

汽车发动机构造

AUTOMOTIVE ENGINE CONSTRUCTION

张俊红 主 编
张纪元 高文志 副主编



 天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

汽车发动机构造

张俊红 主编

张纪元 高文志 副主编



内 容 提 要

本书全面系统地阐述了汽车发动机的构造和工作原理,尤其对现代汽车发动机的新技术、新结构、新材料作了较详细阐述,如电子控制燃油喷射系统、微机控制点火系和可变配气定时等。本书具有实用性强、涉及面广、图文并茂、深入浅出等特点。

该书可作为汽车工程类、动力工程类本科生教材,也可作为汽车发动机行业工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

汽车发动机构造/张俊红主编. —天津:天津大学出版社, 2006.4

ISBN 7-5618-2259-6

I. 内... II. 张... III. 汽车-发动机-构造 IV. U464

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 020799 号

组稿编辑 尚丽娜

责任编辑 尚丽娜

装帧设计 谷英卉

技术设计 郭 婷

出版发行 天津大学出版社

出 版 人 杨欢

地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内 (邮编: 300072)

电 话 发行部: 022—27403647 邮购部: 022—27402742

印 刷 昌黎太阳红彩色印刷有限责任公司

经 销 全国各地新华书店

开 本 185mm × 260mm

印 张 21.5 彩插 4

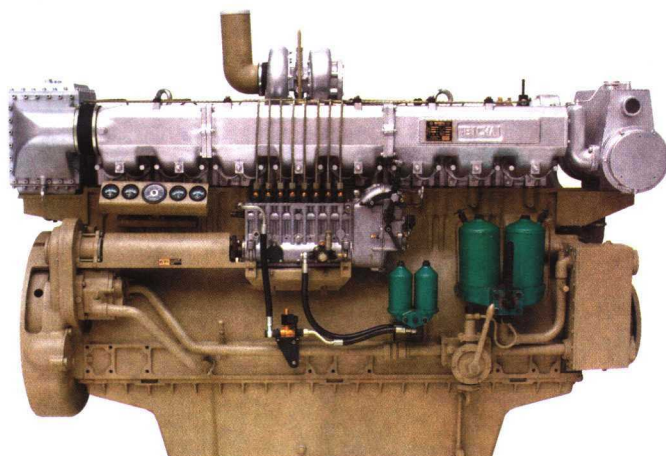
字 数 551 千

版 次 2006 年 4 月第 1 版

印 次 2006 年 4 月第 1 次

印 数 1—3 000

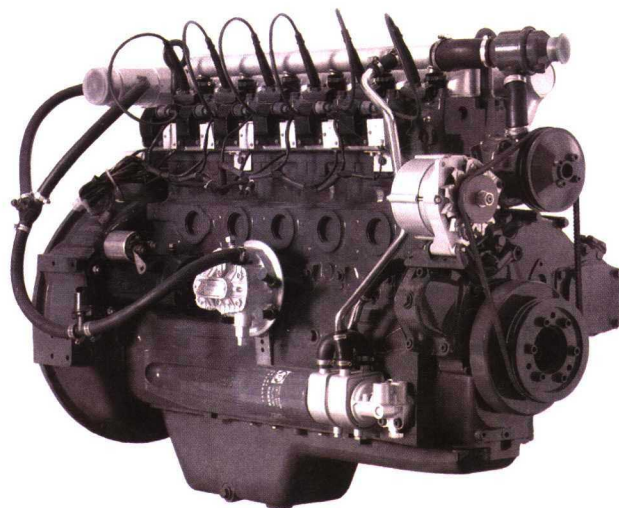
定 价 36.00 元



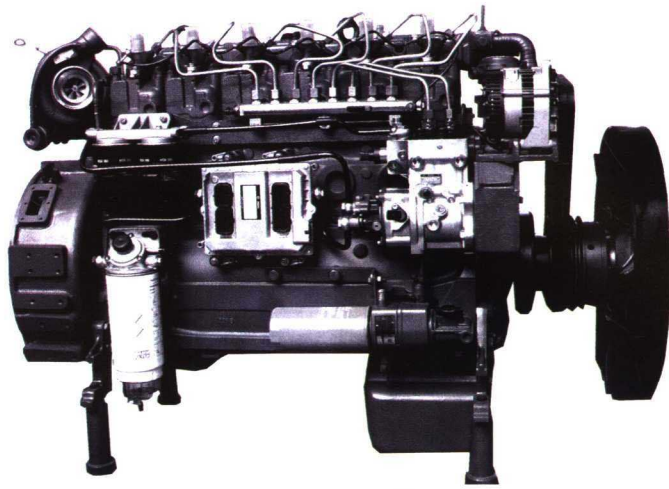
8170 船用柴油机



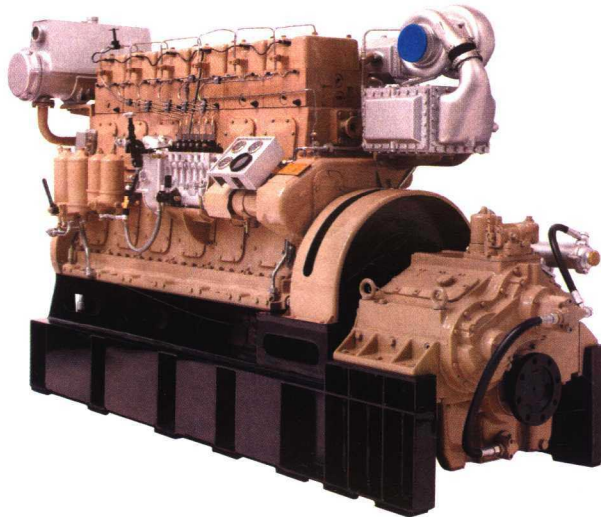
蓝擎WP10/12欧III柴油机



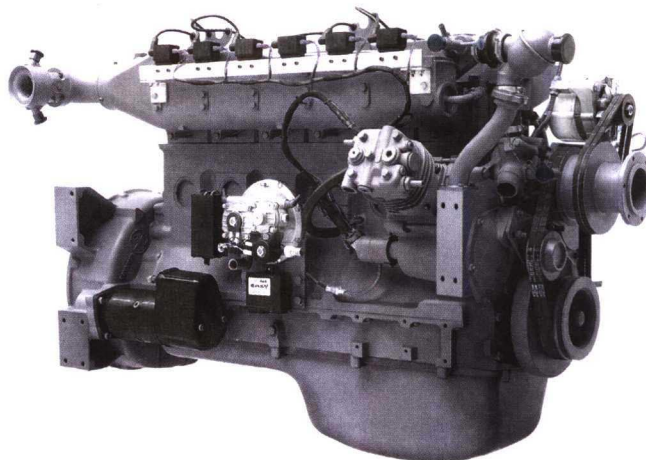
226B-LPG客车发动机



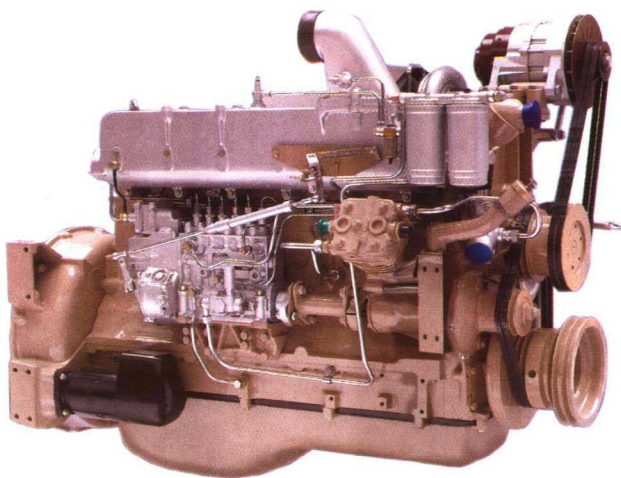
WP6欧III柴油机



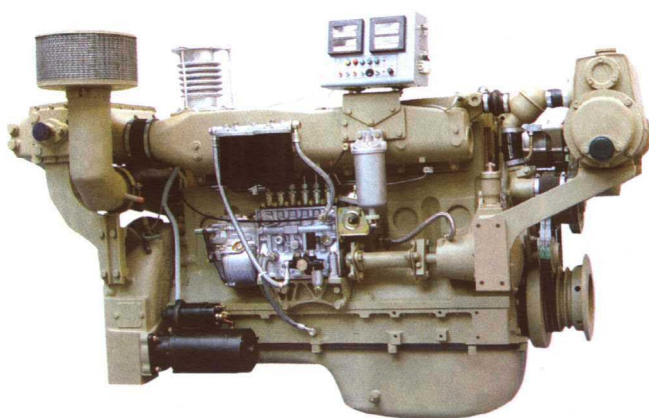
6160船用机组



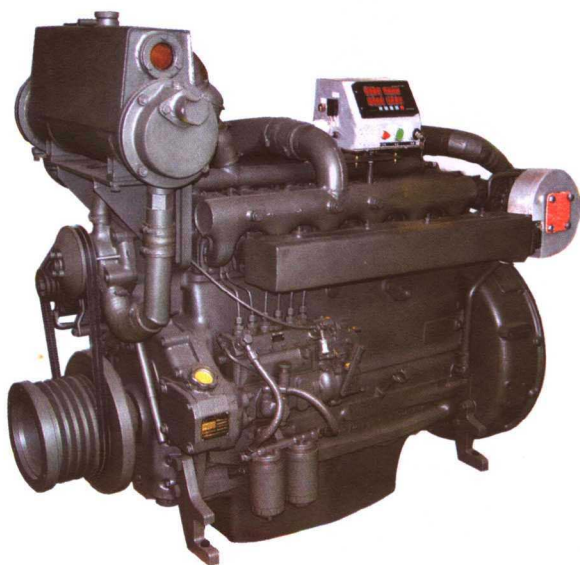
WT15-CNG发动机



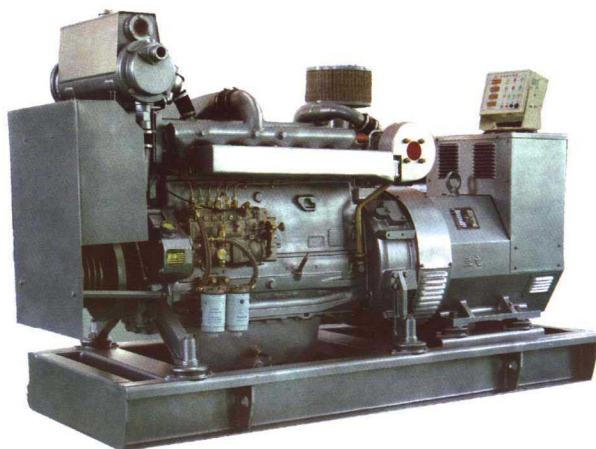
WD615客车柴油机



WD615C船用柴油机



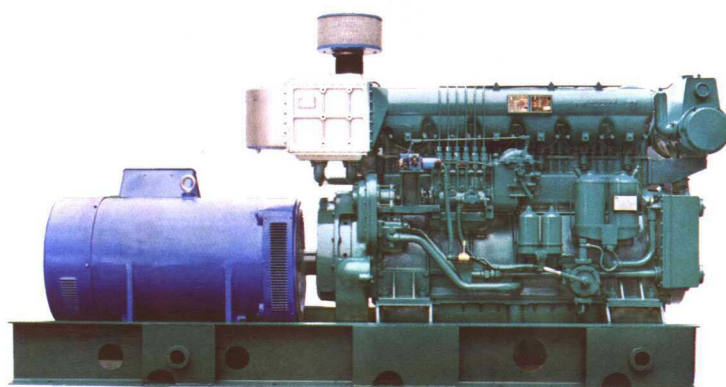
226B船用柴油机



226B船用机组



CW200ZC柴油机



6170船用机组

前 言

近年来,随着汽车工业的发展,汽车的动力性、经济性、安全性、舒适性以及排放性有了很大的提高,大量的新技术、新材料、新工艺在汽车上广泛应用。为了满足日益发展的汽车技术的要求,我们编写了《汽车发动机构造》一书。

本书以中小型汽油机、柴油机为主,系统地阐述了汽车发动机及各个系统、机构的基本构造和工作原理。尤其对现代汽车发动机的新技术、新结构、新材料作了较详细阐述,如电子控制燃油喷射系统、微机控制点火系、可变配气定时、柴油机的电控和高压共轨技术等进行了系统介绍。本书具有实用性强、涉及面广、图文并茂、深入浅出等特点。

该书可作为汽车工程类、动力工程类本科生教材,也可作为汽车发动机行业工程技术人员的参考书。该书是一门实践性较强的、理论与实践相结合的专业教材。通过这门课程的学习,可使学生对汽车发动机的基本工作原理和构造有一个较全面的认识。

本书由张俊红任主编,张纪元、高文志任副主编。参编人员有孙健、饶里和葛红。

本书在编写过程中得到潍坊柴油机动力股份有限公司的大力支持和帮助,在此致以深切的谢意。

全书在编写过程中参考了大量的著作、资料、样本和说明书,在此向有关作者、编者表示真诚的感谢。

由于编者水平所限,书中难免有不妥和错漏之处,恳请读者批评指正。

编 者

2005年12月

目 录

第1章 汽车发动机的总体构造和工作原理	(1)
1.1 内燃机的分类	(1)
1.2 内燃机的基本结构及术语	(2)
1.3 四冲程发动机工作原理	(3)
1.4 二冲程发动机工作原理	(7)
1.5 发动机的总体构造	(10)
1.6 发动机的性能指标	(16)
1.7 内燃机型号编制规则	(20)
思考题	(21)
第2章 曲柄连杆机构与机体组	(23)
2.1 曲柄连杆机构的运动与受力	(23)
2.2 机体组	(26)
2.3 曲柄连杆机构	(38)
思考题	(70)
第3章 配气机构	(71)
3.1 概述	(71)
3.2 气门间隙	(75)
3.3 配气相位	(76)
3.4 配气机构主要零部件	(77)
3.5 可变配气系统	(86)
思考题	(89)
第4章 汽油机的燃油供给与燃烧	(91)
4.1 汽油机混合气的形成及燃烧过程	(91)
4.2 汽油机燃烧室	(97)
4.3 化油器式燃油系统的组成	(100)
4.4 汽油机各种工况对混合气成分的要求	(105)
4.5 化油器构造	(110)
思考题	(125)
第5章 电控汽油喷射系统	(126)
5.1 概述	(126)
5.2 电控汽油机空气供给系统	(132)
5.3 电控汽油机燃油供给系统	(139)
5.4 电控汽油机电子控制系统	(145)
思考题	(158)
第6章 柴油机的燃料供给与燃烧	(159)
6.1 柴油机混合气的形式	(159)
6.2 柴油机燃料供给系统组成	(165)
6.3 喷油泵	(169)
6.4 分配式喷油泵	(179)

6.5	调速器	(184)
6.6	喷油器及燃油喷射	(194)
6.7	电控柴油喷射系统	(198)
	思考题	(206)
第7章	进排气系统及排气净化装置	(207)
7.1	进气系统	(207)
7.2	排气系统	(212)
7.3	汽油蒸发控制系统	(224)
	思考题	(227)
第8章	内燃机的增压	(228)
8.1	内燃机增压的基本概念	(228)
8.2	废气涡轮增压器	(231)
8.3	废气涡轮增压系统的选择	(236)
8.4	增压内燃机的性能	(239)
8.5	汽油机增压技术	(243)
	思考题	(248)
第9章	发动机的冷却系	(249)
9.1	冷却系的功用及组成	(249)
9.2	水冷系统主要部件的构造	(252)
9.3	风冷发动机的冷却系	(261)
	思考题	(263)
第10章	发动机润滑系统	(264)
10.1	润滑系统的功用及润滑方式	(264)
10.2	润滑剂	(264)
10.3	润滑油路	(267)
10.4	润滑系统的主要部件	(271)
10.5	曲轴箱通风	(277)
	思考题	(279)
第11章	汽油机点火系	(280)
11.1	传统点火系统的组成和工作原理	(280)
11.2	电源设备	(285)
11.3	传统点火系统的元件	(291)
11.4	半导体点火系统	(302)
11.5	电容放电无触点磁电机点火系	(310)
11.6	微机控制点火系	(313)
	思考题	(317)
第12章	发动机的起动系统	(319)
12.1	起动方式和起动条件	(319)
12.2	发动机的起动装置	(319)
12.3	柴油机的起动辅助装置	(333)
	思考题	(337)

第1章 汽车发动机的总体构造和工作原理

1.1 内燃机的分类

把燃料燃烧时所放出的热能转换成机械能的机器称为热机。热机可分为外燃机和内燃机两大类。燃料燃烧的热能通过其他介质转变为机械能者称为外燃机，如蒸汽机和汽轮机等；燃料在发动机气缸内部进行燃烧，介质被加热并膨胀做功，直接将所含的热能转变为机械能者称为内燃机，如汽油机、柴油机、煤气机和燃气轮机等，其中以汽油机和柴油机应用最为广泛，通常所说的内燃机多是指这两种发动机。

内燃机按其主要运动机构的不同，分为往复式活塞式内燃机和旋转活塞式内燃机两大类，其中往复式活塞式内燃机在数量上占统治地位。所谓旋转活塞式内燃机是20世纪50年代才出现的新型发动机，它没有往复式活塞式内燃机的往复运动机构和气门机构，结构简单，体积小，重量轻，转速高，单位气缸容积的有效功率大，振动小，运转平稳，而且制造成本低。世界上一些工业发达国家经过长期的研究试制工作，已小批量投入生产，主要用于高速场合，如小客车、竞赛汽车、赛艇、小型飞机和小型军用发电机组等方面。我国对这种发动机也进行了大量的研制工作，并取得了一定的成果。由于旋转活塞式内燃机还存在着不少问题，所以目前尚未普遍应用。

常用的往复式活塞式内燃机分类方法如下：

- ①按燃料分类，有柴油机、汽油机、煤气（包括各种代用燃料）机等。
- ②按一个工作循环的行程数分类，有四冲程内燃机、二冲程内燃机。
- ③按燃料着火方式分类，有压燃式内燃机、点燃式内燃机。
- ④按冷却方式分类，有水冷式内燃机、风冷式内燃机。
- ⑤按进气方式分类，有自然吸气式内燃机、增压式内燃机。
- ⑥按气缸数目分类，有单缸内燃机、多缸内燃机。
- ⑦按气缸排列分类，有直列式内燃机、V型内燃机、卧式内燃机、对置气缸内燃机等，如图1-1所示。
- ⑧按转速或活塞平均速度分类，有高速内燃机（标定转速高于1000 r/min或活塞平均速度高于9 m/s）；中速内燃机（标定转速600~1000 r/min或活塞平均速度6~9 m/s）；低速内燃机（标定转速低于600 r/min或活塞平均速度低于6 m/s）。
- ⑨按用途分类，有农用、汽车用、工程机械用、拖拉机用、铁路机车用、船用及发电用等内燃机。

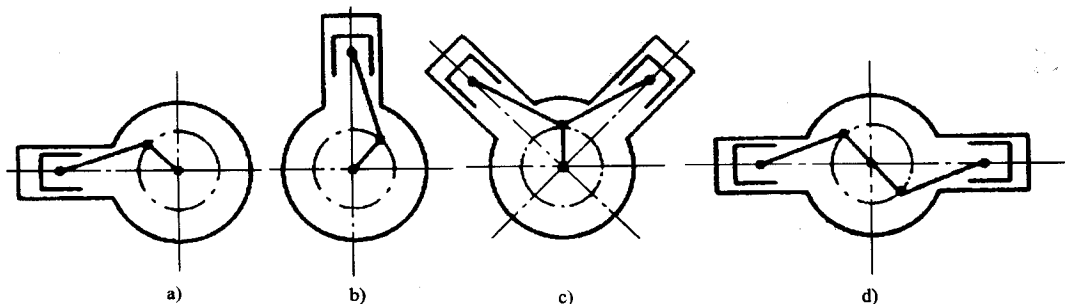


图 1-1 气缸排列形式
a) 卧式; b) 直立式; c) V型; d) 对置式

1.2 内燃机的基本结构及术语

1.2.1 基本结构

单缸往复式活塞式内燃机结构(图 1-2)主要由排气门 1、进气门 2、气缸盖 3、气缸 4、活塞 5、活塞销 6、连杆 7 和曲轴 8 等组成。气缸 4 内装有活塞 5, 活塞通过活塞销 6、连杆 7 与曲轴 8 相连接。活塞在气缸内作上下往复运动, 通过连杆推动曲轴转动。为了吸入新鲜空气和排出废气, 在气缸盖上设有进气门 2 和排气门 1。

1.2.2 基本术语

1. 上止点、下止点及活塞行程

从图 1-2 中可以看出活塞在气缸中上下移动一个行程, 曲轴旋转一周。活塞顶端离曲轴旋转中心最远处称为上止点。活塞顶端离曲轴中心最近处称为下止点。上、下止点间的距离 S 称为活塞行程。连杆轴颈中心到曲轴轴颈中心的距离 R 称为曲柄半径。对于气缸中心线通过曲轴中心线的内燃机, 其活塞行程等于曲柄半径的两倍, 即 $S = 2R$ 。

2. 气缸工作容积

上、下止点所包容的气缸容积称为气缸工作容积, 用 V_s 表示(单位:L), 即

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

式中 D ——气缸直径, mm;

S ——活塞行程, mm。

3. 内燃机排量

内燃机所有气缸工作容积的总和称为内燃机排量, 用 V_L 表示, 即

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

式中 i ——气缸数;

V_s ——气缸工作容积, L。

内燃机排量表示内燃机的做功能力, 在内燃机其他参数相同的前提下, 内燃机排量越

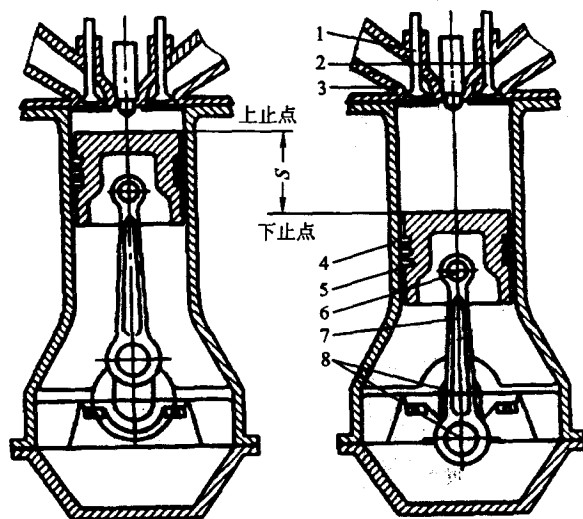


图 1-2 往复式内燃机

1—排气门；2—进气门；3—气缸盖；4—气缸；5—活塞；6—活塞销；7—连杆；8—曲轴

大，内燃机发出的功率就越大。

4. 燃烧室容积

活塞位于上止点时的气缸容积称为燃烧室容积，也称压缩容积，用 V_c 表示。

5. 气缸总容积

气缸工作容积与燃烧室容积之和称为气缸总容积，用 V_a 表示，即

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

6. 压缩比

气缸总容积与燃烧室容积之比称为压缩比，用 ϵ 表示，即

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

压缩比表示气缸中气体被压缩的程度。

7. 工况

内燃机在某一时刻的运行状况称为工况，它以该时刻内燃机输出的有效功率或转矩及其相应的曲轴转速表示。

1.3 四冲程发动机工作原理

1.3.1 四冲程汽油机工作原理

四冲程往复式汽油机在四个活塞行程内完成进气、压缩、做功和排气等过程，即在一个活塞行程内只进行一个过程。因此，活塞行程可分别用四个过程命名。

1. 进气行程

如图 1-3a) 所示，活塞在曲轴的带动下由上止点移至下止点，此时排气门关闭，进气

门开启。在活塞移动过程中, 气缸容积逐渐增大, 气缸内形成一定的真空度。空气和汽油的混合物通过进气门被吸入气缸, 并在气缸内进一步混合形成可燃混合气。

因为进气系统有阻力, 所以进气终了时气缸内的气体压力低于大气压力, 为 $0.08 \sim 0.09 \text{ MPa}$ 。由于进气门、气缸壁、活塞等高温零件以及前一个循环残留在气缸内的高温废气对混合气的加热, 致使进气终了时气缸内的气体温度高于大气温度, 为 $320 \sim 380 \text{ K}$ 。

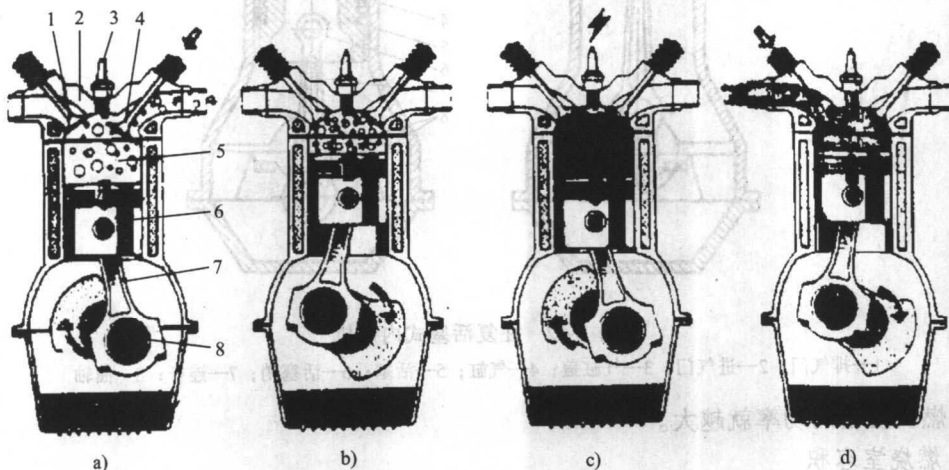


图 1-3 四冲程汽油机工作原理示意图

a) 进气行程; b) 压缩行程; c) 做功行程; d) 排气行程

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

气缸内的气体压力随气缸容积或曲轴转角的变化关系称为示功图, 它能直观地显示气缸内气体压力的变化。进气行程的示功图如图 1-4a) 所示, 进气行程从止点 r 开始至进气行程下止点 a 结束, 曲线 ra 表示进气行程中气缸内气体压力的变化。

2. 压缩行程

如图 1-3b) 所示, 进气行程结束后, 曲轴继续带动活塞由下止点移至上止点时, 进、排气门均关闭。随着活塞移动, 气缸容积不断减小, 气缸内的混合气被压缩, 其压力和温度同时升高。压缩终了时, 气缸内气体的压力为 $0.8 \sim 1.5 \text{ MPa}$, 温度为 $600 \sim 750 \text{ K}$ 。压缩行程的示功图如图 1-4b) 所示, c 点为压缩行程终点, 也是压缩行程上止点。

压缩行程有利于混合气的迅速燃烧并可提高内燃机的有效热效率。一般压缩比 $\epsilon = 7 \sim 10$, ϵ 太大容易发生不正常燃烧。

3. 做功行程

如图 1-3c) 所示, 压缩行程结束时, 安装在气缸盖上的火花塞产生电火花, 将气缸内的可燃混合气点燃, 火焰迅速传遍整个燃烧室, 同时放出大量的热能。燃烧气体的体积急剧膨胀, 压力和温度迅速升高。在气体压力的作用下, 活塞由上止点移至上止点, 并通过连杆推动曲轴旋转做功。这时进、排气门仍关闭。

在做功行程中, 燃烧气体的最大压力可达 $3.0 \sim 6.5 \text{ MPa}$, 最高温度可达 $2200 \sim 2800 \text{ K}$ 。随着活塞向下止点移动, 气缸容积不断增大, 气体压力和温度逐渐降低。做功行程结束时, 压力为 $0.35 \sim 0.50 \text{ MPa}$, 温度为 $1200 \sim 1500 \text{ K}$ 。

在图 1-4c) 上的曲线 czb 表示做功行程气缸内气体压力的变化情形。

4. 排气行程

如图 1-3d) 所示, 排气行程开始, 排气门开启, 进气门仍然关闭, 曲轴通过连杆带动活塞由下止点移至上止点, 此时膨胀过后的燃烧气体 (或称废气) 在其自身剩余压力和活塞的推动下经排气门排出气缸外。当活塞到达上止点时, 排气行程结束, 排气门关闭。

排气行程终了时, 在燃烧室内尚残留少量废气, 称其为残余废气。因为排气系统有阻力, 所以残余废气的压力比大气压力略高, 为 $0.105 \sim 0.120 \text{ MPa}$, 温度为 $900 \sim 1100 \text{ K}$ 。

图 1-4d) 上的曲线 br 代表排气行程气缸内气体压力的变化情形。

至此, 四冲程汽油机经过进气、压缩、做功和排气等四个行程而完成一个工作循环。这期间活塞在上、下止点间往复运动四个行程, 曲轴旋转两周, 即每一个行程有 180° 曲轴转角。

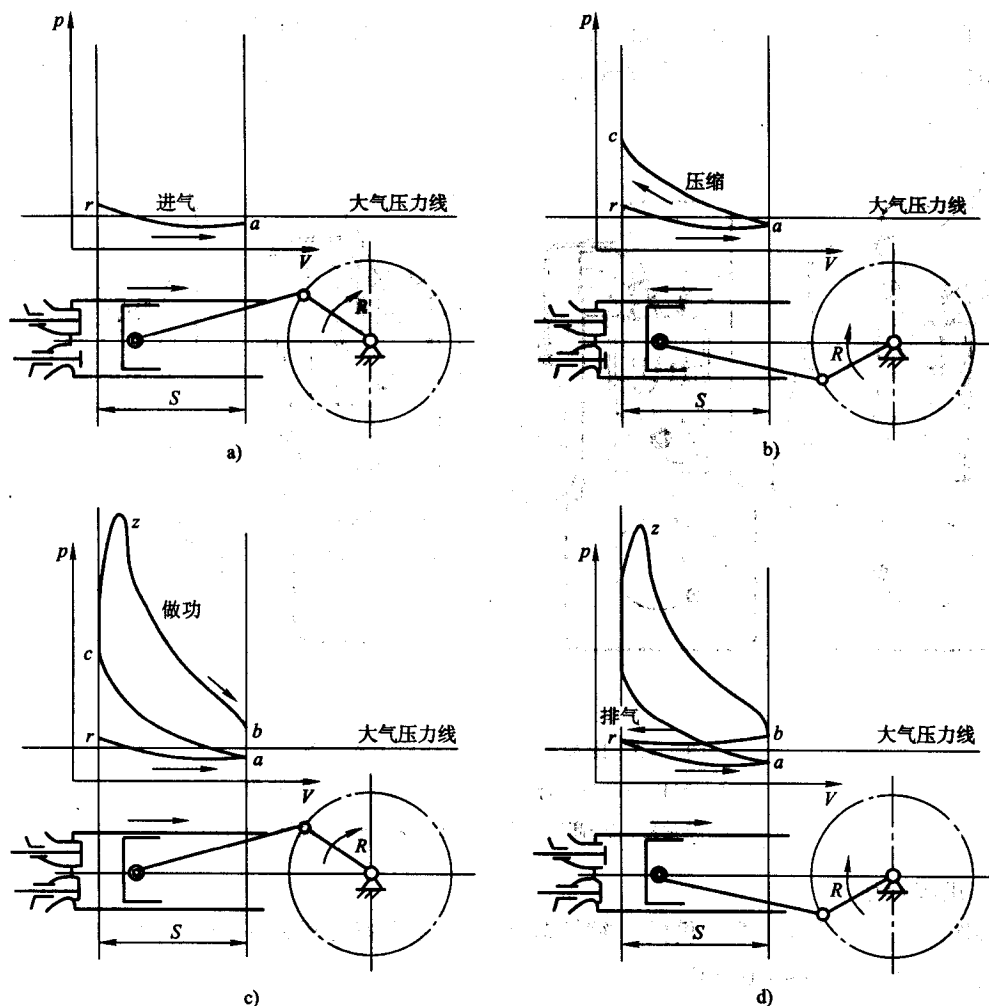


图 1-4 四冲程汽油机的示功图

a) 进气行程; b) 压缩行程; c) 做功行程; d) 排气行程

但在实际进气过程中，进气门早于上止点开启，迟于下止点关闭。在排气过程中，排气门早于下止点开启，迟于上止点关闭，即进、排气过程所占的曲轴转角均超过 180° 。

进气门早开晚关的目的是为了增加进入气缸内的混合气量和减少进气过程所消耗的功。排气门早开晚关的目的是为了减少气缸内的残余废气量和排气过程消耗的功。减少残余废气量，会相应地增加进气量。

1.3.2 四冲程柴油机工作原理

四冲程柴油机的工作循环同样包括进气、压缩、做功和排气四个过程，在各个活塞行程中，进、排气门的开闭和曲柄连杆机构的运动与汽油机完全相同。只是由于柴油机和汽油机的使用性能不同，使柴油机和汽油机在混合气形成方法及着火方式上有着根本的差别。因此，在叙述柴油机工作原理时只涉及与汽油机不同之处。

1. 进气行程

如图 1-5a) 所示，在柴油机进气行程中，被吸入气缸的只是纯净的空气。由于柴油机进气系统阻力较小，残余废气的温度较低，因此进气行程结束时气缸内气体的压力为 $0.085 \sim 0.095 \text{ MPa}$ ，温度为 $310 \sim 340 \text{ K}$ 。

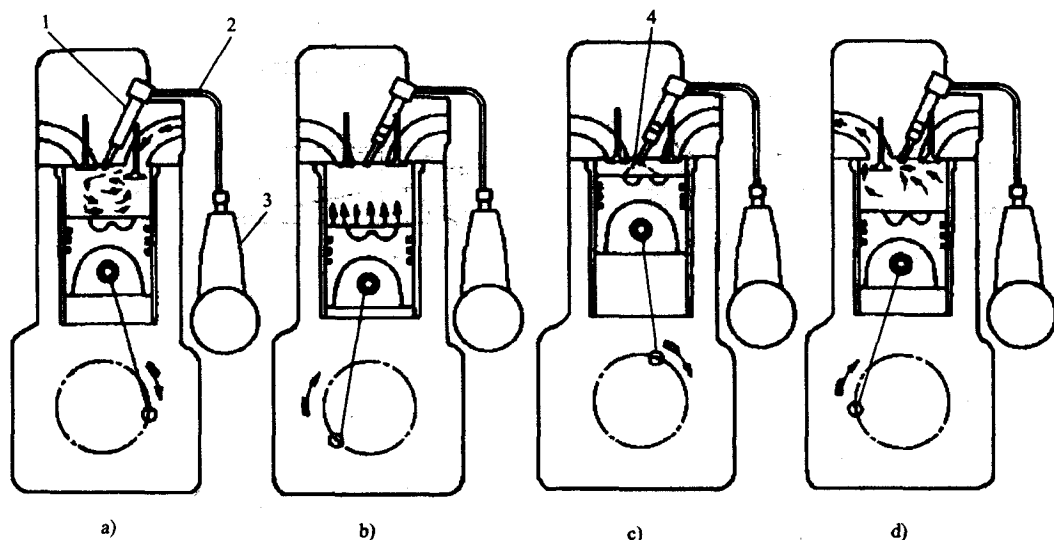


图 1-5 四冲程柴油机工作原理示意图

a) 进气行程；b) 压缩行程；c) 做功行程；d) 排气行程

1—喷油器；2—高压油管；3—喷油泵；4—燃烧室

2. 压缩行程

如图 1-5b) 所示，柴油机的压缩比较大，所以压缩行程终了时气体压力可高达 $3 \sim 5 \text{ MPa}$ ，温度可达 $750 \sim 1000 \text{ K}$ 。

3. 做功行程

如图 1-5c) 所示，在压缩行程结束时，喷油泵将柴油泵入喷油器，并通过喷油器喷入燃烧室。因为喷油压力很高，喷孔直径很小，所以喷出的柴油呈细雾状。细微的油滴在炽热

的空气中迅速蒸发汽化，并借助于空气的运动迅速与空气混合形成可燃混合气。由于气缸内的温度远高于柴油的燃点，因此柴油随即自行燃烧。燃烧气体的压力、温度迅速升高，体积急剧膨胀。在气体压力的作用下，活塞推动连杆、连杆推动曲轴旋转做功。

在做功行程中，燃烧气体的最大压力可达 $6 \sim 9 \text{ MPa}$ ，最高温度可达 $1800 \sim 2200 \text{ K}$ 。做功行程结束时，压力为 $0.2 \sim 0.5 \text{ MPa}$ ，温度为 $1000 \sim 1200 \text{ K}$ 。

4. 排气行程

如图 1-5d) 所示，排气终了时气缸残余废气的压力为 $0.105 \sim 0.120 \text{ MPa}$ ，温度为 $700 \sim 900 \text{ K}$ 。

1.4 二冲程发动机工作原理

二冲程发动机的工作循环是在两个活塞行程（即曲轴旋转一周的时间）内完成的。在四冲程发动机中，常把排气过程和进气过程合称为换气过程。二冲程发动机中换气过程是指废气从气缸内被新气扫除并取代的过程。这两种发动机工作循环的不同之处主要在于换气过程。

1.4.1 二冲程汽油机工作原理

图 1-6 为曲轴箱换气式二冲程汽油机的工作原理示意图。由图可见，曲轴箱换气式二冲程汽油机不设进、排气门，而在气缸 3 的下部开设三个孔（进气孔 1、排气孔 2 和扫气孔 5），并由活塞 6 来控制三个孔的开闭，以实现换气过程。

1. 第一行程

第一行程为活塞在曲轴带动下由下止点移至上止点。当活塞还处于下止点时，进气孔被活塞关闭，排气孔和扫气孔开启。这时曲轴箱内的可燃混合气经扫气孔进入气缸，扫除其中的废气。随着活塞向上止点运动，活塞头部首先将扫气孔关闭，扫气终止。但此时排气孔尚未关闭，仍有部分废气和可燃混合气经排气孔继续排出，称为额外排气。当活塞将排气孔也关闭后，气缸内的可燃混合气开始压缩（图 1-6a），直至活塞到达上止点，压缩过程结束。

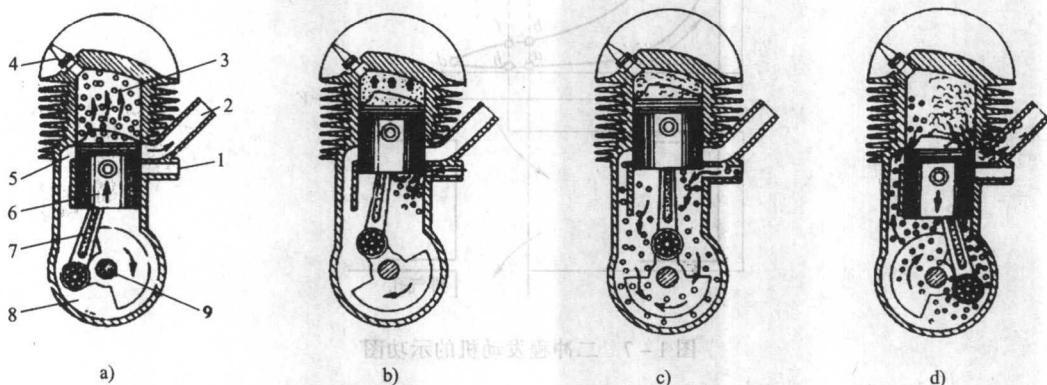


图 1-6 二冲程汽油机工作原理示意图

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—气缸；4—火花塞；5—扫气孔；6—活塞；7—连杆；8—曲轴箱；9—曲轴