

高等学校试用教材

船舶柴油机

CHUANBO CHAIYOUJI

(非内燃机专业用)

武汉水运工程学院内燃机教研室编

人民交通出版社

η_{TLM}	增压器机械效率
θ	曲轴转角, °CA
$\theta_{e,e}$	排气提前开启角, °CA
$\theta_{e,i}$	排气延迟关闭角, °CA
θ_i	滞燃角, °CA
$\theta_{i,e}$	进气提前开启角, °CA
$\theta_{i,i}$	进气延迟关闭角, °CA
λ	压力升高比; 曲柄半径与连杆长度比
ξ	燃烧过量空气系数
ξ_{Σ}	总过量空气系数
π_K	增压比
ρ	初膨胀比
ρ_i	进气箱内空气的密度, kg/m ³
τ_i	滞燃时间, s
ϕ_o	充量系数 (以活塞全行程 s 为基准)
$\phi_{o,e}$	充量系数 (以活塞有效行程 s_e 为基准)
ϕ_s	扫气系数
ψ_s	行程失效系数
ω	曲轴回转角速度, s ⁻¹
Ω	涡流比

内 容 提 要

本书是在武汉水运工程学院内燃机教研室所编的《船舶柴油机》讲义、自编教材基础上,根据非内燃机专业课程教学大纲编写的。

本书着重介绍船舶柴油机的结构、循环、性能指标、可燃混合物的形成与燃烧、涡轮增压、特性、动力学与平衡等内容,并力求运用基础理论知识定性、定量地分析实际问题。

本书主要作为“船舶机械”和“热能动力机械与装置”专业教材,亦适用于轮机管理人员和船舶修造人员。

高等学校试用教材

船舶柴油机

(非内燃机专业用)

武汉水运工程学院内燃机教研室编

插图设计: 秦淑珍

正文设计: 乔文平

责任校对: 高 琳

人民交通出版社出版

(北京和平里东街10号)

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经销

北京顺义县印刷厂印刷

开本: $787 \times 1092 - \frac{1}{16}$ 印张: 15.75 字数: 384千

1990年12月 第1版

1990年12月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—6,350册 定价: 3.15元

前 言

本书是在武汉水运工程学院内燃机教研室编写的“船舶柴油机”讲义和自编教材的基础上修订而成。该讲义与自编教材已被“船舶机械”和“热能动力机械与装置”两专业使用了十余年。这次编写时，根据多年的使用经验，在内容上作了进一步精选，并补充了近年来的新技术，力求使本书做到少而精。

本书除供非内燃机专业，主要是“船舶机械”和“热能动力机械与装置”专业作教材外，也适于“轮机管理”专业和船舶机务管理与船舶修造技术人员用作参考书。

参加本书编写的人员有：李长汉副教授（第1至6章），崔可润副教授（第8章），龚齐清副教授（第7章、12章和13章），刘元诚教授（第9章和11章）与吴锦翔教授（第10章）。全书由崔可润统稿。武汉海军工程学院王昌一教授和华中理工大学吴殿信副教授对本书进行了审阅。龚长奇、张铁忠和肖小平参加了书中插图的描绘工作。

由于编者水平所限，书中不妥之处在所难免，欢迎读者对本书存在的问题，给予批评指正。

编 者

本书所用主要符号

a	声速, m/s; 活塞加速度, m/s^2 ; 空气消耗率, $\text{kg}/(\text{kW}\cdot\text{h})$
b	有效燃油消耗率, $\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$
b_i	指示燃油消耗率, $\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$
B_b	每小时燃油消耗量, kg/h
B_f	每循环喷油量, kg (严格讲, 单位应为 $\text{kg}/\text{循环}$, 现简化为 kg , 以下皆同。)
c_p	气体定压比热容, 冷却液比热容, $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
c_T	涡轮喷嘴环进口流速, m/s
c_1	涡轮叶片进口绝对流速, m/s
c_2	涡轮叶片出口绝对流速, m/s
d	气缸直径, m
f	气口(门)开启面积, cm^2 ; 喷油嘴喷孔截面积, mm^2
f_p	喷油泵柱塞截面积, mm^2
F	高压油管截面积, mm^2 ; 连杆小端处的作用力, N
F_i	实测示功图面积, cm^2
F_j	往复惯性力, N
F_{j1}	一次往复惯性力, N
F_{j2}	二次往复惯性力, N
G_e	换气过程结束时, 每循环气缸内的气体(空气与残余废气)质量, kg
G_b	每循环流过进气门(口)的空气量, kg
G_d	以进气箱状态, 每循环充满气缸工作容积 V_d 的空气质量, kg
G_{d_e}	以进气箱状态, 每循环充满气缸有效工作容积 V_{d_e} 的空气质量, kg
G_{e_e}	换气过程结束时, 每循环留在气缸内的空气质量, kg
G_K	空气质量流量, kg/s
G_r	换气过程结束时, 每循环留在气缸内的残余废气质量, kg
G_T	废气(或燃气)质量流量, kg/s
h	气口开启高度, cm
H_{a_k}	压气机的绝热压缩功, J/kg
H_{a_T}	涡轮的等熵焓降, J/kg
H_K	压气机的实际压缩功, J/kg
H_T	涡轮的有效膨胀功, J/kg
H_T^*	涡轮的滞止有效膨胀功, J/kg
H_u	燃料低热值, kJ/kg
i	气缸数目; 冲角, $^\circ$
i_T^*	涡轮喷嘴环进口的滞止焓, J/kg
i_2	涡轮叶片出口的废气(或燃气)焓, J/kg

$i_{2..}$	等熵膨胀至涡轮出口压力的废气（或燃气）焓，J/kg
i_c	连杆转动惯量， $\text{kg}\cdot\text{m}^2$
I	声强， W/m^2
I_0	基准声强， W/m^2
k	空气的绝热指数
k_r	废气（或燃气）的绝热指数
L	对1kg燃料实际供给的空气量， kgmol/kg 燃料；连杆长度，m
L'	对1kg燃料实际供给的空气量， kg/kg 燃料
L_i	每循环每缸的有效功，kJ
L_i	每循环每缸的指示功，kJ
L_i	声强级，dB
L_m	折合到每循环每缸的机械损失功，kJ
L_0	理论空气需要量， kgmol/kg 燃料；气缸中心距，m
L_0'	理论空气需要量， kg/kg 燃料
L_p	声压级，dB
L_w	声功率级，dB
m	冲程数
m_c	连杆质量，kg
m_j	往复运动零件总质量，kg
m_b	曲柄的换算质量，kg
m_p	活塞组质量，kg
m_r	在曲柄销中心作匀速回转运动的总质量，kg
m_s	曲柄销质量，kg
M_c	换气过程结束时，每循环气缸内气体的摩尔数， kgmol
M_i	以进气箱状态，每循环充满气缸工作容积 V_c 的空气摩尔数， kgmol ；倾覆力矩， $\text{N}\cdot\text{m}$
$M_{i..}$	以进气箱状态，每循环充满气缸有效工作容积 $V_{..}$ 的空气摩尔数， kgmol
$M_{i..}$	换气过程结束时，每循环留在气缸内的空气摩尔数， kgmol
M_t	柴油机输出扭矩， $\text{N}\cdot\text{m}$
M_r	换气过程结束时，每循环留在气缸内的残余废气摩尔数， kgmol
n	转速， r/min
n_1	等价压缩多变指数
n_2	等价膨胀多变指数
p	气缸内气体压力，声压，MPa
p_0	环境压力，基准声压，MPa
Δp_i	换气过程的进气阻力损失，MPa
p_e	膨胀终点气缸内气体压力，MPa
p_c	连杆推力（折合到单位活塞面积），Pa
$p_{..}$	压缩始点气缸内气体压力，MPa
$p_{..}$	压缩终点气缸内气体压力，MPa

p_d	进气箱内空气压力, MPa
p_b	扫气口刚打开瞬时气缸内气体压力, MPa
p_{em}	平均有效压力, MPa
p_g	排气背压或涡轮后压力, MPa; 气缸内气体压力, Pa
p_H	侧推力 (折合到单位活塞面积), Pa
p_{im}	平均指示压力, MPa
p_K	增压器出口空气压力, MPa
p_m	平均机械损失压力, MPa
p_{maz}	最高燃烧压力, MPa
p_N	曲柄销处法向力 (折合到单位活塞面积), Pa
p_{rB}	连杆大端回转质量离心力 (折合到单位活塞面积), Pa
p_{rk}	曲柄离心力 (折合到单位活塞面积), Pa
p_T	涡轮进口压力, MPa; 曲柄销处切向力 (折合到单位活塞面积), Pa
p_T^*	涡轮进口滞止压力, MPa
p_r	残余废气压力或气缸出口处的排气管压力, MPa
p_1	涡轮叶片进口压力, MPa
p_2	涡轮叶片出口压力, MPa
P_e	有效功率, kW
P_i	指示功率, kW
P_K	压气机功率, kW
P_m	机械损失功率, kW
P_T	涡轮功率, kW
Q_1	理想循环的加热量, kJ
Q_2	理想循环的定容放热量, kJ
R	曲柄半径, m; 气体常数, (kJ)/(kg·K)
R_B	曲柄销负荷, Pa
R_K	主轴颈负荷, Pa
s	活塞行程, m
s_e	活塞有效行程, m
t	时间, s
T_a	环境温度, K
T_{adk}	等熵压缩时压气机出口气体温度, K
ΔT_c	空气进入气缸时被热零件加热的温度升高, K
T_b	膨胀终点气缸内气体温度, K
T_{cc}	压缩始点气缸内气体温度, K
T_{cb}	压缩终点气缸内气体温度, K
T_d	进气箱内空气温度, K
T_g	涡轮后温度, K
T_k	增压器出口的空气温度, K
T_{maz}	最高燃烧温度, K

T_r	残余废气温度或气缸出口处的排气管温度, K
T_i	扭矩, N·m
T_T	涡轮进口温度, K
T_T^*	涡轮进口滞止温度, K
T_1	涡轮叶片进口温度, K
T_2	涡轮叶片出口温度, K
T_{2ad}	等熵膨胀至涡轮出口压力的废气(或燃气)温度, K
v	活塞速度, 进气门处空气流速, m/s
V	气缸瞬时容积, L
V_b	膨胀终点气缸容积, L
V_c	压缩终点燃烧室容积, L
V_{ca}	压缩始点气缸容积, L
V_{ga}	换气过程结束时, 每循环留在气缸内的空气量折合到进气箱状态的体积, L
V_s	气缸工作容积, L
V_{se}	气缸有效工作容积, L
V_0	空气容积流量, m ³ /s
W	声功率, W
W_r	喷油泵柱塞速度, m/s
W_0	基准声功率, W
W_1	涡轮叶片进口相对流速, m/s
W_2	涡轮叶片出口相对流速, m/s
x	活塞位移, m
α_1	涡轮叶片进口绝对流速的气流角, °
α_2	涡轮叶片出口绝对流速的气流角, °
β	连杆摆角, °
β_1	涡轮叶片进口相对流速的气流角, °
β_2	涡轮叶片出口相对流速的气流角, °
γ_r	残余废气系数
δ	后膨胀比
ε_c	压缩比
ε_{ce}	有效压缩比
η_{adT}	涡轮的绝热效率
η_{et}	有效热效率
η_{it}	指示热效率
η_k	压气机的绝热效率
η_m	机械效率
η_s	扫气效率
η_t	理想循环的热效率
η_T	涡轮的有效效率
η_{TK}	增压器效率

目 录

本书所用主要符号	(1)
第 1 章 船舶柴油机概述	(1)
第 1 节 柴油机的基本工作原理	(1)
第 2 节 柴油机在船舶动力装置中的地位和船舶柴油机的主要形式	(5)
第 3 节 船舶柴油机的总体构造	(7)
第 2 章 曲柄连杆机构	(9)
第 1 节 活塞组	(9)
第 2 节 十字头式柴油机的活塞杆及十字头组	(19)
第 3 节 连杆组	(20)
第 4 节 曲轴飞轮组	(25)
第 3 章 主要固定机件	(30)
第 1 节 机体、机座与主轴承	(30)
第 2 节 气缸套	(34)
第 3 节 气缸盖	(35)
第 4 章 气门配气机构	(39)
第 1 节 气门部分	(39)
第 2 节 凸轮轴	(45)
第 3 节 驱动机构	(47)
第 5 章 燃油供给系统	(50)
第 1 节 喷油泵	(51)
第 2 节 喷油器	(58)
第 3 节 泵喷嘴	(60)
第 6 章 冷却系统与润滑系统	(62)
第 1 节 冷却系统	(62)
第 2 节 润滑系统	(65)
第 7 章 船舶柴油机操纵系统	(69)
第 1 节 起动装置	(69)
第 2 节 调速装置	(77)
第 3 节 换向装置	(84)
第 4 节 操纵机构	(88)
第 8 章 柴油机循环和性能指标	(91)
第 1 节 柴油机循环	(91)
第 2 节 柴油机的换气过程	(97)
第 3 节 柴油机的压缩过程	(113)

第4节	柴油机的燃烧过程	(115)
第5节	柴油机的膨胀过程	(118)
第6节	柴油机的性能指标	(119)
第7节	柴油机的热平衡与废热利用	(128)
第9章	柴油机的可燃混合物形成和燃烧	(133)
第1节	柴油机的可燃混合物形成概述	(133)
第2节	燃油的雾化与对其影响因素	(134)
第3节	喷油规律	(135)
第4节	喷油过程的异常现象及其消除	(137)
第5节	气缸内空气运动的形式及其组织方法	(139)
第6节	柴油机燃烧过程	(141)
第7节	燃烧室	(152)
第10章	柴油机的涡轮增压	(157)
第1节	增压的基本概念和增压系统的分类	(157)
第2节	涡轮增压器	(159)
第3节	排气能量的利用和涡轮增压系统	(177)
第4节	二冲程柴油机增压方案	(183)
第5节	增压柴油机的机械负荷与热负荷	(186)
第6节	涡轮增压器与柴油机的匹配	(188)
第7节	增压系统故障与调整	(191)
第11章	船舶柴油机特性	(194)
第1节	概述	(194)
第2节	速度特性	(195)
第3节	负荷特性	(199)
第4节	螺旋桨推进特性	(200)
第5节	万有特性	(203)
第6节	环境条件改变时柴油机功率的换算	(204)
第12章	曲柄—连杆机构的运动学与动力学	(206)
第1节	曲柄—连杆机构的运动学	(206)
第2节	曲柄—连杆机构的动力学	(212)
第3节	单列式柴油机的轴颈负荷	(218)
第13章	柴油机的平衡	(223)
第1节	单缸柴油机平衡分析	(224)
第2节	单列式多缸柴油机的平衡分析	(226)
第3节	单列式多缸柴油机平衡法	(231)
参考文献		(240)

第1章 船舶柴油机概述

柴油机是以柴油作燃料的压燃式内燃机，即空气在气缸内被压缩而产生高温，使喷入的柴油自行着火燃烧，并由燃烧气体膨胀做功的内燃机。其工作循环由进气、压缩、喷油着火燃烧、膨胀做功和排气等过程组成。

图1-1是一台四冲程柴油机横剖面图。活塞1通过连杆2与曲轴3连接。活塞在气缸5内进行往复运动，曲轴由机座4中的主轴承支承进行回转运动。机体6上面安装有气缸盖7，用以封闭气缸并安装进气门9、排气门8和喷油器10等。

活塞改变运动方向的瞬时位置称止点，止点处的活塞瞬时运动速度为零。离曲轴最远时的止点称上止点、最近时的止点称下止点。

曲柄销中心与主轴颈中心之间的距离称曲柄半径 R 。连杆大、小端中心间的距离称连杆长度 L 。

上、下止点间的距离称活塞行程 s 。活塞行程等于曲柄半径的两倍，即 $s = 2R$ 。

活塞在上、下止点之间所扫过的容积，即一个气缸的最大容积 V_t 与最小容积 V_c 的差值，称气缸工作容积 V_s 。

$$V_s = \frac{\pi}{4} d^2 s = V_t - V_c \quad (L)$$

式中 d 为气缸直径（简称缸径）。

一台柴油机全部气缸（如有 i 个气缸）工作容积的总和称总容积 V_{si} ，

$$V_{si} = V_s \cdot i \quad (L)$$

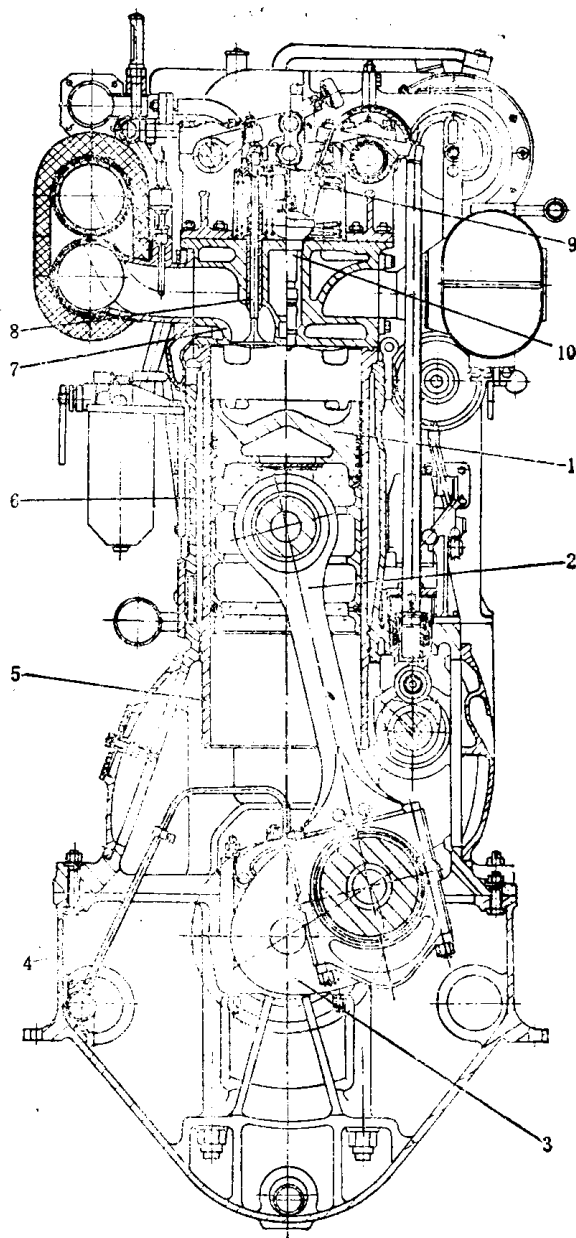


图1-1 6300ZC型柴油机横剖面图

1-活塞；2-连杆；3-曲轴；4-机座；
5-气缸；6-机体；7-气缸盖；8-排气
门；9-进气门；10-喷油器

第1节 柴油机的基本工作原理

一、四冲程柴油机（非增压）的基本工作原理

用四个行程，即曲轴回转两转完成一个工作循环称四冲程循环；按四冲程循环工作的柴油机称四冲程柴油机。

图1-2是四冲程柴油机的工作简图。图的上方表示四个行程中活塞、连杆、曲轴及气门的相对位置。图的下方表示气缸内气体压力随气缸容积的变化情况，称 $p-V$ 图。

1. 压缩行程

活塞由下止点向上运动。当曲轴转到点1时进气门关闭。随着曲轴继续旋转，活塞不断向上运动将气缸内空气压缩，进行压缩过程（曲线1—2）。为使喷入气缸的柴油能迅速着火燃烧，气缸内空气被压缩后的温度必须大大超过柴油的自燃温度。压缩过程终点的气体压力和温度，与压缩比和环境状态等因素有关，其值一般约为3~5MPa和500~700℃。

气缸最大容积与最小容积的比值，称几何压缩比 e 。（ $e = \frac{V_1}{V_2}$ ）；进气门关闭瞬时的气缸容积与气缸最小容积之比称有效压缩比 e_{eff} 。它们是表示气缸内空气被压缩后体积缩小的倍数。

在活塞到达上止点前的某一时刻（点2'），柴油经喷油器以雾化的形态被喷入气缸，与高温、高压的空气混合并自行着火燃烧。

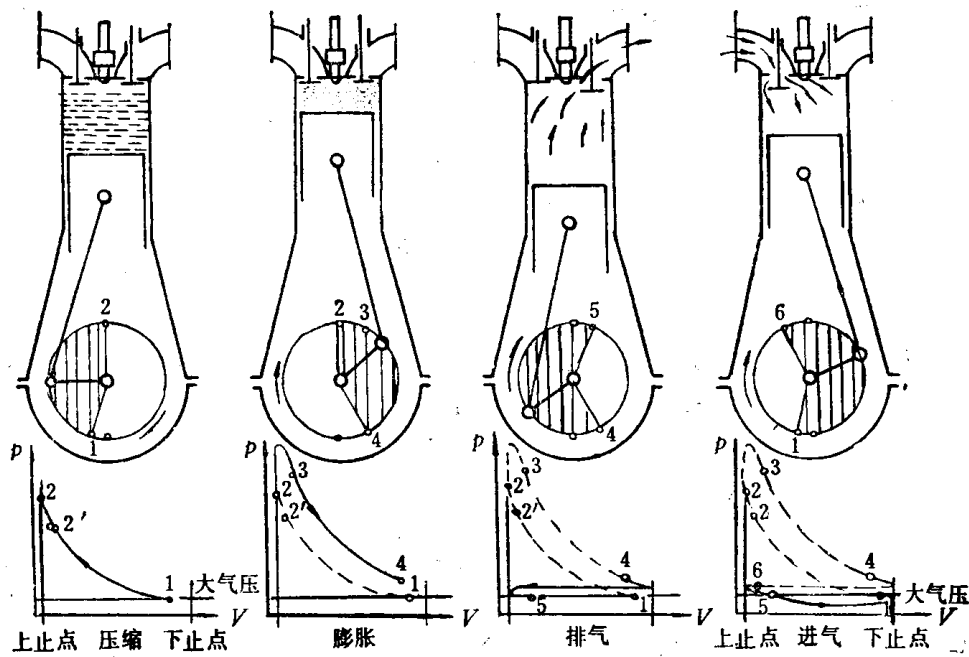


图1-2 四冲程柴油机工作简图

因此，在压缩行程中进行了部分进气过程、压缩过程和喷油着火燃烧过程。

2. 膨胀行程

活塞由上止点向下运动，这时进、排气门仍继续关闭着。在此行程的初期，燃烧仍在继续猛烈地进行，由于燃烧放出了大量热能，使气缸内气体的压力和温度急剧上升，其值分别可达到6~8MPa和1500~2000℃左右。在高温高压气体作用下，活塞向下运动并通过连杆使曲轴旋转做功。当活塞下行到上止点后40~60°曲轴转角位置时（图中点3）燃烧才基本结

束。气缸内气体压力和温度在此后的膨胀中很快下降，当活塞还未到达下止点时(图中点4)排气门开始开启进行排气。

在膨胀行程中进行了喷油着火燃烧和燃烧气体的膨胀过程(曲线2—3—4)，以及部分排气过程。

由于排气门流通截面积在开启过程中只能是逐渐地增大，因此，排气门提前于下止点前开启，可以使活塞进入排气行程时排气门已具有足够大的流通截面积，实现充分排气，而且还可减少排气所消耗的功。

排气门提前在下止点前开启的曲轴角度，称为排气提前开启角。

3. 排气行程

活塞由下止点向上运动，此时排气门继续开启着，气缸内废气可被上行的活塞强行推挤出去。

为使气缸内废气排除得更干净，并减少排气过程消耗的功，排气门在上止点后(点5)才关闭。排气门延迟在上止点后关闭的曲轴角度，称为排气延迟关闭角。

同样道理，为了减少气体流动阻力损失，增加进入气缸的空气量，进气门也提前于上止点前(点6)开启。进气门提前在上止点前开启的曲轴角度，称为进气提前开启角。

4. 进气行程

活塞由上止点向下运动。在活塞下行抽吸作用下，新鲜空气被吸入气缸。

同样为了减少吸气所消耗的功，并利用进气流的惯性效应增加进气量，进气门也延迟于下止点后(点1)关闭。进气门延迟在下止点后关闭的曲轴角度称进气延迟关闭角。

从上述可以看出：

(1) 曲轴回转两转，即 720° 曲轴转角，柴油机才完成一个工作循环；在四个行程中，有膨胀行程才作功，其余三个行程都要消耗功。因此，在单缸柴油机中，这三个行程所需要的能量，必须由飞轮供给；而在多缸柴油机中，则要靠其他气缸的膨胀作功过程供给。

(2) 柴油机由停车状态进入工作状态即起动运转时，必须由外源能量驱动，直至喷入气缸的柴油能自行着火燃烧，柴油机能自行运转为止。

二、二冲程柴油机的基本工作原理

用二个行程，即曲轴回转一转完成一个工作循环称二冲程循环；按二冲程循环工作的柴油机称二冲程柴油机。

图1-3是二冲程柴油机的工作简图。

二冲程柴油机与四冲程柴油机不同，其气缸上都设有气口，图中气缸右侧的为排气口，左侧的为进气口。排气口比进气口略高，气口的开、关均由活塞控制。此外，有的二冲程柴油机还带有扫气泵。扫气泵预先将空气压缩并送入扫气箱中，扫气箱中的空气压力(称扫气压力) p_s 一般为 $0.11 \sim 0.15 \text{ MPa}$ 。

1. 换气——压缩行程

活塞由下止点向上运动。在活塞遮住进气口之前，新鲜空气通过进气口继续充入气缸并将气缸内的废气经排气口驱除出去。在本图所示的结构中，进气口首先被活塞关闭(点1)，新鲜空气就停止进入气缸。当排气口被活塞关闭(点2)后，气缸内的空气就被上行的活塞压缩，气缸内气体的压力和温度随之升高。在活塞到达上止点前的某一时刻(点2')柴油经

喷油器被喷入气缸，与高温高压空气混合并着火燃烧。

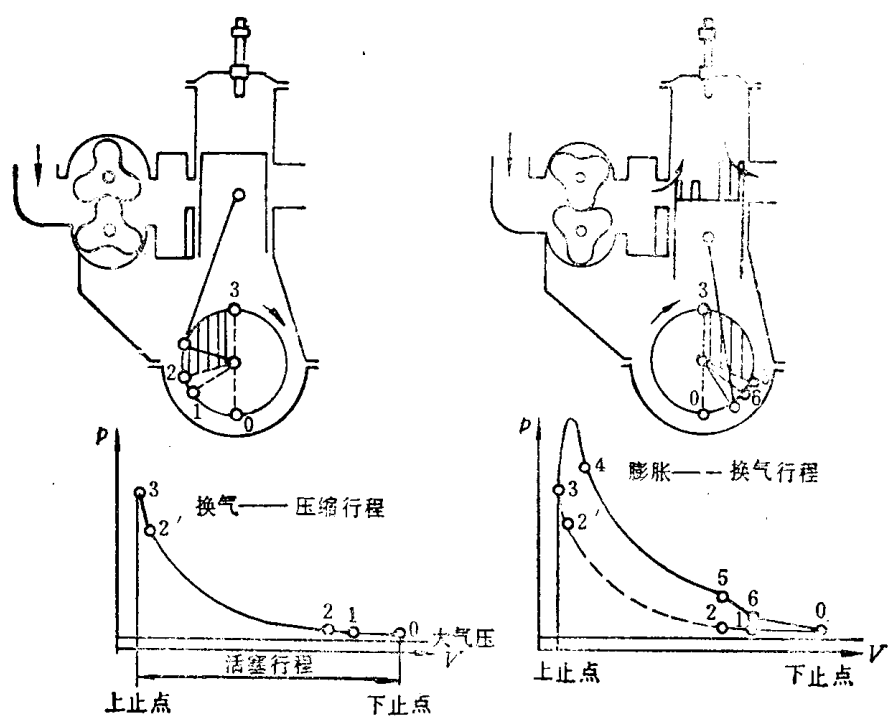


图1-3 二冲程柴油机工作简图

在这一行程中，进行了换气（曲线0—1—2）、压缩（曲线2—3）和喷油着火燃烧过程。

2. 膨胀——换气行程

活塞由上止点向下运动。在此行程的初期燃烧仍在继续猛烈地进行，到点4才基本结束，高温高压的燃烧气体膨胀推动活塞下行做功。当活塞下行打开排气口（点5）时，由于此时气缸内气体的压力和温度约为0.25~0.6MPa和600~800℃，气缸内废气就大量经排气口排出。当活塞下行到气缸内气体压力下降到接近扫气压力时，进气口才被活塞打开，新鲜空气便通过进气口充入气缸，并将气缸内的废气驱除出去。新鲜空气充入气缸并将废气驱除出气缸的过程，称扫气过程。此过程一直要延续到下一个循环进气口被关闭时为止。

在这一行程中，进行了喷油着火燃烧和膨胀（曲线3—4—5）、排气（曲线5—6）和部分扫气（曲线6—0）过程。

由上述可知，二冲程柴油机的排气和进气过程（即换气过程）要比四冲程柴油机的换气过程短得多。因此，二冲程柴油机在曲轴回转一转就可以完成一个工作循环。在气缸尺寸和转速相同的前提下，二冲程柴油机的功率似乎应该比四冲程柴油机的功率大一倍；但实际上由于二冲程柴油机的气口损失了部分活塞行程等原因，其功率只能达到四冲程柴油机的1.6~1.8倍。

三、增压柴油机的基本工作原理

增加喷入气缸内的燃油量，可以提高柴油机的功率；但是，由于充入气缸内的新鲜空气

量是有限的，所以，喷入气缸内的燃油量增加到一定程度后，要完全燃烧这些燃油所需要的空气量就可能不够了，因此，喷入气缸内的燃油量以及柴油机的功率的增加就受到充入气缸内的新鲜空气量的限制。

为了不增大柴油机的总排量、不提高其转速而有效地增大柴油机的功率，一般用一个专门的压气机（称增压器）预先将空气进行压缩，使空气的压力增高，密度增大，然后在进气行程把它送入气缸内。于是在同样气缸容积中就可以充入更多的新鲜空气，因而也就可以向气缸喷入更多的燃油并得到完全燃烧，使柴油机发出更大的功率。这种用提高进气密度来提高柴油机功率的方法称“增压”，用这种方式工作的柴油机称增压柴油机。

预先对新鲜空气进行压缩的压气机，有直接由柴油机的曲轴通过齿轮等机械驱动的方式，这种增压方式称机械增压；也有用柴油机气缸排出的废气的能量，在涡轮机中膨胀做功，由涡轮机来驱动的方式，称废气涡轮增压。

图1-4是废气涡轮增压四冲程柴油机的工作简图。废气涡轮增压器由废气涡轮机8和与其同轴的离心式压气机2等组成。柴油机气缸排出的废气经排气管6进入涡轮机8，在其中膨胀做功推动涡轮机转动，并带动压气机2工作。被压缩后的新鲜空气经进气管3送往柴油机的各个气缸。

至于柴油机气缸内的工作过程，与非增压柴油机的相似，这里就不予详述了。

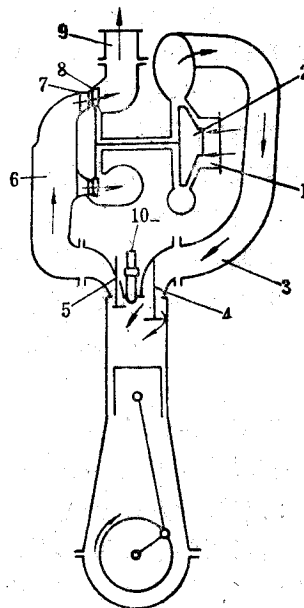


图1-4 废气涡轮增压四冲程柴油机工作简图

1、3-进气管；2-压气机；4-进气门；5-排气门；6、9-排气管；7、8-涡轮机

第2节 柴油机在船舶动力装置中的地位和船舶

柴油机的主要形式

柴油机自1897年问世以来，经过近一个世纪的发展，柴油机技术已取得了很大进步而更趋完善，在动力机械中已占据极为重要的地位，同样，在船舶动力中更继续占统治地位。目前，在所有内河及沿海中、小型船舶中，都采用柴油机作为主机和辅机；在远洋民用船舶中，自1981至1986年间各国新建造的2000t以上的船舶中，以柴油机作为主机的船舶占总艘数的98%~99.8%，占总功率的96%~99.2%。

柴油机能在动力机械以及船舶动力装置中占据极为重要的地位，是因为它具有许多优越的条件。与其他热机相比，它具有如下优点：

1. 热效率高

大型低速柴油机的有效效率已达到50%~53%，远远高于其他热机；而且柴油机在全工况范围内的热效率都较其他热机高。热效率高，也就是燃料消耗量少；柴油机又能燃用重油，甚至劣质燃油；而且柴油机在停车状态也不需要消耗燃料。故燃料费用低，船舶的续航力大。

2. 功率范围大

单机功率自1.1至41000kW，因此其适应的领域宽广。

3. 机动性好

正常起动只需3~5s，并能很快达到全负荷。有宽广的转速和负荷范围，能适应船舶航行的各种要求，而且操作简便。

4. 尺寸小重量轻

柴油机不需要锅炉等大型附属设备，使柴油机动力装置的尺寸小、重量轻，特别适合于在交通运输等动力装置中应用。

5. 可直接反转

柴油机可设计成直接反转的换向柴油机，而且倒车性能好，使装置结构简单。

由于柴油机的应用范围广泛，因此，为满足各种不同的使用要求，柴油机的类型也就多种多样。根据柴油机的各种不同特点以及不同的分类方法，船舶柴油机大体上有以下若干型式：

1. 按工作循环分类

有四冲程柴油机和二冲程柴油机。

2. 按进气方式分类

有增压柴油机和非增压柴油机。

3. 按曲轴转速及活塞平均速度分类

有高速、中速和低速柴油机。

柴油机的速度可以用曲轴转速 n 或活塞平均速度 C_m 表示。如果曲轴转速为 n (r/min)，活塞行程为 s (m)，则活塞平均速度为

$$v_m = 2 \cdot s \cdot \frac{n}{60} = \frac{sn}{30} \quad (\text{m/s})$$

高速柴油机 $n > 1000 \text{ r/min}$; $v_m > 9 \text{ m/s}$ 。

中速柴油机 $n = 300 \sim 1000 \text{ r/min}$; $v_m = 6 \sim 9 \text{ m/s}$ 。

低速柴油机 $n < 300 \text{ r/min}$; $v_m < 6 \text{ m/s}$ 。

4. 按柴油机结构特点分类

有筒状活塞和十字头式柴油机；有单列气缸和多列气缸式柴油机。

图1-5是筒状活塞和十字头式柴油机的构造示意图。筒状活塞式柴油机的活塞直接与连杆连接，活塞往复运动的导向作用和工作过程中所产生的侧压力都是由活塞本身承担。与筒状活塞式柴油机不同，十字头式柴油机的活塞是通过活塞杆和十字头与连杆连接，活塞的导向作用和侧压力由十字头滑块与导板承担。

图1-6a)所示为气缸排成一列的直列式柴油机简图。为了提高柴油机的单位长度的功率，扩大单机功率范围，以及降低柴油机的重量指标，也有将柴油机设计成如图b)~g)所示的V型、H型、辐射式或对置气缸式等多列气缸的型式。

5. 按柴油机排气管的位置分类

有右或左单列柴油机。

由飞轮端向自由端看，排气管位于气缸中心线所在平面右侧的单列柴油机称为右单列柴油机；排气管位于气缸中心线所在平面左侧的单列柴油机称为左单列柴油机。

6. 按柴油机的转向分类

有单向和换向柴油机；由飞轮端向自由端看，有顺时针方向和逆时针方向旋转的柴油机。