

交通职业教育教学指导委员会推荐教材

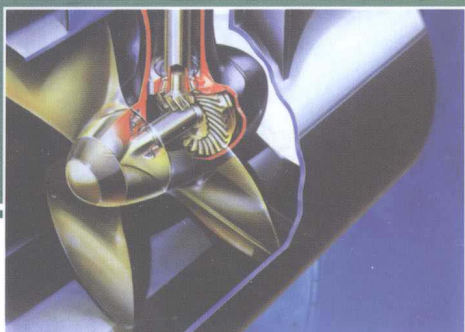
# 轮机概论

主 编 郭祖平

副主编 唐 军 刘运新 于风卫

主 审 周明顺

LUNJI GAILUN



大连海事大学出版社

交通职业教育教学指导委员会推荐教材

# 轮机概论

主 编 郭祖平  
副主编 唐 军 刘运新 于风卫  
主 审 周明顺

大连海事大学出版社

©郭祖平 2008

**图书在版编目(CIP)数据**

轮机概论 / 郭祖平主编. —大连: 大连海事大学出版社, 2008. 12  
交通职业教育教学指导委员会推荐教材  
ISBN 978-7-5632-2260-5

I. 轮… II. 郭… III. 轮机—概论—高等学校:技术学校—教材 IV. U664.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 212003 号

**大连海事大学出版社出版**

地址:大连市凌海路1号 邮政编码:116026 电话:0411-84728394 传真:0411-84727996

<http://www.dmupress.com> E-mail:cbs@dmupress.com

大连天正华延彩色印刷有限公司印装 大连海事大学出版社发行

2008年12月第1版 2008年12月第1次印刷

幅面尺寸:185 mm × 260 mm 印张:9.5

字数:232千 印数:1~3000册

责任编辑:史洪源 版式设计:海韵

封面设计:王艳 责任校对:高炯

ISBN 978-7-5632-2260-5 定价:16.00元

## 内容简介

本书是交通职业教育教学指导委员会推荐教材,内容包括轮机设备总述、船舶柴油机动力装置、船舶推进装置、船舶辅助机械、船舶管路系统、船舶电力系统概述、轮机部安全操作与机舱应急设备,共七章。

本书可作为船舶驾驶专业的专业教材,亦可作为船舶驾驶员和有关专业工程技术人员及师生的参考书。

# 前 言

本书的编者具有丰富的实船工作经历,并长期承担这门课程的教学任务,对授课对象有深刻的了解。本书打破了同名教材的结构框架,按照轮机工程专业的相关内容重新划定章节,并补充了船舶电气方面的相关内容。本书所涉及的知识内容和引用的有效法规、公约贴合航海技术专业的教学需要,深浅适宜,具有鲜明特色。

本书可作为航海技术专业的教材,亦可作为船舶驾驶员和相关专业工程技术人员及师生的参考书。

本书由青岛远洋船员学院郭祖平副教授主编,周明顺副教授主审。全书共分七章,第一、三、五、七章由郭祖平编写;第二章由唐军编写;第四章由刘运新编写;第六章由于风卫编写。

在本书编写过程中,曾得到国内航运界许多专家、工程技术人员的热心帮助和指点,在此一并表示衷心的感谢。同时,也恳请广大专家、读者对书中出现的不妥之处提出宝贵意见。

编 者

2008年11月

# 目 录

<b>第一章 轮机设备总述</b> .....	(1)
第一节 轮机设备分类 .....	(1)
第二节 运输船舶推进动力的演变 .....	(2)
<b>第二章 船舶柴油机动力装置</b> .....	(6)
第一节 柴油机的基本结构 .....	(6)
第二节 柴油机的工作原理 .....	(8)
第三节 柴油机的换气形式与换气机构 .....	(12)
第四节 柴油机的类型与常用工作参数 .....	(16)
第五节 柴油机的工作系统 .....	(21)
第六节 柴油机的操纵系统 .....	(31)
第七节 柴油机的运行管理 .....	(36)
<b>第三章 船舶推进装置</b> .....	(42)
第一节 船舶推进装置的传动方式 .....	(42)
第二节 传动轴系的组成 .....	(44)
第三节 螺旋桨 .....	(49)
第四节 各种航行条件下的主机工况 .....	(52)
<b>第四章 船舶辅助机械</b> .....	(58)
第一节 船用泵和油马达 .....	(58)
第二节 船舶甲板机械 .....	(67)
第三节 船用焚烧炉 .....	(82)
第四节 海水淡化装置 .....	(84)
第五节 船舶空调 .....	(85)
第六节 船舶锅炉 .....	(90)
<b>第五章 船舶管路系统</b> .....	(101)
第一节 船舶通用系统 .....	(101)
第二节 船舶防污染设备及系统 .....	(107)
第三节 特殊船舶管路系统 .....	(114)
<b>第六章 船舶电力系统概述</b> .....	(118)
第一节 船舶电力系统的组成及特点 .....	(118)
第二节 船舶电网 .....	(120)
第三节 船舶配电装置 .....	(123)
第四节 船舶应急电源 .....	(125)
第五节 船舶安全用电 .....	(128)

<b>第七章 轮机部安全操作与机舱应急设备</b> .....	(137)
<b>第一节 轮机部安全操作注意事项</b> .....	(137)
<b>第二节 机舱应急设备的使用与管理</b> .....	(140)
<b>参考文献</b> .....	(143)

# 第一章 轮机设备总述

## 第一节 轮机设备分类

世界上最早的轮船不是用机器作动力来推动的,而是用人力踩踏船上的转轮使船前进的。这种轮船称为车轮船。桨轮外周装上叶片,它的下半部分浸在水中,上半部分露出水面,当人力踩动车轮时,叶片拨水,推进船舶。因为这种桨轮露出水平面,所以又叫明轮,也可叫明轮船。明轮船的特点是把桨楫间歇推进改为桨轮连续运转,从而大大提高了航行速度。这是船舶推进技术上的一次重大进步。

船舶动力的发展经历了漫长岁月,直到18世纪人们把发明的蒸汽机应用在船舶上之后,才揭开了船舶机械化的新篇章。从某种意义上来讲,“轮机”可以认为是船舶机械化的一种简称。然而,随着科学技术的进步及船舶在功能上向着多样化、专业化和完善化的方向发展,今天一艘现代化船舶实际上已经成了一个现代工业技术成就的集合体,并涉及机械、电气、电子等一系列技术的综合运用,现在很难给“轮机”一词下一个十分确切的定义。本书主要介绍船舶动力装置、推进装置、辅助机械、船舶系统、船舶电力系统和机舱应急设备等内容。

### 一、动力装置

通常,船舶动力装置可分为主动力装置和辅助动力装置两类。

主动力装置是指主机和为主机服务的各种泵、管系和换热器。它是推进船舶的动力,是船舶上最主要的机械能源。推进船舶的发动机功率较大,习惯上称为主机。

辅助动力装置是指为了保证在正常情况下和应急时的供电需要,在船上设有发电机组和配电盘等机电设备以构成船舶电站,作为船舶的供电能源。带动发电机组的原动机功率较小,习惯上称之为副机。

在电力推进的船舶上,由电机带动推进器工作,只要扩大船舶电站的容量就能保证船舶的正常航行,主、辅动力装置的概念又突破了已有的界限。有的船舶利用主机带动发电机工作也是船舶发展的新情况。

### 二、推进装置

推进装置主要包括轴系和螺旋桨,主要功能是把主动力装置的动力转变为推进力,推动船舶前进。

### 三、船舶辅机

习惯上我们把除动力装置和推进装置以外的其他机械设备统称为船舶辅机,意为辅助机械。船舶辅机主要包括船用泵、甲板机械、辅锅炉、防污染设备、海水淡化装置、船舶空调和冰机等。

#### 1. 船用泵

泵是把能量传递给液体的一种机械。船上有很多种泵,如水泵、油泵等,用途广泛,船上有很多设备离开泵就不能正常工作。



## 2. 甲板机械

甲板机械包括船舶舵机、起货机、起锚机、自动系缆机以及滚装船上的开门与跳板控制设备等。所有甲板机械对于船舶的营运性能和航行安全都有十分重要的意义。甲板机械也在朝着自动化的方向发展。

## 3. 船舶辅锅炉

船舶锅炉是船舶上的汽源。在蒸汽动力的船舶上,蒸汽用来产生船舶的推力,这种锅炉称为主锅炉。主锅炉是蒸汽动力船舶的动力设备,不能划在船舶辅机之列。在非蒸汽动力的船舶上,锅炉产生的蒸汽主要用于油、水的加热以及炊事、消防等方面,这种锅炉称为辅锅炉,是船舶辅机之一。

## 4. 防污染设备

焚烧炉用于焚烧船舶上产生的垃圾和废油,是船舶防污染设备之一。其他的防污染设备包括油水分离器、生活污水处理设备。油水分离器用于分离船舶污水中的油分,以便于向舷外排放污水。生活污水处理设备用于净化船舶上产生的生活污水。

## 5. 海水淡化装置

船舶在航行中需要消耗大量的淡水。淡水主要用于设备的冷却、锅炉的消耗和船员生活用水。远洋船舶航线长,携带大量淡水不仅会影响营运吨位,而且存在淡水变质的问题。通常的做法是携带部分淡水用于饮用和淋浴。其他用途淡水产自于海水淡化装置。远洋运输船舶一般装设一台或几台海水淡化装置。

## 6. 船舶空调和冰机

空调和冰机离不开制冷设备。制冷设备向船舶提供冷源,以便冷藏食品和进行空气调节。目前,除了一般船舶上所用冷藏食品的小型冷库外,还有专门用来运输冷藏货物的冷藏船和液化气船。

## 四、船舶系统

船舶系统是指压载水、舱底水、消防和卫生用水等为船舶的正常营运创造条件而与动力装置无关的各种专门化网管。

## 五、船舶电力系统

现代化的船舶离不开电力系统的支撑。船舶电力系统包括船舶电站和船舶电力网两大部分,担负着将不同形式的能量转换成电能,并将电能分配给各用电设备的任务。船舶电能系统包括(1)原动机和发电机组成的发电机组;(2)有各种控制、监视和保护电器的配电设备(总配电板);(3)导线和电缆等组成的电网。船舶电力系统有一些主要的参数,决定着船上主要电气设备的品种和规格。这些参数是电制(交流或直流)、电压和频率。

## 六、机舱应急设备

机舱应急设备主要包括应急电源、应急空压机、应急操舵装置、应急救火泵、燃油速闭阀、水密门、应急舱底水吸口及吸入阀、脱险通道(逃生孔)等。

## 第二节 运输船舶推进动力的演变

人类使用船舶作为运输工具的历史,几乎和人类文明史一样悠久。从远古的独木舟发展到现代的运输船舶,大体经历了四个时代:舟筏时代、帆船时代、蒸汽机船时代和柴油机船时

代。目前,在柴油机船舶的基础上电力推进船舶正在发展过程中。

### 一、舟筏时代

人类以舟筏作为运输、狩猎和捕鱼的工具,至少起源于新石器时代。1956年在浙江出土的古代木桨,据鉴定是4000年前新石器时代的遗物。说明舟筏的历史,可以追溯到史前年代。

#### 1. 独木舟

原始人类将巨大树干用火烧或用石斧加工成中空的独木舟,是最古老的水上运输工具。它的踪迹遍于全世界,至今在南美洲和南太平洋群岛的居民,仍使用独木舟作为生产和交通工具。

#### 2. 筏

远古人类就知道将树干、竹竿、芦苇等捆扎成筏,或用兽皮做成皮筏,在水上漂行。筏较独木舟吃水浅,航行平稳,而且取材方便,制造简易。

#### 3. 木板船

进入青铜器时代以后,人类对木材的加工能力提高了,于是将原木加工成木板来造船。木板船可以造得比独木舟大,性能比筏好。木板平接或搭接成为船壳,内部用隔壁和肋骨以增加强度,形成若干个舱室。

#### 4. 舟筏的动力及动力装置

舟筏时代的船舶靠人力来推进和操纵,所用的工具为桨、篙和橹。桨不受水域深度和广度的限制,有单桨船和多桨船。篙可以直接触及水底和河岸,使用轻便,主要用于浅水航道。橹是比桨先进的划船工具,效率高而不占水面,兼具推进和操纵航向的功能,在内河木船上广泛使用。

### 二、帆船时代

据记载,远在公元前4000年,古埃及就有了帆船。我国使用帆船的历史也可以追溯到公元以前。从15世纪到19世纪中叶,是帆船发展的鼎盛时期。15世纪初我国航海家郑和远航东非,15世纪末哥伦布发现新大陆,他们的船队都是由帆船组成的。在帆船发展史中,地中海沿岸地区、北欧西欧地区和中国都曾作出重大贡献。19世纪中叶美国的飞剪式快速帆船,则是帆船发展史上的最后一个高潮。不同地区的帆船,在结构、形式和帆具等方面各有特色。

帆船的动力来源于风,帆是其主要的动力装置。

### 三、蒸汽动力时代

利用锅炉产生的蒸汽来工作的机器叫做蒸汽机。蒸汽机分为往复蒸汽机和汽轮机两种。往复蒸汽机是利用蒸汽的压力来推动活塞做往复运动,再通过连杆将活塞的往复运动变为曲轴的回转运动。汽轮机俗称透平机,它利用蒸汽的动能来转动叶轮从而使轴做回转运动。习惯上所说的蒸汽机是指往复式蒸汽机。

用往复式蒸汽机作为主机的动力装置称为蒸汽动力装置。用汽轮机作为主机的动力装置称为汽轮机动力装置。

18世纪蒸汽机发明后,许多人都试图将蒸汽机用于船上。1807年,美国人富尔顿首次在“克莱蒙脱”号船上用蒸汽机驱动装在两舷的明轮,在哈德逊河上航行成功。从此机械力开始代替自然力,船舶的发展进入新的阶段。

早期的蒸汽机船装有全套帆具,蒸汽机只是作为辅助动力。在早期,蒸汽机安装在甲板上,驱动装在两舷的巨大明轮。

早期蒸汽机船驱动明轮用的蒸汽机是单缸摇臂式,汽压也很低。19世纪80年代出现了三胀式蒸汽机,汽压提高到1 MPa。此时明轮已为螺旋桨所代替,三胀式蒸汽机配合螺旋桨成为典型的动力装置。19世纪末,蒸汽机已发展到四胀式六气缸,蒸汽压力提高到1.4 MPa,功率达到7 350 kW(1万马力)。高压水管锅炉也逐渐取代了苏格兰式火管锅炉。

20世纪初,货船一般是用三胀式蒸汽机作为主机,功率约1 470 kW(2 000 马力),航速约每小时10 n mile,载重量增大到6 000 t。航行于大西洋上的大型远洋客船,以往复式蒸汽机为动力,单机功率达到1 470 kW(2万马力)。

1896年,英国人帕森斯将他发明的反作用式汽轮机成功地应用于船上;同年,瑞典人迪拉瓦尔发明了冲击式汽轮机。进入20世纪以后,船用汽轮机不断改进,由于重量轻、功率大、旋转均匀和无往复运动部件等,普遍应用于大型高速船。至今,某些大功率船仍用蒸汽轮机作为推进动力。

可见蒸汽机和蒸汽轮机是蒸汽动力船舶的推动船舶前进的核心装置。锅炉提供做功汽源,它是蒸汽动力装置的重要组成部分。

#### 四、燃气轮机动力装置

利用燃料燃烧产生的燃气去推动叶轮回转的机器称为燃气轮机。采用燃气轮机作为主机的动力装置称为燃气轮机动力装置。

英国在1947年首先将航空用的燃气轮机改型应用于船舶。到了20世纪60年代,燃气轮机被确认为舰艇合适的推进动力而得到迅速推广,到70年代已成为舰艇中的主要推进动力之一。对于商船,因经济性要求高,燃气轮机的应用发展较慢。

#### 五、柴油机船时代

利用燃料直接在机器内部燃烧产生的燃气来工作的机器叫做内燃机。根据所使用的燃料不同,内燃机分为煤气机、汽油机和柴油机等。采用柴油机作为主机的动力装置称为柴油机动力装置。

1892年,德国人狄塞尔发明压燃式内燃机,即柴油机,20世纪初开始应用于船上。柴油机热效率高、油耗低,因而得到广泛应用。20世纪40年代末,柴油机船的吨位即已超过蒸汽机船。柴油机船问世后,发展很快,逐渐取代了蒸汽机船。柴油机同蒸汽机比较,具有热效率高、油耗低、占地小等优点。自从1911年造出第一艘柴油机海船以来,采用柴油机为主机的货船和客船日益增多。但到第二次世界大战结束时止,世界商船队中蒸汽机船仍占多数。战后,低速大功率柴油机由于增压技术的进步,单机功率不断提高,最大已达3 675 kW(5万马力)以上。过去必须安装汽轮机的大型高速船也能应用柴油机。另外,柴油机对燃用劣质油的适应性也不断改善,这样在经济上便具有优越性。对于机舱空间受限制的滚装船、集装箱船、汽车渡船等,则可以选用体积小、重量轻的中速柴油机,通过减速箱来驱动螺旋桨。油耗低、能燃用劣质油的不同功率的柴油机现在几乎占领了船用发动机的全部市场。因此,第二次世界大战后的运输船舶发展阶段被称为柴油机船时代。

随着时间的推移,柴油机的技术也在不断进步,到目前为止,柴油机仍然占据运输船舶动力装置的主导地位。

#### 六、电力推进船舶的发展

电力推进是船舶推进方式之一,它由原动机带动发电机发电,再由电动机驱动螺旋桨。船舶电力推进已有近百年历史。20世纪30年代曾出现电力推进的一个发展高峰。由于当时交

流电机调速技术不成熟,多采用直流电力推进,其调速系统简单、调速性能好,但直流电机结构复杂、体积及重量大,并存在功率及转速极限等问题,故只能用在一些工程船舶及潜艇上。20世纪80年代以来,随着电力电子技术迅速发展,大功率交流电机变频调速技术日臻成熟,基于晶闸管整流/逆变方案和IGBT器件方案实现的船舶电力推进技术在国外得以迅速发展,并在可靠性和运行效率等方面都有了突破,从而使电力推进技术的应用领域不断扩大,除应用于破冰船、挖泥船、渡轮以外,还广泛用于大中型常规船舶,显示出广泛的市场前景。近年来新建造的油船、渡船、游船、集装箱船采用电力推进系统的较多。可以预言,电力推进将是一种被广泛采用的先进船舶推进系统。

电力推进相对于柴油机推进的优点有:

#### 1. 经济性好

多台中速柴油机用于发电,可根据用电负荷选择发电机运行台数,使机组始终运行于高效工作区,实现最大的经济性。根据统计,同功率的船电力推进要比内燃机推进耗油减少10%左右,航速可提高0.5 kn。

#### 2. 操纵性好

推进电机转速易于调节,在正反转各种转速下都能提供恒定转矩,因此能得到最佳的工作特性,使船舶取得优良的操纵性。

#### 3. 安全性好

柴油机推进的船舶,一旦主机重要部件或舵机、轴系出现故障往往导致瘫船,而电力推进使用多台原动机,个别机组故障不致丧失动力。电力推进系统多采用两套以上互为备用。在一些推进系统中,同步电动机定子有两组相互独立的绕组,一组出了故障仍可减载运行。

#### 4. 节省空间

传统船舶轴系长度往往占到船长的40%左右,电力推进的船舶省却了传动轴系、减速齿轮箱,改善了机舱布置,使动力装置安排更加合理,节省了大量空间。

#### 5. 噪声低

采用电力推进后,主要振动源——发动机安装在弹性底座上,以恒定转速运行,与轴系和船体也无直接连接,大大减少了振动和噪声,提高了船员和乘客舒适程度。这对客船十分重要。

#### 6. 有利于船舶控制环境污染

对同一功率船舶而言,电力推进中的中速柴油机可以始终在最佳工作区工作,燃油燃烧质量好,燃烧物中的NO<sub>x</sub>含量少。

船舶正在向着自动化的方向加速发展。20世纪60年代初期以来,各国航运企业为了减少船员人数、改善船员劳动条件和提高船舶营运的经济效益,逐步实现了轮机、导航和舢装三个方面的自动化,如现在机舱无人值班的船舶,已经越来越普遍。

## 第二章 船舶柴油机动力装置

### 第一节 柴油机的基本结构

#### 一、热机、内燃机与柴油机

把热能转换成机械能的动力机械称为热机。它的基本工作原理是燃料在一个特设的装置中燃烧,将化学能转变为热能以加热,然后把工质的热能转变为机械能。热机在工作过程中需要完成两次能量转化,如图 2-1 所示。蒸汽机、蒸汽轮机以及柴油机、汽油机等都是较典型的热机。



图 2-1 燃料的能量转换

如果两次能量转化过程是在同一机械设备的内部完成的,则称为内燃机,如汽油机、柴油机以及燃气轮机。如果两次能量转化过程分别在两个不同的机械设备内部完成,则称之为外燃机,如往复式蒸汽机、蒸汽轮机等。

内燃机与外燃机相比,其主要优点是:

1. 在内燃机中,两次能量转换均发生在气缸内部,受热部件可以在大大低于最高循环工作温度下工作,可以采用较高的循环温度,具有较高的热效率。
2. 热能不需要中间工质(水蒸气)传递,减少了热能在工质传递过程中的热损失,结构简单。另外尺寸和重量等方面也具有明显优势(例如,燃气轮机在热机中的单位重量功率最大)。

根据所用燃料的不同,内燃机可大致分为汽油机、煤气机、柴油机和燃气轮机。它们都具有内燃机的共同特点,但又具有各自的工作特点。柴油机与汽油机的比较如表 2-1 所示。

表 2-1 柴油机与汽油机的比较

机型	柴油机	汽油机
特点		
燃料	柴油或劣质燃油	汽油
点火方式	压缩自行发火	电火花塞点燃
混合气的形成方式	气缸内混合	气缸外混合
压缩比	12 ~ 22	6 ~ 10
有效热效率(%)	30 ~ 55	15 ~ 40

汽油机使用挥发性好的汽油作燃料,采用外部混合法(汽油与空气在气缸外部进气管中的汽化器内进行混合)形成可燃混合气,其燃烧为点火式(电火花塞点火)。这种工作特点使汽油机不能采用高压缩比,因而限制了汽油机的经济性不能大幅度提高,也不允许作为船用发动机使用(汽油的火灾危险性大),但它工作柔和平稳、噪声低、比重量轻,因而广泛应用于轿

车和轻型运输车辆。

柴油机是一种压缩发火的往复式内燃机。柴油机使用挥发性较差的柴油或劣质燃料油作燃料;采用内部混合法(燃油与空气的混合发生在气缸内部)形成可燃混合气;缸内燃烧采用压缩式(靠缸内空气被压缩后形成的高温自行发火)。这些特点使柴油机在热机领域内具有最高的热效率(达55%),因而应用十分广泛。在船用发动机中,柴油机已经取得了绝对统治地位。

## 二、柴油机的主要优缺点

通常,柴油机具有以下突出优点:

1. 经济性好,有效热效率可达50%以上,可使用价廉的重油,燃油费用低。
2. 功率范围宽广,单机功率为0.6~68 000 kW,适用领域广。
3. 尺寸小,重量轻,有利于船舶机舱的布置。
4. 机动性能好,起动迅速,加速性能好,有较宽的转速和负荷调节范围并可直接反转,能适应船舶航行的各种工况要求。
5. 可靠性高,寿命长,维修方便。

同时,柴油机也具有以下缺点:

1. 存在机身振动、轴系扭转振动和噪声。
2. 某些部件的工作条件恶劣,承受高温、高压作用并具有冲击性负荷。

## 三、柴油机的基本组成

柴油机的形式、种类很多,但其基本结构可分为固定件、运动件、辅助机构和辅助系统四大部分。图2-2为一箱式柴油机的基本结构简图。

1. 固定件包括气缸盖、气缸体、气缸套、机架、机座、主轴承等。气缸盖、气缸套和活塞顶部形成一个封闭的空间,称为“燃烧室”。气缸套固定在气缸体内,气缸体固定在机架上,机架连同它上面的一切零部件安装在机座上,机座属于船体结构的一部分。机座与机架所包围形成的空间称为“曲柄箱”。

2. 运动件包括活塞组件(活塞本体、活塞销、活塞环)、连杆、曲轴,它们组成了“曲柄—连杆”机构,将活塞的往复运动转变为曲轴的回转运动。

3. 辅助机构包括进气阀、排气阀、配气和燃油凸轮轴及其传动机构等。气阀由曲轴通过中间齿轮、凸轮轴、顶杆、摇臂等进行控制,称为“配气机构”。这些机构用以控制柴油机的燃油喷射时刻、气阀开闭时刻、起动阀开闭时刻等。

4. 辅助系统包括燃油系统、冷却系统、润滑系统、操纵系统等。燃油系统将高压燃油以一定的时刻、定量地喷入燃烧室,主要包括喷油泵、喷油器。冷却系统的作用是对燃烧室周围承

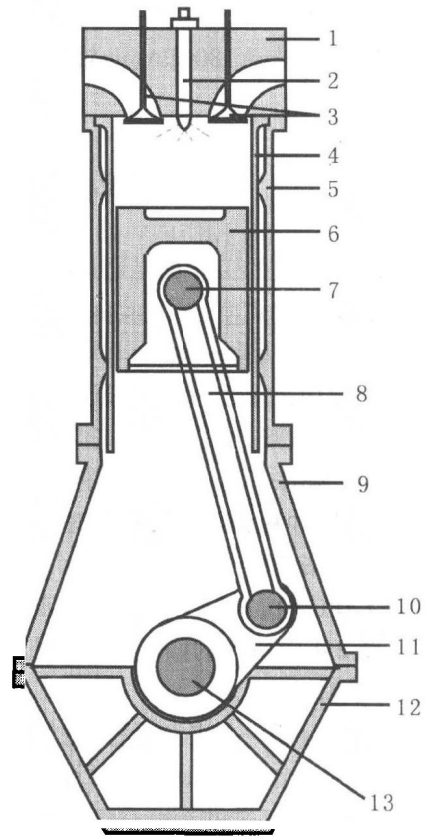


图2-2 箱式柴油机的基本构造

- 1—气缸盖;2—喷油器;3—进、排气阀;4—缸套;5—缸体;6—活塞;7—活塞销;8—连杆;9—机架;10—曲柄销;11—曲柄;12—机座;13—曲轴

受高温的部件进行冷却。润滑系统是向有相对运动的零部件之间供入润滑油,以减少摩擦力并带走因摩擦而产生的热量。操纵系统是为了实现对柴油机进行起动、换向、调速、连锁、安全保护和报警等操作而设置的专门执行机构。

#### 四、柴油机的基本结构参数

1. 上止点(TDC—Top Dead Center)——活塞在气缸中运动的最上端位置,也就是活塞离曲轴中心线最远的位置。

2. 下止点(BDC—Bottom Dead Center)——活塞在气缸中运动的最下端位置,也就是活塞离曲轴中心线最近的位置。

活塞在上、下止点时将改变其运动方向,此瞬间的活塞速度为零,所以成为上(下)止点。

3. 行程( $S$ —Stroke)——活塞从上止点移动到下止点间的直线距离。活塞移动一个行程,相当于曲轴转动 $180^\circ\text{CA}$ (曲轴转角),所以行程 $S$ 等于曲轴回转半径 $R$ 的2倍,即 $S=2R$ ,如图2-3所示。

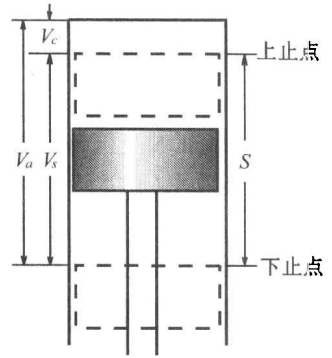


图 2-3 气缸容积

## 第二节 柴油机的工作原理

任何热机的工作都是通过一个接一个的工作循环来实现的。柴油机的基本工作原理是采用压缩发火方式使燃油在缸内燃烧,用高温高压的燃气作工质,在气缸中膨胀推动活塞做往复运动,并通过活塞—连杆—曲柄机构将往复运动转变为曲轴的回转运动。燃油在柴油机气缸中燃烧做功必须通过进气、压缩、燃烧、膨胀、排气五个过程。包括进气、压缩、混合气形成、着火、燃烧与放热、膨胀做功和排气等在内的全部热力循环过程,称为柴油机工作过程。包括进气、压缩、膨胀和排气等过程的周而复始的循环叫做工作循环。

### 一、四冲程柴油机工作原理

如果柴油机工作循环的五个过程是通过进气、压缩、膨胀和排气四个行程来实现的(曲轴转动 $720^\circ\text{CA}$ ),这种柴油机叫做四冲程柴油机。

图2-4中所示的四个简图分别表示四个活塞行程的进进行情况以及活塞、曲轴、气阀等部件的有关动作情况。

第一行程——进气行程:空气进入气缸时相应的活塞行程。

活塞从上止点(TDC)下行,进气阀 $a$ 打开。由于气缸容积不断增大,缸内的气体压力降低,由于进入气缸的新鲜空气流经进气管、进气阀时存在一定的阻力,因此进气压力线(1-2)低于大气压力线 $p_0$ ,依靠气缸内气体压力与大气压力的压差,新鲜空气经进气阀被吸入气缸。进气阀一般在活塞到达上止点(TDC)之前一定角度即提前打开(曲柄位于点1),下止点(BDC)之后一定角度延迟关闭(曲柄位于点2)。曲柄转角 $\psi_{1-2}$ (图中阴影线所占的角度)表示进气持续角 $\Delta Q_1$ ,为 $220\sim 250^\circ\text{CA}$ 。

第二行程——压缩行程:工质在气缸内被压缩时相应的活塞行程。

活塞从下止点(TDC)继续向上运动,自进气阀 $a$ 关闭(点2)才开始压缩,一直到上止点(点3)为止。第一行程吸入的新气经压缩后,压力增高到 $3\sim 6\text{MPa}$ ,温度升高到 $600\sim 700^\circ\text{C}$ ,此温度可以保证喷入气缸的雾状燃油自燃(燃油的自燃温度为 $210\sim 270^\circ\text{C}$ )。压缩终点的压

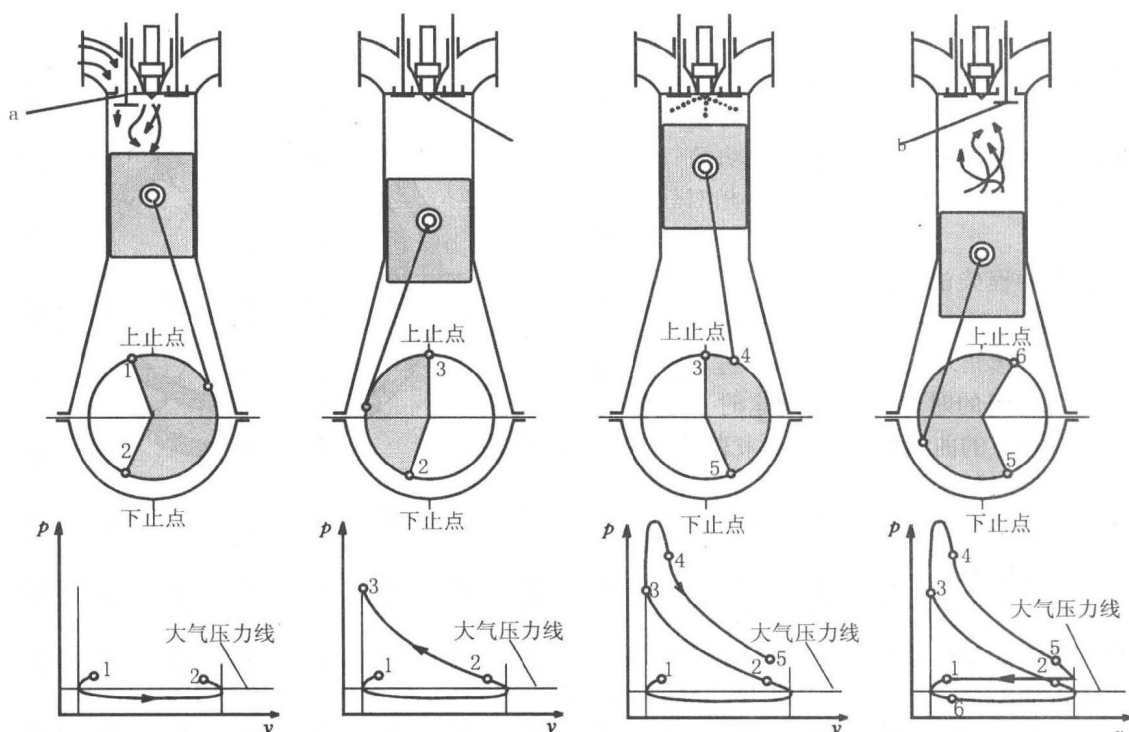


图 2-4 四冲程柴油机工作原理

力和温度分别用符号  $p_c$  和  $t_c$  表示。在压缩过程的后期,由喷油器 c 喷入气缸的燃油与高温空气混合、加热,并自行发火燃烧。曲柄转角  $\psi_{2-3}$  (图中阴影线所占的角度) 表示压缩过程为  $140 \sim 160^\circ \text{CA}$ 。

第三行程——燃烧和膨胀行程:工质在气缸内燃烧膨胀时相应的活塞行程。

活塞在上止点附近,由于燃油强烈燃烧,使气缸内的气体温度和压力急剧升高,压力为  $5 \sim 8 \text{ MPa}$ ,甚至高达  $15 \text{ MPa}$ ,温度为  $1400 \sim 1800^\circ \text{C}$  或更高。此压力推动活塞下行,带动曲柄转动,从而输出机械功。燃烧时产生的最大压力称为最大爆发压力  $p_z$ ,它一般出现在上止点后的某一曲柄转角位置上(一般在上止点后  $10 \sim 15^\circ \text{CA}$ )。气缸内的最高温度  $T_z$  一般出现在上止点后的某一曲柄转角位置上(一般不超过上止点后  $40^\circ \text{CA}$ )。膨胀一直到排气阀 b 开启时结束,膨胀终了时气缸内的气体压力为  $250 \sim 450 \text{ kPa}$ ,气体温度为  $600 \sim 700^\circ \text{C}$ ,曲柄转角  $\psi_{3-4-5}$  (图中阴影线所占的角度) 表示膨胀过程。

第四行程——排气行程:燃烧后的废气从气缸内排出时相应的活塞行程。

在上行程末活塞尚在下行,排气阀 b 开启,废气靠气缸内外压力差经排气阀排出,废气的压力迅速下降。当活塞经下止点上行时,废气被活塞推挤出气缸,此时的排气压力略高于大气压力 ( $1.05 \sim 1.1 p_0$  大气压),且是在压力基本保持不变的情况下进行的。为了尽可能将废气排除干净,排气阀一直延迟到上止点后(点 6)才关闭。曲柄转角  $\psi_{5-6}$  (图中阴影线所占的角度) 表示排气持续角  $\Delta Q_e$ , 为  $230 \sim 260^\circ \text{CA}$ 。

进行了上述的四个行程,柴油机就完成了一个工作循环。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,以维持柴油机的连续运转。

四冲程柴油机每完成一个工作循环,曲轴需要回转两转 ( $720^\circ \text{CA}$ ),活塞运行四个行程。



每个工作循环中只有第三行程(膨胀行程)是做功的,其他的三个行程都是为膨胀行程服务的,都需要消耗能量。柴油机常做成多缸的,这样进气、压缩、排气行程需要的能量借助其他正在做功的气缸或飞轮来供给。如果是单缸的柴油机,则由相对较大的飞轮来提供。

四冲程柴油机进、排气阀的开启和关闭都不在上、下止点,而是在上、下止点前后的某一时刻。它们的开启持续角均大于 $180^{\circ}\text{CA}$ 。进、排气阀在上、下止点前后启闭的时刻称为气阀定时。通常气阀定时用距相应止点的曲柄转角( $^{\circ}\text{CA}$ )来表示。用曲柄转角表示气阀定时的圆图称为定时圆图。如图 2-5 所示,它表示了各工作过程的次序与规律。

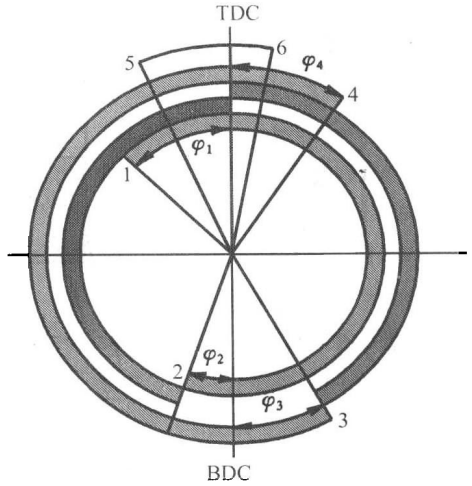


图 2-5 四冲程柴油机定时圆图

从图中可以看出,进气阀在上止点前点 1 开启,在下止点后点 2 关闭。其与相应止点的夹角  $\psi_1$ 、 $\psi_2$  分别称为进气提前角和进气延迟角。排气阀在下止点前点 3 开启,在上止点后点 4 关闭。其与相应止点的夹角  $\psi_3$ 、 $\psi_4$  分别称为排气提前角和排气延迟角。气阀提前开启是为了减少进、排气的阻力,滞后关闭是为了增加进气时间和利用气流的流动惯性,使废气排除干净,并增加空气的吸入量,以利于燃油的燃烧,另外还可减少排气耗功。因此,气阀定时是影响四冲程柴油机做功的重要因素。

由图可以看出,在上止点前、后进气阀与排气阀同时开启着,同一气缸的进、排气阀在上止点前、后同时开启所对应的曲轴转角称为进、排气重叠角。在此期间,进气管、气缸、排气管连通,此时利用废气的流动惯性,除可避免废气倒冲入进气管外,尚可抽吸新鲜空气进入气缸,并利用此压力差在将新气吸入气缸的同时将燃烧室内的废气排出气缸,实现所谓燃烧室扫气。此时不但可提高换气质量,还可利用进气冷却燃烧室有关部件。因而,四冲程柴油机均有一定的进、排气重叠角,而且增压柴油机的进、排气重叠角均大于非增压机,如表 2-2 所示。

表 2-2 四冲程柴油机气阀定时及气阀重叠角

名称	非 增 压		增 压	
	开 启	关 闭	开 启	关 闭
进气阀	上止点前 $15^{\circ} \sim 30^{\circ}$	下止点后 $10^{\circ} \sim 30^{\circ}$	上止点前 $40^{\circ} \sim 80^{\circ}$	下止点后 $20^{\circ} \sim 40^{\circ}$
排气阀	下止点前 $35^{\circ} \sim 45^{\circ}$	上止点后 $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$	下止点前 $40^{\circ} \sim 55^{\circ}$	上止点后 $40^{\circ} \sim 50^{\circ}$
重叠角	$25^{\circ} \sim 50^{\circ}$		$80^{\circ} \sim 130^{\circ}$	

## 二、二冲程柴油机工作原理

活塞在两个行程内完成一个工作循环(曲轴转动  $360^{\circ}\text{CA}$ )的柴油机,叫做二冲程柴油机。

在四冲程柴油机中新气的吸入与废气的排出是靠活塞的抽吸和推挤作用完成的。在二冲程柴油机中没有单独的进气和排气行程。其进气与排气过程几乎重叠在下止点前后  $120 \sim 150^{\circ}\text{CA}$  内同时进行。因此二冲程柴油机在结构上,必须在气缸套下部开设气口,采用气缸套扫气口—排气口,或采用气缸套下部设扫气口—气缸盖上设排气阀的换气机构,而且还必须提