

造船工人理论通用技术教材

船舶钳工工艺学

中级·下册

俞明侠 廖德沛 编
唐与先 张炳玲

哈尔滨船舶工程学院出版社



U664
Y82
2.2

301947

船舶钳工工艺学

中级·下册

俞明侠 廖德沛
唐与先 张炳玲 编



哈尔滨船舶工程学院出版社

内 容 简 介

本书共有七篇，分上、下两册。

上册内容包括船舶动力装置概述、各种船用辅机及系统、船舶液压传动机械。

下册内容包括船舶柴油机、船舶轴系及舵系、船舶主机安装与试验、船舶柴油机装配工艺等。

全书介绍了各种船舶机械设备的结构和工作原理，并与我国造船厂生产实际（装配、安装等技术要求、工艺及试验）紧密结合。

本书是造船厂中级钳工培训试用教材，也可供修船厂及船舶轮机有关工人、技术人员参考。



船舶钳工工艺学

(中级·下册)

俞明侠 廖德沛 唐与先 张炳玲 编

哈尔滨船舶工程学院出版社出版

新华书店首都发行所发行

哈尔滨建筑工程学院附属印刷厂印刷

787×1092 1/16 印张19.5 字数486千字

1987年6月第1版·1987年6月第1次印刷

印数：1—6,500册

统一书号：15413·021 定价：4.05元

前 言

为了落实中共中央、国务院《关于加强职工教育工作的决定》，搞好船舶工人技术理论教育工作，加强智力开发，提高职工素质，以适应社会主义现代化建设和振兴船舶工业的需要，中国船舶工业总公司人事部组织了上海船舶工业公司有关船厂，在调查研究和总结经验的基础上，根据总公司“船舶工业造船工人技术等级标准”的要求，编写了船厂二十一个工种的初、中级《造船工人技术理论教育教学计划与教学大纲》。

根据这些教学计划与教学大纲的要求，我们组织一些船厂有实践经验的工程技术人员及有丰富教学经验的教师，编写了五十种船舶工人技术培训教材，并聘请技术水平较高、经验丰富的同志担任主审。在编写过程中，广泛地听取了各船厂的意见，增强了教材的适应性。

编写的教材有：放样号料工、冷加工、火工、装配工、焊接工、批铆和密性实验工、气焊气割工、船舶钳工、船舶管铜工、螺旋桨工、船舶钣金工、船舶电工、船舶木塑工、除锈涂装工、船舶泥工、起重吊运工的工艺学，及船体结构、船舶概论、船体制图、船体结构与识图、船体加工设备与工夹模具、企业管理常识、电工常识、机械制图、船舶常识、船舶电工学、电工基础、船舶电气工程概论、电工仪表与测量、船舶电站与电力拖动、船舶导航概论、木工制图、电动起重机原理及操作、金属材料及热处理、画法几何、船舶柴油机结构和修理等。

这些教材力图体现工人培训的特点，既考虑到当前造船工人的文化水平，做到通俗易懂，又要有一定的理论深度，适当考虑到长远的发展；既做到理论联系实际，又注意到知识的科学性、系统性和完整性；既体现船舶特色，又兼顾不同类型船厂的需要；既便于集体组织教学，也便于个人自学。

这套教材主要用于船舶工人相应工种的初、中级技术理论教育，也适用于对口专业职业高中和技工学校的教学，有的也可作为其它类型工厂的工人培训教材。相应专业的科技人员、专业教师及管理人员也可选作参考书。

这套教材的出版，得到了哈尔滨船舶工程学院、有关地区公司、船厂的大力支持，在此特致以衷心的感谢。

编写船舶工人培训的统一教材还是第一次。由于时间仓促，加上编写经验不足，教材难免存在不少缺点和错误。我们恳切希望广大读者在使用中提出批评和指正，以便进一步修改、完善，不断提高教材质量。

中国船舶工业总公司教材编审室

一九八五年七月

编 者 的 话

本书系按一九八三年中国船舶工业总公司人事部主持制定的《造船工人技术理论教学计划和教学大纲(试行)》中的《船舶钳工工艺(中级)教学大纲》编写的。

编写中,编者力求结合造船厂的生产实际,突出重点,着重介绍基本原理、结构及钳工作业的基本要点。

全书分上、下二册共七篇,上册中第一、二篇由俞明侠同志编写,其中第二篇的第五章由王学虎同志编写;第三篇由廖德沛同志编写。下册中第四篇由唐与先同志编写;第五、六篇由张炳玲同志编写,其中第六篇的第一、二章由张德鑫同志编写;第七篇由贝光宇同志编写。全书由俞明侠同志主编,由陈德禄同志主审。

本书在编写中,得到了江南造船厂、沪东造船厂、上海船厂的大力支持,并提供了许多宝贵经验和资料。此外,本书描图组的许多同志也为图稿的完成付出了辛勤的劳动,在此一并致以深切的感谢。

由于编者水平有限,编写时间仓促,本书肯定存在不少缺点和不妥之处,热忱欢迎读者和教师批评指正。

编 者

目 录

第四篇 船舶柴油机结构与原理

第一章 船舶柴油机的基本概念	1
第一节 船舶柴油机概述.....	1
第二节 船舶柴油机的组成及其作用.....	1
第三节 四冲程柴油机的工作原理及定时图.....	4
第四节 二冲程柴油机的工作原理及定时图.....	7
第五节 船舶柴油机的分类.....	12
第六节 船舶柴油机的型号.....	14
第二章 船舶柴油机的主要部件	16
第一节 船舶柴油机的主要固定部件.....	16
第二节 船舶柴油机的运动部件.....	26
第三章 船舶柴油机配气机构	39
第一节 配气机构的作用和组成.....	39
第二节 配气机构主要组件的结构.....	40
第四章 船舶柴油机的燃油系统	48
第一节 燃料的物理化学性能.....	48
第二节 可燃混合气体的形成.....	51
第三节 燃油供给系统.....	54
第四节 喷油泵.....	55
第五节 喷油器.....	63
第六节 燃油系统的附件.....	65
第五章 船舶柴油机的润滑与冷却系统	68
第一节 机件的摩擦与润滑.....	68
第二节 船舶柴油机的润滑油.....	70
第三节 船舶柴油机的润滑系统.....	71
第四节 船舶柴油机冷却系统.....	74

第五节	润滑系统与冷却系统的主要设备	76
第六章	船舶柴油机控制系统	82
第一节	起动装置	82
第二节	电力起动装置	83
第三节	压缩空气起动装置	84
第四节	调速器装置	91
第五节	机械式调速器	93
第六节	液压离心式调速器	96
第七节	柴油机换向装置	99
第八节	船舶柴油机操纵系统实例	106
第七章	船舶柴油机增压系统	115
第一节	船舶柴油机的增压	115
第二节	增压系统的类型	116
第三节	废气涡轮增压器的结构	119

第五篇 船舶轴系与舵系的安装

第一章	船舶轴系的结构	127
第一节	轴系的功用及组成	127
第二节	轴系的主要组件	128
第三节	可调螺旋桨	142
第二章	船舶舵系的结构	145
第一节	舵的功用及组成	145
第二节	船舶舵系的类型及特点	145
第三节	舵系的结构	147
第三章	船舶轴系和舵系的安装	150
第一节	轴系安装概述	150
第二节	轴系理论中心线的确定	151
第三节	按理论中心线镗孔	160
第四节	尾轴管、尾轴、尾轴管密封装置的安装	162

第五节	螺旋桨的安装	169
第六节	轴系的校中	173
第七节	船舶舵系的安装	184

第六篇 船舶主、辅机的安装和试验

第一章	船舶主机(柴油机)的安装	189
第一节	主机安装工艺过程概述	189
第二节	主机基座的检验与加工	190
第三节	主机定位	194
第四节	主机的固定	197
第五节	主机曲轴臂距差测量与调整	203
第六节	低速重型柴油机安装工艺过程举例	206
第七节	低速重型柴油机整机吊运	212
第八节	大型柴油机安装注意事项	213
第二章	船舶辅机的安装	220
第一节	船舶辅机安装的技术要求	220
第二节	船用各类辅机安装要点	224
第三章	塑料灌浆垫片在主、辅机安装中的应用	226
第一节	塑料灌浆的成分	226
第二节	塑料灌浆的调制和性能	226
第三节	塑料灌浆浇注工艺	227
第四章	船舶动力装置的试验	229
第一节	概述	229
第二节	系泊试验	229
第三节	柴油机动力装置主要性能指标的测试及测试仪表	236
第四节	航行试验	243

第七篇 船舶柴油机装配工艺

第一章	船舶柴油机运动部件的装配	258
第一节	船舶柴油机活塞、活塞杆和活塞环的装配	258

第二节	连杆和大小端轴承的装配	262
第三节	十字头和滑板的装配	265
第四节	曲轴的装配	267
第二章	船舶柴油机固定部件及曲轴装配	271
第一节	机座安放和平直度检查	271
第二节	主轴瓦和曲轴的安装	273
第三节	倒挂式主轴承和曲轴的安装	278
第四节	中小型柴油机机身的装配	280
第五节	十字头式柴油机机架和导板的装配	282
第六节	气缸盖和进排气阀的装配	285
第三章	船舶柴油机的总装配和主动件找中	288
第一节	中小型柴油机的总装配程序和主要技术要求	288
第二节	大型柴油机固定件的总装配	290
第三节	中型筒形活塞柴油机主动件安装和找中	294
第四节	十字头式柴油机主动件的安装和找中	295
第五节	柴油机各种正时和安装参数的测量	298

第四篇 船舶柴油机结构与原理

第一章 船舶柴油机的基本概念

第一节 船舶柴油机概述

燃料通过机械进行燃烧放热，将热能转变为机械能，这就是通常所说的热力机。根据燃料进行燃烧所处的场所不同，热力机又分为内燃机和外燃机两大类，凡是燃料在发动机内部进行燃烧的热力机，称为内燃机；反之，则称外燃机。

船舶柴油机，是以柴油为燃料的内燃机。船舶柴油机与其他热力机相比，有以下主要优点：一是热效率高，现代船舶柴油机的热效率高约50%，确实遥遥领先于其他热力机。二是燃烧系统组织得合理，可烧重油。在柴油机的近代发展中，船舶柴油机已采用耐热合金钢为材料的燃烧室部件，因此在中、低速船用柴油机中，能使用劣质柴油为燃料。三是现代船舶柴油机有着广阔的功率范围，可以为各种功能的船舶提供动力。此外，动力装置附属设备数量少，中小型船舶柴油机附属设备，多见于柴油机自身驱动（大型低速船用柴油机也有轴带发电机）。这样，它可适用于机舱容积小的船舶，并且它的重量轻，便于集中管理和远距离操纵。正由于船舶柴油机具有上述主要优点，近十余年来，在船舶的应用上与日俱增，在动力装置中，居绝对优势。当然，船舶柴油机也有制造精度要求较高、结构较为复杂等难点。

目前船舶柴油机的主要发展趋势是：

1. 降低柴油机的油耗，在低速及中速柴油机采用劣质重油以降低航运成本，在低速柴油机中采用长冲程降低转速以提高推进效力。
2. 近代船舶柴油机已开发了集中遥控、操作自动化的技术，以适应无人机舱船舶的装置。

第二节 船舶柴油机的组成及其作用

一、柴油机的基本工作方式

要使柴油机在机器内部完成从化学能转变为热能，再从热能转化为机械能的两次能量转换，必须具备以下的基本条件：

第一，工作过程所需要的热能，是由气缸内的燃料与空气混合燃烧产生的。要使燃料在机中燃烧，必须在喷入燃油之前，先使气缸进入足够量的新鲜空气。

第二，使进入气缸内的空气压缩到足够高的温度，然后喷入细小的油滴，蒸发成油气，自行发火燃烧。

第三, 需要将柴油喷散成很细的油雾, 并且具有一定的穿透力, 进入预定的空间与新鲜空气均匀地混合, 才能得到充分完全的燃烧。

如图4-1-1所示, 要实现上述基本要求, 首先要有一个密封、耐高温、高压的气缸和活塞组成的燃烧室, 当活塞移动时, 把空气吸进来, 然后压缩成很高的压力和温度, 这时由喷油器定时地将燃油喷入燃烧室, 使燃油燃烧, 产生足够的热能, 缸内燃气的压力和温度急剧地升高。燃气在气缸中膨胀, 推动活塞做功, 通过曲柄连杆机构, 将活塞的往复运动变为曲轴的回转运动, 这就是简单柴油机的工作原理。

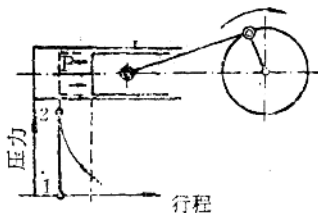


图4-1-1 柴油机的基本工作方式

二、四冲程柴油机的基本结构

四冲程柴油机的主要部件如图4-1-2所示。它由如下部件组成:

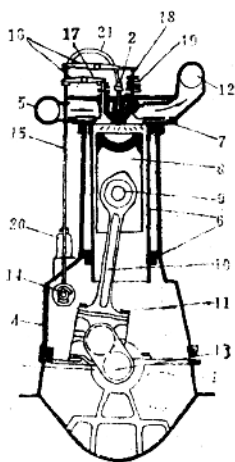


图4-1-2 筒式四冲程柴油机的主要部件

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. 高压喷油泵; 21. 高压油管

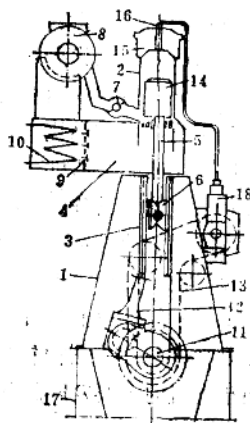


图4-1-3 十字头式二冲程柴油机的主要部件

1. 机架; 2. 气缸体; 3. 导板; 4. 扫气箱;
5. 活塞片; 6. 十字头; 7. 排气转阀; 8. 增压器;
9. 单向阀; 10. 空气冷却器; 11. 曲轴;
12. 连杆; 13. 传动键; 14. 活塞; 15. 气缸盖;
16. 喷油器; 17. 机座; 18. 高压喷油泵

1. 固定部件: 如图中的机座1、机身4、主轴承3、气缸套6、气缸盖7等。
2. 运动部件: 活塞8、活塞销9、连杆10、连杆螺栓11、曲轴13等。
3. 配气机构: 凸轮轴件14、顶杆15、摇臂16、进气阀17、排气阀18、气阀弹簧19等。
4. 燃油系统: 高压喷油泵20、高压油管21、喷油器2等。
5. 辅助部件: 进气管5、排气管12等。

此外，柴油机还必须具有润滑、冷却、控制、调速等系统的零部件。

三、二冲程柴油机的基本结构

图4-1-3是一台十字头式增压二冲程柴油机，它的组成部件与图4-1-2筒式四冲程柴油机有不同：

1. 固定部件：比四冲程机增加了机架1、气缸体2、导板3、扫气箱4等。
2. 运动部件：比四冲程机增加了活塞杆5、十字头6等。
3. 配气机构：凸轮传动系统只有排气转阀7，进气阀被扫气口所取代。
4. 燃油系统：与四冲程机相同。
5. 增加了增压系统：有增压器8、单向阀9、空气冷却器10等。

四、柴油机的常用名词解释

1. 上止点：活塞在气缸中运动到最上端的位置，也就是活塞离曲轴中心线最远的位置，俗称上死点。
2. 下止点：活塞在气缸里运动到最下端的位置，也就是活塞离曲轴中心线最近的位置，俗称下死点。
3. 冲程（行程）：指活塞以上止点到下止点间的直线距离，常用 S 表示。它等于曲轴半径 R 的两倍（ $S=2R$ ）。活塞移动一个冲程，相当于曲柄转动 180° 。
4. 缸径：气缸内径，常用 D 表示。
5. 压缩容积：活塞在上止点时，在活塞顶上的全部空间（活塞顶与气缸盖底面之间所包含的空间），称为压缩容积，或叫燃烧室容积，以 V_c 表示。

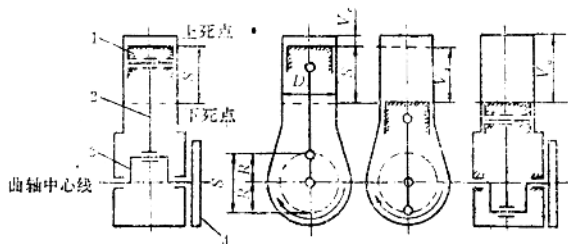


图4-1-4 柴油机的几何名词示意图

1. 活塞；2. 连杆；3. 曲轴；4. 飞轮

6. 气缸工作容积：活塞在气缸中从上止点移到下止点所经过的空间，可称为活塞的排量，以 V_i 表示（图4-1-4）。

$$V_i = \frac{1}{4} \pi D^2 S \quad (4-1-1)$$

7. 气缸总容积：活塞在下止点时，活塞顶上的气缸容积，就是气缸的总容积，以 V_e 表示，则

$$V_e = V_i + V_c \quad (4-1-2)$$

8. 压缩比：气缸总容积与压缩容积之比值，称为压缩比，一般用字母 ϵ 表示

$$\varepsilon = \frac{V_s}{V_c} = \frac{V_c + V_s}{V_c} = 1 + \frac{V_s}{V_c} \quad (4-1-3)$$

压缩比越大，压缩终了时的气体压力和温度就越高，燃油着火就容易，起动性能好。大型低速柴油机的 ε 在11~13之间，它是柴油机的一个重要性能参数。

9. 充气系数：实际充入气缸内的空气量 G_1 与理论上充满气缸的空气量 G_0 之比，称为充气系数，以 η_v 表示，则有

$$\eta_v = \frac{G_1}{G_0} \quad (4-1-4)$$

10. 过量空气系数：燃烧1公斤燃料，实际需要的空气量 L 与所需要的理论空气量 L_0 之比，称为过量空气系数，以 α 表示，即

$$\alpha = \frac{L}{L_0} \quad (4-1-5)$$

第三节 四冲程柴油机的工作原理及定时图

一、四个冲程的行进概况

柴油机的循环是通过进气、压缩、工作（指燃烧及膨胀）、排气四个过程来实现的；这四个连续过程就称为一个工作循环。活塞上下运动四次（曲轴旋转两转）来完成一个工作循环的柴油机，叫做四冲程柴油机，其工作过程如图4-1-5所示。

（一）四冲程工作循环

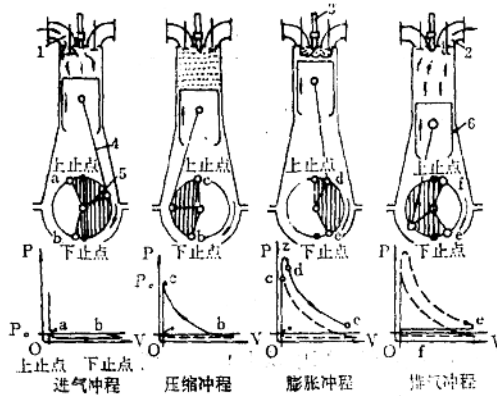


图4-1-5 四冲程柴油机工作原理

1. 进气阀；2. 排气阀；3. 喷油器；4. 连杆；5. 曲轴；6. 活塞

第一冲程——进气冲程：燃烧需要空气，所以在燃油送入之前，应先进入空气。活塞从上止点下行，进气阀1打开，由于气缸容积的增大，使缸内压力下降到大气压力以下，依靠气缸内外的压差，新鲜空气通过气阀被吸入气缸。气阀开启的时刻，可由曲柄位置来决定（即图中曲柄位置点a），一般进气阀在活塞到达上止点之前就提早打开，

它的关闭也一直延迟到下止点之后(点 b)。曲柄转角 φ_{a-b} (图中阴影线所占的角度)表示进气过程,它大于一个冲程,约为 $220^\circ\sim 250^\circ$ 。

第二冲程——压缩冲程:柴油机从大气吸入的空气温度较低,要使燃油燃烧,必须使空气具有一定的温度,将吸入的空气进行压缩,就可使空气达到足够高的温度和压力。当活塞从下止点向上运动到 b 点时,进气阀关闭,开始压缩,一直到上止点 c 为止。进气冲程吸入的新鲜空气,经压缩后,压力增高到 $30\sim 60$ 巴*(此压力称为压缩终点压力,用 P_c 表示),温度升至 $600\sim 700^\circ\text{C}$,这个温度已可保证燃油发火。高压燃油在压缩过程的后期(即点 c 之前)通过喷油器3喷入气缸,并与气缸中的空气混合加热,自行发火燃烧。图中压缩过程用曲柄转角 φ_{b-c} 表示,约为 $140^\circ\sim 160^\circ$ 。

第三冲程——工作(燃烧及膨胀)冲程:在冲程之初,由于燃油强烈燃烧,使气缸内的压力和温度急剧升高,压力可达到 $50\sim 80$ 巴(甚至高达 130 巴,这种最高燃烧压力用 P_r 表示),温度约达 $1400\sim 2000^\circ\text{C}$ (有时甚至更高些),高温、高压的燃气(即工质)膨胀,推动活塞下行做功,活塞的往复运动,通过连杆4推动曲轴5作回转运动。由于气缸容积逐渐增大,压力开始下降,约在上止点后 $40^\circ\sim 60^\circ$ (点 d),燃烧基本结束。这时气缸中的压力和温度,随着燃气的膨胀而逐渐下降,一直到气缸盖上的排气阀2开启时,膨胀结束。膨胀终了时,燃气压力降至 $2.5\sim 4.5$ 巴,温度降到 $600\sim 750^\circ\text{C}$ 。排气阀则在下止点前(点 e)开启,因而在此冲程的末期,排气过程已开始。图中燃烧和膨胀的工作过程用曲柄转角 φ_{c-d-e} 表示。

第四冲程——排气冲程:为使下一循环的新鲜空气再次进入,应先将气缸内的废气排出。在燃烧和膨胀冲程末期,排气阀2开启,这时活塞尚在下行,废气靠气缸内外压差,经排气阀排出气缸。当活塞由下止点向上行时,剩余的废气被活塞排出,排气过程中的废气压力略高于大气压力(约 $1.05\sim 1.1$ 大气压),且在其压力保持稳定的情况下进行。排气阀在下止点前(点 e)开启,延迟到上止点后(点 f)关闭,排气过程以 φ_{e-f} 表示。

在进行了上述四个冲程后,柴油机就完成了个工作循环。每个循环中,只有工作冲程(燃烧及膨胀冲程)做功;在这个冲程里,完成了燃料化学能转变为热能,热能给变为机械能的两次能量转换。其它三个冲程,都是为工作冲程作准备,都需要外界供转能量。因此,柴油机常做成多缸的,这样,进气、压缩、排气冲程所需的能量,可由其他正在工作的冲程的气缸供给;如果是单缸柴油机,则可借助于较大的飞轮,在工作冲程时,柴油机带动飞轮旋转加速,依靠飞轮的旋转惯性,完成其他三个冲程。

(二)四冲程柴油机的示功图

在图4-1-5下边 $P-V$ 图中,示出气缸在一个工作循环中,燃气压力随活塞位移的变化情况。图中纵坐标 P 表示气缸内气体的压力,横坐标 V 表示气缸的容积;气缸内气体的压力和容积是同时变化的,这种变化可以用示功器测量出来。表示气缸内压力随容积变化的 $P-V$ 图形,又称示功图。

图4-1-6表示四冲程柴油机的 $P-V$ 图,线 $a-b$ 表示进气过程中气缸内压力随容积变化的情况。在进气过程中,缸内压力低于大气压力 P_0 。 $b-c$ 线段是表示压缩过程中,压力随气缸容积减少而增高的情况,点 c 处的压力,就是压缩终点压力 P_c ;线 $c-d-e$ 表示

* 1巴= 10^5 帕。

燃烧和膨胀过程变点 Z 处的压力，就是最高燃烧压力 P_z 。线 $e-f$ 表示排气过程。

二、四冲程柴油机的定时图

柴油机的进气、排气和喷油器等启闭的时间以及柴油机的工作过程，用曲柄位置（曲柄转角）表示的图形，称为柴油机的“定时图”。

图4-1-7表示四冲程柴油机的定时图。图中直线表示进、排气阀、喷油器启闭时刻曲柄所处的位置；弧线表示工作过程，所注角度表示该工作过程的曲柄转角，箭头表示曲轴转动的方向。

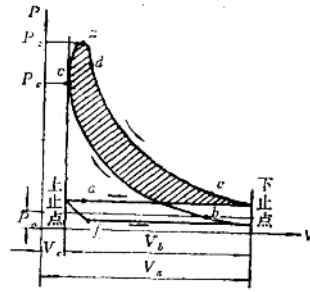


图4-4-6 示功图

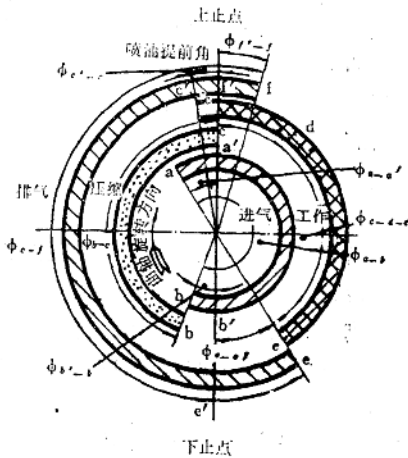


图4-1-7 四冲程柴油机的定时图

$\varphi_{a-a'}$ —进气阀提前打开的角度； $\varphi_{b-b'}$ —进气阀延迟关闭的角度； φ_{c-d-e} —工作（燃烧及膨胀）过程所占的角度； φ_{e-f} —排气阀打开的总角度； $\varphi_{c'-c}$ —喷油提前的角度； φ_{a-b} —进气阀打开的总角度； φ_{b-c} —压缩过程所占的角度； $\varphi_{e-e'}$ —排气阀提前打开的角度； $\varphi_{f'-f}$ —排气阀延迟关闭的角度

三、气阀定时

四冲程柴油机的进气阀和排气阀的启闭都不是在上、下止点，而是在上、下止点的前后某一时刻。它们的开启时间都大于 180° 曲柄转角，如图4-1-7所示。

为什么进气阀和排气阀提前开启和延迟关闭？这能增多空气吸入量，把废气排除得更干净。

首先，气阀不可能在一瞬间就能开得足够大，在气阀开启之初，它的通道截面很小，气体流过狭小通道时的阻力就大。如果刚好在上（或下）止点时打开进（排）气阀，新气进入或废气排出，必然要在活塞下行或上行一段时间后才开始，引起进气不充分或排气不干净。若能将进、排气阀提早于上、下止点开启，即可避免上述现象，进（排）气阀就能开得较大，以减少吸（排）气时的阻力，从而有利于新鲜空气的充入和废气的排除。

其次，新鲜空气和废气都以一定的速度吸入和排出气缸，由于气体在流动时有惯性，当活塞自下止点向上止点运动时，仍能继续向气缸充气，将进气阀延迟于下止点后关闭，就能利用气流的惯性吸入更多的空气。同理，排气阀延迟至上止点后关闭，也

是为了利用惯性，更好地排除废气。但是，并不是气阀提前和延后的时间越长越好。进气阀开启过早，废气将通过进气阀冲入进气管，产生废气倒灌。进气阀延迟关闭过晚，由于活塞从下止点转向上行，气缸内压力逐渐升高；当缸内压力高于环境压力时，已充入气缸的新鲜空气便从开启着的进气阀跑出气缸，从而引起压缩压力减小。过早地打开排气阀，将使有效功损失增加，排气阀延迟关闭过晚，会将废气重新吸入气缸。

由图4-1-7中可知，进气阀和排气阀在上止点前后的一段时间里同时开启，这个同时开启的曲柄转角，称为气阀重叠角。适当的气阀重叠角，不仅不会使废气倒灌入进气管，而且还有助于废气的清除和新气的充入。因为在排气终了时，由于废气的流动惯性，废气按原方向继续排出气缸，加上此时，使燃烧室内形成低压空间，造成抽吸气体的有利条件，将新气吸入气缸，新气充入后，又更好地将废气扫出，实现了燃烧室的扫气。

合适的气阀定时和气阀重叠角随机型而异，一般都是通过多次实验调整才能得出的。

第四节 二冲程柴油机的工作原理及定时图

一、二个冲程的进行概况

活塞在两个冲程内完成一个工作循环的柴油机，就称为二冲程柴油机。

任何柴油机都必须经过进气、压缩、燃烧膨胀和排气五个过程才能完成一个工作循环，二冲程柴油机，要把五个过程在两个冲程内（曲轴旋转一周）就完成一个循环，因此，它的进气和排气，不象四冲程柴油机那样有单独的冲程，而是在压缩之初和做功（即燃烧膨胀）之末的两个冲程内进行的。它的特点是没有专门的排气和进气冲程，其废气的排除，除了一部分自由泄放外，剩余部分，则是靠压入气缸的新鲜空气来把废气扫出气缸，为此，必须采用专设的扫气泵，以便增加进入的新鲜空气的压力，这个进气和扫气过程，就称为“换气过程”，也叫“扫气过程”。扫气设备可采取罗茨泵、活塞泵、废气涡轮增压器等。

二冲程柴油机有各种换气方式，这些换气方式的工作原理基本相同，如图4-1-8所示为直流扫气二冲程柴油机工作原理。

直流扫气二冲程柴油机与四冲程柴油机的主要区别是：气缸下部有一圈扫气口，扫气空气经过它进入气缸；气缸盖上只有排气阀；柴油机带有扫气泵；扫气口的启闭是由活塞的移动来控制。

第一冲程——扫气和压缩。活塞从下止点上行时，在遮闭扫气口之前，新鲜空气通过扫气泵，扫气口压入气缸内，把气缸内的废气挤出。随着活塞上行，扫气口逐渐被遮闭，当活塞把扫气口完全遮闭时（ $P-V$ 图中的点1），排气阀也差不多在这时关闭，压缩过程开始进行。当活塞到达点2'时，喷油开始；到达上止点时，气缸内的空气压力达到35~45巴，温度达到700~800℃。

第二冲程——工作（燃烧膨胀）和排气。当活塞到达上止点前10°~30°的位置时，柴油开始从喷油器以雾状喷入气缸，与气缸内的高温气体混合后，即自行发火燃烧（ $P-V$

V图中2-3曲线), 燃烧所产生的燃气推动活塞下行做功。燃烧时最高压力达50~105巴, 最高温度达 1600~1800°C。在以后的运动中, 燃气发生膨胀, 直到排气阀打开为止(点4)。排气阀打开的时间, 比活塞掀开扫气口的时间稍早些, 此时, 扫气口仍被活塞遮住, 这样就有一段自由排气过程(点4~5), 当扫气口打开时, 气缸内压力可以从3~5巴降低到接近大气压力。在曲轴从点5经过点6(下死点)转到点1的时间里气缸内进入了扫气空气, 继续进行残余废气的排除工作。气缸内充气过程的终点(点1)是由扫气口和排气阀关闭的时刻来决定的; 排气阀有的与进气口同时关闭, 有的或稍早一点。在二冲程柴油机中, 进气过程终点气缸内压力一般都高于大气压力, 其值与扫气空气压力有关。

活塞再往上行时, 第一冲程又开始, 工作循环按上述程序重复进行。

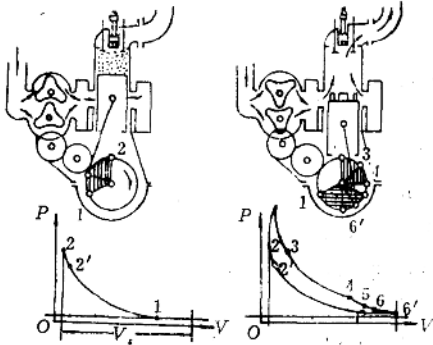


图4-1-8 直流扫气二冲程柴油机简图

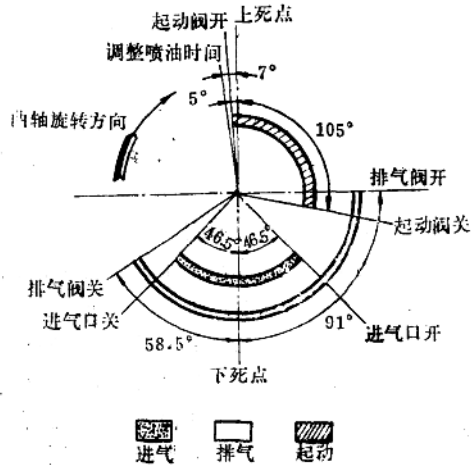


图4-1-9 二冲程柴油机定时图

二、二冲程柴油机的定时图

二冲程柴油机与四冲程柴油机一样, 也可以用定时图来表示各项定时的时刻。图4-1-8为直流扫气二冲程柴油机的定时图。

各种类型的柴油机, 都有它自己的定时图。从定时图上可以得知该机的整个工作过程中各定时机构的启闭时间及曲柄相对位置, 从而可以根据定时图来校准它的排气和喷油时间。

三、二冲程柴油机的换气

二冲程柴油机的换气与四冲程柴油机相比, 较为困难, 它对二冲程柴油机工作影响很大。

二冲程柴油机的换气过程, 只占活塞冲程的一部分, 一般不大于 $130^{\circ}\sim 150^{\circ}$ 曲轴转角, 且在大部分换气时间里, 进排气是同时进行的, 即一方面进行排气, 另一方面进行充气, 换气时间较短。如果换气过程进行得不完善, 易产生空气与废气的掺混和新鲜空气与废气一起排出, 这样会降低柴油机的功率和经济性。为此, 除了必须单独装有扫气