

全国中等水产学校试用教材

渔船柴油机构造

山东省水产学校主编

轮机管理专业用

农业出版社

全国中等水产学校试用教材

渔船柴油机构造

山东省水产学校主编

轮机管理专业用

农业出版社

79414

U674.405

686

主 编: 山东省水产学校 侯学信

副主编: 旅大水产学校 孙晚水

编 者: 河北水产学校 董又新

福建水产学校 郭维贵

山东省水产学校 赵洪凯

审定者: 山东工学院 潘达微

山东工学院 徐秀兰

厦门水产学院 蔡良全

山东省渔船管理站 刘克宽

山东烟台渔轮厂 王原海

山东淄博渔轮柴油机厂 吴裕民

山东黄海造船厂 龚尤和

天津水产学校 戢守龙

山东省水产学校 常光耀

山东省水产学校 梁顺喜

全国中等水产学校试用教材

渔 船 柴 油 机 构 造

山东省水产学校主编

农业出版社出版 (北京朝内大街130号)

新华书店北京发行所发行 农业出版社印刷厂印刷

787×1092 毫米 16 开本 20.25印张 3插页 457千字

1980 年 9 月第 1 版 1981 年 12 月北京第 2 次印刷

印数 2,701—5,300 册

统一书号 15144·567 定价 1.70元

前 言

本书共分五个部分。第一部分，介绍渔船柴油机的特点、要求、分类、工作过程和有关的基本概念。第二部分，介绍渔船柴油机各主要机件的作用、要求，结合渔船柴油机典型实例分析其构造特点及柴油机各类燃烧室的结构特点。第三部分，介绍配气系统、燃油系统、润滑和冷却系统、调速器及控制系统的作用、要求、动作原理及各部件的构造。第四部分，介绍柴油机增压的基本概念，常用的几种增压方式，废气涡轮增压器的构造、工作原理、废气涡轮增压器的性能参数及型号。第五部分，介绍渔船常用典型柴油机的技术规格、构造特点及装配技术要求。供中等水产学校轮机管理专业作试用教材，也可供其他中等专业学校同类专业的学生、渔轮厂技术人员、工人和渔船轮机管理人员参考。

本书由山东省水产学校侯学信编写绪言和四、七、八、九章；旅大水产学校孙晚水编写六、十章；河北水产学校董又新编写一、五章；福建水产学校郭维贵编写二、三章；山东省水产学校赵洪凯编写附录一、二。

由于时间仓促，我们的政治和业务水平较低，书中难免有疏漏和错误之处，诚恳地希望同志们提出批评指正。

《渔船柴油机构造》编写小组

1978年12月

目 录

绪言	1
第一章 柴油机的基本概念	8
§ 1—1 柴油机的一般构造和名词解释	8
§ 1—2 四冲程柴油机的工作过程	6
§ 1—3 二冲程柴油机的工作过程	9
§ 1—4 柴油机的分类、型号及特点	13
§ 1—5 船用柴油机的功率	18
第二章 柴油机主要运动机件	21
§ 2—1 主要机件受力分析	21
§ 2—2 活塞组	23
§ 2—3 连杆组	36
§ 2—4 曲轴	43
§ 2—5 飞轮	50
§ 2—6 柴油机的扭振及减振器	50
第三章 主要固定机件	53
§ 3—1 概述	53
§ 3—2 机座和主轴承	55
§ 3—3 机体和气缸衬套	58
§ 3—4 气缸盖及其附件	65
第四章 柴油机的燃烧室	69
§ 4—1 燃烧室的作用及分类	69
§ 4—2 开式燃烧室和半开式燃烧室	70
§ 4—3 涡流室式燃烧室	73
§ 4—4 预燃室式燃烧室	76
第五章 进、排气系统	80
§ 5—1 四冲程柴油机的配气机构	80
§ 5—2 二冲程柴油机的配气机构	98
§ 5—3 进气管及空气滤清器	101
§ 5—4 排气管及排气消音器	102
第六章 燃油系统	104
§ 6—1 燃油系统的作用与要求	104
§ 6—2 燃油系统的组成及实例	105
§ 6—3 喷油泵	109
§ 6—4 喷油器	125
§ 6—5 燃油输送泵及滤清器	130
第七章 调速器	137
§ 7—1 调速器的作用、分类及应用	137

§ 7—2 机械离心式调速器·····	140
§ 7—3 刚性回动式液压调速器·····	146
§ 7—4 弹性回动式液压调速器·····	150
§ 7—5 双反馈式液压调速器·····	156
第八章 润滑与冷却系统·····	162
§ 8—1 柴油机润滑的基本原理·····	162
§ 8—2 润滑系统的作用、组成及分类·····	166
§ 8—3 “湿曲柄箱”式润滑系统·····	168
§ 8—4 “干曲柄箱”式润滑系统·····	169
§ 8—5 润滑系统主要组成部件的构造·····	171
§ 8—6 冷却系统概述·····	181
§ 8—7 开式冷却系统·····	183
§ 8—8 闭式冷却系统·····	184
§ 8—9 冷却水泵及其他附件·····	187
第九章 柴油机的控制系统·····	191
§ 9—1 柴油机的启动·····	191
§ 9—2 电动机启动装置·····	193
§ 9—3 压缩空气启动装置概述·····	194
§ 9—4 机械控制式压缩空气启动装置·····	195
§ 9—5 气压控制式压缩空气启动装置·····	198
§ 9—6 单向阀式压缩空气启动装置·····	208
§ 9—7 柴油机的换向·····	214
§ 9—8 双凸轮换向装置·····	216
§ 9—9 柴油机的操纵系统·····	234
第十章 柴油机的增压·····	240
§ 10—1 柴油机增压概述·····	240
§ 10—2 废气涡轮增压的基本概念·····	246
§ 10—3 废气涡轮增压器·····	252
§ 10—4 废气涡轮增压器性能参数和型号编制·····	265
附录一 渔船柴油机主要机型技术规格一览表·····	268
附录二 渔船柴油机典型构造实例·····	272
6300C型和6300ZC型柴油机·····	272
6260ZCZ型柴油机·····	283
8NVD36·1U型柴油机·····	288
8NVD36·1AU型柴油机·····	292
赤阪AH33型柴油机·····	293
6160A—1型柴油机·····	296
6160A—11和6160A—13型柴油机·····	302
135系列柴油机·····	303
6E150C型柴油机·····	310
4E135型柴油机·····	316

绪 言

建国以来我国的海洋渔业得到了迅速的发展，以柴油机为动力的机动渔船增加几十倍，帆船实现了机帆化。柴油机制造工业也迅速发展起来，到现在能够自行设计，自行制造从几马力到上万马力的柴油机，并研制出一些新的产品，使柴油机的某些技术指标达到和接近世界水平。

1953年，上海新中动力机厂为我国渔轮制造出第一批250马力柴油机，接着上海沪东造船厂、求新造船厂等，相继建造了一批250马力拖网渔轮，成为我国沿海各渔业公司的一支骨干力量，大大推动了我国渔洋渔业的发展。各渔轮厂先后建造了一大批400马力和600马力的拖网渔轮和灯光围网渔轮，进一步推动了我国海洋渔业的发展。目前，正在设计、建造600—1000和2000马力艀滑道渔轮，为发展远洋渔业创造了条件。

现在，我国的柴油机制造工业，从几马力至上万马力的柴油机均能自行设计、制造，并研制成功一些新型的柴油机；如：390系列二冲程柴油机，平均有效压力达12.6公斤/厘米²，135系列柴油机，平均有效压力达17.5公斤/厘米²，接近了世界水平。

我国的水产事业、造船工业和柴油机制造工业虽然有了很大的发展，但较之发达的资本主义国家，我国的造船工业和柴油机制造工业仍很年青，比世界先进水平还相差一段距离。

在十七世纪末叶，世界上有许多发明家企图设计和制造内燃机。直到1848年在费城的展览会上展出了第一台内燃机，但热效率不超过4—5%，工作非常不可靠。1861年法国工程师包·德·罗沙研制出四冲程等容燃烧的内燃机。1879年俄国海员柯斯托维奇设计了世界上第一台使用液体燃料的内燃机。1892年德国工程师鲁道夫·狄赛尔又设计了一种内燃机，他的基本理论是：“气缸内的空气被活塞强烈地压缩，致使它产生的温度远超过所使用燃料的自燃温度，而燃料输入气缸是在活塞通过上死点后陆续进行……。”目前的柴油机，基本上是按照这一理论工作的。因此，直到现在，有些人仍称柴油机为狄赛尔内燃机。

在四冲程压燃式内燃机发展的同时，在1902—1903年间，俄罗斯狄赛尔工厂开始制造二冲程柴油机。从此，开始了对二冲程柴油机的试验和研究工作。到1906年俄罗斯狄赛尔工厂制造出世界上第一台单流式扫气二冲程柴油机。1910年世界上出现了第一台双曲轴对向活塞式内燃机，1912年A.H.许列斯特提出了复合式内燃机的结构型式。

内燃机的产生到现在已接近300年的历史。在六十年代以前，国外主要发展大型低速柴油机。从六十年代开始发展所谓第一代大功率中速柴油机，其单缸功率为500马力。近几年来发展起来的所谓第二代大功率、中速柴油机，其单缸功率已达1000马力，最大单机功率已达20000马力。目前的最小气缸直径为55毫米，最大气缸直径为1060毫米。单

缸功率已达4000马力，单机最大功率已达50000马力。这种大功率中速柴油机的发展，是当前国外船舶柴油机发展的一个显著特点。它具有良好的经济性，结构紧凑，功率范围大等特点。从发展的观点看问题，大功率中速柴油机必定有相当大的发展前途。在国外有人预言，在单机功率为20000马力以下的柴油机中，大功率中速柴油机将占绝对优势。也有的人预言，今后大功率中速柴油机将会取代大型低速柴油机。

目前，世界上柴油机发展的另一个特点是，提高增压度，采用高技术指标来提高柴油机的功率，这是最有效、最有发展前途的方法。到目前为止，四冲程柴油机的平均有效压力已达24.6公斤/厘米²，二冲程柴油机的平均有效压力已达12.6公斤/厘米²，而柴油机的燃油消耗率最低已达135克/马力·小时，如菲亚特1060 S型柴油机。在增压技术方面，采用二级增压和二级冲冷器，第一级为脉冲增压，第二级为等压增压，以充分利用废气能量，提高增压度，达到提高功率的目的。

随着增压度和技术指标的提高，柴油机的功率大大提高，而单位马力的重量却大大降低。目前，柴油机单位马力的重量已降至1公斤/马力左右。

柴油机与其他内燃机比较，具有热效率高，结构紧凑，坚固耐用，功率范围广，管理维护比较简单，并能采用重质柴油作燃料等特点。因此，在船舶动力中占有相当的地位，我国渔船中，几乎全部采用柴油机作动力。

渔船柴油机构造是轮机专业一门重要的专业课程之一，主要研究柴油机的结构特点，各主要机件、各系统的作用、受力情况、要求、材料及结构原理，以及各机件各系统之间的互相联系。

通过本课程的学习，应掌握渔船柴油机的结构特点及海上作业对渔船柴油机的要求。掌握渔船柴油机各主要机件、各系统的作用、要求、受力分析、材料、结构原理及相互关系。

渔船柴油机结构是一门实践性很强的课程，又是一门既具有丰富的实践知识，又具有一定理论的学科。在学习过程中，涉及到力学、传热学、流体力学、金属工艺学、机械基础、物理等学课的内容。因此学习本课程必须坚持理论联系实际的学习方法，除课堂讲授之外，还应通过现场教学，实物观察和生产实习等教学环节，来丰富和巩固所学的内容。从认识事物的规律来看，只有熟悉柴油机的构造，掌握其基本理论，才能科学地管理和使用柴油机，才能合理的、有效的对柴油机进行维修、保养。

第一章 柴油机的基本概念

柴油机是热力发动机的一种。热力发动机简称热机，是利用自然界的能源，将燃料的化学能通过燃烧变成热能，再进一步转换成机械能的动力机械。

热机根据其能量的转换方法，有内燃机和外燃机两大类。凡是燃料在气缸外部的锅炉中燃烧，将水加热成高温高压的蒸汽，再以蒸汽为工作介质（简称工质），在气缸内膨胀作功的叫作外燃机，如蒸汽机、汽轮机。内燃机则是使燃料在气缸内部燃烧，以燃烧产生的高温高压气体为工质，在气缸内膨胀作功，如汽油机、柴油机等。现代航空发动机用的喷气式发动机，以及燃气轮机，自由活塞式发动机等，也都属于内燃机一类。在许许多多的热机之中，活塞式内燃机（汽油机、柴油机等）具有热效率高、结构紧凑、重量轻、尺寸小、功率范围广的特点，可以适用于各种不同的用途，且使用操作方便，运行安全可靠。因此，尽管世界各国都在积极的研制新型动力机械，但是活塞式内燃机在今后一定时期之内仍不失其重要性，而将进一步发展。

柴油机和汽油机相比，柴油机可以使用价格比较低廉而安全性又好的柴油作燃料。又由于压缩比高，燃气的膨胀充分，膨胀终了燃气温度低，热量利用较好，所以柴油机有较好的经济性和较高的热效率，安全性也较好，使得柴油机的应用日益广泛。当代世界上的营运船舶中，柴油机动力装置占了主要地位，新建船舶的动力装置，除了超大型船舶之外，几乎都采用柴油机，渔船则更无例外。但是由于柴油机的压缩压力和最高燃烧压力比汽油机大得多，对零件的强度就提出了较高的要求，零件的尺寸变大，加工精度较高，同时工作粗暴，噪音较大，这又是其缺点。不过，随着科学技术的发展，柴油机不断得到改进，世界各国都不断有新型的柴油机出现。

本书将着重介绍目前国内广泛使用的中等功率的中、低速渔船柴油机和使用较多的高速柴油机。

§ 1—1 柴油机的一般构造和名词解释

一、柴油机的一般构造 图1—1表示一部四冲程柴油机。它是靠曲柄连杆机构把燃料燃烧中产生的、具有高压和高温的燃气的压力转换成机械功的。也就是燃气膨胀时的压力推动活塞移动，再经过连杆和曲轴的传递，变成曲轴的转动，再向外输出机械功。

其主要部件如图1—1所示：

1. 固定部件 是柴油机的主体。包括机座、机身、主轴承、气缸套、气缸盖等。柴油机其余的零部件都要装在固定件上，有的零件以其为支承而运动。

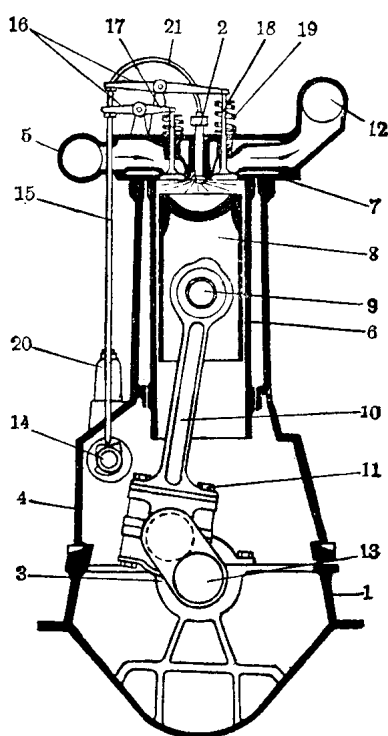


图1—1 四冲程柴油机的主要部件

- 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.高压燃烧泵 21.高
压油管

2.运动部件 柴油机能量的转换过程，主要通过运动机件完成。包括活塞组、连杆、曲轴，以及安装在曲轴端部的飞轮等。

3.配气机构 是向柴油机气缸送进柴油燃烧所必须的新鲜空气和排出燃烧后废气的机构。它与运动部件的动作协调配合，定时地进气和排气，包括有凸轮轴、顶杆、摇臂、进气阀、排气阀、气阀弹簧等。

4.燃油系统 是向气缸内喷入燃油的各部分的总称，包括燃油滤清器，输油泵，喷油泵，高压油管，喷油器等。

5.润滑系统 是指向柴油机各相对运动表面输送润滑油的系统。包括滤清器，润滑油泵以及管路和仪表等。

6.冷却系统 是指在柴油机工作时，降低机件温度，以保证正常的装配间隙和材料性能的各部件的总称。由气缸周围的冷却水腔及水泵等组成。

7.起动系统 为了使柴油机由静止状态开始运转，必须设有起动装置。起动装置的种类很多，在船用柴油机上常用的有电起动装置和压缩空气起动装置。起动装置的总称叫起动系统。压缩空气起动系统，包括空气压缩机、空气瓶、主起动阀、空气分配器、气缸起动阀等。

8.控制系统 为了控制柴油机的运转和根据航行的需要改变柴油机的旋转方向而设置的。主要包

括柴油机的换向装置，调速装置，安全装置等。

一台柴油机就是由上述这些主要零件和各部系统所组成的。随着机型的不同，柴油机的构造是有差异的。

通过上述介绍，说明柴油机的构造是比较复杂的。一台柴油机少则有数百个零件组成，多则有上万个零件组成。例如：一台6300型（600马力）柴油机，是由9075个零件组成的。

二、柴油机名词解释

1.上止点 又叫上死点，是指活塞在气缸中运动达到最上位置，也就是活塞离开曲轴中心线最远的位置。

2.下止点 又叫下死点，是指活塞在气缸中运动达到的最下位置，即活塞距曲轴中心线的最近位置。

3.冲程 也叫行程，是活塞从一个止点移动到另一个止点所经过的距离，用字母S

表示, 它等于曲柄半径的两倍 ($S = 2R$)。

4. 缸径 即气缸直径, 用字母D表示。

5. 气缸工作容积 也称为活塞排量, 是指活塞从下止点移到上止点所排开的气缸容积, 又叫冲程容积, 以 V_s 表示

$$(V_s = \frac{\pi}{4} D^2 \cdot S)$$

6. 燃烧室容积 是活塞到达上止点时, 由活塞顶、气缸壁和气缸盖底面所包围的容积。以 V_c 表示。

7. 气缸总容积 是指活塞位于下止点时活塞上方的气缸容积。以 V_a 表示 ($V_a = V_s + V_c$)。

8. 压缩比 气缸总容积与燃烧室容积之比称为压缩比, 用字母 ϵ 表示 ($\epsilon = \frac{V_a}{V_c} = \frac{V_s + V_c}{V_c} = 1 + \frac{V_s}{V_c}$) 压缩比的大小标志着内燃机工作时气缸

内气体被压缩的程度。压缩比愈大, 压缩终了时的温度和压力愈高。使燃油容易燃烧, 易于起动; 一般柴油机的压缩比在13—22这个范围内。压缩比的大小必须保证压缩终点的温度超过燃油自燃温度200—300°C。

9. 压缩室高度 也叫余隙高度或上量, 是活塞处于上止点时活塞顶平面与气缸盖底平面之间的距离, 装配柴油机时这个数据常用来控制和调整压缩比。

10. 爆发压力 一般指燃料燃烧产生的气体压力的最大值, 即最大爆发压力, 用字母 P_z 表示。

11. 平均有效压力 这是柴油机性能方面的一个重要指标, 用字母 P_e 表示。它的含义是假定有一个在整个活塞行程内大小不变的压力作用在活塞上, 使活塞在一个行程内所作的功与整个工作循环所作的有效功相等。这个假定的压力就叫平均有效压力。

船用四冲程非增压柴油机 P_e 约5.2—6.5公斤/厘米²

船用四冲程增压柴油机 P_e 约7.0—25公斤/厘米²

船用二冲程增压柴油机 P_e 约6.5—15公斤/厘米²

近年来柴油机工作过程的强化方面进展很快, 国外有人估计到1990年批量生产的柴油机转速可以达到6000—8000转/分, 平均有效压力可达到25—30公斤/厘米²。

12. 活塞平均速度 活塞在气缸中的运动是变速运动, 但为了衡量发动机的强化程度和研究其工作寿命常用其速度的平均值作为性能指标, 这个速度的平均值叫活塞平均速度。以字母 C_m 表示。

$$(C_m = \frac{S \cdot n}{30}, n\text{—转速 转/分})$$

13. 强化指标 是衡量柴油机先进水平的指标, 由活塞平均速度与平均有效压力的乘积来表示 (即用 $P_e \times C_m$ 表示)。

14. 指示功和指示功率 在柴油机气缸中进行能量转换时, 活塞完成一个工作循环所获得的功叫指示功。单位时间内所完成的指示功叫指示功率。也可以说柴油机在气缸

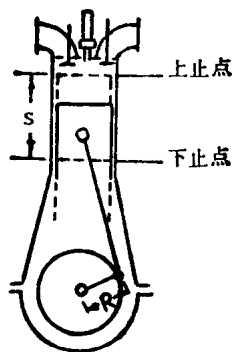


图1-2 柴油机示意图

中发出的功率叫指示功率，用符号 N_i 表示。

15. 热效率 在柴油机中燃料的热能实际上不可能全部转换为机械功。把转换为功的热量与燃料燃烧放出热量的比值叫做热效率。

16. 有效功率 柴油机气缸中发出的指示功率，一部分消耗于摩擦损失，一部分带动柴油机的附件，例如各种泵，其余传到曲轴上作为输出功率。把这部分输出功率叫做有效功率。用符号 N_e 表示。

17. 机械效率 柴油机有效功率与指示功率的比值叫机械效率，用符号 η_m 表示。

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i}$$

船用柴油机的机械效率 η_m 约在0.73—0.92范围之内。

§ 1—2 四冲程柴油机的工作过程

柴油机的工作过程，是按照一定的规律将燃料和空气送入气缸，使之在气缸内不断着火燃烧放出热能。燃烧的作用使气缸内的气体升高温度和压力，高压高温的燃气在气缸内膨胀便推动活塞做功，完成了热能向机械能的转换，而膨胀后的废气又必须及时从气缸中排出。这一系列作用，可以分成四个过程：1. 吸入新鲜空气，2. 压缩空气并喷入柴油，3. 柴油燃烧做功，4. 排出燃烧后的废气。这四个过程是不断重复进行的，每完成上述四个过程叫作一个工作循环。完成一个工作循环活塞要连续运行四个冲程（曲轴转两转）的柴油机就叫四冲程柴油机。

一、四冲程柴油机的工作原理（如图1—3所示）

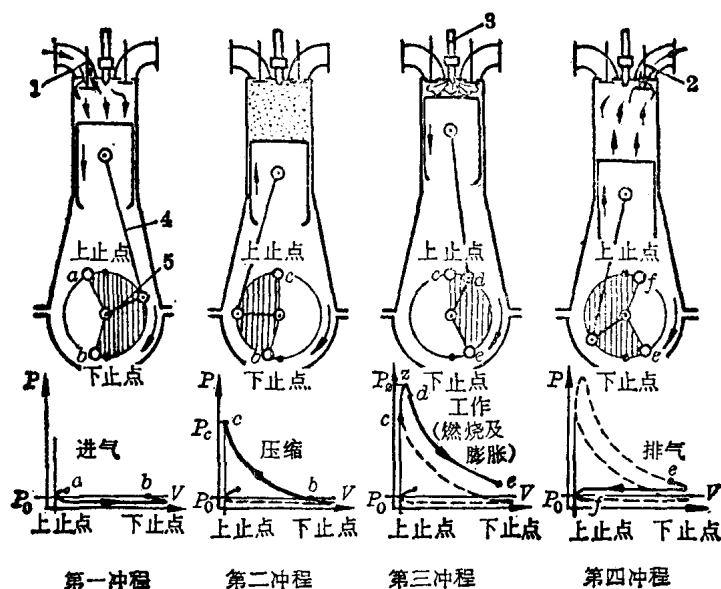


图1—3 四冲程柴油机工作原理

第一冲程（进气冲程） 活塞在旋转的曲轴带动下，从上止点下行，此时进气门打开，排气门关闭。由于气缸内的容积逐渐增大，使气缸内的压力下降到低于大气压力，在气缸内外压力差的作用下，外界新鲜空气通过进气门吸入气缸。由于进气系统有阻力，空气进入气缸后的压力低于大气压力。进气终了时气缸内的压力约为0.85—0.95公斤/厘米²。气体的温

度则高于大气温度，这是由于受高温机件和残余废气的影响所致，一般温度在40—70℃。

进气过程对柴油机工作影响很大，进气冲程结束时，气缸内充气量愈多时，可以喷入的燃油量也愈多，燃烧过程放出的能量就多，柴油机发出的功率就大。

在图1—3中标出了活塞的运动方向，气门的开闭状态，以及气缸内的作用情况。图的下方用坐标图表示出气缸容积的变化与气缸内气体压力变化之间的关系。

第二冲程（压缩冲程） 活塞自下止点上行时，进、排气门都处在关闭状态，活塞便逐渐将第一冲程吸入的空气压缩在燃烧室内，使空气的温度和压力升高。压缩终了时气缸内气体温度约在500—700℃范围内，压力为28—50公斤/厘米²。由于此时气缸内温度比柴油的自燃温度高，达到了柴油自燃的条件。所以在压缩冲程的后期，通过喷油器向气缸内喷入柴油，便着火燃烧。

第三冲程（工作冲程） 也叫膨胀冲程或爆发冲程。在压缩冲程后期喷入的柴油随即燃烧，当活塞到达上止点时，燃烧过程正迅速进行，气缸内的压力和温度急剧升高。活塞由于运动的惯性作用，越过了上止点开始向下移动时，燃气的压力达到最大值，高温高压燃气作用在活塞顶上，推动活塞下行做功。经过连杆，带动曲轴旋转，并对外输出机械功，这就是柴油机的做功冲程。这一冲程的最高燃烧压力在非增压柴油机上约为50—80公斤/厘米²，温度可达到1400—1800℃。随着膨胀作用的进行，热能变成了功，气缸内气体的压力、温度急剧下降，到膨胀终了时气缸内的压力已下降到2.5—4.5公斤/厘米²，温度降到600—900℃。

第四冲程（排气冲程） 膨胀终了的气体已失去了做功的能力，变成了废气。为使新鲜空气重新进入气缸就必须排除废气。当活塞行至下止点前，配气机构把排气门打开，废气便在气缸内外压力差作用下排出气缸，气缸内气体压力迅速下降到1.05—1.1公斤/厘米²，温度降至350—600℃。余下的废气在活塞上行时继续由打开的排气门被排出。

如上所述，进行四个冲程以后就完成了一个工作循环，如连续进行，柴油机就可以不停的工作。但是这四个冲程中只有第三冲程是做功的，其他三个冲程全是辅助过程，是需要消耗能量的。这个问题在单缸柴油机上是利用储存在回转部分的动能来解决（主要是飞轮回转储存的动能），在多缸柴油机上则主要靠其他缸的做功冲程来供给。循环开始时（即柴油机起动时）需要用外力先使曲轴转动，完成辅助过程，使柴油着火燃烧，柴油机才能正常运转。

把柴油机工作循环中气缸内气体的压力对应于气缸内容积的变化表示在坐标图上，便形成了一个封闭的图形，它表示了一个循环内气缸中工质状态的变化，把这种图形叫示功图。图中封闭曲线包围的面积就是柴油机的一个循环的指示功。示功图是在柴油机运转中由专门的仪器（示功器）绘制的（图1—4）。

图中进气冲程用曲线段a、f、b表示，a点表示进气门打开，b点表示进气门关闭。压缩冲程用线段bc表示。线段cz表示燃料燃烧时压力急剧升高的情况。ze段表示膨胀做功。ef段表示排气。e点表示排气门打开。f点表示排气门关闭。图中可以看出进排气门的开

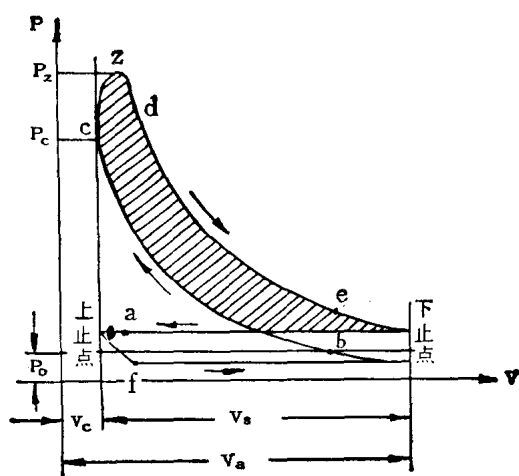


图1—4 示功图

闭时刻并非恰好在上下止点，而是早开、迟闭，这是由柴油机换气的实际过程决定的。

柴油机所能发出功率的大小，在正常运转的情况下主要取决于喷入气缸内的燃油数量和空气数量。进气量愈大，喷油量愈多，功率就愈大。为了提高进气量，除考虑进气系统的形状与尺寸等因素外，彻底清除燃烧后废气是非常重要的。前面提到的气门的早开、迟闭就是为了这个原故。下面将四冲程柴油机的实际换气过程加以说明。

二、四冲程柴油机的换气过程 换气

过程可以分为三个阶段：自由排气，强制排气和进气。

1.自由排气阶段 自由排气阶段是作功冲程后期进行的。这时燃气压力已降至3—4公斤/厘米²，对于膨胀作功已无多大作用。当活塞达到下止点以前把排气门打开就可以利用废气的压力向气缸外排气。这个提前打开排气门的时间用曲轴转角表示时叫做排气提前角。一般是在上止点前40°—80°范围内。这段时间虽然很短但因排气压力高，流速大，排出的废气量可以达到60%以上。自由排气降低了气缸内的压力，使活塞回行阻力减少，同时排气门提前开启，等到活塞经过下止点回行时，排气门已有较大开度，使排气通畅，可以提高排气效果。

2.强制排气阶段 活塞达到下止点，自由排气阶段结束。气缸内压力下降到1.2公斤/厘米²以下。此时排气门已经开大，活塞回行时便将剩下的废气进一步排出气缸。在排气冲程将要结束时，排气门也将逐渐关闭，结果使排气门的节流增加，残留废气量增多。为解决这个问题，把排气门推迟到上止点以后再关闭，避免由于节流而排气不净。一般非增压柴油机推迟10°—30°，虽然活塞已经过了上止点，仍可利用排气管内的气流惯性进一步排出废气。但推迟排气门关闭时间不能过晚，否则会引起废气的倒流。

3.进气阶段 现代柴油机的转速较高，进气冲程所经历时间极短。每分钟1500转的柴油机，进气冲只约占0.025—0.032秒的时间。在这么短的时间内使气缸充分进气是有困难的。为了改善进气过程都使进气门早开晚关。早开是为了使进气冲程开始时气阀已有足够大的开度，以减小活塞下行阻力和增加进气量，一般进气门在上止点前10°—30°开启，也就是在上一个冲程末期，这时排气门还没有关闭。这种进、排气门同时打开的情形叫作气门重叠角，约20°—60°。由于气门重叠时间很短，进气和排气流在惯性作用下各沿一定方向流动，且气阀的开度又处在较小的情况下，所以不会发生新鲜气体的流失和废气倒流进入气管的问题。

到进气冲程末期，气缸内压力一般还低于大气压力，进气门晚关就是为了使进气流依靠惯性继续进入气缸，增加充气数量，晚关的时间一般在下止点后40°—80°。

综合上述,无论进气门或排气门,在换气过程中都是早开、迟闭的。进气和排气过程都占曲轴转角 180° 以上,即都大于一个活塞冲程。大多数进、排气过程约占曲轴转角 $230^\circ\text{—}290^\circ$ 范围内,将气门的开闭时间以曲轴转角表示并绘成图形,就叫作配气定时图。图1—5是非增压柴油机和增压柴油机的配气定时的大致范围,具体机型的数据要在设计过程中确定。

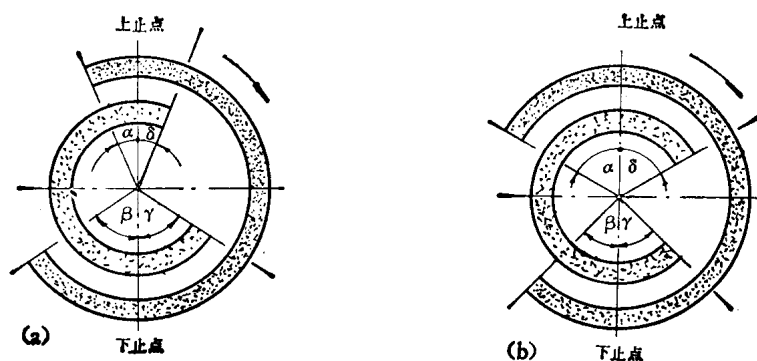


图1—5 四冲程柴油机的配气定时图

a非增压柴油机 b增压柴油机

进气提前角 $\alpha 10^\circ\text{—}30^\circ$	进气提前角 $\alpha 30^\circ\text{—}70^\circ$
进气迟后角 $\beta 40^\circ\text{—}80^\circ$	进气迟后角 $\beta 40^\circ\text{—}70^\circ$
排气提前角 $\gamma 40^\circ\text{—}80^\circ$	排气提前角 $\gamma 40^\circ\text{—}70^\circ$
排气迟后角 $\delta 10^\circ\text{—}30^\circ$	排气迟后角 $\delta 30^\circ\text{—}70^\circ$
进排气重叠角 $(\alpha + \delta) 20^\circ\text{—}60^\circ$	进排气重叠角 $(\alpha + \delta) 60^\circ\text{—}140^\circ$
进气持续角 $230^\circ\text{—}290^\circ$	进气持续角 $250^\circ\text{—}320^\circ$
排气持续角 $230^\circ\text{—}290^\circ$	排气持续角 $250^\circ\text{—}320^\circ$

§ 1—3 二冲程柴油机的工作过程

一、二冲程柴油机的概念和工作过程 二冲程柴油机工作时同样必须完成进气,压缩,做功,排气四个过程。但是与四冲程柴油机不同的是完成这四个过程,活塞只运行两个冲程(即曲轴旋转一周)。除此之外,其结构也与四冲程柴油机不同,它简化了配气机构,而在气缸的周围开有扫气口和排气口,所以构造简单。但要利用扫气泵来满足换气过程的需要,图1—6是二冲程柴油机的示意图。表示的是回流扫气式二冲程柴油机。

其工作过程如下:

第一冲程 活塞由曲轴带动时,扫气泵也同时被曲轴带动工作。活塞运动由下止点移向上止点,当活塞还未遮住扫气口以前,扫气泵送来的空气经扫气口进入气缸并形成一個回流的路线清扫废气,使废气自排气口排出,这时气缸内充入新鲜空气。活塞继续上移遮住了扫排气口,空气受压缩,开始了压缩过程。当进行到活塞接近上止点时,气缸内空气达到了柴油的自然条件便喷入柴油使之自行燃烧。这一冲程见图1—6中a和b所示。

第二冲程 在第一冲程末期喷入气缸内的柴油迅速燃烧,温度和压力剧烈增高,活

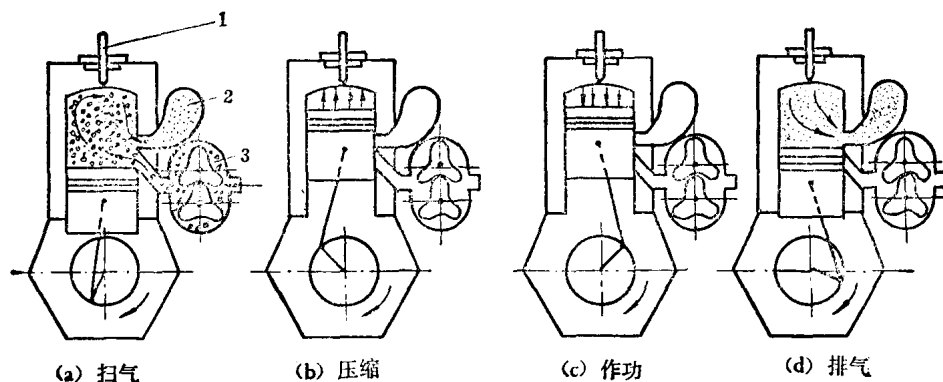


图1—6 二冲程柴油机工作原理图

1. 喷油器 2. 排气管 3. 扫气泵

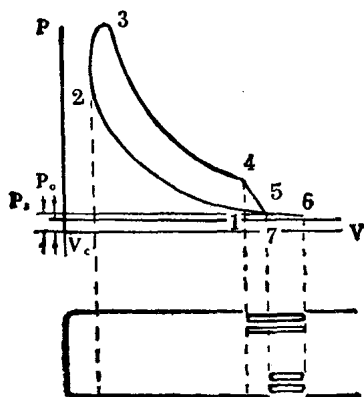


图1—7 二冲程柴油机示功图

塞被惯性带动越过上止点后燃气膨胀推动活塞做功。气缸内的压力、温度急剧下降。活塞被燃气压力推动向下到打开排气口时，废气便靠缸内外压力差的作用从排气口排出，活塞再下行打开了扫气口，扫气泵送来的空气进入气缸清扫废气，这样活塞运行两个冲程完成一个工作循环。

在整个工作循环中，气缸中工质状态的变化规律如图1—7所示的二冲程柴油机的示功图。其中曲线1、2表示压缩过程气体压力随气缸容积的减小而升高的情况。曲线2、3表示工质燃烧时压力升高。曲线3、4表示燃气膨胀做功。在点4处排气口打开，4、5段表示是自由排气阶段，点5处表示活塞打开了扫气口进行扫气，点6是下止点，点7表示活塞回行重新遮住扫气口。在扫气口开启的情况下，气缸内压力 P_s 是扫气压力（略高于大气压力 P_o ）图中5—6—7线段表示这一扫气过程，活塞继续回行遮住排气口时又回到1点重新开始压缩过程。

二、二冲程柴油机的换气 二冲程柴油机省去了单独的进排气冲程，仅在活塞到达下止点的前后很短的时间内完成进气和排气过程。进排气时间差不多只有四冲程柴油机的1/3左右。因此采用高于大气压力的新鲜空气来清扫废气，称为扫气作用。在结构参数和运转参数相同的条件下，如果扫气作用进行得好，二冲程柴油机的做功能力可以达到四冲程柴油机的1.6—1.8倍。扫气作用不好时，新鲜空气充气不足，功率就要受到影响。

二冲程柴油机的换气过程可分为自由排气和扫气两个阶段。自由排气是靠燃烧后期的气缸内外压力差排气。扫气是由扫气泵向气缸送入较高压力的空气，清扫废气并充满气缸。

扫气方式种类很多。

1. 根据新鲜气体提高压力的方法, 有曲轴箱扫气和扫气泵扫气两类。扫气泵扫气的基本构造和工作过程见图1—6。所谓曲轴箱扫气方式是把曲轴箱封闭起来, 用工作活塞的下面在曲轴箱内压缩气体用以提高扫气压力的。由于曲轴箱的体积不可能作得很小, 压缩比只能达到1.3—1.4, 泵气效率很低, 新气压力不足, 扫气作用不完善。所以这种方式只用在小型汽油机上和小功率的单缸柴油机上, 在老式船用柴油机(火头机)上有所采用, 现已淘汰。一般二冲程柴油机都利用扫气泵扫气。

2. 按扫气气流或气口配置分类有横流式扫气、回流式扫气和直流式扫气三种。图1—8表示了这三种扫气方式的常见型式。

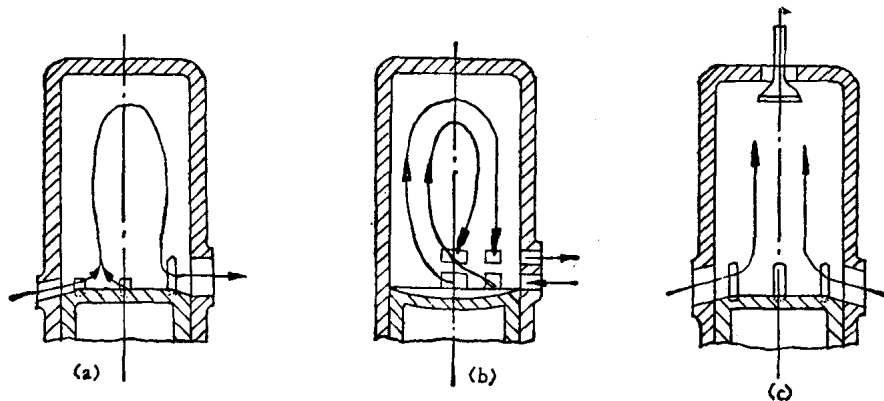


图1—8 三种扫气方式

a. 横流式扫气 b. 回流式扫气 c. 直流式扫气

(1) 横流式扫气: 结构特点见图1—8a。气口的位置布置在气缸套下部, 扫气口和排气口相对布置, 排气口位置较高。气口的开闭利用活塞在气缸中的移动控制。这种型式的扫气口一般都有一定的倾斜, 目的是为了控制扫气气流的方向可以先进入气缸上部而后再通过排气口, 以避免气体流失和减少扫气死角, 提高换气质量。扫气气流的方向就是图中箭头的方向。柴油机工作中, 膨胀过程接近结束时, 活塞打开了排气口, 靠废气压力自由排气。当气缸内压力低于扫气压力时, 由扫气泵提高了压力的空气便经扫气口进入气缸, 并清扫废气。扫气过程进行中活塞经过下止点回行关闭了扫气口时, 扫气结束, 随后排气口被活塞关闭, 开始压缩过程。

这种扫气方式构造简单, 但有以下缺点:

①扫气结束时先关闭扫气口, 后关闭排气口, 会造成新鲜空气流失(过后排气损失)。

②扫气口排气口两侧布置, 因而气缸两侧受热不同, 容易变形。

③有空气扫不到的死角和气体的涡流。

国产6ESD76/160柴油机采用这种扫气方式。但为了减少过后排气损失, 还另装有排气转阀, 以便在扫气结束时阻止新鲜空气逸出。

(2) 回流式扫气(图1—8b): 与横流式扫气基本相同, 只是扫气口与排气口布