

## 内 容 简 介

本书主要从机电合一的角度介绍船舶机械设备的结构、工作原理、性能特点；同时对船舶电站等船舶电器以及船舶通讯装置和船舶自动化作了系统介绍，其中对船舶柴油机，液压操舵装置，船舶信号及通讯装置作了重点介绍。本书可作为航运系统中等专业学校、技工学校及职工培训教材。也是从事船舶制造，使用维修人员的参考书。

## 船 舶 机 电 基 础

王 俊 荣 主 编

责任编辑 刘天骥

\*

重庆大学出版社出版发行

新 华 书 店 经 销

重庆市科委印刷厂印刷

\*

开本：787×1092 1/16 印张：14.75 字数：378千

1991年1月第1版

1991年1月第1次印刷

印数：1—2950

标准书号： ISBN 7-5624-0369-4 定价：7.00元  
U·5

# 目 录

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| <b>第一章 绪论</b> .....          | ( 1 ) |
| 第一节 概述.....                  | ( 1 ) |
| 第二节 船舶动力装置的基本类型.....         | ( 1 ) |
| 第三节 船舶电器与自动化.....            | ( 7 ) |
| 第四节 船舶机电的发展简史.....           | ( 8 ) |
| <b>第二章 船舶柴油机</b> .....       | (10)  |
| 第一节 概述.....                  | (10)  |
| 第二节 柴油机的工作原理.....            | (13)  |
| 第三节 柴油机的增压.....              | (16)  |
| 第四节 柴油机的主要部件.....            | (18)  |
| 第五节 柴油机的工作系统.....            | (25)  |
| 第六节 柴油机操纵系统.....             | (41)  |
| 第七节 船舶轴系.....                | (54)  |
| 第八节 柴油机的特性及与螺旋桨的工作配合.....    | (58)  |
| 第九节 柴油机试验与技术管理.....          | (69)  |
| <b>第三章 船用泵及阀件</b> .....      | (72)  |
| 第一节 船用泵概述.....               | (72)  |
| 第二节 往复泵.....                 | (73)  |
| 第三节 回转泵.....                 | (76)  |
| 第四节 离心泵.....                 | (80)  |
| 第五节 主要船用阀件.....              | (84)  |
| <b>第四章 船用辅助锅炉及废气锅炉</b> ..... | (88)  |
| 第一节 燃油辅助锅炉的基本结构.....         | (88)  |
| 第二节 锅炉附件及附属装置.....           | (90)  |
| 第三节 废气锅炉.....                | (93)  |
| 第四节 热管锅炉简介.....              | (94)  |
| 第五节 锅炉的维护及使用常识.....          | (95)  |
| <b>第五章 船舶制冷及空调装置</b> .....   | (97)  |
| 第一节 概述.....                  | (97)  |
| 第二节 压缩式蒸发制冷装置和主要设备.....      | (100) |
| 第三节 制冷剂和载冷剂.....             | (104) |
| 第四节 船用冷柜及食品冷库.....           | (106) |
| 第五节 船舶舱室空气调节的基本知识.....       | (113) |
| 第六节 船舶空调系统实例.....            | (117) |
| <b>第六章 船舶液压操舵装置</b> .....    | (121) |

|             |                       |              |
|-------------|-----------------------|--------------|
| 第一节         | 概述                    | (121)        |
| 第二节         | 液压操舵装置的基本知识           | (123)        |
| 第三节         | 人力液压操舵装置              | (130)        |
| 第四节         | 定向定量液压操舵装置            | (131)        |
| 第五节         | 变向变量液压操舵装置            | (135)        |
| 第六节         | 液压操舵装置的使用与管理          | (139)        |
| <b>第七章</b>  | <b>锚机、绞缆机及起货机</b>     | <b>(141)</b> |
| 第一节         | 电动锚机                  | (141)        |
| 第二节         | 液压锚机                  | (144)        |
| 第三节         | 电动绞缆机                 | (147)        |
| 第四节         | 船舶起货机                 | (149)        |
| <b>第八章</b>  | <b>船舶防污染装置</b>        | <b>(152)</b> |
| 第一节         | 概述                    | (152)        |
| 第二节         | 油水分离器                 | (154)        |
| 第三节         | 生活污水处理装置              | (157)        |
| 第四节         | 船用焚烧炉                 | (159)        |
| <b>第九章</b>  | <b>船舶辅机的电力拖动及自动控制</b> | <b>(161)</b> |
| 第一节         | 概述                    | (161)        |
| 第二节         | 船舶常用的低压控制电器           | (161)        |
| 第三节         | 电力拖动的基本控制电路           | (173)        |
| 第四节         | 船用泵及通风机控制电路           | (179)        |
| 第五节         | 锚机的控制电路               | (180)        |
| 第六节         | 液压舵机的电力拖动             | (181)        |
| 第七节         | 制冷机的自动控制              | (182)        |
| <b>第十章</b>  | <b>主机遥控及无人机舱简介</b>    | <b>(184)</b> |
| 第一节         | 概述                    | (184)        |
| 第二节         | 主机遥控系统的组成及分类          | (184)        |
| 第三节         | 主机遥控系统实例介绍            | (185)        |
| 第四节         | 无人机舱及船舶自动化简介          | (197)        |
| <b>第十一章</b> | <b>船舶蓄电池及柴油机电系</b>    | <b>(199)</b> |
| 第一节         | 概述                    | (199)        |
| 第二节         | 船用蓄电池                 | (199)        |
| 第三节         | 柴油机电系                 | (206)        |
| <b>第十二章</b> | <b>船舶信号及通讯装置</b>      | <b>(210)</b> |
| 第一节         | 船舶航行灯及信号灯             | (210)        |
| 第二节         | 通讯装置                  | (213)        |
| <b>第十三章</b> | <b>船舶电站简介</b>         | <b>(217)</b> |
| 第一节         | 船舶配电板                 | (217)        |
| 第二节         | 船舶同步发电机               | (220)        |

# 第一章 绪 论

## 第一节 概 述

自古以来,舟(船)就作为人类的主要交通工具。由于受到社会发展的限制,长期以来,风力、人力一直成为船的基本动力,使船的发展很缓慢。但是千百年来人类一直在为寻求更为理想的船舶动力而不断努力,直到十八世纪,英国产业革命出现了蒸气机,1807年英国人把蒸气机装到船上作为船舶动力后,船的发展才进入一个飞跃的阶段。先后出现了以柴油机作动力的、以汽轮机作动力的、以核能作动力的以及联合动力的船舶。与此同时,为保证船舶航行的安全可靠、操纵的精确、船员及旅客生活的舒适以及改善劳动强度而设置的配套辅助设备及自动化设备也迅速武装了船舶。目前,一艘现代化船舶,实质上就是一座现代化城市的缩影。一个国家所建造的船舶,其现代化程度的高低,可衡量该国科技和工业化水平。船舶机电就是这座高度现代化的“水上城市”的动力及诸设备的总称。

船舶机电设备由机械设备和电气设备两大部分组成。具体说有以下主要内容:

为船舶航行提供动力的机械——主机;

为主机服务的辅助机械,如船用泵、热交换器、空压机、分油机等;

为保证船舶航行安全的机械,如舵机、锚机、绞缆机、吊艇机等;

为船员及旅客生活服务的机械,如辅助锅炉、废气锅炉、制冷设备、空调装置、江水快速净化装置等;

为船舶防污染服务的机械,如油水分离器、生活污水处理装置及船用焚烧炉等;

为各种辅助机械提供动力的设备,如船舶电站、配电装置、各种电动机等;

为自动控制和自动监测而设置的各种自动化仪表及装置;

为船舶信号及通讯而设置的设备,如航行信号及操纵信号装置、报警装置、电话通讯装置等。

机电设备主要集中布置在机舱部分,在船首、船尾也有布置。

图 1—1 和图 1—2 为长江下游某推轮机舱平面布置图和纵剖视图;图 1—3 和图 1—4 为内河某小型拖轮的机舱布置平面图和横剖面图。

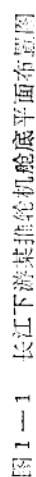
由此可见,“船舶机电”是一门内容十分丰富的课程。本书仅从非轮机管理人员的角度出发,对以上主要机电设备作一概括性的介绍,其中与驾驶员关系较为密切的部分章节,如柴油机的操纵、机桨配合、舵机、锚机、船舶信号及通讯装置作较为详细的阐述。

## 第二节 船舶动力装置的基本类型

船舶机电设备随船舶动力装置类型的不同而有所不同。船舶动力装置的类型则主要取决于船舶主机的类型。作为船舶的主机,其作用是把燃料燃烧所产生的热能转化成机械能,用以推动船舶运动。根据主机使用的燃料及燃烧方式的不同,动力装置分为以下几类。

### 一、蒸汽动力装置

蒸汽动力装置是以水蒸汽作为工质,推动主机对外做功的一种动力装置。



- 1—主机; 2—高弹联轴器; 3—倒顺离合减速机; 5—燃油输送泵; 6—主机备用润滑油泵; 7—齿轮箱备用润滑油泵; 8—滑油分离器; 9—燃油分离器; 10—燃油手摇泵; 12—燃油加热器; 13—滑油手摇泵; 14—滑油木屑滤器; 15—闸阀; 16—吸入粗水滤器; 17—闸阀; 18—吸入粗水滤器; 19—清水压力柜; 20—卫生水压力柜; 21—热水柜; 22—卫生水泵组; 23—清水泵组; 24—空圈机冷却水泵组; 25—齿轮箱滑油冷却水泵组; 27—消防泵组; 28—压载水柜; 29—锅炉给水泵组; 30—凝水柜; 31—凝水冷却器; 32—机舱铝工台; 33—粪便柜; 34—电力起重机; 35—发电电机冷却器; 36—船用油水分离器; 37—应急电车站; 38—泡沫灭火器; 39—干粉灭火器; 63—齿轮箱油冷却器

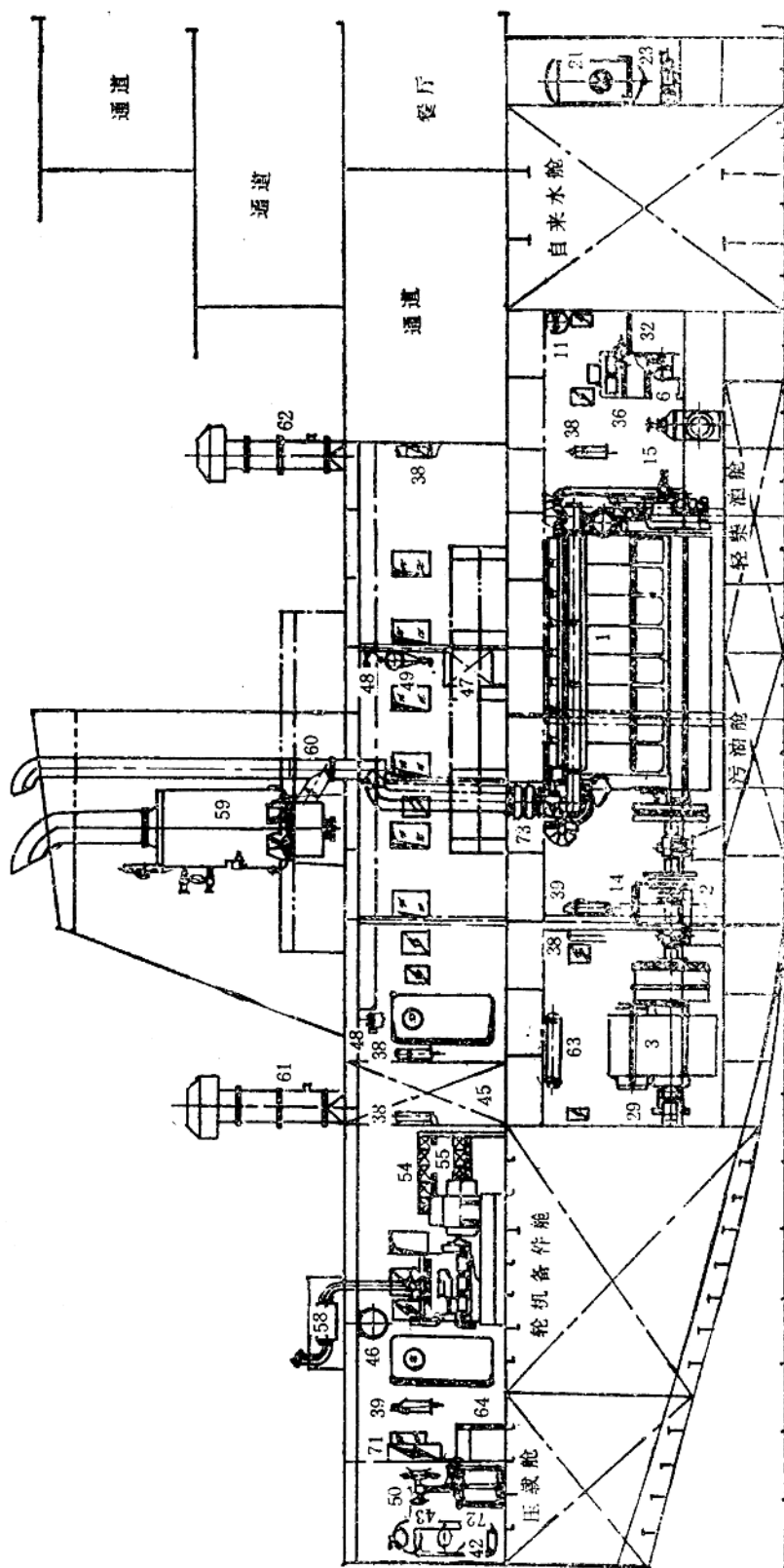


图 1—2 长江下游某推船机舱布置纵剖面图

11—滑油分油加热器；21—清水柜；23—清水泵；47—主机膨胀水箱；48—猫头小车；48—起重葫芦；58—输柴油机消音器；59—主机废气锅炉；60—换向阀；61—通风机；62—通风机；63—齿轮箱油冷却器；71—电工试验板；72—气笛杂用空气瓶；73—膨胀接头

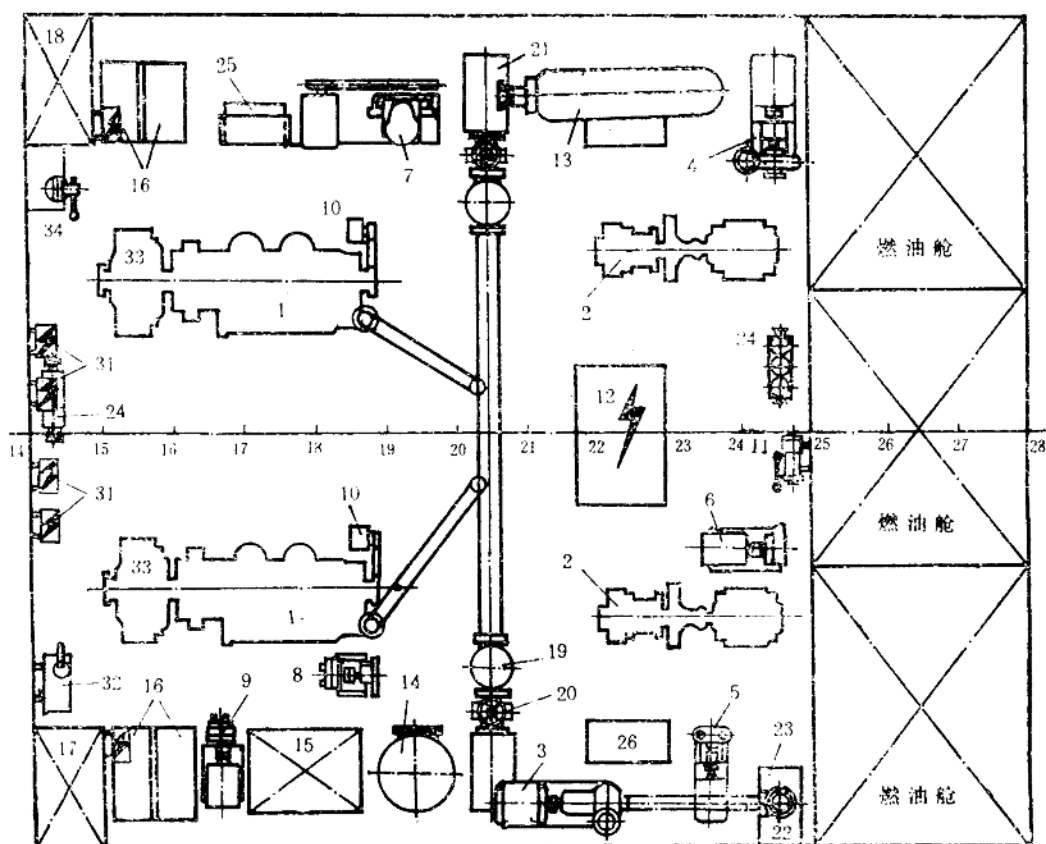


图 1—3 长江220KW拖轮机舱底平面布置图

1—主机；2—柴油发电机组；3—消防泵组；4—舱底泵组；5—锅炉给水泵；6—燃油输送泵；7—空压机组；8—主机冷却泵；9—主机备用齿轮油泵；10—主机带齿轮油泵；11—手摇燃油泵；12—主配电板；13—空气瓶；14—蓄能器；15—液压油循环柜；16—蓄电池；17—机油蓄存柜；18—沉淀油柜；19—江水粗水过滤器；20—闸阀；21—江水箱；22—消防江水箱；23—直角截止阀；24—三联阀箱；25—低压充放电柜；26—充电器；31—磁力启动器；32—30公升筒套摇油泵；33—主机减速齿轮箱；24—钳工工作台

按主机的结构和工作方式，蒸汽动力装置又可分为蒸汽机动力装置和汽轮机动力装置。蒸汽机动力装置由于效率太低，已被淘汰，现以汽轮机动力装置为例，说明蒸汽动力装置的工作原理及特点。图 1—5 为该装置的原理图。

燃料在锅炉 1 的炉膛中燃烧，放出热量，将锅炉水鼓中的水加热成蒸汽，然后被引到高压汽轮机 4 及低压汽轮机 5 膨胀做功，经减速齿轮箱 6 带动螺旋桨 7 旋转，推动船舶运动。作过功的废气进入冷凝器 8 中将余热传给冷却水，同时本身凝结成水，然后由凝水泵 10 抽出，再由锅炉给水泵 11 经预热器 12 把凝水重新打入锅炉的水鼓内，从而形成一个工作循环。工作中损耗的水通过给水泵从补给水箱中补给。冷凝器的冷却水用循环泵 9 由舷外打入，吸热后又排至舷外。

这种装置的燃料在主机外燃烧，因此，蒸汽动力装置又被称为外燃动力装置。

蒸汽动力装置的特点是：

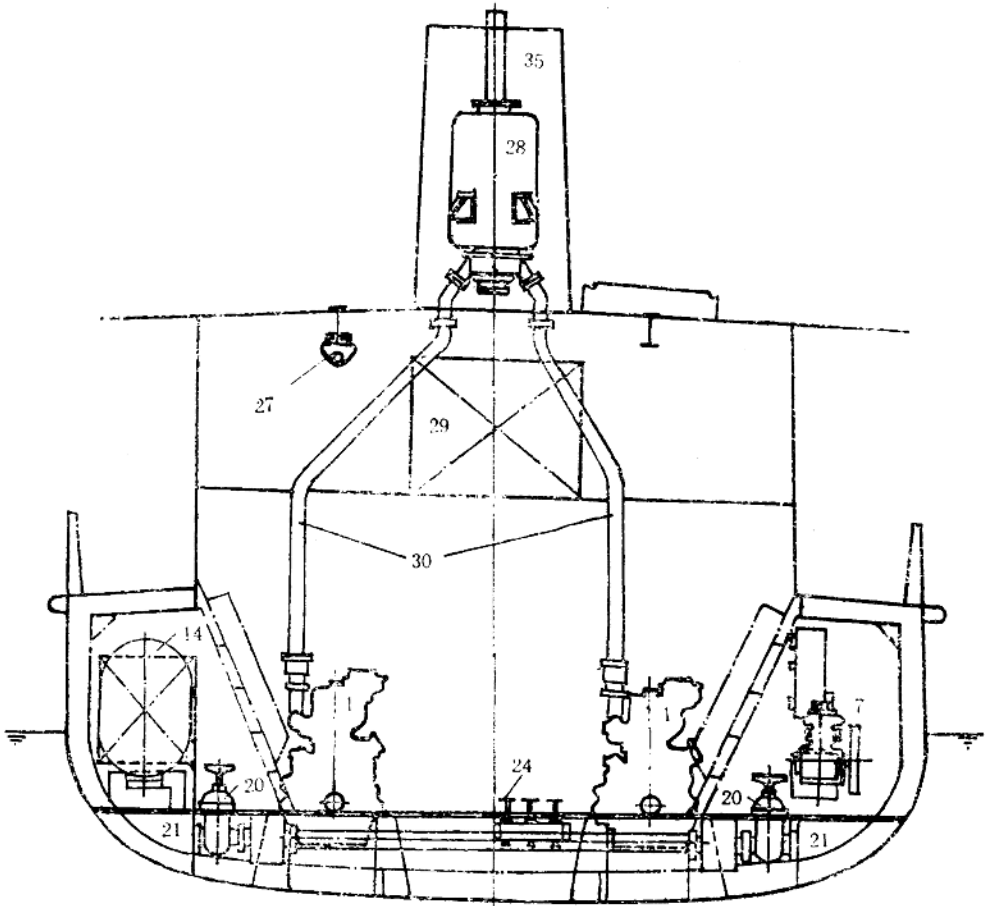


图 1—4 长江220KW拖船机舱横剖面图

1—主机；7—空压机组；14—蓄能器；20—闸阀；21—江水箱；24—三联阀箱；27—滑车；28—废气锅炉；29—日用油柜；30—主机排烟管；35—烟囱

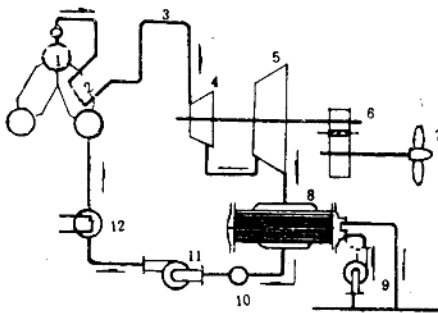


图 1—5 汽轮机动力装置原理图

1—锅炉；2—过热器；3—主蒸汽管路；4—高压汽轮机；5—低压汽轮机；6—减速齿轮；7—螺旋桨；8—冷凝器；9—冷却水循环泵；10—凝水泵；11—锅炉给水泵；12—给水预热器

1. 工作过程连续，工质流量大，转速高，因此功率大。现代舰用汽轮机的单机功率已达55000kW以上；
2. 抗干扰性强，振动小，噪音小；
3. 摩擦部件少，工作可靠性大；
4. 可使用价格便宜的劣质燃油；
5. 整体装置的质量尺度大，占去了许多营运排水量；
6. 燃油消耗大，经济性差；
7. 起动准备时间长，起动性能差。

这种动力装置由于受到体积和经济性的限制，在我国民用船舶中应用甚少，故本书不作介绍。

二、内燃动力装置

内燃动力装置是以燃料在主机内燃烧形成的燃气为工质，推动主机对外作功的一种动力装置。按主机的结构和工作方式不同，可分为柴油机动力装置和燃气轮机动力装置。由于燃气轮机动力装置目前尚存在着经济性差、寿命短的缺点，仅在军用舰船上应用。绝大多数的民用船舶均采用柴油机动力装置。

柴油机动力装置的基本组成见图 1—6。

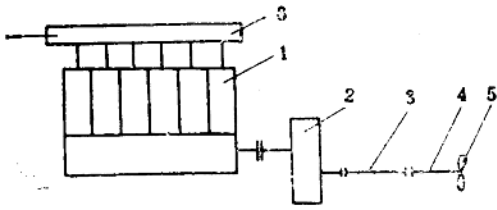


图 1—6 柴油机动力装置组成示意图  
1—柴油机；2—离合器；3—中间轴；  
4—尾轴；5—螺旋桨；6—排气管

燃料（柴油）在柴油机 1 的气缸中与空气混合燃烧，产生燃气，经膨胀推动活塞下移，通过曲柄连杆机构输出机械功，再经离合器 2、中间轴 3、尾轴 4 带动螺旋桨运转，使船舶运动，作完了功的燃气由排气管排至大气。

柴油机动力装置有如下特点：

- 1. 热效率高，耗油率低。目前热效率已突破50%，耗油率下降到0.160kg/kW·h；
- 2. 功率适应范围广，从几kW到几万kW的功率均可采用；
- 3. 操纵灵活机动，体积小，质量轻，无锅炉及其辅助设备；
- 4. 噪音、振动及磨损较大。

由于柴油机动力装置有上述一系列特点，故在各类船舶上得到极其广泛的应用。在我国的机动船中，沿海有97.4%，长航有87.3%，地方机动船有98.1%的总功率是采用柴油机动力装置，可以说，柴油机动力装置是我河航运事业发展的基础。

三、原子能动力装置

原子能动力装置

（也称核动力装置）是以原子核的裂变反应产生的巨大热能，通过工质（蒸汽或燃气）推动汽轮机或燃气轮机工作的一种装置。由于采用的反应堆作用原理的不同，原子能动力装置又分为多种型式。下面我们仅对目前使用较广泛的压力水堆核动力装置的组成及工作原理作一简介。

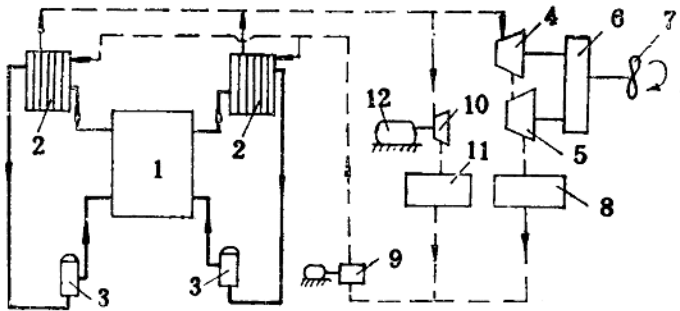


图 1—7 压力水堆核动力装置示意图

1—压力水反应堆；2—蒸汽发生器；3—冷却循环泵；4—高压汽轮机；5—低压汽轮机；6—减速器；7—螺旋桨；8—主冷凝器；9—主给水泵；10—蒸汽轮机；11—辅冷凝器；12—发电机

图 1—7 为该装置示意图。

核燃料在反应堆 1 中进行裂变反应，释放出大量的热能，将压力水加热，压力水经蒸汽发生器 2 把热量传递给水，本身温度降低，再由冷却循环泵 3 重新泵入反应堆 1 加热，此循环称为第一回路。由蒸汽发生器生成的蒸汽，一路进入高、低压汽轮机 4、5 膨胀，经减速器 6 带动螺旋桨 7 旋转对外做功，推动船舶运动；一路进入辅汽轮机 10 膨胀做功，驱动发电机 12 供给全船电能。经过膨胀做功后的废气，经主、辅冷凝器 8、11 凝结成水，再由主给水泵 9 将凝水重新送入蒸汽发生器 2 中，这样就完成了另一个工作循环，称为第二回路（图中虚线所示）。

原子能动力装置的特点是：

1. 燃料消耗少，续航能力强：例如一艘载重 30kt 的油轮船行  $10^4$  nmile（1 万海里）仅消耗含 5%  $U^{235}$  的浓缩铀 100kg；
2. 功率大，船速高，从而提高了货物运转速度；
3. 不需要空气助燃，无排气问题，这有助于潜艇长期潜航；
4. 燃料价格高，处理复杂，保护设备及运行调节要求高，设备昂贵；

原子能动力装置目前在民用船舶中的应用进展不大，但它是一种很有前途的动力装置，随着科学技术的不断发展，民用原子能动力装置的普遍使用问题必将会得到顺利解决。

除以上三种主要的船舶动力装置外，还有联合动力装置等。

### 第三节 船舶电器与自动化

一艘现代化的船舶，电是不可缺少的部分。不少辅助机械要以电为动力，生活、照明、通讯、导航、自动控制等都离不开电，随着运输船舶大型化、专用化、自动化及“超自动化”的发展，电及电气设备在船上越显示其重要作用。

船舶电气设备主要有以下内容：

#### 1. 发电部分

将其他形式的能量转化成电能的装置，如发电机、蓄电池等。

#### 2. 配电部分

对电源进行保护、监视、分配、转化及控制，由各类配电板（箱）组成。

#### 3. 用电部分

又称为负载。包括各种船舶机械的电力拖动；船舶电气照明；船舶通讯及导航设备以及其他用电设备。

近来，柴油机船舶自动化程度有了迅速提高。辅锅炉的给水、燃烧、液位、压力和温度的自动控制；空压机的自动卸载和起停的自动控制；冷藏和空调设备的自动管理；柴油机的遥控操作等自控技术在我国已经被广泛地应用在各种船舶上，这就大大地提高了船舶的经济性、操作简便性和安全可靠，减轻了船员的劳动强度，改善了工作条件。随着科学技术的不断进步，船舶自动化程度日趋完善，在我国，新建船舶上广泛地采用了具有空调设备的机舱集控监视室，航行中只需一人值班就行了。在国外，一些发达国家对所谓的“无人机舱”

（即在一定的时间内机舱无人工作，管理完全自动化）产生浓厚兴趣，进行了深入的研究，取得了一定的成绩。自动化的进一步发展就是向着高级判断和计算机控制方向迈进，对船舶的导航、避碰、系统、装卸作业、机舱操作等均采用计算机对各设备的运行状态进行自动判断，并依此自动选择最佳工作方案进行操作。也就是说实现超自动化管理。到那时，才能实

现真正的无人机舱。

## 第四节 船舶机电的发展简史

船作为人类的交通和运输工具，历史是悠久的，但在很长的时期中，一直是用人力和风力作为动力的。迄至十九世纪初，由于当时欧洲资本主义经济蓬勃发展，竞争激烈，迫切需要一种运输和作战能力强、船速快的船只。当时在陆上已经趋于成熟的蒸汽机便首先被应用到船上作为推进动力。

最先试用蒸汽机成功的船，一致公认是1807年由英国人罗伯特·富尔顿在美国建造的“克勒蒙特”号，它安装了一台大约15kW的蒸汽机来带动明轮推进器。这艘船第一次在赫德逊河上试航，在不使用风帆的情况下，获得了4.6kn的速度。“克勒蒙特”航试航成功，在船舶动力装置史上具有划时代的意义。其后的二、三十年中，用蒸汽机带动明轮推进器的这种装置，在英国、俄国多有建造。至1843年用螺旋桨作为推进器在船上才获得广泛应用，这提高了船舶的推进效率。随着运输吨位的增加，蒸汽机的功率也增加了，单机功率达11 000 kW之巨，但其体积庞大，效率低，再提高功率，在制造工艺及机炉舱的布置上遇到很大困难。于是转向研究汽轮机作为船舶的动力。1896年英国人派松氏制造成功世界上第一艘汽轮机游艇“透平尼亚”号，它长30m，排水量44t，装有三台汽轮机，共发出轴功率1500kW，船速达34kn。自此以后，在大功率的船舶上，汽轮机逐渐取代了蒸汽机。

差不多与发展汽轮机的同时，在船上也开始应用内燃发动机（主要是柴油机）。1903年世界上第一艘内燃机船“万达尔”号在俄国建成。它装有三台88kW的柴油机，各带一部发电机，发出的电力以驱动各自的电动机，带动螺旋桨做功。因此，“万达尔”号也是世界上第一艘电力推进的船舶。由于柴油机具有效率高，所占舱容小，管理方便等优点，自它装备在船舶后，迅速得到推广应用。在世界每年新造的商船中，柴油机船舶的比例逐年增加。据统计，1981年竟占98.6%，在某些类型船舶（如快艇、潜艇、水翼船）上几乎成了唯一的动力装置型式。

1947年，美国人首先把燃气轮机应用到军舰上，此后，在军舰上有很大发展，也有部分民用船舶应用燃气轮机。但由于燃气轮机的经济性差，寿命短，对燃油品质要求高，维修保养麻烦等弱点，在最近数年内，民用燃气轮机船舶很少建造。

原子能的发现和应用，为船舶动力装置开辟了广阔的前景。自美国1952年首先把原子能应用到潜水艇“鹦鹉”号后，苏联在1959年建成了世界上第一艘原子能破冰船“列宁”号。此后，美国又建造了一艘15 000kW的原子能客货船“萨万纳”号。据统计，至今已有300余艘各类舰船采用原子能动力装置。但由于造价昂贵，技术复杂及社会问题等原因，目前尚处在摸索阶段，一时还难以推广。

我国在四千多年前就有了舟船，三千多年前就利用风作动力。十七世纪初，明朝航海家郑和奉命出使“西洋”，在我国航海史上写下了不朽的篇章。但是，由于长期的封建统治，造船技术停滞不前。十九世纪中期，外国资本主义侵入中国后，1865年清政府在上海成立了江南制造局，开始造船。我国第一艘蒸汽机船在1866年由安庆制造局的徐青、华衡等人制成，船速达1.2kn。此后，各地相继办起了小修造船厂，制造了一些蒸汽机船舶。但在旧中国近百年中，我国造船工业长期处于以修配为主的落后状态。解放初期，我国以建造55kW蒸汽机起步，直至生产1 760kW蒸汽机，这些蒸汽机动力装置一度成为我国航运船舶的骨干。六十年代后，这些船舶才被柴油机船舶所取代。在汽轮机动力装置方面，我国现已有能

力建造26460kW的汽轮机组装备船舶。

在我国，柴油机动力装置是从1909年上海求新制造机器轮船厂生产的3.7kW煤气机开始的。但很长一段时间，柴油机的生产能力及水平很低。解放后，船舶柴油机才有了很大发展，现在已经可以生产3.7kW到22 800kW的各种类型柴油机，不但装备了国内98%以上的各类机动船舶，而且还装备了出口船舶。

在发展柴油机动力装置的同时，我国也注意研究燃气轮机动力装置和原子能动力装置。1963年研制的自由活塞发气机已装船使用。最近核动力舰船也已武装了海军。

现在我国自行设计制造的十万吨级以上的、具有世界先进水平的自动化船舶已航行在世界五大洋之间。我们相信，在改革、开放的政策下，我国的船舶机电事业将有更加广阔的前景。

## 第二章 船舶柴油机

### 第一节 概 述

#### 一、柴油机的工作循环

柴油机是以柴油为燃料的内燃机。它的基本工作原理是使燃油在气缸内直接燃烧，将燃油的化学能转变为热能，并利用燃气为介质，再将热能转变为机械能，向外输出做功。

柴油机的一次工作循环应完成两次能量的转变，它有以下几个热力过程：

##### 1. 进气过程

向气缸内充入足够的新鲜空气，为燃油的燃烧提供氧气。

##### 2. 压缩过程

升高气缸内气体的温度和压力，加速喷入气缸内的油滴蒸发及油气与空气的混合，为燃油自行燃烧创造良好条件。

##### 3. 燃烧及膨胀过程

将柴油喷散成很细的雾状，使柴油与新鲜空气均匀混合，得到完善的燃烧。高温高压的燃气膨胀对活塞做功，并借助于曲柄连杆机构，把活塞的往复运动转变为曲轴的回转运动。

##### 4. 排气过程

把做功后的废气排出气缸之外，使气缸能再进行进气、压缩、喷油燃烧、膨胀和排气，以保证柴油机能连续地进行工作。

#### 二、柴油机基本结构

四冲程柴油机的基本结构如图 2—1 所示，它包括：

##### 1. 主要运动机件

曲轴 1、连杆 5、活塞 21、活塞销 22、活塞环 19 等。

##### 2. 主要固定机件

主轴承座 2、气缸盖 18、气缸套 23、气缸体 24、主轴承盖 25、机座 26、曲轴箱 27 等。

##### 3. 主要工作系统

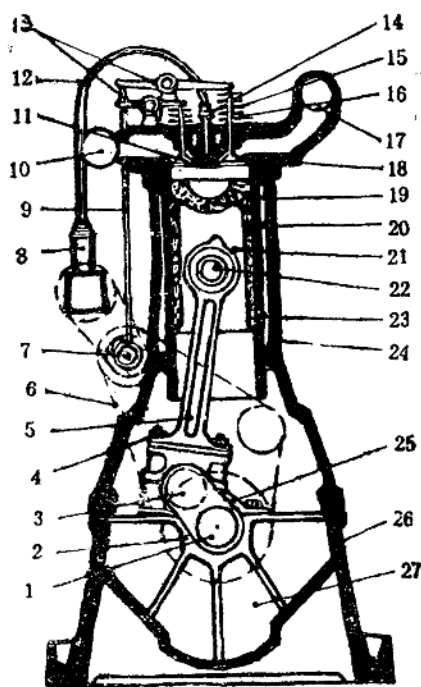


图 2—1 四冲程柴油机的主要部件

1—曲轴；2—主轴承座；3—曲柄销；4—连杆螺栓；5—连杆；6—凸轮轴传动装置；7—凸轮轴；8—喷油泵；9—顶杆；10—进气总管；11—进气阀；12—高压油管；13—摇臂；14—喷油器；15—气阀弹簧；16—排气阀；17—排气总管；18—气缸盖；19—活塞环；20—水套；21—活塞；22—活塞销；23—气缸套；24—气缸体；25—主轴承盖；26—机座；27—曲轴箱

如配气系统, 燃油系统, 冷却系统, 润滑系统和操纵系统等。

三、柴油机的主要几何名称

柴油机的主要几何名称如图 2—2 所示。

1. 气缸直径 D

气缸套的名义内径。

2. 曲柄半径 R

曲柄的曲柄销轴线与主轴颈轴线之间的距离。

3. 上死点

活塞在气缸中运动的最上端位置, 也就是活塞离曲轴中心最远的位置。

4. 下死点

活塞在气缸中运动的最下端位置, 也就是活塞离曲轴中心最近的位置。

5. 冲程 S

上下死点之间的距离。活塞运动一个冲程, 曲柄回转180°, 所以冲程等于曲柄半径的两倍, 即  $S = 2 R$ 。

6. 压缩容积  $V_c$

活塞位于上死点时, 活塞顶与气缸盖底面之间的气缸空间, 又称燃烧室容积。

7. 气缸工作容积  $V_s$

活塞从上死点到下死点所扫过的气缸空间, 又称活塞排量或冲程容积。

$$V_s = \frac{\pi}{4} D^2 S$$

8. 气缸总容积  $V_a$

活塞在下死点时, 活塞顶以上的所有气缸空间, 它是压缩容积与工作容积之和。

$$V_a = V_c + V_s$$

9. 压缩比  $\epsilon$

气缸总容积与压缩容积的比值。

$$\epsilon = \frac{V_a}{V_c} = \frac{V_c + V_s}{V_c} = 1 + \frac{V_s}{V_c}$$

压缩比是柴油机的一个重要结构参数, 它表明气缸内空气被活塞压缩的程度。压缩比愈大, 压缩终点时气缸内空气的压力和温度就愈高, 燃油就愈容易燃烧。反之, 压缩比愈小, 压缩终点的压力和温度就愈低, 燃油就不易燃烧, 柴油机起动就困难。压缩比  $\epsilon$  对柴油机的燃油燃烧、效率、起动性能和机械负荷等影响很大。

四、船舶柴油机的分类

船舶柴油机的种类很多, 目前常用的分类方法有以下几种:

1. 按完成工作循环的方法分

- 1) 四冲程柴油机
- 2) 二冲程柴油机

2. 按转速和活塞平均速度分

- 1) 低速柴油机——转速小于350r/min或活塞平均速度在 6 m/s以下的柴油机;

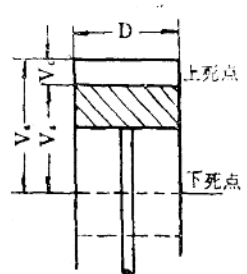


图 2—2 柴油机的主要几何名称

2) 中速柴油机——转速在350~1 000r/min或活塞平均速度在6~9 m/s的柴油机;

3) 高速柴油机——转速大于1 000r/min或活塞平均速度大于9 m/s的柴油机。

### 3. 按进气方式分

有非增压柴油机和增压柴油机。增压柴油机按进气压力的大小又分为:

1) 低增压柴油机——进气压力小于0.17MPa,

2) 中增压柴油机——进气压力在0.17~0.25MPa;

3) 高增压柴油机——进气压力大于0.25MPa。

### 4. 按柴油机能否倒转分

1) 凡直接带动螺旋桨,曲轴可以倒转的柴油机称为可倒转柴油机;

2) 凡带有倒顺车离合器、倒顺车齿轮箱或可调螺距螺旋桨,曲轴不能倒转的柴油机称为不可倒转柴油机。

## 五、船舶柴油机的型号表示

为了便于柴油机的生产和使用管理,国家或制造厂对每一种柴油机都给予一个特定的代号,称为柴油机的型号。国产柴油机的型号由数字和汉语拼音字母所组成,它们能反映出该种柴油机的主要结构、性能和用途,通常由以下四项内容所组成。

1) 气缸数目:表示一台柴油机所具有的气缸个数。

2) 机型系列:表示柴油机气缸直径和冲程的大小。

3) 变型符号:表示该机型改型后,在结构与性能上变化。

4) 用途与结构特点:表示柴油机的主要用途和结构上的特点。

### 1. 中小型柴油机

| 缸数符号 | 机器型号代号       | 机器特性符号                                              | 设计变型符号                                               |
|------|--------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 气缸数  | 冲程符号<br>缸径符号 | ——C船用右机<br>Ca船用左机<br>D发电<br>F风冷<br>Z增压<br>缺位(或G)通用型 | ——第一种变形设计<br>——第二种变形设计<br>——第三种变形设计<br>……<br>缸位为标准设计 |

例如:6135ZCa为6缸四冲程气缸直径为135mm增压船用左机。

### 2. 大型低速柴油机

| 缸数符号       | 机器特性符号          | 机器系列代号           |
|------------|-----------------|------------------|
| 6          | E S D Z         | 76<br>160        |
| 气缸数        | ——增压            | 气缸直径cm<br>活塞行程cm |
| 二冲程,无E为四冲程 | ——可倒转,无D为不能直接倒转 |                  |
| 十字头式,无S为筒形 |                 |                  |

如我国各厂制造的7 ESDZ75/160、6 ESDZ43/82及6 ESDZ60/106等型柴油机,其代号含义同上。

## 第二节 柴油机的工作原理

### 一、四冲程柴油机的工作原理

柴油机每作一次功，必须经过进气、压缩、燃烧及膨胀、排气四个过程。这四个过程连续地进行一次就称为一个工作循环。用四个冲程（即曲轴回转两周）完成一个工作循环的柴油机称为四冲程柴油机。

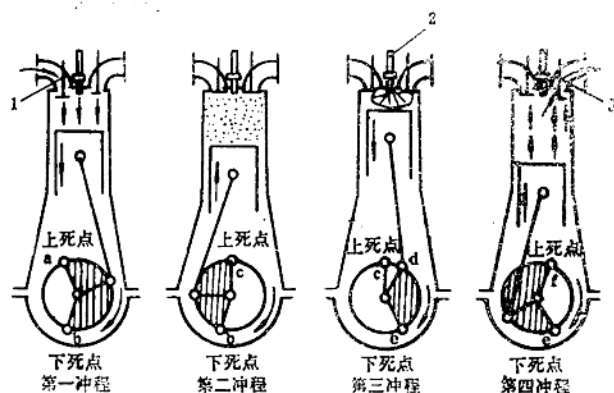


图 2—3 四冲程柴油机工作原理图

1—进气阀；2—喷油器；3—排气阀

图 2—3 分别表示四冲程柴油机工作过程的进行情况及活塞、连杆、曲轴的位置变化情况。

第一冲程——进气过程：这一冲程的任务是使气缸内充满新鲜空气。

进气冲程开始时，活塞从上死点向下移动，这时进气阀 1 打开，排气阀 3 关闭。随着活塞下移，气缸容积增大，缸内压力下降，形成了真空，利用气缸内外的气压差和活塞下行的抽吸作用，新鲜空气经进气阀进入气缸。

由于进气凸轮控制的进气阀不能瞬时全开和全关，致使在进气过程的初期和末期气流通过节阀的流道很小，流阻损失大，进气量减小。为了增加进气量，因此进气阀在上死点前的 a 点时提前开启，在下死点后的 b 点时延迟关闭。进气过程的曲柄转角  $\varphi_{a-b}$ （图中阴影线所占的角度）为  $220^{\circ} \sim 250^{\circ}$ 。

在新鲜空气进入气缸的过程中，由于受空气滤清器、进气管、进气阀等处阻力的影响，在进气过程终了时，气缸内气体的压力稍低于大气压力，约  $0.85 \sim 0.95 \text{ MPa}$ 。又因新鲜空气从高温的剩余废气和燃烧室壁面等高温机件吸收热量，故在进气终了时，气缸内气体的温度约为  $300 \sim 340 \text{ K}$ 。

第二冲程——压缩过程：这一冲程的任务是压缩第一冲程吸入气缸内的空气，提高缸内气体的压力和温度，为燃烧及膨胀作功创造条件。

压缩冲程是活塞从下死点向上死点运动。在活塞上行到 b 点时进气阀完全关闭，气缸密闭，随着活塞上行，气缸容积不断减小，气体被压缩，其压力和温度不断升高。压缩过程的曲柄转角  $\varphi_{b-c}$  约为  $140^{\circ} \sim 160^{\circ}$ 。压缩过程终点 c 的气体压力在  $3 \sim 5 \text{ MPa}$ 、温度在  $750 \sim 950 \text{ K}$  之间。

第三冲程——作功（烧燃及膨胀）过程：这一冲程的任务是完成两次能量转变过程。

活塞从上死点运动到下死点。由于燃油喷入气缸内必须经过一个着火准备阶段才能实现燃烧，所以，在压缩过程后期（即 c 点之前）从喷油泵来的高压燃油，经喷油器开始喷入气缸内的高温高压空气中。燃油与空气混合，蒸发成油气后燃烧，至上死点后的 d 点基本结束。燃油燃烧把化学能转变成热能并加热燃气，最高压力可达  $6 \sim 9 \text{ MPa}$ ，最高温度可达  $1800 \sim 2200 \text{ K}$ 。高温高压的燃气作用在活塞顶上，推动活塞下行，并通过连杆将作用力传给曲轴，

使曲轴回转变换成旋转力矩向外输出做功。

当气缸内的燃油燃烧基本结束后，燃气膨胀继续推动活塞下行做功。随着燃气的容积增大，压力和温度迅速下降，膨胀终点e 时，排气阀在下死点前提前打开，此时气缸内的燃气压力在0.25~0.45MPa、燃气温度在1 000~1 200K。排气阀打开后，利用废气与大气的压力差进行自由排气，从而减小了活塞经下死点后上行的背压力。工作冲程的曲柄转角 $\varphi_{c-d-e}$ 是小于180°的。

第四冲程——排气过程：这一过程的任务是将做功后的废气排出气缸外，为下一个工作循环的新鲜空气进入提供条件。

在此冲程中，活塞从下死点运动到上死点。排气阀开启着，依靠活塞上行的推挤作用，把气缸内的废气从排气阀排出去。为了使气缸内的废气能排除干净，排气阀延迟到上死点后的f 点才完全关闭。排气过程的曲柄转角 $\varphi_{e-f}$ 约为210~240°。

柴油机经过上述连续的四个过程，便完成了一个工作循环。活塞继续运动，下一个工作循环又按进气、压缩、做功和排气的同样顺序进行，使柴油机连续运转。

从以上四冲程柴油机工作原理中，可以看出有如下特点：

1. 一个工作循环是在曲柄旋转两转内完成，每一个过程都约占一个活塞冲程。
2. 在曲轴旋转两转过程中，进气阀、排气阀、喷油器均只启闭一次，因此驱动它们的凸轮轴转速要比曲轴转速慢一半。
3. 在每一个工作循环中，只有第三冲程对外做功，其余三个冲程都是辅助冲程，需要消耗能量。
4. 进气阀在上死点前开启，排气阀在上死点后关闭，两者同时开启时间内曲柄所转过的角度 $\varphi_{a-f}$ ，称为进排气重叠角。

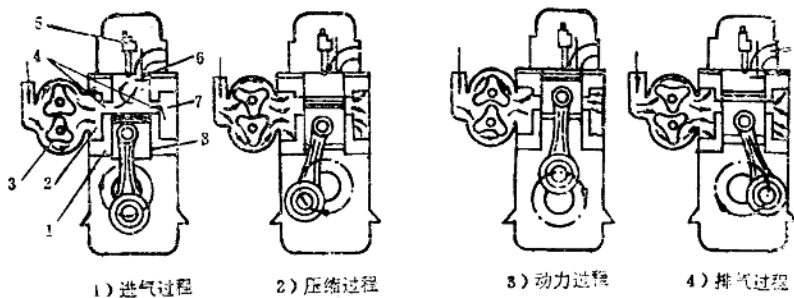
## 二、二冲程柴油机的工作原理

每两个冲程（曲柄回转一周）完成一个工作循环的柴油机称为二冲程柴油机。采用二冲程，主要是为了提高柴油机的功率。

二冲程柴油机与四冲程柴油机的基本结构相同，不同的是：二冲程柴油机设有扫气泵、扫气箱、气缸套下部有扫气口，气缸盖上仅设有排气阀装置，而没有进气阀装置，有的连排气阀装置也没有，而是在气缸套上开设排气口，使柴油机结构简化，管理维护方便。

二冲程柴油机的工作过程进行情况如图 2—4 所示。

图 2—4  
二冲程柴油机工作原理图



- 1 — 气缸；
- 2 — 进气室；
- 3 — 扫气泵；
- 4 — 扫气口；
- 5 — 喷油器；
- 6 — 排气阀；
- 7 — 进气室；
- 8 — 活塞

### 第一冲程——扫气与压缩过程