

前 言

本书于1980年9月由内江召开的教材会议确定,并根据1981年4月全国铁路中等专业学校通过的“内燃机车总体及柴油机”教学大纲的要求编写而成。

本书以内燃机车通用柴油机构造和工作原理为主,阐述柴油机各系统的构造和作用、运动部件的动力分析、柴油机工作循环分析、性能指标、换气过程、燃油及燃烧、涡轮增压及试验等内容。编写本书的目的在于使学生熟悉国产主型内燃机车柴油机零、部件的工作条件、受力特点及构造作用,并了解影响柴油机性能提高的因素,为今后从事内燃机车运用及检修等技术工作,准备必要的基础知识。书中以小号字体刊印的章节可选讲、自学。

本书以16240ZB型柴油机为主机型,并适当介绍其它机型。具体编写分工是:第一章、第二章:苏州铁路技术学校王兴昌;第三章:沈阳铁路机械学校贾砚增;第四、六、十七章:苏州铁路技术学校徐惠康;第五、七、八、九章:苏州铁路技术学校张世芳;第十章:苏州铁路技术学校张兆康;第十一章:苏州铁路技术学校韩世英;第十二、十三章:济南铁路机械学校隋鸿诉;第十四章:兰州铁路技术学校洪积镛;第十五、十六章:郑州铁路机械学校栢廷晓。参加审稿的有:济南、郑州、沈阳、兰州、广州及苏州等铁路中等专业学校的代表;济南铁路机械学校隋鸿诉、朱炯亮主审。书中大部分插图由苏州铁路技术学校钱乃麟同志描绘。

编 者

1981年12月

内 容 提 要

本书介绍内燃机车柴油机各系统的构造、作用、工作原理,柴油机的动力分析、工作循环、燃烧、增压、特性及试验等基本知识。

本书除供铁路中等专业学校内燃机车专业教学使用外,也可作为职工培训班教材和供技术人员学习参考。

中等专业学校试用教材

内燃机车柴油机

张世芳 徐惠康 主编

中国铁道出版社出版、发行

中国铁道出版社印刷厂印

开本: 787×1092毫米 1/32 印张: 22.5 插页: 1 字数: 512千

1983年2月 第1版 1987年3月第1版第3次印刷

印数: 8,001—13,000册 定价: 3.40元

目 录

第一章 内燃机车柴油机的基本原理	1
第一节 内燃机车柴油机发展概况.....	1
第二节 柴油机的基本知识.....	2
第三节 柴油机工作原理.....	4
第四节 柴油机的分类、型号及转向等规定.....	8
第二章 内燃机车柴油机的总体介绍	11
第一节 内燃机车柴油机的基本组成.....	11
第二节 16240ZB型柴油机总体介绍.....	12
第三节 16240ZB型柴油机的技术参数.....	15
第三章 柴油机的动力分析	19
第一节 中心曲柄连杆机构的运动学.....	19
第二节 曲柄连杆机构的动力分析.....	23
第三节 多缸柴油机曲轴的扭矩.....	30
第四节 轴颈及轴承的负荷.....	31
第五节 双轴对置活塞柴油机的力系及功率分配.....	37
第四章 固定件	40
第一节 机体.....	40
第二节 主轴承.....	45
第三节 气缸套.....	60
第四节 气缸盖.....	62
第五节 机座及油底壳.....	66
第六节 弹性支承、泵支承箱及连接箱.....	66
第七节 曲轴箱防爆装置.....	70
第五章 运动件	73
第一节 活塞组.....	73
第二节 连杆组.....	89
第三节 曲轴组.....	98
第四节 扭转振动及减振器.....	106
第五节 联轴节及盘车机构.....	112
第六章 配气机构	117
第一节 配气机构的一般构造.....	117
第二节 16240ZB型柴油机配气机构.....	119
第三节 配气机构的调整原理.....	137

第七章 进、排气系统	141
第一节 进气系统	141
第二节 排气系统	143
第三节 空气滤清器	144
第四节 涡轮增压器	147
第五节 中冷器	157
第八章 燃油系统	160
第一节 燃油系统的作用与要求	160
第二节 燃油系统的组成	160
第三节 喷油泵工作原理	166
第四节 16240ZB型柴油机的单体柱塞式喷油泵	174
第五节 喷油器	178
第六节 高压油管	183
第七节 燃油的喷射过程	183
第九章 调控系统	187
第一节 概 述	187
第二节 调速器的工作原理	188
第三节 联合调节器的构造	203
第四节 控制装置	215
第五节 调控传动装置	218
第十章 机油系统	223
第一节 机油系统的作用及润滑方式	223
第二节 东风 ₄ 型内燃机车机油系统	224
第三节 东风 ₄ 型内燃机车机油系统主要部件的构造	230
第十一章 冷却及预热系统	243
第一节 冷却系统的作用及型式	243
第二节 东风 ₄ 型内燃机车冷却系统	243
第三节 东风 ₄ 型内燃机车冷却系统主要部件构造	246
第四节 东风 ₄ 型内燃机车预热系统	252
第十二章 柴油机的工作循环及性能指标	257
第一节 柴油机的理想循环	257
第二节 柴油机实际工作循环	262
第三节 柴油机的指示指标	268
第四节 柴油机的有效指标	271
第五节 柴油机的机械损失和机械效率	273
第六节 柴油机的热平衡	274
第十三章 柴油机的换气过程	277
第一节 四冲程柴油机的换气过程	277
第二节 四冲程柴油机的换气损失	279
第三节 四冲程柴油机的充量系数	281

第四节	提高充量系数的措施	282
第五节	二冲程柴油机换气过程的特点	283
第十四章	柴油机的燃烧	286
第一节	柴油机燃油	286
第二节	燃烧化学反应	288
第三节	柴油机气缸内混合气的形成	291
第四节	柴油机的燃烧过程	296
第五节	改善燃烧过程的措施	299
第十五章	柴油机的增压	302
第一节	增压是提高柴油机功率的有效方法	302
第二节	柴油机的增压系统	302
第三节	涡轮增压器的工作原理	304
第四节	涡轮增压系统的基本型式	306
第五节	增压器的喘振	311
第六节	涡轮增压器与柴油机的匹配	313
第七节	增压柴油机的机械负荷和热负荷	314
第十六章	柴油机的特性	316
第一节	概 述	316
第二节	柴油机的主要特性	316
第三节	柴油机的联合工作特性	323
第四节	柴油机的功率标定及功率的修正	325
第十七章	柴油机的试验	328
第一节	概 述	328
第二节	柴油机性能试验的主要项目	333
第三节	柴油机台架试验的常用设备及仪表	335
附 录		343

第一章 内燃机车柴油机的基本原理

第一节 内燃机车柴油机发展概况

将某一种能量转变为机械能而驱动其它机械做功的机器，称为原动机或发动机。按照能量转变的不同形式，发动机可分为：风力、水力、热力、太阳能及原子能等动力机械。热力发动机是将燃料的化学能，通过燃烧产生的热能，再通过机械本身将热能转变为机械能的机器。它又可分为外燃机和内燃机两类。燃料在发动机做功场所（指气缸内）外部燃烧的热力机械称为外燃机，如蒸汽机、汽轮机等；燃料在发动机做功场所内部燃烧，将其燃烧工质的热能直接转换为机械能的热力机械称为内燃机，如柴油机、汽油机及煤气机等。

1897年德国工程师鲁道夫·狄塞尔创造了世界上第一台以煤油为燃料的压燃式内燃机，根据这个原理发展成柴油机。至今柴油机已有九十多年的历史，发展到比较完善的程度，广泛地应用于各部门。

柴油机与其它热力机械相比具有下列优点：

1. 对能量的利用率高

柴油机运转经济性好，起动前和停车后不消耗燃料，燃料消耗率低，特别是在部分负荷运行时更显得优越。柴油机的热效率是热力机中最高的，可达46%；汽油机的热效率为30%；固定式蒸汽机的热效率为16%左右。而蒸汽机车总效率只有8%左右。

2. 功率和转速范围宽广，能适应各种不同用途

柴油机的最小功率为0.8马力，整机最大功率达55,000马力；最大与最小气缸直径分别为1,060毫米与55毫米。大型低速船用柴油机转速仅每分钟几十转到一百多转，而机车用柴油机转速每分钟一千六百转，品种规格繁多，可适用于各种用途。

3. 结构紧凑、轻巧、便于移动

柴油机的比重现在一般为3~4公斤/马力，有的可低于1公斤/马力，这作为移动式动力装置尤其适用。如内燃机车用柴油机的体积和重量受严格限制，因为机车车体的宽度为3米左右，要求柴油机的宽度不超过1.8米，高度一般不大于3米。

4. 起动迅速，工作可靠，操纵简便，并能在起动后很快达到全负荷运转。

5. 水消耗量少，内燃机车用水主要是循环冷却柴油机用，所以水消耗及补充量较少，而蒸汽机以水作为工质，蒸汽机车每小时消耗水则达20~25吨左右，每走行80~100公里需加水，在缺水和水质不好区域行车很不方便；内燃机车加上一次水可以行车几千公里。

6. 节省燃料运输量。一箱燃油通常可全功率运行800公里以上。

7. 使用可靠，工作寿命长

目前仍在不断地采用新技术、新工艺、新材料、电子计算机等技术，自动监视、检测内燃机车故障，使检修工作量大大减少，因而可靠性提高，使用寿命延长。

柴油机也存在以下缺点：

1. 一般燃用轻柴油，并且对燃料的清洁程度要求严格。

2. 结构复杂，零部件的加工、装配、使用及维修等要求高。

3. 排气中散发出有毒害的一氧化碳、氮的氧化物、二氧化硫、碳氢化合物及醛等成分气体；扭振和不平衡质量引起的振动和机械噪声和排气噪声。

我国从1958年开始试制内燃机车以来，已设计、制造了多种型号的内燃机车，在设计、制造、修理、运用、科研及管理等方面都培养了大批人才，建立起具有相当规模的生产基地，积累了比较丰富的经验，出现不少有一定水平的产品和科研成果，从而为铁路内燃牵引的发展奠定了基础。

作为内燃机车的动力装置——柴油机的制造，也是1958年开始的，先后生产 10L207E（新型号为10E207）和12V175ZL（新12175Z）型柴油机，分别安装在巨龙型、卫星型及先行型内燃机车上。以后由自己设计制造6L207E（新6E207）和 6L207EZ（新6E207Z）型。1965年以后设计制造了 16V240ZL（新16240Z、16240ZA、16240ZB）、16V 200ZL（新16200Z）、12V240ZL（新12240Z）和12V180ZL（新12180Z）型等中、高速大功率柴油机。经过多年来的运用实践和科学试验，依靠我国自己的力量，生产出一批有一定水平的客、货运内燃机车柴油机。

第二节 柴油机的基本知识

一、单缸柴油机的主要结构

为了燃烧与作功的需要，在柴油机上设置了由活塞组、连杆组和曲轴组等组成的曲柄连杆机构；气缸套和气缸盖；包括气门、摇臂、挺柱及凸轮轴等组成的配气机构；包括喷油泵、喷油器及管道输送等部分组成的燃油供给系统；机体及其它配属系统等几大部分。

图 1—1 是简单柴油机示意图，气缸盖 9 设有进气门 2 和排气门 1 分别控制柴油机气缸的进气和排气。气缸盖中央装有喷油器 3。气缸 4 装在机体 10 内，活塞 5 可在气缸内作上、下往复运动，并通过连杆 7 变成曲轴 8 的旋转运动。

当活塞由上向下运动时，外界的新鲜空气经过进气门被吸入气缸，然后在活塞向上运动时进气门关闭，并压缩进入气缸内的空气，使空气的压力和温度都有较大的升高。这样的空气与从喷油器喷入气缸的柴油均匀混合，并使柴油自行着火燃烧，放出热能，使工质的温度和压力急剧升高并膨胀，推动活塞向下运动作功，工质的膨胀功经连杆由曲轴输出。这就是柴油机把燃料

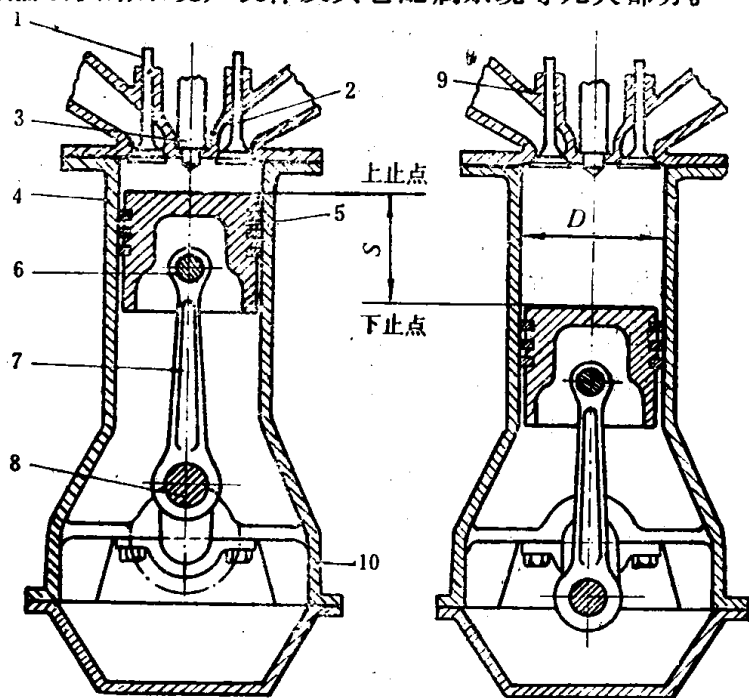


图 1—1 单缸柴油机示意图

1 — 排气门；2 — 进气门；3 — 喷油器；4 — 气缸；
5 — 活塞；6 — 活塞销；7 — 连杆；8 — 曲轴；9 — 气缸盖；10 — 机体。

的热能转变成机械能的简单过程。

为了使这一能量的转变过程能连续不断地进行下去，工质膨胀后，活塞必须由下向上运动，将废气从排气门排出气缸，为再一次吸入新鲜空气，进行下一个热能转换过程作准备。由此可见，柴油机要完成一次能量转换（即一个工作循环），必须经过进气、压缩、燃烧膨胀做功和排气等 4 个过程。

二、柴油机的一些常用名词

为了进一步分析柴油机的工作循环，首先将柴油机的几个主要名词介绍如下：

（一）气缸直径

气缸是一个薄壁圆筒，它的内圆孔的直径称为缸径，以符号 D 表示，单位为毫米。

缸径也是活塞的公称尺寸，其大小决定了活塞顶的面积，而且在一定程度上决定了柴油机零部件的大小和重量，以及决定柴油机的输出功率。

（二）上止点和下止点

活塞在气缸内运动时，会出现两个特殊位置，当活塞距曲轴中心线最远位置时，该位置称为上止点，上止点是活塞向上运动时能达到的最高极限位置；当活塞距曲轴中心线最近位置时，该位置称为下止点，下止点是活塞向下运行时能达到的最低极限位置。活塞在上、下止点位置时的运动速度等于零，并开始改变运动方向。

（三）活塞行程

活塞行程（也称活塞冲程）是指上止点和下止点之间的距离，即活塞由上止点移到下止点，或由下止点移动到上止点所走过的距离，以符号 S 表示，单位为毫米。完成 1 个行程，曲轴相应旋转 180° ，即活塞行程等于曲轴曲柄半径的 2 倍 $S = 2R$ 。

（四）燃烧室容积、气缸工作容积及气缸总容积

活塞处于上止点时，活塞、气缸和气缸盖所包围的空间，称为燃烧室容积，以符号 V_c 表示，单位为升。这时气缸的容积最小，又称为压缩容积。

活塞从上止点移到下止点（或相反）时所扫过的气缸容积，称为气缸工作容积，又称活塞排量，以符号 V_h 表示，单位为升。

$$V_h = \frac{\pi D^2 S}{4 \times 10^6} \text{ (升)}$$

如果柴油机有 i 个气缸，则各缸工作容积之和为该柴油机的气缸工作总容积或活塞的总排量，通常以符号 V_L 表示，以升为单位。

$$V_L = \frac{\pi D^2 S i}{4 \times 10^6} \text{ (升)}$$

一般说来，气缸工作容积 V_h 愈大，柴油机做功的潜力愈大，因此 V_h 是柴油机结构的一个重要参数。

活塞在下止点时，活塞顶面以上的全部容积，称为气缸总容积，以符号 V_s 表示，单位为升。气缸总容积等于燃烧室容积与气缸工作容积之和。

$$V_s = V_c + V_h \text{ (升)}$$

（五）压缩比

气缸总容积与燃烧室容积之比值，称为压缩比，以符号 ϵ 表示。

$$\varepsilon = \frac{V_s}{V_c} = \frac{V_s + V_c}{V_c} = 1 + \frac{V_s}{V_c}$$

压缩比表示空气进入气缸后被压缩的程度，它也是柴油机的重要参数，对柴油机的经济性和可靠性有较大的影响。压缩比愈大，压缩终了时的压力和温度就愈高，在一般情况下，柴油机的热效率也随着增加。柴油机的压缩比一般在 $\varepsilon = 12 \sim 22$ 之间，机车用增压柴油机的压缩比在 $12 \sim 14.5$ 之间。

第三节 柴油机工作原理

根据完成 1 个工作循环时活塞上、下运动的次数（冲程数），可分四冲程和二冲程柴油机。

一、四冲程柴油机工作原理

图 1—2 是四冲程柴油机的实际工作过程示意图。图中表示各个过程中活塞、连杆、曲轴及气门的相对位置，并以 $p-v$ 坐标图表示气缸内工质压力与容积之间的变化关系。四冲程柴油机的工作循环是由活塞的 4 个冲程来完成的。

（一）进气过程

活塞由上止点附近转向下止点运动时，进气门打开，外界新鲜空气经进气门被吸入气缸，为柴油的燃烧准备足够的新鲜空气。由于气门的开启和关闭有一个逐渐行进过程，为使气缸尽可能多地充入新鲜空气，减少气流阻力，减少活塞运动阻力，进气门应在活塞位于上止点前某一角度处开始开启（图 1—2—1），为利用进气流动惯性继续增加充气，减少活塞运动阻力，进气门应在下止点稍后的某一角度处关闭（图 1—2—2），这就是实际柴油机进气门早开迟关的规律。可见进气过程的时间大于一个冲程。此外，在进气过程中，因产生流动阻力损失，所以充入气缸内的气体压力比外界的压力要低一些。

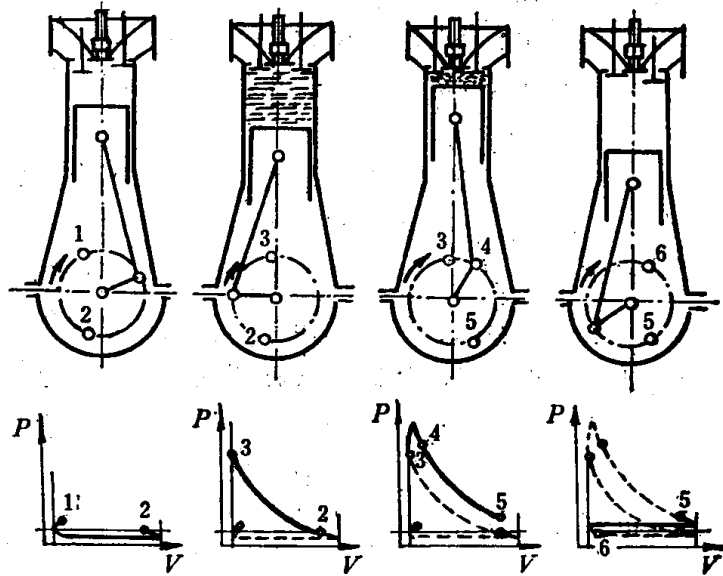


图 1—2 四冲程柴油机工作过程示意图

度处开始开启（图 1—2—1），为利用进气流动惯性继续增加充气，减少活塞运动阻力，进气门应在下止点稍后的某一角度处关闭（图 1—2—2），这就是实际柴油机进气门早开迟关的规律。可见进气过程的时间大于一个冲程。此外，在进气过程中，因产生流动阻力损失，所以充入气缸内的气体压力比外界的压力要低一些。

（二）压缩过程

活塞在下止点后向上止点运动时，进气门关闭使气缸内气体受到压缩，因而空气温度及压力都随之升高。当活塞接近上止点时（图 1—2—3），喷油器开始向气缸喷入柴油，细小的燃油微粒与高温高压的空气混合，柴油开始自行着火燃烧。由此可见，压缩过程为柴油的自行着火创造条件，其进行的时间小于一个冲程，并且在其后期进行喷油开始着火燃烧。

(三) 燃烧和膨胀过程

由于曲轴继续转动，活塞由上止点向下止点运动，柴油继续喷入气缸内（图 1—2—4 时喷油结束），燃烧继续进行，燃气的压力及温度急剧上升，高温高压的燃气推动活塞下行，通过连杆驱动曲轴旋转将功率输出，这就是燃气的作功。随着活塞的下行，气缸内燃气的压力和温度也相应下降。

(四) 排气过程

活塞下行到下止点前某一角度，排气门提早开启（图 1—2—5），以减少排气节流损失和活塞驱气反压力，使已经作过功的燃气靠气压差及活塞的推动由排气门排入大气，这时气缸内气压和温度迅速下降。由于气门的关闭有一渐进过程，为了彻底排尽燃气，排气门并不在活塞上止点时关闭，而是在活塞越过上止点后关闭（图 1—2—6），因此排气门也有早开迟关的规律。由于进气门的早开和排气门的迟关，使在活塞上止点附近出现了进、排气门同时开启的情况，同时开启时间的长短用气门重叠角衡量。气门重叠使一部分新鲜空气吹扫燃烧室，以驱赶死角处的残余废气，同时使受热零部件温度降低，降低了排气温度，减少了新鲜空气充入气缸后的热交换，因而对柴油机的经济性、动力性和可靠性有相当程度的影响。进、排气门的早开迟关角度应顾及到既使气缸内充气量最多，又不发生燃气倒灌入进气道，也不使较多的具有一定压力的新鲜空气流失及有最大的膨胀作功能力等因素，因此各种柴油机都有一个最佳角度值。

四冲程柴油机的实际工作循环包括了 4 个过程，即进气过程、压缩过程、燃烧膨胀过程及排气过程，而这 4 个过程是在活塞的 4 个冲程（曲轴旋转两圈）内完成的，其中进气、压缩和排气过程都是消耗功的，但为作功创造必要的条件；燃烧膨胀过程为作功过程，除克服摩擦阻力及供给其它过程消耗外，剩余的功由曲轴向外输出。由于燃气膨胀的动力，使曲柄连杆机构继续运转，因而柴油机气缸按上述过程顺序循环进行。

二、四冲程柴油机配气相位图

进、排气门最合适的启、闭时刻与柴油机结构形式、转速高低、增压方式等有关，通常都在试验台上试验确定。柴油机的进、排气门启、闭时刻和自开启到关闭的持续时间常用曲轴转角表示，这就是配气定时，一般采用图形来表示，称为配气相位图。图上同时标出几何供油提前角。

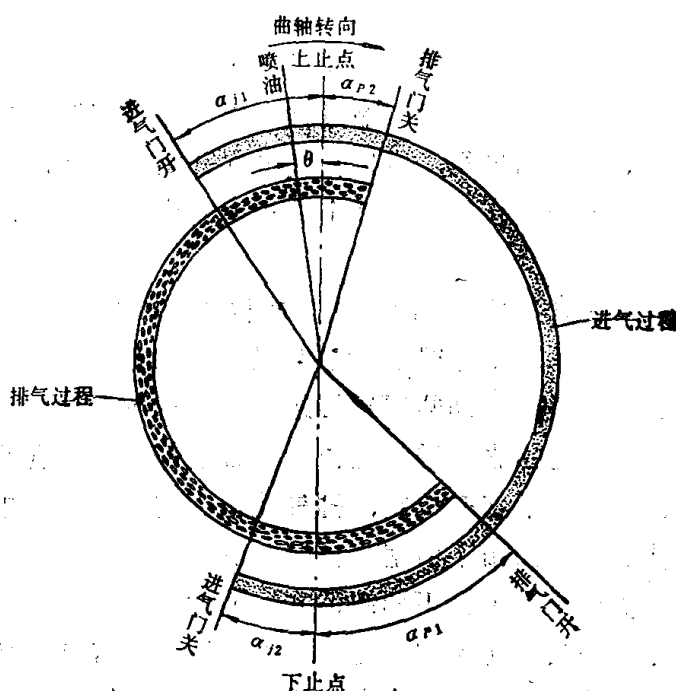


图 1—3 四冲程柴油机配气相位图
 α_{i1} ——进气提前角； α_{i2} ——进气迟闭角； α_{p1} ——排气提前角； α_{p2} ——排气迟闭角； θ ——几何供油提前角。

三、二冲程柴油机工作原理

二冲程柴油机的工作循环也包括进气、压缩、燃烧膨胀及排气 4 个过程。二冲程柴油机的排气与进气是在活塞处于下止点附近时进行的，在结构上它与四冲程柴油机有所不同。如图 1—4 所示二冲程

柴油机增加了1个扫气泵 a ，由它将外界空气加压到 $1.2\sim 1.35$ 公斤/厘米 2 ，在气缸的上部设置排气门，气缸的下部设有扫气孔 b （又称进气孔），扫气孔的开启和关闭是由气缸内移动的活塞来控制的。排气门也由配气机构来控制。

二冲程柴油机的工作循环由2个冲程组成：

1. 第一冲程

当活塞由下止点向上移动而扫气孔未被活塞遮闭时，由扫气泵提供的压力空气经扫气孔进入气缸，将气缸中的燃气驱赶出开启的排气门，气缸内同时进行扫气并充入新鲜空气，直至活塞遮闭扫气孔时进气结束。当排气门被关闭时（图1—4—1），进入气缸中的空气便被压缩，使空气的温度和压力升高，在活塞到达上止点前如图1—4—2时，喷油器开始向气缸喷入燃油，在高温的气体作用下燃油自行着火燃烧，到上止点时该冲程结束。

2. 第二冲程

活塞由上止点向下运动，燃油继续喷入气缸（图1—4—3时喷油结束），燃烧过程继续进行，燃气的压力及温度急剧上升，在高压高温的燃气作用下，推动活塞膨胀做功。与此同时，气缸内燃气的压力和温度也相应下降，当膨胀进行到图1—4—4时，排气门开始打开，燃气经排气门排出气缸，压力迅速下降。当活塞下移打开扫气孔时（图1—4—5），扫气空气即进入气缸，依靠扫气空气的压力继续将燃气推出排气门，直至扫气孔被活塞关闭为止。

综上所述，二冲程柴油机的第一冲程前期完成扫气，中、后期进行压缩过程，第二冲程前期进行燃烧膨胀做功过程，后期扫气过程开始。这样，由曲轴旋转一圈在活塞的2个冲程内完成1个工作循环。

10E207型对置活塞式二冲程柴油机具有上、下两根曲轴，工作时上、下两组活塞相对运动。两根曲轴由垂直传动装置连接起来，通过下曲轴把功率集中输送出去。进气孔位于气缸上部，进气孔的启、闭由上活塞来控制；排气孔位于气缸下部，排气孔的启、闭由下活塞来控制（图1—5）。

由于具有上、下两组活塞，因此将活塞运动的止点区分为内止点和外止点，活塞运动到气缸中部燃烧室处的止点为内止点；活塞运动到气缸两端远离燃烧室处的止点为外止点。柴油机上活塞和下活塞的运动彼此错开 12° 曲轴转角，当上活塞到达内

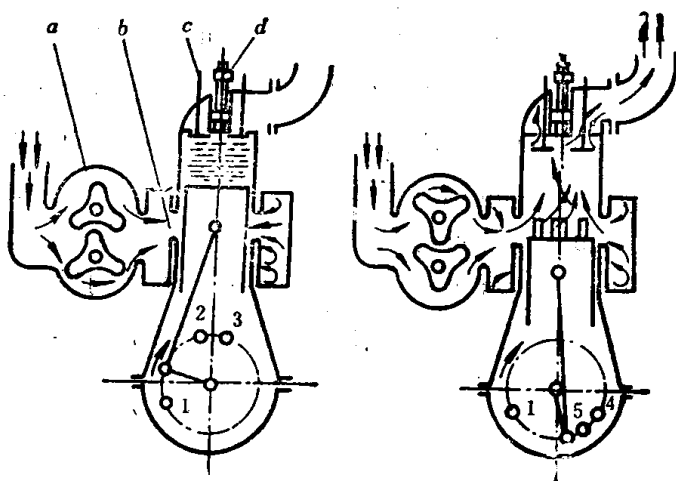


图1—4 二冲程柴油机工作过程示意图
 a ——扫气泵； b ——扫气孔； c ——排气门； d ——喷油器。

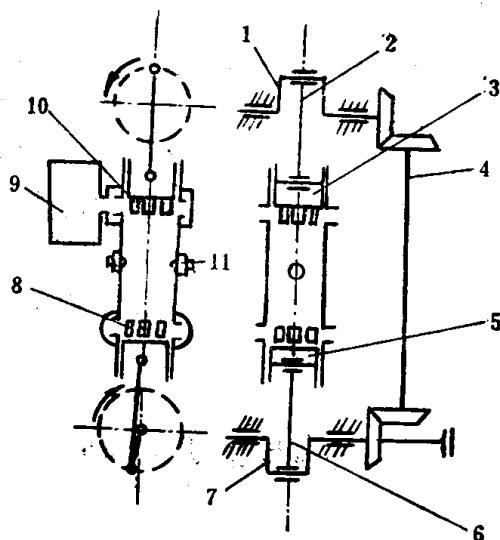


图1—5 双轴对置活塞式二冲程柴油机示意图
1——上曲轴；2——上连杆；3——上活塞；
4——垂直传动轴；5——下活塞；6——下连杆；
7——下曲轴；8——排气孔；9——扫气泵；
10——进气孔；11——喷油器。

止点时，下活塞早已离开内止点 12° ，这个角度称为下曲轴的领先角。由于采用领先角的结果，使下曲轴传递的功率比上曲轴大。

气缸中部的燃烧室是由 2 个对置活塞及气缸套组成的，其最小的压缩容积发生在下活塞在内止点后 $6^\circ 5'$ 及上活塞在内止点前 $5^\circ 55'$ 曲轴转角的位置处。2 个对置的喷油器安装在气缸中部。

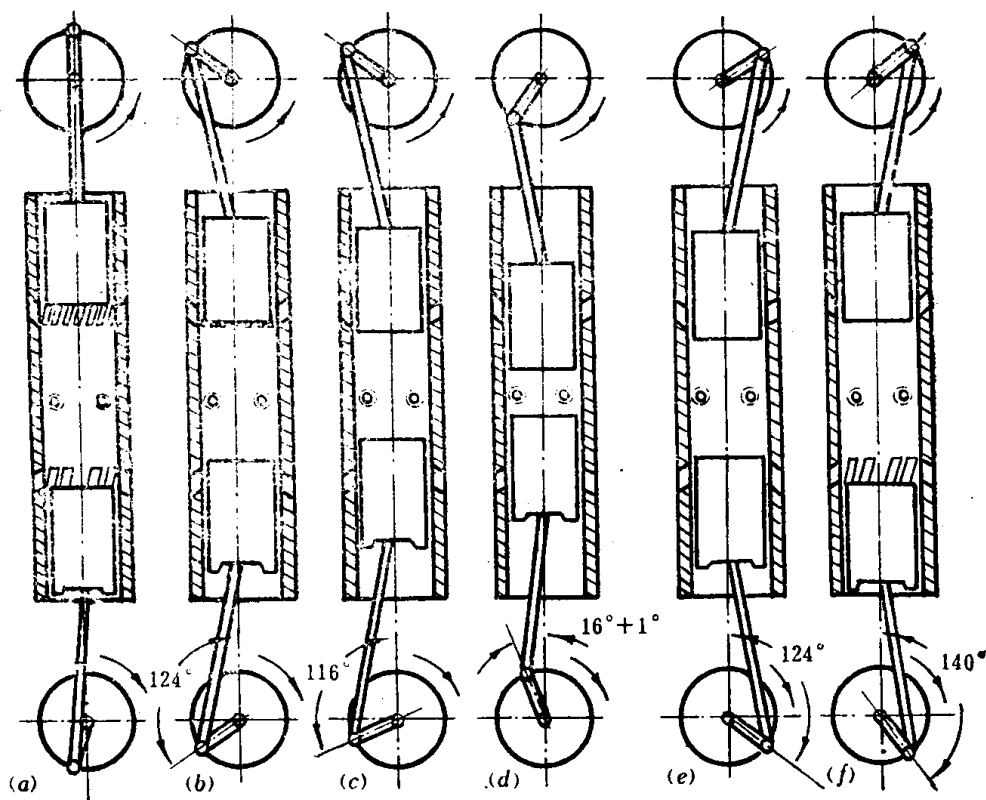


图 1—6 10E207 型柴油机的工作原理图

下曲轴按顺时针方向旋转，上曲轴按反时针方向旋转。当上活塞开启进气孔时（图 1—6 a），此时具有一定压力的新鲜空气由进气孔进入气缸，将气缸中的燃气从排气孔强制驱出，同时新鲜空气充满了气缸。从曲轴转角 140° 处进气孔开启到曲轴转角 236° 处排气孔全部关闭为止的这个阶段称为扫气和强制排气阶段。

当上、下活塞向气缸中部运动时，排气孔先被下活塞关闭，而进气孔尚未全部关闭（图 1—6 b），这时压力空气由于流动惯性仍继续进入气缸，增加了充气量，故从排气孔全关到曲轴转角 244° 处进气孔全关时的这一阶段称为过后充气阶段。

当进气孔完全关闭后（图 1—6 c），2 个活塞继续向气缸中部运动，充入气缸内的新鲜空气受到压缩，使气缸内空气的压力和温度都升高，此阶段称为压缩阶段。

活塞在接近内止点前 $16\sim 17^\circ$ （图 1—6 d），喷油器向气缸内喷射雾状的燃油。然后开始膨胀做功（图 1—6 e），上、下活塞在燃气压力的作用下，开始由内止点向外止点运动，并通过上、下连杆及垂直传动装置将功率从下曲轴传出，此阶段称为燃烧膨胀阶段。

在活塞由内止点向外止点运动时，下活塞在下止点前 56° （即 124° ）曲轴转角处开启排气孔（图 1—6 f），这时进气孔尚被上活塞关闭着，故气缸内的燃气依靠与外界的压力差而自由地从排气孔排出气缸，此阶段直到进气孔开启时止，称为自由排气阶段。

图1—7 所示为10E207型柴油机的配气相位图，以下曲轴第一气缸曲轴位置来计算，配气相位图上的0°位置即第一气缸的下活塞处于内止点时曲轴位置。

第四节 柴油机的分类、 型号及转向等规定

一、柴油机的分类

柴油机由于用途广泛，因而在其结构形式和工作特点方面也是不同的。机车柴油机常见的分类如下：

(一) 按气缸的布置形式分类

单列立式柴油机——单列气缸，气缸中心线与地面垂直（图1—8a）。

对置活塞式柴油机——单列立式，上、下两根曲轴各驱动自己的活塞连杆组。一般这种布置方式限于二冲程柴油机，如10E207型柴油机（图1—8b）。

V型柴油机——左、右两列气缸中心线相交一定角度呈V型布置，通过一根曲轴输出功率。V型柴油机长度较短、高度较小、宽度不大，在空间利用、重量指标及功率强化方面较好，所以在内燃机车上广泛采用，如16240ZB、12240Z、12180Z型柴油机等（图1—8c）。

H型柴油机——气缸为双列立式，两根曲轴平行，并各带一系列活塞连杆组，然后由齿轮系将功率合并输出，如12LDS28B型柴油机（图1—8d）。

(二) 根据完成工作循环的冲程数，可分成四冲程柴油机和二冲程柴油机。

(三) 按工作过程进行的速度分类

各种用途的柴油机无严格的规定，大致有两种分法：

1. 按活塞平均速度 C_m 的数值可分为：

$$C_m < 6 \text{ 米/秒}$$

$$6 < C_m < 9 \text{ 米/秒}$$

$$9 < C_m < 13 \text{ 米/秒}$$

柴油机的活塞平均速度 C_m 可由下式计算：

$$C_m = \frac{2Sn}{60} = \frac{Sn}{30} \text{ 米/秒}$$

式中 n —— 柴油机曲轴转速（转/分）；

S —— 活塞的冲程（米）。

2. 按柴油机曲轴转速通常分为：

高速柴油机 曲轴转速在1,000转/分以上；

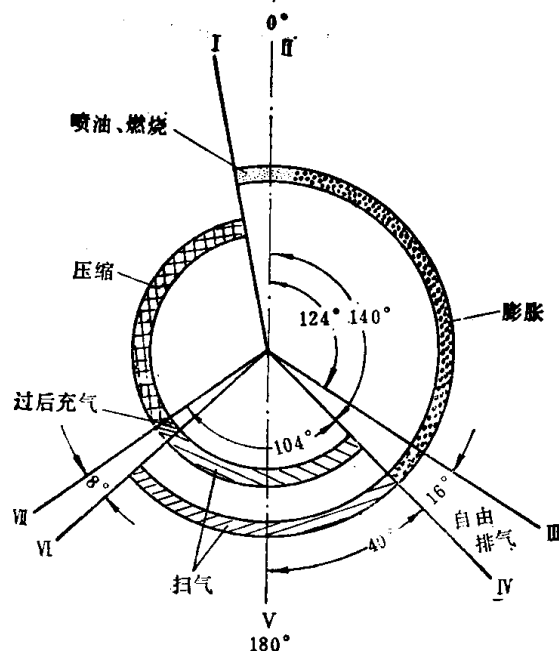


图1—7 10E207型柴油机配气相位图

I —— 开始供油；II —— 下活塞内止点；III —— 排气孔开始开启；IV —— 进气孔开始开启；V —— 下活塞外止点；VI —— 排气孔关闭；VII —— 进气孔关闭。

低速柴油机；

中速柴油机；

高速柴油机。

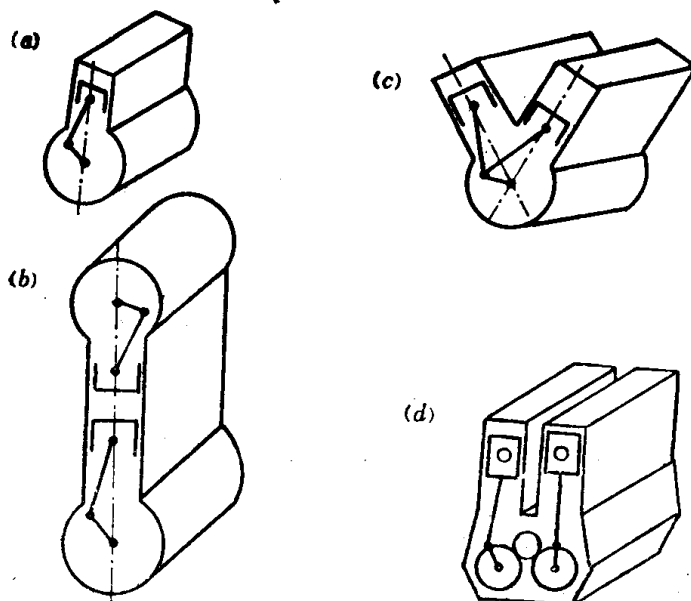


图 1—8 气缸的布置型式

a——单列立式柴油机；*b*——对置活塞式柴油机；*c*——V型柴油机；*d*——H型柴油机。

中速柴油机 曲轴转速在500~1,000转/分；

低速柴油机 曲轴转速在500转/分以下。

(四) 以空气进入气缸内的压力可分成：

1. 非增压柴油机——新鲜空气未经压缩直接被吸入气缸，或二冲程柴油机气缸内空气虽然经压缩后被送入气缸，但只是为了清除废气，这种柴油机称为非增压柴油机。

2. 增压柴油机——预先经过压缩的新鲜空气被送入气缸，使气缸内的空气量显著增加，这种柴油机称为增压柴油机。

(五) 按燃烧室的形状分类：

1. 直接喷射式柴油机——气缸盖和活塞顶之间为一个统一的燃烧室，柴油直接喷入燃烧室燃烧。

2. 预燃室式柴油机——燃烧室分为两部分，气缸盖内具有较小容积的预燃室，气缸盖与活塞顶之间为主燃烧室，两者有狭小通道相联。喷入预燃室的小部分柴油先着火燃烧，然后燃气连同未燃的柴油一同冲入主燃烧室进行混合燃烧。

二、柴油机型号、旋转方向和气缸编号规则

柴油机的型号、旋转方向和气缸编号由国家统一规定。

根据国家标准 GB725-65，柴油机型号由阿拉伯数字和汉语拼音字母所组成。柴油机型号依次由3部分组成：首部为缸数符号，用数字表示缸数；中部为机型系列代号，由冲程符号和气缸直径符号组成，冲程符号用字母表示，缸径符号用数字表示；尾部为变型符号，用数字顺序表示，与前面符号用短横线隔开，柴油机型号的排列顺序及符号规定如下：

机车柴油机型号的顺序及符号编制示例如下：

16200Z-2——表示16缸，四冲程，缸径为200毫米，增压柴油机，第二种变型产品。

10E207——表示10缸，二冲程，缸径为207毫米，非增压柴油机。

第二章 内燃机车柴油机的总体介绍

第一节 内燃机车柴油机的基本组成

各种不同型式的柴油机具有不同的结构和特点，但它们都是由下列部件构成。

一、固定件

固定件主要有机体、气缸套、气缸盖和主轴承等。

机体是柴油机的基础，用以安装和支承柴油机各种机件。气缸套对活塞运动起导向作用，并承受侧压力。由气缸套、活塞顶面及气缸盖之间的压缩室形成燃烧室。

二、运动件

运动件主要有活塞组、连杆组、曲轴组及减振器等。

运动件主要指柴油机中作功和输出功率的部件。

三、配气机构

配气机构主要有气门、气门弹簧、摇臂、横臂、挺柱、推杆及凸轮轴等。

柴油机的热能来源于燃油和空气的混合燃烧，而空气的供给则需要配气机构来控制。配气机构是根据柴油机的工作过程和工作顺序准确地开闭进、排气门，以使充足的新鲜空气送入气缸，并将燃烧后的废气排除干净，以保证柴油机工作进行顺利。

四、进、排气系统

柴油机的进气系统一般由空气滤清器、中冷器、涡轮增压器的压气机部分以及有关进气管道等组成。柴油机的排气系统一般由排气支管、排气总管、涡轮增压器的涡轮部分等组成。

机车柴油机的进、排气系统应保证将足够的清洁空气送入气缸，并将燃烧做功后的废气排入大气。

五、燃油系统

柴油机的燃油系统分为机上和机外两部分，安装于柴油机上的部分主要有燃油精滤器、喷油泵、喷油器和有关管路等部件。

燃油系统保证供应清洁的燃油，并定时、定量、定压地喷入气缸。

六、调 控 系 统

调控系统主要有调速器、调控杠杆系统、最大供油止档、超速保护装置、紧急停车装置和复原手柄等。

乘务员根据需要通过调控系统对柴油机进行控制，并能自动防止柴油机发生过载、飞车等意外情况。

七、机 油 系 统

安装在柴油机上机油系统主要由机油滤清器、主机油泵及机油管道等部件组成。

机油系统的任务是把具有一定压力、一定温度的清洁机油，不断地送到柴油机的各运动零件的摩擦表面，以润滑和冷却运动零件，保证柴油机正常可靠地工作。

八、冷 却 系 统

安装在柴油机上的冷却系统一般有高、低温水泵、中冷器及水管等部件。

冷却系统的作用是保证柴油机各主要受热零件、涡轮增压器、增压后的空气以及机油等经冷却后得到适当的工作温度以保证柴油机正常工作。

第二节 16240Z B型柴油机总体介绍

16240Z B型柴油机为四冲程、V型、16缸、废气涡轮增压、空气中间冷却及直接喷射燃烧室的大功率中速柴油机。

柴油机的机体采用整体铸钢的主轴承座和纵、横板件组合焊接的铸焊结构。为了增强机体纵、横方向的刚度，将曲轴箱的拱形高度增加到450毫米，加大了横向截面，增加了侧板厚度，并在机体和主轴承盖之间加设横拉螺栓，使悬挂式主轴承盖与机体的刚度增强。

左、右气缸中心线的夹角（V型夹角）为 50° ，同列气缸中心距为400毫米。由于柴油机采用并列连杆，左、右列气缸的错缸距为74毫米。V型夹角的内腔作为增压空气稳压箱的一部分，其下部作为主机油道。机体的左、右两侧设有凸轮轴检查孔和曲轴箱检查孔。机体的前、后端通过螺栓紧固连接泵支承箱及连接箱。在气缸套外套装有一个薄壁钢制水套，与气缸套的外壁面组成螺旋形的冷却水道。

柴油机采用锻铝组合式油冷活塞，活塞的顶面具有浅 ω 形的燃烧室，以和喷油器的油束相配合。活塞上安装4道气环和2道油环。活塞通过活塞销与连杆小头连接。

柴油机采用稀土低合金球墨铸铁曲轴。曲轴的功率输出端装有弹性联轴节，它的从动部分与牵引发电机的转子连接。牵引发电机的定子通过其壳体紧固在连接箱上。在机体的后端设有盘车机构，用以柴油机组装、检修及调整时盘转曲轴。曲轴的自由端装有减振器、驱动凸轮轴的主动齿轮和驱动主机油泵与高、低温冷却水泵的传动齿轮装置。

柴油机气缸盖由合金铸铁制成的箱形结构，每个气缸盖上安装有2个进气门和2个排气