

# 基于 BDS 的混合动力船舶节能研究

王永鼎, 程湘裕

(上海海洋大学 工程学院, 上海 201306)

**摘要:** 提出一种基于北斗卫星导航系统(BDS)的油电混合动力推进系统, 柴油机和电动机采取 PTH 驱动方式, 采用燃油和电能混合提供推进动力, 可以依据 BDS 导航的航行区域以及航行速度选择不同动力源输出。经过燃油经济性和效益分析, 与传统推进系统相比, 应用基于 BDS 的混合动力推进系统, 公务船运营成本降低 26%, 增加的初始建造投资成本 3 年内可以收回; 金枪鱼延绳钓船综合节油 15%~20%, 通过节油方式可在 4 年内收回初始建造投资成本。基于 BDS 的混合动力系统可以增加推进冗余度, 提高船舶安全性, 具有良好的节能减排和节约运营成本的效果。

**关键词:** BDS; 公务船; 金枪鱼钓船; 混合动力; 节能减排

**中图分类号:** U664.1      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1008-9268(2020)02-0112-07

## 0 引言

随着全球工业化的不断深入, 船舶运输和海洋渔业得到快速发展, 各种作业船舶的数量和吨位都在增加。为了应对日益严峻的世界气候问题, 世界相关环保组织逐步关注船舶节能减排问题, 接连出台多项国际性公约, 限制船舶废气排放<sup>[1]</sup>。中国每年能源消耗量巨大, 但是单位能耗对经济的贡献值远远低于西方发达国家, 能源短缺和环境污染问题日益凸显。中国经济发展规划中, 将节能减排作为政府工作的重要考核目标, 各个部门联合推动船舶节能改造和向绿色化发展<sup>[2-3]</sup>, 并于 2016 年制定标准, 控制船舶污染物排放, 2018 年在三个主要经济带设立船舶排放控制区, 对内河航道的排放也提出限制要求, 2019 年又制定更为严格的船舶燃油含硫量规定<sup>[4]</sup>。同时船舶节能减排受到发动机生产厂和船舶建造企业的高度重视。

船舶每年消耗的柴油量占据全国柴油消耗总量很大比重, 每年渔船柴油消耗就高达 900 多万吨, 其中船舶推进系统消耗的燃油占总油耗的 60%~70%, 因此研究节能型动力推进系统是船舶节能减排的重要措施。

内河及近海公务船和金枪鱼延绳钓船需要多种航行工况, 传统动力推进系统在低功率低航速状态下, 燃油消耗率较高, 产生积碳, 导致增压器背压升高, 出现喘振现象。混合动力推进技术可有效改善低工况时的燃油经济性, 根据船型特点设计新型混合动力推进技术是降低船舶油耗、减少排放的重要手段。本文将基于北斗卫星导航的混合动力推进系统应用于公务船和金枪鱼延绳钓船, 并针对两种船型展开节能研究。

## 1 公务船及金枪鱼钓船工况介绍

### 1.1 工作类型和特点

以某型号公务船为例, 主要负责海事巡逻、水上安全督查、港口管理、航道设施检查等船舶安全生产管理职责。执行航行任务时, 每天工作 8 h, 一般有三种工况, 满负荷快速航行约 2 h, 低负荷巡航约 4 h, 停船检查柴油机怠速时间约 2 h。公务船每天变工况航行, 当快速航行时, 柴油机燃油效率高, 当低速巡航时主机负荷仅为 15% 左右, 低工况运行燃油效率低, 油耗增加。在停船怠速状态下, 柴油机消耗燃油更多。

收稿日期: 2020-02-12

资助项目: 上海市科委创新行动计划(13dz1203701)

通信作者: 程湘裕 E-mail: 2581823867@qq.com

以太平洋海域作业的金枪鱼延绳钓船为例,一般包括快速航行工况和放钓、起钓工况. 渔船快速航行一般航速 8~10 kn,持续 2~4 h;放钓作业航速维持 4~8 kn,作业时间 4~6 h;起钓作业航速较低,需要保持 2~4 kn,作业时间较长,需要 10~14 h. 渔船在作业周期内负载和航速规律性变化,起钓作业时柴油机运行在 15%~25% 负荷状态下,燃油利用率低,起钓作业用时占捕捞周期的 70%~80%,油耗较高.

### 1.2 工作过程存在的问题

传统船舶在设计建造时,主机功率和转速的选取一般依据全速航行时的工况需求. 实际应用中,根据工况变化,船舶柴油机如果在低功率低转速状态下长期运行,转速不稳定,不仅会造成柴油机各缸供油压力不足,燃油不能完全雾化,燃烧不充分,烟道积碳增加,燃油利用率降低,还会增加增压器背压,造成柴油机喘振现象. 船舶航行工况变化,频繁负荷变化和正倒车操作,不利于航速稳定,柴油机和变速装置故障率升高,后期维修保养支出增多,导致推进系统可靠性降低,造成船舶有效工作时间减少,单位时间产值降低,增加使用寿命内运营成本,收益变差.

## 2 基于 BDS 的混合动力推进系统

### 2.1 北斗卫星导航系统(BDS)

BDS 是我国拥有自主知识产权的卫星导航系统,2003 年进入大规模实质性应用阶段,2019 年 9 月成功发射两颗北斗三号(BDS-3)导航卫星, BDS 在轨卫星达到 48 颗,亚太地区实现完全覆盖,海洋船舶定位误差小于 10 m,2020 年将实现全球覆盖,建成世界先进的 BDS-3<sup>[5]</sup>. BDS 主要由空间段、地面控制段、用户段组成. 主要技术优势有:为了提高空间段卫星抗遮挡能力,采用 3 种轨道卫星组成混合星座的形式;为了降低高阶电离层延迟的影响,采用三频信号,提高数据预处理能力,传输可靠性和抗干扰能力增强;将导航和短报文通信功能相结合,可以实现双向通信.

BDS 对于我国的国家安全和经济发展具有重要作用,同时也是服务全球用户的重要空间基础设施. BDS 目前提供的定位、导航和授时服务,具有全天时、全天候、高可靠性和精确性的特点,定位精度误差小于 10 m,亚太地区精度小于 5 m,授时服务精度优于 10 ns,测速精度 0.2 m/s<sup>[6]</sup>. 2014 年 9 月,BDS 地基增强系统建设工程启动实施,这个工

程将加快连续运行参考站系统(CORS)的发展,加强密度网基准站补充建设,使 BDS 可以尽快实现高稳定性和可靠性的全面服务. 2017 年,中国卫星导航系统管理办公室批准了 BDS 地基增强系统的 9 项 BDS 专项标准<sup>[7]</sup>. BDS 正在向卫星导航标准化发展,不断提升系统服务性能和整体服务质量.

### 2.2 BDS 在海事领域的应用

BDS 广泛应用于交通运输、气象预报、地理测绘、海洋渔业、水文监测、应急救援等领域,逐步渗入人们日常生活的方方面面. BDS 定位精度高、覆盖范围广、授时误差小、具有双向通讯功能,在自然条件相对恶劣的海洋环境中具有巨大的应用潜力.

BDS 可以通过船载终端设备(下称 BDS 终端),显示船舶在海域的航行位置、速度、行驶方向等信息,可以提供船舶偏航提示,规划航行路线等服务. BDS 终端与电子海图信息叠合使用,便于船舶驾驶人员直接查看船舶位置和速度,计算船舶到达的时间,实现安全、高效航行<sup>[8]</sup>.

BDS 在船舶管理方面应用广泛. 目前海事部门主要是通过船舶自动识别系统(AIS)和移动通信网络对船舶进行监控管理,但是 AIS 系统存在较多的监管盲区,使用移动通信费用昂贵<sup>[9]</sup>. BDS 独有的短报文通信功能,可以不借助第三方系统,独立组网和数据通信,实现船载终端之间或者终端与控制中心的双向通信. 基于 BDS 导航技术的船舶航线监管系统,可以实现船舶实时定位、测速,船舶之间或船舶与海事部门双向通信,具有发布碰撞预警、航线航迹偏差警告和遇险求助等功能<sup>[10]</sup>. 港口管理部门,可以通过 BDS 将港口靠泊船舶情况、航道情况和泊位吨位等信息通过港口调度系统显示,实现港口船舶的合理安排.

BDS 在航海保障领域具有重要作用. 航海保障对船舶航行安全起着至关重要的作用,其对设备的精度要求高,主要涉及海道测量、水文信息收集、潮汐监测、航标布置等工作. 结合高分辨率图像识别技术,应用 BDS、船舶远程识别与跟踪系统,实现“ AIS+BDS”的沿海 BDS 地基增强系统<sup>[11]</sup>. 目前,长三角区域 BDS CORS 系统船舶定位实现厘米级,为大型船舶在狭窄航道安全交会创造条件,可以最大限度保证长江口航道的高效安全利用<sup>[12]</sup>.

我国是水产品产出和消耗大国,拥有数量巨大的渔业船舶. 为了推进渔船节能化、信息化发展,

农业部关于渔船更新改造补贴规范中,将渔业船舶船载 BDS 终端划入船舶改造信息化设备补贴范围. 渔船配备 BDS 终端设备,渔政管理部门可以通过 BDS 发布台风等自然灾害信息,提醒渔民及时回港规避,保障渔民安全. 利用 BDS 终端,渔业管理部门可以对渔船作业情况进行数据挖掘,提取渔船作业航次、识别渔船类型、判断渔船作业状态等信息,对渔船进行捕捞追溯,计算捕捞努力量,估算捕获量,对渔场内的渔船捕捞强度进行管控,为渔船的精细化管理提供参考<sup>[13]</sup>.

本文将 BDS 导航技术应用于船舶混合动力推进系统中. 船载 BDS 终端与电子海图信息结合构成 BDS 导航模块,不仅可以实时显示船舶位置、速度和航向,还可以将船舶位置信息、航速变化、航迹偏差等动态信息传递给控制系统,控制系统根据预设的数据库和控制策略,判断船舶航行工况,管理柴油机和电动机的动力输出,实现船舶能源高效利用. 本文研究的基于 BDS 导航混合动力推进系统,对于潮汐变化、海洋风浪等导致的海洋高度变化造成的定位精度影响不予考虑,船舶位置只作为一般海上定位<sup>[14]</sup>.

## 2.3 基于 BDS 的混合动力系统的推进方案

### 2.3.1 推进系统构成

基于 BDS 的混合动力船舶可以使用燃油和电能两种能源,主要由 BDS 导航模块、船用柴油机、电动机、蓄电池储能装置、控制系统和能量管理系统组成. 与柴油机单独推进相比,油电混合动力系统,电动机具有转速响应快,调速范围广的特点<sup>[15]</sup>. 当船舶工作在低负荷低转速工况时,储能装置供电,电动机单独提供推进动力,柴油机可以暂时关闭,减少柴油机油耗. 当电池电量较低时,柴油机可以保持额定功率运行,将多余的动力用于储能装置充电,当船舶负载突然升高时,储能装置放电启动电动机辅助动力输出. 通过能量管理装置,对储能装置充放电,有利于保持柴油机转速平稳,使其维持在额定功率附近工作,提高燃油利用率.

混合动力技术在有限空间内,通过合理选择油电混合度、柴油机和电动机选型、BDS 导航结合能量控制系统优化动力输出,从而实现推进系统协调性、机桨匹配合理性和能源利用高效性.

### 2.3.2 运行方式

依据运行方式的不同可以将船舶油电混合动力系统分为三种: 1) 船舶的动力源只有柴油机.

柴油机驱动发电机提供船舶电力供应,带动螺旋桨实现船舶推进,被称为轴带发电机驱动方式(PTO). 2) 船舶配备柴油机和电动机,两者动力耦合作为船舶动力源,共同驱动螺旋桨实现船舶推进,被称为柴电并车驱动方式(PTI). 3) 船舶配备的柴油机和电动机都可以单独作为动力源,两者既可以独立驱动螺旋桨工作,也可以联合驱动螺旋桨工作实现船舶推进,被称为柴电独立驱动方式(PTH).

公务船和金枪鱼延绳钓船有多种航行工况,航速变化较大,采用 PTH 混合动力驱动方式最为合适. 航行过程中,功率负荷需求大,航速要求高时,采用主机推进,功率负荷需求小,航速要求低时,采用电机推进,这样混合动力推进系统可以很好的满足不同工况的需求<sup>[16]</sup>.

## 2.4 基于 BDS 的混合动力系统的驱动模式

混合动力系统的 BDS 导航模块,依据 BDS-3, 监控管理船舶航行的动态信息,实时显示船舶航行水域位置经纬度、前进方向、航行速度和轨迹、海况、气象信息等.

### 2.4.1 公务船

内河和近海水域来往船舶较多,航道船舶流量大,情况多变,船舶需要频繁切换航速,柴油机能效低下. 基于 BDS 导航的混合动力系统,可以实现船舶之间或者船舶与海事监控中心的双向通信,接收碰撞预警、航线航迹偏差警告等信息,

可以根据水域情况和航行位置设置航速、调整动力输出. 公务船油电混合动力系统工作模式如表 1 所示.

表 1 公务船油电混合动力系统工作模式

简称	工作模式	柴油机状态	蓄电池状态
柴	柴油机单一驱动	开	断开
电	电动机单一驱动	关	放电
充	柴油机驱动并向 电池充电	开	充电
合	柴油机、电动机 联合驱动	开	放电

BDS 导航混合动力系统可以根据航行区域调整工作模式,当航行水域航道条件良好,控制系统检测到负载大于船舶柴油机额定功率,电池电量充足,电动机开启和柴油机实现并车,共同驱动;当负载在柴油机额定功率附近时,电动机关闭,柴油机单独驱动;当负载降低电池电量不足时,柴油机驱动并向电池充电,柴油机依然可以保持在额定功率

附近,燃油经济性高,排放良好;当航行在船舶排放控制区或者城市港口附近,航行条件差的水域时,负载较小电量充足,电动机单独驱动,船舶实现零排放<sup>[17]</sup>.

#### 2.4.2 金枪鱼延绳钓船

当 BDS 导航模块检测到金枪鱼延绳钓船位于非渔场海域,航行速度大于 8 kn,附近海域气象条件有利于航行,此时渔船处于快速奔赴渔场或者运送渔获等非捕捞作业工况,电动机和柴油机实现并车,共同驱动渔船,快速航行. BDS 导航模块实时显示船舶位置,当控制系统检测到渔船到达放钓海域,输出信号,航速调整到 4~8 kn,渔船运行在放钓工况,负载在柴油机额定功率附近,柴油机单独驱动<sup>[18]</sup>. 当 BDS 导航模块显示船舶位置,控制系统检测到船舶位于指定起钓海域,输出信号,航速调整到 2~4 kn,电动机单独驱动渔船. 蓄电池荷电 SOC 高于 30%时,电动机动力全部由蓄电池提供,纯电力驱动,渔船实现零排放;当蓄电池荷电 SOC 低于 30%时,能量管理系统输出信号,柴油机带动发电机为蓄电池充电,同时输出推进动力,控制装置和能量管理系统保持柴油机稳定工作在额定功率附近. 当 BDS 导航模块检测到渔船进入排放控制水域时,控制系统输出信号,电动机单独驱动,减少排放. 混合动力金枪鱼钓船控制策略如图 1 所示.

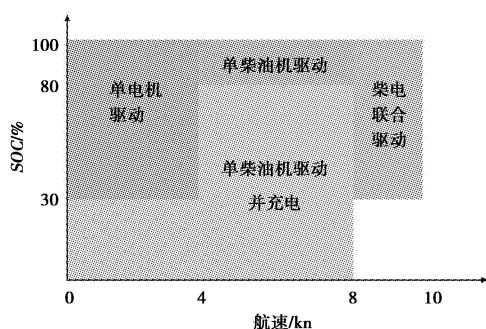


图 1 混合动力金枪鱼钓船控制策略示意图

### 3 基于 BDS 的混合动力推进系统节能分析

本文选取搭载 BDS 导航混合动力系统的某型公务船和金枪鱼延绳钓船进行经济性分析和节能效益研究.

#### 3.1 工况分析

该型公务船主要行驶在内河和近海水域,负责港口管理、海事巡逻、突发情况处理和航道管理工作. 该型公务船总长 19 m,型宽 4 m,满载排水量 26.82 t,采用 WP12C350 船用高速柴油机作为主机,额定功率 267 kW,电机额定功率 80 kW. 具体航行工况如表 2 所示.

表 2 某型号油电混合动力公务船工况

序号	航行模式	输出功率/kW	航速/kn
1	柴电联合驱动	270~320	15~16
2	柴油机单独驱动	220~270	14~15
3	柴油机驱动并充电	180~220	13~14
4	电动机单独驱动	40	0~8

选取上海远洋渔业公司的某型号金枪鱼钓船为研究对象. 基于 BDS 导航的混合动力金枪鱼钓船采用 PTH 形式(柴油机和电动机独立运行). 排水量为 380 t,其中船舶柴油机选取 KTA38-MO 为机型作为主机,额定功率 598 kW,电动机额定功率 120 kW,电力系统由中船重工七一一所集成设计<sup>[19]</sup>.

金枪鱼钓船具体作业工况如表 3 所示.

表 3 金枪鱼钓船作业工况

作业工况	航速/kn	时间/h	功率/kW
全速航行	8~10	2~4	598~718
放钓作业	4~8	4~6	120
起钓作业	2~4	12~14	12

#### 3.2 经济性分析

船舶油耗量是衡量船舶推进系统经济性的重要指标,燃油消耗量是耗油率与柴油机输出功率和运行时间的乘积,总耗油量为船舶不同工况航行条件下耗油量之和.

##### 3.2.1 公务船

该型公务船在内河水域执行公务航行,以柴油机的油耗为基准,每天工作 8 h,其中满负荷航行 2 h,15%功率航行 4 h,其余 2 h 为怠速. 通过耗油量和每天运营成本,分析基于 BDS 的混合动力公务船节油效果和节能性.

表 4 WP12C350 船用高速柴油机油耗

功率/kW	油耗率/(kg/kWh)	怠速/(kg/h)
267(100%)	0.194	5.5
40(15%)	0.210	

根据表 4 所示,柴油机工作一天,平均耗油量  $=0.194 \times 267 \times 2 + 0.21 \times 40 \times 4 + 5.5 \times 2 = 148$  kg,按照目前市场价格船用柴油 8000 元/t 计算,公务船每天运营的燃料费用  $=0.148 \times 8000 = 1184$  元。

基于 BDS 的混合动力推进系统,电力推进时,电池要保证驱动 40 kW 电动机运行两个小时,同时根据电机效率为 0.9 计算,蓄电池容量应为 90 kWh. 混合动力系统不存在柴油机怠速状态运行,电动机驱动可以满足低负荷条件下的航速需求。

电动机消耗的电量大致等于蓄电池容量,实际应用中,蓄电池充电效率约为 0.8,所以每天耗电量  $=90/0.8 = 110$  kWh. 混合动力系统中,与柴油机推进系统相比,节省了低功率(40 kW)和怠速状态下的耗油量. 算出耗油量为 102 kg,每天燃油费  $=0.102 \times 8000 = 816$  元. 公务船蓄电池可以进行岸电充电,根据上海市晚间峰谷电费 0.5 元/kWh 计算,电费  $=110 \times 0.5 = 55$  元. 燃油费和电费构成混合动力公务船的运营成本. 算出每天运营成本  $=816 + 55 = 871$  元. 基于 BDS 导航的混合动力公务船比柴油机推进公务船每日运营成本降低 26% 左右,使用岸电充电,节能环保,经济性很好。

### 3.2.2 金枪鱼钓船

上海远洋渔业公司建造了两艘金枪鱼延绳钓船,均采用基于 BDS 导航的 PTH 形式混合动力推进系统. 这两艘船已于 2015 年赴太平洋海域捕捞作业,沪渔 918 作为示范船,两种推进系统具体燃油消耗情况如表 5 所示。

表 5 两种推进系统燃油消耗情况

燃油消耗	L/h	
	不使用混合动力	混合动力系统
起钩作业油耗	36	27
放钩作业油耗	56	—
航行综合油耗	76	41
航行十海里油耗	76	41.1

表注:数据来源:示范船沪渔 918 轮

经过实船作业验证,起钩作业时混合动力金枪鱼钓船可以节油 25%,放钩作业时节油 23%,航行相同距离,混合动力系统节油 14% 左右. 经过多次渔船捕捞作业统计,基于 BDS 导航的混合动力金枪鱼钓船一个作业周期综合节约燃油 10% ~ 20%,节能效果显著。

### 3.3 效益核算

船舶的成本主要包括初始设计建造成本和后期运行成本. 如果给船舶配备基于 BDS 的混合动力系统,需要增加 BDS 导航模块、电力推进和储能装置. 基于 BDS 的船舶混合动力系统将会增加初始建造投资,但是后期运行节省燃油可降低运营成本,为了综合分析经济性,对公务船和金枪鱼钓船进行效益核算。

混合动力系统电力推进和储能装置的成本主要包括电池、电动机、电池附件和电动机附件等,其中电池成本最高. 在船舶推进系统动力电池方面,中国船级社目前只对磷酸铁锂电池制定了船舶检验规范<sup>[20]</sup>. 磷酸铁锂电池充放电寿命高达 4 000 次,使用寿命长达 4~7 年,与其他同类电池相比价格相对较低,同时磷酸铁锂电池还有回收体系,广泛应用于汽车和船舶动力电池领域. 船舶初始建造时,混合动力系统动力电池成本占总增加成本的 45%~65%,后期运行时也将增加动力电池更换和维护成本<sup>[21]</sup>.

针对公务船,总吨位 30 t,主机功率 300 kW 的公务船,增加 BDS 导航模块和混合动力系统系统需要多支出 20 万元初始建造成本. 公务船,除去节假日,每年航行 250 天,每天节省运营成本 359 元,每年运营成本节约 9 万元. 针对渔船,一艘总吨位 400 t,主机功率 600 kW 的金枪鱼延绳钓船,增加 BDS 导航模块和混合动力系统需要多支出 90 万元初始建造成本. 根据渔船作业经验,每年 2/3 的时间金枪鱼延绳钓船可以进行作业,则每年作业时间大约 6 000 h(其中,起钩工况 4 000 h,剩余 2 000 h 放钩作业),目前渔船柴油价格大约 6.4 元/L. 基于 BDS 的混合动力系统,作业一小时,放钩工况节约 15 L,起钩工况节约 5 L,这样计算,每年节约燃油 50 000 L,每年燃油费用可以少支出 32 万元. 每年船舶建造成本收益率大约 7%. 根据计算<sup>[22]</sup>,大约 4 年就可收回基于 BDS 混合动力系统金枪鱼钓船的投资成本. 假设船舶正常使用期限为 20 年,经过计算,船舶在 20 年使用期限内共可节省 345 万余元. 渔船在 20 年使用期限内共可节省 829 万余元. 磷酸铁锂电池一般保修期 5 年,考虑到电池老化会增加能源消耗,假设 5 年进行一次电池更新. 基于 BDS 混合动力系统公务船和金枪鱼钓船均可通过节油方式在五年内收回投资成本. 在 20 年的船舶使用期限内,需要进行动力电池更新和维修服务,磷酸铁锂电池具有回收体

系,根据目前市场情况,更换电池成本是新购入电池成本的一半<sup>[23]</sup>。经过计算,公务船使用期限内电池更换维护成本为 18 万。渔船使用期限内电池更换维护成本为 67.5 万。

根据以上计算,船舶在 20 年的使用期限内,综合节省的燃油费用和增加的电池更换维修费用,安装基于 BDS 导航的混合动力系统,公务船共节省 327 万元,金枪鱼钓船共节省 761.5 万元。如果燃油价格继续攀升,船舶成本回收周期将会进一步缩短。国家大力支持新能源技术的发展,随着电池行业规模效应和技术不断革新,电池价格将逐渐下降,港口岸电设施不断完善,混合动力系统电力推进装置前期投资和后期维护成本将会进一步下降,使用寿命期限内节省成本会降低更多。基于 BDS 导航的混合动力船舶,大幅减少主机低工况、低负载条件下的运行时间,减少柴油机积碳现象,有利于降低后期维修保养成本。同时,电动机辅助推进提高推进系统冗余度,降低船舶动力系统出现故障的概率,减少主机不能作业引发事故的风险,大大增加船舶航行安全性和可靠性。基于 BDS 的混合动力推进系统,不仅将燃油费用的直接成本大幅降低,而且节省了设备损耗、人力、运输等燃料补给产生的间接成本。

另外,公务船蓄电池可以使用岸电充电,选择晚上用电低谷期进行充电,进一步降低运营成本。与金枪鱼钓船相比,基于 BDS 的混合动力公务船行驶在内河和近海海域,BDS 定位和航线规划更准确,航迹纠正和航速反馈更及时,控制系统动力输出管理水平更好,电力推进比例高,可以充分使用岸电充电,所以经济性和效益更好。

## 4 结 论

本文针对公务船和金枪鱼延绳钓船进行研究,提出基于 BDS 的混合动力系统,采取 PTH 方式作为混合动力推进方案,并结合公务船和金枪鱼延绳钓船的航行工况,设计了相应的混合动力驱动模式。PTH 方式的推进方案,降低低负载低功率状态下船舶对主机的依赖性,依据 BDS 来获取船舶的位置和航行速度来确定作业工况,并以此调整柴油机和电动机的动力输出,改善柴油机工作条件,使保持在标定转速附近工作,提高燃油效率,减少排放。与传统推进系统相比,船舶安装基于 BDS 的混合动力推进系统,公务船运营成本降低 26%,增加的投资成本可在 3 年内收回;金枪鱼钓船综合

油耗降低 15%~20%,增加的投资成本可通过节油方式在 4 年内收回,回收周期短。随着电池技术的不断发展,电池成本和后期更换维护成本会逐渐降低,基于 BDS 的混合动力系统经济效益会更好。基于 BDS 的混合动力推进系统,增加了主推进冗余度,提高船舶航行安全性,从而降低一些风险因素和间接成本,具有广阔的应用前景。

## 参考文献

- [1] TECHERTCHIAN N, YVARS P A, MILLET D. Benefits and limits of a constraint satisfaction problem/life cycle assessment approach for the ecodesign of complex systems: a case applied to a hybrid passenger ferry[J]. Journal of cleaner production, 2013, 42(3): 1-18. DOI: 10.1016/j.jclepro.2012.10.048.
- [2] 中华人民共和国交通运输部. 公路水路交通运输节能减排“十三五”规划[EB/OL]. [2014-03-06]http://xxgk.mot.gov.cn/jigou/fgs/201412/t20141216.2973310.html.
- [3] 戴彦德,周伏秋,郁聪,等. 千家企业节能效果评估体系研究[EB/OL]. [2008-03]http://www.moc.gov.cn/fwxx/content2265101.htm.
- [4] 王冉. 论 IMO 在国际海运船舶温室气体减排上的法律进展[J]. 港口经济, 2012(2): 44-46.
- [5] 陈扬,吴海乐. 北斗系统在全球海上航运领域的应用[J]. 卫星应用, 2019(4): 16-18.
- [6] 田向阳,乔文长. 北斗卫星导航系统在船舶海上航行中的应用研究[J]. 数字技术与应用, 2017(8): 54-56.
- [7] 张利,袁本银. GNSS 多星座导航定位算法研究与实现[J]. 测绘, 2012, 35(5): 195-197.
- [8] 安庆,吴树森. 北斗船舶航线监管平台系统设计与实现[J]. 全球定位系统, 2017, 42(2): 50-54.
- [9] 丁振国. 基于北斗的船舶实时监控[J]. 航海技术, 2011(4): 41-45.
- [10] 任娜. 北斗卫星导航系统在 AIS 中的应用研究[D]. 厦门:集美大学, 2016.
- [11] 聂乾震. 北斗卫星导航系统在航海保障行业的应用思考[J]. 航海技术, 2017(4): 38-41.
- [12] 石慧频. 基于北斗的智慧船舶服务系统研究[J]. 企业科技与发展, 2019(3): 54-56.
- [13] 中国通信标准化协会. 基于移动网络的高精度定位技术研究(第一阶段)[R]. 北京:中国通信标准化协会, 2019: 3-4.
- [14] 王玉玺,杜鹏,侯岳麟. 基于电子海图的北斗船舶监管系统设计[J]. 世界海运, 2018, 41(8): 25-27.
- [15] 席飞龙. 船舶油电混合动力系统建模与仿真[D]. 上海:上海交通大学, 2014.

- [16] 王永鼎,田晨曦,董亚龙. 并联式混合动力在金枪鱼钓船上的应用研究[J]. 测控技术, 2017, 36(9): 92-95.
- [17] 柳卫东,陈兵. 新造船能效设计指数及其对船舶设计的影响[J]. 船舶工程, 2010, 32(2): 17-21.
- [18] 王永鼎,田晨曦,董亚龙. 基于北斗卫星导航的金枪鱼钓船混合动力节能系统设计[J]. 全球定位系统, 2017, 42(1): 122-126.
- [19] 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.
- [20] 周劲望,叶守建. 柴电混合动力系统在金枪鱼延绳钓船上的应用[J]. 渔业信息与战略, 2016, 31(3): 206-209.
- [21] 舒晗,何永秀. 纯电动汽车替代方案及经济性分析[J]. 电力科学与工程, 2017, 33(4): 26-31.
- [22] 张益敏,陈俐,朱剑昀. 混合动力船舶动力装置及能量管理研究综述[J]. 舰船科学技术, 2018, 40(3): 1-7.
- [23] 朱维平. 内河 500 吨位新能源纯电动船舶经济效益评价[J]. 交通企业管理, 2018, 33(3): 72-74.

#### 作者简介

**王永鼎** (1963—), 男, 教授, 主要研究方向为海洋工程装备、船舶动力装置和渔业节能技术。

**程湘裕** (1993—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为混合动力船舶节能研究。

## Study on energy saving of hybrid power ships based on BDS

WANG Yongding, CHENG Xiangyu

(College of Engineering Science and Technology, Shanghai Ocean University,  
Shanghai 201306, China)

**Abstract:** This paper proposes a hybrid electric propulsion system based on BDS. The two main power sources of the diesel engine and the electric motor adopt PTH driving mode. The fuel and electric energy are used to provide propulsion power. Different navigation areas and speed can be selected according to BDS Power source output. After fuel economy and benefit analysis, compared with the traditional propulsion system, the application of BDS-based hybrid propulsion system reduces the operating cost of official ships by 26%, and the increased initial construction investment cost of tuna business ship can be recovered within 3 years; Comprehensive fuel saving of 15% to 20%, the initial construction investment cost can be recovered within 4 years through the fuel saving method. The hybrid system based on BDS can increase propulsion redundancy, improve ship safety, and has good effects of energy saving and emission reduction and saving operating costs.

**Keywords:** BDS; business ship; tuna fishing boat; hybrid power; energy saving and emission reduction