

海军舰艇机电教材 柴油机原理与管理

(供内部学习, 不外传)

中国人民解放军 海军司令部

一九八一年五月



出 版 说 明

《柴油机原理与管理》此次出版，是委托海军38640部队机电教研室编写的。在编写过程中，参考了海军74年版本、海军工程学院和上海交通大学等院校的有关教材，较全面地阐述了柴油机原理、工况管理以及与管理有关的一些主要问题。通俗易懂，适合具有初中毕业以上文化程度的柴油机管理人员自学和做为舰艇机电干部短期集训的教科书。

在使用中，注意总结经验，发现问题及时上报海司军训部。

目 录

绪 言	1
第一章 柴油机的示功图和循环参数	4
第一节 柴油机的工作循环和示功图	4
第二节 船用柴油机的循环参数	7
第二章 船用柴油机的实际工作循环	14
第一节 压缩过程	14
第二节 燃烧过程	16
第三节 膨胀过程	21
第四节 换气过程	22
第三章 柴油机的喷射与燃烧室	35
第一节 供油规律	35
第二节 柴油的喷散和雾化	38
第三节 燃烧室和可燃混合气的形成	41
第四章 柴油机的增压	49
第一节 概述	49
第二节 四冲程柴油机的机械增压	50
第三节 柴油机的废气涡轮增压	51
第五章 柴油机的特性	71
第一节 柴油机的负荷特性	71
第二节 柴油机的外部特性	73
第三节 柴油机的推进特性	77
第六章 柴油机主要机件的受力与强度	82
第一节 材料强度的基本知识	82
第二节 作用在柴油机主要机件上的力	97
第三节 燃烧室组件的受力与强度	103
第四节 动力传递组件的受力与强度	115
第七章 柴油机的振动与防振简介	121
第一节 机体的振动与防振	121
第二节 轴系的弯曲振动	140
第三节 轴系的扭转振动	146
第四节 振动的判定	164
第八章 磨损与润滑	166
第一节 磨损与摩擦	166

第二节	轴与滑动轴承的磨损与润滑	170
第三节	活塞与气缸壁的磨损与润滑	174
第四节	润滑油及润滑系统的管理	176
第九章	腐蚀与防腐蚀	186
第一节	化学腐蚀和电化学腐蚀	186
第二节	孔蚀	190
第三节	N L型乳化防锈油的组成、性质及使用	191
第十章	船用调速器	196
第一节	概述	196
第二节	直接作用式调速器	200
第三节	硬反馈间接作用式调速器	201
第四节	软反馈间接作用式调速器	203
第五节	调速器的性能	206
第六节	调速器的管理	217
第十一章	舰艇运动的阻力及螺旋桨	220
第一节	舰艇运动的阻力	220
第二节	螺旋桨	223
第十二章	柴油机的工况与管理	240
第一节	柴油机外特性和螺旋桨特性的配合	240
第二节	执行特定任务时柴油机的工况与管理	249
第三节	舰艇进行各种运动时柴油机的工况与管理	253
第四节	多机多桨舰艇柴油机的工况与管理	261
第五节	在不同海区与不同气象条件下柴油机的工况与管理	263
第十三章	续航力的计算	269
第一节	续航力的意义	269
第二节	续航力的计算及续航力曲线图的应用	269

绪 言

柴油机是将柴油燃烧放出的热能转变成机械功的一种发动机。柴油机动力装置在中小型水面舰艇上被广泛用作主付机动力装置。

目前,中小型水面舰艇采用的动力装置类型主要有:柴油机动力装置、燃气轮动力装置、蒸汽轮动力装置、柴—燃联合动力装置以及蒸—燃联合动力装置等五种类型。对于不同排水量、不同航速、不同任务的舰艇来说,各类动力装置有着不同的适应性。就目前的舰艇技术装备情况来看,柴油机动力装置以及柴—燃联合动力装置,在海军战术技术性能指标上具有着广泛的优越性和适应性。为了说明柴油机动力装置的优劣,下面用列表的方法对各类动力装置的主要性能指标作一综合比较。

项 目	柴 油 机	蒸 汽 轮 机	燃 气 轮 机
单 机 功 率 (马 力)	中速 32400 高速 7000	35000—45000 最大 120000	大: 55000—50000 中: 10000—15000 小: 5000
耗 油 率 (克/马力小时)	中速 140—167 高速 153—170	一般: 210—230 少数: 180—190	一般: 200—300 少数: 170—190
耗 气 率 (克/马力小时)	5—9	中 等	一般: 14—24 少数: 6—10
单 位 马 力 重 量 (公斤/马力)	1.42—4	10—15	1.67 (连减速齿轮箱 考虑在内)
起 动 性 能	数 秒	30—90分	数 十 秒
操 纵 性	良 好	较 差	良 好
可 靠 性	中 等	良 好	中 等
振 动 与 噪 音	差	良 好	中 等

从上表中可以看出,柴油机动力装置与燃气轮动力装置具有较多的优越性,它们之间还能相互补充不足之处。故在中型舰艇以及400吨左右的导弹快艇上采用柴—燃联合动力装置在目前的情况下是比较理想的一种方案。因为柴油机的功率是能满足巡航机要求的,而且它

的经济性好、油耗率低适合于做为长期工作的巡航机。燃气轮机虽然经济性较差，但具有较高的功率和良好的重量指标，因此做为“待用”的加速机组是很合适的。

柴油机的种类和分类方法繁多，目前我海军舰艇上有如下几种分类法：

(一) 按冲程（工作循环）分：

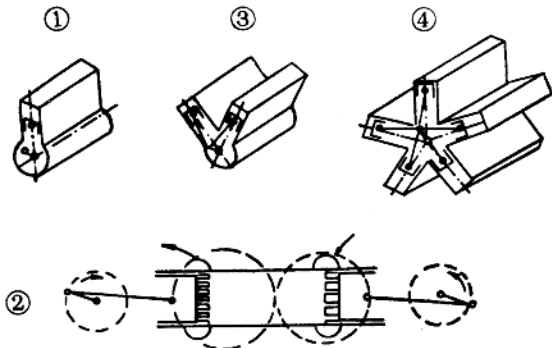
1. 四冲程柴油机
2. 二冲程柴油机

(二) 按进气压力分：

1. 增压式柴油机
2. 非增压式柴油机

(三) 按气缸排列形式分：

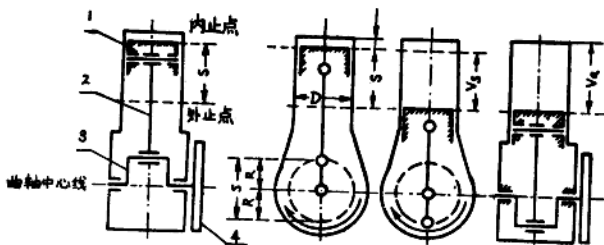
1. 单列式（图①）
2. 对顶式（图②）
3. V型柴油机（图③）
4. 星型柴油机（图④）



(四) 按柴油机转速（ n ）分：

1. 低速 $n \leq 300$ 转/分
2. 中速 $300 < n \leq 1000$ 转/分
3. 高速 $n > 1000$ 转/分

为了研究柴油机的工作原理，必须要了解柴油机的几个主要名词。现根据单缸柴油机曲柄连杆机构示意图说明如下：



单缸柴油机曲柄连杆机构示意图

1. 活塞 2. 连杆 3. 曲轴 4. 飞轮

1. 缸径：气缸的内径，通常用“D”表示。

2. 上死点（内止点）和下死点（外止点）：

上死点（内止点）——活塞在气缸内其顶面运动到离曲轴中心最远的位置称为上死点。

下死点（外止点）——活塞在气缸内其顶面运动到离曲轴中心最近的位置称为下死点。

内止点和外止点，是以活塞在气缸中相对于气缸容积的位置而言的，定义比较严密。例如对于星型柴油机来说，就可以避免不必要的“上”“下”混淆了。

3. 活塞冲程（S）：活塞在气缸内从内止点运动到外止点之间的距离称为活塞的冲程（或称行程）。活塞走一个冲程，曲轴就旋转180°，活塞冲程等于曲柄半径的两倍，即 $S = 2R$ 。

4. 燃烧室容积（ V_c ）：活塞到达内止点时，它与气缸、气缸盖之间的空间叫做燃烧室，其容积叫做燃烧室容积（又称压缩室容积）。

5. 气缸总容积（ V_s ）：活塞到达外止点时，它与气缸、气缸盖之间的空间叫做一个气缸的总容积。

6. 气缸工作容积（ V_s ）：是指从活塞内止点至活塞外止点之间的气缸容积。

$$V_s = V_s - V_c \text{ 或 } V_s = \frac{\pi D^2}{4} \cdot S$$

7. 柴油机的总排量（V）：是柴油机所有气缸的工作容积的总和。即：

$$V = V_s \cdot i \quad (i \text{ 是气缸数目})$$

8. 压缩比（ ϵ ）：气缸的总容积与燃烧室容积之比叫做压缩比。

压缩比说明当活塞由外止点运动到内止点时，气缸内空气的容积被减小的倍数，即说明气体被压缩的程度。柴油机的压缩比一般为 $\epsilon = 12 \sim 22$ 。

第一章 柴油机的示功图和循环参数

第一节 柴油机的工作循环和示功图

图 1—1 为四冲程柴油机工作循环示意图。

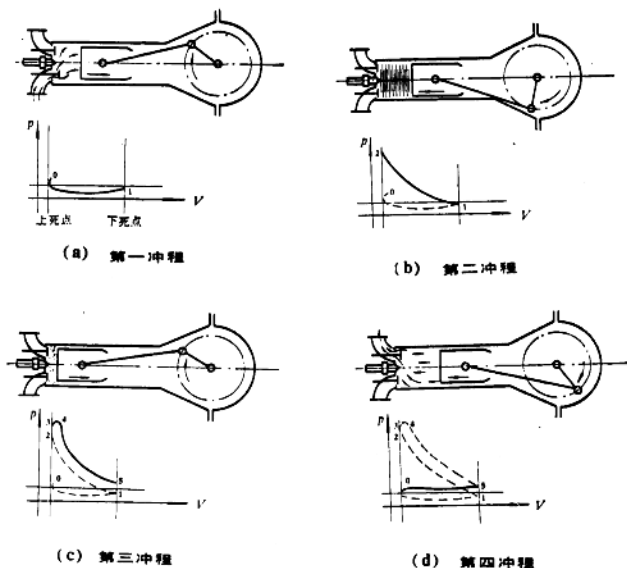


图 1—1 四冲程柴油机工作循环示意图

第 I 冲程——进气冲程。此时活塞由上死点向下死点运动，气缸容积逐渐增大，新鲜空气被吸入，因为存在着进气阻力，故气缸内压力略低于环境空气压力 P_0 。在图 1—1 (a) 上，线段 0→1 就表示这个过程。

第 II 冲程——压缩冲程。在图 1—1 (b) 上为线段 1→2 所示。此时活塞由下死点向上死点运动，气缸内容积缩小，气体被压缩，压缩完了时，气缸内气体的温度较高，能满足

喷入气缸中柴油自行发火燃烧的需要。

第Ⅲ冲程——燃烧及膨胀冲程。在图1-1(c)上为线段2→3→4→5所示。因为柴油燃烧时有一定的延迟期，所以在压缩终了之前，需提前喷油，使得有部分燃料在活塞位于上死点附近时能发火燃烧，压力和温度激烈升高，活塞过上死点后，高压高温的燃烧气体随即膨胀，推动活塞自上死点向下死点运动而作功。后来由于气缸容积随着活塞向下死点运动而增大，燃烧结束和气体膨胀作功，气缸内的压力就迅速下降。

第Ⅳ冲程——排气冲程。在图1-1(d)上为线段5→0所示。此时活塞由下死点向上死点运动，废气被活塞推挤着排出气缸，由于存在着排气阻力，故排气冲程气缸内的压力略高于大气压力 P_0 。

当活塞再次下行时，又重复进行第一冲程，开始第二次工作循环。由此可见，每完成一次工作循环，活塞要上、下运动四次，即四个冲程。因此依照这种工作过程来工作的柴油机叫做四冲程柴油机。

在四冲程柴油机中，只有第Ⅲ冲程向外输出有用功，而其余三个冲程都是为它作必要的准备，而且都是消耗功的。

柴油机在一个工作循环中，其气缸内压力与容积变化的关系曲线称为压容图。根据热力学原理，其闭合曲线所包围的面积代表柴油机一个工作循环所作出的功，所以压容图也叫做示功图。

图1-2所示为四冲程无增压柴油机的示功图。

图1-3所示为四冲程增压柴油机的示功图。由于新鲜空气预先在增压器里提高了压力和比重，所以在进气冲程中，气缸中的压力一般都高于大气压 P_0 。这时充入气缸的空气量增加，因而可以相应地增加喷油量，使得柴油机在每个工作循环中所作的功增大。将图1-3与图1-2相比较便可看出，增压柴油机工作循环中各点的压力相应提高，示功图的面积增大。

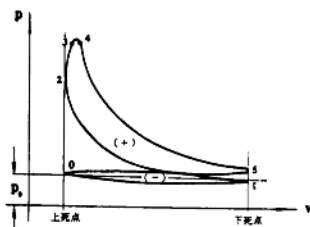


图1-2 四冲程无增压柴油机示功图

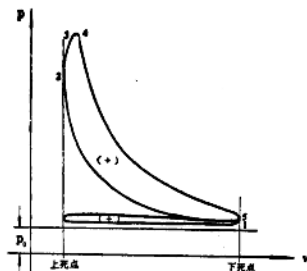


图1-3 四冲程增压柴油机示功图

图1-4所示为二冲程柴油机示功图。二冲程柴油机与四冲程柴油机相比较，它同样具有进气、压缩、燃烧、膨胀与排气等过程，所不同的是这些过程只用两个活塞冲程来完成。其中压缩、燃烧和膨胀过程与四冲程柴油机基本相同，而差别较大的则是进气和排气两个过程。在二冲程柴油机中，进气和排气是利用膨胀冲程的后期和压缩冲程的初期的一段较短的时间内来完成的。如图1-4中 b_1-b_2 线为排气过程， a_1-a_2 为新气扫气过程。

图 1—5 所示为二冲程增压柴油机的示功图。经增压后，柴油机工作循环各点所对应的压力均相应提高，因此增压后示功图的面积也就相应增大。

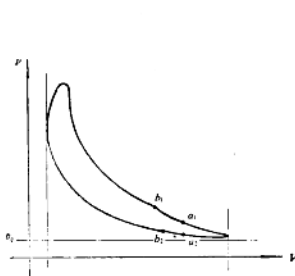


图 1—4 二冲程柴油机示功图

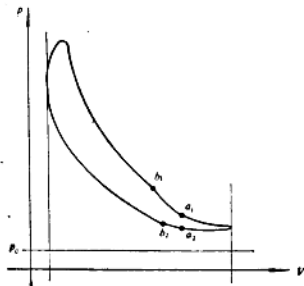
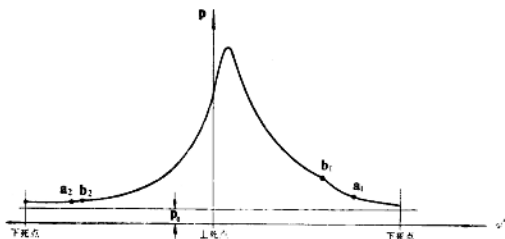
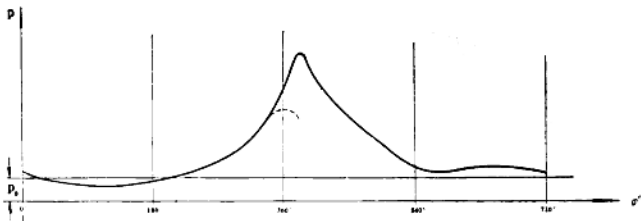


图 1—5 二冲程增压柴油机示功图

以上这种示功图是以压力（ P ）和容积（ V ）来表示的，所以又可以叫压力——容积示功图（简称 $P-V$ 示功图）。假若把这种示功图以曲柄的转角展开，则可以得另一种示功图，叫做压力——曲柄转角示功图（简称 $P-\varphi$ 示功图），如图 1—6 所示。



(A) 二冲程柴油机 $P-\varphi$ 示功图



(B) 四冲程柴油机 $P-\varphi$ 示功图

图 1—6 压力——曲柄转角示功图

图中纵座标为气缸内气体之压力 P ，横座标为曲柄转角 φ° 。

柴油机的实际示功图都是通过示功器（绘制示功图的仪器）绘制出来的。如图 1—7 所示是用气电示功器（也叫焦点示功器）绘制出来的某四冲程柴油机的实际 $P-\varphi$ 示功图。

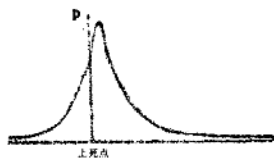


图 1—7 用气电示功器画出的展开示功图

第二节 船用柴油机的循环参数

一、指示参数

1. 循环指示功 W_i

前面已经提到过，在 $P-V$ 示功图中燃烧膨胀线与压缩线之间所包含的面积即代表这一气缸经过一次循环后所做的循环指示功 W_i ，示功图由此得名，关于四冲程柴油机进排气过程线之间所包含的面积，将在机械损失一节中讨论。

2. 平均指示压力 P_i

假定有一个在整个活塞冲程上不变的压力作用在活塞上，它在一个冲程上所做出的功和柴油机实际工作循环中所做的指示功相等，我们就称这个不变的压力为柴油机的平均指示压力 P_i 。

用 $P-V$ 图 1—8 表示如下：

以气缸工作容积 V_s 为底作一长方形面积，并使此面积和示功图上循环指示功 W_i 的面积相等，则此长方形面积的高就是平均指示压力 P_i 。所以平均指示压力

$$P_i = \frac{W_i}{V_s} \text{ 公斤/厘米}^2$$

通常平均指示压力的单位用公斤/厘米²，这时可用小写的 P_i 表示。即

$$P_i = \frac{P_i}{10^4} \text{ 公斤/厘米}^2$$

$$P_i = \frac{W_i}{10^4 V_s} \text{ 公斤/厘米}^2$$

从公式中我们可以看到：平均指示压力的大小可以代表柴油机单位工作容积每循环所做

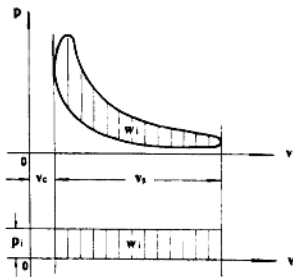


图 1—8 平均指示压力

的指示功的大小，所以它既能反映柴油机工作循环进行的完善性，又能反映柴油机的载荷强度的大小。

现有船用柴油机在全负荷下平均指示压力 P_i 的数值范围如下，

四冲程无增压柴油机 $P_i = 6.5-10$ [公斤/厘米²]

四冲程增压柴油机 $P_i = 9-25$ [公斤/厘米²]

二冲程弯流扫气柴油机 $P_i = 5.5-7.5$ [公斤/厘米²]

二冲程直流扫气柴油机 $P_i = 6.5-9$ [公斤/厘米²]

二冲程增压柴油机 $P_i = 9-18$ [公斤/厘米²]

3. 指示功率 N_i

单位时间内所做的功叫做功率。柴油机气缸内每秒钟所做的指示功称为指示功率。

对于单缸二冲程与四冲程柴油机来说，

$$N_i = W_i \cdot \frac{n}{60} = P_i \cdot V_s \cdot \frac{n}{60} \text{ [公斤·米/秒] (二冲程)}$$

$$N_i = W_i \cdot \frac{n}{60 \times 2} = P_i \cdot V_s \cdot \frac{n}{60 \times 2} \text{ [公斤·米/秒] (四冲程)}$$

对于多缸柴油机，缸数为 i 来说，

$$N_i = P_i \cdot V_s \cdot n \cdot i \cdot \frac{1}{60} \text{ [公斤·米/秒] (二冲程)}$$

$$N_i = P_i \cdot V_s \cdot n \cdot i \cdot \frac{1}{60 \times 2} \text{ [公斤·米/秒] (四冲程)}$$

通常功率用马力作单位，一个马力等于每秒钟作功75公斤·米，压力的单位用公斤/厘米²。

$$\text{则： } N_i = \frac{P_i \times 10^4 \cdot V_s \cdot n \cdot i}{60 \times 75} = \frac{P_i \cdot V_s \cdot n \cdot i}{0.45} \text{ [指示马力] (二冲程)}$$

$$N_i = \frac{P_i \times 10^4 \cdot V_s \cdot n \cdot i}{60 \times 2 \times 75} = \frac{P_i \cdot V_s \cdot n \cdot i}{0.90} \text{ [指示马力] (四冲程)}$$

4. 指示效率和每指示马力小时耗油量

指示效率 η_i 和每指示马力小时耗油量 g_i 是用来表明柴油机实际工作循环经济性的重要指标。

(1) 指示效率 η_i

柴油机是将燃料燃烧时放出来的化学能转变为热能，再由热能转变为机械功的装置。柴油机的能量来源于喷入气缸内的柴油的燃烧，但并不是燃料中所含的能量都能全部变为指示功，这是因为在实际循环中存在着下列各项损失：

A：排气热损失。由于柴油机结构上的限制，燃气在气缸内不可能实现充分的膨胀，排出的废气不可避免地具有相当高的压力和温度，这是柴油机热损失的主要部分。这部分损失约占燃料发热量的25~40%。

B：冷却损失。为了不使燃烧室组件过热，必须加以冷却降低其温度以保证正常工作，使得部分热量从燃烧室壁散走。这部分损失约占燃料发热量的15~30%。

C：其它损失。包括燃料在气缸里燃烧不完全、不及时及漏气等损失。

指示效率的定义是实际循环指示功 W_i 的热当量与为得到 W_i 这部分功所消耗的燃料发热量之比, 即

$$\eta_i = \frac{A W_i}{g_T Q_H}$$

式中: W_i ——每循环指示功 (公斤·米)

A ——功的热当量, $A = \frac{1}{427}$ (千卡/公斤·米)

g_T ——每循环喷入气缸的柴油重量 (公斤)

Q_H ——每公斤柴油所含的热量, 称为低发热量。 (千卡/公斤)

(2) 每指示马力小时耗油量 g_i ,

把柴油机每小时消耗的柴油量记作 G_T , 则每指示马力每小时的耗油量

$$g_i = \frac{G_T}{N_i} \quad (\text{公斤/指示马力小时})$$

(3) 指示效率 η_i 与每指示马力小时耗油量 g_i 的关系

根据每指示马力小时耗油量 g_i 的定义可知, 柴油机每发出 1 指示马力小时的功需消耗的柴油发热量为 $g_i Q_H$ (千卡), 又每马力小时的热当量为,

$$A \times \text{马力小时} = \frac{1}{427} (75 \times 60 \times 60) = 632.3 \text{ (千卡)}$$

(A 为热功当量, $A = \frac{1}{427}$, 即每千卡热相当于 427 公斤·米的功)

因此指示效率 η_i 可写为,

$$\eta_i = \frac{632.3}{g_i Q_H}$$

由上式可以看出, 每指示马力小时耗油量越低, 指示效率的数值就越大, 表明柴油机实际循环的经济性越好。

船用柴油机的指示效率和每指示马力小时耗油量的一般数值范围如下,

四冲程柴油机 $\eta_i = 0.42 - 0.50$

$$g_i = 120 - 150 \text{ (克/指示马力小时)}$$

二冲程柴油机 $\eta_i = 0.35 - 0.45$

$$g_i = 130 - 180 \text{ (克/指示马力小时)}$$

二、机械损失与机械效率

1. 机械损失及组成

柴油机气缸内所发出的指示功 W_i (或指示功率 N_i), 通过活塞、连杆, 最后由曲轴输出。从曲轴输出的可供使用的有效功 W_e (或有效功率 N_e) 要比指示功 W_i (或 N_i) 小, 这是由于在完成这个能量传递的过程中, 不可避免地要产生下列各项机械损失:

(1) 摩擦损失

它包括柴油机主要运动机件 (如活塞、连杆、曲轴) 及传动机件 (如凸轮轴、传动齿轮等) 在工作中的摩擦损失。

摩擦损失的大小与润滑情况、轴承表面的压力、相对速度、表面加工及装配质量等因素

有关。活塞组件与缸壁之间的摩擦损失占的比例比较大，原因是活塞在气缸中作往复运动，摩擦面之间的油膜不易保持完整，加上活塞和气缸表面的温度很高，容易使滑油氧化变质，造成润滑条件较差所致。

根据实验，摩擦损失功率约占指示功率的10~15%（无增压柴油机）。

（2）带动辅助机械损失

它包括柴油机本身带动的各种泵（如燃油泵、滑油泵、水泵等）所消耗的功率。在有机机械增压的柴油机中，还包括带动鼓风机所消耗的功率。

柴油机带动鼓风机所消耗的功率约占指示功率的5~10%，而带动其它各种泵所消耗的功率只占指示功率的1.5~3%。

（3）泵气损失

在四冲程柴油机中，其进排气过程是靠活塞的上下运动来完成的，由于进排气系统内存在着气流阻力，因此要消耗一部分指示功。

图1—9所示为四冲程柴油机的泵气损失示意图。图中（a）为无增压柴油机进排气过程中气体压力的变化曲线，两压力线所围成的面积（阴影线部分）即代表在进排气过程中活塞所消耗的功，称为“泵气损失。”

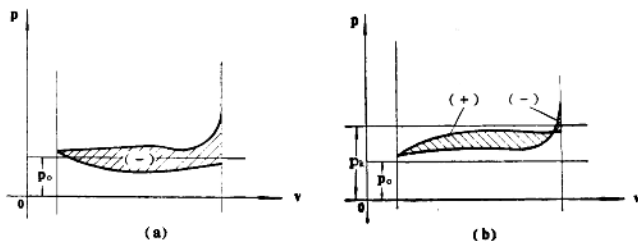


图1—9 四冲程柴油机的泵气损失

在增压柴油机中，增压器将空气压力提高到 P_k 后才进入缸内，通常 P_k 高于排气背压 P_r ，所以进气过程压力线在排气过程压力线上面，如图（b）所示，此时活塞在进排气过程中反而得到功（阴影所示面积）。应看到，对于机械增压柴油机来说，增压器是由曲轴带动，因此这部分功实际是取自指示功，而对燃气涡轮增压柴油机来说，增压器靠燃气涡轮带动，所以这部分功来自气缸排出的废气中的能量。

2. 机械效率 η_m

机械效率 η_m 是一个表明在动力传递过程中，指示功转变为有效功的完善程度的一个参数，作为估计机械损失的一个标准。其定义为：

$$\eta_m = \frac{W_e}{W_i} = \frac{N_e}{N_i} = \frac{P_e}{P_i}$$

也可写为：

$$\eta_m = \frac{P_e}{P_i} = \frac{P_i - P_m}{P_i} = 1 - \frac{P_m}{P_i}$$

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i} = \frac{N_i - N_m}{N_i} = 1 - \frac{N_m}{N_i}$$

式中: P_m 为机械损失压力

N_m 为机械损失功率

通常机械效率 η_m 在下列范围内:

无增压四冲程柴油机 $\eta_m = 0.78 \sim 0.85$

增压四冲程柴油机 $\eta_m = 0.80 \sim 0.92$

无增压二冲程柴油机 $\eta_m = 0.70 \sim 0.80$

增压二冲程柴油机 $\eta_m = 0.75 \sim 0.92$

3. 负荷、转速对机械损失压力 P_m 和机械效率 η_m 的影响

(1) 负荷的影响

由实验可知, 当转速保持不变负荷 P_e 增加时, 平均指示压力 P_i 和机械损失压力 P_m 都成直线地增加, 但 P_m 的增加是很缓慢的(近似地可看作不变)如图1—10所示。

当空车时($P_e = 0$), $P_e = P_m$ 。此时的机械效率 $\eta_m = 1 - \frac{P_m}{P_i} = 0$ 即缸内所作的指示

功全用于克服机械损失。

当负荷增加时, P_i 随之增加, 因 P_m 增加很少, 所以 η_m 值增加。

(2) 转速的影响

当柴油机转速 n 增高时, 活塞运动的平均速度随之增加。由实验可知, 平均损失压力 P_m 此时直线上升, 如图1—11所示。若此时保持平均指示压力 P_i 不变, 则 η_m 将随柴油机转速 n 的增加而降低。

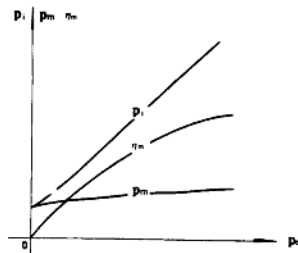


图1—10 P_e 对 P_m 、 η_m 的影响

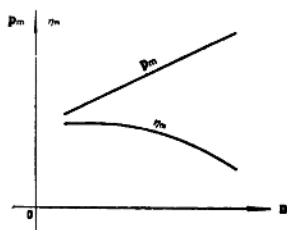


图1—11 n 对 P_m 、 η_m 的影响

三、有效参数

所谓有效参数, 就是指最后由柴油机曲轴输出可供实际使用的平均有效压力 P_e 、有效功率 N_e 及相应的经济性指标有效效率 η_e 和每有效马力小时耗油量 g_e , 其定义方法与指示参数相似。由于它既包括了气缸中能量转换过程的影响, 又包括了能量传递过程中机械损失的影响, 所以它是较全面地反映了能量转换过程的一组参数。

1. 平均有效压力和有效功率

(1) 平均有效压力 P_e 。

平均有效压力的意义和平均指示压力相类似，假定有一个在整个活塞冲程上不变的压力作用在活塞上，它在一个冲程上所作出的功和柴油机一个实际工作循环所给出的有效功相等，就称这个不变的压力为柴油机的平均有效压力。

从图 1—12 来看，柴油机的有效功 $W_e = W_i - W_m$ 式中 W_m 为机械损失功。

相应地可以得到平均有效压力 $P_e = P_i - P_m$

$$从图中还可以看出 P_e = \frac{W_e}{V_s \times 10^4}$$

即平均有效压力 P_e 表示了柴油机每循环每单位工作容积输出的有效功。

$$根据机械效率的定义 \eta_m = \frac{P_e}{P_i}$$

$$所以 P_e = P_i \cdot \eta_m$$

平均有效压力的数值一般在下列范围内：

无增压四冲程柴油机 $P_e = 5 \sim 7$ [公斤/厘米²]

无增压二冲程柴油机 $P_e = 4 \sim 6$ [公斤/厘米²]

增压柴油机 $P_e = 7 \sim 20$ [公斤/厘米²]

(2) 有效功率 N_e 。

由曲轴端输出的可供实际使用的有效功率 N_e 为

$$N_e = N_i - N_m = N_i \cdot \eta_m$$

根据前面对指示功率的讨论，有效功率又可写成：

$$N_e = N_i \cdot \eta_m = \frac{P_i V_s \cdot n \cdot i}{0.45} \cdot \eta_m = \frac{P_e \cdot V_s \cdot n \cdot i}{0.45} \quad (\text{二冲程})$$

$$N_e = \frac{P_e \cdot V_s \cdot n \cdot i}{0.9} \quad (\text{四冲程})$$

柴油机的有效功率可用测功器直接测得。

2. 有效效率和每有效马力小时耗油量

(1) 有效效率 η_e 。

有效效率是每工作循环所给出的有效功相当的热量 $A \cdot W_e$ 与喷入气缸的柴油所含的热量之比。即

$$\eta_e = \frac{A W_e}{\xi_T \cdot Q_H} = \frac{A W_i \cdot \eta_m}{\xi_T \cdot Q_H} = \eta_i \cdot \eta_m$$

(2) 每有效马力小时耗油量 g_e 。

其定义方法和每指示马力小时耗油量相似：

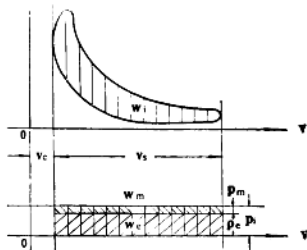


图 1—12 平均有效压力和机械损失压力

$$g_e = \frac{G_T}{N_e} \quad (\text{公斤/有效马力小时})$$

上式中柴油机有效马力 N_e 及柴油机每小时耗油量 G_T 皆可实际测得, g_e 即可根据测得的 N_e 、 G_T 值求出。

它和每指示马力小时耗油量的关系式为:

$$g_e = \frac{G_T}{N_e} = \frac{G_T}{N_i \cdot \eta_m} = \frac{g_i}{\eta_m}$$

它和有效效率之间的关系式为

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m = \frac{632.3}{g_i \cdot Q_H} \cdot \eta_m = \frac{632.3}{g_e \cdot Q_H}$$

在现有船用柴油机中, η_e 与 g_e 的数值范围大致如下:

	η_e (%)	g_e (克/有效马力小时)
高速柴油机	34—37	170—180
中速柴油机	36—40	160—175
低速柴油机	38—45	140—165

四、柴油机的热平衡

所谓柴油机的热平衡即加入柴油机的总热量的分配关系, 如图 1—13 所示。

从图中可以看出, 柴油在气缸中燃烧所放出的热量只有 35~45% 变为有效功, 其余大部分热量都损失掉了。这些损失掉的热量包括指示损失和机械损失两部分。

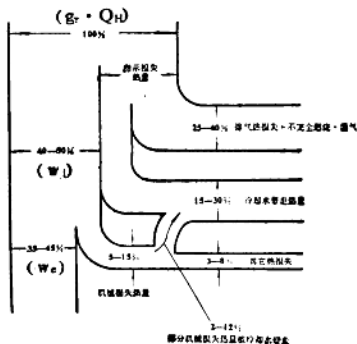


图 1—13 柴油机的热平衡图