

中 等 专 业 学 校 教 材

# 内 燃 机 车 柴 油 机

苏州铁路机械学校 张世芳 主编

济南铁路机械学校 朱炯亮 主审

中 国 铁 道 出 版 社

1991年·北京

# 前 言

本书是根据1990年批准的中等专业学校“内燃机车总体及柴油机”课程教学大纲，在1983年出版的试用教材基础上编写的，符合四年制内燃机车专业的教学计划，需111学时。

本书以东风<sub>4</sub>B型机车用柴油机为主机型，阐述柴油机各系统的构造、工作原理及运用知识。为扩大知识面，增强对多种机型的适应能力，本书也介绍了其它型机车柴油机的部分结构及工作原理，供讲授时选讲或自学。

学习本课程可使学生熟悉国产主型内燃机车柴油机零、部件的工作条件、受载情况及构造作用，为今后从事内燃机车的运用及检修准备必要的基础知识。为帮助学生掌握基本内容和加深对课文的理解，各章后面均附有复习题和思考题。

本书由苏州铁路机械学校张世芳主编，济南铁路机械学校朱炯亮主审。编写分工如下：第一、二、四、七、八、十一及十二章由张世芳编写；第三、九、十章由苏州铁路机械学校张兆康编写；第五、六章由郑州铁路机械学校杨廷晓编写。

本书引用了有关工厂的技术资料，还有不少同志在本书审稿会上提了许多有益的建议，在此一并致谢。

编者

1990年6月

### 内 容 简 介

本书详细介绍了内燃机车柴油机的构造原理、增压换气、燃油供给、调节控制、冷却预热等基本知识,还介绍了运用保养、工作特性、台架试验等内容。

本书除供铁路中等专业学校内燃机车专业教学使用外,还可作为职工培训教材及有关技术人员的自学参考书。

中等专业学校教材

内燃机车柴油机

苏州铁路机械学校 张世芳 主编

中国铁道出版社出版、发行

(北京市东单三条14号)

责任编辑 马时亮 封面设计 翟达

中国铁道出版社印刷厂印

---

开本: 787×1092毫米1/16 印张: 19 字数: 447 千

1991年8月 第1版 第1次印刷

印数: 1~5000册

---

ISBN7-113-01030-X/U·317 定价: 4.55元

# 目 录

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 第一章 内燃机车柴油机的基本知识.....       | 1   |
| 第一节 柴油机的主要特点.....           | 1   |
| 第二节 柴油机的基本知识.....           | 2   |
| 第三节 柴油机的分类、型号及转向.....       | 10  |
| 第四节 柴油机的技术经济指标.....         | 13  |
| 第二章 柴油机的受力分析.....           | 22  |
| 第一节 曲柄连杆机构的受力.....          | 22  |
| 第二节 运动惯性力对柴油机工作的影响.....     | 26  |
| 第三章 固定件.....                | 29  |
| 第一节 机 体.....                | 29  |
| 第二节 主 轴 承.....              | 33  |
| 第三节 气 缸.....                | 40  |
| 第四节 气 缸 盖.....              | 42  |
| 第五节 机座及油底壳.....             | 45  |
| 第六节 泵支承箱、连接箱及弹性支承.....      | 46  |
| 第七节 曲轴箱防爆装置.....            | 49  |
| 第四章 运动件.....                | 54  |
| 第一节 活 塞 组.....              | 54  |
| 第二节 连 杆 组.....              | 67  |
| 第三节 曲 轴 组.....              | 76  |
| 第四节 扭转振动及减振器.....           | 83  |
| 第五节 联轴节及盘车机构.....           | 89  |
| 第五章 柴油机的换气及配气机构.....        | 94  |
| 第一节 四冲程柴油机的换气过程和换气损失.....   | 94  |
| 第二节 柴油机的充量系数及提高充量系数的措施..... | 97  |
| 第三节 配气机构的总体布置.....          | 101 |
| 第四节 气门机构.....               | 104 |
| 第五节 气门驱动机构.....             | 109 |
| 第六节 气门间隙和配气正时的调整.....       | 117 |
| 第六章 进、排气系统.....             | 121 |
| 第一节 柴油机的增压概述.....           | 121 |
| 第二节 涡轮增压柴油机的进、排气系统.....     | 122 |
| 第三节 空气滤清器.....              | 126 |
| 第四节 涡轮增压器的工作原理及性能参数.....    | 128 |
| 第五节 涡轮增压器的构造.....           | 131 |
| 第六节 中 冷 器.....              | 140 |

|                                          |            |
|------------------------------------------|------------|
| 第七节 涡轮增压系统运用中的几个问题 .....                 | 142        |
| <b>第七章 燃油的供给与燃烧 .....</b>                | <b>145</b> |
| 第一节 燃油系统 .....                           | 145        |
| 第二节 喷油泵的工作原理和结构 .....                    | 150        |
| 第三节 喷油器及高压油管 .....                       | 163        |
| 第四节 燃油的喷射过程 .....                        | 168        |
| 第五节 气缸内混合气的形成 .....                      | 170        |
| 第六节 柴油机气缸内的燃烧过程 .....                    | 176        |
| 第七节 不完全燃烧及排气净化措施 .....                   | 181        |
| <b>第八章 柴油机的调节与控制 .....</b>               | <b>185</b> |
| 第一节 概 述 .....                            | 185        |
| 第二节 柴油机转速的自动调节原理 .....                   | 187        |
| 第三节 调节器的功调系统及其它附加控制 .....                | 201        |
| 第四节 调节器的综合调节动作及性能指标 .....                | 208        |
| 第五节 启动加速器 .....                          | 211        |
| 第六节 控制机构 .....                           | 212        |
| 第七节 调控传动装置 .....                         | 217        |
| 第八节 调节器的运用知识 .....                       | 220        |
| <b>第九章 机油系统 .....</b>                    | <b>223</b> |
| 第一节 概 述 .....                            | 223        |
| 第二节 机油的品质 .....                          | 224        |
| 第三节 内燃机车的机油系统 .....                      | 226        |
| 第四节 东风 <sub>4</sub> 型机车机油系统主要部件的构造 ..... | 232        |
| 第五节 机油系统的运用与保养 .....                     | 243        |
| <b>第十章 冷却水及预热系统 .....</b>                | <b>245</b> |
| 第一节 概 述 .....                            | 245        |
| 第二节 内燃机车冷却水系统 .....                      | 247        |
| 第三节 内燃机车冷却系统主要部件构造及工作原理 .....            | 249        |
| 第四节 东风 <sub>4</sub> 型机车预热系统 .....        | 257        |
| 第五节 冷却水系统的运用与保养 .....                    | 261        |
| <b>第十一章 柴油机总成及工作特性 .....</b>             | <b>263</b> |
| 第一节 16V240ZJB型柴油机总体结构 .....              | 263        |
| 第二节 7FDL-16型柴油机总体结构 .....                | 267        |
| 第三节 几种柴油机的主要技术参数 .....                   | 268        |
| 第四节 柴油机的运转工况 .....                       | 270        |
| 第五节 柴油机的工作特性 .....                       | 273        |
| <b>第十二章 柴油机的试验 .....</b>                 | <b>280</b> |
| 第一节 概 述 .....                            | 280        |
| 第二节 柴油机试验常用设备的工作原理 .....                 | 283        |
| 第三节 柴油机台架试验 .....                        | 295        |

# 第一章 内燃机车柴油机的 基本知识

将某一种能量转变为机械能而驱动别的机械作功的机器，称为发动机或动力装置（动力机械）。按照能量转变之不同形式，发动机可区分为：热力、风力、水力、太阳能及原子核裂变等动力装置。热力发动机是将燃料的化学能通过燃烧释放出热能，再通过机器本身将热能转变为机械能而输出的机器（简称为热机）。热机又区分为外燃机和内燃机两大类。燃料在发动机作功场所（如气缸）外部燃烧的热机称为外燃机，如蒸汽机和蒸汽轮机等。燃料在发动机作功场所内部燃烧而释放工质的内能，由工质的内能直接转变为机械能的热机称为内燃机，其中以所用燃料的不同又分为汽油机、煤气机及柴油机等。

1898年德国工程师鲁道夫·狄塞尔创制了世界上第一台往复活塞压燃式内燃机，至今，柴油机已经历多次重大的变革，在技术上已达到相当完善的程度，因而在农业机械、工程机械、交通运输、铁路机车牵引、坦克、舰艇及渔船等动力装置方面得到广泛的应用。

## 第一节 柴油机的主要特点

柴油机与其它型式的热机相比有以下主要特点：

1. 工作时热效率高，具有显著的节能效果。

柴油机的工作热效率通常可达36~41%，高者还可达46%以上。在热机中以柴油机的工作经济性为最佳，其它热机的热效率都不如它，例如汽油机的热效率为30%，蒸汽轮机为30~35%，固定式蒸汽机为16%，运输式蒸汽机的热效率则更低。作为铁路牵引用的机车，机车的总效率代表了机车的设计与制造的综合水平，它是在热机工作热效率的基础上打一个传动效率的折扣，例如蒸汽机车的总效率为6~9%，内燃机车为27~35%，后者为前者的4倍多，而且在机车起动前及停车后可做到不消耗燃料。实践的结果表明：在交通运输的动力装置中以内燃机车的工作经济性为最好。

2. 功率和转速范围宽广，能适应各种不同用途。

现代柴油机的输出功率大约在0.59kW到40440kW之间。大型低速船用柴油机的转速仅为每分钟几十转到每分一、二百转，而机车用柴油机的标定转速在350~1600r/min范围内。柴油机的品种规格繁多，能适应多种用途的需要。

3. 结构紧凑和轻巧，适合作水、陆交通工具的动力装置。

以每单位输出额定功率所耗用的材料质量及每公升气缸容积的额定输出功率的指标来衡量柴油机结构的紧凑性和轻巧性。铁路机车用动力装置要求输出功率大和机组空间体积小，以满足在机车轴重限度内将它安置于车体内，并且还要兼顾到车体内进行检修工作的空间要求，这对有些动力装置来说相当困难，而柴油机能满足以上要求。对中等以上功率的机车柴油机来说，单位功率所耗用的材料重量一般在5~8 kg/kW，有的还可降低到4 kg/kW以

下,单位气缸容积所输出的功率一般为 $13\sim 17\text{kW/l}$ ,柴油机的最大宽度不超过 $1.8\text{m}$ ,最大高度不超过 $3\text{m}$ 。

#### 4. 启动迅速,操纵简便。

柴油机启动前的准备时间短,启动时间一般只要几秒钟,并能较快地达到全负荷运转。操作简便,柴油机能自动遥控,并设有多种安全保护装置。

#### 5. 燃料、机油和冷却水的消耗量少。

内燃机车不需带几十吨燃料的专用车厢,通常只附挂 $6\sim 11\text{m}^3$ 的燃油箱。加满一箱燃油时一般可供机车全功率运转 $600\sim 800\text{km}$ 。机油和水的损耗量不大,机油的损耗量为 $1.5\sim 5\text{g/kW}\cdot\text{h}$ ,机车换油里程通常在 $(5\sim 15)\times 10^4\text{km}$ 之间;冷却水循环使用,所以对缺水和水质不良的地区特别适用。

#### 6. 使用可靠,有较长的工作寿命。

柴油机的工作寿命系指两次大修间的工作时间或折合成机车行驶里程数,机车柴油机的工作寿命一般为 $15000\sim 30000\text{h}$ 或 $(60\sim 120)\times 10^4\text{km}$ ,少数能达 $(140\sim 160)\times 10^4\text{km}$ 。

机车柴油机当前仍在不断地采用新技术、新工艺、新材料及微电脑控制等技术,自动检测柴油机的工作状态,对故障预报,这一方面减少了检修工作量,另一方面还能进一步提高使用可靠性和延长大修里程数。

7. 对燃料的要求较蒸汽机、蒸汽轮机及燃气轮机为高,所排出的废气和传播的噪声对环境起污染作用。

#### 8. 结构复杂,对零部件的加工、装配、运用及维修保养等技术要求甚高。

## 第二节 柴油机的基本知识

机车用柴油机是一种往复式活塞式、压缩燃烧式内燃机,图1—1为柴油机的构造示意图。在一个圆筒形的气缸内,活塞作上下往复运动,连杆通过活塞销将活塞和曲轴连接起来,它们将活塞的往复运动转变为曲轴的旋转运动,以使气缸内工质的一部分能量以机械能的方式输出。在气缸顶部安装气缸盖,在气缸盖内部安装有喷油器、进、排气门及气门驱动装置等零部件。气缸、气缸盖、曲轴及另外一些零部件安装在柴油机机体内。气缸和气缸盖等部件内部有冷却水流通,运动零部件间有机油润滑,以确保柴油机工作可靠和持久。

### 一、柴油机的一些术语

为进一步分析柴油机的工作循环,首先将柴油机的一些常用术语介绍如下:

#### (一) 气缸直径

气缸是柴油机燃油燃烧作功的工作场所,通常设有气缸套,为使其冷却,气缸套外壁常套装有水套。气缸套为一薄壁圆筒形筒体,它的内圆孔直径称为缸径,以符号 $D$ 表示,单位为 $\text{mm}$ 。

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机零部件的大小和重量,在其它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:当活塞距曲轴中心线最远时的位置称为上止点;当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。

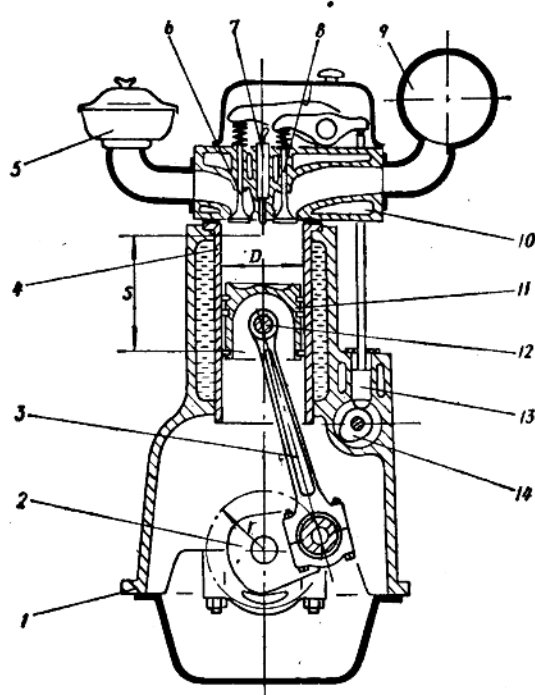


图 1-1 单缸柴油机

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。

### (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，以符号  $S$  表示，单位为 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  $r$  的一倍，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  $V_h$  表示。 $V_h$  由下式求得：

$$V_h = \frac{\pi D^2}{4} S \times 10^{-6} \quad (1) \quad (1-1)$$

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  $V_e$  或  $V_{max}$  表示，单位为 (l)。

$$V_e = V_h + V_c \quad (1) \quad (1-2)$$

或

$$V_{max} = V_h + V_{min} \quad (1)$$

$V_h$  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  $V_H$ 。

$$V_H = i V_h \quad (1) \quad (1-3)$$



$V_H$ 值愈大,柴油机的作功潜力通常也愈大,因此 $V_H$ 及 $i$ 皆为柴油机的重要结构参数。

#### (五) 工质

在气缸内的工作介质,即参与燃烧、吸热并推动活塞膨胀作功的气体,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值,称为几何压缩比或名义压缩比,以符号 $\epsilon$ 表示。

$$\epsilon = \frac{V_c}{V_c - V_k} = \frac{V_c + V_k}{V_c} = 1 + \frac{V_k}{V_c} \quad (1-4)$$

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型式。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2转),则就称为四冲程柴油机;如果活塞往返只需2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。

## 二、柴油机的工作原理

柴油机的工作循环包括有进气、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。

### (一) 四冲程柴油机的工作原理

图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,下部 $p-v$ 坐标图表示气缸内工质的气压与气缸容积之间的变化关系。

#### 1. 进气过程

柴油机气缸内的燃烧就是燃油与氧化合的放热过程,因此首先要使新鲜空气充入(吸入)气缸,这是工作循环必须的第一步。

当活塞由上止点附近逐渐转而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。

在进气过程中,新鲜空气以较高的速度流经管道及气门处而产生阻力,因此充入缸内的气压总是低于缸外供气源的气压值。

气门的启、闭从开始到全开或全闭有一个时间过程。为使气缸内尽可能地多充气,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达上止点时的曲轴转角称为进气提前角 $\theta_i$ 。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滞后角 $\theta'_i$ 。进气过程相位及气压状态由图1—2中a—b线所示。

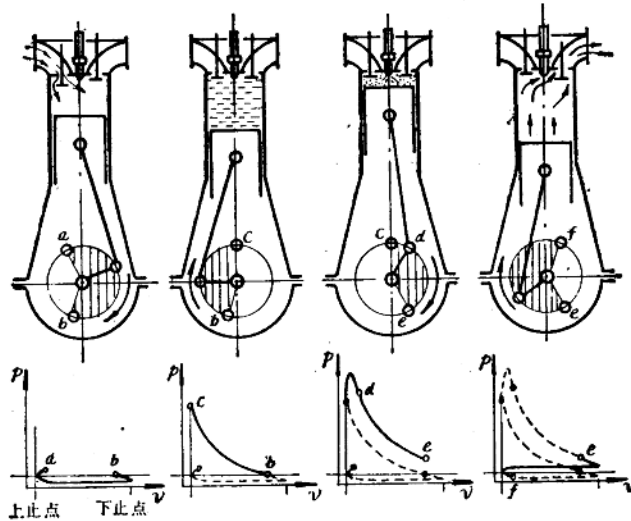


图1—2 四冲程柴油机的工作过程

## 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。压缩过程在活塞到达上止点时结束,这时气缸的容积 $V_c$ 仅为压缩初的十几分之一,在柴油机最低工作转速下,压缩终点工质的压力通常达到2500~3500kPa,压缩终点工质的温度达到780~1000K。压缩过程(图1—2中b—c线)为燃油迅速着火,提高热效率及增加柴油机输出功率创造条件。

## 3. 燃烧-膨胀过程

在压缩过程后期活塞达上止点前,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地上升。在活塞过上止点后不久燃油停止喷射(图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。在标定工况下机车柴油机的最高气压通常可达10000~14000kPa,这个气压值称为最高爆发压力(最高燃烧压力) $p_z$ 。气缸内工质的最高燃烧温度可达1700~2100K。

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

为了使柴油机连续做功,必须使膨胀后的工质排出气缸,打开排气门,为新的工质进入

气缸创造条件。这些排出气缸的燃气，习惯上称为废气。

为了彻底清除废气，降低排气负功，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（图1—2中点e），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（图1—2中点f）。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 $\theta_l$ 。

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的持续时间皆超过一个冲程的时间；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有不同。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 $\alpha_m$ 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，驱赶死角处的残余废气，降低排气温度，同时使气缸内部受热机件冷却，减少充入气缸的新鲜空气与热机件间的热交换量，因而对柴油机的工作有良好的影响。

2. 四冲程柴油机的工作循环正好是在四个活塞冲程的距离或当量的时间（曲轴转2转）内完成的，其中以进气、压缩及排气过程都是消耗能量的必要辅助过程，燃烧-膨胀是作功的过程，但前者都为作功做准备的阶段，后者是在前者的基础上释放、转化和输出能量的动力过程。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，另一部分还要克服零部件的运动阻力；提供辅助过程消耗；带动本身附件工作及热损失等能量消耗。

3. 既然辅助过程及本身附件的工作要消耗能量，所以柴油机一开始不能自身动作，而必须借助于外力来启动，例如借人力扭转摇手柄，或借电动机来驱动曲轴，或利用高压空气充入气缸推活塞运动之力等方法来启动柴油机。一旦柴油机曲轴运转达到发火转速时，气缸内工质的膨胀作功就可提供曲轴自身连续运转之动力。

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，故控制进、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。

## （二）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，曲轴转角通常作为 $0^\circ$ ，另一个是换气上止点，曲轴转角通常作为 $360^\circ$ 。

配气相位图用以了解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 $\theta_o$ 。

对不同结构、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。列举几种机车用四冲程柴油机的配气相位表1—1和图1—3所示。

## （三）二冲程柴油机的工作原理

四冲程柴油机的配气相位

表 1—1

| 机 型 \ 相 位 | 进 气        |             | 排 气        |             | 气门重叠角<br>$\theta_i + \theta_e'$ | 换气总时间<br>$360^\circ + \theta_i' + \theta_e$ | 供油提前角<br>$\theta$ |
|-----------|------------|-------------|------------|-------------|---------------------------------|---------------------------------------------|-------------------|
|           | $\theta_i$ | $\theta_i'$ | $\theta_e$ | $\theta_e'$ |                                 |                                             |                   |
| 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°                                        | 25°               |
| 12LDA28   | 75.2°      | 36.2°       | 67.6°      | 37.6°       | 113.8°                          | 463.8°                                      | 13°30'            |

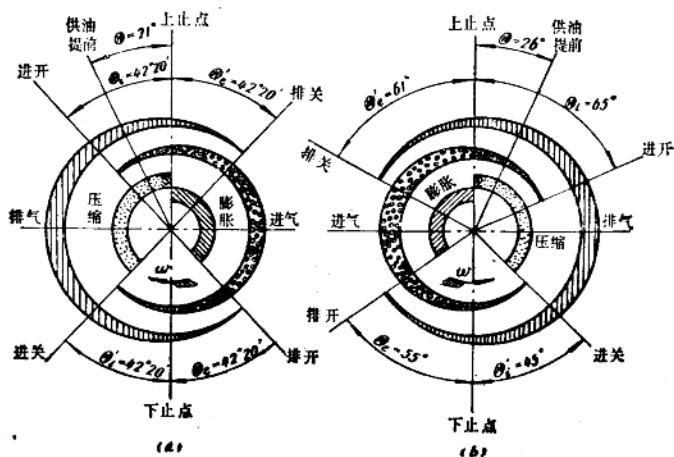


图 1—3 四冲程柴油机的配气相位

(a) 16V240ZJB型柴油机配气相位; (b) 7FDL-16型柴油机配气相位。

 $\theta_i$ ——进气提前角;  $\theta_i'$ ——进气滞后角;  $\theta_e$ ——排气提前角;  $\theta_e'$ ——排气滞后角;  $\theta$ ——供油提前角。

为在曲轴一转内完成一个工作循环, 柴油机在结构上采用独特的进、排气控制方式。图 1—4 和图 1—5 表示两种不同结构特点的二冲程柴油机, 它们共同之点是在气缸壁上开设进气口(扫气孔), 而排气控制则不相同, 有用排气门控制, 也有在缸壁上开排气口的方式。气口有一定的宽度和长度, 一定的几何形状及倾斜边棱, 以造就一定的气流运动。气口的启、闭是由气缸内移动的活塞组来控制的, 因此气口的位置和长度决定了配气相位。对非增压的二冲程柴油机来讲, 为解决换气时间短及换气困难等问题, 特设置一个扫气泵, 为气缸内的换气提供120~135kPa的低压空气。

具有上、下两根曲轴对动活塞式10E207J型柴油机, 采用垂直传动装置使两轴同步运动及集中输出功率, 其下曲轴的相位领先于上曲轴12°。气缸壁的上部开设扫气口, 气缸壁的下部开设排气口。上、下活塞组对向运动, 分别控制着上、下气口的启闭。由于活塞的对置, 这时以活塞运动到气缸中部燃烧室处的止点为内止点; 以活塞运动到气缸两端靠近曲轴中心的止点为外止点。这类柴油机的工作过程如下:

### 1. 膨胀-换气行程

由于燃烧室内喷油燃烧, 高温高压的燃气推动上、下活塞由内止点向外止点移动, 下活

塞首先开启排气口〔图 1—5(a)中曲轴位置 1〕,气缸中膨胀作功后的燃气首先冲出排气口,开始靠气缸内、外压力差而进行的自由排气。

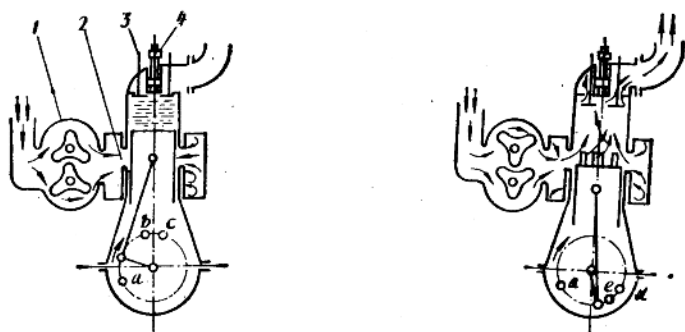


图 1—4 气口-气门式二冲程柴油机  
1——扫气泵, 2——扫气口, 3——排气门, 4——喷油器。

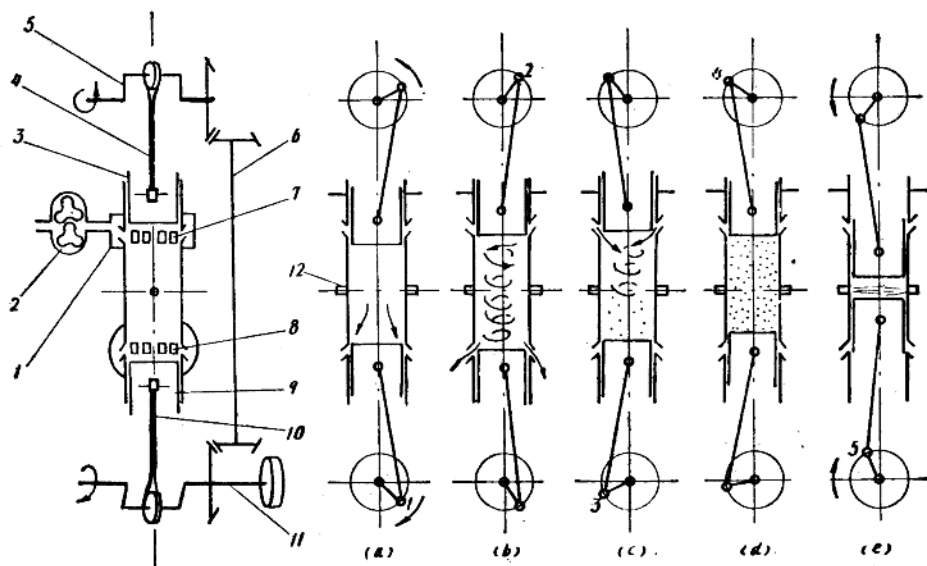


图 1—5 气口-气门式二冲程柴油机原理

1——贮气室, 2——扫气泵, 3——上活塞, 4——上连杆, 5——上曲轴, 6——垂直传动轴,  
7——扫气口, 8——排气口, 9——下活塞, 10——下连杆, 11——下曲轴, 12——喷油器。

随着曲轴的继续转动, 进气口被上活塞打开〔图 1—5(b)中曲轴位置 2〕, 这时排气口已大开, 而积聚在进气口外围贮气室内的扫气空气, 随已形成一定流动惯性的废气流充入气缸, 废气在前, 新鲜空气在后, 后者挤压前者一起流出气缸, 这好象利用新鲜空气来强制驱赶废气, 这种现象称为扫气。

## 2. 换气-压缩行程

扫气过程一直继续到下活塞由下止点返回向上关闭排气口〔图 1—5(c)中位置 3〕而终止, 此时进气口尚未全关, 扫气空气利用前已形成的进气流动惯性继续充入气缸, 使气缸内

的充量增加, 这种现象称为后充。

上活塞全关进气口[图1—5(d)中位置4]时后充过程结束, 这时缸壁上进、排气口全关, 随着上、下活塞继续向内止点运动而进入压缩过程, 缸内的气压和气温逐渐上升, 压缩到活塞内止点附近时[图1—5(e)中位置5], 喷油泵开始向喷油器供应高压燃油, 随后开始喷油和燃烧。

10E207J型柴油机以第一气缸下曲轴的相位为基准的配气相位如图1—6所示。

由以上过程的解析可对二冲程柴油机作出普遍性的推论:

(1) 气口-气口直流换气式二冲程柴油机从排气口开到进气口关——换气过程总时间不足活塞移动一个行程的时间, 以曲轴转角计, 二冲程柴油机的换气过程总时间约为四冲程柴油机的  $\frac{1}{3.5} \sim \frac{1}{4}$ , 前者强制扫气的时间约占总换气时间的80%左右, 这说明二冲程柴油机的进气过程与排气过程关系密切, 重叠期长。

(2) 进、排气口位于活塞外止点或下止点附近, 在换气过程中活塞的运动幅度不大, 仅在外止点前后较短的距离内完成换气, 故二冲程柴油机并不象四冲程柴油机活塞运动具有强制推出废气那样的作用。为提高换气质量, 因而增设了扫气泵来协助换气。即使这样, 二冲程柴油机的换气质量仍差于四冲程柴油机。

(3) 二冲程柴油机的凸轮轴转速与曲轴转速相等。

(4) 在转速相同的条件下, 二冲程柴油机气缸内作功的频率比四冲程柴油机高一倍, 但由于扫气泵额外消耗能量, 由于开设于缸壁的气口使部分行程不能作功及换气品质有所降低等原因, 使二冲程柴油机的输出功率即使在同转速、同增压度及同气缸容积的条件下, 只比四冲程柴油机增大50~70%, 实际上二冲程柴油机的转速值还常低于四冲程柴油机。

### 三、柴油机的基本组成

内燃机车上的动力装置是指以柴油机为主体的一整套联合工作的动力设备。各种不同的柴油机动力设备有不同的结构特点, 但它们都是由下述部件组成的:

#### (一) 运动件

运动件主要是指柴油机中作功、传递和输出功率的曲柄连杆机构, 即由活塞组、连杆组和曲轴组等部件组成。

#### (二) 固定件

固定件是柴油机安装和支承各种机件的基础, 为柴油机提供燃烧作功的场所, 它主要由机体、主轴承、气缸、气缸盖、油底壳及安装支承座等组成。

#### (三) 配气机构

配气机构主要包括凸轮轴、挺柱、推杆、摇臂、气门及气门弹簧等机件, 以正时地开闭气门, 达到排出废气和充入新鲜空气的目的, 为柴油机循环工作创造条件。

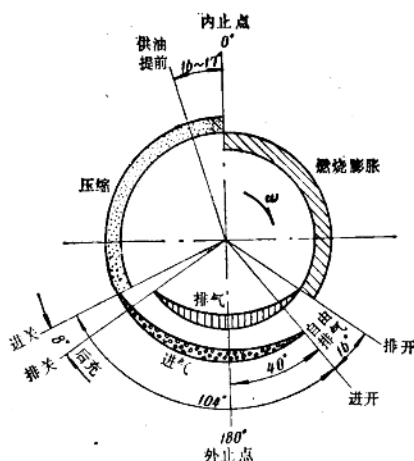


图1—6 10E207J型柴油机配气相位

#### (四) 进、排气系统

进气系统一般由空气滤清器、压气机、中冷器、贮气室或稳压箱及进气管道等组成。排气系统一般由排气支管、排气总管、涡轮机及排气消声器等组成。

#### (五) 燃油系统

燃油系统根据柴油机的运转工况，保证在适当的时机向气缸喷入一定量的雾状燃油。燃油系统一般由燃油箱、燃油输送泵、燃油滤清器、喷油泵、喷油器及有关管路等组成。

#### (六) 调控系统

机车司机根据运行的需要，通过调控系统对柴油机进行调速及控制输出功率，并能自动防止柴油机发生过载及飞车等意外情况。调控系统主要有调速器或调节器，杠杆系统、超速保护装置及紧急停车装置等机件。

#### (七) 机油系统

机油系统使相对运动零件的摩擦表面得到润滑和冷却，从而保证柴油机正常和可靠地工作。机油系统主要有启动机油泵、主机油泵、机油滤清器、热交换器及机油管道等部分。

#### (八) 冷却水系统

冷却水系统保证柴油机各主要受热机件的冷却，例如对气缸、气缸盖、涡轮增压器、中冷器及机油的冷却等，以确保柴油机正常和持久地运转。冷却水系统一般由膨胀水箱、高、低温水泵、中冷器、机车散热器及管路部分组成，通常还随车安装有机油和水系统的预热设备。

### 第三节 柴油机的分类、型号及转向

#### 一、柴油机的分类

由于柴油机具有广泛的用途，因而也具有不同的结构形式和工作特点，以机车用柴油机为例可大致分类如下：

##### (一) 以气缸布置的类型来分

1. 立式柴油机——单列直立式气缸，气缸中心线与地面垂直〔图 1—7(a)〕。

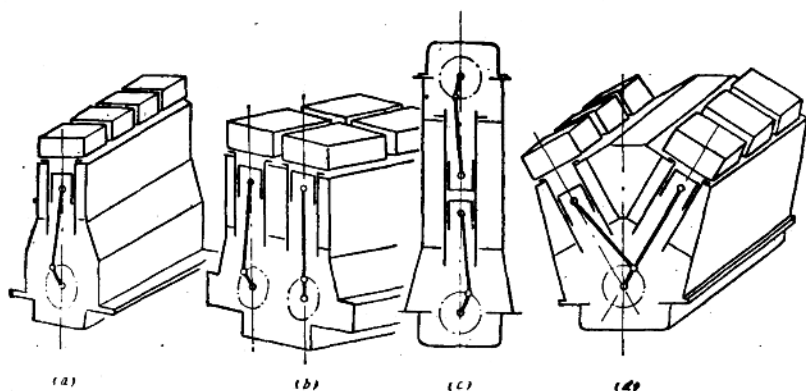


图 1—7 气缸的布置型式  
(a) 立式；(b) U型；(c) 对动活塞式；(d) V型布置。

2. U型柴油机——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〔图1-7(b)〕。

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〔图1-7(c)〕。

4. V型柴油机——左、右两列气缸中心线相交呈V型, 在V角中心处由一根曲轴输出功率〔图1-7(d)〕。

此外, 国外机车柴油机还有三角形、正方形、W型及X型等气缸布置形式。通常V型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, 在重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

分为四冲程柴油机和二冲程柴油机。

(三) 按曲轴转速及活塞平均速度分

按曲轴转速 $n$ 大致可划分为:

低转速柴油机  $n \leq 300 \text{ r/min}$ ;

中转速柴油机  $300 < n \leq 1000 \text{ r/min}$ ;

高转速柴油机  $n > 1000 \text{ r/min}$ 。

柴油机活塞的运动速度也反映了转速大小的影响, 又反映了行程大小的影响。活塞平均速度 $C_m$ 可由下式计算:

$$C_m = 2S \frac{n}{60} = \frac{Sn}{30} \quad (\text{m/s}) \quad (1-5)$$

柴油机按活塞平均速度分类可分为:

低速柴油机  $C_m < 6 \text{ m/s}$ ;

中速柴油机  $C_m = 6 \sim 9 \text{ m/s}$ ;

高速柴油机  $C_m = 9 \sim 13 \text{ m/s}$ 。

单一的 $n$ 或 $C_m$ 值都不能全面地反映柴油机特征, 必须两者兼顾, 综合评判。

机车柴油机的曲轴转速一般在750~1500r/min之间, 活塞平均速度在7.5~11.5m/s范围内, 因此机车柴油机都属于中速或高速的类型, 有的还为具有中、高速双重特性的中间类型。

(四) 以进气状态分

1. 以空气进入气缸的状态分

(1) 非增压柴油机

新鲜空气未经预先压缩直接吸入气缸, 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预先压缩而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。预压后的新鲜空气温度升高, 在它进入气缸前的中间通路上用专门设备对空气进行冷却, 这种中间空气冷却器简称为中冷器。

2. 以压气机的驱动方式分

(1) 机械增压柴油机



由柴油机自身曲轴驱动压气机而增压。

(2) 废气涡轮增压柴油机

由柴油机自身排出的燃气驱动涡轮机-压气机而增压的柴油机。

3. 以空气被增压的程度分

(1) 低增压柴油机

增压空气压力  $p_K \leq 166.6 \text{ kPa}$  的柴油机。

(2) 中增压柴油机

增压空气压力  $p_K$  为  $166.6 \sim 245 \text{ kPa}$  的柴油机。

(3) 高增压柴油机

增压空气压力  $p_K$  为  $245 \sim 343 \text{ kPa}$  的柴油机。

(4) 超高增压柴油机

增压空气压力  $p_K$  大于  $343 \text{ kPa}$  的柴油机。

(五) 按燃烧室的结构特征分

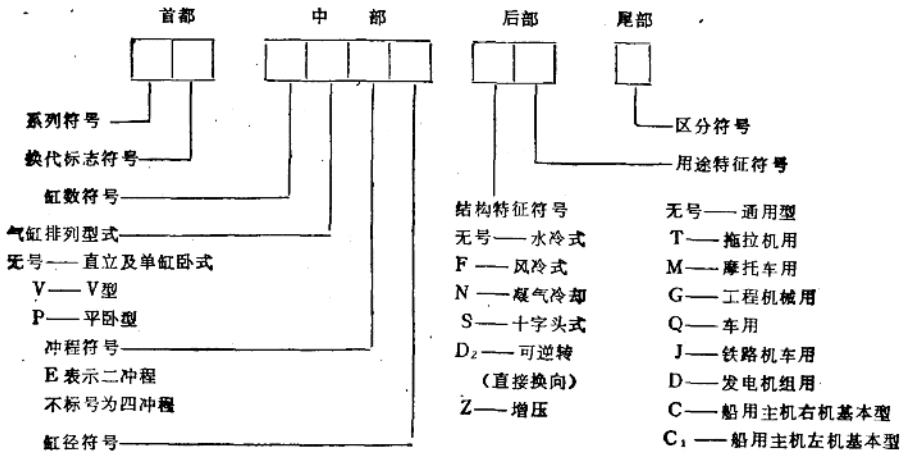
1. 直接喷射燃烧室式柴油机。

2. 分隔燃烧室式柴油机。

二、柴油机的型号、气缸编号及曲轴转向

根据国标 GB725-82 (代替 GB725-65) 规定：柴油机的型号由阿拉伯数码和汉语拼音字母或象形字组成。柴油机的型号分首、中、后及尾四部分，首部及尾部的符号由制造厂自选，可根据具体情况标出或不标出；气缸直径以 mm 数字表示，必要时可用  $D/S$  数表示之。

国产柴油机型号编排规则如下：



示例如下：

16V240ZJB——表示16缸，V型四冲程，缸径240mm，增压及机车用柴油机，变型代号

B。

10E207J——表示10缸，二冲程，缸径207mm，水冷式机车用柴油机。

G6300D<sub>2</sub>C——表示G系列，6缸缸径300mm，曲轴可逆转的船用四冲程柴油机。