



交通职业教育教学指导委员会推荐教材  
高职高专院校港口物流设备与自动控制专业教学用书

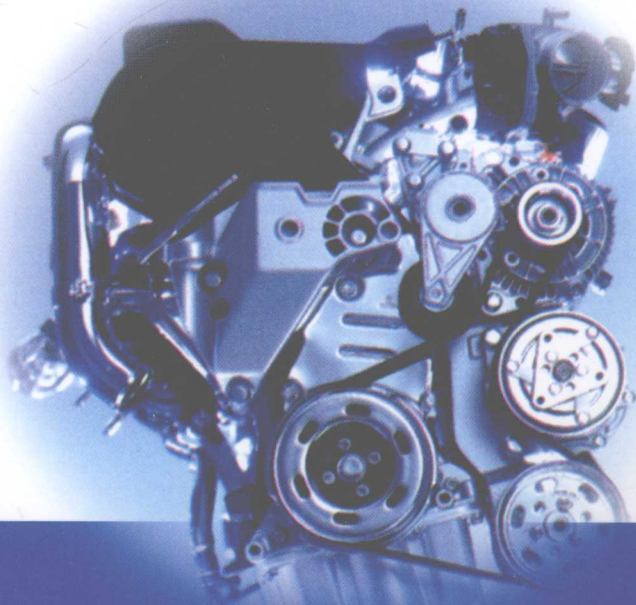
高等职业教育规划教材

(第二版)

# 内燃机构造与原理

NEIRANJI GOUZAO YU YUANLI

● 孙建新 主编 ● 马乔林 主审



人民交通出版社  
China Communications Press

交通职业教育教学指导委员会推荐教材  
高职高专院校港口物流设备与自动控制专业教学用书

高等职业教育规划教材

Neiranji Gouzao Yu Yuanli

# 内燃机构造与原理

(第二版)

孙建新 主 编

马乔林 主 审

人民交通出版社

## 内 容 提 要

本书是高等职业教育规划教材,由交通职业教育教学指导委员会交通工程机械专业指导委员会组织编写。内容包括:内燃机基本工作原理,机体组与曲柄连杆机构,换气过程和配气机构,汽油机的燃烧过程和燃油系统,柴油机的燃烧过程和燃油系统,汽油机点火系统,冷却系统,润滑系统,起动系统,发动机增压,发动机特性,发动机的污染与控制。

本书为高职高专院校港口物流设备与自动控制专业教学用书,也可供相关专业教学使用,或作为职业技能培训教材,也可供有关工程技术人员学习参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

内燃机构造与原理 / 孙建新主编. —2版. —北京: 人民交通出版社, 2009.7

高等职业教育规划教材

ISBN 978-7-114-07743-2

I. 内… II. 孙… III. ①内燃机—构造—高等学校: 技术学校—教材②内燃机—理论—高等学校: 技术学校—教材 IV. TK40

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第071833号

书 名: 内燃机构造与原理(第二版)

著 者: 孙建新

责任编辑: 周往莲

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010) 59757969, 59757973

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京交通印务实业公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 14.5

字 数: 362千

版 次: 2004年5月 第1版

2009年7月 第2版

印 次: 2009年7月 第2版 第1次印刷 总第6次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-07743-2

印 数: 11001~14000册

定 价: 39.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

交通职业教育教学指导委员会  
交通工程机械专业指导委员会

---

主 任：汪诚强

副主任：张海英 邹嘉勇

委 员：（按姓氏笔画排序）

仇桂玲 王经文 任 威 吕 宏 孙珍娣 张心宇

张爱山 杨永先 苏 曙 周惠棠 欧志峰 郑见粹

柴 野 常 红 黄俊平

秘 书：马乔林

# 前 言

交通职业教育教学指导委员会交通工程机械专业指导委员会自1992年成立以来,对本专业指导委员会两个专业(港口机械、筑路机械)的教材编写工作一直十分重视,把教材建设工作作为专业指导委员会工作的重中之重,在“八五”、“九五”和“十五”期间,先后组织人员编写了20多本专业急需教材,供港口机械和筑路机械两个专业使用,解决了各学校专业教材短缺的困难。

随着港口和公路事业的不断发展,港口机械和公路施工机械的更新换代速度加快,各种新工艺、新技术、新设备不断出现,对本专业的人才培养提出了更高的要求。另外,根据目前职业教育的发展形势,多数重点中专学校已改制为高等职业技术学院,中专学校一般同时招收中专和高职学生,本专业教材使用对象的主体已经发生了变化。为适应这一形势,交通工程机械专业指导委员会于2006年8月在烟台召开了四届二次会议,制定了“十一五”教材编写出版规划,并确定了教材的编写原则:

1. 拓宽教材的使用范围。本套教材主要面向高职,兼顾中专,也可用于相关专业的职业资格培训和各类在职培训,亦可供有关技术人员参考。

2. 坚持教材内容以培养学生职业能力和岗位需求为主的编写理念。教材内容难易适度,理论知识以“够用”为度,注重理论联系实际,着重培养学生的实际操作能力。

3. 在教材内容的取舍和主次的选择方面,照顾广度,控制深度,力求针对专业,服务行业,对与本专业密切相关的内容予以足够的重视。

4. 教材编写立足于国内港口机械和筑路机械使用的实际情况,结合典型机型,系统介绍工程机械设备的基本结构和工作原理,同时,有选择地介绍一些国外的新技术、新设备,以便拓宽学生的视野,为学生进一步深造打下基础。

《内燃机构造与原理》第一版于2004年5月出版,解决了当时专业教材短缺的困难,受到教材使用者的欢迎,至今连续印刷5次,发行量达11000册。本次再版,融入了近几年的教学改革成果,同时根据行业发展情况对部分内容做了调整,使教学目标更明确,更具针对性和实用性。

《内燃机构造与原理》(第二版)是高职高专院校港口物流设备与自动控制专业规划教材之一,内容包括:内燃机基本工作原理,机体组与曲柄连杆机构,换气过程和配气机构,汽油机的燃烧过程和燃油系统,柴油机的燃烧过程和燃油系统,汽油机点火系统,冷却系统,润滑系统,起动系统,发动机增压,发动机特性,发动机的污染与控制。

参加本书编写工作的有:江苏海事职业技术学院孙建新(编写第一、十一、十二章)、周涛(编写第六、九章)、王瑜(编写第二、五、十章)、李媛(编写第三、四、七、八章)。全书由孙建新担任主编,南通航运职业技术学院马乔林担任主审。

本套教材在编写过程中,得到交通系统各校领导和教师的大力支持,在此表示感谢!

编写高职教材,我们尚缺少经验,书中不妥和疏漏之处,敬请读者指正。

交通职业教育教学指导委员会  
交通工程机械专业指导委员会

2009年5月

# 目 录

<b>第一章 内燃机基本工作原理</b> .....	1
第一节 内燃机概述.....	1
第二节 内燃机的工作原理.....	3
第三节 内燃机总体构造.....	9
第四节 内燃机的性能指标 .....	11
第五节 内燃机的热力循环 .....	13
第六节 内燃机的型号表示 .....	16
复习思考题 .....	18
<b>第二章 机体组与曲柄连杆机构</b> .....	19
第一节 机体组与曲柄连杆机构的工作条件 .....	19
第二节 机体组 .....	20
第三节 曲柄连杆机构 .....	26
复习思考题 .....	45
<b>第三章 换气过程和配气机构</b> .....	46
第一节 换气过程 .....	46
第二节 配气机构的功用与类型 .....	48
第三节 气门组 .....	49
第四节 气门传动组 .....	53
复习思考题 .....	59
<b>第四章 汽油机的燃烧过程和燃油系统</b> .....	60
第一节 概述 .....	60
第二节 汽油机的燃烧过程 .....	63
第三节 可燃混合气的形成与简单化油器 .....	67
第四节 可燃混合气浓度与汽油机性能的关系 .....	68
第五节 现代化油器 .....	70
第六节 化油器的类型、附属装置和操纵机构.....	74
第七节 汽油供给装置 .....	81
第八节 进、排气装置.....	83
第九节 电子控制汽油喷射系统 .....	85
复习思考题 .....	99
<b>第五章 柴油机的燃烧过程和燃油系统</b> .....	100
第一节 概述.....	100
第二节 柴油机可燃混合气的形成.....	103

第三节	柴油机的燃烧过程	107
第四节	喷油器	109
第五节	柱塞式喷油泵	111
第六节	调速器	123
第七节	分配式喷油泵	130
第八节	辅助装置	134
第九节	电子控制柴油喷射系统	135
复习思考题		141
<b>第六章</b>	<b>汽油机点火系统</b>	142
第一节	概述	142
第二节	蓄电池点火系统的组成与工作原理	143
第三节	蓄电池点火系统的主要部件	146
第四节	电子点火系统	152
第五节	车用电源	156
复习思考题		161
<b>第七章</b>	<b>冷却系统</b>	162
第一节	概述	162
第二节	水冷系统的组成及循环水路	162
第三节	冷却系统的主要机件	164
第四节	冷却系统的调节和冷却液	167
第五节	风冷系统	170
复习思考题		171
<b>第八章</b>	<b>润滑系统</b>	172
第一节	概述	172
第二节	润滑方式和润滑剂	173
第三节	润滑系统的组成和润滑油路	174
第四节	润滑系统的主要机件	177
复习思考题		182
<b>第九章</b>	<b>起动系统</b>	183
第一节	概述	183
第二节	电力起动装置	184
第三节	改善冬季起动性能的措施	187
复习思考题		189
<b>第十章</b>	<b>发动机增压</b>	190
第一节	概述	190
第二节	机械增压	193
第三节	废气涡轮增压	195
复习思考题		199

<b>第十一章 发动机特性</b> ·····	200
第一节 概述·····	200
第二节 发动机速度特性·····	201
第三节 发动机负荷特性·····	206
第四节 万有特性·····	207
第五节 发动机的功率标定及大气修正·····	209
复习思考题·····	210
<b>第十二章 发动机的污染与控制</b> ·····	211
第一节 概述·····	211
第二节 排气净化装置·····	212
第三节 强制曲轴箱通风系统·····	217
第四节 汽油蒸发控制系统·····	219
复习思考题·····	220
<b>参考文献</b> ·····	221



# 第一章 内燃机基本工作原理

## 知识目标

1. 描述内燃机的工作特点和主要优缺点；
2. 描述内燃机的基本结构组成；
3. 解释四冲程内燃机的基本工作原理；
4. 解释二冲程内燃机的基本工作原理；
5. 说明内燃机各项性能指标的含义和意义；
6. 比较内燃机实际循环和理论循环的差异。

## 技能目标

1. 根据内燃机铭牌上的型号及有关性能指标的含义说明内燃机的性能和结构特征；
2. 识别港口机械所使用的内燃机的特点和要求。

## 第一节 内燃机概述

### 一、内燃机的类型

内燃机是热机的一种,是将燃料的化学能经过燃烧释放的热能转变为机械功的机器。

热机可分为外燃机和内燃机两种类型。在外燃机中,燃料的燃烧发生在汽缸的外部,而燃气(工质)膨胀做功是在汽缸内部进行的,如蒸汽机、汽轮机等。因此,外燃机存在工质传递过程的热损失。在内燃机中,燃料的燃烧和工质的膨胀做功均在汽缸内部进行,因而能量损失较小,具有较高的热效率。

内燃机按运动形式分,有往复式活塞式和回转式(如燃气轮机)两类。其中,往复式活塞式内燃机,因其性能更为完善,使用得最广泛,是本课程学习的内容。

往复式活塞式内燃机可按不同方法进行分类。

(1) 按所使用的燃料分,有汽油机、柴油机和气体燃料发动机三类。

(2) 按在一个工作循环中所需要的冲程数,往复式活塞式内燃机可分为四冲程和二冲程两类。

(3) 按冷却方式分,往复式活塞式内燃机可分为水冷式和风冷式两种。

(4) 按进气状态分,往复式活塞式内燃机可分为非增压和增压两类。

通常,内燃机具有下列突出优点:

(1) 经济性好,有效热效率在热机中最高,一般为 30% ~ 55%。

(2) 尺寸小、比质量(kg/kW)小、结构紧凑,便于安装布置。

(3) 功率范围广。单机功率在  $0.6 \sim 6.8 \times 10^4 \text{kW}$  之间, 可以适应各种动力设备的需要。

(4) 机动性好。起动方便、迅速, 加速性能好, 正常起动只需要几秒钟, 并能很快地达到全负荷工况。

同时, 内燃机也存在如下一些缺点:

(1) 运转时噪声大。

(2) 废气中的有害成分对大气污染较严重。

## 二、往复式活塞式内燃机的基本结构

往复式活塞式内燃机的基本机构, 如图 1-1 所示。图中汽缸 6 是内燃机活塞的工作腔, 其工作表面为圆柱形。在汽缸内做往复运动的活塞 8 通过活塞销与连杆 9 的一端铰接, 连杆的另一端与曲轴 10 相连, 构成曲柄连杆机构。当活塞在汽缸内做往复运动时, 连杆便推动曲轴旋转; 或者曲轴转动时, 通过连杆带动活塞在汽缸内做往复运动。与此同时汽缸内的容积也随活塞的运动, 大小交替地变化。

汽缸的顶端用汽缸盖 5 封闭。在缸盖上装有进气门 3 和排气门 4。进、排气门的开闭由凸轮轴 1 控制, 实现向汽缸内充气 and 向汽缸外排气。凸轮轴由曲轴通过齿形带 13 (或齿轮或链条) 等驱动。进、排气门和凸轮轴及其他传动件组成配气机构。

汽缸是由汽缸体构成的, 支承曲轴并构成曲轴运动空间的部件称作曲轴箱。汽缸体与曲轴箱铸成一体, 称作机体 7。

## 三、内燃机的基本术语

表示内燃机工作过程的基本术语有:

### 1. 上止点

活塞离曲轴的回转中心最远处, 即活塞上行的最高位置为上止点。

### 2. 下止点

活塞离曲轴的回转中心最近处, 即活塞下行的最低位置为下止点。

### 3. 活塞冲程

活塞冲程也称为活塞行程, 指活塞上、下止点之间的距离  $S$ 。由图 1-2 可见, 活塞行程等于曲柄长的 2 倍。

### 4. 燃烧室容积

活塞在上止点时, 其顶面与缸盖底面之间的空间称为燃烧室, 其容积称为燃烧室容积, 记作  $V_c$ 。

### 5. 汽缸工作容积

活塞从上止点运动到下止点, 其顶面所扫过的汽缸容积称为汽缸工作容积, 记作  $V_h$ , 即

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

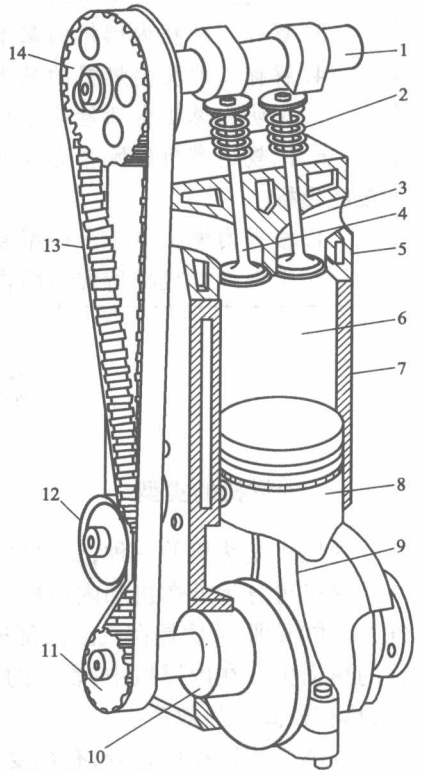


图 1-1 往复式活塞式内燃机的基本结构

1-凸轮轴; 2-气门弹簧; 3-进气门; 4-排气门;  
5-汽缸盖; 6-汽缸; 7-机体; 8-活塞; 9-连杆;  
10-曲轴; 11-曲轴齿形带轮; 12-张紧轮; 13-齿形带; 14-凸轮轴齿形带轮

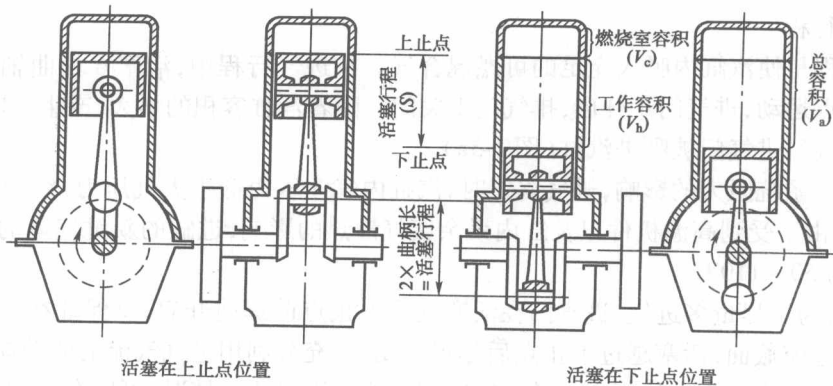


图 1-2 内燃机基本术语图

式中： $D$ ——汽缸直径，mm；

$S$ ——活塞行程，mm。

内燃机所有汽缸工作容积之和，称为内燃机的排量，记作  $V_H$ ，即

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

式中： $i$ ——汽缸数。

### 6. 汽缸总容积

活塞在下止点时，其顶部与缸盖底面之间的空间容积称为汽缸总容积，记作  $V_a$ 。它等于燃烧室容积与汽缸工作容积之和，即

$$V_a = V_h + V_c \quad (1-3)$$

### 7. 压缩比

汽缸总容积  $V_a$  与燃烧室容积  $V_c$  之比称为压缩比，用  $\varepsilon$  表示，即

$$\varepsilon = \frac{V_a}{V_c} = \frac{V_c + V_h}{V_c} = 1 + \frac{V_h}{V_c} \quad (1-4)$$

压缩比表示压缩行程中，汽缸内的气体被压缩的程度。压缩比越大，压缩终了时汽缸内的气体压力和温度就越高。压缩比是内燃机的一个重要的结构参数，其大小随内燃机类型而不同。一般地，汽油机  $\varepsilon = 6 \sim 11$ ；柴油机  $\varepsilon = 13 \sim 22$ 。

## 第二节 内燃机的工作原理

内燃机的运转过程，是汽缸内连续不断地完成一个个工作循环的过程。工作循环是指活塞在汽缸内，依次完成进气、压缩、燃烧、膨胀和排气 5 个过程来做一次功的全过程。活塞经过四个冲程（曲轴转两转）完成一个工作循环的内燃机叫四冲程内燃机。活塞经过两个冲程（曲轴转一转）完成一个工作循环的内燃机叫二冲程内燃机。

### 一、四冲程内燃机工作原理

#### 1. 四冲程汽油机工作原理

图 1-3 为单缸四冲程汽油机工作原理示意图。

### 1) 进气行程

进气行程是使汽缸内吸入充足的可燃混合气。在进气行程中,活塞6由曲轴8驱动从上止点向下止点运动,进气门4开启,排气门1关闭。随着汽缸容积的增大,产生一定的真空度,使可燃混合气经进气门被吸进汽缸(图1-3a)。

由于进气系统阻力的影响,进气终了时,汽缸内气体压力低于大气压力,约为 $0.08 \sim 0.09$  MPa。同时,由于受到高温机件以及缸内残余废气散热的影响,进缸的新鲜气体的温度高于环境温度,约为 $50 \sim 110^{\circ}\text{C}$ 。

实际上,为了尽量多进气,进气门在活塞到达上止点前提前开启,以保证在上止点时进气门有最大的流通截面;活塞越过下止点后延迟关闭,以充分利用进气气流的流动惯性多进气。

进气过程中汽缸内气体压力 $p$ 随汽缸容积 $V$ 增大而变化的情况,可以在 $p-V$ 坐标上用曲线 $r-a$ 表示,如图1-4a)所示。

### 2) 压缩行程

压缩行程是为燃料燃烧和工质膨胀做功准备条件。活塞在曲轴驱动下,由下止点向上止点运动。此时进气门已关闭,随着汽缸容积减小,可燃混合气被压缩,其压力和温度不断升高。压缩行程终了时,压力约为 $0.8 \sim 1.5$  MPa,气体的温度约为 $330 \sim 480^{\circ}\text{C}$ (图1-3b)。

在 $p-V$ 坐标上的压缩过程曲线为 $a-c$ ,如图1-4b)所示。

### 3) 做功行程

在做功行程中,要先后完成燃烧、膨胀两个过程。在压缩行程末期,活塞接近上止点时,火花塞3产生电火花点燃可燃混合气,火焰迅速传遍整个燃烧室,同时释放出大量热量,使燃气的压力和温度迅速升高并急剧膨胀。在气体压力作用下,活塞快速向下止点移动,并通过连杆驱动曲轴转动对外做功(图1-3c)。

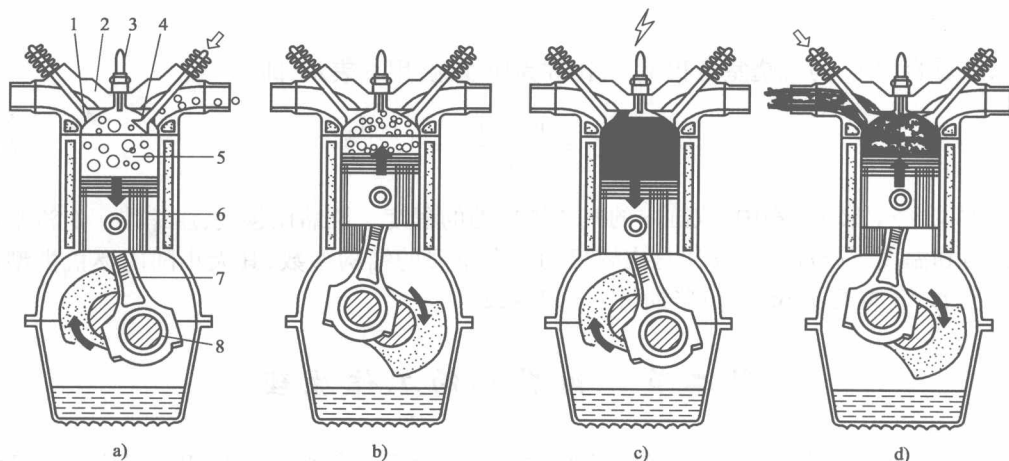


图1-3 四冲程汽油机工作原理示意图

1-排气门;2-汽缸盖;3-火花塞;4-进气门;5-汽缸;6-活塞;7-连杆;8-曲轴

在做功行程中,燃烧气体的最高压力约为 $3 \sim 6.5$  MPa,最高温度约为 $2000 \sim 2500^{\circ}\text{C}$ 。随着活塞的下行,汽缸容积增大,气体的压力和温度下降。膨胀末期,气体的压力约为 $0.35 \sim 0.5$  MPa,温度约为 $900 \sim 1200^{\circ}\text{C}$ 。

$p-V$ 坐标上的燃烧和膨胀过程曲线为 $c-z-b$ ,如图1-4c)所示。

### 4) 排气行程

排气行程是将废气排出缸外,为下一个工作循环作准备。在膨胀行程末期,排气门1开

启,活塞在曲轴驱动下,由下止点向上止点运动。废气在汽缸内外的压力差和活塞的驱赶作用下,经排气门排出汽缸(图 1-3d)。

排气终了时,由于受排气阻力的影响,缸内废气的压力约为  $0.105 \sim 0.120\text{MPa}$ ,温度约为  $600 \sim 800^\circ\text{C}$ 。

实际上,为了尽量彻底地排出汽缸内的废气,排气门在活塞到达下止点前提前开启,以利用压力差排出废气;活塞越过上止点后延迟关闭,以利用排气气流的流动惯性排出废气。

$p-V$  坐标上的排气过程曲线为  $b-r$ ,如图 1-4d)所示。

一个工作循环结束后,在  $p-V$  坐标上,各个过程曲线组成一个闭合图形(图 1-4d)。它既用来研究内燃机汽缸内一个工作循环进行的情况,又可用图中压缩过程曲线和燃烧与膨胀过程曲线所包围的面积来计算汽缸中一个工作循环所做功(称为指示功  $W_i$ )的大小,所以该图形被称为  $p-V$  示功图。

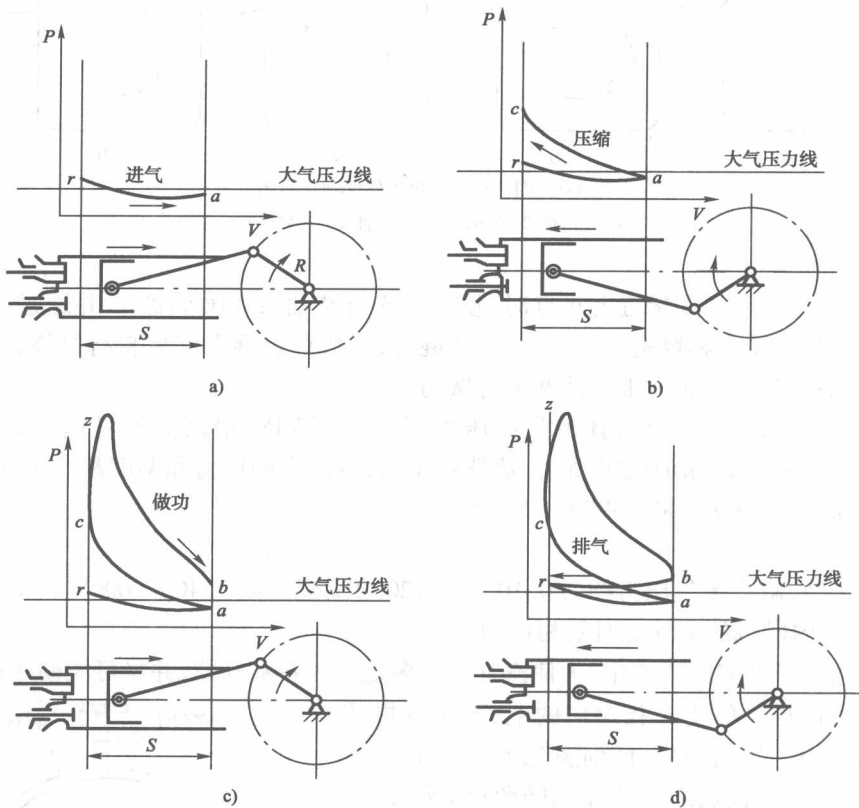


图 1-4 四冲程汽油机的示功图

a) 进气行程; b) 压缩行程; c) 做功行程; d) 排气行程

## 2. 四冲程柴油机工作原理

四冲程柴油机工作过程与四冲程汽油机基本相同,每一个工作循环也都是通过 4 个行程完成的。但由于柴油与汽油的性质不同,使二者在可燃混合气的形成和着火方式上存在着差异。下面主要以与汽油机工作循环的不同之处介绍柴油机的工作原理。

### 1) 进气行程

柴油机进气行程中进入汽缸的只是空气(图 1-5a)。由于进气阻力比汽油机小,且上一循环残留的废气温度比较低,所以进气终了时,缸内气体压力约为  $0.085 \sim 0.095\text{MPa}$ ,温度约为

40 ~ 70℃。

### 2) 压缩行程

由于柴油机的压缩比较大,压缩行程终了时,汽缸内空气的压力和温度都比汽油机高,压力可达 3 ~ 5MPa,温度达 500 ~ 750℃ (图 1-5b)。

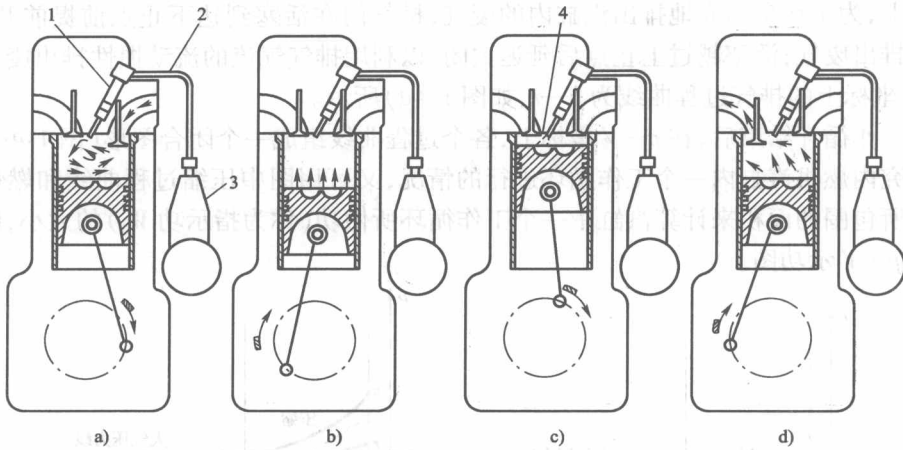


图 1-5 四冲程柴油机工作原理示意图

1-喷油器;2-高压油管;3-喷油泵;4-燃烧室

### 3) 做功行程

在压缩行程末期,活塞接近上止点时,喷油泵 3 将柴油泵入喷油器 1,并通过喷油器将高压燃油以雾化状态喷入燃烧室,并与空气迅速混合,形成可燃混合气后自行燃烧,产生的高温高压工质急剧膨胀,气体压力推动活塞下行做功。

在做功行程中,缸内燃烧气体的最高压力可达 6 ~ 9MPa,最高温度可达 1500 ~ 1900℃。由于柴油机的压缩比大,膨胀过程充分,膨胀终了时,汽缸内的压力和温度都低于汽油机,压力为 0.2 ~ 0.5MPa,温度为 700 ~ 900℃ (图 1-5c)。

### 4) 排气行程

排气终了时,缸内废气压力约为 0.105 ~ 0.120MPa,温度约为 400 ~ 600℃ (图 1-5d)。

## 3. 四冲程内燃机的配气定时及相位图

四冲程内燃机在实际工作中,为使汽缸尽量多地吸入新鲜气体,并尽可能彻底地排出上一循环的废气,进、排气门均于相对应的上、下止点提前开启或延迟关闭。气门的启、闭时刻通常用该时刻曲柄位置相对于上、下止点之间的曲柄转角( $^{\circ}$ )来表示,称为配气定时(也称配气相位),并可以用配气相位图表示,如图 1-6 所示。

图中,进气门开启时刻曲柄位置距上止点的曲柄转角称为进气提前角,用  $\alpha$  表示。一般,内燃机的  $\alpha$  角为  $0^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 。下止点距进气门关闭时刻曲柄位置的曲柄转角称为进气延迟角,用  $\beta$  表示。一般  $\beta$  角为  $20^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 。进气过程持续角为  $(180 + \alpha + \beta)^{\circ}$ 。排气门开启时刻曲柄位置距下止点的曲柄转角称为排气提前角,用  $\gamma$  表示。一般  $\gamma$  角为  $30^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 。上止点距排气门关

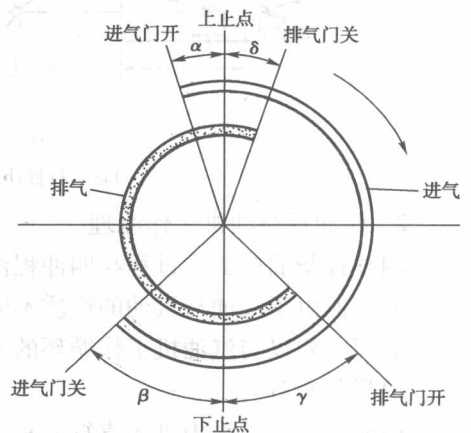


图 1-6 配气相位图

闭时刻曲柄位置的曲柄转角称为排气延迟角,用 $\delta$ 表示。一般 $\delta$ 角为 $10^\circ \sim 35^\circ$ 。排气过程持续角为 $(180 + \gamma + \delta)^\circ$ 。

由图 1-6 中还可以看出,当活塞处于换气上止点时,进、排气门同时开启,对应这段时间的曲柄转角叫气门重叠角(其大小为 $\alpha + \delta$ )。在此期间,废气的排出流动惯性可避免其倒流入进气管内,同时还可抽吸新鲜气体进入汽缸;新鲜气体进缸后又将废气扫出,并可冷却燃烧室部件,实现所谓燃烧室扫气。因此,适当大小的气门重叠角一般不会影响换气的完善性。

一般发动机的配气定时均经实验确定。

#### 4. 四冲程汽油机与四冲程柴油机的比较

两种内燃机的工作循环基本相同之处是:

(1)每完成一个工作循环都需要曲轴转两转( $720^\circ$ )。在 4 个行程中,只有做功行程对外做功,其他三个辅助行程都要消耗功。因此,单缸内燃机必须在曲轴上安装一个转动惯量较大的飞轮供给这三个辅助行程所需要的能量,而多缸内燃机则通过错开各缸的做功行程来相互供给能量。

(2)内燃机由停车状态进入工作状态,必须借助外力转动曲轴完成第一个工作循环,才能使内燃机工作循环周而复始地运转下去。

两种内燃机的不同之处是:

(1)可燃混合气形成的方式不同。汽油机采用外部混合方式,即汽油和空气在化油器内开始混合,一直延续到进入汽缸后的压缩行程末期,形成可燃混合气的时间较长;而柴油机采用内部混合方式,即燃油在压缩行程终点前直接喷入缸内的空气中形成可燃混合气,可燃混合气形成的时间较短。

(2)着火方式不同。汽油机利用电火花在压缩行程末期点燃可燃混合气属于点燃式,柴油机则是通过将高压燃油在压缩行程末期喷入缸内高温高压的空气中,自行着火燃烧属于压燃式。

由于柴油机的压缩比高,所以热效率比汽油机要高,一般柴油机燃油消耗率比汽油机约低 20% ~ 30%,所以在港口与工程机械及载货车上多以柴油机作为发动机。

## 二、二冲程内燃机工作原理

二冲程内燃机与四冲程内燃机的主要区别是换气方式不同。二冲程内燃机没有专门的排气行程和进气行程,它利用活塞的运动来控制开设在汽缸下部的进、排气口(孔)的开启或关闭,使预先被加压的新鲜气体充入汽缸,同时驱赶废气,通过扫气方式完成换气过程。因此,二冲程内燃机需要有进气加压装置。

### 1. 二冲程汽油机工作原理

图 1-7 是一种曲轴箱换气式的单缸二冲程汽油机工作原理图。由图可见,新鲜气体先进入曲轴箱,预先加压,再通过活塞对开设在汽缸下部的进气孔 1、排气孔 2 和扫气孔 5 的控制,实现换气过程。

#### 1) 第一行程(扫气—压缩行程)

活塞从下止点向上止点移动。活塞在下止点时,进气孔 1、扫气孔 5 和排气孔 2 均开启。这时曲轴箱内,已被压缩的可燃混合气经扫气孔进入汽缸,并将废气从排气孔排出。随着活塞从下止点向上止点运动,首先关闭扫气孔,扫气过程结束。但此时因排气孔略高于扫气孔尚未完全关闭,仍有部分废气和可燃混合气经排气孔继续排出,这称为额外排气。当活塞关闭排气

孔时(图 1-7a),缸内的可燃混合气开始被压缩,直至上止点,压缩过程结束。

压缩过程中,活塞下方的曲轴箱因容积增大,形成一定的真空度,当进气孔被开启时,可燃混合气被吸入曲轴箱中(图 1-7b)。

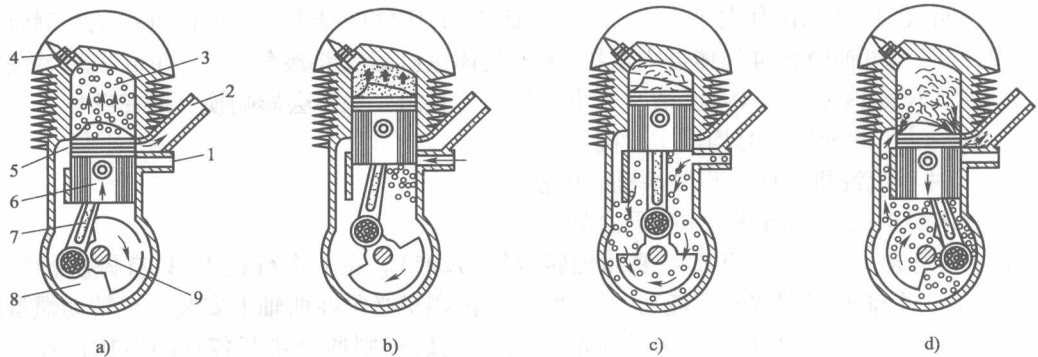


图 1-7 二冲程汽油机工作原理示意图

a) 压缩;b) 进气(可燃混合气);c) 燃烧;d) 排气

1-进气孔;2-排气孔;3-汽缸;4-火花塞;5-扫气孔;6-活塞;7-连杆;8-曲轴箱;9-曲轴

## 2) 第二行程(做功—扫气行程)

压缩过程末期,火花塞产生电火花,点燃可燃混合气(图 1-7c),燃烧形成的高温高压工质并膨胀,推动活塞下行做功。此时进气孔仍开启,空气和汽油的混合物继续流入曲轴箱中。当活塞下行至关闭进气孔时,曲轴箱内的可燃混合气被预压。活塞继续下行至开启排气孔时,膨胀做功过程结束,缸内废气利用自身压力排出缸外,进行自由排气(图 1-7d)。随后扫气孔开启,曲轴箱内被压缩的可燃混合气充入汽缸,同时驱除缸内残余废气进行扫气,扫气过程一直延续到活塞越过下止点上行,再次关闭扫气孔为止。

为提高换气质量,活塞顶往往做成特殊形状,引导进缸可燃混合气的流向,尽量减少与废气掺混的损失。

图 1-8 是二冲程内燃机的  $p-V$  示功图。图中  $a$  点表示排气孔关闭,曲线  $a-c$  为压缩过程,曲线  $c-z-b$  为做功过程。示功图尾部  $b-f-d-h-a$  为换气过程,是在下止点( $d$ )前后这一较短的时间内完成的。其中, $b-f$  为自由排气阶段, $f-d-h$  为扫气阶段, $h-a$  为额外排气阶段。

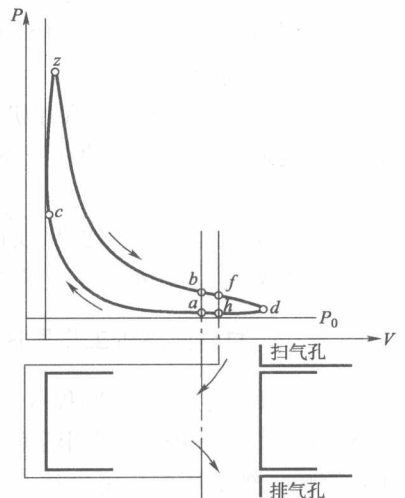


图 1-8 二冲程内燃机的示功图

## 2. 二冲程柴油机工作原理

图 1-9 为带有扫气泵 1 的二冲程柴油机工作原理图。扫气泵由柴油机曲轴驱动,可以提高进气压力(0.12~0.14MPa)。汽缸的下部只设有由活塞控制的进(扫)气孔 3,废气经专设的排气门 5 排出。

### 1) 第一行程(扫气—压缩行程)

当活塞从下止点开始向上运动时,进气孔 3 与排气门 5 均为开启状态,由扫气泵提供的压力空气经过空气室 2 充入汽缸,同时驱除废气进行扫气(图 1-9a)。活塞继续上行使进气孔关闭,同时排气门也关闭,缸内空气进入压缩过程(图 1-9b)。当活塞到达上止点时,压缩过程结束。



## 2) 第二行程(做功—扫气行程)

压缩过程终了前,高压柴油经喷油器4喷入汽缸,并迅速燃烧(图1-9c),产生的高温高压燃气膨胀,推动活塞做功。当活塞下行接近进气孔时,排气门提前开启,利用废气压力形成自由排气(图1-9d)。当缸内压力降至等于或略低于扫气压力时,进气孔开启,空气室内压力空气充入汽缸进行扫气。此过程延续到活塞越过下止点进入第一行程。

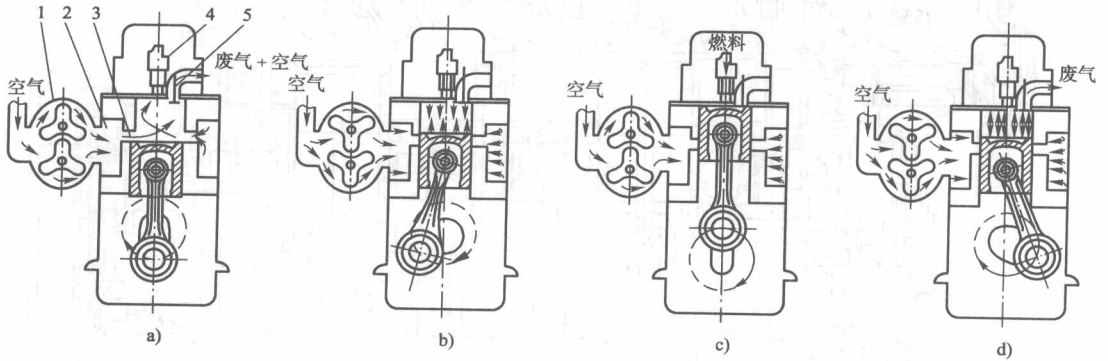


图1-9 二冲程柴油机工作原理示意图

a)扫气;b)压缩;c)燃烧;d)排气

1-扫气泵;2-空气室;3-进气孔;4-喷油器;5-排气门

## 三、二冲程与四冲程内燃机的比较

与四冲程内燃机相比,二冲程内燃机有如下优点:

(1)二冲程内燃机曲轴每转一转做一次功。因此,当汽缸数、缸径、活塞行程及转速相同时,理论上二冲程内燃机的功率是四冲程内燃机的两倍。实际上,由于存在进气孔产生的汽缸行程损失和扫气泵消耗的有效功,二冲程内燃机的功率只是四冲程内燃机的1.5~1.6倍。

(2)当转速相同时,二冲程内燃机做功次数比四冲程内燃机多一倍,因此运转平稳,可以使用较小的飞轮。

(3)二冲程内燃机结构简单,维护方便。

但二冲程内燃机也存在一些缺点,主要有:

(1)二冲程内燃机由于进缸气体与废气掺混较严重,换气效果较差,且转速越高越明显,因此燃烧不良,经济性较差。

(2)二冲程内燃机做功频率高,所以燃烧室部件的热负荷较高。

由于存在上述不足,二冲程内燃机在以高速内燃机为主的大、中型车辆上的应用受到了限制。港口与工程机械车辆中所用的内燃机一般转速较高,所以多选用四冲程内燃机。本书第二章起所讨论的内燃机,除特别注明外,均指四冲程内燃机,并简称为发动机。

## 第三节 内燃机总体构造

由于内燃机的基本原理相似,主要构造也就大同小异。就内燃机的总体构造而言,都是由机体组、曲柄连杆机构、配气机构、燃油系统、润滑系统、冷却系统及起动系统等组成。汽油机还要有点火系统。如为增压发动机,则还要有增压系统。

图1-10所示为CA6102汽油机的结构图。