状态。相同转速下, 随螺距角的增大, 螺旋桨效率呈现先增大后减少的趋势; 相同螺距角下, 螺旋桨的效率随转速的增大而提高, 但变化规律因进程比的不同而有差异;

(2) 主机转速  $n$  和调距桨直径  $D$  一定时, 可以通过保持螺旋桨扭矩系数  $KQ$  不变, 调节螺距比  $P/D$ , 既能达到航速稳定的目的, 又能充分发挥主机额定功率;

(3) 保持调距桨直径  $D$  不变, 可以同时调节主机转速  $n$  和螺距比  $P/D$ , 实现给定的推进力, 稳定所需航速;

(4) 在主机转速  $n$  不变的情况下, 可以通过调节螺距比  $P/D$ , 实现前进或后退时的最大航速;

(5) 在双调距桨工作时, 可以通过调节螺旋桨推进方向, 配合主机转速, 实现船舶的原地旋转、横移。

## 2 全回转式调距桨推进系统控制方式

常见的全回转式可调螺距螺旋桨推进系统控制方法有独立控制、组合控制和非跟踪控制三种。

### 2.1 独立控制

独立控制方式意指分别操控主机转速调节手柄和可调螺距旋钮。这种控制方式下, 可调螺距和主机转速是独立控制的, 彼此之间毫无关联, 操作相对较为复杂。需要驾驶员极为熟悉可调螺距螺旋桨的工作原理及性能, 以及主机转速和可调螺距的最佳匹配关系, 否则, 极易因操作不当, 致使螺旋桨出现空泡、效率低和主机出现超载、失速等现象。因此, 一般不选择这种控制方式。

### 2.2 组合控制

组合控制是在推进系统预编某一工况下主机转速和螺距角匹配程序的情形下, 通过控制操控主机转速, 螺距角按照预先编制的程序自动追随主机转速的控制方式。如“湛江消拖 601”是通过调节主机转速, 螺距角则自动追随主机转速的方式, 实现对推进系统的控制。同时, 通过顺时针(或逆时针)旋转主机转速调节手柄根部的大圆盘, 调节导流管的方向与船舶中心线的方向。相应的螺距角、主机转速等都在控制台的仪表上显示。

表1 “湛江消拖601”车钟令及主机转速、螺距角

车钟令	主机转速 (r/min)	螺距角 (°)	备注
微速顶(推)	480~500	5~7	1) 540 ~ 580r/min 为共震区; 2) “湛江消拖601”为全旋回式, 顶(push)和拉(pull)的转速基本保持一致。
慢速顶(推)	500 ~ 530	10 ~ 13	
半速顶(推)	600 ~ 620	15.5 ~ 16	
快速顶(推)	650 ~ 670	18 ~ 18.5	
停车	0	0	

组合控制的优点主要在于操作简单,且能确保在设定工况下有最低燃油消耗。但这种控制方式下的最低油耗仅局限于所设定的工况,一旦工况发生改变,也就难以保证有最低燃油消耗。

### 2.3 非跟踪控制

作为上述两种控制方式的备用控制方式,非跟踪控制一般在应急时使用。当螺距控制系统出现故障时,可利用驾驶台上的应急操纵按钮,直接控制螺距;或者是将螺距固定在某一位置,将它作为定距桨来使用。

## 3 油耗分析

### 3.1 船舶阻力

运营中的船舶所受到阻力总量  $R_T$  由基本阻力  $R_0$  和附加阻力  $\Delta R$  两大部分构成,基本阻力受船速、排水量和船型等诸多因素的影响<sup>[10]</sup>,主要由摩擦阻力、兴波阻力、涡流阻力和空气阻力组成。摩擦阻力一般为总阻力的70~90%,主要与湿水面积、船体光洁度和船速有关。船体表面粗糙度越大,附加阻力越大,可使船舶总阻力增加25~50%。

### 3.2 定速航行

船速是影响船舶摩擦阻力的主要因素。摩擦阻力总阻力中的大小主要取决于船速的大小,基本上以船速的二次方速率迅速增大。若定速航行的速度越高,船舶所受到的航行总阻力自然就越高,相应的油耗也就越高。

### 3.3 可调螺距螺旋桨螺距与主机转速匹配

在协助大船靠、离泊作业或旋回作业时,拖船需要根据大船的操纵意图,提供有效的推力。通常情况下,拖船最大推力是由大船指挥者以“车钟令”的形式下达,而拖船上主机转速均与车钟令一一对应。因此,只需研究既定转速时可调螺距螺旋桨最大推力及最佳螺距和转速的匹配关系,即可达到节能的目的<sup>[11]</sup>。

当额定扭矩  $M_H$  和额定转速  $n_H$  一定时,扭矩系数  $K_2$  为常数(公式  $K_2 = M_H / \rho n^2 D^5$ )。从公式不难看出: $K_2$  与  $M_H$  成正比,与转速  $n$  的平方成反比。

根据进程比计算公式  $\lambda_p = v_p / n_H D$ , 进程比  $\lambda_p$  与进速  $v_p$  成正比,而与该额定转速  $n_H$  成反比。

因此,可根据  $K_2$  和  $\lambda_p$  在螺旋桨特性工作曲线图,查取相应的螺距比  $H/D$  和推力系数  $K_1$ 。再按照推力的计算公式  $P = K_1 \rho n_H^2 D^4$ ,  $P_e = P(1-t)$  计算不同航速  $v_g$  时的最大推力。

### 3.4 顶推或拖拉着力点

顶推点或拖拉着力点的不同,同等顶推力或拖拉力所产生的转船力矩是不同的。顶推点越靠近大船船中,同样转船力矩情形下,需要的顶推力越大。因此当协助大船掉头操作时,宜选择大船首尾最远端系靠,可在同等主机输出功率时能提供最大的转船力矩,以此降低拖船的油耗。

## 3.5 其他

主机的维护保养,如喷油嘴雾化状态、设备是否“跑、冒、漏”、燃油燃烧是否充分等等,也是影响主机油耗的原因。船舶的吃水和吃水差对船舶的快速性有一定的影响,不合理的吃水和吃水差也会引起船舶油耗的额外增加。

## 4 降耗的主要对策分析

### 4.1 定速航行采用经济航速

因港口拖船配置或海况的原因,港作拖船承担了部分引航员登、离船的接送任务,拖船与引航员登、离船点有一段较远的距离。有时拖船停驻点至作业地点也有较远的航程,因此,从降低油耗的角度,宜采用合适的经济航速。

### 4.2 研究主机技术资料,总结和归纳不同工况下可调螺距与主机转速的最佳匹配

“组合控制”的推进系统控制方式,虽然操作简单,但这种控制方式下的可调螺距(螺距角)与主机转速仅仅是适合某一固定海况下的最佳匹配,并不适用于所有的海况,难以保证最好的有效推进效率。因此,需要围绕可调螺距与主机转速的最佳匹配,研究船舶柴油机各类技术资料,特别是燃油曲线图等,总结和归纳不同工况下的最佳匹配,以期达到节能的效果。

### 4.3 合理选择控制方式

推进系统有多种控制方式,可同时或独立操作螺距和主机转速,同时还可操作导流管与船舶中心线的偏转夹角。驾驶员熟悉不同的控制方式下螺距角与主机转速的匹配度,需根据作业环境和工况,合理选择控制方式。在“独立控制”模式下,密切关注螺距角与主机转速的匹配度,使之处于最佳匹配状态。

### 4.4 合理选择系靠点进行降耗

港作拖船主要为大船港内作业时,提供大船旋转或调整航向时的转船力矩或拢岸、离岸时的横向运动的推力或拖拉力。着力点的不同,决定了相同推力或拖拉力所产生的转船力矩的异样。因此,当大船在决定拖船的系泊点时,可以向大船指挥者提出合理化的建议。

### 4.5 加强船舶机器设备的维护保养,保持机器设备处于良好的工作状态

平时应加强对机器设备的维护保养,尤其是对主机进行定期维护,密切关注主机喷油嘴的雾化和燃烧情况,始终保持机器设备处于良好的工作状态,杜绝“跑、冒、漏”现象。

### 4.6 其他

# 岸线变化对钦江河口盐水入侵的影响

李珂珂<sup>1</sup>, 邹华志<sup>2</sup>, 张娜<sup>1</sup>

(1. 中国海洋大学工程学院, 山东 青岛 266100; 2. 珠江水利科学研究院, 广东 广州 510611)

**摘要:** 本文基于 Delft3D 软件建立了钦江河口及附近海域三维水动力盐度数值模型, 并利用实测的数据资料进行了潮位、潮流和盐度的验证。验证结果表明, 本文所构建的三维数值模型, 能够较为准确地模拟茅尾海及钦州湾的水动力和盐淡水输移过程。然后, 根据模拟结果分析了茅尾海和钦州湾的潮流场特征。最后, 依据 2005 年和 2015 年岸线边界条件, 模拟了岸线变化和滩涂围垦工程对茅尾海和钦州湾盐淡水输移的影响。结果表明, 2005~2015 年间的岸线、滩涂围垦对茅尾海和钦州湾的盐、淡水输移产生了一定影响。

**关键词:** 岸线变化; 钦江河口; 盐水入侵

**中图分类号:** P731.12

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1006—7973 (2020) 07—0124—04

河口是河流向海洋的过渡段, 受到河流和海洋两种动力作用。盐水入侵<sup>[1]</sup>是由于河口邻近海域的高盐水团随涨潮流沿着潮汐通道向上游推进, 盐淡水混合使河口上游区域水体出现变咸的现象, 对沿途区域的水环境、农业灌溉和生活供水等产生重要影响。研究河口的盐水入侵规律, 有利于深入了解河口地区盐度输移规律与物质输移规律, 探索开发沿海地区的淡水资源, 防止盐水入侵进一步恶化, 对河口开发整治和河口地区的工农业生产也具有非常重要的意义。近些年, 许多学者对长江口、珠江口、钱塘江口、南渡江河口和密西西比河口等河口的盐水入侵问题<sup>[2-6]</sup>, 以及重大工程、河口河势、气候改变和动力因素对盐水入侵的影响<sup>[7]</sup>做了详细探讨。本文基于 Delft3D 软件模拟了岸线变化和滩涂围垦工程对茅尾海和钦州湾盐淡水输移的影响。

加强对船体的维护, 定期刮擦船体附着物, 保持船体的光洁度; 为降低船舶的油耗, 应保持合适的吃水和吃水差, 以提高船舶的快速性。同时应从管理层面建立激励机制, 实行船舶维护保养、油耗率与奖罚挂钩, 激励船员积极进行船舶的维护保养, 鼓励船员钻研业务, 改善操作习惯。

## 5 结语

本文分析了全回转式调距桨港作船油耗的影响因素, 进而提出了降低油耗的对策, 可供拖船在实际操作时作为参考。不同工况下螺距与主机转速最佳匹配, 是影响油耗的关键, 将是下一步的研究重点。

## 参考文献:

- [1] 冯树强. 船舶引航中的节能降耗措施 [J]. 中国水运, 2016, No.507(04):70-71.
- [2] 潘永良. 港口作业船舶节能降耗的实践与效果 [J]. 船舶节能, 1996(3):31-35.
- [3] 王伟. 合理利用船舶最佳吃水节能降耗 [J]. 中国水运(下

## 1 三维数值模型的建立

### 1.1 控制方程

水平方向上采用的是正交曲线坐标  $(\xi, \eta)$  :

$$\xi = \lambda, \quad \eta = \phi$$

$$\sigma = \frac{z - \zeta}{d + \zeta} = \frac{z - \zeta}{H}$$

式中:  $\lambda$  是经度,  $\phi$  是纬度,  $z$  是物理上的垂向坐标,  $\zeta$  是参考面 ( $z=0$ ) 以上的水位,  $d$  是低于参考面以下的水深,  $H$  是总水深,  $\sigma$  变化范围为  $[ -1, 0 ]$ 。

沿水深积分的连续性方程:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial [(d + \zeta) U \sqrt{G_{\eta\eta}}]}{\partial \xi} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial [(d + \zeta) V \sqrt{G_{\xi\xi}}]}{\partial \eta} = (d + \zeta) Q$$

半月), 2013(12):13-17.

[4] 曹用顺. 船舶柴油机节能减排技术 [J]. 石油工程建设, 2011, 37(S1):91-93+9.

[5] 陆汉林. 采用经济航速是节能的最佳途径 [J]. 港口科技动态, 1991(1):23-24, 26.

[6] 莫司丞. 粤海火车渡轮燃油消耗原因分析与对策研究 [D]. 西南交通大学, 2013.

[7] 张琳. 浅谈拖船节能降耗的途径 [J]. 交通财会, 2011(08):68-72.

[8] 王莹. 船用调距桨推进性能分析 [D]. 集美大学, 2015.

[9] 杨智强. 基于 STAR-CCM+ 和 Fluent 的可调螺距螺旋桨的水动力性能研究 [D]. 2016.

[10] 船舶操纵 [M]. 大连海事大学出版社, 洪碧光, 2008.

[11] 蔡学廉. 可调螺距螺旋桨的螺距与转速匹配 [J]. 渔业现代化, 1979(02):26-29.

**基金项目:** “湛江消拖 601” 轮机桨协调控制策略的研究 (LT18JS001)