

主流作业方式渔船电力推进方式节能性对比分析

李建宇^{1,2}, 张怡^{1,2}, 赵新颖^{1,2}, 谌志新^{1,2*}

(1. 中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所, 上海 200092; 2. 青岛海洋科学与技术国家实验室
深蓝渔业工程联合实验室, 山东 青岛 266237)

摘要:在节能减排的背景下,电力推进系统作为船舶新型推进技术,已逐步应用于渔船中,电力推进相较于常规推进方式,具有空间利用率高、节能环保、便于控制及维修等优点,且系统冗余、安全性更好。本研究通过对36.5 m拖网渔船、53.0 m围网渔船、49.5 m延绳钓渔船3种电力推进渔船在航行工况、下网工况、起网工况、停泊工况下能耗数据采集、比对,与同级别的常规动力渔船的航次油耗等数据进行了对比,进一步分析数据,总结出电力推进系统在不同作业渔船中的适用性能差异,本研究认为延绳钓渔船采用电力推进方式节能效果最为明显,而拖网渔船节能效果最不明显。[中国渔业质量与标准,2022,12(3):51-56]

关键词:渔船;电力推进;作业方式;节能性

中图分类号:S972.7

文献标志码:A

文章编号:2095-1833(2022)03-0051-06

中国是世界上渔船数量最多的国家,截至2019年底,共有机动渔船46.83万艘^[1],由于装备技术落后,导致中国海洋渔业特别是捕捞产业,仍然是以高投入、高消耗的资源依赖与消耗型的粗放增长方式为主的产业结构,渔船耗油量占海洋渔业生产成本的50%以上^[2],已影响到海洋渔业的可持续发展。采用新技术提高渔业船舶的节能减排水平,是促进海洋渔业可持续发展的有效措施。近年来,为了响应国家对渔船及装备技术升级的要求,2011年,中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所与北车集团合作设计并建造了中国第一艘电力推进渔船——36.5 m电力推进拖网渔船,同时在工信部高技术船舶科研项目的支持下相继设计建造了60.0 m电力推进灯光围网渔船和49.5 m金枪鱼延绳钓船。电力推进系统可以按照不同工况的需求来选择发电机组的运行模式,使渔

船时刻处于最佳的运行和工作状态,使得发电机组的负载率以及燃油效率保持在一个相对比较较高、比较节能的运行状态,由于不同作业方式的渔船在典型作业周期内的工况分配差别较大,采用电力推进技术后的节能效果也各不相同,本研究以上述3种船型为例,在主参数保持不变的前提下,对电力推进和常规推进方式进行典型作业周期的燃油消耗对比,详细分析电力推进方式在3种船型中的节能效果。

1 船型与配置

1.1 3种船型参数

渔船作业类型可分为多种,作为典型捕捞作业方式的拖网、围网和延绳钓捕捞渔船的数量最多。分别选取每种作业方式中的一种主流船型,主要参数见表1。

表1 3种渔船主要参数

Tab.1 Main parameters for three kinds of fishing vessels

技术参数 Technical parameter	总长/m Total length	型宽/m Width	型深/m Depth	设计吃水/m Design draught	设计排水量/t Design displacement
拖网渔船	36.5	6.28	2.95	2.20	257.5
围网渔船	53.0	8.50	4.20	3.35	970.8
延绳钓渔船	49.5	8.20	3.60	3.10	780.3

收稿日期:2022-03-07;接收日期:2022-04-25

资助项目:国家重点研发计划(2020YFD0901201);中国水产科学研究院基本科研业务费项目(2020TD79)

第一作者:李建宇(1982-),工程师,研究方向为船舶电气设计,E-mail:lijianyu@fmiri.ac.cn

通信作者:谌志新,研究员,研究方向为海洋渔业装备,E-mail:chenzhixin@fmiri.ac.cn

1.2 常规推进和电力推进配置比较

电力推进技术作为目前各国船舶制造业节能技术的研究重心,正在被广泛地推广和应用。电力推进系统可以按照不同工况的需求来选择发电机组的运

行模式,使渔船时刻处于最佳的运行和工作状态,使得发电机组的负载率以及燃油效率保持在一个相对比较、比较经济的运行状态^[3-10]。电力推进方式与常规推进方式的装机功率数据对比见表2。

表2 常规推进与电力推进配置比较

Tab.2 The configuration comparison of conventional propulsion and electric propulsion

动力装置 Powerplant	电力推进(kW×台) Electric propulsion	常规推进(kW×台) Conventional propulsion
拖网	200×2	400×1+50×2
围网	600×2+200×1	400×2+500×1+200×1
延绳钓	600×2+400×1	1 000×1+300×2

2 典型作业航次分析

2.1 拖网作业

该拖网渔船国内作业,采用艏拖网方式捕捞渔获,拖网渔船一般需日夜在海上作业,作业海况复杂,

且作业工况变化较为频繁,即低速高负荷、高速低负荷、低速低负荷的工况兼有,因此对拖网渔船的船舶操纵性要求较高。拖网速度一般为3~6海里/h,自由航速为10~14海里/h。

经过调研得知拖网渔船航次每种工况下作业的时长,以及各组柴油机的油耗,见表3。

表3 典型拖网作业航次的油耗对比分析

Tab.3 Comparison and analysis for fuel consumption of typical trawling voyages

工况 Working condition	工况1 Condition 1	工况2 Condition 2	工况3 Condition 3	工况4 Condition 4	工况5 Condition 5
总负载/kW	310	120	320	100	40
考虑5%网络损失时的总功率/kW	326.32	126.32	336.84	105.26	42.11
常用发电机组(200 kW×2台+40 kW×1台)/kW	400	200	400	200	40
航次运行时间概率/%	15	15	45	20	5
时间(航次总时间=180 d×10 h×2次=3 600/h)	540	540	1 620	720	180
发电机耗油率/[kg·(kW·h) ⁻¹]	0.21	0.21	0.21	0.21	0.22
电力推进航次总油耗/kg	37 004	14 324	114 594	15 916	1 667
主机(400 kW)/kW	300	100	300	100	—
主机耗油率/[kg·(kW·h) ⁻¹]	0.2	0.2	0.2	0.2	—
主机油耗/kg	32 400	10 800	97 200	14 400	—
辅机(50 kW×2台+40 kW×1台)/kW	50	50	50	50	40
辅机耗油率/[kg·(kW·h) ⁻¹]	0.22	0.22	0.22	0.20	0.22
辅机油耗/kg	6 253	6 253	18 758	7 579	1 667
常规推进航次总油耗/kg	38 653	17 053	115 958	21 979	1 667

2.2 围网作业

灯光围网渔船的特点是在其首部、舷侧及船底水中部位,安装一定数量的电灯。电灯的亮度大,照射

深度可调节。当电灯全部开启时,在茫茫大海中出现一片光彩夺目的景象。具有趋光特性的鱼群,向灯光区域游来。此时,灯光围网渔船等待时机下渔网,在

鱼群周围筑起一道几千米长、一二百米深的水下篱笆。然后,收拢渔网,等至凌晨4点,再用小抄网、三角网把鱼捞到运输船上,直至凌晨6点运输上岸。

灯光围网渔船的作业流程大概可以分为以下几个阶段:航行、诱鱼、起放网等。在航行渔场阶段,渔船通常以设计航速航行,此时船舶消耗的功率主要用

于船舶推进;在起放网阶段,船舶全速航行,此时船舶消耗的功率主要用于船舶推进、甲板机械正常工作渔获物冷冻或冷藏。

经过调研得知围网渔船航次每种工况下作业的时长,以及各组柴油机的油耗,见表4。

表4 典型围网作业航次的油耗对比分析

Tab.4 Comparison and analysis for fuel consumption of typical purse seiner operations

工况 Working condition	工况1 Condition 1	工况2 Condition 2	工况3 Condition 3	工况4 Condition 4	工况5 Condition 5
总负载/kW	1 100	700	500	500	200
考虑5%网络损失时的总功率/kW	1 157.89	736.84	526.32	526.32	210.53
常用发电机组(600 kW×2台+200 kW×1台)/kW	600×2	600+200	600	600	200
航次运行时间概率/%	15	40	15	25	5
时间(航次总时间=180 d×10 h×2次=3 600/h)	540	1 440	540	900	180
发电机耗油率/[kg·(kW·h) ⁻¹]	0.21	0.21	0.21	0.21	0.22
电力推进航次总油耗/kg	131 305	222 821	59 684	99 474	8 337
主机(400 kW×2台)/kW	800	400	400	400	—
主机耗油率/[kg·(kW·h) ⁻¹]	0.2	0.2	0.2	0.2	—
主机油耗/kg	86 400	115 200	43 200	72 000	—
辅机(500 kW×2台+200 kW×1台)/kW	500	500	200	200	200
辅机耗油率/[kg·(kW·h) ⁻¹]	0.22	0.22	0.22	0.20	0.22
辅机油耗/kg	59 400	158 400	23 760	36 000	8 337
常规推进航次总油耗/kg	145 800	273 600	66 960	108 000	8 337

2.3 延绳钓作业

延绳钓船在进行海上捕捞作业时,每天一个作业周期,黎明开始放钓作业,作业航速维持在7~8 kn,耗时4~6 h,放钓结束后等待3~5 h开始起钓作业,此时船舶处于低速巡钓状态,航速维持在4~6 kn,起钓作业时船舶以2~4 kn的航速低速航行,耗时13~14 h。

经过调研得知延绳钓渔船航次每种工况下作业的时长,以及各组柴油机的油耗,见表5。

3 节能对比分析

3.1 拖网渔船节能性对比分析

电力推进技术运用在拖网渔船上具有低速大扭

矩、匀低速运行、操纵灵活及经济性等特点,非常适合于渔船工况复杂的使用环境。既可以避免发电机组等设备在低功率工况下运行的寿命损耗和能源浪费,又能够提高整体工作效率。

航次燃油消耗量 Q 的计算公式为:

$$Q = p \times g \times t \quad \text{式(1)}$$

公式(1)中: p 是该工况下柴油机功率,单位是kW; g 是柴油发电机每发出1 kW·h的电,或者做相应的功所消耗的燃油量,单位是kg/(kW·h); t 是航次下渔船处于该工况的作业时间,单位是h。

由表3可得,电力推进方式半年时间共节油11.8 t,电力推进渔船在拖网作业全过程中整体节能6%左右。

拖网渔船不同推进方式下各工况油耗情况具体见图1。

表 5 典型延绳钓作业航次的油耗对比分析

Tab. 5 Comparison and analysis for fuel consumption of typical longline fishing vessel voyages

工况 Working condition	工况 1 Condition 1	工况 2 Condition 2	工况 3 Condition 3	工况 4 Condition 4	工况 5 Condition 5
总负载/kW	1 050	470	250	520	50
考虑 5% 网络损失时的总功率/kW	1 105.26	494.74	263.16	547.37	52.63
常用发电机组(600 kW × 2 台 + 400 kW × 1 台)/kW	1 200	600	400	600	60
航次运行时间概率/%	10	20	15	50	5
时间(航次总时间 = 180 d × 10 h × 2 次 = 3 600/h)	360	720	540	1 800	180
发电机耗油率[$\text{kg} \cdot (\text{kW} \cdot \text{h})^{-1}$]	0.21	0.21	0.21	0.21	0.22
电力推进航次总油耗/kg	90 720	90 720	45 360	226 800	2 376
主机(1 000 kW)/kW	1 000	700	600	500	—
主机耗油率[$\text{kg} \cdot (\text{kW} \cdot \text{h})^{-1}$]	0.2	0.2	0.2	0.2	—
主机油耗/kg	72 000	100 800	64 800	180 000	—
辅机(300 kW × 2 台 + 60 kW × 1 台)/kW	300	60	60	300	60
辅机耗油率[$\text{kg} \cdot (\text{kW} \cdot \text{h})^{-1}$]	0.2	0.22	0.22	0.20	0.22
辅机油耗/kg	21 600	9 504	7 128	108 000	2 376
常规推进航次总油耗/kg	93 600	110 304	71 928	288 000	2 376

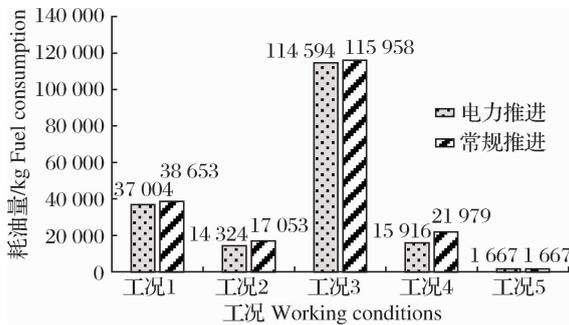


图 1 拖网渔船不同推进方式各工况油耗对比分析

Fig. 1 Comparison and analysis for fuel consumption of trawlers with different propulsion modes under various working conditions

通过图 1 发现,电力推进方式相比常规推进方式在起网工况中节能效果非常明显,在航行工况、下网工况和拖网工况中有一定的节能效果。

拖网渔船采用电力推进技术后,制造成本上升 20% 左右,节能效果能达到 10%^[3]。在节能减排已成为全社会共识的背景下,相信电力推进拖网渔船能够得到一定的发展。

3.2 围网渔船节能性对比分析

由表 4 得,半年时间共节油 81.08 t,电力推进渔

船在灯光围网作业全过程中整体节能 13.46% 左右。

围网渔船不同推进方式下各工况油耗情况具体见图 2。

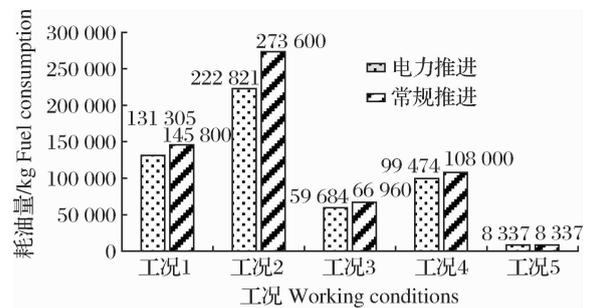


图 2 围网渔船不同推进方式各工况油耗对比分析

Fig. 2 Comparison and analysis for fuel consumption of purse seiner with different propulsion modes under various working conditions

通过图 2 发现,电力推进方式相比常规推进方式在诱渔工况中节能非常明显,在航行工况、下网工况和起网工况中有一定的节能效果。

通过对电力推进灯光围网渔船与传统推进渔船的一系列比较,采用电力推进系统可以增加推进效率,减少装机功率和燃油消耗量,同时节约了渔船的营运成本,在当前大力倡导渔业节能减排的背景下具

有极高的应用价值。目前,该船已经在相关海域进行围网作业,作业情况良好,在节能减排上的优势也得到了体现。电力推进装置在灯光围网渔船上的成功应用,也为其在其他作业类型渔船的推广应用做了重要的技术储备。

3.3 延绳钓渔船节能性对比分析

由表5得,半年时间共节油110.23 t,电力推进渔船在延绳钓作业全过程中整体节能19.47%左右。

延绳钓渔船不同推进方式下各工况油耗情况具体见图3。

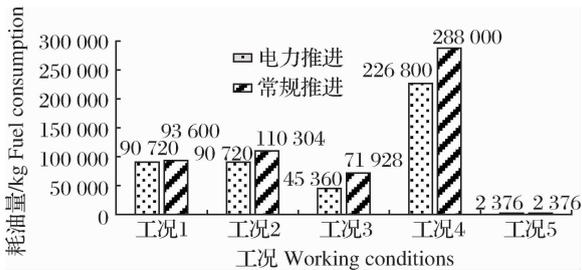


图3 延绳钓渔船不同推进方式各工况油耗对比分析

Fig.3 Comparison and analysis for fuel consumption of longline fishing vessel with different propulsion modes under various working conditions

通过图3发现,电力推进方式相比常规推进方式在航行工况中与传统推进能耗相当,在投绳工况、巡航工况和起绳工况中节能效果非常明显。

49.5 m 电力推进延绳钓渔船电力推进系统高度自动化,在电站管理方面集人工经验、电力系统自动化和检测技术于一体,推进变频器的功率控制功能可使船舶在恶劣的海况及复杂作业条件下保护船舶动力装置的安全,并保证船舶有稳定可靠的电力来源。电力推进系统操纵灵活,正车倒车无缝切换,转矩、转速响应快,在较低航速工况下比较节能减排,且在全寿命周期运营费用低,这一系列优点使得电力推进系统成为延绳钓渔船较优选择。

3.4 3种渔船电力推进节能性对比分析

通过3种渔船船型电力推进方式下详细对比分析绘制柱状图,总节油量柱状图见图4。

由图4得知,电力推进最适合在延绳钓渔船上应用,是今后的重要发展方向,在效率、能耗、环保等方面相比于传统渔船都有很大优势。如噪声低、机动性能好,降低燃油消耗和废气排放降低了船舶对环境空气的污染,减少了油污水等排放物的处理成本。

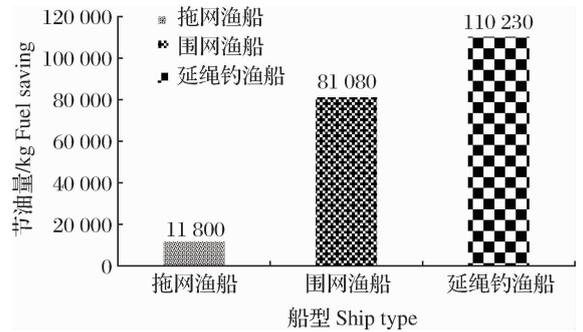


图4 3种渔船电力推进方式节油对比分析

Fig.4 Comparison and analysis for fuel saving of three fishing vessels with electric propulsion method

4 结束语

在国家倡导发展绿色渔业、节能减排、渔船技术革新的背景下,电力推进渔船有着很高的实用价值。经过对比,延绳钓渔船采用电力推进方式节能效果最为明显,而拖网渔船节能效果最不明显。采用电力推进后船舶不仅减少燃油消耗和废气排放,明显减低了船舶对环境空气的污染。本研究为电力推进系统在其他渔船上的推广和应用打下了技术基础。

参考文献:

- [1] 农业农村部渔业渔政管理局,全国水产技术推广总站,中国水产学会. 2020 中国渔业统计年鉴[M]. 北京:中国农业出版社,2020:11.
- [2] 严谨,揣华建,李湛. 海洋捕捞渔船推进系统节能的技术途径[J]. 广东造船,2009(6): 31-32,46.
- [3] 曹建军,左明亮,胡欣. 电力推进拖网渔船节能效果试验[J]. 渔业现代化,2014,41(2): 67-69,62.
- [4] 朱铭镨,李德堂,李同兰,等. 电力推进系统应用于灯光围网渔船的经济及节能效果分析[J]. 浙江海洋大学学报(自然科学版),2016,35(3):266-270.
- [5] 周崇庆. 金枪鱼延绳钓船的经济性[J]. 中国渔业经济,2001(2):34-36.
- [6] 都劲松,史斌杰,石浩舰,等. 金枪鱼延绳钓船机电混合动力系统节油效果分析[J]. 渔业现代化,2016, 43(1): 52-55.
- [7] 曹建军,李胜勇. 渔船柴电混合动力系统油耗分析[J]. 渔业现代化,2016, 43(5):53-56.
- [8] 蔡计强,黄文超,张怡,等. 金枪鱼延绳钓船能效设计指数探讨[J]. 渔业现代化,2014, 41(6): 51-54.
- [9] 沙锋,王永鼎,叶守建. 金枪鱼延绳钓船混合动力推进系统研究与分析[J]. 上海海洋大学学报, 2014, 23

- (2):279-283.
- [10] 高海波,高孝洪.船舶电力推进几种典型方式的比较[J].航海技术,2006(6):54-57.
- [11] 陈新毅,杨焯.船舶电力推进技术发展概述[J].中国水运,2008,8(8):48-49.
- [12] 黎建勋,赵欣颖,周德国.拖网渔船电力推进系统设计研究[J].船舶与海洋工程,2012(3):62-64,78.
- [13] 徐龙堂,董晓妮.船舶共直流母线混合电力推进系统技术探讨[J].渔业现代化,2017,44(3):70-75.
- [14] 郑超.我国中西太平洋金枪鱼延绳钓渔业发展研究[D].上海:上海海洋大学,2015:1-3.
- [15] 张鹏,张俊,李渊,等.秋季南海中南部海域的一次灯光罩网探捕调查[J].南方水产科学,2016,12(2):67-74.
- [16] 郑建丽,焦尔,张怡,等.灯光围网渔船采用电力推进系统论证[J].渔业现代化,2014,41(5):49-53.
- [17] 郭焱,李硕.AFE变频器在船舶电力推进电机控制中的应用[J].上海海事大学学报.2014(4):68-74.
- [18] 沈建清,于飞,吴强.潜艇交流电力推进中的变频技术[J].海军工程大学学报.2011,13(6):47-51.
- [19] 张志强,马继坤,鹿志祥,等.渔业科考船电力推进系统概述与分析[J].船电技术,2015,35(8):70-75.
- [20] 金宝燕,郑玄亮.液化天然气双燃料动力港作拖轮设计研究[J].船舶与海洋工程,2013,(2):35-39.
- [21] 孙权.远洋渔船双绕组永磁电机推进系统研究[J].大连交通大学学报,2014,35(6):110-112.
- [22] 黎建勋,金娇辉,谌志新.电力推进拖网渔船控制系统设计[J].渔业现代化,2012,39(5):43-48.
- [23] 崔雪亮,张伟信.电力推进应用于我国渔船的适用性分析[J].造船技术,2017(6):19-22.
- [24] 宗君华.36米玻璃钢金枪鱼延绳钓渔船型线及推进系统设计研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2012.
- [25] 吴斐文.海洋工程船舶电气系统和设备的现状及展望[J].船舶,2011,22(4):45-52.
- [26] 刘文达.灯光围网渔船电力推进系统设计[J].船电技术,2015,4(4):51-54.

Comparison Analysis of Energy Saving Property of Fishing Vessels with Electric Propulsion Method in Mainstream Operation Mode

LI Jianyu^{1,2}, ZHANG Yi^{1,2}, ZHAO Xinying^{1,2}, CHEN ZhiXin^{1,2*}

- (1. Fishery Machinery and Instrument Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200092, China;
2. Joint Laboratory for Deep Blue Fishery Engineering, National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao), Qingdao 266237, China)

Abstract: As a new type of ship propulsion technology, electric propulsion system has been gradually applied to fishing vessels under the background of energy saving and emission reduction. Compared with conventional propulsion methods, electric propulsion has the advantages of high space utilization rate, energy saving and environmental protection, easy control and maintenance and better system security. The energy consumption data for three types of electric propulsion fishing vessels including 36.5 m trawler, 53.0 m purse seiner and 49.5 m longline fishing vessel were collected and compared under sailing conditions, net operating conditions, net hauling conditions and berthing conditions. Then the obtained data were compared with conventional powered fishing vessels of the same level such as the voyage fuel consumption data, and were further analyzed to summarize the differences in application performance of electric propulsion systems in different fishing vessels. This study showed that the energy saving effect of longline fishing vessel with electric propulsion mode was the most obvious, while trawler presented most unobvious effect. [Chinese Fishery Quality and Standards, 2022, 12(3):51-56]

Key words: fishing vessel; electric propulsion; operating type; energy saving property

Corresponding author: CHEN ZhiXin, E-mail: chenzhixin@fmiri.ac.cn

(责任编辑:杨臻)