

船舶柴油机燃烧技术研究

杨子龙

(中国舰船研究院, 北京 100101)

摘要: 浅析了船舶柴油机燃烧技术研究的背景和现状, 重点介绍了新燃烧概念、废气再循环、高压燃油喷射、进气增压与可变配气、替代燃料、智能燃烧控制等技术的研究进展。通过对相关研究工作的分析和总结, 凝练出了船舶柴油机燃烧技术领域的基础和热点科学问题。

关键词: 船舶柴油机; 燃烧技术; 预混合燃烧; 智能控制

中图分类号: TK421⁺.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2017)04-0007-07

Research on Combustion Technology of Marine Diesel Engines

Yang Zilong

(China Ship Research and Development Academy, Beijing 100101)

Abstract: An overview of research background and status of marine diesel engine combustion technology is presented, and the technology progresses are introduced in detail, such as new combustion concepts, exhaust gas recirculation (EGR), high-pressure fuel injection, turbo-charging and variable valve actuation, alternative fuels, and intelligent combustion control. Finally, the basic and scientific issues of marine engine combustion technology are concluded through relevant research and summary.

Key words: marine diesel engine; combustion technology; premixed combustion; intelligent control

0 引言

船舶作为经济发展和贸易全球化的主要载体, 同时也是世界能源消耗、排放污染和大气变暖的重要源头^[1]。解决这些问题, 使船舶在未来经济发展中承担更重要的角色, 核心是实现船舶柴油机燃烧技术的不断突破和进步^[2]。燃烧技术是船舶柴油机各项技术的交叉点, 因此燃烧技术的发展也成为了船舶柴油机技术发展的集中体现。本文研究了船舶柴油机燃烧技术的发展, 并结合多年来对船舶柴油机新技术的关注和思考, 展望未来船舶柴油机燃烧技术的发展方向。

1 船舶柴油机燃烧基础研究背景及现状

柴油机的燃烧过程是一个包含着复杂的物理和化学耦合变化的过程, 如湍流运动、燃油雾化和蒸发、混合气形成、着火及燃烧、污染物生成等, 至今仍难以被很好地理解和掌握。从燃烧方式来看, 长期以来, 人们都坚持采用将燃油在上止点附近才喷入到发动机缸内的燃烧策略, 整个燃烧过程可以被概括为预混合燃烧相和扩散燃烧相, 并以后者为主。之所以称为扩散燃烧, 就是由于燃烧速度以及放热率实际上是由燃油喷射及油气混合速率控制。一边喷一边烧的方式往往会导致火包油问题, 即喷雾液相贯穿距大于火焰浮起距离 (Lift-off Length)。在这种情况下, 火焰内部的高温浓混合气区会生成

收稿日期: 2017-03-05

作者简介: 杨子龙(1980-), 男, 高级工程师, 主要研究方向为船舶动力的顶层设计、系统集成、故障诊断以及联调试验等, E-mail: CSICYZL@163.com。

大量碳烟、一氧化碳 (CO) 等不完全燃烧的产物, 而这些物质又在火焰锋面氧化, 释放热量的同时生成大量氮氧化物 (NO_x)。这种喷雾扩散燃烧方式的固有特性, 导致传统柴油机的 NO_x 和碳烟排放存在最低极限。

对于中低速船舶柴油机, 其燃烧室容积是车用高速柴油机的几十倍、甚至过百倍, 一个循环投入的燃料量也是车用高速柴油机的几十倍甚至更高; 而喷射的油束所占缸内空间相对较小, 不同油束之间的最大距离比高速柴油机要大得多; 较低的转速又不利于缸内湍流运动的形成, 这些因素都不利于混合气的快速形成, 使得因喷雾扩散燃烧方式带来的 NO_x 和碳烟排放问题更为突出。此外, 相对于车用高速柴油机, 中低速柴油机须更加严格控制燃烧速率, 否则较长的滞燃期会导致压力升高率和最高燃烧压力变得非常高^[3]。所以, 开展船舶柴油机的燃烧研究难度要远远超过车用高速柴油机, 这也是船用发动机燃烧技术发展相对缓慢的一个原因。

针对柴油机传统扩散燃烧方式存在的固有问题, 国内学者在 20 世纪 80 年代提出了柴油机热预混合燃烧的概念^[2,4], 即所有燃料在着火前被喷入缸内, 形成比较均匀的混合气, 并在上止点附近被压燃, 以实现快速而充分的燃烧。只要有效地控制始燃量和着火提前角, 就能控制爆震、提高热效率^[4,5]。此后, 研究人员开始尝试从不同的角度探索预混合燃烧的实现方式, 并先后提出了 HCCI (Homogeneous Charge Compression Ignition, 均质充量压燃)、PCCI (Premixed Charge Compression Ignition, 预混合压燃)、PPCI (Partially Premixed Compression Ignition, 部分预混压燃)、RCCI (Reactivity Controlled Compression Ignition, 反应可控压燃, 也即低温预混合燃烧) 以及 JCCI (Jet Controlled Compression Ignition, 射流控制压燃) 等多种以“均质预混、低温燃烧”为核心特征的燃烧概念^[6,7]。但在船用柴油机燃烧研究领域相关技术的研究起步较晚。另外, 船舶柴油机先进燃烧技术及新燃烧概念的实现与应用, 也有赖于进气增压技术、配气技术、燃料喷射技术和电子控制技术的发展。

2 船舶柴油机燃烧技术发展

2.1 先进燃烧概念

船舶柴油机的缸内燃烧以扩散燃烧为主, 这种燃烧方式使船用柴油机获得了很高的热效率, 但由于扩散燃烧的固有特性, 在浓混合气区生成大量碳

烟, 而在火焰锋面因高温又生成大量的 NO_x , 导致 NO_x 和碳烟排放都很严重。随着近年来船舶发动机排放法规日益严格, 船用柴油机燃烧技术的发展进入一个新阶段, 对先进的低排放燃烧技术或概念的探索成为热点, 预混合燃烧和低温燃烧概念备受关注。

所谓柴油机低温燃烧, 就是通过对缸内燃空当量比—温度的耦合控制, 使混合气的状态避开 NO_x 和碳烟的生成区, 从而大幅降低 NO_x 和碳烟排放。低温燃烧可以粗略地分成两类: 低温预混合燃烧和低温扩散燃烧。低温预混合燃烧要求在着火之前制备相对均质的混合气, 其燃烧相位和速率与喷油定时无关, 受控于化学动力学, 燃烧时没有明显的火焰传播; 这种燃烧方式也称为均质预混合燃烧 (HCCI), 其较低的燃烧温度是通过采用非常稀薄的均质混合气 (燃空当量比 ≤ 0.5), 或采用 EGR 降低燃烧温度并控制着火相位实现的。

在预混合燃烧的概念下, 汽油机、柴油机甚至气体发动机出现了“分久必合”的趋势。基于预混合燃烧思想的新概念 PCCI、HCCI、PPCI、RCCI 和 JCCI 等的出现表明: 有望通过同一种燃烧方式来同时解决不同类型发动机在燃烧方面的瓶颈问题, 而预混合、稀燃、低温燃烧和可控着火相位等成为了关键词。

目前, 预混合燃烧技术已经开始初步应用于船用发动机^[8]。日本大阪气体工业在一台缸径 165 mm, 冲程 215 mm 的天然气发动机上应用了 HCCI 技术, 并研究了 HCCI 燃烧方式对船用天然气发动机性能和排放的影响。研究发现: HCCI 结合进气增压技术在提高发动机热效率的同时, 能够有效降低 NO_x 排放。

与低温预混合燃烧不同, 低温扩散燃烧的着火仍然是由燃油喷射来控制。着火时, 缸内存在燃空当量比大于 1 的浓混合气区, 因此也就存在扩散火焰, 燃烧速率受控于燃油空气混合速率, 其较低的燃烧温度是通过采用相当大的冷却 EGR 率、低压缩比以及推迟喷射定时等措施来实现的^[9]。

此外, 为控制缸内燃烧温度, 加湿燃烧技术在船用发动机上也得到了广泛应用。具体包括燃油加水乳化、进气道加湿空气、缸内直接喷水参与燃烧等方式。水的比热容较高, 可以有效降低缸内燃烧温度, 抑制 NO_x 生成^[10]。该种技术在 MTU 公司的 396 系列发动机和 MAN 公司的 12V 48/60、12V PC2-6 系列发动机上已得到应用, NO_x 排放可降低 25% ~ 50%, CO 排放可降低 40% 左右, PM 排放

最高可降低 80%。加湿后燃料着火受多种因素(加湿比例、温度、压力)影响,控制难度加大;同时,对材料的安全性及耐腐蚀、耐水性等有较高的要求,这也成为研究难点。

2.2 废气再循环技术

无论是低温预混合燃烧,还是低温扩散燃烧,废气再循环(EGR)都是不可或缺的配置,用来控制燃烧速率和燃烧温度。EGR 技术也是船用柴油机达到 IMO Tier III 排放标准的主要途径之一,采用 EGR 技术可有效降低 NO_x 排放。MAN 公司在其 32/44CR 系列船用发动机上采用了 EGR 技术,使其 NO_x 排放满足 IMO Tier III 法规,但由于减少了发动机的供氧量,导致颗粒物排放增加和比油耗上升。日本三菱将低压 EGR 系统应用于三菱 UE 柴油机上, NO_x 排放降低了 80%, 成功达标 IMO Tier III 排放限值,但燃油消耗率提高了 3%^[11]。

EGR 技术与进气增压、高压燃油喷射以及智能控制技术相结合能获得更好的效果。瑞士苏黎世联邦理工大学在一台 MTU 396 系列船用柴油机上,研究了 PCCI 燃烧方式结合 Miller 循环及 EGR 技术对发动机性能的影响,其部分排放试验结果如图 1 所示。可见,在低负荷下,只要氧浓度足够低,发动机可获得 NO_x 和碳烟近零排放;在中高负荷下,较低的氧浓度对于降低 NO_x 排放同样有效,但却会使碳烟排放急剧升高。这说明,低温扩散燃烧方式由于缸内浓混合气区的存在,在中高负荷下还是难以有效控制碳烟排放。而低温预混合燃烧方式,由于缸内形成了比较均质的稀薄混合气,将不会存在这个问题,但对全工况预混合压燃的点火正时和燃烧速率的控制仍存在一定困难,JCCI 燃烧方式是一条可行的解决途径。

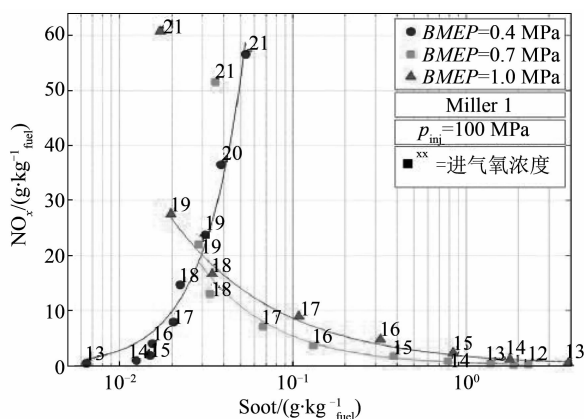


图 1 PCCI 模式下氧气浓度对排放影响

2.3 高压燃油喷射技术

燃油喷射、雾化特性是影响混合气形成和燃烧

过程的核心因素,在很大程度上决定了柴油机的动力性、经济性以及排放特性^[12]。因此,在柴油机技术研究领域早已将能够实现超高压燃油喷射和灵活的燃油喷射策略的电控高压共轨燃油喷射技术作为重点突破的关键核心技术。

实际上,对于船用柴油机而言,能够达到 IMO Tier III 的排放技术路线并不多,与 SCR 路线相比,采用 EGR 降低 NO_x 排放的方案会导致燃油经济性变差。但研究表明:当燃油喷射压力从 180 MPa 提高到 240 MPa 后,BSFC 明显降低;而当喷射压力继续升高到 300 MPa 之后,BSFC 进一步下降,如图 2 所示。从而有效解决了 EGR 方法在油耗方面带来的缺陷^[13]。

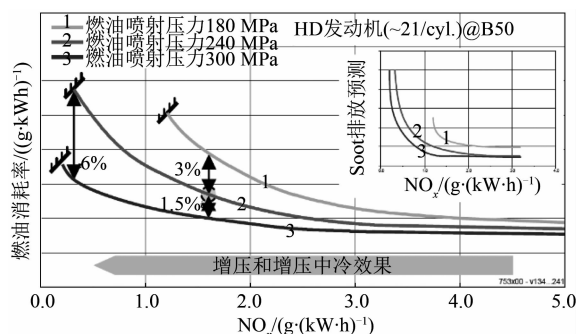


图 2 燃油喷射压力对 BSFC 的影响

此外,如图 3 所示,多次喷射在船用发动机全工况范围内被充分使用。多次喷射技术能够根据发动机缸内状态灵活控制喷油规律,配合强化的缸内涡流,获得油雾与空气更好的混合效果,提高缸内燃烧质量。预喷射能够有效控制噪声,而后喷射则对降低颗粒物排放有明显效果。

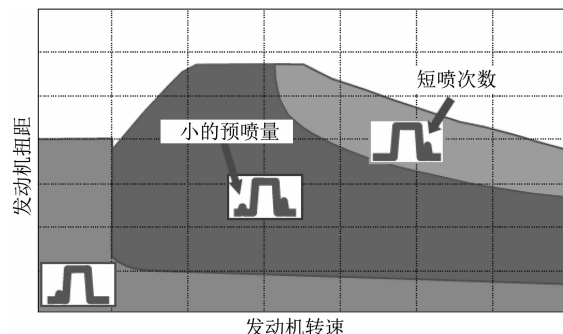


图 3 全工况平面内的燃油多次喷射策略

我国在船舶柴油机高压共轨技术领域起步较晚,经过一段时间的发展,目前已经从整体上建立了高压共轨系统设计体系的框架,可是研究的深度还不够,还没有形成具有自主知识产权的成熟产品。国际上船用柴油机高压共轨生产厂家主要有 L'Orange、Heinzmann、Bosch,商业化的共轨系统

最高喷射压力已达到 220 MPa。

Wartsila 和 L'Orange 合作开发出 W20、32、38、46CR 系列高压共轨燃油系统, 其中 W20CR 高压共轨系统采用齿轮传动的直列组合泵, 适用重油, 共轨最高工作压力 150 MPa, 油泵工作转速为 $800 \sim 3\,150 \text{ (r} \cdot \text{min}^{-1})$, 可以匹配多个系列机型。Heinzmann 提供的 ODYSSEUS 共轨燃油系统匹配具备控制、监测和诊断功能的数字式发动机控制系统 DARDANOS, 适用于不同大小的发动机以及不同的应用领域和各种燃油品质, 最高系统压力可达 220 MPa。

德国 MTU 公司和 L'Orange 公司从 20 世纪 90 年代年开始共同从事高压共轨系统的研发, 为了满足 MTU4000 系列 20 缸新机型的需要, L'Orange 公司第二代高压油泵采用机油润滑直列式结构, 在 140 MPa 压力下供油能力可达到 $32 \text{ (L} \cdot \text{min}^{-1})$, 目前该系统最高工作压力能达到 $180 \sim 200 \text{ MPa}$ 。

另外, 对于船用柴油机, 除了采用和车用柴油机相同的高压共轨系统之外, 还可采用如图 4 所示的模块化高压共轨系统 (Modular Common Rail System)。对于大型船用柴油机, 油轨及其附属系统会消耗大量成本, 因此这种模块化系统取消了传统的油轨结构, 而将油轨的体积分解到了高压油泵端和喷油器端。这样这个结构能够有效降低喷射压力波动, 实现更加精准、稳定的油量控制^[12]。

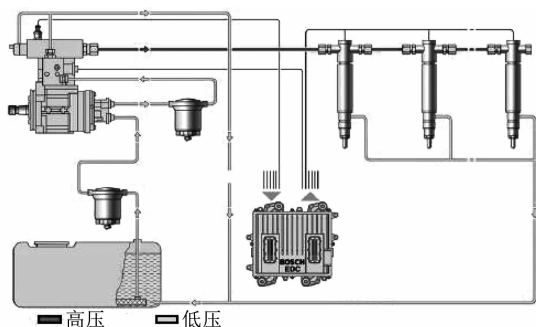


图 4 船用柴油机模块化高压共轨系统

目前, Bosch 公司已经将最新一代 MCRS-22 模块化高压共轨系统应用于船用发动机, 该系统能够实现最高喷射压力 220 MPa, 单缸 $100 \sim 350 \text{ kW}$ 的功率覆盖, 同时能够满足欧 4 的排放法规。FEV 公司也已经将 MCRS-22 系统应用于新一代 DM-185 系列柴油机上, 该系列柴油机能够满足 IMO Tier III 排放法规, 目前已广泛用于欧洲、俄罗斯等地的船用柴油机上^[14]。

2.4 进气增压及可变配气技术

升功率是衡量发动机强化水平的关键参数, 而

进气增压技术被认为是最直接的提高发动机升功率的方法之一。进气增压技术通过增加供气量, 提高了一定气缸容积下单个循环内可容纳的燃油量, 并提高了燃烧速率, 从而提高了升功率, 同时有效降低发动机油耗。目前, 船用发动机两级增压系统快速发展, 推动发动机强化指标不断提高。两级增压系统包括低压增压器和高压增压器, 应用二级增压系统极大地拓宽了增压系统的流量范围, 可以获得更高的进气压力, 从而提高发动机的动力性和适应能力。两级增压系统的一级压比可达到 $5 \sim 7$, 二级压比可达到 $10 \sim 12$, 而效率接近 75%^[15]。

日本 Yanmar 将两级增压系统应用于 6EY18ALW 中速柴油机上, 如图 5 所示。研究表明, 与单级增压相比, 二级增压最多可以减少 $5 \text{ (g} \cdot \text{(kW} \cdot \text{h)}^{-1})$ 的燃油消耗率^[16]。

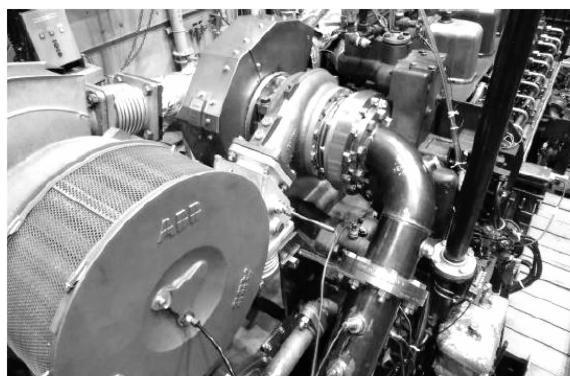


图 5 6EY18ALW 发动机两级增压系统

MAN 35/44G TS 船用气体发动机上也采用了两级增压系统, 比单级增压充气效率提高 10%^[17]。

Wartsila 将两级增压系统应用在 Wartsila W20V32TS 和 Wartsila 31 发动机上。试验表明: 两级增压技术能够有效提升发动机功率输出以及发动机效率^[18]。下一阶段, 可变几何截面涡轮增压技术和涡轮增压系统在部分负荷的效率匹配优化将成为研究重点。目前, 日本三菱公司基于可变几何截面涡轮技术优化了低负荷下的增压器效率, 提高了发动机的燃油经济性^[19]。

除了进气增压技术, 可变配气技术对于船用发动机性能的影响也非常显著。传统的发动机可变配气系统通过改变凸轮轴的位置来调整气门开启时刻、开启持续角和气门升程等参数, 这样的系统结构简单、可靠, 但是难以满足发动机全工况性能优化的需求。因此, 新的技术取消了传统的凸轮轴结构, 通过采用电磁装置或电液装置来驱动气门, 配合全工况范围的匹配标定, 使 ECU 能够及时根据

转速和载荷需求来快速调整气门正时和升程,如图 6 所示。电磁装置配气机构的优点是结构简单、响应快,但尺寸大、耗能高、落座冲击大,现阶段船上大多采用电液装置驱动,利用电磁阀控制高压液体流入和流出控制室来实现气门驱动。

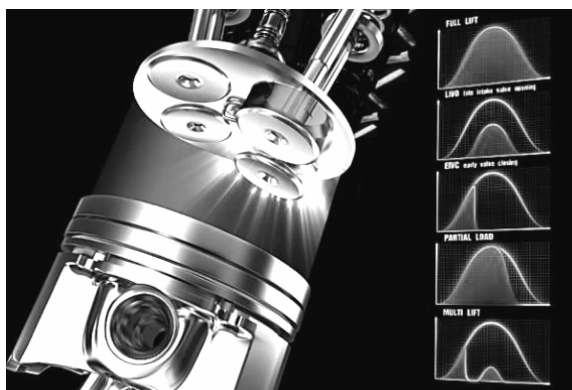


图 6 可变配气示意图

欧洲 HERCULES 计划也针对可变配气正时开展了大量研究。研究表明:两级增压配合可变配气正时技术能够有效提高发动机各项性能^[20];如果采用可变几何截面涡轮增压技术则能够使涡轮增压发动机在高低转速下都能保证良好的增压效果,从而进一步提高发动机性能。

另外,对于船用发动机,高增压、可变配气技术与米勒循环(Miller cycle)相配合,或将成为提高发动机效率、改善排放特性的有效措施。Wartsila 在 W20L6 发动机上通过采用该方法将 NO_x 排放降低了 40%,同时油耗也有所改善。而 MAN 公司则将以上技术在 32/44CR 发动机上充分运用,通过采用两级增压和米勒循环,同时结合可变配气正时和可变几何截面涡轮增压技术,使该款柴油机的 NO_x 排放和油耗分别降低了 30% 和 6.7%^[21]。

2.5 先进燃料技术

可以使用高黏度重油是船用柴油机在传统柴油燃料方面与车用柴油机的主要区别。近年来,对于新能源的利用也成为船用发动机领域的研究热点^[22]。

天然气作为一种储量丰富且高效、清洁的能源,成为船舶发动机替代燃料的首选。目前,已投入使用的船用替代燃料发动机可分为柴油/天然气双燃料发动机和天然气单燃料发动机。与原柴油发动机相比,天然气发动机在排放方面具有明显优势, SO_x 和 PM 基本实现零排放,同时,通过优化控制也可以使 NO_x 排放得到有效抑制。

目前,国外开展船用天然气发动机研究的机构主要有 Caterpillar、Waukesha、GE Jenbacher、

MTU、Wartsila、MAN 等。通过结合分层燃烧、两级增压、空燃比动态控制、可变气门正时、可压缩比等技术,高水平船用气体燃料发动机可以满足 IMO Tier III 排放法规要求,热效率在 45% 以上。如 Yanmar 26L 发动机的热效率达到 47.6%,Caterpillar G20CM34 发动机的为 48.9%。目前针对天然气发动机的研究工作主要集中在燃气喷射、着火稳定性、稀浓燃烧界限、甲烷排放控制等方面;同时,天然气发动机的热负荷及改善润滑条件,燃料补给及本质安全等也是重要的研究内容。图 7 所示为天然气发动机有效运行界限,说明精确的当量比控制是实现高 BMEP 的基本要求。

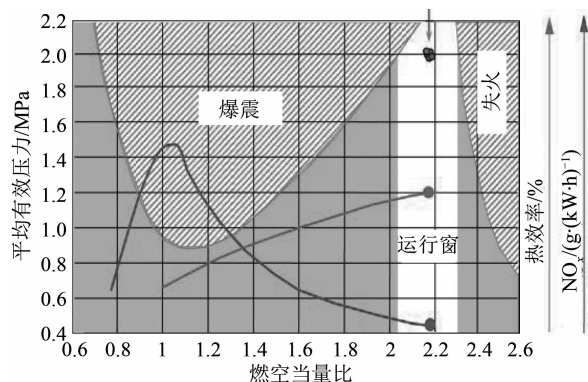


图 7 气体燃料发动机有效运行界限

另外,甲醇等新兴燃料也在船舶发动机上得到了应用^[23]。Stena Line 研发了全球首艘甲醇动力船“Stena Germanica”号。研究表明:与目前的燃料相比,使用甲醇作为动力能够使硫排放降低约 90%, NO_x 排放降低 60%,微粒排放降低 95%, CO_2 排放降低 25%。欧洲 HERCULES-2 计划也将提高燃料多样性作为重要研究目标,相关研究主要集中在丙烷、甲醇、乙醇等燃料的详细化学反应动力学模型开发^[20]。

2.6 智能燃烧控制技术

排放性和经济性的双重压力同样促进了船舶发动机控制系统向复杂化、精细化的方向发展。船舶发动机的控制将由单一目标控制转变为多变量多目标控制,由原来的稳态控制转变为瞬态控制。为了优化瞬态工况性能,改善发动机动态工况响应,必须考虑发动机燃油、燃气、空气等控制回路之间的耦合特性,以及各系统自身各个参数的耦合特性。因此,无论是对于传统的燃烧模式,还是预混合压燃模式或双燃料气体燃烧模式,都须要基于模型的控制技术(Model-Based Control)来支持^[24]。通过对曲柄转角信号、温度、压力及进、排气流量信号的采集和识别,然后经一维多区燃烧模型实时计算

分析,实现对缸内工作过程及发动机状态的快速预测;以此为基础,进行多参数优化实时控制,对下一工作循环进行前馈调节,提前调整相关参数,使缸内燃烧过程实现智能化控制。通过综合考虑功率、油耗、排放以及零部件热负荷及结构强度等因素,实现发动机缸内的最佳燃烧路径选择及发动机性能最优控制。图8为基于传感器的船用发动机智能燃烧控制系统示意图^[13]。

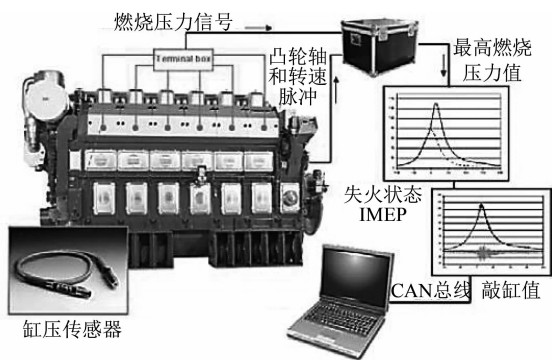


图8 基于传感器的船用发动机智能燃烧控制系统

美国 Caterpillar 公司基于 G20CM34 气体发动机开发了先进的智能燃烧控制系统,能够根据缸压信号调整各缸控制参数,实现各缸平衡控制,有效避免了敲缸、失火等不正常燃烧现象,并使 NO_x 排放降低 10%^[25]。

日本 Yanmar 公司也成功开发了基于节气门等关键部件的发动机智能燃烧控制系统,并应用于 LW-26 天然气发动机。该系统能够改善缸内空燃比控制的瞬态响应特性。试验结果表明:纯气体发动机相对于柴油机, NO_x 、 SO_x 、PM、 CO_2 等排放均明显下降,如图9所示^[26]。

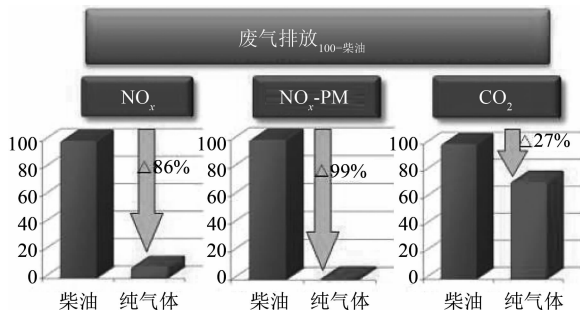


图9 EYG26L 发动机不同工作模式排放对比

3 柴油机燃烧技术研究中的关键科学问题

综上所述,各种先进燃烧技术的应用,推动了船用发动机性能的不不断提升,同时也使得发动机缸内的物理化学变化过程更加复杂。为满足未来可能

出现的更高的性能和排放指标要求,须要深化对船用柴油机在这些复杂条件下的燃烧机理的认识,以期提出新的燃烧技术路径及相应的控制策略。

笔者认为,目前船舶发动机燃烧技术领域亟待解决的核心基础科学问题包括:预混合燃烧着火相位及燃烧速度控制;高温、高压环境下超高压燃油(包括重油)喷射及混合气形成、浓度与组分分布特性;跨临界/超临界燃料喷雾混合过程的机理;多次喷射及多喷射率模式的柔性喷射策略;燃气喷射、混合及着火稳定性;天然气发动机高低工况扩展及甲烷排放控制;多燃料燃烧模式切换控制;多组分燃料燃烧化学反应动力学耦合机理;燃烧过程瞬态产物生成及控制机理;基于模型的实时缸内燃烧过程智能控制以及多变量多目标控制及最佳燃烧路径选择。

参考文献

- [1] 杨子龙. 船舶柴油机颗粒物排放法规及控制技术发展[J]. 柴油机, 2016, 38 (6): 1-5.
- [2] 胡国栋. 柴油机燃烧研究的展望[C]. 全国大功率柴油机学术年会论文, 1981.
- [3] 刘涛, 纪军, 卫海桥, 等. 先进发动机燃烧基础研究的进展和关键科学问题[J]. 中国科学基金, 2014 (1): 20-25.
- [4] HU G D. New strategy on diesel combustion development[C]. SAE Paper 900442.
- [5] XU H M. Present and future of premixed compression ignition engines[J]. Journal of Automotive Safety & Energy, 2012.
- [6] LONG W Q, ZHANG Q, TIAN J P, et al. A study of combustion phasing control and emissions in jet controlled compression ignition engines[C]. SAE Paper, 2014-01-2671.
- [7] ZEHNI A, SARAY R K, POORGHASEMI K. Numerical comparison of PCCI combustion and emission of diesel and biodiesel fuels at low load conditions using 3D-CFD models coupled with chemical kinetics[J]. Applied Thermal Engineering, 2017, 110: 1483-1499.
- [8] YOSHITANE T. Impact of different combustion methods on performance and exhaust gas composition of natural gas engines[C]. CIMAC 2016, Paper 170.
- [9] 隆武强, 冷先银. 柴油机燃烧探索[J]. 柴油机, 2010, 32 (3): 1-7.
- [10] KOOK S, BAE C, MILES P C, et al. The influence of charge dilution and injection timing on low temperature diesel combustion and emissions[J]. Society of Automotive Engineers, 2005, 114 (2): 776-4841.
- [11] UEDA T. Development of low pressure exhaust gas recir-

- culation system for exhaust gas emission control of mitsubishi UE diesel engine [J]. Journal of the Japan Institute of Marine Engineering, 2015, 50 (6): 726-730.
- [12] WIARTALLA A, RUHKAMP L, ROSEFORT Y, et al. Future emission concepts versus fuel quality aspects-challenges and technical concepts [C]. SAE Technical Papers 2011-01-2097.
- [13] CHRISTOPH K, PETER M, MARTIN B, et al. Large engine injection systems for future emissionLegislations [C]. CIMAC 2010, Paper 50.
- [14] MUTHER M. UDMZ's new DM-185 diesel engine family [C]. CIMAC 2016, Paper 93.
- [15] CUI Y, HU Z L, DENG K Y, et al. Miller-cycle regulatable, two-stage turbocharging system design for marine diesel engines [J]. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 2014, 136 (2): 1-10.
- [16] FUKUI Y. Development of low fuel consumption technology for medium speed diesel engines [C]. CIMAC 2016, Paper 148.
- [17] AUER M. MAN Diesel & Turbo SE's medium speed gas engine portfolio- a modular matrix design [C]. CIMAC 2016, Paper 163.
- [18] KESGIN U. Efficiency improvement and NO_x emission reduction potentials of two-stage turbocharged miller cycle for stationary natural gas engines [J]. International Journal of Energy Research, 2005, 29 (3): 189-216.
- [19] VAN NIEUWSTADT M J, KOLMANOVSKY I V, MORAAL P E, et al. EGR-VGT control schemes; experimental comparison for a high-speed diesel engine [J]. IEEE Control Systems, 2000, 20 (20): 63-79.
- [20] KYRTATOS N P. From Hercules A-B-C to Hercules-2: cutting edge R&D in ship engines [J]. Transportation Research Procedia, 2016, 14: 1581-1590.
- [21] TINSCHMANNA G, HOLAND P, BENETSCHIK H, et al. Potential of two-stage turbocharging on MAN Diesel's 32/44 CR [J]. MTZ worldwide, 2008, 69 (10): 14-21.
- [22] ARMAS O, YEHILU K, BOEHMAN A L. Effect of alternative fuels on exhaust emissions during diesel engine operation with matched combustion phasing [J]. Fuel, 2010, 89 (2): 438-456.
- [23] STOJCEBSKI T. Operation experience of world's first methanol engine in a ferry installation [C]. CIMAC 2016, Paper 99.
- [24] JOHANSSON R, TUNESTAL P, WIDD A. Modeling and model-based control of homogeneous charge compression ignition (HCCI) engine dynamics [J]. International Journal of Adaptive Control & Signal Processing, 2010, 402 (5): 89-104.
- [25] WOLFGGRAMM M. G20CM34-A highly flexible 10 MW gas engine concept [C]. CIMAC 2016, Paper 27.
- [26] HAGIWARA R, OHASHI I. Development of pure marine gas engine (EYG26L) [J]. Journal of the Japan Institute of Marine Engineering, 2015, 50 (6): 719-725.

WinGD 寻求合作者以推进发动机诊断系统研发

WinGD 公司已与 Propulsion Analytics 签署了一项合作协议, 开发应用于二冲程发动机的先进诊断系统。该系统可实现视情监控、预测维护以及性能优化。

该系统能实时获取和分析发动机及其子部件的性能和运行工况数据, 并向船员提供现场故障定位和诊断建议。同时基于整个航程负载曲线, 将上述数据用于性能改进, 船东诊断和故障定位, 以及整合维修计划和备件采购。如果需要, 该系统可通过安全存储的数据连接航运业的利益相关者, 实现船队比较。该系统还可为船舶公司和船员提供一个虚拟的互动学习工具。

WinGD 运营副总裁 Andrew Stump 指出: “通过数据的实时采集以及船舶公司船舶间的数据交换, WinGD 的新型发动机诊断系统将成为二冲程发动机用第一个不仅监控和优化性能, 而且还将跟踪发动机关键组件状况的产品。它将能够预测未来的故障并进行故障检修, 为船舶公司预防故障发生提供支持, 并更快更经济地解决技术问题。”

WinGD 研发副总裁 Dominik Schneider 补充道: “与 Propulsion Analytics 的合作将帮助我们实现在航运数字化领域领导创新的雄心, 首先重点关注二冲程发动机, 这是我们的核心专长, 然后扩大到整船机械和智能船。”

船舶监测专家 Propulsion Analytics 公司将开发一种软件, 该软件用于处理和评估数字控制、监测和诊断系统中从发动机传感器收集来的数据。“发动机诊断系统是业界一直期待的产品。” Propulsion Analytics 首席执行官 Panos Theodossopoulos 说。

该系统的样品预计在 2017 年年中推出, 预计于 2018 年在 WinGD 范围内全面覆盖。

(白春艳 编译)