



船舶清洁能源应用比例计算方法

阳子轩, 王志芳

引用本文:

阳子轩, 王志芳. 船舶清洁能源应用比例计算方法[J]. *应用科技*, 2021, 48(6): 8–12,17.

YANG Zixuan, WANG Zhifang. The calculation method of the proportion of clean energy on ships[J]. *Applied science and technology*, 2021, 48(6): 8–12,17.

在线阅读 View online: <https://dx.doi.org/10.11991/yykj.202103016>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

低速二冲程氢气发动机氢气逃逸抑制及混合气质量改善

Hydrogen slip inhibition and mixture homogeneity improvement of low-speed two-stroke hydrogen engine

应用科技. 2021, 48(5): 92–98 <https://dx.doi.org/10.11991/yykj.202012005>

双燃料集装箱船机舱通风系统设计与配置

Design of the ventilation system in the cabin of dual fuel large container ships

应用科技. 2019, 46(3): 1–6 <https://dx.doi.org/10.11991/yykj.201809009>

双燃料集装箱船LNG燃料系统监控系统设计

Design of LNG fuel system's monitoring system for dual fuel container ships

应用科技. 2019, 46(1): 1–5 <https://dx.doi.org/10.11991/yykj.201804004>

双燃料大型集装箱船LNG加注系统设计

Design of LNG bunkering system for dual fuel large container ship

应用科技. 2018, 45(4): 1–5,12 <https://dx.doi.org/10.11991/yykj.201803002>

LNG双燃料远洋大型集装箱船消防灭火系统设计

Design of fire extinguishing system for LNG dual fuel large ocean container ship

应用科技. 2018, 45(3): 76–80 <https://dx.doi.org/10.11991/yykj.201709014>

大数据技术在船舶主尺度确定中的应用研究

Study on the application of big data technology in the determination of principal dimensions of ship

应用科技. 2018, 45(2): 1–5 <https://dx.doi.org/10.11991/yykj.201707005>



微信公众平台



期刊网址

DOI: 10.11991/ykj.202103016

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/23.1191.U.20211008.1559.002.html>

船舶清洁能源应用比例计算方法

阳子轩¹, 王志芳²

1. 湖北大学知行学院 计算机与信息工程学院, 湖北 武汉 430011

2. 中国船级社武汉规范研究所, 湖北 武汉 430022

摘 要: 为有效评价船用清洁能源的应用比例, 本文通过分析当前应用较多的可作为主推进能源的清洁能源种类以及船舶的推进型式, 针对不同清洁能源及不同推进型式的船舶动力系统特点, 研究提出了液化天然气(LNG)动力船舶、混合动力船舶、纯电池动力船舶的清洁能源对传统化石能源替代比例的计算方法, 可为评估船舶绿色化、清洁化发展水平提供方法指导和技术支持。

关键词: 船舶; 清洁能源; 应用比例; 计算方法; 液化天然气; 传统常规推进; 混合动力; 纯电池

中图分类号: U664.81

文献标志码: A

文章编号: 1009-671X(2021)06-0008-06

The calculation method of the proportion of clean energy on ships

YANG Zixuan¹, WANG Zhifang²

1. School of Computer Science and Information Engineering, Zhixing College of Hubei University, Wuhan 430011, China

2. China Classification Society Wuhan Rules&Research Institute, Wuhan 430022, China

Abstract: In order to effectively evaluate the application ratio of clean energy in ships, this paper analyzes the types of clean energy that have been used and can be used as the main propulsion energy and the propulsion types of ships, and then based on the characteristics of different clean energy and different propulsion types of ship power systems, puts forward the calculation methods of the replacement ratio of clean energy to traditional fossil energy of liquefied natural gas (LNG) powered ships, hybrid ships and purely battery-powered ships, which can provide guidance and technical support for evaluating the development of greenization and application ratio of clean energy in ship industry.

Keywords: ship; clean energy; application ratio; calculation method; LNG; conventional propulsion; hybrid power; purely battery-powered

当前, 防止、减少和控制船舶污染气体排放已成为全社会的共识。自 2005 年国际海事组织 (International Maritime Organization, IMO) 公布的《防止船舶造成大气污染规则》(MARPOL 73/78 附则 VI) 生效之后, 航运业的节能减排已提到比较高的位置。国务院于 2015 年 5 月印发的《中国制造 2025》, 旨在部署全面推进实施制造强国战略, 提出高技术船舶和海洋工程装备将被加快推进, 绿色化是高技术船舶领域发展的重点方向。随着 3060 双碳目标的提出和推进, 作为碳排放大户的航运业正积极向绿色低碳的方向转型, 包括

开发能效提升技术, 新能源、清洁能源在船上的研发应用等, 将成为未来航运业的焦点之一^[1]。

目前可在船上应用的清洁能源主要有 LNG、锂电池、岸电、氢燃料电池、太阳能、风能, 而技术相对比较成熟且可作为主推进动力的清洁能源主要是 LNG、锂电池和岸电^[2]; 船舶的推进型式主要有传统的主机—传动轴—螺旋桨模式, 以及发电机组—电站—推进电机—螺旋桨的电力推进模式^[3-4]。随着技术的发展, 未来很长一段时间内, 船舶上呈现的将是多种能源的融合应用以及清洁能源与传统化石能源的共存。本文通过研究确定的不同推进型式船舶采用不同清洁能源后对传统化石能源的替代率计算方法, 可作为评估我国船舶绿色化、清洁化发展水平的重要手段, 为主管机关制定船舶绿色、清洁发展相关政策以及规范提供方法和技术支持。

收稿日期: 2021-03-12. 网络出版日期: 2021-10-09.

基金项目: 绿色智能内河船舶创新专项项目 (工信部装函 (2019) 358 号)。

作者简介: 阳子轩, 男, 讲师, 博士。

通信作者: 阳子轩, E-mail: 9574301@qq.com.

1 船舶能源种类及动力系统型式

1.1 船舶能源种类

几十年来,船舶上应用的能源主要是柴油。随着能源技术的发展,可用于船上的能源种类越来越多,而随着船舶节能减排环保要求的提升,更多的清洁能源应用于船舶,比如LNG、太阳能、风能、锂电池以及正在开展示范研究的氢燃料电池、甲醇和二甲醚等。由于船舶空间的限制以及长距离航行的需求,船舶对能源的能量密度、能源供应保障性、安全可靠等方面要求较高。基于此,目前比较成熟的可用于船舶且作为船舶主推进动力的能源主要有柴油、LNG和锂电池。

1.2 船舶动力系统型式

随着船舶节能减排的需要,船舶动力系统的型式也在发生变化,正逐步由传统常规推进动力向混合动力推进、纯电池动力推进型式发展^[5]。

1.2.1 传统常规推进动力型式

传统常规推进动力型式简单而言就是发动机通过齿轮箱、轴系带动螺旋桨的型式,这种推进型式结构简单,便于船上安装布置,但是具有振动强、噪声大、操作性差等缺点。我国内河船舶在正常航行时,整条航线80%的情况下发动机应用工况较低,而在航经急流航段或冲滩时才需用较高功率。这导致传统常规推进动力发动机长期无法在效率最高点工作,因此其经济性及节能环保性较差。

柴油、LNG和锂电池均可用于传统常规推进动力系统,目前主要能源应用模式有柴油、LNG和柴油+LNG。

1.2.2 混合动力型式

混合动力系统由于其灵活的动力组合设计,使得船舶在航行时发动机始终处于效率较高的负荷点。从结构上看,混合动力系统可分为串联式、并联式和混联式3种形式^[6];而从能源角度来看,船舶混合动力系统主要有柴油+LNG、柴油机+锂电池、柴油+LNG+锂电池和LNG+锂电池。

串联式混合动力系统的设备主要包含发电机原动机、发电机、锂电池、变压器、变频器、电动机和配电板等。主要工作模式包括:1)船舶低负荷,可仅由锂电池输出电力驱动螺旋桨;2)船舶高负荷,由发电机组驱动电动机,进而带动螺旋桨转动^[7];3)船舶启动及加速时,可由发电机组和锂电池共同驱动螺旋桨;4)船舶低速、怠速工况时,发电机组在驱动螺旋桨的同时可同步向锂电池组充电。串联式混合动力系统其发动机与螺旋桨并没有直接机械连接,而是采用电力推进的形

式驱动螺旋桨及其他负载,因此称其为电力推进柴电混合系统,基本结构见图1。

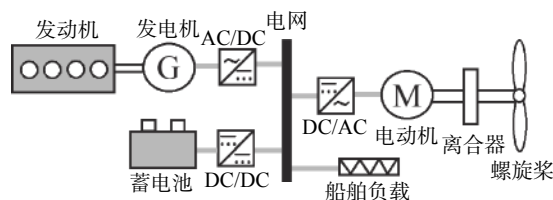


图1 串联式混合动力系统结构

并联式混合动力系统包括发动机、锂电池、电动机和齿轮箱等,通过减速齿轮箱将电动机和发动机并联连接^[8]。主要工作模式包括:1)船舶低负荷时,可由发动机驱动螺旋桨,电动机可处于轴带发电机电力输出(power taking off, PTO)状态为电池供电;2)船舶输出推力小或发动机处于故障状态时,可采用电动机的电力推进模式;3)船舶高负荷时,可通过发动机和电动机联合推进的混合动力推进模式,基本结构见图2。

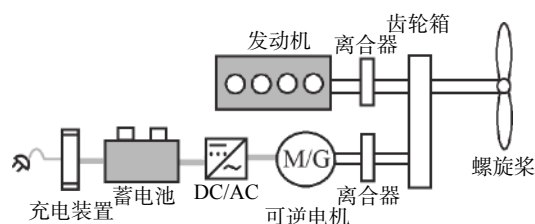


图2 并联式混合动力系统结构

混联式船舶混合动力系统的设备包括发动机、发电机、电动机、锂电池、离合器、齿轮箱和螺旋桨等^[9],通过采用离合器对发动机、发电机、电动机与齿轮箱的分离及结合实现混联,主要工作模式包括:1)船舶低负荷时,螺旋桨可由发动机或电动机分别单独驱动;2)船舶高负荷时,螺旋桨可由发动机和电动机共同驱动;3)船舶需要较低负荷时,发动机可在驱动螺旋桨的同时带动发电机发电。基本结构如图3所示。

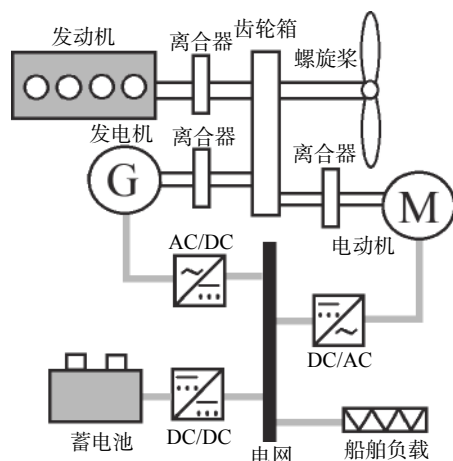


图3 混联式混合动力系统的结构型式

1.2.3 纯电池动力型式

纯电池动力型式的船是指将电池作为船舶主推进动力的船舶,其与常规推进动力型式的船舶相比具有操纵性好、动力设备布置灵活以及振动噪声小等优势。但由于船舶的特殊性以及目前电池功率密度不高,导致纯电池船使用的电池体积大,布置困难,同时需在港口配充电设施,所以一般将其配置在特定航线、港区或小型船舶上,有利于实现电池布置及便利地充电或快速换电。

纯电池动力船舶在结构型式上可归为电力推进型式,也可归为混合动力系统中的串联推进型式。

2 船舶清洁能源应用比例计算方法

2.1 传统常规推进动力型式

根据前述研究分析可知,传统常规推进动力型的能源应用模式有柴油、LNG、柴油+LNG。为提高清洁能源的利用,本文主要研究 LNG 对柴油的替代比例计算方法。

2.1.1 LNG 燃料可获得性

LNG 清洁能源应用比例的计算旨在衡量船舶是否具备及具备多少 LNG 应用的能力。为规避船舶仅设置 LNG 发动机或双燃料发动机,而无 LNG 燃料舱(柜),或者设置的 LNG 燃料舱(柜)容积较小,实际并不能支撑 LNG 发动机的燃料需求的情况,需对 LNG 是否是船上的主要燃料做评判分析。从 LNG 燃料舱容和非 LNG 燃料舱容方面进行计算分析,以便确定 LNG 燃料是否具备可获得性。

LNG 是否应被视为“主要燃料”^[10],可通过式(1)计算:

$$f_{DFgas} = V_{gas}\rho_{gas}L_{gas}K_{gas} / \left(\sum V_{liquid(i)}\rho_{liquid(i)}L_{liquid(i)}K_{liquid(i)} + V_{gas}\rho_{gas}L_{gas}K_{gas} \right) \quad (1)$$

式中: f_{DFgas} 为燃气发动机与总发动机的功率比修正的气体燃料的可获得性; V_{gas} 为船上总净气体燃料容积, m^3 , 如使用其他布置,例如可更换(专用) LNG 罐和/或允许频繁重新注入燃气的布置, V_{gas} 应使用整个 LNG 注入系统的容积,如果气体货物舱与燃气供应系统(fuel gas service system, FGSS)相连,可计算气体货物舱的蒸发率(boiling off rate, BOR),并将其计入 V_{gas} ; V_{liquid} 为船上与船舶燃料系统固定连接的液体燃料舱的总净液体燃料容积, m^3 , 如果一个燃料舱通过固定密封阀断开连接,可忽略该燃料舱的 V_{liquid} ; ρ_{gas} 为气体燃料的密度, kg/m^3 ; ρ_{liquid} 为液体燃料的密度, kg/m^3 ;

L_{gas} 为气体燃料的低热值, kJ/kg ; L_{liquid} 为液体燃料的低热值, kJ/kg ; K_{gas} 为气体燃料舱的充装率,一般取值 0.95; K_{liquid} 为液体燃料舱的充装率,一般取值 0.98。

根据式(1)计算结果,如果总气体燃料容积至少是双燃料发动机专用燃料容积的 50%,即 $f_{DFgas} \geq 0.5$,则视气体燃料为“主要燃料”;如果 $f_{DFgas} < 0.5$,则气体燃料不是“主要燃料”^[11]。

2.1.2 LNG 清洁能源应用比例计算

目前我国 LNG 发动机产业发展以及船上安装 LNG 发动机的现状是混烧机、双燃料发动机和纯气体机并存,所以在进行 LNG 清洁能源应用比例计算方法研究时,既要考虑 LNG 混烧机和纯气体机,也要兼顾上述 LNG 燃料的可获得性。

2.1.2.1 LNG 为“主要燃料”

在计算 LNG 清洁能源应用比例时,对于混烧机,需考虑 LNG 气体发动机的功率以及 LNG 的混烧比例。根据实地调研得知的内河船舶实际航行时,主辅机的主要运行功率点大多在 50% 额定功率或标定功率,所以选取 50% 额定功率或标定功率对应的 LNG 掺烧率作为清洁能源应用比例的计算基础。对于 LNG 纯气体机或双燃料发动机,仅需考虑 LNG 气体发动机功率与全船发动机功率的比例即可。

1) LNG 气体发动机为混烧发动机时,其清洁能源应用比例计算公式为

$$C_{CEAR} = \frac{\sum P_{gasME(i)}R_{gasME(i)} + \sum P_{gasAE(i)}R_{gasAE(i)}}{\sum P_{ME(i)} + \sum P_{AE(i)}}$$

式中: $R_{gasME(i)}$ 为第 i 台 LNG 混烧主机 50% 额定功率下在台架试验中测得的 LNG 使用比例; $R_{gasAE(i)}$ 对于传统推进船舶,一般为第 i 台 LNG 混烧辅机 50% 标定功率下在台架试验中测得的 LNG 使用比例;对于电力推进船舶,一般为第 i 台混烧发电机组原动机 90% 标定功率下在台架试验中测得的 LNG 使用比例; $P_{gasME(i)}$ 为第 i 台混烧主机最大连续工况(maximum continuous rating, MCR)额定功率, kW ; $P_{gasAE(i)}$ 为第 i 台混烧辅机标定功率(MCR), kW ; $P_{ME(i)}$ 为第 i 台主机(燃油、气体发动机)额定功率(MCR), kW ; $P_{AE(i)}$ 为第 i 台辅机(燃油、气体发动机)标定功率, kW 。

2) LNG 气体发动机为双燃料发动机(包含微引燃发动机)时,其清洁能源应用比例计算公式为

$$C_{CEAR} = \frac{\sum P_{DFgasME(i)} + \sum P_{DFgasAE(i)}}{\sum P_{ME(i)} + \sum P_{AE(i)}}$$

式中: $P_{DFgasME(i)}$ 为第 i 台双燃料发动机主机额定功

率(MCR), kW; $P_{DFgasAE(i)}$ 为第*i*台双燃料辅机标定功率(MCR), kW。

3) LNG 气体发动机为纯气体燃料发动机时,其清洁能源应用比例计算公式为

$$C_{CEAR} = \frac{\sum P_{PgasME(i)} + \sum P_{PgasAE(i)}}{\sum P_{ME(i)} + \sum P_{MAE(i)}} \quad (2)$$

式中: $P_{PgasME(i)}$ 为第*i*台纯气体燃料主机额定功率(MCR), kW; $P_{PgasAE(i)}$ 为第*i*台纯气体燃料辅机标定功率(MCR), kW。

2.1.2.2 气体燃料不是“主要燃料”

对于 LNG 不是主要燃料的船舶,除了上述考虑的因素外,还需考虑 LNG 燃料舱(罐)在全船燃料舱(柜)中所占的比重,以此确定 LNG 燃料在船上的应用比例。

1) LNG 发动机为混烧发动机时,其清洁能源应用比例计算公式为

$$C_{CEAR} = \frac{\sum P_{gasME(i)}R_{gasME(i)} + \sum P_{gasAE(i)}R_{gasAE(i)}}{\sum P_{ME(i)} + \sum P_{AE(i)}} f_{DFgas}$$

2) LNG 发动机为双燃料发动机(包含微引燃发动机)或纯气体燃料发动机时,其清洁能源应用比例计算公式为

$$C_{CEAR} = \frac{\sum P_{DFgasME(i)} + \sum P_{DFgasAE(i)}}{\sum P_{ME(i)} + \sum P_{AE(i)}} f_{DFgas}$$

2.2 混合动力型式船舶清洁能源应用比例计算

2.2.1 并联式或混联式混合动力船舶清洁能源应用比例计算

并联式或混联式混合动力系统,主要是基于目前内河船舶“大机小用”导致发动机不能在油耗最优、效率最优的状态下工作提出来的,旨在通过配备功率较小的发动机,可使其在船舶正常营运工况下航行时发动机在较高的效率及最低的燃油消耗率下运行。在船舶需要快速航行以及冲流、冲滩等状况时,可由设置的轴带电动机给予能量支持,以此达到在整个船舶营运过程中节能减排的目的。根据前述对并联式和混联式混合动力系统结构分析可知,其动力系统的组成以及船舶航行过程的能量流动比较相似,同时经过研究分析认为并联式和混联式的清洁能源应用比例计算方法相同。

根据前述分析可知,目前混合式动力系统能源应用模式主要有柴油+LNG、柴油+锂电池、柴油+LNG+锂电池、LNG+锂电池。对于混合动力推进型式下的柴油+LNG 模式,其也是柴油机和 LNG 发动机的组合应用,所以其清洁能源应用比例计算方法与 2.1.1 节相同,所以在此主要研究其他能源应用模式的清洁能源应用比例计算。

2.2.1.1 柴油+锂电池的能源组合模式

此种模式下,轴带发电机处于电动机模式,锂电池的电通过电动机向船舶推进轴输入功率(power taking in, PTI),以满足船舶在高负荷时的动力需求。如果此处 PTI 的电由船上的柴油发动机发电而来,则船舶航行过程中所需的能量均来自柴油而非清洁能源,所以此种情况下清洁能源应用比例为 0。如果电能来自码头或港口的岸电,则清洁能源应用比例计算时需考虑以下两方面内容:首先船舶需要 PTI 提供动力的时间占整个航程的多少,根据实船测试及调研分析,得知船舶在营运过程中 80% 的时间在低工况下运行,只有 20% 的时间需要运行高工况下;其次在船舶高工况、高速航行时,锂电池提供的功率占全船所需功率的比例,此种模式下清洁能源应用比例计算方法为

$$C_{CEAR} = 0.2(1 - \frac{\sum P_{MCR(i)}}{P})$$

式中: $P_{MCR(i)}$ 为第*i*台柴油发动机额定功率(MCR), kW; P 为船舶在 100% 设计航速下所需的功率, kW。

2.2.1.2 柴油+LNG+锂电池的能源组合模式

如果锂电池的电由船上的柴油发动机或 LNG 发动机发电而来,则船上的能源应用模式可认为是柴油+LNG,因此与前述 2.1.1 节和 2.1.2 节中 LNG 清洁能源应用比例计算方法相同。

如果电能来自码头或港口的岸电,则清洁能源应用比例计算方法如下所示:

1) LNG 气体燃料为“主要燃料”。

①LNG 发动机为混烧发动机时,其清洁能源应用比例计算公式为

$$C_{CEAR} = \frac{\sum P_{gasME(i)}R_{gasME(i)} + \sum P_{gasAE(i)}R_{gasAE(i)}}{\sum P_{ME(i)} + \sum P_{AE(i)}} + 0.2(1 - \frac{\sum P_{MCR(i)}}{P})$$

②LNG 发动机为纯气体燃料发动机时,其清洁能源应用比例计算公式为

$$C_{CEAR} = \frac{\sum P_{PgasME(i)} + \sum P_{PgasAE(i)}}{\sum P_{ME(i)} + \sum P_{MAE(i)}} + 0.2(1 - \frac{\sum P_{MCR(i)}}{P})$$

③LNG 发动机为双燃料发动机(包含微引燃发动机)时,其清洁能源应用比例计算公式为

$$C_{CEAR} = \frac{\sum P_{DFgasME(i)} + \sum P_{DFgasAE(i)}}{\sum P_{ME(i)} + \sum P_{AE(i)}} + 0.2(1 - \frac{\sum P_{MCR(i)}}{P})$$

2) LNG 气体燃料不是“主要燃料”。

①LNG 发动机为混烧发动机时,其清洁能源应用比例计算公式为

$$C_{\text{CEAR}} = \frac{\sum P_{\text{gasME}(i)} R_{\text{gasME}(i)} + \sum P_{\text{gasAE}(i)} R_{\text{gasAE}(i)}}{\sum P_{\text{ME}(i)} + \sum P_{\text{AE}(i)}} f_{\text{DFgas}} + \frac{0.2(1 - \frac{\sum P_{\text{MCR}(i)}}{P})}{P}$$

②LNG 发动机为纯气体燃料发动机时,其清洁能源应用比例计算公式为

$$C_{\text{CEAR}} = \frac{\sum P_{\text{PgasME}(i)} + \sum P_{\text{PgasAE}(i)}}{\sum P_{\text{ME}(i)} + \sum P_{\text{MAE}(i)}} f_{\text{DFgas}} + \frac{0.2(1 - \frac{\sum P_{\text{MCR}(i)}}{P})}{P}$$

③LNG 发动机为双燃料发动机(包含微引燃发动机)时,其清洁能源应用比例计算公式为

$$C_{\text{CEAR}} = \frac{\sum P_{\text{DFgasME}(i)} + \sum P_{\text{DFgasAE}(i)}}{\sum P_{\text{ME}(i)} + \sum P_{\text{AE}(i)}} \times f_{\text{DFgas}} + \frac{0.2(1 - \frac{\sum P_{\text{MCR}(i)}}{P})}{P}$$

3)LNG+锂电池的能源组合模式。

船上无燃油舱(或燃油舱很小,仅用于 LNG 发动机启动),这种模式下,船上应用的都是清洁能源,所以船舶清洁能源应用比例为 100%。

2.2.2 串联混合动力船舶清洁能源应用比例计算

根据串联混合动力船舶的定义可知^[12],串联混合动力船舶是电力推进船舶,所以其能源来源情况比较多变,较难以统一的公式计算,但可以依据船舶的具体情况以及上述各种计算公式的思考思路具体计算评估。

2.3 纯电池动力推进型式船舶清洁能源应用比例计算方法

由于纯电池动力船舶的能量来自码头、港口的岸电,而且在船舶运营阶段不释放任何的废气,基本是零排放,所以纯电池动力船舶清洁能源应用比例可为 100%。

3 实例计算分析

某 7500 t 级散货船采用混联式混合动力推进系统,推进装置的设计方案为“柴油主机+轴带电机+LNG 气体发电机组+锂电池”,锂电池的电能为 LNG 发电机组提供,设备参数见表 1,燃料舱参数见表 2。

表1 混联式混合动力系统设备参数

| 设备 | 额定功率或电池容量 | 台数 | 备注 |
|------|-----------|----|------------------------------|
| 主机 | 375 kW | 2 | 柴油机 |
| 发电机组 | 220 kW | 3 | LNG 纯气体机发电机组 (原动机~265 kW) |
| 轴带电机 | 320 kW | 2 | 可逆电机(可兼做 PTO、PTI) |
| 锂电池 | 150 kWh | — | — |

表2 燃料舱参数

| 参数 | 含义 | 数值 |
|--|---------------|--------|
| $V_{\text{gas}}/\text{m}^3$ | 船上 LNG 舱(灌)容积 | 310 |
| $V_{\text{liquid}}/\text{m}^3$ | 船上船用柴油舱容积 | 100 |
| $\rho_{\text{gas}}/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$ | LNG 的密度 | 450 |
| $\rho_{\text{liquid}}/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$ | 船用柴油的密度 | 900 |
| $L_{\text{gas}}/(\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1})$ | LNG 的低热值 | 48 000 |
| $L_{\text{liquid}}/(\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1})$ | 船用柴油的低热值 | 42 700 |
| K_{gas} | LNG 舱充装率 | 0.95 |
| K_{liquid} | 船用柴油舱充装率 | 0.98 |

由于锂电池的电能为 LNG 发电机组提供,所以该船的清洁能源主要是 LNG,为此清洁能源计算比例按照本文 2.1.1 节和 2.1.2 节计算。

1)LNG 燃料可获得性。

将表 1、表 2 中参数值代入式(1)可得:

$$f_{\text{DFgas}}=0.6281$$

由于 $f_{\text{DFgas}}>0.5$,所以该船 LNG 是主要燃料。

2)LNG 清洁能源应用比例计算。

该船 LNG 是主要燃料,且 LNG 发动机为纯气体发动机,所以由式(2)计算 LNG 清洁能源应用比例,将表 1 和表 2 中数值代入式(2)得:

$$C_{\text{CEAR}}=0.5146=51.46\%$$

通过计算得知,本船的清洁能源应用比例为 51.46%。

4 结论

本文通过对船用清洁能源的种类、船舶推进型式等进行分析,并在此基础上,充分考虑船舶的设计及营运特点,得出结论如下。

1)从 LNG 燃料的可获得性、LNG 是否是船舶主要燃料以及 LNG 发动机的型式(混烧机或纯气体机或双燃料发动机)等多维度研究建立了传统常规推进动力型式的清洁能源替代比例计算方法。

2)针对混合动力型式中的柴油+锂电池的能源组合、柴油+LNG+锂电池的能源组合、LNG+锂电池的能源组合等多种组合方式,基于 LNG、锂电池能源的可获得性、能源出处等,从多维度建立了混合动力型式船舶的清洁能源替代比例计算方法。该方法的提出对推进我国船舶绿色低碳绿色发展具有重要的意义,为评估采用清洁能源船舶的绿色化水平提供方法指导和技术支持。由此希望在一定程度上提升船东使用清洁能源的积极性,降低船舶废气排放物的量,提升船舶的绿色环保水平。

(下转第 17 页)