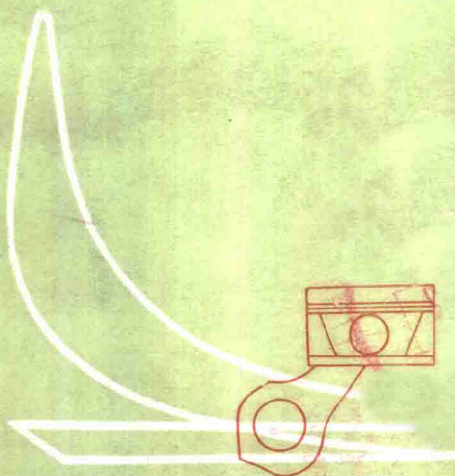


农业机械化学丛书

柴油机原理通俗讲座

苟琳 编



机械工业出版社



TM611.22

3068



农业机械化学丛书

柴油机原理通俗讲座

苟琳 编



机械工业出版社

本书以通俗的对话形式，从工作过程、换气、混合气形成与燃烧、冷却润滑及使用特性等方面，比较系统地介绍了柴油机的基本原理。并对柴油机主要零件的磨损和常见故障，作了简要的分析。

本书可供从事柴油机、拖拉机、工程机械与柴油汽车、机动渔船等装置使用维修的同志，柴油机制造厂装配试验工人和其它有关技术人员阅读参考。

农业机械化丛书
柴油机原理通俗讲座
苟琳编

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业登记证出字第117号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $5\frac{3}{8}$ · 字数 117 千字

1979 年 7 月北京第一版·1979 年 7 月北京第一次印刷

印数 00,001-160,000 · 定价 0.39 元

*

统一书号：15033·4588

《农业机械化丛书》出版说明

在全国人民高举毛主席的伟大旗帜，贯彻执行以毛主席为首的党中央抓纲治国的战略决策，团结战斗的大好形势下，为了大力宣传毛主席关于“农业的根本出路在于机械化”的教导，普及农业机械化知识，提高农业机械化队伍的思想、技术水平，发挥亿万群众的积极性和创造性，大搞农业技术改革，加快农业机械化的步伐，以适应普及大寨县和一九八〇年基本上实现农业机械化的需要，中央和地方有关出版社联合出版这套《农业机械化丛书》。

《农业机械化丛书》包括耕作机械、农田基本建设机械、排灌机械、植物保护机械、运输机械、收获机械、农副产品加工机械、化肥、农药、塑料薄膜、林业机械、牧业机械、渔业机械、农村小型电站、半机械化农具、农用动力、农机培训、农机管理、农机修理、农机制造等二十类。可供在生产队、公社、县从事农业机械化工作的贫下中农、工人、干部、知识青年和技术人员参考。

本书属于《农业机械化丛书》农用动力类。

1373/10-01

前 言

随着我国农业机械化事业的迅速发展，柴油机作为主要的农机动力，应用越来越广泛。广大从事柴油机使用维修的同志，迫切要求提高技术知识。编写本书的目的，在于比较系统而通俗地介绍柴油机的基本原理，柴油机内部能量转换的基本规律和影响经济动力性能的主要因素，从而能够在工作中更充分地发挥柴油机的效能。在内容的取舍和编排上，也不拘形式，主要考虑使用维修工作的实际需要。

在编写过程中，得到天水柴油机厂党委的关心和支持。上海内燃机研究所楚梅森、山东工学院罗远荣、陕西省公路局机修厂孙述、天水拖拉机厂叶鸿坤、一机部农机研究院杨振声等同志审阅了全部或部分原稿，提出不少宝贵意见；孙蓉琪、刘秀华同志在帮助整理书稿和描绘附图方面做了不少工作，这里表示衷心地感谢！

限于编者政治思想和业务水平，缺点错误一定很多，欢迎读者批评指正。

编 者

1977年11月14日

目 录

前言

第一讲 柴油机是怎样工作的?	1
第一节 为什么柴油机得到广泛应用?	1
第二节 柴油机的工作过程	2
第三节 用什么标准评价和选择柴油机?	18
第二讲 换气过程	24
第一节 四冲程柴油机的换气过程	25
第二节 二冲程柴油机换气过程的特点	35
第三节 柴油机的配气相位与气门间隙	37
第三讲 柴油机混合气的形成和燃烧	42
第一节 压缩过程	44
第二节 混合气的形成过程	46
第三节 柴油机的燃烧过程	62
第四讲 喷油泵和调速器的工作对柴油机性能 的影响	72
第一节 喷油泵、喷油器的工作原理及燃料 的喷射过程	72
第二节 调速器的工作对柴油机性能的影响	90
第五讲 柴油机的冷却、润滑和机械损失	103
第一节 柴油机的冷却	103
第二节 柴油机的润滑	113
第三节 柴油机的机械损失	124
第六讲 柴油机的使用特性	126

第一节	不同运转条件下柴油机性能的变化	126
第二节	柴油机的主要特性	128
第七讲	柴油机主要零件的磨损及常见故障分析	140
第一节	使用过程中柴油机技术状况的变化	140
第二节	气缸套的磨损、拉伤和穴蚀	143
第三节	排烟和积炭	148
第四节	气缸盖、气门及滑动轴承的异常损坏	152
第八讲	提高中小型高速柴油机性能的途径	157
第一节	改善柴油机的燃烧过程	159
第二节	提高柴油机的转速	161
第三节	柴油机的增压	164

第一讲 柴油机是怎样工作的？

第一节 为什么柴油机得到广泛应用？

〔甲〕：柴油机主要用在哪些部门？

〔乙〕：由于柴油机的功率范围宽广，使用成本低，工作又可靠，所以在国民经济的许多部门，如农业、交通运输、工业及国防建设等方面都得到十分广泛的应用。柴油机作为农业机械的主要动力之一，除了用作拖拉机、汽车的动力外，还大量作为农业排灌、农副产品加工机械、渔船和农业运输船、小型发电机组以及钻井装置等的配套动力。

〔甲〕：柴油机为什么发展这么快、应用这么广呢？

〔乙〕：这是由于柴油机有很多突出的优点，主要是：

1. 使用柴油机经济便宜。首先，柴油机的热效率高，高达30~46%，这就意味着每烧掉100公斤柴油，其中有30~46公斤可转化为我们所需要的动力。而汽油机的热效率很少超过30%，蒸汽机则低于16%，都不能与柴油机媲美。其次，柴油的价格比汽油便宜得多。所以单就从消耗燃料这个角度讲，就使柴油机的使用成本大大降低。以载重八吨的黄河牌柴油汽车与载重四吨的解放牌汽油汽车比较，载重量增加一倍，燃料费用却降低一半，更不用说由于柴油机工作可靠而节约的维修费用了。

2. 与汽油机相比，柴油机工作安全可靠。

3. 柴油机的功率范围宽广，变型容易，能适应不同用

途的需要。目前,最小的柴油机仅 1.5 马力,而大型船用柴油机的单机最大功率可达 48000 马力。无论是轻巧的插秧机,还是远洋万吨巨轮,都能把柴油机作为可靠的动力。

4. 与蒸汽机相比,柴油机结构紧凑,外形尺寸小,重量轻;使用操作方便,可随时投入运转,并能很快达到全功率。

〔甲〕:但是柴油机给人的印象是排气容易冒黑烟、噪音及振动比较大。

〔乙〕:对。这主要是由柴油机工作过程的特点所决定的。除此而外,现代柴油机还有许多缺点和问题须不断改进解决,以便能更好地满足国民经济飞速发展的需要,如:

1. 要求较高的制造及维护保养水平。
2. 在低温或零件磨损后,起动的比较困难。
3. 与蒸汽机相比,超负荷能力比较低,在一般情况下也不能带负荷起动。
4. 与蒸汽机相比,对燃料品质有较严格的要求,很难使用低质或固体燃料。

第二节 柴油机的工作过程

〔甲〕:柴油机和内燃机是不是一回事?

〔乙〕:柴油机是内燃机的一种。自然界存在着许多运动形式,如机械运动、电流、发热、发光、化合、分解等等,它们在一定条件下可以互相转化。人类为了改造自然,往往利用物质运动形式的转化而释放的能量做为动力。凡是利用燃料燃烧后产生的热能转化为机械能,来对外做功的机械叫做热机。

热机又分为内燃机和外燃机两大类。我们把“热变功”

的过程在发动机内部进行的原动机，如柴油机、汽油机、煤气机、燃气轮机等等，统统叫做内燃机。例如在柴油机中，由于柴油的燃烧，把燃料的化学能转化为热能，再通过燃烧气体的膨胀变成一定机构的机械运动，把热能转化为我们所需要的机械能，这种能量的转化完全是在柴油机的气缸内部进行的。在外燃机如蒸汽机中，燃料的燃烧放热则是在发动机外部（如专门的锅炉内）进行的。

〔甲〕：柴油机内“热变功”的过程究竟是怎样发生和进行的呢？

〔乙〕：要想了解柴油机内“热变功”的过程，需要先熟悉一些物理概念、定义和常用术语，否则不好叙述和理解。

〔甲〕：哦！这是非常必要的，我正想提一些问题。有些名词、术语的概念不清楚，便成了学习的“拦路虎”。首先，我们常说的压力究竟是什么意思呢？是不是指力量的大小？

〔乙〕：这种说法不确切。以功率相近的轮式拖拉机和履带式拖拉机来比较，后者重量大得多。但履带式拖拉机对土壤的压紧程度却比轮式拖拉机小得多，这是由于履带和土壤的接触面积大，所以分配到单位面积上的重量就要比轮式拖拉机小。物理学上把单位面积上所承受的力或重量叫做压强，工程技术上一般叫做压力。通常把一平方厘米面积上承受一公斤的力做为压力的单位，以 $1\text{公斤}/\text{厘米}^2$ 来表示。

〔甲〕：热能和温度是不是一回事？

〔乙〕：不是！一堆煤炭放在你身旁并不会产生冷热的感觉，但它被点火燃烧之后便会放出大量的“热”来。在一定条件之下，利用这种热量可以完成各种工作。我们把这种能作功的热叫做“热能”。

温度表示物体冷热的程度，常用的摄氏温度计把水的沸

腾温度定为 100 度，结冰时的温度定做 0 度，其间分为 100 等分，一等分叫做摄氏 1 度，以 1°C 来表示。

〔甲〕：通常说的功、扭矩和功率是什么意思，它们有什么区别？

〔乙〕：我们如果把一桶重 10 公斤的水，从 3 米深的井下提到地面上来，便是作了 $10 \text{ 公斤} \times 3 \text{ 米} = 30 \text{ 公斤} \cdot \text{米}$ 的功，也就是说：

$$\text{功} = \text{力} \times \text{位移}$$

如果一个物体能做功，就说它具有能量。做功的形式也是多种多样的。譬如我们拧螺丝其实也是在做功，而且大家都明白扳手越长越省劲。可以看出，这时功的大小不仅和作用力的大小有关，并且和这个力到旋转中心的距离有关。这个距离叫做力臂，我们把力和力臂的乘积叫做扭矩。装配柴

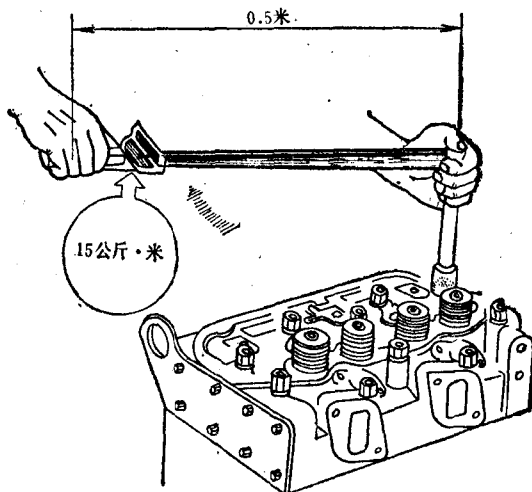


图1-1 力和力臂

油机时，如果用 0.5 米长的扭力扳手加 30 公斤的力拧紧了一个螺母，这时力臂便是 0.5 米，它的拧紧扭矩则是力 $\times$ 力臂，即 $30 \text{ 公斤} \times 0.5 \text{ 米} = 15 \text{ 公斤} \cdot \text{米}$ （如图 1-1 所示）。在这种情况下，所做的功又怎样计算呢？如果用 40 公斤的力在力臂为 2 米处将一个轴转动三圈，则施力点所走过的路程为： $3 \times 2\pi \times 2 \text{ 米}$ ，所做的功则为：

$$\begin{aligned}\text{功} &= \text{力} \times \text{位移} \\ &= 40 \text{ 公斤} \times (3 \times 2\pi \times 2 \text{ 米}) \\ &= 40 \text{ 公斤} \times 2 \text{ 米} \times 3 \times 2\pi\end{aligned}$$

而此时加在轴上的扭矩 = 力 $\times$ 力臂 = $40 \text{ 公斤} \times 2 \text{ 米}$ ，所以上面计算功的公式可以改写为

$$\text{功} = \text{扭矩} \times \text{转数} \times 2\pi$$

从这里可以看出，虽然功与扭矩的单位都是“公斤 $\cdot$ 米”，但它们的含义并不相同。

仅仅有了功的概念还不能完全说明问题。如某一个生产队有 30 亩土地要耕种，用一对黄牛需十天左右的时间才能耕完，而一台东风-50 拖拉机只用四个小时就耕完了。假定耕深都一样，从做功的角度讲，黄牛和拖拉机所做的功都是一样的，因为它们都耕完了 30 亩土地，但完成这个任务所花的时间，也就是它们的工作效率却相差几十倍。所以，还必须用功率这个概念来对各种机器的效能进行比较。功率是指单位时间内做功的多少，工程技术上常用马力或千瓦作为功率的单位。 $1 \text{ 千瓦} = 1.36 \text{ 马力}$ 。如果一部机器在一秒钟内能做 75 公斤 $\cdot$ 米的功，就说它的功率是一马力。譬如一台手扶拖拉机，用 300 公斤的力拉着一个犁，行走 20 米用了 10 秒钟的时间，则它的功率为：

$$\text{功率} = \frac{\text{功}}{\text{时间} \times 75} = \frac{300 \text{ 公斤} \times 20 \text{ 米}}{10 \text{ 秒} \times 75} = 8 \text{ 马力}$$

〔甲〕：这里说的一马力，和一匹马的工作能力一样吗？

〔乙〕：日常生活里一匹真正的壮马只有在开始工作的时候，其功率接近于一马力。但马不能象机器那样长期持续工作，所以工程技术上所说的一马力，实际上约相当于三匹真正壮马的功率。

〔甲〕：以上谈的都是经常碰到的物理概念。柴油机本身还有一些专用名词和概念需要掌握。

〔乙〕：对，要学习柴油机的工作原理，掌握这方面的内容也是必不可少的。

〔甲〕：调整柴油机时常常要找上止点和下止点，并以它作为基准，这两个点代表什么意思？

〔乙〕：要明白它的意思，必须先对柴油机的总体结构有一个概括的了解。

图 1-2 为一个单缸柴油机的简图。活塞 5 在气缸 4 内上、下往复运动，曲轴 8 则绕其中心做旋转运动，它们通过连杆 7 联接在一起。进气门 1，排气门 2 用来按时吸进新鲜空气和排除燃烧后的废气，燃料则通过喷油器 9 喷入气缸。

如图 1-2 所示，当曲轴 8 绕其中心旋转时，活塞 5 便在气缸内作往复运动。活塞运动时有两个极限位置，我们称它为止点（或叫死点）。

上止点 活塞与曲轴中心线距离最大时的位置，这时气缸内活塞顶面以上的容积最小。

下止点 活塞与曲轴中心线距离最小时的位置，这时气缸内活塞顶面以上的容积最大。

所以，上、下止点实际上是活塞运动的两个极限位置。

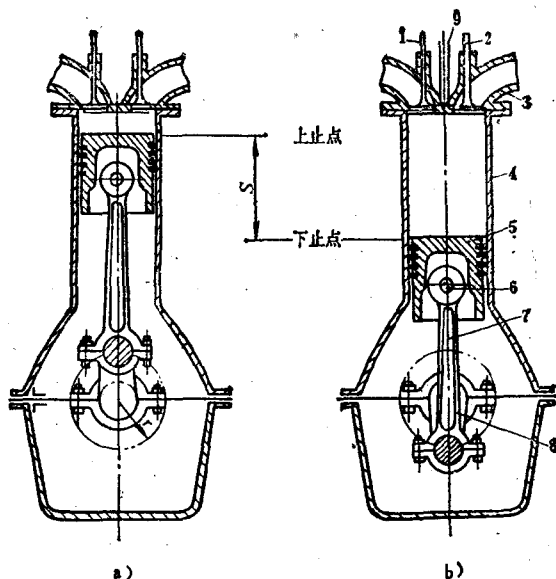


图1-2 柴油机简图

1—进气门 2—排气门 3—气缸盖 4—气缸 5—活塞
6—活塞销 7—连杆 8—曲轴 9—喷油器

〔甲〕：什么叫做活塞行程？

〔乙〕：活塞行程（也叫冲程）是指活塞沿气缸中心线运动时它在上、下止点间所走过的路程，通常以字母 S 来表示。由图 1-2 可知，当活塞从上止点到下止点走完一个行程时，曲轴则正好相应地转过半圈（ 180° ）。若曲轴的曲柄半径为 r ，则

$$S = 2r$$

〔甲〕：什么叫活塞平均速度呢？

〔乙〕：如果活塞的行程为 S 米、曲轴转速为 n 转/分，那

么活塞在气缸内运动时的平均速度 C_m 为

$$C_m = \frac{\text{距离}}{\text{时间}} = \frac{S \times 2n}{60} = \frac{Sn}{30} \text{ (米/秒)}$$

活塞平均速度是个很重要的参数。提高活塞平均速度可在其它条件不变的前提下，得到发动机体积小、重量轻、马力和大的效果。但随着活塞平均速度的提高，柴油机的机械负荷、摩擦损失和零件的磨损都增加，从而缩短使用寿命。因此选定活塞平均速度时要综合考虑各方面因素的影响。

〔甲〕：气缸的压缩容积、工作容积、总容积有什么区别？

〔乙〕：当活塞位于上止点时，活塞顶面以上的空间称为燃烧室，其容积称为压缩容积或燃烧室容积，以 V_c 表示。

当活塞位于下止点时，其顶面以上的空间容积称为气缸总容积，以 V_s 表示。

当活塞在上、下止点间运动时，它所扫过的容积称为气缸工作容积，以 V_h 表示。显然，工作容积等于气缸截面积与活塞行程的乘积，实际上也等于气缸总容积与压缩容积之差

$$V_h = \frac{1}{4} \pi D^2 S = V_s - V_c$$

式中 D ——气缸直径；

S ——活塞行程。

我们在实际工作中，通常把柴油机的工作容积称为排量。对多缸发动机来说，排量是指各缸工作容积之和，习惯上以 V_L 来表示，并以升为单位。当气缸直径一定时，活塞行程越大，则发动机的排量也就越大。排量的大小意味着能够吸进气缸内空气的多少，在其它条件相同的情况下，也就

决定了功率的大小。当然，在活塞行程不变的条件下，气缸直径增大，排量更显著地增大。

〔甲〕：柴油机使用维修中有时要测量压缩比，它指的是什么？

〔乙〕：压缩比是柴油机一个很重要的参数。活塞从下止点运动到上止点时，气缸内的空气受到压缩，压缩后其容积减小的倍数叫做压缩比。它等于气缸总容积 V_c 与燃烧室容积 V_s 之比值，习惯上压缩比常以字母 ϵ 来表示，即

$$\epsilon = \frac{V_c}{V_s} = 1 + \frac{V_h}{V_s}$$

〔甲〕：常听说“工质”这个名词，它是什么意思？

〔乙〕：柴油机内“热变功”的能量转化是通过一定的中间物质，即“工作介质”进行的，这种工作介质就是空气及燃烧产物，我们把它简称为“工质”。

〔甲〕：熟悉这些概念和名词对我们进一步学习很有帮助。那么，现在是否可以介绍柴油机的工作过程呢？

〔乙〕：可以。从柴油机的结构简图（图 1-2）我们可以看出，活塞在气缸内作往复运动，它与气缸盖和气缸共同组成一个容积可以变化的密封空间，这就为柴油机内进行的能量转换提供了先决条件。

〔甲〕：可是这种能量转换是怎样进行的呢？

〔乙〕：柴油机内部进行的能量转换包含着两个阶段。第一阶段通过柴油的燃烧，把燃料所含的化学能转化为热能，但这种热能还不能直接为我们所利用，所以在第二阶段通过工质状态的变化和一定的机构，把热能再转换为我们所需要的机械能。为了形成柴油燃烧做功的有利条件即高温和高压，必须把空气首先进行压缩，使其温度高于柴油的自燃温

度（柴油的自燃温度约为 $300\sim 350^{\circ}\text{C}$ ），压力也相应提高。在这种条件下，把柴油以雾状喷入气缸而着火燃烧。柴油燃烧后使工质在短时间内接受了大量的热量，温度和压力急剧升高。高温高压气体的膨胀便推动活塞做功，并借助于曲柄连杆机构输出动力，这样就实现了把热能转化为机械能的过程。

由此可见，压缩、燃烧和膨胀是实现柴油机能量转换必不可少的工作过程。实际上仅仅有这几个工作过程还不够，为保证柴油机能连续正常地工作，还必须新鲜空气的吸入和把做功后的废气排出气缸这样两个辅助过程。

〔甲〕：这进气、压缩、燃烧、排气的过程与活塞运动的冲程是相对应的吗？

〔乙〕：实际上柴油机内进行的上述能量转换过程，可以在活塞运动的四个冲程（曲轴相应地转过两圈）内完成，我们把这种柴油机叫做四冲程柴油机；也可以在活塞运动的两个冲程内完成（曲轴相应地转过一圈），这种柴油机叫做二冲程柴油机。

〔甲〕：哦！常听说二冲程和四冲程柴油机，原来是这个意思。那么四冲程柴油机是怎样工作的？

〔乙〕：四冲程柴油机的工作可分为进气、压缩、做功、排气四个冲程，它们的进展情况如下：

进气冲程 如图 1-3 a 所示，在此冲程中，新鲜空气进入气缸。当活塞由上止点向下止点运动时，进气门打开，活塞顶上气缸容积逐渐增大，使气缸内的压力低于大气压力，在这种压力差所产生的吸力下，空气便被吸入气缸。

压缩冲程 如图 1-3 b 所示，当活塞到达下止点并转而向上运动时，进、排气门都关闭，在活塞上部形成了一个密