

MAN 公司新型 ME 柴油机电控系统介绍及应用

李 健,毛 磊,陈剑锋,徐梦麟

(合肥熔安动力机械有限公司, 安徽合肥 230601)

摘 要: 详细介绍了 MAN 公司 ME 新型低速船用柴油机电控系统的特点和原理。结合首台 5S60ME-C8 柴油机电控系统的引进、消化、研制及台架试验的过程, 对低速船用柴油机电控系统的研发提出一些值得注意的问题和经验。

关键词: 低速船用柴油机; 电控系统; 原理; 台架试验

中图分类号: TK422 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2012)01-0013-05

Introduction and Application of Electric Control System Based on MAN New Type ME Diesel Engine

Li Jian, Mao Lei, Chen Jianfeng, Xu Menglin

(He Fei Rongan Power Machinery Co., Ltd, Anhui Hefei 230601)

Abstract: Characteristics and principles of the electric control system based on MAN new type ME low speed marine diesel engine is presented in detail. Based on the introduction, assimilation, development and bench test of the first 5S60ME-C8 diesel engine's electric control system, issues which merit attentions and some experiences are given on the research and development of low speed diesel engine's electric control system.

Keywords: low speed marine diesel engine; electric control system; principle; bench test

0 引 言

MAN 公司传统的大功率船用柴油机, 常见的型号有 MC、MC-C 型, 这些型号的主机通过凸轮轴来控制喷油和排气以及空气分配、气缸注油的定时, 这种传统的控制方式最大的特点就是结构简单、操作方便、制造成本低。近几年来, 随着对主机性能要求的不断提升, 一种由电子控制的主机孕育而生。ME 型柴油机就是 MAN 公司研发的这种电控型的新型柴油主机, 其喷油、排气、空气分配、气缸注油、调速等功能全部是由柴油机本身的电控系统来进行控制。同传统的 MC、MC-C 型主机相比优点很多, 例如油耗低、排放低、热负荷均匀、操纵灵活等, 所以越来越受到船东的欢迎, 成为现在主机选型的一种趋势。ME 机型的这些优点

主要都是靠电控系统来实现的, 所以可以说研究好电控系统也就掌握了 ME 型柴油机的精髓。

合肥熔安动力机械有限公司在 2010 年接到 5S60ME-C8 主机订单, 作为熔安首次接到的 ME 型主机, 我们在引进、消化专利的同时, 也进行了大胆的改进、探索和创新。并于 2011 年 5 月顺利提交了首制机。

1 ME 型柴油机电控系统介绍

1.1 ME 主机的特点

ME 型主机相对于传统的凸轮轴控制的 MC 型主机有很大的优势, 具体有^[1]:

(1) 机械部件大大简化, 重量减轻, 便于装配、调试和维护;

(2) 柴油机低负荷(部分负荷)工况技术性能

收稿日期: 2011-10-11; 修回日期: 2011-11-29

作者简介: 李健(1980-), 工程师, 主要研究方向为大型船用柴油机电控系统、操纵系统研发, E-mail: lijian@ronganpower.com。

优化，燃油消耗率降低；

(3) 燃油喷射压力和油量以负荷设置，即自由选择燃油喷射压力和油量；

(4) 有效降低 NO_x 排放，并实现了无烟运行；

(5) 在柴油机运行期间，比较容易改变运行模式；

(6) 喷油和排气、精确定时控制，使柴油机良好平衡，热负荷始终是均衡的；

(7) 更低速稳定地运行，可抵达 10% 额定转速；

(8) 良好的操作性能，如加速、换向和紧急停车等；

(9) 完善而充足的柴油机运行监测和诊断系统，可靠性维修间隔期延长；

(10) 软件升级覆盖柴油机整个生命周期。

以上这些优势或者特点绝大多数都依赖于柴油机本身电控系统运用的结果，所以 ME 主机其最大的特点就是体现在其电控系统上。

1.2 控制系统概述

ME 主机的控制原理如图 1 所示。

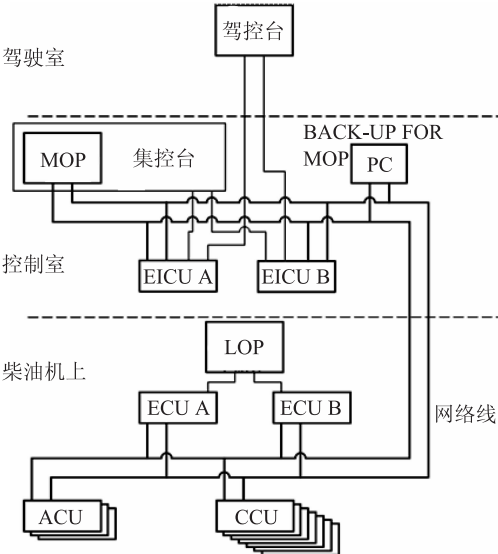


图 1 控制系统简图

整个控制系统运用了大量的电子模块^[2]，其中 EICU (Engine Interface Control Unit) 是柴油机接口控制单元模块，主要起到一个接口控制器的作用；ECU (Engine Control Unit) 是柴油机控制单元模块，它集成了传统柴油机的部分遥控系统和调速器的功能；ACU (Auxiliary Control Unit) 是辅助控制单元模块，它控制主机的一些辅助设备，如辅助鼓风机、伺服油泵、HPS 电动泵等；CCU (Cylinder Control Unit) 是气缸控制单元模块，每个气缸

一个，控制每缸的喷油、排气、气缸注油以及启动空气等；MOP (Main Operating Panel) 是主操作板，在控制室内，船员通过 MOP 发送指令，控制整个控制系统；LOP (Local Operating Panel) 是机旁操作板，作为船员在机旁应急操作用。两条通讯线路将这些控制模块联系起来，实现数据共享传递，这些模块都有自己的 ID 号，这样就不会造成混乱，数据的交换会更顺利。两条是冗余的设计概念，即当一条失效时，另外一路网络线仍然可以工作，使得系统不会崩溃，提高了可靠性。

由于柴油机与船侧其他系统的联系都是通过 EICU 模块来完成的，如图 2 所示，调速手柄发送 4~20 mA 的信号给 EICU，然后通过柴油机内部的控制系统实现调速功能；与遥控系统的联系是通过 RS422 的通讯线来执行的；柴油机控制系统内部的报警和停车需求都是通过 EICU 送至船上报警系统和安全系统，因此，EICU 是主机和外界设备的分界面。

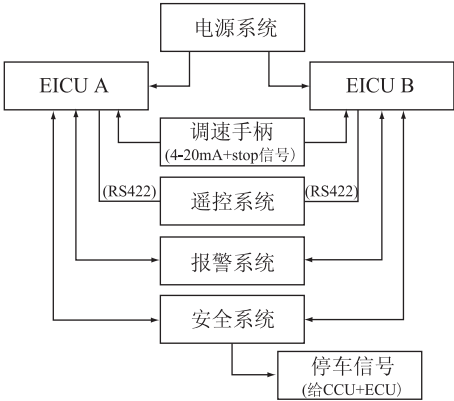


图 2 主机与外部系统接口图

为了确保主机运行的安全，安全系统的停车命令，除了经 EICU 传给主机外，还有一组停车命令直接发给了 CCU 模块和 ECU 模块，直接命令各气缸的控制单元和主机的控制单元执行停车命令。确保安全系统发出的停车命令得以可靠的执行。

ME 型主机诞生已有几年了，在这段时间里面，MAN 公司对这个机型进行了不断的改进和升级。熔安公司的首台 ME 主机为 5S60ME-C8 机型，采用了迄今为止的全部的最新技术：30MPa 伺服油驱动技术；集成的 FIVA 阀同时控制喷油和排气；相对独立的 ECP 面板；最新的控制系统软件版本等，使该机型结构更加简单，性能更可靠。

一般来说，因为采用了电子控制喷油，所以主机最低稳定转速可以低至额定转速的 10%~15%，所以主机在超低负荷运行时也很稳定，一般不需要

单缸停缸。但是如果有紧急情况，也可以采用停掉一个或几个缸的方法，使主机在低转速下运行。由于 ME 主机采用了单缸直接控制，所以单缸停缸相比传统机型非常容易实现。

1.3 具体结构和控制方式

1.3.1 调速控制

传统的主机调速是通过调油轴拉油门齿条来实现，而 ME 主机可以通过自身的控制系统实现电子调速，原理如图 3 所示。

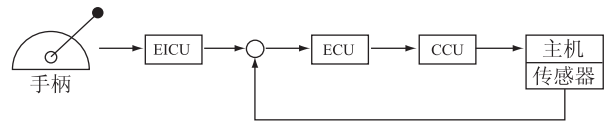


图 3 调速系统原理简图

集控室调速手柄发出 4 ~ 20 mA 的速度指令，通过 EICU 模块传递到主机的 ECU 模块，EICU 模块还充当速度指令修改器的角色，例如，当给出的速度指令在转速禁区里时，EICU 会自动修改速度指令，使指令跳出转速禁区范围；当主机进入高负荷区运行而触发加载程序时，可以把主机的转速由 90% 上升到 100% 的时间限定在 30 min 左右，以限制由于速度上升得过快而引起的气缸热负荷过快上升。ECU 模块的调速器功能，通过主机上的转速传感器的反馈信号计算出相应的值，然后送给每缸的 CCU 模块，CCU 模块直接控制着每缸的喷油量和喷油正时，从而达到整个调速过程。ECU 模块还包含了传统主机调速器的速度限制功能，有扫气空气对应的速度限制、负荷对应的速度限制、还有液压系统压力对应的速度限制，这些限制器的目的是为了减少不必要的燃油喷射，更好地实现对燃油耗量和排放的控制。如果需要解除这些限制时，也可以人为地将此功能取消。

1.3.2 测速系统

ME 主机的测速系统是调速和系统正时的一个非常重要的反馈环节，通过装在曲轴前端的两个角度编码器和位于飞轮上的上止点传感器组合来得到转速和曲轴角度的信号，然后通过冗余的两路网络线传递给 ECU 和 CCU 模块，构成系统的闭环。转速信号用于调速和显示；曲轴角度信号用于系统正时。该测速系统原理如图 4 所示。

1.3.3 喷油、排气控制原理

燃油喷射和排气门的动作是柴油机调谐匹配中最重要的两个因素。ME 型柴油机燃油喷射以及排气门的动作都是通过机械-液压机构来驱动的，而这些机械-液压机构的执行器是由 CCU 电子模块通

过 FIVA 电磁阀来控制的，从而实现电子精确控制喷油定时和排气门的开启。

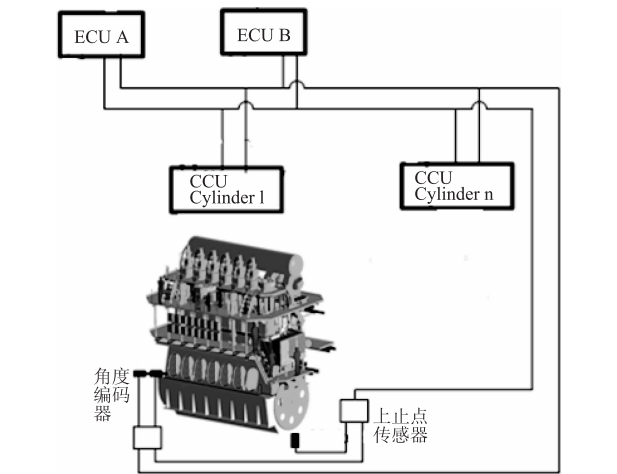


图 4 测速系统简图

液压系统采用的是 30 MPa 左右的伺服油，伺服油来自于主滑油，并由 HPS (Hydraulic Power Supply) 液压动力单元来加压，HPS 由几台机带泵和几台电动泵驱动，主滑油经清滤器后，进入 HPS 单元，在主机起动时，电动泵运行，提供初始的压力，供系统运行；当负荷逐渐升上来以后，机带泵开始提供动力，并取代电动泵运行。HPS 出口有一个蓄压块，升压后的伺服油进入蓄压块稳压，形成 30 MPa 左右的伺服油，驱动燃油泵和排气阀执行器动作，见图 5。

30 MPa 的伺服油由电子控制的 FIVA 阀来控制。由于在一个周期内，喷油正时和排气正时是分开的，所以一个 FIVA 阀就可以实现控制喷油和排气。在喷油时，FIVA 阀相当于一个比例电磁阀，可以控制喷油量和喷油定时；排气时，FIVA 相当于一个开关电磁阀，仅控制排气正时。FIVA 阀由 CCU 模块控制。

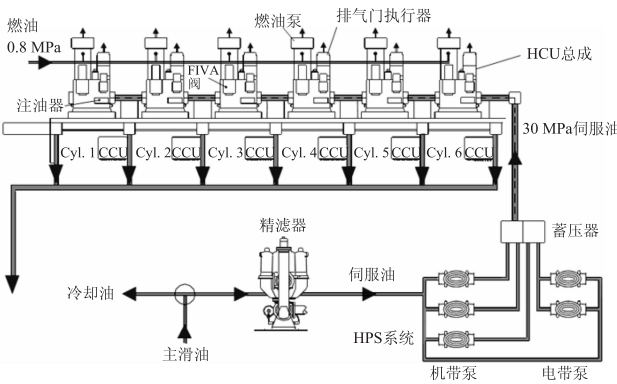


图 5 ME 主机液压系统回路

每缸有一个 CCU 模块，控制着每缸的 FIVA

阀，这是非常关键的一个电子模块。每缸的 CCU 通过冗余的 CAN 网络进行连接，但是也是相对独立的，当一个 CCU 故障时，其他气缸可以照常工作。

1.3.4 起动空气

大型柴油机的起动是靠起动空气按照发货顺序依次进入气缸，使曲轴转动，从而起动主机。ME 型柴油机每个气缸起动空气的定时是由各个电磁阀分别控制，电磁阀受控于 CCU 模块，如图 6 所示，而不是借助传统的机械传动式空气分配器来进行。这样，柴油机起动空气分配系统就变得非常简单了。

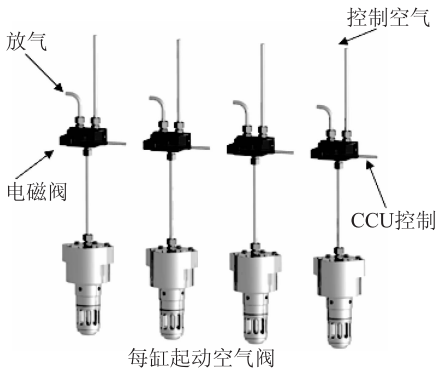


图 6 ME 起动空气系统

1.3.5 辅助设备的控制

与传统的控制系统相比，ME 把一些辅助的设备，如辅助风机、伺服油泵、电动泵等都交由 ACU 模块来控制，通过集控室内的 MOP 触屏可以选择手动控制还是遥控。辅助风机的控制简图见图 7。

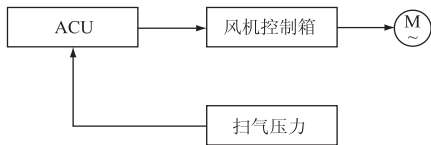


图 7 风机控制系统

当辅助风机处于遥控操作时，如果主机的扫气压力低于某个规定值，ACU 模块会将得到的“扫气压力低”的信号传递给辅助风机控制箱，命令辅助风机起动并运转。当负荷逐渐升高后，扫气压力也开始升高，当扫气压力超过设定值后，ACU 就会控制辅助风机停止运转。

ME 主机根据机型的不同有若干个 ACU 模块，每个模块控制一个风机，一个伺服油泵，这样如果有一个故障失效，另外的还可以继续工作，不会因此而停机。

2 首制机电控系统的开发

2.1 首制机概述

合肥熔安首台 ME 型主机 5S60ME-C8 入 LR 船级社，Tier II 排放。公司首先向 MAN 公司引进专利，并赴丹麦 MAN 公司学习，回来后对整台主机的所有部分进行分解，逐步消化吸收，并在此基础上进行了适应性的改进和本地化制造。

2.2 电控系统的开发

2.2.1 前期图纸的设计

前期图纸主要来源于 MAN 公司专利图纸，图纸很多很杂，公司根据实际情况、船厂、船东以及船级社的具体要求，对其进行整理，对错误的和不合理的地方进行了整改，并对一些额外需求的零部件进行了自行设计，并且在三维 UG 模型中进行装配和模拟，使得在理论上不会出现干涉和不匹配的问题。并最终形成了配套表和清单。

2.2.2 零部件的设计、采购

由于 MAN 公司对 ME 型主机的控制部分要求很高，所以核心的零部件都依赖于进口，例如 HPS 总成、HCU 总成、电源箱、各种控制单元、电磁阀、传感器等。为了降低成本以及减少采购周期，也对一些零部件进行了国产化，例如主机接线箱、轴向振动监测器、ECP 板总成、辅助风机和盘车机控制箱等。

ME 控制部分的核心是 ECU、ACU 和 CCU 等控制单元，这些控制单元的接线、调试和布置都比较困难，如果有一点小的问题都很难发现。最新的设计是把这些控制单元都排列在一个安装板上，称为 ECP 板，见图 8。这个 ECP 板左右两端有 3~4 个接线箱（根据机型的不同），控制单元和外部的接线全部通过这几个接线箱来完成，这样这块 ECP 板就是相对独立的。这些重要的控制单元的内部接线可以在供应商处完成。另外，为了减少主机厂的调试时间，MAN 设计了一套测试台，专门测试 ECP 板内的各个模块，这样，调试好后的 ECP 板作为一个整体，相对独立，质量能得到很好的保证。这块板布置在主机中层的操纵侧立柱上，便于操车。在总装时，这块板内的接线都是完成的，调试好的，这样既节省时间又不容易出错；如果出现问题，也比较好发现，这是典型的模块化设计理念。

2.2.3 研制过程中出现的问题

因为是首制机，所以在装配过程中出现了很多问题，有装配的问题也有设计不到位的问题，以下

几点需要注意：

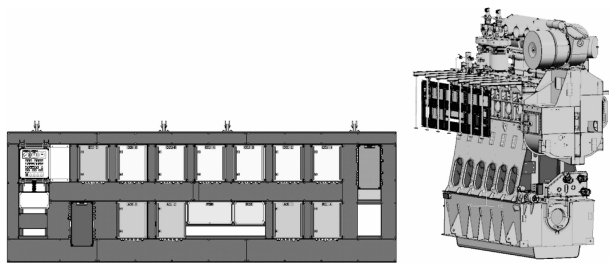


图 8 ECP 面板及在主机上的位置

- (1) 电缆走向比较复杂，不美观，有些电缆没有固定；
- (2) ECP 板是相对独立的，而且在到公司之前就已经是调试好的，在装配的过程中，各个控制箱不允许随意打开，一旦打开被误操作，查错将非常困难；
- (3) 各个模块由网络线连接，必须用专业的网络电缆才行，并且要在两端装配终端电阻；
- (4) 飞轮上测速传感器是集成的，包括用于遥控和安保系统的转速传感器和测量上止点信号的位置传感器，转速传感器和飞轮齿面的距离以及位置传感器和触发环的距离要求都很小，且都要保证在允许的范围内，比较难调；
- (5) 油雾探测器采用 Schaller 公司的虹吸块管式结构，很容易造成窜缸误报警，改用材质较软的铜管采集油雾样品，有较好的效果。

3 台架试验及结果分析

3.1 台架试验设备的开发

由于 ME 机型的特殊性和复杂性，原有的试车设备不能满足 ME 的试车要求。公司自行开发了一整套试车设备，包括控制系统试车台和安全系统试车台，控制系统试车台主要用于操控主机、参数和软件的设定及监测。安全系统试车台用来测试主机应急停车，保障主机安全。

3.2 台架试验及分析

调试时，用带有 Autotuning 功能的 PMI on-line 系统调试，这套系统可以自动调节最高燃烧压力和平衡每缸的压力，使得性能更好，油耗更低、调试时间也得以大大缩短。

试车结果^[3]比较理想，也验证了 ME 机型较 MC 机型的优越性，燃油消耗和气缸油消耗都较低，满足 MAN 公司的设计要求，并得到了船级社和船东的一致认可，也说明了公司开发的 ME 主机

以及试车设备的合理性。
首台机的各种试车参数绘制成性能曲线，如图 9 所示。

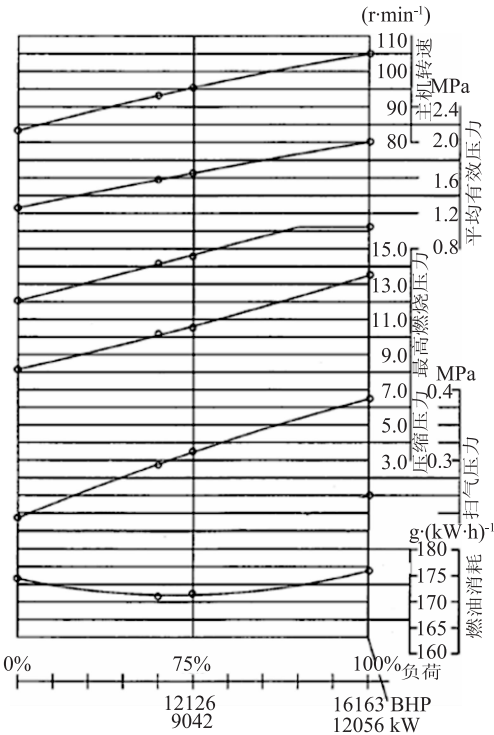


图 9 5S60ME-C 主机性能曲线

4 结束语

电子控制的 ME 型柴油机是最近几年才发展起来的，但是由于其各方面的优越性(通过台架试验也可以看到这一点)，使得越来越受到船东的青睐，从技术发展的角度来看，ME 型主机也是未来发展的趋势。但是整个电控系统也有其复杂性和不确定性，台架试验之前的调试和查线过程比较繁琐，并且由于主机电缆、用电设备以及电子设备很多，主机上和控制室内的干扰问题都比较严重，必须在装配和调试的过程中充分重视，另外电缆的布置和走向的合理性也有待进一步的优化。

参考文献

[1] MAN B&W S60ME-C8-THI project guide[R]. MAN Corporation 2010.
[2] 50 - 108 engines operation[R]. MAN Corporation 2008.
[3] 5S60ME-C official test report [R]. Hefei Rongan Power Machinery Co. ,Ltd. 2011.