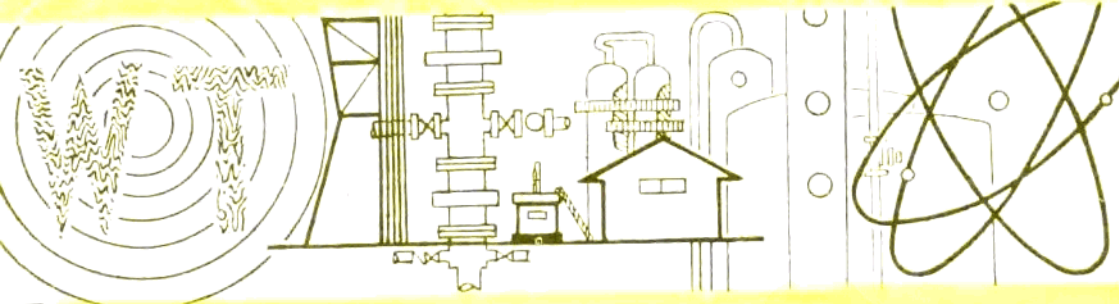




石油技工学校试用教材

# 柴油机构造

华北石油技工学校 马良振 主编



机械工业出版社

## 内 容 提 要

本书全面系统地介绍了柴油机,并以大功率Z12V190B型柴油机为主,详细地介绍了柴油机的工作原理、技术性能、柴油机各系统的组成、功用和各系统主要零部件的作用、工作原理及构造,并结合新技术、新工艺介绍了国内外柴油机的性能、结构特点和常用仪表;对二冲程汽油机的工作原理和各系统也作了简单介绍。

本书为石油技工学校“柴油机司机”专业试用教材,亦可作为现场技术人员、工人和职业高中学生的参考书。

## 柴 油 机 构 造

华北石油技工学校 马良振 主编

石油工业出版社出版发行  
(北京安定门外安华里二区一号楼)  
北京顺义燕华营印刷厂排版印刷

787×1092 毫米 16 开本 14 印张 348 千字 印 1—7,000

1988 年 6 月北京第 1 版 1988 年 6 月北京第 1 次印刷

书号: 15037·2939 定价: 2.10 元

ISBN 7-5021-0087-3/TE·87

## 前 言

本书是石油系统技工学校“柴油机司机”专业的教材，是根据石油部劳资司1984年审定的石油技工学校“柴油机构造”教学大纲编写的。

书中采用我国的法定计量单位，对有些重要数据，在括号内注出工程单位数据，以便对照使用。

内容以Z12V190B型柴油机为主介绍了柴油机的工作原理、性能指标和构造，但对海洋用的柴油机介绍很少，因此在使用本教材时，可根据学时具体情况作适当的增加或减少。

本书绪论、第二、三、五、九、十一章由华北石油技工学校马良振编写，第一、八章由渤海石油技工学校孙学林编写，第四章由江汉石油技工学校肖承祐编写，第六、七章由大港石油技工学校周振德编写，第十章由华北石油技工学校曹喜鹤编写。在编写过程中，曾得到许多教师和工程技术人员、工人的大力帮助和支持，在此谨表感谢。

由于编写时间仓促、编写人员水平有限，现场调查不够，书中难免存在缺点，恳且希望广大师生和读者批评指正。

编 者

一九八六年七月

# 目 录

|                            |         |
|----------------------------|---------|
| 绪论 .....                   | ( 1 )   |
| 第一章 柴油机工作原理 .....          | ( 7 )   |
| 第一节 内燃机的热能转变为机械能 .....     | ( 7 )   |
| 第二节 内燃机常用名词术语 .....        | ( 8 )   |
| 第三节 单缸四冲程柴油机工作原理 .....     | ( 10 )  |
| 第四节 二冲程柴油机工作原理 .....       | ( 12 )  |
| 第五节 多缸柴油机工作过程特点 .....      | ( 15 )  |
| 第六节 柴油机的主要性能 .....         | ( 18 )  |
| 第七节 柴油机的机构和系统 .....        | ( 22 )  |
| 第二章 机体组件 .....             | ( 30 )  |
| 第一节 机体 .....               | ( 30 )  |
| 第二节 气缸套 .....              | ( 37 )  |
| 第三节 气缸盖 .....              | ( 38 )  |
| 第四节 油底壳 .....              | ( 42 )  |
| 第三章 曲柄连杆机构 .....           | ( 44 )  |
| 第一节 活塞组 .....              | ( 44 )  |
| 第二节 连杆组 .....              | ( 55 )  |
| 第三节 曲轴组 .....              | ( 59 )  |
| 第四节 柴油机的扭振与减振器 .....       | ( 66 )  |
| 第五节 曲轴轴承 .....             | ( 68 )  |
| 第四章 配气机构与进排气系统 .....       | ( 71 )  |
| 第一节 配气机构的功用及组成 .....       | ( 71 )  |
| 第二节 气门组件 .....             | ( 73 )  |
| 第三节 气门驱动机构 .....           | ( 76 )  |
| 第四节 配气相位与气门间隙 .....        | ( 80 )  |
| 第五节 柴油机的传动系统 .....         | ( 84 )  |
| 第六节 进气系统 .....             | ( 87 )  |
| 第七节 排气系统 .....             | ( 91 )  |
| 第五章 柴油机的燃烧过程与燃料供给系统 .....  | ( 94 )  |
| 第一节 柴油机混合气的形成特点及燃烧过程 ..... | ( 94 )  |
| 第二节 柴油机的燃烧室 .....          | ( 96 )  |
| 第三节 燃料供给系统的功用及组成 .....     | ( 99 )  |
| 第四节 燃料低压油路构件 .....         | ( 101 ) |
| 第五节 柱塞式喷油泵 .....           | ( 106 ) |
| 第六节 燃油的雾化与喷油器 .....        | ( 112 ) |

|                           |         |
|---------------------------|---------|
| 第七节 调速器 .....             | ( 115 ) |
| 第六章 润滑系统 .....            | ( 125 ) |
| 第一节 润滑的作用及常见的润滑方式 .....   | ( 125 ) |
| 第二节 柴油机润滑系统的组成 .....      | ( 126 ) |
| 第三节 柴油机润滑系统主要部件 .....     | ( 129 ) |
| 第七章 柴油机的冷却系统 .....        | ( 141 ) |
| 第一节 冷却系统的作用与常见的冷却方式 ..... | ( 141 ) |
| 第二节 柴油机冷却系统的组成 .....      | ( 143 ) |
| 第三节 柴油机冷却系统的主要部件 .....    | ( 146 ) |
| 第八章 柴油机增压系统 .....         | ( 152 ) |
| 第一节 柴油机增压概述 .....         | ( 152 ) |
| 第二节 废气涡轮增压器 .....         | ( 155 ) |
| 第九章 柴油机起动系统 .....         | ( 163 ) |
| 第一节 柴油机起动系统的功用与起动方式 ..... | ( 163 ) |
| 第二节 人力起动 .....            | ( 163 ) |
| 第三节 电动机起动 .....           | ( 164 ) |
| 第四节 压缩空气起动 .....          | ( 171 ) |
| 第五节 辅助发动机起动 .....         | ( 175 ) |
| 第六节 柴油机起动辅助装置及措施 .....    | ( 187 ) |
| 第十章 柴油机常用仪表 .....         | ( 189 ) |
| 第一节 转速表 .....             | ( 189 ) |
| 第二节 机油压力表 .....           | ( 193 ) |
| 第三节 温度表 .....             | ( 196 ) |
| 第四节 电流表 .....             | ( 199 ) |
| 第十一章 石油矿场常用柴油机简介 .....    | ( 201 ) |
| 第一节 MB-820Bb型柴油机 .....    | ( 201 ) |
| 第二节 D399型柴油机 .....        | ( 207 ) |
| 第三节 Z12V190B型柴油机 .....    | ( 210 ) |
| 第四节 12V150型柴油机 .....      | ( 215 ) |
| 第五节 4135型柴油机 .....        | ( 216 ) |
| 第六节 4125型柴油机 .....        | ( 216 ) |
| 主要参考书 .....               | ( 216 ) |
| 附录 本书常用计量单位换算表 .....      | ( 217 ) |

## 绪 论

在人类历史的发展中,利用了自然界各种丰富的能量资源,如风力、水力、各种燃料(如煤、石油、天然气等)的热能、原子能等,创造出各种动力机械为人类服务,促进了工农业的迅速发展。到目前为止,动力机械根据能量来源不同有下列几种类型:

(1) 热力机械:将燃料燃烧所产生的热能通过一定的方式转变为机械能,带动其它机械工作,如柴油机、汽油机等。

(2) 水力和风力机械:利用水或风具有的能量,带动一定型式的机械做功,如水力机械和风力机械等。

(3) 原子能机械:利用核反应使放射性元素释放出原子能,然后通过一定的机械做功,如原子能发电机等。这种方法所用的机械与热力机械有很多地方是相同的。

热力机械是将燃料燃烧所产生的热能转化为机械能的发动机,又称热机。热机根据其工作介质不同,又分为蒸汽和燃气两种。前者是将燃料(煤、木材等)燃烧,利用放出的热量将水加热,变成蒸汽后引入往复式机械(如蒸汽机)或旋转式机械(蒸汽轮机)做功,因燃料在发动机外部进行燃烧,又称外燃机。后者是将燃料(柴油、汽油、天然气)燃烧产生的燃气直接推动往复式机械(柴油机)或旋转式机械(燃气轮机)做功,因燃料是在发动机内部进行燃烧,所以又称内燃机。

如图1为活塞式内燃机装置示意图。它是由气缸体、活塞、连杆、曲轴等组成。工作时燃料和空气直接送到发动机气缸内部进行燃烧,放出热能,形成高温、高压的燃气,推动活塞移动,然后通过曲柄连杆机构对外输出机械能。

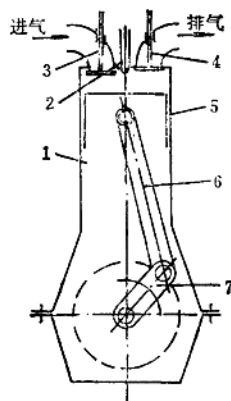


图1 柴油机装置示意图

1—气缸体; 2—喷油器; 3—进气门;  
4—排气门; 5—活塞; 6—连杆; 7—曲轴

### 一、内燃机的优点

内燃机与外燃机比较,具有以下优点:

(1) 热效率高。目前柴油机的最高效率可达46%,而往复式蒸汽机只有11%。热效率高标志着内燃机的经济性能好,即燃料消耗少。

(2) 结构紧凑,重量轻,尺寸小。内燃机不需要外燃机那样庞大的锅炉、冷凝器等辅助设备。

(3) 功率范围广,适应性能好。目前柴油机气缸最小直径为55mm,最大直径为1060mm。单机功率最小为1.1kW,最大到35300kW。同一类的柴油机,稍加改变,可以适应各种不同用途的需要。

(4) 使用操作方便,起动快。在正常情况下,柴油机能在3~5秒内起动起来,在很短

时间内达到最大功率。在正常的运行中，不需要进行复杂的操作。

(5) 运行安全，不易引起火灾或爆炸事故。但是，内燃机的构造比较复杂、精度高、造价高、操作维护技能也要求比较高，这是内燃机的缺点。

尽管如此，由于它具有上面这些优点，所以它在国民经济各个部门——工业、农业、交通运输业和国防领域中都得到了广泛的使用，成为现代的重要动力设备。要实现四个现代化，必须大力发展动力工业。在我国石油工业中，由于工作地点偏僻，流动性大，经常搬迁，因此要求内燃机的功率大，结构紧凑，轻巧，便于搬运和安装，燃料和水消耗少，因此选择内燃机作为钻井动力设备比较适宜。所以，目前柴油机在石油矿场得到了广泛的应用。

## 二、钻井工作对内燃机的要求

在钻井过程中，钻机的工作条件较复杂。比如钻深井采用高压喷射时，就需要大功率的内燃机来带动钻机、泥浆泵，如果功率不足，就不能在一定速度下提起很重的钻柱，也没有足够的泵量、泵压使泥浆干净地清洗井底，这样就直接影响了钻井速度。同时钻井过程中井下条件复杂，要求工作机能适应条件变化而变速度、变扭矩。因此对内燃机又提出如下的特殊要求：

(1) 要求有足够的功率。现在钻机功率要求 $1103\sim 2942\text{kW}$  (1500~4000马力)，甚至更大。

(2) 负荷适应范围大，即要求超载能力强。

(3) 调速范围要宽，即要求内燃机最低稳定转速至最高稳定转速范围大。

(4) 要求经济、可靠、持久等。

总之，要求内燃机具有高功率、高效率，而且经济、可靠、维修方便、操作简单。但是内燃机很难同时满足这些要求。比如，内燃机在高转速时 (1500r/min左右)，载荷适应范围不大，调速范围不广。所以目前进口钻机上装有涡轮传动机构，使内燃机驱动性能大大改善，可以满足钻井要求。

## 三、内燃机分类

内燃机的型式很多，根据基本工作原理可分为往复式活塞式内燃机、旋转活塞式内燃机和燃气轮机等。其中以往复式活塞式内燃机应用最广。因此我们平常讲的“内燃机”，一般都是这种型式。

根据所采用的燃料、工作循环过程、结构型式和用途等不同，内燃机又可分为以下各种类型。

### 1. 按照所用燃料不同分

(1) 柴油机。

(2) 汽油机。

(3) 煤气机。

(4) 天然气机。

### 2. 按照工作过程分

(1) 二冲程：活塞移动两个冲程，完成一个工作循环。

(2) 四冲程：活塞移动四个冲程，完成一个工作循环。

### 3. 按照机体结构型式分

(1) 单缸：一台内燃机只有一个气缸。

(2) 多缸：一台内燃机具有两个或两个以上的气缸。多缸机根据气缸排列不同(见图2)

又分为

- ①直列立式：气缸中心线垂直布置（如图2-a）。
- ②直列卧式：气缸中心线水平布置（如图2-b）。
- ③V型式：气缸中心线分别在两个平面内，并且两个平面相交呈“V”形状（图2-c）。
- ④W型式：气缸中心线排列成“W”型（图2-d）。
- ⑤星型式：气缸中心线排列成星状（图2-e）。
- ⑥对置活塞式：一个气缸内布置两个活塞作相对运动（图2-f）。
- ⑦△型式：三组对置活塞式内燃机排列成△型（图2-g）。

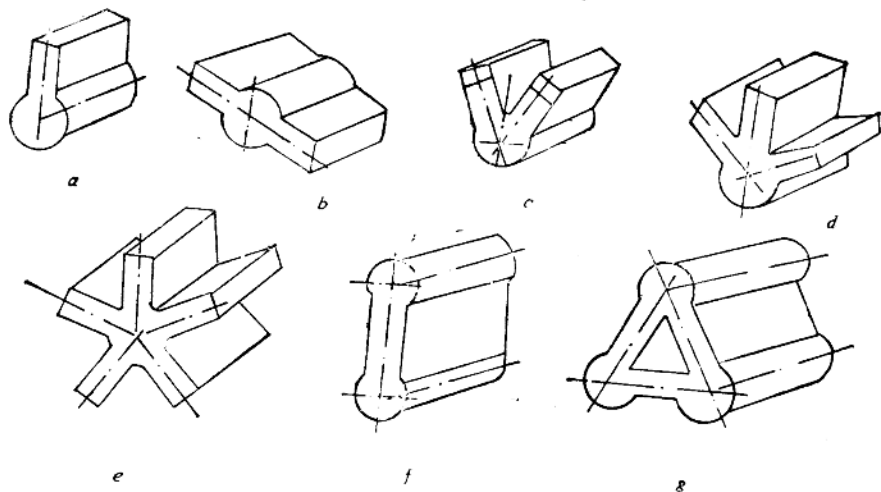


图2 机体结构型式示意图

a—直列立式；b—直列卧式；c—V型式；d—W型式；e—星型式；f—对置活塞式；g—△型式

#### 4. 按照冷却方式分

- (1)风冷：利用空气作冷却介质。
- (2)水冷：利用水作冷却介质。

#### 5. 按照进气方式分

- (1)非增压：内燃机没有增压器，空气靠活塞抽吸作用进入气缸。
- (2)增压：内燃机上装有增压器，空气通过增压器提高压力后进入气缸。

#### 6. 按照点火方式分

(1)压燃式：空气在气缸内高度压缩后产生高温，使燃料自行着火燃烧。如柴油机就属于这种点火方式。

(2)点燃式：利用火花塞发出的火花点燃燃料，使其着火燃烧。如汽油机、天然气机等都属于这种点燃方式。

#### 7. 按照额定转速分

- (1)高速：额定转速在1000r/min以上。
- (2)中速：额定转速在600~1000r/min范围内。
- (3)低速：额定转速在600r/min以下。

#### 8. 按照用途分

- (1)固定式：内燃机在一固定不变位置进行工作。如钻井、固定发电机用的内燃机。

(2) 移动式：作为移动式机械动力的内燃机。如汽车、拖拉机、船舶、内燃机车上用的内燃机。

#### 四、内燃机的名称及型号

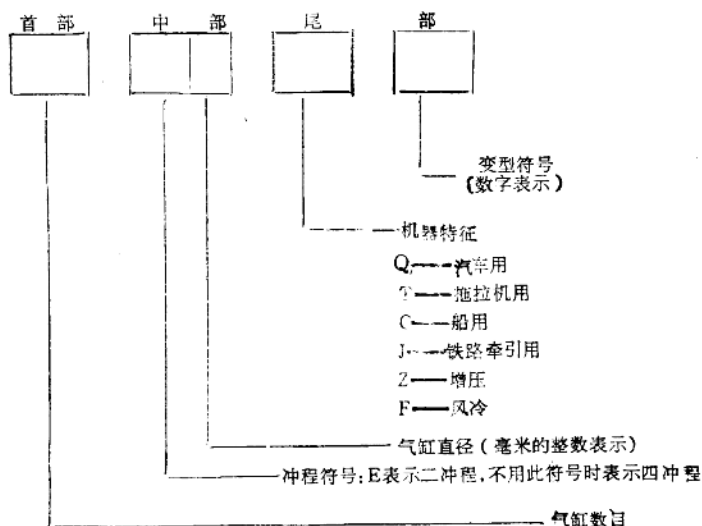
为了便于内燃机的生产管理和使用维修，国家对内燃机的名称和型号编制方法作了统一的规定（GB725—65），其主要内容如下：

(1) 内燃机的名称按照所采用的燃料命名。如柴油机、汽油机、煤气机、天然气机等。

(2) 内燃机的型号应反映出它的主要结构及性能，由以下四项内容所组成：

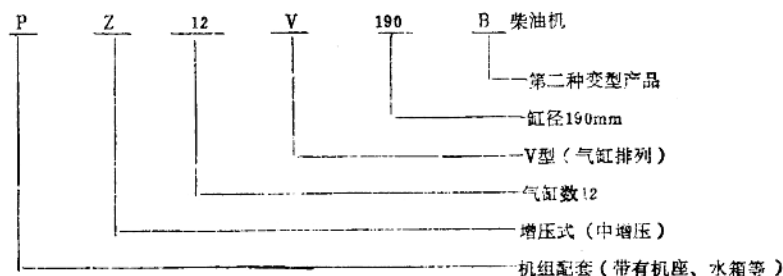
- ① 气缸数：表示每台内燃机具有的气缸数目。
- ② 机型系列：表示内燃机的气缸直径和冲程数目。
- ③ 变型符号：表示该机型经过改进后在结构和性能上发生的变化。
- ④ 用途及结构特点：表示内燃机的主要用途和不同结构特点。

内燃机的型号由数字和汉语拼音字母所组成，排列顺序及符号代表意义规定如下：

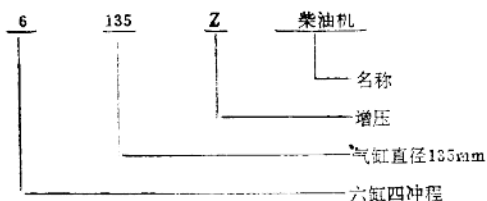


型号编制举例：

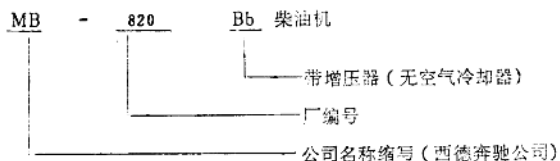
〔例1〕



## 〔例2〕

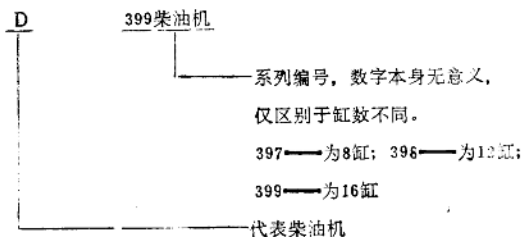


## 〔例3〕



MB-820Bb型柴油机是西德奔驰公司制造，与F-200钻机(4000m)配套，由罗马尼亚制造，目前石油矿场应用较多。

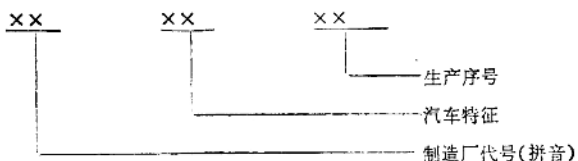
## 〔例4〕



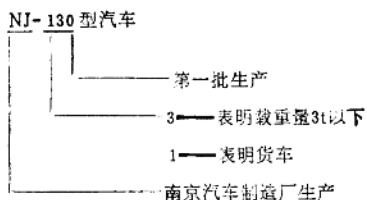
D399型柴油机主要用于钻探船上，由美国制造。

## 五、汽车及拖拉机型号说明

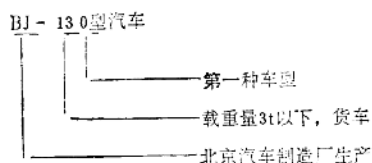
### 1. 汽车编号规则



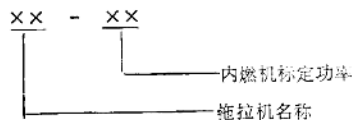
## 〔例1〕



〔例2〕



2. 拖拉机编号规则



〔例1〕东方红-75。东方红拖拉机，功率为55kW（75马力）（洛阳拖拉机厂生产）。

〔例2〕丰收-35。丰收牌拖拉机，功率为25.7kW（35马力）（上海拖拉机厂生产）。

〔例3〕铁牛-45。铁牛牌拖拉机，功率为35kW（45马力）（天津拖拉机厂生产）。

复 习 题

- （1）什么叫热机、内燃机和外燃机？
- （2）内燃机与外燃机比较有哪些优点？
- （3）内燃机是怎样分类的？
- （4）PZ12V190B，MB-820Bb，D399型柴油机型号各代表什么意义？

# 第一章 柴油机工作原理

## 第一节 内燃机的热能转变为机械能

内燃机是一种热力发动机(简称热机)。它的基本工作原理是使燃料在气缸内燃烧,将燃料的化学能转变为热能,并利用燃气为介质,再将热能转变为机械能。

那么,内燃机是如何将热能转变为机械能的呢?我们知道,流动的水,冲击到水轮机的叶片上,带动发电机发出电流;劲风吹动风车旋转,带动水车抽水,这种流动的水和风能够做功的能力,都称作“能”。

凡是有温度的物体,都具有一定能量,叫做热能。如子弹能从枪膛射出,就是由于子弹内火药立即被点燃而剧烈地燃烧,产生大量的热能,燃气吸收这些热能后体积膨胀,使压力急剧升高,推动弹头以极大的速度从枪膛里发射出去。

内燃机就是利用燃料燃烧后产生的热能来做功的。我们可以通过图1-1所示的简单试验,来说明内燃机中是怎样把热能转变为功的。

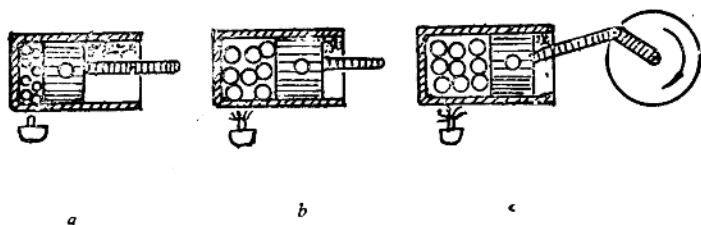


图1-1 利用气体受热膨胀做功

把柱塞装在一个一端封闭的圆筒内,柱塞顶面与圆筒内壁构成一个封闭空间,如图1-1a所示,空间内的冷空气团用小圆圈表示。当这部分空气加热后(图1-1b),内部压力逐渐升高,克服阻力作用,推动柱塞向外移动。如果用一个推杆将柱塞和一个轮子连接起来(图1-1c),则柱塞移动时,便通过推杆推动轮子旋转,从而把空气所得到的热能转化为推动轮子旋转的机械能。

内燃机的工作过程,就是按照一定的规律,不断地将燃料和空气送入气缸,并在气缸内着火燃烧,放出热能。燃气在吸收热能后产生高温高压,推动着活塞做功,将热能转化为机械能。

燃料燃烧必须具备以下几个条件:

(1) 需要有足够的空气供燃料燃烧,任何可燃物质,如果不与空气接触,是不能燃烧的。所以,要使燃油在柴油机中燃烧,必须在喷入燃油之前先使空气进入气缸。

(2) 要有很高的温度促使油滴蒸发成油气以进行燃烧。在柴油机中,燃油不是靠外界火源点燃的,而是在高温下自己发火燃烧的,因此,要使燃油燃烧还必须使空气具有一定的温度。从大气吸入柴油机中的空气靠活塞压缩,使空气达到足够高的温度和压力才能保证燃

料的着火。

(3) 要将柴油喷散成很细的雾状, 以保证燃料与新鲜空气均匀混合, 得到充分和完善的燃烧。

柴油机是通过以下四个工作过程来满足上述工作条件的。

(1) 进气过程: 活塞从上端位置移动到最下端位置, 气缸内容积增大压力降低, 新鲜空气吸入气缸, 提供燃料燃烧时所需要的氧气。烧掉1kg柴油, 理论上需要14.3kg空气。但由于柴油与空气的混合总是很不均匀的, 为了得到充分的燃烧, 空气总是要供应的富裕些, 1kg柴油往往要供给20多kg空气。

(2) 压缩过程: 活塞从最下端位置移动到最上端位置, 气缸内容积逐渐减小, 压力逐渐升高, 温度也随着上升。对柴油机来讲, 压缩后的空气温度, 必须超过柴油的自燃点温度(约高于 $200\sim 300^{\circ}\text{C}$ )。

(3) 燃烧膨胀过程: 当活塞达到最上端位置时, 气缸内的温度和压力都很高, 燃料喷入气缸与空气中的氧发生急剧的氧化作用(即燃烧)放出大量热量, 使气体温度和压力急剧上升, 推动活塞往最下端位置移动, 从而推动活塞做功。此过程也称工作过程。

(4) 排气过程: 活塞从最下端位置向最上端位置移动, 将膨胀作功后的废气排出, 以便再吸入新鲜空气。

上述四个过程周而复始地不断重复, 每个过程转轴旋转 $180^{\circ}$ 完成一个工作过程, 而转轴旋转 $720^{\circ}$ 完成四个工作过程, 称为一个工作循环。

## 第二节 内燃机常用名词术语

在往复式内燃机中, 活塞的往复运动, 通过曲柄连杆机构变成曲轴的旋转运动, 以实现热能和机械能的相互转换。

内燃机的往复运动如图1-2所示

活塞只能沿气缸直线往复运动。曲轴是由两个中心线不在同一直线上的轴所构成, 其中一个轴安置在机体中心孔内, 称做主轴。主轴只能在机体座孔内绕本身中心线转动。另一轴通过曲柄与主轴连接在一起, 称做连杆轴。它绕着主轴进行旋转。连杆为两端带有孔的一直杆, 一端与活塞连接, 另一端与连杆轴相连, 它随着活塞的移动和曲轴的旋转而进行摆动。

当活塞往复运动时, 通过连杆推动曲轴绕主轴中心产生旋转运动。活塞移动与曲轴转动

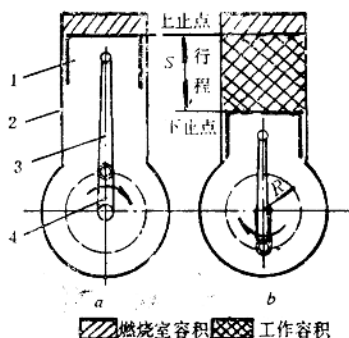


图1-2 曲柄连杆机构原理

1—活塞; 2—气缸体; 3—连杆; 4—曲轴

是相互牵连在一起的。因此, 活塞移动位置与曲轴转动位置是相对应的。

根据柴油机活塞与曲轴的相对位置关系和运动规律及性能, 柴油机的常用名词术语解释如下。

### 1. 上止点

上止点又叫上死点, 是指活塞在气缸内运动到最上端位置, 也就是活塞离开曲轴中心最远的位置。

## 2. 下止点

下止点又叫下死点,是指活塞在气缸内运动到最下端位置,即活塞距曲轴中心的最近位置。

## 3. 冲程

冲程也叫行程,是活塞从一个止点移动到另一个止点所经过的距离,用 $S$ 表示。它等于曲柄半径 $R$ 的两倍,即

$$S=2R$$

## 4. 缸径

缸径是指气缸直径,用字母 $D$ 表示,单位是毫米(mm)。

## 5. 气缸工作容积

气缸工作容积是指活塞从下止点移动到上止点或从上止点移动到下止点所扫过的空间容积,也叫活塞排量,用 $V_r$ 表示,即

$$V_r = \frac{\pi}{4} D^2 S \times 10^{-3}, \text{ L}$$

式中  $D$ ——气缸直径, cm;

$S$ ——活塞行程, cm。

## 6. 燃烧室容积

活塞位于上止点时,活塞顶上面的空间叫燃烧室。这个空间容积叫燃烧室容积。用 $V_c$ 来表示。

## 7. 气缸总容积

气缸总容积是指活塞位于下止点时,活塞顶上方的气缸容积叫气缸总容积。用字母 $V_a$ 来表示,它包括气缸工作容积和燃烧室容积两部分,即

$$V_a = V_r + V_c$$

## 8. 压缩比

气缸总容积与燃烧室容积之比称为压缩比,用字母 $\varepsilon$ 表示。

$$\varepsilon = \frac{V_a}{V_c} = \frac{V_r + V_c}{V_c} = 1 + \frac{V_r}{V_c}$$

压缩比的大小标志着柴油机工作时气缸内气体被压缩的程度。压缩比愈大,压缩终了时的温度和压力愈高,使燃油容易燃烧,易于柴油机的起动。一般柴油机的压缩比在13~20范围内,而汽油机的压缩比较低,一般为6.5~10。压缩比的大小必须保证压缩终点的温度超过柴油自燃点温度200~300°C。

## 9. 压缩室高度

也叫余隙高度或上量。是活塞位于上止点时,活塞顶平面与气缸盖底平面之间的距离。装配柴油机时,这个数据常用来控制和调整压缩比。

## 10. 爆发压力

一般指燃料燃烧时产生的气体压力的最大值,即最大爆发压力,用字母 $p_b$ 表示。

## 11. 平均有效压力

平均有效压力是柴油机性能方面的一个重要指标,用字母 $p_e$ 表示。它的含义是假定有一个在整个活塞行程内大小不变的压力作用在活塞上,使活塞在一个行程内所作的功与整个工作循环所作的有效功相等。这个假定的压力就叫平均有效压力。一般四冲程柴油机平均有效压力为6.9~24bar。

## 12. 活塞平均速度

活塞在气缸中的运动是变速运动，但为了衡量柴油机的强化程度和研究其工作寿命常用其速度的平均值作为性能指标，这个速度的平均值叫活塞平均速度，用字母 $C_m$ 来表示。

$$C_m = \frac{S n}{30}$$

式中  $n$ ——转速，r/min。

## 13. 强化指标

强化指标是衡量柴油机先进水平的指标，由活塞的平均速度与平均有效压力的乘积来表示（即用 $C_m \times p_e$ 来表示）。

## 复 习 题

- (1) 内燃机是怎样将热能转变成机械能的？
- (2) 燃料燃烧的条件是什么？
- (3) 柴油机的四个工作过程是什么？各过程的作用是什么？
- (4) 什么叫上止点、下止点、冲程、燃烧室容积、气缸工作容积、压缩比、气缸余隙高度？

## 第三节 单缸四冲程柴油机工作原理

柴油机的工作过程，是按照一定的规律将燃料和空气送入气缸，使之在气缸内不断着火燃烧放出热能。燃烧的作用是使气缸内的气体升高温度和压力，高压高温的燃气在气缸内膨胀便推动活塞做功，完成了热能向机械能转换，而膨胀后的废气又必须及时从气缸中排出。这一系列作用，可以分成四个过程，即进气、压缩、工作和排气过程。这四个过程是不断重复进行的，每完成上述四个过程叫作一个工作循环。完成一个工作循环活塞要连续运行四个冲程（曲轴转两转）的柴油机叫四冲程柴油机。

下面以单缸非增压四冲程柴油机为例，说明其工作原理。

### 一、单缸四冲程柴油机工作过程

图1-3为单缸四冲程柴油机工作过程示意图。

**第一冲程：进气冲程（图1-3a—b）。**活塞在旋转的曲轴带动下，从上止点移动到下止点，这时进气门打开，排气门关闭。由于气缸内容积增大，使气缸内的压力低于大气压，在气缸内外压力差的作用下，外界新鲜空气通过进气门吸入气缸。由于进气系统有阻力，空气进入气缸后的压力低于大气压力。进气终了时气缸内的压力约为0.80~0.90bar。气缸内空气的温度则高于大气温度，一般温度在40~70°C。

进气过程对柴油机工作影响很大，进气冲程结束时，气缸内充气量愈多，可以喷入的燃油量也愈多，燃烧过程放出的能量就愈多，柴油机发出的功率就愈大。

**第二冲程：压缩冲程（图1-3b—c）。**活塞从下止点移动到上止点，进、排气门都处于关闭状态，活塞便逐渐将第一冲程吸入的空气压缩在燃烧室内，使空气的温度和压力升高。压缩终了时，气缸内空气温度约在500~700°C范围内，压力为27.4~49bar。由于此时气缸内温度比柴油的自燃点温度高200~300°C（柴油的自燃点温度一般为200~300°C），达到了柴油自燃的条件。所以在压缩冲程后期，通过喷油器向气缸内喷入柴油，便着火燃烧。

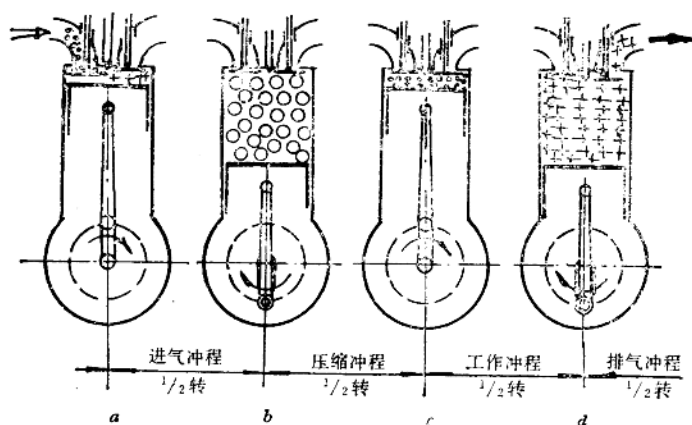


图1-3 单缸四冲程柴油机工作过程示意图

**第三冲程：工作冲程（图1-3c—d）。**活塞从上止点移动到下止点，进、排气门仍然关闭，在压缩冲程接近终了时，喷油器将高压燃油喷入气缸与高温、高压空气混合，当超过柴油自燃点温度后，便自行着火燃烧，产生大量热能，使气缸内温度和压力急剧升高。高温、高压气体推动活塞下移，经连杆带动曲轴旋转，向外做功。这一冲程最高燃烧压力约为60~90bar，温度最高可达1700~2000°C。随着膨胀作用的进行，热能变成了机械能，气缸内气体的压力、温度急剧下降，到膨胀终了时，气缸内的压力已下降到2.4~4.4bar，温度降到600~900°C。

**第四冲程：排气冲程（图1-3d—a）。**活塞从下止点移动到上止点，此时进气门关闭，排气门打开。膨胀终了的气体已失去做功的能力，变成了废气。为了使新鲜空气重新进入气缸就必须排除废气。废气在活塞上行的排挤下，经排气门排出缸外。排气终了时，气缸内的压力约为1.03~1.08bar，温度约为350~600°C。

当排气终了时，活塞又回到上止点，至此，单缸四冲程柴油机完成了一个工作循环。曲轴在这一工作循环中转动两圈，即720°（曲轴转角），活塞则经过四个冲程：进、压、工、排。

应当指出，以上讲的是理论上柴油机的工作过程，但实际上柴油机工作过程很复杂，进排气门并不在上、下止点时打开或关闭，而是进气门在上止点前打开，下止点后关闭；排气门在下止点前打开，上止点后关闭，这里不再讲述。

从上述四个工作过程中可以看出，只有第三冲程（工作冲程）是做功的，其它三个冲程全是辅助过程，是需要消耗能量的，这个问题在单缸柴油机上是利用飞轮储存的能量来解决，在多缸柴油机上则主要靠其它缸的做功冲程来供给。工作循环开始时（即柴油机起动时），需要用外力先使曲轴转动，完成辅助过程，使柴油机着火燃烧，柴油机才能正常运转，即四个工作过程依次不断地重复出现。

把柴油机工作循环中气缸内气体的压力对应于气缸内容积的变化表示在坐标图上，便形成了一个封闭的图形，它表示一个工作循环内气缸中工质状态的变化，把这种图形叫示功图。如图1-4所示。图中封闭曲线包围的面积就是柴油机的一个工作循环的指示功。示功图是在柴油机试验时由专门的仪器——示功器绘制的。

图中进气冲程用曲线段a、f、b表示，a点表示进气门打开，b点表示进气门关闭。压缩

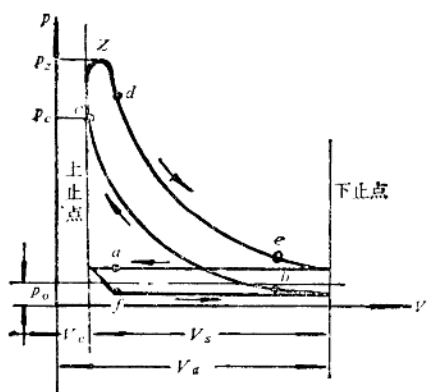


图1-4 示功图

为了这个原故。下面将四冲程柴油机的实际换气过程加以说明。

## 二、四冲程柴油机的换气过程

换气过程可以分为三个阶段：自由排气、强制排气和进气。

1) 自由排气阶段：自由排气阶段是作功冲程后期进行的。这时燃气压力已降至3~4bar，对于膨胀作功已无多大作用，当活塞到下止点以前把排气门打开，就可以利用废气的压力向气缸外排气。这段时间虽然很短，但因排气压力高，流速大，排出的废气量可达到60%以上。自由排气降低了气缸内的压力，使活塞回行阻力减少，同时排气门提前开启，等到活塞经过下止点回行时，排气门已有较大开度，使排气通畅，可以提高排气效果。

2) 强制排气阶段：活塞达到下止点，自由排气阶段结束。气缸内压力下降到1.2bar以下。此时排气门已经开大，活塞回行时便将剩下的废气进一步排出气缸。在排气冲程将要结束时，排气门也将逐渐关闭。

3) 进气阶段：活塞到达上止点，强制排气阶段结束。活塞由上止点开始向下止点运动，此时进气门打开，随着活塞下行气缸内容积增大，新鲜空气进入气缸。

## 复 习 题

- (1) 画图说明单缸四冲程柴油机工作原理？
- (2) 说明四冲程柴油机的换气过程？

## 第四节 二冲程柴油机工作原理

### 一、二冲程柴油机的概念和工作过程

二冲程柴油机工作时同样必须完成进气、压缩、作功和排气四个过程。但是与四冲程柴油机不同的是完成这四个过程，活塞只运行两个冲程（即曲轴旋转一周）。除此之外，其结构也与四冲程柴油机不同，它简化了配气机构，而在气缸的周围开有扫气口和排气口，所以构造简单但要利用扫气泵来满足换气过程的需要。图1-5是单缸二冲程柴油机工作过程示意图。表示的是回流扫气式二冲程柴油机。

其工作过程如下：

第一冲程：进气和压缩。活塞由曲轴带动时，扫气泵也同时被曲轴带动工作。活塞由下