

渔船柴电混合动力系统油耗分析

曹建军, 李胜勇

(中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所, 上海 200092)

摘要:为了探索海洋渔船推进系统的节油减排,以一艘安装有柴电混合动力系统,成功实现节能减排的金枪鱼延绳钓船为例,通过剖析柴电混合动力系统的结构,柴油机理论负荷特性,结合渔船实际使用情况,分析其节能原因。结果显示,渔船柴电混合动力系统在使用过程中,可根据工况需要,随意切换常规动力与电力推进系统;通过选择合理的主机工况,提高柴油机输出效率,降低柴油机油耗率;综合各种工况,能节油15%以上。研究表明,现阶段在金枪鱼延绳钓渔船上使用混合动力技术是可行的,能起到节能减排的作用。在核心技术不变的情况下,运用一些创新技术手段,如采用多机多桨拆分系统,赋予系统更高的智能调配作用,可以把混合动力系统推广到拖网渔船和围网渔船上。

关键词:渔船;柴电推进;混合动力;节能减排

中图分类号:S972.7⁺2

文献标志码:A

文章编号:1007-9580(2016)05-053-04

国内海洋渔船,在同样的作业方式和鱼舱容积情况下,油耗要比国外高出15%左右^[1-2]。为此,需要一种可行的方案来解决这一问题。理论上可以采用以下几种解决方法:对渔船船型优化减少渔船阻力;改进螺旋桨推进系统,提高推进效率;选择合理的主机工况,提高柴油机输出效率;利用新型能源技术^[3-5]。其中,对海洋捕捞渔船柴油机的使用优化是最为直接有效的节能方法之一。近年来,电力推进技术越来越多地运用于海洋捕捞船上,其特点是能合理调配全船能源,使柴油机的输出效率保持在最为经济的状态^[6]。但是,相对于常规推进系统,电力推进系统存在的能量二次转换同样也会降低效率^[7]。在此背景下,介于常规推进和电力推进之间机电一体化的油(柴)电混合动力推进技术逐渐应用于渔船中,从而节约燃油、降低成本将成为可能。

根据捕捞对象的生活习性,国内外不少渔船采用钓捕作业方式。这类渔船平时高速航行前往捕捞区域^[8-9],但在捕捞时主机一直处于低转速、低负荷状态^[10-11],特别适合使用混合动力。西班牙对300艘使用混合动力推进的延绳钓渔船进行了初步测算,与普通渔船相比,具有节能15%的

潜力^[12]。本文通过对国内采用柴电混合动力系统的金枪鱼延绳钓渔船进行研究,分析其节能原理,并探究在核心技术不变的情况下,运用到其他类型的渔船上,达到节能减排的可行性。

1 柴电混合动力系统的结构

柴电混合动力系统由常规柴油机推进系统和电力推进系统组合而成(图1)。

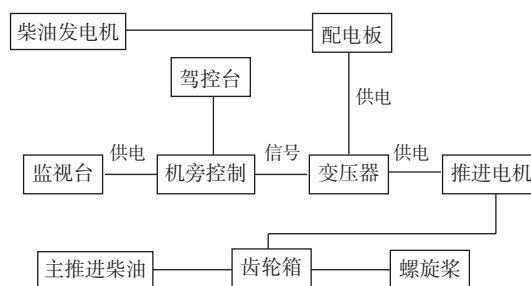


图1 机电混合动力推进系统组成

Fig.1 Mechanical and electrical hybrid propulsion system components

2个系统相互独立,通过1个齿轮箱相连,其内部经过特别设计,含有2套系统的自动切换及互锁功能。在使用过程中,使用一个系统必须停用另一推进系统^[13-15]。与常规推进相比,混合动

收稿日期:2016-05-16 修回日期:2016-08-29

基金项目:中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(2016YJS-ZX0300;2016YJS-ZX0304)

作者简介:曹建军(1982—),男,工程师,主要从事渔船电气设计及图纸评审。E-mail:caojianjun@fmiri.ac.cn

力推进在硬件上多了变频器、推进电机、制动电阻等部件,另外所选的发电机组功率更高,而与纯电力推进相比多了 1 台主推进柴油机,但同时可以少设 1 台或多台独立的推进发电机组。

2 节油效果分析

2.1 渔船的理论油耗

(1) 混合动力系统。以金枪鱼延绳钓渔船为例,自离开渔港码头至捕捞作业渔场,一般情况下都使用柴油机推进系统,使用 80% 的额定转速航行,始终保持经济运行状态;另外因冷藏需要,需开启相应数量的发电机组,这些开启的发电机组也可以一直保持 80% 左右负荷经济运行。在捕捞作业时,航速只需 7 kn 左右,所需用电量不大,冷藏多余负荷应能保证电力推进系统运行,在此过程中发电机组使用的柴油机可一直保持经济运行状态。因此,实际油耗情况为:航行工况时,80% 额定转速下主柴油机的油耗,以及部分发电机组 80% 额定转速时的油耗;作业工况时,所有发电机组 80% 额定转速时的油耗。

(2) 常规动力系统。自始至终都使用一台主推进柴油机以及相应数量的冷藏发电机组。因此,实际油耗情况为:航行工况时与混合动力系统相同,但在作业工况时,由于航速不能太快(只需 7 kn 左右),所以主柴油机一直使用 40%~50% 的额定转速运转;对于柴油发电机组,由于作业工况时需要冷冻,发电机组需全部开启,但此时电会有一定的富余,每个发电机组的发电量只需 50%~60%,即此时的油耗近似于所有发电机组以 50%~60% 额定转速时的油耗。

(3) 电力推进系统。渔船自渔港码头至捕捞作业渔场,需要一台或多台独立的推进发电机组使用 80% 的发电量给推进电机提供能量,以保证经济的推进航速,另外需开启相应数量的发电机组保证冷藏。在捕捞作业时只需开启一台独立的推进发电机组给予推进电机能量以及相应数量的冷藏发电机组。因此,实际油耗情况为:航行工况下,一台或多台推进发电机组在 80% 额定转速下的油耗,以及相应数量冷藏发电机组的经济油耗;作业工况下,其油耗特性则与混合动力系统相仿。

2.1 节油原理分析

柴油机诸多性能特性中最重要的是其负荷特

性,即是指当柴油机转速一定时燃油消耗量随柴油机负荷的变化关系,利用这一变化曲线可确定柴油机在各种负荷与转速时的经济性。从典型的柴油机油耗特性曲线(图 2)可以看出,柴油机在少负载、低转速情况下油耗最大,但随着转速的提高,油耗随之减少,当达到最大转速的 80% 左右时为最低值,之后油耗随着转速、负载增大而增多。

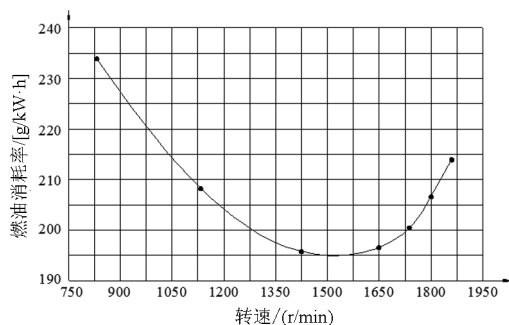


图 2 柴油机油耗特性曲线图

Fig.2 Diesel fuel consumption characteristic curve

由理论油耗分析可以看出,柴油机转速负荷在 80% 这一点上运行是最为经济的,燃油使用量最少。混合动力系统的特点就是能运用现代化的系统控制手段,根据不同的工况,合理调配负载,始终让柴油机保持经济运行。而普通推进方式,则系统无法像混合动力那样灵活可变,致使其在作业工况下柴油机的负荷状态比较费油。在相同的工况、消耗功率和运行时间条件下,对比混动渔船和常规渔船,后者主机基本维持在 1/3 额定功率下工作,耗油率为额定值的 1.2~1.5 倍,发电机组基本维持在 3/4 额定功率下工作,耗油率为额定值的 1.05~1.10 倍^[16]。纯电力推进系统,虽也能一直保持最为经济的状态,但相较于混合动力,其在高速航行时由于电力推进的二次能量消耗,柴油机需要的输出功率要大于混合动力的柴油机输出功率,相应的就需要更多的燃油供应。

3 案例分析与讨论

3.1 渔船配置与节油效果

以上海水产集团金枪鱼延绳钓船为分析对象。该船主柴油机选用额定功率 596 kW 的 KT38-M 型柴油机,推进电机使用额定功率为 120 kW 的 1LE0001-3AB09-0TC5-Z 型电机。在作业工

况下,使用主柴油机保持航速 6~7 kn/h,一台发电机组保证冷藏,作业油耗为 0.036 m³/h;而关闭主柴油机,开启一台发电机组为推进电机提供电能以保证推进,航速保持在 6~7 kn/h,另有一台发电机组保证冷藏,此时油耗为 0.027 m³/h,即电力推进系统比使用柴油机推进节油 25%。而在经济航行(航速 7~10 kn/h)中使用电力推进航行 10 n m(10 海里),用油 0.064 9 m³,而使用柴油机推进相同距离,用油 0.076 m³。由此可知,在经济航行中,电力推进比普通柴油机推进可节油 15%(表 1)。

表 1 不同推进方式下的油耗情况
Tab.1 Utilization conditions comparison

推进方式	航行 10 nm 油耗/(m ³)	作业油耗/ (m ³ /h)
柴油机推进	0.076 0	0.036
电力推进	0.064 9	0.027

3.2 讨论

渔船经济效益中,产出是不可控的,但成本投入是可控的。成本前期投入主要由渔船的配置决定。与常规推进相比,混合动力在投资成本上并不占优势。目前投资一艘 500 t 级的金枪鱼延绳钓船,混合动力需多投入 90 多万元^[17]。后期投入主要是燃料和人力成本,随着环保要求越来越高,渔船使用高节能燃料越多,花费也越高,人力成本虽相对可控但降低很多也不现实。因此,节油率就确定了投资价值。上述一艘普通推进的金枪鱼延绳钓船的主机功率 540 kW,2 台各 200 kW 的发电机,以每年工作 300 d、主机每天工作 12 h、1 台发电机每天工作 24 h^[18]来计算,柴油机耗油 200 g/(kW·h),年消耗量为 676.8 t,柴油价格以 5.4 元/L 计,1 年的燃油费为 365 万元。如果节油 15%,则每年能省下 54 万元。当然,由于渔船的运行工况很复杂,实际使用功率无法确定,因此通常使用额定功率计算。实际产生费用应低于理论值,相应的节约费用也低于理论值,如根据 50% 计算,预估 5 年左右就能收回混合动力改造的投资。

另外,常规动力的金枪鱼延绳钓船使用 1 台主推进柴油机,虽然在高航速、高转速工况下柴油机可经济运行,但在作业工况下,柴油机低转速、低负荷运行,燃油小时消耗率逐渐提高,而随着转

速降低,主机负荷降低到一定程度,各缸的供油均匀性下降,喷油压力下降,雾化不良导致可燃混合气体质量变差,燃烧不完全,燃油消耗率将进一步提高。渔船在作业工况时,主机长时间处于低转速、低负荷运行状态,负荷频繁变化导致突加突卸、合排脱排、正倒车操纵频繁,这些都将严重降低主机和齿轮箱的寿命,增加设备故障率和维修维护成本。

4 结论

渔船柴电混合动力系统在使用过程中,可根据工况需要随意切换常规与电推系统,使柴油机始终保持经济运行工况,实现渔船节能减排。从理论到实际使用效果都说明,柴电混合动力系统在金枪鱼延绳钓船上的应用是成功的,综合各工况,大致能节油 15% 以上。虽然其他诸如拖网和围网渔船的工况特点没有金枪鱼延绳钓船鲜明,但其作业时可以根据其负载量和所需拖力,选择使用电力推进或普通推进。另外,在机舱空间允许的条件下,可以把推进系统进一步拆分,运用多机多桨的模式和更高的智能化调配系统,使工况使用更细化,渔船的柴电混合动力系统应用也将有更广阔的发展空间。□

参考文献

- [1] 张祝利,曹建军,何亚萍.我国渔船柴油机和节油产品应用现状调查与分析[J].渔业现代化,2009,36(4):66-69.
- [2] 周燕侠,余开.建设海洋牧场,推动海洋渔业持续发展[J].科学养鱼,2012(12):13-16.
- [3] 刘成岗,饶德生.海洋渔业船舶节能技术[J].渔业现代化,2011,38(3):62-65.
- [4] 邓礼标.新形势下渔船节能技术的推广应用[J].中国水产,2010(6):26-28.
- [5] 蔡冠华,袁士春.渔船节能技术与方法探讨[J].南通航运职业技术学院学报,2010,9(3):35-37.
- [6] 陈新毅,杨烨.船舶电力推进技术发展概述[J].中国水运,2008,8(8):48-49.
- [7] 赵宇欣.市场可期技术变革在即——国内外电力推进系统发展现状及趋势[J].船舶物资与市场,2014(5):65-68.
- [8] 梁仁君,林振山,任晓辉.海洋渔业资源可持续利用的捕捞策略和动力预测[J].南京师大学报,2006,29(3):108-112.
- [9] 杨得前.我国海洋渔业资源捕捞过度的经济学分析[J].北京水产,2003(3):22-24.
- [10] 钱晨,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.

- [11] 沙峰,王永鼎,叶守建.金枪鱼延绳钓混合动力推进系统研究与分析[J].上海海洋大学学报,2014(2):279-283.
- [12] 丁建乐,鲍旭腾,张建华.欧洲捕捞渔业节能降耗技术与措施[J].渔业现代化,2010,37(5):60-63.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] ROY N,INGVE S.Hybrid power generation system [EB/OL]. (2012-12-12),http://www.wartsila.com.
- [16] 钱晨龙,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):285-289.
- [17] 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,2007,43(1):52-55.
- [18] 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.

Fuel consumption analysis of diesel-electric hybrid system of fishing boat

CAO Jianjun, LI Shengyong

(Fishery Machinery and Instrument Research Institute,
Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200092, China)

Abstract: In order to explore the energy conservation performance of ocean fishing boat propulsion systems, in this paper, a tuna longline vessel that has realized energy-saving and emission-reducing was taken as an example to analyze the reasons behind, through probing into the structure of its diesel-electric hybrid system, engine load characteristics and the actual using conditions of the vessel. The results showed that the diesel-electric hybrid system of the vessel in use can easily switch between the conventional power and the electricity propulsion systems in accordance with the actual working conditions; by selecting the reasonable working conditions of the main engine, the output efficiency of the diesel engine could thus be improved and the diesel fuel consumption rate decreased, and considering the various working conditions, the system could save energy by more than 15%. The research showed that, at present, using hybrid power technology in tuna longline vessels is feasible and can play a role in energy conservation. With the core technology remaining the same and by adopting some innovative techniques such as multi-machine paddle split system to allow the system greater intelligent deployment role, the hybrid can be further extended to trawlers, purse seiners and other fishing vessels.

Key words: fishing; diesel-electric propulsion; hybrid; energy conservation

· 文摘 ·

膨化颗粒饲料所具有的沉降速率和空间扩散特性

饲料在海水网箱中的时空分布由于和鱼类的生长、饲料的损失、环境污染和鱼类福利等有强相关性,因此对于养殖者、养殖鱼类和环境而言均很重要。本研究给出了从水产养殖中常用的4种颗粒尺寸和3种密度的膨化颗粒鱼饲料在实验中获得的一套饲料扩散参数和沉降速率。发现颗粒尺寸与增加颗粒的扩散度呈正相关,而颗粒密度对增加颗粒的扩散并不那么重要。颗粒尺寸和颗粒密度都对颗粒的沉降速率有显著影响。将研究结果与饲料生产期间所获得的数据以及其它相关研究获得的数值进行了比较。结果表明,与颗粒饲料团的流体动力学性状相关的参数可随不同的颗粒类型而变化。该结果可用于改善海水网箱投饲模型中的颗粒运动并确定其运动参数,改进对鱼类行为、生长和饲料损失的评价。

(《Aquacultural Engineering》Vol.74)