

文章编号: 1674 - 5566(2014)02 - 0279 - 05

金枪鱼延绳钓船混合动力推进系统研究与分析

沙 锋^{1,2,3}, 王永鼎^{1,2,4}, 叶守建^{1,2,5}

(1. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306; 2. 远洋渔业协同创新中心, 上海 201306; 3. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306; 4. 上海海洋大学 工程学院, 上海 201306; 5. 上海远洋渔业有限公司, 上海 200090)

摘要: 渔业节能减排和保护环境对促进国家海洋经济发展将起到重要作用。与传统的船舶动力系统相比, 混合动力推进系统的电力推进具有调速范围广、驱动力大、易于正反转、体积小、布局灵活、安装方便、便于维修、振动和噪音小等优点。金枪鱼延绳钓船在作业时间内, 主机处于低转速低负荷运行状态, 燃油消耗率升高, 出现积炭, 导致增压器背压增加, 可能引起喘振; 主机受最低稳定转速限制, 易造成航速忽快忽慢, 不利于生产作业。根据金枪鱼延绳钓船作业方式和特点, 提出分段驱动并联结构机电混合动力推进系统应用于金枪鱼延绳钓船, 形成机电混合推进系统, 降低了金枪鱼延绳钓船在航行及作业工况下对主机的依赖性, 提高船舶推进系统冗余度, 提高船舶放钓、收钓作业工况下的操纵灵活性, 大幅度提高船舶操纵性和综合推进效率。通过经济适用性和环境保护性指标体系分析, 与常规金枪鱼延绳钓船相比较, 在放钓、巡钓和收钓作业等相同工况下, 综合耗油量降低 20%, 系统可靠性, 安全性和综合推进效率有一定提高。

研究亮点: 根据金枪鱼延绳钓船航行和作业工况特点, 将混合动力推进系统应用于金枪鱼延绳钓船。在高速高负荷的工况条件下, 采用发动机直接驱动负载对外输出功率, 而在低速低负荷的工况条件下, 采用电动机驱动负载对外输出功率, 发动机停机, 或保持高效率的额定输出工况驱动发电机工作, 实现多工况条件下动力装置的高效运行。

关键词: 金枪鱼延绳钓船; 混合动力; 分段并联; 经济性

中图分类号: U 664. 12

文献标志码: A

为配合《节能减排“十二五”规划》, 国家相关部门纷纷制定实施细则, 推动我国渔船的改造升级和向绿色节能化发展。远洋渔业是推进国家海洋经济发展战略的重要方面, 金枪鱼延绳钓船是远洋渔业的重要组成部分。影响金枪鱼延绳钓船捕捞效果和经济效益的主要因素是延绳钓船的航速、船长和钩钓数, 而渔船动力装置直接与这些因素息息相关^[1-2]。目前混合动力系统在许多领域得到应用, 例如汽车^[3-4], 工程机械^[5]领域, 它能有效提高燃油效率。本文将混合动力推进系统应用于金枪鱼延绳钓船, 大力发展和优化金枪鱼延绳钓船动力装置, 有助于促进国家海洋经济的发展和节能减排, 提高燃油经济性。

1 金枪鱼延绳钓船作业特点

1.1 金枪鱼延绳钓船作业方式和特点

金枪鱼延绳钓船每天一个作业周期, 一般在黎明开始放钓作业, 作业航速维持在 7 ~ 8 kn, 耗时 4 ~ 6 h, 放钓结束后一般需等待 3 ~ 5 h 才开始起钓作业, 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。

现有金枪鱼延绳钓船主推进系统一般采用主机通过齿轮箱驱动固定螺距螺旋桨方式, 主机功率按自由航行工况配置^[6]。根据其作业方式, 在放钓、巡钓和起钓作业中, 主机输出的功率大约为其额定功率的 25%、10% 和 3%, 船舶在作业

收稿日期: 2013-10-17

修回日期: 2013-12-11

基金项目: 上海市科学技术委员会创新行动计划(13dz1203701)

作者简介: 沙 锋(1971—), 男, 硕士, 研究方向为渔业船舶节能及渔业船舶检验。E-mail: fsha@shou.edu.cn

通信作者: 王永鼎, E-mail: ydwang@shou.edu.cn

过程中,主机一直处于低转速和低负荷状态。在收钓作业时,如果发现渔获,船舶需要快速切换至倒车模式,以避免航速过快渔获脱钩,同时,航速应能在较大幅度内进行调节,具有较好的转向、回航、低速迂回航行等性能,使船速与作业要求相适应。

1.2 金枪鱼延绳钓船存在的问题

金枪鱼延绳钓船在作业时间内,主机长时间处于低转速低负荷运行状态,并伴有频繁的负荷突加突卸、合排脱排、正倒车操作,这些恶劣工况严重降低了主机和齿轮箱的寿命,增加设备故障率、燃料成本和排放增加,直接导致有效作业时间降低,能源消耗和环境污染增加^[7]。

负荷降低到一定程度时,主机各缸供油均匀性下降,转速不稳定,喷油压力下降,雾化不良,可燃混合气质量变差,燃烧恶化,排气温度过高,润滑油粘度降低,润滑效果变差。由于燃烧不充分,燃油消耗率升高,出现积炭,导致增压器背压增加,可能引起喘振。

起钓作业时,作业航速较放钓作业时更低,主机受最低稳定转速限制,无法持续地输出足够的功率,只能通过齿轮箱频繁地合排、脱排操作维持低速航行作业要求,由此造成航速忽快忽慢,不利于作业生产。

2 金枪鱼延绳钓船混合动力推进系统

2.1 混合动力推进系统可行性分析

近年来,基于对提高船舶操纵性能和动力装置综合应用的需要,船舶电力推进系统得到了广泛关注,世界各国都在大力开展应用研究。船舶电力推进是将船舶推进原动机(现一般多采用柴油机或燃气轮机)产生的机械能量转变为电能,并以电机驱动船舶螺旋桨的一种推进方式^[8]。与传统推进动力系统相比,船舶电力推进系统具有调速范围广、驱动力大、易于正反转、体积小、布局灵活、安装方便、便于维修、振动和噪音小等优点^[9-10],得到充分的认识而被接受,并在越来越多各种类型船舶上广泛应用。包括柴油机、电力系统、交流变频调速驱动系统和计算机自动化系统在内的船舶动力、驱动控制设备的成熟发展,促进了电力推进系统的研发^[11]。

金枪鱼延绳钓船作业过程中航速低,主机长时间低速运行,负荷变化大,混合动力推进系统可以保持作业工况下,船舶推进动力由电力推进系统承担,主机轴带或船舶电站提供电力,保证主机或发电机组在设计工况下稳定运行,提高燃油效率,减少环境污染。

2.2 金枪鱼延绳钓船混合动力推进方案

电力推进是一个既古老又具有崭新活力的船舶推进形式。作为船舶主动力系统的电力推进系统,由于其高效率、高可靠性、高自动化以及低维护,正成为新世纪大型水面船舶青睐的主推进系统。与传统的船舶动力系统相比,电力推进系统具有调速范围广、驱动力大、易于正反转、体积小、布局灵活、安装方便、便于维修、振动和噪音小等优点。进入 21 世纪以来,基于对提高船舶操纵性能的需要以及对动力装置的综合应用的研究,电力推进作为船舶的新型推进动力,获得了广泛的关注和应用,世界各国都在进行深入地研究^[9-10]。

船舶电力推进是集船舶总体布置、推进性能、机电设备配置总成的全船性的综合系统。电力推进系统的优点越来越得到充分的认识而被接受,正在越来越多的各种类型的船舶上得到广泛的应用。由于包括柴油机、电力系统、交流变频调速驱动系统和计算机自动化系统在内的船舶动力、驱动控制设备的成熟发展,产品可选范围极大,也促进了适合各种需要的电力推进系统的开发^[12]。目前,发达国家新造船舶的 30% 已采用电力推进系统。船舶电力推进新技术的研发及应用将大大减轻船舶污染和海洋环境污染,充分体现了“绿色航运”和“绿色船舶”的环保节能理念,这将是今后船舶动力领域的一个发展方向。

综上所述,在金枪鱼延绳钓船上引入电力推进在技术上是完全可行的,电力推进系统调速范围广、易于正反转等优点也正好切合了金枪鱼延绳钓船的作业需要。

根据金枪鱼延绳钓船的作业方式、对船舶航速和推进动力的需求,采用分段驱动并联结构机电混合动力推进系统^[13],如图 1 所示。

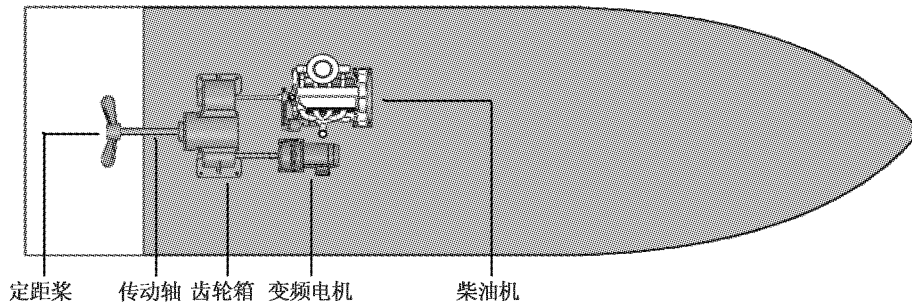


图1 并联结构机电混合动力推进系统
Fig.1 Parallel hybrid propulsion system

系统采用双轴进单轴出,不同时输入的非标齿轮箱为中间传动设备,船舶主机为柴油机,推进电机为变频电机,两者分别与齿轮箱输入端并联连接,相互连锁,齿轮箱输出端直接与定距桨连接。

系统工作时采用的控制模式为:连锁控制机构保证船舶主机和推进电机两组推进装置中一组合排,另一组脱排,并可根据工况变化随意切换,分段驱动。在柴油机燃油和排放性能较好的高速高负荷时段,采用主机动力推进,低速低负荷时,采用电机动力推进。

金枪鱼延绳钓船 70% ~ 80% 的时间处于低负荷状态,船舶电站提供的电力足以满足作业时低速航行的要求,此时主机为停车状态。

3 金枪鱼延绳钓船混合推进系统经济性分析

目前,金枪鱼延绳钓船的主要成本是燃油、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%。近年来燃油价格不断上升,对企业的经济效益带来极大影响,因此节能高效的混合动力推进系统势在必行。

金枪鱼延绳钓船主尺寸、设计海况等不同,以及船舶综合航行工况和放钓、巡钓、收钓等作业工况对航速、操纵性的要求不同,不同船舶推进系统的经济性存在一定差异,上海远洋渔业有限公司正在研发的金枪鱼延绳钓船机电混合推进系统符合低碳环保和节能减排要求,优化配置参数,提高推进效率。本文以此为参考,进行推进系统经济性分析。

3.1 主要技术参数

渔船主要技术参数:总长 44.9 m,型宽 7.3

m,总吨位 380 t,主机功率 597 kW。

采用机电混合推进系统的金枪鱼延绳钓船与现有同规格同船型的金枪鱼延绳钓船配置比较如表 1 所示。

表 1 金枪鱼延绳钓船动力配置
Tab.1 Tuna loneline power configuration

	混动渔船	常规渔船
主机	1 × 596 kW	1 × 596 kW
推进电机	1 × 120 kW	无
主发电机组	2 × 200 kW	2 × 200 kW
辅发电机组	1 × 144 kW	无
停泊发电机组	1 × 24 kW	1 × 24 kW

金枪鱼延绳钓船到达渔场后,主要作业工况为放钓、巡钓和起钓,占推进动力使用时间约 90% ~ 95%,分析计算渔船推进系统经济性主要考虑放钓、巡钓和起钓,选取工况如表 2 所示。

表 2 渔船作业工况
Tab.2 The fishing conditions

作业工况	航速/kn	时间/h	功率/kW
放钓作业	8	5	120
巡钓作业	5	4	40
起钓作业	3	13.5	12

3.2 金枪鱼延绳钓船混合推进系统经济性

通常,对混合动力推进系统评价的指标体系包括环境保护性、经济适用性、能源效用性、资源禀赋性和技术成熟性等^[14]。环境保护性是衡量系统对环境的影响,降低燃油消耗本身就是节能减排,减少对环境的影响。经济适用性包括成本及价格指标,不同的作业工况,渔船对功率的要求不同,混动渔船和常规渔船动力配置在不同工况下的使用情况如表 3 所示。

表3 主机和发电机组使用情况
Tab.3 The main engine and the generator conditions

	混动渔船		常规渔船	
	主机	发电机组	主机	发电机组
航行工况	1 × 596 kW	1 × 144 kW	1 × 596 kW	1 × 200 kW
进出港工况	1 × 596 kW	1 × 200 kW	1 × 596 kW	1 × 200 kW
放钓工况	-	1 × 200 kW + 1 × 144 kW	1 × 596 kW	1 × 200 kW
巡钓工况	-	1 × 200 kW + 1 × 144 kW	1 × 596 kW	1 × 200 kW
起钓工况	-	1 × 200 kW + 1 × 144 kW	1 × 596 kW	1 × 200 kW
停泊工况	-	1 × 24 kW	-	1 × 24 kW

常规渔船推进动力由主机提供,在放钓、巡钓和起钓作业时,主机和发电机组都需要处于工作状态,因渔船仅需要低速低负荷即可满足作业要求,混动渔船可以暂停主机,由一台 200 kW 发电机组提供电力推进,另一台 144 kW 发电机组提供作业电力需要。

耗油量是渔船使用经济性的重要指标,根据耗油量计算方法,耗油量为耗油率与功率和运行时间的乘积,总耗油量为不同工况下耗油量之和。

金枪鱼延绳钓船作业过程中,维持航行消耗动力约占总耗油量三分之二,作业消耗动力约占总耗油量三分之一。在相同工况条件、相同消耗功率和相同运行时间条件下,对比混动渔船和常规渔船,后者主机基本维持在三分之一额定功率下工作,耗油率为额定值的 1.2 ~ 1.5 倍,发电机组基本维持在四分之三额定功率下工作,耗油率为额定值的 1.05 ~ 1.10 倍。

由此计算得,常规渔船综合耗油量为混动渔船的 1.15 ~ 1.37 倍,或混动渔船相对常规渔船耗油量减少 13% ~ 27%,平均节油率为 20%。

4 结论

(1) 在金枪鱼延绳钓船上引入电力推进技术,形成机电混合推进系统,降低了金枪鱼延绳钓船在航行及作业工况下对主机的依赖性,大幅度提高船舶操纵性和综合推进效率。

(2) 提高船舶推进系统冗余度,实现在相同设计工况和海况下,主机故障时具备船舶航行能力,提高船舶可靠性与安全性。

(3) 提高船舶放钓、收钓作业工况下的操纵灵活性,降低操船人员劳动强度。

(4) 与常规金枪鱼延绳钓船相比较,在放钓、

巡钓和收钓作业等相同工况下,综合耗油量降低 20%,实现船舶节能减排,减轻船舶污染和海洋环境污染,优化主机运行工况,降低主机和齿轮箱故障率,具有普遍推广意义。

参考文献:

- [1] 陈庆义,贾复. 金枪鱼延绳钓船船长及服务航速与钓钩数量的匹配[J]. 大连水产学院学报,2012,17(4):323-327.
- [2] 陈龙,贾复,秦士元. 远洋金枪鱼延绳钓渔船主要参数分析[J]. 大连水产学院学报,1998,13(3):55-62.
- [3] 于秀敏,曹珊,李君,等. 混合动力汽车控制策略的研究现状及其发展趋势[J]. 机械工程学报,2006,42(11):10-16.
- [4] 赵玉超,郭鹏. 混合动力技术在重型车的应用前景[J]. 重型汽车,2010(6):22-24.
- [5] 樊运新,高殿柱. 双源制电力牵引调车机车的研发[J]. 电力机车与城轨车辆,2012,35(5):11-15.
- [6] 乔伟海. 坚持技术创新促进远洋渔业发展—500吨超低温金枪鱼延绳钓船研制成功[J]. 渔业现代化,2002(1):41-42.
- [7] 兑汉平. DFH(5)-G1型油电混合动力内燃机车的研制[J]. 内燃机车,2013(6):14-17.
- [8] 赵红,郭晨,吴志良. 船舶电力推进系统的建模与仿真[J]. 中国造船,2006,47(4):51-56.
- [9] 陈家金,王和平. 船舶电力推进系统的发展[J]. 世界海运,2006,29(4):9-11.
- [10] 李楠. 现代船舶电力推进系统的发展[J]. 中国水运,2009,9(1):1-2.
- [11] 徐晓美,唐倩倩,王哲. 混合动力装载机的研究现状及发展趋势[J]. 工程机械,2012,43(2):53-56.
- [12] 刘赞,徐绍佐. 船舶综合电力推进系统综述[J]. 柴油机,2004(2):1-3.
- [13] 刘庆凯,纪丽伟,刘雄. 混合动力汽车整车控制策略比较分析[J]. 柴油机设计与制造,2010,16(3):337-342.
- [14] 阮娴静,杨青. 我国新能源汽车技术指标体系及评价模型[J]. 科技管理研究,2010(8):32-34.

Study and analysis on tuna longliner hybrid power system

SHA Feng^{1,2,3}, WANG Yong-ding^{1,2,4}, YE Shou-jian^{1,2,5}

(1. *National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;*

2. *Collaborative Innovation Center for Distant-water Fisheries, Shanghai 201306, China;* 3. *College of Marine Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;* 4. *College of Engineering Science & Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;* 5. *Shanghai Deepsea Fisheries Co., Ltd., Shanghai 200090, China)*

Abstract: Fishery energy-saving and environmental protection play an important role in promoting the development of marine economy. Compared with traditional marine power system, hybrid propulsion system has some advantages, such as, wide speed range, strong driving force, easy positive inversion, small volume, flexible layout, convenient installation and maintenance, low vibration and noise. When tuna longliner is working, the main engine is in the low speed and low load operation conditions. It will cause higher specific fuel consumption and carbon deposition. Then the back pressure of turbocharger will increase, and the surge will be caused in the end. In addition, the main engine is limited by minimum stable engine speed. Suddenly quick and slow speed is not conducive to the production. According to the methods and characteristics of tuna longliner, a kind of electromechanical hybrid propulsion system is presented in this paper. Sectional drive parallel electrical hybrid propulsion structure is used in this system. It can reduce the dependence on main engine when tuna longliner sails or works. The redundancy of propulsion system can be improved, as well as the operating flexibility. The ship maneuverability and integrated propulsion efficiency can be promoted significantly. Through the analysis of the economic and environmental protection index, compared with the conventional hybrid tuna longliner, the general fuel consumption can reduce by 20% under the same condition in shooting, cruising and reeling. Also the system reliability, safety and comprehensive propulsion efficiency are improved.

Key words: tuna longliner; hybrid power; piecewise parallel; economy