

国内船舶柴电混合动力系统发展综述及典型应用案例

刘张超¹, 谭琨¹, 于海洋², 宋丽杰¹

(1. 七一一研究所, 上海 200090; 2. 中国舰船研究设计中心, 上海 201108)

摘要: 介绍了国内船舶柴电混合动力系统的发展情况, 并对国内柴电混合动力系统的典型应用案例进行了分析, 提出了柴电混合动力系统发展须进一步探讨的问题。在此基础上对国内柴电混合动力系统的发展进行了展望。

关键词: 船舶; 柴电混合动力系统; 案例

中图分类号: U664.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2019)04-0046-04

The Development of Domestic Diesel-Electric Hybrid Marine Propulsion Systems and Typical Application Cases

Liu Zhangchao¹, Tan Kun¹, Yu Haiyang², Song Lijie¹

(1. Shanghai Marine Diesel Engine Research Institute, Shanghai 200090;

2. China Ship Development and Design Center, Shanghai 201108)

Abstract: The development of domestic diesel-electric hybrid marine propulsion systems are introduced. The typical application cases in China are analyzed, and the issues that require further discussion are put forward. The future development of domestic diesel-electric hybrid marine propulsion systems is forecasted.

Key words: ship; diesel-electric hybrid propulsion system; case

1 船舶柴电混合动力系统概述

船舶柴电混合动力系统是将燃料和电力结合在一起, 根据不同工况、不同需求, 切换驱动模式的动力系统。由发动机和推进电机组成的混合动力系统, 实质上是通过两者动力的适时调节, 完成船舶驱动的目的。电机低速特性较好, 与发动机结合可以提升船舶低速工况下的机动性, 并改善低速工况下油耗高、排放差的问题。

船舶柴电混合动力系统通常有两种形式: 一种是从动力源的角度, 在常规柴油机直接机械推进的动力型式的基础上, 通过增设推进电机, 使系统中既有柴油机又有推进电机, 通过柴油机、推进电机的灵活匹配, 实现系统的运行灵活性; 一种是从能量来源的角度, 在常规只有柴油机的动力系统中,

增加蓄电池组、超级电容等储能设备, 使系统具有两种能量来源, 根据工况不同采用不同的能量源的组合, 可以提升系统的经济性。

近年来, 随着船舶节能环保要求的不断提高, 柴电混合动力系统凭借其兼具柴油机机械推进系统和电力推进系统的优势, 运行工况灵活、低负荷燃油经济性好、冗余性高等优点, 得到越来越多船东、设计单位、船舶设备制造厂的关注。在一些科研院所、高校、企业的推动下, 柴电混合动力系统在国内逐渐崭露头角, 陆续有客滚船、公务船、渔船、科考船、拖船等多种船型采用柴电混合动力系统。

2 国内船舶柴电混合动力系统的发展

国内的船舶柴电混合动力系统起步较晚, 其发

展过程经历了以下几个阶段:第一阶段,在20世纪90年代至21世纪初,由国内造船厂建造的少数船舶采用了柴电混合动力系统,但配套的柴电混合动力系统均由国外供应商设计和供货。这一阶段的典型船舶包括:江南船厂出口挪威的16 400 t化学品船、金陵船厂为芬兰 FORTUM 公司建造的25 000 DWT化学品船等。第二阶段,2009年前后,中船重工集团公司第七一一研究所突破了柴电混合动力系统关键技术,研制出电机定转速柴电混合动力系统,并为粤海铁火车渡轮3#、4#船供货。粤海铁火车渡轮3#、4#船配置的柴电混合动力系统可实现轴带发电(PTO)模式、电机单独推进(PTH)模式等,不仅改善了系统的燃油经济性,而且提高了火车渡轮动力系统的安全冗余性^[1]。第三阶段,电机转速可调的柴电混合动力系统研发成功。电机转速可调进一步拓宽了柴电混合动力系统的适用船型。这一阶段的典型船舶包括:浙江海洋大学渔业资源调查船、5 000 t级公务船、上港集团复兴船务公司“海港711”拖轮^[2]等。

目前,七一一研究所结合近年来快速发展的储能技术,正在开发国内第四代柴电混合动力系统,即配置储能设备(电池、超级电容)的柴电混合动力系统。随着船舶排放要求的日益提高,对动力系统的要求也在不断提高;与此同时,储能设备及技术日趋成熟,成本不断降低,相关法规及规范也不断完善,储能技术的应用已成为未来柴电混合动力系统的一个发展趋势。国内其他一些高校、科研院所也在进行基于储能设备的柴电混合动力系统技术的探索和研究。

3 国内柴电混合动力系统典型应用案例

(1) 5 000 t级公务船项目

5 000 t级公务船项目是国内首个采用柴电混合动力系统的公务船项目。公务船通常会有追击、驱赶等执法需求的高速航行工况,因此装机功率相对要求较大,一般为双机双桨动力形式。但是公务船还有较多时间工作在巡航等低速工况下,此时双主机运行负荷往往较低,油耗高、排放差,致使发动机部分部件维修更换周期缩短。采用柴电混合动力系统后,凭借柴电混合动力系统的运行灵活性可以较好地兼顾公务船低速巡航和高速航行工况。

5 000 t级公务船采用双机双可调桨的柴电混合动力系统,主推进系统采用双机双桨型式,设置2台主机、2台齿轮箱、2套轴带电机PTO/PTI系统、2套轴系、6只高弹性联轴器、2只可调桨、1

套主推进监控系统,如图1、2所示。

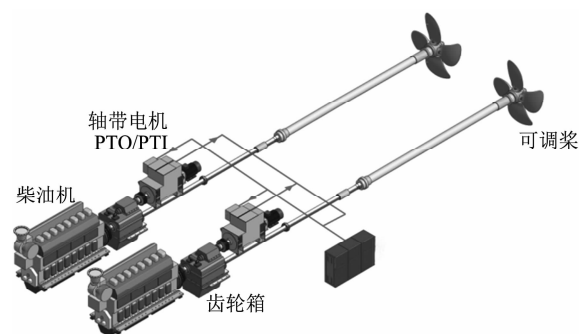


图1 5 000 t级公务船主推进系统三维示意图

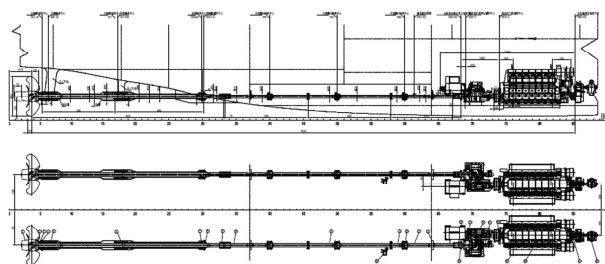


图2 5 000 t级公务船主推进系统布置图

5 000 t级公务船具有轴带发电和一机双桨模式。在一机双桨模式下,可使用一台主机在驱动同轴可调桨的同时,通过轴带电机(运行在PTO模式)驱动另一台轴带电机(运行在电动模式)带动另一轴系可调桨运行,以避免主机长时间运行在低负荷区间。通过系统中配置的PTO/PTI切换控制系统,可以实现电机在发电/电动模式之间切换,同时可以控制电机在电动模式下起动。

(2) 浙江海洋大学渔业资源调查船项目

浙江海洋大学渔业资源调查船,其柴电混合动力系统具有柴油机单独推进、PTH应急推进、PTI并车推进模式,是国内自主设计,采用柴油机和电机并车推进模式的柴电混合动力系统在国内调查船上的首次应用。柴电混合动力系统在该项目上应用有以下优势:(1)该调查船原设计为单机单桨动力系统,增加推进电机后,主机故障时可采用电机推进,提高了船舶的安全冗余性能;(2)对于调查船,在低速科考工况可采用电机单独推进,此时动力系统以电力推进动力型式运行,振动和噪声较小;(3)该船为渔业资源调查船,有拖网工况,通过柴电并车推进设计,可以提高船舶的拖力和航速。对于常规渔船,柴电混合动力系统也有此优势:在常规航行工况下,推进功率较小,可以采用单独柴油机或电机推进;在作业情况下需要较大功率时,可以采用柴电并车推进。

该船主推进动力系统采用单机单桨(带PTI推

进电机) 型式, 设置1台主推进柴油机、1台齿轮箱、1套轴系及可调桨、2只高弹性联轴器、1套推进电机及变频驱动控制系统、1套侧推以及一套推进遥控系统, 如图3所示。

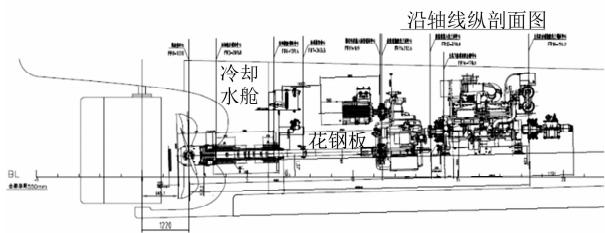


图3 浙江海洋大学渔业资源调查船主推进系统布置图

浙江海洋大学渔业资源调查船动力系统原理如图4所示。主推进电机和侧推电机由同一套变频器驱动, 通过一套切换柜进行切换。在主推进模式下, 可控制推进电机与柴油机并车推进或电机单独推进。

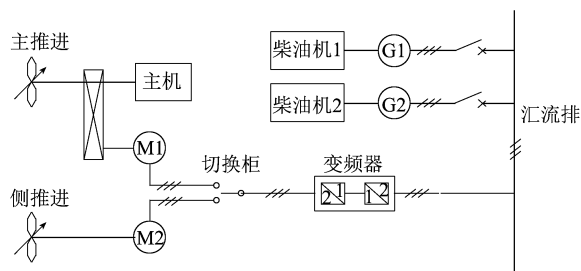


图4 浙江海洋大学渔业资源调查船动力系统原理图

(3) 海监46船动力系统改造项目

海监46船原为单机单桨船舶, 由于船龄老化, 动力设备性能逐渐下降, 船舶海上航行安全受到一定影响。通过对动力系统进行柴电混合动力系统改造升级, 可极大提升单机单桨船舶的综合性能和航行安全。

该动力系统改造项目主要是对主推进系统增加PTO/PTI电机辅助推进系统, 以提高主推进系统动力冗余度。通过将原轴带发电机更换为PTO/PTI电机, 齿轮箱更换为带离合功能的双输入齿轮箱, 增加变频驱动及相关的控制系统, 实现主机故障时脱开主机, 由PTO/PTI电机辅助推进。为满足电机辅助推进时电站功率需求, 须更换较大功率的柴油发电机组; 另外, 还须改造主机、配电板、可调桨及其遥控系统、监测报警系统等设备间接口。

柴电混合动力系统既可以实现轴带系统的正常发电运行, 又可以实现主机故障下的应急推进, 保证船舶安全返航。

轴带发电模式下, 船舶辅机电站的断路器分

闸, 变频器的主断路器合闸, 此时船用负载的电能由主推进柴油机提供, 通过异步发电机形成50 Hz电源, 经变频器提供给船用负载。其系统能量流如图5所示。

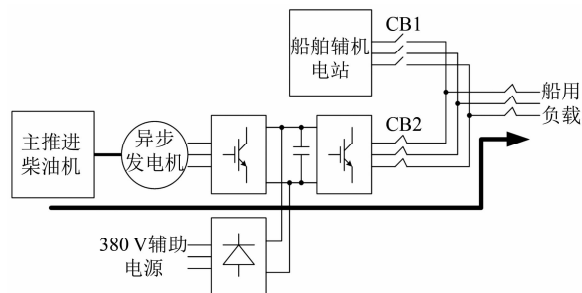


图5 应急推进模式能量流

应急推进模式下, 两台发电机组并网供电, 变频器带动可逆轴带电机 (PTO/PTI 电机), 并驱动螺旋桨运转, 实现主机故障时的应急电力推进, 此时航速可达6节以上。提升了船舶海上运行的安全性, 使船舶安全返航。其系统能量流如图6所示。

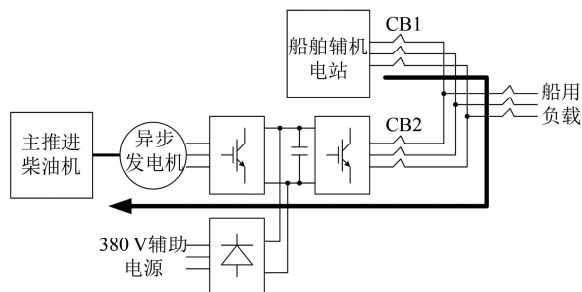


图6 应急推进模式能量流

(4) 镇扬汽渡60 m车客渡项目

镇扬汽渡60 m车客渡项目是国内首个采用自主知识产权直流组网电力推进技术的项目。除采用直流组网电力推进系统外, 系统中还配置了超级电容储能装置。镇扬汽渡车客渡船横渡长江, 须频繁操作避让船舶, 因此船舶加速制动工况非常多, 通过配置超级电容储能装置, 可以吸收船舶制动时的能量, 并在船舶加速时释放出来。如此, 一方面可以提升船舶的运行经济性, 另一方面可平抑系统的电压波动, 提高电网的稳定性。

该动力系统配置变转速柴油发电机组、直流组网电力推进系统 (含发电机组整流器、推进逆变器、日用逆变器等)、超级电容、推进电机、控制系统等。动力系统的单线图如图7所示。

4 船舶柴电混合动力尚需探讨的问题

目前国内尚没有针对船舶柴电混合动力系统的

专门规范,在设计时主要参考柴油机机械推进、电力推进的相关规范要求。经常遇到的问题有:异步电机取发电机证书;电机作为发电机使用时其配套变流器的短路电流问题。

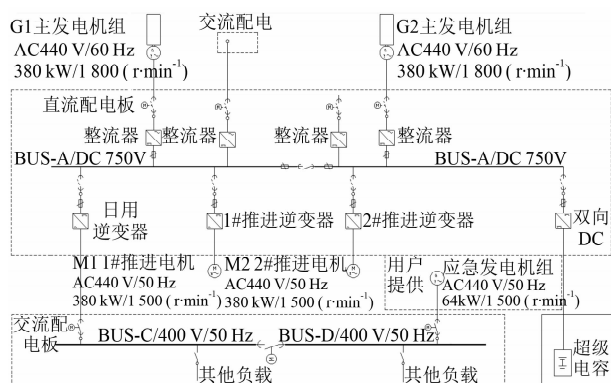


图7 镇扬汽渡60 m车客渡动力系统单线图

现行船舶相关规范中没有对异步发电机的检验标准,所以异步发电机的发证存在争议;另一方面,由于异步电机没有独立发电能力,在发电时须变流器配合,因此,异步电机如果要取得发电机证书往往须通过系统联调试验,导致项目周期延长、成本增加。

根据船舶规范的要求:船用交流发电机在稳态短路状态下,至少能维持3倍额定电流,历时至少2 s。而对于PTO/PTI电机+变流器系统,如果将其等效为发电机,则须满足至少能维持3倍额定电流,历时至少2 s的要求,这样就须配置容量较大的变流器,成本大大增加。

5 国内船舶柴电混合动力系统发展展望

纯电动船受限于电池容量,无法维持船舶长时间、远距离航行。柴电混合动力系统为柴油机常规机械推进和纯电动推进之间提供了一个过渡的解决方案,因此会在近几年内得到较大发展。随着柴电混合动力系统优势的凸显和发掘,其适用的船型将不断增多,包括工程船、拖轮、化学品船、公务船、渡船、客滚船、游船等都可以采用柴电混合动力系统。

技术方面,随着储能技术的日趋成熟,成本不断降低,能量密度不断增大,储能技术将越来越多的应用到柴电混合动力系统中。同时,与储能技术相匹配的充电技术,如无线充电等将得到进一步的研究和发展;柴电混合动力系统的智能化和自动化程度也将进一步提高,不同运行模式之间的一键切换甚至是自动切换都可能实现。目前,国内很多科研院所、设备供应商都在进行相关产品的技术开发和应用研究,相信将有越来越多的国产化设备在柴电混合动力系统中得到应用。

参考文献

- [1] 赵同宾,周晓洁,邱爱华,等. 新型高效的船舶油电混合动力技术及应用[C]. 第十七届中国科协年会—分6中国海洋工程装备技术论坛论文集, 2015: 16-24.
- [2] 周庆波,何斌,邱爱华,等. 基于定距舵桨的柴电混合港作拖轮动力系统[J]. 柴油机, 2017, 39(6): 30-33.

船用锂钛氧化物电池

锂钛氧化物(LTO)电池是电池技术中一个相对较新的概念,已经开始吸引船用市场。

锂钛氧化物电池为一种利用钛酸锂纳米晶体代替碳阳极表面的改性锂离子电池。这种电池将给阳极提供一个每克大约100 m²的表面,而碳电池每克只能提供3 m²的阳极表面,因此有助于电子非常快地出入阳极。这种特性使锂钛氧化物电池能快速充电并在需要时提供高放电电流。锂钛电池可充电3 000到7 000次,因此使用寿命较其它化学电池更长。

锂钛氧化物电池的缺点是固有电压(2.4 V)较低,导致其能量比(约30~110(W·h·kg⁻¹))比常规锂离子电池(固有电压3.7 V)更低。锂钛氧化物电池具有一定的安全优势,而且不易发生失控过热。

锂钛氧化物电池的一个早期船用案例为日本的一艘电动研究船。在欧洲,BB Green号高速电动渡船为第一艘采用锂钛氧化物电池的船舶。由于锂钛氧化物电池的重量低于常规的锂离子电池,因此在高速渡船应用方面优势明显,而锂钛氧化物电池的快速充电特性是其另一大优势。

锂钛氧化物电池还被用于改装Movitz号渡船,预计将于2019年夏季改装完工。无论是BB Green高速电动渡船,还是Movitz号渡船都将配备瑞典船用电力推进专业公司——Enchandia Marine的电力系统和电池。

(李积轩 编译)