

船舶柴油主机遥控系统

方霖芝 编著

上海海运学院

船舶柴油主机遥控系统

方霖芝 编著

上海海运学院

前 言

本书是在《船舶柴油主机遥控系统》讲义（已使用过三年）的基础上，根据船舶电气管理专业的主机遥控系统课程大纲编写而成的。全书共分五章，即：概念、船舶柴油机简介、实现主机遥控的基本原理。AUTOCHIEF—Ⅲ主机遥控系统和DIFA—41 主机遥控系统。本书前四章按40学时完成课堂教学，第五章可作为同学课后自学材料。

为了使本书能适合海运船电专业本科生要求，又可满足从事远洋运输机务部门、轮机管理人员以及修造船厂技术人员需要，因此编写过程中采用基本理论和典型实际控制系统相结合的方法，由浅入深、深入浅出的阐述各章内容，这样，本书为广大读者创造了较好的自学条件。

全书由沈鼎新教授审阅，承蒙提出很多宝贵意见，谨此表示感谢。

由于作者水平所限，错误之处在所难免，故请广大读者批评指正。

作者1990年

目 录

第一章 概述	(1)
§ 1—1 组成	(1)
§ 1—2 类型	(4)
§ 1—3 功能	(5)
第二章 船舶柴油机简介	(8)
§ 2—1 柴油机基本工作原理	(8)
§ 2—2 启动	(10)
一、 启动	(11)
二、 复位	(11)
§ 2—3 换向	(11)
§ 2—4 制动	(13)
一、 制动意义	(13)
二、 制动类型	(13)
三、 制动原理	(14)
§ 2—5 调速	(14)
一、 为什么要调速?	(14)
二、 调速器的类型	(15)
三、 全制式液压调速器 (PG调速器)	(15)
§ 2—6 气动控制技术简介	(26)
一、 方向控制阀	(27)
二、 压力控制阀	(30)
三、 流量控制阀	(31)
四、 过滤器	(32)
§ 2—7 操纵系统实例	(32)
一、 气源	(32)
二、 转向选择	(32)
三、 启动系统	(37)
四、 转速给定	(37)
五、 安全保护装置	(40)
第三章 实现主机遥控的基本原理	(42)
§ 3—1 换向逻辑控制	(42)
一、 停车情况下的换向	(42)
二、 主机正在运转情况下的换向	(42)
三、 换向逻辑电路	(43)

§ 3—2	启动主逻辑控制	(44)
一、	启动逻辑条件	(44)
二、	启动主逻辑电路	(45)
三、	启动工作原理	(46)
四、	启动举例	(46)
§ 3—3	重复启动逻辑控制	(47)
一、	重复启动逻辑控制电路 I	(47)
二、	重复启动逻辑控制电路 II	(48)
§ 3—4	重启逻辑控制	(49)
§ 3—5	慢转启动逻辑控制	(51)
一、	慢转启动逻辑控制电路	(51)
二、	慢转启动控制气路	(52)
§ 3—6	制动逻辑控制	(53)
§ 3—7	车令发讯	(54)
一、	气动式车令发讯	(55)
二、	电子模拟式车令发讯	(55)
三、	电子数字式车令发讯	(57)
§ 3—8	转速检测	(59)
一、	测速发电机式检测器	(59)
二、	电磁脉冲式检测器	(60)
§ 3—9	转速与负荷控制	(60)
一、	转速限制器与加速度限制器	(61)
二、	启动转速限制器	(67)
三、	转速调节和负荷调节	(68)
§ 3—10	燃油限制控制	(68)
一、	转矩限制器	(68)
二、	扫气压力限制器	(70)
三、	手动燃油限制器	(70)
§ 3—11	控制信号转换	(70)
一、	模拟式电/气转换器	(70)
二、	数字式电/气转换器	(71)
第四章	AUTOCHIEF—Ⅲ主机遥控系统	(73)
§ 4—1	概述	(73)
一、	驾驶室控制面板	(75)
二、	集控室控制面板	(75)
三、	车钟	(78)
四、	主要功能	(79)
§ 4—2	主机车向和转向逻辑判别电路	(79)
一、	电路结构	(81)
二、	电路工作原理	(82)

§ 4—3	启动控制电路	(83)
一、	结构框图	(83)
二、	单元电路工作原理	(85)
§ 4—4	电磁阀驱动电路	(93)
一、	启动电磁阀驱动电路	(93)
二、	正、倒车电磁阀驱动电路	(95)
§ 4—5	转速测量电路	(95)
一、	转速检测器	(95)
二、	转速信号转换器	(97)
§ 4—6	几个特定转速测量电路	(99)
§ 4—7	转速表头指示及主机转向输出电路	(99)
§ 4—8	转速检测器故障电路	(101)
一、	CD4098双单稳态触发器	(102)
二、	工作原理	(102)
§ 4—9	转速控制电路	(105)
一、	结构框图	(105)
二、	驾驶室操纵手柄发令装置	(108)
三、	“鲁班”轮转速给定值调节图	(108)
四、	LM339和LM324线性集成电路器件	(108)
五、	CD4029和CD4016集成电路器件	(112)
六、	临界转速限制电路 (CRITICAL RPM LIMIT)	(115)
七、	故障减速限制电路 (SLOW DOWN LIM)	(117)
八、	转速限制器 (RPM LIMITERS) 一选小器	(117)
九、	手动转速限制电路 (MANUAL RPM LIMITER)	(117)
十、	停车限制电路 (STOP LIM.)	(119)
十一、	应急停车限制电路 (EM. STOP LIM.)	(119)
十二、	启动空气限制电路 (START AIR LIM.)	(119)
十三、	最低转速运行限制电路 (MIN. RUN LIM.)	(119)
十四、	正常启动 (包括时间启动) 油门限制电路 (N/T START FUEL LIM.)	(120)
十五、	重启动油门限制电路 (HEAVY START FUEL LIM.)	(120)
十六、	加速度限制器 (ACCELERATION LIM.)	(120)
十七、	倒车最大转速限制电路 (MAX. AST. LIM.)	(123)
十八、	热负荷限制电路 (THERMAL LIM.)	(123)
十九、	E/I转换电路	(129)
二十、	转速给定装置	(131)
§ 4—10	通讯联系及显示	(131)
一、	驾——集控制方式通讯电路	(131)
二、	故障停车信号显示电路 (SHUT DOWN)	(134)
三、	故障减速 (SLOW DOWN) 信号显示电路	(137)
四、	启动失败 (START FAILURE) 信号显示电路	(137)
五、	系统故障 (SYSTEM FAILURE) 信号显示电路	(138)

六、	封锁启动 (START BLOCK) 和停车作用 (STOP ACTIVATED)	
	内部信号显示电路.....	(140)
七、	模拟试验信号发生电路及转速显示电路.....	(140)
八、	报警电路及正、倒车车令显示电路.....	(144)
九、	AC—Ⅲ系统运行工况重要信号在集控面板和驾控面板上的显示电路.....	(145)
十、	声、光报警发生电路.....	(148)
十一、	警铃触发电路.....	(148)
十二、	试灯功能电路.....	(148)
十三、	复位请零电路.....	(148)
十四、	副车钟信号显示电路.....	(149)
§ 4—11	维修保养.....	(152)
一、	日检.....	(152)
二、	月检.....	(152)
三、	半年检.....	(152)
第五章	DIFA—41主机遥控系统	(153)
§ 5—1	概述.....	(153)
一、	驾驶室和集控室控制面板.....	(155)
二、	通讯联系.....	(155)
三、	主要功能.....	(156)
§ 5—2	主机操纵系统.....	(158)
一、	气动元器件介绍.....	(158)
二、	集控室操纵原理.....	(166)
三、	机旁 (应急) 操纵原理.....	(169)
§ 5—3	DIFA—41驾驶室自动遥控操纵原理.....	(170)
一、	概述.....	(170)
二、	速率发送器.....	(170)
三、	正常停车控制过程.....	(175)
四、	第一次启动控制过程及供调油.....	(176)
五、	第二次启动控制过程.....	(178)
六、	正常换向控制过程.....	(180)
七、	应急换向控制过程.....	(182)
§ 5—4	DIFA—41系统模拟试验.....	(184)
一、	结构.....	(184)
二、	模拟试验面板显示器和操作部件的分布.....	(184)
三、	DIFA—41系统重要参数.....	(191)
四、	怎样进行模拟试验.....	(193)
五、	显示与修改参数.....	(196)
六、	故障的检测.....	(198)
七、	车令记录装置 (打印机) 时间、日期、转速变化率参数修改.....	(203)
§ 5—5	DIFA—41遥控装置的微型计算机系统.....	(204)
一、	中央处理器 (CPU) 印刷电路板 (CC51)	(205)
二、	模拟量输入印刷电路板.....	(208)

第一章 概 述

从六十年代初期开始,“无人机舱”船舶获得迅速发展,也就是在这个发展形势下,主机遥控系统应运而生。因为世界主要造船国家船级社已把主机遥控系统作为“无人机舱”规范中不可缺少的主要部分。近年来,世界各主要造船国家建造的船舶几乎都装设了主机遥控设备。主机遥控系统是指远离机旁,在驾驶室或集控室借助自动控制装置,操纵主机的一种遥控装置。弄清主机遥控定义的关键在于对这句话中的“借助自动控制装置”几个字的正确内涵。我们要论述的主机遥控系统,决不是主机操纵的简单延伸。例如:像黄浦江轮渡船的营运,机旁确实无人操纵,而是由驾驶室的驾驶员直接操纵柴油机的,表面看来好似遥控,然而这种遥控只不过是把机旁操纵搬了一次家,搬到驾驶室去操纵,一种操纵地点的简单延伸罢了。因为从驾驶室到主机操纵系统之间并没有装设一种接口——自动控制装置,所以轮渡的遥控不能算自动的主机遥控。

我们要介绍的主机遥控系统是指带有“自动控制装置”的主机远程遥控系统。它最大的特点是不需要经过专门技术培训的操作员来操纵主机,对主机毫无了解的任何人均可在驾驶室或集控室使用车钟手柄及功能键(或开关)操纵主机。为什么可以这样做呢?这就是因为我们将要介绍的主机遥控系统中的自动控制装置保证了主机的绝对安全可靠,可以避免人为的操作差错,所以介绍主机遥控系统的重点应该是研究自动控制装置。

主机遥控系统发展到今天,已经过了四代的发展过程。即用气动元件组装成的第一代主机遥控系统;用电子分立元件或继电器元件及气动元件组装而成的第二代主机遥控系统;用中、小规模电子集成电路及气动元件组装而成的第三代主机遥控系统;用微型计算机(包括数字调速器)及气动元件组装而成的第四代主机遥控系统。

本章主要介绍:主机遥控系统的组成、类型及功能,使读者学了本章以后对主机遥控系统有个大体上的了解。

§ 1--1 组 成

主机遥控系统的组成如图1—1所示,从图中可以看到操纵主机的方式可以有三种:

1) 驾驶室操纵方式

一般在遥控装置处于正常情况下使用。

2) 集控室操纵方式

当驾驶室操纵方式失灵时,指集控室未设置自动操纵手柄时,可把安装在集控台或驾驶室台上的B/E(驾/集)操纵转换开关切换到集控室操纵方式。这里需要注意一点,即集控室操纵方式时,车令发送器并非都经过“自动控制装置13”去控制主机,只有少数机型才是经过“13”。这是因为驾驶室和集控室公用一套“自动控制装置”会降低系统可靠性。若公用的

“自动控制装置”出了故障，则两地（集控室和驾驶室）都失去操纵主机的可能性。

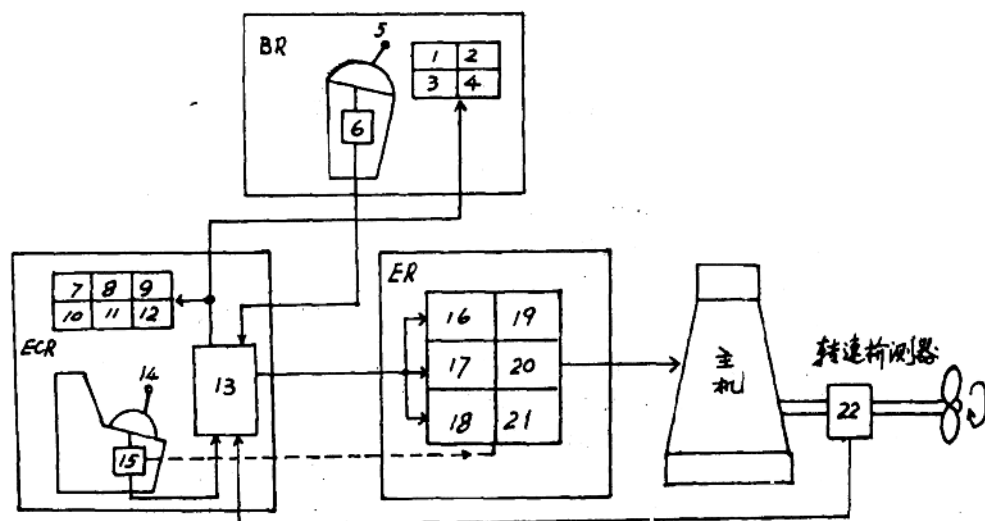


图 1-1 主机遥控系统组成框图

BR—驾驶室操纵台； ECR—机舱集控室操纵台； ER—机舱操纵装置；

1、7—转速表头； 2、8—起动空气表头； 3、9—应急运行按钮； 4、10—应急停车按钮；

5、14—操纵手柄； 6、15—车令发讯器； 11—显示、报警； 12—模拟试验板； 13—自动控制装置； 16、17、18—换向、启动、调速控制环节； 19、20、21—换向、启动、调速、停车执行机构； 22—转速检测器。

* 图中虚线表示集控室操纵时，不经自动控制装置，直接借助“ER”气动操纵装置操纵主机，显然这种操纵方式不具备自动遥控主机功能。

3) 机旁操作方式

这种操纵方式是比较现成的，我们知道在没有出现主机遥控装置以前，机旁操纵方式一直是存在的，当然它应由轮机员来操纵。

以上三种操纵方式，不仅增加了主机操纵的灵活性，而且也是互为补充的。一旦驾驶室操纵失灵，就可切换到集控室操纵，若集控室操纵也失灵，可切换到机旁操纵。因此，目前设计的主机遥控系统一般都具有三种操纵方式的功能。下面我们对框图中的主要组成环节作些简单介绍：

1. 车令发讯器

为了照顾到驾驶员传统的以单手柄车种发令习惯。因此，具有主机遥控的车令发送装置，从外表来看和传统的车种并无两样，操纵方法基本上也和过去一样。但是，就其内部结构来说却大不一样。这是因为具备主机遥控的车钟需要完成两个功能。

1) 完成传统的车钟传令功能

若目前在集控室或机旁操纵主机，则驾驶室的车令发送装置就成为完成传统的传送车令之用。它能发送的车令有（如图1—2所示）：

正车 (AHEAD)
 微速 (DEAD SLOW)
 慢速 (SLOW)
 半速 (HALF)
 全速 (FULL)
 海上全速 (NAV. FULL)

停车 (STOP)

倒车 (ASTERN)

微速 (DEAD SLOW)

慢速 (SLOW)

半速 (HALF)

全速 (FULL)

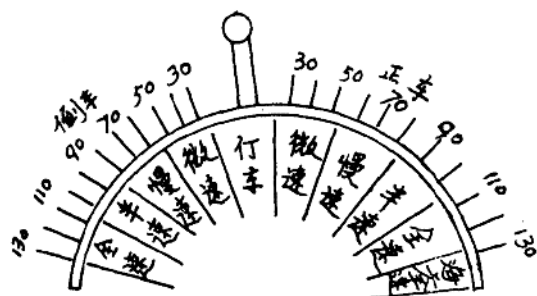


图 1-2 车钟指令

这里要说明一点的是：主机遥控系统用的车钟有正车五档，倒车四档，停车一档，共十档。但传统的传令车钟除上述九档外(不包括海上全速档)，还有“备车”和“完车”两档，共计11档。而主机遥控系统中的“备车”和“完车”两档，则是使用两只带灯按钮来发送它们的。

2) 完成主机遥控系统发送遥控指令的功能

它是通过车钟内部带有凸轮机构、电位器(或气动调压器)、电子线路放大器和电触点开关(或气动阀件开关)来完成发送正、倒车和停车指令及转速设定值功能的。

车钟传令系统和主机遥控发令系统，从电路上来说是完全分开的。只不过是过驾驶室的车钟手柄或这两个系统以机械方法连接在一起罢了。

总之，驾驶室遥控主机时，只要把车钟手柄扳到所要求的转速刻度上，就能发送出相应的转速指令。

2. 自动控制装置

通常自动控制装置可由三部分组成。

1) 开环程序控制环节

它可以是数字电子线路构成的逻辑判别电路，也可以是低压气动元件构成的逻辑判别气路。

2) 闭环调速控制环节

它只能是由模拟电子线路构成的实现PI调节规律的调节器电路(近几年来，国际上有好儿家公司推出，由微型计算机构成的数字型调速器“DIGITAL GOVERNOR SYSTEM”。如：NORCONTROL CO.'S DGS8800; SIEMENS CO.'S SIMOS SPC51等)。但是若主机遥控系统纯属气动元件构成，则闭环调速控制环节就不包括在自动控制装置内；此时，通常调速控制环节装设在机旁某处，大多数使用一种全制式液压调速器，又叫WOOD WARD调速器。

3) 给定转速控制环节

它可以是电子线路构成的给定转速控制电路，也可以是气动元件构成的给定转速控制气

路。

3. 从集控室到主机之间的接口——换向、启动、停车、调速控制机构

通常这种接口环节，均选用气动元件和液动元件构成。若主机遥控系统的“自动控制装置”中已包括了电子线路构成的电子调速器，在接口环节中一般不再配备WOODWARD调速器，但也有少数机型为了增加系统工作的可靠性，把WOODWARD调速器仍安装在机旁，留作备用。这一接口环节可以看作为主机换向、启动、停车、调速的控制执行机构。

§ 1—2 类 型

按系统使用工作介质的不同来分，主机遥控系统可分为以下五种类型。

1. 气动主机遥控系统

气动主机遥控系统是最早发展的一种遥控系统。它由气动控制元件构成，系统使用的工作介质是压缩空气（通常为 7kgf/cm^2 或 7×10^5 帕）。它具有结构简单、直观、易于掌握、价格低廉、工作可靠和取源方便（只要把 30kgf/cm^2 或 3×10^6 帕起动空气，经减压阀和空气过滤器降为 7kgf/cm^2 或 7×10^5 帕的控制空气即可使用）等优点。但是由于系统的工作介质是压缩空气，因此控制信号传递速度较慢，一般传递距离限于100米以内；对工作介质有净化程度高的要求，因为压缩空气中的灰尘和水、油份极易导致气动元件发生故障，所以要求船员勤管理空气过滤器，定期清尘除水。

2. 电动主机遥控系统

它由半导体三极管、集成电路、电阻、电容和电动执行器等电子电气元件构成。系统工作介质为电，因此控制信号传递快，遥控距离不受限制成为该系统的突出优点。但整个系统全部使用电子电气元件构成的遥控系统是办不到的。这是因为主机操纵系统本身的换向、启动、制动、停车等动作，传统地沿用气动和液动执行器来完成的。目前能做到的只是控制供调油使用电动执行器，实践证明，这种执行机构的设计难度和造价都很高。因此目前电动主机遥控系统很少见到，有待研究发展。明显的缺点是，结构复杂、造价高昂、船员掌握它难度大。

3. 电——气结合主机遥控系统

顾名思义，我们也会想到该遥控系统一定是：集电动和气动遥控系统各自优点组成的一种最为常见的主机遥控系统，事实正是如此。它的特点是：自动控制装置部分由电子电气元件构成，而主机操纵系统的执行部分由气动部件构成。这两部分也就做了明确的合理分工，即前者负责控制，后者负责执行。发展最快，应用最广的要算是电——气结合的遥控系统。这是因为它的设计思想最为合理，不仅吸收了电动和气动系统的各自优点，互相取长补短，同时又照顾到传统的主机操纵系统本身的需要。可以比较好的处理了遥控系统与主机本身结构的相容性。但是广大船员还是反映，掌握它比较困难。

4. 电——气——液结合主机遥控系统

这是世界个别公司——SINMENS公司从电——气结合系统派生出来的一种遥控系统类型，在遥控系统中并不多见。SINMENS公司所以要设计电——气——液结合的主机遥控系统方案，可能与该公司设计制造的电——液执行器有关。因为他们认为电——液执行器工作可靠，能够满

意地取代WOODWARD调速器执行供调油部分的功能，而且电—液执行器能够很方便地与电子调速器相连接。与电—气结合式遥控系统相比，它有明显地缺点，即造价高，压力油时有渗漏，影响正常工作，因此采用本类型的遥控系统不如电—气结合的多见。

5. 微型计算机控制的主机遥控系统

该类型的遥控系统并未跳出电—气结合的遥控系统类型，为何要把它另立门类呢？这是因为此种类型遥控系统的工作原理已跳出前述四类的老框框。它是基于计算机执行软件程序来工作的，所以要把它单立门户。

它的主要特点是采用微型计算机系统取代常规的电子线路。因此这种系统具有体积小、功能强、可靠性高等优点，所以它是今后发展方向。

§ 1—3 功 能

如前所述，主机遥控系统既有开环的程控环节又有闭环的PI调速控制环节，总之它是一个比较复杂的综合性控制系统，因此它所能完成的功能也是比较多样且丰富的，现分述如下：

1. 程序控制功能

1) 换向逻辑控制

若当前下达的车令与凸轮轴位置不相符合时，则换向逻辑电路（气路）环节输出换向信号，驱动——电磁阀（或气动阀）。从此经换向执行机构，自动地进行换向动作，一般换向动作完成约需数秒钟。

2) 启动逻辑控制

当车钟手柄一旦离开停车位置时，启动逻辑电路（气路），根据若干个启动输入条件，作出逻辑判断，输出启动信号，驱动启动电磁阀（或气动阀）。再经若干个气动回路控制，自动地把主机从停车状态启动起来。

3) 正常启动逻辑控制

系指主机转动起来后，且达到发火转速时，自动地切断启动空气的一种启动方式。

4) 时间启动逻辑控制

系指主机转动起来以后，还未达到发火转速，但规定的启动时间已到（约2秒左右），此时启动逻辑电路立即发出启动时间已到信号，并去控制切断启动空气。因为时间启动比正常启动提前关闭启动空气，所以时间启动是节约启动空气的一种有效方法。

5) 重复启动逻辑控制

在发生启动失败时如点火未成，能够进行三次启动尝试。若三次启动均告失败，则自动停止执行启动功能且发出报警信号。

6) 重启动逻辑控制

在应急运行或有重复启动的情况下，为了有把握地使主机启动成功，而增大启动油量，这种启动方法，我们称它为重启动。

7) 慢转启动逻辑控制（多见于B&W机型）

主机停车时间超过规定值后（如一小时），再要求动车时，需经过慢转启动程序，使主

机动车一开始先慢转（1—2转/分），然后再转入常规的启动程序。这是为了保证主机运动部件摩擦表面的润滑。

8) 全速运行时换向逻辑控制

车钟手柄从全速正车拉到倒车某一位置时，主机遥控系统应能自动地实现停油、换向、制动和反向启动等逻辑控制。

2. 转速控制功能

1) PI转速自动控制

在外界负荷变化的情况下，通过具有比例、积分作用规律的调节器（电动或液动）的控制，能使转速维持恒定不变。

2) 临界转速限制

若主机转速跌入临界转速区，则主机遥控系统立即将其自动避开，确保主机安全运转。

3) 加速度限制

主机进行加、减速操作时，为了确保主机安全稳定，不允许加、减速过快而受到限制。

4) 热负荷限制

当主机负荷超过70~75%额定负荷时，主机开始进入高负荷区，主机遥控系统会自动执行热负荷的时间程序，将缓慢地进行加油，加大到100%额定负荷时一般需要1个小时左右。

5) 最小转速限制

主机本身存在一最小不灭火转速，若由于操作上的差错，使主机转速有进入熄火转速的危险，主机遥控系统能自动避开这一危险，把转速限制在最小转速上运行。

6) 最大倒车转速限制

为了防止操作人员把倒车车速开得过于高而设置的倒车转速限制环节。因为过高的倒车转速，会导致主机过载，所以必须对最大倒车转速施行限制。

7) 手动转速限制

在主机本身状态不良的情况下，或恶劣航行条件下（如风、浪等），轮机长可以通过手动调节机构把转速限制在比较低的转速下运转。

3. 燃油限制功能

1) 转矩限制

为了确保主机不过载，主机遥控系统具有输出转矩限制作用。

2) 扫气压力限制

为了避免扫气压力不足，导致燃油燃烧不充分而烟囱里冒出黑烟。为此主机遥控系统设置了扫气压力限制环节，对冒黑烟施以限制。

3) 手动燃油限制

为了避免主机状态不良情况下，在外界发生负荷突然增大时，导致燃油燃烧不良而冒黑烟。调节手动燃油限制环节，可以做到把油量限制到烟囱里不再冒黑烟。

4. 安全保护功能

1) 自动停车保护

若主机系统本身发生严重故障，如滑油压力或冷却水压力过低或主机超速时，遥控系统能够迫使主机自动停车。

2) 自动减速保护

若主机系统本身发生重大故障,如滑油温度或冷却水温度等偏高时,主机遥控系统能迫使主机自动减速运行。

5. 应急操纵功能

1) 应急运行

船舶在航行中遇到应急情况时,操纵应急运行开关,主机遥控系统能自动取消手动燃油限制、手动转速限制、热负荷限制、加速度限制、扫气压力限制和自动减速等功能环节。这些都是为了一个目的,就是要对付当前的非常情况,宁可“舍机保船”。

2) 应急停车

当正常停车车令不能使主机停下来时,在操作应急停车开关下,能迫使主机自动停止下来。

6. 模拟测试功能

为了检查调试主机遥控系统各环节工作是否正常,遥控系统一般都具有模拟测试环节。很明显,模拟测试是寻找遥控系统故障和排除故障的有效手段。

7. 操纵部位切换功能

如前所述,主机遥控系统一般设有三个操纵部位,即驾驶室、集控室和机旁,只要通过操纵切换开关就可方便地实现在不同的部位操纵主机。

以上把主机遥控系统功能作了全面叙述,但只能说大部,决非全部,况且随着科技的发展,主机遥控系统功能也会不断发展。

第二章 船舶柴油机简介

柴油机是主机遥控系统的控制对象,因此熟悉控制对象成为读者学好主机遥控的先决条件,对船电专业的同学来说更是如此。为此,本章主要介绍柴油机基本工作原理和换向、启动、制动、调速等操作程序。最后介绍主机操纵系统实例。

§ 2—1 柴油机基本工作原理

按工作冲程来分,大功率船用柴油机可分为四冲程和两冲程柴油机两种。我们这节仅介绍四冲程机工作原理。

四冲程柴油机的基本结构如图2—1所示。活塞在气缸中作上下往复运动,它与气缸、气缸盖共同组成密闭的空间。连杆和曲轴把活塞的往复运动变为回转运动。气缸盖、气缸、曲轴等部件由机架和机座支承。

当活塞从上部往下运动时,曲柄从 0° 开始转动,设在气缸盖上的进气阀被专设的传动机构顶开,空气被吸入气缸,直至活塞运动到最小部,相当于曲柄从 0° 转到了 180° 。此时,进气阀关闭,进气过程结束。在曲柄从 180° 转到 360° 时,活塞从下部上行,对气缸里的空气进行压缩。当活塞行至上部时,喷油器将燃油喷入气缸,燃油开始燃烧,燃气膨胀并推动活塞下行,使曲柄从 360° 转到 540° 。活塞到达最下部后,转而又开始上行,排气阀被传动机构打开,开始排气,直到活塞行至气缸上部,排气结束。此时曲轴从 540° 转到 720° ,完成了一个工作循环。

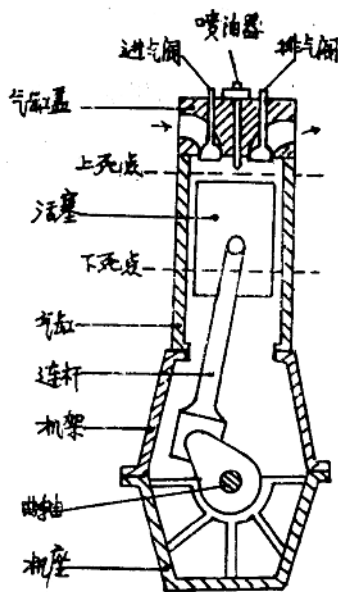


图 2—1 四冲程柴油机结构图

由上述可知,活塞在往复运动中从上行转向下行。或从下行转向上行时。都有一个转向点,这个转向点分别称为活塞的上死点和下死点。活塞从上死点行至下死点所走过的行程叫做冲程。上述柴油机工作循环的五个过程分别在四个冲程(曲轴转两转)内完成的,就叫做四冲程柴油机。五个过程进行情况和活塞、曲轴等部件的有关动作位置由图2—2的四个简图分别表示。

1、第一冲程——进气冲程

活塞从上死点下行,进气阀打开。由于气缸容积增大,缸内压力下降到大气压力以下,

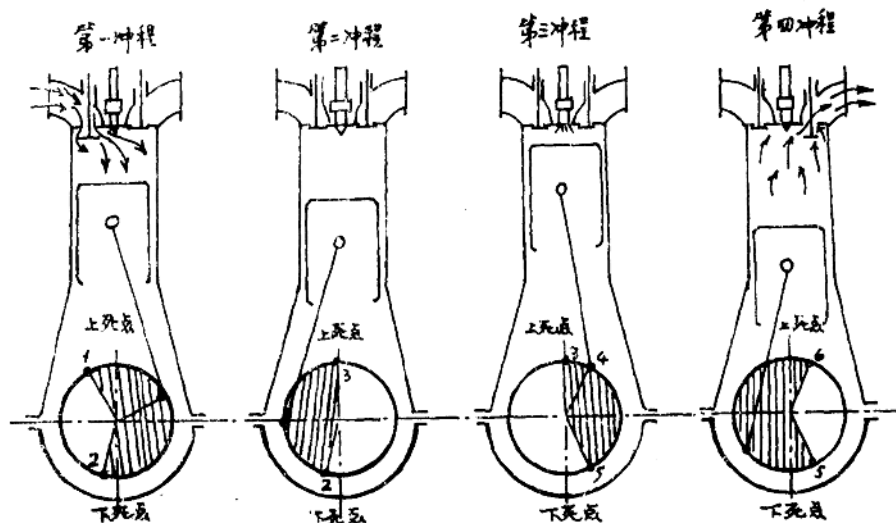


图 2-2 四冲程柴油机工作原理

新气通过进气阀被吸入气缸。进气阀一般在活塞到达上死点前即提早打开。气阀开启的时刻可用曲柄位置来表示，如图中所示，曲柄位于点1时，进气阀开启，直到下死点之后（点2）进气阀关闭。曲柄转角的 φ_{1-2} （图中阴影线所占的角度）表示进气过程。

2. 第二冲程——压缩冲程

空气的压缩过程是在活塞从下死点向上运动，自进气阀关闭（点2）至活塞到达上死点（点3）的期间内进行的。第一冲程吸入的新气，经过此冲程后，压力增至 $30 \sim 40 \text{ kgf/cm}^2$ （约3~4兆帕）或更高一些，温度升至 $600 \sim 700^\circ\text{C}$ （燃油的自然温度为 $210 \sim 270^\circ\text{C}$ ）。燃油在压缩过程的后期（点3之前）通过喷油器射入气缸与其中的空气混合，并在高温下自行发火。不难看出，在这一过程中，除主要进行压缩过程外，还包括进气的延迟、燃油和空气的混合以及发火燃烧。图中，压缩过程用曲柄转角 φ_{2-3} 表示。

3. 第三冲程——工作冲程

在此冲程内进行着燃烧和膨胀过程。在冲程之初，由于燃油强烈燃烧，气缸内的压力和温度急剧升高，压力达 $50 \sim 80 \text{ kgf/cm}^2$ （约5~8兆帕），温度达 $1400 \sim 1800^\circ\text{C}$ 。活塞越过上死点后，在燃气压力作用下被推向下行。由于气缸容积增大，压力开始下降，在上死点后某一时刻（点4），燃烧基本结束。气缸中的压力和温度随着燃气的膨胀而逐渐下降，一直到排气阀开启时膨胀结束。膨胀终了时，燃气压力降至 $2.5 \sim 4.5 \text{ kgf/cm}^2$ （ $0.25 \sim 0.45$ 兆帕），温度降至 $600 \sim 750^\circ\text{C}$ 。与进气阀相似，排气阀总是提早在下死点前（点5）开启，因此在这一冲程末期，排气过程已经开始。图中，燃烧和膨胀过程用曲柄转角 φ_{3-4-5} 表示。

4. 第四冲程——排气冲程

在上一冲程末，排气阀开启，气缸内的燃气压力和温度迅速下降。这时活塞尚在下行，废气靠气缸内外压力差经排气阀排出气缸。当活塞由下死点上行时，废气被活塞推出气缸，此时的排气过程是在高于大气压且在压力基本不变的情况下进行的。与进气阀一样，排气阀也一直延迟到上死点后（点6）才关闭。图中，排气过程用曲柄转角 φ_{5-6} 表示。

进行了上述四个冲程，柴油机就完成了个工作循环。当活塞继续运动时，另一个新的循环又按同样的顺序重复进行。

可见，四冲程柴油机每完成一个工作循环，曲轴要回转两转，每个工作循环中只有第三冲程（工作冲程）是作功的，其它三个冲程都是为工作冲程服务的，都需要外界供给能量。柴油机常做成多缸的，这样，进气、压缩、排气冲程的能量可由其它正在工作的气缸供给。如果是单缸柴油机，那就由飞轮供给，飞轮把工作冲程的部分能量储存起来而在其余三个冲程进行时给出。

§ 2—2 启 动

上节论述了柴油机气缸内是如何完成进气、压缩、燃烧、膨胀、排气五个冲程的，但是没有指出柴油机从停车状态变为运动状态过程中，获得第一个进气、压缩、燃烧、膨胀、排气工作循环的方法。这就是本节将要介绍的启动问题了。柴油机本身没有启动能力，它必须借用外力带动曲轴转动。随着转速不断地提高，气缸内的温度、压力也跟着猛增到使喷入气缸的燃油达到自燃的程度。从此，柴油机就可停止外力作用，转入持续稳定自行运转状态。

通常船用大功率柴油机都是借助压缩空气，带动曲轴转动起来，完成柴油机启动过程的。这是因为，以压缩空气作为启动能源最为经济、安全、可靠。

采用压缩空气启动柴油机的启动装置如图2—3所示。它由启动空气瓶、启动控制阀、主启动阀、气缸启动阀（每缸一个）和空气分配器构成。

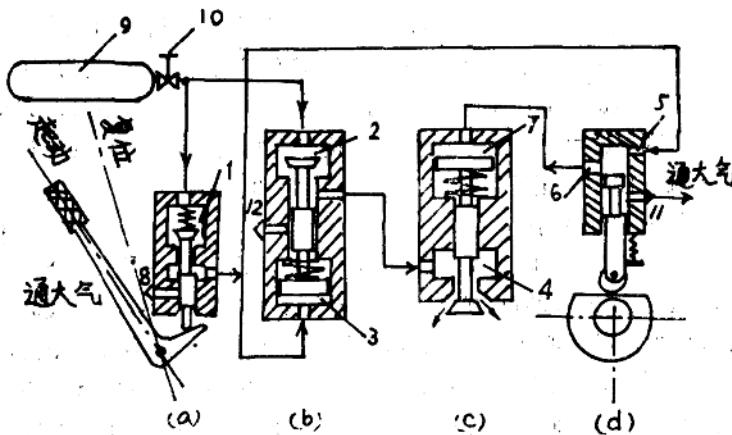


图 1—3 压缩空气启动装置原理

1、2、3、4、7—气室；5、6—气口；8、11、12—通大气；9—空气瓶；10—截止阀；（a）启动控制阀；（b）主启动阀；（c）气缸启动阀；（d）空气分配器。

采用压缩空气启动柴油机的机理是比较简单的，就是在膨胀冲程时，把 30kgf/cm^2 （3兆帕）的压缩空气经柴油机的每个气缸盖上装有一个由启动空气分配器控制的气缸启动阀，送入气缸内，从此压缩空气代替燃气推动活塞下行，致使曲轴转动起来。这样的过程连续地在各缸进行，直至喷入气缸内的燃油自行燃烧作功、柴油机稳定运转为止。