



高等学校统编教材

符合 STCW 公约要求
航海类专业教学指导委员会推荐
交通部科技教育司审定
中华人民共和国海事局认可

轮机概论

主编 殷佩海

主审 吴甲斌



大连海事大学出版社

高等学校统编教材

轮 机 概 论

主编 殷佩海

主审 吴甲斌

大连海事大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

轮机概论/殷佩海主编. —大连:大连海事大学出版社,1998.8
ISBN 7-5632-1152-7

I. 轮… II. 殷… III. 轮机-概论 IV. U664.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 22140 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 4684394)

大连海事大学印刷厂印刷 大连海事大学出版社发行

1998 年 9 月第 1 版 1998 年 9 月第 1 次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:8

字数:200 千字 印数:0—4000 册

责任编辑:陈景杰 封面设计:王 艳

责任校对:黎 为

定价:12.00 元

前 言

本书主要是根据航海类专业教学指导委员会制定的海洋船舶驾驶专业教学计划规定的学时和内容而编写的。全书共分七章,分别讲述热工基本知识;船舶柴油机动力装置;船舶推进装置;船用泵和油马达;船舶甲板机械;船舶系统;船舶锅炉。

本书不仅满足海洋船舶驾驶专业本科教学要求,并且符合《STCW 78/95 公约》和《中华人民共和国海船船员适任考试、评估和发证规则》的要求。本书可作为船舶驾驶专业教材,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。

本书由殷佩海主编,吴甲斌主审。第三、五章由王建斌编写,第二章由于洪亮编写,第四、七章由白德富编写,第一、六章由殷佩海编写。

编 者
1998年6月

目 录

第一章 热工基础知识	(1)
第一节 热力状态参数.....	(1)
第二节 热与功.....	(3)
第三节 水蒸气与湿空气.....	(4)
第四节 传热的基本方式.....	(5)
第二章 船舶柴油机动力装置	(7)
第一节 柴油机的基本结构.....	(7)
第二节 柴油机的工作原理.....	(8)
第三节 柴油机的换气与增压.....	(10)
第四节 柴油机的类型和典型结构.....	(16)
第五节 柴油机的工作系统.....	(22)
第六节 柴油机的操纵系统.....	(27)
第七节 柴油机的运转特性.....	(31)
第八节 柴油机的主要工作指标.....	(33)
第九节 柴油机的运行管理.....	(36)
第三章 船舶推进装置	(40)
第一节 船舶推进装置的传动方式.....	(40)
第二节 轴系的组成.....	(41)
第三节 各种航行条件下主机的工况.....	(44)
第四章 船用泵和油马达	(48)
第一节 船用泵概述.....	(48)
第二节 容积式泵.....	(50)
第三节 叶轮式泵.....	(58)
第四节 油马达.....	(61)
第五章 船舶甲板机械	(67)
第一节 液压传动的基本知识.....	(67)
第二节 液压舵机.....	(68)
第三节 锚机和系缆机.....	(72)
第四节 船舶起货机.....	(74)
第五节 侧推装置.....	(77)
第六节 船舶减摇鳍.....	(79)
第六章 船舶系统	(82)
第一节 舱底水系统.....	(82)
第二节 压载系统.....	(85)
第三节 船舶生活污水处理系统.....	(87)

第四节	船用焚烧炉	(91)
第五节	海水淡化装置	(91)
第六节	船舶空气调节系统	(93)
第七节	油船专用系统	(95)
第七章	船舶锅炉	(109)
第一节	船用锅炉的类型和特性指标	(109)
第二节	燃油辅助锅炉	(111)
第三节	废气锅炉	(113)
第四节	锅炉附件	(115)
第五节	锅炉的燃油系统	(117)
第六节	锅炉的自动控制和维护管理	(118)

第一章 热工基础知识

第一节 热力状态参数

一、工质

将燃料燃烧产生的热能的一部分转换为机械能的装置称为热能动力装置。而用来将热能转化为机械能的各种流动介质,称为“工质”。例如,燃气是内燃机做功的工质,水蒸气是蒸汽机做功的工质。因为在热能动力装置中,把热能转换成机械能是通过工质受热膨胀做功来实现的。因此,作为工质的物质必须具有良好的膨胀性和流动性。

二、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,可直接通过仪表等测量,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,而与变化过程无关。

1. 压力

在工程热力学中,把工质垂直作用在单位容器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、工程制单位和英制单位。在国际单位(SI)中力的单位为 N/m^2 ,称为“帕”,以符号 Pa 表示,实际多用 10^6Pa ,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 (Pa)	巴 (bar)	工程气压 (at)	标准气压 (atm)	磅力/英寸 ² (psi)	毫米汞柱 (Torr)	米水柱
N/m^2	$10\text{N}/\text{m}^2$	kgm/cm^2	760mmHg	$1\text{bf}/\text{in}^2$	mmHg	mH_2O
1	10^{-5}	1.0197×10^{-5}	0.9869×10^{-5}	1.45×10^{-4}	7.5×10^{-3}	1.021×10^{-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。其大小随纬度、高度、空气温度及水蒸气含量而变化。物理学中把纬度 45 度平均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。现已规定 $1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} = 101325 \text{ Pa} = 0.101325 \text{ MPa}$ 。

(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。用压力表测定压力，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力低时，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。真空度也是表压，其数值是当地大气压力与绝对压力的差值，即

$$p_v = p_b - p$$

表压力和真空度是以当地大气压力为基准的相对压力，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 在标准大气压力下，将纯水的冰点标定为 32 度，沸点为 212 度，在这两点之间均分 180 等份，取其中的 1 份称为华氏 1 度，记作 1°F ；用符号 $t^\circ\text{F}$ 表示。

(2) 摄氏温标 在标准大气压力下，将纯水的冰点标定为 0 度，沸点为 100 度，在这两点之间均分 100 等份，取其中的 1 份称为摄氏 1 度，记作 1°C ；用符号 $t^\circ\text{C}$ 表示。

(3) 开氏温标 又称绝对温标，以摄氏零下 273.15 度为零度，每度的间隔与摄氏温标相同。1 度记作 1K ，用符号 TK 表示。三种温标之间的换算关系是：

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

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

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

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 m^3/kg 。设质量为 $m \text{ kg}$ 的工质所占容积为 $V \text{ m}^3$ ，则其比容 v 为

$$v = v/m$$

1 m^3 工质具有的质量称为密度，用符号 ρ 表示，单位为 kg/m^3 。设 $V \text{ m}^3$ 工质的质量为 $m \text{ kg}$ ，则密度为

$$\rho = m/V,$$

由以上两式可知，比容 v 和密度 ρ 互为倒数，即

$$\rho = 1/v \text{ 或 } v = 1/\rho$$

4. 理想气体状态方程

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

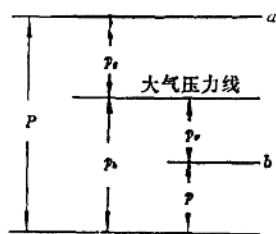


图 1-1 表压力、真空度和绝对压力的关系

$$pv = RT$$

更精确的实验表明,并非所有气体的 p 、 v 、 T 之间的关系均与上式完全吻合,有时甚至偏离很大,而把完全符合上式的气体称为“理想气体”。而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 $J/(kg \cdot K)$ 。例如空气的 R 为 $29.3 J/(kg \cdot K)$,氧气为 $26.5 J/(kg \cdot K)$,氮气为 $30.3 J/(kg \cdot K)$;二氧化碳为 $19.3 J/(kg \cdot K)$ 。

在热动力装置中所用的空气和燃气以及空气调节设备内的空气中所含的水蒸气,均可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,不能按适用于理想气体的状态方程进行计算。

第二节 热与功

一、热量

在热力学中,把系统和外界由于温度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 $kcal$ 即在标准大气压力下将质量为 1 kg 纯水的温度,从 $14.5^{\circ}C$ 升高到 $15.5^{\circ}C$ 所吸收的热量。在英制单位中是将标准大气压力下 1 lb 纯水的温度,从 $59.5^{\circ}F$ 升高到 $60.5^{\circ}F$ 所吸收的热量为一个热量单位,称为 BTU (英制单位)。三种单位之间换算关系为

$$1 \text{ kJ} = 0.2388 \text{ kcal} = 0.948 \text{ BTU}$$

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 $kcal/kg$ 。

二、功和功率

在热力学中,功的定义为“当封闭系统通过边界和外界之间发生相互作用时,如外界的唯一效果是升起重物,则系统对外界作了功;反之,如外界的唯一效果是降低重物,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为封闭系统,活塞、曲柄连杆机构和重物为外界。则当系统(高压气体)膨胀时,系统通过边界,对外界作功使重物升起。相反如重物受外界力的作用下,则外界通过边界对系统作功,使系统压缩(气体压力升高)。

功的单位,在工程制中为 $kgf \cdot m$,在 SI 制中为 $N \cdot m$,即焦耳(J)。二者之间的换算关系为:

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

工程中称单位时间内所作的功为“功率”,其单位为“马力”(ps)或“千瓦”(kW)。它们之间的关系为

$$1 \text{ ps} = 75 \text{ kgf} \cdot m/s = 0.735 \text{ kW}$$

英制马力(hp)比工程制马力(ps)大一点,即

$$1 \text{ ps} = 0.986 \text{ hp}$$

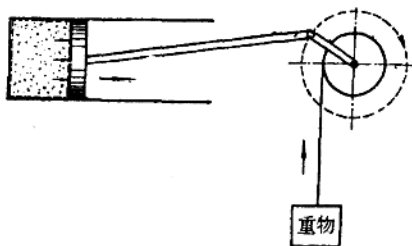


图 1-2 封闭系统作功

三、热效率

图 1-3 为内燃机动力装置的工作原理简图。燃油在高压下喷入汽缸,同汽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, 并通过连杆曲柄机构变成回转运动, 带动推进器回转, 对外界作机械功 W 。作功后的低温低压燃气排出汽缸, 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 W (效果) 等于从高温热源吸收的热量 Q_1 (代价) 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 η , 即

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

由于工质向低温热源放出的热量 Q_2 永远不可能为零, 因此热效率 η 也不可能等于 1, 即热效率 η 永远小于 100%。最理想的循环, 即热效率最高的循环就是所谓“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

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

第三节 水蒸气与湿空气

一、水蒸气的性质

水在 1atm 下加热到 100℃ 开始沸腾, 再继续加热, 水逐渐变成蒸汽而减少, 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随之变化, 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 2atm 下水的饱和温度为 120℃。相反在一定温度下, 压力达到某一定值时水才开始沸腾, 称在一定温度下, 水开始沸腾的压力为对应该温度下的“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。

水在等压加热汽化过程中, 水和蒸汽的温度均等于饱和温度, 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 之差称为过热度 Δt , 即

$$\Delta t = t - t_s$$

二、湿空气

自然界中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最大限量与温度有关, 温度越高, 最大限度的数量也就越大。如果空气中所含水蒸气量已经达到最大限量, 称这时的湿空气为“饱和空气”。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”。

在一定温度下, 1 m^3 湿空气中所含水蒸气量与 1 m^3 饱和空气中所含水蒸气量之比 (用百分比表示) 称“相对湿度”, 用符号 ψ 表示。由此可见, 干空气中不含水蒸气, 其相对湿度为零 (0%), 而饱和空气的相对湿度为 100%。

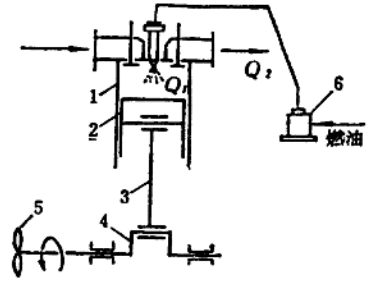


图 1-3 内燃机工作原理

未饱和湿空气如果在等压下冷却,其相对湿度将随着温度下降而增大,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。当未饱和湿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。

第四节 传热的基本方式

一、导热

当物体各部分的温度不同时,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。

单位时间内通过平壁导热热量 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 Δt 及垂直热流的截面积 F 成正比,而与其厚度 δ 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,单位为 W(瓦),或 kcal/h(千卡/时);

F ——垂直于导热方向的物体截面积,单位为 m^2 (米²);

δ ——物体厚度,单位为 m(米);

λ ——导热系数,单位为 $W/(m \cdot ^\circ C)$ 或 $kcal/(m \cdot h \cdot ^\circ C)$ 。

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

二、对流换热

流体与固体壁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 和传热温差 Δt 之间的关系为

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

式中: Δt ——固体壁面温度与液体或气体温度之差,单位为 $^\circ C$;

α ——放热系数,单位为 $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ 。

放热系数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。

三、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。

任何物体,随时都向外辐射热量。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:

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

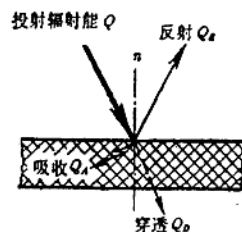


图 1-4 辐射能的吸收、反射和透射

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

F_2 ——吸收辐射热的物体表面积，单位为 m^2 ；

Δt ——两物体壁面的温度差，单位为 C 。

四、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。如图 1-5 所示，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，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，单位为 m^2 ；

Δt ——传热温差，单位为 C ；

K ——传热系数，单位为 $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$ 。

传热系数 K 表示在传热过程中除了 Δt 、 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 λ 、厚 δ 、对流放热系数 α 以及辐射放热系数 $\alpha_{\text{辐}}$ 的全部数值。

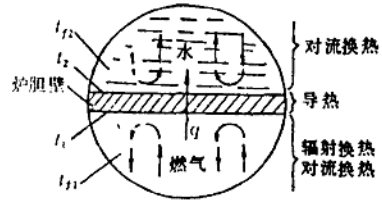


图 1-5 锅炉中的传热过程

复习思考题

1. 何谓“热力状态参数”，有哪几个基本状态参数？
2. 何谓热效率？为何热效率不能达到 100%？热效率最高的循环是什么循环？
3. 水蒸气和湿空气有哪些特性？
4. 举例说明影响传热过程传热量的因素。

第二章 船舶柴油机动力装置

柴油机是内燃机中的一种,而内燃机又是热机的一种。所谓热机是指把热能转换成机械能的动力机械。柴油机、汽油机、蒸汽轮机、燃气轮机以及蒸汽机是热机中较典型的机型。其中,蒸汽机与蒸汽轮机同属外燃机。汽油机、柴油机、燃气轮机同属内燃机。

柴油机是一种压缩发火的往复式内燃机。它使用柴油或劣质油做燃料,在汽缸内与空气混合形成可燃混合气,缸内燃烧采用压燃式发火。这些特点使得柴油机在热机中具有最高的热效率,因而在工程界应用十分广泛,在船用发动机中,柴油机取得了绝对的领先地位。

第一节 柴油机的基本结构

柴油机是以燃油作为燃料的往复式内燃机,其基本结构如图 2-1 所示。

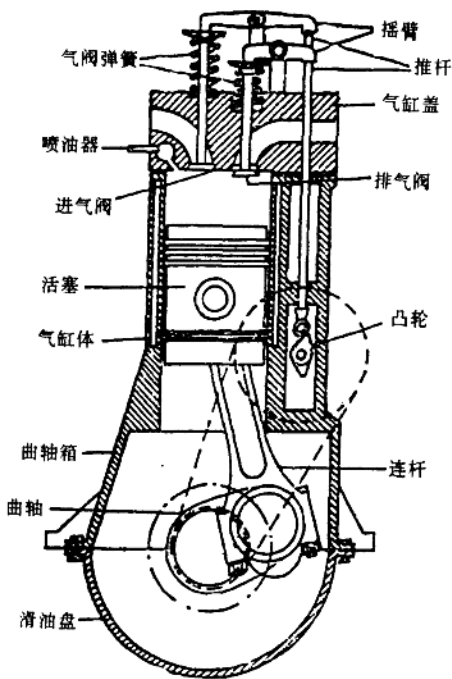


图 2-1 柴油机的基本结构

在柴油机中,燃油的燃烧是在机器的燃烧室内进行,并把燃料燃烧所产生的热能转变为机械功。因此它必须具有燃烧室组件,其中包括汽缸体、汽缸盖和活塞等三个部件组成密闭的燃烧室。燃烧后产生的高温高压工质推动活塞做功。

柴油机是一种往复式机械,活塞在缸内作往复运动。由于工作机械(螺旋桨、发电机)等通常是以旋转的方式工作的,这就需要将活塞的往复运动变为输出轴的旋转运动,把活塞从工质得来的动力传递出去。该任务是由活塞、连杆和曲轴组成的传递动力组件来完成的。

为了使柴油机正常运转,需要一些辅助装置和系统。起动装置的作用是把柴油机从静止状态转动到足够的转速,使汽缸内的空气压缩后温度升高到足以使柴油机发火燃烧,机器开始正常运转。燃油系统则定时定量地将符合燃烧要求的油供入汽缸。为了使废气排净,使新鲜空气进足,由配气机构定时地开关气阀。

为了使柴油机持久而可靠地工作,还需要有润滑系统把滑油供应到各个磨擦面进行润滑,并由冷却系统来降低机件和滑油的温度。

机体是柴油机的骨架和外壳,燃烧室组件、传递动力组件以及系统中的绝大部分机件都安装在机体上组成一个统一的柴油机整体。

为了提高运转的准确性和可靠性以及操纵的灵活性,一般柴油机还安装有调速器以及各

种安全装置并有专门的操纵机构、换向机构等。

活塞在汽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,称之为上止点。活塞在汽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,称之为下止点。活塞从上止点移到下止点的距离称之为行程,它等于曲轴曲柄半径的两倍。活塞移动一个行程,相当于曲轴转动 180° 。

第二节 柴油机的工作原理

柴油机的基本工作原理是采用压缩式发火使燃料在汽缸内燃烧,以高温高压的燃气工质在汽缸中膨胀推动活塞作往复运动,再通过活塞—连杆曲柄机构将往复运动转变为曲轴的回转运动,从而带动机械工作。

根据柴油机的工作特点,燃油在柴油机汽缸中燃烧必须通过进气、压缩、燃烧、膨胀和排气五个过程的全部热力循环过程称为柴油机工作过程。

在柴油机中可用活塞的两个行程或四个行程来完成柴油机的一个工作循环,相应称为二冲程或四冲程柴油机。

一、四冲程柴油机的工作原理

图 2-2 中的 4 个简图分别表示柴油机工作循环五个过程进行的情况以及活塞、曲轴、气阀等部件的有关动作位置。

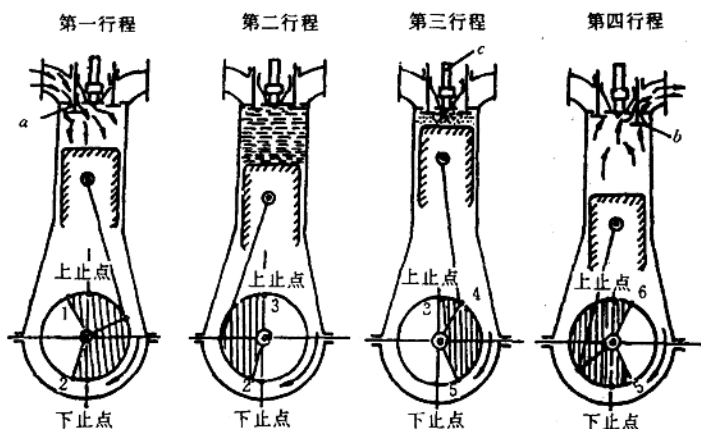


图 2-2 四冲程柴油机工作原理

第一行程——进气行程。活塞从上止点下行,进气阀被打开。由于汽缸容积不断增大,缸内压力下降,依靠大气与缸内的压差,新鲜空气经气阀被吸入汽缸。进气阀一般在活塞到达上止点前提前打开,下止点后延迟关闭。该进气持续角用曲轴转角表示约为 $220^\circ \sim 250^\circ$ 。

第二行程——压缩行程。活塞从下止点向上运动,自进气阀关闭开始压缩,一直到活塞到达上止点为止。第一行程吸入的新鲜空气经压缩后压力增高到 $3 \sim 6 \text{ MPa}$,温度升至 $600 \sim 700^\circ\text{C}$ 。在压缩过程的后期由喷油器喷入汽缸内的燃油与高温空气混合、加热、并自行发火燃烧,过程约持续 $140^\circ \sim 160^\circ$ 曲轴转角。

第三行程——燃烧和膨胀行程。活塞在上止点附近由于燃油猛烈燃烧,使缸内压力和温

度急剧升高,压力约达5~8 MPa,甚至15 MPa以上,温度约为1400~1800℃或更高。高温高压的燃气膨胀推动活塞下行做功。由于汽缸容积增大,压力下降,在上止点后某一时刻燃烧基本完成。膨胀过程一直到排气阀开启时结束。膨胀终了时的缸内压力约为250~450 kPa,气体温度约为600~700℃。该过程约持续120°~140°曲轴转角。

第四行程——排气行程。在上一行程末气阀开启时,活塞尚在下行,废气靠汽缸内外压差经排气阀排出。当活塞由下止点上行时,废气被活塞推出汽缸,此时的排气过程是在略高于大气压力(约1.05~1.1 atm)且在压力基本不变的情况下进行的。排气阀一直延迟到上止点后才关闭。该过程约持续230°~260°曲轴转角。

进行了以上四个行程,柴油机就完成一个工作循环。当活塞继续运动时,又一个新的工作循环又按同样的顺序重复进行。

四冲程柴油机每完成一个工作循环,曲柄要回转两转。每工作循环中只有第三行程是做功的,其它行程都为第三行程服务,都需要外界供给能量。柴油机常做成多缸,这样进气、压缩、排气行程的能量可由正在做功的汽缸供给。如果是单缸柴油机,那就由较大的飞轮供给。

四冲程柴油机的进、排气阀都不正好在上、下止点,而是在上、下止点的前后某一时刻。它们的开启角都大于180°曲柄转角。进、排气阀的启闭时刻称为气阀正时。通常气阀正时均以以上、下止点前后的曲柄转角表示,分别称为进(排)气阀提前、滞后角。用曲柄转角表示气阀正时的圆图称为气阀正时圆图,如图2-3所示。

图中,进气阀在点1开启,点2关闭,进气阀提前角为 φ_1 ,滞后角为 φ_2 ,进气持续角为 $\varphi_i = \varphi_1 + 180^\circ + \varphi_2$ 。排气阀在点5开启,点6关闭。排气阀提前角为 φ_3 ,滞后角为 φ_4 ,排气持续角为 $\varphi_e = \varphi_3 + 180^\circ + \varphi_4$ 。气阀提前开启与延后关闭是为了将废气排除干净并增加空气的吸入量,以利于燃油的燃烧,并可减少排排气耗功。

从图中可看出,在上止点前后进气阀与排气阀同时开启着,这段重叠着的曲柄转角称为进、排气阀重叠角(亦称气阀重叠角)。在气阀叠开期间,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汽缸,并利用压力差在将新气吸入汽缸的同时将燃烧室内的废气扫出汽缸,实现所谓的燃烧室扫气。四冲程柴油机的气阀重叠角如表2-1所示。

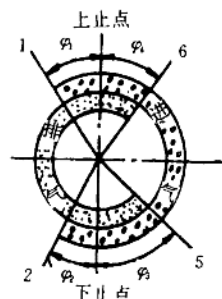


图 2-3 气阀正时圆图

表 2-1

四冲程柴油机气阀重叠角

名称	非 增 压		增 压	
	开 启	关 闭	开 启	关 闭
进气阀	上止点前 15°~30°	下止点后 10°~30°	上止点前 40°~80°	下止点后 20°~40°
排气阀	下止点前 35°~45°	上止点后 10°~20°	下止点前 40°~55°	上止点后 40°~50°
重叠角	25°~50°		80°~130°	

二、二冲程柴油机的工作原理

用活塞的两个行程来完成一个工作循环的柴油机称为二冲程柴油机。在二冲程柴油机中,没有单独的进气与排气过程,其进气与排气过程几乎重叠在下止点前后120°~150°内同时进行。因此在结构上,二冲程必须采用汽缸下部扫气口—排气口,或汽缸下部扫气口—汽缸盖上排气阀的换气机构,而且必须设置一个专门的扫气泵以提高进气压力,使进气能从扫气口进

入汽缸并将废气清扫出汽缸。

图 2-4 为一种二冲程柴油机的工作原理图。该柴油机使用特设的罗茨式扫气泵,采用扫气口—排气口方式换气。扫气泵设在柴油机的一侧,其转子由柴油机带动。空气从泵的吸口 a 吸入,经压缩后储存在较大容积的扫气箱 d 中并保持一定压力。在柴油机膨胀行程中,柴油机活塞下行,先将排气口 f 打开,缸内废气经排气口 f 进入到排气管 g 中。当汽缸内压力降低到扫气压力时,活塞下行将扫气口 e 打开,扫气空气由扫气箱 d 经扫气口 e 进入汽缸同时将废气排出汽缸,于是进气与排气同时进行,一直到下止点(点 0),并转而上行把扫气口关闭为止。扫气结束,活塞继续上行把排气口关闭。至此,换气过程全部结束,而开始进行压缩、燃烧和膨胀过程。这两个过程与四冲程机基本相同。通常,二冲程柴油机的燃烧和膨胀行程约占 $90^\circ \sim 120^\circ$ 曲轴转角;换气过程约占 $120^\circ \sim 150^\circ$ 曲轴转角;压缩行程约占 120° 曲轴转角。图 2-5 为 ESDZ43/82B 型二冲程柴油机的正时圆图。

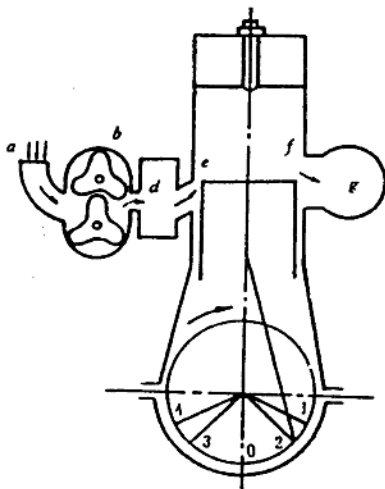


图 2-4 二冲程柴油机工作原理图

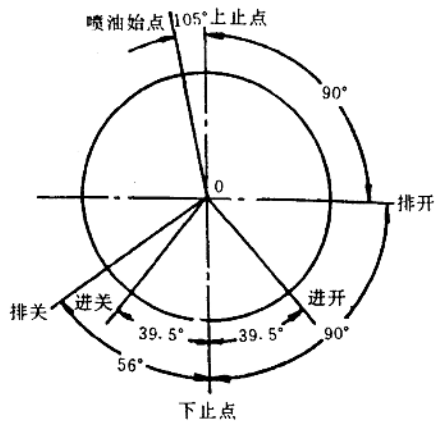


图 2-5 ESDZ43/82B 型二冲程柴油机正时圆图

二冲程机与四冲程机比较,在相同的工作条件下,其功率约为四冲程机的 1.6~1.7 倍,而且其回转也比四冲程机均匀,但二冲程机的换气质量比四冲程机差。

第三节 柴油机的换气与增压

一、柴油机的换气

在柴油机工作当中,每完成一个工作循环都必须把废气排出汽缸,并把新鲜空气吸入汽缸,从排气过程、扫气过程到进气过程结束的整个气体交换过程称为换气过程。换气过程的质量将影响柴油机的功率、经济性、可靠性以及排气污染,它是柴油机工作优劣的先决条件。

1. 换气过程

由于四冲程柴油机进排气过程是分别在两个过程中完成的,新气与废气互不掺混,因而其换气质量较高。而二冲程机换气时间短,换气与排气同时进行,新气与废气掺混,换气质量差,

缸内新气少,残留废气多。所以对二冲程机而言对换气型式要求较高。下面我们就简单地介绍一下二冲程机中常见的换气形式。二冲程机常见的换气形式一般为:

(1)简单横流扫气

如图 2-6(a),进气口位于汽缸中心线的两侧,空气从进气口一侧沿汽缸中心线向上,然后在靠近燃烧室部位回转到排气口一侧,再沿汽缸中心线向下把废气从排气口清扫出汽缸。

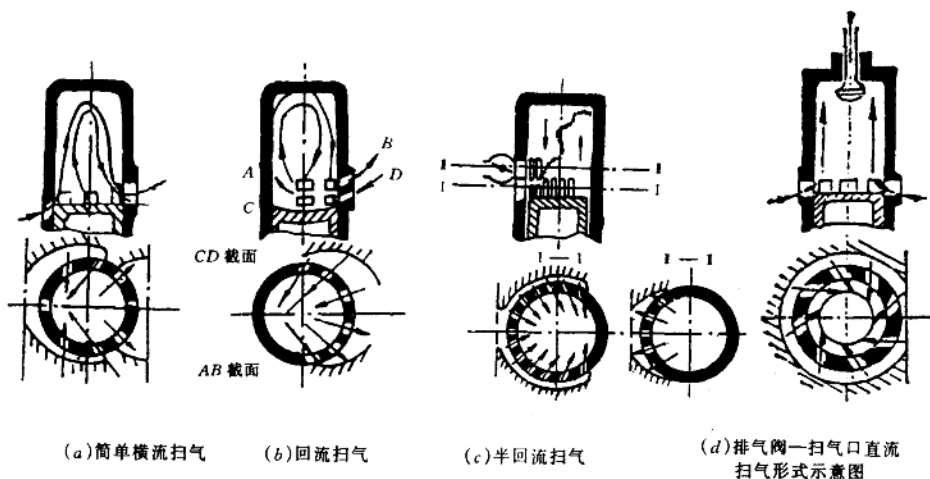


图 2-6 二冲程机不同的换气形式

(2)回流式扫气

如图 2-6(b)所示,进排气口在汽缸下部同一侧且进气口在排气口的上方,进气沿活塞面向对侧的缸壁流动,到汽缸盖再转向下流动,把废气从排气口清扫出汽缸。在船用大型柴油机中,MAN、KZ 型柴油机为回流式扫气。

(3)半回流扫气

如图 2-6(c),进气口布置在排气口的下方及两侧,气流在缸内的流动特征兼有横流与回流的特点。某些早期的半回流扫气形式,在排气管中装有回流控制阀。在船用大型柴油机中 sulzer RD, RND, RLA, RLB 等型柴油机均为半回流扫气形式。

(4)排气阀—扫气口直流扫气

如图 2-6(d),汽缸下部均布一圈进气口,在汽缸口有一圈排气阀(1—6 个)。空气从汽缸下部进气口进入汽缸,沿汽缸中心线上行驱赶废气从汽缸盖上的排气阀排出汽缸。该扫气型式使空气与废气不易掺混,扫气效果较好。同时排气阀的启闭由排气凸轮控制,不受活塞运动的限制,所以排气阀可以与进气阀同时关闭。在船用柴油机中 B&W、UEC 等机型是传统的排气阀—扫气口直流扫气式柴油机。现代船用超长行程柴油机 MAN/B&W、MC/MCE、sulzer RTA 机型也是排气阀—扫气口直流扫气式柴油机。

2. 换气机构

保证柴油机按规定顺序和时刻完成进、排气过程的机构称配气机构。通常是由气阀机构、气阀传动机构、凸轮轴和凸轮轴传动机构组成的。二冲程气口换气的柴油机不需用专门的换气机构,而四冲程柴油机和二冲程气口—气阀式直流扫气柴油机则是通过专门的换气机构来