

引用格式: 丛岩, 宋立国, 潘新祥, 等. 营运船舶主机能效和碳排放等级评定方法[J]. 中国舰船研究, 2019, 14(1): 114–119.
Cong Y, Song L G, Pan X X, et al. Study on method for rating of energy efficiency and carbon emission intensity of on-service ships[J]. Chinese Journal of Ship Research, 2019, 14(1): 114–119.

营运船舶主机能效和碳排放等级评定方法



扫码阅读全文

丛岩, 宋立国, 潘新祥, 池华方, 韩志伟, 吴晓光

大连海事大学 轮机工程学院, 辽宁 大连 116026

摘要: [目的] 为使营运船舶主推进柴油机(主机)具备可操作的能效和碳排放强度评定方法以及等级划分标准, [方法] 将单位营运燃油消耗率(SFOC)作为主机的能效指标, 提出主机各级能效划分阈值的计算公式和能效等级偏离系数的计算方法, 确定各级能效划分阈值的偏离系数, 制定出能效等级评定的方法、划分范围及原则。以营运船舶“育鲲”轮的主机为应用对象, 基于实验数据, 对其进行能效等级评定。[结果] 计算结果表明, “育鲲”轮的主机营运燃油消耗率为 $190.03 \text{ g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$; 1, 2级及2, 3级能效划分阈值分别为 191.86 和 $203.15 \text{ g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 。最终, 将“育鲲”轮主机的能效等级评定为1级。[结论] 研究结果有效反映了“育鲲”轮主机的管理水平、技术状态、能效水平及碳排放状态, 所提方法符合亚太能源中心等机构关于评定方法的目标性、合理性、可行性、系统性及导向性要求。

关键词: 主推进柴油机; 能效指数; 偏离系数; 能效等级划分; 评估方法

中图分类号: U662.1; U676.3

文献标志码: A

DOI: 10.19693/j.issn.1673-3185.01290

Rating and evaluation method of energy efficiency and carbon emission intensity of main propulsion diesel engines in operation ships

Cong Yan, Song Ligu, Pan Xinxiang, Chi Huafang, Han Zhiwei, Wu Xiaoguang

Marine Engineering College, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China

Abstract: [Objectives] In order to establish a practical evaluation method and rating standard for energy efficiency and carbon emission intensity of main propulsion diesel engine (main engine) in operation ships, [Methods] this paper uses the Specific Fuel Oil Consumption (SFOC) of main engine as the energy efficiency indicator, provides formulas for calculating the threshold of main engine energy efficiency at various level and the methods for calculating the energy efficiency level deviation coefficient, by which the level deviation coefficients of the energy efficiency level thresholds are determined, and the method, scope and principle of the energy efficiency evaluation are established. Moreover, the proposed methods are then applied to evaluate the energy efficiency of YUKUN ship based on the experiment data. [Results] The calculation results reveals that the main engine's SFOC is $190.03 \text{ g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$, the thresholds of main engine energy efficiency for the 1st and 2nd grade is $191.86 \text{ g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$, and the 2nd and 3rd grade $203.15 \text{ g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$. The energy efficiency of YUKUN ship is then classified as the 1st grade. [Conclusions] The results can effectively reflect the management level, technical status, energy efficiency level, and carbon emission status of YUKUN ship. The methods are in line with the requirements of the Asia-Pacific Energy Centre and other agencies in terms of objectivity, rationality, feasibility, systematism and guidance.

Key words: main propulsion diesel engine; energy efficiency indicator; deviation coefficient; energy efficiency rating; evaluation method

收稿日期: 2018-05-04

网络首发时间: 2019-1-24 16:00

基金项目: 交通运输部节能减排能力建设项目资助(2014-JNJP-005-034)

作者简介: 丛岩(通信作者), 男, 1973年生, 实验师。研究方向: 船舶与海洋工程。

E-mail: yxue0450@163.com

宋立国, 男, 1983年生, 硕士, 副教授。研究方向: 船舶与海洋工程。E-mail: songliguo@dlmu.edu.cn

潘新祥, 男, 1964年生, 博士, 教授, 博士生导师。研究方向: 船舶与海洋工程。E-mail: panxx@dlmu.edu.cn

0 引言

营运船舶排放的尾气是大气中温室气体的主要来源之一^[1]。国际海事组织(IMO)于2014年发布的第2次温室气体研究报告中指出,2007年全球海运业的CO₂排放量达10.4亿吨,占当年CO₂总排放量的3.3%^[2]。报告还预测,随着海运贸易的增长,若不采取有效措施,到2050年,营运船舶的温室气体排放量相比2007年将增加150%~250%^[3-4]。

2005年,IMO提出以船舶CO₂排放指数作为评价CO₂排放的标准。2009年,在IMO海洋环境保护委员会(MEPC)召开的第59次会议上,船舶CO₂排放指数被正式更名为“船舶能效营运指数”(EEOI),并制定了包括新船“能效设计指数”(EEDI)、EEOI和“船舶能效管理计划”(SEEMP)等在内的相关文件。2011年7月,在MEPC召开的第62次会议上,首次将强制性的国际航行船舶温室气体减排措施以《国际防止船舶造成污染公约》(MARPOL)附则VI修正案的形式提交会议表决,并获得各缔约国的一致通过^[5-6]。该修正案将EEDI作为衡量新建船舶能效设计性能的指标,并针对不同类型、吨位船舶需达到的能效水平给出了强制性规定^[7-9]。在2012年通过的SEEMP导则中,还推荐使用EEOI作为营运船舶的自愿性能效管理目标和能效水平监测指标^[10]。此外,IMO主张在航运业内不加区分地对所有船舶实行全球一致的温室气体排放强制标准^[11]。为此,目前的新建船舶(包括普通民船、特种船和军舰)已经大量使用了电控主机、电力推进等节能减排新技术^[12]。

按照IMO的有关规定,我国已在新建船舶中强制实施了EEDI要求,而对于EEOI,一旦技术成熟,航运企业的营运船舶也将强制执行。2012年6月,我国交通运输部发布了2个行业性标准:《营运船舶燃料消耗限值及验证方法》和《营运船舶CO₂排放限值及验证方法》。在上述标准中,将“营运船舶”定义为“取得交通运输营运资质”的船舶,并从船舶设计角度对营运船舶的燃料消耗和CO₂排放提出了规定及验证程序。

目前,包括IMO在内的国内外机构、航运企业都在积极研发适用于营运船舶主要能耗设备的能效和碳排放强度评定及等级划分标准。但截至目前,针对主机、锅炉、发电柴油机等设备,特别是作为能耗和碳排放主要源头的主推进柴油机,尚未提出有效且可操作的标准。

鉴于此,本文将针对船舶主推进柴油机在营运条件下的能效水平,提出其能效等级划分方法

来表征船舶主机碳排放强度,探索营运船舶主机的能效指标及计算方法,制定出能效和碳排放等级划分标准,以为IMO、航运企业的船舶能效管理及碳排放总量控制奠定基础。

1 能效评定的难点及能效计量指标筛选的标准

1.1 能效和碳排放评定的难点

每艘营运船舶的主推进柴油机各有特殊性,其外部条件变化大且不能控制,使得营运船舶主机的运行工况很难统一。主推进柴油机能效和碳排放强度指标及评定在国内外也都无被认可的精确量化方法。碳排放总量统计面临准确计量的问题。

1.2 能效计量指标筛选的标准

尽管人们对能效概念的理解不同,能效计量指标也存在不同的形式,但具有如下共同的特征:能效计量指标是一个比值(或增加值),由输入和输出的相对数量关系决定;计算能效计量指标的输入为能耗,输出为能耗实现的产品或服务;根据不同目的和描述对象,输入和输出可以有多种形式及度量方法。

能效指标是能效管理和立法的基础指标。亚太能源中心指出,能效指标的基本任务是后果评估、目标评价和评估同等群体的相对形势,使其在能效政策的制定和评估中发挥重要作用。由此,营运船舶主推进柴油机使用的能效指标应符合如下5个标准:

1) 目标性。

应能对其能效进行精确的计量和评价。

2) 合理性。

应符合能效的内涵及特征,在一定程度上能体现出能耗与输出有效功率之间的关系,而不能背离。

3) 可行性。

能效指标计算用的基础数据应容易获得,计算方法简单,可对其进行监控和核实;基础数据应是现有的、可查的或可测量的,例如燃油密度、燃油热值、主推进柴油机输出轴的扭矩、单位时间消耗的燃油质量等;计算过程不能过于复杂。

4) 系统性。

既可纵向比较主推进柴油机能效水平的变化趋势,也可横向比较不同主推进柴油机间的能效差异,且能反映主推进柴油机的能效特征。

5) 导向性。

在采用某一指标对主推进柴油机能效水平进行计量或者设置了一定的能效目标后,应能促使航运公司采取改善主推进柴油机能效状况以实现能效目标的措施。

2 船舶主机能效和碳排放强度的评定

在交通部法制司立项的“营运船舶能效和碳排放强度等级及评定方法研究(一期)”项目的资助下,本文项目组赴中远海运集团下属公司和中外运长航集团公司开展了调研工作。此次调研的常规营运船舶为上述公司船队中典型的主推进低速二冲程柴油机,主机功率均超过3 000 kW,经过调研,项目组获取了大量数据。经汇总、统计、计算和分析,确定了主推进柴油机的能效指标,提出了能效水平和碳排放强度评定方法及等级划分标准。基于数据分析,考虑评定方法的可操作性、客观性和科学性,对调研的营运船舶主机进行能效评定时采取不按照用途、吨位等分类的原则。

2.1 能效指标的确定及计算

经过调研,项目组发现研究的营运船舶中主机燃油消耗率(SFOC)与机型、技术状态和管理水平关系较大,与主机功率大小无直接关系,受外界环境因素的影响小。因此,在运行功率下,主机燃油消耗率与说明书标定的额定值的偏离程度可反映出主推进柴油机的实际能效水平。

在研究了德国MAN公司各典型型号柴油机(包括6S70MC, 6G45ME-C9.5, 5S60ME-C8.5, 6S65ME-C8.5, 6G70ME-C9.5, 5S35ME-B9, 6S35MC MK.7等)的说明书和台架试验报告后发现,上述柴油机的燃油消耗率曲线在75%~90%负荷范围内走势平缓,且处于较低水平。图1所示为5S60ME-C8.5型柴油机的燃油消耗率与负荷变化关系曲线。由图可知,在75%~90%负荷约束条件下,柴油机的燃油消耗率波动小,这有助于对船舶主推进柴油机进行能效评价。

在确定营运船舶的能效指标时,需要考虑主机的功率储备、工况和营运特点等因素,通常主机的营运功率为额定功率的90%,此时可认为主机在90%负荷下运行,这在调研数据中得到了印证。为了体现“营运”的特征,以便科学、合理地进行测量和计算,最终评定营运船舶的主机能效和碳排放水平,项目组将营运功率作为采集数据和计算主机能效指标的约束条件。

本文所提方法将船舶主推进柴油机营运燃油

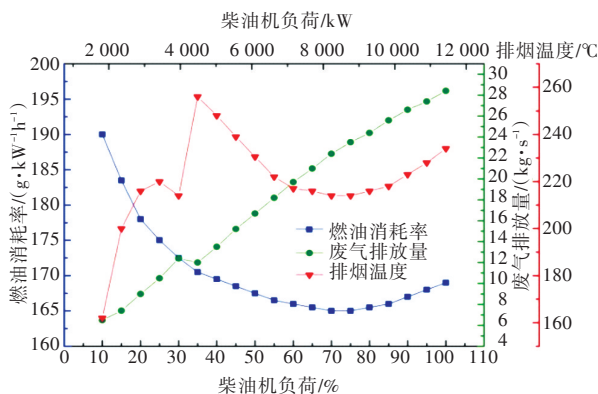


图1 5S60ME-C8.5型主推进柴油机燃油消耗率曲线

Fig.1 SFOC curves of 5S60ME-C8.5 main propulsion diesel engines

消耗率作为船舶主机的能效指标,即船舶主推进柴油机在90%负荷下运行时,利用柴油机单位时间内消耗的燃油质量与输出有效功率的比值来评定船舶主推进柴油机的能效状况。营运燃油消耗率的计算式为

$$g_y = \frac{M \times 1\,000}{N_y} \quad (1)$$

式中: M 为单位时间内消耗的燃油质量, kg/h; g_y 为主机的营运燃油消耗率, g/(kW·h); N_y 为主推进柴油机的有效功率, kW。其中, M 可由质量流量计测量出耗油质量或体积流量计测量出耗油体积后计算得到, N_y 则由扭力计测出的扭矩值和柴油机转速计算得到。

2.2 各级能效划分阈值的计算方法

在计算主推进柴油机能效等级划分阈值时,关键是要确定能效等级划分阈值的偏离系数 η , 即能效偏离系数,并按下式计算:

$$\eta = \left(\frac{g_y}{g_e} - 1 \right) \times 100\% \quad (2)$$

式中, g_e 为额定燃油消耗率, g/(kW·h)。将营运功率下实验所得的各数据值计算后代入式(1),可得各主机的营运燃油消耗率 g_y 。将主机的 g_y 和 g_e 值代入式(2),可得每台主推进柴油机的能效偏离系数。表1所示为部分主机参数和能效偏离系数。

本文参考《交通运输行业能效、二氧化碳排放强度等级及评定方法通则》和交通部对能耗设备能效划分的一般原则,将营运船舶主机的能效等级划分为3级。1,2,3级的主机占被调研主机总数的比例分别指前15%、中间70%和后15%。

在被调研的110艘营运船舶(推进方式为单机单桨)主机中,将能效水平排在前17位的主机划分为1级能效,其在所有调研营运船舶主机中

表1 调研的营运船舶主机燃油消耗率及能效偏离系数

Table 1 SFOC and energy efficiency deviation coefficients of operation ships' main engines in survey

主机型号	额定功率 /kW	营运油耗率 $g_y/(g \cdot kW^{-1} \cdot h^{-1})$	偏离系数 $\eta /%$
MAN B&W 12K98ME	68 640	171.00	1.18
MAN B&W 6S50MC-C	9 480	174.37	1.97
Wartsila Flex-6RT58T	13 080	177.12	7.08
MITSUI-MAN B&W 10K98MC(MARK6)	57 200	177.73	7.72
MAN-B&W 6L50MC	7 987	183.76	8.09

占比 15.5%;将能效水平排在中间 77 位的主机划分为 2 级能效,占比 70%;将能效水平排在后 16 位的主机划分为 3 级能效,占比 14.5%。定义 η_1 为 1,2 级能效等级划分阈值的偏离系数,即为调研后最终确定为 1 级能效的主机中最差能效水平主机的偏离系数值 1.97%;定义 η_2 为 2,3 级能效等级划分阈值的偏离系数,即为调研后最终确定为 2 级能效的主机中最差能效水平主机的偏离系数值 7.72%。考虑到仪器设备测量误差等因素对数值具有一定影响,本文将 η_1, η_2 的值分别定为 2%和 8%。由此,按下式可计算得到营运船舶的主推进柴油机各能效等级划分阈值。

$$g_1 = (1 + \eta_1) \times g_e \quad (3)$$

$$g_2 = (1 + \eta_2) \times g_e \quad (4)$$

式中: g_1 为 1,2 级能效等级划分阈值, $g/(kW \cdot h)$; g_2 为 2,3 级能效等级划分阈值, $g/(kW \cdot h)$ 。

2.3 能效等级的确定

本文将船舶的主推进柴油机营运燃油消耗率 g_y 与该型柴油机的 1,2 级能效等级划分阈值 g_1 和 2,3 级能效等级划分阈值 g_2 进行比较,即可确定主推进柴油机的能效等级和碳排放强度。确定能效等级如下:1 级为最高级,2 级为平均级,3 级为限定级。

3 实验验证与计算分析

图 2 所示为大连海事大学教学实习船“育鲲”轮的主推进柴油机,型号 MAN 6S35MC,额定功率 4 440 kW,额定油耗率 188.1 $g/(kW \cdot h)$,实验开始时累计运行时间 12 395 h。

在 90%负荷设定条件下的实验数据表明,“育鲲”轮主推进柴油机燃油消耗率受外部因素(例如,主机的扫气温度、进气温度、进气压力和燃油热值)的影响很小。表 2 所示为上述因素给主推进柴油机燃油消耗率带来的影响,结果与文献[13]和“育鲲”轮主机说明书描述的一致,即主机在营运功率下,燃油消耗率波动小。因此,将营运船舶



图2 “育鲲”轮主推进柴油机

Fig.2 Main propulsion diesel engine of YUKUN ship

表2 “育鲲”轮主推进柴油机燃油消耗率与外部因素的关系

Table 2 Relationship between SFOC of main engine in YUKUN ship and external factors

影响因素	变化量	燃油消耗率变化/%
扫气温度	每升高 10 $^{\circ}C$	+ 0.60
进气温度	每升高 10 $^{\circ}C$	+ 0.20
进气压力	每升高 0.01 bar	- 0.02
燃油热值	每升高 1%(40 500 kJ/kg)	- 1.00

主机营运燃油消耗率作为主机能效指标是可行的。

在营运功率和使用台架报告中规定的燃油条件下,“育鲲”轮主机的部分参数值如表 3 所示,其中扭矩值由扭矩测量仪测出,燃油消耗质量由精度为 0.5 级的流量计测量得出。此外,额定燃油消耗率 g_e 由主机说明书查得。

表3 “育鲲”轮主推进柴油机能效实验数据

Table 3 Main propulsion diesel engine energy efficiency test data of YUKUN ship

参数	数值	参数	数值
负荷/%	90	燃油密度 $\rho/(kg \cdot m^{-3})$	965.9
耗油质量/kg	112.5	时间 t/min	10
耗油体积/ m^3	0.116 5	扭矩 $T/(N \cdot m)$	199 538.8
油温/ $^{\circ}C$	108	转速 $n/(r \cdot min^{-1})$	170

由表 3 数据及式(1)计算得出“育鲲”轮主推进柴油机的营运燃油消耗率 $g_y = 190.03 g/(kW \cdot h)$ 。将额定燃油消耗率 g_e 和能效偏离系数 η_1 的值代入式(3),得出该型主推进柴油机的 1,2 级能效等

级划分阈值 $g_1=191.86 \text{ g/(kW}\cdot\text{h)}$ 。将额定燃油消耗率 g_e 和能效偏离系数 η_2 代入式(4),得出2,3级能效等级划分阈值 $g_2=203.15 \text{ g/(kW}\cdot\text{h)}$ 。通过比较,得出“育鲲”轮主推进柴油机的能效水平为1级能效,1级能效也代表了“育鲲”轮主机的碳排放强度状况。

由实验验证与计算分析可知:

1) 主推进柴油机的营运燃油消耗率是船舶主机在营运功率下工作时,输出轴每输出 $1 \text{ kW}\cdot\text{h}$ 的有效功率所消耗的燃油量,即单位时间内主机的燃油消耗质量与输出的有效功率之间的比值。营运燃油消耗率作为主机的能效值,体现了“营运”的特征,能够有效且科学地反映主机的能效水平,在适用范围内符合“目标性”和“合理性”要求。对于营运船舶的主推进柴油机来说,计算营运有效燃油消耗率简单,且所需的数据较易获得,故符合“可行性”要求。

2) 主推进柴油机的营运燃油消耗率能有效反映营运船舶主推进柴油机的能效水平和碳排放强度情况,并通过数值来体现差异,可“纵向”地反映和评价“育鲲”轮柴油机在不同时期的主机状态及能效水平,也可“横向”地评价不同品牌主机的能效和碳排放水平,符合“系统性”的要求。

3) 根据营运船舶主推进柴油机营运燃油消耗率的变化及趋势,可对“育鲲”轮主推进柴油机在设计和管理等方面进行针对性的改进。“育鲲”轮主推进柴油机的能效等级客观地反映了主机在管理水平、技术状态、碳排放及节能方面的实际状况,航运公司可以此了解营运船舶主推进柴油机的能效特征及能效状态,有针对性地开展管理工作,提升能效水平。此外,不同机型柴油机在长期使用过程中性能的优劣和实际的能效及碳排放强度可为新建船舶主机的选型提供参考。这些都符合“导向性”的要求。

本文针对“育鲲”轮主推进柴油机的能效和碳排放强度的确定及等级的评定方法科学、合理且可操作性强,可为进一步评定“育鲲”轮的能效和碳排放强度及等级打下基础。

4 结 论

本文分析了营运船舶主机能效和碳排放强度评定方法的难点,提出将船舶主推进柴油机的营运燃油消耗率作为船舶主机的能效指标并确定了计算方法。通过计算,将营运船舶主机划分为3个能效等级,确定了各级能效等级划分阈值的偏离系数及计算方法,通过将主推进柴油机营运燃油

消耗率同该型柴油机的各级能效等级划分阈值进行比较来确定主机的能效等级。通过对实船能效实验所得数据的分析和计算,得出如下结论:

1) “育鲲”轮(主机营运油耗率为 $190.03 \text{ g/kW}\cdot\text{h}$)等营运船舶主机的营运燃油消耗率能够合理反映营运船舶主机的能效水平和碳排放强度,这与船舶EEOI的评价结论相一致。可见,能效水平和碳排放强度是可以通过计算获得的,本文所用方法可以确定营运船舶的主机能效值,计算方法科学。

2) 所提出的主机能效和碳排放等级的评定方法符合交通部对能耗设备能效评定及等级划分方法的一般性原则,方法科学、简单、可操作性强。

3) 所选能效指标及能效等级评定方法在“目标性”、“合理性”、“可行性”、“系统性”、“导向性”方面符合亚太能源中心的要求。

本文提出的评定方法使营运船舶的主机具备了可操作的、科学的能效评定手段和等级标准,研究成果为航运企业的节能减排、落实能效管理体系工作、为我国有效应对国际海运温室气体减排谈判的严峻形势,以及维护国家及行业利益提供了有力的技术支撑。

参考文献:

- [1] Fan Q Z, Zhang Y, Ma W C, et al. Spatial and seasonal dynamics of ship emissions over the Yangtze river delta and east china sea and their potential environmental influence[J]. Environmental Science & Technology, 2016, 50(3): 1322-1329.
- [2] Smith T W P, Jalkanen J P, Anderson B A, et al. Reduction of GHG emissions from ships third IMO GHG study 2014-final report:MEPC 67 INF.3[R]. London: IMO, 2014.
- [3] 刘伊凡, 孙培廷, 张跃文, 等. 船舶能效营运指数预测的建模及仿真分析[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2016, 37(8): 1015-1021.
- [4] Liu Y F, Sun P T, Zhang Y W, et al. Modeling and simulation analysis to establish ship energy efficiency operational indicator[J]. Journal of Harbin Engineering University, 2016, 37(8): 1015-1021 (in Chinese).
- [5] Bencs L, Horemans B, Buczynska A J, et al. Uneven distribution of inorganic pollutants in marine air originating from ocean-going ships[J]. Environmental Pollution, 2017, 222: 226-233.
- [5] 李斌. 船舶能效设计指数和能效营运指数介绍及分析[J]. 世界海运, 2012, 35(3): 23-26.
- [5] Li B. Introduction and analysis of ship energy efficiency design index and energy efficiency operation index

- [J]. World Shipping, 2012, 35(3): 23-26 (in Chinese).
- [6] 郭军武. 基于空燃比的船舶柴油机碳排放计算方法研究[J]. 船舶工程, 2015, 37(增刊1): 86-89.
Guo J W. Research for calculation method of marine diesel engine carbon emissions based on air-fuel ratio [J]. Ship Engineering, 2015, 37 (Supp 1): 86-89 (in Chinese).
- [7] 杨昺崧. 基于热经济学原理的船舶主机能量系统优化与船舶能效评价方法研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2013.
Yang B S. Study on method of energy efficiency evaluation and marine main engine energy system optimization based on Thermo-economic principle [D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2013 (in Chinese).
- [8] 张丽瑛. 船舶能效设计指数及其未来对船舶业的影响[J]. 中国水运, 2011, 11(1): 1-3, 5.
Zhang L Y. Ship energy efficiency design index and the impact on shipping industry [J]. China Water Transport, 2011, 11(1): 1-3, 5 (in Chinese).
- [9] 张跃文, 达勇, 邹永久, 等. 船舶主机选型对EEDI的影响[J]. 世界海运, 2015, 38(11): 34-38.
Zhang Y W, Da Y, Zou Y J, et al. The influence of marine main diesel engine selection on EEDI [J]. World Shipping, 2015, 38(11): 34-38 (in Chinese).
- [10] 黄京民. 船舶能效营运指数和能效管理实践分析[J]. 世界海运, 2016, 39(7): 26-30.
Huang J M. Analysis of ship energy efficiency operation index and energy efficiency management [J]. World Shipping, 2016, 39(7): 26-30 (in Chinese).
- [11] 刘雅玲. 新造船能效设计指数介绍及分析[J]. 中国造船, 2009, 50(4): 165-170.
Liu Y L. Introduction and study of new ship energy efficiency design index (EEDI) [J]. Shipbuilding of China, 2009, 50(4): 165-170 (in Chinese).
- [12] 蔡清男, 朱志宇. 改进效率控制推进电机的优化分析[J]. 中国舰船研究, 2017, 12(6): 120-126, 140.
Cai Q N, Zhu Z Y. Optimization analysis of propulsion motor control efficiency [J]. Chinese Journal of Ship Research, 2017, 12(6): 120-126, 140 (in Chinese).
- [13] 张刚, 蒋德志. 大型船舶降速节能下主机最优运行功率分析[J]. 船舶工程, 2017, 39(5): 60-65.
Zhang G, Jiang D Z. Analysis of main engine optimal power on energy conserving of large ship slow steaming [J]. Ship Engineering, 2017, 39(5): 60-65 (in Chinese).