



高职高专“十二五”规划教材·汽车类  
示范性院校课程改革项目成果

# 汽车发动机 机械系统检修

主编 史雷鸣

主审 邵 茜 宋宝林



哈尔滨工程大学出版社  
Harbin Engineering University Press



高职高专“十二五”规划教材·汽车类  
示范性院校课程改革项目成果

# 汽车发动机机械系统检修

主 编 史雷鸣  
副主编 戴建营 张永杰 陈其生  
参 编 张 红 魏彦召 梅丽歌  
曹乐南 张宏阁  
主 审 邵 茜 宋宝林

## 内容提要

本书主要讲述内容包括:发动机的拆装;发动机机械系统异常分析(发动机的维护,发动机机械系统异常检修);发动机异响的诊断与分析(曲柄连杆机构常见故障诊断与排除,配气机构常见异响故障诊断与排除);发动机温度不正常的诊断与分析(发动机温度过高、过低的检修,冷却液消耗异常的检修);发动机机油压力不正常的诊断与分析;发动机的磨合与调试。全面地介绍了发动机机械系统的拆装、结构、工作原理、故障诊断、检测维修等知识与技能要求。

## 图书在版编目(CIP)数据

汽车发动机机械系统检修/史雷鸣主编. —哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2011.6

ISBN 978-7-81133-930-7

I. 汽… II. 史… III. 汽车-发动机-机械系统-车辆管理 IV. U472.43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 111282 号

---

出版发行:哈尔滨工程大学出版社

社 址:哈尔滨市南岗区东大直街 124 号

邮 编:150001

发行电话:0451-82519328

传 真:0451-82519699

经 销:新华书店

印 刷:北京市通州京华印刷制版厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:13

字 数:350 千字

版 次:2011 年 6 月第 1 版

印 次:2011 年 6 月第 1 次印刷

定 价:26.00 元

<http://press.hrbeu.edu.cn>

E-mail:heupress@hrbeu.edu.cn

对本书内容有任何疑问及建议,请与本书责编联系。邮箱:jixie\_book@sina.com

---

# 总序

课程建设与改革是提高教学质量的核心,也是教学改革的重点和难点。为贯彻教育部教学改革的重要精神,同时为配合高等职业院校课程改革和教材建设,更好地为职业院校深化改革服务,我们结合学院实际情况,对汽车专业的课程体系和教学模式进行了探索性的改革。经过两年多的课改实践,学生在顶岗实习以及就业后的工作中上手快,技术水平提升迅速,受到了企业的欢迎和认可。

基于此,我们与哈尔滨工程大学出版社合作,按照课改成果,重新组织整理编写了《高职高专“十二五”规划教材·汽车类示范性院校课程改革项目成果》系列教材,其中包括职业技术基础课程教材《汽车应用材料》、《汽车机械基础》,职业核心课程教材《汽车发动机机械系统检修》、《汽车发动机电控技术》、《汽车电气设备检修》、《汽车舒适与安全系统检修》、《汽车传动系检修》、《汽车行驶、转向与制动系检修》以及职业拓展课程教材《汽车合理使用与性能检测》、《汽车保险与理赔》、《二手车鉴定与评估》、《汽车维修业务管理》、《汽车专业英语》等。本套教材主要适用于汽车运用技术专业及汽车类相关专业,整套教材以学习性工作任务组织教学内容,采用理论与实践一体化的教学模式和授课方式。

## 一、教学内容的选取和组织

根据汽车维修企业作业项目和作业量的调查,选取作业面较大的维护内容和检测维修项目,并考虑到学生的今后发展,遵循教学规律,考虑实训条件,适度、适量地选取和组织理论与实训教学内容。突出学习内容的实用性,将学习内容与企业维修项目紧密结合,使学生学到的知识和技能能满足企业维修岗位的要求。

## 二、教材编写特点

1. 本套教材及时跟踪、反映汽车最新的技术和结构,体现教学内容的先进性和前瞻性,如发动机可变正时系统、无极自动变速器、电控动力转向、电控悬架系统、车载网络等,这些新技术、新结构在本套教材中都有体现。

2. 本套教材理论部分的编写本着必需、够用的原则,且理论和实践都从提高学生的实际动手能力、分析问题和解决问题能力入手,体现能力本位的原则。

3. 本套教材的职业核心课程以学习情境组织教学内容,每个学习情境设有若干个学习和工作任务,以任务为导向,以项目为载体,理论知识部分围绕任务的需要进行组织和编写,并针对维修企业岗位要求进行适当的拓展和延伸;实训内容则采用系列照片组附加文字的方式对操作步骤进行表达,对维修作业中的注意事项标注说明。教材注重培养学生的综合素质和职业能力,充分体现了职业教育的特点。

## 三、教学组织要求

本套教材的核心课程在教学实施中应采用工作过程系统化的教学形式,配合教材编写学习工作页,让学生在明确任务、获取知识、制定计划、实施计划、评价反馈的整个学习过程中,完成对理论知识的获取和操作技能的掌握。建议教学中采用四节课连上的授课形式,将学生分成六组,注意对学生的合理分工组织、工具的管理和发放、教学设施中的环境控制等。

本套教材在编写过程中进行了广泛的调研,在制定编写提纲的过程中广泛听取了企业人员和在校师生的建议,在编写过程中得到了学院领导和有关教师的大力支持与帮助,在此表示衷心的感谢!

系列教材编委会

# 前言

为适应全国十二五职业教育改革的新形势,给职业教育教学提供更加丰富、实用的教材,更好地满足职业教育改革与发展的需要,我们按照教育部颁布的《汽车运用技术专业领域技能型紧缺人才培养指导方案》的要求,紧密结合目前汽修行业的实际需求编写了本书。

本书全面贯彻素质教育思想,以就业为导向,以能力为本位,面向市场、面向社会,体现了职业教育的特色。本书在组织编写过程中运用了先进的教学理念和方法,认真总结了相关院校多年来的专业教学经验和校企合作经验,注意借鉴发达国家先进的职教理念和方法,形成以下特点。

1. 以行业关键技术操作能力为核心,确立专业知识和能力培养目标。要求实际操作能力达到中级技术工人水平,系统专业知识达到高级技术工人水平,为学生顺利进入汽修行业奠定坚实的基础。

2. 在内容选择上,注重汽车后市场职业岗位对人才的知识、能力要求,力求与相应的职业资格标准衔接,并较多地反映了新技术、新工艺、新方法、新材料等知识。

3. 打破了传统教材的章节体例,以专项能力培养为模块确定知识目标和能力目标,强化实训过程,按照“校企零对接”和“教、学、练、做”一体化的模式进行编写。

本书由河南交通职业技术学院邵茜、宋宝林担任主审,河南交通职业技术学院史雷鸣担任主编,河南交通职业技术学院戴建营、云南交通职业技术学院张永杰、泉州理工职业学院陈其生担任副主编,参与本书编写工作的还有河南工业职业技术学院曹乐南、张宏阁和河南交通职业技术学院梅丽歌、张红、魏彦召。其中任务一由梅丽歌编写,任务二、三、四、五、六、七由戴建营编写,任务九、十、十一、十二、十三由魏彦召编写,任务八、十四、十五、十六、十七由史雷鸣编写,任务十八、十九、二十、二十一、二十二由张红编写,任务二十三、二十四由张宏阁编写,任务二十五、二十六由曹乐南编写,任务二十七由陈其生、张永杰共同编写。

在此对为本书提出过宝贵指导意见的郑州日产奇骏 4S 店经理、高级技师郝义存,郑州奥通 4S 店技术总监、高级技师郑俊领表示衷心感谢!同时感谢武汉理工大学车辆工程学院院长、博士生导师邓亚东教授、重庆交通大学汽车运输学院王志红教授对本书编写的精心指导和大力支持。还要感谢一汽丰田 T-TEP 售后服务中心、上海通用 A-SEP 售后服务中心、东风郑州日产售后服务中心的技术人员对本书编写的大力支持。

由于编者的经验和水平有限,书中难免存在疏漏和不当之处,敬请读者批评指正。

编者

2011 年 5 月

# 目 录

## 项目一 发动机的拆装

|                    |   |
|--------------------|---|
| 学习任务一 发动机的拆装 ..... | 1 |
|--------------------|---|

## 项目二 发动机机械系统异常分析

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 学习单元 A 发动机的维护 .....            | 25 |
| 学习任务二 正时传动装置的拆卸、检查、调整与装配 ..... | 25 |
| 学习任务三 汽缸压力的测量 .....            | 34 |
| 学习单元 B 发动机机械系统异常检修 .....       | 38 |
| 学习任务四 汽缸体平面度、裂纹的检修 .....       | 38 |
| 学习任务五 汽缸磨损的检修 .....            | 44 |
| 学习任务六 汽缸盖变形的检修 .....           | 47 |
| 学习任务七 燃烧室容积的测量 .....           | 50 |
| 学习任务八 曲轴轴颈磨损、弯扭变形的检修 .....     | 54 |

## 项目三 发动机异响的诊断与分析

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 学习单元 A 曲柄连杆机构常见故障诊断与排除 ..... | 72  |
| 学习任务九 曲轴主轴、主轴承间隙的检修 .....    | 72  |
| 学习任务十 连杆轴承间隙的测量 .....        | 80  |
| 学习任务十一 连杆的检验与校正 .....        | 83  |
| 学习任务十二 活塞与活塞环间隙的检修 .....     | 88  |
| 学习任务十三 活塞销与活塞座间隙的检修 .....    | 98  |
| 学习单元 B 配气机构常见异响故障诊断与排除 ..... | 103 |
| 学习任务十四 气门传动组的拆装与检修 .....     | 103 |
| 学习任务十五 气门组的拆装与检修 .....       | 119 |
| 学习任务十六 气门间隙的测量与调整 .....      | 133 |
| 学习任务十七 液压挺柱的故障检修 .....       | 140 |

## 项目四 发动机温度不正常的诊断与分析

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| 学习单元 A 发动机温度过高、过低的检修 .....         | 145 |
| 学习任务十八 冷却系外观的检修 .....              | 145 |
| 学习任务十九 水泵的拆装与检修 .....              | 150 |
| 学习任务二十 节温器的拆装与检修 .....             | 153 |
| 学习任务二十一 冷却风扇的检修 .....              | 157 |
| 学习单元 B 冷却液消耗异常的检修 .....            | 165 |
| 学习任务二十二 冷却系水箱、水箱盖、补偿装置和接头的检修 ..... | 165 |

## 项目五 发动机机油压力不正常的诊断与分析

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| 学习任务二十三 润滑系的维护与检修 .....              | 172 |
| 学习任务二十四 机油泵的拆装与检修 .....              | 177 |
| 学习任务二十五 机油滤清器、散热器、冷却器、压力传感器的检修 ..... | 183 |
| 学习任务二十六 曲轴箱通风系统的检修 .....             | 189 |

## 项目六 发动机的磨合与调试

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 学习任务二十七 发动机的磨合与调试 ..... | 194 |
| 参考文献 .....              | 201 |

## 项目一

# 发动机的拆装

## 学习任务一 发动机的拆装

### 任务介绍

发动机的拆装质量是影响发动机大修质量的重要因素，在发动机大修作业中占据着至关重要的地位。如果拆装质量达不到要求，发动机的动力性、经济性下降，大修里程或年限提前，甚至提前报废。所以通过规范正确的拆装，一方面使学生认识发动机内部构造，掌握发动机各总成、各零部件及其相互间的连接关系、拆装方法和步骤及注意事项，为发动机机械系构造与维修课程的学习奠定必要的基础；另一方面学习正确使用拆装设备、工具、量具的方法，了解安全操作常识，熟悉零部件拆装后的正确放置、分类及清洗方法，培养良好的工作和生产习惯，锻炼和培养动手能力。

### 任务分析

本任务的主要学习内容包括发动机的基础知识，发动机常用拆装工具的使用，常用螺栓、螺母、锁止件、密封件、轴承的拆装，安全与规范操作，发动机拆卸注意事项等相关知识以及发动机拆卸、装配的步骤。

学习本任务后应能够：

- (1) 叙述发动机的总体构造、常用术语和工作原理，汽车发动机型号编制规则。
- (2) 正确使用常用拆装工具和仪器设备。
- (3) 正确拆装发动机的总体和各系统的主要零部件。

### 相关知识

#### 一、发动机的基础知识

##### 1. 发动机的总体构造及基本原理

任何机器都必须由动力驱动，汽车的动力来源于发动机。目前汽车所采用的发动机绝大多数是各种型式的往复式活塞式内燃机，它将燃料燃烧的热能转变为机械能，故又称为热力机。按



结构特征的不同,汽车发动机可分为汽油、柴油及多燃料发动机,点燃式与压燃式发动机,化油器式与喷射式发动机,单缸与多缸发动机,水冷式与风冷式发动机,四冲程与二冲程发动机,双气门与多气门发动机,顶置式气门与侧置式气门发动机,单排直列式与V形布置式发动机。

### 1) 发动机的总体构造

汽车发动机的类型很多,其具体结构原理也不尽相同,但为完成发动机工作循环所需的基本构造则大同小异。汽油发动机通常由两大机构和五大系统组成,柴油发动机则由两大机构和四大系统组成。

下面以桑塔纳 AJR 型发动机(图 1-1)、三菱 3G81 型汽油发动机构造(图 1-2)为例,介绍汽车发动机的总体结构。

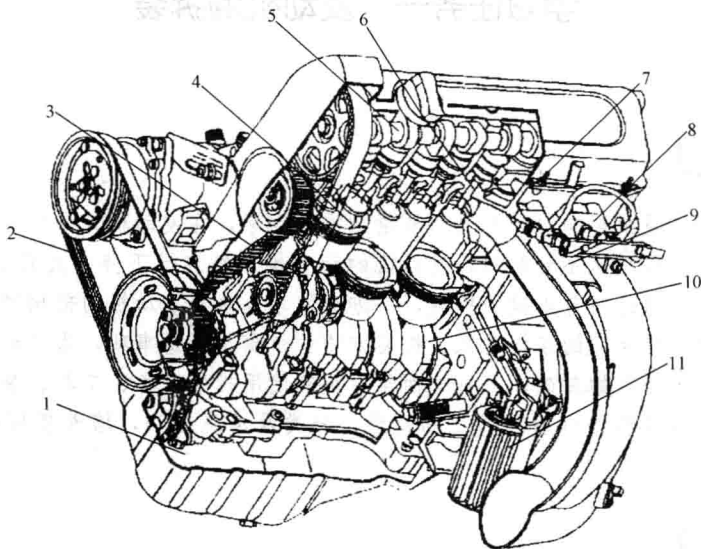


图 1-1 桑塔纳 AJR 型发动机的构造

1—油底壳; 2—皮带; 3—齿形皮带; 4—活塞; 5—凸轮轴; 6—气门;  
7—喷油器; 8—火花塞; 9—曲轴; 10—排气管; 11—机油滤清器

(1) 曲柄连杆机构 包括汽缸体、汽缸盖、活塞、连杆、曲轴和飞轮等机件,是发动机借以产生动力,并将活塞的往复直线运动转变为曲轴的旋转运动而输出动力的机构。

(2) 配气机构 主要由进气门、排气门、凸轮轴、凸轮轴正时齿轮或正时链(带)等组成。其作用是将足量的新鲜气体充入汽缸并及时从汽缸内排除废气。

(3) 燃料供给系统 直接喷射式汽油发动机的燃料供给系统包括汽油箱,汽油泵,汽油滤清器,汽油压力调节器,喷油器,空气滤清器,空气流量计,水温、进气温度、曲轴位置、节气门开度、车速、爆震等传感器,电控单元(ECU),各种执行器,进、排气歧管,排气消声器等部件。柴油发动机燃料供给系统由柴油箱、输油泵、柴油滤清器、喷油泵、喷油器、空气滤清器、进气歧管、排气歧管、排气消声器等组成。

(4) 润滑系 发动机的润滑系包括机油泵、集滤器、限压阀、润滑油道、机油滤清器、油底壳等机件。其作用是减小摩擦,降低机件磨损,并部分冷却摩擦零件,清洗摩擦表面。

(5) 冷却系 发动机的冷却系分为风冷式冷却系和水冷式冷却系两种。风冷式冷却系主要由风扇、散热片等组成;水冷式冷却系则包括散热器、风扇、水泵、节温器、水套等机件。其

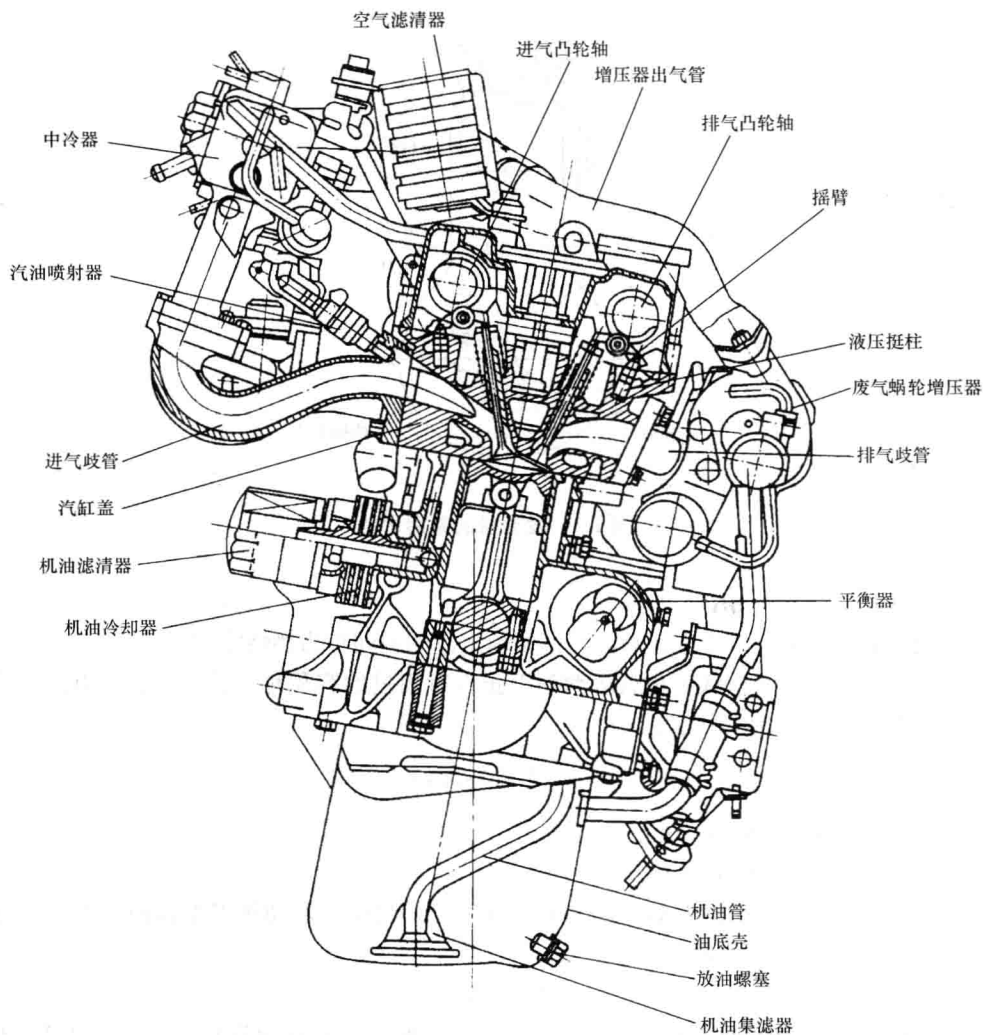


图 1-2 三菱 3G81 型多点汽油喷射增压中冷五气门汽油发动机构造

作用是将多余的热量散发到大气中，使发动机始终处于正常的工作温度。

(6) 点火系 在所有的发动机中只有汽油机才有点火系。它主要由电源、点火线圈、分电器和火花塞等组成，作用是在压缩冲程接近结束时产生高压电火花点燃混合气。

(7) 启动系 启动系主要由启动机及附属装置组成，其作用是在任何温度下都能使静止的发动机启动并自行运转。

## 2) 发动机的常用术语

发动机的常用术语如图 1-3 所示。

### (1) 上、下止点与活塞行程

①上止点。活塞顶距离曲轴中心最远的位置称为上止点。

②下止点。活塞顶距离曲轴中心最近的位置称为下止点。

③活塞行程。上、下止点间的距离称为活塞行程，用  $S$  表示，如图 1-3 所示。四冲程发动机的活塞每移动一个行程，曲轴必旋转半周 ( $180^\circ$ )。若曲柄半径为  $R$ ，则  $S=2R$ 。

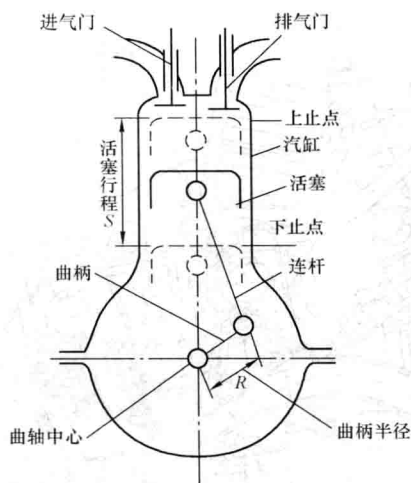


图 1-3 发动机的常用术语

## (2) 汽缸容积

①燃烧室容积。活塞位于上止点时，活塞顶上方的空间称为燃烧室容积，用  $V_c$  表示。

②汽缸工作容积。活塞从上止点运动到下止点所扫过的容积称为汽缸工作容积，用  $V_h$  表示（单位为 L）， $V_h$  的计算公式为

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

式中  $D$ ——汽缸直径，单位为 mm；

$S$ ——活塞行程，单位为 mm。

③发动机工作容积。多缸发动机各缸工作容积的总和称为发动机工作容积或发动机排量，用  $V_L$  表示。若发动机的汽缸数为  $i$ ，则

$$V_L = i V_h$$

④汽缸总容积。活塞位于下止点时，活塞上方的整个空间称为汽缸总容积，用  $V_a$  表示。汽缸总容积等于汽缸工作容积与燃烧室容积之和，即

$$V_a = V_h + V_c$$

(3) 压缩比 汽缸总容积与燃烧室容积之比称为压缩比，用  $\epsilon$  表示，即

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

$\epsilon$  表示活塞从下止点运动到上止点时，汽缸内气体被压缩的程度，也表示缸内气体膨胀时体积变化的倍数。各种不同类型发动机对压缩比的要求各不相同，一般柴油发动机的压缩比较高（ $\epsilon$  为 16~22），汽油发动机则较低（货车  $\epsilon$  为 6~9，轿车  $\epsilon$  为 9~11）。

## 3) 四冲程发动机的工作原理

发动机每个汽缸内每产生一次动力，都要经过进气、压缩、做功和排气四个工作过程。这四个工作过程称为发动机的一个工作循环。发动机的一个工作循环如果是在曲轴旋转两周（720°），活塞在汽缸内上、下运动共四个活塞行程内完成的，则称为四冲程发动机。发动机的一个工作循环若在曲轴旋转一周（360°），活塞在汽缸内上、下运动共两个活塞行程内完成的，则称为二冲程发动机。现代汽车大都采用四冲程发动机。

以下讲解四冲程汽油发动机的工作原理。单缸四冲程汽油发动机气体进入汽缸燃烧产生动力，其具体工作过程如图 1-4 所示，图 1-5 则为四冲程发动机示功图。

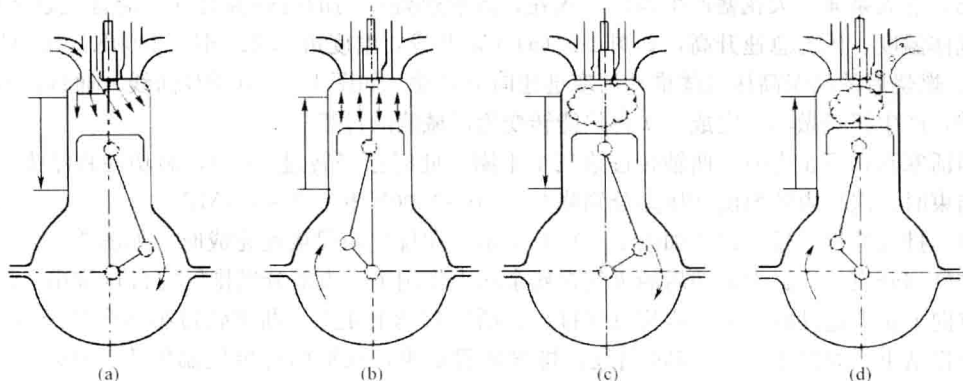


图 1-4 四冲程汽油发动机工作过程

(a) 进气冲程；(b) 压缩冲程；(c) 做功冲程；(d) 排气冲程

(1) 进气冲程 进气冲程开始时，进气门打开，排气门关闭。曲轴旋转，通过连杆带动活塞由上止点向下止点运动，活塞顶部容积逐渐增大，汽缸内产生真空吸力，将可燃混合气经进气管、进气门吸入汽缸，如图 1-4 (a) 所示。

当活塞运行到下止点时，曲轴转过半周 ( $180^\circ$ )，进气门关闭，进气冲程结束。进气冲程结束时，汽缸内的压力略低于外界大气压力，如图 1-5 (a) 中的 RA 曲线。

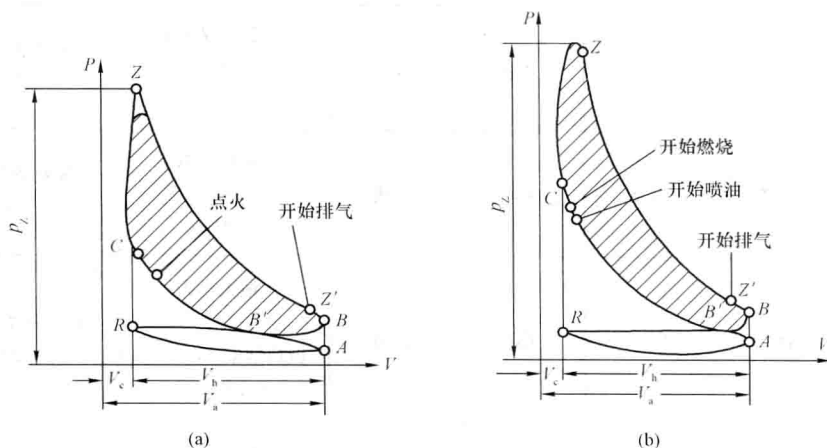


图 1-5 四冲程发动机示功图

(a) 汽油发动机示功图；(b) 柴油发动机示功图

$V$ —汽缸容积； $P$ —汽缸气体压力； $V_c$ —燃烧室容积； $V_h$ —汽缸工作容积；

$V_a$ —汽缸总容积；RA—进气冲程；AC—压缩冲程；

CZ—燃烧过程；ZB—膨胀做功冲程；BR—排气冲程

(2) 压缩冲程 压缩冲程如图 1-4 (b) 所示，进、排气门均保持关闭状态。活塞由下止点向上止点运动，压缩汽缸内的可燃混合气被压缩。当活塞到达上止点时，曲轴转过第二个半周 (即总共转过  $360^\circ$ )，压缩冲程结束。压缩冲程结束时，燃烧室内的气体压力达到  $0.6 \sim$



1.5MPa, 温度达到 600K~700K。压缩冲程在示功图上用 AC 曲线表示, 如图 1-5 (a) 所示。

(3) 做功冲程 做功冲程如图 1-4 (c) 所示。压缩冲程结束后, 进气门、排气门仍保持关闭状态。点火系通过火花塞产生高压电火花, 点燃燃烧室内的可燃混合气。混合气迅速燃烧, 缸内气体温度、压力急速升高, 如图 1-5 (a) CZ 曲线, 温度可达 2200K~2800K, 压力达 3~5MPa。燃烧后的高温高压气体推动活塞迅速向下运动, 如图 1-5 (a) ZB 曲线, 通过连杆使曲轴旋转, 产生扭矩做功, 完成一次将热能转变为机械能的过程。

当活塞到达下止点时, 曲轴转过第三个半圈 (此时已经转过 540°), 做功冲程结束。做功冲程结束时, 汽缸内的温度和压力分别降至 1300~1600K 和 0.3~0.5MPa。

(4) 排气冲程 排气冲程如图 1-4 (d) 所示。在排气冲程接近完成时, 如图 1-5 (a) 中 Z 点, 排气门开启。汽缸内做功后的废气在残余压力作用下, 大部分经排气门自行排出。活塞从下止点向上止点运动时, 进一步将废气排出。活塞到达上止点, 曲轴转过第四个半圈 (720°), 排气冲程结束, 如图 1-5 (a) BR 曲线。排气冲程结束, 汽缸内的废气温度为 900K~1200K, 压力降至 0.105~0.115MPa。

排气冲程结束, 排气门关闭, 进气门开启, 活塞继续向下运动, 开始下一个工作循环。如此重复循环下去。

单缸四冲程汽油发动机工作时, 曲轴转角、活塞运动、气门状态、汽缸内的压力温度等指标如表 1-1 所示。

表 1-1 单缸四冲程汽油发动机的工作指标

| 曲轴转角      | 冲程 | 活塞运动 | 气门状态 |     | 汽缸内的压力温度                                          |                                |
|-----------|----|------|------|-----|---------------------------------------------------|--------------------------------|
|           |    |      | 进气门  | 排气门 | 压力/MPa                                            | 温度/K                           |
| 0°~180°   | 进气 | 向下   | 开启   | 关闭  | 进气结束:<br>0.80~0.90<br>(0.80~0.95)                 | 进气结束: 370~440<br>(320~350)     |
| 180°~360° | 压缩 | 向下   | 关闭   | 关闭  | 压缩结束:<br>0.6~1.5<br>(3~5)                         | 压缩结束: 600~700<br>(800~1000)    |
| 360°~540° | 做功 | 向下   | 关闭   | 关闭  | 最大压力:<br>3~5 (5~10)<br>做功结束: 0.3~0.5<br>(0.2~0.4) | 最高温度: 2000~2800<br>(1200~1500) |
| 540°~720° | 排气 | 向上   | 关闭   | 开启  | 排气结束:<br>0.11~0.115<br>(0.11~0.115)               | 排气结束: 900~1200<br>(800~1000)   |

注: 括号内的数字表示柴油机对应的冲程的压力或温度。

#### 4) 四冲程发动机的工作特点

(1) 四冲程发动机的一个工作循环, 曲轴转两圈 (即转过 720°), 每一个冲程曲轴转半圈 (即转过 180°), 进气冲程时进气门开启, 排气冲程时排气门开启, 其余两个冲程进、排气门均关闭。

(2) 发动机运转的第一个循环, 必须有外力使曲轴旋转完成进气、压缩冲程, 并且着火燃



烧完成做功冲程后,依靠曲轴和飞轮储存的能量便可自行完成以后的冲程,此后的工作循环发动机无需外力即可自行完成。

(3) 发动机在换气过程中若能做到进气充分、排气彻底,即可提高充气系数,增大发动机输出的功率。

(4) 单缸四冲程发动机只有做功冲程产生动力,其他三个冲程则消耗动力,但不可或缺地为做功冲程做准备。因此单缸发动机的工作很不平稳,为了提高发动机转速的均匀性,一般在单缸发动机的曲轴上安装一个质量和尺寸均较大的飞轮,或采用多缸发动机。

对于多缸四冲程发动机,曲轴每转两圈过程中,所有汽缸都要完成一个工作循环,且各汽缸所有的工作循环完全相同,并严格按进气、压缩、做功、排气的次序进行。在结构上采用适当型式的曲轴,可以使各汽缸的做功冲程间隔角(曲轴转角 $=720^{\circ}\div i$ , $i$ 为汽缸数)均匀,做功顺序相互交错,保证发动机运转平稳。例如四缸四冲程发动机,各缸做功冲程间隔角为 $180^{\circ}$ ( $720^{\circ}\div 4$ );八缸四冲程发动机,各缸做功冲程间隔角为 $90^{\circ}$ ( $720^{\circ}\div 8$ ),汽缸数越多,各汽缸做功间隔角越小,发动机的工作越平稳。但汽缸数越多,结构越复杂,结构尺寸和整体质量均增加或提高。现代汽车用得最多的是四缸、六缸和八缸发动机,多缸发动机的工作顺序与曲轴的结构型式有关。

## 2. 内燃机的名称与型号编制

### 1) 国产内燃机的名称与型号编制

根据国家标准(GB/T 725—2008)的规定,国产内燃机产品名称由所采用的燃料命名,其型号由阿拉伯数字和汉语拼音组成,分为以下四个部分。

(1) 首部为制造厂根据需要自选相应的字母表示,经主管部门或由主管标准的核准机构核准的产品系列符号或换代标志符号。

(2) 中部由缸数符号、冲程符号、汽缸排列形式符号和缸径符号组成。

(3) 后部用字母表示结构特征和用途特征的符号。

(4) 尾部为区分符号,同系列产品因改进等原因需要区分时,由制造厂选用适当符号表示。

内燃机产品型号的排列顺序及符号代表的意义规定,如图1-6所示。

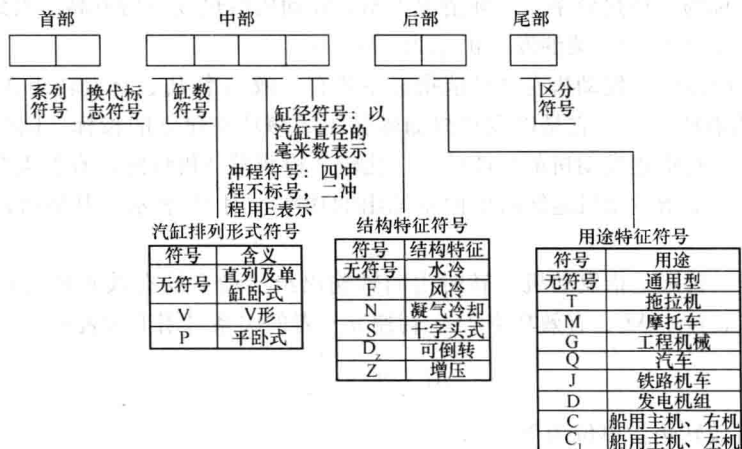


图 1-6 内燃机产品型号的排列顺序及符号代表的意义规定



## 2) 内燃机型号编制示例

(1) 柴油发动机 12V135ZG 表示十二缸、V形、四冲程、缸径为 135mm、水冷式、增压、工程机械用发动机。

(2) 汽油发动机

① 462Q 表示四缸、四冲程、缸径为 62mm、水冷式、汽车用发动机。

② EQ6100Q—1 表示六缸、四冲程、缸径为 100mm、水冷式、EQ6100Q 的第一种变形产品、汽车用发动机。

## 3. 发动机基本理论

### 1) 发动机的性能指标

发动机的性能指标包括指示性能指标、有效性能指标、标定性能指标。

(1) 指示性能指标 是指以可燃混合气(工质)对活塞做功为基础建立的指标,常用指示功和指示热效率表示,是用以评定发动机工作循环优劣的指标。

① 指示功  $W_i$  在发动机示功图(图 1-5)中的封闭曲线分别构成两个封闭的面积,阴影面积  $B'CZBB'$  的大小表示发动机内可燃混合气(工质)对活塞做功的多少,此时发动机做的功是正功,称为循环的指示功  $W_i$ 。 $BRAB$  是进、排气冲程所消耗的能量,此时发动机做的功是负功,或称为泵气损失。

② 指示热效率  $\eta_i$  进入汽缸的可燃混合气在压缩冲程上止点附近开始着火燃烧,放出热量,使混合气的温度、压力急剧升高,混合气膨胀,推动活塞移动而转换成机械功。在膨胀结束时,混合气的温度、压力仍高于大气的温度、压力。这样就有相当数量的热量通过排气冲程排放到大气中去,同时在发动机做功循环中,还有一部分热量通过汽缸壁传给冷却系统。所以在整个实际循环中,混合气所放出的热量  $Q$  不可能全部转换为指示功。热能转换的百分率,称为发动机实际循环的热效率或指示热效率,即

$$\eta_i = \frac{W_i}{Q}$$

式中  $W_i$ ——发动机工作循环的指示功,单位为 kJ;

$Q$ ——为得到指示功所消耗的燃料的热量,单位为 kJ。

上式热效率称为循环热效率。实际情况表明,发动机的热效率均不高,大致范围如下,汽油发动机  $\eta_i$  为 0.25~0.40,柴油发动机  $\eta_i$  为 0.40~0.50。

(2) 有效性能指标 发动机有效性能指标主要有有效功率  $P_e$ 、有效转矩  $M_e$ 、平均有效压力  $p_e$ 、有效燃油消耗率  $g_e$ 。它是以发动机曲轴输出的净功率建立的指标,同时综合反映了发动机的工作情况,对描述发动机的性能特点,比较、检测发动机性能,有着重要的指导意义。

① 有效功率。是指发动机运转时由曲轴输出的功率,用  $P_e$  表示。其值可由发动机测功机实际测得。

② 有效转矩。转矩是指发动机运转时由曲轴输出给传动系的有效旋转力矩,用  $M_e$  表示。由试验测得,有效转矩  $M_e$ 、有效功率  $P_e$ 、转速  $n$  三者的关系可用下式表示

$$M_e = 9550 \frac{P_e}{n}$$

式中  $M_e$ ——有效转矩,单位为  $N \cdot m$ ;

$P_e$ ——有效功率,单位为 kW;

$n$ ——发动机转速,单位为 r/min。

③ 平均有效压力。发动机在单位汽缸容积中所做的有效功称为有效压力  $p_e$ 。平均有效压力

可由下式计算:

$$p_e = \frac{30\tau P_e}{iV_h n} \times 10^3$$

式中  $p_e$ ——平均有效压力, 单位为 kPa;

$\tau$ ——发动机冲程数;

$i$ ——汽缸数;

$P_e$ ——有效功率, 单位为 kW;

$n$ ——发动机转速, 单位为 r/min。

平均有效压力越高, 表示发动机单位汽缸工作容积中所做的有效功越大。因此可用平均有效压力来比较各种不同排量发动机的动力性。 $p_e$  的大致范围是汽油发动机为 588~981kPa; 柴油发动机为 588~883kPa。

④有效燃油消耗率。单位有效功的燃油消耗量称为有效燃油消耗率或有效耗油率, 用  $g_e$  表示, 即

$$g_e = \frac{G_T}{P_e} \times 10^3$$

式中  $G_T$ ——发动机单位时间内的实际耗油量, 单位为 kg/h;

$P_e$ ——发动机的有效功率, 单位为 kW。

$g_e$  越小, 表示发动机曲轴输出的净功率所消耗的燃油越少。发动机产品说明书中通常给出发动机的最低燃油消耗率。 $g_e$  实际上随发动机工作状况的改变而发生变化, 其值的大致范围是汽油发动机为 270~410g/(kW·h), 柴油发动机为 215~285g/(kW·h)。

(3) 标定性能指标 发动机铭牌上标示的有效功率、有效转矩、有效燃油消耗率等性能指标即为标定指标。铭牌上所给出的有效功率和有效转矩都是最大值, 有效燃油消耗率则为最小值。

在标定发动机的有效功率时, 考虑到发动机运用场合, 通常给出两种或两种以上的标定功率, 如 15min 功率、1h 功率、12h 功率及 24h 功率等, 分别表示发动机连续工作 15min、1h、12h 和 24h 允许发动机输出的最大功率。

根据国家有关标准规定, 在标定有效功率和有效转矩时, 应同时注明相应转速。

## 2) 充气系数

(1) 充气系数的定义 在一个工作循环中, 实际充入汽缸的空气质量  $\Delta G$  与大气状态下汽缸工作容积内能够充入的空气质量  $\Delta G_0$  之比称为充气系数, 用  $\eta_v$  表示, 即

$$\eta_v = \frac{\Delta G}{\Delta G_0}$$

充气系数  $\eta_v$  恒小于 1。不同类型的发动机的充气系数有较大的差别。汽油发动机为 0.70~0.85, 柴油发动机为 0.75~0.90。

(2) 提高充气系数的措施 提高充气系数是提高发动机动力性的先决条件。提高充气系数除了在结构上有合理的气道结构形状与尺寸、合理的进排气歧管的配置、适宜的配气相位以及采用多气门结构外, 在使用过程中还应注意定期清洗空气滤清器, 以减小进气系统的阻力; 定期检查调整配气相位, 消除因配气机构零件磨损导致的配气相位变化, 从而提高充气系数。

## 3) 燃烧过程

(1) 混合气的浓度 燃料在燃烧过程中, 空气与燃料之间有一定的浓度要求混合气的浓度通常用空燃比和过量空气系数表示。

①空燃比是指混合气中所含空气质量 (单位为 kg) 与燃料质量 (单位为 kg) 之比, 用  $R$



表示,即

$$R = \frac{\text{空气质量}}{\text{燃料质量}}$$

理论上,1kg汽油完全燃烧大约需要14.7kg空气,即空燃比 $R$ 为14.7。这种混合气称为理论混合气, $R < 14.7$ 称为浓混合气, $R > 14.7$ 则称为稀混合气。对于不同的燃料,其理论空燃比是不同的。

②过量空气系数是指在燃烧过程中,实际供给的空气质量(单位为kg)与理论上燃料完全燃烧时所需要的空气质量(单位为kg)之比,用 $\alpha$ 表示,即

$$\alpha = \frac{\text{燃烧过程中实际供给的空气质量}}{\text{理论上燃料完全燃烧时所需要的空气质量}} = \frac{\text{实际空燃比}}{\text{理论空燃比}}$$

由上述定义可知,无论使用何种燃料,若 $\alpha = 1$ 的可燃混合气即为理论混合气(又称为标准混合气); $\alpha < 1$ 时为浓混合气, $\alpha > 1$ 时则为稀混合气。

在发动机的实际工作循环过程中,发动机对混合气的浓度要求是随发动机的各种负荷工作状态的变化而变化的。

(2) 燃烧过程 燃料在汽缸内从着火到燃烧是极其复杂的热反应过程。汽油发动机和柴油发动机由于混合气不同的形成过程和形成原理,其燃烧过程、特点也大不一样。

①汽油发动机的正常燃烧过程,如图1-7所示,分为诱导期、速燃期、补燃期等三个明显不同的阶段(图中虚线指未燃烧的情况)。

a. 诱导期如图1-7中的阶段I所示。在化油器中形成的可燃混合气在进气冲程中被吸入汽缸,被压缩后温度、压力明显提高。当压缩至上止点前某一时刻,点火系统通过火花塞产生高压电火花,首先在火花塞电极周围形成火焰中心。因只有少量的混合气燃烧,对汽缸内的温度压力影响不大,其过程曲线与压缩冲程曲线相差不大,因此将此过程又称为着火诱导期或着火延迟期。

b. 速燃期如图1-7中的阶段II所示。随着火焰的形成及压缩冲程的继续,汽缸内部温度、压力迅速升高,缸内气体扰流加剧,火焰以20~30m/s的速度向四周迅速扩散,直至掠过整个燃烧室;缸内混合气迅速完全燃烧,混合气燃烧放出的热量多而且速度快,压力明显上升,很快出现很陡的尖峰,最高燃烧温度和最大爆发压力分别为2200~2800K和3~5MPa。

c. 补燃期如图1-7中的阶段III所示。在工作循环过程中,由于时间很短,混合气中汽油蒸发不良以及与空气混合不均匀,部分颗粒较大的油滴在火焰前锋掠过后,处于表层的汽油被燃烧,尚有少量未被燃烧的部分在膨胀过程中继续燃烧。由于补燃期间汽缸容积已明显扩大,燃烧发出的热量产生的压力比速燃期低得多,热量不能充分转变为机械功,反而使排气温度上升,通过缸壁时热量被冷却水带走,因此应尽量缩短补燃期。

②汽油发动机的不正常燃烧包括爆震燃烧和表面点火。

a. 爆震燃烧是指火焰还未到达燃烧室末端前,末端的部分未燃混合气受已燃混合气的强烈压缩和热辐射作用,其温度、压力都急剧升高,当火焰前锋到达前,未燃混合气已达到其自

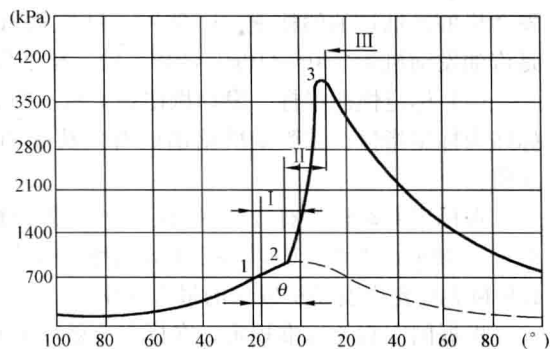


图 1-7 汽油发动机的正常燃烧过程

I—诱导期; II—速燃期; III—补燃期

1—开始点火; 2—形成火焰中心; 3—最高压力点