



高级船员适任证书考试用轮机培训教材

船舶柴油机

杜荣铭 主编
钱天祉 主审

大连海运学院出版社

高级船员适应证书考试用轮机培训教材

船舶柴油机

杜荣铭

主编

钱天社

主审

大连海运学院出版社

(辽)新登字 11 号

内 容 提 要

本书是根据 1992 年 5 月中华人民共和国港务监督局《海船轮机长、轮机员考试大纲》中对船舶柴油机的知识要求编写的。本书着重介绍了船舶柴油机的基本理论知识、构造、性能和维护管理,在内容的深度与广度上力求覆盖考试大纲中对各类轮机长和轮机员的不同知识要求。书中对燃油的燃烧和喷油设备的调试与检验,柴油机增压,柴油机主要系统和装置,柴油机与螺旋桨配合以及主要部件的拆装、校中与检修等做了较详细的叙述。此外,对柴油机和轴系的振动和减振也做了简要介绍。

本书共十章,在章节的设置与顺序上基本依照考试大纲的安排。在书末还附有 1992 年《海船轮机长、轮机员考试大纲》中有关船舶柴油机部分的摘录,供学习中参考。

本书主要供参加轮机长、轮机员职务证书考试的船员学习使用,也可作为轮机长(员)培训班或船员业务学习的教材。

高级船员适任证书考试用轮机培训教材

船舶柴油机

杜荣铭 主编

大连海运学院出版社出版、发行
鞍山市第三印刷厂印装

开本:787×1092 1/16 印张:18 字数:449 千
1992 年 12 月第 2 版 1996 年 6 月第 4 次印刷

责任编辑:程策群 封面设计:王 艳

印数:14001—17000 定价:23.80 元

ISBN7-5632-0419-9/U·78

序

展现在我们面前的这套由八个分册组成的轮机培训教材,是伴随着我国高级船员适任证书考试制度的建立应运而生的。它的问世,是轮机界的专家与学者长期从事培训教学与生产管理的宝贵结晶。

目前,我国已拥有一支 1900 余万载重吨位的海洋运输船队,承担着我国与世界上 160 多个国家与地区之间的货物运输任务,其航迹之纵横,遍及全球的 600 多个港口。服务于这支船队的数万名船员,是完成这一光荣而繁重的海上运输任务的基本保证。船员队伍,特别是高级船员队伍的知识素养、技术水准与管理能力,对整个船队实现营运的安全性、经济性与科学性,对整个船队在竞争日趋激烈的世界航运市场上立于不败之地,均有举足轻重的作用。为了培养一支高质量的优秀船员队伍,采取适任证书考试制度无疑是十分必要的。

然而,要充满信心地去迎接考试,顺利过关,对于日夜奋战在管理生产第一线的轮机人员来说,亦非易事。其主要难点之一,在于选择并获得一套理想的业务培训与复习应考教材。在这方面,单凭学院式的高校教材、简略的考试大纲与感性的实践经验,都是于事不足的。而今,由高级船员适任证书考试用轮机培训教材编委会,根据中华人民共和国港务监督局《海船轮机长、轮机员考试大纲》的考试科目与知识要求,编写出这一套培训教材,实在是为我国轮机界做了一件大好事。它对于我国高级船员适任证书考试制度的顺利执行,对于广大船员业务学习的健康开展,对于我国海洋运输业的迅速繁荣,必将起到有力的推动作用,并产生积极的影响。我作为一位在轮机管理岗位上工作了数十年的老技术人员,对之额手称庆。

承编委员会之错爱,谬以为我是识途老马,嘱命赋序,乃得于是书付印之前先睹为快。我感到,这套培训教材较好体现了作为专业教材应有的科学性、系统性与先进性。具体而论,它至少有如下三大主要优点:

第一、深广度适中,具有较好的适用性。这套教材既符合考试大纲的要求,又适当考虑到新技术的发展,力求促进技术管理水平的提高。在选材取题与解释论述中,注意到人们认识事物的必然规律,由现象到本质、由具体到抽象、由感性到理性、由简单到复杂。在由浅入深,循序渐进的认识过程中,使读者对教材内容易于接受,便于掌握。难能可贵的是,教材以考试大纲为编撰的主要参照,而又不拘泥于此。因此,做到了有一定的深度而不难涩,有必要的广度而不琐乱。全套教材抓住了基本要素,主次分明,详略得宜。既能满足具有高中以上文化程度的轮机员考试培训的需要,又能遂偿广大轮机员自学提高业务技术水平的冀求。

第二、理论联系实际,具有较好的针对性。这套教材力图避免从理论到理论的泛议,而是颇为注意通过对具体的研究成果与实际问题的分析,来说明理论的意义,并引出科学的结论。相当多的例题解释与论述内容,是为读者所关心与熟悉的。通过联系实际的运算、绘图和练习,做到有的放矢,体现了学以致用。令人尤为高兴的是,其中《轮机英语》分册从轮机管理所涉及的会话、管理、修理、报表、对外联系等各方面的素材中,提炼精选出最有代表性与实用价值的内容,且可按读者需要酌配一套录音带,这对于广大船员的自学,殊为方便与有效。

第三、内容覆盖面大,具有较好的系统性。这套教材涉及专业学科众多,知识领域广泛,举

凡船舶辅机、轮机自动化、轮机管理、船舶柴油机、轮机英语、船舶电气、轮机基础理论与造船大意等悉予囊括。然而由于各册均以“轮机”为中心，容量虽大而篇幅适中，逐卷而读，当可自成体系。故这套教材既可做轮机员的自学读物，又可做培训单位的教学用书，也可做考试发证机关的命题依据。

当然，应该看到编写培训教材是一件具有特殊困难的事情。高了不成，低也不就。故这套教材也不可避免地有一些未尽人意之处，如少数内容失之偏僻，某些理论阐述略嫌费解。然这均属白璧微瑕，当无损珠辉。我相信，随着轮机管理技术之不断发展与轮机人材素质之不断提高，这套教材的修订版将会得到相应的补充与完善，而它作为广大轮机员良师益友的历史使命也将与日俱隆。

徐以介

1989.9

编 者 的 话

本书是高级船员适任证书考试用轮机培训教材之一。本书的编写大纲是根据1992年5月《海船轮机长、轮机员考试大纲》拟定的。在本书的编写中还参考吸收了近年来高级船员考试培训教学的实践经验及有关教材使用方面的意见。

本书第一章、第八章中第二、三、四节及第十章由杜荣铭编写,第二章由张朝芳、王贤玖编写,第三章由杜荣铭、吴中晃编写,第四章由王贤玖编写,第五章、第九章由鞠永顺编写,第六章、第七章及第八章第一节由张国良编写。本书由杜荣铭副教授主编,钱天祉副教授主审。

从本书编写大纲拟定到全书定稿审定过程中,承蒙港监局、远洋公司、轮船公司及兄弟院校等有实践经验的专家和同行教授的热心帮助与指导,编者在此一并致谢。

由于教材内容广泛,时间短促,编者水平有限,不当之处在所难免,恳请批评指正。

编者

1992年7月

更 名 启 事

经国家教委批准,大连海运学院已
更名为大连海事大学。经国家新闻出版
署批准,大连海运学院出版社随之更名
为大连海事大学出版社。

轮机培训教材编委会成员

(以下按姓氏笔划为序)

主任委员
副主任委员
委 员

钱耀鹏

何维扬

马玉清

陈千凯

邵其庠

张国良

浦宝康

熊 炬

吴 恒

卢景波

杜荣铭

郑风阁

钱 闵

费 千

缪 军

张维洵

刘茂东

金以铨

陆卫东

钱天祉

韩秀廷

殷佩海

孙风岐

周天声

赵兴贤

徐以介

韩寿家

汪育才

吕登有

周金根

张文才

倪 暹

程豫曾

再 版 前 言

高级船员适任证书考试用轮机培训教材出版两年多来,受到培训单位和船员的好评,普遍认为本套教材的质量较高,符合考试大纲的要求,效果明显。

鉴于中华人民共和国港务监督局在今年对《海船轮机长、轮机员考试大纲》进行了修订,编委会根据一九九二年中华人民共和国港务监督局颁布的新大纲,及时组织作者对原教材做了改写。改写后的轮机培训教材除了保持原教材有较强的针对性和较好的系统性,篇幅适中,简明扼要,以及理论密切联系实际的特点外,还按照新大纲所规定的内容做了增删,吸收了在培训过程中总结出的经验并对原教材中存在的问题和缺点做了更正。因而,改写后的这套轮机培训教材,符合新订船员考试大纲的要求,适用于海船轮机人员考证培训,也可用于渔船、舰艇轮机人员考证培训,对船员的业务学习也有裨益。

在本书再版之际,向给原教材提出意见和建议的广大读者致以谢忱,并热诚希望继续给予关心和指教。

高级船员适任证书考试用轮机培训教材编委会

1992.7

目 录

第一章 柴油机基本理论知识	1
第一节 内燃机的理论循环与柴油机的实际循环.....	1
第二节 柴油机工作原理.....	4
第三节 柴油机的换气过程、型式和特点	8
第四节 船用柴油机的类型与发展	11
第二章 主要部件	16
第一节 主要部件的工作条件与受力分析	16
第二节 活塞、气缸、气缸盖的构造	21
第三节 曲柄连杆机构	32
第四节 机架、机座和贯穿螺栓.....	42
第五节 主要部件的常见故障及排除	44
第六节 应急情况下的管理和操纵	48
第七节 主要部件的拆装、检测、校中及修理	52
第三章 燃油的喷射与燃烧	81
第一节 燃油的喷射	81
第二节 可燃混合气的形成	85
第三节 燃油的燃烧	88
第四节 喷油设备	93
第五节 喷油设备的检查与调整.....	103
第四章 主要工作指标与示功图	107
第一节 主要工作指标.....	107
第二节 柴油机动力性、经济性分析	111
第三节 示功器的结构和使用.....	114
第四节 示功图分析.....	119
第五章 柴油机的换气与增压	127
第一节 换气机构.....	127
第二节 废气涡轮增压.....	135
第三节 废气涡轮增压器.....	145
第四节 增压器的喘振和消除.....	148
第五节 增压系统的故障和维护管理.....	152
第六章 燃油与燃油系统	156
第一节 燃油.....	156
第二节 低质燃油的使用及其管理中的技术要点.....	162
第三节 燃油系统.....	164

第七章 润滑与冷却	168
第一节 润滑.....	168
第二节 气缸润滑.....	172
第三节 曲轴箱油润滑.....	177
第四节 润滑系统.....	181
第五节 冷却系统.....	186
第八章 柴油机起动、换向、调速和操纵系统	191
第一节 起动装置.....	191
第二节 换向装置.....	197
第三节 调速装置和超速保护装置.....	201
第四节 操纵系统.....	212
第九章 柴油机和螺旋桨特性	216
第一节 柴油机的特性.....	216
第二节 柴油机与螺旋桨的配合.....	227
第三节 柴油机功率和转速使用范围.....	229
第十章 柴油机和轴系的振动	233
第一节 活塞连杆的运动和曲柄连杆机构的作用力.....	233
第二节 柴油机的振动与平衡.....	236
第三节 轴系的扭转振动.....	243
第四节 轴系扭转振动的减振措施.....	252
附录:1992年《海船轮机长、轮机员考试大纲》船舶动力装置(柴油机)部分	258

第一章 柴油机基本理论知识

第一节 内燃机的理论循环与柴油机的实际循环

一、概述

1. 热机

柴油机是内燃机的一种,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、蒸汽轮机以及蒸汽机是热机中较典型的机型。

蒸汽轮机与蒸汽机同属外燃机。在该类机械中,燃烧(将燃料的化学能转变成热能)发生在气缸的外部(锅炉),热能转变成机械能发生在机器内部。在动力工程中此类机器统称为外燃机。外燃机由于热能需经某中间工质(蒸汽)传递,必然存在热损失,所以它们的热效率不高,在能源问题十分突出的当前它无法与内燃机竞争。

2. 内燃机

汽油机、柴油机以及燃气轮机同属内燃机。虽然它们的机械运动形式不同(往复、回转),但具有相同的工作特点——都是燃料在发动机气缸中燃烧,直接利用燃料产生的高温高压燃气在气缸中膨胀做功。可见在内燃机中,燃料的化学能通过燃烧转变成热能、热能通过燃气膨胀转换为机械能的两次能量转换都发生在气缸内部。在动力工程中此类发动机统称内燃机。显然,从能量转换观点看,内燃机能量损失小,具有较高的热效率。另外,在尺寸和重量等方面也均具有优越性,因而在与外燃机的竞争中处于有利地位。

在内燃机中根据所用燃料的不同,可大致分为汽油机、煤气机、柴油机、燃气轮机等。它们都具有内燃机区别于外燃机的基本特点(共性),但又都具有各自的工作特点(个性)。由于这些个性的不同,它们在工作原理、工作经济性以及使用范围上均有差异。如汽油机使用挥发性好的汽油作燃料,采用外部混合法(汽油蒸气与空气在气缸外部通过汽化器进行混合)形成可燃混合气,缸内的燃烧为电火花塞点火式。这种工作特点限制了汽油机的工作经济性不能大幅度提高(因压缩比不能太高),而且也不允许做为船用发动机使用(有火灾危险性)。但汽油机广泛应用于运输车辆。

3. 柴油机

柴油机是一种压缩发火的往复式内燃机。它使用柴油或劣质燃油做燃料,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,缸内燃烧采用压燃式(靠缸内空气压缩形成的高温自行发火)。这些特点使柴油机在热机范畴内具有最高的热效率,而且允许做为船用发动机使用。因而柴油机在工程界应用十分广泛。尤其在船用发动机中,柴油机取得了绝对领先地位。根据英国劳氏船级社统计,1985年全世界建造的船舶中(2000吨以上)以柴油机做为推进装置者占99.89%,而到1987年柴油机船舶为100%。这是由于柴油机在船舶动力装置中具有以下突出优点:

- ①经济性好,有效热效率可达50%以上,可使用价廉的重油,燃料费用低。
- ②尺寸小、重量轻,有利于船舶机舱布置。
- ③机动性好,启动方便,加速性能好。有较宽的转速和负荷调节范围,并可直接反转。能适

应船舶航行的各种要求。

同时,柴油机也具有某些缺点:

- ①存在着振动、扭转振动和噪音。
- ②某些部件的工作条件恶劣:高温、高压并有冲击性负荷。

4. 基本术语

表示柴油机工作原理的常用几何术语有(见图 1-1):

①上止点 活塞在气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。

②下止点 活塞在气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。

③活塞行程 S 指活塞从上止点运行到下止点间的直线距离,简称行程。它等于曲轴曲柄半径 R 的两倍。活塞运行一个行程时曲轴转动 180° 。

④气缸直径 D 气缸的内径,简称缸径。

⑤压缩容积 V_c 活塞在气缸内位于上止点时,在活塞顶上方的全部空间容积。

⑥气缸工作容积 V_h 活塞在气缸中从上止点运行到下止点时所扫过的容积。显然 $V_h = \frac{\pi}{4} D^2 S$ 。

⑦气缸总容积 V_a 活塞在气缸内位于下止点时,活塞顶以上的气缸全部容积。显然 $V_a = V_h + V_c$ 。

⑧压缩比 ϵ 气缸总容积 V_a 与压缩容积 V_c 之比值,亦称几何压缩比。 $\epsilon = \frac{V_a}{V_c} = \frac{V_h + V_c}{V_c} = 1 + \frac{V_h}{V_c}$ 。柴油机的 ϵ 值范围约为 $12 \sim 18$ 。中、高速柴油机的 ϵ 高于低速机。

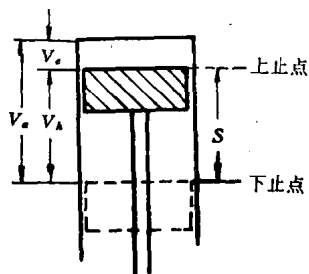


图 1-1 柴油机的主要几何术语

二、内燃机理论循环

内燃机的实际循环是一个十分复杂的物理化学变化过程,为了便于研究,通常多从研究理论循环着手。理论循环是人们根据实际工作过程的特点,将其抽象和简化,概括为由几个基本热力过程组成的一种循环。研究理论循环的目的首先在于用比较简单的理论公式说明各基本热力学参数间的关系,以便于发现提高理论循环热效率 η_{th} 和理论平均压力 p_{th} 的基本途径;其次用来判断实际循环的经济性和工作过程的完善程度;最后是为了便于比较各种热力循环的经济性和动力性。

由热力学可知,内燃机有三种理论循环:等容加热循环、等压加热循环及混合加热循环,如图 1-2 所示。等容加热循环又称奥托(Otto)循环(图 a),是由绝热压缩过程 $a-c$ 、等容加热过程 $c-z$ (向高温热源吸热 Q_1)、绝热膨胀过程 $z-b$ 和等容放热过程 $b-a$ (向低温热源放热 Q_2) 等组成的。汽油机主要按等容加热循环工作。等压加热循环(图 b)的加热量 Q_1 是在等压下($c-z$)加入的;而混合加热循环(图 c)的加热量 Q_1 是在等容过程($c-z'$, 加热量 Q_c)和等压过程($z'-z$, 吸热量 Q_p)加入的。其它过程同等容加热循环。现代柴油机按混合加热循环工作。

根据热力学理论可知,理论循环的 $p-V$ 图面积 $a-c-z'-z-b-a$ 表示一个循环对外作理论功 W_{th} 的大小。相应的热量为 $Q_1 - Q_2$ 。理论循环的热效率 η_{th} 和平均压力 p_{th} 可写成:

$$\eta_{th} = 1 - \frac{\lambda \rho^k - 1}{\epsilon^{k-1} [(\lambda - 1) + k\lambda(\rho - 1)]}$$

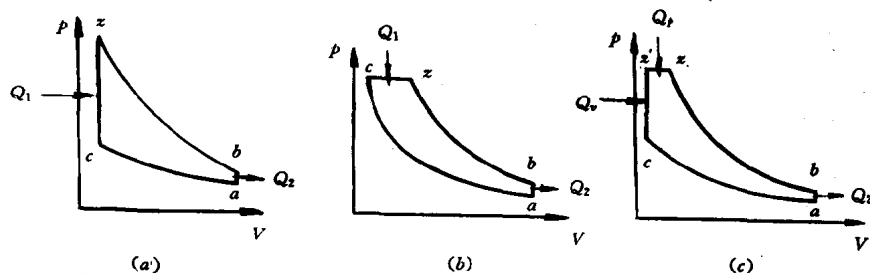


图 1-2 内燃机理论循环

(a) 等容加热循环; (b) 等压加热循环; (c) 混合加热循环

式中: ϵ ——压缩比, $\epsilon = \frac{V_a}{V_c}$;

λ ——压力升高比, $\lambda = p_z / p_c$;

ρ ——初期膨胀比, $\rho = V_z / V_c$;

k ——空气的绝热指数。

$$p_{th} = \frac{W_{th}}{V_h} = \frac{p_a Q_1}{RT_a} \eta_{th}$$

式中: V_h ——气缸工作容积;

p_a ——压缩始点空气压力;

T_a ——压缩始点空气温度;

R ——气体常数。

对理论循环的 η_{th} 和 p_{th} 进行热力学分析, 可得到以下结论:

① 增加压缩比 ϵ 可提高工质的最高温度, 提高膨胀比, 因而可提高热效率 η_{th} , 但其提高率随 ϵ 的增大而降低;

② 增大 λ 可增加等容加热量 Q_v , 因而可提高 η_{th} ;

③ 增大 ϵ 和 λ , 同时将提高最高循环压力 p_z ;

④ 增大 ρ 可提高理论循环的平均压力 p_{th} , 但因膨胀比降低而使 η_{th} 降低;

⑤ 增大绝热指数 k 可提高 η_{th} ;

⑥ 增大压缩始点压力 p_a 、循环加热量 Q_1 和 η_{th} , 降低压缩始点温度 T_a , 可提高 p_{th} 。

以上各点结论虽然是从研究理论循环中导出, 但至今仍具有指导意义和实用价值。

三、柴油机的实际工作循环

在柴油机的实际工作循环中存在着许多理论循环中不曾考虑的损失, 使实际工作循环无论如何也达不到理论循环那样高的工作指标。为了改善实际循环, 减少与理论循环指标的差异应分析比较两种循环的差异所在以及引起各种损失的原因。

1. 工质的影响

理论循环中的工质是理想气体, 而实际循环中的工质是空气和燃烧产物。由于空气和燃烧产物在循环中成分的变化、比热的变化以及在高温下的分解等因素的影响, 使得在同样加热量下, 实际循环的作功能力和热效率明显下降。但这一因素对实际循环的影响很难在管理中加以改变。

2. 燃烧损失

理论循环中工质的高温高压是由从高温热源吸入热量 Q_1 达到,而在实际循环中是由燃料的燃烧达到,由此必然存在着在膨胀中仍进行燃烧的后燃现象以及因供气不足而存在的燃烧不完全现象。

3. 气缸壁的传热损失

理论循环中不计工质与气缸壁间的热交换而简化为绝热压缩和绝热膨胀。实际循环中无论在压缩过程或膨胀过程,缸内工质与缸壁之间均存在着复杂的热交换过程,而且其总趋势是前者向缸壁散热,后者工质被加热。

上述燃烧损失以及燃烧过程中的散热损失使得燃料的热量不能充分利用。为了从量上研究柴油机的燃烧过程而引入了热利用系数的概念,它表示燃烧过程中燃料低热值能够被有效利用的比例。通常,对船用柴油机主燃烧期终点的热利用系数约为 0.75~0.85。压缩与膨胀过程中的散热损失降低了实际循环的作功能力及热效率。

4. 换气损失

理论循环是由热源混合加热和向冷源等容放热,无需进行工质替换。而实际循环必须排出废气并吸入新鲜空气。在排气中由排气阀提前开启而损失的膨胀功以及进、排气过程所消耗的功即为换气损失,显然换气损失也降低了实际循环的作功能力。

5. 其它损失

如工质漏泄损失、工质的涡动损失,以及因实际燃烧速度与活塞高速运动间的配合不当而偏离理论的等压加热、等容加热过程等,均造成实际循环作功能力下降。

第二节 柴油机工作原理

柴油机的基本工作原理是采用压缩发火方式使燃料在气缸内部燃烧,以高温、高压的燃气工质在气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,从而带动工作机械。

根据柴油机的工作特点,燃油在柴油机气缸中燃烧作功必须通过进气、压缩、燃烧、膨胀和排气五个过程。包括上述五个过程的全部热力循环过程称为柴油机工作过程;包括上述五个过程的周而复始的循环叫工作循环。

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、四冲程柴油机工作原理

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。

第一行程——进气行程。活塞从上止点下行,进气阀 a 已打开,由于气缸容积不断增大,缸内压力下降。依靠缸内气体与大气的压差,新鲜空气经进气阀被吸入气缸。进气阀一般均在活塞到达上止点前即提前打开(曲柄位于点 1),活塞到下止点后延迟关闭(曲柄位于点 2)。曲轴转角 φ_{1-2} (图中阴影线所占的角度)为进气过程,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 a 关闭(曲柄到达点 2)开始压缩,一直到活塞到达上止点(曲柄到点 3)为止。第一行程吸入的新鲜空气经压缩后,压力增高到 $3 \sim 6 \text{ MPa}$ (约 $30 \sim 60 \text{ kgf/cm}^2$),温度升至 $600 \sim 700^\circ \text{C}$ (燃油的自燃温度为 $210 \sim 270^\circ \text{C}$)。

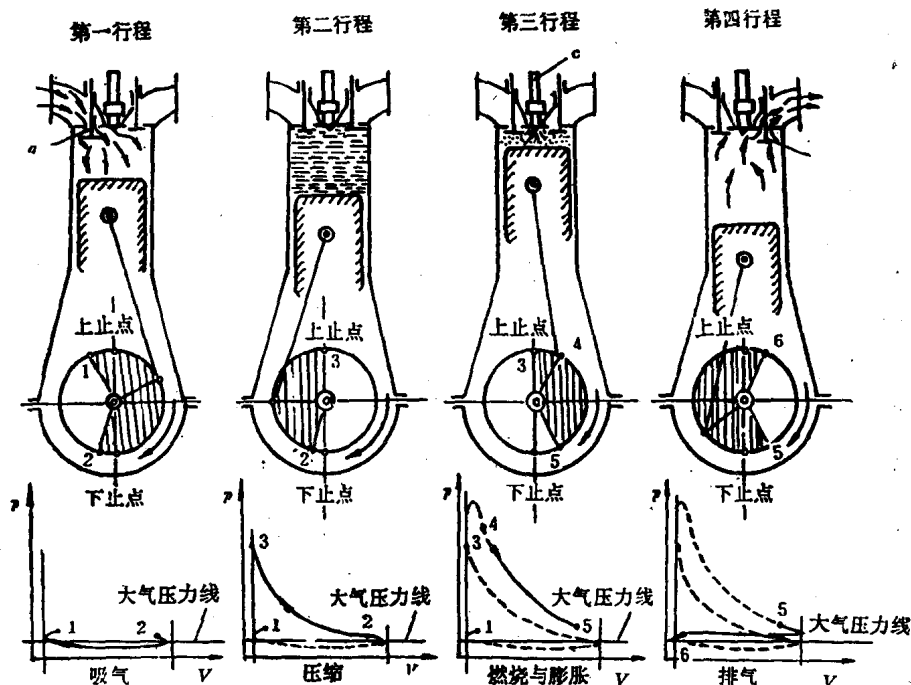


图 1-3 四冲程柴油机工作原理

将压缩终点时的压力和温度分别用符号 p_c 和 t_c 表示。在压缩过程的后期由喷油器 c 喷入气缸的燃油与高温空气混合、加热，并自行发火燃烧。曲轴转角 φ_{2-3} 表示压缩过程，约为 $140^\circ \sim 160^\circ$ 。

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，使气缸内的压力和温度急剧升高，压力约达 $5 \sim 8 \text{ MPa}$ ，甚至 13 MPa 以上，温度约为 $1400 \sim 1800^\circ \text{C}$ 或更高些。将燃烧产生的最高压力称最高爆发压力，用 p_z 表示，最高温度用 t_z 表示。高温高压的燃气（即工质）膨胀推动活塞下行而作功。由于气缸容积逐渐增大使压力下降，在上止点后的某一时刻（曲柄位于点 4）燃烧基本结束。膨胀一直到排气阀 b 开启时结束。膨胀终了时的缸内气体压力 p_b 约为 $0.25 \sim 0.45 \text{ MPa}$ ，温度 t_b 约为 $600 \sim 700^\circ \text{C}$ 。与进气阀相同，排气阀 b 总是在活塞到达下止点前提早开启（曲柄位于点 5）。曲轴转角 φ_{3-5} 表示燃烧和膨胀过程。

第四行程——排气行程。在上一行程末，排气阀 b 开启时，活塞尚在下行，废气靠气缸内外压力差经排气阀排出。当活塞由下止点上行时，废气被活塞推出气缸，此时的排气过程是在略高于大气压力（约为 $1.05 \sim 1.1$ 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后（曲柄位于点 6）才关闭。排气过程用曲轴转角 φ_{5-6} 表示，约为 $230^\circ \sim 260^\circ$ 。

进行了上述的四个行程，柴油机就完成了个工作循环。当活塞继续运动时，另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循环，曲轴要回转两转。在每四个行程中只有燃烧和膨胀行程对外作功，其它三个行程都是为膨胀行程服务的，都要由外界供给能量。柴油机常做成多缸的，这样，进气、压缩和排气行程所需的能量可由其它正在作功的气缸供给。如果是单缸柴油机，则由较大的飞轮供给能量。

图 1-3 下方的 $p-V$ 图表示出一个工作循环内气缸中气体的压力随活塞位移（或气缸容

积)变化的情形。此图形称 $p-V$ 示功图。示功图可用来研究柴油机工作过程进行的情况,并可用来计算柴油机一个工作循环的指示功。

四冲程柴油机的进、排气阀的启闭都不正好在上、下止点处,而是在上、下止点的前后某一时刻。它们的开启角都大于 180° 曲轴转角。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、下止点前后的曲轴转角表示,分别称为进(排)气阀提前、滞后角。用曲轴转角表示气阀正时的圆图称为气阀正时圆图,如图 1-4 所示。在图 1-4 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 $\varphi_i = \varphi_1 + 180^\circ + \varphi_2$ 。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 $\varphi_e = \varphi_3 + 180^\circ + \varphi_4$ 。气阀的提前开启和滞后关闭是为了将废气排除干净和增加空气的吸入量,以利于燃油的燃烧。气阀正时是影响四冲程柴油机作功的重要因素。

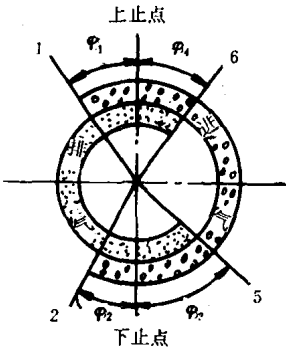


图 1-4 气阀正时圆图

由图 1-4 可以看出,在上止点前后进、排气阀同时开启着,这段重叠的曲轴转角称为进、排气重叠角(亦称气阀重叠角)。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,而此时进气阀开度尚小,废气不会向进气管倒灌。同时,当废气由于惯性排出时,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。新气充入后又可更好地将废气扫出,实现了所谓燃烧室扫气。

柴油机气阀正时和气阀重叠角的范围列于表 1-1。

四冲程柴油机气阀重叠角

表 1-1

名 称	非 增 压		增 压	
	开 启	关 闭	开 启	关 闭
进 气 阀	上止点前 $15^\circ \sim 30^\circ$	下止点后 $10^\circ \sim 30^\circ$	上止点前 $40^\circ \sim 80^\circ$	下止点后 $20^\circ \sim 40^\circ$
排 气 阀	下止点前 $35^\circ \sim 45^\circ$	上止点后 $10^\circ \sim 20^\circ$	下止点前 $40^\circ \sim 55^\circ$	上止点后 $40^\circ \sim 50^\circ$
重 迭 角	$25^\circ \sim 50^\circ$		$80^\circ \sim 130^\circ$	

二、二冲程柴油机工作原理

通过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,于气缸下部开设扫、排气口或设扫气口—气阀(即气口—气阀机构),并专门设置一个扫气泵。先将空气吸入泵内压缩,使压力提高到高于大气压力,再从扫气口进入气缸驱扫废气,使废气从排气口(阀)排出,完成气缸内的排气和进气过程。因此能使柴油机的排气、进气过程缩减到只占活塞行程的很小一部分。

图 1-5 为一种采用特设罗茨式扫气泵的二冲程柴油机工作原理图。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,经压缩后储存在具有较大容积的扫气箱 d 中。并在 d 中保持一定的压力($105 \sim 140 \text{ kPa}$)。在柴油机膨胀行程中,柴油机活塞下行,先将排气口 f 打开(曲柄在点 1 位置),缸内的废气经排气口 f 泄入到排气管 g 。当缸内压力降至接近扫气压力时,活塞下行把扫气口 e 打开(曲柄在点 2 位置),扫气空气由 d 经扫气口进入气缸进行扫气。于是进气与排气同时进行,一直到活塞经下止点并转而向上运动把扫气