



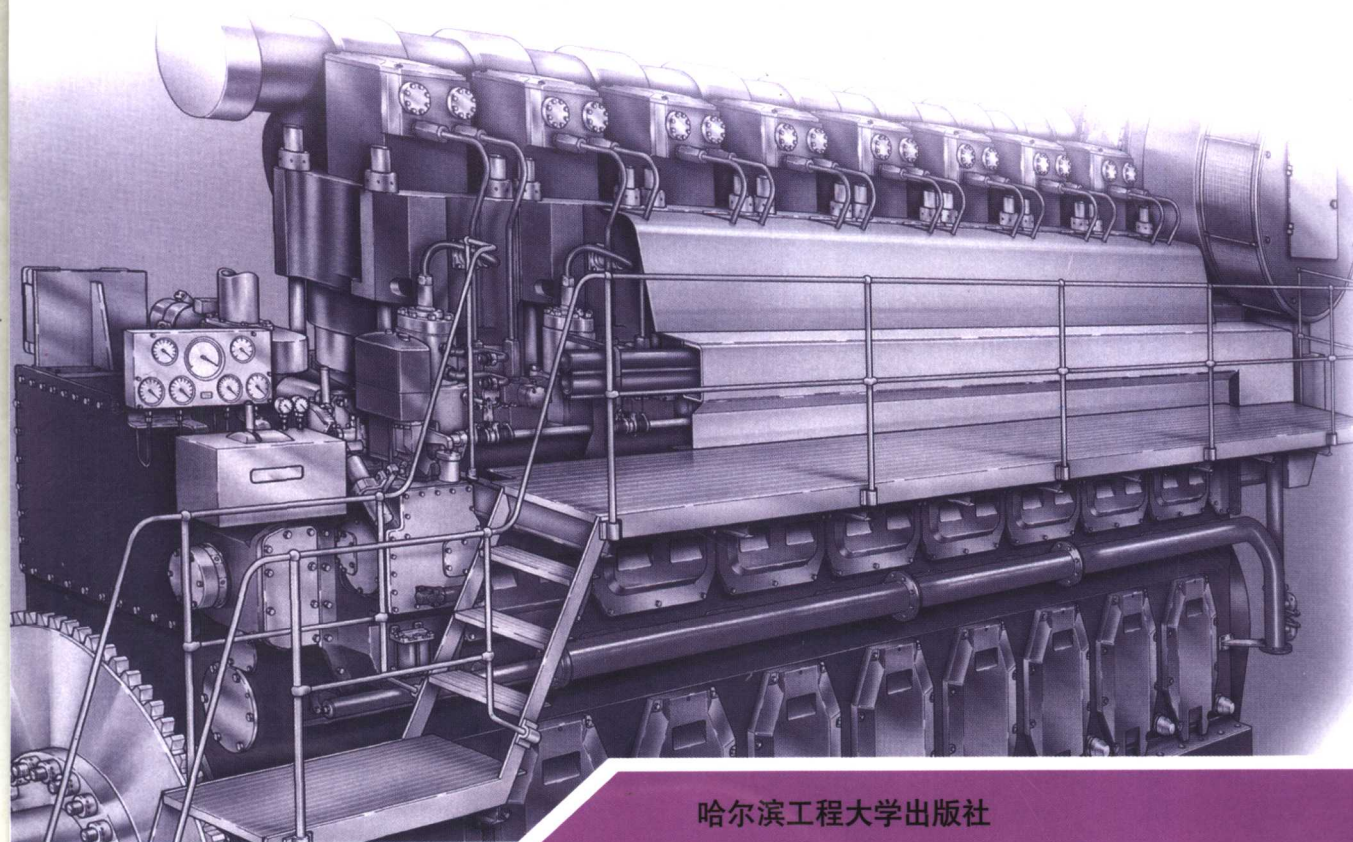
21世纪高职船舶系列教材
SHIJI GAOZHI CHUANBO XILIE JIAOCAI

船舶动力专业

船舶柴油机

CHUANBO CHAIYOUJI

主编 徐立华
主审 熊仕涛



哈尔滨工程大学出版社



21世纪高职船舶系列教材
SHIJI GAOZHI CHUANBO XILIE JIAOCAI

船舶动力专业 ➡

船舶柴油机

CHUANBO CHAIYOUJI

主 编 徐立华

副主编 罗红英 黄 政

主 审 熊仕涛

哈尔滨工程大学出版社

内 容 简 介

本书共分十六章,分别介绍了船舶柴油机的工作原理;主要机件;配气、燃油、润滑、冷却、增压等系统和启动、换向、调速、操纵等装置;柴油机的循环、指标与特性;柴油机零件的缺陷检验与修复工艺;柴油机的应急处理等内容。本书以我国江船和海船的实际出发,较系统地阐述了柴油机各部分工作原理、结构和管理知识,并对各种常见的故障及检查与维修方法作了介绍。

本书为船舶类高等职业技术教育船舶内燃机及动力装置(轮机工程技术)专业的教学用书,也可供船舶轮机工作者及船舶机务部门和船舶修造厂工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

船舶柴油机/徐立华主编. —哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2006

ISBN 7-81073-809-7

I. 船… II. 徐… III. 船用柴油机 IV. U664.121

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 024551 号

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451-82519328
传 真 0451-82519699
经 销 新华书店
印 刷 黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂
开 本 787mm×1 092mm 1/16
印 张 25
字 数 540 千字
版 次 2006 年 8 月第 1 版
印 次 2006 年 8 月第 1 次印刷
印 数 1—2 000 册
定 价 38.00 元

高等职业教育系列教材编委会

(按姓氏笔画排序)

主 任	孙元政			
副主任	刘 义	刘 勇	罗东明	季永清
	施祝斌	康 捷		
委 员	丛培亭	刘 义	刘 勇	孙元政
	陈良政	肖锦清	罗东明	季永清
	俞舟平	胡适军	施祝斌	徐立华
	康 捷	蔡厚平		

前言

船舶柴油机

CHUANBO CHAIYOUJI

本书以中、低速船舶柴油机为典型,系统地阐述船舶柴油机的结构、工作原理、振动与平衡、零件的缺陷检验与修复工艺。使学生具备对船舶柴油机进行维护管理、保养、分析故障和调整的能力。

本书内容力求贯彻理论联系实际、突出职业教育特色、循序渐进和少而精的原则,并能反映出国内外技术最新的动向和水平。为满足教学大纲的要求,与同类教材相比增加了柴油机零件的缺陷检验与故障诊断、柴油机零件的修复工艺等章节。

本书由徐立华主编,罗红英、黄政副主编,熊仕涛教授主审。

全书共十六章,第一、十四、十五、十六章由徐立华编写;第二、三章由王文康编写;第四、五、六章由周庆玲编写;第七、八、九章由罗红英编写;第十章由王鸿舰编写;第十一、十二、十三章由黄政编写。

由于编者水平所限,书中不妥之处在所难免,欢迎读者批评指正。

编 者

2006年3月

目 录

21世纪高职船舶系列教材
SHIJI GAOZHI CHUANBO XILIE JIAOCAI

船舶柴油机

第一章 柴油机的基本知识	1
第一节 柴油机的基本结构	1
第二节 四冲程柴油机的工作原理	3
第三节 二冲程柴油机的工作原理	6
第四节 增压柴油机的工作原理及特点	9
第五节 船舶柴油机的分类和型号	11
第二章 柴油机主要机件	16
第一节 柴油机主要机件及其工作条件	16
第二节 气缸盖和气缸套	19
第三节 活塞组件	27
第四节 十字头组件和导板	40
第五节 连杆组件	44
第六节 曲轴组件	52
第七节 机体、机座、轴承与贯穿螺栓	57
第八节 故障与维护管理	69
第三章 配气系统	84
第一节 配气系统的功用、组成和要求	84
第二节 气阀装置	86
第三节 气阀传动机构	92
第四节 凸轮轴及其传动机构	96
第五节 气阀间隙的检查与调整	100
第六节 气阀定时和气阀升程的检查与调整	102
第七节 故障与维护管理	104
第四章 燃油系统	108
第一节 船用燃油简介	108
第二节 燃油系统的组成、功用和要求	113
第三节 供油系统设备	115
第四节 回油孔调节式喷油泵	119
第五节 回油阀调节式喷油泵的工作原理	127
第六节 电子控制喷射系统与供油定时自动调节装置	129
第七节 喷油器	132
第八节 燃油的喷射过程和喷油规律	134
第九节 喷射系统的故障与维护管理	140
第十节 低质燃油的使用	146
第五章 润滑系统	149
第一节 润滑的基本原理	149

目 录

21世纪高职船舶系列教材
SHIP GAOZHICHUANBO XILIE JIAOCAI

船舶柴油机

第二节	润滑油的性质及选用	151
第三节	气缸润滑	155
第四节	润滑系统	158
第五节	故障与维护管理	164
第六章	冷却系统	167
第一节	冷却系统的功用、组成和布置	167
第二节	冷却系统的设备	171
第三节	冷却系统的维护与管理	174
第七章	启动、换向装置	175
第一节	柴油机的启动	175
第二节	压缩空气启动系统	178
第三节	船舶的换向方法	189
第四节	双凸轮换向	190
第五节	单凸轮换向	193
第六节	启动、换向装置的常见故障及排除	198
第八章	调速装置	200
第一节	柴油机转速的调节	200
第二节	机械式调速器	201
第三节	液压调速器	205
第四节	电子调速器	218
第五节	调速器的故障与管理	222
第九章	操纵系统	225
第一节	操纵系统概述	225
第二节	6L350PN 型柴油机操纵系统	227
第三节	Sulzer RND 型柴油机操纵系统	236
第四节	B&W/MAN 型柴油机操纵系统特点简介	240
第十章	柴油机的增压	243
第一节	柴油机的增压系统	243
第二节	两种废气涡轮增压系统	246
第三节	废气涡轮增压器的分类和结构	252
第四节	增压器与柴油机的配合	259
第五节	废气涡轮增压柴油机的特点	266
第六节	故障与维护管理	268
第十一章	柴油机实际工作循环和主要性能指标	273
第一节	换气过程	273
第二节	压缩过程	279

目 录

21世纪高职船舶系列教材
SHIJI GAOZHI CHUANBO XILIE JIAOCAI

船舶柴油机

第三节 可燃混合气的形成过程	280
第四节 燃烧过程	287
第五节 膨胀过程	291
第六节 柴油机的指示指标	292
第七节 柴油机的有效指标	301
第十二章 柴油机的特性	307
第一节 柴油机的工况与特性	307
第二节 柴油机的负荷特性	308
第三节 柴油机的速度特性	310
第四节 柴油机的推进特性	313
第五节 柴油机的调速特性	317
第六节 柴油机的限制特性及运转范围	318
第十三章 柴油机振动与平衡	321
第一节 曲柄连杆机构惯性力	321
第二节 曲柄连杆机构上的作用力	323
第三节 柴油机的振动和平衡方法	324
第十四章 柴油机零件的缺陷检验与故障诊断	332
第一节 柴油机零件的缺陷检验	332
第二节 柴油机故障诊断技术	340
第十五章 柴油机零件的修复工艺	349
第一节 柴油机零件修复工艺的选择	349
第二节 机械加工修复	352
第三节 电镀工艺	353
第四节 热喷涂工艺	359
第五节 焊补修理	362
第六节 金属扣合工艺	364
第七节 粘接修复技术	369
第八节 研磨技术	374
第九节 表面强化工艺	378
第十六章 柴油机运行中常见故障及应急处理	381
第一节 运行中发生故障时的处理原则及分析判断	381
第二节 各种应急情况下的操作和管理	381
第三节 柴油机运转中常见故障及排除	386



第一章 柴油机的基本知识

第一节 柴油机的基本结构

一、柴油机的基本工作原理

柴油机是一种压缩发火的往复式内燃机。它的基本工作原理是使燃油直接在发动机的气缸中燃烧,将燃油的化学能转变成热能,从而生成高温高压的燃气,因燃气膨胀,推动活塞运动,通过曲柄连杆对外做功,将热能转变为机械能。

柴油机中燃油的化学能要经过燃烧才能转变成热能。要燃烧就必须有空气。为此,在喷入燃油之前必须先使空气进入气缸。但光有空气和燃油若无点火源(热源)还是不能燃烧。柴油机是压缩发火的,为此,要将从大气中吸入柴油机气缸内的室温空气,先依靠活塞上行压缩,使之达到足够高的温度和压力。此时再将燃油以雾化状态喷入,即可在高温高压的空气中自燃。燃油燃烧后放出大量的热能,使燃气的压力、温度急剧增高,在气缸内膨胀,推动活塞作功。膨胀终了时,气体失去了作功能力,变成废气,排出气缸,以便新气再次进入。

综上所述,柴油机每作一次功,必须经过进气、压缩、燃烧、膨胀和排气五个过程才能实行,进行了这五个过程就完成了个工作循环。然后不断重复进行这些过程,使柴油机持续工作。

二、柴油机的基本结构

柴油机的基本结构如图 1-1 所示,柴油机要按前述工作原理工作,必须包括以下部件、系统和装置。

(一)固定部件

主要由气缸盖 1、气缸套 3、机体 10、机座 8、主轴 9 等构成柴油机本体和运动件的支承,并和有关运动部件配合构成柴油机的工作空间。

(二)运动部件

主要由活塞 2、活塞销 4、连杆 5、连杆螺栓 6、曲轴 7 等组成。它们与固定部件配合完成空气压缩及热能到机械能的转换。

(三)配气系统

它包括进气系统和排气系统。

进气系统主要由空气滤清器、进气管件、气缸盖内的进气道、进气阀 16、气阀弹簧 20、摇臂 15、顶杆 13、凸轮轴 11 和凸轮轴传动机构等组成,用来在规定

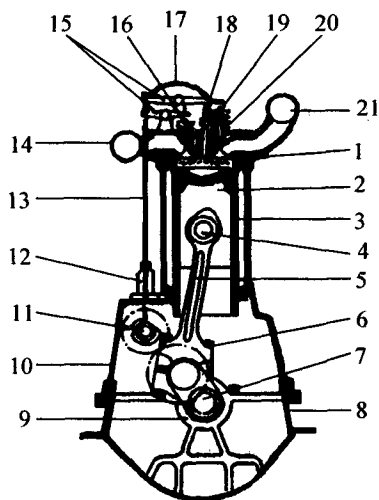


图 1-1 柴油机的基本结构组成

1—气缸盖;2—活塞;3—气缸套;4—活塞销;5—连杆;6—连杆螺栓;7—曲轴;8—机座;9—主轴;10—机体;11—凸轮轴;12—喷油泵;13—顶杆;14—进气管;15—摇臂;16—进气阀;17—高压油管;18—喷油器;19—排气阀;20—气阀弹簧;21—排气管



的时间内向气缸内充入足够的新鲜空气。

排气系统主要由排气阀 19、气阀弹簧 20、摇臂 15、顶杆 13、凸轮轴 11 和传动机构以及排气管、排气消音器等组成。用来在规定时间内将气缸内作功后的废气排入大气。

(四)燃油系统

它包括供应和喷射两个系统。前者由日用油柜、燃油滤清器、输油泵等组成,后者由喷油泵 12、高压油管 17 和喷油器 18 组成。其功用是供给柴油机燃烧作功所需的燃油。

(五)润滑系统

主要作用是润滑摩擦表面,以减少机件的磨损,延长使用寿命,降低摩擦功率损失,提高机械效率。

(六)冷却系统

主要作用是维持柴油机受热零部件在合适的温度状态下工作。

(七)启动系统

柴油机本身无自行启动能力。启动系统的任务就是使柴油机从停车状态发动起来。

(八)调速装置

调速装置的作用是使柴油机能按外界阻力矩的变化而自动改变喷油泵的喷油量,从而使柴油机在选定转速下稳定运转。

以上部件、系统和装置组成一台柴油机。此外,船舶柴油机还设有换向装置,并将启动、调速、换向和停车集中控制组成操纵系统。多数柴油机还设有增压系统,用于进一步提高柴油机作功能力。

三、柴油机的主要几何名称

柴油机的主要几何名称如图 1-2 所示:

1. 气缸直径 D 气缸套的名义内径。
2. 曲柄半径 R 曲轴的曲柄销中心与主轴颈中心间的距离。
3. 上止点 活塞在气缸中运动到最上端,即离曲轴中心线最远时的位置。
4. 下止点 活塞在气缸中运动到最下端,即离曲轴中心线最近时的位置。
5. 冲程 S 又称行程。活塞在上、下止点间的运行距离。它等于曲柄回转半径的两倍,即 $S = 2R$ 。
6. 压缩室容积 V_c 活塞位于上止点时,活塞顶与气缸盖底面之间的气缸容积,又称燃烧室容积。
7. 气缸工作容积 V_h 活塞从上止点到下止点所扫过的气缸容积。

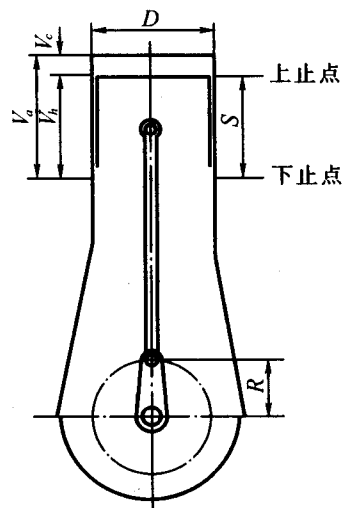


图 1-2 柴油机的主要几何名称

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

8. 气缸总容积 V_a 活塞位于下止点时,活塞顶以上的全部气缸容积,它是压缩室容积和工作容积之和。

$$V_a = V_c + V_h \quad (1-2)$$

9. 压缩比 ϵ 气缸总容积与压缩室容积的比值。常以 ϵ 表示,即



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

压缩比表明压缩过程中进入气缸内的空气被压缩的程度。它是柴油机的主要性能参数之一。压缩比越大,进气就被压缩得越厉害,压缩终点的温度和压力就越高,燃油越容易燃烧,柴油机越容易启动,而且热效率也越高。但压缩比过高时,将使柴油机机件受力过大,磨损加剧,同时也将使压缩过程所消耗的压缩功增大,柴油机的机械效率下降,输出功率降低。其压缩比均有一个确定值。一般为:

低速柴油机, $\epsilon = 13 \sim 15$;

中速柴油机, $\epsilon = 14 \sim 17$;

高速柴油机, $\epsilon = 15 \sim 22$;

增压柴油机, $\epsilon = 11 \sim 14$ 。

当气缸直径与活塞冲程确定后,气缸工作容积 V_h 也随着确定了,所以若要调整压缩比,可通过改变压缩室容积 V_c 来实现。

第二节 四冲程柴油机的工作原理

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四个冲程(即曲轴回转两周)来完成的,这种柴油机就叫四冲程柴油机。

图 1-3 中的四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。

第一冲程——进气冲程

这一冲程的任务是使气缸内充满新鲜空气,如图 1-3(a)所示。活塞由上止点下行,进气阀 a 已打开,由于气缸容积不断增大,缸内压力下降,依靠气缸内外的气压差作用,新鲜空气通过进气阀被吸进气缸。由于受流阻等影响,在进气过程的大部分时间里,气缸内压力低于大气压力,到下止点时,缸内气压约为 $0.08 \sim 0.095$ MPa,温度约为 $30^\circ\text{C} \sim 70^\circ\text{C}$ 。这时,排气阀和喷油器均关闭着。

为了使柴油机作功更完善,必须在进气过程尽可能多吸入新鲜空气。为此,整个进气过程是超过曲柄转角 180° 的,如图 1-3(a)所示,曲柄位于点 1 时进气阀已打开,曲柄位于点 2 时进气阀才关闭。进气阀开启始点至至上止点的曲柄转角叫做进气提前角。下止点到进气阀关闭位置的曲柄转角叫做进气延迟角。整个进气过程所占的总角度 φ_{1-2} (图中阴影线所示的角度)约为 $220^\circ \sim 250^\circ$ 曲柄转角。进气热力过程变化如图 1-3(a)中 1-2 曲线。

第二冲程——压缩冲程

这一冲程的任务是压缩第一冲程吸入的空气,提高空气的温度和压力,为柴油机燃烧及膨胀作功创造条件。活塞从下止点向上运动,自进气阀 a 关闭(曲柄到达点 2)开始压缩,一直到活塞到达上止点(曲柄到达点 3)为止。活塞上行,气缸容积减少,缸内气体压力和温度随之升高,到达压缩终点时,压力增高到 $3 \sim 6$ MPa,温度升至 $600^\circ\text{C} \sim 700^\circ\text{C}$ (柴油的自然温度为 270°C 左右),通常压缩终了的气体压力和温度分别用 p_c 和 t_c 表示。

四冲程机压缩过程所占的总角度 φ_{2-3} 约为 $140^\circ \sim 160^\circ$ 曲柄转角,压缩热力过程变化如

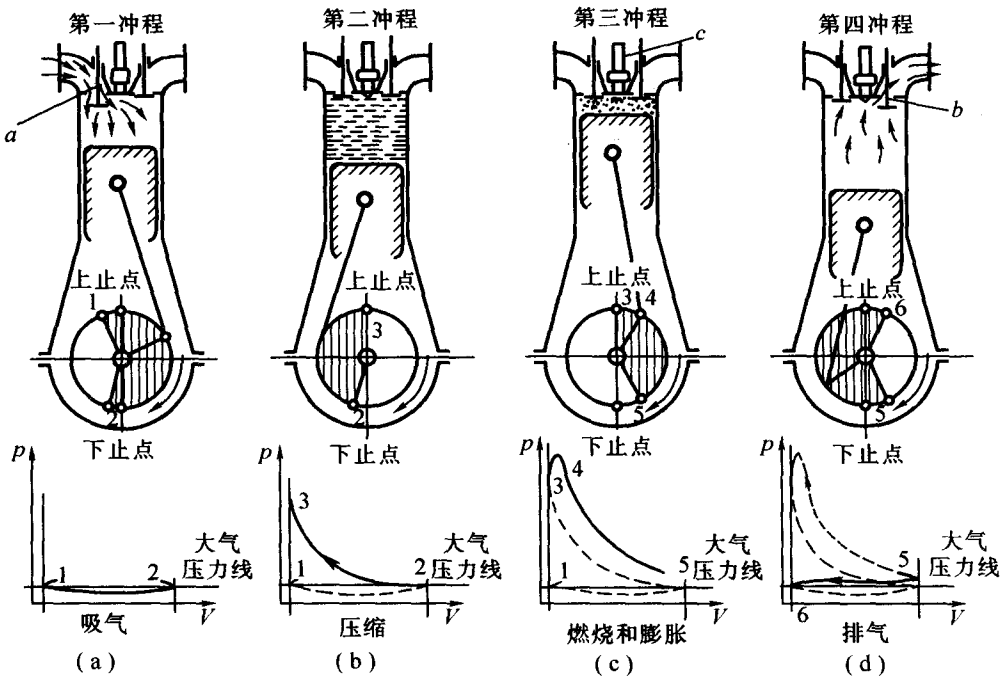


图 1-3 四冲程柴油机工作原理

图 1-3(b) 中 2-3 曲线。

第三冲程——燃烧和膨胀冲程

这一冲程的任务是完成两次能量转换。在活塞到达上止点前,燃油经喷油器 c 以雾状喷入气缸的高温高压空气中,并与其混合,在上止点附近自燃,由于燃油强烈燃烧,使气缸内气体温度迅速上升到 $1400^{\circ}\text{C} \sim 1800^{\circ}\text{C}$ 或更高些,压力增加至 $5 \sim 8 \text{ MPa}$,甚至 13 MPa 以上。燃烧产生的最高压力称最高爆发压力,用 p_b 表示,最高温度用 t_b 表示。高温高压燃气(即工质)膨胀推动活塞下行做功。在上止点后的某一时刻(曲柄位于点 4)燃烧基本结束,燃气继续膨胀,到排气阀 b 在下止点前点 5 开启时膨胀过程结束。膨胀终了时气缸内气体压力 p_b 约为 $0.25 \sim 0.45 \text{ MPa}$,温度 t_b 约为 $600^{\circ}\text{C} \sim 700^{\circ}\text{C}$ 。

四冲程机燃烧膨胀过程所占的总角度 φ_{3-4-5} 约为 $130^{\circ} \sim 160^{\circ}$ 曲柄转角。热力过程变化如图 1-3(c) 中 3-4-5 曲线。

第四冲程——排气冲程

这一冲程的任务是将做功后的废气排出气缸外,为下一循环新鲜空气的进入提供条件。这一阶段,要求废气排得越干净越好,所以与进气阀启闭一样,排气阀也是提前开启,延迟关闭。排气阀 b 开启时,活塞尚在下行,废气靠气缸内外压力差进行自由排气。从排气阀开启到下止点的曲柄转角叫做排气提前角。当活塞从下止点上行时,废气被活塞推出气缸,此时排气过程是在略高于大气压力(约 $1.05 \sim 1.1$ 大气压),且在压力基本不变的情况下进行的。排气阀一直延迟到活塞到达上止点之后(曲柄位于点 6)才关闭,这样可利用气流的惯性作用,继续排出一些废气。上止点到排气阀关闭位置的曲柄转角叫做排气延迟角。



四冲程机排气冲程所占的总角度 φ_{5-6} 约为 $210^\circ \sim 240^\circ$ 曲柄转角。其热力过程变化如图 1-3(d) 中 5-6 曲线。

柴油机经过上述四个冲程,完成了一个工作循环。活塞继续运动,另一个新的循环又按同样顺序重复进行,连续不断,使柴油机持续运转。

二、四冲程柴油机的定时

在每个工作循环中,各过程的始点与终点一般不在上、下止点上,而是偏离上、下止点一定的曲柄转角。以上、下止点为基准,用曲柄转角表示的进排气阀、喷油器、启动阀开启和完全关闭的时刻总称为柴油机的定时(正时)。

气阀启闭时刻称为配气定时,喷油器开启时刻称为喷油定时。启动阀启闭时刻称为启动定时。

各种柴油机的定时是不同的,说明书上常用表格或定时图来表示。所谓定时图,就是将柴油机的各种定时,以上、下止点为基准,按一定的转向,用曲柄转角位置来表示在同一个圆上的图形。

图 1-4 为 6350C 型柴油机定时图。曲柄转向(自飞轮端看)为顺时针。从图中可以看出其各项定时情况如表 1-1 所示。

由图 1-4 及表 1-1 可以看出,在进气上止点前后进排气阀同时开启着,这段重叠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,而且还有利于废气的清除和新空气的充入。因为此时废气因流动惯性按原方向继续排出气缸,进气阀开度尚小,故不会向进气管内倒灌,且在惯性排气时,在燃烧室内形成低压,造成抽吸气体的有利条件,可将新气吸入气缸。新气充入后又更好地将废气扫出,实行了所谓“燃烧室扫气”。新鲜的空气对燃烧室壁面能起到冷却作用。

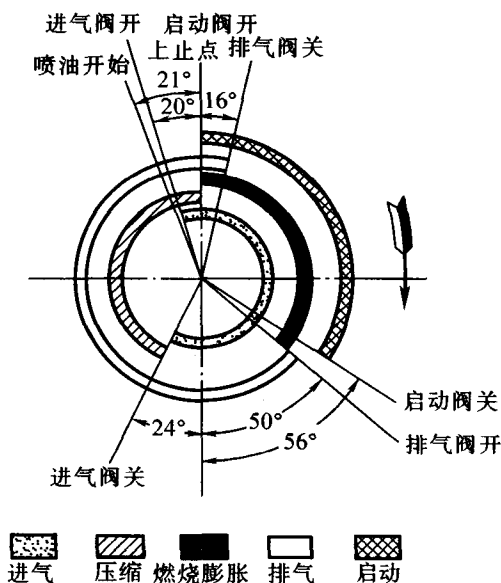


图 1-4 6350C 型柴油机定时图

表 1-1 四冲程柴油机定时(以曲柄转角计)

名称	定时	
	开启	关闭
进气阀	上止点前 20°	下止点后 24°
排气阀	下止点前 50°	上止点后 16°
重叠角	36°	
启动阀	上止点 0°	下止点前 56°
喷油器	上止点前 21°	随喷油量大小而异



第三节 二冲程柴油机的工作原理

每两个冲程(曲柄回转一周)完成一个工作循环的柴油机称为二冲程柴油机。采用它,主要是为了提高柴油机的功率。其工作循环也是由进气、压缩、燃烧、膨胀和排气五个过程所组成。它与四冲程机在具体结构及工作原理方面有较大差异。

二冲程柴油机与四冲程柴油机基本结构相同,主要差异在配气机构方面。二冲程柴油机没有进气阀,有的连排气阀也没有,而是在气缸下部开设扫气口、排气口;或设扫气口与排气阀机构。并专门设置一个由运动件带动的扫气泵,及贮存压力空气的扫气箱,利用活塞与气口的配合完成配气,从而简化了柴油机结构。

一、二冲程柴油机工作原理

二冲程柴油机有直流扫气、横流扫气和回流扫气等类型,但它们的工作原理都是相同的。图 1-5 为一种带罗茨式扫气泵的横流扫气式二冲程柴油机的工作原理图。扫气泵 b 附设在柴油机的一侧,它的转子由柴油机带动。空气从泵的吸入口 a 吸入,经压缩后排出,储存在具有较大容积的扫气箱 d 中,并在其中保持一定的压力。现以图 1-5 说明二冲程柴油机的工作原理。

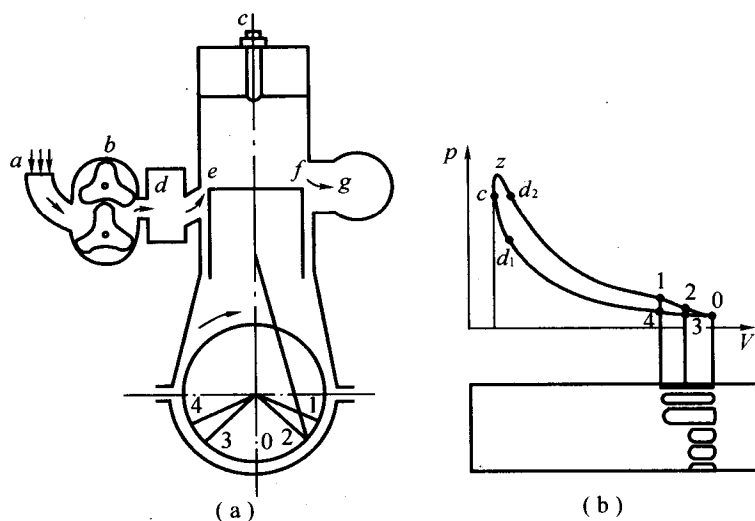


图 1-5 二冲程柴油机工作原理示意图

第一冲程——扫气及压缩

活塞由下止点向上移动,活塞在遮住扫气口 e 之前,由扫气泵供给储存在扫气箱内的空气,通过扫气口进入气缸,气缸中的残存废气被进入气缸的空气通过排气口 f 扫出气缸。活塞继续上行,逐渐遮住扫气口,当扫气口完全关闭后(相当于曲柄在点 3 位置),空气停止充入,排气还在进行,这阶段称为“过后排气阶段”。排气口关闭时(相当于曲柄在点 4 位置),气缸中的空气就开始被压缩。当压缩至上止点前 d_1 点时,喷油器将燃油喷入气缸,与高温高压的空气相混合,随即在上止点附近发火,自行着火燃烧。



第二冲程——燃烧膨胀及扫气

活塞在高温高压燃气的推动下,由上止点向下运动,对外膨胀做功,活塞下行直至排气口 f 打开(相当于曲柄在点 1 位置),膨胀做功结束。气缸内大量废气靠自身压力从排气口排入到排气管 g ,此时称为自由排气阶段。当气缸内的压力降至接近扫气压力时(一般扫气箱 d 中的扫气压力为 $0.105 \sim 0.140 \text{ MPa}$),下行活塞把扫气口 e 打开(相当于曲柄在点 2 的位置),扫气空气进入气缸,同时把气缸内的废气经排气口 f 赶出气缸。活塞运行到下止点,本冲程结束,但扫气过程一直继续到下一个冲程排气口关闭(相当于曲柄在点 4 位置)为止。

此外,从二冲程柴油机示功图上也可以看出它的工作过程,示功图尾部 $1-2-0-3-4$ 为换气过程,是在膨胀行程末和压缩行程初这一较短的时间内完成的。在上止点前 d_1 开始喷油,在上止点 c 开始燃烧,到点 d_2 时燃烧结束,这部分与四冲程机基本相同。

二、二冲程柴油机定时

与四冲程柴油机一样,二冲程柴油机也可以用定时图来表示它的各项定时时刻。图 1-6 是国产 ESDZ43/82B 型二冲程柴油机定时图,其定时和进排气重叠角的范围列于表 1-2。

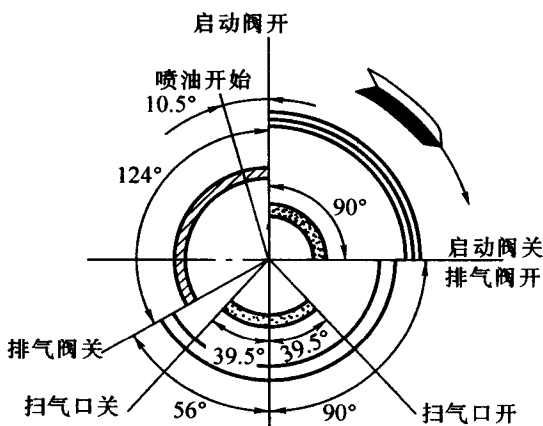


图 1-6 ESDZ43/82B 型柴油机定时图

表 1-2 二冲程柴油机定时(以曲柄转角计)

名称	定时	
	开启	关闭
扫气口	下止点前 39.5°	下止点后 39.5°
排气阀	下止点前 90°	下止点后 56°
重叠角	79°	
启动阀	上止点 0°	下止点前 90°
喷油器	上止点前 10.5°	随喷油量大小而异

三、二冲程与四冲程柴油机的比较

二冲程柴油机与四冲程柴油机相比具有如下优点。

1. 提高了柴油机的作功能力

因为四冲程柴油机曲轴转两周作一次功,二冲程柴油机转一周作一次功。对于两台气缸直径、活塞行程及转速等相同的柴油机,二冲程柴油机的功率似乎应比四冲程大一倍。但



实际上,由于二冲程柴油机气缸上开有气口而使工作容积有所减少,机械传动的扫气泵也要消耗一定的功率等因素,二冲程柴油机的功率只能增大 60% ~ 80%。显然,若两者功率相同,则二冲程柴油机的尺寸较小,质量较轻。

2. 改善了柴油机的动力性

由于二冲程柴油机曲轴每转 360°各缸做功一次,而四冲程柴油机每转 720°各缸做功一次,因而二冲程柴油机要比四冲程柴油机回转均匀,可使用较小的飞轮。

3. 简化了柴油机的结构

省去了进气阀及其传动装置。对有些二冲程柴油机,还省去了排气阀及其传动装置。所以,其维护保养就简单方便得多。

二冲程柴油机虽然有以上优点,但它也有其本身固有的缺点。

1. 换气质量差、热效率低

因为二冲程柴油机换气时间比四冲程柴油机短得多,且扫、排气几乎同时进行,所以扫气过程中新鲜空气与废气渗混严重,还有部分新鲜空气随废气一起排出,增加了空气消耗量,所以换气质量差,进而影响燃油燃烧,热能利用不充分,热效率比四冲程柴油机低。

2. 热负荷较高

在转速相同时,气缸内每单位时间的燃烧次数,二冲程机是四冲程机的两倍,因此,与气缸内高温燃气相接触部件热负荷比较高。

二冲程柴油机的上述缺点,随转速的增加,会变得更加严重。所以,大型低速柴油机采用二冲程;小型高速柴油机采用四冲程;中型中速机,四冲程、二冲程均有采用,但以四冲程机为主。

二冲程柴油机与四冲程柴油机比较,除有以上优缺点外,综合而言尚有以下特点。

1. 二冲程柴油机凸轮轴转速与曲轴转速相同;而四冲程柴油机凸轮轴转速是曲轴转速的一半,即 1:2。

2. 一个工作循环中,二冲程柴油机下行对外做功,上行则靠外力驱动,而四冲程机除燃烧膨胀冲程对外做功外,其它三个冲程都是耗功冲程。

3. 二冲程柴油机进排气重叠角大约为 80° ~ 100°,四冲程柴油机的气阀重叠角较小,约为 25° ~ 60°。

此外还可看到,柴油机的实际压缩始点并非在下止点。四冲程柴油机要到下止点后某个角度进气阀才关闭,二冲程柴油机也要到下止点后排气口(阀)关闭,压缩才开始。这时若仍以该下止点为一个基准来衡量气缸内空气被压缩程度,显然与实际情况出入较大(尤其是横、回流扫气式二冲程柴油机),因此,在柴油机中还有一个有效压缩比的概念。所谓有效压缩比是指考虑冲程损失后有效气缸总容积与压缩室容积之比,即

$$\epsilon_e = \frac{V_c + (1 - \varphi_s) \cdot V_h}{V_c} = 1 + (1 - \varphi_s) \frac{V_h}{V_c} \quad (1-4)$$

式中, φ_s 为冲程损失系数,即由于缸套上开了气口等而损失的工作冲程(或工作容积)的百分数。

前述式(1-3)称为几何压缩比,一般四冲程柴油机用 ϵ 表示缸内空气被压缩程度。而绝大多数二冲程柴油机则用有效压缩比 ϵ_e 表示。



第四节 增压柴油机的工作原理及特点

一、柴油机的增压

在柴油机尺度和质量不变的情况下,向气缸内多喷燃油显然能提高柴油机功率。但是,喷油量的增加必然需要空气量相应增加,否则喷入气缸的过量燃油会由于空气量不足而燃烧不完全,致使热量不能完全释放出来。所以,提高柴油机功率的关键在于增加空气量。要增加每循环的进气量,只要设法提高进气压力,即提高进入气缸的空气密度就行了。这种用增加进气压力来提高功率的方法称为柴油机的增压。

提高进气压力的方法,可以借助于柴油机直接带动的扫气泵来实现,以二冲程柴油机为例,如图 1-5 所示。这种增压方式称为机械增压。但由于扫气泵所消耗的功率是柴油机曲轴输出功率的一部分,因此,进气压力的提高会使柴油机消耗于扫气泵的功率增大。在进气压力超过一定值时,消耗于扫气泵的功将大大增加,将使柴油机所提高的功率几乎全部消耗在带动扫气泵本身上,因此机械式增压通常只用于扫气压力 p_k 不超过 0.16 ~ 0.17 MPa 的场合。那么,前面所述的二冲程柴油机是否属于机械增压式柴油机呢? 这里有个增压范围界定问题。一般认为扫气泵输出空气压力小于 0.15 MPa,只是用来充作扫气动力,实现扫气换气而已,并非增加气缸内空气密度。若扫气压力大于 0.15 MPa,则属于增压范围。

实践中发现,柴油机排出的废气温度还很高,燃油燃烧所放出的热量约三分之一随同废气排出。如果把废气中的能量利用起来,使之带动扫气泵工作,既能增加柴油机的功率,又可提高柴油机的经济性。为此,将柴油机排出的废气送入涡轮机中,使涡轮机高速回转来带动一离心式压气机,由它把压力较高的空气送入气缸,以实现增压。我们称这种增压方式为废气涡轮增压。目前这种增压方式在柴油机上已被广泛使用。

二、废气涡轮增压柴油机工作原理特点

图 1-7 为四冲程废气涡轮增压柴油机的工作原理图。柴油机排气管 1 接到涡轮壳 4 上,进气管 10 接到压气机壳 9 上。

柴油机排出的废气经涡轮壳 4 进入喷嘴环 2,由于环的通道面积是渐缩的,废气在其中提高速度,增加了动能。高速废气气流按一定的方向冲击涡轮 3,使涡轮高速旋转。废气的压力、温度和速度越高,涡轮转得越快。流经涡轮的废气最后排入大气。

涡轮带动同轴上的压气机叶轮 8 高速旋转,经过空气滤清器滤清过的空气被吸入叶道。高速旋转的压气机叶轮把空气甩向叶轮外缘,使其速度和压力增加,并进入扩压器 7。扩压器的形状是进口小出口大,使气流的速度下降,而压力升高。再通过断面由小到大的环形压气机壳 9,使气流的压力继续升高。最后,压力(密度)得到提高的增压空气经进气管进入柴油机的气缸,从而达到增压的目的,保证柴油机能多喷油发出更大的功率。气缸内各过程的进行情况与非增压柴油机基本一样,只是由于增压,使各工作过程的压力和温度有所提高。

由示功图 1-8 可见,增压时进气线 $r-a$ 高于排气线 $b-r$;而非增压时则相反(见图 1-3)。

图 1-9 是 6350ZC 型增压柴油机定时图。与图 1-4 非增压 6350C 型柴油机定时图比