



中等职业教育
汽车类教材

汽车发动机

任 东 主 编

刘贵森 副主编



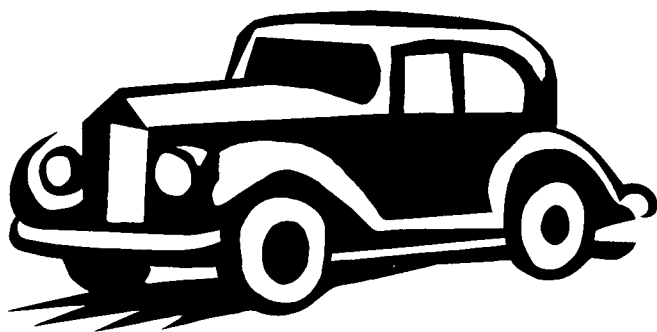
机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



中等职业教育教材

汽车发动机

主 编 任 东
副主编 刘贵森



机械工业出版社

本书以桑塔纳、奥迪轿车及解放、东风载货汽车为例,详细介绍了汽车发动机的结构、工作原理、拆装方法、检测维修及故障排除。内容包括汽车发动机总体构造及工作原理、曲柄连杆机构、配气机构、化油器式汽油机燃料供给系、电控燃油喷射式汽油机燃料供给系、柴油机燃料供给系、内燃机增压技术简介、内燃机的排气净化、润滑系、冷却系、发动机的总装与试验等。

本书根据最新资料编写,充分体现了理实一体化,内容丰富,可作为中等职业学校汽车专业理实一体化教学用书,也可供汽车维修技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

汽车发动机/任东主编. —北京:机械工业出版社, 2003.5
中等职业教育汽车类教材
ISBN 7-111-12181-3

I. 汽… II. 任… III. 汽车—发动机—专业学校—教材
IV. U464

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 037349 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 朱 华

责任编辑: 朱 华 版式设计: 张世琴 责任校对: 樊钟英

封面设计: 姚 毅 责任印制: 付方敏

北京中加印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2003 年 7 月第 1 版·第 1 次印刷

890mm × 1240mm A5·13.125 印张·386 千字

0 001—5 000 册

定价: 24.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、88379690

封面无防伪标均为盗版

编委会名单

主 任	陈凤箴			
副 主 任	张吉国	王海兴	王作发	邢同学
	王忠福			
委 员	沃 森	葛秀文	张子波	林为群
	刘长江	曹 莹	陈盛勇	马建华
	杨桂玲	肖锡洲	方国强	
秘 书 长	张凯良			
本 书 主 编	任 东			
本书副主编	刘贵森			
本 书 参 编	孟宪沐	郭忠菊	王军方	李 梅
	杜以波	隋礼辉		
本 书 主 审	王海兴	林为群		

前 言

本套教材是为适应 21 世纪我国的经济发展和交通运输现代化建设的发展,进一步提高交通行业从业人员的素质,满足在交通中等职业技术教育中,实施素质教育的教学改革而编写的。

交通中等职业技术教育是为交通行业培养中级技术工人和中等专业技术人员的一个十分重要的办学层次,它对我国交通运输事业的发展有着直接的影响。近 10 年来,为深化教学改革,提高教学质量,全面推进素质教育。在教材建设方面,我们进行了积极的探索和尝试,先后组织考察了美国、德国、日本等发达国家的职业技术教育;在大量调研,认真总结 MES、“理实一体化”教改试点经验的基础上,从我国的国情出发,借鉴国外交通职业技术教育的先进经验,组织编写了中等职业教育汽车类教材,第一批编写了《机械识图》、《机械识图习题册》、《汽车技术基础》、《汽车发动机》、《汽车底盘》、《汽车电器》、《汽车车身》、《汽车应用电子技术》等教材,以满足社会需要。

本套教材是依据国家劳动和社会保障部颁发的《国家职业标准》中汽车修理工(初、中级部分)“职业技术鉴定规范”和教育部颁发的“中等职业学校汽车运用与维修专业教学计划与教学大纲”等教学文件的要求,按初中毕业 3 年制(总学时 2000~2400)兼顾高中毕业 1 年制(总学时 700~800)的交通中等职业教育教学计划编写的。

本套教材的主要特点是:

1. 在紧紧把握交通中等职业技术教育培养目标的同时,考虑当前及今后招收学生的文化程度和理解能力,基础理论以应用为目标,以必需、够用为度,克服偏深、偏多、偏难的现象,以讲清概念,强化应用为重点。专业课加强了针对性和实用性,强化了实例教学。在教学层面上注重了与高职教材的相互衔接,以满足部分学生升入高职继续学习的需要。

2. 教材以汽车维修实际工作岗位操作技能为主线,在体例上打

破了传统的写法，以汽车组成来分册，按单元、课题的形式编写。从形式上体现了学习领域教学法的特点，并保证了每本教材的内容安排和体系相互衔接，可根据教学特点进行选择。在内容上更加突出了基础理论知识、操作技能为核心技能服务，将“理论知识”和“操作技能”有机地融为一体，通过工作实例，强化“应知”、“应会”，形成本套教材的一个新的特色。

3. 选材先进。本套教材所选的车型都是最近几年出厂的轿车、客车和货车，教材中介绍的操作工具都是最先进的，讲述的内容包含了现代汽车的新技术、新材料、新工艺、新观念，充分体现了我国21世纪汽车的发展方向。教材详细地介绍了汽车拆卸、分解、装配、检查、维护、修理、调整、故障诊断与排除等实用技术，重点突出，可以起到举一反三的作用。

4. 教材图文并茂，通俗易懂，只需有初中文化基础即可阅读，既可作为中等职业学校的教材，也可作为汽车修理工、中级技术人员培训和自学用书。同时也可作为相关专业师生的教学参考书。

本套教材是由天津、辽宁、内蒙、山东等八所交通职业技术学院和国家重点技工学校，组织在汽车使用维修方面长期从事教学工作的教授、高级工程师、高级讲师编写的。他们业务功底扎实，教学经验丰富，从而保证了教材质量。在教材编写中参考了大量国内外有关的专业技术资料，并得到了机械工业出版社的大力支持。在此，谨向为编写本套教材付出艰辛劳动的全体人员表示衷心的感谢。

本套教材中难免存在不足和问题，诚恳希望各位专家、读者批评指正，以便今后修订，逐步完善。

中等职业教育汽车类教材编委会

目 录

前 言

单元 1 汽车发动机总体构造及工作原理	1
课题 1 汽车发动机概述及常用术语	1
课题 2 内燃机基本工作原理	3
课题 3 内燃机总体构造	10
课题 4 内燃机类型及型号编制规则	13
单元 2 曲柄连杆机构	17
课题 1 机体组	18
课题 2 活塞连杆组	41
课题 3 曲轴飞轮组	73
课题 4 内燃机的支撑	93
课题 5 综合故障诊断与排除	94
单元 3 配气机构	100
课题 1 气门组	101
课题 2 气门传动组	117
课题 3 配气相位	136
课题 4 综合故障诊断与排除	141
单元 4 化油器式汽油机燃料供给系	146
课题 1 汽油供给装置	149
课题 2 空气供给装置	160
课题 3 可燃混合气与发动机工况	163
课题 4 混合气形成装置	166

课题 5 可燃混合气供给及废气排出装置	185
课题 6 综合故障诊断与排除	187
单元 5 电控燃油喷射式汽油机燃料供给系	203
课题 1 概述	203
课题 2 燃油供给系统	206
课题 3 空气供给系统	209
课题 4 电子控制系统	215
单元 6 柴油机燃料供给系	220
课题 1 柴油机混合气的形成与燃烧室	220
课题 2 喷油器	226
课题 3 喷油泵	237
课题 4 调速器	271
课题 5 输油泵	287
课题 6 联轴器与供油提前角调节装置	292
课题 7 综合故障诊断与排除	297
单元 7 内燃机增压技术简介	306
课题 1 概述	306
课题 2 废气涡轮增压器	307
课题 3 综合故障诊断与排除	309
单元 8 内燃机的排气净化	312
课题 1 内燃机的排气污染	312
课题 2 汽油机的排气净化	313
课题 3 柴油机的排气净化	324
单元 9 润滑系	326
课题 1 润滑系油路	329
课题 2 润滑系主要部件	332
课题 3 综合故障诊断与排除	349

单元 10 冷却系	356
课题 1 水冷却系	356
课题 2 综合故障诊断与排除	378
单元 11 发动机装合与试验	382
课题 1 发动机装配	382
课题 2 发动机的磨合与试验	394
课题 3 发动机综合故障诊断与排除	399
参考文献	409

单元 1 汽车发动机总体构造及工作原理

课题 1 汽车发动机概述及常用术语

一、概述

发动机是将某种形式的能量转换为机械能的机器。把燃料燃烧的热能转变为机械能的发动机称为热力发动机。

热力发动机可分为外燃机和内燃机。燃料燃烧的热能通过其他介质转变为机械能的称为外燃机，如蒸汽机；燃料燃烧的热能直接转变为机械能的称为内燃机，如汽油机和柴油机。内燃机具有热效率高、结构紧凑、体积小、维修方便、起动性好等优点。

内燃机按活塞运动形式的不同，可分为往复活塞式内燃机和转子式内燃机。往复活塞式内燃机工作时燃料燃烧的气体压力推动活塞做往复直线运动，利用曲柄连杆机构将活塞的直线运动转化为曲轴的旋转运动。转子式内燃机工作时，相当于活塞的三角形转子在蚕形壳体内作偏心回转运动，直接将燃料燃烧的膨胀力转化为内燃机的输出转矩。往复活塞式内燃机以技术先进，可靠性高而在汽车上被广泛使用。

二、常用术语

如图 1-1 所示，发动机的常用术语有：

(1) 上止点——活塞往复运动时，

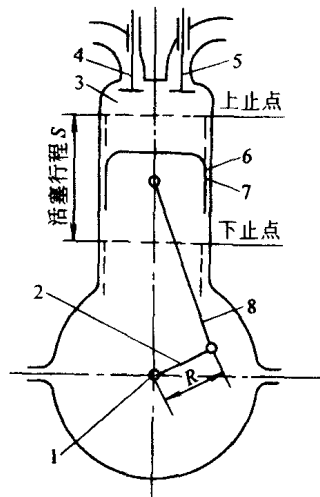


图 1-1 发动机的基本术语和参数

1—曲轴旋转中心 2—曲柄 3—燃烧室 4—进气门 5—排气门
6—气缸 7—活塞 8—连杆

其顶面离曲轴回转中心最远时的位置。

(2) 下止点——活塞往复运动时，其顶面离曲轴回转中心最近时的位置。

(3) 活塞行程——活塞运行的上、下两个止点之间的距离，用 S (单位：mm) 表示。

(4) 活塞冲程——活塞运行时由一个止点到另一个止点的运动过程。

(5) 曲柄半径——曲轴上的主轴颈中心线到连杆轴颈中心线的垂直距离，用 R (单位：mm) 表示。当气缸轴线通过曲轴的回转中心时， $S = 2R$ 。

(6) 气缸工作容积——活塞从上止点到下止点所扫过的容积，即活塞面积与行程的乘积，用 V_h (单位：L) 表示。

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

式中 V_h ——气缸工作容积 (L)；

D ——气缸直径 (mm)；

S ——活塞行程 (mm)。

发动机工作容积——多缸发动机各气缸工作容积的总和，也叫发动机排量，用 V_L (单位：L) 表示。

$$V_L = V_h i = \frac{\pi D^2}{4 \times 10^6} S i$$

式中 V_L ——发动机工作容积 (L)；

i ——气缸数。

(7) 燃烧室容积——活塞在上止点时活塞顶面所封闭的气缸容积，它是气缸的最小容积，用 V_c (单位：L) 表示。

(8) 气缸总容积——活塞在下止点时活塞顶面所封闭的气缸容积，它是气缸的最大容积，用 V_a (单位：L) 表示。 $V_a = V_h + V_c$ 。

(9) 压缩比——气缸总容积与燃烧室容积的比值，用 ϵ 表示

$$\epsilon = \frac{V_a}{V_c} = \frac{V_h + V_c}{V_c} = 1 + \frac{V_h}{V_c}$$

压缩比表示活塞由下止点移动到上止点时气缸内的气体被压缩的

程度，或者说体积缩小的倍数。压缩比越大，燃烧后产生的压力则越大。现代车用汽油机的压缩比一般为 $6 \sim 10$ ；柴油机的压缩比一般为 $16 \sim 22$ 。

(10) 工作循环——在发动机内进行的每一次将燃料燃烧的热能转化为机械能的一系列连续过程。

课题 2 内燃机基本工作原理

发动机的作用就是将燃料燃烧的热能转换为机械能，从而输出动力。其能量的转换是通过不断地依次反复进行“进气→压缩→做功→排气”四个连续过程来实现的，每进行一次这样的连续过程叫一个工作循环。

四冲程和二冲程汽油机和柴油机的工作循环如下。

一、四冲程汽油机的工作原理

(一) 四冲程汽油机的工作原理

四冲程汽油机的工作循环包括进气、压缩、做功和排气四个冲程。图 1-2 为单缸四冲程汽油机工作循环示意图。

1. 进气冲程

进气门打开，排气门关闭，曲轴带动活塞由上止点向下止点运动（图 1-2a）。活塞移动过程中气缸内容积逐渐增大，形成一定真空度，于是经过滤清的空气与汽油混合成可燃混合气，通过进气门被吸入气缸。活塞到达下止点时，进气门关闭，进气冲程结束。

进气冲程结束时，由于进气过程中化油器、进气管、进气门等有进气阻力，气缸内压力低于大气压力，约为 $75 \sim 90\text{kPa}$ ；由于气缸、活塞等高温机件及上一循环残余废气的加热，气体温度约为 $370 \sim 440\text{K}$ 。

2. 压缩冲程

进、排气门均关闭，活塞在曲轴带动下，从下止点向上止点运动（图 1-2b），气缸内容积逐渐减小，可燃混合气被压缩，活塞到达上止点时，压缩冲程结束。

在压缩冲程中，气体压力和温度升高，可燃混合气进一步均匀混

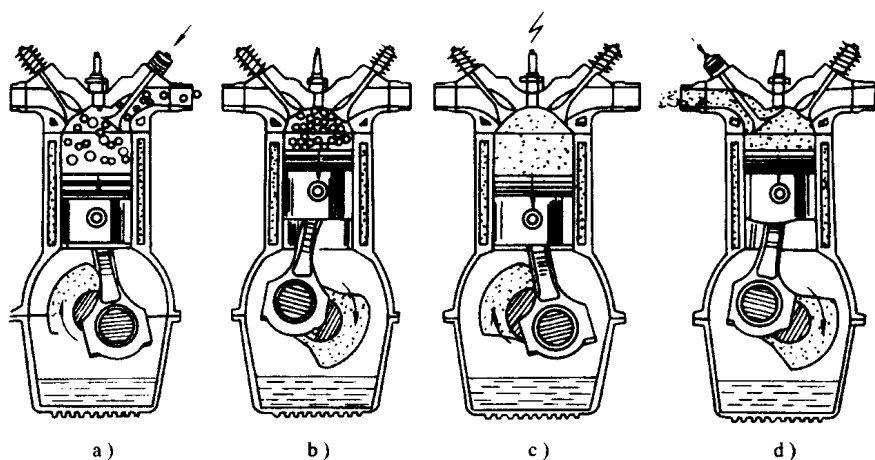


图 1-2 四冲程汽油机工作循环

a) 进气 b) 压缩 c) 做功 d) 排气

合，压缩终了时，气缸内的压力约为 $600 \sim 1500 \text{ kPa}$ ，温度约为 $600 \sim 800 \text{ K}$ ，远高于汽油的点燃温度（约 263 K ）。

3. 做功冲程

进、排气门均关闭。在压缩冲程末，火花塞产生电火花点燃可燃混合气，并迅速燃烧，使气体的温度、压力迅速升高而膨胀，推动活塞从上止点向下止点运动，再通过连杆驱动曲轴对外做功，活塞到达下止点时做功冲程结束（图 1-2c）。

在做功冲程的开始阶段，气缸内气体压力、温度急剧上升，瞬时压力可达 $3 \sim 5 \text{ MPa}$ ，瞬时温度可达 $2200 \sim 2800 \text{ K}$ ，随着活塞下移，压力、温度下降，做功冲程终了时压力为 $300 \sim 500 \text{ kPa}$ ，温度降至 $1500 \sim 1700 \text{ K}$ 。

4. 排气冲程

做功冲程终了时，排气门打开，进气门关闭，曲轴通过连杆推动活塞从下止点向上止点运动（图 1-2d）。废气在自身压力和活塞推动作用下，经排气门被排出气缸，活塞到达上止点，排气门关闭，排气冲程结束。

排气冲程终了时，由于燃烧室占有一定容积，气缸内还存有少量

残余废气，气体压力也因排气门和排气管的阻力而仍高于大气压力。此时，压力约为 $105 \sim 125\text{kPa}$ ，温度约为 $900 \sim 1200\text{K}$ 。

排气冲程结束后，排气门关闭，同时进气门再次开启，开始下一个工作循环。

(二) 爆燃燃烧与表面点火

压缩比过高时，会导致爆燃燃烧与表面点火异常燃烧现象的出现。

1. 爆燃燃烧

爆燃燃烧简称爆燃，是由于气体压力和温度过高，在燃烧室内离点燃中心较远处的末端可燃混合气自燃造成的一种不正常的燃烧。爆燃时，火焰以极高的速率向外传播，甚至在气体来不及膨胀的情况下，温度和压力急剧升高，形成压力波撞击燃烧室壁，发出尖锐的敲击声，同时引起发动机过热，功率下降，油耗增加，磨损加剧，甚至造成机件损坏。

目前，防止爆燃的主要措施是采用合理的压缩比，使用较高牌号的汽油和设计更合理的燃烧室等。

2. 表面点火

表面点火是由燃烧室内的炽热点或炽热表面（如排气门头、火花塞电极处、积炭处等）将混合气点燃的异常燃烧现象。表面点火一般发生在正常电火花之前，故又称早火或早燃。是高压压缩比发动机产生的另一种不正常的燃烧现象。产生表面点火时也伴随有强烈的敲击声（较沉闷），发动机的寿命和可靠性均受影响。

(三) 四冲程汽油机工作特点

通过上述四冲程汽油机工作循环的分析可知，四冲程汽油机具有以下工作特点：

(1) 每个工作循环中曲轴旋转两周（ 720° ），活塞上下往复运行四个单程，进、排气门各开启一次。

(2) 四个冲程中，只有做功冲程是有效冲程，其余都是辅助冲程，靠消耗飞轮储备的能量来完成。

(3) 可燃混合气是利用电火花点燃的。

(4) 发动机起动必须有外力将曲轴转动。

二、四冲程柴油机的工作原理

四冲程柴油机和四冲程汽油机一样，每个工作循环也要经历进气、压缩、做功、排气四个冲程。但由于柴油机用的燃料是柴油，其粘度大，蒸发性差，而自燃温度却比汽油低（汽油的自燃温度约为 653K，柴油的自燃温度约为 473 ~ 573K），因此，柴油机在可燃混合气的形成及着火方式等方面与汽油机有较大的区别。

（一）四冲程柴油机的工作原理

1. 进气冲程

进气冲程如图 1-3a 所示，它不同于汽油机的是进入气缸的不是可燃混合气，而是纯空气。由于进气阻力比较小，上一冲程残留的废气温度比较低等原因，进气终了的压力约为 80 ~ 95kPa，温度约为 320 ~ 350K。

2. 压缩冲程

压缩冲程如图 1-3b 所示。柴油机压缩的是纯空气，且由于柴油机压缩比大，压缩终了的温度和压力都比汽油机高，压力可达 3 ~ 5MPa，温度可达 800 ~ 1000K。

3. 做功冲程

做功冲程如图 1-3c 所示。压缩冲程接近终了时，喷油泵将高压柴油经喷油器呈雾状喷入气缸，与压缩后的空气混合，形成可燃混合气。此时气缸内的温度远高于柴油的自燃温度，柴油便自行着火燃烧，气缸内温度压力急剧升高，瞬时压力可达 5 ~ 10MPa，瞬时温度可达 1530 ~ 1930K。在高压气体推动下，活塞下行并带动曲轴旋转。作功冲程终了时压力约为 200 ~ 400kPa，温度约为 1200 ~ 1500K。

4. 排气冲程

排气冲程如图 1-3d 所示。与汽油机排气冲程基本相同。排气终了气缸内压力约为 105 ~ 125kPa，温度约为 800 ~ 1000K。

（二）四冲程汽油机与柴油机的比较

汽油机与柴油机工作循环的基本内容相似，但不完全相同，主要区别是：

- （1）所用燃料不同。
- （2）混合气形成方式不同。汽油机的燃油和空气在气缸外混合，

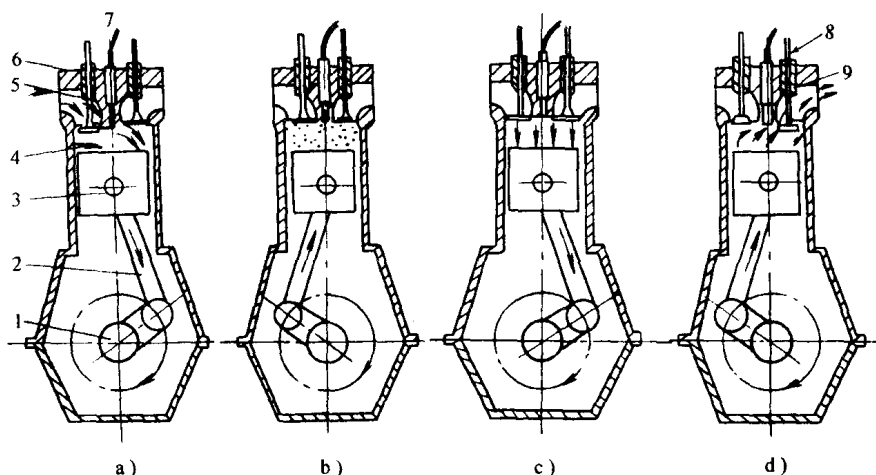


图 1-3 四冲程柴油机工作循环

a) 进气 b) 压缩 c) 做功 d) 排气

1—曲轴 2—连杆 3—活塞 4—气缸 5—进气道

6—进气门 7—喷油器 8—排气门 9—排气道

进气冲程进入气缸的是可燃混合气，而柴油机进气冲程进入气缸的是纯空气，燃油是在作功冲程开始阶段喷入气缸，在气缸内形成可燃混合气。

(3) 压缩比不同。

(4) 着火方式不同。汽油机靠电火花点燃可燃混合气，而柴油机是用高压将柴油喷入气缸内，靠高温空气加热自行着火燃烧。汽油机在结构上需有一个专门的点火系，而柴油机则没有。

三、二冲程发动机工作原理

二冲程发动机是在活塞上下运动二个行程，曲轴旋转一周内完成一个工作循环的。其工作循环也包括进气、压缩、做功和排气四个过程。

(一) 二冲程汽油机工作原理

1. 第一冲程——进气、压缩冲程

活塞在曲轴的带动下由下止点向上止点移动，当活塞将换气孔、排气孔、进气孔都关闭时，如图 1-4a，活塞开始压缩其上方在上一

循环即已进入气缸的可燃混合气。同时在活塞的下方因活塞让出空间而形成负压（这种发动机的曲轴箱必须是密封的），活塞继续上行，进气孔开启后（图 1-4b），来自化油器的可燃混合气被吸入曲轴箱内。活塞到达上止点，完成进气、压缩两个过程。

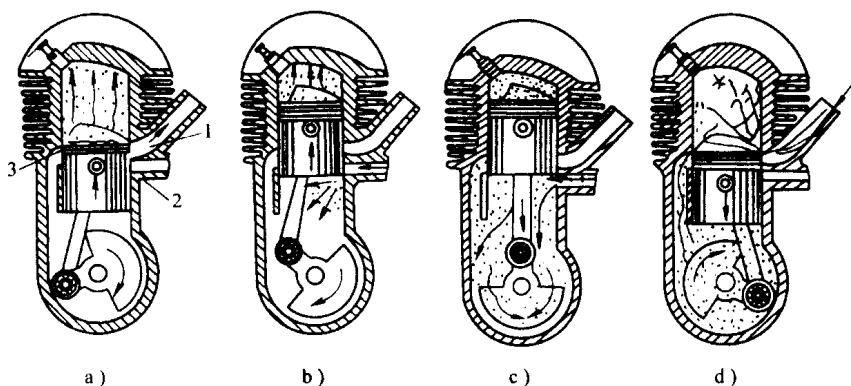


图 1-4 二冲程汽油机工作循环

a) 进气 b) 压缩 c) 做功 d) 排气

1—排气孔 2—进气孔 3—换气孔

2. 第二冲程——做功、排气冲程

活塞接近上止点时（图 1-4c），火花塞产生电火花，点燃被压缩的可燃混合气，燃烧后产生高温、高压气体，推动活塞向下止点运动做功。当活塞下行到关闭进气孔后，活塞下方曲轴箱内的可燃混合气被预压。当活塞下行到排气孔开启时（图 1-4d），废气靠自身压力经排气孔排出。活塞再稍许下降，换气孔露出，曲轴箱内预压的可燃混合气经换气孔进入气缸，并驱除废气，这一过程称为换气过程，它一直延续至下一冲程活塞再上行到关闭换气孔和排气孔为止。

二冲程活塞做成特殊形状，使新鲜可燃混合气的气流引向上部，这样既可防止新鲜混合气大量地混入废气，随废气一起排出气缸污染环境造成浪费，又可驱除废气，使排气更为彻底。但要完全避免可燃混合气随废气排出，是不可能的。

（二）二冲程柴油机工作原理

二冲程柴油机的工作循环与二冲程汽油机的工作循环相似，所不