

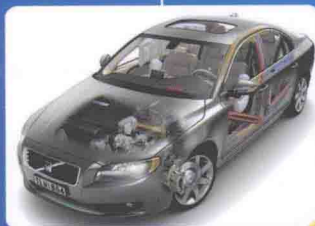
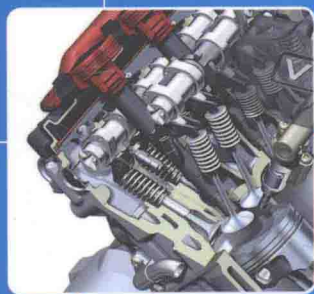


汽车检修一学通丛书

汽车发动机机械系统 第2版 的检测与维修

Qiche Fadongji Jixie Xitong
De Jiance Yu Weixiu

◎ 谭克诚 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

汽车检修一学通丛书

汽车发动机机械系统的 检测与维修

第2版

主 编 谭克诚
副主编 杨玲玲 宛 东



机械工业出版社

本书详细讲解了汽车发动机基本结构、曲柄连杆机构检修、配气机构检修、汽油机燃料供给系统检修、发动机冷却系统检修、发动机润滑系统检修等基础知识、维修工具、维修和检测方法及步骤。通过学习本书,读者能够熟知汽车发动机的基本结构,正确分析发动机及其各组成部分的工作原理,学会汽车发动机机械系统的使用维护、检测、修理,以及发动机的装配与调试等项目的实际操作方法。

本书是发动机维修新手的重要参考书,也可作为汽车检测与维修技术专业的教材,还可作为专业技术人员的工具书及培训参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

汽车发动机机械系统的检测与维修/谭克诚主编. —2版. —北京:机械工业出版社, 2017. 1

(汽车检修一学通丛书)

ISBN 978-7-111-55830-9

I. ①汽… II. ①谭… III. ①汽车—发动机—机械系统—检测—教材
IV. ①U472. 43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 322365 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:连景岩 杜凡如 责任编辑:连景岩 杜凡如 程足芬

责任校对:樊钟英 刘秀芝 封面设计:张 静

责任印制:李 洋

三河市国英印务有限公司印刷

2017 年 3 月第 2 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 19 印张 · 462 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-55830-9

定价: 49.90 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

自 2009 年以来,我国连续八年成为全球汽车产销第一大国,汽车正日益广泛地深入社会生活和人们的日常生活当中,汽车技术也发生了一系列的变化,新结构、新装置、新技术在汽车上不断应用。这就要求培养一大批能够适应汽车工业发展需要的汽车售后技术人才。

本书充分考虑了目前高等职业教育的特点以及汽车发动机维护、保养、检测与故障诊断领域对人才的需求,坚持面向市场、面向社会,以能力为本位,以职业发展为导向,以经济结构调整和科技进步服务为原则;注重理论知识与实践技能的有机结合,实践内容与现行行业标准紧密结合。

本书对从业人员和汽车专业高职学生的知识掌握、能力提升与素质提高有很大的帮助,使读者能全面掌握发动机机械系统的检测与维修。本书有如下特点:

1. 整合学习体系

将发动机机械系统的检测与维修分成十二章,保证每章的完整性与独立性,每章含构造、原理、拆卸、检测、调试、安装、故障诊断与排除以及考核等内容,融“教、学、做”为一体,构建以模块课程为主要特征,以行动导向为主要特点的理论、实践一体化的模式。

2. 理论、实践一体化

本书将理论学习与实践学习融为一体,更有利于提高读者的实际操作能力。

3. 引导读者主动学习

读者通过自己的实际操作填写实训指导手册,并进行数据的处理与分析,把理论知识应用到实践中,提高对理论知识的掌握。

本书有理论、有方法、有工具、有步骤,图文配合,使读者能够全面掌握相关知识。本书由谭克诚任主编,杨玲玲、宛东任副主编。参加编写的人员还有苏宇峰、蓝芳芳、许明疆、王海文、闵承启、罗建和甘慧萍。本书的编写得到上汽通用五菱市场与网络部的大力支持,在编写过程中,参考了大量的著作和文献资料,在此一并向有关作者、编者表示真诚的感谢。

由于作者水平有限,书中不妥或错误之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

目录

前言

第一章 总论..... 1

- 第一节 汽车总体构造 1
- 第二节 汽车行驶基本原理 3
- 思考题 4

第二章 发动机构造及工作原理.....5

- 第一节 汽车发动机类型 5
- 第二节 往复式内燃机 7
- 第三节 发动机构造 12
- 第四节 发动机产品名称和型号 22
- 第五节 发动机性能指标和特性 23
- 思考题 28

第三章 汽车发动机维修基础知识..... 29

- 第一节 汽车技术性能 29
- 第二节 汽车零件的磨损 30
- 第三节 汽车修理和维护制度 34
- 第四节 汽车维修常用工具与检测设备 39
- 第五节 发动机的分解 59
- 思考题 74

第四章 曲柄连杆机构和气缸体的构造与维修..... 75

- 第一节 曲柄连杆机构 75
- 第二节 曲柄连杆机构的检查 78
- 第三节 气缸体的构造 81
- 第四节 气缸体的检测与维修 86
- 思考题 94

第五章 气缸盖的构造与维修..... 95

- 第一节 气缸盖的构造 95
- 第二节 气缸盖的检测与维修 102
- 第三节 气缸垫的构造与维修 104
- 第四节 油底壳与发动机支承 106
- 思考题 107

第六章 活塞连杆组的构造与维修..... 108

- 第一节 活塞的构造 109
- 第二节 活塞的检测与维修 115
- 第三节 活塞环的构造 117
- 第四节 活塞环的检测与维修 123
- 第五节 活塞销的构造与维修 125
- 第六节 连杆的构造与维修 128
- 思考题 135

第七章 曲轴飞轮组的构造与维修..... 137

- 第一节 曲轴的构造 137
- 第二节 曲轴的检测与维修 147
- 第三节 飞轮的构造与维修 154
- 思考题 156

第八章 配气机构的构造与维修..... 157

- 第一节 配气机构的功用及组成 157
- 第二节 气门间隙与配气相位 165
- 第三节 气门组的构造与维修 174
- 第四节 气门传动组的构造与维修 188
- 思考题 207

第九章 汽油机燃油供给系统的构造与维修..... 209

第一节 汽油及其使用性能	209	第十一章 冷却系统的构造与维修.....	237
第二节 发动机燃油供给系统.....	210	第一节 冷却系统的功用及组成	237
第三节 发动机电控燃油供给系统的 构造与维修	214	第二节 水冷系统的构造与维修	240
第四节 发动机燃油供给系统辅助装置 构造与维修	222	思考题	266
思考题	223	第十二章 润滑系统的构造与维修.....	268
第十章 进、排气系统的构造与维修.....	225	第一节 润滑系统的功用及组成	268
第一节 进气系统的构造与维修	225	第二节 润滑系统的构造	271
第二节 排气系统的构造与维修	231	第三节 润滑系统的检测与维修	278
第三节 进、排气管总成的维修	235	第四节 润滑剂	292
思考题	236	思考题	294
		参考文献.....	296

第一章

总 论

第一节 汽车总体构造

汽车由发动机、底盘、车身和电气设备四部分组成。典型的轿车总体构造如图 1-1 所示。

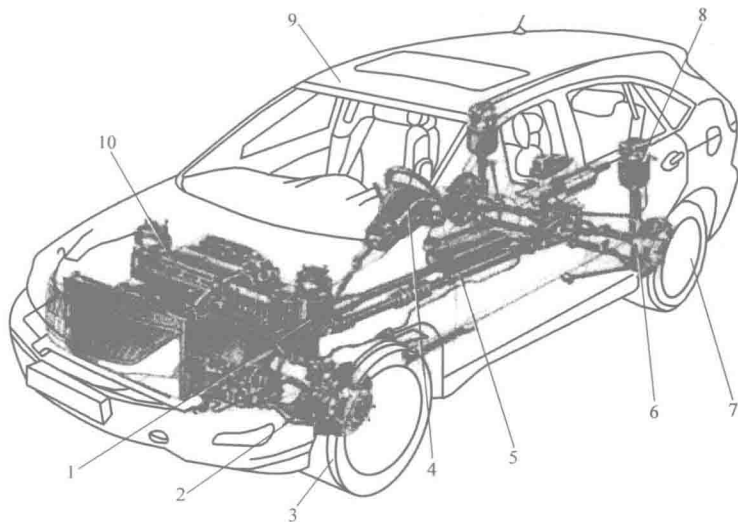


图 1-1 典型的轿车总体构造

- 1—前悬架 2—前桥 3—前轮 4—转向盘 5—传动轴 6—后制动器
7—后轮 8—后悬架 9—车身 10—发动机

1. 发动机

发动机的作用是使输入气缸的燃料燃烧而输出动力。现代汽车广泛应用往复活塞式内燃机，它一般由机体、曲柄连杆机构、配气机构、燃油供给系统、冷却系统、润滑系统、点火系统（汽油发动机采用）、起动系统等部分组成。

2. 底盘

底盘接受发动机的动力，使汽车产生运动，并保证汽车按照驾驶人的操纵正常行驶。底盘由下列部分组成：

1) 传动系统。将发动机 10 的动力传给车轮 3 和 7。传动系统包括离合器、变速器、传动轴 5、主减速器及差速器、传动轴（半轴）等部分。

2) 行驶系统。使汽车各总成及部件安装在适当的位置，对全车起支承作用和对路面起附着作用，缓和道路冲击和振动。它包括支承全车的承载式车身 9、前悬架 1、前轮 3、后悬架 8、后轮 7 等部分。

3) 转向系统。使汽车按驾驶人选定的方向行驶。它由带转向盘 4 的转向器及转向传动装置组成，有的汽车还有转向助力装置。

4) 制动系统。使汽车减速或停车，并可保证驾驶人离去后汽车可靠地停止。它包括前轮制动器、后轮制动器以及控制装置、传动装置和供能装置。

3. 车身

车身是驾驶人的工作场所，也是装载乘客和货物的地方。它包括车前板制件（俗称车头）、车身 9，还包括货车的驾驶室和货厢以及某些汽车上的专用作业设备。

4. 电气设备

电气设备包括电源组、发动机起动系统和点火系统、汽车照明和信号装置、仪表、导航系统、电视、音响、电话等电子设备、微处理机、中央计算机及各种人工智能的操控装置等。

为满足不同的使用要求，不同汽车的总体构造和布置形式各不相同，按发动机和各总成的相对位置不同，汽车的布置形式通常有五种，如图 1-2 所示。

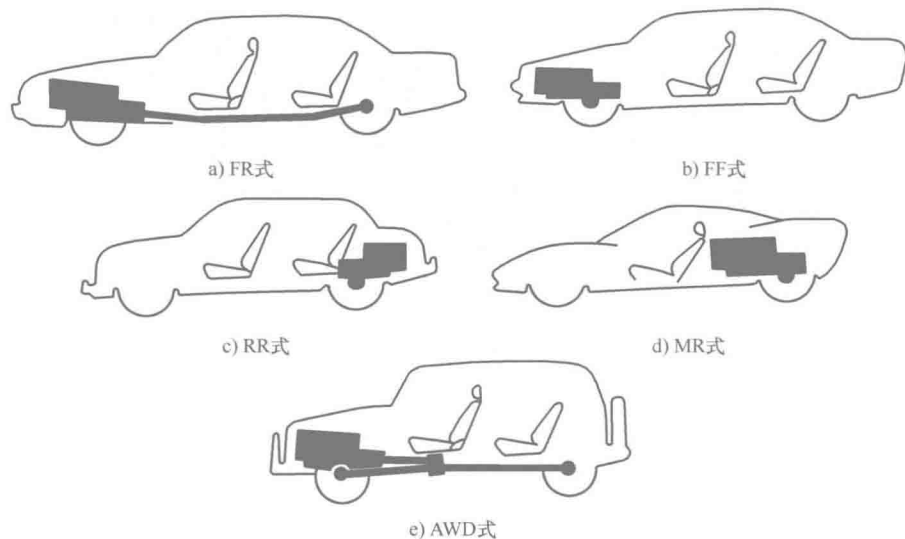


图 1-2 汽车的五种布置形式

1) 发动机前置后轮驱动（FR）是传统的布置形式。大多数货车、部分轿车和部分客车采用这种形式。

2) 发动机前置前轮驱动 (FF) 是在轿车上常用的布置形式, 具有结构紧凑、减小轿车质量、降低地板高度、改善高速行驶时的操纵稳定性等优点。

3) 发动机后置后轮驱动 (RR) 是目前大、中型客车常用的布置形式, 具有降低室内噪声、有利于车身内部布置等优点。少数轿车也采用这种形式。

4) 发动机中置后轮驱动 (MR) 是目前大多数跑车及方程式赛车所采用的形式。由于这类汽车采用功率和尺寸很大的发动机, 将发动机布置在驾驶人座椅之后和后轴之前, 有利于获得最佳轴荷分配和提高汽车的性能。此外, 某些大、中型客车也采用这种布置形式, 把配备的卧式发动机装在地板下面。

5) 全轮驱动 (AWD) 是越野汽车普遍采用的驱动形式, 通常发动机前置, 在变速器后面装有分动器, 以便将动力分别输送到全部车轮上。

第二节 汽车行驶基本原理

要使汽车行驶, 必须具备两个基本行驶条件: 驱动条件和附着条件。

1. 驱动条件

汽车必须有足够的驱动力以克服阻力。汽车的驱动力由发动机发出, 经由传动系统传到车轮上, 形成转矩 M_t , 使车轮旋转。由此, 在驱动轮与地面接触处向地面施加一个力 F_0 , 其数值为 M_t 与车轮半径 r 之比

$$F_0 = \frac{M_t}{r}$$

与此同时, 地面对车轮施加一个与 F_0 数值相等、方向相反的反作用力 F_1 , 如图 1-3 所示, F_1 就是驱动力。

注: 为便于说明问题, 将 F_0 和 F_1 , 分别绘在不同的物体上, 其实它们应在同一条直线上。汽车行驶总阻力 ΣF 包括滚动阻力 F_f 、空气阻力 F_w 和上坡阻力 F_i : $\Sigma F = F_f + F_w + F_i$ 。

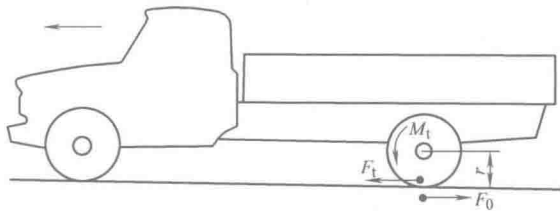


图 1-3 驱动力产生示意图

滚动阻力 F_f 主要由车轮滚动时轮胎与路面变形而产生, 空气阻力 F_w 是由汽车行驶时与其周围空气的相互作用而产生, 上坡阻力 F_i 是汽车重力沿坡道的分力。

汽车行驶的过程是驱动力克服各种阻力的交替变化过程: 当 $F_1 = \Sigma F$ 时, 汽车匀速行驶; 当 $F_1 > \Sigma F$ 时, 汽车速度增加, 同时空气阻力也随车速的增加而急剧增大, 在某个较高速度处达到新的平衡然后匀速行驶; 当 $F_1 < \Sigma F$ 时, 汽车减速乃至停驶。这时, 如果要维持较高的车速, 就需要加大发动机的输出功率或将变速器换入较低的档位以维持较大的驱动力。

2. 附着条件

驱动力的最大值一方面取决于发动机可能发出的最大转矩和变速器换入最低档时的传动比, 另一方面又受到轮胎与地面的附着作用限制。

当汽车在平整硬路面上行驶时, 轮胎与路面存在摩擦力, 这个摩擦力阻碍车轮滑动, 使

车轮能够正常地向前滚动并承受路面的反作用力——驱动力。如果驱动力大于摩擦力，车轮与路面之间就会发生滑动。在松软地面上，除了轮胎与地面的摩擦之外，还有嵌入轮胎花纹凹部的软地面凸起部分的抗滑作用。由附着作用所决定阻碍车轮滑动的力的最大值称为附着力，用 F_{ϕ} 表示。附着力与车轮承受垂直于地面的法向力 G 成正比与地面提供给车轮的附着系数 ϕ 成正比，即

$$F_{\phi} = G \times \phi$$

由此可知，附着力是汽车所能发挥驱动力的极限，其表达式为

$$F_t \leq F_{\phi}$$

此式称为汽车行驶的附着条件。

综上所述，要保证汽车正常行驶必须满足两个条件：一是发动机有足够的功率；二是驱动轮与路面间要有足够的附着力。

在冰雪或泥泞的地面上，附着力很小，汽车的驱动力受到附着力的限制而不能克服较大的阻力，导致汽车减速甚至不能前进。即使加大节气门开度或换入低档，车轮只会滑转而驱动力不会增大。为了增加车轮在冰雪路面的附着力，可采用特殊花纹的轮胎、镶钉轮胎或者在普通轮胎上绕装防滑链。非全轮驱动汽车的附着重力仅为分配到汽车驱动轮上的那一部分汽车总重力，而全轮驱动汽车的附着重力则为全车的总重力，因而其附着力较前者显著增大。

思考题

1. 汽车行驶过程中的阻力有哪些？什么是附着系数？
2. 为什么绝大多数货车都采用前置发动机后轮驱动的形式？

第二章

发动机构造及工作原理

第一节 汽车发动机类型

现代汽车广泛应用往复式活塞式内燃机，它一般由机体、曲柄连杆机构、配气机构、燃油供给系统、冷却系统、润滑系统、点火系统（汽油发动机采用）、起动系统等部分组成。汽车发动机的分类如下：

1. 按活塞运动方式分类

活塞式内燃机可分为往复式活塞式和旋转活塞式两种。前者活塞在气缸内做往复直线运动，后者在气缸内做旋转运动。汽车发动机多为往复式活塞式内燃机。

2. 按活塞行程数分类

根据每个工作循环所需活塞行程数可将往复式活塞式内燃机分为四冲程发动机与二冲程发动机。汽车发动机广泛采用的是四冲程发动机。

3. 按使用燃料分类

发动机可分为汽油机、柴油机和气体燃料发动机等。以汽油和柴油为燃料的活塞式内燃机分别称为汽油机和柴油机，使用天然气、液化石油气和其他气体燃料的活塞式内燃机称为气体燃料发动机。

4. 按着火方式分类

发动机所使用的燃料不同，着火方式也不相同，具体可分为点燃式发动机（汽油机属于此类）和压燃式发动机（柴油机属于此类）。

5. 按冷却方式分类

按照冷却方式的不同，发动机可分为水冷发动机和风冷发动机，如图 2-1 所示。水冷发动机利用在气缸体和气缸盖冷却水套中循环的冷却液作为冷却介质进行冷却；风冷发动机利用流动于气缸体和气缸盖外表面散热片之间的空气作为冷却介质进行冷却。水冷发动机冷却均匀、工作可靠、冷却效果好，被广泛应用于现代车用发动机。

6. 按气缸数分类

发动机按照气缸数可分为单缸发动机和多缸发动机，如图 2-2 所示。现代车用发动机多

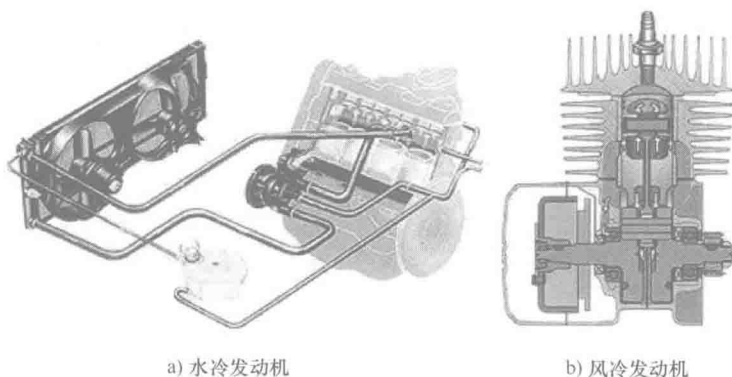


图 2-1 按照冷却方式不同分类

采用四缸、六缸、八缸、十二缸发动机。

7. 按气缸的布置分类

多缸发动机按照气缸的布置不同可分为直列式发动机（图 2-3a）、对置式发动机（图 2-3b）、V 形发动机（图 2-3c）、W 形发动机等。直列式发动机的各个气缸排成一列，一般是垂直布置的。若为了降低高度，有时把气缸布置成倾斜的（斜置式发动机），甚至水平的（卧式发动机）。具有两列气缸，两列之间的夹角小于 180° （一般为 90° ）呈 V 形布置的发动机，称为 V 形发动机，两列之间的夹角等于 180° 时称为对置式发动机。

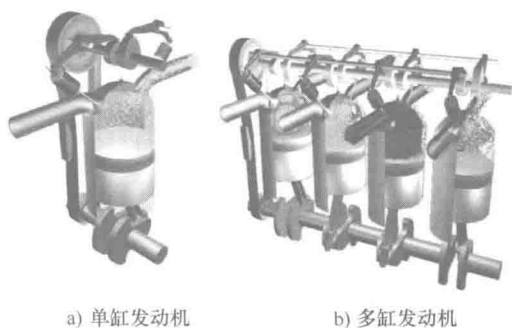
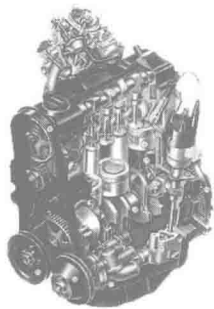
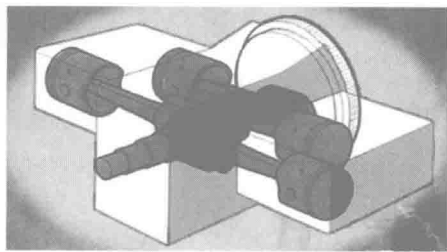


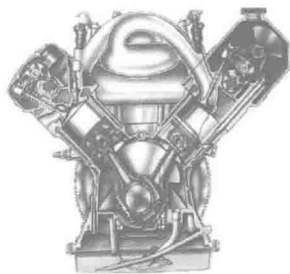
图 2-2 按照气缸数不同分类



a) 直列式



b) 对置式



c) V 形

图 2-3 发动机按照气缸排列方式不同分类

8. 按燃料供给方式分类

发动机按燃料供给方式可分为化油器式发动机（目前已很少采用）和直喷式发动机等。

9. 按进气状态分类

发动机按照进气状态可分为增压式发动机和非增压式发动机。

目前应用最广、数量最多的汽车发动机为水冷、四冲程往复式活塞式内燃机，其中汽油机用于轿车和轻型客、货车上，而大型客车和中、重型货车发动机多为柴油机。由于柴油机具

有燃油经济性及排放性优异等特点,近年来在轿车和轻型客、货车中应用越来越广。

另外,随着汽车保有量的增加,汽车排放法规也越来越严,混合动力汽车或纯电动汽车应运而生。

第二节 往复活塞式内燃机

一、基本结构

往复活塞式内燃机的基本结构如图 2-4 所示。气缸 6 内装有活塞 8,活塞通过活塞销与连杆 9 的小端铰接,连杆的另一端则与曲轴相连,构成曲柄连杆机构。因此,当活塞在气缸内往复运动时,便通过连杆推动曲轴转动。

气缸的顶部用气缸盖密封。在气缸盖上装有进气门和排气门,进、排气门是头部朝下倒挂在气缸盖上的,属于气门顶置式配气机构。通过进、排气门的开闭实现向气缸内充气和向气缸外排气。进、排气门的开闭由凸轮轴控制。凸轮轴由曲轴通过正时带或齿轮、链条驱动旋转,凸轮轴与曲轴的转速比为 1:2。

构成气缸的零件称为气缸体,支承曲轴的零件称为曲轴箱。现代发动机通常将气缸体与曲轴箱铸成一体,称为气缸体一曲轴箱,简称气缸体。

二、基本术语

汽车发动机是一部复杂的能量转换机器,图 2-5 所示为发动机工作示意图,从中可看出

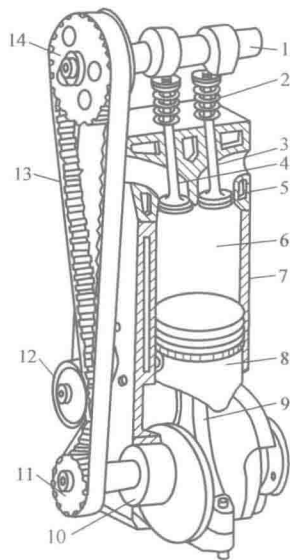


图 2-4 往复活塞式内燃机的基本结构

- 1—凸轮轴 2—气门弹簧 3—进气门 4—排气门
5—气缸盖 6—气缸 7—气缸体 8—活塞 9—连杆
10—曲轴 11—曲轴带轮 12—张紧轮
13—正时带 14—凸轮轴带轮

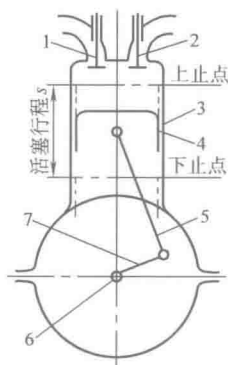


图 2-5 发动机工作示意图

- 1—进气门 2—排气门 3—气缸
4—活塞 5—连杆 6—曲轴
中心 7—曲柄

能量转换机构的最基本组成及其运动关系和一些基本术语。

1) 上止点。活塞顶离曲轴回转中心最远处,通常指活塞上行到最高位置。

2) 下止点。活塞顶离曲轴回转中心最近处,通常指活塞下行到最低位置。

3) 活塞行程(s)。上、下两止点间的距离。

4) 曲柄半径(R)。与连杆下端(即连杆大头)相连的曲柄销中心到曲轴回转中心的距离。曲轴每转一圈,活塞移动两个行程。

5) 气缸工作容积(V_s)。活塞从上止点到下止点所让出的空间容积,也称气缸排量(L)。

$$V_s = \frac{\pi D^2 s}{4 \times 10^6}$$

式中 D ——气缸直径(mm);

s ——活塞行程(mm)。

6) 发动机工作容积(V_L)。发动机所有气缸工作容积之和,也称发动机排量。设发动机的气缸数为 i ,则

$$V_L = iV_s$$

7) 燃烧室容积(V_c)。活塞在上止点时,活塞顶上面的空间称为燃烧室,它的容积称为燃烧室容积。

8) 气缸总容积(V_a)。活塞在下止点时,活塞顶上面的容积称为气缸总容积。它等于气缸工作容积与燃烧室容积之和,即 $V_a = V_s + V_c$

9) 压缩比(ε)。气缸总容积与燃烧室容积的比值,即

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

它表示活塞由下止点运动到上止点时,气缸内气体被压缩的程度。压缩比越大,压缩终了时气缸内的气体压力和温度就越高。一般车用汽油机的压缩比为6~10,柴油机的压缩比为15~22。

10) 发动机的工作循环。在气缸内进行的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。

► 三、工作原理

汽油机是将汽油和空气混合后的可燃混合气或纯空气吸入发动机气缸(TSI和GDI发动机吸入的是纯空气)。TSI(Twincharger Stratified Injection)指双增压(涡轮和机械增压)分层喷射技术。GDI(Gasoline Direct Injection)指汽油直喷技术。这两类发动机用电火花强制点燃使其燃烧,产生热能膨胀做功。柴油机是利用喷油泵、喷油器使柴油在高压下直接喷入发动机气缸,并与气缸内已经被压缩的高温、高压空气混合形成混合气,自燃后产生热能而膨胀做功。

1. 四冲程汽油机的工作原理

完成一个工作循环,曲轴转两圈(720°),活塞上下往复运动四次,称为四冲程发动机。四冲程汽油发动机每完成一个工作循环需要经过进气、压缩、做功和排气四个行程,如图2-6所示。为了分析工作循环力 p 与对应的活塞不同位置的气缸容积 V 之间的变化关系,通常用发动机循环示功图表示它们的关系。示功图中曲线所围成的面积表示发动机一个工作

循环中气体在单个气缸内所做的功。四冲程汽油机的示功图表示活塞在不同位置时气缸内气体压力的变化情况,如图 2-7 所示。

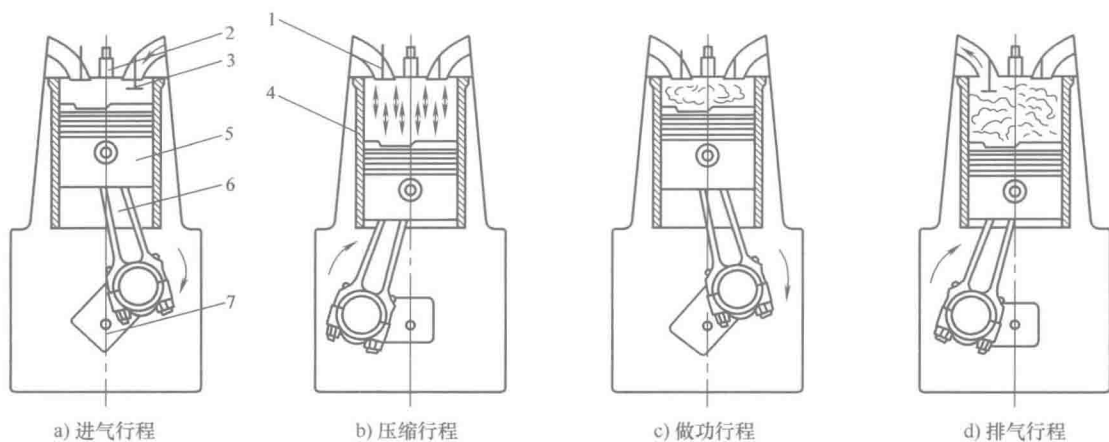


图 2-6 四冲程汽油机工作原理示意图

1—排气门 2—火花塞 3—进气门 4—气缸 5—活塞 6—连杆 7—曲轴

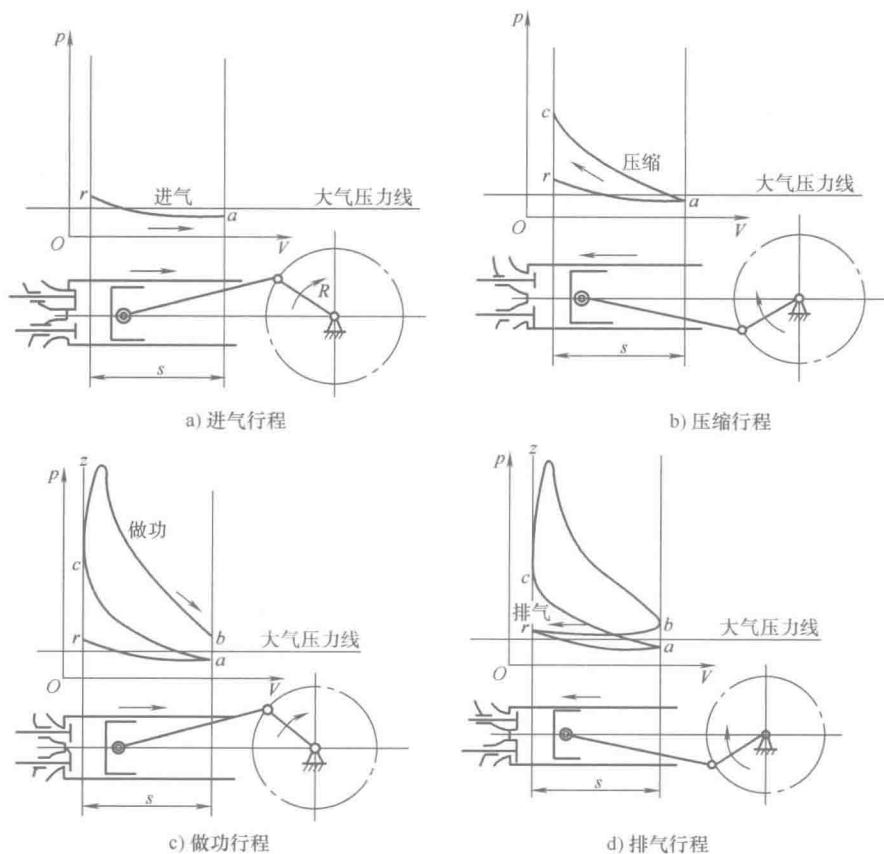


图 2-7 四冲程汽油机示功图

(1) 进气行程 进气行程开始时,进气门开启,排气门关闭,活塞被曲轴带动从上止点向下止点移动一个行程,曲轴由 0° 沿顺时针方向转到 180° 。当活塞从上止点向下止点移

动时,气缸内活塞上方的容积增大,压力降低到小于大气压力,产生真空度。这时,可燃混合气或纯空气经进气歧管、进气门被吸入气缸。由于进气系统有阻力,且进气时间很短,故进气终了时气缸内的气体压力略低于大气压力,压力为 $0.075 \sim 0.09 \text{ MPa}$ 。

流进气缸内的可燃混合气,因与气缸壁、活塞顶等高温机件接触并与前一行程(排气行程)残留的高温废气混合,所以它的温度上升到 $370 \sim 400 \text{ K}$ 。图2-7a所示进气行程用曲线 ra 表示。

(2) 压缩行程 进气行程结束时,活塞在曲轴的带动下,从下止点向上止点运动,曲轴由 180° 转到 360° ,气缸内容积逐渐减小。此时进、排气门均关闭,可燃混合气被压缩,至活塞到达上止点时压缩行程结束。压缩过程中,气体压力和温度同时升高,并使混合气进一步均匀混合,压缩终了时,气缸内的压力为 $0.6 \sim 1.5 \text{ MPa}$,温度为 $600 \sim 800 \text{ K}$ 。图2-7b所示压缩行程用曲线 ac 表示。

压缩终了时可燃混合气的压力和温度取决于压缩比。压缩比越大,燃烧速度越快,因而发动机发出的功率便越大,经济性越好。但压缩比过大时,不仅不能进一步改善燃烧性,反而会出现爆燃和表面点火等不正常燃烧现象。

(3) 做功行程 在这个行程中,进、排气门仍关闭。当活塞接近上止点时,装在气缸盖上的火花塞在高压电作用下产生电火花,点燃被压缩的可燃混合气,并迅速燃烧,使气体的温度、压力迅速升高,从而推动活塞从上止点向下止点运动,带动曲轴从 360° 转到 540° ,通过连杆使曲轴旋转做功,至活塞到达下止点时做功结束。

可燃混合气燃烧后,放出大量的热能,使混合气的压力和温度急剧升高。瞬时压力可达 $3 \sim 5 \text{ MPa}$,瞬时温度可达 $2200 \sim 2800 \text{ K}$,并输出机械能,除了维持发动机本身继续运转消耗一部分能量外,其余部分都用于对外做功。在做功行程终了时,压力降到 $0.3 \sim 0.5 \text{ MPa}$,温度则降为 $1300 \sim 1600 \text{ K}$ 。图2-7c所示示功图上的曲线 czb 表示做功行程气缸内气体压力的变化情况。

(4) 排气行程 在做功行程接近终了时,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,曲轴由 540° 旋转到 720° 。废气在自身剩余压力和活塞的推动下,被排出气缸,至活塞到达上止点时,排气门关闭,排气结束。因排气系统存在排气阻力,排气行程终了时,气缸内压力略高于大气压力,为 $0.105 \sim 0.115 \text{ MPa}$,温度为 $900 \sim 1200 \text{ K}$ 。图2-7d所示示功图上的曲线 br 代表排气行程。

因燃烧室占有一定容积,故排气终了时,不可能将废气排尽,留下的这一部分废气称为残余废气。

结论:可见四冲程汽油机经过进气、压缩、做功、排气四个行程完成一个工作循环,这期间活塞在上、下止点往复运动了四个行程,相应地曲轴旋转了两圈。

2. 四冲程柴油机工作原理

四冲程柴油机(压燃式发动机)和四冲程汽油机一样,每个工作循环也经历进气、压缩、做功和排气四个过程。

图2-8所示为四冲程柴油机工作示意图。柴油机在进气行程吸入的是纯空气。在压缩行程接近终了时,柴油经喷油泵将油压提高到 10 MPa 以上,通过喷油器的高压喷射,将柴油分散成数以百万计的细小油滴喷入气缸,在很短时间内与压缩后的高温、高压空气混合,形成可燃混合气。可见,柴油机混合气的形成不同于汽油机,它是在气缸内形成的。

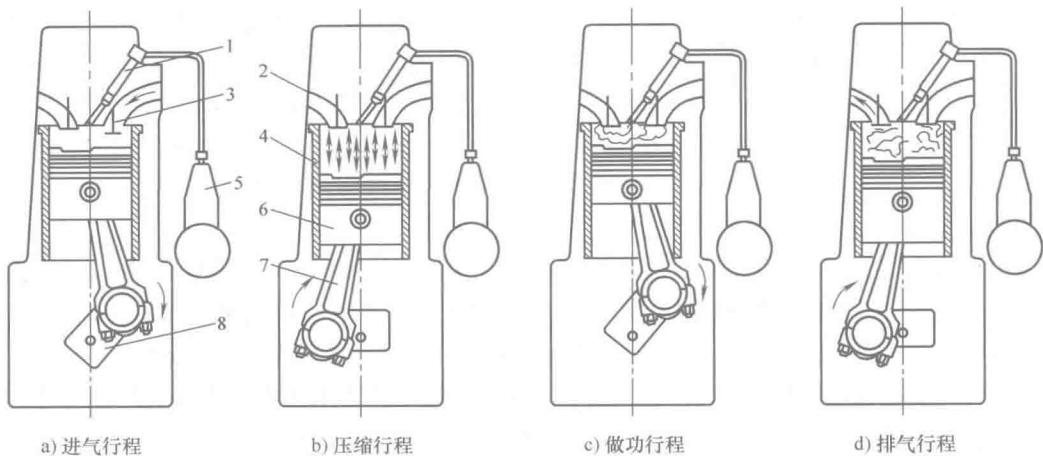


图 2-8 四冲程柴油机工作示意图

1—喷油器 2—排气门 3—进气门 4—气缸 5—喷油泵 6—活塞 7—连杆 8—曲轴

柴油机进气、压缩、做功和排气四个行程有如下特点：

- 1) 进气行程。进入气缸的不是可燃混合气，而是纯空气。
- 2) 压缩行程。将进入气缸的纯空气压缩，由于柴油的压缩比（为 15 ~ 22），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) 做功行程。在压缩行程终了时，喷油泵将高压柴油经喷油器呈雾状喷入气缸，被迅速汽化并与高温、高压空气形成混合气。由于气缸内的温度高于柴油的自燃温度（约 500K），柴油混合气便立即自行着火燃烧，且此后一段时间内边喷油边燃烧，气缸内压力和温度急剧升高，推动活塞下行做功。瞬时压力可达 5 ~ 10MPa，瞬时温度可达 2000 ~ 2500K。
- 4) 排气行程。此行程与汽油机基本相同。汽油机与柴油机在工作原理与性能上的区别见表 2-1。

表 2-1 汽油机与柴油机在工作原理与性能上的区别

工作循环	对比参数	柴 油 机	汽 油 机
进气行程	吸入的物质	纯空气	可燃混合气或纯空气
	压力	0.0785 ~ 0.0932MPa	0.075 ~ 0.09MPa
	温度	300 ~ 370K	370 ~ 400K
压缩行程	压缩的物质	纯空气	可燃混合气（或纯空气）
	压力	3.5 ~ 4.5MPa	0.6 ~ 1.2MPa
	温度	750 ~ 1000K	600 ~ 700K
做功行程	着火方式	喷油器将高压柴油以雾状喷入燃烧室，柴油和空气在气缸内形成可燃混合气并着火燃烧	火花塞产生电火花点燃可燃混合气
	压力	6 ~ 9MPa	3 ~ 5MPa
	温度	2000 ~ 2500K	2200 ~ 2800K
排气行程	排出物质	排出废气	排出废气
	压力	0.105 ~ 0.125MPa	0.105 ~ 0.115MPa
	温度	800 ~ 1000K	900 ~ 1200K

注：采用高压共轨的柴油喷油器喷射油压高达 180 ~ 200MPa；缸内直喷汽油机喷油器喷射油压高达 10 ~ 12MPa。