

海船船员适任考试培训用书



中国航海学会船舶机电专业委员会组织编写

# 机工业务

朱峰 主编

白德富 主审



大连海事大学出版社

# 海船船员适任考试培训用书

- 轮机长业务
- 船舶柴油机 / 船舶主推进动力装置
- 船舶辅机
- 船舶电气
- 轮机自动化
- 轮机维护与修理
- 船舶管理
- 轮机工程基础
- 轮机英语
- 机工业务

ISBN 7-5632-1370-8



9 787563 213702 >

ISBN 7-5632-1370-8  
U·344 定价: 31.50 元

海船船员适任考试培训用书

中国航海学会船舶机电专业委员会组织编写

# 机 工 业 务

朱 峰 主编

白德富 主审

大连海事大学出版社

## 内 容 简 介

本书是根据中华人民共和国港务监督局(现海事局)于1998年2月颁布的《海船船员适任考试和评估大纲》编写的,是海船船员适任考试培训用书之一。

《机工业务》共分四部分,分别介绍了船舶柴油机,船舶辅机,轮机电工,船舶管理等内容。着重介绍基本概念、基本原理,其语言简练,内容广泛,满足船舶机工的学习、考试以及工作的需要。

### 图书在版编目(CIP)数据

机工业务/朱峰主编. —大连:大连海事大学出版社,2000.5  
(海船船员适任考试培训用书)

ISBN 7-5632-1370-8

I.机... II.朱... III.船舶-轮机-技术管理 IV.U676.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第11011号

### 大连海事大学出版社出版

(大连市凌水桥 邮政编码 116026 电话 4728394 传真 4727996)

<http://www.dmupress.com>

大连理工大学印刷厂印装 大连海事大学出版社发行

2000年5月第1版 2000年5月第1次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:17.5

字数:437千字 印数:0001~5000册

责任编辑:王桂云 封面设计:王艳

责任校对:黎为 版式设计:立伟

定价:31.50元

# 序

在世纪之交,中国航海学会船舶机电专业委员会,又一次不失时机地积极倡导、精心组织轮机界的学者和专家推出这套《海船船员适任考试培训用书》,将它奉献给 21 世纪以及日夜奋战在海洋运输战线上的广大船员,这是一件令人称道的大好事。

《海船船员适任考试培训用书》符合经 1995 年修正案修正的《1978 年海员培训、发证和值班标准国际公约》(STCW78/95 公约),满足中华人民共和国海事局于 1998 年颁布的《海船船员适任考试和评估大纲》(简称“新大纲”)的要求,由具有丰富教学经验和实践经验的教授、专家所撰写。应该说,这套系列丛书已是第三版了,它的前两版《高级船员适任证书考试用轮机培训教材》,分别在 1989 年和 1993 年出版,先后在数十次的轮机员培训中使用,深受广大船员及考试、发证单位的欢迎和赞许,许多分册一经问世即被购置一空,以致多次重印。几年中,各分册先后印刷 1.3 万册至 2.6 万多册,平均每分册印刷 2 万余册,全书总印量约 18 万册之巨。

作为第三版的《海船船员适任考试培训用书》正是在前两版的基础上,以原作者为主体编写而成。它由 10 个分册组成,分别是:轮机长业务、船舶主推进动力装置(船舶柴油机)、船舶辅机、船舶电气、轮机自动化、轮机维护与修理、船舶管理、轮机工程基础、轮机英语和机工业业务。与前两版比较,在丛书的组成上做了这些变更:将原先的《轮机管理》一书分成两册,即《轮机长业务》和《船舶管理》,借以增强轮机长所需知识的广度和深度;新增了《轮机维护与修理》和《机工业业务》两本书;删去了《造船大意》一书。

调整改编后的这套培训用书,充分保持了前两版教材较好的针对性、适用性和系统性,篇幅适中,简单易懂,以及理论与实际密切结合的特点,并根据近年来轮机技术和轮机管理的发展变化,以往教学中发现的问题和不足,对全书的内容精选、调整、充实和更新,对文言结构进行推敲和雕琢,做到了有一定的深度而不艰涩,有必要的广度而不琐乱,主次分明,详略得宜。使得这套培训用书,在整体上更好地体现了“新大纲”的要求,在知识体系上更具针对性,在内容上更具适用性和先进性,因而也就更具科学性、实用性和易读性。它无论是对海船轮机人员的考试培训,还是对考试、发证单位的命题,以及对船员的业务学习和提高都是大有裨益的。

在本书出版之际,我作为该书前两版的编委会主任委员,对此额手称庆,相信它一定会像前两版一样,受到广大船员和读者的关心、爱护和支持,并期望成为大家的良师益友。

钱耀鹏

1999 年 8 月

# 海船船员适任考试培训用书编委会

(按姓氏笔画为序)

主任委员 吕登有

副主任委员 刘德洪 刘福生 孙培廷 林建清  
袁林新 殷佩海

委 员 毛道彬 史际昌 刘建军 刘宗德  
许乐平 朱 峰 陆卫东 芦庆丰  
李玉平 李 凯 李忠华 李明昌  
李成玉 吴树雄 吴 恒 杜荣铭  
时培育 陈景杰 金以铨 郑为民  
郑凤阁 徐正光 钱耀鹏 钱 闵  
郭祖平 顾宣炎 费 千 黄海波  
韩秀廷 谢群威 满一新 詹玉龙  
蔡振雄

# 前 言

为适应经 1995 年修正案修正的《1978 年海员培训、发证和值班公约》(STCW78/95 公约)及中华人民共和国海事局 1998 年颁布的《海船船员适任考试和评估大纲》的实施和要求,中国航海学会船舶机电专业委员会组建了海船船员适任考试培训用书编写委员会,选聘有丰富教学经验和实践经验的教授、专家作为各本书的主编。编委会对各本书的编写大纲进行了审定。

这套船员考试培训用书有较强的针对性、适用性、先进性,符合船员考试和评估大纲要求,篇幅适中,取材切题,联系实际,简单扼要,适用于海船轮机人员适任考试培训用,对船员的业务学习也有参考价值。

这套系列丛书共分 10 册:轮机长业务、船舶主推进动力装置(船舶柴油机)、轮机工程基础、船舶辅机、船舶电气、轮机自动化、轮机维护与修理、船舶管理、机工业务、轮机英语。

本套系列丛书在编审、出版和征订工作中得到中华人民共和国海事局、各航运企业、大连海事大学出版社等单位的关心和大力支持,特致谢意。

**海船船员适任考试培训用书编写委员会**

## 编者的话

本书系根据《中华人民共和国海船船员适任考试和评估大纲》编写的,作为机工适任证书考试用培训教材。本书着重介绍基本概念,基本原理,其语言简练,内容广泛,满足船舶机工的学习、考试以及工作的需要。

本书共分船舶柴油机、船舶辅机、轮机电工和船舶管理四个部分。其中朱峰编写船舶辅机,李文双编写船舶管理,王忠忱编写船舶柴油机,杨宏德编写轮机电工。

全书由朱峰主编,白德富主审。

本书难免有缺点和错误,恳请使用者批评指正。

编者

1999年8月



# 目 录

## 第一篇 船舶柴油机

第一章 柴油机基本知识	(1)
第一节 柴油机基本概念	(1)
第二节 柴油机工作原理	(5)
第二章 柴油机的主要部件	(13)
第一节 固定部件	(13)
第二节 运动部件	(27)
第三章 燃油喷射系统与喷油设备	(46)
第一节 燃油喷射系统	(46)
第二节 喷油泵	(47)
第三节 喷油器	(52)
第四节 喷油设备的检查调整及维护管理	(56)
第四章 柴油机的换气机构	(60)
第一节 气阀机构	(60)
第二节 气阀传动机构	(66)
第三节 凸轮轴与凸轮轴传动机构	(68)
第四节 换气机构的故障与管理	(72)
第五章 柴油机的系统	(75)
第一节 燃油系统	(75)
第二节 润滑系统	(80)
第三节 冷却系统	(85)
第四节 压缩空气起动系统	(90)
第六章 船用分油机	(99)
第一节 分油机工作原理	(99)
第二节 自动排渣分油机的结构和工作过程	(100)
第三节 分油机的使用管理	(103)

## 第二篇 船舶辅机

第一章 船用泵	(109)
第一节 船用泵概述	(109)

第二节	往复泵	(110)
第三节	齿轮泵	(113)
第四节	螺杆泵	(116)
第五节	离心泵	(117)
第六节	喷射泵	(122)
<b>第二章</b>	<b>船用空气压缩机</b>	<b>(123)</b>
第一节	空压机的基本结构和工作原理	(123)
第二节	空压机结构与管理	(123)
<b>第三章</b>	<b>通风机</b>	<b>(126)</b>
第一节	通风机结构与工作原理	(126)
第二节	通风机的使用与维护管理	(127)
<b>第四章</b>	<b>船舶辅助锅炉与废气锅炉</b>	<b>(129)</b>
第一节	概述	(129)
第二节	锅炉的结构	(130)
第三节	锅炉附件	(132)
第四节	锅炉燃烧装置	(136)
第五节	辅锅炉的运行和维护管理	(140)
<b>第五章</b>	<b>甲板机械</b>	<b>(146)</b>
第一节	舵机	(146)
第二节	起货机	(148)
第三节	锚机和绞缆机	(153)
<b>第六章</b>	<b>制冷装置与空调装置</b>	<b>(156)</b>
第一节	制冷的基本概念	(156)
第二节	制冷装置的部件	(158)
第三节	制冷装置的管理	(164)
第四节	空气调节装置	(167)

## 第三篇 轮机电工

<b>第一章</b>	<b>直流电路</b>	<b>(172)</b>
第一节	电流、电阻、电压和电动势	(172)
第二节	欧姆定律	(174)
第三节	电功与电功率	(175)
第四节	电阻的串联与并联	(176)
<b>第二章</b>	<b>电磁</b>	<b>(178)</b>
第一节	电磁感应	(178)
第二节	磁路	(180)

<b>第三章 交流电路</b> .....	(183)
第一节 正弦交流电的概述 .....	(183)
第二节 正弦交流电路 .....	(187)
第三节 三相交流电路 .....	(188)
第四节 三相电源的联接 .....	(191)
第五节 三相负载的联接 .....	(193)
<b>第四章 电机</b> .....	(196)
第一节 直流电机 .....	(196)
第二节 异步电动机 .....	(197)
第三节 同步发电机 .....	(202)
<b>第五章 船舶电站</b> .....	(204)
第一节 船舶电力系统概述 .....	(204)
第二节 船舶电站 .....	(206)
第三节 发电机并联运行 .....	(210)
<b>第六章 船舶安全用电</b> .....	(214)
第一节 触电及预防 .....	(214)
第二节 电气防火 .....	(216)

## 第四篇 船舶管理

<b>第一章 制度与职责</b> .....	(218)
第一节 STCW 公约和我国海船船员值班规则 .....	(218)
第二节 驾驶、轮机联系制度 .....	(220)
<b>第二章 船舶管系</b> .....	(222)
第一节 管路的识别和修复 .....	(222)
第二节 动力系统 .....	(222)
第三节 船舶系统 .....	(225)
<b>第三章 物料管理</b> .....	(230)
第一节 船舶备件的申请与管理 .....	(230)
第二节 船舶物料的管理 .....	(231)
<b>第四章 船内通讯设备及报警设备使用</b> .....	(233)
第一节 船用电话通讯系统 .....	(233)
第二节 车钟 .....	(233)
第三节 船内报警信号系统 .....	(234)
<b>第五章 海洋环境保护</b> .....	(235)
第一节 国际防止船舶造成污染公约 .....	(235)
第二节 我国防止船舶污染海洋环境法规 .....	(242)

第三节	外国油污法规 .....	(247)
第四节	油类记录簿 .....	(249)
第五节	船舶防污染技术与设备 .....	(250)
第六章	应急知识 .....	(259)
第一节	应急职责 .....	(259)
第二节	机舱应急设备的使用和管理 .....	(262)
第三节	ISM 规则及其安全机制 .....	(265)
主要参考文献 .....		(270)

# 第一篇 船舶柴油机

## 第一章 柴油机基本知识

### 第一节 柴油机基本概念

#### 一、柴油机概述

将燃料燃烧产生的热能转变为机械功的机器称为热力发动机,简称热机,它是当前世界上应用最广泛的一种原动机。根据燃料燃烧的場所不同,可将热机分为外燃机和内燃机两大类。

外燃机燃料的燃烧在发动机的外部进行,利用燃料燃烧产生的热能将水加热产生蒸汽,再将蒸汽送入发动机的气缸或叶轮膨胀做功对外输出,如蒸汽机和汽轮机。

内燃机燃料的燃烧在发动机的内部进行,它以燃气为工质,直接利用高温高压的燃气在气缸内膨胀做功对外输出,如柴油机、汽油机、煤气机和燃气轮机等。

柴油机是内燃机的一种,它以柴油作为燃料。它的基本工作原理是使燃料以压缩发火方式在发动机的气缸中燃烧,将燃料的化学能转变为热能,从而生成高温、高压的燃气,燃气在气缸中膨胀推动活塞作往复运动将热能转变为机械功。活塞的往复运动通过曲柄连杆机构转变为曲轴的回转运动,带动工作机械。因此,柴油机是一种缸内混合、压缩发火的往复式内燃机。

#### 二、柴油机的优点

当前,柴油机在船舶动力领域中得到了迅速的发展和广泛的应用,这是由于与其他热机相比较,它具有以下主要优点:

1. 热效率高。目前,通过采用动力涡轮系统、采用可变喷油定时机构以及提高机械效率等措施,柴油机的热效率已达到 50% 以上,而汽油机的热效率最高只有 32%,蒸汽机则为 16% 左右。
2. 柴油机动力装置的尺寸小、总重量轻,即单位装置重量功率大。
3. 可燃用劣质燃料油,且耗油率低,经济性好。
4. 功率范围广。最小功率的柴油机只有 1.1kW,而最大可达 35 328kW,能满足不同类型、不同尺度的船舶对动力的需求。
5. 启动性能好,一般备车时间只需 0.5 ~ 1h,因此机动性能强。
6. 所燃用的燃料便于携带、便于管理,安全性高。

#### 三、柴油机在船舶上的应用

由于柴油机具有上述优点,使其在船舶上的应用与日俱增。据统计,世界上各类运输船舶中,以柴油机作为推进动力的比例,1927 年只有 4%,而到 1955 年增长到 55%,到 1972 年已达到 80% 以上。另具 1997 年 6 月的“Motor Ship”月刊介绍,当年全世界正在建造的 2 000 载重吨以上的 986 艘船舶,有 974 艘采用柴油机作为主动力,比例为 96.19%。

柴油机在船舶上除用作推进发动机——主机之外,还广泛地用作发电机原动机、动力型救生艇发动机、应急发电机原动机和应急消防泵原动机等。

#### 四、柴油机的基本构造

##### 1. 四冲程柴油机的基本构造

如图 1-1-1 所示,四冲程柴油机主要由固定部件、运动部件、喷油设备和换气机构等组成。

1)固定部件:固定部件主要包括机座、机架或机体、主轴承、气缸和气缸盖等。

2)运动部件:运动部件主要包括活塞、活塞销、连杆、连杆螺栓和曲轴等。

3)喷油设备:喷油设备主要包括喷油泵、喷油器和高压油管。

4)换气机构:换气机构主要包括凸轮轴、顶头、顶杆、摇臂、进气阀、排气阀、气阀弹簧、进气管和排气管等。

## 2. 二冲程柴油机的基本构造

现代船用二冲程柴油机绝大多数为十字头式柴油机,其基本结构大体上与四冲程柴油机相同,如图 1-1-2 所示。与四冲程柴油机所不同的只是机体是由机架和气缸体两部分组成,另外,运动部件里多了一个活塞杆和一个被称为十字头的部件,以及在气缸套下部开有扫气口和排气口或只开有扫气口而在气缸盖上装有排气阀机构。

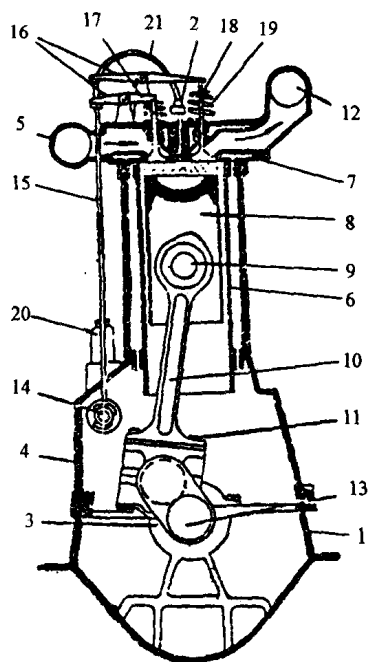


图 1-1-1 四冲程柴油机主要部件  
1-机座;2-喷油器;3-主轴承;4-机身;5-进气管;6-气缸套;7-气缸盖;8-活塞;9-活塞销;10-连杆;11-连杆螺栓;12-排气管;13-曲轴;14-凸轮轴;15-顶杆;16-摇臂;17-进气阀;18-排气阀;19-气阀弹簧;20-喷油泵;21-高压油管

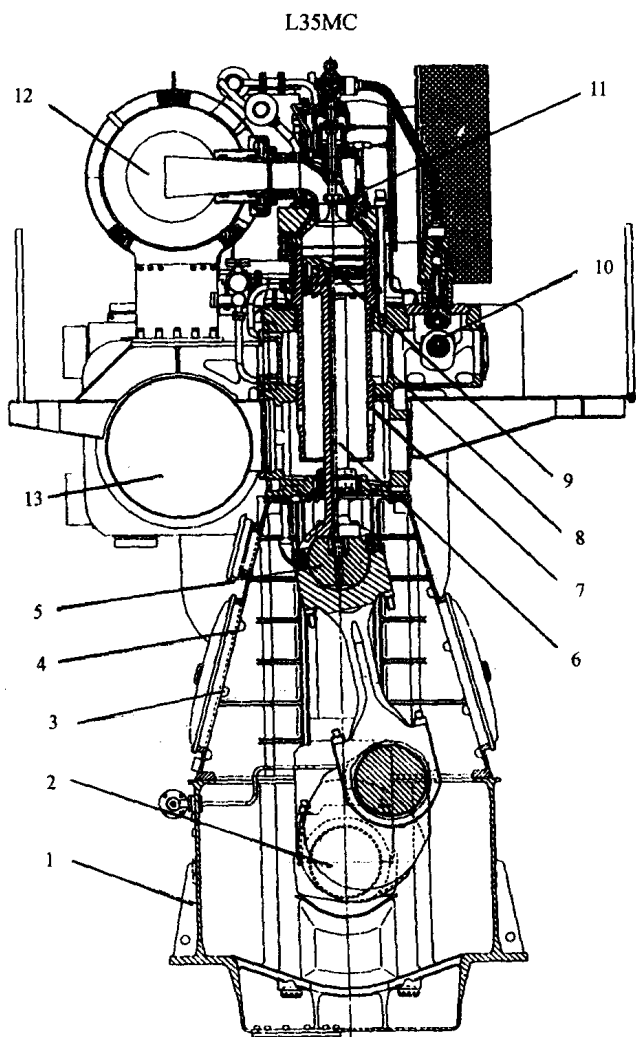


图 1-1-2 二冲程柴油机主要部件简图

1-机座;2-曲轴;3-连杆;4-机架;5-十字头;6-活塞杆;7-气缸套;8-气缸体;9-活塞;10-凸轮轴;11-排气阀;12-排气管;13-扫气箱

## 五、柴油机的常用术语

1. 上止点(T.D.C.) 活塞在气缸中运动到离曲轴中心线最远的位置。
2. 下止点(B.D.C.) 活塞在气缸中运动到离曲轴中心线最近的位置。
3. 曲柄半径( $R$ ) 曲轴主轴径中心线与曲柄销中心线的距离。
4. 行程( $S$ ) 活塞从上(下)止点移动到下(上)止点间的直线距离。它等于曲轴曲柄半径 $R$ 的两倍( $S = 2R$ )。活塞移动一个行程,相当于曲轴转动 $180^\circ\text{CA}$ (曲轴转角)。

5. 缸径( $D$ ) 气缸的内径。

6. 压缩室容积( $V_c$ ) 活塞在上止点时,活塞顶面以上的全部空间(活塞顶面、气缸盖底面与气缸套表面所包围的空间)容积,亦称气缸余隙容积。如图 1-1-3 所示。

7. 气缸工作容积( $V_h$ ) 活塞在气缸中从上(下)止点移动到下(上)止点时所扫过的容积。见图 1-1-3,显然:

$$V_h = \pi D^2 S / 4 \quad (\text{式 1-1-1})$$

8. 气缸总容积( $V_a$ ) 活塞在气缸内位于下止点时,活塞顶面以上的全部气缸容积。显然:

$$V_a = V_h + V_c \quad (\text{式 1-1-2})$$

9. 压缩比( $\epsilon$ ) 气缸总容积与压缩室容积之比值。亦称几何压缩比。

$$\epsilon = V_a / V_c = V_h + V_c / V_c = 1 + V_h / V_c \quad (\text{式 1-1-3})$$

目前,船用柴油机的压缩比为 11 ~ 19。

## 六、柴油机的分类

柴油机的不断发展和其用途的不断开发,促使柴油机的制造厂商造出了多种类型的柴油机。如按工作循环可分为四冲程机和二冲程机两类;在二冲程柴油机中,按换气形式又可分为弯流扫气和直流扫气柴油机;按是否增压可分为非增压和增压柴油机;按曲轴转速可分为低速、中速和高速柴油机;按结构可分为筒形活塞式和十字头式柴油机;按气缸排列形式可分为直列式和 V 型柴油机;按正车旋转方向可分为右旋机和左旋机;按是否可倒转可分为可倒转和不可倒转柴油机等等。前三种在本章中均有详细介绍,以下简要介绍其余机型分类。

### 1. 低速、中速和高速柴油机

柴油机的速度可以用曲轴转速  $n$  (单位时间内曲轴的回转圈数, r/min) 和活塞平均速度  $C_m$  ( $C_m = Sn / 30, \text{m/s}$ ) 来表示。按此指标分类一般为:

低速柴油机	$n \leq 300$	r/min	$C_m = 6.0\text{m/s} \sim 7.2\text{m/s}$
中速柴油机	$300 < n \leq 1\,000$	r/min	$C_m = 7.0\text{m/s} \sim 9.4\text{m/s}$
高速柴油机	$n > 1\,000$	r/min	$C_m = 9.0\text{m/s} \sim 14.2\text{m/s}$

### 2. 筒形活塞式和十字头式柴油机

用活塞销连接活塞与连杆的柴油机称筒形活塞式(又称无十字头式)柴油机,如图 1-1-4 (a)所示。图中活塞 1 用活塞销直接与连杆 2 连接。活塞的导向作用由活塞下部筒形裙部来承担,气缸壁承担活塞运动时产生的侧推力。

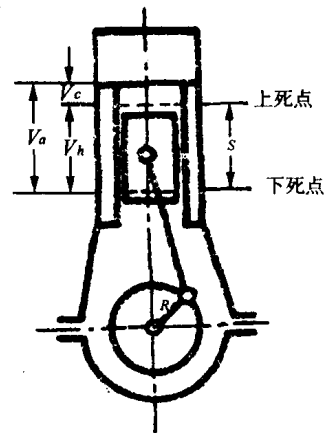


图 1-1-3 柴油机基本结构参数

用沿着导板滑动的十字头连接活塞杆与连杆的柴油机称十字头式柴油机。如图 1-1-4(b)所示。图中活塞 1 通过活塞杆 2 经十字头 3 与连杆 5 连接,导向作用由十字头承担。当柴油机工作时,十字头上的滑块 4 在导板 6 上滑动,侧推力  $N$  由导板承担。这两种柴油机各有其特点,十字头式柴油机的活塞由于不起导向作用,因而与缸套之间没有侧推力  $N$  的作用,所以两者之间的磨损较小,不易擦伤和卡死。此外,由于活塞杆只在垂直方向作直线运动,因而有可能在气缸下部加设一横隔板,把气缸与曲轴箱隔开,以免气缸中的脏油、结炭或燃气漏入曲轴箱污损滑油。这也为十字头式柴油机燃用劣质燃料创造了有利条件。但十字头式柴油机的重量和高度增大,结构也较复杂,不具备筒形活塞式柴油机体积小、重量轻、结构简单的优点。

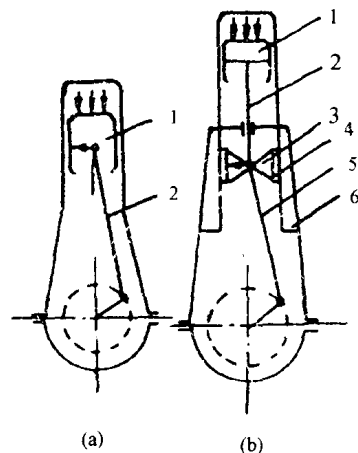


图 1-1-4 筒形活塞式和十字头式柴油机简图

### 3. 直列式和 V 型柴油机

船用柴油机通常均为多缸机。这样可以增大柴油机单机功率,同时可满足船舶机动性、可靠性的要求。多缸柴油机的气缸排列可以有直列式、V 型、W 型等。船用柴油机均为直列式与 V 型两种。

具有两个或两个以上直立气缸,并呈一列布置的柴油机称直列式柴油机,如图 1-1-5(a)所示。直列式柴油机的气缸数因曲轴刚度和安装上的限制一般不超过 12 缸。当缸数超过 12 缸时通常采用 V 型柴油机,如图 1-1-5(b)所示。它具有两列气缸,其中心线夹角呈 V 形,并共用一根曲轴输出功率。V 型机的气缸数可达 18 甚至 24,气缸夹角通常为  $90^\circ$ 、 $60^\circ$  和  $45^\circ$ 。V 型机具有较高的单机功率和较小的比重量(柴油机净重量与标定功率的比值),在中、高速柴油机中用得较多。

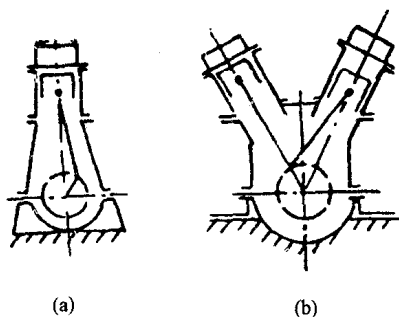


图 1-1-5 直列式和 V 型柴油机简图

### 4. 右旋和左旋柴油机

观察者由柴油机功率输出端向自由端看,正车时曲轴按顺时针方向旋转的柴油机称右旋柴油机;正车时曲轴按逆时针方向旋转的柴油机称左旋柴油机。某些船舶的推进装置(如客轮)采用双机双桨推进装置。在这种船舶上,由船艏向船艉看,布置在机舱右舷的柴油机为右旋柴油机,亦称右机;布置在机舱左舷的柴油机为左旋柴油机,亦称左机。在这种动力装置中,为便于操纵管理,右机的操纵侧即凸轮轴

侧布置在柴油机左侧(即内侧),而排气侧布置在其右侧;左机的操纵侧在柴油机的右侧(即内侧)。单台布置的船舶主柴油机通常均为右旋柴油机。

### 5. 可逆转和不可逆转柴油机

可由操纵机构改变曲轴旋转方向的柴油机称可逆转柴油机。曲轴仅能按同一方向旋转的柴油机称不可逆转柴油机。在船舶上凡直接带动螺旋桨的柴油机均为可逆转柴油机;凡带有倒顺车离合器、倒顺车齿轮箱或可变螺距螺旋桨的柴油机以及船舶发电柴油机均为不可逆转柴油机。



## 第二节 柴油机工作原理

柴油机的工作过程是首先从大气中将新鲜空气吸人气缸,再由活塞将其压缩到具有一定的温度,此时,将燃油呈雾状喷入气缸内的高温空气中,使燃油发火燃烧而产生高温高压的燃气,推动活塞膨胀做功,当膨胀终了时,靠活塞或新鲜空气的挤压,将废气排出气缸。总之,燃油在柴油机气缸中燃烧做功,必须通过进气、压缩、燃烧、膨胀和排气五个过程才能实现,这五个过程组成了柴油机的一个工作循环。

### 一、四冲程柴油机工作原理

若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(720°CA)来实现的,这种柴油机就叫做四冲程柴油机,也称四行程柴油机。如图 1-1-6 所示。

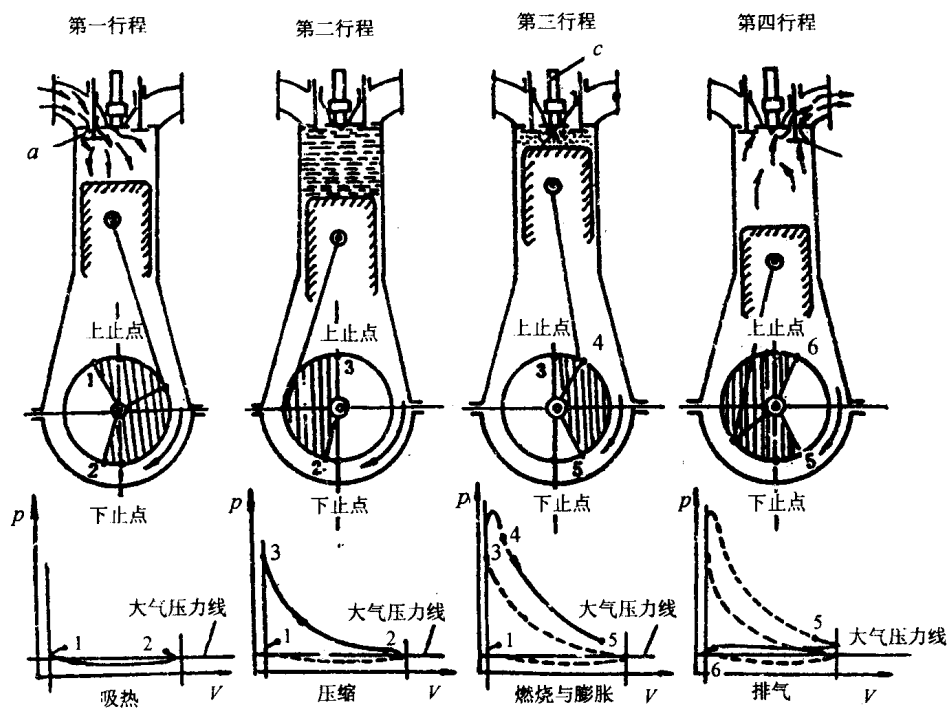


图 1-1-6 四冲程柴油机工作原理示意图

#### 第一冲程——进气冲程

这个冲程的作用是使气缸内充满新鲜空气。进气冲程开始时,活塞从上止点下行,进气阀  $a$  打开。由于气缸容积不断增大,使气缸内的压力下降到大气压力以下,依靠气缸内外的压差,新鲜空气经进气阀不断地被吸人气缸。在进气过程的大部分时间里,气缸内的压力低于大气压力,约为  $80 \sim 90 \text{kPa}$ 。进气阀一般在活塞到达上止点前即提前打开(曲柄位于点 1),在下止点后延迟关闭(曲柄位于点 2),曲轴转角  $\phi_{1-2}$  (图中阴影线所占的角度)表示进气持续角,约为  $220 \sim 250^\circ \text{CA}$ 。

#### 第二冲程——压缩冲程

这个冲程的作用是通过活塞的压缩,使气缸内的空气达到一定的压力和温度。压缩冲程开始时,活塞从下止点向上运动,自进气阀  $a$  关闭(点 2)开始压缩,一直到上止点(点 3)为止。第一冲程吸入的新气,经压缩后,压力增高到  $3 \sim 6 \text{MPa}$ ,温度升高到  $600 \sim 700^\circ \text{C}$ (燃油的自燃温