

29th CIMAC 大会综述专栏从 29th CIMAC 大会看船用中高速
发动机整机开发趋势

金 锋, 鄢 岚, 杨 涛, 王 聪

(七一一研究所, 上海 201108)

摘 要: 基于 29 届 CIMAC 大会交流内容, 分析了船用中高速发动机整机开发趋势。分析表明: 当前整机开发关注的重点是降低排放和提高综合能效; LNG 气体机及双燃料机成为整机开发趋势; 两级增压可变配气正时成为越来越多主机厂的技术选择。在 LNG 气体机及双燃料机的开发上, 欧美的研究重点是整机的瞬态性能及闭环控制等; 日韩的研究重点则侧重于减少燃烧室死区, 优化缸内燃烧, 提高效率等; 而我国船用气体机研究尚处于起步阶段, 整机的可靠性有待进一步验证及改进提高。

关键词: 船用中高速发动机; 气体机; 双燃料机; 开发

中图分类号: TK42; TK43 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2020)01-0001-06

The Development Tendency of Marine Medium and High Speed Engines From
the 29th CIMAC Congress Point of View

Jin Feng, Yan Lan, Yang Tao, Wang Cong

(Shanghai Marine Diesel Engine Research Institute, Shanghai 201108)

Abstract: Based on the 29th CIMAC congress, the development tendency of marine medium and high speed engines is analyzed. It shows that: the development nowadays focus on emissions reduction and improvement of comprehensive energy efficiency; LNG gas engines and dual fuel engines have becoming the development tendency of whole engines; two stage turbocharging and variable valve timing have become a technical choice for more and more main engine manufactares. In the development of LNG engines and dual fuel engines, the engine makers in western countries focus on transient performance and close loop control of whole engines, the Japanese and Korean engine makers tend to choose the way of reducing the dead zone of combustion room, optimizing combustion in cylinder, improving efficiency, etc. The development of marine gas engines in China is still at the early stage, the reliability of whole engines still needs to be verified and improved.

Key words: marine medium and high speed engine; gas engine; dual fuel engine; development

0 引言

第 29 届 CIMAC 大会于 2019 年 6 月 10 日 ~ 14 日在加拿大温哥华召开。大会讨论的主要内容有以下四个方面: 智能动力, 如混合动力船舶应

用、数字化; 近零排放技术, 如 SCR 减排技术、2020 年限硫令的应对; 替代燃料, 如甲醇、生物质气及燃料电池; 发动机整机开发, 如气体机、双燃料机的研发。可以看出: 近零排放、综合能效等已成为当前船用发动机行业关注的重点。本

收稿日期: 2019-11-21

作者简介: 金锋(1979—), 高级工程师, 主要研究方向为柴油机研发, jinfeng@csic711.com。

文基于本次大会内容, 主要从各主机厂发动机整机开发应用技术出发, 分析总结船用中高速发动机整机开发趋势。

1 发动机整机开发概况

随着全球排放法规越来越严苛, 船用发动机技术正朝着零排放和综合能效优化方向发展。从最近几届 CIMAC 会议发表的论文可以看出, 各主机厂整机开发均有以下特点:

(1) 开发一款新发动机时, 一般同时推出柴油机、双燃料机和纯气体机三款机型, 兼顾柴油和天然气等燃料的使用;

(2) 在柴油机应用技术方面, 各主机厂多采用两级增压 + 强米勒、可变配气正时、电控喷油等手段, 在控制排放的前提下提高整机效率;

(3) 在气体机应用技术方面, 日韩主机厂着重于优化缸内燃烧及减少甲烷逃逸以优化排放等的研究; 而欧美主机厂则将研究重点放在优化闭环控制、改善瞬态性能方面。

2 国外主机厂整机开发进展

2.1 瓦锡兰

瓦锡兰在中速机方面已经具备了完善的型谱, 且全系列机型柴油、天然气、双燃料都可用。从这一届 CIMAC 论文来看, 瓦锡兰近几年在整机开发方面着重于现有机型的性能改进与提高, 以及智能控制优化的研究。

2.1.1 气体机瞬态性能研究^[1]

瓦锡兰在现有机型性能改进提高方面, 从提升瞬态空燃比 (λ) 响应和控制系统优化等角度出发, 开展了提高气体机瞬态性能的研究。主要采用以下几种技术手段:

(1) 采用 VEC (variable exhaust valve closing) 及 VIC (variable intake valve closing) 技术, 增大加载时的可用空气量。

(2) 采用控制系统瞬态运行 MAP; 运行点如点火正时、扫气压力等的设置都不同于稳态工况。

(3) 设置动态燃油限制线; 动态时的燃油限制较稳态运行时的要宽泛。

(4) 双燃料机采用瞬态柴油后喷, 在气体燃料 λ 调节不及时的情况下补充动力。

在瓦锡兰 6L20DF-CR 2-stageTC 试验台架 (图 1, 位于芬兰瓦萨, 机型集成了双燃料、共轨、两级增压等先进技术) 上开展了提高瞬态性能试验验证。验证了双燃料机瞬态加速性能提升 67%,

排放下降; 在上述 4 种技术手段中, 后喷柴油对于改善加速性影响最大。具体见图 2 ~ 图 4。

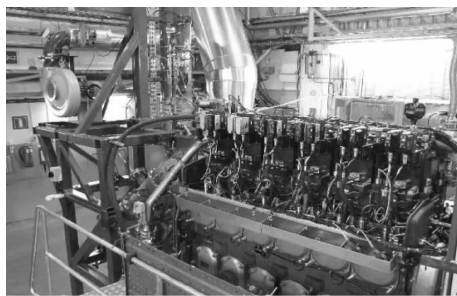


图 1 6L20DF-CR 2-stageTC 试验台

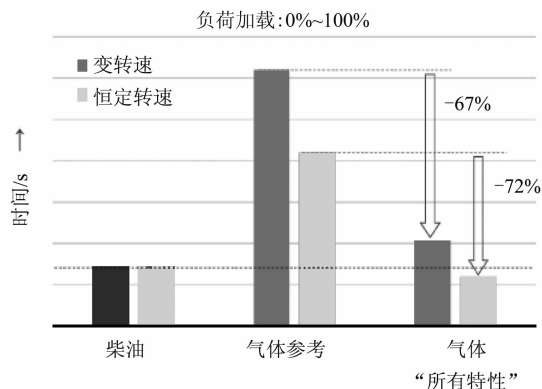


图 2 6L20DF 最好的加速性能与柴油机持平

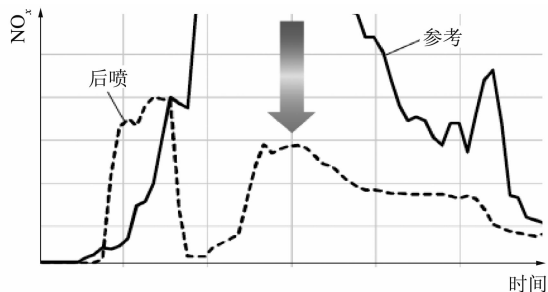


图 3 6L20DF 采用燃烧后阶段喷油, 降低 NO_x 排放

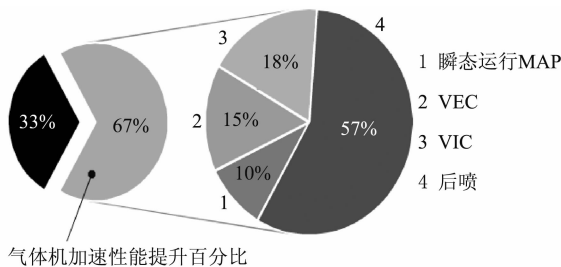


图 4 改善加速性能各因素贡献占比 (转速 0 ~ 100%)

除台架试验验证外, 提升气体机的加速性能在瓦锡兰工程应用中也初具效果。如气体机 W34SG 从怠速加载至满载的时间在 2016 年时为 90 s (图 5), 而目前从怠速加载至满载时间已经降低至 45 s (图 6)。

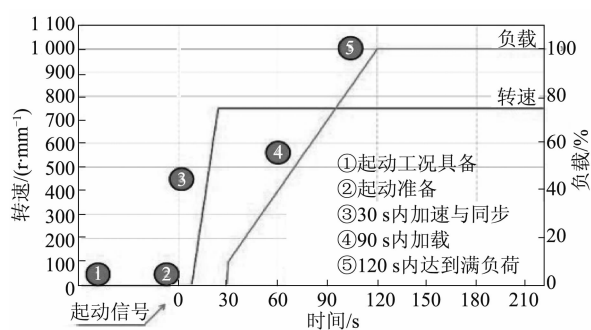


图5 2016 年 W34SG 从怠速加载至满载的时间为 90 s

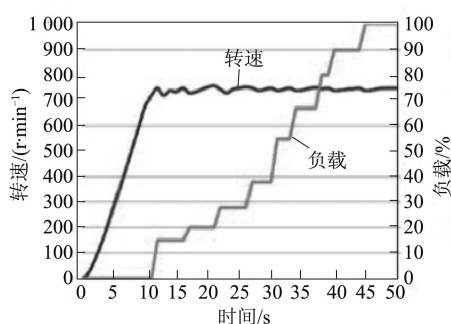


图6 2019 年 W34SG 从怠速加载至满载的时间为 45 s

2.1.2 智能控制优化研究^[2-3]

在智能控制优化方面，瓦锡兰完成了 UNIC 系统升级（图 7），增加了如缸压闭环控制（图 8）、双燃料机循环变动闭环控制（图 9）及气源质量在线监测（图 10）等智能控制措施，整机运行更加高效、可靠。



图7 瓦锡兰第二代 UNIC 系统

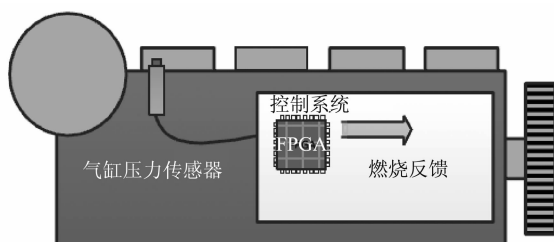


图8 缸压闭环控制

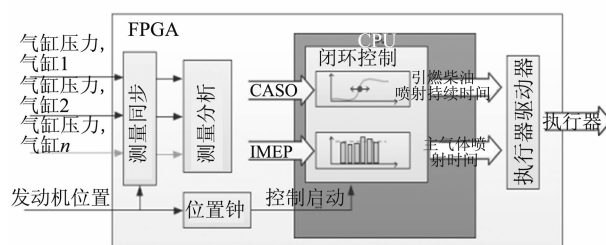


图9 燃烧循环变动闭环控制

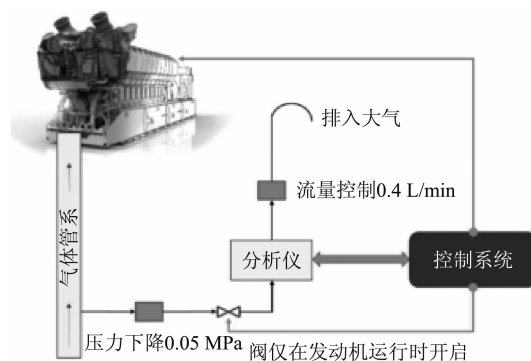


图10 天然气质量在线监测

2.2 MAN

MAN 公司在柴油机新产品开发方面，介绍了新机型 4x/60。原型机共柴油机、纯气体机、双燃料机三款。高速机 175D 已投入使用，为满足日趋严苛的排放要求，重点开展了后处理 SCR 集成。双燃料机方面，从低成本出发，完成了与一般双燃料机技术路径不同的中小缸径 MAN 28/32DF 和 23/30DF 双燃料机的开发。

2.2.1 新机型 4x/60^[4]

新开发的 45/60 CR 机型（图 11），转速 600 r/min，平均有效压力 2.72 MPa，油耗 167 g/(kW·h)；采用了共轨和两级增压等技术，集成后处理 SCR，整机效率超过 50%；机型从 6L 至 20V，功率覆盖 8~26 MW；整机设计考虑模块化和 SCR 一体化（图 12 和图 13）。

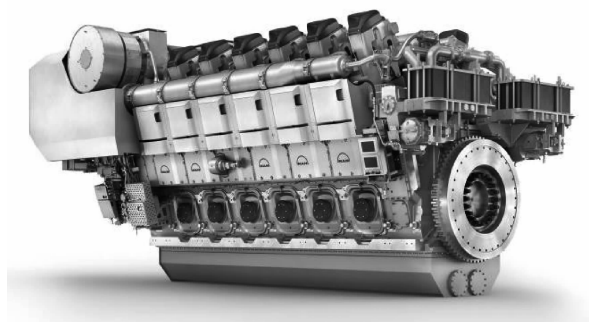


图11 12V45/60CR 外型

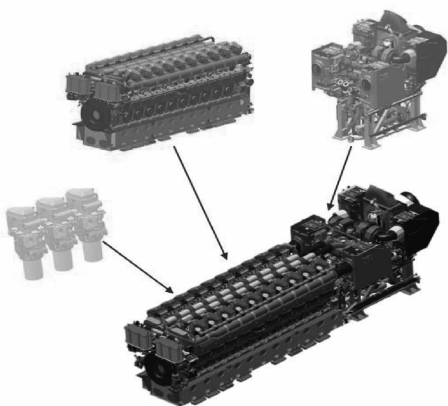


图 12 模块化设计

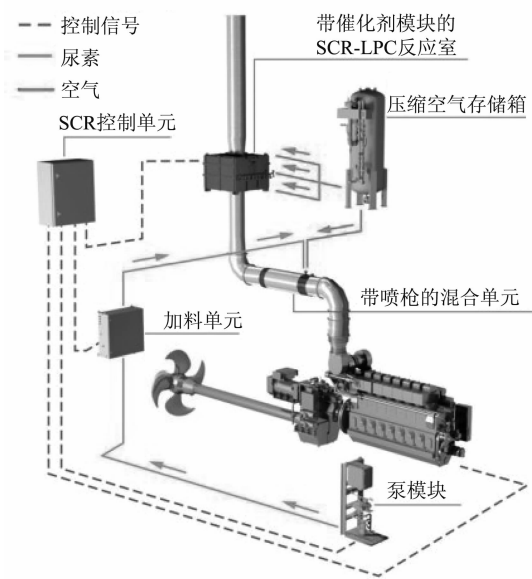


图 13 SCR 集成设计

2.2.2 28/32DF 和 23/30DF 双燃料机^[5]

MAN 近两年完成了双燃料机 28/32DF 和 23/30DF 排放性能升级。不同于其他厂家的双喷油器方案,从节约成本出发,28/32DF 和 23/30DF 采用一个喷油器,兼顾主喷油器和微喷引燃用途(图 14)。通过优化柱塞螺旋槽型线(图 15),控制微喷喷射量。微喷引燃喷射量从 8% 缩小到 2%;排放性能从 Tier II 水平提高到 Tier III 水平,达到减排效果。

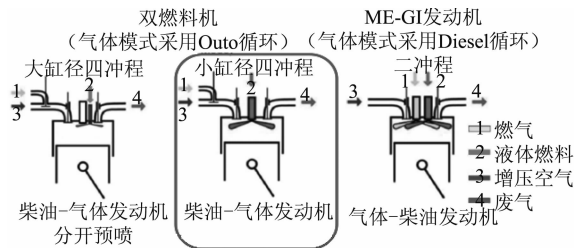


图 14 28/32DF 和 23/30DF 采用的技术方案

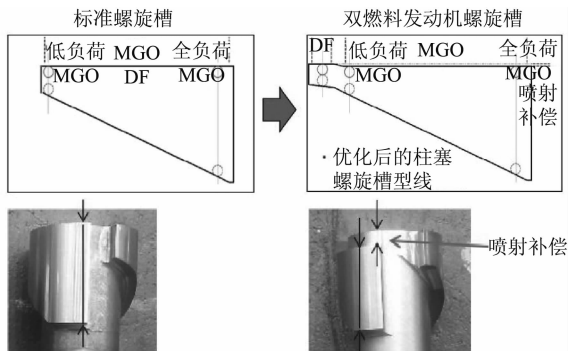


图 15 28/32DF 和 23/30DF 螺旋槽改进方案

2.3 ROLLS-ROYCE^[6]

为应对当前功率、效率及排放的综合要求,ROLLS-ROYCE 开发了 B3x:45 系列新机型(图 16)。该机型在原 B3x:40 (B32:40 柴油机、B35:40 气体机)系列上加长冲程。B3x:45 系列兼顾气体机和柴油机,零部件通用率高,L 型及 V 型功率全覆盖(图 17)。开发过程中考虑了多燃料应用:柴油机可燃用重油、生物质油、合成碳氢;气体机可燃用天然气、LPG、生物质气等。直列 B33:45L 型机已在 2015 年中期投放市场,累计运行超 20 000 h。

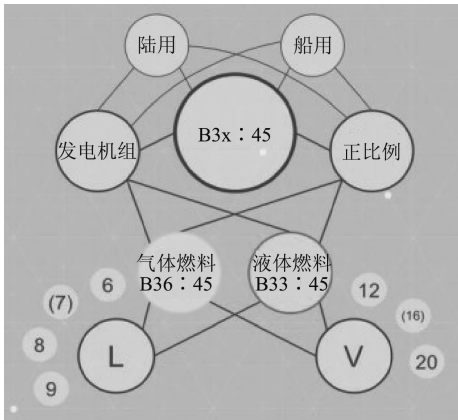


图 16 B3x:45 系列机型型谱

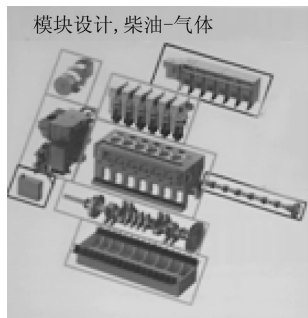


图 17 B3x:45 模块化

2.4 HIMSEN^[7]

HIMSEN 介绍了双燃料机 H54DFV 和新开发的

H32CV。通过采用两级增压、电控可变喷油正时 (HiMSEN electronic variable injection timing, HEVIT, 图 18)、进排气可变正时 (图 19)、双调速器等技术手段, 达到优化燃烧、提高效率的目的。

在气体机设计优化方面开展了进气道结构优化及预燃室结构优化。

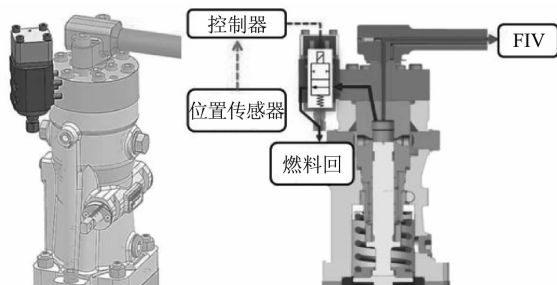


图 18 电控可变喷油正时

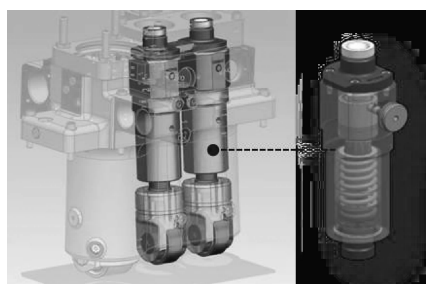


图 19 进排气可变正时

2.5 YANMAR^[8]

YANMAR 的 6EY26W 两级增压柴油机 (图 20) 采用高增压配强米勒以改善排放; 同时, 采用可变配气正时改善怠速燃烧稳定性, 油耗较单级增压降低 10 g/(kW·h) (图 21)。通过匹配 SCR 后处理, 满足 Tier III 排放要求。YANMAR 在 2016 年 CIMAC 上展示了 EYG26L 纯气体机、EY26DF 双燃料机。2019 年基于双燃料机, 研究 GHG 减排技术, 以提升热效率。采用 DF-PCCI (premixed charge compression ignition) 燃烧策略在单缸机上开展燃烧研究。

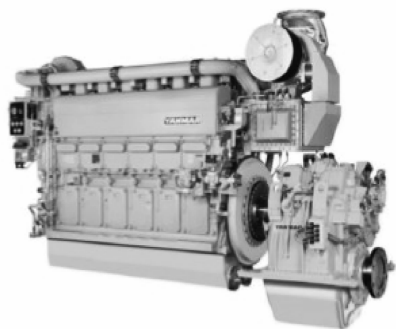


图 20 6EY26W 整机

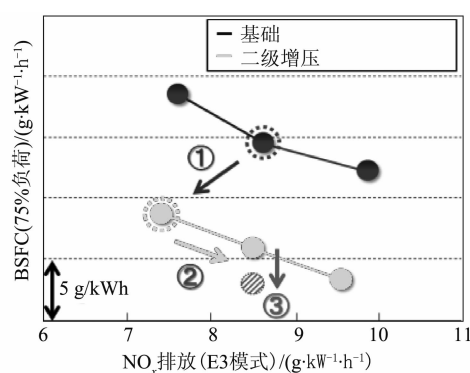


图 21 6EY26W 油耗-排放线

2.6 NIIGATA^[9]

NIIGATA 的 28AGS 是 2012 年出品的纯气体机, 主要针对陆用市场。目前有 6L、8L、12V、16V、18V 型, 功率覆盖 2~6 MW。这款机型已实现负荷率在 90% 的工程应用 5 000 h。NIIGATA 在这款机型上开展了整机性能改进提高。通过优化预燃室结构及主燃室燃烧; 减少甲烷逃逸; 优化气道 (图 22~图 24), 实现发电机组效率提升 2.3%。6 缸机效率达到了 47.8%。计划未来通过采用可变配气正时、优化进气道以减少压力损失等手段, 实现发电机组效率再提升 1% 的目标。

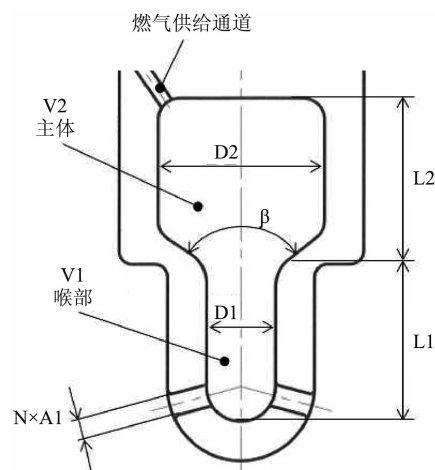


图 22 优化预燃室

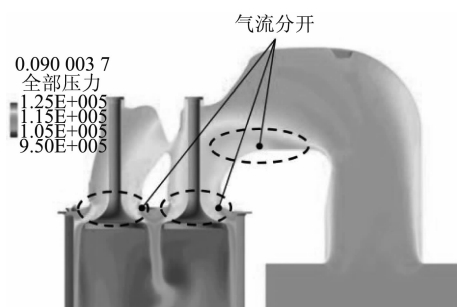


图 23 减少气道流动损失

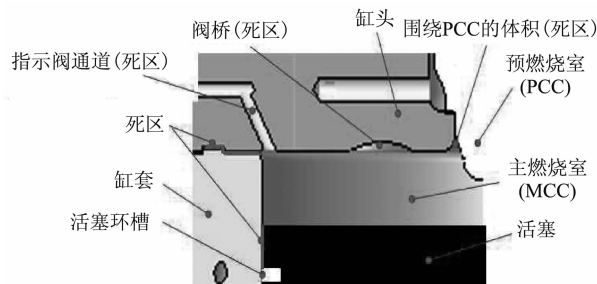


图24 减少燃烧室死区

3 总结

从29届CIMAC大会交流情况来看,整机开发的主题是减排和提高综合能效。围绕这个主题,各船舶主机厂更多地把目光投向了LNG气体机及双燃料机的开发。

在整机开发方面,两级增压以及可变配气正时已成为多数主机厂减排和提升综合能效的选择。

在船用LNG气体机及双燃料机的开发上,欧美走在前列,已有成熟应用机型;在解决甲烷逃逸及燃烧优化问题后,更多地将研究重点放在气体机瞬态性能及整机闭环控制等方面,以提升整机可靠性。日韩其次,研究重点侧重于减少燃烧室死区,优化缸内燃烧,提高效率等方面。而我国船用气体机研究处于起步阶段,整机的可靠性有待进一步验证及改进提高。

参考文献

[1] DELNERI D, SIRCH G, GERMANI M, et al. Enhanced flexibility in gas engine operation for marine and power

generation demanding applications [C]. CIMAC, 2019, Paper No. 093.

- [2] RÖSGREN J, VUOLLET T, HYVÖNEN J, et al. Engine controls as part of a smart marine ecosystem [C]. CIMAC, 2019, Paper No. 210.
- [3] PORTIN K, HOGBERG D. Gas online quality measurement for optimized engine control [C]. CIMAC, 2019, Paper No. 109.
- [4] REST A, WILKE I, KOERBER A, et al. MAN ES—the new 4x/60 engine family—the energy driver for all applications [C]. CIMAC, 2019, Paper No. 293.
- [5] WALTHER H P, CHRISTENSEN J, LUDVIGSEN J, et al. Unique dual-fuel IMO Tier III engines: L23/30DF & L28/32DF [C]. CIMAC, 2019, Paper No. 305.
- [6] SKARBØ L A, HUMERFELT T, FOER K, et al. Operational in service experiences and extension of the ROLLS-ROYCE BERGEN B3x:45 engine family [C]. CIMAC, 2019, Paper No. 415.
- [7] LEE S, SON J, RYOO Y, et al. New development HIMSSEN engine with two-stage turbocharging system, H54DFV & H32CV [C]. CIMAC, 2019, Paper No. 017.
- [8] HAMAOKA S, FUKUI Y. YANMAR solutions for environmental regulations after 2020 [C]. CIMAC, 2019, Paper No. 276.
- [9] KUROIWA T, NAKAYAMA S, NAKAZATO T, et al. Performance improvement of spark-ignited medium-speed gas engine 28AGS [C]. CIMAC, 2019, Paper No. 207.