

LUNJI GAILUN

# 轮机概论

左春宽 主编  
吴桂涛 主审

大连海事大学出版社

# 轮机概论

左春宽 主 编  
吴桂涛 主 审

大连海事大学出版社

© 左春宽 2008

**图书在版编目(CIP)数据**

轮机概论 / 左春宽主编. —大连: 大连海事大学出版社, 2008. 11  
ISBN 978-7-5632-2252-0

I. 轮… II. 左… III. 轮机—概论—高等教育—自学考试—教材 IV. U664.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 182614 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

大连力佳印务有限公司印装 大连海事大学出版社发行

2008年11月第1版 2008年11月第1次印刷

幅面尺寸:185 mm × 260 mm 印张:9

字数:220千 印数:1~2000册

责任编辑:李雪芳 封面设计:王艳

ISBN 978-7-5632-2252-0 定价:15.00元

# 前 言

本书主要根据高等教育自学考试船舶与海洋工程专业(航海技术专科方向)“轮机概论”课程自学考试大纲规定的内容编写的。“轮机概论”课程是航海技术专业学生必修的一门课程,也是根据 STCW78/95 公约获得高级船员适任证书的考试内容。本课程是根据高等海运院校船舶驾驶专业的特点和需要而设置的,是船舶驾驶专业了解船舶的机舱和甲板机械设备的特特点、操纵要点的主要途径,也是船舶科学管理的重要技术手段之一,是船舶驾驶专业学生必备的知识。全书共分七章,分别讲述了轮机及热工基本知识;船舶柴油机动力装置;船舶推进装置;船舶辅助设备;船舶甲板机械;船舶系统和船用锅炉设备与系统。

本书简要介绍了以上各种设备的结构和工作原理,主要侧重于设备的管理和使用方面的知识。本着让驾驶人员对轮机各设备和系统能够了解和掌握的原则,本书编写力求做到理论结合实际,简单实用,使其成为驾驶员必备的工作用书。

本书还可作为航海院校其他与船舶有关的陆上专业的选修教材和参考书。

本书第一章、第二章、第三章、第四章和第六章由左春宽编写,第五章和第七章由史卜坤编写。

本书由左春宽担任主编,吴桂涛担任主审。

本书在编写过程中,参考了大量资料,在书后的参考文献一一列出。本书的出版得到了大连海事大学继续教育学院李春野副院长、汪沛老师和大连海事大学出版社的领导和编辑们的大力支持,在此向他们表示衷心感谢!

受编者水平所限,本书欠妥和不足之处在所难免,恳请各位读者提出宝贵意见。

编 者

2008 年 10 月

# 目 录

|                            |       |
|----------------------------|-------|
| <b>第一章 轮机基础知识</b> .....    | (1)   |
| 第一节 轮机概述 .....             | (1)   |
| 第二节 热工基础知识 .....           | (3)   |
| <b>第二章 船舶柴油机动力装置</b> ..... | (9)   |
| 第一节 柴油机概述 .....            | (9)   |
| 第二节 柴油机的类型和主要结构参数 .....    | (11)  |
| 第三节 柴油机的工作原理 .....         | (14)  |
| 第四节 柴油机的性能指标和工作参数 .....    | (19)  |
| 第五节 柴油机的典型结构 .....         | (25)  |
| 第六节 柴油机的工作系统 .....         | (30)  |
| 第七节 起动换向、调速和操纵系统 .....     | (36)  |
| 第八节 柴油机的运转特性 .....         | (42)  |
| 第九节 柴油机的运行管理 .....         | (45)  |
| <b>第三章 船舶推进装置</b> .....    | (54)  |
| 第一节 船舶推进装置的传动方式 .....      | (54)  |
| 第二节 轴系的组成 .....            | (56)  |
| 第三节 螺旋桨及螺旋桨特性 .....        | (57)  |
| 第四节 可调螺距螺旋桨 .....          | (63)  |
| <b>第四章 船用泵和油马达</b> .....   | (66)  |
| 第一节 船用泵 .....              | (66)  |
| 第二节 油马达 .....              | (74)  |
| <b>第五章 船舶甲板机械</b> .....    | (78)  |
| 第一节 船舶起货机 .....            | (78)  |
| 第二节 液压起货机 .....            | (80)  |
| 第三节 液压舵机 .....             | (83)  |
| 第四节 液压锚机和系泊设备 .....        | (86)  |
| 第五节 船舶减摇鳍和船舶侧推装置 .....     | (90)  |
| <b>第六章 船舶系统</b> .....      | (95)  |
| 第一节 舱底水系统 .....            | (95)  |
| 第二节 压载系统 .....             | (99)  |
| 第三节 日用水系统 .....            | (100) |
| 第四节 船舶海水淡化装置 .....         | (105) |
| 第五节 船舶空气调节装置 .....         | (108) |
| 第六节 油船专用系统 .....           | (113) |

|                                   |       |
|-----------------------------------|-------|
| <b>第七章 船用锅炉</b> .....             | (129) |
| <b>第一节 船用锅炉的类型</b> .....          | (129) |
| <b>第二节 锅炉的主要性能指标</b> .....        | (130) |
| <b>第三节 锅炉的结构及附件</b> .....         | (131) |
| <b>第四节 锅炉的蒸汽、给水、凝水和排污系统</b> ..... | (133) |
| <b>第五节 船舶辅锅炉的运行和维护管理</b> .....    | (135) |
| <b>参考文献</b> .....                 | (136) |

# 第一章 轮机基础知识

## 第一节 轮机概述

### 一、轮机

在推动船舶前进的动力发展史上,经历了以人力和风力等自然力作为推进手段的漫长岁月,直到1807年“克赖盟特”号这艘以蒸汽机作为推进动力机械的船舶的建成,才开始了船舶以机械作为主推进动力的新纪元。那时的蒸汽船的推进装置是由蒸汽机带动一个桨轮的推进器,这种推进器的大部分露出水面,人们称之为“明轮”,把装有明轮的船称为“轮船”,把产生蒸汽的锅炉和驱动明轮转动的蒸汽机等成套设备称“轮机”。所以当时的“轮机”仅是推进设备的总称。

随着科学技术的发展,现在的船舶在功能上更加完善。增设和完善了各种设备与系统,如船舶电站、甲板机械、冷藏和空调装置、淡水系统、压载和消防系统等,同时也出现了各种特殊用途的船舶,进一步扩大了船舶“轮机”一词的内涵,丰富了“轮机”的内容。简而言之,轮机是为了满足船舶航行、各种作业、船上人员的生活、船上人员和财产安全等各种需要所设置的全部系统及设备的总称。

### 二、轮机的组成

根据组成船舶的各种系统、机械和设备所起作用的不同,可以将轮机分为以下几个部分:

(1)主推进动力装置——推动船舶航行的系统,包括给船舶航行提供推进动力的主机及附属系统、传动设备、轴系和推进器。主机发出动力,通过传动设备及轴系驱动推进器产生推力,使船舶克服阻力航行。

(2)辅助装置——产生各种能量供应船舶航行、作业和生活设施的需要。包括供全船使用的船舶电站、辅锅炉(包括废气锅炉)、液压泵站和压缩空气系统等。

(3)确保船舶安全的设备,主要用于保证船舶的抗沉性和安全性。包括舱底水系统、监视及灭火系统等。当船舶货舱或机舱进水或发生火灾时,及时发现并排除险情,以保证船舶安全。

(4)确保船舶工作能力的设备。包括锚机、舵机、装卸货设备以及满足船舶各种专用功能的设备,这些设备能满足船舶正常靠离港、装卸货物以及其他相关用途。

(5)保证船上人员正常生活的设备。包括通风系统、空调系统、照明系统、生活水系统等。这些系统及设备能为船上人员提供舒适的生活条件和工作环境。

(6)能够有效并环保地处理船舶产生的各种垃圾的系统。包括油水分离系统、生活污水处理系统以及焚烧炉等。这些系统及设备能有效地处理船舶生活场所及工作场所所产生的各种污染物,保证船舶不会对大气及海洋产生污染。

船舶轮机的组成情况大体如上所述,但不能一概而论。随着船舶的大小、种类、用途、航线等情况不同,将会有所变化。

### 三、船舶动力装置的分类

按照惯例,通常把推进船舶的机械称为“主机”,相应地把其他的一些机械设备定义为“辅机”。船舶主机无论从重要程度还是制造成本来看,都处于最显著的地位,因此船舶动力装置一般按主机的形式进行分类。

#### 1. 蒸汽动力装置

利用锅炉所产生的蒸汽来工作的机器叫蒸汽机。蒸汽机分为往复式蒸汽机和回转式蒸汽轮机两种。往复式蒸汽机最早应用于海船,后来受到其他发动机的挑战,因其经济性差、体积和重量大而被取代。蒸汽轮机自装船使用以来,由于受柴油机的挑战,一直发展比较慢,目前只有少数的大型油船或化学品船及军用船舶采用蒸汽轮机作为主推进装置。

#### 2. 柴油机动力装置

利用燃料直接在机器内部燃烧所产生的燃气来工作的机器叫内燃机。根据所用燃料(如汽油、柴油等)的不同,内燃机又分为汽油机、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。柴油机经济性好,安全可靠,目前绝大多数商用船舶采用这种动力装置。

#### 3. 燃气轮机动力装置

利用燃料燃烧所产生的燃气推动叶轮回轉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。这种动力装置由于经济性差、低负荷运转性能差等原因,只在少数商船上得以应用,但在军用舰艇上应用较广。

#### 4. 联合动力装置

该种动力装置是将上述三种动力装置联合加以采用,作为船舶的推进装置称为联合动力装置。现在较典型的联合动力装置形式为电力推进装置,这种装置是船舶柴油机驱动发电机,将产生的电力提供给船舶电站,由船舶电网供电给带动螺旋桨的电动机。电力推进由于其噪声小、机动性好等因素,在大型邮船等商用船舶上获得了应用,并且应用前景广阔。

#### 5. 核动力装置

核动力装置利用原子反应堆所发出的热来产生蒸汽,供给蒸汽轮机工作。若按主机类型分,它也应属于蒸汽轮机动力装置。但为了突出它是采用原子反应堆的装置,称之为原子能动力装置。这种动力装置造价高,操纵、管理、检查系统复杂,因此在商船上应用甚少,主要用于军用舰艇上。

#### 6. 特种动力装置

特种动力装置是指在特种用途船舶上应用或正在研究发展的动力装置,如高速船上的喷水推进装置、正在研究的燃料电池推进装置等。

### 四、对船舶动力装置的要求

各种船舶动力装置虽存在着类型、传动方式及航区等条件的不同,但对一些基本性能却有着共同的要求。

(1)可靠性:可靠性对船舶动力装置来说具有特别重要的意义。船舶航行中,可能长期离开陆地,若影响航行的重要部件发生故障,在复杂航行环境和严峻的气象条件下,有可能导致海损和严重的海洋污染。可靠性不足还会降低营运效益。

(2)经济性:船舶在营运中,动力装置的运行及维护费用占船舶总费用的比例很大,现在已超过 50%,为提高船舶的营运效益,使船东获得最大的经济效益,必须尽量提高动力装置的经济性。



(3) 机动性:船舶机动性指的是改变船舶运动状态的灵敏性,它是船舶安全航行的重要保证。船舶起航、变速、倒航和回转性能是船舶机动性的主要体现。

(4) 重量和尺度:动力装置的重量和尺度直接影响船舶的载货量和货舱容积,因此为了提高船舶的经济效益,应力求减少动力装置的重量和尺度。

(5) 续航力:续航力是指船舶不需要补充任何物资(燃油、滑油、淡水等)所能航行的最大距离或最长时间。它是根据船舶的用途和航区确定的。为了满足船舶续航力的要求,船上必须设有足够大的油、水舱柜。

除了以上要求外,还要求动力装置寿命长,便于维护管理,有一定的自动化程度,振动轻、噪声小,同时必须能满足国家和国际相关海事机构制定的规则和规范。

## 第二节 热工基础知识

### 一、热力状态参数

#### 1. 工质

热能动力装置中将热能转化为机械能的各种流动介质,称为“工质”。例如,燃气是内燃机作功的工质,水蒸气是蒸汽机作功的工质。在热能动力装置中,把热能转化为机械能是通过工质受热膨胀作功来实现的。因此,作为工质的物质必须具有良好的膨胀性和流动性。

#### 2. 状态参数

在热力学中,用来描述系统宏观特性的物理量称为系统的热力状态参数,简称状态参数。常用的状态参数有压力、温度、容积、内能、焓和熵等六个参数。而压力、温度、容积三个状态参数,可直接通过仪表来测量,因此工程上称它们为基本状态参数。状态参数的数值唯一由系统的状态来确定,当系统状态变化时,状态参数的变化量只与系统的初、终状态有关,而与变化过程或途径无关。

#### (1) 压力

在工程热力学中,把工质垂直作用在单位容积壁面或分界面上的力称为压力。气体的压力是气体分子撞击壁面的宏观结果,因此气体作用在器壁上的压力与单位容积内的分子数和分子的平均移动动能成正比。

压力的单位分为国际单位制、工程单位制和英制单位。在国际单位制中的力的单位为 $\text{N}/\text{m}^2$ ,称为“帕”,以符号 Pa 表示,实际多用 $10^6$  Pa,称为“兆帕”,以符号 MPa 表示。各单位之间的换算关系如表 1-1 所示。

表 1-1 压力单位换算表

| 帕斯卡<br>(Pa)<br>$\text{N}/\text{m}^2$ | 巴<br>(bar)<br>$10 \text{ N}/\text{m}^2$ | 工程气压<br>(at)<br>$\text{kgf}/\text{cm}^2$ | 标准气压<br>(atm)<br>760 mmHg | 磅力/英寸 <sup>2</sup><br>(psi)<br>1 bf/in <sup>2</sup> | 毫米汞柱<br>(Torr)<br>mmHg | 米水柱<br>mH <sub>2</sub> O |
|--------------------------------------|---|--|---------------------------|---|------------------------|--------------------------|
| 1                                    | $10^{-5}$                               | $1.0197 \times 10^{-5}$                  | $0.9869 \times 10^{-5}$   | $1.45 \times 10^{-4}$                               | $7.5 \times 10^{-3}$   | $1.021 \times 10^{-4}$   |

#### ① 大气压力

大气压力是由地面上几百公里高的空气层的重量所引起的,以 $p_b$ 表示,其中下标 b 表示 barometric(大气压力)。有时下标也用 a,表示 atmospheric pressure(大气压力)。其大小随纬

度、高度、空气温度和水蒸气含量而变化。物理学中把纬度 45°海平面上常年大气压的平均值定义为标准大气压,以符号 atm 表示。工程上现已规定  $1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} = 101\,325 \text{ Pa} = 0.101\,325 \text{ MPa}$ 。

②绝对压力

工质作用在器壁上的实际压力称为“绝对压力”,以  $p$  表示。

③表压力

用压力表测得的压力数值称为“表压力”,以  $p_g$  表示,其中下标  $g$  表示 gauge(测量仪表)。压力表测定的压力是以大气压力作为测量基准,其数值不是绝对压力,而是绝对压力与当地大气压力的差值,即

$$p_g = p - p_b$$

④真空度

当容器内的绝对压力比大气压低时,用压力表测得的压力为负值,取其绝对值,称为“真空度”,以  $p_v$  表示,其中下标  $v$  表示 vacuum(真空)。真空度也是表压,其数值是当地大气压与绝对压力的差值,即

$$p_v = p_b - p$$

表压力和真空度是以当地大气压为基准的相对压力,表压力表示比大气压力高出的压力值,真空度表示比大气压力低的压力值,它们之间的关系如图 1-1 所示。

在工程计算中,当  $p_g \gg p_b$  时,可近似取  $p_b = 0.1 \text{ MPa}$ , 则绝对压力

$$p = p_g + 0.1 \text{ MPa}$$

(2)温度

温度是表明工质冷热程度的状态参数,以  $t$  表示。温度的数值表示方法叫做温标。常用的温标有以下三种:

①华氏温标

在标准大气压下,将纯水的冰点标定在 32 度,沸点为 212 度,在这两点之间平均分 180 等份,取其中的 1 份称为华氏 1 度,记做  $1^\circ\text{F}$ ,用符号  $t^\circ\text{F}$  表示。

②摄氏温标

在标准大气压下,将纯水的冰点标定在 0 度,沸点为 100 度,在这两点之间平均分 100 等份,取其中的 1 份称为摄氏 1 度,记做  $1^\circ\text{C}$ ,用符号  $t^\circ\text{C}$  表示。

③开尔文温标

开尔文温标又称绝对温标或热力学温标,以  $-273.15^\circ\text{C}$  为  $0^\circ\text{C}$ ,每度的间隔和摄氏温标相同。1 度记做 1K,用符号  $t\text{K}$  表示。三种温标之间的换算关系是:

$$t^\circ\text{F} = 9/5 \times t^\circ\text{C} + 32$$

$$t^\circ\text{C} = 5/9(t^\circ\text{F} - 32)$$

$$t\text{K} = t^\circ\text{C} + 273.15$$

(3)比容和密度

质量为 1 kg 的工质所占的容积称为比容,用符号  $v$  表示,单位为  $\text{m}^3/\text{kg}$ 。设质量为  $m$  的工质所占容积为  $V$ ,则其比容为

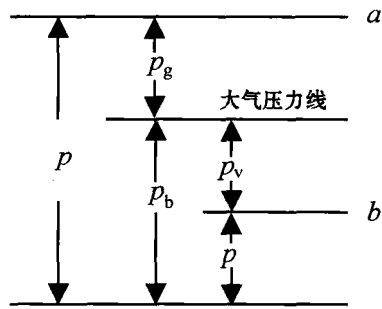


图 1-1 表压力、真空度和绝对压力的关系

$$v = V/m \quad (\text{m}^3/\text{kg})$$

1 m<sup>3</sup> 工质具有的质量称为密度,用符号  $\rho$  表示,单位为 kg/m<sup>3</sup>。设体积为  $V$  的工质的质量为  $m$ ,则密度为

$$\rho = m/V$$

由以上两式可知,比容  $v$  和密度  $\rho$  互为倒数,即

$$\rho = 1/v \text{ 或 } v = 1/\rho$$

#### (4) 理想气体状态方程

根据气体的试验定律推导的气体的基本状态参数  $p$ 、 $v$ 、 $T$  之间的关系即状态方程为

$$pv = RT$$

更精确的试验表明,并非所有气体的  $p$ 、 $v$ 、 $T$  之间的关系都和上式完全相同,有时候偏离很大,而把完全符合上式的气体称为理想气体,称上式为理想气体状态方程。式中的  $R$  称为气体常数,其数值只与气体种类有关,而与气体状态无关,单位为 J/(kg·K)。例如:空气的  $R$  为 29.3 J/(kg·K),氧气为 26.5 J/(kg·K),氮气为 30.3 J/(kg·K),二氧化碳为 19.3 J/(kg·K)。

在热动力装置中所用的空气和燃气以及空气调节设备中的空气中所含的少量水蒸气,均可以按理想气体进行计算。然而蒸汽动力装置中的水蒸气以及压缩制冷装置中的制冷剂蒸气,不能当作理想气体,不能按适用于理想气体的状态方程进行计算。

## 二、热与功

### 1. 热量

在热力学中,把系统和外界由于温差而通过边界传递的能量称为热量,用符号  $Q$  表示。外界给系统加热, $Q$  取正值;反之,系统对外界放热, $Q$  取负值。

热量单位在 SI 制中为 kJ(千焦耳),工程单位为 kcal(千卡或大卡)。1 kcal 即在标准大气压下将质量为 1 kg 纯水的温度从 14.5℃ 升到 15.5℃ 所吸收的热量。在英制单位中是将标准大气压下 1 kg 纯水的温度从 59.5°F 升高到 60.5°F 所吸收的热量规定为一个热量单位,称为 BTU(英制单位)。三种单位之间换算关系为

$$1 \text{ kJ} = 0.2388 \text{ kcal} = 0.9488 \text{ BTU}$$

对质量为 1 kg 工质的加热量(或放热量)称为单位质量热量,用符号  $q$  表示,其单位为 kJ/kg 或 kcal/kg。

### 2. 功

在热力学中,功的定义为:“当封闭系统(与外界没有物质交换的热力学系统)通过边界和外界之间发生相互作用时,如外界的唯一作用是升起重物,则系统对外界作了功;反之,如外界的唯一作用是降低重物,则外界对系统作了功。”

如图 1-2 所示,取气缸中有一定质量的高压气体作为封闭系统,活塞、曲柄连杆机构和重物为外界,则当系统膨胀时,系统通过边界,对外界做功使重物升起。相反,如重物受外界力的作用下降,则外界通过边界对系统做功,使系统压缩。

功的单位在工程制中为 kgf·m,在 SI 制中为 N·m,即焦耳。二者之间的换算关系为

$$1 \text{ kgf} \cdot \text{m} = 9.8 \text{ N} \cdot \text{m} = 9.8 \text{ J}$$

工程中称单位时间内所作的功为功率,其单位为瓦或千瓦。它们之间的关系为

$$1 \text{ kgf} \cdot \text{m/s} = 9.8 \text{ W} = 0.0098 \text{ kW}$$

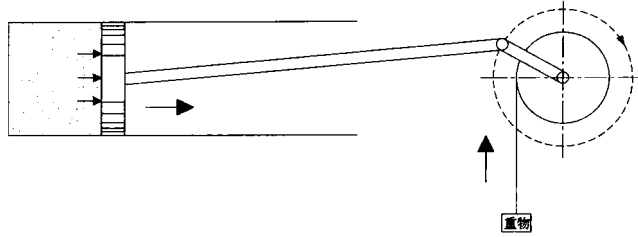


图 1-2 封闭系统做功

### 3. 功和热量的关系

功和热量均为系统与外界之间能量传递的方式,两者都是传递过程中出现的能量,单纯说某个系统具有多少功或热量是没有意义的。但是两者有着本质的区别,热量是不规则热运动的能量传递方式,功则是规则运动的能量传递方式。功可以完全地转化为热,热却只能部分地转化为功,而且只能通过工质的热膨胀来实现。

### 4. 热效率

图 1-3 为内燃机动力装置的工作原理简图。燃油在高压下喷入气缸,同气缸内的空气混合燃烧产生热量  $Q_1$ ,高温高压的燃气膨胀推动活塞移动,并通过曲柄连杆机构变成回转运动,带动推进器回转,对外界作机械功  $W$ 。做功后的低温低压燃气排出气缸,并带走热量  $Q_2$ ,完成一个工作循环。根据能量守恒定律,工质在一个循环中,对外界作的机械功等于从高温热源吸收的热量  $Q_1$  减去传给低温热源的热量  $Q_2$ ,即

$$W = Q_1 - Q_2$$

我们把效果与代价之比称为热效率  $\eta$ ,它是衡量热动力装置的一个经济性指标:

$$\begin{aligned} \eta &= \text{效果} / \text{代价} = W / Q_1 \\ &= (Q_1 - Q_2) / Q_1 = 1 - Q_2 / Q_1 \end{aligned}$$

由于工质向低温热源放热是不可避免的,所以  $Q_2$  永远不可能为 0,热效率  $\eta$  也就不可能等于 1,即热效率  $\eta$  永远小于 100%。最理想的循环,即效率最高的循环就是所谓的“卡诺循环”,其热效率只与

高温热源的绝对温度  $T_1$  和低温热源的绝对温度  $T_2$  有关,用公式表示为

$$\eta_{\text{卡诺}} = (T_1 - T_2) / T_1 = 1 - T_2 / T_1$$

## 三、水蒸气与湿空气

### 1. 水蒸气的性质

水在 1 atm 下加热到 100℃ 开始沸腾,再继续加热,水逐渐变为蒸汽而减少,这个过程称为汽化过程。当压力变化时,水开始沸腾的温度也发生变化,因此,将在一定压力下水开始沸腾的温度称为该压力下水的“饱和温度”。压力越高对应的饱和温度越高,如在 2 atm 下的饱和温度为 120℃。同样在某一温度下,压力只有下降到某一定值时水才开始沸腾,我们称在一定温度下,水开始沸腾时的压力为该温度下的“饱和压力”。水蒸气的饱和压力仅与温度有关,温度越高,饱和压力越高,饱和压力与饱和温度是一一对应的关系。

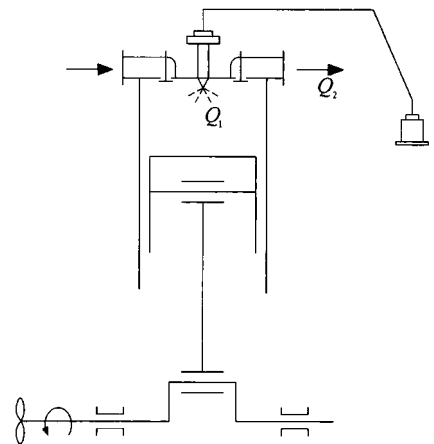


图 1-3 内燃机工作原理图

水在等压加热汽化过程中,水和蒸汽的温度均高于饱和温度,而且保持不变。当水完全汽化为蒸汽后,再继续加热,蒸汽温度就会升高,压力不变,这样的蒸汽称为过热蒸汽。过热蒸汽的温度  $t$  与饱和温度  $t_s$  之差为过热度  $\Delta t$ ,即

$$\Delta t = t - t_s$$

## 2. 湿空气

自然界的空气多少都含有一些水蒸气,工程上称为“湿空气”。空气中可以含有水蒸气的最大限度值与温度有关,温度越高,最大限度值就越大。如果空气中所含水蒸气已经达到最大量,称这时的湿空气为“饱和空气”,通俗一点讲,就是“喝饱水的空气”。如果不是饱和空气,空气就有继续吸水的能力,这时的湿空气称为“未饱和空气”,通俗一点讲,就是“未喝饱水的空气”。

在一定温度下,1 m<sup>3</sup> 湿空气中所含的水蒸气与 1 m<sup>3</sup> 饱和空气所含的水蒸气量之比称“相对湿度”。由此可见,干空气中不含水蒸气,其相对湿度为零,而饱和空气的相对湿度为 100%。相对湿度表示了湿空气接近饱和空气的程度。

未饱和空气如果在等压下冷却,其相对湿度将随温度下降而升高,当相对湿度达到 100% 时所对应的温度,称为该湿空气的露点温度,简称为露点。当未饱和空气温度达到露点时,就会有水蒸气凝结出来,出现结露现象。

## 四、传热的三种基本方式

热传递可分为三种基本方式:导热、对流换热、辐射换热。

### 1. 导热

当物体各部分温度不同时,热量就会自发地从温度较高的部分传递到温度较低的部分。这种不依赖于物体各部分的相对位移而在物体内部进行的热量传递称为导热。

单位时间内通过屏蔽的导热热量  $Q$  称为导热热流量。导热传递的热量  $Q$  与壁面两侧表面温差  $t$  及垂直热流的截面积  $F$  成正比,而与其厚度  $\delta$  成反比,另与材料性质有关。即

$$Q = \lambda \cdot \Delta t \cdot F / \delta$$

式中: $Q$ ——导热热流量, W;

$F$ ——垂直于导热方向的物体横截面面积, m<sup>2</sup>;

$\delta$ ——物体厚度, m;

$\lambda$ ——导热系数,与材料的性质有关, W/(m·℃)。

不同物质具有不同的  $\lambda$  值,  $\lambda$  值越大表明导热性能越好。金属的  $\lambda$  值最大,非金属固体较大,液体较小,气体的  $\lambda$  值最小。

### 2. 对流换热

运动着的流体与固体表面接触时的换热过程称为对流换热。对流换热的传热量  $Q$  与传热接触面积  $F$ 、传热温差  $t$  之间的关系为

$$Q = \alpha F \cdot \Delta t$$

式中: $\Delta t$ ——固体壁面温度与液体或气体温度之差,℃;

$\alpha$ ——放热系数, W/(m<sup>2</sup>·℃)。

放热系数的大小表明对流换热的强烈程度,液体或气体流动时在壁面附近扰动程度越强烈,放热系数越大。液体或气体在壁面附近产生相态变化时,放热系数也较大。

### 3. 辐射换热

辐射换热是靠电磁波中的可见光线和红外线来传递热量。它不需要冷、热二物体直接接触,只要有温差存在,就能进行辐射换热。

任何温度高于 0 K 的物体,每时每刻都在以热辐射的方式向外辐射热量,与此同时,物体又在每时每刻接受其他物体以热辐射的方式向它辐射的能量。物体表面温度越高,辐射的热量越多。当辐射的热量  $Q$  投射到一个物体时,部分能量  $Q_A$  被吸收,另一部分  $Q_R$  被反射,其余能量  $Q_D$  透过物体,如图 1-4 所示。被物体吸收的热量  $Q_A$  与投射热量  $Q$  之比称为吸收率  $A$ ,即

$$A = Q_A / Q$$

物体之间的相互辐射或吸收,形成了辐射换热过程。高温物体总是辐射出更多的热量被低温物体所吸收,辐射换热量可用化简的公式表示为

$$Q = \alpha_{\text{辐}} F_2 \cdot \Delta t$$

式中: $\alpha_{\text{辐}}$ ——辐射换热强弱的辐射放热系数,  $W / (m^2 \cdot ^\circ C)$ ;

$F_2$ ——吸收辐射热的物体表面积,  $m^2$ ;

$\Delta t$ ——两物体表面的温度差,  $^\circ C$ 。

### 4. 传热过程

传热过程是以上三种传热方式的复合过程。例如,锅炉中高温燃气与水的传热过程,就同时具有导热、对流换热和辐射换热三种基本方式。高温燃气对炉胆壁面的传热以辐射和对流两种方式换热,炉胆下壁面向炉胆上壁面的传热是以导热方式进行的,而炉胆上壁面向水的传热过程是对流换热方式。传热过程基本规律是传热温差越大,传热量越多;传热面积越大,传热量也越多。传热过程的传热量可由下式计算

$$Q = KF \cdot \Delta t$$

式中: $F$ ——传热面积,  $m^2$ ;

$\Delta t$ ——传热温差,  $^\circ C$ ;

$K$ ——传热系数,  $W / (m^2 \cdot ^\circ C)$ 。

传热系数  $K$  表示在传热过程中除了  $\Delta t$ 、 $F$  以外其他各种因素对传热影响的强弱程度。它包含了导热系数  $\lambda$ 、厚度  $\delta$ 、对流放热系数  $\alpha$  以及辐射放热系数  $\alpha_{\text{辐}}$  的全部数值。传热系数  $K$  越大,传热越强烈。

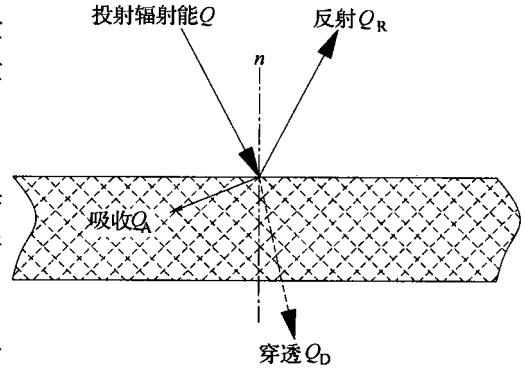


图 1-4 辐射能的吸收、反射和透射

## 第二章 船舶柴油机动力装置

### 第一节 柴油机概述

#### 一、热机

把热能转换成机械能的动力机械称之为热机。热机是最重要的动力机械,蒸汽机、蒸汽轮机以及柴油机、汽油机等都是热机中较典型的机型。

热机在工作中需要完成两次能量转化。第一次能量转化过程是将燃料的化学能通过燃烧转化为热能,第二次能量转化过程是将热能通过工质膨胀转化为机械能。如果两次能量转化过程是在同一机械设备的内部完成的,则称之为内燃机,汽油机、柴油机以及燃气轮机都属于内燃机。由于在内燃机中,两次能量转换均发生在气缸内部,以能量转换观点,此类机械能量损失小,具有较高的热效率。另外,在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)。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。在该类机械中,化学能转变成热能的过程(燃烧)发生在锅炉中,热能转变成机械能发生在气缸内部。此种机械由于热能需经某中间工质(水蒸气)传递,必然存在热损失,所以它的热效率不高,整个动力装置也十分笨重。内燃机在与外燃机竞争中已经取得明显的领先地位。

动力机械的运动机构基本上有两种运动形式:一种为往复式,一种为回转式。在往复式发动机中,工质的膨胀作功是通过活塞的往复运动实现的;而回转式发动机则是利用高速流动的工质在工作叶轮内膨胀,推动叶轮转动而工作的。往复式发动机是间歇工作的,其工质的最高温度较高;而回转式发动机是连续工作的,由于受材料热强度的限制,其工质的最高温度不能太高,这就限制了其热效率的进一步提高。

柴油机和汽油机同属往复式内燃机,但又都具有各自的工作特点。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进行混合)形成可燃混合气。其燃烧为电点火式(电火花塞点火)。这种工作特点使汽油机不能采用高压压缩比,因而限制了汽油机的经济性不能大幅度提高,而且也不允许作为船用发动机使用(汽油的火灾危险性大),但它广泛应用于运输车辆。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发火(靠缸内空气压缩形成的高温自行发火)。这种工作特点使柴油机在热机领域内具有最高的热效率,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

柴油机是以柴油或劣质燃料油为燃料,采用内部混合法形成可燃混合气,靠压缩发火的往复式内燃机。

#### 三、柴油机的优缺点

通常,柴油机动力装置具有以下突出优点:

(1) 经济性好。目前,柴油机动力装置的热效率在各种装置中是最高的,有效热效率一般可达 40% 以上,大型低速柴油机可高达 55%,并可使用价廉的重油,燃油费用低。

(2) 功率范围宽广。柴油机的单机功率从 0.6 ~ 97 300 kW,适用的领域广,基本可满足各种不同类型船舶的要求。

(3) 尺寸小,重量轻。由于柴油机的工质直接在气缸中燃烧作功,不需要锅炉、冷凝器等大型设备和部件,减少了机舱设备所占的容积,减轻了重量,有利于船舶机舱布置。

(4) 机动性好。柴油机起动方便,加速性能好。有较宽的转速和负荷调节范围,可直接反转,能适应船舶航行的各种工况要求。

(5) 可靠性高,使用寿命长,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,并具有冲击性负荷。

#### 四、柴油机在船舶动力装置中的地位

一般认为,1912 年投入营运的 Selandia 轮是世界上第一艘远洋柴油机船。从此以后,柴油机动力装置就在同蒸汽动力装置的竞争中不断发展壮大。1914 年,只有不足 300 艘柴油机船,其总吨位约为 235 000;十年以后,柴油机船已发展到约 2 000 艘,总吨位达 2 000 000;1940 年柴油机船进一步发展到约 8 000 艘,总吨位达 18 000 000。1939 年,柴油机船在世界船队总吨位中所占的比例也从 1920 年的不足 4% 上升到约 60%。从 20 个世纪 40 年代以后,可以说船舶动力装置开始进入到了柴油机时代。

近十几年来,船舶柴油机在民用船舶动力装置中更是占绝对的统治地位,不仅占领了 VLCC、大型散装船和集装箱船等在传统上认为属于蒸汽动力装置的领域,而且还向蒸汽动力装置统治的最后一个堡垒——LNG 船的动力装置发起了冲击。

柴油机在船舶上的另一个主要的应用场合是作为发电机的原动机,也就是作为船舶辅柴油机。从船舶实际使用来看,无论是远洋、近海还是内河船舶,绝大多数都是以柴油机作为发电原动机。可以说,柴油机作为发电原动机也占了绝对的主导地位。

一般对船用主机来讲,经济性、可靠性和使用寿命是第一位的,重量和尺寸是第二位的。据此,低速二冲程柴油机因其效率高、功率大、工作可靠、寿命长、可燃用劣质油以及转速低(通常为 100 r/min 左右,最低可达 56 r/min)等优点,适于作船舶主机使用。大功率四冲程中速柴油机因其尺寸与重量小,适于作为滚装船和集装箱船等船舶主机。船舶发电柴油机(又称副机)因其发电机要求功率不大、转速较高以及结构简单,因而均采用中、高速四冲程筒形活塞式柴油机。

#### 五、船舶柴油机的发展趋势

当前船舶柴油机发展的基本目标仍然是强化、低耗、可靠、低排放和大功率,也可以概括为:以节能为中心,充分兼顾到排放与可靠性的要求,全面提高柴油机性能。根据此发展目标,今后船舶柴油机的研究和发展趋势仍然在以下几个方面:

(1) 提高经济性的研究。

(2) 柴油机电子控制技术的研究。这是微电子技术成功地应用于传统机械产品的又一范例,通过对调节和控制精度的提高,使柴油机的动力性、经济性、可靠性以及排放等综合性能得以全面提高,给柴油机带来革命性的变化。



(3)降低柴油机排放的研究。排放是现代柴油机面临的严重挑战,随着对船舶柴油机排放控制的限制,使得经济性的提高更加困难,这也是船舶柴油机发展中的新课题。

(4)进一步提高柴油机的强化程度和提高柴油机的单缸和单机功率的研究。

(5)改进柴油机的结构和提高可靠性与耐久性的研究。

(6)代用燃料的研究。

## 第二节 柴油机的类型和主要结构参数

### 一、柴油机的类型

柴油机有很多不同的分类方式,通常有以下几种。

#### 1. 四冲程柴油机和二冲程柴油机

按工作循环可分为四冲程柴油机和二冲程柴油机两类。柴油机的一个工作循环包括进气、压缩、燃烧、膨胀、排气五个过程。四冲程柴油机是曲轴转两转,也就是活塞运动四个行程完成一个工作循环;而二冲程柴油机是曲轴转一转,也就是活塞运动两个行程完成一个工作循环。

#### 2. 增压柴油机和非增压柴油机

增压柴油机和非增压柴油机的主要区别在于进气压力不同,非增压柴油机是在大气压力下进气的,而增压柴油机则是在较高的压力下进气的。

#### 3. 低速、中速和高速柴油机

柴油机的速度可以用曲轴转速  $n$ (r/min)表示。按此指标分类一般为:

低速柴油机  $n \leq 300$  r/min;

中速柴油机  $300$  r/min  $< n \leq 1\ 000$  r/min;

高速柴油机  $n > 1\ 000$  r/min。

#### 4. 筒形活塞式柴油机和十字头式柴油机

图 2-1(a)为筒形活塞的示意图,它的活塞通过活塞销直接与连杆相连。这种结构的优点是结构简单、紧凑、轻便,发动机高度小;它的缺点是由于运动时有侧推力,活塞与气缸之间的磨损较大。中高速柴油机一般都采用此结构。

图 2-1(b)所示为十字头式柴油机。它的活塞设有活塞杆,通过十字头与连杆相连接,并在气缸下部设中隔板将气缸与曲轴箱隔开。十字头式柴油机工作可靠,寿命长;它的缺点是重量和高度增大,结构复杂。大型低速二冲程柴油机都采用这种结构。

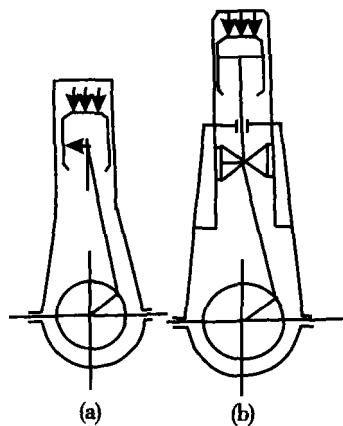


图 2-1 筒形活塞式和十字头式柴油机简图

#### 5. 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 2-2(a)所示。直列式柴油机的气缸数因曲轴刚度和安