

金枪鱼延绳钓船机电混合动力系统节油效果分析

都劲松, 史斌杰, 石浩舰, 黄 伟

(中国船舶重工集团公司第七一一研究所, 上海 201108)

摘要:金枪鱼延绳钓渔业是远洋渔业的重要组成部分。金枪鱼延绳钓作业过程包括航行、作业两种完全不同的工况。航行工况时要求航速较高, 作业工况时要求航速较低。为了满足这两种工况, 采用柴电独立运行 (PTH) 方式机电混合动力系统。机电混合动力系统由柴油机推进系统与电力推进系统两部分组成。高航速时使用大功率的柴油机模式, 低航速时使用小功率的电力推进模式。上海远洋渔业有限公司近两年先后两批次建造了 5 条装备了 PTH 方式机电混合动力系统金枪鱼延绳钓船。根据实船测试, 在作业期间, 不同船型起钩阶段节油 25% 和 8%, 航行节油均达 14%。通过计算分析, 使用 PTH 方式, 机电混合动力系统增加的初始投资成本可通过节油方式在 4 年内回收。综合节油效果显示, 使用电力推进比使用柴油机推进可以节油 15% ~ 20%, 达到了良好的节能减排、降低运营成本的效果。

关键词:金枪鱼延绳钓船; 机电混合动力; 柴电独立运行; 电力推进; 节油

中图分类号:U664.12

文献标志码:A

文章编号:1007-9580(2015)06-052-04

金枪鱼延绳钓渔业是远洋渔业的重要组成部分。金枪鱼延绳钓船的主要成本包括燃油、鱼饵、船员收入等, 船舶推进系统消耗的燃油成本约占渔船总成本的 60% ~ 70%, 因此, 采用节能高效的混合动力推进系统可以大大降低船舶运营成本^[1-3]。设计、研制、使用适合于金枪鱼延绳钓船的机电混合动力推进系统, 可以实现金枪鱼延绳钓船放钓、收钓作业工况下的降低油耗、减少运营成本、实现节能减排的目的。

1 机电混合动力系统

机电混合动力系统(图 1)由柴油机推进系统与电力推进系统组成^[4-8]。柴油机推进系统包括柴油机、齿轮箱以及相应的控制系统。柴油机作为原动机输出功率, 经过齿轮箱减速后, 带动螺旋桨转动, 推动船舶前进。

1.1 电力推进系统

电力推进系统包括推进变频器、推进电机、制动电阻、齿轮箱以及相应的控制系统。该系统由船舶主柴油发电机通过主配电板直接供电, 推进变频器直接挂于主电网之上。通过相应控制系

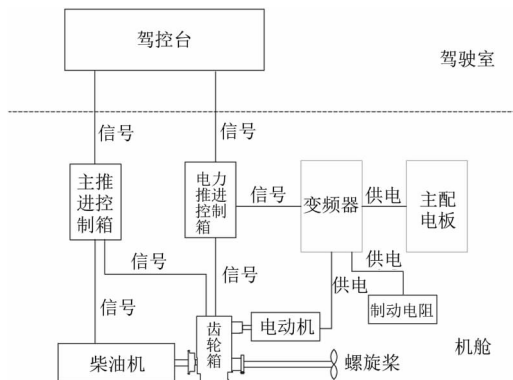


图 1 机电混合推进系统

Fig. 1 Electromechanical hybrid propulsion system

统, 控制推进变频器给予推进电机变频供电, 实现电机输出转速和功率的调节。同时, 电力推进系统配备制动电阻, 可以有效提高推进电机的转向时间, 提高船舶的机动性能。

1.2 齿轮箱

齿轮箱是机电混合推进系统中两套推进系统的连接点, 推进电机和柴油机通过齿轮箱联接至螺旋桨。当正常航行时, 使用柴油机推进, 齿轮箱中的柴油机离合器合排; 当进行作业起放钩时, 使

用电力推进,齿轮箱中的电机离合器合排。柴油机离合器和电机离合器不能同时合排,以保证柴油机推进和电力推进不并车运行。柴油机的正倒车通过齿轮箱离合器实现,电机的正倒车由电机的正反转实现。

1.3 运行方式

机电混合动力系统应用于船舶有3种运行方式。第1种为轴带发电机方式(PTO),柴油机作为动力源,螺旋桨和轴带发电机都作为柴油机负载使用;第2种为柴电并车方式(PTI),柴油机和电动机都作为动力源,螺旋桨作为两者共同的负载,柴油机和电动机并车共同推进;第3种为柴电独立运行方式(PTH),柴油机和电动机都作为动力源,两者分别独立推进螺旋桨,不能并车^[9-14]。金枪鱼延绳钓船有航行、作业两种完全不同的工况^[15]。航行工况时要求航速较高,作业工况时要求航速较低。根据金枪鱼延绳钓船的这一工作特性,选择PTH方式是合适的。航行时使用功率较大的主机推进,作业时使用功率较小的电机推进,这样推进系统就能很好的满足两种不同工况的需求。

2 需求分析

2.1 航速要求

金枪鱼延绳钓船作业时,用系结在钓线上的钓钩,装上诱饵,诱鱼吞食上钩^[16]。金枪鱼延绳钓船的作业周期主要分为放钓、巡钓、起钓和收尾4个阶段^[17]。通常放钓、巡钓阶段航速维持在8 kn左右,主机处于低转速低负荷状态,供油量减少,各缸供油的均匀性下降,致使转速不稳定;柴油机转速的降低还会使喷油压力下降、雾化不良、燃烧恶化,造成燃油消耗率升高;同时还会出现积炭现象,导致增压器背压增加,有引起喘振的可能。起钓、收尾阶段船舶以3~4 kn低速航行,主机受其最低稳定转速(一般为额定转速的40%)的限制,无法持续地输出足够低的功率,因此只能通过齿轮箱频繁地合排、脱排操作,使船舶航速维持在要求的作业航速附近。这种操作严重降低了主机和齿轮箱的寿命,增加设备故障率和燃料成本,直接导致营运成本上升及船员劳动强度的增加。

2.2 动力选择

由于上述问题,金枪鱼延绳钓船在作业时采用常规柴油机推进并不合适,而通过使用电力推进则能有效解决以上问题。但是,如果全船均采用电力推进,为了满足长距离航行的航速要求,将需要很大的功率配备,这样不但大大增加了初始投资,而且带来设备冷却、机舱布置等诸多问题。所以,采用PTH方式的机电混合动力系统,既避免了单独使用柴油机或者电力推进时的各种问题,又增加了推进系统冗余度,是最理想的方案。

3 节油效果

3.1 动力配置

上海远洋渔业公司在2013至2015年间先后两批次建造了5艘金枪鱼延绳钓船,都装备了由中国船舶重工集团公司第七一一研究所设计集成的PTH方式的机电混合动力系统。第一批次2艘,主机配备功率597 kW,电推配备功率125 kW,电推设计最大航速7节,仅适用于起钩阶段的功率需求。根据第一批船使用的实际情况,第二批次3艘船更改了船型,适当放大了主机与电推功率,主机功率适当放大至617 kW,电推功率增大至200 kW,电推设计最大航速10节,这样不仅可以适用于起钩阶段的功率需求,还适用于放钩阶段,使电推系统使用覆盖整个作业周期,避免了主推与电推的频繁切换,具有更好的节油效果。

3.2 系统油耗

目前这5艘船均在太平洋海域进行金枪鱼钓捕作业,根据船上运行数据统计(表1),起钩阶段第一批次可以节油25%,第二批次可以节油8%。其原因主要是修改了船型,增大了主机和电推功率,造成油耗上升所致。但是电推航速明显提高,在放钩阶段也可以使用电推,使得放钩阶段也可节油23%。同样航行相同距离,第一批次和第二批次均可节油14%左右。由于设计上的改进,电推时间缩短了27%。综合各项因素,在金枪鱼延绳钓船作业期间,使用机电混合动力中的电力推进比使用柴油机推进总体上可节油15%~20%。

表 1 机电混合动力系统油耗情况

Tab. 1 Fuel saving statistics of electromechanical hybrid power system L/h

建造批次	起钩阶段		放钩阶段		航行 10 海里		航行综合油耗	
	主机	电推	主机	电推	主机	电推	主机	电推
第一批次	36	27	56	—	76	41.1	76	41
第二批次	60	55	65	50	93.3	73.9	80	75

表 1 中的数据表明,两批次船舶由于设计上的改动,节油效果并不完全一致。根据第 1 批次船舶实际使用情况,作业和航行速度都偏慢,所以在第 2 批次船舶设计时,修改了船型,增大了主推进设计功率。同时,由于作业工况需要良好的机动性能,又适当放大了推进电机功率,使得船舶操纵性有较大的提高。功率提高以后,第 2 批次的油耗较第 1 批次的普遍提高,但放钩阶段使用电力推进,到达了节油效果。所以,综合各方面因素分析,第 2 批次船舶的设计改动,虽然会提高船舶起钩阶段的油耗,但从总体油耗及船舶性能等方面来看,适当放大推进电机功率是有利的。

3.3 效益核算

金枪鱼延绳钓船的成本构成中包括初始建造成本和运行成本。如果配备机电混合动力系统,虽然会提高初始建造成本,但可以降低运行成本。一艘总吨位 500 t、主机功率 600 kW 的金枪鱼延绳钓船,配备机电混合动力系统需要增加初始投资 90 万元,按照每年金枪鱼延绳钓船有 2/3 时间用于作业,则每年作业时间近 6 000 h(其中,放钩作业 2 000 h,起钩作业 4 000 h),柴油价格每升估算为 5.4 元,计算得:放钩可节约 15 L/h,起钩可节约 5 L/h,每年大约减少消耗燃油 50 000 L,可节省燃料费用近 27 万元。投资收益率按照每年 7% 估计,按照公式^[18-19]:

$$\sum_{x=1}^n M \times (1 + a)^{n-1} \geq K \times (1 + a)^n$$

式中:K—初始投资,万元;a—每年收益率,% ;M—每年节省燃料费用,万元;n—年数,年。代入 K=100,a=0.07,M=27,计算得到满足条件的 n 最小整数值 n=4。根据计算结果,仅需要 4 年就可收回投资成本。

假设船舶寿命为 20 年^[20],按照公式^[21-22]:

$$W = \sum_{x=1}^N M \times (1 + a)^{N-1} - K \times (1 + a)^N$$

式中:W—总节省成本,万元;N—船舶寿命,年;K—初始投资,万元;a—年收益率,% ;M—年节省燃料费用,万元。代入 K=100,a=0.07,M=27,N=20,计算得到船舶全寿命共可节约 719 万余元。如果油价上涨,回收周期将进一步缩短,船舶全寿命节约成本总额会更高。

另外,使用机电混合动力系统后,主机不再长时间运行于低工况,减少了积碳和喘振,降低了维护保养成本。同时,由于机电混合动力系统增加了主推进冗余度与船舶安全性,降低了船舶动力系统出现故障而不能作业甚至引发事故的风险,减少了因此而产生的成本。应用机电混合动力系统,不仅降低了燃料消耗的直接成本,还降低了运输、人力、设备损耗等燃料补给所需要的间接成本。

4 结论

根据实船验证结果,采用柴电独立运行(PTH)方式机电混合动力系统能很好地满足金枪鱼延绳钓船的航行和作业两种工况需求,使用该系统可节油 15%~20%,具有减少油耗、降低运行成本的效果。通过计算分析,机电混合动力系统虽然会增加一定的初始投资,但仅需 4 年就可通过节油收回投资成本,回收周期快,同时,由于提高了主推进冗余度等因素,因而降低了一定的风险因素和间接成本。 □

参考文献

[1] 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]. 上海海事大学学报,2014,23(2):279-283.
[2] 陈庆义,贾复,朱瑞源,等. 冷型远洋金枪鱼延绳钓船的技术经济分析[J]. 大连水产学院学报,2003,18(1):29-33.
[3] 张青,王锡昌,刘源. 中国金枪鱼渔业现状及发展趋势[J]. 南方水产,2009,5(1):68-74.
[4] 刘子健,张宇. 混合动力推进系统在深海工作船的应用[J]. 科技创新与应用,2015(19):61.
[5] 周庆波,艾钢,赵同宾,等. 柴-电混合动力系统应急推进模式仿真研究[J]. 船舶工程,2011,33(4):16-19.

- [6] DEL PIZZO A, POLITO R M, RIZZO R, *et al.* Design Criteria of On-board Propulsion for Hybrid Electric Boats[C]//IEEE. 2010 XIX International Conference on Electrical Machines (ICEM), Rome, 2010:1-6.
- [7] ROY N, INGVE S. Hybrid Power Generation System[EB/OL]. (2012-12-12), <http://www.wartsila.com>.
- [8] APSLEY J M, GONZALEZ V, ABARNES M, *et al.* Propulsion drive models for full electric marine propulsion systems[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2009, 45(2):676-684.
- [9] BARCARO M, BIANCHI N, BOLOGNANI S. Hybrid Propulsion System Using Submersed SPM Machine[C]//IEEE. 18th International Conference on Electrical Machines (ICEM), Vilamoura, 2008:1-6.
- [10] 聂延生,刘镇宇,刘运新,等. 船舶轴带电机及其PTO/PTI工作方式的原理和应用[J]. 航海技术, 2006(4):42-44.
- [11] PROUSAIDIS J, MICHALOPOULOS P. Studying Ship Electric Energy Systems with Shaft Generator[C]//IEEE. Electric Ship Technologies Symposium, Philadelphia, 2005:156-162.
- [12] PROUSAIDIS J, PATOSIOS C, SARIGIANNIDIS A. Electrical Systems for Aircraft, Railway and Ship Propulsion[M]. Bologna:IEEE, 2012:1-6.
- [13] 李飞. 轴带发电机的PTI模式介绍[J]. 江苏船舶, 2005, 22(3):32-34.
- [14] STEVEN M. Mechanical and Regenerative Braking Integration for a Hybrid Electric Vehicle[D]. Canada: Waterloo University, 2008.
- [15] 史斌杰,都劲松,唐慧妍,等. 金枪鱼延绳钓船机电混合动力推进系统应用研究[J]. 船舶与海洋工程, 2014(4):50-53.
- [16] 钱晨荣,刘健,黄洪亮. 金枪鱼延绳钓船机电混合推进系统的应用前景分析[J]. 渔业信息与战略, 2013, 28(4):285-288.
- [17] 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.
- [18] 陈珠明. 投资回收期研究[J]. 工业工程, 2001(1):41-44.
- [19] 陈守伦,袁建国,程芳. 投资回收年限若干特殊问题研究[J]. 河海大学学报:自然科学版, 2003, 31(2):237-240.
- [20] 张莉. 浅谈投资回收期的计算方法[J]. 管理科学文摘, 2008(1):323-324.
- [21] 杨德强,王晶. 投资回收期模型简述[J]. 沈阳工程学院学报:社会科学版, 2013(1):48-50.
- [22] 李冠众,陆宇建. 投资回收期法的评价与模型修正[J]. 经济问题探索, 2001(8):71-73.

Analysis of fuel saving effect of tuna longliner electromechanical hybrid power system

DU Jingsong, SHI Binjie, SHI Haojian, HUANG Wei

(Shanghai Marine Diesel Engine Research Institute, Shanghai 201108, China)

Abstract: Tuna longliner fishing is an important part of the pelagic fishery. The process of tuna fishing consists of two completely different working conditions: navigation and operation. The speed is high with the condition of navigation, and the speed is low with the condition of operation. In order to meet the requirements of the two conditions, the electromechanical hybrid power system through the diesel electric independent operation (PTH) mode is used. Electromechanical hybrid power system is composed of two parts, which are the diesel engine propulsion system and electric propulsion system. The high power diesel engine model is used when the speed is high, and the small power electric propulsion mode is used when the speed is low. In the past two years, Shanghai Ocean Fishing Company has built five tuna longliners which are equipped with electromechanical hybrid system. According to the real ship test, fuel saving was 25% and 8% with different types in the hooking stage in the operation period, and fuel saving of voyage reached to 14% in the navigation period. Through calculation and analysis, the initial investment cost of using electromechanical power hybrid system through the diesel electric independent operation (PTH) mode could be recovered by way of fuel saving within four years. The fuel saving effects showed that using electric propulsion could save 15%-20% of the fuel compared with the diesel engine propulsion, which could achieve the effects of good energy-saving, emission reduction and cost reduction.

Key word: tuna longliner; electromechanical hybrid power system; PTH mode; electric propulsion; fuel saving