

FLORENCE 1991



第19届国际内燃机会议论文集

(柴油机部分)

上海船用柴油机研究所

前 言

第 19 届国际内燃机会议(CIMAC)于 1991 年 4 月 22~25 日在意大利佛罗伦萨召开,出席本届会议的共有 21 个国家的代表 500 多名。

会议宣读论文 106 篇(我国有 13 篇)其中柴油机部分共 77 篇。本论文集按原版编号(D1~D77)译出,其中有 * 号部分及参考文献因种种原因未刊登在本书中。

这些论文基本反映了当今国际柴油机技术的水平和发展动向,可供从事柴油机的工程技术人员、科研人员、工人和学校的师生阅读参考。

本论文集在出版过程中得到 711 研究所及其所属各专业室领导和专家的关心协助,对此,深表感谢。但鉴于论文集工作量大,编辑部人员少以及受电脑病毒破坏以至延长了出版周期,敬请谅解。不妥之处,请广大读者指正。

编辑部

1991 年 12 月

目 次

控制和诊断系统——用于柴油机管理的一种先进的电子控制系统	(1)
二冲程低速高惯性柴油发电机的电子控制 *	
Vasa 46 柴油机的运行经验	(8)
高技术方法在发展 MAN-B&W 中速柴油机系列中的应用	(17)
高平均有效压力低压缩比 PA6 柴油机的运行结果	(24)
大功率、低 NO _x 新泻 46HX 型中速柴油机的研制	(31)
船用二冲程柴油机 NO _x 排放的特性及其降低方法的试验研究	(41)
降低商品化柴油机排放指标的实用对策	(46)
150 型增压柴油机新燃烧系统发展	(56)
涡流室式柴油机用纯甲醇的研究	(63)
90 年代的 Sulzer 中速柴油机 S20	(68)
新型 Wärtsilä Nohab 25 型柴油机	(78)
Stork-Wärtsilä SM 280 柴油机的经验和最新发展	(84)
中速柴油机的排放控制	(94)
大型船用柴油机 NO _x 的控制	(101)
在 MAN-B&W 四冲程柴油机和双燃料发动机上用各种方法降低排放的使用经验	(110)
柴油机中烟灰颗粒的性质形成和氧化	(117)
柴油机局部燃油—燃烧气体混合区内碳烟的形成	(127)
用光导纤维分析柴油机燃烧室中碳烟的形成	(132)
关于高燃烧压力四冲程中速柴油机性能和燃油消耗率的研究	(139)
Ruston RK215 系列柴油机	(148)
先进的四冲程中速柴油机系列新发展	(157)
新发展的高性能天然气发动机	(165)
新泻公司高效、低 NO _x 超稀薄燃烧的火花塞	

点火式气体发动机的研制	(172)
Ruston RK270 电火花点燃式发动机的进一步改进提高	(185)
在一台直喷式柴油机上对局部和分段时间热传导的分析	(195)
“高技术研究方法”的应用成效及其在设计简单而可靠 的二冲程柴油机中的应用	(203)
12PA6 相继增压柴油机船用推进运行工况计算机辅助研究	(212)
未来二冲程发动机—MC 型柴油机	(218)
低速二冲程船用柴油机的优化设计法	(227)
电子控制二冲程柴油机的发展	(239)
用于研究未来高性能机油的 Abingdon—WD135 试验机 * 柴油机故障检测	(247)
带直列式喷油泵的新型高速柴油机系列的发展	(253)
1000~1500kW 发电机组用 DM—21 系列的发展	(261)
新型高平均有效压力柴油机的设计	(267)
机油清洁度研究	(274)
90 年代十字头式发动机用气缸机油	(281)
NKK NF—GDSI 型多种燃料发动机的研制	(289)
积两年制造 CO ₂ 气体燃料发动机的经验	(299)
高速、高性能预燃室式稀薄燃烧气体燃料发动机的发展	(309)
柴油机的运行和环境	(316)
船用柴油机燃用高密度燃料对燃烧和排放性能的影响	(323)
关于当船用燃料油品质的区域性差别和燃烧问题的研究	(333)
应用表面处理技术延长发动机零件的使用寿命	(341)
活塞环组润滑的综合研究 * 使用 VM 循环机的不含氮氟烃(Non—CFCs)空调器	(347)
一种新型带偏心的内燃机用曲柄机构	(354)
中国铁路大功率机车柴油机的有限元分析	(361)
双层气缸套的发展	(371)
燃烧烈度和热应力	(378)

柴油机残渣油喷雾的燃烧过程研究	(387)
燃用重油中速柴油机的性能改善和磨损情况	(397)
中速柴油机燃烧放热度分析和动力循环的计算	(408)
柴油机燃烧室中多维瞬间传热模型的研究	(420)
预测双燃料直喷式柴油机性能和排放的燃烧模型	(429)
柴油机的新型轴承其材料、工艺及应用	(437)
发动机轴承可靠性预测方法的改进	(448)
非线性支承旋转曲轴的振动和应力预测技术	(455)
长行程柴油机曲轴振动和强度	(461)
长行程柴油机曲轴的轴向振动及其对曲轴强度和船体振动状况的控制··	(477)
高增压四冲程柴油机用的 VTR/..4P 高压比涡轮增压器	(487)
与高压比和高总效率相适应的柴油机的涡轮增压器的发展	(495)
重型汽车连续与反馈控制可变喷嘴涡轮增压系统的发展	(500)
喷油泵动态特性的研究	(506)
柴油机供油及气门正时的优化控制	(513)
大型船用低速柴油机电子控制喷油泵的研究开发	(520)
弹性支承内燃机结构噪声辐射特性	(528)
定时齿轮系激振的噪声 *	
柴油机噪声与振动控制准则的进展	(533)
新型高技术 DEUTZ—MWM 柴油机和气体燃料发动机的增压技术	(539)
高平均有效压力运输用发动机增压系统和装置发展	(547)
径流式涡轮增压器和动力涡轮的研究及其结果	(551)
在定容燃烧弹中试验研究燃油喷射特性和燃烧室壁面在燃油 雾化性能方面的非贯穿性的结果	(557)
可变压力双射低控制喷射系统 *	
280 型单缸柴油机乳化油试验研究	(567)
高平均有效压力增压柴油机	(572)

控制和诊断系统

——用于柴油机管理的一种先进的电子控制系统——

Robert Schulmeister Franz B. tscher

多年来,电子控制系统,包括电子调速器,已成功地应用于柴油机。这些系统现已被市场完全接受。因此,开始设计现代化柴油机时,就把专用的电子部件同改进的柴油机综合成一个装置。对于四冲程 880 系列柴油机,已研制了具有这些先进电子部件的控制和诊断系统(CDS)。它为用户提供许多好处,尤其是为操作人员所需的信息,便于操作和通信,以提高可靠性和经济性。

1 前言

多年来,德国夫利德利赫斯哈芬发动机和涡轮机联合公司(即 MTU 公司),为了提高柴油机的销售量,在柴油机上安装了经过专门研制的电子系统。最初,这些系统仅起监测作用。随着时间的推移,这些系统已发展到具有控制柴油机或整个推进装置的功能。

80 年代中期,引进微处理机技术后,这个领域内发展的情况已在 1985 年 CIMAC 会议上报道。论文中提供一些事例,以表明数字电子系统和柴油机技术之间的相互联系,以及能提高柴油机运转平稳性、可靠性和经济性等优点。当时已注意到,尽管柴油机的质量不取决于电子控制系统,但这些电子系统确实具有许多优点,尤其是可使操作人员易于操作高度复杂的柴油机。此后,继续研究,在电子系统中又增加了新的功能,例如运转时对自动测试或改进信息传递。更为重要的是,由于市场广泛接受电子系统,在研制初期阶段,就进行设计采用电子系统的现代化柴油机,结果是在现在的柴油机和推进系统中都已装入电子部件,这种综合设计的优点,以下以 880 系列柴油机为例说明。

2 基本组成部分

2.1 柴油机

880 系列柴油机是四冲程直喷式水冷柴油机,转速达 3 300 r/min,平均有效压力达 2 MPa。该系列柴油机特别适用于作重型车辆动

力,此时功率可达 1 200 kW。这种柴油机具有结构紧凑的特点,见图 1 所示。在柴油机上再安装其它主要设备,如传动机构、冷动系统和空气过滤器等,就成为紧凑的动力装置。

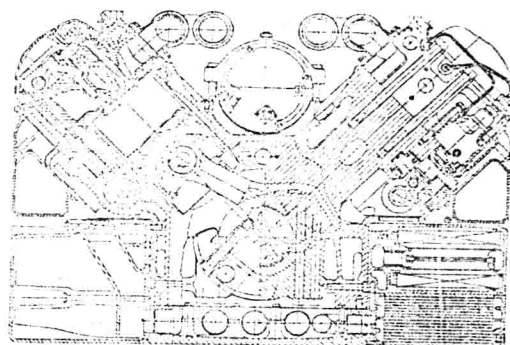


图 1 MT883DE 柴油机横剖面图
(从输出端看)

该系列柴油机有 6 缸、8 缸、10 缸等 4 种机型,其主要设计特点如下:

- a. 气缸 V 形夹角 90°;
- b. 铝质曲轴箱的侧壁延伸到曲轴中心线以下;
- c. 钢质主轴承座的两侧以螺钉横向拧紧;
- d. 凸轮轴布置在侧面;
- e. 每个气缸盖上有 2 个进气门和 2 个排气门;
- f. 冷却液,管路和气缸盖铸成一体;
- g. 泵喷油器布置在气缸盖之间,由凸轮轴直接驱动;

h. 齿轮传动机构装在功率主输出端,其罩壳用螺栓固定拧紧在机身上,用于驱动凸轮轴、冷却水泵、机油泵和发电机。

布置各部件的方法是使机油、冷却剂、进排气等的连接管路尽可能短,并都在柴油机壳体内。

由于在开始设计柴油机时已考虑到使用电子控制系统,就不需要调速器的传动机构了,也不必为机械式调速器或液压式调速器留出安装位置了。燃油齿条是执行机构控制的,因此,在柴油机上仅需留出执行机构的位置。执行机构是一台无电刷的直流电动机,并同众多齿条形传感器相连接。图2示明和燃油齿条之间的连接方式。

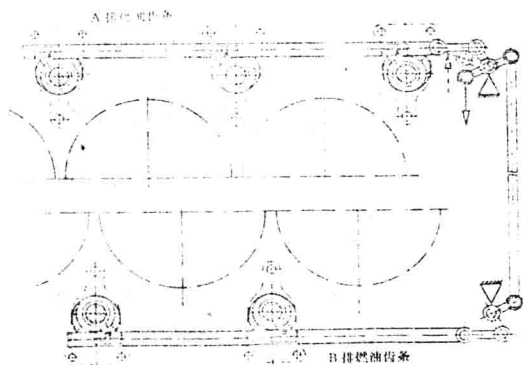


图2 燃油齿条的致动方式

2.2 数据处理硬件

把电子设备直接装在柴油机上,尽管最初似乎未显出特别令人满意,把电子设备直接装在880系列柴油机上,确比在车辆中不装在柴油机上为好,因为可以消除由于在车辆中不装在柴油机上而造成的不可避免的许多缺点,例如柴油机连接电子设备,需要较复杂的线路,需要较多接口。此外,对不同用途有不同指令,因此把电子设备装在柴油机上一起供应显得更加切合实际。但是,应考虑到尽量减少工作现场条件对电子设备的影响,因此,应使燃油温度和冷却水温度都低于 70°C ,采用适当的减振措施,使振动负荷少于 9.8m/s^2 ,使电子设备承受许

可范围内的应力。

为了安装在柴油机上,把电子设备装在扁的轻金属箱中,如图3所示。电子连接件以圆形防水塞作为电气接头。工作时产生的热量通过箱底的冷却通道散失。

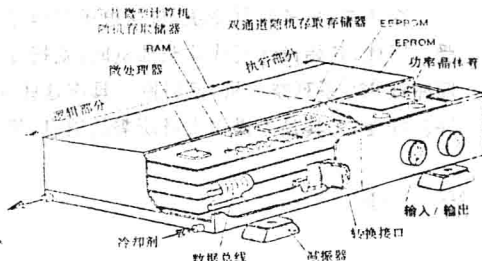


图3 控制和诊断系统的布置以及电子设备的箱

RAM—随机存取存储器

EEPROM—非易失性电可擦可编程只读存储器

EPROM—电可擦可编程只读存储器

在此设备齐全的箱中,逻辑部分和执行部分相互隔开,目的是使逻辑部分不受电磁场的干扰。执行元件装在冷却的箱底上,便于散热,以确保其温度不超过许可值。

电子线路板采用多层工艺。为了减少安装空间,如能用挠性连接和使用陶瓷箱,则最好采用表面安装器件(SMD)。所有其它器件仍采取通常的布置方式和软钎焊方法。

电子系统硬件包括1台控制全部过程的68HC00主计算机和4台分别控制一部分外围设备辅助微型计算机,如图4所示。这种分工方式具有以下优点:高性能的16/32位处理器可用于计算和处理需要大量存储的过程,从而可应用实时操作系统和高级的程序语言。512千字节电可擦可编程序只读存储器(EPROM)、64千字节非易失性电可擦可编程序只读存储器(EEPROM)和64千字节随机存取存储器(RAM)都作为主处理器的存储库。存储器通过双通道随机存取存储器(dual port RAM)连接辅助处理后,藉以大大简化数据流程。

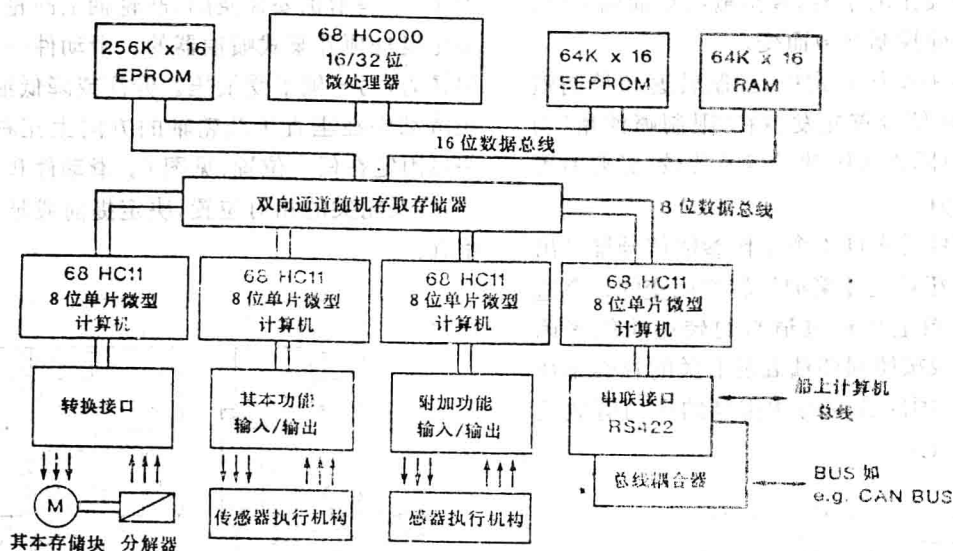


图4 控制和诊断系统内部结构

3 控制和诊断系统的功能

3.1 柴油机控制系统

柴油机控制系统(ECS)具有操作柴油机的全部基本功能,以及几种附加功能以适应柴油

机的特殊结构或满足车辆的特殊要求。它的范围可扩大到控制整套动力装置。为了说明其原理,对几种功能详述如下:

柴油机控制系统的功能表

基本功能

调速	控制	监视
柴油机转速	—气缸截止	—转速
喷油正时	—起动顺序	—润滑油压力
燃油限制	—紧急停车	—冷却剂温度
	—阀润滑	—冷却剂水位

附加功能

通信	控制	监测和测试
动力系控制	—冷却风扇	永久自测
车辆控制	—空气过滤器换气、鼓风机	故障指示
外部诊断装置	—进气加热和冷却	寿命循环数据计算

柴油机转速控制是根据著名的“级联”原理进行的。辅助喷油控制线路从转速设定控制线路收到信号,迅速地保证极其精确的喷油量。这

个信号随设定参数而变。

这种通用型调速器也能变换成限制最低转速和最高转速的调速器。在此情况下,仅在极限

转速时才起调速作用。在两个极限转速之间,通过加速踏板发出的信号,直接输给喷油调节器。这个信号是随控制参数而变。

在这两种操作方式中,控制转速和控制喷油量,喷油量信号首先发生在“限制喷油量”功能块中,随时同许可喷油量信号比较,必要时可减少到许可值。

限制信号是来自4个工作参数信号推导出来,见图5。扭矩是随柴油机转速而变的。合适的扭矩上升数值可通过适当的转速曲线来确定。这条曲线按照同燃油温度有关的补偿系数进行修正,以消除在高的和很高的平均有效压力时的功率损失。

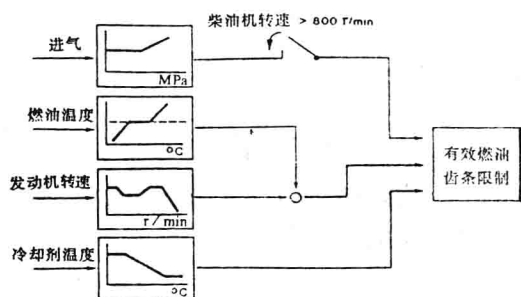


图5 燃油齿条位置限制信号

进气压力是同限制喷油量有关的,以避免在加速时或在短时间空转后发生短暂冒烟情况。

冷却剂温度是同限制喷油量有关的,以防止柴油机发生过热情况。使用这条性能限制曲线的目的是避免发生零部件的临界温度。

对于使用速度范围大的柴油机,必须考虑随柴油机转速而变的着火延迟和喷油始点之间的匹配,以便同时创造良好的燃烧状况和获得最佳工作参数。为达到这个目的,研制了一些机械式器件,即所谓喷油正时器,用以按照柴油机转速改变曲轴和喷油泵之间的几何关系,从而改变喷油始点。这些器件很复杂,需要安装空间和具有固定而不能改动的特性。

880系列柴油机的转速范围很宽,但它不需要这种解决办法,因为它采用了电子系统。另

一种机械式控制方法^[2]是把滚轮挺杆装在滑动件上,不需增加安装空间,凸轮轴上凸轮是通过滚轮挺杆顶开泵式喷油器的。滑动件一侧承受弹簧力,另一侧承受油压。升高或降低油压,可使滑动件在垂直于凸轮轴的方向上左右移动,并可固定在任一位置,见图6。滑动件和滚轮挺杆,同凸轮尖的相对位置,决定提前或延迟喷油始点。

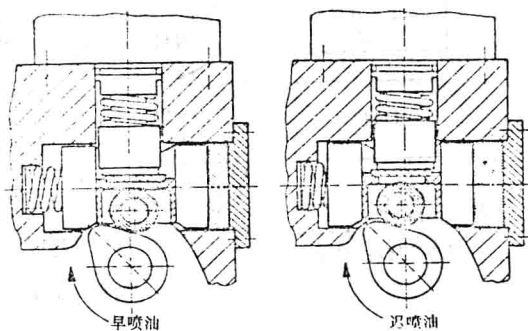


图6 喷油正时装置

与机械式喷油正时器相比,图7所示的闭合控制回路,对设定值和实际值之间的偏差更敏感。它没有“忽动忽停”的现象,可精确地控制喷油正时。由于使用电子系统,除了按照柴油机转速控制喷油正时以外,还可按照柴油机负荷控制喷油正时。880系列柴油机已实现了这种双重控制。以燃油齿条位置作为负荷标记。在控制和诊断系统中,还由于其他原因,已有负荷信号,见图8。

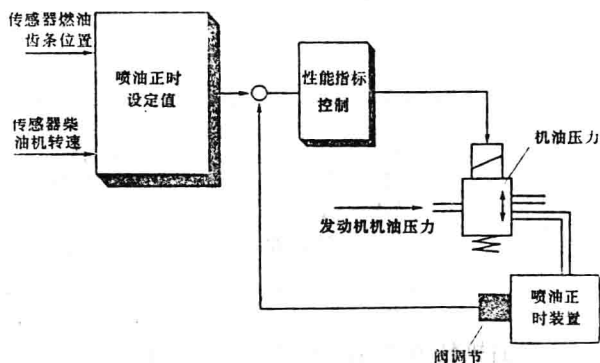


图7 喷油正时控制

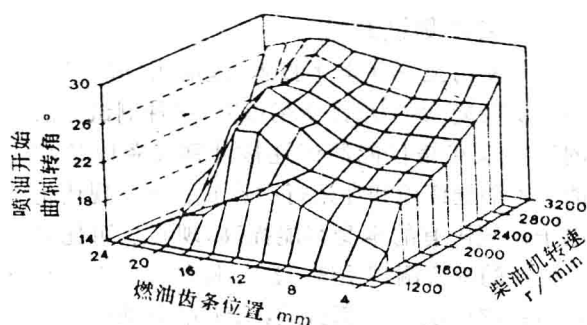


图8 随柴油机转速和燃油齿条位置而变的喷油正时

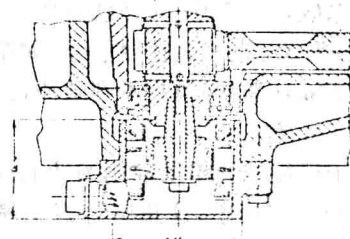


图9 应急交流发电机

3.2 后援控制系统

为了在船上电源或陆上电源发生故障时保证柴油机仍能运行,880 系列柴油机配备了应急交流发电机,见图9。这种小功率发电机是由辅助的动力输出端,即发电机轴驱动的。利用永入磁铁的技术,它在柴油机空转时可输出约100W 功率。如果电源电压下降到18V 以下,它可立即提供电源,保证电源不间断。

备有应急发电机的柴油机,是由后援控制系统(BCS)控制的。对减少功能范围的控制和诊断系统,后援控制系统是一种冗余系统,见图10。

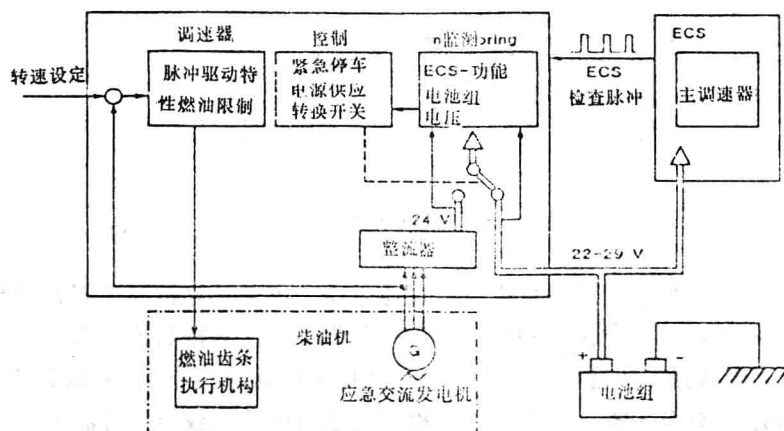


图10 后援控制系统

后援控制系统是独立完整的电子装置。该系统所需电力是由车辆系统或由柴油机的应急发电机供应的。在应急情况下,发电机频率也可作为柴油机转速的信号。转速设定信号与主控

系统无关,它通过另外的电缆,从转速设定器件输入后援控制系统。

后援控制系统的功能包括按照脉冲驱动特性与柴油机转速有关的燃油限制,柴油机应急

停车,必要时,还可显示“后援控制”系统起作用驱动“操作模式”。

在船上电源电压低于 18V 主系统立即自动转换为后援控制系统,而应急发电机电压超过 18V 使电毫不中断。在主系统发生故障时,后援控制系统也能工作。主系统正常工作时,每隔 20ms(毫秒)发生一次脉冲信号。如果后援控制系统在 50ms(毫秒)内收不到脉冲信号,就说明已发生了故障。

不属于后援控制系统控制的功能返回到它们的原先“无源”状态,这意味着诸如喷油始点延迟,停止某一气缸工作的控制失效,以及同车

内处理器的连接中断。

3.3 综合测试系统

如使用上一代电子技术,仅能用“外部”设备测试功能。除了增加费用以外,这种测试方法的明显缺点是仅能测试连接外部设备时的功能。不能连续地和在运行中诊断。由于现代化电子系统固有的本身智能提高,现在已可配备永久性的综合测试系统(ITS),例如装在控制和诊断系统中的综合测试系统,可用以进行两种不同的测试方法,即自动连续工作状态监测或交互测试,见图 11。

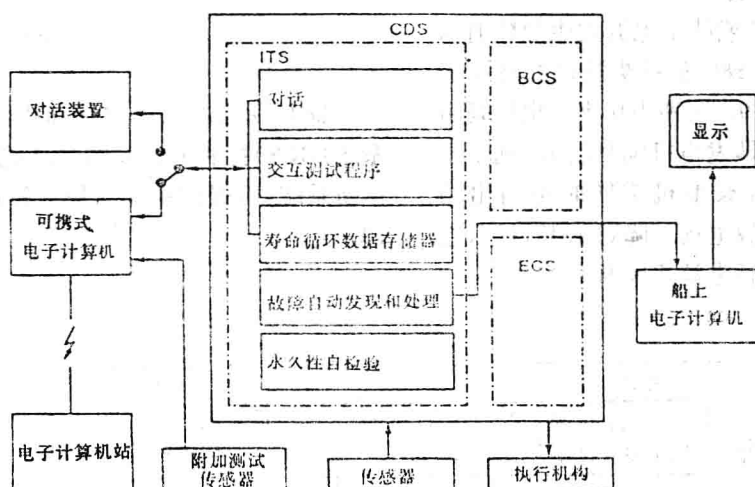


图 11 综合测试系统

在柴油机工作时,对所有的电子部件可进行周期性的反复测试。使用巧妙的方法或利用其他信号,也可连续测试传感器和执行机构。仅能使用这个方法,在预定的操作方式下,(如柴油机停车或惰转时),测出各种特殊功能。

把记录的偏差储存在车内计算机及控制和诊断系统中。对预定的故障,可起适当的排除作用。例如,在进气压力传感器发生故障时,就能够根据柴油机转速和喷油参数发出另一种信号。

第二种测试方法是要求操作人员或维修人

员通过船上电子计算机和控制和诊断系统进行例行测试工作。并按照控制和诊断系统的指令(在计算机控制屏上指明)采取纠正措施,例如检修燃油供应系统或空气过滤器。

如果船上没有合适的计算机,可使用简单的人机对话装置或可携式个人计算机去采取纠正措施。个人计算机还有其它用途。如它能记录由辅助测试传感器产生的信号,这种传感器,由于成本和可靠性的原因,不能永久地装在柴油机上,仅为增加测试项目而临时安装的。在扩充试验、交互试验或永久性试验中得到的测试

结果,能够暂时储存在个人计算机中,然后,如通过远距离通讯设备输给支援基地或计算机中心中。

另一综合功能是寄存和记录“运行状态下”的运转状态。另外,还能记录其他情况,如:负荷变化,此后,根据这些数据可制订维修计划。

3.4 信号传送

近几年来,车内电子组件之间的数据传送不断地增加。“一条线路传送一个信号”的传送方法已过时了。以后,要求通过一对导线,先后传送大量信号。最近十年来,符合 RS422 标准的串联接口,曾被人优先使用。可是,由于增多数据和提高传送速度,这种接口不能满足目前的要求了。因为它们不能通过一个接口、向几个地点同时传送不同信号,因此,为了满足上述要求,设计控制和诊断系统时,环形总线系统已考虑到连接商用,如 RS485 或 CAN。

今后,随着玻璃纤维技术的发展,传送速度会进一步提高,从而减少了发生故障可能性。

4 结 论

880 系列柴油机有内在的控制和诊断系统,具有下列显著的优越性:

a. 在柴油机上使用电子系统所取得的优

越性,完全未受到综合后可能产生的影响。除提高灵活性和增加可靠性外,还有作用方便和经济节约的优点;

b. 柴油机使用电子技术的结果是取消了辅助驱动机构、接口和组件,使整个结构简单、易于安装和连接其他部件,如齿轮箱、冷却装置、空气滤清器。加上 880 系列结构紧凑的设计指导思想,减少了安装空间,增加了体积功率。柴油机的体积功率高于 $1000\text{kW}/\text{m}^3$;

c. 由于采用综合结构和装在柴油机上,电子系统具有电缆短、接口少、构造简单的特点,这些优点可减少发生故障的可能性,从而提高了可靠性;

d. 880 系列柴油机装备的控制和诊断系统,意味着引进面向未来的电子技术,这些技术包括:连续自行测试(另一提高可靠性的方法)和通过数据总线改进信号传送。

综合现代化柴油机技术和不断发展的电子技术,使动力装置的设计能更好地满足用户对技术性能、安装空间、安全措施和经济性等方面的要求。

邱光普 译
候挺校

Vasa 46 柴油机的运行经验

[芬兰] Vestergren R. *

本文介绍了第一批 Vasa 46 柴油机用于陆用基本电站及船舶动力的经验。

重点论述了下列各技术问题的发展及使用结果。

- a. 双喷油系统;
- b. Ex 混流式涡轮增压;
- c. 厚壁轴承技术;
- d. 抗振技术;
- e. WEnCoM 的状态监控系统, 以及这些技术对可靠性的影响。

此外, 文中还发表了磨损率及机油消耗率。

1 前言

Vasa 46 是 Wärtsilä 公司最新研制出来的最大的一种中速柴油机。它是 Vasa 燃用重质燃油柴油机功率系列型谱中的一个自然延伸。Vasa 系列柴油机早在 70 年代中期以 Vasa 32 柴油机的设计和研制作开始, 紧随着的是 80 年代初期的 Vasa 22 柴油机。作为 Vasa 46 先驱的这两种型号柴油机。由于其技术上的独到之处, 特别是在燃用重油、热效率及可靠性等方面的优点, 在它们所属的功率范围内成为市场的主导。这两种型号的产品现均已超过 1000 台。有些 Vasa 32 柴油机现已累计运转超过 70 000 h。

Vasa 22 及 Vasa 32 型柴油在广泛的各种使用场合下积累的燃油重用的经验对在 1985 年开始着手设计 Vasa 46 柴油机具有极大的价值。它的第一台样机, 也即是试验机 6R46, 于 1987 年初在工厂试验室内首次起动。

到了 1988 年夏季, 第一台 Vasa 46 的 6 缸机机型已提交给欧洲运输公司, 装在滚装船上使用。

在作者着手写本文时, 一批直列式 12 缸的 Vasa 46 柴油机已投入使用, 一台作为生产基本电力的陆用基本电站原动机, 还有 11 台用作船

用主机。

第一台 V 型 12 缸柴油机 12V46 在最近已顺利地完成了 900 h 的试验计划。对这台试验机, 除了常规的性能发展工作外, 还专门校验了弹性支承的振动及机体的应力测量。

2 设计思想

Vasa 46 的设计基础自然是遵循 Vasa 32 的一些主要设计原则。用户对船舶及电站柴油机进一步提高热效率、运行可靠性、以及减少值班人员的要求, 对每一个参加设计和研制的人员来说, 都意味着激烈的挑战。

要达到低燃油消耗率的最大有效途径是提高燃烧压力, 但是实现这点的关键是看所需的技术是否可行。

Vasa 46 型柴油机的设计要求是, 准备把最大燃烧压力提高到 20MPa。可靠性被视为 Vasa 46 型柴油机最重要的指标。提高可靠性的要求特别影响了。主要件和系统的设计, 其中有些技术在这一缸径尺寸的柴油机中是创新。

下面将提到的 Vasa 46 柴油机的一些试验结果及运行经验, 证明了其可靠性。

* 国际 Wärtsilä 柴油机公司的产品发展部经理。

Vasa 46 柴油机的主要技术参数表

气缸排列型式	直列	4,6,8,9 缸		
	V 型	12,16,18 缸		
气缸直径,mm	460			
活塞行程,mm	580			
单缸功率,kW	905			
转 速,r/min	450	500	514	
平均活塞速度,m/s	8.70	9.67	9.94	
平均有效压力,MPa	2.5	2.25	2.19	
最高燃烧压力,MPa	18			

3 研制

3.1 喷油系统

通常一台中速柴油机的运行分布图将覆盖一个广阔的转速和负荷范围。随着实际运行点的变化,每循环所需的燃油量可变化多达 10 倍。所以采用通常的单喷油系统而又要求燃油雾化良好,必燃是件十分困难的事情。通常,在这种喷油系统中,喷油嘴的设计是按最高负荷的运行条件而优化的。

在部份负荷及低负荷时,雾化品质差不是唯一的问题,还存在有较低的压缩终点温度及较低的燃烧室表面温度的问题,这两点与燃油品质差结合在一起就使得燃烧开始及整个燃烧过程明显地滞后。

除了采用多少是种常规的做法即利用可逆向的冷却系统来提高低负荷时的燃烧空气温度外,作者预见了采用双喷油系统可进一步改善部分负荷及低负荷下燃烧的可能性。这种双喷油系统由两个喷油嘴组成,一个引燃用的喷油嘴按一个恒定的引燃用燃油量进行优化,而另一个主喷油嘴则按随负荷而变的喷油量要求进行优化。在主燃油喷射前,气缸内先喷入引燃用燃油,这样就可先在燃烧室内先形成一种有利于主喷射开始的环境。

按 20MPa 燃烧压力的设计目标,压力升高比过大的风险是较大的,同样也存在 No_x 生成过高的问题。

通常把喷油压力提高到超过 150MPa,目

的仅是为了保证低负荷下的燃烧正常。而双喷油系统不需要这样做,因为它能适应主喷油压力约为 100~120MPa 的条件。这样一来,较低的最高喷油压力就可以减小喷油泵所产生的负荷,增加整个高压喷油系统、凸轮轴及其传动的安全性。

第一代双喷油系统是从简单的设想发展而来的,即在一个常规的高压喷油泵上用一个等行程的液压活塞输出约为最大持续功率下喷油量 6% 的引燃用油量。改进后的喷油系统缩短了喷油嘴与喷油泵之间的距离,并且使引燃用喷嘴与主喷嘴的启阀压力存在一个差值。

初期的实验室试验表明着火滞后期缩短,压力升高比降低及 NO_x 排放物减少。

初期选定的引燃用油量约为最大持续功率时喷油量的 6%,但试验表明,这对热效率及热负荷有些不利。这个缺点是由于引燃用喷嘴的针阀动作不利落,以及引燃喷油与主喷油时间的重叠度过大而引起的。这点在煤气-柴油双燃料发动机的研制过程中已得到了证实,说明这样的重叠度干扰了燃烧过程。

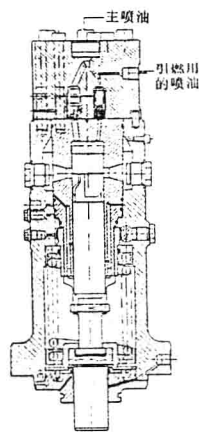


图 1 第一代双喷油系统的喷油泵引燃用燃油是液压控制的活塞压出

进一步减小引燃用的燃油量到 2.8%,表明可明显改善引燃用喷嘴的针阀升降动作,并且还减少了引燃喷射与主喷射之间的相互干扰。这是一个在已生产的机型上采用的可行办法。但是如果把这两个喷油时间相互完全分隔

开来,还有进一步改善的可能。

基于上述经验,着手进行了第二代双喷油系统的研制,目的在于能更随意地调整引燃喷油与主喷油之间的时间间隔。为此,设计和发展了一种双活塞油泵。

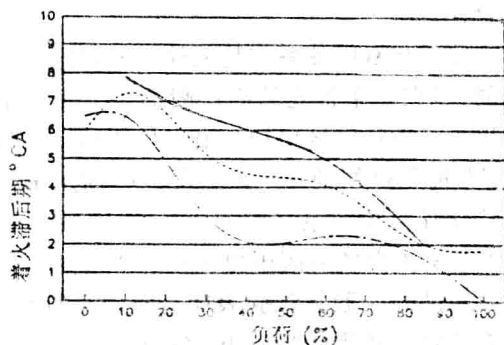


图2 不同引燃喷油量下的双喷射与单喷射着火滞后期的比较

(第一代双喷射系统的着火滞后期)

.....引燃喷油 5.2% —— 引燃喷油 2.8%
—— 无引燃喷油

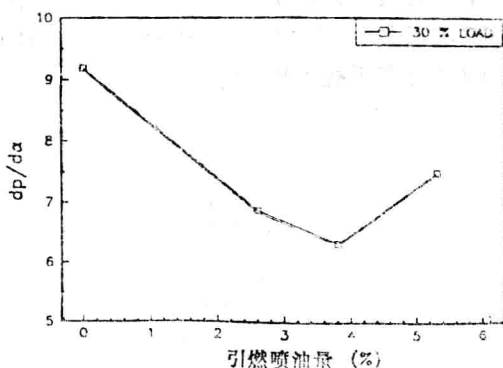


图3 不同引燃喷油量下的燃烧压力升高率
(第一代双喷油系统的气缸压力升高率与引燃喷油量的关系)

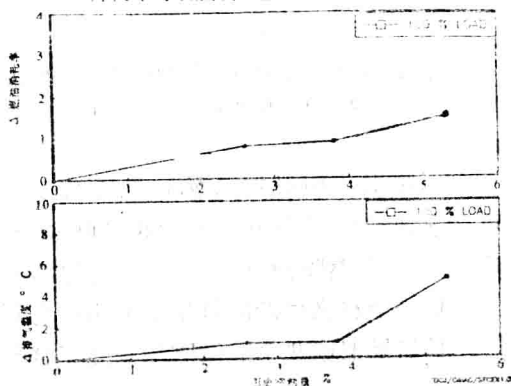


图4 引燃喷油量对气缸排气温度及燃油消耗率的影响

(第一代双喷油系统中引燃喷油量对燃油消耗率及排气温度的影响)

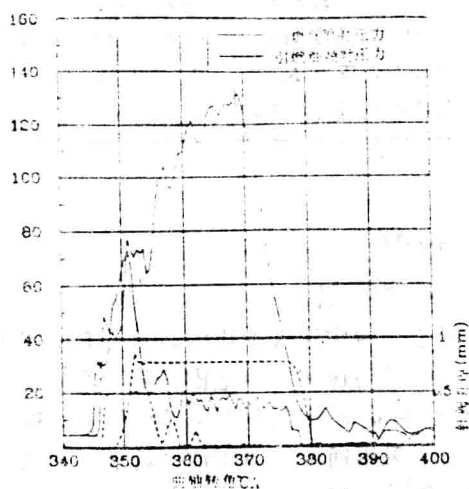


图5 引燃喷油量为全负荷喷油量 5.3% 时的喷油时间

(发动机转速: 500 r/min, 负荷: 5430 kW
主喷射启阀压力: 45 MPa, 引燃喷射的柱塞行程: 3 mm, 试验编号: 2)

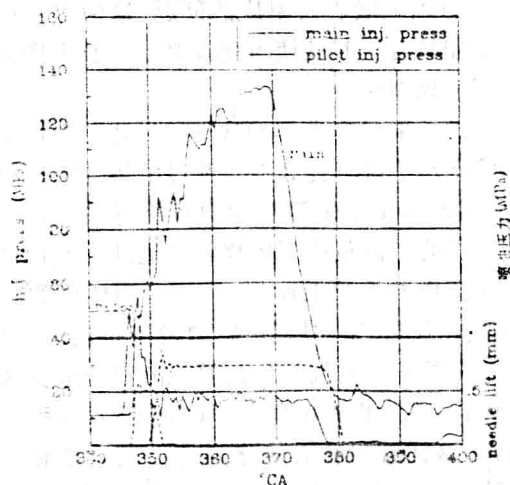


图6 引燃喷油量为全员负荷喷油量 2.6% 时的喷油时间

(图中说明同图 5)

试验是在一台 Vasa 6R46 柴油机上进行

的。试验表明,引燃喷射与主喷射的完全分隔稳定了燃烧过程,燃烧对选定的引燃喷射方式或其油量毫不敏感。试验中改变了分隔期从6到17度曲轴转角,引燃喷油量从3.9%到5.9%。有一个分隔期的好处可以从与使用第一代双喷油系统的发动机相比 NO_x 排放量显著下降中清楚地看出。

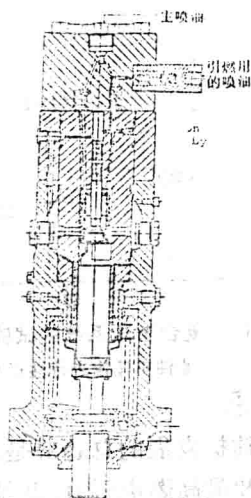


图7 第二代双喷油系统的喷油泵

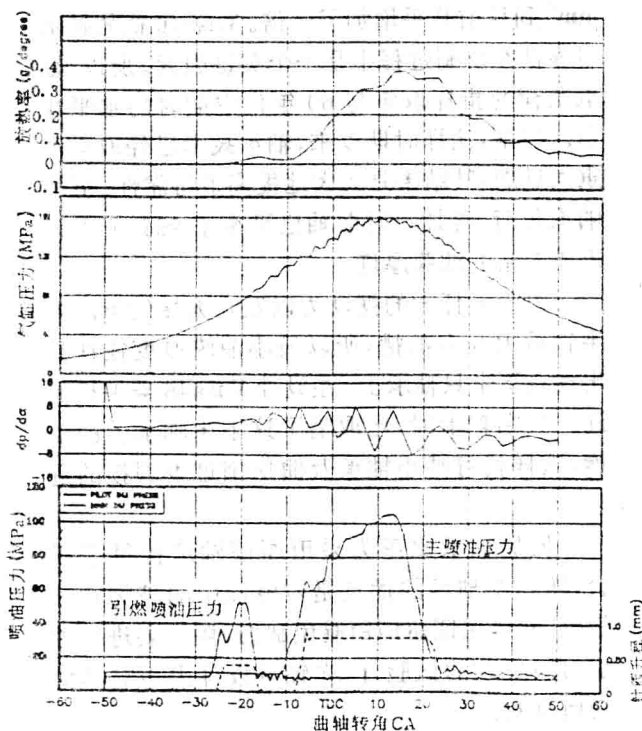


图8 使用第二代双喷油系统测得的喷油燃烧时间

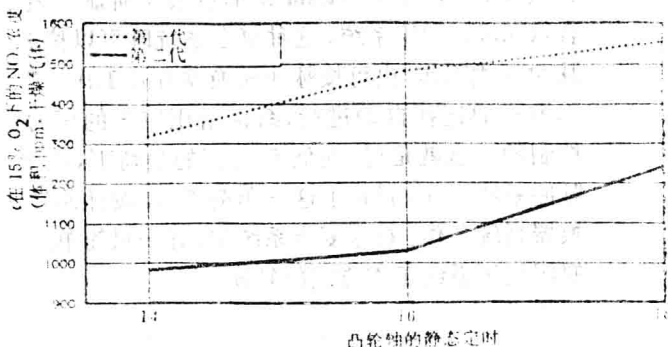


图9 废气中的 NO_x 排放量。第一代与第二代双喷油系统的比较
(排放, 双喷油系统对定时的敏感性,
Vasa 6R46, NO_{4000} 对比负荷为 85%。

3.2 涡轮增压系统

涡轮增压技术及其效率是一种柴油机型成攸关的问题。随着柴油机应用场合的不同,对燃油经济性、低负荷容量或者对加载的响应等各方面的性能要求可能有不同的优先次序。

Vasa 46 中速柴油机通常采用的是等压增压系统,其结果是具有良好的全负荷性能,但在部分负荷及低负荷下性能较差,对负载变动的响应也差。

为了克服等压系统的这些缺点,发明了 Ex 涡流式 (Swirl Ex) 系统。由于这种独特的排气管设计,排气流能在整个系统内保持高的气流速度,并且还能减弱从其他缸传来的排气脉冲。与等压系统相比,排气流所具有的螺旋式运动还可提高部分负荷下的涡轮效率。

对许多不同形状及尺寸的 Ex 涡流式排气管进行了试验,从中得到了一种优化的结构,它适用于通常需要加载的基本负荷电站及可变螺距推进装置。这就是说,在这种应在这种应用场合下,每次需要以 40% 以上的副度在 30s 钟内从空车迅速加载到全负荷。

对于要求加载响应更严格以及负荷变化更为频繁的动力装置,设计有脉冲增压系统,以作为对 Ex 涡流式排气管系统的补充。对于 6 缸机及 9 缸机将采用 3 脉冲增压系统,而对于以 4

缸机型,则装有 Wärsilä 柴油机公司研制的复合 (Combi) 增压系统。这种复合系统既可以按 2 脉冲方式工作,也可按脉冲转换器方式工作。工作方式的选择自动进行,系由增压空气的压力控制的。这就是说,在低于 55% 的负荷下,按 2 脉冲系统工作,而高于这一负荷下,就按脉冲转换器系统工作。在这复合系统中,有一只简单的蝶阀用于系统工作方式的转换。

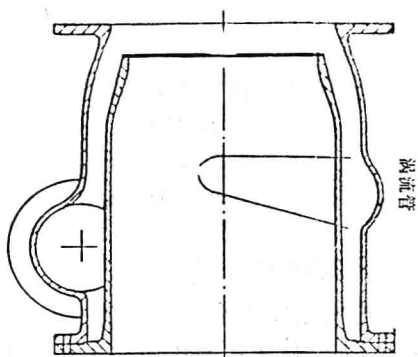


图 10 组成 Ex 涡流式排气管系统的每缸一段的 Ex 涡流管

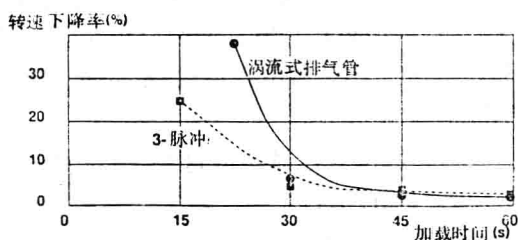


图 11 发动机的加载能力
(3 脉冲与 Ex 涡流式排气管对负荷响应比较在 450r/min 下空车加载至全负荷)

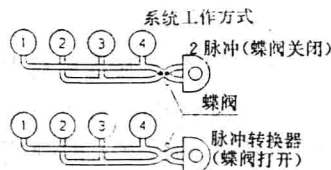


图 12 复合增压系统的设计原理

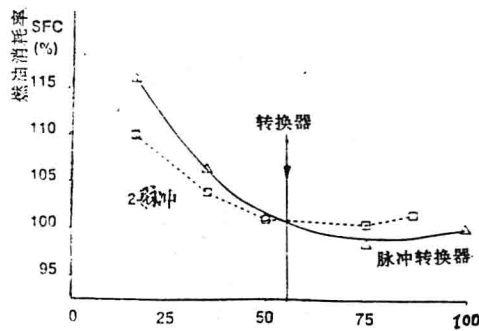
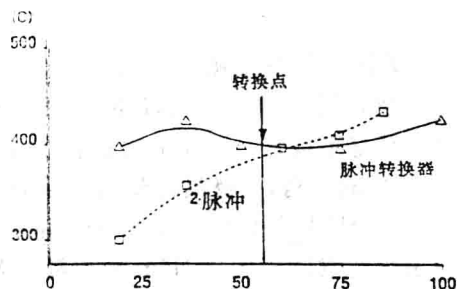


图 13 复合增压系统的试验结果
(柴油机按推进特性运行)

3.3 轴 承

中速柴油机发展的总趋势是不断地提高单位输出功率和最高燃烧压力。其结果是,轴承的比压大幅度地提高,从 60 年代中期的 20N/mm² 到目前几乎增加了一倍。Vasa46 机的轴承可靠性在研制过程中是一个关键因素。所以,轴承负荷的指标取定与 60 年代中期时的水平相当。但是,从那时期以来,轴承技术已经取得了重大进展,其结果是大大地提高了可靠性。低的轴承负荷,再加上对曲轴已平衡了 95% 所以可形成充裕的油膜厚度。

由于连杆大的摆动力以及在大端轴承的下半轴承上开有油槽,所以最小油膜厚度往往是出现在下半只轴承上。在设计 Vasa46 柴油机的连杆大端轴承时,已取消了这下半轴承上的油槽,这样就可减小轴承及曲柄销过度磨损的危险。

低的轴承比压为采用厚壁轴承提供了机会,而厚壁轴承的优点是对滑油中的脏物不甚敏感,并可保证曲柄销避免刮伤。除了要进行轴承材料更改的试验外,在轴承设计上不需其他任何改变。