

船用柴油机电控共轨喷油技术开发的关键技术

谢 荣

(江苏海事职业技术学院 船舶工程系, 南京 211170)

摘 要: 概述船用电控共轨柴油机的产业现状, 介绍了船用电控共轨柴油机发展动态和船用大功率电控共轨柴油机制造业的发展趋势, 对船用电控共轨柴油机开发的关键技术进行了探讨, 指出了我国智能化船用柴油机产业发展的机遇和挑战。

关键词: 船用柴油机; 电控; 共轨; 喷射; 控制技术

中图分类号: U664.121 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6982 (2009) 05-0017-03

Key technology in the development of electronically controlled common rail fuel injection system of marine diesel engine

XIE Rong

(Department of Ship Engineering, Jiangsu Maritime Institute, Nanjing 211170, China)

Abstract: The present industrial situation and the development of electronically controlled marine diesel engine with Common Rail (CR) fuel injection system are analyzed. The trend of manufacturing development of high-power marine diesel engine with CR system is also introduced. By discussing the key technology in the development of CR marine diesel engine, the opportunities and challenges in the intelligitized marine diesel engine industry of China are indicated.

Key words: marine diesel engine; electronic control; common rail; injection; control technology

21 世纪柴油机电子控制技术将进入发展的鼎盛时期, 在硬件功能不断强化的基础上, 现代控制理论将大显神通。船舶柴油机电子控制的目标除了改善发动机的动力性和经济性外, 更加强了对排放的控制及追求安全和舒适性要求。以达到降低油耗, 减少排气污染, 改善噪音和动力性能, 提高可靠性的目的, 从而实现柴油机性能的全面优化。

1 船用柴油机电控共轨系统的技术现状

电控共轨系统的市场潜力很大。目前, Wartsila 和 MAN-B&W 两大公司相继推出船用大缸径低速二冲程电控柴油机, 而且都已装船营运^[1]。

Wartsila NSD 作为二冲程柴油机技术的领先者, 应用于大型船用柴油机的 Sulzer RT-flex 系统, 是世界上最大的共轨燃油喷射系统。第一代产品机 Sulzer 6RT-flex58T-B 于 2001 年 1 月成功地通过了装船检测。

1993 年 MAN-B&W S60ME-C 智能型共轨柴油机

开始研发, 并于 1997 年在实船应用 4T50MX 型智能型柴油机, 并在此基础上不断研制和完善软件开发, 近几年已逐步被船东选用。

在国内, 2003 年中波公司率先购置装备共轨式电控燃油喷射系统, 随后宜昌船舶柴油机厂、大连船用柴油机厂、上海沪东重机股份有限公司也于 2004 年前后相继引进了国外电控共轨燃油喷射设备及其柴油机的制造技术。但到目前为止, 作为大型船舶柴油机燃烧控制部分的核心技术仍然掌握在一些发达国家手中。

2 电控共轨系统的未来

从 20 世纪 90 年代中期开始, 电控共轨柴油机开始进入市场, 显示出巨大的发展潜力。电控共轨系统生产厂家对电控共轨系统的未来都充满信心。电控共轨系统的主要组成部分更适于大批量生产, 也为生产成本降低创造了条件。专家们预期, 未来的电控共轨系统的售价将低于现在的同等功能的机械式燃油系统。

收稿日期: 2009-03-09; 修回日期: 2009-07-09

作者简介: 谢荣 (1963-), 男, 硕士研究生, 副教授, 轮机长, 研究方向: 船舶动力工程。

目前,各家公司都在大力开发第三代电控共轨系统.第三代电控共轨喷射系统具有更高的喷油压力、喷油器尺寸紧凑、外形小、各缸喷油量差别小、实行闭环控制、多段喷射等一系列新的特点.将具有更出色的控制功能、更可靠、更紧凑、价格更便宜.专家们认为:电控共轨燃油系统必将以不可阻挡之势迅速发展,并将逐步替代现有的机械式燃油系统.但是,由于柴油机技术的复杂多样,可能在某些领域替代过程比较快,某些领域替代过程比较慢,而在某些领域几乎永远不能完成这种替代^[2].

3 电控共轨燃油系统开发的关键技术

电控共轨燃油系统是现代高新技术组合的结晶.现阶段其技术开发关键要素可归纳为以下几个方面.

3.1 柴油机控制软件技术

早期电控燃油系统的喷油控制程序是通过检测柴油机的转速和油门位置,输入到计算机形成数据MAP,再从数据MAP中计算出目标喷油量后,向控制系统伺服回路发出喷油量控制指令.

随着对柴油机燃烧控制的要求越来越高,更多的附加控制功能也陆续被开发,并通过计算机软件控制来实现.控制系统追加功能的增多,控制程序也变得越来越复杂,结果是船用柴油机系统初期编写程序的方式已不能满足使用要求.因此,柴油机系统控制中作为应用计算机控制的最重要的一项技术——柴油机控制软件工程就显得十分重要.柴油机控制系统软件开发过程、软件开发方法、结构化设计方法等形成了一个新的技术体系.目前,柴油机控制软件是通过操作系统(OS)编写多任务处理系统结构.各种控制功能作为一项任务(功能单元)可以独立设计,在操作系统控制之下,已能够在单一计算机上分时执行.

目前,柴油机电子控制技术在操作系统方面也在寻求使用世界标准规范,各公司独立设计的功能软件也将根据标准式样进行设计,新的发展方向是推进软件模块化、部件化.这种技术成熟后,柴油机控制软件将有可能作为功能部件进行销售,由此将会迎来更高层次的标准化、通用化.

3.2 传感器技术

传感器是电控共轨系统获取柴油机上工作状况的主要途径.在电控燃油系统中,通过各种传感器检测出发动机的实际运行状态.控制柴油机共轨燃油系统的基本传感器包括:共轨压力传感器、气流量传感器、增压压力传感器、水温传感器、燃油温度传感器、曲轴角度传感器、油门位置传感器等.

在电控共轨系统中,为了准确测量共轨内的压力

需要在共轨上安装压力传感器.传感器损坏将会造成控制系统误动作,必须保证各个传感器的清洁和保养,尤其是在恶劣状况下工作的传感器,应予以特别关注.

共轨压力传感器的测量范围通常要达到20 MPa~180 MPa.测量范围相当宽,测量精度也很高,要求能够达到 $\pm 2\% \sim 3\%$.在柴油机各种运行工况下都能精密地测量和控制燃油压力,在180 MPa的高压状态下仍然具有很高的工作可靠性^[3].

随着对柴油机排放要求的进一步提高,现代柴油机在改进排气系统的同时很多国家都在加紧开发研制新型测量排气温度、排气压力的传感器以及直接监视排气中HC、NO_x浓度的传感器.

3.3 各气缸喷油量不均匀修正控制技术

柴油机的各个气缸部件在机械加工时会产生加工偏差、喷油机构向气缸内喷油时也会因设备磨损或各缸部件动作规律不完全一致产生偏差,导致各缸产生燃烧状态不均匀,使发动机的振动加剧.为了减小振动、使柴油机平稳运转,必须对各个气缸的运转进行控制.这是共轨柴油机电子控制系统的一项主要任务.

柴油机各气缸之间的燃烧状态不同会导致瞬时角速度变化加大.采用电子控制燃油喷射后,为了消除或减小柴油机转速波动,一般是通过电子回路检测出各气缸的瞬时角速度,再通过控制回路减少瞬时角速度高的气缸喷油量,增加瞬时角速度低的气缸喷油量,尽量控制使各气缸的瞬时转速相同.图1是柴油机各气缸喷油量不均匀修正控制概念图,图2则是某型号四缸柴油机采用喷油量不均匀修正控制前后各缸内瞬时喷油量偏差和排气温度实际测量结果.从图2中可看出,经修正后的各缸喷油误差明显减小,排放参数也更趋于均匀.

柴油机各气缸喷油量不均匀修正控制通常采用对各气缸进行独立的喷油控制方法,现阶段的主要技术措施包括采取计算机转速波动控制理论、高性能伺服机构、高速电磁阀等手段达到控制目的.此外,大型船舶柴油机在共轨压力控制上也正在开发电机驱动式燃油泵,驱动电机经行星齿轮减速后直接驱动高效燃油泵(定容脉动泵),电控系统通过控制燃油泵转速的方式来改变燃油泵的排量,从而达到更精确控制燃油轨压力目的.

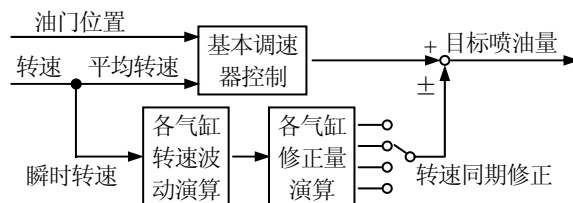


图1 各气缸喷油量不均匀修正控制概念图

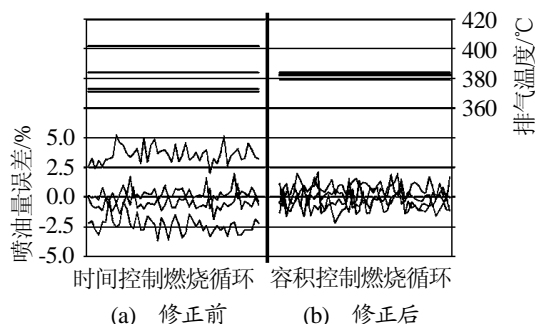


图2 某四缸柴油机满负荷试验气缸喷油量不均匀修正控制效果图

3.4 电子控制单元在柴油机上的安装技术

新型柴油机零部件正逐步向模块化方向发展, 电子控制单元作为柴油机模块之一, 应当直接安装到柴油机上. 但是, 控制单元安装到柴油机上的两大技术难题就是控制单元将要承受的高温 ($90^{\circ}\text{C}\sim 120^{\circ}\text{C}$) 和高振动 ($10\text{GHz}\sim 40\text{GHz}$).

影响控制单元工作温度的主要因素包括使用的各电子元器件的工作温度特性、壳体及底板的放热特性、元件的耐热设计、底板和零件之间温度膨胀系数差异的大小等. 耐振动性能则与零件的小型化程度、安装技术水平、接头的可靠性程度等都密切相关. 今后控制单元耐振动元器件单体的性能提高、小型化、高密度安装技术、元器件集成件的可靠性等方面技术成熟之后, 控制单元将可以直接安装到柴油机上^[4].

目前这一技术的发展趋势: 采用耐电磁波干扰的轻型材质, 将电控单元由安装在柴油机内逐步转向靠近柴油机的位置安装. 将芯片安装到微型复合式底板上, 以提高耐振动性, 增大工作温度范围.

3.5 柴油机排气后处理技术

船用电控共轨柴油机运行时可提供两种操作模式: 燃油经济性模式和低 NO_x 模式. 船舶在一般航区航行时, 使用能够满足国际海事组织 (IMO) 提出的 NO_x 排放标准的燃油经济性模式; 在特殊航区航行, 选择 NO_x 模式, 柴油机的排放将会符合特殊航区的 NO_x 排放标准. 此外, 电控共轨燃油系统还能够控制喷油时间和喷油速率的方式来控制燃烧过程, 从而达到控制排气中 NO_x 量和提高经济性的目的.

全新的共轨式燃油系统已能够使柴油机排出的尾气洁净. 但是, 柴油机排气中的 NO_x 和微粒 (PM) 成

分必须予以注意. 排气后处理技术也是不可缺少的.

目前除去排气中的微粒技术手段主要关注柴油机微粒滤清器 (DPF) 和连续再生式捕集器 (CRT) 两种装置.

1) 柴油机微粒滤清器 (DPF)

工作原理: 捕集柴油机排出废气中的微粒 (PM), 在一定的時候通过燃烧器或电加热器将微粒烧掉.

2) 连续再生式捕集器 (CRT)

工作原理是: 先利用滤清器捕集在排出废气中的微粒 (PM), 再用柴油机排出废气中的二氧化氮使捕集到的微粒氧化, 生成二氧化碳后排出.

目前, 船舶柴油机采用后处理装置的最大问题是成本过高和体积过大. 另外后处理装置需结合后喷射控制技术, 利用后喷射的燃油在废气中剩余热量的作用下蒸发, 带入 NO_x 催化器中作为 NO_x 的还原剂, 以降低废气中 NO_x 的含量. 该技术对柴油机的经济指标有一定影响, 在目前排放标准要求下尚未推广使用. 但是, 随着船舶排放法规日益苛刻, 后处理装置还是需要的, 目前国外已有公司开始在大型柴油机中正式采用后处理装置DPF.

4 结束语

柴油机燃油系统电子控制技术的发展经历了位置控制、时间控制和蓄压共轨时间控制三次飞跃, 其中以蓄压共轨时间控制技术对大型船舶柴油机的发展影响最大. 随着柴油机应用电子技术的不断发展, 燃油共轨喷射系统广泛应用于船舶大型低速柴油机将是必然趋势, 使排放量符合新的国际公约的要求, 且进一步改善船舶柴油机的经济性和可靠性. 高压共轨燃油喷射系统因其极佳的控制灵活性而必将成为未来船用低速柴油机燃油喷射系统的主要发展方向.

参考文献:

- [1] 金东寒. 船用大功率柴油机价格走势分析及预测[J]. 柴油机, 2007, 29(1): 1-4.
- [2] 侯勤春. 船用大功率柴油机产业发展初步分析[J]. 船舶工程, 2008 (3): 10-12.
- [3] 徐家龙. 柴油机电控喷油技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [4] 詹玉龙. 船用电控共轨柴油机常见故障及预防[J]. 航海技术, 2007 (3): 53-55.