

汽车维修入门书系

汽车 发动机维修



天

一天一个专项

30天汽车发动机维修全掌握

一点一滴积累

1个月菜鸟轻松变高手

李林◎主编



汽车维修入门书系

汽车 发动机维修



快

速

入

门

30

天

李林◎主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

本书是汽车发动机基础知识和维修技能快速入门的普及读物,以“每天一个专题”的形式,用大量形象的图和生动简洁的语言来描述四冲程汽油发动机的结构、工作原理及拆装、检修、调整、故障分析等基本维修技能。

本书除了对发动机的进排气系统、机体组、曲柄连杆机构、配气机构、冷却系统、润滑系统和燃油系统等基本组成部分做了详细介绍,还阐述了发动机的各种可变气门正时系统、燃油供给系统、高压燃油直喷系统和发动机电气系统,内容新颖而独到。全书着重强调实际操作能力和各系统相应故障的诊断与排除方法,即学即会,具有很强的可读性,是一本对发动机维修人员非常有用的培训与指导用书。

本书旨在让读者1个月内学会汽车发动机的基础知识和诊断维修技能,适合刚走上汽车维修岗位的初级技术人员阅读,或作为汽车维修工的培训教材,还可作为汽车培训机构以及大中专院校师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

汽车发动机维修快速入门 30 天/李林主编. —北京:机械工业出版社, 2016. 11

(汽车维修入门书系)

ISBN 978-7-111-54632-0

I. ① 汽… II. ① 李… III. ① 汽车 - 发动机 - 车辆修理
IV. ① U472. 43

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 198090 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:杜凡如 连景岩 责任编辑:杜凡如 连景岩

责任校对:张玉琴 潘蕊 封面设计:鞠杨

责任印制:常天培

北京机工印刷厂印刷 (三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2016 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 15.75 印张 · 387 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-54632-0

定价: 39.90 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: 010-88361066 机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010-68326294 机工官博: weibo.com/cmp1952

010-88379203 金书网: www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网: www.cmpedu.com

前 言

随着我国家庭用车的增多及汽车整体保有量的增长,汽车已经成为人们日常生活中离不开的代步工具,成为日常生活中重要的一部分,汽车的使用、保养与维修也日益受到用户的重视。发动机作为汽车的重要组成部分,决定了整车的性能和品质。为了让更多驾驶人和刚刚接触汽车保养与维修行业的初级维修工熟悉汽车发动机的保养、维修要点,掌握汽车发动机的结构原理和维修知识,提高从业人员技术和实践水平,特编写了本书。

本书以每天一个专题的形式,重点讲述了维修工应具备的汽车发动机基础知识和基本维修技能。全书共分30天内容(30个专题),详细阐述了汽车发动机进排气系统、机体组、曲柄连杆机构、配气机构、冷却系统、润滑系统、各种可变气门正时系统、燃油供给系统、高压燃油直喷系统、发动机电控管理系统和发动机电子防盗系统等的作用、基本结构、工作原理,以及基本维修步骤、故障诊断与排除等实际维修技能。

全书简单易懂,将复杂的理论知识融合到图示中,便于理解。本书除了介绍主要部件的结构知识以外,增加了主要部件的拆装和维修,着重实际操作能力的培养,强调即学即用,是汽车运用人员和维修人士贴身、高效的“汽修老师”。

本书可作为汽车修理工入门和提高的自学教材以及汽车修理工职业技能鉴定的辅导用书,也可作为汽车专业师生和从事汽车保养与维护、汽车检测、汽车维修管理的技术人员以及汽车修理工与驾驶人的参考用书。

本书由李林主编,参加本书编写工作的还有肖华、邹忠发、李春、王成生、颜雪飞、颜复湘、陈牛芳、欧阳汝平、李孝武、朱莲芳、何英、李龙梅、皮军、吴林华、范兴武、杨炉华、杨莉香、魏善君、肖志锋、黄忠建、李元。

由于本书涉及的专业内容较多,书中不妥之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言	
第 1 天	发动机的类型和规格参数..... 1
第 2 天	发动机的总体构造..... 6
第 3 天	发动机的工作原理 11
第 4 天	发动机悬置系统和发动机的吊装 15
第 5 天	进气系统 22
第 6 天	排气系统 31
第 7 天	机体组 39
第 8 天	曲柄连杆机构 49
第 9 天	平衡轴装置 66
第 10 天	配气机构..... 74
第 11 天	发动机气门正时校对与调整..... 91
第 12 天	丰田 VVT-i 可变气门正时系统 101
第 13 天	本田 VTEC 可变气门系统 112
第 14 天	宝马 Valvetronic 可变气门升程系统 119
第 15 天	涡轮增压系统 127
第 16 天	废气再循环系统 133
第 17 天	曲轴箱通风系统 138
第 18 天	燃油供给系统 143
第 19 天	高压燃油直喷系统 155
第 20 天	燃油蒸发排放 (EVAP) 控制系统 163
第 21 天	冷却系统 170
第 22 天	润滑系统 178
第 23 天	点火系统 186
第 24 天	起动系统 193
第 25 天	充电系统 202
第 26 天	发动机电控系统的组成与工作原理 210
第 27 天	发动机电控系统的检修 221
第 28 天	发动机电子防盗系统的组成与工作原理 230
第 29 天	发动机电子防盗系统的维修 235
第 30 天	发动机常见故障的检修 241
参考文献	 248

第 1 天

发动机的类型和规格参数

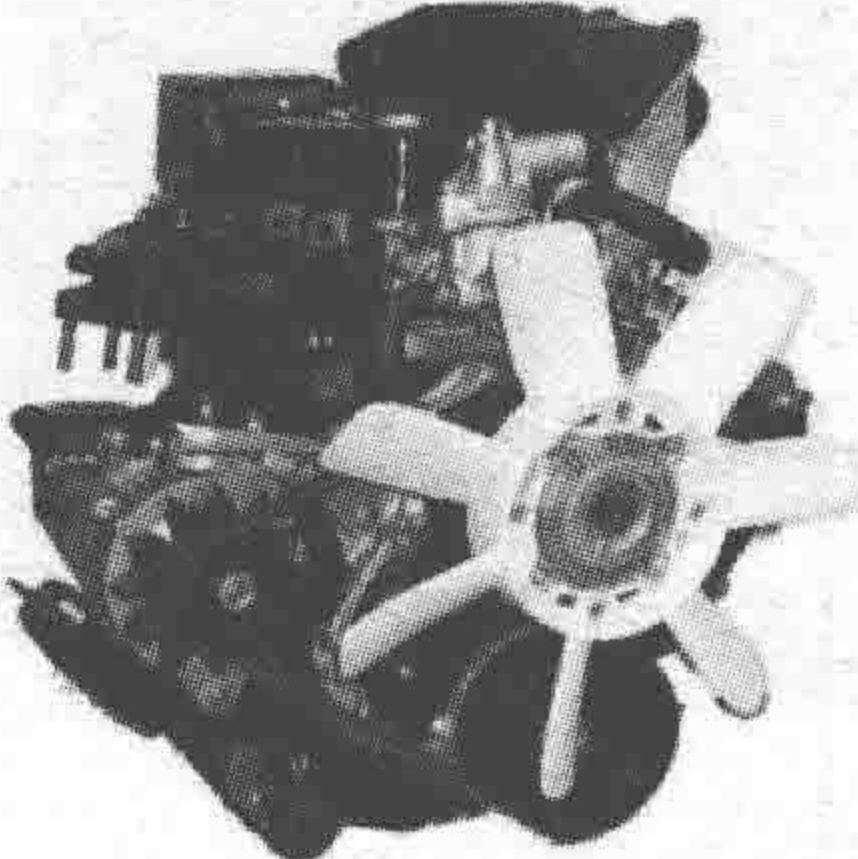
学习目标

1. 了解常见发动机的类型和特点。
2. 通过发动机主要参数了解发动机的结构和性能。

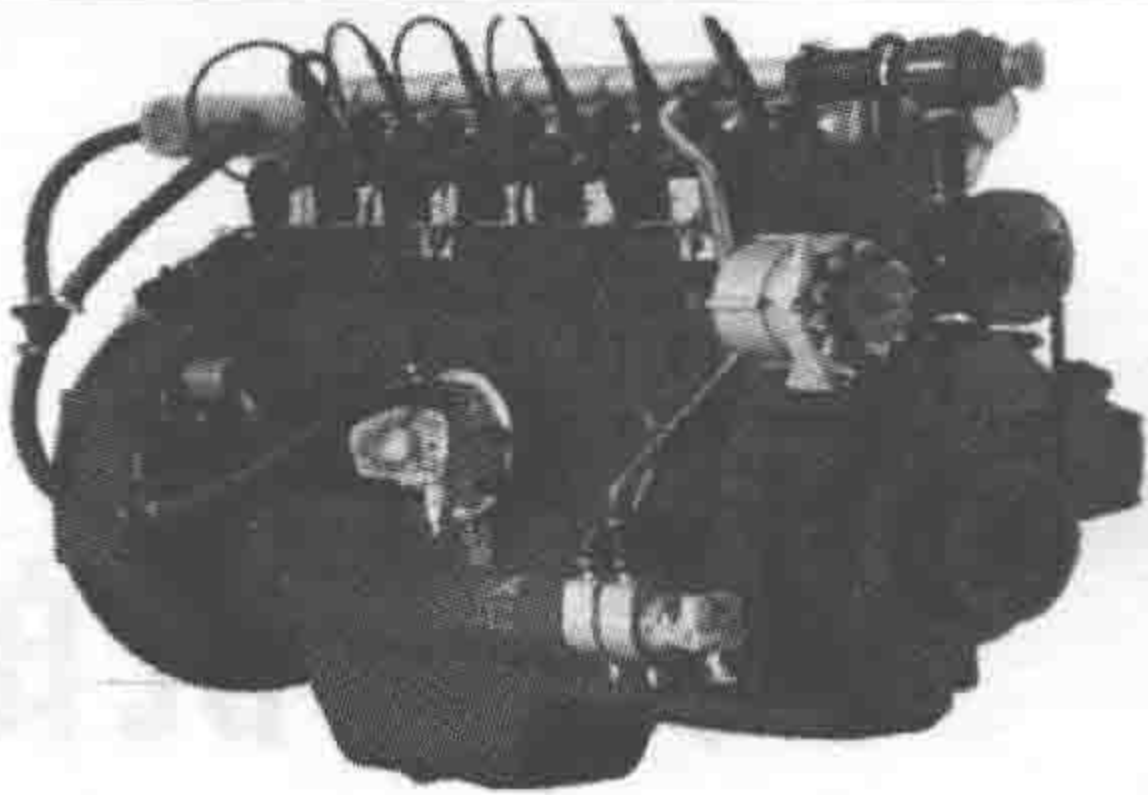
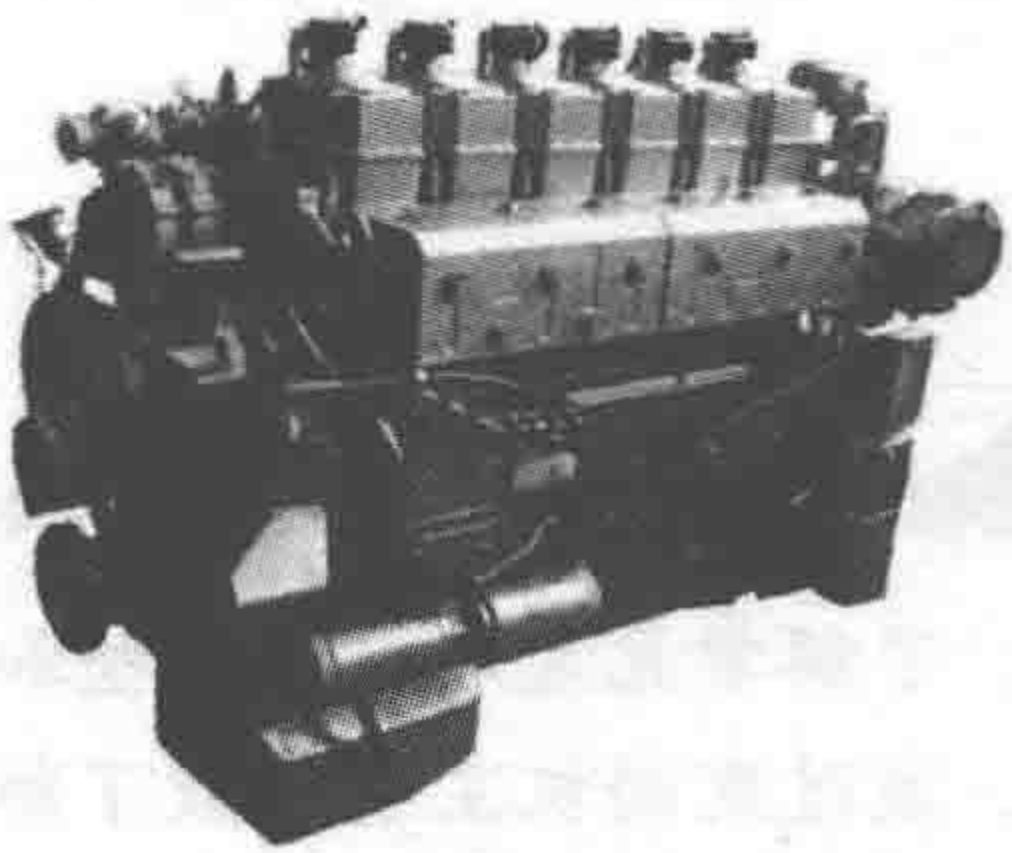
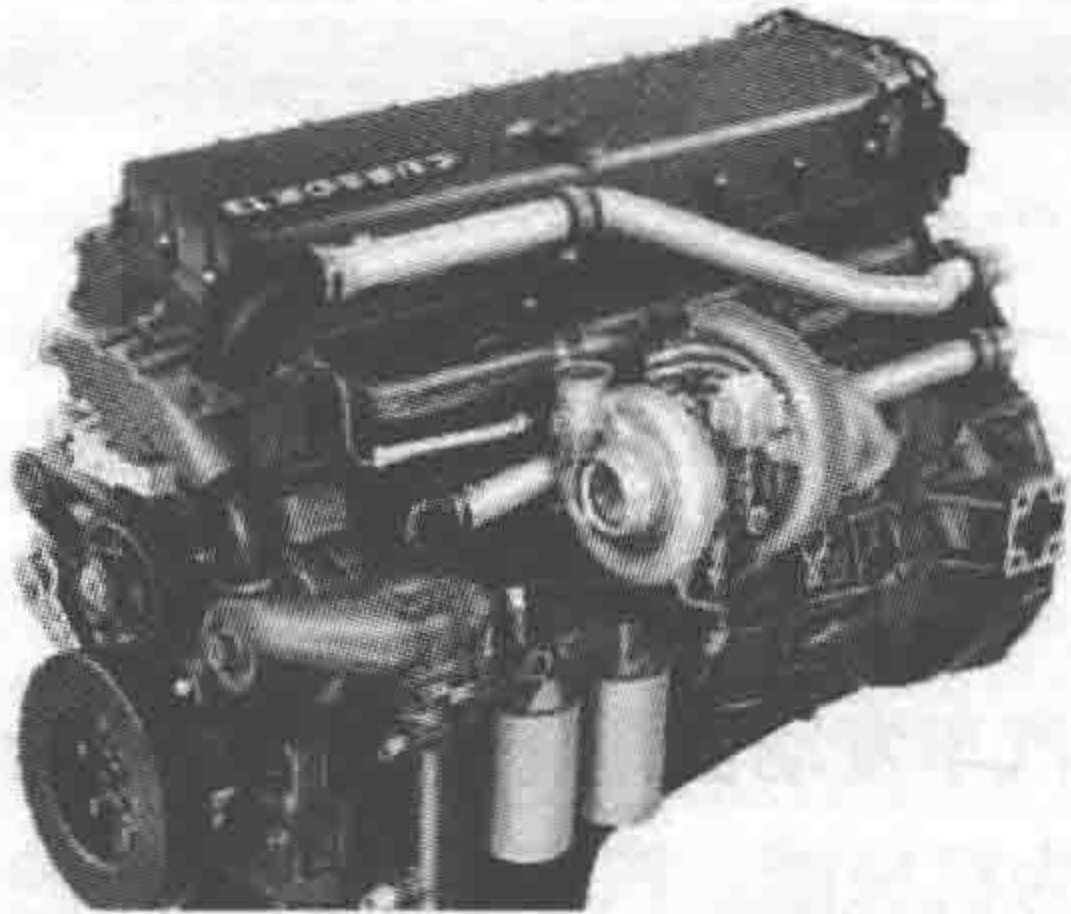
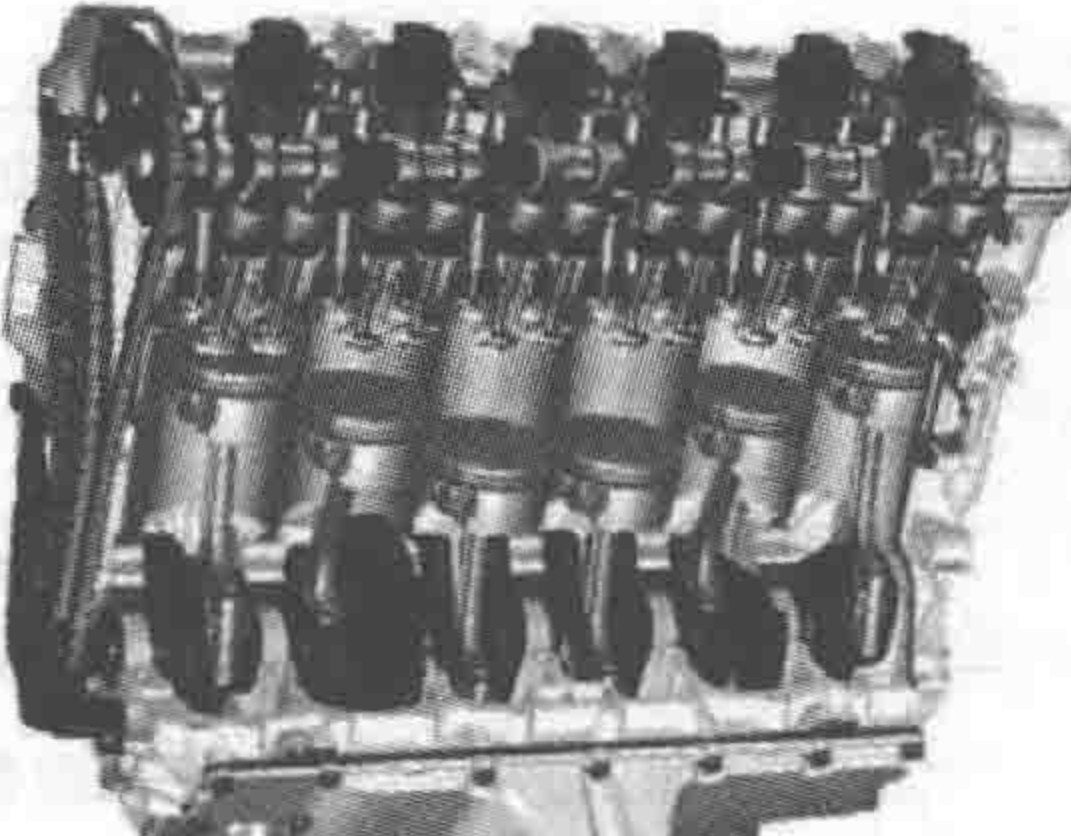
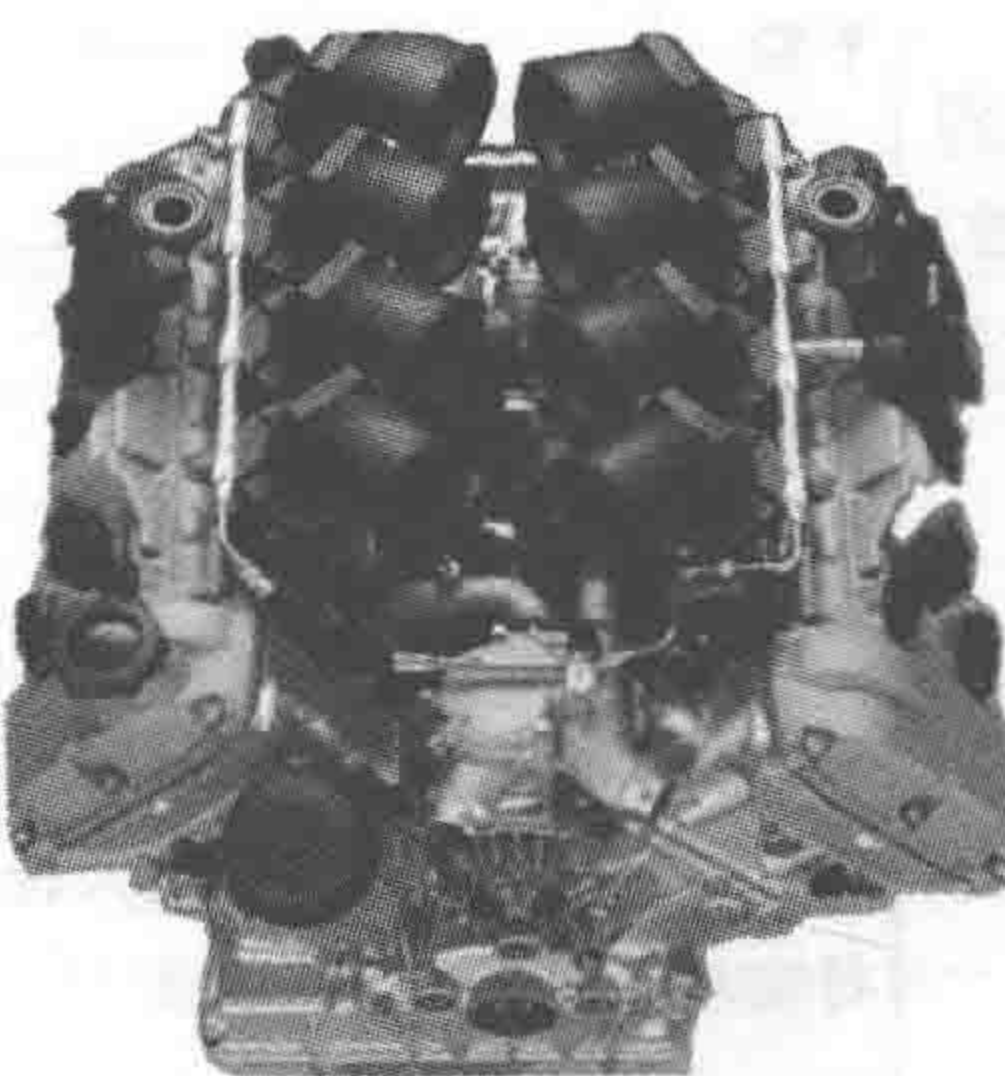
一、发动机的类型

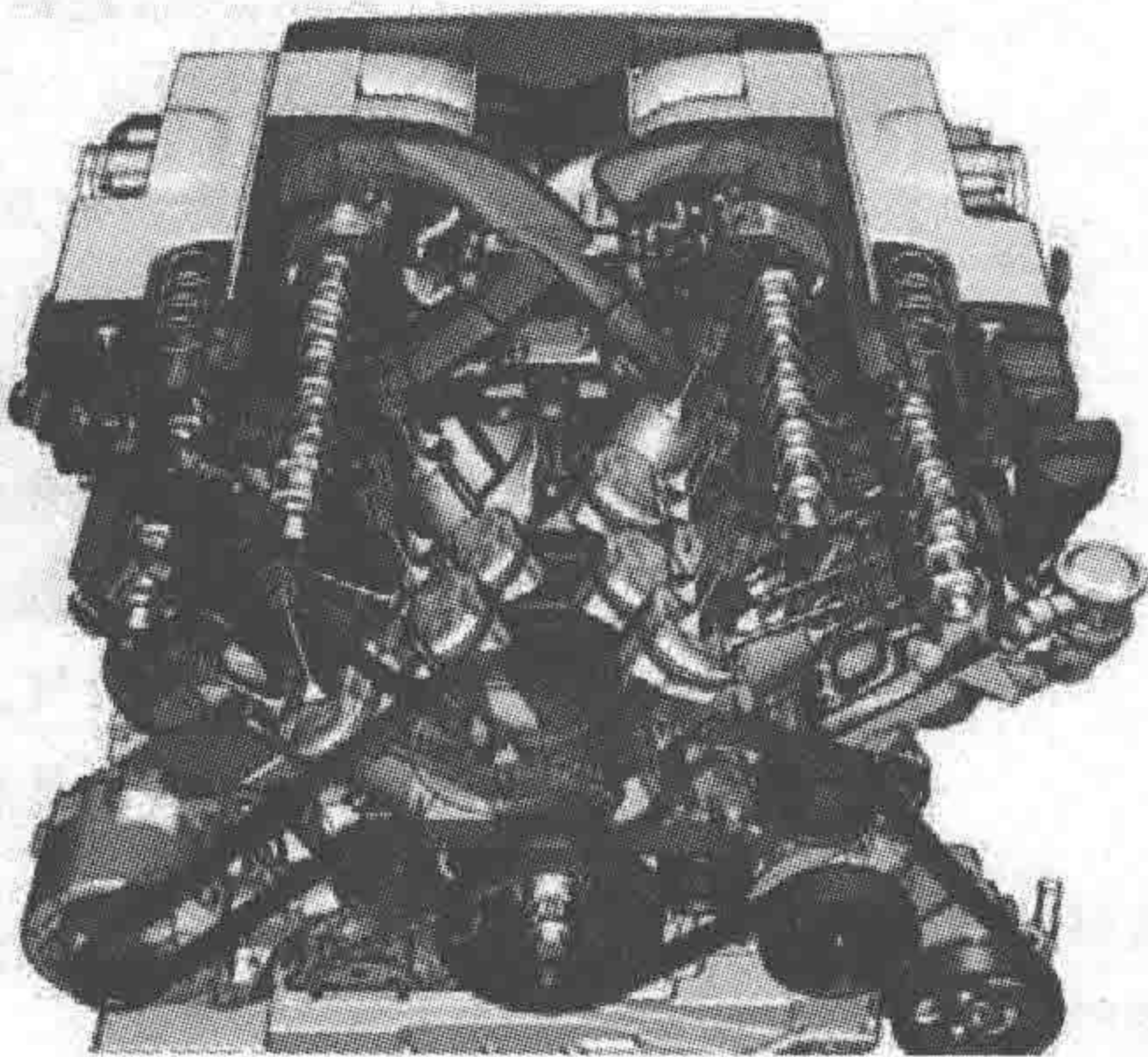
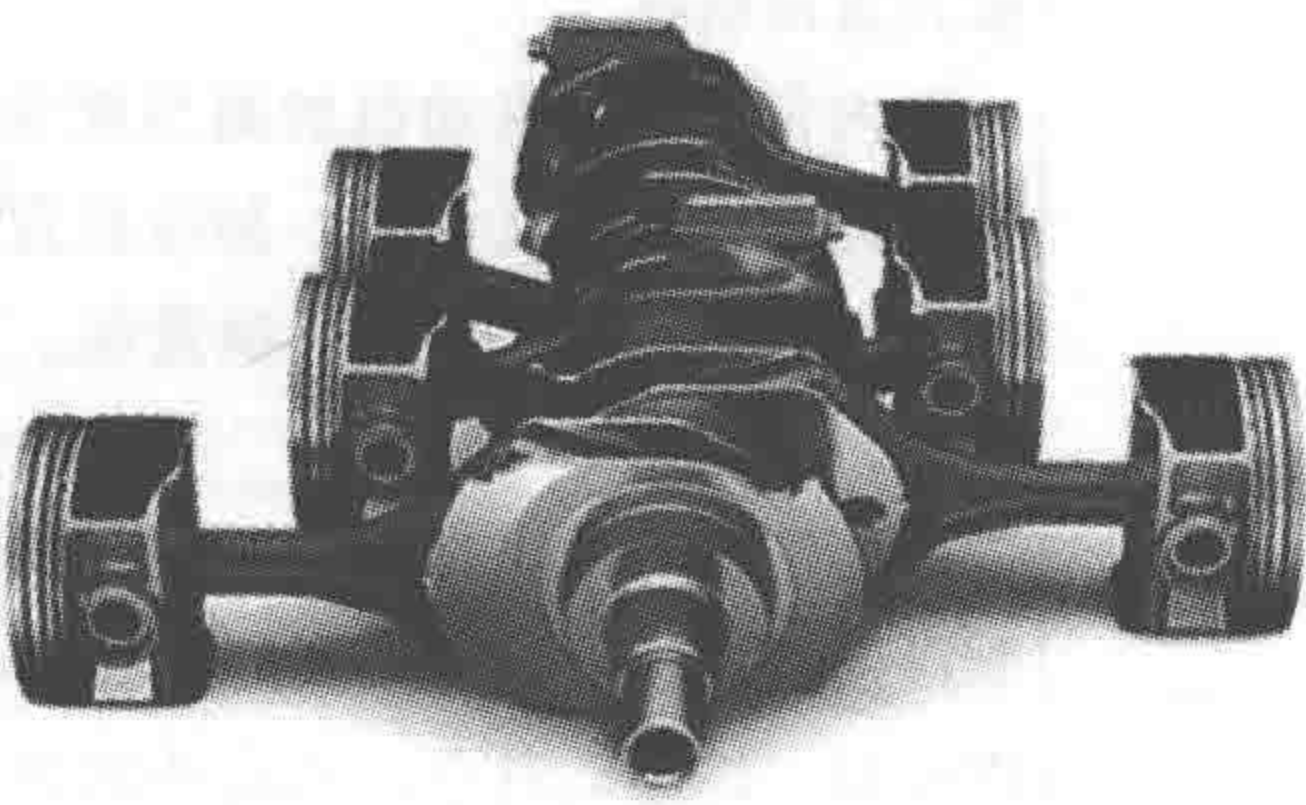
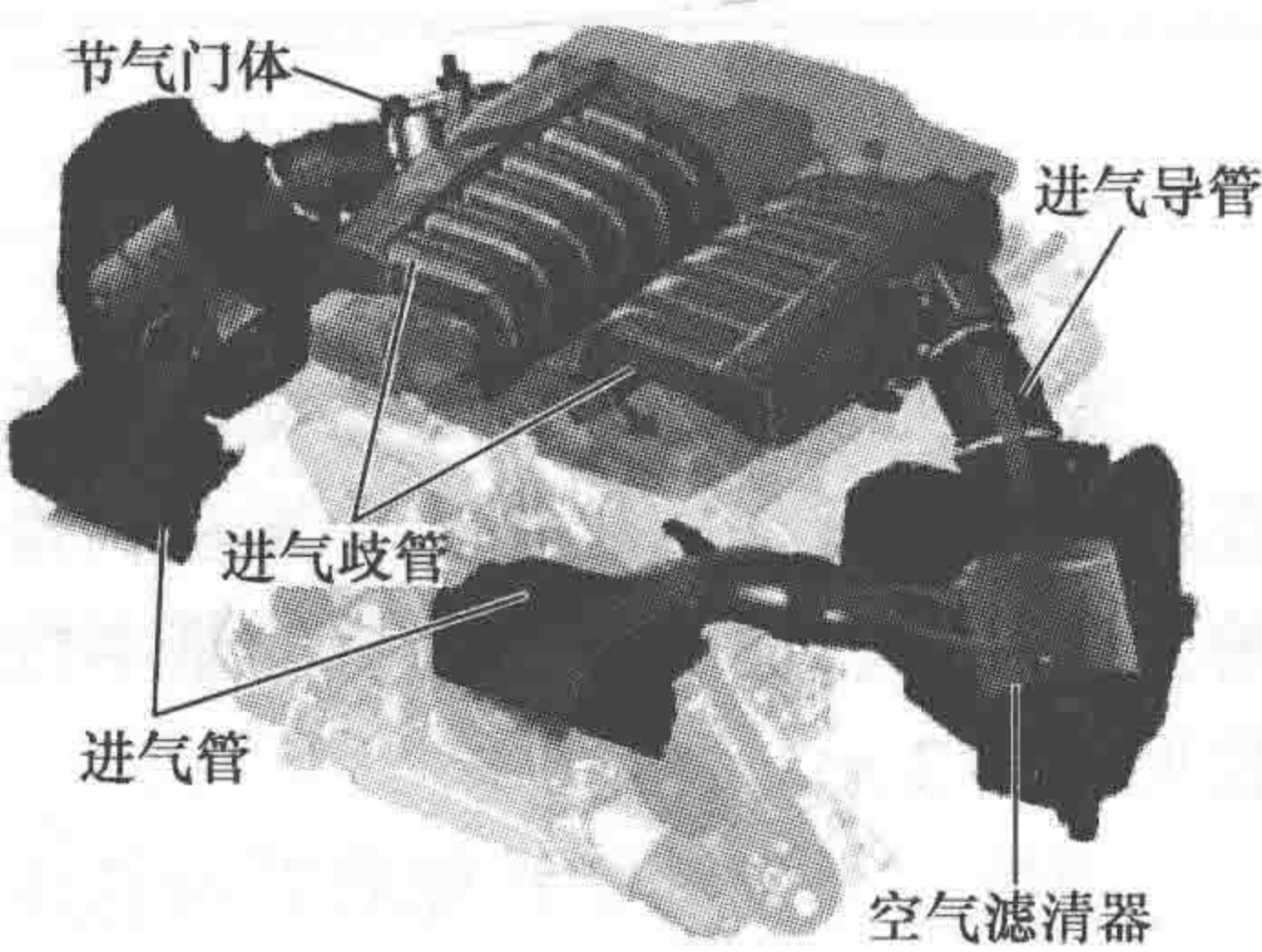
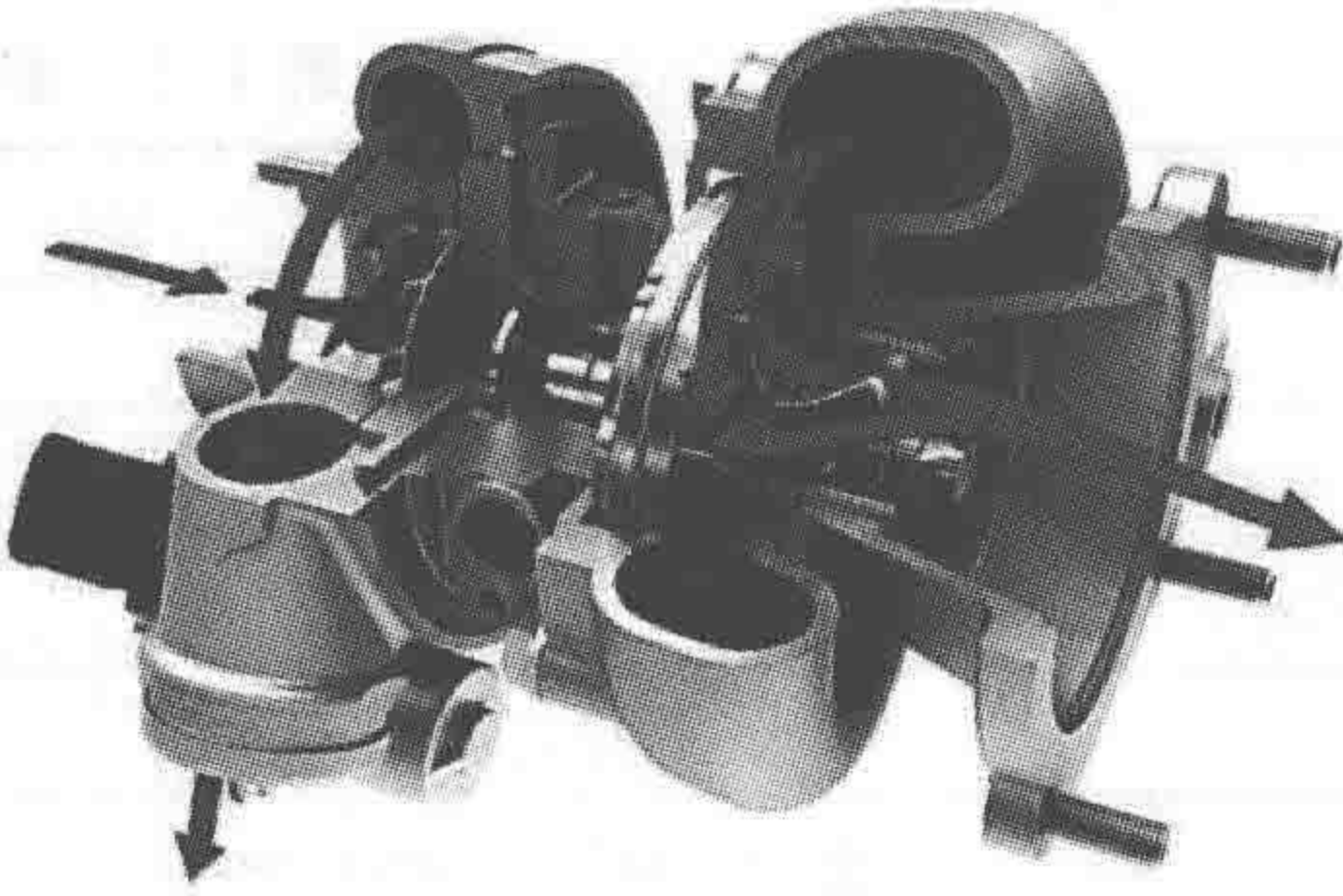
汽车发动机是将化学能转化为机械能的一种机器，即将燃料在气缸内部燃烧产生的热能直接转化为机械能。汽车发动机采用的基本上是往复式活塞式内燃机。汽车发动机的类型见表 1-1。

表 1-1 发动机的类型

分类	特点	图示
按照使用 燃料的 不同分类	汽油发动机 汽油发动机以汽油为燃料。由于汽油黏度小，蒸发快，可以用汽油喷射系统将汽油喷入气缸，经过压缩达到一定的温度和压力后，用火花塞点燃，使气体膨胀做功。汽油机的特点是转速高、结构简单、质量轻、造价低廉、运转平稳	
	柴油发动机 柴油发动机以柴油为燃料。柴油的黏度比汽油大、不易蒸发，但自燃温度低，因而柴油发动机气缸中的混合气是压燃的，而不是点燃的。与汽油发动机相比，柴油发动机具有燃油经济性好、低速大转矩等特点，但存在平顺性相对较差、噪声较大等缺点	

(续)

分类	特点	图示
按照使用燃料的不同分类	LPG 发动机 以 LPG（液化石油气）为燃料。LPG 在常温下用不大的压力（约 1.6MPa）即可变成液体，液态 LPG 经减压和气化后，再经混合器与空气均匀混合。LPG 热值高，气体与空气混合好，燃烧完全，气缸与燃烧室内的积炭也少，发动机运转较平稳；LPG 不含铅和硫，排气污染小。LPG 常用作轻型车辆的燃料	
	CNG 发动机 以 CNG（压缩天然气）作为燃料。压缩天然气从储气钢瓶出来经减压后与空气在混合器内充分混合，进入发动机缸内，经火花塞点燃进行燃烧。CNG 的辛烷值高，抗爆性能好，且燃烧完全，热值高，运行成本低，尾气排放对大气的污染小	
	双燃料发动机 可以使用两种燃料，如某些出租车，既可以使用汽油，又能使用 LPG 或 CNG。LPG - 柴油双燃料发动机则是以柴油为引火燃料，可燃气体为主燃料的发动机。双燃料发动机适应性强，无气态燃料时，完全可以转换到纯汽油/柴油工作模式。使用气态燃料时可降低废气排放量，减少环境污染，提高经济效益	
按照气缸排列方式和数目分类	直列式发动机 又称 L 型发动机，I4 就代表直列 4 缸，常见的有 I3、I4、I5、I6 型直列式发动机。 直列式是应用最为广泛的气缸排列形式，尤其是 2.5L 以下排量的发动机。其特点是所有气缸均在一个平面，并且只使用一个气缸盖，缸体和曲轴的结构相对简单。这种发动机的优势在于尺寸紧凑，稳定性高，低速转矩特性好并且燃料消耗也较少，制造成本更低	
	V 型发动机 V 型发动机是将所有气缸分成两组，把相邻气缸以一定夹角布置一起，使两组气缸形成一个夹角的平面，从侧面看气缸呈 V 形。 V 型发动机缩短了机体的长度和高度，更低的安装位置便于装载在风阻系数更低的车身，同时得益于气缸对向布置，还可抵消一部分振动，使发动机运转更为平顺和安静	

分类	特点	图示
按照气缸排列方式和数目分类	W 型发动机 W 型发动机是德国大众专属发动机技术。将两个 V 型发动机的每侧气缸再进行小角度的错开,就成了 W 型发动机。 W 型发动机可以做得更短一些,这样就能节省发动机所占的空间,同时减轻了重量,但它的宽度更大,使得发动机室更满。 常见的 W 型发动机有大众和奥迪的 W8、W12 发动机,这种发动机因气缸多,排量相对较大,动力更强	
	水平对置式发动机 水平对置式发动机其实是气缸夹角为 180° 的 V 型发动机,但这种发动机的制造成本和工艺难度相当高,所以目前世界上只有保时捷和斯巴鲁两个厂商在使用。 这种发动机的特点是活塞平均分布在曲轴两侧,在水平方向上左右运动,两侧活塞产生的力矩相互抵消,大大降低了振动。发动机的整体高度降低、长度缩短,整车的重心降低,车辆行驶更加平稳	
按照进气方式分类	自然吸气式发动机 自然吸气是发动机的一种传统进气方式,是指新鲜空气靠活塞向下运行时的抽吸作用被吸入气缸内。自然吸气式发动机在动力输出的平顺性与响应的直接性上,要优于增压式发动机,同时,自然吸气式发动机的工作温度稍低,从而产生的积炭少一些,发动机寿命相对较长	
	增压式发动机 为增大功率,在发动机上装有增压器,使进入气缸的气体预先经过压气机压缩后再进入气缸。因此,涡轮增压可以在排量较小的情况下提供更大的功率和转矩。发动机装上涡轮增压器后,其最大功率与未装增压器的时候相比可以增加 40% 甚至更高。但是涡轮增压式发动机的工作温度更高,机油消耗量增大,保养维护相对麻烦些	

分类	特点	图示
按照燃油喷射方式分类	缸外燃油喷射 缸外喷射系统是将喷油器安装在进气管或进气歧管上，以 0.20 ~ 0.35MPa 的喷射压力将汽油喷入进气管或进气道内。前者称进气管喷射（单点电喷），后者称进气道喷射（多点喷射）。大部分的汽油发动机都是采用缸外多点燃油顺序喷射，喷油器被安装于进气歧管内或进气门附近，汽油和空气在此处混合成可燃混合气。 缸外喷射系统喷油压力不高，具有结构简单、成本较低，保养维修方便等特点	
	缸内直接喷射 缸内直接喷射发动机的高压喷油器直接伸入燃烧室内，高压油泵将燃油（汽油）加压后直接喷入气缸内。缸内直喷的优点是压缩比高、耗油量低、升功率大，但制造成本稍高。 由于喷射压力提高，喷嘴位置、喷雾形状、进气气流控制以及活塞顶形状等特别的设计，使油气能够在整个气缸内充分、均匀地混合，从而使燃油充分燃烧，能量转化效率更高	

二、发动机的主要参数

发动机参数是指表述发动机基本构造和性能的参数，如气缸数目、气缸排列方式、气缸直径、活塞行程、压缩比、发动机排量、额定功率、最大扭矩等。这些参数，决定了发动机的公称尺寸，而且和发动机的基本性能有着直接的关系。东风风神 S30 轿车发动机的主要参数见表 1-2。

评价一个发动机性能高低最直接的参数，通常是其额定功率和最大扭矩。额定功率表明该发动机能产生多大的功率，即有多大的“能耐”；最大扭矩常出现在某一转速范围，用来表征发动机克服阻碍的“能力”以及汽车具备的加速性能。

表 1-2 东风风神 S30 轿车发动机主要参数

项目	参数
发动机型号	N6A 10FX3A PSA
发动机布置形式	前置、横向布置
缸数	直列 4 缸
排量 (cm ³)	1587
缸径 × 冲程 (mm × mm)	Φ78.5 × 82

(续)

项目	参数
压缩比	10.5/1
燃油	RON93 号以上无铅汽油可兼容 10% 酒精
排放标准	国Ⅲ/国Ⅳ
额定功率 (转速) /kW (r/min)	78/5750
最大扭矩 (转速) /N·m (r/min)	142/4000
电喷系统	多点喷射 (BOSCH ME7.4.4)
供油切断点 (r/min)	6500
发电机	交流 (110A/4800r/min)
起动机功率/kW	1.3



你学会了吗?

1. 汽车发动机的作用是什么? 最常见的类型是哪种?
2. 按进气方式分, 发动机可分为_____和_____。
3. 按燃油喷射方式分, 发动机可分为_____和_____。
4. 发动机的主要参数有哪些? 其中最重要的两个参数是什么?

第 2 天

发动机的总体构造

学习目标

1. 了解汽油发动机的基本结构与组成。
2. 在发动机上指认出各组成部件的名称。
3. 熟悉发动机术语，了解其代表的含义。

一、发动机的构成

现代汽车的发动机大都是将汽油或柴油与空气混合直接在气缸内部燃烧，利用燃烧气体的膨胀压力来推动机器运转产生动力的，所以称为内燃机。由于发动机的基本原理相似，总体构造也就大体一致。汽油发动机通常由两大机构和五大系统组成，马自达 6 轿车发动机的总体结构如图 2-1 所示。

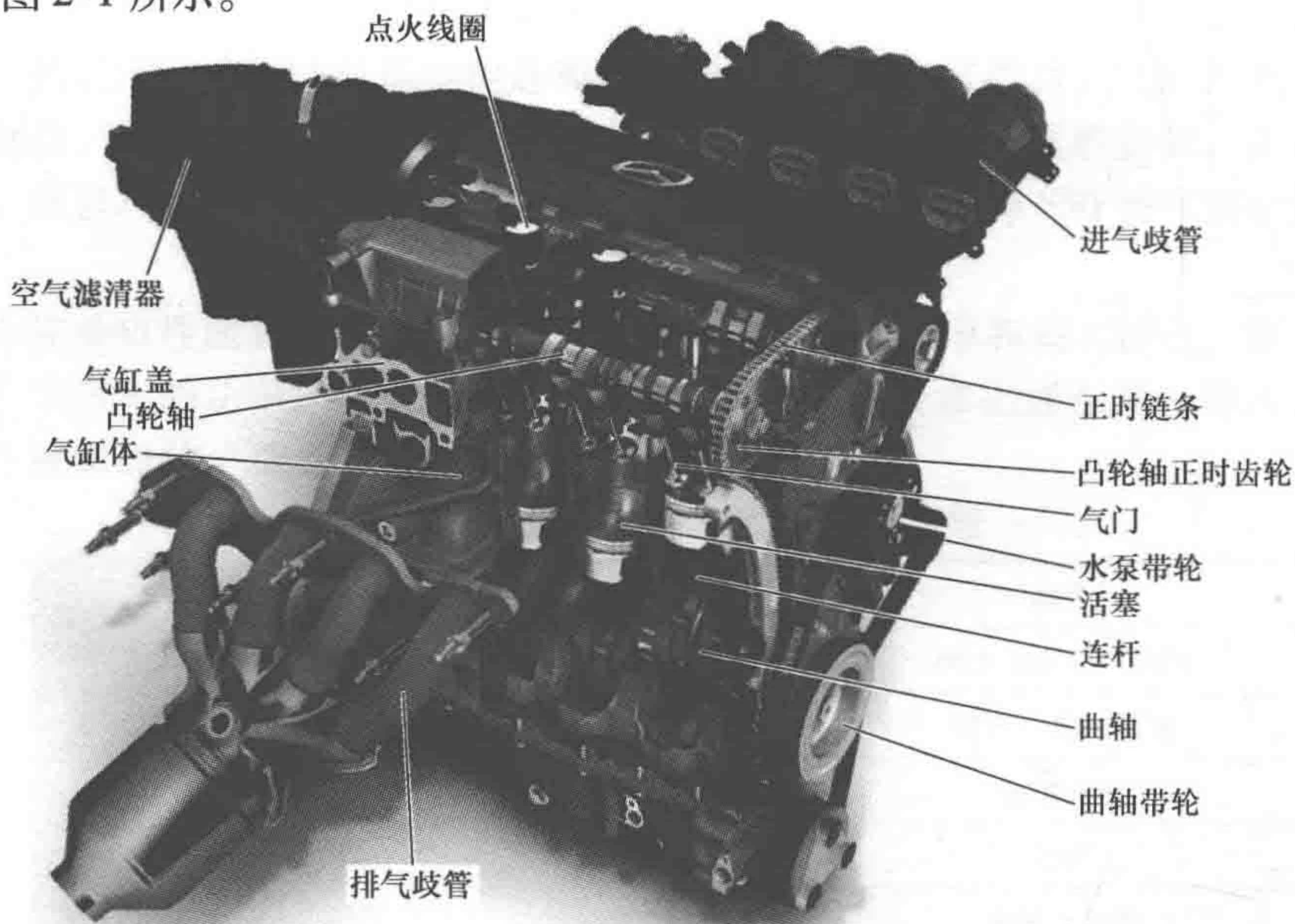


图 2-1 马自达 6 轿车发动机总体结构图

发动机的基本结构见表 2-1。

表 2-1 发动机的基本结构

结构名称	部件组成	功用
曲轴连杆机构	主要由机体组（气缸体、气缸盖、油底壳）、活塞连杆组（活塞、连杆）、曲轴飞轮组（曲轴、飞轮）组成	曲轴连杆机构是产生和输出动力的机构，是发动机实现热能转换的主要运动部件。机体是发动机的基本骨架，提供活塞运动的空间。活塞与连杆用来承受气体压力，推动曲轴旋转做功，对外输出动力。曲轴与飞轮将连杆传来的力变成转矩，经飞轮传给传动装置，同时驱动水泵、发电机等附件工作
配气机构	大多采用单顶置/双顶置气门配气机构，主要由气门组（气门、气门导管、气门弹簧）和气门传动组（正时齿轮、正时链条或正时带、凸轮轴、挺柱、摇臂、摇臂轴）组成	根据发动机的做功顺序和各缸工作循环的要求，定时开启和关闭进、排气门，使可燃混合气及时进入气缸，并排除废气
燃料供给系统	大多采用电控燃油喷射系统，由燃油箱、汽油泵、汽油滤清器、空气滤清器、进气歧管、排气歧管、传感器、喷油器和电控单元等主要机件组成	其作用是把汽油和空气混合成比例合适的可燃混合气送入气缸，并使燃烧后生成的废气排出缸体。电子控制燃油喷射装置的广泛应用，提高了发动机的动力性和燃油经济性，且环保性能得到了充分改善
润滑系统	一般由机油泵、集滤器、限压阀、润滑油道、机油滤清器、机油冷却器等组成	其作用是将润滑油送到相对运动零件的摩擦表面，减轻机件磨损，还有冷却、清洗零件表面及密封、减振和防锈的功能
冷却系统	冷却系统通常由水泵、散热器、风扇、循环水套、水管、节温器和冷却液温度表等主要机件组成	其作用是利用冷却水或空气使发动机受热机件冷却，把机件多余的热量散发出去，以保持发动机正常的工作温度
点火系统	主要由蓄电池、发电机、分电器、点火线圈、火花塞和点火开关等组成	其作用是将蓄电池或发动机的低压电变成高压电，并按发动机的工作顺序，依次击穿缸内火花塞间隙，产生电火花，点燃可燃混合气
起动系统	由蓄电池、起动机和起动控制开关（点火开关）等组成	起动系统的作用是通过电力驱动曲轴旋转，使发动机从静止状态进入正常工作状态

二、发动机常用术语

1. 上止点与下止点

上止点是指活塞运动到离曲轴回转中心最远的点，通常指活塞上行到最高位置（接近气缸顶端），这个位置简称 TDC。下止点是指活塞离曲轴回转中心最近处，通常指活塞下行到最低位置，这个位置简称 BDC。

上止点、下止点与活塞行程的相互关系如图 2-2 所示。

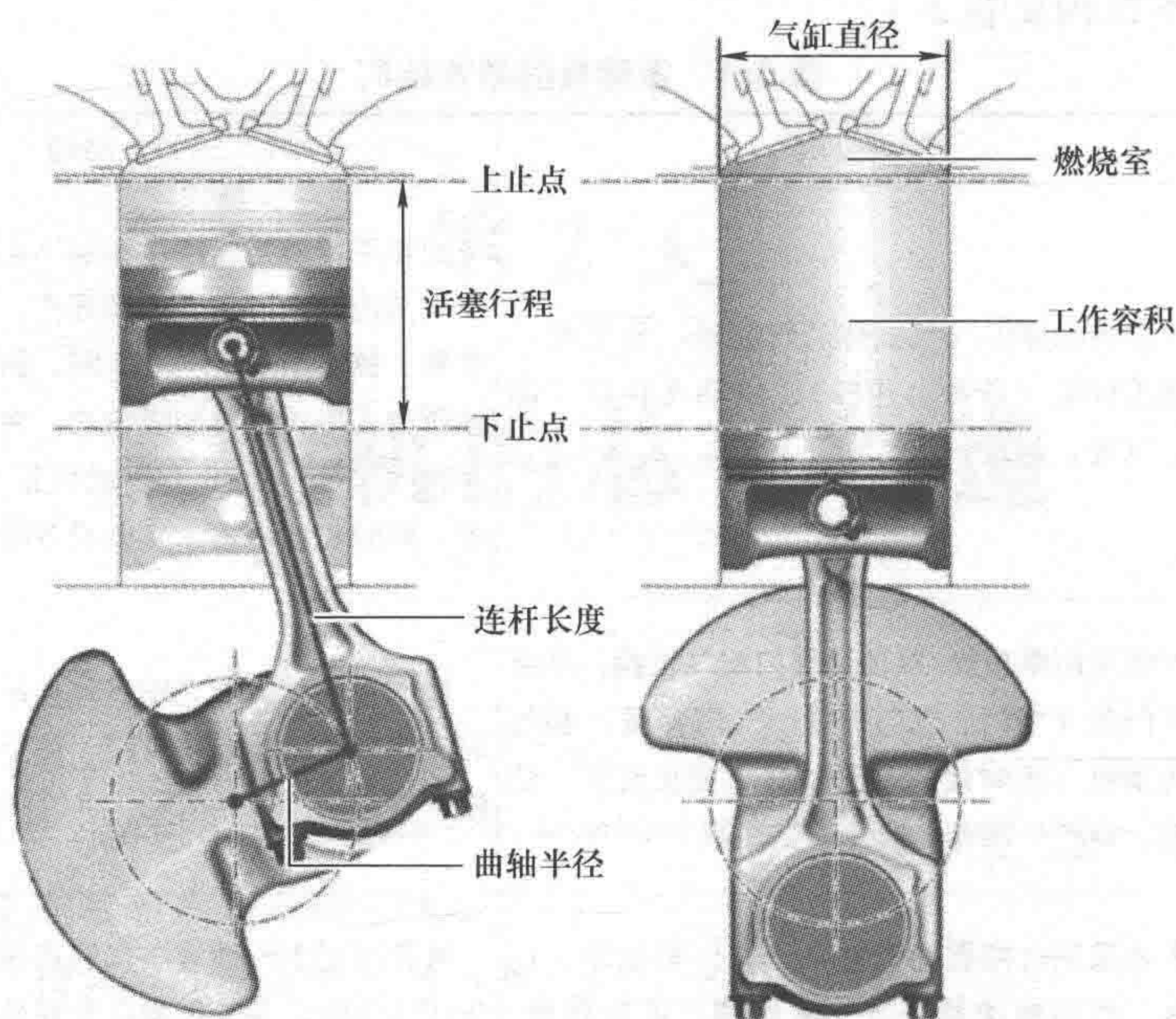


图 2-2 上止点、下止点与活塞行程

2. 活塞行程

活塞行程是指活塞在气缸中运行时，下止点到上止点之间的距离，用 S 表示。

3. 活塞冲程

活塞冲程是指活塞运行时由一个止点到另一个止点的运动过程。一个活塞冲程的曲轴转动半圈 (180°)，完整的四冲程 (进气、压缩、做功、排气) 则需要曲轴转动 2 圈 (720°)。

4. 曲柄半径

曲柄半径是指曲轴上的主轴颈中心线到连杆轴颈中心线的垂直距离，用字母 R (单位: mm) 表示。当气缸轴线通过曲轴的回转中心时， $S = 2R$ ，即活塞行程是曲柄半径的两倍。

5. 气缸工作容积

气缸工作容积是指活塞在从一个止点运动到另一个止点 (上止点和下止点) 间所扫过的圆柱筒状容积，即活塞面积 (取决于缸径 D) 与行程的乘积，一般用 V_h (单位: L) 表示。

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

6. 发动机排量

发动机排量 V_L 是发动机的一个重要参数，它是指发动机各缸工作容积之和，即单缸工作排量和缸数的乘积。设发动机共有 i 个气缸，则 $V_L = V_h i$ 。

由公式可知，发动机的缸数越多，缸径 (D) 和行程 (S) 越大，发动机的排量就越大。在同等条件下，排量越大的轿车，功率越大，起步转矩越大，加速性能越好。而排量低的车辆其动力性能相对较弱，起步时动力不足，但比较经济节油。

7. 燃烧室容积

燃烧室容积是指活塞在上止点时，活塞上方由活塞顶和气缸盖构成的空间，用 V_c 表示。

8. 气缸总容积

活塞在下止点时，活塞上方的容积称为气缸总容积（ V_a ），它等于气缸工作容积与燃烧室容积之和，即

$$V_a = V_h + V_c$$

9. 压缩比

压缩比是指进入气缸的可燃混合气或纯空气被活塞压缩的比率，即气缸总容积（ $V_1 + V_2$ ）与燃烧室容积（ V_1 ）的比值，如图 2-3 所示。汽油机的压缩比通常在 8 ~ 11 之间，例如本田飞度 L13Z1 发动机（1.3L）的压缩比为 10.5。

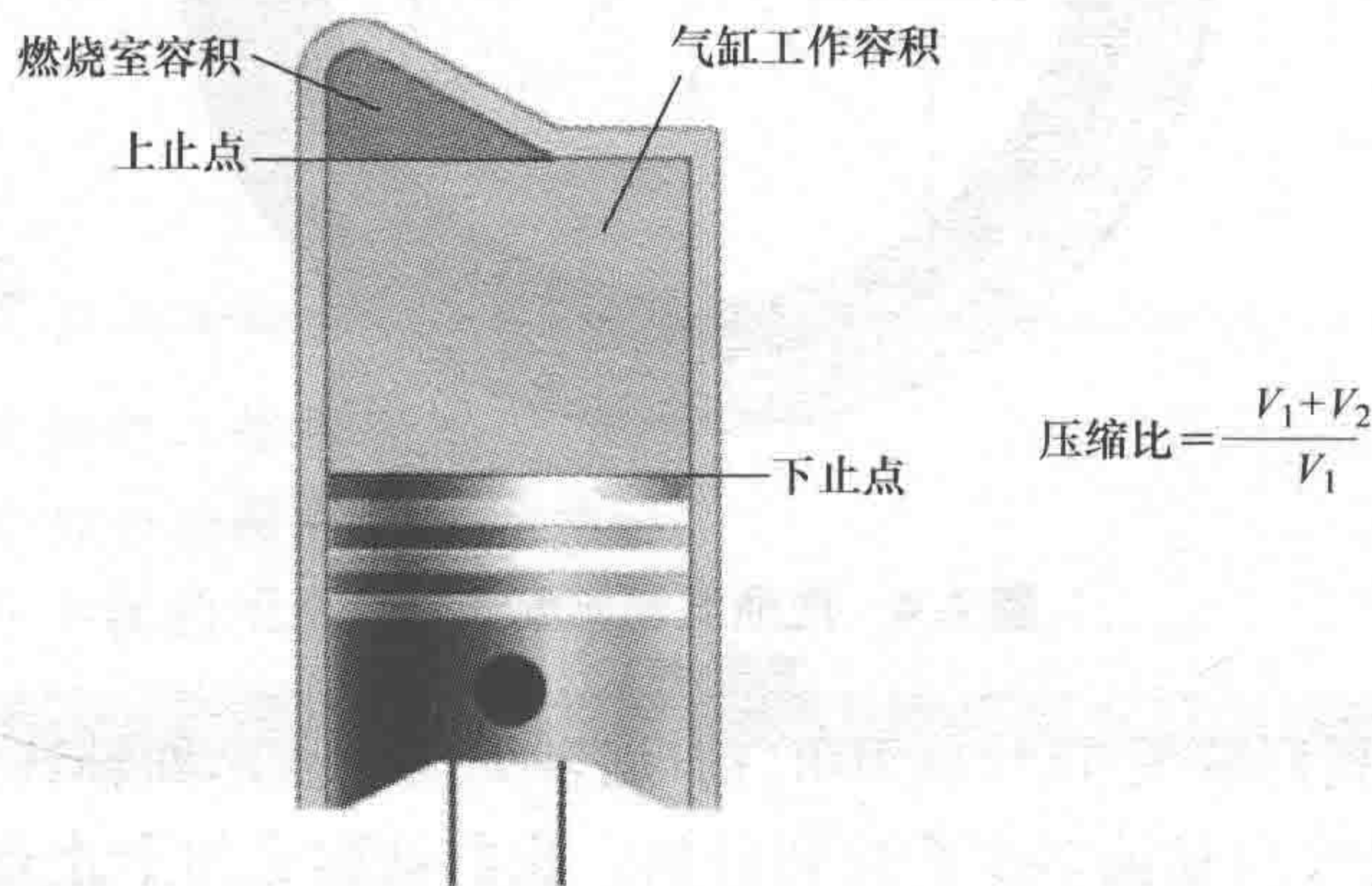


图 2-3 压缩比的形成

压缩比与发动机性能有很大关系，它代表了活塞由下止点运动到上止点时，气缸内气体被压缩的程度。一般来说，压缩比越高的发动机，可燃性混合气被压缩的体积越小，动力性越足、油耗也越小。但压缩比设计得过高容易导致混合气自燃，引起发动机爆燃，发动机工作时抖振会明显增大。

特别提示

高压压缩比的发动机应选用标号高的汽油，以增强其抗爆性，减少发动机机械部件的损坏。

10. 发动机工作循环

在气缸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（进气、压缩、做功和排气）称为发动机的工作循环。

11. 配气相位

用曲轴转角表示的进、排气门实际开闭时刻和开启持续时间，称为配气相位。配气相位的各个角度可用配气相位图来表示，如图 2-4 所示。

为了使发动机进气充分、排气彻底，可以改装发动机的换气过程，提高发动机动力性能，实际上发动机的气门开启和关闭并不恰好在上、下止点，而是适当地提前开启和迟后关闭，以延长进、排气时间。结果，进、排气门开启行程都大于 180° 曲轴转角。

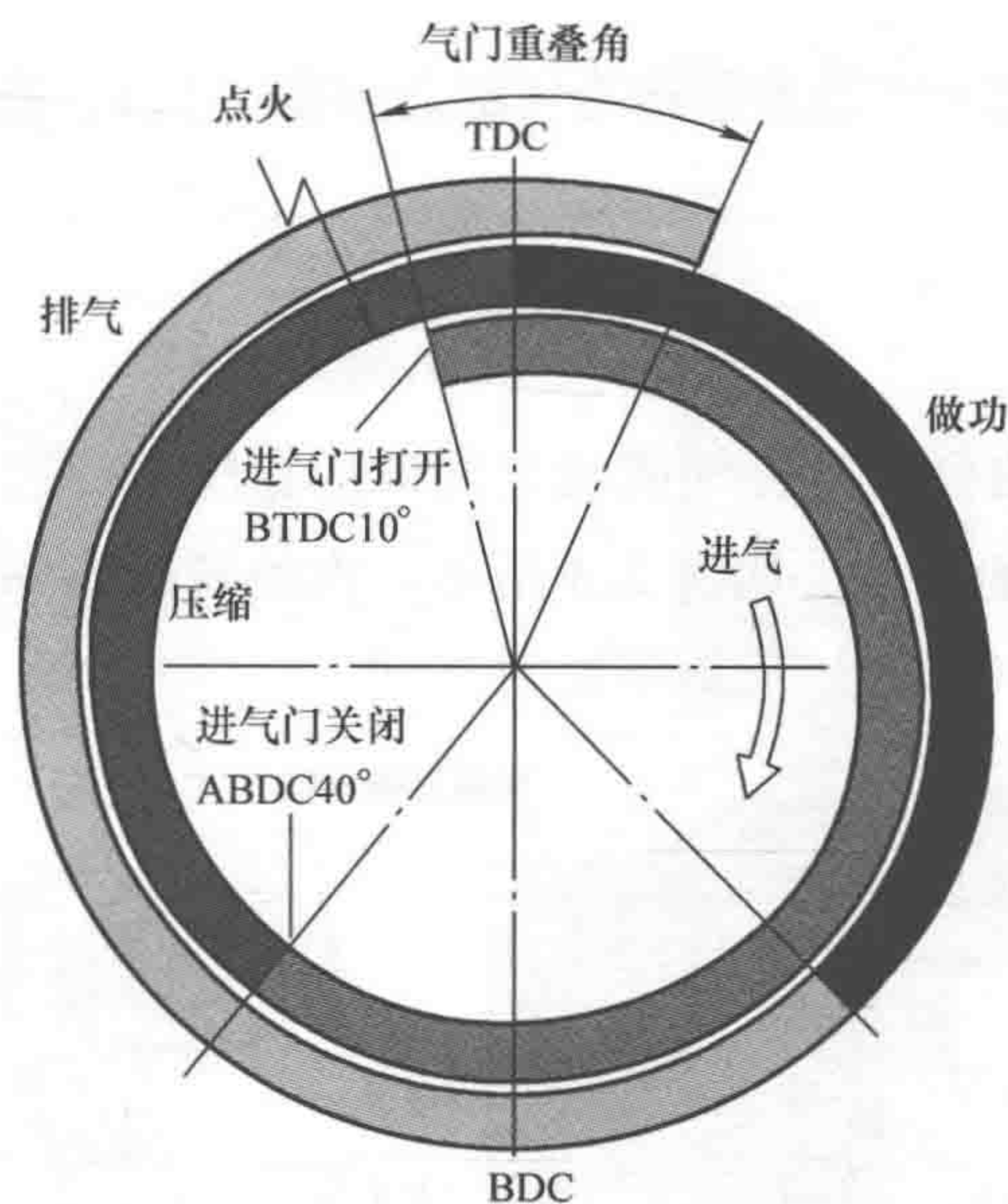


图 2-4 汽油发动机配气相位

为了直观明了，我们常用 TDC 或 BDC 前/后多少度来表示曲轴转角，即活塞到达止点前/后的曲轴角度。进气门提前多少度转角开启，我们就称之为上止点前（BTDC）多少度开启；进气门迟后关闭，我们就称之为下止点后（ABDC）多少度关闭。



你学会了吗？

1. 汽油发动机通常由_____和_____组成。
2. 发动机的常用术语有哪些？它们之间有什么联系？
3. 什么叫配气相位？气门适当地提前开启和迟后关闭有什么作用？
4. 简述发动机的基本结构和各部分的组成、作用。

第 3 天

发动机的工作原理

学习目标

1. 了解汽油发动机的工作原理。
2. 了解发动机的四个冲程是如何运作的。
3. 掌握四冲程汽油机的工作特点。

基础知识

一、汽油发动机的工作原理

汽油发动机通过引燃汽油与空气的混合气产生热能。燃烧在一个封闭的圆柱形空间（燃烧室）内进行，该燃烧室可通过活塞移动改变容积。热能在燃烧室内产生高压，从而向边界面（燃烧室壁、燃烧室顶和活塞）施加作用力，该作用力促使活塞进行运动。

四冲程汽油发动机的基本结构如图 3-1 所示，主要部件有气缸、进气门、排气门、活塞、燃烧室、连杆、曲轴和火花塞。

汽油发动机运转时，曲轴通过正时带或正时链条带动凸轮轴转动，进气门和排气门随凸轮轴的转动而开启和关闭。曲轴每转动 2 圈，凸轮轴就转动 1 圈，各气门开启和关闭 1 次。进气行程时，把可燃混合气引入气缸，然后将进入气缸的可燃混合气压缩，压缩接近终点时火花塞跳火，点燃可燃混合气，通过燃烧产生动能，驱动发动机气缸内的活塞做往复的运动，由此带动连接在活塞上的连杆和与连杆相连的曲柄，围绕曲轴中心做往复的圆周

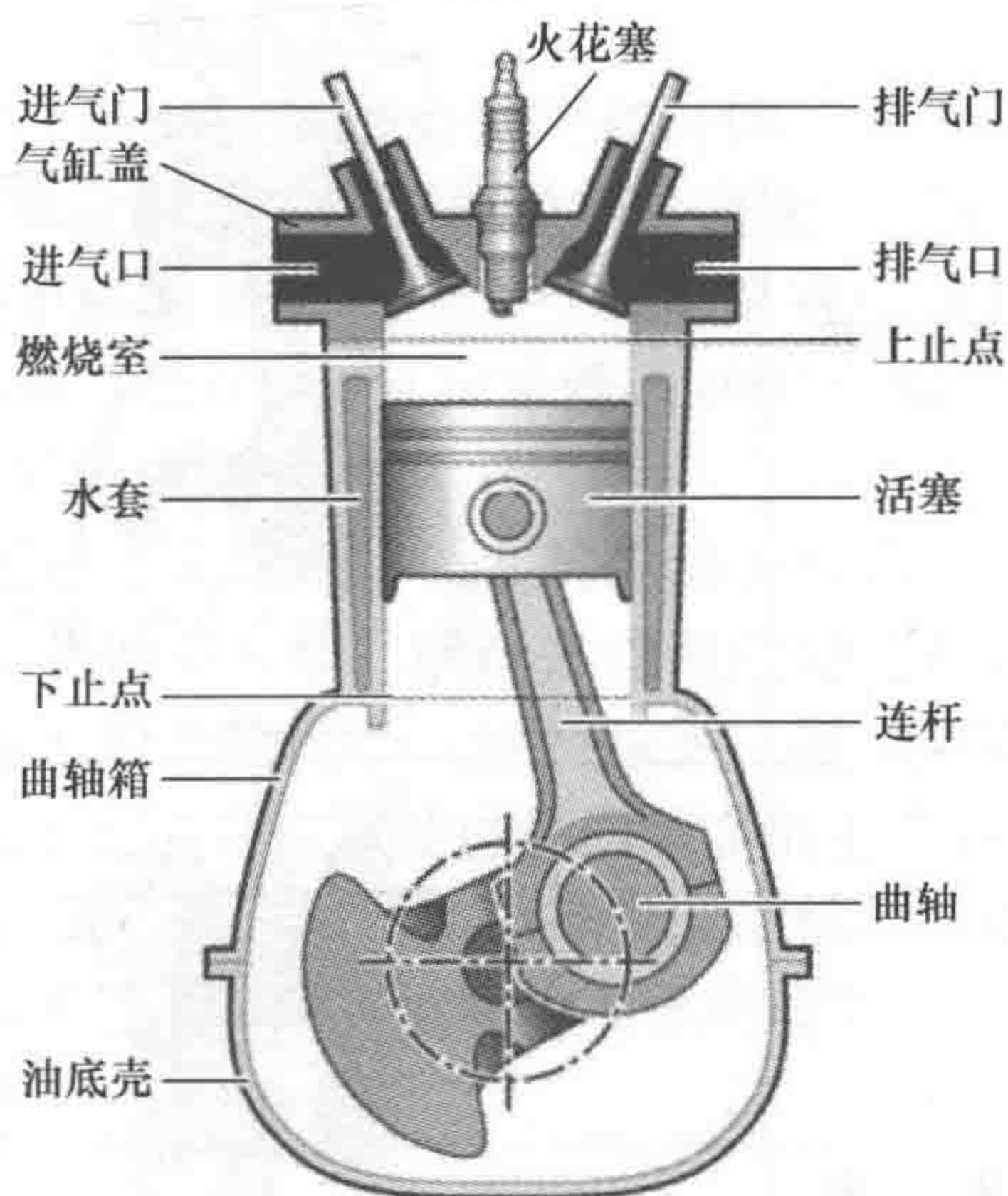


图 3-1 四冲程汽油机的基本结构

运动，从而输出动力。

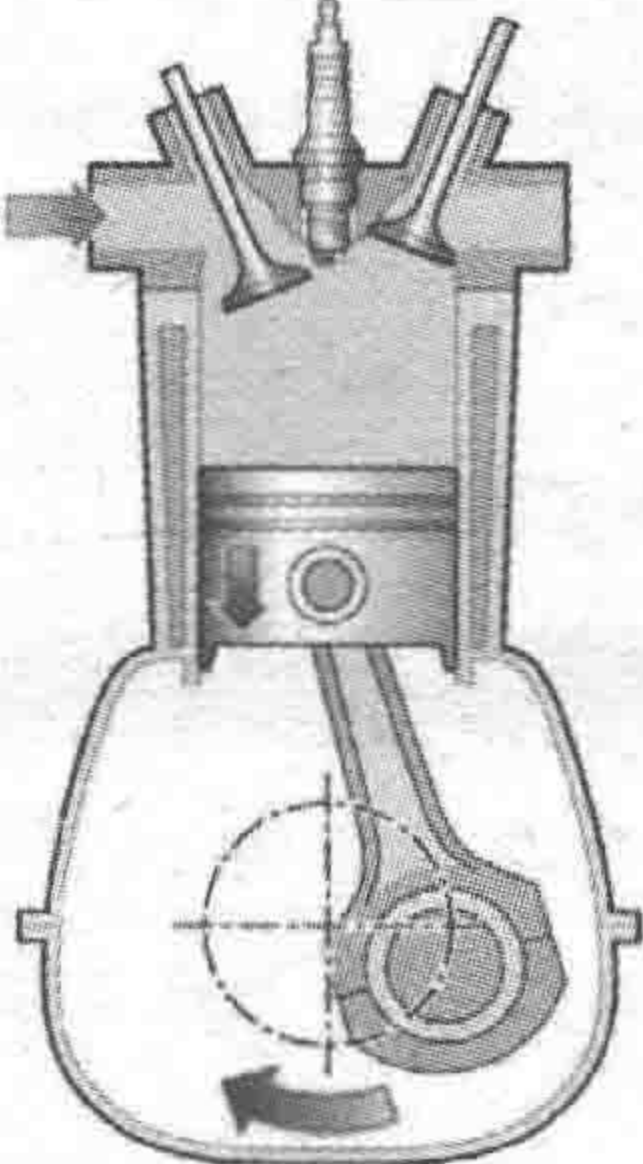
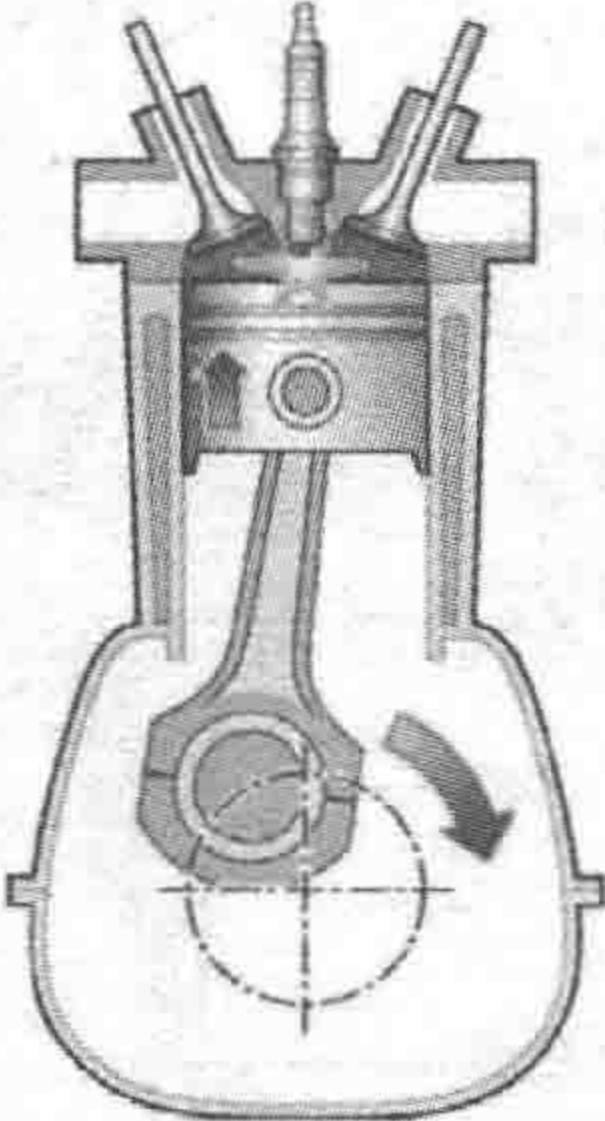
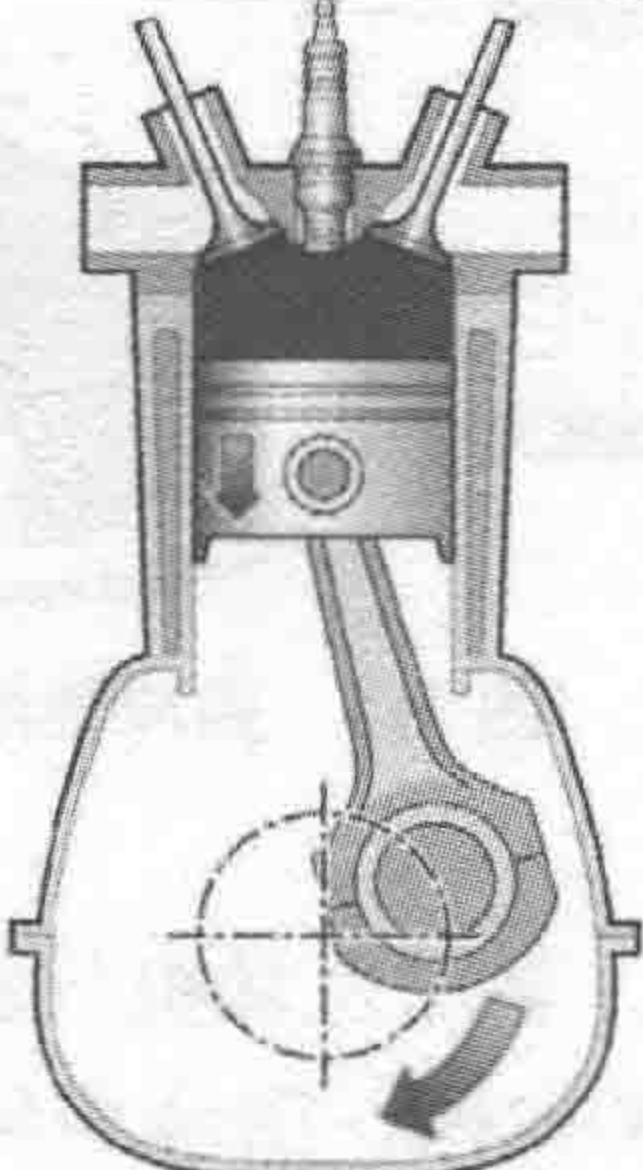
在传统汽油发动机中，汽油和空气的混合气在燃烧室外部混合，随后进入燃烧室内。而在现代直喷汽油发动机中，直接在燃烧室内形成汽油空气混合气。

汽油发动机采用火花点火方式，即混合气通过电火花塞点燃。

二、四冲程发动机工作循环

发动机的作用就是将燃料燃烧产生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，这四个行程（表 3-1）构成了一个工作循环。

表 3-1 四冲程工作原理

行程	示意图	工作原理
进气行程		第 1 行程 活塞朝曲轴方向运动，进气门打开，排气门关闭。活塞向下运行时，气缸内容积逐渐增大，形成一定真空度。经过滤清的空气与汽油混合成可燃混合气，通过进气门被吸人气缸。活塞到达下止点时，进气门关闭，进气行程结束
压缩行程		第 2 行程 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。因为这时容积减小，混合气的压力升高。压缩所需要的功提高了混合气的内能，温度升高。 快要到达上止点时，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，因此作用在活塞上的很大的力驱动活塞重新向曲轴方向运动（过渡到第 3 行程）
做功行程		第 3 行程 随着混合气在缸内的燃烧，气体随着温度、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行程结束。 在做功行程的开始阶段，气缸内气体压力、温度急剧上升。随着活塞下移，压力、温度下降