

船舶柴油机原理

刘 颖 主编

国防工业出版社

U664.121
L76-2

128800

船舶柴油机原理

刘 颖 主编



国防工业出版社

内 容 简 介

本书主要阐述有关船用柴油机工作过程的基本原理。较详细地阐述了船用柴油机的发展趋势、燃油与燃烧过程、工质形成与燃烧室、换气过程、性能参数、废气涡轮增压器、涡轮增压器与柴油机的配合、增压柴油机的特性等问题；简要地介绍了降低排气污染、降低噪声、控制热负荷和最大燃烧压力的有关措施；还对柴油机工作过程、放热率等问题的电子计算机计算的基本方程作了一般介绍。

本书可作为高等学校船舶内燃机专业教材，也可供从事船舶柴油机（或其他内燃机）使用、试验、设计、制造和研究工作的工程技术人员使用和参考。并可作为船舶动力装置专业学生和技术人员的参考书。

船舶柴油机原理

刘 颖 主编

*

国防工业出版社 出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₁₆ 印张 42 930 千字

1980年4月第一版 1980年9月第一次印刷 印数：0,001—4,500册

统一书号：15024·2035 定价：4.25元



前言

本书系根据1978年4月全国造船专业统编教材会议所通过的《船舶柴油机原理》编写大纲编写的，并于1979年2月由武汉《船舶柴油机原理》教材审查会议通过。本书供高等学校船舶内燃机专业应用，计划学时为130学时。

审查会议有海军工程学院、武汉水运工程学院、上海交通大学、华南工学院、哈尔滨船舶工程学院、大连工学院、镇江船舶学院和七院十一所等单位参加。审查会议详细审查了全部书稿，认为本书基本按编写大纲编写，收集了国内外较多的资料，内容比较丰富，并反映了一些新的科学成就。主审人唐开元、崔可润、吴锦翔同志和到会的其他同志对书稿提供了许多宝贵的意见。在本书编写过程中还得到国防工业出版社的帮助，以及各兄弟院校、有关研究所、工厂的协助，我们在此一并表示感谢。

本书是在华中工学院船舶内燃机教研室编的《船舶柴油机原理》讲义(1974~1975年)的基础上改写的。考虑到船舶柴油机的特点，本书取材以增压柴油机为主，并增加了废气涡轮增压器一章。对燃油与燃烧、工质形成与燃烧室、废气涡轮增压器与柴油机的配合等方面作了较详尽的阐述。还对有关内容的电子计算机计算、污染、噪声和控制最大爆压等方面作了介绍。使用本教材时可以根据具体情况有所删减。

本书由刘颖教授主编，并编写了第一、三、四、五、七、八各章。参加编写的有：戚赉茂(第十一章)，朱梅林(第九章)，蒋克生(第二章)，蒋克生、崔心存、吴承雄合编第十章，蒋克生、张宗杰合编第六章，全书的插图由夏冬明同志描绘，全稿最后由熊立生同志作了文字删改。

由于我们水平有限，书中一定有不少缺点，希望读者和使用本教材的师生提出宝贵的意见。

编 者

目 录

本书使用的主要单位	1
本书使用的主要符号	2
第一章 船舶柴油机总论	5
第一节 柴油机在船舶动力装置中的地位	5
第二节 船舶柴油机的分类	6
第三节 船舶柴油机的当前使用情况及技术水平	12
第四节 船舶柴油机的发展趋势	21
第二章 柴油机的热力循环	26
第一节 柴油机的理想循环	27
第二节 柴油机的实际循环	40
第三章 燃油与燃烧	46
第一节 柴油机的燃油	46
第二节 燃油的物理化学性质	52
第三节 燃油在燃烧过程中的热化学和热力学	57
第四节 柴油机的燃烧过程	73
第五节 燃烧过程影响因素的分析与滞燃期的估算	104
第四章 工质形成和燃烧室	125
第一节 柴油机工质形成概述	125
第二节 燃油喷射系统	125
第三节 燃油的雾化	142
第四节 不正常喷射及其消除	149
第五节 喷油规律及其影响因素	157
第六节 燃烧室	166
第五章 压缩与膨胀过程	214
第一节 压缩过程及压缩终点状态参数的确定	214
第二节 膨胀过程及其终点状态参数的确定	225
第六章 四冲程柴油机的换气过程	232
第一节 四冲程柴油机的换气过程	232
第二节 四冲程柴油机的充气系数及其影响因素	236
第三节 提高充气系数的主要措施——减少进气系统阻力	240
第四节 配气定时的确定	243
第五节 排气系统对换气过程的影响	249
第六节 多缸柴油机进气空气量的均匀分配	250
第七节 进气空气的冷却	252
第八节 排气压力波的计算	255
第七章 二冲程柴油机的换气过程	260
第一节 二冲程柴油机与四冲程柴油机换气过程的比较	260

第二节	换气系统的基本型式	264
第三节	换气过程的各个阶段	270
第四节	换气过程品质评定	275
第五节	基准扫气效率	278
第六节	气口形状和尺寸	281
第七节	换气过程试验研究	296
第八章	柴油机的性能指标	301
第一节	柴油机的指示参数	301
第二节	柴油机的机械损失功率及机械效率	309
第三节	柴油机的有效参数	324
第四节	柴油机的热平衡	326
第五节	柴油机的热计算	331
第六节	柴油机的废气污染及噪声	349
第七节	柴油机的热负荷与降低热负荷的措施	371
第八节	降低柴油机机械负荷与控制最大燃烧压力 p_z	379
第九章	废气涡轮增压器	396
第一节	废气涡轮增压器的发展概况	396
第二节	废气涡轮增压器的构造	399
第三节	离心式压气机工作原理	411
第四节	离心式压气机的特性线	432
第五节	轴流式涡轮机的工作原理	472
第六节	轴流式涡轮机的特性线	515
第七节	径流式涡轮机的工作原理	524
第十章	柴油机与涡轮增压器的配合	543
第一节	废气可用能及增压系统的选择	543
第二节	涡轮增压器设计参数的选择	569
第三节	脉冲涡轮设计参数的确定	578
第四节	涡轮增压器效率对柴油机性能的影响	584
第五节	二冲程柴油机增压系统的特点	588
第六节	超高增压柴油机	599
第七节	增压器与柴油机的特性配合及调整	610
第八节	增压器进口真空度及涡轮后的阻力对柴油机性能的影响	620
第九节	柴油机功率随大气状况变化的修正	625
第十节	四冲程涡轮增压柴油机配合特性电算简介	627
第十一章	船舶柴油机的特性	630
第一节	柴油机的工况	630
第二节	速度特性	631
第三节	螺旋桨推进特性	639
第四节	负荷特性	643
第五节	万有特性	645
第六节	柴油机功率的标定方法	646
第七节	柴油机的工作稳定性和调速特性	649
第八节	柴油机的运转范围与限制特性	652
第九节	柴油机与船舶负荷特性的配合	656

本书使用的主要单位

长度:

微米 μ
毫米 mm
厘米 cm
米 m

体积:

立方毫米 mm^3
毫升 c.c.
升 l
立方米 m^3

重量:

克 g
公斤 kg

时间:

秒 s
分 min
小时 h

压力:

公斤/厘米² kg/cm^2
工程大气压 atm.
水银柱(毫米) mmHg
水柱(毫米) mmH_2O

温度:

摄氏温度 $^{\circ}\text{C}$
绝对温度 K

热量:

卡 cal
千卡 kcal

角度:

度 $^{\circ}$
分 '

力矩:

公斤·米 $\text{kg}\cdot\text{m}$

转速:

转/分 r.p.m

功率:

公制马力 ps

油耗:

克/马力·小时 $\text{g/ps}\cdot\text{h}$

重度:

克/厘米³ g/cm^3
公斤/米³ kg/m^3
公斤-莫尔 $\text{kg}\cdot\text{mol}$

本书使用的主要符号

p_0 ——环境压力	V_s ——燃烧终点气缸容积
p_i ——进气系统压力	V_b ——膨胀终点气缸容积
p_s ——进气终点压力	V_a ——扫气口刚打开时气缸容积
p_c ——压缩终点压力	l ——长度
$p_{\max}$ ——最大燃烧压力	L ——燃烧 1 公斤燃料实际所需空气量 (公斤-莫尔)
p_b ——膨胀终点压力	L_0 ——燃烧 1 公斤燃料理论所需空气量 (公斤-莫尔)
p_r ——排气阀后面的压力	L' ——燃烧 1 公斤燃料实际所需空气量 (公斤)
p_{tr} ——废气涡轮前压力	L'_0 ——燃烧 1 公斤燃料理论所需空气量 (公斤)
p'_0 ——排气背压	L_p ——声压级 (分贝)
p_k ——增压压力	L_i ——声强级 (分贝)
p ——气缸压力	L_w ——声功率级 (分贝)
p_i ——平均指示压力	m ——示功图弹簧比例尺; 动作系数
p_e ——平均有效压力	M ——燃烧 1 公斤燃料的燃烧产物的公斤 莫尔数
p_m ——平均机械损失压力	M_1 ——燃烧前气缸中充量的公斤莫尔数
p_{mf} ——平均摩擦损失压力	M_2 ——燃烧后气缸中充量的公斤莫尔数
p_p ——平均泵气损失压力	M_r ——残余废气公斤莫尔数
p_{su} ——平均辅助机械损失压力	H_u ——燃料低热值
p_a ——扫气口刚打开时气缸内压力	H_H ——燃料高热值
p_{cr} ——气缸内临界压力	α ——过量空气系数
T_0 ——环境温度	α_s ——总过量空气系数
T_i ——进气系统温度	γ ——残余废气系数
T_s ——进气终点温度	n ——柴油机转速
T_c ——压缩终点温度	n_{rk} ——增压器转速
$T_{\max}$ ——最高燃烧温度	n_1 ——压缩多变指数
T_r ——排气阀后温度	n_2 ——膨胀多变指数
T_{tr} ——废气涡轮前温度	n_p ——喷油泵凸轮轴转速
T_k ——增压空气温度	N_e ——有效功率
T'_0 ——涡轮后排气温度	N_i ——指示功率
T ——气缸中气体温度	
V ——容积	
V_s ——气缸工作容积	
V_c ——压缩终点气缸容积	
V_a ——压缩始点气缸容积	

N_m ——机械损失功率	G_f ——每小时耗油量(公斤)
N_{mf} ——摩擦损失功率	G_B ——每小时耗气量(公斤)
N_p ——泵损失功率	G_{exh} ——每小时废气量(公斤)
N_c ——压气机或扫气泵损失功率	C ——工质莫尔比热
N_{au} ——辅助机械损失功率	C_m ——工质平均莫尔比热; 活塞平均速度
N_k ——压气机或扫气泵功率	C_v ——定容平均莫尔比热
N_T ——废气涡轮功率	C_p ——定压平均莫尔比热
ϕ ——曲轴转角; 示功图丰满系数	C_{vr} ——剩余气体定容平均莫尔比热
ϕ_s ——扫气系数	C_{pr} ——剩余气体定压平均莫尔比热
φ_o ——相应大气条件的扫气空气系数	C_{vsm} ——干空气定容平均莫尔比热
φ_k ——相应增压条件下的扫气空气系数	C_{psm} ——干空气定压平均莫尔比热
η_r ——循环热效率	$C_{r,pm}$ ——“纯”燃烧产物定容平均莫尔比热
η_v ——充气系数	$C_{p,pm}$ ——“纯”燃烧产物定压平均莫尔比热
η_i ——指示效率	$C_{v,arm}$ ——新鲜空气与剩余气体定容平均莫尔比热
η_e ——有效效率	$C_{p,arm}$ ——新鲜空气与剩余气体定压平均莫尔比热
η_m ——机械效率	$C_{v,prm}$ ——燃烧产物与剩余气体定容平均莫尔比热
η_g ——循环相对效率	$C_{p,prm}$ ——燃烧产物与剩余气体定压平均莫尔比热
η_T ——废气涡轮效率	W_i ——指示功
η_k ——压气机效率	W_e ——有效功
η_{Tk} ——涡轮增压器效率	W_m ——机械损失功
η_e ——能量传递效率	W ——声功率(瓦)
ξ ——热利用系数	W_o ——基准声功率, $W_o = 10^{-12}$ 瓦
ψ_s ——二冲程机冲程失效系数	U ——工质内能
λ_g ——放热系数	Q_i ——燃油在气缸中发生的总热量
λ ——燃烧过程压力升高比	Q_e ——有效功热当量
ρ ——前膨胀比; 介质密度	Q_w ——冷却水带走的热量
δ ——后膨胀比	$Q_{w'}$ ——空冷器冷却水带走的热量
ε ——压缩比	Q_{ow} ——机油冷却器冷却水带走的热量
ε' ——有效压缩比	$Q_{ow'}$ ——增压器冷却水或冷却机油带走的热量
ω ——压力升高率	Q_s ——废气带走的热量
π_k ——增压器增压比	Q_r ——余项损失带走的热量
τ_f ——滞燃时间(秒)	α ——燃油中的音速; 介质中质点振动
φ_f ——滞燃角(度)	
g_f ——指示油耗	
g_e ——有效油耗	
g ——重力加速度	
g_{cyc} ——循环供油量	
g_{cyl} ——每缸供油量	

的最大振幅
 A ——功热当量
 E ——能量, 燃油弹性模数
 d ——直径
 D ——气缸直径
 S ——活塞行程
 f ——频率(次/秒)
 f_e ——喷嘴环面积
 F ——面积
 F_p ——活塞面积

i ——气缸数目
 I ——声强, 焐
 I_0 ——基准声强, $I_0 = 10^{-12}$ 瓦/米²
 t ——时间
 θ ——供油提前角
 θ_s ——喷油提前角
 μ_0 ——初排气阶段流量系数
 μ_s ——扫气流量系数
 μ_E ——强制排气流量系数

第一章 船舶柴油机总论

第一节 柴油机在船舶动力装置中的地位

柴油机由于在各种动力机械中热效率最高，功率范围宽广，起动迅速，维修方便，运行安全，使用寿命较长，因而得到广泛应用，在国民经济和国防建设中处于重要地位。特别在船舶方面，柴油机作为主机和辅机更是占统治地位。绝大部分内河及沿海小型船舶都以柴油机作为主机和辅机。在远洋船舶中，1976年国外新建的2000吨以上的船舶中，有72.8%使用柴油机作为动力装置，其中30000吨以下的船舶，几乎全部用柴油机作为动力。就是更大型的船舶，例如270000吨的油船，1970年也选用丹麦B & W公司的38000马力的K 98 EF型10缸二冲程低速柴油机作为主机。近年来由于大型低速二冲程柴油机多机组动力装置的使用，四冲程中速大功率柴油机的迅速发展，两级增压在大型低速二冲程柴油机和大功率四冲程中速柴油机上的逐渐推广，船舶柴油机的单机功率不断提高，使船舶柴油机在大型船舶及大型舰艇上大量应用，有与蒸气轮机、燃气轮机以及核动力装置并驾齐驱的可能。

图1-1为1973年100吨以上的全世界船舶下水数及使用动力类别的比例。可以看出15000吨以下船舶，全部使用柴油机作为动力装置。30000~100000吨的船舶，绝大多数使用柴油机作为主机。图1-2为日本船用机关学会与日本主要造船厂及船主进行研究后，对1980年

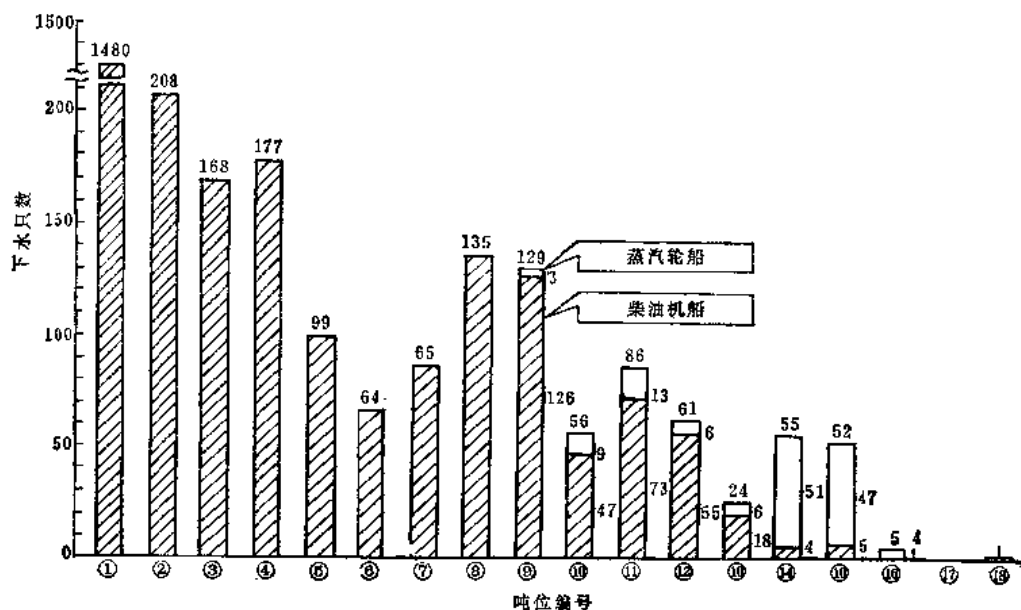


图1-1 1973年100吨以上船舶下水数及使用动力比例

- | | | | | |
|----------------|----------------|--------------|----------------|----------------|
| ①100~499 | ②500~999 | ③1000~1999 | ④2000~3999 | ⑤4000~5999 |
| ⑥5000~7999 | ⑦8000~9999 | ⑧10000~14999 | ⑨15000~19999 | ⑩20000~29999 |
| ⑪30000~49999 | ⑫50000~74999 | ⑬75000~99999 | ⑭100000~124999 | ⑮125000~149999 |
| ⑯150000~174999 | ⑰175000~199999 | ⑱200000以上 | | |

几种主要民用船舶对动力装置要求分类预测。可以看出低速柴油机将在散装货船, 矿/油船和矿/散/油兼用船上占主要地位, 而蒸汽轮机则在油船上占主要地位, 燃气轮机将在集装箱船和液化天然气船上占主要地位。

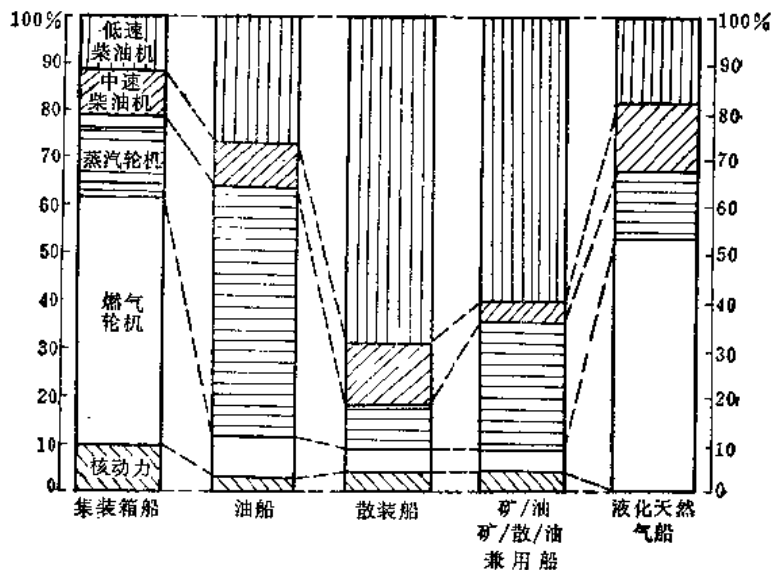


图1-2 1980年船用动力类别预测

海军轻型水面舰艇除部分使用燃气轮机或柴油机与燃气轮机联合装置作为动力装置外, 大多数以柴油机作为动力装置。这些舰艇有猎潜艇、扫雷艇、巡逻艇、炮艇、鱼雷快艇、导弹快艇、登陆舰及辅助舰等。近年来大型水面舰艇有逐渐采用燃气轮机作为主机的趋势, 但有些护卫舰、驱逐舰仍以柴油机或柴油机与燃气轮机联合装置作为动力装置。至于潜艇, 除核动力装置外, 所有常规潜艇都以柴油机作为主机。

1973年, 资本主义国家的柴油机产量估计为三亿八千万马力, 其功率总数超过任何其他动力机械, 而且有每年增加15%的趋势。所以在国外有人认为当前的动力工业是处于“柴油机时代”。

第二节 船舶柴油机的分类

船舶柴油机目前还没有统一的分类方案。常见的有以下几种分类方式

一、按工作循环分类

有四冲程柴油机与二冲程柴油机。四冲程柴油机是曲轴转两转, 也就是活塞运动四个行程构成一个工作循环, 它包括进气、压缩、燃烧、膨胀、排气几个过程。二冲程柴油机是曲轴转一转, 也就是活塞运动两个行程构成一个工作循环, 它同样包括上述几个过程。

二冲程柴油机按其扫气方式又分为横流扫气、回流扫气和直流扫气等类型柴油机。

二、按进气状态分类

按进气状态柴油机可以分为非增压柴油机、增压无中冷柴油机和增压带中冷柴油机。

增压柴油机按压气机的驱动方式又分为机械增压柴油机和废气涡轮增压柴油机。机械

增压柴油机是通过传动齿轮由曲轴供给压气机的驱动功率。废气涡轮增压柴油机是利用排气中的废气能量驱动废气涡轮，再由涡轮驱动压气机将空气压缩后送入气缸，涡轮输出功率等于压气机消耗功率，两者装在同一轴上。假如废气涡轮与曲轴有机械连系，废气涡轮驱动压气机功率不足时由曲轴补充，有余时则传给曲轴，与轴上的功率一同输出，这就叫做复合式增压柴油机。

增压柴油机按增压程度又可分为低增压、中增压、高增压和超高增压。这里没有统一的规定。一般认为：

增压压力 p_k 小于 1.7 公斤/厘米² 为低增压；

增压压力 p_k 等于 $1.7 \sim 2.5$ 公斤/厘米² 为中增压；

增压压力 p_k 等于 $2.5 \sim 4.0$ 公斤/厘米² 为高增压；

增压压力 p_k 大于 4 公斤/厘米² 为超高增压。

目前在几百马力的小型增压柴油机上，多采用一级废气涡轮增压，最大增压压力可以达到 5 公斤/厘米²。在几千马力以上的大功率增压柴油机上，一级废气涡轮增压最大增压压力 p_k 只能达到 4 公斤/厘米²；使用超高增压方式其 p_k 超过 5 公斤/厘米² 以上时，多改用两级废气涡轮增压，即空气先经过低压涡轮增压器，然后经过低压空气冷却器（也叫中冷器）进行冷却，再经高压涡轮增压器进行压缩，继而流过高压空气冷却器（也叫后冷器）进行冷却，最后进入气缸。

（一）机械增压柴油机

机械增压柴油机的特点是压气机由曲轴供给部分功率加以驱动，结果使柴油机的输出功率相对减少，油耗增加。随着增压压力 p_k 的提高，压气机消耗的功率急剧增加，以至达到某一限度时，不仅油耗急剧增加，压气机消耗的功率完全抵消了柴油机增加的功率，使继续提高增压压力完全无用。因此机械增压柴油机增压压力一般不超过 1.6 公斤/厘米²。它的优点是增压系统较为简单，增压器的成本较废气涡轮增压器为低。机械增压柴油机的加速性能好，与非增压柴油机相似，可以很快地从低速空负荷工况加速到高速满负荷工况。

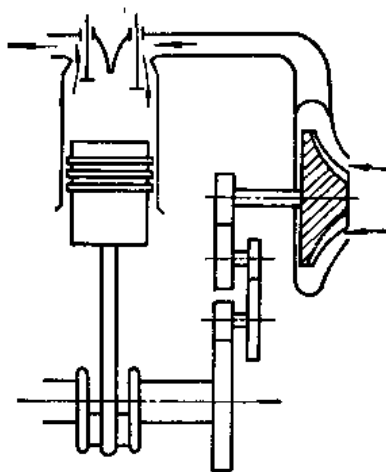


图 1-3 为机械增压柴油机示意图。

图 1-3 机械增压柴油机示意图

非增压二冲程柴油机为了保证气缸扫气，必须有由曲轴驱动的扫气泵，使扫气压力高于排气压力。这个扫气泵的扫气压力在 1.3 公斤/厘米² 左右。有扫气泵的二冲程柴油机不算是机械增压柴油机。

（二）废气涡轮增压柴油机

柴油机的排气具有 $400 \sim 700^\circ\text{C}$ 的高温，排出时具有很高的速度和一定的压力，排气中的可用能量约占燃料燃烧放出热量的 $25 \sim 40\%$ 。柴油机采用废气增压就可部分地利用这些能量。

五十年代后, 废气涡轮增压柴油机得到很大发展。目前船舶柴油机、机车柴油机、固定电站用柴油机已几乎全部采用废气涡轮增压。近年来更不断提高增压压力, 大型废气涡轮增压器的压比已达 3.5~4, 小型的已达 5。增压器的总效率较先进的已达 60% 以上。

废气涡轮增压柴油机的最突出的优点是在非增压柴油机整体尺寸基本不变或稍有变更的基础上, 仅变更部分部件的结构尺寸, 成倍甚至三倍四倍地增加整机功率, 从而大大降低其比重量, 使一部柴油机发出几部非增压柴油机的功率。其次是大大改善了柴油机的经济性, 降低燃油油耗。表 1-1 用法国鲍扬特 520 系列柴油机(Poyaud 520 Series Engine)来说明各种废气涡轮增压系统对提高整机功率的作用。

表 1-1 鲍扬特 520 柴油机不同涡轮增压系统提高功率表

增压方式	缸数	缸径 毫米	行程 毫米	转速 转/分	增压压力 P_k 公斤/厘米 ²	平均有效压力 P_e 公斤/厘米 ²	单缸功率 马力	整机功率 马力
非增压(NS型)	6	135	122	2500	1	6.16	30	180
废气涡轮增压(S1型)	6	135	122	2500	1.7	8.516	42	250
废气涡轮增压带中冷(S2型)	6	135	122	2500	2.0	11.3	55	330
超高增压一级涡轮带中冷(S3型)	6	135	122	2500	5.0	20.6	100	600
超高增压二级涡轮加二级中冷	6	135	122	2500	6.5	25.6	125	750

由表 1-1 可以看出非增压柴油机进行废气涡轮增压后, 使整机功率成倍甚至 3~4 倍增加, 油耗亦有所降低。表中平均有效压力为单位气缸工作容积在曲轴输出端所做的有效功。目前较先进的船舶用中速四冲程柴油机和低速二冲程柴油机有效效率已达 43%, 有效油耗最低的已降低到 144 克/马力小时。

废气涡轮增压系统目前常用的有两种, 即脉冲涡轮增压系统和定压涡轮增压系统。图 1-4 为两种增压系统的示意图。

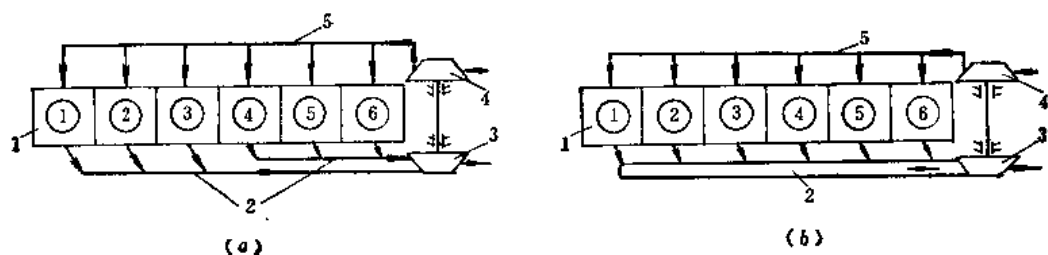


图 1-4 两种废气涡轮增压系统示意图

(a) 脉冲增压; (b) 定压增压。

1—柴油机; 2—排气管; 3—涡轮; 4—压气机; 5—进气管。

1. 脉冲涡轮增压系统

脉冲涡轮增压系统又称变压涡轮增压系统, 它的结构示意图如图 1-4 中 (a) 图所示。它没有容积很大的排气总管, 各缸排气管短而细, 并按三缸或两缸一组分成若干组分别连接到不同的涡轮进口, 以防止一缸排气对另一缸扫气的干扰。它的优点是在低增压及中增压时, 能利用一部分废气的脉冲能量, 在起动及低负荷工况下, 有利于涡轮和压气机之间的功率平衡。它的缺点是排气管路复杂, 涡轮在气流波动情况下运行, 效率较低。

2. 定压涡轮增压系统

定压涡轮增压系统如图 1-4 中 (b) 图所示。它的结构特点是一列气缸的排气管都连接到一根共同的容积较大的排气总管上, 由排气总管将废气引入定压涡轮。由于排气总管容积较大, 废气在排气管中迅速膨胀, 压力很快稳定。废气基本上以不变的速度和压力进入涡轮, 涡轮的工况比较稳定, 效率较高。

三、按曲轴转速及活塞平均速度分类

柴油机的速度可以用曲轴转速 n 和活塞平均速度 C_m 作为分类的指标。如果柴油机的转速为 n 转/分, 活塞的行程为 S 米, 当曲轴转一转时活塞移动两个行程长度 $2S$ 米。曲轴每秒转 $n/60$ 转, 所以活塞平均速度 C_m 为:

$$C_m = 2S \times \frac{n}{60} = \frac{nS}{30} \text{ 米/秒}$$

按曲轴转速 n 将船舶柴油机分为低速、中速及高速时, 其范围为:

- 低速柴油机 $n < 300$ 转/分;
- 中速柴油机 $n = 300 \sim 1000$ 转/分;
- 高速柴油机 $n > 1000$ 转/分。

按活塞平均速度 C_m 划分, 其范围为:

- 低速柴油机 $C_m < 6$ 米/秒;
- 中速柴油机 $C_m = 6 \sim 9$ 米/秒;
- 高速柴油机 $C_m = 9 \sim 13$ 米/秒。

低速柴油机一般用做主机, 与螺旋桨直接连接。中速柴油机, 较小的作为传动发电机的原动机, 大功率中速柴油机则作为船舶主机, 它们与螺旋桨之间有减速装置, 转速较低的也有不经减速装置的。高速柴油机常作为船舶应急发电机的原动机, 也常作为轻型舰艇主机, 如用做主机需经减速装置减速。

低速柴油机与中速柴油机多用做商用船舶主机, 中速柴油机及高速柴油机多作为舰艇主机。

四、按结构特点分类

(一) 筒形活塞柴油机与十字头式柴油机

图 1-5 表示筒形活塞柴油机和十字头式柴油机的构造示意图。图中 (a) 为筒形活塞柴油机, 它的特点是活塞的高度较大, 活塞上下运动时的导向作用由活塞本身下部的筒形裙部来承担。活塞通过活塞销直接与连杆小头相连接, 在运动时活塞与气缸壁之间产生侧推力 N 。活塞底部与曲轴箱沟通, 气缸壁上流下的润滑油直接流入曲轴箱内。这种结构的优点是结构简单、紧凑、轻便, 发动机高度较小。它的缺点是由于运动时有侧推力, 活塞与气缸套壁之间的磨损较大。目前高速及中速柴油机都采用这种构造型式。

图 1-5 中的 (b) 图是十字头式柴油机。它的特点是活塞的高度较小, 活塞 1 与气缸中心线重合的活塞杆 2 相连, 活塞杆 2 下端通过十字头 3 上的十字头销与连杆 4 的小头相连接。十字头的滑块 5 在导板 6 之间滑动。活塞上下运动时的导向作用主要由十字头承担,

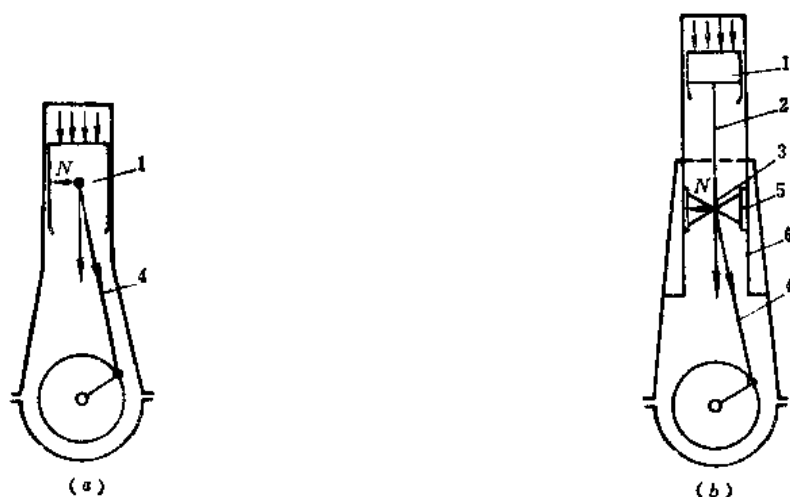


图1-5 筒形活塞与十字头式柴油机的构造简图

(a) 筒形活塞柴油机; (b) 十字头式柴油机。

1—活塞; 2—活塞杆; 3—十字头; 4—连杆; 5—滑块; 6—导板。

侧推力 N 产生在滑块与导板之间。由于活塞不起导向作用而且与气缸套壁之间没有侧推力, 它们之间间隙较大, 磨损较小, 不易擦伤或卡死。又由于活塞杆只作垂直方向的直线运动, 有可能在气缸下部设一隔板如图中虚线所示, 把气缸和曲轴箱空间隔开, 防止气缸由于燃烧重油产生的脏油、烟灰和燃气流入曲轴箱, 污染曲轴箱底的润滑油。还可利用这一隔板在活塞下方空间形成活塞底泵, 作为辅助的扫气泵。它的缺点是柴油机高度和重量增大, 结构复杂。目前大型低速二冲程柴油机都采用十字头式柴油机型式。

(二) 按气缸列数分类

按气缸列数柴油机可以分为单列式柴油机、V型柴油机和多列式柴油机。

1. 单列式柴油机

单列式柴油机的特点是柴油机所有气缸排列成一列。所有十字头低速二冲程柴油机都是单列式柴油机, 气缸数目从6缸最多达到12缸。中速大功率柴油机有6、8、9缸单列机, 个别厂家有10缸单列机如意大利G.M.T.公司的A420及A550型柴油机。单列式柴油机的特点是结构简单、维修保养方便, 操纵维护人员易于接近柴油机的有关部位。

2. V型柴油机

V型柴油机的特点是气缸排列成两列, 两列气缸的中心线相交成为V型, 两列气缸共用一根曲轴。许多中速、高速大功率柴油机采用V型结构。最常用的气缸数目是12缸、16缸、18缸, 少数机型有V型20缸。这种发动机的外形尺寸较为紧凑, 长度较短、高度较小, 宽度较单列式柴油机稍大。结构虽较单列式为复杂, 但所有气缸都能从而侧接触到, 便于检查保养。我国12VE230、轻12V180、重12V180、16V200ZL、12V240ZL、16V240ZL全是V型柴油机。国外大功率中速柴油机都采用单列及V型结构, 6、8、9缸采用单列型, 12、16、18缸采用V型。

3. 多列型柴油机

气缸排列成两列以上的为多列型柴油机, 列数从三列到七列。多列型柴油机只在要求外形尺寸小、重量轻、功率大的大功率高速柴油机上所采用, 例如各种快艇的主机。由于

结构复杂, 维修保养困难, 可靠性较差, 近年来有逐渐为较大缸径的 V 型柴油机取代的趋势。三列柴油机有 W 型及 V 型, 前者三列气缸排列成 W 型但三列气缸共用一根曲轴, 代表机型有日本三菱重工业公司从四十年代到六十年代研制成功的 24 缸的 24 WZ 型高速柴油机; 后者由三列对置活塞的气缸组成 V 型, 在 V 型的三个角上有三根曲轴, 其代表机型为英国纳皮尔 (Napier) 公司从四十年代到五十年代研制的 T18-37K 型柴油机和 1971 年功率提高到 4140 马力的 CT18-50K 涡轮增压中冷柴油机。

四列柴油机有 X 型、工字型、□型及◇型。X 型代表机型有 32 缸的意大利飞亚特 (Fiat) 公司的 X560 及 X1832 型柴油机, 功率分别为 3600 马力及 4000 马力, 转速皆为 1640 转/分, 作为快艇及水翼艇主机, 六十年代研制成功后, 现已停止生产。工字型柴油机的代表机型有西德与法国六十年代联合研制的 40 缸 7000 马力 1700 转/分大型快艇主机 MTU40H672 型柴油机。该机 1970 年研制成功, 由于试验中发现上下两部分调速器同步困难、柴油机结构刚性不足、两根曲轴并车存在振动、影响寿命及可靠性, 西德 MTU 公司认为是失败机型, 已放弃继续研制。至于□型及◇型由于使用四根曲轴, 结构复杂, 造价昂贵, 只有设想, 并无实际机型。

多列柴油机最多列数为七列星型, 代表产品有苏联快艇主机 42 缸 4000 马力, 2200 转/分的 M503A 型柴油机和 56 缸 6000 马力, 2200 转/分的 M504 型柴油机。它们都是七列星型排列, 前者每列六缸, 后者每列八缸, 都使用一根曲轴。这些柴油机具有结构紧凑、重量轻、功率大的优点, 但缸数多, 星型结构异常复杂, 零件加工精度要求高, 可靠性差, 难于维修等缺点, 初期大修期仅有 300~400 小时。近年改进后已提高到 600 小时。

(三) 按可倒转与不可倒转分类

船用柴油机可分成可倒转柴油机与不可倒转柴油机两类。作为船舶主机的大型低速二冲程柴油机, 通常皆具有倒转机构, 由于它与螺旋桨直接连接, 船舶倒退时即用倒车机构使发动机旋转方向倒转, 以驱动螺旋桨倒转。中速大功率柴油机作为船舶主机时多设计成可倒转柴油机, 它通过或不通过减速齿轮箱与螺旋桨连接。由于中速大功率柴油机还可用做发电机原动机, 只要减少或更改少数部件, 就可改为不可倒转柴油机。高速大功率船用柴油机由于本身结构紧凑, 不易安装倒转机构, 都设计成不可倒转柴油机。它通过后传动装置中的倒顺车离合器、减速齿轮箱和液力偶合器与螺旋桨连接, 由倒顺车离合器完成螺旋桨的倒转动作要求。

五、船舶柴油机的型号

船舶柴油机类型不一, 制造厂家常根据柴油机的特点以及缸径行程尺寸等给柴油机以特定的型号而没有统一的规定。现将国产柴油机型号介绍如下:

(一) 我国的大功率低速二冲程柴油机

这类柴油机的型号由四个部分组成。第一部分为数字, 表示气缸数; 第二部分是技术特性代号, 选取几个主要技术特性以汉语拼音的第一个字母来表示; 第三部分为气缸直径和活塞行程, 以厘米为单位表示; 第四部分表示改型第几代产品。例如

6ESDZ 75/160 B

其中 6 —— 气缸数目; E (Er) —— 二冲程;