

# 项目 1 内燃机车柴油机基本知识认知

## 任务 1-1 柴油机工作原理认知

### 【任务描述】

掌握柴油机的工作原理是后续学习的基础。学生要熟悉柴油机的基本术语、四冲程柴油机的工作原理，并能结合 16V280ZJ 型柴油机配气相位图，说明其基本工作过程。

### 【任务目标】

- 能掌握柴油机的常用术语；
- 能说明四冲程柴油机的工作原理；
- 能说明四冲程柴油机的活塞、气门与曲轴的动作关系；
- 能画出 16V280ZJ 型柴油机的配气相位图。

### 【任务学习】

#### 一、柴油机的主要特点

柴油发动机是燃烧柴油来获取能量释放的发动机。它是由德国发明家鲁道夫·狄塞尔 (Rudolf Diesel) 于 1892 年发明的。柴油发动机的优点是扭矩大、经济性能好。内燃机车就是用柴油机作为动力装置。

柴油机与其他形式的热机相比有以下主要特点：

- (1) 扭矩大、经济性能好。

## 内燃机车动力装置检查与维护

- (2) 功率和转速范围宽广，用途广泛。
- (3) 结构紧凑，适合作水、陆交通工具的动力装置。
- (4) 启动快捷，操纵简便。
- (5) 燃料、机油和冷却水的消耗量不多。
- (6) 使用可靠，工作寿命较长。
- (7) 对燃料的要求较高，排出的废气和传播的噪声对环境有一定影响。
- (8) 结构比较复杂。

图 1-1-1 为单缸柴油机的结构原理图。

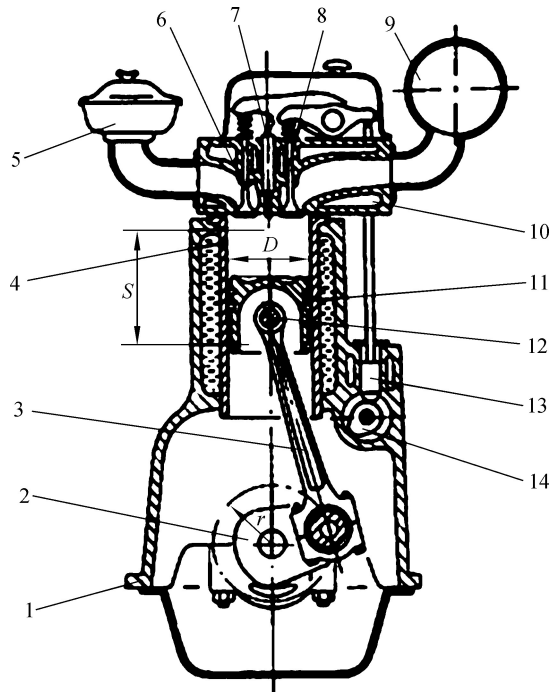


图 1-1-1 单缸柴油机

- 1—机体；2—曲轴；3—连杆；4—气缸套；5—进气滤清器；6—进气门；  
7—喷油器；8—排气门；9—排气管；10—气缸盖；11—活塞；  
12—活塞销；13—挺柱；14—凸轮轴

## 二、柴油机的基本术语

### (一) 气缸直径

气缸是柴油机燃油燃烧做功的工作场所，通常设有气缸套。气缸套为一薄壁圆形筒体，外部设有冷却水腔，可对气缸进行冷却。气缸的内圆孔直径称为缸径，以符号  $D$  表示，单位符号为 mm。

缸径也是活塞的公称直径，它决定了活塞顶的承压面积，而且在一定程度上决定了柴油



柴油机的基本知识

机零部件的大小和质量，在其他条件相同的情况下，也决定了柴油机输出功率的大小。

## (二) 止 点

活塞在气缸内运动的极端位置称为止点，也称为死点。活塞在气缸内有两个极端位置：活塞距曲轴中心线最远时的位置称为上止点；活塞距曲轴中心线最近时的位置称为下止点。活塞在上、下止点时运动速度等于零，并即将改变运动方向。

## (三) 活塞行程

活塞行程也称为活塞冲程，它是指上止点和下止点之间的距离，用符号  $S$  表示，单位符号为 mm。活塞移动一个行程时曲轴相应旋转  $180^\circ$ ，行程值为曲柄半径  $r$  的 2 倍，即  $S = 2r$ 。

## (四) 气缸容积

活塞位于上止点时，活塞顶、气缸套及气缸盖之间所包围的空间，称为气缸最小容积或压缩室容积，以符号  $V_{\min}$  或  $V_C$  表示，单位符号为 L。

活塞从一个止点运动到另一个止点时所扫过的气缸容积，称为气缸工作容积，以符号  $V_1$  表示。 $V_1$  由下式求得：

$$V_1 = \frac{\pi D^2}{4} S \times 10^6 \quad (\text{L})$$

活塞位于下止点时，活塞顶面以上的气缸容积称为气缸总容积或气缸最大容积，以符号  $V_A$  或  $V_{\max}$  表示，单位符号为 L。

则  $V_A = V_1 + V_C \quad (\text{L})$

或  $V_{\max} = V_1 + V_{\min} \quad (\text{L})$

$V_1$  代表单个活塞工作一次后的理论排气量，故又称为活塞排量。如柴油机有  $i$  个气缸，则全部气缸工作容积之和称为活塞总排量  $V_H$ 。

$$V_H = iV_1 \quad (\text{L})$$

$V_H$  值越大，柴油机的做功潜力通常也越大，因此  $V_1$  及  $i$  皆为柴油机的重要结构参数。

## (五) 工 质

工质是在气缸内的工作介质，即参与燃烧、吸热并推动活塞膨胀做功的气体。它的物理状态和化学成分随工作进程而有所变化。

## (六) 压缩比

气缸总容积与压缩室容积之比，称为几何压缩比或名义压缩比，以符号  $\epsilon$  表示。

$$\varepsilon = \frac{V_A}{V_C} = \frac{V_C + V_1}{V_C} = 1 + \frac{V_1}{V_C}$$

几何压缩比表示工质在气缸内被压缩的程度，它也是柴油机的重要结构和工作参数，对机器的运转可靠性和经济性有较大的影响。柴油机的几何压缩比一般为 12 ~ 22，机车用增压柴油机的几何压缩比为 12 ~ 14.5。

### (七) 工作循环

柴油机要维持正常而持续地工作，即曲轴连续地驱使从动机械运转，则在各气缸内必须顺次反复地完成进气、压缩、喷油-燃烧膨胀及排出废气等几个过程，这样才能使燃油的化学能在气缸内连续不断地转为机械功。所以，完成这一整套不同状态的工作过程，即完成了一次能量转换过程，就称完成了一个工作循环。柴油机的连续运转，就是工作循环反复连续地进行的过程。

### (八) 四冲程柴油机和二冲程柴油机

根据气缸内完成工作循环的工作方式不同，柴油机可分为四冲程和二冲程两种形式。如果完成一个工作循环时，活塞的运动需要往返 4 个冲程（或曲轴相应转两转），则称为四冲程柴油机；如果活塞往返只需两个冲程（或曲轴相应转 1 转）就完成一个工作循环的柴油机，就称为二冲程柴油机。

## 三、四冲程柴油机的工作原理

柴油机的工作循环包括进气、压缩、燃烧-膨胀及排气等几个过程，这些过程相互衔接，前后交错。

图 1-1-2 为四冲程柴油机的实际工作过程示意图，图中表示出各个过程中活塞、连杆、曲轴及气门的相对位置。

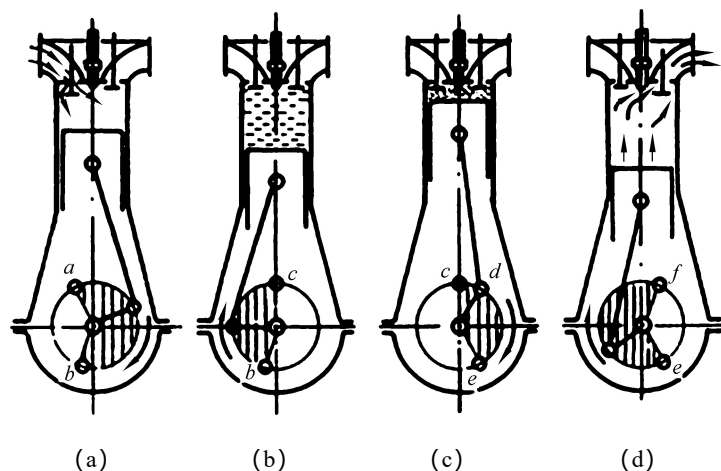


图 1-1-2 四冲程柴油机的工作过程

### 1. 进气过程

柴油机工作循环的第一步是要使新鲜空气充入（吸入）气缸，为气缸内燃油的燃烧提供条件。

当活塞由上止点附近逐渐转向下止点方向运动时，进气门也逐渐由小开到大开，由于气缸容积的不断扩大而造成缸内低压状态，外界的新鲜空气源源不断地经进气门吸入气缸内，此进气过程一直要延续到活塞过下止点之后进气门全闭而结束。

气门的启闭从开始到全开或全闭有一个时间过程。为使气缸内尽可能多地充气，使一开始充气时能减少活塞运动的阻力，在活塞开始下行时减少气流进入气缸的阻力，进气门的开启始点应提前于活塞上止点前某一角度。从进气门开启始点到活塞运动到达上止点时的曲轴转角称为进气提前角  $\theta$ 。为利用进气流动惯性继续增加充气量，减少活塞在下止点前的运动阻力，进气门延迟到活塞下止点后某一角度时才完全关闭。从下止点到进气门全关时的曲轴转角称为进气的滞后角  $\theta'$ 。进气过程相位及气压状态由图 1-1-2 中  $a-b$  线所示。



四冲程柴油机的工作原理

### 2. 压缩过程

进气过程结束时活塞已上行，此时进、排气门都处于关闭状态，气缸内工质的容积由于活塞上行而不断缩小，工质的压力和温度随之升高，这就是压缩过程（见图 1-1-2 中  $b-c$  线）。

### 3. 燃烧-膨胀过程

在压缩过程后期活塞到达上止点前，喷油器开始向气缸内喷入雾状燃油，不久油气混合物就开始着火燃烧，这时气缸内工质的气压和气温急剧上升。在活塞过上止点后不久燃油停止喷射（见图 1-1-2 中  $d$  点），以控制燃烧过程适时结束。由于燃烧初期气缸容积较小及活塞继续上行，使活塞在上止点稍后处达到工质气压最高值，这个气压值称为最高爆发压力（最高燃烧压力） $P_z$ 。

与燃油进行燃烧的同时，高温和高压的工质作用于活塞、气缸套及气缸盖上，由于此时进、排气门都密闭着，工质推动活塞下移，使气缸容积扩大，缸内工质的气压和气温相应下降，在这期间动力通过连杆传到曲轴，其中一部分动力由旋转着的曲轴输出，驱使从动机械工作，这就是工质的膨胀做功。这样，燃烧时燃油将其化学能转变成工质的热能，然后又通过活塞的运动转换为机械能，部分机械能通过曲轴对外输出，即柴油机对外界做功。

### 4. 排气过程

为了使柴油机连续运转，废气必须及时、充分地通过打开的排气门排出气缸，也为新的工质进入气缸创造条件。

为了彻底排出废气，降低排气功率消耗，排气门必须提前开启，即活塞下行到下止点前

某一角度时排气门开始打开（见图 1-1-2 中  $e$  点），使尚有一定压力和温度的燃气迅速冲出气缸。从排气始点到活塞下止点为止的曲轴转角称为排气提前角  $\theta_e$ 。此后，活塞由下止点转向上行，气缸内的燃气由于与外界存在压差而继续外流，同时也借助于活塞上行的推力被驱赶出来。排气门在活塞过上止点后某一角度时完全关闭，排气过程结束（见图 1-1-2 中  $f$  点）。从活塞上止点到排气终点为止的曲轴转角称为排气滞后角  $\theta'_e$ 。

由此可见，四冲程柴油机的实际工作循环存在以下特点：

(1) 进气过程和排气过程对应的曲轴转角都超过  $180^\circ$ ；进气门和排气门的启闭皆有早开迟关的规律，其开启提前角和关闭滞后角的大小随机型不同而不同。在活塞上止点附近，由于进气门的早开和排气门的迟关而出现了同一气缸的进、排气门同时开启的情况，这段时间用曲轴转角  $\theta_m$  来度量，称为进、排气重叠角或气门重叠角。

进、排气门重叠开启使部分新鲜空气吹扫燃烧室，清除死角处的残余废气，降低排气温度，同时使活塞、气门、气缸盖等受热机件冷却，对柴油机的工作有良好的影响。

(2) 四冲程柴油机一个完整的工作循环内，曲轴转两圈。其中进气、压缩及排气过程是消耗能量的辅助过程，是为做功做准备的阶段。燃烧-膨胀是做功的过程。曲轴所输出的能量只是从气缸内所释放出来的总能量中的一部分，另一部分除了有热损失外，还要克服零部件的运动阻力，提供辅助过程消耗。

(3) 柴油机必须借助于外力来启动，如人力手柄摇动、电动机驱动、压缩空气驱动等。柴油机曲轴运转达到发火转速时，气缸内工质的燃烧、膨胀做功就可提供曲轴自身连续运转的动力。

(4) 在柴油机一个工作循环中，进气门和排气门各启闭一次，向气缸内喷油一次，所以控制进、排气门及喷油泵工作的凸轮轴的转速在四冲程柴油机上仅为曲轴转速的一半。

#### 四、曲轴转角和配气相位图

连杆的传动使活塞的往复运动与曲轴的转动相对应，气缸中一定的活塞位置与曲柄圆上一一定的曲轴圆周位置（相位）对应。通常将曲轴转一圈时等分成  $360^\circ$ ，它的  $0^\circ$  和  $360^\circ$  皆与活塞上止点位置相对应。四冲程柴油机在一个工作循环中每一缸活塞有两个上止点：一个是压缩上止点或称发火上止点，曲轴转角通常为  $0^\circ$ ；另一个是换气上止点，曲轴转角通常为  $360^\circ$ 。

配气相位图用以说明气缸内工质的工作过程。在直角坐标图上，活塞的上、下止点分别位于纵坐标的上方和下方，坐标的中心代表曲轴转动中心，按曲轴的转动方向标出进气门和排气门启闭位置的图形称为配气相位图。通常该图上还标出理论上向气缸提前供应燃油的相位——供油提前角  $\theta$ 。

不同结构、不同转速范围、不同增压方式和增压度的柴油机有着不相同的配气相位，合适的配气相位是由多次实机试验后优选而来的。16V280ZJ 型柴油机配气相位图如图 1-1-3 所示。几种机车用四冲程柴油机的配气相位如表 1-1-1 所示。

表 1-1-1 四冲程柴油机的配气相位

机 型	相 位						
	进 气		排 气		气门重叠角 $\theta_i + \theta_e'$	换气总时间 $360^\circ + \theta_i' + \theta_e$	供油提前 角 $\theta$
	$\theta_i$	$\theta_i'$	$\theta_e$	$\theta_e'$			
16V280ZJ	59°	44°	69°	64°	123°	473°	22°
16V240ZJB	42°20'	42°20'	42°20'	42°20'	84°40'	444°40'	21°
12V240ZJ	60°	50°	50°	60°	120°	460°	22° ~ 24°
12V180ZJ	63°	42°	60°	43°	106°	462°	28° ± 0.5°
7FDL-16	65°	45°	55°	61°	126°	460°	26°
12LDA28	76.2°	36.2°	67.6°	37.6°	113.8°	463.8°	13°30'

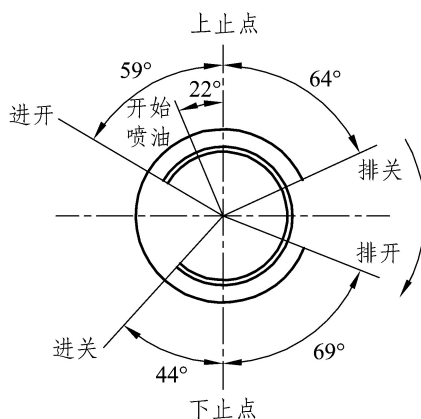


图 1-1-3 16V280ZJ 型柴油机配气相位图

【任务检查】

表 1-1-2 柴油机工作原理——任务检查单

任务编号	1-1	任务名称	柴油机工作原理认知		
序号	检查内容			是	否
1	能正确绘制 16V280ZJ 型柴油机的配气相位图，包括进气、压缩、做功、排气、供油提前共 5 个要点				
2	能结合 16V280ZJ 型柴油机的配气相位图，说明 16V280ZJ 型柴油机的工作过程。注意进气、压缩、做功、排气 4 个冲程以及供油提前共 5 个要点				

【任务训练】

1. 解释柴油机的基本术语。
2. 说明四冲程柴油机的工作原理。
3. 画出 16V280ZJ 型柴油机的配气相位图。

## 任务 1-2 内燃机车柴油机常识认知

### 【任务描述】

结合 16V280ZJ 型、GEVO16 型柴油机，完成柴油机常识的认知，并能说明柴油机经济性指标的含义。

### 【任务目标】

- 能说明柴油机曲轴转向、型号的含义；
- 能说明柴油机经济性指标的含义；
- 能画出 16V280ZJ 型、GEVO16 型柴油机气缸编号示意图。

### 【任务学习】

#### 一、柴油机的分类

柴油机用途广泛，因此其结构形式和工作特点也各不相同，以内燃机车柴油机为例，可大致分类如下：



柴油机的分类、型号及转向

#### (一) 按气缸布置的形式来分

(1) 立式柴油机：单列直立式气缸，气缸中心线与地面垂直，如图 1-2-1 (a) 所示。



(2) U 形柴油机：双列直立，两列气缸平行，每列有一根曲轴，两根曲轴的功率通过齿轮系合并集中输出，如图 1-2-1 (b) 所示。

(3) 对动活塞式柴油机：单列直立，上下两曲轴平行且同步运转，每根曲轴驱动上下各一方的活塞连杆组，上下活塞对向运动，两轴功率由同步装置合并后集中于下轴输出，如图 1-2-1 (c) 所示。

(4) V 形柴油机：左右两列气缸中心线相交呈 V 形，在 V 形角中心处由一根曲轴输出功率，如图 1-2-1 (d) 所示。

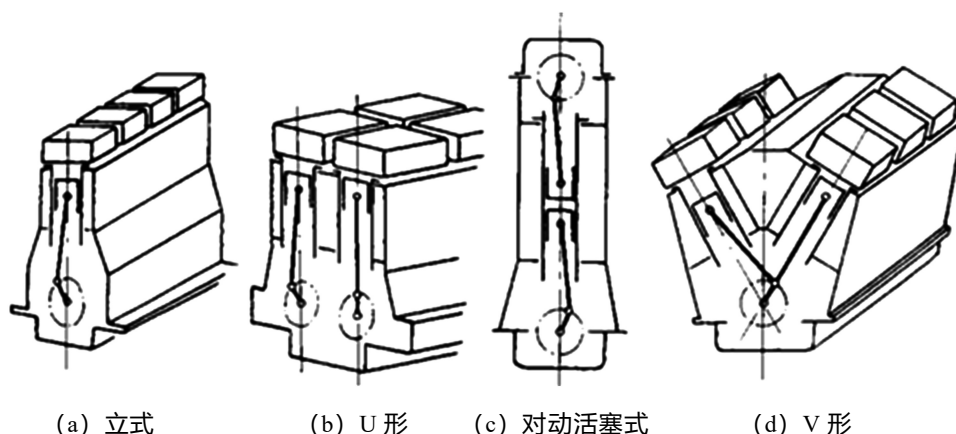


图 1-2-1 气缸的布置形式

此外，国外机车柴油机还有三角形、正方形、W 形及 X 形等气缸布置形式。通常 V 形柴油机为内燃机车所广泛采用，因为它的结构紧凑，长度缩短，高度降低，空间利用性好，在质量及功率强化指标方面有一定优势。

## (二) 按完成工作循环所需的冲程数分

- (1) 四冲程柴油机：每个工作循环需要完成进气、压缩、燃烧、排气 4 个冲程。
- (2) 二冲程柴油机：每个工作循环需要完成动力、压缩两个冲程。

## (三) 按曲轴转速及活塞平均速度分

- (1) 低转速柴油机： $n < 300 \text{ r/min}$ ；
- (2) 中转速柴油机： $300 \text{ r/min} < n < 1\,000 \text{ r/min}$ ；
- (3) 高转速柴油机： $n > 1\,000 \text{ r/min}$ 。

## (四) 按进气状态分

### 1. 按空气进入气缸的状态分

- (1) 非增压柴油机。

新鲜空气未经压缩被直接吸入气缸，或二冲程柴油机为驱废气而设扫气泵使低压空气进

入气缸，这些皆属于非增压柴油机类型。

(2) 增压柴油机。

用专门设备将新鲜空气压缩后送入气缸的柴油机为增压柴油机，它又具有带空气中间冷却器及不带中间冷却器两种。压缩后的新鲜空气温度升高，在它进入气缸前的中间通道上用专门设备对压缩的空气进行冷却，这种中间空气冷却设备简称为中冷器。

2. 按压气机的驱动方式分

(1) 机械增压柴油机。

通过柴油机自身曲轴的转动来驱动压气机，实现进气增压的柴油机。

(2) 废气涡轮增压柴油机。

通过柴油机自身排出的尾气来驱动涡轮机-压气机，实现进气增压的柴油机。

3. 按空气被增压的程度分

(1) 低增压柴油机。

进气空气压力  $P \leq 166.6$  kPa 的柴油机。

(2) 中增压柴油机。

进气空气压力  $P$  为  $166.6 \sim 245$  kPa 的柴油机。

(3) 高增压柴油机。

进气空气压力  $P$  为  $245 \sim 343$  kPa 的柴油机。

(4) 超高增压柴油机。

进气空气压力  $P \geq 343$  kPa 的柴油机。

(五) 按燃烧室的结构特征分

1. 直接喷射燃烧室式柴油机

这种燃烧室由气缸盖底平面和活塞顶部的凹坑构成，直接喷射到凹坑内的燃油，主要靠雾化后的燃油和空气均匀地接触形成可燃混合气体。

2. 分隔燃烧室式柴油机

这种燃烧室由主燃室和副燃室组成，气缸盖底平面和活塞顶部构成主燃室，副燃室位于气缸盖内，两个燃烧室之间由孔道相连接。燃油先在副燃室内燃烧，之后连同未燃烧的燃油一起进入主燃室进行充分燃烧。

## 二、柴油机的型号、气缸编号及曲轴转向

GB/T 725—2008 规定：柴油机的型号由阿拉伯数字、汉语拼音字母或国际通用的英文缩略字母组成。

柴油机的型号包括四部分：第一部分，由制造厂商代号或产品序列号组成；第二部分，