

船舶动力装置发展的新趋势

上海船舶研究设计院 江康源

摘 要 除了介绍一些动力装置的技术发展变化外,着重阐述了船型发展引起船舶动力装置发展的新趋势。

关键词 船舶动力装置 柴油机动力装置 燃气轮机动力装置 柴油机电力推进

现代船舶动力装置包括蒸汽、内燃、燃气、核动力以及它们的联合装置,用于直接传动或通过电力传动推进器,并提供船上各类动力及生活需求。70 年代石油提价,引发能源危机,油耗低、可以燃用低质重油的柴油机动力装置迅猛发展,几乎独占了船舶动力装置市场。进入 90 年代,这一基本状况没有变化。近年来,油价保持稳定,甚至下跌,船舶航速逐步提高,对动力装置油耗要求放宽。其次,虽然美国及欧洲为首的世界经济长期维持景气,但世界海运市场上原油和大宗散货运量增热趋缓,不过因船龄到期,更新大型油船(VLCC)及建造旅游船却是造船市场的新热点。造船市场变化及船型发展的变化,加上各国对环境保护要求趋严,都影响着船舶动力装置的发展。在临近世纪交替的前夕,本文除了介绍一些动力装置的技术发展变化外,着重阐述船型发展引起船舶动力装置发展的新趋势。

1 柴油机动力装置在民用船上继续一统天下并不断发展

(1) 强化、低耗、可靠、低排放仍是今日柴油机发展的基本目标

历经 100 年历史,时至今日,柴油机的技术已几趋极限,无论是低速机还是中速机,近年来继续向强化、低耗、可靠及低排放发展,未出现根本性的变化。低油耗已非追逐的主要目标,代之以低排放成为重大课题。以低速机为例,MAN/B&W MC 机推出了 C 型系列进一步强化,尺寸更小更紧凑;Wartsila 的 NSD 在 RTA 机上发展了 U、T 和 C 系列机,适应不同类型船舶,使同类船舶的主机缸径趋小,尺寸紧凑。最新开发的 RTA 机的 T 型机 B 系列把平均有效压力由 1.82MPa 提高到 1.9MPa,转速增加 1~3r/min,功率增加 7%。各中速机亦进一步强化性

能,扩大系列,设计更显紧凑,外形简洁明快。比较突出的是 MAN/B&W 开发的 L16/24 和即将推出的 L27/38,它们把附件集中布置,管系铸在机体内使尺寸特别紧凑,加上能燃用 700cSt 的重质油,具有很强的竞争力。此外,为适应大型集装箱船开发要求,单机功率继续上升。例如:6000TEU 大型集装箱船的尺度已达到 300m×42.8m×14m,航速超过 24kn,相应的主机为 MAN B&W 12K98MC-C (68520kW/104r/min) 及 Wartsila 的 12RTA95C (65880kW/100r/min)。更大的 8000TEU 集装箱船正在开发之中,可以预测更大型的柴油机亦指日可待。

(2) 大型客船、滚客船、滚装船的航速趋高,高速货运船舶的出现促进了大功率中速机的开发

最近 Wartsila 公司宣布开发中速 64 机,缸径达 640mm,冲程为 900mm/直列机(770mm/V 型机),转速为 327.3~333.3r/min/直列机(400~428r/min/V 型机),单缸功率达 2010kW/直列机(1940kW/V 型机),几乎是广泛应用的 46 机的 2 倍。它的最高爆压 $P_{max}=19\text{MPa}$,油耗 166~168g/kW·h,已完全可与低速机匹敌。原 Sulzer 公司的 ZA50 发展了 ZA50S,采用了一系列低速机上的技术,单缸功率已达 1200kW。MAK 公司扩充了 M43 机,平均有效压力达 2.44MPa,功率达到 900kW/缸。中速机由于单机功率增大,油耗降低,可靠性提高,加上其尺寸小、重量轻的固有特点,故在客船、滚装船及高速货船等船上已获得广泛的应用和发展。

(3) 柴油机推进装置成套供货方式为船厂、船东广泛接受

由于船用推进装置除了柴油机外尚需联轴节、齿轮箱(可能还有轴带发电机)、轴系、尾密封、螺旋桨、自动控制设备,故其由单一供应商设计、制造、配

作者简介:江康源,男,研究员。1965 年毕业于上海交通大学内燃机专业,长期从事轮机研究设计工作。

套、试验并提交,易于做到配套合理,并做好项目早期准备及售后服务工作。成套供货方式对船厂和船东均有好处,在国际造船业中已被广泛接受。初造出口船的国内中小型船厂,几乎无一例外采用这一采购方式。

除了 MAN/B&W ALPHA 公司传统采用这一方式外(1998 年达到供货的 90%),WartsilaNSD 和 MAK 均扩大成套供货的范围,并扩大到部分小缸径低速机,Catpilar 公司亦正在研究进一步扩大成套供应的可能性。

(4) 电子技术在柴油机上的应用

柴油机虽然发明了仅 100 年,但作为一项传统工业要进一步发展必须配以电子技术。例如 Sulzer 公司的低速柴油机从 1981 年 12 月开始在第一代电控柴油机 RTX-1 上代替喷油凸轮试验了电控喷油。1990 年 3 月~1995 年在第二代电控机 RTX-2 上,电子控制不仅用于喷油,而且还用于排气阀、起动空气阀及气缸润滑油。从 1995 年起试验无凸轮轴的 RTX-3 第三代电控柴油机,最新的试验称为 RT-flex“智能型”柴油机。它采用脉动型高效喷油泵供油到 1 根各缸共用的喷油管,经过电子控制的喷油调节单元,送油到每缸 3 只可以单独控制的喷油阀去。电子检测及控制使智能型柴油机能够随时检测机器状态,自动调整相应参数,包括精确调整喷油量、喷油速率变化及喷油压力,使机器在整个运行期间始终调整在最佳状态,空负荷时亦能燃用重质油,达到低排放、低油耗和延长大修间隔的目的。智能型船用低速柴油机将在 2000 年上市。

(5) 激烈的市场竞争导致柴油机企业合并风潮再起

由于近年来造船产量放大,但船价不断下跌,船用设备亦受其累。为了在市场竞争上站稳脚跟,降低开发成本,前些年继 MAN/B&W 合并法国热机协会后,近年来 Wartsila 并掉了新苏尔寿成立 Wartsila-NSD 成为最大的新闻,近日 MAK 公司亦被 Catpilar 公司合并。这些变化必将给船舶动力装置的发展带来新的变化。

2 高速船的发展为燃气轮机动力装置带来了生机

近年来,大型高速渡船(客滚船)纷纷登场,澳大利亚、日本、意大利和北欧都有代表型产品,例如意大利的 MDV300 木星型高速渡船,145m 长,可载客 1800 名、小车 460 辆及带货拖车 30 辆,航速达到

40kn。它配上 GE 公司 2 台 22000kW LM2500 燃气轮机驱动 2 套喷水推进装置,另加 4 台 6500kW MTU20V 1163TB73L 高速柴油机驱动 2 套辅助喷水推进装置作为变向及倒车之用。而澳大利亚是双体轻质高速客货船的主要生产国,占了市场的 2/3,它已开发了 74、78、81、86、91m 系列船型,最新推出的 112m 长、25m 高的高速客货船除旅客外可装运 37 台 35t 拖车(装车长度 644m,载重大于 1000t),船上配了每套功率为 26000~28000kW 的 ABB GT10 或 Roll Royce Spey 燃气轮机加上 MTU 20V-1163T B73L 或 20PA6 SITC 柴油机组成的柴燃联合装置,航速可达 40~42kn。燃气轮机重量轻、功率大、动力响应性好,配上柴油机组成联合动力装置,可克服低工况油耗高的缺点,是高速船最合适的动力装置。实践还表明燃气轮机机组可靠性达 99.5%,具备 96.5%可使用性,热效率已达 39%,加上其特有的低排污,特别适应渡船的使用环境。

值得一提,在高速船动力装置中,高速柴油机仍占有一定的地位。例如:我国广东番禺南 辉船厂与澳大利亚 Incat 合作建造的 K50 型高速双体客货船,能载客 450 人,载货 89 车,采用 4 台罗斯通 16RK270 柴油机驱动卡美瓦 805 II 喷水推进器,以 4×5500kW 的功率使航速达到 47.5kn。

3 大型豪华客船的建造热为柴油机电力传动的发展提供了一显身手的舞台

近几年,随着世界经济持续景气,旅游业发展很快,乘坐舒适的豪华游船已成为一个热点,以芬兰、德国和意大利为主,建造了大量豪华旅游船。现代豪华游船的尺度大、航速高,除了推进外需要强大的电能供各类居住及娱乐活动所需。为了提高操纵性,易于停靠码头,它们都装有大功率的电动侧推器;为了确保安全,需要足够的备用设备和重复配置,加上客船布置上对机舱安排的限制和隔振、降噪的要求,为柴油机电传动提供了一显身手的舞台。例如芬兰建造的改进型千年级客船,采用 4 台 12V46C Wartsila 柴油机带动 4 台 12200kW 发电机,其强大的电网除了可供 2 台 17000kW 的推进电机带动螺旋桨外,大量的电能供船上其他目的应用,包括首、尾侧推器和生活、娱乐应用。由于电子变频技术的突破性进展,可以采用简单的交流电动机带动定螺距螺旋桨,根据需要从零到满负荷自由选择转速。多台柴油机形成的电网,电传动船可根据负荷率调整单机工况,使其始终处于最佳运行状况,达到低耗、低排放。由于

大功率变频电机对电网供电质量的影响,如何隔绝电网频率对其他用电设备的影响是设计中必须解决的问题。最近 ABB 公司开发的称为 AZPORD 的推进系统,正在电力推进中获得极为成功的效果。AZPORD 类似于广泛应用于港作拖船的 Z 型推进器,它将变频变速的交流电动机直接装入可 360° 回转的流线型壳体内,螺旋桨前置,整个装置能以高于常规桨的效率推进。它又可作为转向装置,使船舶回转性能及操纵性更佳,噪音振动亦小。据报导,装有 2 套 14000kW AZPORD 的大型游船“Elation”的航速比常规桨快 0.5kn,推进效率高 8%,回转半径小 30%,全速前进到全速后退仅 20s^[1]。

如此优异的综合结果已引起一些化学品/成品油船和破冰船主的兴趣,它是否会在船舶推进及动力装置技术上引起革命性的变革,我们将拭目以待。

4 环境保护呼吁更安全和更低排放的船舶动力装置

防止油船海上遇险造成大面积海域污染及减少船舶有害废气排放,涉及世纪之交人类最关心的环境问题。它与船舶动力装置关系很密切,时至今日,所有与船舶轮机业务相关人员都应对此有足够的了解与认识。

(1) 动力装置的多余配置

油船泄漏引起的后果十分严重,目前防泄漏的基本办法是设计双壳船体,但这只能作为最后一道防护屏障,应采取更积极的措施防止事故发生。多余(冗余)配置推进装置及舵系,或设置应急动力装置,可保证一旦主推进失效,船舶仍能在恶劣海况下以 6kn 航速前进。最常见的方式是主机与齿轮箱脱开,轴带发电机转为电动机,以发电机的电力,带动螺旋桨实现船舶应急推进(Take home system)。这在我国设计的一些出口船上已有实例。

更进一步,是设置双套主推进系统。挪威船级社(DNV)已制订特殊的入级标志 RPS(Redundant propulsion and separation),它要求船舶设置两个独立的机舱,各自包括独立的推进和发电及输配电设备,可确保推进设备及舵系的任何故障(包括火灾及浸水)不致引起船舶失去航行能力。第一艘申请这一入级符号的船舶是一艘穿梭油船。

美国船级社 ABS 亦提出了类似的入级符号,它包括 R1、R1-S 及 R2-S 等 4 种,其中“S”标志独立机舱。符合此要求的阿科海运公司的 125000t 千年级

油船,设置了用防火及水密隔舱壁分开的双独立机舱、双独立舵机及特别大的 2206kW 首侧推器,能发出 2×8906kW 的 2 台 MAN B&W S60MC 主机各有独立的辅助设备,包括各自的供油设备和控制台。无论发生火灾、浸水、燃油污浊或其他机械故障,该船都能继续航行。该船符合 OPA90 要求,双壳船体的壳间距比规定值大 50%。该船的船价比常规船要高 20%。

(2) 柴油机废气排放

人类对保护环境质量要求日益严格,船用柴油机废气排放引起的大气污染虽然影响不大,但亦受到了关注。各国对柴油机的废气排放都制订了程度不等的限制条款,国际海事组织(IMO)已在 1997 年 9 月 MARPO(73/78)公约附件 V1 条例 13 对功率大于 130kW 的柴油机的 NO_x 的排放作出了规定。对 2000 年 1 月后建造的新船或改装船,其柴油机的 NO_x 排放将限制到相当于比 1990 年水平低 30%,对检测办法,亦制订了详细的条例 ISO8178。同时对燃油含硫量限制在 4.5% 以下。

根据目前的技术水平,无论是低、中、高速机都可以通过适当的内部调整,达到这一 NO_x 排放限制目标。但不少国家已制订了更严格的限制,瑞典政府的办法特别值得注意,它对所有进入瑞典海域的船舶,按 80% 功率状态测定 NO_x 的排放率,排放率在 2~12g/kW·h 范围内安排排放率高低定出费率,再由排放总量算出收取排污费的总额。因此,进一步减少排放将成为柴油机厂商努力的目标。目前比较公认的办法是喷水法,一般可降低排放 50%。采用催化剂法(SCR 法)则可消除 90% 的 NO_x。在目前我国建造的出口船中这些方法均已进入实际采用阶段。

进一步的环境保护措施很可能是限制 CO₂ 排放。某些国家对陆用电厂已开始征收 CO₂ 排放税。对船用动力装置的政策如何? 有人预测在 5 年内会提到议事日程上来。这时可能会引发研究进一步提高热效率的循环装置(热效率 60%),甚至是绿色能源——燃料电池,这可能是在 21 世纪到来动力装置发展最具有挑战性的课题。

参 考 文 献

- 1 Motor Ship, 1998. 4
- 2 中国造船学会船舶轮机学术委员会第五届学术年会论文集 02

CONTENTS

Development of 30000 DWT Multipurpose Container Vessel Pan Menghua and Zhang Mingxian(5)

This newly developed ship is a multipurpose container vessel jointly designed by the well-known German naval architect Mr. Albert in combination with Shanghai Shipyard and built in Shanghai Shipyard. The vessel is featured by its large dead-weight, great number of containers, good propulsive performance, low fuel oil consumption and high degree of automation. It operates under a German flag and in compliance with the IW requirements for underwater surveys. In this paper a brief presentation is given on the main technical measures adopted during the vessel's design.

Key words Ship design, Ship building, Multipurpose container vessel

Application of Fuzzy Control Technique to Ship's Dynamic Positioning Wang Lijuan, Li Yinghui and Zhao Xiren(8)

A fuzzy controller is adopted as a system controller in designing of the dynamic positioning system for a ship. To solve the problems appeared during the process of simulation, the controller was optimized and a practicable fuzzy controller was developed and verified through simulation.

Key words Fuzzy controller, Dynamic positioning, Maneuverability

Nonlinear Sliding Control of Space Motion for Submarine Luo Kai, Li Jun and Xu Hanzhen(12)

In this paper, the coupling between the cross velocity and the course angular velocity is considered, and the nonlinear sliding control law used for course control is investigated. The vertical velocity is estimated by solving the motion equation, and the MIMO nonlinear sliding control law of combined steering device is designed. The control of depth stability and diving motion is studied in detail.

Key words Submarine, Sliding control, Maneuverability

Virtual Product Development Technique and It's Application in Shipbuilding Zhao Liangcai, Tang Wenxian and Fang Xifeng(15)

This paper introduces the importance of VPDT (virtual product development technique) and some concepts (simulation and VR-virtual reality, CAX integration and VPD system, STEP and VP database as well as the level of VPDT applications) are discussed. Some suggestions are proposed in order to promote the VPDT application in shipbuilding industry.

Key words Product prototype, Virtual reality, VPD technology, Shipbuilding

Discussion of Fairness of Curves Fan Yongbing and Chen Binkang(18)

The merits and demerits of the classic definition for curve fairing are analyzed from the points of mathematical lofting and automatic fairing, and a modified definition is obtained. By applying the modified definition, the criterions for automatic fairing of shiplines are derived.

Key words Curve-fairing, Mathematical lofting, Shiplines

Shipbuilding Software—Production Design System for Marine and Engineering Machinery and It's Application Sun Zhonghai and Li Peixiong(22)

In this paper, the features of domestic shipbuilding software—SEMS system and it's application to the production design are described in detail.

Key words Mathematic lofting, Computer-aided production design, Production technology management

Marine Flyash Microcellular Calcium Silicate Material and It's Application Xie Fengqin and Qu Guangshan(24)

In this paper, an ultra-light microcellular calcium silicate material without asbestos fibre was developed by mixing the waste material—flyash from coal-burning electric plant as siliceous material with calcareous material through wet grinding, gelling, autoclaving and drying. Its microstructure and performance was investigated by means of SEM, XRD and DTA etc. It is indicated that this material is ideal for ship and can widely be used for composite board, ceiling board, all kinds of fire doors and detachable floor etc. for cabin system.

Key words Marine material, Composite material, Microcellular calcium silicate, Flyash

New Progress of Marine Powerplant Jiang Kangyuan(26)

In addition to the introduction of the technical progress in the field of marine powerplant, the attention is paid to describe the new developmental tendency of the marine powerplant with the changes of ship type.

Key words Marine powerplant, Diesel powerplant, Gas turbine powerplant, Diesel-electric propulsion

A Review on Performance Improvement of Heavy Duty and Highly Supercharged Diesel Engine Gu Hongzhong(29)

The progress of performance improvement for heavy duty and highly supercharged diesel engine is described in this paper. The progress mentioned above was made by Shanghai Jiao Tong University.

Key words Diesel engine, Performance investigation, Review

On Characterizing Factors of Whirling Vibration of Propulsion Shafting for High Speed Ship Tan Zusheng, Chen Chuanai and Guo Xianming(32)

Based on the calculation and comparison of the full-scale tests, the characterizing factors of the whirling vibration of propulsion shafting for high speed ships are discussed in this paper, the improving measures are also suggested.