

海船水手机工适任培训教材

机工业务

主 编 王迎新 刘 伟
副主编 尹 峰 左春宽
主 审 吴桂涛

大连海事大学出版社

序

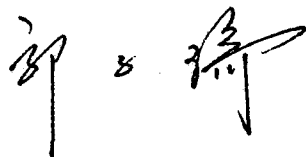
为全面、充分履行经 1995 年修正的 STCW 公约，我国海事主管机关（中国海事局）于 1997 年开始重新修订并颁布了一系列新的船员教育和培训大纲，组织编写了相应的培训教材；2002 年重新颁布了海船水手、机工适任培训纲要，一些船员教育培训机构也自行编制了培训讲义和教材。这些举措对提高我国船员整体素质，展示我国履行 STCW 公约成果具有重要的意义。

随着航运业的发展、科技水平的提高、船舶配员的国际化、各国对海上安全和海洋环境的高度关注以及对人为因素的日益重视，国际公约、港口国监督、国内相关法规和规则更新步伐明显加快，海船值班机工与值班水手适任培训教材的内容落后于时代的发展。

为适应海事新理念、航海新技术的更新以及履行 STCW 公约的需要，辽宁海事局与大连海事大学轮机工程学院和航海训练与研究中心合作进行课题研究，精心编制出版了海船值班机工与值班水手适任培训系列教材。这套教材经过多次研讨，几易其稿，历时一年，全面综合多年船员教育培训、评估和考试的实际经验，并充分征求和吸收了中远集团、中海集团等航运企业资深水手长、机工长的宝贵意见和建议。该教材以适岗适任为出发点和落脚点，既考虑教材的系统性、理论性，又兼顾培训的针对性、实用性，具有内容丰富、数据翔实、通俗易懂的职业培训特点。

本教材可作为我国海事管理机构、船员培训机构及船员了解、学习和精通船舶水手和机工业务的重要资料；同时对指导船员教育培训，提升我国海员在国际劳务市场中的竞争力，进一步扩大我国海员劳务外派的规模具有积极的意义。

辽宁海事局副局长、教授、高级船长：



前 言

自1990年开展水手、机工职业培训以来,我国海事主管机关(中国海事局)于2002年重新颁布了《中华人民共和国海船水手、机工适任培训、考试和发证管理办法》(海船员[2002]27号)(以下简称《办法》),以进一步加强和提高海船机工、水手的职业素质和专业技能,规范海船机工、水手适任培训、考试、评估和发证的管理工作。

针对目前培训教材不统一且各教材均不能完全适应当前培训和训练的需要,辽宁海事局和大连海事大学共同进行了值班水手、机工适任培训、评估和考试规范化研究课题,并根据长期从事船员培训、评估和考试管理的经验,组织编写了海船水手与机工适任培训教材。本系列教材由《水手值班与业务》、《水手工艺》、《水手英语》、《机工业务》、《金工基础工艺》及《机工英语》六本书组成。本系列教材依托《办法》,涵盖了其理论和实操的全部内容,但又不完全受《办法》的桎梏,以船舶岗位需求为目标,体现了提升学员实践技能为主的职业教育特点。本教材可作为我国海事管理机构、船员教育和培训机构、航运公司的参考资料;也可作为船员学习、自学的培训教材和在船的业务参考。

在调研、编写过程中,辽宁海事局数次组织了大连海事大学航海训练与研究中心和轮机工程学院的教师以及航运企业资深船长、轮机长、水手长和机工长召开研讨并征求意见。中海国际船舶管理有限公司大连分公司林成掇船长、朱宝龙、马志成轮机长,大连远洋运输公司于事江水手长、赵振国机工长等对本系列图书编写的体例及具体内容提出了许多有益的建议和意见;在出版过程中,大连海事大学出版社武元凯社长、时培育副社长、姚文兵主任给予了大力支持和帮助,在此一并表示衷心感谢。

《机工业务》由王迎新、刘伟主编,尹峰、左春宽任副主编,吴桂涛主审。参加编写的有张跃文、李文双、武占华、刘伟、李龙飞、王宝君、张兴彪、蒋福伟、孟维明、邢辉、马志成。

由于编者水平有限,不当之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

二〇〇七年十二月

目 录

第一编 船舶柴油机

第一章 柴油机的工作原理	(1)
第一节 柴油机概述	(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	(5)
第二章 柴油机的结构及主要部件	(9)
第一节 燃烧室部件	(10)
第二节 曲柄连杆机构	(31)
第三节 柴油机的主要固定部件	(39)
第三章 燃油喷射系统与喷油设备	(46)
第一节 燃油喷射系统	(46)
第二节 喷油设备	(47)
第三节 喷油设备的检查调整与维护管理	(57)
第四章 柴油机的换气机构	(61)
第一节 气阀机构	(61)
第二节 气阀传动机构	(64)
第三节 凸轮轴与凸轮轴传动机构	(65)
第四节 换气机构的故障和管理	(68)
第五章 柴油机系统	(70)
第一节 燃油系统	(70)
第二节 润滑系统	(75)
第三节 冷却系统	(81)
第四节 压缩空气启动系统	(86)
第六章 船用分油机	(89)
第一节 分油机的工作原理	(89)
第二节 分油机的排渣、排水工作过程	(90)
第三节 分油机的运行管理	(94)
第七章 柴油机运转管理	(100)
第一节 备车与机动操纵	(100)
第二节 运转中的管理与完车	(103)
第三节 封缸运行	(106)
第四节 停增压器运转	(109)
第五节 拉缸	(110)

第六节	敲缸	(112)
第七节	扫气箱着火	(113)
第八节	曲轴箱爆炸	(115)
第九节	烟囱冒火	(116)
第十节	连杆螺栓断裂	(117)

第二编 船舶辅助机械

第一章	船用泵	(119)
第一节	船用泵总述	(119)
第二节	往复泵	(120)
第三节	齿轮泵	(123)
第四节	螺杆泵	(125)
第五节	离心泵	(127)
第六节	喷射泵	(132)
第二章	船用空气压缩机	(134)
第一节	空压机的基本结构和工作原理	(134)
第二节	空压机结构与管理	(135)
第三章	船舶锅炉	(138)
第一节	船舶锅炉概述	(138)
第二节	船舶锅炉结构	(138)
第三节	锅炉燃烧装置	(145)
第四节	锅炉的汽、水系统	(149)
第五节	船舶辅锅炉的运行管理	(151)
第四章	甲板机械	(155)
第一节	舵机	(155)
第二节	起货机	(158)
第三节	锚机和绞缆机	(161)
第五章	船舶制冷装置与空调装置	(163)
第一节	船舶制冷装置的基本概念	(163)
第二节	船舶制冷装置的组成及主要部件	(165)
第三节	船舶制冷装置的管理	(169)
第四节	船舶空调装置	(173)

第三编 船舶管理

第一章	船舶管理相关公约和法规	(178)
第一节	《国际海上人命安全公约》(SOLAS 公约)	(178)
第二节	《海员培训、发证和值班标准国际公约》	(179)

第三节	国际劳工组织(ILO)相关公约条款	(180)
第四节	我国《劳动法》的有关规定	(181)
第五节	我国《船员条例》相关规定	(182)
第六节	《国际船舶和港口设施保安规则》	(188)
第七节	港口国监督和船舶安全检查	(190)
第二章	船舶轮机人员管理	(194)
第一节	海船船员值班规则	(194)
第二节	船员职责与制度	(200)
第三节	船员证书及出入境管理	(208)
第三章	船舶管路系统的管理	(211)
第一节	船舶管路及附件的组成和作用	(211)
第二节	船舶辅助管系	(221)
第四章	轮机部物料和工具管理	(234)
第一节	轮机部物料的管理	(234)
第二节	轮机部工具的管理	(235)
第五章	船舶防污染	(237)
第一节	《MARPOL 73/78 公约》的主要内容及其修正案	(237)
第二节	《中华人民共和国海洋环境保护法》及《防止船舶污染海域管理条例》	(242)
第三节	防止船舶污染海域的措施	(246)
第四节	船舶污染海域事故的处理	(253)
第六章	轮机安全运行与应急处理	(255)
第一节	轮机部操作安全注意事项	(255)
第二节	船舶搁浅、碰撞后的应急措施	(259)
第三节	大风浪时轮机部安全管理	(261)
第四节	机舱应急设备的使用及管理	(262)
第五节	船舶应变部署	(264)
第六节	船内通信系统	(269)

第四编 轮机电工知识

第一章	船舶电站	(271)
第一节	船舶电力系统	(271)
第二节	船舶电站	(273)
第三节	发电机组的并联运行	(276)
第四节	发电机的保护	(278)
第二章	常用电工仪表及安全用电常识	(282)
第一节	常用电工仪表	(282)
第二节	安全用电常识	(285)
参考文献		(289)

第一编 船舶柴油机

第一章 柴油机的工作原理

第一节 柴油机概述

一、柴油机

柴油机是以柴油或劣质燃料油为燃料,压缩发火的往复式内燃机。为了使燃料获得燃烧所需的空气,柴油机就必须具有进气过程。在柴油机中,燃油不是靠外界火源点燃的,而是在高温条件下自行发火燃烧的,所以进入气缸的空气还必须达到足够高的温度。这是通过压缩过程实现的。在压缩终点,将雾化的燃油喷入高温、高压的空气中,就能发火燃烧。燃油燃烧后放出的大量热能,使燃气的温度和压力急剧升高,推动活塞膨胀作功,产生动力。膨胀终了时,气体失去作功能力,成为废气排出气缸。

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才能实现,这五个过程称为柴油机的基本工作过程,进行了这五个过程就完成了个工作循环,接着又重复进行下一个工作循环。

柴油机有很多不同的分类方式,通常有以下几种:

1. 四冲程柴油机和二冲程柴油机

按工作循环可分为四冲程柴油机和二冲程机两类。柴油机的一个工作循环包括进气、压缩、燃烧、膨胀、排气五个过程,四冲程柴油机是曲轴转两转,也就是活塞运动四个行程完成一个工作循环,而二冲程柴油机是曲轴转一转,也就是活塞运动两个行程完成一个工作循环。

2. 增压柴油机和非增压柴油机

增压柴油机和非增压柴油机的主要区别在于进气压力不同,非增压柴油机是在大气压力下进气的,而增压柴油机则是在较高的压力下进气的。

3. 低速、中速和高速柴油机

柴油机的速度可以用曲轴转速 n (r/min)表示。按此指标分类一般为:

低速柴油机 $n \leq 300$ r/min

中速柴油机 $300 < n \leq 1\,000$ r/min

高速柴油机 $n > 1\,000$ r/min

4. 筒形活塞柴油机和十字头式柴油机

图 1-1-1(a)为筒形活塞的示意图,它的活塞通过活塞销直接与连杆相连。这种结构的优点是结构简单、紧凑、轻便,发动机高度小。它的缺点是由于运动时有侧推力,活塞与气缸之间的磨损较大。中高速柴油机一般都采用此结构。

图 1-1-1(b)所示为十字头式柴油机。它的活塞设有活塞杆,通过十字头与连杆相连接,并在气缸下部设中隔板将气缸与曲轴箱隔开。十字头柴油机工作可靠,寿命长。它的缺点是重量和高度增大,结构复杂,大型低速二冲程柴油机都采用这种结构。

5. 直列式和 V 型柴油机

船用柴油机通常均为多缸机。这样可以增大柴油机单机功率,同时可满足船舶机动性、可靠性的要求。

多缸柴油机的气缸排列可以有直列式、V 型、W 型等。船用柴油机均为直列式与 V 型两种。具有两个或两个以上直立气缸,并呈一列布置的柴油机称直列式柴油机,如图 1-1-2(a)所示。直列式柴油机的气缸数因曲轴刚度和安装上的限制一般不超过 12 缸。当缸数超过 12 缸时通常采用 V 型柴油机,如图 1-1-2(b)所示。它具有两个或两列气缸,其中心线夹角呈 V 型,并共享一根曲轴输出功率。V 型机的气缸数可达 18 甚至 24,气缸夹角通常为 90° 、 60° 和 45° 。V 型机具有较高的单机功率和较小的比重量(柴油机净重量与标定功率的比值),在中、高速柴油机中用得较多。

6. 右旋和左旋柴油机

观察者由柴油机功率输出端向自由端看,正车时按顺时针方向旋转的柴油机称右旋(转)柴油机,正车时按逆时针方向旋转的柴油机称左旋柴油机。

7. 可逆转和不可逆转柴油机

可由操纵机构改变自身转向的柴油机称可逆转柴油机。曲轴仅能按同一方向旋转的柴油机称不可逆转柴油机。

在船舶上凡直接带动螺旋桨的柴油机均为可逆转柴油机;凡带有倒顺车离合器、倒顺车齿轮箱或可变螺距螺旋桨的柴油机以及船舶发电柴油机均为不可逆转柴油机。

二、柴油机的基本结构参数

柴油机的基本结构参数如下,如图 1-1-3 所示。

1. 上止点(TDC)

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(BDC)

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. 行程(S)

指活塞从上止点移动到下止点间的直线距离。它等于曲轴曲柄半径 R 的两倍($S = 2R$)。活塞移动一个行程,相当于曲轴转动 180° CA(曲轴转角)。

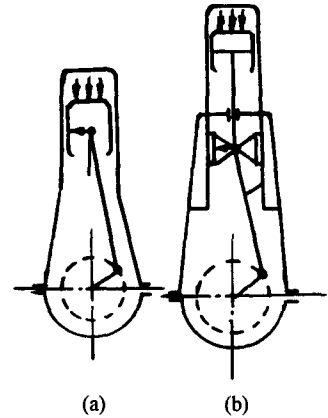


图 1-1-1 筒形活塞式和十字头式柴油机简图

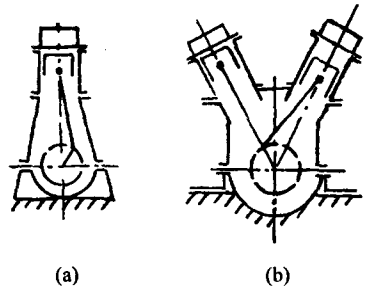


图 1-1-2 直列式和 V 型柴油机

4. 缸径(D)

气缸的内径。

5. 气缸余隙容积(压缩室容积, V_c)

活塞在气缸内上止点时, 活塞顶上的全部空间(活塞顶、气缸盖底面与气缸套表面之间所包围的空间)容积。

6. 余隙高度(顶隙)

上止点时活塞最高顶面与气缸盖底平面之垂直距离。

7. 气缸工作容积(V_s)

活塞在气缸中从上止点移动到下止点时所扫过的容积。显然:

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

8. 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, 亦称气缸最大容积。显然

$$V_a = V_s + V_c$$

9. 压缩比(ε)

气缸总容积与压缩室容积之比值, 亦称几何压缩比。

$$\varepsilon = \frac{V_a}{V_c} = \frac{V_c + V_s}{V_c} = 1 + \frac{V_s}{V_c}$$

压缩比表示缸内工质压缩程度。柴油机压缩比为 12 ~ 22。

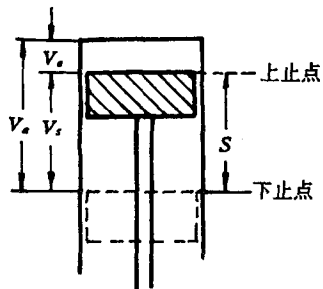


图 1-1-3 气缸容积

第二节 四冲程柴油机的工作原理

一、四冲程柴油机的工作过程

活塞在四个行程内完成一个工作循环的柴油机叫做四冲程柴油机。

图 1-1-4 中所示的四个简图分别表示四个活塞行程的进行情况以及活塞、曲轴、气阀等部件的有关动作位置。

第一行程——进气行程, 空气进入气缸时相应的活塞行程。

活塞从上止点下行, 进气阀 a 打开。由于气缸容积不断增大, 缸内压力下降, 依靠缸内与大气的压差, 新鲜空气经进气阀被吸入气缸。进气阀一般在活塞到达上止点前即提前打开(曲柄位于点 1), 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)表示进气持续角 $\Delta\theta_i$, 为 220 ~ 250°CA。

第二行程——压缩行程, 工质在气缸内被压缩时相应的活塞行程。

活塞从下止点向上运动, 自进气阀 a 关闭(点 2)才开始压缩, 一直到上止点(点 3)为止。第一行程吸入的新气经压缩后, 压力增高到 3 ~ 6 MPa, 温度升高到 600 ~ 700 °C(燃油的自燃温度为 210 ~ 270 °C)。压缩终点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

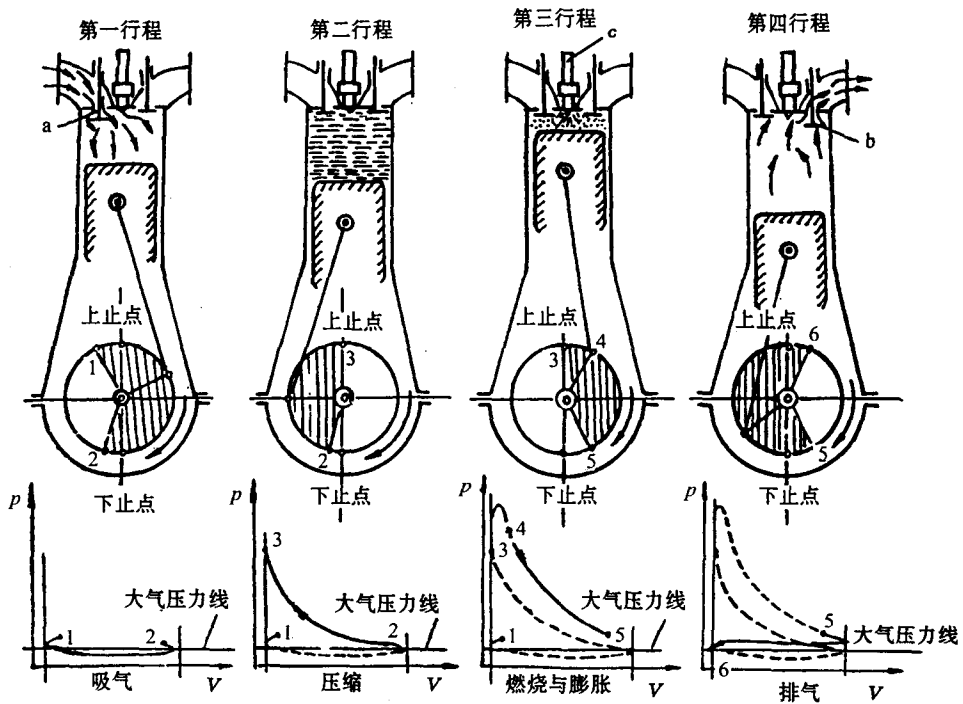


图 1-1-4 四冲程柴油机工作原理

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,为 $140 \sim 160^\circ\text{C}$ 。

第三行程——燃烧和膨胀行程,工质在气缸内燃烧膨胀时相应的活塞行程。

活塞在上止点附近,由于燃油强烈燃烧,使气缸内的压力和温度急剧上升,压力达到 $5 \sim 8 \text{ MPa}$,甚至高达 15 MPa 以上。温度为 $1400 \sim 1800^\circ\text{C}$ 或更高。燃烧的最高温度和压力分别用 p_z 和 t_z 表示。高温高压的燃气(工质)膨胀推动活塞下行做功。由于气缸容积逐渐增大,压力下降,在上止点后某一时刻(点4)燃烧基本完成。膨胀过程一直到排气阀 b 开启时结束,膨胀终了时的气缸内气体压力 p_b 为 $250 \sim 450 \text{ kPa}$, 气体温度 t_b 为 $600 \sim 700^\circ\text{C}$ 。与进气阀相似,排气阀 b 是在下止点前开启(点5)的。曲轴转角 φ_{3-4-5} 表示燃烧和膨胀过程。

第四行程——排气行程,废气从气缸内排出时相应的活塞行程。

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(1.05 至 1.1 大气压)且在压力基本不变的情况下进行的。排气阀一直延迟到上止点后(点6)才关闭。曲轴转角 φ_{5-6} 表示排气持续角 $\Delta\theta_e$,为 $230 \sim 260^\circ\text{C}$ 。

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,曲轴要回转两转(720° 曲轴转角)。每个工作循环中只有第三行程(膨胀行程)是做功的,其他三个行程都是为膨胀行程服务的,都需要外界供给能量。柴油机常做成多缸的,这样,进气、压缩、排气行程的能量可由其他正在做功的气缸供

给。如果是单缸柴油机,那就由较大的飞轮供给。图 1-1-4 下方的 $p-V$ 图表示出一个工作循环内气缸中气体压力随活塞位移(即气缸容积)而变化的情形。工作循环各过程线的综合,就构成了四冲程柴油机的示功图。在过程进行时,气缸内气体的压力和容积是同时变化的。 $p-V$ 示功图可用来研究柴油机工作过程进行的情况,也可用来计算柴油机一个工作循环的指示功。

二、四冲程柴油机的配气定时与气阀重叠角

四冲程柴油机的进、排气阀的启闭都不正好在上、下止点,而是在上、下止点前后某一时刻。它们的开启持续角均大于 180°CA 。进、排气阀在上、下止点前后启闭的时刻称为气阀定时,通常气阀定时是用距相应止点的曲轴转角($^\circ\text{CA}$)表示。用曲轴转角表示气阀定时的圆图称气阀定时圆图,如图 1-1-5 所示。

在图 1-1-5 中,进气阀在上止点前点 1 开启,在下止点后点 2 关闭。其与相应止点的夹角 φ_1 、 φ_2 分别称进气提前角、进气滞后角。排气阀在下止点前点 5 开启,在上止点后点 6 关闭,其与相应止点的夹角 φ_3 、 φ_4 分别称为排气提前角、排气滞后角。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,另外还可减少排气耗功。因此,气阀定时是影响四冲程柴油机作功的重要因素。

由图 1-1-5 还可看出,在上止点前后进气阀与排气阀同时开启着,同一气缸的进、排气阀在上止点前后同时开启的曲轴转角称为气阀重叠角。在气阀叠开期间,进气管、气缸、排气管连通,此时依靠废气的流动惯性,可以利用新鲜空气将燃烧室内的废气扫出气缸,实现燃烧室扫气。这不仅可以提高换气质量,还能利用进气冷却燃烧室有关部件。因而,四冲程柴油机均有一定的气阀重叠角,而且增压柴油机的气阀重叠角均大于非增压机,如表 1-1-1 所示。

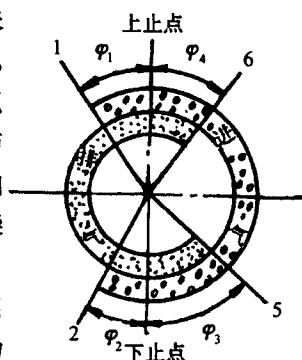


图 1-1-5 气阀正时圆图

表 1-1-1 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 $15^\circ \sim 30^\circ$	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 $40^\circ \sim 50^\circ$
重叠角	$25^\circ \sim 50^\circ$		$80^\circ \sim 130^\circ$	

第三节 二冲程柴油机的工作原理

活塞在两个行程内完成一个工作循环的柴油机叫做二冲程柴油机。

一、柴油机实现二冲程工作循环的条件

在二冲程柴油机中取消了单独的进气与排气行程,其进气与排气过程几乎重叠在下止点前后 $120 \sim 150^\circ\text{CA}$ 内同时进行,也就是用新气驱赶废气,这一过程称之为扫气。为了保证扫

气过程的进行,二冲程柴油机必须在气缸套下部开设气口,而且还必须提高进气压力,使进气能从扫气口进入气缸并将废气扫出气缸。提高进气压力可以由机械驱动的扫气泵或由废气涡轮增压器来实现。

二、二冲程柴油机的工作过程

目前,船用二冲程低速柴油机都采用废气涡轮增压的方式提高进气压力,图 1-1-6 所示为一种具有废气涡轮增压的二冲程柴油机工作原理图。它的工作过程如下:

新气通过气缸下部的进气口 *a* 进入气缸,而废气则通过气缸盖上的排气阀 *b* 排出气缸。在进、排气管道上分别安装了离心式压气机 *e* 和废气涡轮机 *d* (两者组合成废气涡轮增压器),废气涡轮从废气中获得能量而带动压气机一起转动。新鲜空气则从大气通过吸入口 *f* 吸入压气机,经压缩后压力和温度升高,然后由管 *g* 经冷却器 *k* 冷却后导入扫气箱 *i*,准备进入气缸。当活塞下行还没有打开进气口 *a* 之前,排气阀 *b* 首先被气阀机构打开(曲柄在点 1),废气大量排出气缸,并经排气阀和排气管 *j* 进入废气涡轮 *d* 中。当活塞继续下行使气缸内的压力降低到接近于增压压力时,活塞将扫气口 *a* 打开(曲柄在点 2),等待在扫气口外边的增压空气即进入气缸,并把废气扫出。当活塞运动到下止点并转向上行时,扫气口 *a* 被关闭(曲柄在点 3),接着排气阀关闭(曲柄在点 4),换气过程结束,而开始进行压缩、燃烧和膨胀过程。

二冲程柴油机也可以用定时圆图来表示它的定时时刻。图 1-1-7 为国产 ESDZ43/82B 型二冲程柴油机的定时圆图。

由上述可知,对于二冲程柴油机,它的真正压缩始点不在下止点而在进气口或排气阀(口)全部关闭时刻。

三、二冲程柴油机的换气形式

在二冲程柴油机中,目前普遍采用气口一气阀直流扫气,但在 20 世纪 80 年代以前,出现过多种换气形式。不同的换气形式对换气质量有重要影响。根据气流在气缸中的流动路线,二冲程柴油机的换气形式可分为弯流(扫气空气由下而上,然后由上而下清扫废气)与直流(气流在气缸内呈直线由下而上清扫废气)两大类。每一大类中又有不同的换气形式,即:

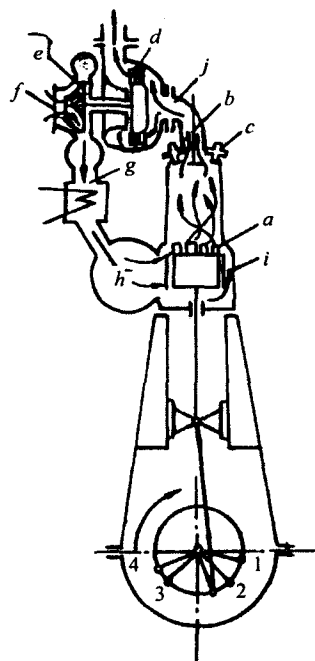


图 1-1-6 废气涡轮增压二冲程柴油机工作原理图

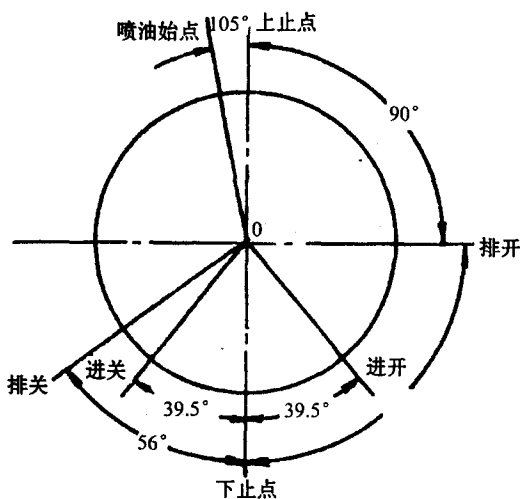


图 1-1-7 ESDZ43/82B 型柴油机的定时圆图

- 横流:简单横流,扫气口装有单向阀
- 弯流 { 回流
- 半回流(新型横流):简单半回流,扫气口有阀控制,排气口有阀控制
- 直流 排气阀—扫气口式 排气口—扫气口式

1. 简单横流扫气

进、排气口位于气缸中心线的两侧,空气从进气口一侧沿气缸中心线向上,然后在靠近燃烧室部位回转到排气口的另一侧,再沿着气缸中心线向下,把废气从排气口清扫出气缸,如图 1-1-8 所示。

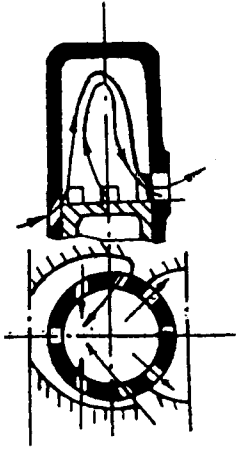


图 1-1-8 简单横流扫气示意图

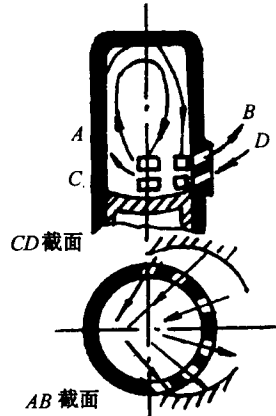


图 1-1-9 回流扫气示意图

2. 回流式扫气

进、排气口在气缸下部同一侧且排气口在进气口的上方。进气流沿活塞顶面向对侧的缸壁流动并沿缸壁向上流动,到气缸盖转向下流动,把废气从排气口中清扫出气缸,气流在缸内作“回线”流动,如图 1-1-9 所示。在船用大型柴油机中,MAN-KZ 型柴油机即为回流扫气形式。

3. 半回流扫气

进气口布置在排气口的下方及两侧,气流在气缸内的流动特征兼有横流与回流的特点,如图 1-1-10 所示。某些早期的半回流扫气形式,在排气管中装有回转控制阀,该回转阀可在活塞上行活塞裙开启排气口前关闭排气管,防止新鲜空气经排气口流失。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。

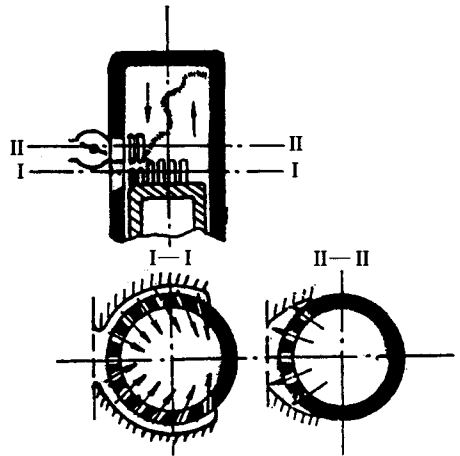


图 1-1-10 半回流扫气示意图

4. 排气阀—扫气口直流扫气

气缸下部均布一圈进气口,在气缸盖上有排气阀。空气从气缸下部进气口端进入气缸,沿气缸中心线上行驱赶废气从气缸盖上的排气阀排出气缸,如图 1-1-11 所示。显然,气流在缸内的流动

方向是自下而上的直线流动。进气口在纵向(与气缸轴线成角度)和横向(与气缸半径成角度)两个方向有倾斜角,使扫气空气进入气缸后有向上和绕气缸轴线旋转的运动。这一旋转的气流形成“气垫”,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口同时关闭,也可以提早关闭,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 系列、Sulzer RTA 系列机型都采用排气阀—扫气口直流扫气形式。

弯流扫气柴油机气流在缸内流动路线长(通常均大于 $2S$),新气与废气易掺混且存在死角与气流短路现象,因而换气质量较差。尤其在横流扫气中,缸套下部的进、排气口两侧受热不同,容易产生变形。但弯流扫气的结构简单,维修较方便,因而在行程缸径比 $S/D < 2.2$ 的船用大型柴油机中,因行程较短尚可保证较满意的换气质量而曾经得到普遍使用。直流扫气则相反,气流在缸内流动路线短(约为 S),新气与废气不易掺混,因而换气质量较好。同时缸套下方受热均匀。但其结构复杂,维修较困难。现代船用大型柴油机随着行程缸径比 S/D 的增加,发展了长行程($S/D > 2.5$)和超长行程($S/D > 3$)柴油机。在这种情况下,弯流扫气的换气质量无法与直流扫气相比,因而直流式(气阀—气口式)扫气成为现代船用大型柴油机的主要换气形式。

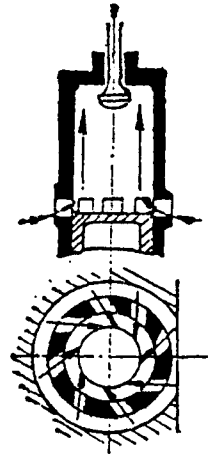


图 1-1-11 排气阀—扫气口直流扫气示意图

四、二冲程柴油机与四冲程柴油机的比较

从四冲程与二冲程柴油机工作原理,可以看出两者有以下特点:

1. 二冲程柴油机两个行程即曲轴一转完成一个工作循环,由此可提高柴油机功率。两台气缸尺寸与转速相同的四冲程与二冲程柴油机,计及气口行程损失和扫气损失,则二冲程柴油机的功率为四冲程机的 $1.6 \sim 1.8$ 倍。
 2. 由于二冲程柴油机曲轴每一转完成一个工作循环,因而它的回转要比四冲程机均匀,可使用较小的飞轮。
 3. 二冲程柴油机的换气机构较简单,便于维修保养。
 4. 二冲程柴油机的换气质量较四冲程机差。
 5. 二冲程柴油机的工作循环比四冲程机多一倍,所以二冲程机的热负荷比四冲程机高。
- 总之,在提高功率方面二冲程柴油机比四冲程机优越,而在提高柴油机的强化程度方面四冲程机较二冲程机优越。

第二章 柴油机的结构及主要部件

柴油机的主要部件是指燃烧室部件(活塞、气缸、气缸盖)、曲柄连杆机构(十字头、连杆、曲轴和轴承)、机架、机座和贯穿螺栓等部件。

船舶柴油机的结构比较复杂,它是由许多机构和系统组成。尽管各种柴油机的结构、型号各异,但从工作原理和总体结构上则有很多共同之处。柴油机主要由以下部分组成。

一、主要固定件

柴油机的主要固定件由机座、机架、气缸和气缸盖等组成,对于中小型柴油机常将气缸体和机架做成一体称为机体,并省去机座代之以轻便的油底壳。它们构成了柴油机的骨架,支撑运动件和辅助系统。

二、主要运动件

柴油机的主要运动件由活塞、连杆组件及曲轴组成,对于大型低速柴油机还有十字头组件。活塞与气缸及气缸盖构成燃烧室,保证柴油机工作过程的进行,同时通过连杆将活塞的往复运动变为曲轴的回转运动,使燃气推动活塞的动力通过曲轴以回转的方式向外输出。

三、配气机构及换气系统

配气机构由进排气阀、气阀传动机构、凸轮轴及凸轮轴传动机构组成。进排气系统由空气滤器、进排气管和消音器组成,对于增压柴油机还有增压器及空冷器。它们的作用是按照工作循环的需要,定时地向气缸内供应充足、清洁的新鲜空气,并将燃烧后的废气排出气缸。

四、燃油系统

燃油系统由燃油供给系统和燃油喷射系统组成。燃油供给系统是把符合使用要求的燃油畅通无阻地输送到喷油泵入口端。该系统通常由加装和测量、储存、驳运、净化处理、供给5个基本环节组成。燃油喷射系统由喷油泵、喷油器和高压油管组成,其作用是定时、定量地向燃烧室内喷入雾化良好燃油,保证燃烧过程的进行。

五、润滑系统

润滑系统的作用是将清洁的润滑油送至柴油机的各运动件摩擦表面,起到减磨、冷却、清洁、密封和防锈作用,保证柴油机的正常工作。对于大型低速柴油机通常由气缸注油系统和曲轴箱油系统两部分组成,而对于中小型柴油机只有曲轴箱油系统,也称之为机油系统。

六、冷却系统

冷却系统由泵、冷却器和温控器等组成。船舶柴油机通常以淡水和滑油为冷却剂在机内流动,将受热零部件所吸收的热传出去,保证零部件有正常的工作温度。而淡水和滑油本身被海水冷却。

七、启动和控制系统

启动系统是借助于外力带动曲轴回转,并使其达到一定的转速,实现柴油机的第一次着火燃烧,由静止转入工作状态。根据柴油机的不同,起动系统可分为两类,一类是借助于外力矩使曲轴转动起来,如人力手摇起动、电机起动和气马达起动等;另一类是借助于加在活塞上的外力推动活塞运动使曲轴旋转起来,如压缩空气起动。

柴油机的控制系统是为了满足船舶机动操作的要求,设置的使起动、换向和调速装置各种装置联合动作的操纵机构。

第一节 燃烧室部件

燃烧室部件是柴油机中最重要的部件,包括活塞组件、气缸盖组件和气缸组件。当活塞处在上止点时,由气缸盖底面、气缸套内表面及活塞顶共同组成的燃料与空气混合和燃烧的这一空间称燃烧室,如图 1-2-1 所示。柴油机的工作主要是在这里完成的。

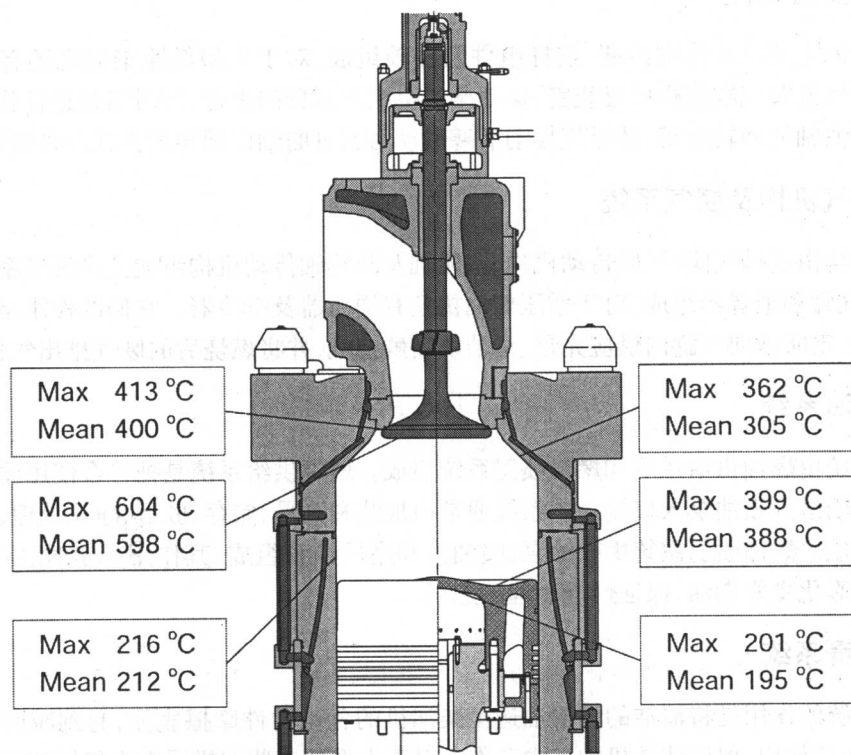


图 1-2-1 燃烧室

一、燃烧室部件承受的负荷及结构特点

由于在燃烧室中进行着压缩、燃烧和膨胀过程,燃烧室部件将受到燃气高温、高压和腐蚀作用以及活塞的摩擦、敲击和侧推力作用及冷却水的腐蚀和穴蚀作用,因此,它是柴油机中工作条件最恶劣的部分。

1. 机械负荷

机械负荷指柴油机部件承受最高燃烧压力、惯性力、振动冲击等的强烈程度。燃烧室部件所承受的机械负荷,对气缸盖和气缸套来说主要是来自气体压力和安装预紧力,对活塞来说还有往复惯性力。柴油机的机械负荷有两个特点,其一为周期交变;其二为具有冲击性。

(1) 安装预紧力引起的负荷

在安装时螺栓预紧力不可过大与过小。当代新型柴油机的气缸盖固紧螺栓均采用液压拉伸器按规定液压力固紧。气缸盖与气缸套的安装应力与最高爆发压力成正比与其构件的高度成反比。

(2) 气体力引起的机械应力

由于气缸内的气体力是周期变化的,其最大值为最高爆发压力 p_x ,其变化频率与单位时间内的循环次数(转速)有关。因此由气体力产生的机械应力亦称高频应力。燃烧室部件中由气体压力而产生的机械应力都和最高爆发压力成正比,与部件壁厚成反比。

当柴油机工作时,气缸盖和活塞在气体压力 p 作用下产生弯矩,并使上下表面产生机械应力:水冷面为拉应力,触火面为压应力。

气缸套内部在承受最高爆发压力 p_x 作用时,触火面切向应力最大(拉应力),径向应力最大(压应力);水冷面切向应力最小(拉应力)径向应力为零。

2. 热负荷

热负荷是指柴油机的燃烧室部件承受温度、热流量及热应力的强烈程度。柴油机强化程度的提高导致柴油机热负荷和机械负荷随之提高。热负荷过高对燃烧室部件所造成的危害是多方面的,主要有:使材料的机械性能降低,承载能力下降;使受热部件膨胀、变形,改变了原来的正常工作间隙;使润滑表面的滑油迅速变质、结焦、蒸发乃至烧掉;使有些部件(如活塞顶)受热面烧蚀;使受热部件承受的热应力过大,产生疲劳破坏等。因此限制运转中柴油机的热负荷使之在一定范围之内,这对柴油机经济、安全、可靠地运转是十分重要的。

热负荷的大小可用热流密度、热应力及温度场来表示。但这些方法不够直观,在船舶上,轮机管理人员通常用柴油机的排气温度来判断热负荷的高低。它对于评定既定的柴油机来说是简单和实用的。因为在正常情况下,当柴油机循环喷油量增加(热负荷相应也提高)时,燃烧室部件的温度和排气温度都增加。通常柴油机说明书给出排气温度的最高值,作为限制热负荷大小的标准。

柴油机在使用中因管理不当使燃烧室部件过热或局部过热,整机或个别缸超负荷运行或进行频繁地起停,这均会加速热疲劳破坏的出现。因此,在管理中注意机器的冷却状态,不超负荷运行,尽量减少起停柴油机的次数,这对提高燃烧室部件的可靠性,延长使用寿命是非常有利的。

3. 燃烧室部件的结构特点

当代新型超长行程柴油机的强化程度已达到非常高的水平,燃烧室部件的机械负荷和热负荷也已接近其材料所允许的极限限度,因而对其结构形式要求日益苛刻。欲降低机械负荷应采用厚壁结构,欲降低热负荷应采用薄壁结构,两者相互矛盾。合理解决此矛盾的最合理结构是采用“薄壁强背”结构,这是兼顾机械应力和热应力的有效方法。所谓薄壁就是燃烧室部件的受热壁要薄,以减少热应力。而强背就是在薄壁的背面设置强有力的支承,以降低机械应