

综 述

船用大功率柴油机许可证制造技术创新的关键

姚 辉¹, 黄锦星²

(1. 七一一研究所, 上海 200090; 2. 海军驻七一一研究所军事代表室, 上海 201108)

摘 要: 通过分析与国外技术的差距, 指出引进许可证技术的船用大功率柴油机国产化工程中的三大关键技术环节和相关的信息管理问题, 已成为制约我国船用柴油机产业持续发展的瓶颈, 据此提出解决的方案 and 对策: 国产化工程必须突出重点, 抓住关键环节, 开展技术创新。

关键词: 引进许可证技术; 船用大功率柴油机; 关键环节; 技术创新

中图分类号: TK421 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2010)02-0001-06

Key Points of Innovation of Licence Manufacturing Technology for Large Power Marine Diesel Engine

Yao Hui¹, Huang Jinxing²

(1. Shanghai Marine Diesel Engine Research Institute, Shanghai 200090;

2. Naval Deputy Office of SMDERI, Shanghai 201108)

Abstract: The technology of large power marine diesel engine in our country is backward compared with some foreign countries. And it is pointed out that the three key points in domestically manufacturing of licenced diesel engines and information management are becoming the bottleneck which restrict the sustainable development of our country's marine diesel engine industry. The solutions are given that domestically manufacturing should highlight the key points and carry out technical innovation.

Keywords: licenced technology; large power marine diesel engine; key points; technical innovation

1 引 言

船用大功率柴油机(以下简称船用柴油机)许可证技术的引进, 解决了船用柴油机技术高起点研制的问题。二十余年的持续发展, 提升了我国船用柴油机的技术水平, 建立了相当规模的研发能力。

但分析我国船用柴油机的现状发现, 在许可证技术引进后的自主创新能力却比较弱, 表现为: 产品质量与进口的有差距, 曲轴、机体、缸套、活塞和连杆等零件的综合性能没有达到原型机的要求, 新机型开发进展缓慢; 研制产品的国产化率很高但工程产品配套还需进口; 各种类型的泵以及相关的系统可靠性较低; 涉及核心技术的部分零部件始终没有得到突破。由数字式电子调速器、电磁阀、喷

嘴和 ECS 等关键性核心部件组成的高端电子控制燃油喷射装置(不在许可证范围)的市场被国外牢牢垄断; 国产柴油机动力系统的配套技术水平和应用水平相对较低; 关键项目的国产化不断需要科研费来支持等。尽管有不断更新的许可证技术支持, 但引进许可证技术的制造企业对国外同行根本无法构成威胁, 也无法应对外部市场环境恶化带来的挑战。

随着船舶配套技术飞速发展, 国际上一些著名的柴油机公司已有大量新的科技成果, 更新并建立了新的设计理念, 如模块化设计技术、高效率增压技术、高压燃油喷射技术、燃烧和排放优化控制技术、智能化控制技术等, 推出的新概念机型甚至已用于实践。在这种形势下, 我国船用柴油机也面对

收稿日期: 2009-05-04; 修回日期: 2009-09-09

作者简介: 姚辉(1973-), 男, 高级工程师, 主要研究方向为动力装置, Email: yaohui@csic-711.com。

发展机遇和严峻挑战并存的局面。船用柴油机行业策划的技术发展重点方向是：智能型电控技术、高压共轨燃油系统技术、减振降噪技术、大功率高增压柴油机相继增压技术、高可靠性模块化设计技术、以大功率柴油机为原动机的发电模块技术等。但目前对许可证技术的国产化还有未完成的关键环节，这些关键环节将牵制我国船用柴油机技术的研发。

对船用柴油机许可证技术引进后的研发工程，必须建立核心价值观念，突出重点、开展技术创新，抓住发展的关键环节，最终完成发展关键自主技术，开发出可参与国际竞争的机型。船用柴油机许可证技术引进后，单纯追求高国产化率可能是一个误区。为了提振船用柴油机技术水平和制造质量，不受制于人，识别核心技术，抓住关键环节是必须的。

本文指出了国产化船用柴油机的技术差距，分析引进许可证技术的船用柴油机要抓住的三大关键环节和与之相关的信息管理问题，提出在技术创新中要突出重点思路和解决对策，以引起业内人士的思考。

2 制约船用柴油机发展的关键问题

船用柴油机制造技术是国家科技实力和工业基础的集中体现。引进许可证技术的国产化研发同样涉及热力学、动力学、机械制造、冶金学、电子学以及自控理论等学科，又综合材料、工艺、制造和质量管理等现代工业技术，这些学科和技术的整合是一般船用柴油机制造企业所难以胜任的。所以，我国船用柴油机产品水平落后主要有三大技术方面的差距以及相关的质量管理问题。

2.1 零部件材料应用技术

当前普遍认为国外的冶金质量控制得较好，是我国按许可证技术生产的船用柴油机的性能、可靠性、经济性、排放等同国外同类产品存在差距的主要原因。主要表现在：1) 机体、气缸盖、传动件本体、进排气管等壳体件的承载性能差；2) 曲轴、连杆等运动件的寿命短，传动件的装配互换性、传动平稳性较差；3) 活塞易裂纹掉块，活塞环密封不严、寿命短、易断，气缸套耐磨性差，轴瓦易剥落；4) 进、排气门寿命短，阀座可靠性差、易磨损；5) 喷油器性能差、寿命短。喷油泵柱塞易卡死，滚轮易磨损；6) 增压器易漏油，轴承性能差，压气机转子和涡轮叶片寿命短；7) 调速器性能差、技术水平低，安保装置可靠性差；8) 油封等密封

件寿命短，橡胶(密封)件易老化。对以上逐项分析发现，原因基本都是在国产化过程中对材料和工艺技术运用得不好而造成，或者说零部件的设计不满足船用柴油机相对苛刻的使用要求，如柴油机零部件(或模块件)，尤其是燃烧室配套件同时承受着高压冲击、热负荷和机械负荷的影响，国产件往往只考虑单方面的性能，使得在高温(或低温)下的抗冲击、抗疲劳的能力较差。

又如某型柴油机高压油泵传动轴在使用过程中经常发生一端在螺纹处疲劳断裂，查轴的硬度、化学成分和金相组织均符合图纸技术要求。多次故障后发现该传动轴的冲击吸收功较低，在传动系统同轴度较差的情况下，传动轴在运动时相当于受到了冲击，而图纸对冲击吸收功没有提出要求，此时较高的冲击功对该轴抵抗冲击的能力尤为重要。这就要求企业在满足规定硬度的前提下，掌握提高材料冲击吸收功的热处理工艺技术。该实例从另一个侧面说明制造厂忽视了由于系统传动精度变差而需要提高轴的抗冲击及抗疲劳能力，导致系统同轴度差的直接原因是加工设备资源无法满足技术要求。

又如运动摩擦副的性能、可靠性和使用寿命影响着整机的水平和寿命。这些技术的基础是大量新材料的运用，以及围绕材料性能开发应用的新技术和新工艺。如某型柴油机挺柱的材料为铸铁，挺柱与凸轮结合的铸铁表面为白口组织加氮化后发蓝处理，该工艺的复杂性使得国产化工作屡屡失败。其实调查该机的发展历史就可得知该挺柱为早期的设计，待该型机扩缸发展后该挺柱材料即改成合金钢。

受到冶炼水平等因素的影响，目前船用柴油机行业普遍使用的原材料质量状况不尽人意。也由于进货渠道不同，使原材料的质量有较大波动，给零件的综合性能和变形控制带来难度。材料应用技术除了材料强度和其他性能外，还包括材料的热处理、表面处理，内应力检测和消除，发生故障后零件的失效分析，材料应用标准的制定等。材料应用技术影响船用柴油机性能和可靠性的主要原因是：

(1) 对新材料、新工艺的确认采用专家评审的办法局限性太大。如离心浇铸高磷铸铁缸套的内应力控制方法、检测标准等，许可证方都有规定，但制造方的执行力度较差。又如通过提高各环节的均匀性来减小齿轮和轴渗碳淬火后变形涨大问题，也提高了零件装配互换性和减少柴油机噪声振动的问题。在这些问题方面专家评审实际上成为一种形式。

(2) 由于金属材料化学成份波动较大,有害夹杂物含量高,偏析严重,给零件加工后的性能和变形控制带来困难。而国产化中对材料代用的原则是“以优代劣”,往往只考虑某一项指标是否达标,而忽略了综合性能的满足。如某型柴油机机体和气缸盖,因其材料铸造性能和综合强度的矛盾突出而导致报废率高,很难达到外方提出的要求。用常规的沙模铸造形式只能降低材料的性能,使缸头的性能质量始终达不到进口件的水平。

(3) 与材料有关的热处理技术、表面处理技术和应力消除技术等工艺发展得很快,如表面强化处理就有高频淬火、电镀、热渗、喷涂、滚压等,但相应的实施标准却没有。某型柴油机强力螺栓和螺母的螺纹标准就没有相应的标准,代用的螺纹技术要求不能满足原图纸要求。

(4) 对柴油机故障零件的失效分析和评价能力较弱。利用对材料性能(元素成分、机械性能、电镜扫描、断口分析、表面元素能谱等)的测试开展相关部件的失效分析,判断柴油机故障成因以便采取纠正及预防措施。而柴油机制造单位在这方面的分析评价能力普遍都比较弱。

(5) 柴油机配套件多不属于许可证技术的范围,如燃油系统(三大偶件)、增压中冷系统、活塞、轴瓦、气门(阀座)甚至波纹管等,对这些配套件的国产化要求在行业上没有规定,在研制的过程控制方面也不尽相同,但都和材料技术有关,需要有行业的统一标准。

因此,在国产化过程中对材料和工艺技术要加强运用研究,使零部件的设计满足船用柴油机的使用要求。开展柴油机材料技术方面的研究,实际上就是柴油机可靠性设计技术、摩擦磨损技术、故障分析诊断技术等方面的研究。

2.2 智能化电子控制技术

传统的柴油机利用凸轮来控制喷油和进排气过程,只能使柴油机在某一点工况下实现性能优化再兼顾其它工况。当柴油机因工况、外界环境、燃料特性和机械磨损(由凸轮型线决定的喷油定时、喷油速率、配气定时、气门时面值等)改变时,性能就会变差。柴油机电子控制装置能够根据工况变动灵活选择喷油模式,如主喷射、预喷射和后喷射等,能够灵活调控喷油正时、喷油存续期和喷油压力,达到参数柔性可调,使柴油机从怠速到额定工况甚至换向、停车都以优化的喷油特性运行。由于用电子控制喷油压力和喷油模式,所以电控柴油机具有良好的经济性和排放特性。目前,在按许可证

技术制造的船用柴油机中,除了部分低速机外,尚未有电控中高速柴油机产品见诸报道。

在电控柴油机中,燃油喷射电控技术是核心中的核心,它涉及到硬件生产和软件控制策略。国外柴油机的电控装置基本都是由专业公司研制,然后与柴油机制造公司配套的。在船用柴油机引进许可证技术中,电控技术基本都不属于引进的范畴,事实上生产供应仍为外商垄断。我国引进许可证技术后,研制开发电控装置的多为科研单位和院校,研究的单位和参与的人员很多,但工程化应用效果很差,其中电子控制系统(ECS)、电子调速器设计技术、电控泵、柴油机运行电子管理系统等仍处于研制阶段,燃油共轨喷射系统则是空白。如研究多年直至最近才用于工程的某型柴油机 ECS 系统,采用了信息实时交换和状态逻辑判断技术,实现主、备控制系统的平稳切换,提高了系统的可靠性;采用了可编程逻辑器件,解决了机旁操作箱多任务、逻辑复杂的技术难题,开发了多功能对话单元软件,实现控制参数、控制算法的在线实时修改,以及运行数据的实时读取及分析;执行器和传感器采用双线圈冗余设计技术,提高了系统的可靠性。但结论是仍希望能配机试验以进一步优化控制参数,可见距离实用仍有差距。

电控装置除了技术复杂、制造难度大外,另一个难题就是装置的试验和验证。受装置自身特点的影响,研制单位往往不具备试验验证的资源且无法建立健全相关的数据库,在调试过程中只能在模拟系统中或者在系统模拟过程来验证设计,确认效果,即使是对系统的比例增益系数、积分时间常数及微分时间常数也只能通过反复的调整方可获得最佳的调节品质。

只有攻克柴油机的电控装置,提供多种数据通讯接口,才能开展集运行工况、主要零部件工作过程的检测与控制、自动记录及处理为一体的运行控制系统的研制,或集运行维修、保养为一体的电子管理系统的研制,实现船舶自动化、信息化和智能化管理。

2.3 柴油机整体性能的动力系统集成

柴油机的发展,就是要提高整体性能并在各类工况下的适应性。一般来讲引进许可证技术的柴油机类型比较单一,并非能覆盖系列机型的应用领域。由于涉及到整机或主要零部件的外方认可问题、装机的国产化率问题、重要配套件(特别是非许可证技术范围)的采购问题等因素,都将影响柴油机的整体交付状态,导致国产化的机型达不到进

口机的水平,且在此基础上很难开发出新型船用机型。

目前正在开展研究的内容是:通过强化措施提高 p_e 值的提高单缸功率技术、船用柴油机动力系统总体匹配设计技术、模块化设计研究、柴油机动力系统集成优化仿真技术研究等。但是,试验验证所需的资源耗资甚巨、代价太大。国外船用大功率柴油机采用高科技研发的经验值得我们借鉴,如有关高增压系统设计、燃烧模式的确定和结果改进、排放和燃油消耗的优化、零部件热负荷优化的热力设计等工作均采用模拟计算,然后设计单缸机进行性能试验验证的方法。对零部件强度的评估在初期阶段完成,长期性能测试在单缸机上进行,这样使得新型机有关研发的分析、设计和试验工作能够在短期内完成,所有的研究工作都基于原型机所取得的经验和成果。但这种科研模式对我们有很大的局限性,因为是引进许可证技术,科研工作不具备延续的特点。如我们采用虚拟样机仿真技术,用 ADAMS 及 Pro/E 和 ANSYS 等支撑软件实现曲轴连杆机构的动力学仿真,获取仿真模型的动力学特性数据;采用 I-DEAS 软件建立有限元分析模型,对柴油机的自由模态进行计算,得到其固有频率和振型,再确定所受的激励力进行动态响应分析计算,获得各阶模态的响应函数,利用 ATV 技术求解柴油机表面辐射噪声。这对提高许可证技术制造的船用柴油机制造质量,其作用是有限的。

目前,船用柴油机动力装置正在发生巨大的变化,各类推进装置不断涌现,为新型船舶和特种船提供多元化的推进方案,如大功率喷水推进装置以及吊舱推进器、综合电力推进、联合(柴-柴)推进等。综合电力推进中柴油机为发电机组原动机,按负荷特性运行,推进电机的负载由机组承担,存在多机组并联运行及功率分配的问题;而在柴油机-柴油机联合推进系统中,由并车齿轮箱将两台柴油机动力并联后,通过液力耦合器后由齿轮箱单轴输出,柴油机按螺旋桨特性运行,同样也有并联、解列和负载分配的问题,其中柴-柴联合动力装置的控制涉及到交替使用的柴油机切换或者共同使用柴油机的并车问题,与发电机组的并联运行及功率分配从控制形式和方法上都提出了新的要求。又如带可变螺距螺旋桨运行的推进柴油机和带水泵运行的推进柴油机的限制特性有所不同,目前这些方面的研究都相当缺乏,并缺少相关的标准,加上柴油机设计人员顾及不到动力装置性能的发展;而动力装置总体设计也不熟悉柴油机的强度以及潜力,

很难在许可证技术制造的船用柴油机基础上开发新用途的机型。

2.4 柴油机发展的管理信息技术

信息是质量管理体系有效运行的重要资源之一,也是以事实为决策依据的质量管理原则应用的基础。在 1987 年 6 月发布的《军工产品质量管理条例》第九章质量信息管理中,对包括柴油机在内的船舶设备研发的质量信息规定如下:“承制单位应当具备研制、生产、检验、试验、使用服务等全过程的记录;承制单位应当制定质量、可靠性信息的收集、传递、处理、贮存和使用的管理办法。”这就要求承制单位在《质量手册》中明确规定:信息包括与产品有关的各种信息,包括产品的符合性(产品与图样、工艺和生产方式的符合性)、作业指导书的执行情况、有关产品和制造过程改进的合理化建议;也包括与管理有关的各种信息(生产、技术、质检、财务、经营等管理的动作情况和实施效果,以及提高有效性和效率的建议等)。船用柴油机按许可证技术生产的过程也就是产品实现过程,其实包含着过程控制和信息流通两个方面。将其中的信息分成外部信息(认证、审核、顾客反馈;政策、法律法规;市场、开发、新技术;国内外行业动态)和内部信息(体系运行;不合格审理;纠正和预防;成果、改进意见)就非常清晰了。船用柴油机产品质量信息应保持与顾客的沟通,内容主要是与质量管理体系有关的各种信息,包括顾客要求、法律法规要求、顾客满意程度、系统运行过程中接口处的衔接与协调、质量目标完成情况及实施的有效性等。按许可证技术生产的船用柴油机质量管理的特点也是基于事实的决策方法,因为管理的关键是决策,有效的决策是建立在数据的信息分析的基础上。决策过程的输入是信息或数据,充分而可靠的信息和数据是决策的基础;输出是决策的方案,往往在决策过程中会从不同的方案中进行选择,而这种选择是对多个因素做出权衡和比较的结果。

多年的实践发现了一个不容忽视的事实,即传统人工方式的质量控制模式已经无法在产品研制的全生命周期中进行有效的协调和控制,产品质量信息逐级反馈、逐级确认、逐级汇总、逐级上报的信息传递模式已经不能满足现阶段的质量控制及生产进度要求,特别是相关的数据几乎是在呈爆炸式的增长。我们讨论的船用柴油机系统研发中的核心技术和关键环节,在制造单位相关的数据应用有限,部分已形成了所谓的“信息孤岛”。如可以通过监

测和分析零件的材料来对故障的机理做出判断,但问题却是柴油机的专业人员对利用、分析和解释有关数据的能力有限,必须藉以更为高效的技术手段来辅助质量管理中信息沟通模式的改进与提升。总之,需要利用现代信息化手段,通过提高各个环节的工作质量并进行有效的整合,在引进许可证技术的基础上以实现保证产品质量的目的。

3 克服船用柴油机发展中关键问题的思路

船用柴油机引进许可证技术国产化的特点是组成复杂、系统庞大、构件量多、生产周期长、经费投入大;几种不同的专业学科交织在一起互为影响和制约,给研制、试验和验证工作带来困难。如燃烧技术和发展高温材料、高压电控喷射与密封技术、自动控制在新型配套环境下的应用、高 p_c 的措施与可靠性技术等。对这种复杂系统工程创新原则是:在引进技术国产化研制消化吸收的基础上,实现大部分继承和少部分创新相结合,在关键核心技术上进行创新;要突出重点,向综合性应用方向发展,形成综合集成的创新;开展消化研究,狠抓关键环节,提高可靠性和寿命。

3.1 采用新材料新工艺新技术

许可证技术的明显标志就是材料应用合理,工艺满足设计要求,大量采用新型材料,以及更可靠的铸锻造、机加工新工艺。做好这一点首先要理解材料的特性,严格按照科研程序来研制新材料,确认新工艺。新材料的研制,不能一概采用“以高代低、以优代劣”的原则;材料的表面处理,内应力检测和消除,应制订新的标准。如控制合金钢的冶金质量,除提高材料纯净度、减少杂质含量、均匀晶粒度、减少以氧化物为主的夹杂物外,还应包括:钢材成分控制与纯净度、淬透性带控制、带状组织控制、锻坯的预先热处理等温正火及组织的均匀性,冷加工应力消除等方面。

例如,从渗碳淬火传动齿轮各部位冷却速度、组织及硬度状态的比较确定各部位(表面、过渡区、心部)冷却速度差别和其组织转变的不同特性,进而查出传动齿轮变形的主要原因。通过提高冷却速度的均匀性(包括提高回火过程、淬火油冷却特性、金相组织差异与冷却等环节的均匀性)来减小传动齿轮渗碳淬火后的变形。

加强对材料性能的研究,结合零件的失效分析,判断柴油机故障。如氢脆现象导致的断轴故障在船用柴油机使用中研究得较少,但在最近发现某海水泵轴在加粗轴颈和表面强化处理后仍发生断裂

故障的真正原因就是由于氢脆。

参考国外对船用柴油机的开发,建议在与柴油机性能、尺寸变形相关的材料、加工工艺、热处理等方面开展如下工作:对船用柴油机关键部套件的研制开发,如涡轮增压器、高压燃油喷射系统、轴瓦、锻制曲轴等主要部件的设计开发和研制生产,在这些配套件的材料和工艺上实现自主创新。对重要零部件(如电子调速器、主轴瓦、连杆瓦、高压油泵、喷油器、增压器等)的设计制造技术以及对高增压、高压共轨燃油喷射、燃烧与排放、模块化和智能化等关键技术所采用的新材料、新工艺开展研究,带动一般件的性能水平,提高柴油机的运行可靠性。如涡轮增压器的国产化涉及气动力学和数值技术及加工工艺水平,对于设计和制造高压比、高转速、惯性小、工作可靠的涡轮增压器来说材料应用就是工程的基础也是关键。

3.2 突破柴油机电控技术

船用柴油机的电控技术开发研究起步较晚,这是因为对其油耗和排放的要求尚未苛刻所致。尽管如此,以电子调速为核心的电控柴油机应用越来越多,其中较低层次的电子燃油控制技术以及各种单一功能的电子控制系统技术已成蓬勃发展之势。柴油机的智能化技术包括电子喷射(高压共轨)、电子调速、高低水温系统及配气系统(含增压系统)等方面的电子控制技术。船用柴油机许可证技术引进后,我国对电控喷射、电子调速等电控柴油机核心部件的研究比较薄弱,研究工作基本集中在科研院校,在现行的体制下,出现了研制原理样机的能力很强,而工程化能力相对很弱的现象。如某型电子调速控制装置的研发就很能说明问题,二十年前就研发成功的电控装置转化为工程配套设备的步履走的相当艰难,而且这种现象已影响到数字式电子调速器甚至共轨式燃油喷射控制系统的研发,使国产船用柴油机产品的竞争力大打折扣。

关键核心部件已成为我国船用柴油机行业的瓶颈。核心部件专业生产厂家少且能力弱,是我国船用柴油机产业结构中的一个不可忽视的问题。提高产业化水平,调整产业结构,加强核心部件的开发和制造能力,加快核心部件产业化进程,这是船用柴油机行业产业结构调整的重中之重。具体工作是要开展船用柴机电调、电控、共轨燃油系统的实用性研究,如高压共轨系统喷油控制包括喷油压力控制和喷油器电磁阀驱动控制两个方面,其中喷油压力控制的核心是轨压控制,控制的效果和精度取决于控制算法,目前控制效果比较好的是采用PID

模糊自适应控制算法；喷油器电磁阀驱动电路设计的关键是喷油正时和喷油量的控制精度（控制喷油正时和喷油量是通过开启（通电）或关闭（断电）喷油器电磁阀实现的，电磁阀的通电时刻确定喷油始点，其通电持续时间和共轨压力（轨压）共同确定喷油量），目前设计的驱动模块采用高电压、大电流来对电磁阀的开启进行控制，再采用低电压、小电流的 PWM 波维持导通的办法来满足电磁阀驱动控制的要求。开展电控产品的冗余技术研究，解决系统可靠性和高精度的矛盾。

3.3 加快柴油机动力成套技术

重点研究和突破船用柴油机的总体优化设计技术、加强对一些特有技术，如可靠性、排放、故障诊断、电液控制系统、智能化控制系统等技术的消化吸收和研究。如智能化技术就是低噪声柴油机设计技术的核心内容之一，它可大幅度降低燃烧噪声以及通过简化结构来降低机械噪声，是一项综合性的系统技术，应该贯彻到整个柴油机设计过程之中。

总体集成技术是以运行安全可靠、结构简化、维修方便为目标，运用系统工程和可靠性工程技术，集各种先进柴油机技术于一体的综合性技术。此项技术包含的内容极为广泛，从新的设计理念到零部件设计开发手段、制造工艺及材料的重大改进和突破等。在设计方面主要有以下几个方面：

（1）船用柴油机已多采用直列或 V 型结构，四冲程、直喷式、开式燃烧室、涡轮增压（或 STC 相继增压）中冷等基本形式结构。

（2）通过提高原型机的冲程缸径比，提高压缩比、最高燃烧压力，达到降低油耗的目的。同时在不增加单位时间内活塞往复换向次数的前提下，增加柴油机的高速性，达到增大单缸功率的目的，并采用单缸机进行台架验证。

（3）采用无管道设计，所有供应系统以方便维修的形式，安装在一个单元内连接到机前端，这种形式维修更容易，降低环境污染及减少维修次数。

（4）采用最有效的高功率密度技术——废气涡轮增压技术，包括柴油机增压系统技术、柴油机增压匹配技术、增压中冷技术等，不仅能满足日益提高强载度要求，对提高燃油经济性及降低排放要求也很有成效。

加强引进技术产品的消化、吸收和改进提高，针对船舶发展及对柴油机动力装置的需求，加紧发展以船用柴油机为主的船舶配套设备，加大技术创新的力度，逐步形成具有自主知识产权的船用柴油

机产品。加强专业研究所联合柴油机生产厂、专业配套件厂、高等院校，通过消化吸收引进技术，在关键配套件上实现自主创新；开展新机型的联合设计开发，高起点研制首台基本机型，实现性能指标先进的品牌船舶柴油机。在此基础上，不断实现自主品牌船舶柴油机产品系列化，彻底改变目前我国船舶柴油机由引进机占主导地位、故障率居高不下的局面。

3.4 建立共享的资料信息流通

信息技术的应用使柴油机的设计发生了很大的变化。如通过使用计算机和先进的软件，设计效率提高，差错减少；采用基于 CAD/CAE/CAPP/CAM 构造数字式产品模型，可实现无图生产；进行数字化预装配，可减少设计更改；大量使用计算机仿真技术，可减少设计工作量；将虚拟技术用于船舶柴油机设计、制造、装配、运行和维修的全过程；以数据库为基础，应用“数字样机”、“虚拟试验”、“虚拟制造”等相关软件、技术和手段，开展船舶柴油机设计开发研究，实现船舶柴油机从以试验为主的经验设计向“预测设计”转变。

开展信息标准化研究是推进造船行业信息技术应用和实现信息互通和系统集成的重要途径。建议主管部门应整合不同地域、不同单位性质的信息技术、人才资源优势，集体攻关，自主创新，各尽所能，各用所长，最后形成具有中国企业特色的船用柴油机信息系统。使得各企业之间、各企业内部做到信息共享和集成。通过加强船用柴油机承制单位质量管理体系建设，利用信息化手段提高各个环节的工作质量。加强产品可靠性设计分析、试验和管理，抓好柴油机国产化全过程的质量控制；严格执行质量控制的法规、制度和标准；加强批生产质量控制，做好外购、外协产品质量和生产过程质量控制。

4 小 结

船用柴油机许可证技术引进的举措无疑已见成效。但在许可证技术引进的同时，应注重培养自主创新能力，要突出重点、抓住关键环节，提升核心创新起点，推动建立和完善船用柴油机的研发体系，把形成自主创新能力作为许可证技术引进的最终目标。为此，应注重以下几个方面：

（1）重视材料研究的重要性，加大材料应用研发力度，鼓励通过多种方式掌握先进工艺技术、实施重大科技专项，着力突破制约船用柴油机优化升级的共性技术和关键技术。

（下转第 17 页）

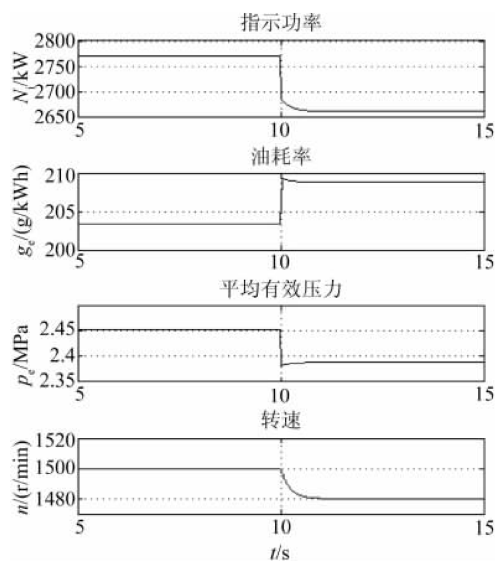


图5 喷油提前角改变时性能变化曲线

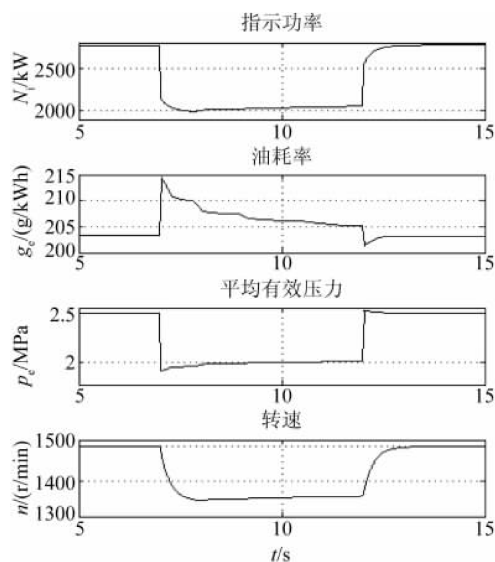


图6 喷油压力改变时性能变化曲线

由图可知当仅改变喷油提前角或者仅改变喷油压力时,发动机的指示功率、油耗率、平均有效压力、转速等性能参数都发生改变,因此可用作电控 ECU 控制策略开发阶段的初步标定范围,这是传统的平均值模型无法做到的。

由于 BOOST 软件计算结果也只是软件模拟仿真,与实机运行仍会有差距,所以模型是否能精确反映实机运行的性能参数还需在试验台架上进行验证,但在发动机电控系统开发阶段可以作为初步标定的虚拟样机。

6 结 论

本文通过使用准维燃烧模型建立计算共轨柴油机指示热效率的神经网络模型,将该模型引入发动机控制系统仿真用的平均值模型,并用于正在进行的高压共轨柴油机电控系统开发上,使平均值模型的适用范围扩大到电控共轨柴油机,解决了电控系统开发缺乏合适的虚拟样机及平均值模型精度较低的难题,具有一定的实用价值。

参考文献

- [1] Pradheepam Ottikkutti, Jon Van Gerpen, Ke Run Cui. Multizone modeling of a fumigated diesel engine [C]. SAE Paper No 910076, (1991).
- [2] 周俊杰等. 柴油机工作过程数值计算 [M]. 大连: 大连理工大学出版社, 1990.
- [3] D. T. Hountalas, Available strategies for improving the efficiency of DI diesel engines—a theoretical investigation [C]. SAE Paper No 2000-01-1176, 2000.
- [4] 鹿笑冬, 欧阳明高, 白露. 用于发动机控制模型的基于循环的平均值离散建模方法 [J]. 内燃机学报, 2001, 19 (1).

(上接第 6 页)

(2) 提高船用柴油机核心竞争力, 发展电子控制装置是关键。推动产学研结合, 加快核心技术的研发, 以电控燃油喷射装置项目为龙头, 带动船用柴油机产业的发展。

(3) 推进新技术的发展与新型动力装置的配机应用有着密不可分的关系。为使国产化船用柴油机在技术引进基础上再走持续发展的道路, 要培育专业化的船用柴油机制造基地, 提高船用柴油机及其

配套产品的制造水平, 提高船用柴油机产品的竞争力。要全面实施知识产权战略, 深入推进自主创新能力, 提升行动计划, 形成优胜劣汰的竞争机制。

(4) 船用柴油机制造领域中的产学研单位, 只有通过清晰明确的思想交流和信息沟通, 达到知识、经验、资料的交流和分享, 建立贯穿项目标定过程的知识共享, 才能在消化吸收许可证技术的基础上形成自主创新能力, 做到管理创新。