



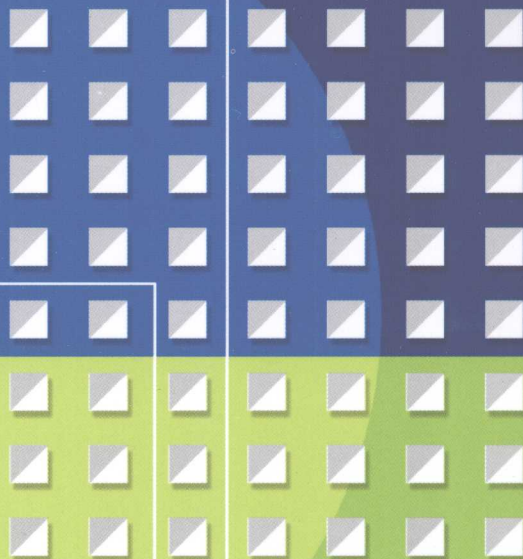
高等学校“十一五”精品规划教材

# 汽车构造

主 编 韩靖玉

副主编 金景海 侯占峰

QICHE GOUZAO



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

高等学校“十一五”精品规划教材

---

# 汽车构造

主 编 韩靖玉

副主编 金景海 侯占峰



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

## 内 容 提 要

本书为高等学校“十一五”精品规划教材之一，主要内容有：汽车发动机、汽车传动系统、汽车行驶系统、汽车转向系统、汽车制动系统、汽车电子控制技术等内容。本书内容新颖，图文并茂，通俗易懂。

本书可作为高等院校车辆工程、交通工程、汽车修理、汽车运用工程、机械制造及其自动化和农业机械化及其自动化等相关专业的教材，也可供从事汽车运输管理、汽车设计制造、汽车维修管理的工程技术人员以及汽车驾驶员学习参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

汽车构造 / 韩靖玉主编. —北京：中国水利水电出版社，  
2009

高等学校“十一五”精品规划教材

ISBN 978-7-5084-6341-4

I. 汽… II. 韩… III. 汽车-构造-高等学校-教材  
IV. U463

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 032680 号

|      |                                                                                                                                                                                                                        |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 书 名  | 高等学校“十一五”精品规划教材<br><b>汽车构造</b>                                                                                                                                                                                         |
| 作 者  | 主编 韩靖玉 副主编 金景海 侯占峰                                                                                                                                                                                                     |
| 出版发行 | 中国水利水电出版社<br>(北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038)<br>网址: <a href="http://www.waterpub.com.cn">www.waterpub.com.cn</a><br>E-mail: <a href="mailto:sales@waterpub.com.cn">sales@waterpub.com.cn</a><br>电话: (010) 68367658 (营销中心) |
| 经 售  | 北京科水图书销售中心 (零售)<br>电话: (010) 88383994、63202643<br>全国各地新华书店和相关出版物销售网点                                                                                                                                                   |
| 排 版  | 中国水利水电出版社微机排版中心                                                                                                                                                                                                        |
| 印 刷  | 北京市地矿印刷厂                                                                                                                                                                                                               |
| 规 格  | 184mm×260mm 16 开本 16.25 印张 385 千字                                                                                                                                                                                      |
| 版 次  | 2009 年 6 月第 1 版 2009 年 6 月第 1 次印刷                                                                                                                                                                                      |
| 印 数  | 0001—4000 册                                                                                                                                                                                                            |
| 定 价  | <b>32.00 元</b>                                                                                                                                                                                                         |

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

# 前 言

本书是高等学校“十一五”精品规划教材之一。全书共分七章，包括：概述、汽车发动机、汽车传动系统、汽车行驶系统、汽车转向系统、汽车制动系统及汽车电子控制技术等。本书力求编排新颖，内容力图反映当代汽车技术发展状况，注重专业基础理论和实践运用相结合，其特点是：以基础知识点为主，结合国内外典型汽车实例，介绍汽车的结构、性能和工作原理；以轿车内容为主，介绍近年来已成熟的新结构和新技术。本书可作为车辆工程、交通工程、汽车修理及汽车运用工程、机械制造及其自动化和农业机械及其自动化等本、专科专业的教材；也可供从事汽车运输管理、汽车设计制造、汽车维修管理的工程技术人员以及职业技术学院学生和汽车驾驶员学习参考。

本书由内蒙古农业大学韩靖玉任主编，内蒙古兴安盟职业技术学院金景海和内蒙古农业大学侯占峰任副主编。全书由韩靖玉统稿。具体编写分工如下：前言、第二章的第一节~第四节由韩靖玉编写；第二章的第五节~第六节由金景海编写；第二章的第七节~第十节由冬梅编写；第二章的第十一节~第十二节、第三章的第五节~第七节由韩巧丽编写；第三章的第一节~第四节由张兴磊编写；第四章、第五章由侯占峰编写；第一章、第六章、第七章由王新编写。

由于作者水平有限，书中难免有疏漏或不妥之处，敬请读者给予批评指正。

作 者

2009年4月

# 目 录

## 前言

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 第一章 概述                 | 1   |
| 第二章 汽车发动机              | 6   |
| 第一节 发动机的结构与原理          | 6   |
| 第二节 机体组                | 12  |
| 第三节 曲柄连杆机构             | 18  |
| 第四节 配气机构               | 31  |
| 第五节 发动机进排气系统           | 45  |
| 第六节 燃油供给系统             | 52  |
| 第七节 发动机电控燃油喷射系统        | 82  |
| 第八节 传统点火系统             | 95  |
| 第九节 发动机电控点火系统          | 104 |
| 第十节 润滑系统               | 110 |
| 第十一节 冷却系统              | 117 |
| 第十二节 发动机启动系统           | 123 |
| 第三章 汽车传动系统             | 128 |
| 第一节 传动系统的功能、类型及组成和布置形式 | 128 |
| 第二节 离合器                | 134 |
| 第三节 变速器                | 143 |
| 第四节 自动变速器              | 156 |
| 第五节 分动器                | 170 |
| 第六节 驱动桥                | 173 |
| 第七节 万向传动装置             | 187 |
| 第四章 汽车行驶系统             | 196 |
| 第一节 悬架                 | 196 |
| 第二节 车架                 | 208 |
| 第三节 车桥                 | 210 |
| 第四节 车轮与轮胎              | 214 |
| 第五节 巡航控制系统             | 217 |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| <b>第五章 汽车转向系统</b> .....   | 222 |
| 第一节 转向方式与原理.....          | 222 |
| 第二节 轮式车辆转向系统.....         | 223 |
| <b>第六章 汽车制动系统</b> .....   | 234 |
| 第一节 制动系统的功用、组成及工作原理.....  | 234 |
| 第二节 制动器.....              | 235 |
| 第三节 制动传动机构.....           | 238 |
| 第四节 制动防抱死装置.....          | 244 |
| <b>第七章 汽车电子控制技术</b> ..... | 248 |
| 第一节 汽车电子控制系统的组成.....      | 248 |
| 第二节 汽车电子控制系统的类型.....      | 251 |
| <b>参考文献</b> .....         | 253 |

# 第一章 概 述

## 一、汽车类型

### 1. 按动力装置形式划分

(1) 活塞式内燃机汽车。根据不同的使用燃料，汽车上普遍使用活塞式汽油内燃机和柴油内燃机。汽油和柴油仍将是活塞式内燃机的主要燃料。各种代用燃料的出现，为解决能源危机和环境污染提供了条件。如以丙烷和丁烷为主的液化石油气（LPG）、压缩天然气（CNG）以及甲醇和乙醇类等。

(2) 电动汽车。以直流电动机为动力，以蓄电池为能源的车辆。电动汽车的主要优点是无废气排放，无噪声，能量转换效率高，较容易实现操纵自动化。但由于蓄电池在能量、充电时间、寿命、放电能力等方面还不尽如人意，从而限制了电动汽车的普及。

目前性能好、重量轻的镍—镉电池、镍—铁电池的研究有较大进展，但制造工艺复杂，成本较高，价格昂贵。电动机的供能装置可以是太阳能电源，也可以是其他形式的电源。

(3) 燃气轮机汽车。与活塞式内燃机相比，燃气轮机功率大、质量小、转矩特性好、所用燃油无严格限制，但耗油量大、噪声大、制造成本较高。

(4) 喷气式汽车。是一种利用特殊燃料，依靠航空发动机或火箭发动机，利用喷气反作用力驱动的轮式汽车，因此有较高的行驶速度。

### 2. 按道路行驶条件分类

(1) 公路用车。行驶于公路和城市道路上的汽车。受交通法规的限制。

(2) 非公路用车。它分为两类：①其轮廓尺寸和单轴负荷等参数超出法规的限制，只能在矿山、机场、工地、无路或专用道路行驶的汽车；②越野汽车，是一种能在复杂及无路地面上行驶的高通过性的汽车。越野汽车可以是轿车、客车、货车或其他用途的汽车。轮式越野车通常配备有越野轮胎，而且采用全驱动的结构形式。根据 GB/T3730.1—2001 的规定，越野汽车按其总质量可分为轻型（ $\leq 5\text{t}$ ）、中型（ $5\sim 13\text{t}$ ）、重型（ $> 13\text{t}$ ）等。

### 3. 按行驶机构的特征分类

(1) 轮式汽车。通常分为非全轮驱动和全轮驱动两种。汽车的驱动形式常用汽车的全部车轮数乘以驱动车轮数（ $n \times m$ ）表示，普通汽车一般只有两个后轮驱动，如解放 CA1091 型普通货车为（ $4 \times 2$ ）型，全部车轮为 4，驱动车轮为 2；BJ2020 越野车为  $4 \times 4$  型汽车，全部车轮为 4，且全部为驱动车轮。

(2) 其他类型的车辆。主要有履带式、气垫式、雪橇式等车辆。

### 4. 按用途分类

依据现行国家有关汽车分类的新标准（GB/3730.1—2001）将汽车分为乘用车和商用车两大类。

乘用车是指在设计和技术特性上主要用于载运乘客及其随身行李和临时物品的汽车，包括驾驶员座位在内最多不超过9个座位，它也可以牵引一辆挂车。乘用车包括普通乘用车、活顶乘用车、高级乘用车、小型乘用车、敞篷车、舱背乘用车（这6种俗称轿车）、旅行车、多用途乘用车、短头乘用车、越野乘用车、专用乘用车等11类。

商用车是指在设计和技术特性上用于运送人员和货物的汽车，并且可以牵引挂车。商用车包括客车、货车、半挂牵引车三类。客车可分为小型客车、城市客车、长途客车、旅游客车、铰接客车、无轨电车、越野客车、专用客车。货车又分为普通货车、多用途货车、全挂牵引车、越野货车、专用作业车、专用货车等。

## 二、汽车组成

汽车通常由发动机、底盘、电器与电子设备和车身四大部分组成。

(1) 发动机是使用供入其中的燃料燃烧而发出动力的装置。目前，汽车上广泛采用活塞式内燃机作为动力装置。它一般由机体组、曲柄连杆机构、配气机构、燃料供给系统、进排气系统、润滑系统、冷却系统、点火系统（汽油发动机用）和启动系统等部分组成。

(2) 底盘是接受发动机的动力，传递动力使汽车产生动力，并按驾驶员的操纵而正常行驶的部件。底盘由传动系、行驶系、转向系及制动系等部分组成。

传动系是将发动机动力传递给驱动轮。按动力传递方式的不同，传动系可分为机械式传动、液力机械式传动、液力传动、电传动等几种，目前广泛采用机械式传动和液力机械式传动。传动系包括离合器、变速器、传动轴、驱动桥（含主减速器、差速器及半轴）等部件。

行驶系将汽车的各总成及部件联成一个整体并对全车起承载作用，以保持汽车行驶的平顺性。它包括车桥和桥壳、车架、悬架（前悬架和后悬架）、车轮（转向轮和驱动轮）等部件。

转向系确保汽车按驾驶员选择的方向行驶。转向系由转向盘、转向器和转向传动装置组成，采用动力转向时还应有转向加力装置。

制动系使汽车迅速减速或停车，并保证驾驶员离去后汽车能可靠地停驻。它包括行车、驻车、应急和辅助等制动系统。每辆汽车的制动装备包括若干个相互独立的制动系统，每个制动系统都由供能装置、控制装置、传动装置及制动装置组成。

转向系、制动系与行驶系共同保证汽车的高速、稳定、安全行驶。

(3) 电器与电子设备。电器设备由电源组（蓄电池、发电机）、发动机启动系、点火系（汽油机）、汽车照明与信号装置、仪表、空调、刮水器、收录机、门窗玻璃电动升降设备等组成。目前，汽车上普遍装有各种电子设备如微处理机、电控燃油喷射及电控点火、进气、排放、怠速、增压等装置，变速器的电控自动换挡系统，制动系的电子防抱死装置（ABS）等。

(4) 车身是驾驶员工作的场所，也是容纳乘客和货物的空间。车身应为驾驶员提供比较方便的操作条件，并为乘客提供安全、舒适的乘车环境和保证货物完好无损。它包括车前板制件（车头）、车身体及副车架，还包括货车的驾驶室和货箱以及某些汽车上的特种作业设备。

轿车和客车车身一般是整体壳体，有承载式车身和非承载式车身之分。

载货车车身由驾驶室和货厢（或封闭式货厢）两部分组成。

### 三、汽车总体布置

汽车的布置形式主要与发动机位置及汽车的驱动形式有关。为了适应不同使用要求及改善汽车某方面使用性能，汽车的总体构造和布置形式可作某些变更。

#### 1. 发动机前置后轮驱动 (FR)

发动机置于汽车前部而后轮作为驱动轮，如图 1-1 所示，是传统的布置形式，国内外大多数货车、部分轿车和部分客车都采用这种形式。这是  $4\times 2$  型汽车常见的布置方案，FR 形式的布置采用发动机纵置的方式，这种布置的优点是发动机散热好，有利于驾驶员根据发动机工作响声来判断发动机工况，操纵机构简单、维修方便。

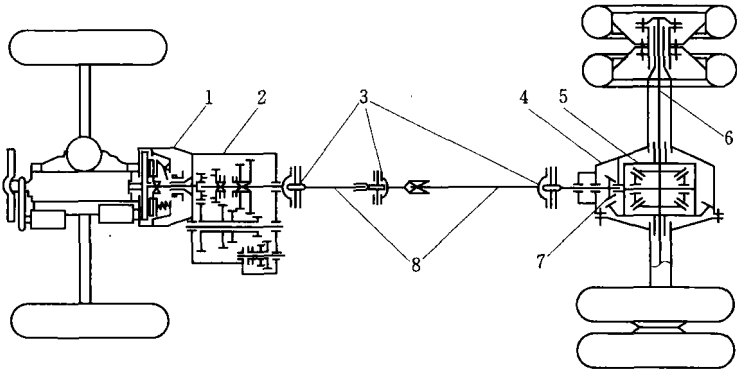


图 1-1 发动机前置后轮驱动示意

1—离合器；2—变速器；3—万向节；4—驱动桥；5—差速器；6—半轴；7—主减速器；8—传动轴

FR 布置缺点是前轴分配负荷较大；发动机与驱动桥距离大，使传动系复杂而不紧凑，增加了车辆质量。

#### 2. 发动机后置后轮驱动 (RR)

发动机位于后桥之后，可以横置也可以纵置，常采用卧置。如图 1-2 所示，发动机 1、离合器 2 和变速器 3 都横向布置在驱动桥之后，驱动桥采用非独立悬架。主减速器和变速器之间相对位置经常变化。因此在两者之间需设置万向传动装置 5 和角传动装置 4。这是目前大、中型客车盛行的布置形式，具有降低车内噪声、有利于车身内部布置等优点。这种布置使汽车质量较合理地分配到前后轴上，能更充分利用车厢面积，降低汽车地板高度。但是，发动机后置散热比较困难，由于发动机远离驾驶员，驾驶员难以根据发动机工作响声判断发动机工况。远距离操纵使操纵杆件管路等比较复杂。

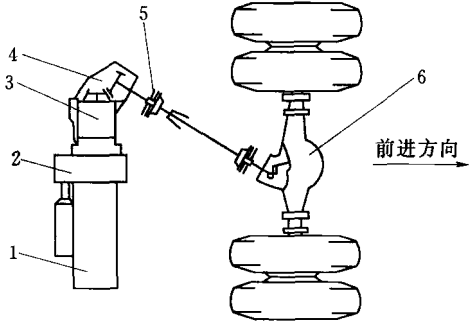


图 1-2 发动机后置后轮驱动示意

1—发动机；2—离合器；3—变速器；4—角传动装置；5—万向传动装置；6—驱动桥

#### 3. 发动机前置前轮驱动 (FF)

发动机位于前桥之前，发动机可以横置或纵置，一般前桥采用独立悬架，如图 1-3 所示。这是现代大多数轿车盛行的布置形式。

这种形式，与发动机后置后轮驱动的布置有

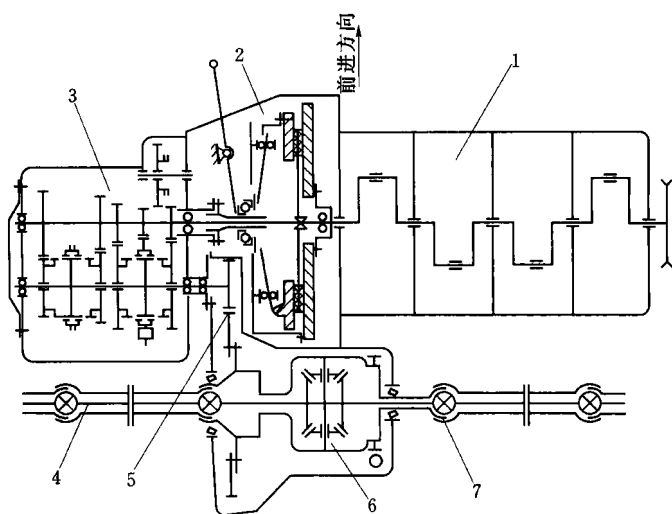


图 1-3 发动机前置前轮驱动示意

1—发动机；2—离合器；3—变速器；4—半轴；5—主减速器；6—差速器；7—万向节

相同特点：传动系布置紧凑、简化，汽车质量减少；同样也可降低底板高度，能够改善汽车高速时的操作稳定性，而且操纵机构布置也较简单。缺点是上坡时汽车的重心后移，使前轮的附着重量减小，所以载货车不宜采用。

#### 4. 发动机中置后轮驱动 (MR)

这是目前大多数方程式赛车和运动型轿车采用的布置形式，将功率和尺寸很大的发动机布置在驾驶员座椅与后轴之间，有利于获得最佳轴荷分配和较高的汽车性能。少数大、中型客车也采用这种布置形式，把卧式发动机安装在地板下面。

#### 5. 全轮驱动 (NWD)

这是越野汽车特有的形式，通常发动机前置，在变速器与前后驱动桥之间装有分动器。以便把从分动器传出的动力分别经两套万向传动装置传到前、后驱动桥。这时所有车

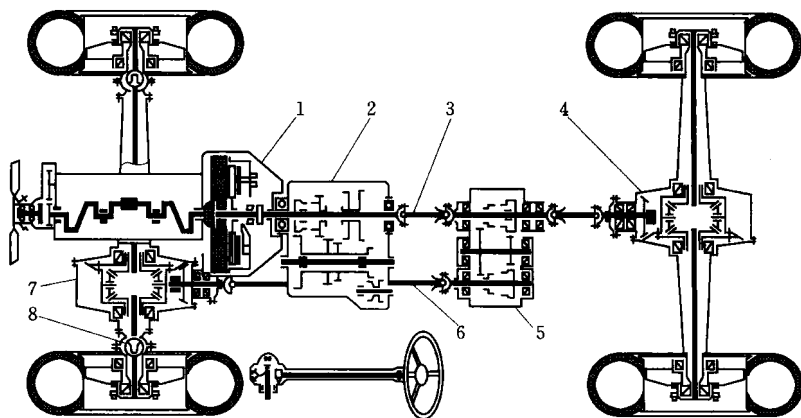


图 1-4 4×4 越野汽车布置示意

1—离合器；2—变速器；3、6—万向传动轴装置；4、7—驱动桥；5—分动器；8—万向节

桥都成为驱动桥。如图 1-4 所示，分动器也固定在车架上，但与变速器相距一段距离，考虑到补偿安装误差和车架变形的影响，在变速器与分动器之间也装有一套万向传动装置。图 1-5 分别为 6×6、8×8 型越野汽车布置形式。

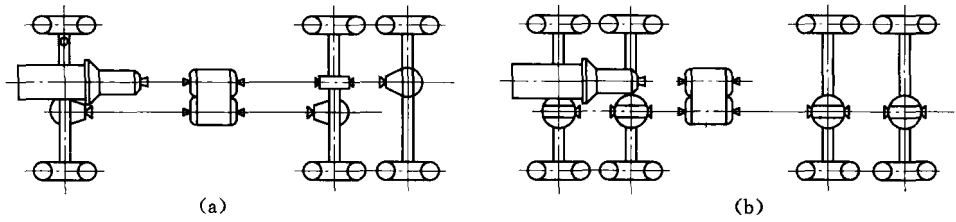


图 1-5 越野汽车布置示意  
(a) 6×6 布置形式；(b) 8×8 布置形式

## 第二章 汽车发动机

### 第一节 发动机的结构与原理

#### 一、发动机的整体结构

发动机是给汽车提供动力的部件，是汽车的核心总成，发动机的基本结构如图 2-1 所示。发动机先将燃料燃烧，使燃料的化学能转化成热能，最终转变为机械能并输出。目前汽车广泛使用的是往复式活塞式四冲程内燃式发动机。

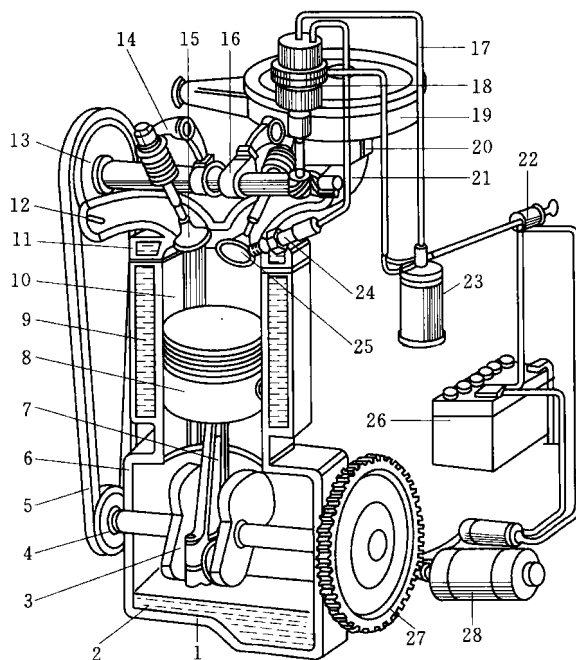


图 2-1 发动机的基本结构

- 1—油底壳；2—机油；3—曲轴；4—曲轴同步带轮；5—同步带；6—曲轴箱；7—连杆；8—活塞；9—水套；  
10—气缸；11—气缸盖；12—排气管；13—凸轮轴同步带轮；14—摇臂；15—排气门；16—凸轮轴；  
17—高压线；18—分电器；19—空气滤清器；20—化油器；21—进气管；22—点火开关；  
23—点火线圈；24—火花塞；25—进气门；26—蓄电池；27—飞轮；28—启动机

随着科学技术的进步，尤其是电子技术的发展，汽车发动机已经由最原始的机械总成演变成了机电一体化总成，目前大多数发动机不但包括多种电子控制系统（如电子点火系统、电子节气门机构），而且还通过 CAN 网络技术与其他控制系统（巡航控制系统、ABS 防抱死控制和车身控制系统等）相连，实现了全车智能化。

## 二、发动机分类

内燃机的分类方法很多，按照不同的分类方法可以把内燃机分成不同的类型。

### 1. 按照所用燃料分类

内燃机按照所使用燃料的不同可以分为汽油机和柴油机。使用汽油为燃料的内燃机称为汽油机；使用柴油为燃料的内燃机称为柴油机。汽油机与柴油机各有特点：汽油机转速高，质量小，噪音小，启动容易，制造成本低；柴油机压缩比大，热效率高，经济性能和排放性能都比汽油机好。

### 2. 按照行程分类

内燃机按照完成一个工作循环所需的行程数可分为四行程内燃机和二行程内燃机。把曲轴转两圈（ $720^\circ$ ）活塞在气缸内上下往复运动四个行程，完成一个工作循环的内燃机称为四行程内燃机；而把曲轴转一圈（ $360^\circ$ ），活塞在气缸内上下往复运动两个行程，完成一个工作循环的内燃机称为二行程内燃机。汽车发动机广泛使用四行程内燃机。

### 3. 按照冷却方式分类

内燃机按照冷却方式不同可以分为水冷发动机和风冷发动机。水冷发动机是利用在气缸体和气缸盖冷却水套中进行循环的冷却液作为冷却介质进行冷却的；而风冷发动机是利用流动于气缸体与气缸盖外表面散热片之间的空气作为冷却介质进行冷却的。水冷发动机冷却均匀，工作可靠，冷却效果好，被广泛地应用于现代车的发动机。

### 4. 按照气缸数目分类

内燃机按照气缸数目不同可以分为单缸发动机和多缸发动机。仅有一个气缸的发动机称为单缸发动机；有两个以上气缸的发动机称为多缸发动机，如双缸、三缸、四缸、五缸、六缸、八缸、十二缸等都是多缸发动机。现代车用发动机多采用四缸、六缸、八缸发动机。

### 5. 按照气缸排列方式分类

内燃机按照气缸排列方式不同可以分为单列式和双列式。单列式发动机的各个气缸排成一列，一般是垂直布置的，但为了降低高度，有时也把气缸布置成倾斜的甚至水平的；双列式发动机把气缸排成两列，两列之间的夹角小于  $180^\circ$ （一般为  $90^\circ$ ）称为 V 形发动机，若两列之间的夹角为  $180^\circ$  称为对置式发动机。

### 6. 按照进气系统是否采用增压方式分类

内燃机按照进气系统是否采用增压方式可以分为自然吸气（非增压）式发动机和强制进气（增压式）发动机。汽油机常采用自然吸气式；柴油机为了提高功率有采用增压式的。

## 三、基本术语

（1）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）称作发动机的工作循环。

（2）上止点。活塞在气缸内做往复运动时，活塞顶部距离曲轴旋转中心最远的距离。

（3）下止点。活塞在气缸内做往复运动时，活塞顶部距离曲轴旋转中心最近处为下止点，如图 2-2 所示。在上、下止点处，活塞的运动速度为零。

（4）活塞行程。活塞从一个止点到另一个止点移动的距离  $S$  称为活塞行程。

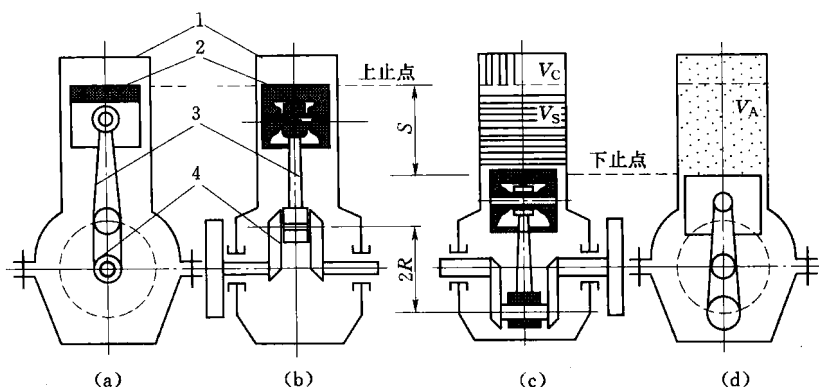


图 2-2 内燃机基本术语示意图

1—气缸；2—活塞；3—连杆；4—曲轴

(5) 曲柄半径。曲轴的回转半径  $R$  称为曲柄半径。曲轴每回转一周，活塞移动两个活塞行程。对于气缸中心线通过曲轴回转中心的内燃机，其  $S=2R$ 。

(6) 气缸工作容积。活塞从一个止点运动到另一个止点所经过的容积，称为气缸工作容积  $V_s$ ，即

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

式中： $D$  为气缸直径 (mm)； $S$  为活塞行程 (mm)。

(7) 发动机排量。多缸发动机各气缸工作容积的总和，称为发动机排量，记作  $V_L$ ，即

$$V_L = i V_s \quad (2-2)$$

式中： $i$  为气缸数； $V_s$  为气缸工作容积 (L)。

(8) 燃烧室容积。活塞位于上止点时，其顶部与气缸盖之间的容积，称为燃烧室容积，记作  $V_c$ 。

(9) 气缸总容积。气缸工作容积与燃烧室容积之和为气缸总容积，记作  $V_A$ ，即

$$V_A = V_s + V_c \quad (2-3)$$

(10) 压缩比。气缸总容积与燃烧室容积之比称为压缩比，记作  $\epsilon$ ，即

$$\epsilon = \frac{V_A}{V_c} = 1 + \frac{V_s}{V_c} \quad (2-4)$$

压缩比的大小表示活塞由下止点运动到上止点时，气缸内的气体被压缩的程度。压缩比越大，压缩终了时气缸内的气体压力和温度就越高。一般汽油机的压缩比为 7~10 (轿车可达 9~11)，柴油机的压缩比为 15~22。

(11) 工况。发动机在某一时刻的运行状况简称工况，以该时刻发动机输出的有效功率和曲轴转速表示。曲轴转速即为发动机转速。

#### 四、发动机工作原理

##### 1. 四冲程汽油机工作原理

四冲程汽油机在四个活塞行程内完成进气、压缩、做功和排气四个过程，即在一个活

塞行程内只进行一个过程。

(1) 进气行程如图 2-3 (a) 所示, 活塞 3 在曲轴 6 的带动下从上止点向下止点运动。此时排气门 8 关闭, 进气门 2 开启。气缸 4 容积逐渐增大, 气缸内压力减小。当压力低于大气压力时, 新鲜空气和汽油的混合物被吸入气缸, 并在气缸内进一步混合形成可燃混合气, 直到活塞运动到下止点, 进气门关闭。由于在进气过程中, 受空气滤清器、进气管道、进气门等阻力的影响, 所以进气终了时气缸内的气体压力低于大气压力, 为  $0.078 \sim 0.09 \text{MPa}$ 。由于进气门、气缸壁、活塞等高温零件以及上一个循环残留在气缸内的高温废气对混合气的加热, 使进气终了时气缸内的气体温度高于大气温度, 为  $370 \sim 400 \text{K}$ 。表示气缸内的气体压力随气缸容积或曲轴转角的变化关系的示功图, 能直观地显示气缸内气体压力的变化, 如图 2-4 (a) 所示, 示功图上  $r \sim a$  线表示进气过程中气缸内气体压力随容积变化的关系。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, 以便吸进更多的新鲜空气。

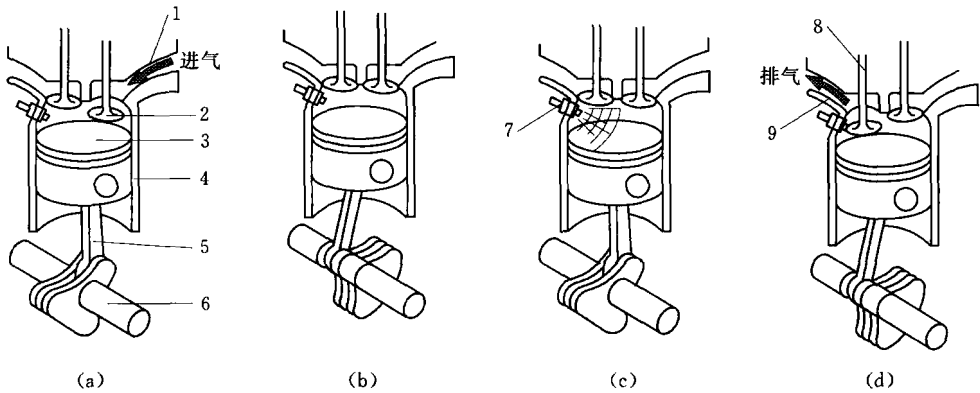


图 2-3 四冲程汽油机工作原理示意图

1—进气管; 2—进气门; 3—活塞; 4—气缸; 5—连杆; 6—曲轴; 7—火花塞; 8—排气门; 9—排气管

(2) 压缩行程如图 2-3 (b) 所示, 曲轴继续旋转, 活塞由下止点移至上止点。此时进、排气门均关闭。气缸内的混合气被压缩, 其压力和温度不断升高。压缩终了时, 气缸内气体的压力为  $0.6 \sim 1.2 \text{MPa}$ , 温度为  $600 \sim 700 \text{K}$ 。压缩行程的示功图如图 2-4 (b) 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, 并可提高发动机的有效热效率。压缩比太大容易发生爆燃和表面点火等不正常燃烧现象。

(3) 做功行程如图 2-3 (c) 所示, 这时进排气门都关闭, 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。燃烧气体的最大压力为  $3.0 \sim 6.5 \text{MPa}$ , 最高温度为  $2200 \sim 2800 \text{K}$ 。在气体压力的作用下, 活塞由上止点向下止点运动, 并通过连杆推动曲轴旋转做功。在做功行程中, 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。在做功行程结束时, 压力为  $0.35 \sim 0.5 \text{MPa}$ , 温度为  $1300 \sim 1600 \text{K}$ 。如图 2-4 (c) 所示曲线  $czb$  表示做功行程气缸内气体压力的变化情况。

(4) 排气行程如图 2-3 (d) 所示, 曲轴继续旋转, 活塞由下止点向上止点运动, 燃

烧产生的废气在其自身剩余压力和活塞的推动下，经排气门、排气管 9 排出气缸。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  $0.105 \sim 0.12\text{MPa}$ ，温度为  $900 \sim 1100\text{K}$ 。如图 2-4 (d) 曲线  $br$  代表排气行程。在排气过程中，排气门早于下止点开启，晚于上止点关闭，以便排出更多的废气。

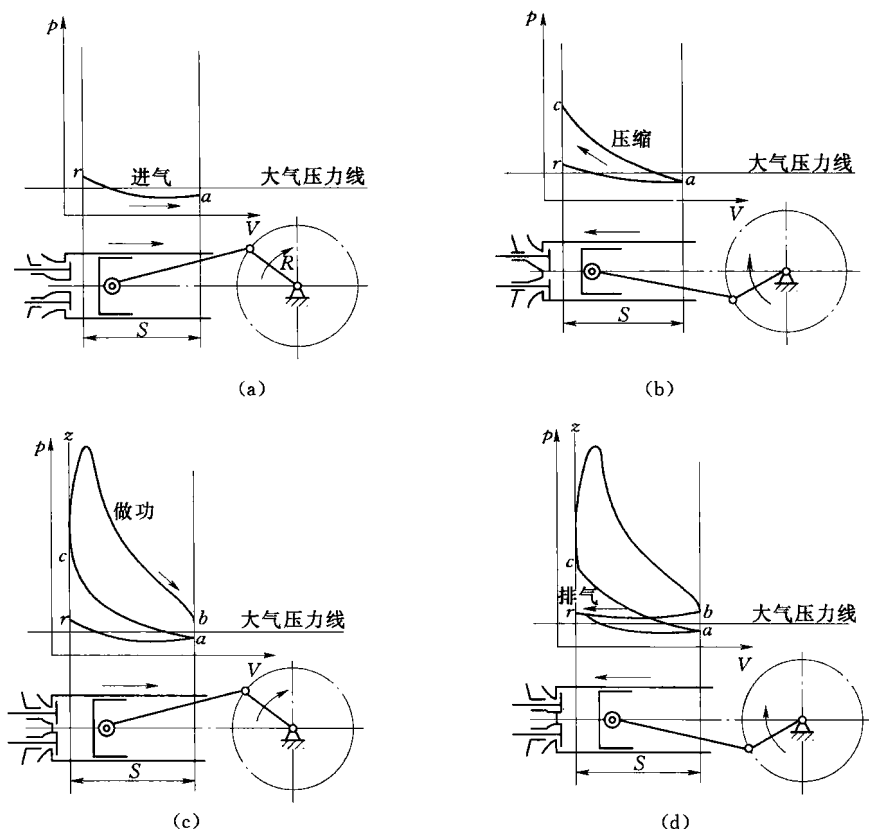


图 2-4 四冲程汽油机的示功图

(a) 进气行程；(b) 压缩行程；(c) 做功行程；(d) 排气行程

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  $180^\circ$  曲轴转角。只有进、排气过程所占的曲轴转角均超过  $180^\circ$ 。

## 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、做功和排气等四个过程。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，只是由于柴油粘度比汽油大，不易蒸发，自燃温度比汽油低，因此，柴油机在混合气形成方法及点火方式上不同于汽油机。

(1) 进气行程如图 2-5 (a) 所示，在柴油机进气行程中，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

体的压力较高,为  $0.085\sim 0.095\text{MPa}$ ,温度较低,为  $310\sim 340\text{K}$ ,大大超过了柴油的自燃温度(约  $500\text{K}$ )。

(2) 压缩行程如图 2-5 (b) 所示,因为柴油机的压缩比大,所以压缩行程终了时气体压力达  $3.5\sim 4.5\text{MPa}$ ,温度可高达  $750\sim 1000\text{K}$ 。

(3) 做功行程如图 2-5 (c) 所示,在压缩行程结束时,喷油泵 3 将柴油泵入喷油器 1,并通过喷油器喷入燃烧室 4。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自燃点,因此柴油随即自行着火燃烧。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,推动活塞下行做功,并通过连杆带动曲轴旋转对外输出。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  $2200\sim 2800\text{K}$ 。做功行程结束时,压力为  $0.3\sim 0.5\text{MPa}$ ,温度为  $1000\sim 1200\text{K}$ 。

(4) 排气行程如图 2-5 (d) 所示,排气终了时气缸内残余废气的压力为  $0.105\sim 0.12\text{MPa}$ ,温度为  $900\sim 1200\text{K}$ 。

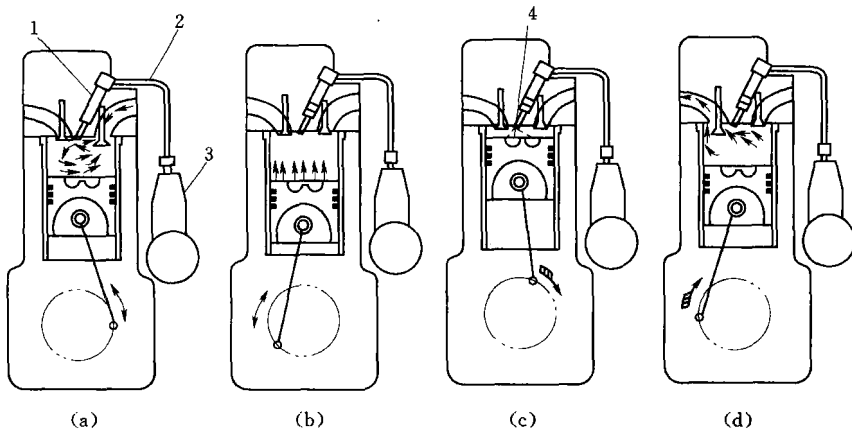


图 2-5 四冲程柴油机工作示意图

1—喷油器; 2—高压油管; 3—喷油泵; 4—燃烧室

柴油机与汽油机相比,各有特点。柴油机因压缩比高,燃油消耗率平均比汽油机低 30% 左右,故燃油经济性较好,且柴油机没有点火系统的故障。一般载质量在  $7\text{t}$  以上的载货汽车多用柴油机。但柴油机转速较汽油机低(一般最高转速为  $2500\sim 3000\text{r/min}$ )、质量大、制造和维修费用高(因为喷油泵和喷油器加工精度要求较高)。目前柴油机的这些弱点正在逐渐得到克服,它的应用范围正在向中、轻型载货汽车扩展。国外有的轿车也采用柴油机,其最高转速可达  $5000\text{r/min}$ 。

汽油机具有转速高(目前轿车用汽油机最高转速达  $5000\sim 6000\text{r/min}$ ,载货汽车可达  $4000\text{r/min}$  左右)、质量小、工作噪声小、启动容易、工作稳定、操作省力、适应性好、制造和维修费用低等特点,故在轿车和中、小型载货汽车上得到广泛的应用。但汽油机燃油消耗率较高,因而其燃料经济性差。