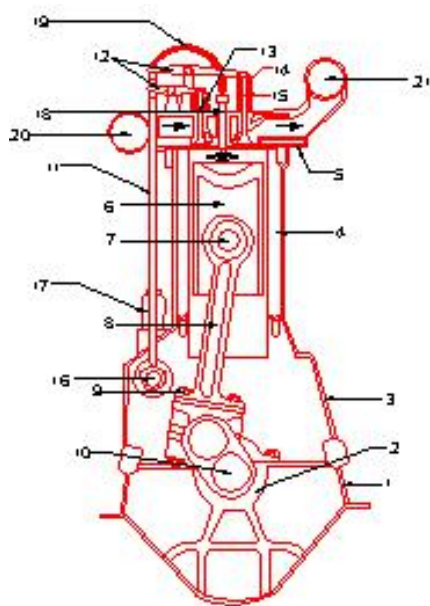


## 第 2 章 内燃机的工作原理

### 2.1 第二章说明

进入第二章（内燃机原理）之后专业性较强，都是一些原理性的东西，如四冲程、二冲程柴油机工作原理、四冲程、二冲程汽油机工作原理、增压柴油机特点、多缸柴油机的工作顺序等等。传统教学方式由于受到媒体的限制而无法把这些运动状态表示出来让学生直观地看到运动，而只能通过多张示意图来表示，而且也只能表示出几个状态来而根本无法将整个过程演示给学生看。本课件借助于现代计算机技术如，flash 动画等形象生动的表现出了多种内燃机的工作过程，使学生在在学习过程中一目了然，把孤立的信息变成了信息流，课件所传递的信息量大大增加。可以说第二章是 flash 在多媒体课件中应用的成功范例。如图 2-3 此图为 flash 制作点击各冲程可以看到冲程，虽然本课件开发才刚刚开始，但已经毫无疑问的想我们说明了多媒体教学的优势所在，但也正是由于课件的开发刚刚起步，各种媒体和信息的运用上还有不成熟的地方如在前两章中有许多图片信息运用不当造成有些版面较为混乱等等。这些将成为在夏季张开发过程中要尽量避免的。随着对软件运用的熟练、课件开发小组成员审美观点的提高这些将逐渐地被克服。



### 2.2 基本结构和主要名词及演示图片

#### 2.2.1 柴油机的主要机件和系统

四冲程柴油机的主要机件如图 2-1 所示。

1. 固定机件：机座 1，机体 4，主轴承 3，汽缸盖 7，汽缸套 6 等。

2. 运动机件：曲轴 13，连杆 10，活塞 8，活塞销 9，连杆螺栓 11 等。

3. 配气机构：凸轮轴 14，顶杆 15，摇臂 16，气阀机构（进气阀 17、排气阀

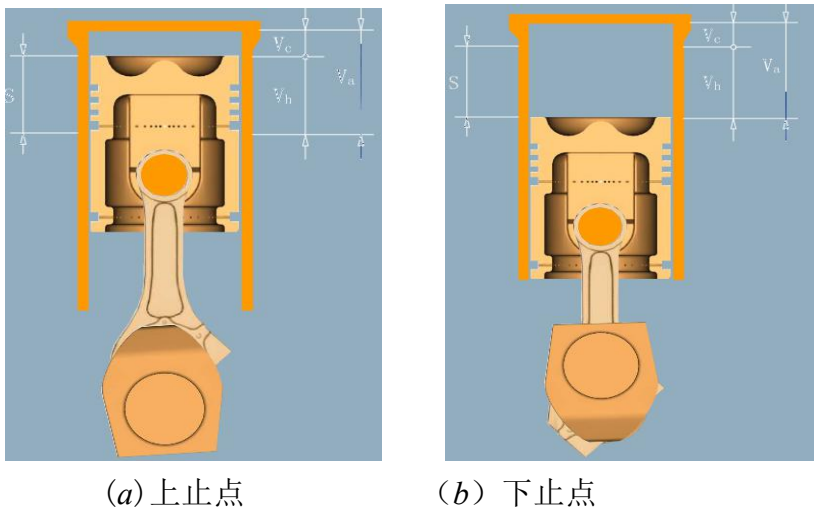
18、气阀弹簧 19) 等。

@图 2-1 四冲程机的主要部件 4. 燃油系统：喷油泵 20，高压油管 21，喷油器 2 等

5. 辅助机件：进气管 5 和排器管 12 等

此外，对于整机而言，还有润滑，冷却，启动和控制等系统。

### 2.2.2 内燃机的主要名词



@@图 2-2 活塞位置

(图片说明：该图使用 flash 制作，在课件里可以运动可以清晰的表现出个冲程活塞运动情况)

小说明：以后的图片中图前标有“@@”为 flash 演示图

1. 上止点：活塞距曲轴中心最远的位置 如图 2-2(a)。

2. 下止点：活塞距曲轴中心最近的位置 如图 2-2(b)。

3. 活塞冲程 (S)：上、下止点间的距离。

4. 压缩室容积 ( $V_c$ )：活塞位于上止点时，活塞顶部与缸盖间的容积，又称燃烧室容积。

5. 汽缸工作容积 ( $V_n$ )：活塞上、下止点之间的容积称为一个汽缸的工作容积，它可以用汽缸直径  $D(\text{cm})$ 由下式表示：

$$V_n = \left[ \frac{\text{Pai} \cdot D^2}{4} \right] \cdot S \cdot (10^3)$$

式中  $S$ ——活塞冲程 (cm)。

6. 汽缸的最大容积 ( $V_a$ ): 活塞在下止点时, 气缸的容积, 即气缸工作容积与压缩容积之和:

$$V_a = V_h + V_c$$

7. 汽缸的总容积  $V$ , 总排量: 室内燃机所有汽缸工作容积的总和。

即:  $V = V_h * i(L)$

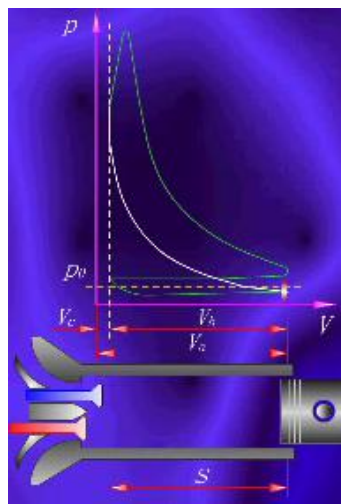
式中  $i$ ——气缸数。

8. 压缩比: 汽缸最大容积与压缩室容积的比直称为压缩比。

## 2.3 四冲程柴油机的工作原理及图片

柴油机的工作是由进气、压缩、燃烧膨胀和排气这四个过程来完成的, 这四个过程构成了一个工作循环。活塞走过四个过程才能完成一个工作循环的柴油机称为四冲成柴油机。

### 2.3.1 进气冲程



见 P-V 图, 开始时, 活塞位于上止点 ( $P_r > P_0$ ), 有残气, , 活塞下行, 进气阀开, 排气阀关 ( $P < P_0$ )。

进气:  $0.085-0.095 MPa$

进气压力大致保持不变. 为了利用气流的惯性来提高充气量, 进气阀在活塞过了下止点以后才关闭.

@@图 2-3 p-v 图

### 2.3.2 压缩冲程

进、排气阀关, 活塞上行, 缸内气体被迅速压缩, 气压上升, 同时气温升高, 达到柴油的自燃温度时, 柴油便自行燃烧膨胀。

作用:

1. 提高空气的温度, 为燃料的自行发火作准备.
2. 为气体膨胀作功创造条件.

柴油自燃温度为 543~563K

### 2.3.3 燃烧膨胀冲程

作功或工作冲程. 此时进排气阀均关闭, 缸内燃料迅速燃烧膨胀, 气体压力急剧上升, 推动活塞自上止点往下止点运动。

最高燃烧压力  $P_z$ ,

压力升高比: 为燃烧压力与压缩终点压力之比.

四. 排气冲程.

排气阀早开晚关,

排气阻力的存在, 比如有消声器, 使排气阀必须提前打开, 以减少活塞排气的阻力, 而活塞在完成排气过程时, 主要靠惯性.

小节:

活塞走四个冲程才能完成一个工作循环的柴油机称为四冲程柴油机。

喷油提前角: 由于柴油存在发火延迟期 (0.001~0.005 秒), 要在上止点前  $10\sim 35$  度曲柄转角时开始将雾化的燃料喷入汽缸这个叫称为喷油的提前角。

四个冲程中只有一个冲程作功, 而其他三个冲程完全靠发动机的惯性来完成的, 所须加装飞轮, 在发动机的输出端. 作用, 使曲轴在四个冲程中连续而均匀地运转.

气阀重叠角: 发动机运转过程中有一段时间, 进, 排气阀同时开启, 这段时间用曲轴转角来表示, 称为气阀重叠角

## 2.4 四冲程汽油机的工作原理

与柴油机(四冲程)相比的主要区别:

燃料本身: 粘度小, 易蒸发, 可燃混合气形成容易.

### 2.4.1 进气冲程

此时, 活塞被曲轴带动由上止点向下止点移动, 同时, 进气门开启, 排起门

关闭。当活塞由上止点向下止点移动时，活塞上方的容积增大，气缸内气体压力下降，形成一定的真空度。由于进气门开启，气缸与进气管相通，混合气被吸入汽缸。当活塞移动到下止点时，汽缸内充满了新鲜混合气以及上一个工作循环未排出的废气。空气由空气滤清器经进气道上的化油器，将汽油吸入并雾化成细小的油粒与空气混合，即形成可燃混合气，而后进入汽缸。

汽油机无高压泵和喷油器（0.075~0.09MPa）

#### **2.4.2 压缩冲程**

活塞由下止点移动到上止点，进排气门关闭。曲轴在飞轮惯性力的作用下带动旋转，通过连杆推动活塞向上移动，汽缸内的气体容积逐渐减小，气体被压缩，汽缸内的混合压力与温度随着升高。

压缩比不可太大，一般为 5-8.5，个别可达 9.5-10，太大可引起可燃混合气过早爆燃，和产生爆震，

#### **2.4.3 燃烧膨胀冲程**

此时，进排气门同时关闭，火花塞点火，混合气剧烈燃烧，汽缸内的温度、压力急剧上升，高温、高压气体推动活塞向下移动，通过连杆带动曲轴旋转。在发动机工作的四个过程中，只有这个在行程才实现热能转化为机械能，所以，这个行程又称为作工行程。

压力升高快，P-V 图上比柴油机要陡。

#### **2.4.4 排气冲程**

此时，排气门打开，活塞从下止点移动到上止点，废气随着活塞的上行，被排出汽缸。由于排气系统的阻力，且燃烧室也有一点定的容积，所以在排气終了，不可能将废气排净，这部分留下来的废气称为残余废气。残余废气不仅影响充气，对燃烧也有不良影响。

### **2.5 二冲程柴油机的工作原理**

四冲程柴油机的活塞相当于一个空气泵，而对于二冲程柴油机而言，活塞

没有空气泵的作用，为了完成进排气过程，即排除燃烧后的废气，并把新鲜空气充满气缸，必须安装专用的扫气泵（增压器）

例：气阀式直流换气的二冲程柴油机的工作原理

二冲程柴油机与四冲程柴油机的比较

1. 在相同的气缸尺寸和转速下，二冲程发动机的功率理应比四冲程发动机增加一倍，但由于：1 扫气容积的损失；2 充气时间短

程废气消除困难驱动扫气泵要消耗一部分功率，所以只增加了 50%-70%左右

2. 均匀性好

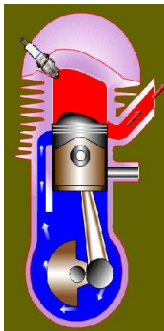
其他形式：按气流在气缸中流动的路线不同，

(1) 气孔式直流换气的柴油机

(2) 横流扫气的二冲程柴油机

(3) 回流换气的二冲程柴油机

## 2.6 二冲程汽油机的工作原理



第一冲程：活塞自下而上，压缩，继续前行，进气孔开，曲轴箱形成真空度，可燃气体进入曲轴箱。

第二冲程：上止点时，点火做功，活塞下行，排气口开， $P_z > P_o$ ，排气，曲轴箱压力大于汽缸内压力，进气扫气过程，待活塞扫过下止点后，关闭扫气孔为止。

@@图 2-4 二冲程汽油机工作原理图

(图片说明：此图采用 flash 制作，是一个演示动画“压缩”-“点火”-“膨胀”-“排气”-“进气”)

## 2.7 增压柴油机的特点

1 安装增压器的目的：增加充入气缸的空气量，压缩后空气密度增大，所以充入汽缸内的空气量就增多。

2. 区别

(1) 增压柴油机：装有增压器的柴油机。

(2) 非增压柴油机：直接从大气中吸入空气的柴油机称为增压柴油机，现代舰船用的主机大多数为增压柴油机

3 分类：机械传动的增压柴油机、废气涡轮增压的柴油机、气波增压、复合增压。

## 2.8 多缸柴油机的工作次序

从柴油机工作过程本身看，只有做功冲程对外做功而进气排气及压缩冲程都排但不做功，反而消耗能量，实际上柴油机的转速是不均匀的。可见图 2-5



3@图 2-5 直列 6 缸机的曲轴活塞运动演示图

(图片说明:此图为运动演示图和 flash 不一样,它是用 CAD 制作后用 3dsmax 渲染完成的)

小说明：在后面图片中途前边有“3@”为三维制作图片

A. 转速不均匀的危害。

1. 运动件受冲击负荷，容易造成磨损
2. 容易产生扭振
3. 不平衡

B. 追求均匀性的方法。

1. 单缸时需加装飞轮、
2. 多缸机除飞轮外，采取合理的发火顺序。

C 发火顺序) 为了保证发动机运转的均匀和平衡性的要求，对四冲程柴油机，曲轴转动两转内，每个汽缸完成一个工作循环。因此，各缸应相隔一定的转角而均匀的发火，若  $i$ =汽缸数。

发火间隔角：曲柄与之对应

四缸机为：1-3-4-2 或 1-2-4-3

六缸机为：1-5-3-6-2-4

## 2.9 内燃机分类

### 1. 按结构特点分

#### (1) 筒形活塞柴油机

缺点：活塞裙部起向导作用，在侧推力的作用下，活塞与缸套磨损较大。

优点：结构简单，紧凑，轻便

用于中、高速柴油机

#### (2) 十字头活塞柴油机

优点：活塞与缸套间无侧推力，因为由十字头导向，故磨损较小，不易擦伤和老死。

可在汽缸下部设横隔板，以免汽缸内的脏油，烟灰，燃气等漏入曲轴箱。污损曲轴箱底部的滑油。

缺点：使柴油机高度和重量增大，结构复杂。

用途：船用大型低速柴油机

### 2. 按缸数分：单缸机和多缸机

多缸机分布形式

直列式 V型 W型 X型 星型 DELTA型 8-10个以下

### 3. 按燃料分：柴油机，汽油机，煤气机

### 4. 按工作原理：四冲程和二冲程

### 5. 按进气方式：增压和非增压

### 6. 按点火方式：点燃和压燃

### 7. 按用途：固定式内燃机和移动式内燃机

### 8. 按标定转速：1. 高速机 $n \gg 1000\text{r/min}$

2. 中速机  $300 \ll n < 1000\text{r/min}$

3. 低速机：  $n < 300\text{r/min}$

### 9. 按曲轴转向：左转，右转，可逆转和不可逆转。（从飞轮端看）。



