



国家示范性高等职业教育汽车类“十三五”规划教材
高等职业教育汽车类专业“双证课程”培养方案教材



汽车发动机

机械系统检修

主 编 阳文辉 姜 浩 李 明



QICHE FADONGJI
JIXIE XITONG JIAXIU



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

国家示范性高等职业教育汽车类“十三五”规划教材

AUTOMOBILE

高等职业教育汽车类专业“双证课程”培养方案教材

汽车 发动机 机械系统检修

主 编 阳文辉 姜 浩 李 明
副主编 黄建湘 秦先锋 叶国骏

常州大学图书馆
藏书章



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

中国·武汉

内 容 简 介

本书共分为9个项目,包括认识汽车发动机、曲柄连杆机构、配气机构、汽油发动机燃油供给系统、柴油发动机燃油供给系统、冷却系统、润滑系统、点火系统、启动系统。本书可作为高职高专汽车检测与维修技术、汽车电子技术和汽车技术服务与营销等相关专业的教材,也可供汽车维修与检测技术人员使用和参考,还可以作为各类汽车维修培训班的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

汽车发动机机械系统检修/阳文辉,姜浩,李明主编. —武汉:华中科技大学出版社,2016.12

ISBN 978-7-5680-2435-8

I. ①汽… II. ①阳… ②姜… ③李… III. ①汽车-发动机-机械系统-车辆修理 IV. ①U472.43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 303586 号

汽车发动机机械系统检修

Qiche Fadongji Jixie Xitong Jianxiu

阳文辉 姜 浩 李 明 主编

策划编辑:张 毅

责任编辑:张 毅

封面设计:原色设计

责任校对:刘 竣

责任监印:朱 玢

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园

邮编:430223

录 排:武汉正风天下文化发展有限公司

印 刷:武汉市籍缘印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:15

字 数:387千字

版 次:2016年12月第1版第1次印刷

定 价:38.00元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究



编审委员会

顾问（排名不分先后）

- 蒋炎坤 华中科技大学能源与动力工程学院教授，博士生导师
湖北省汽车工程学会副理事长
- 李春明 长春汽车工业高等专科学校校长
机械职业教育教学指导委员会汽车专指委主任委员
- 尹万建 湖南汽车工程职业学院副院长
机械职业教育教学指导委员会汽车专指委副主任委员
交通运输职业教育教学指导委员会汽车技术专指委委员
- 胡新意 东风汽车公司制造技术委员会主任委员，高级工程师
中国汽车工程学会制造分会秘书长

委员（排名不分先后）

- | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 曾 鑫 | 代 洪 | 丁礼灯 | 闫瑞涛 | 王贵槐 | 彭 静 | 高加泉 | 王青云 | 蔺宏良 |
| 张红伟 | 马金刚 | 吕 翔 | 王彦峰 | 吴云溪 | 王志刚 | 张克明 | 袁红军 | 张同华 |
| 陆孟雄 | 吴晓艳 | 张 健 | 孙泽涛 | 许小明 | 刘艳丰 | 刘凤波 | 宋广辉 | 刘伟涛 |
| 袁苗达 | 上官兵 | 刘宗正 | 向达兵 | 倪晋尚 | 覃娅娟 | 张红英 | 胡高社 | 王爱国 |
| 张四军 | 覃 群 | 徐绍娟 | 叶智彪 | 周宝纯 | 王 新 | 王贵槐 | 宁 轩 | 张葵葵 |
| 孙新城 | 胡望波 | 刘新平 | 梁学军 | 刘甫勇 | 阳文辉 | 杨运来 | 蒋卫东 | 朱方来 |
| 熊建强 | 龙志军 | 贾建波 | 高洪一 | 杨建军 | 曹登华 | 艾佳琨 | 王治平 | 陈燎原 |
| 熊其兴 | 张明行 | 王青云 | 朱 磊 | 刘言强 | 张荣贵 | 江 华 | 刘晓鹂 | 王 琳 |
| 刘文胜 | 徐 涛 | 李舒燕 | 宋艳慧 | 黄小法 | 李远军 | 温炜坚 | 张世良 | 陶 磊 |
| 胡 年 | 郑 毅 | 邓才思 | 杨杰华 | 毛 峰 | 齐建民 | 徐荣政 | 官 腾 | 彭琪波 |
| 王治平 | 刘 铁 | 袁慧彬 | 孙永科 | 赵晓峰 | 成起强 | 丑振江 | 张雪文 | 王德良 |
| 张朝山 | 刘平原 | 左卫民 | 翁凌霄 | 李晓海 | 张利军 | 曾 虎 | 宋志良 | 杨小兵 |
| 姜泽东 | 文爱民 | 陈林山 | 钱 强 | 黄道业 | 杨柳青 | 疏祥林 | 程师苏 | 张信群 |

随着中国经济的快速发展,我国的汽车工业出现了迅猛发展的势头,汽车正日益广泛地深入到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运用与维修人才。

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,以经济结构调整和服务于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,注重实践内容与现行国家标准和行业标准的紧密结合。

在编写过程中,编者注重高等职业教育的特色,基本理论以应用为目的,以“必需、够用”为前提,以汽车发动机的两大机构、五大系统为线索,本着服务于实际应用的原则,讲清结构与原理,侧重拆装与检修,以能够正确分析故障为落脚点,力求融入理实一体化教学模式,通过“认知—理论—实践”三段式过程,将理论知识和实际技能培养有效地结合起来,注重对学生操作能力、思维能力和创造能力的培养。

本书由长沙职业技术学院阳文辉、武汉城市职业学院姜浩、长沙职业技术学院李明担任主编,长沙职业技术学院黄建湘、河南工程学院秦先锋、武汉交通职业学院叶国骏担任副主编。

本书在编写过程中参阅了一些国内外出版的同类书籍,在此特向有关作者表示衷心感谢!对为本书的策划和出版付出辛勤劳动的华中科技大学出版社表示衷心感谢!

限于编者水平所限,书中的疏漏、错误之处在所难免,敬请使用本书的广大师生和读者给予批评和指正。

编者
2016年12月

项目 1 认识汽车发动机	1
学习任务 1 发动机的基本认知	2
学习任务 2 发动机的工作原理	6
学习任务 3 其他发动机简介	12
项目 2 曲柄连杆机构	15
学习任务 1 曲柄连杆机构的基本认知	16
学习任务 2 机体组的构造与检修	18
学习任务 3 活塞连杆组的构造与检修	30
学习任务 4 曲轴飞轮组的构造与检修	44
学习任务 5 曲柄连杆机构的故障诊断与排除	55
项目实训 1 机体组的拆装	58
项目实训 2 活塞连杆组的拆装	60
项目实训 3 曲轴飞轮组的拆装	61
项目 3 配气机构	65
学习任务 1 配气机构的基本认知	66
学习任务 2 气门组的构造与检修	72
学习任务 3 气门传动组的构造与检修	78
学习任务 4 配气机构的故障诊断与排除	87
学习任务 5 可变配气相位控制技术	88
项目实训 配气机构的拆装与检查	92
项目 4 汽油发动机燃油供给系统	95
学习任务 1 汽油发动机燃油供给系统的基本认知	96
学习任务 2 燃油供给系统的构造与检修	102
学习任务 3 空气供给系统的构造与检修	107
学习任务 4 汽油发动机的故障诊断与排除	112
项目实训 汽油发动机燃油供给系统的拆装与检查	114

项目 5 柴油发动机燃油供给系统	121
学习任务 1 柴油发动机燃油供给系统的基本认知	122
学习任务 2 柴油发动机燃油供给系统的构造与检修	128
学习任务 3 柴油发动机的故障诊断与排除	149
项目实训 1 柱塞式喷油泵的拆装	158
项目实训 2 分配式喷油泵的拆装	161
项目 6 冷却系统	167
学习任务 1 冷却系统的基本认知	168
学习任务 2 冷却系统的构造与检修	170
学习任务 3 冷却系统的故障诊断与排除	179
项目实训 冷却系统的拆装与检查	181
项目 7 润滑系统	185
学习任务 1 润滑系统的基本认知	186
学习任务 2 润滑系统的构造与检修	190
学习任务 3 润滑系统的故障诊断与排除	196
项目实训 润滑系统的拆装与检查	198
项目 8 点火系统	203
学习任务 1 点火系统的基本认知	204
学习任务 2 电子点火系统的构造与检修	205
学习任务 3 电控点火系统简介	215
项目 9 启动系统	217
学习任务 1 启动系统的基本认知	218
学习任务 2 启动机的构造与检修	219
学习任务 3 启动系统的故障诊断与排除	228
参考文献	231

项目 1

认识汽车发动机

发动机是汽车的动力源,它的发展已经有 130 年历史。本项目介绍汽车发动机的发展、发动机的组成、发动机的工作原理等知识,加深学生对发动机总体构造及工作原理的认识。

知识要点

- (1) 发动机的分类和组成。
- (2) 发动机的总体结构和发动机型号的编制规则。
- (3) 发动机的基本工作原理和主要性能指标。

学习目标

- (1) 掌握发动机的总体结构。
- (2) 了解发动机型号的编制规则。
- (3) 理解发动机常用术语的基本概念。
- (4) 掌握四冲程发动机的工作原理。
- (5) 能叙述二冲程发动机工作循环的特点。



汽车发动机发展史

发动机是汽车的“心脏”，汽车的发展与发动机的进步有着直接的联系。

18 世纪中叶，英国人瓦特发明了蒸汽机。法国人居纽是第一个将蒸汽机装到车子上的人。1770 年，居纽制作了世界上第一辆蒸汽机车。

1858 年，定居在法国巴黎的里诺发明了煤气发动机。煤气发动机是内燃机的初级产品，因为煤气发动机的压缩比为零。

1867 年，德国工程师奥托受里诺研制煤气发动机的启发，制作了一台卧式气压煤气发动机。在长期的研究过程中，奥托提出了内燃机的四冲程理论，为内燃机的发明奠定了理论基础。

1886 年，德国工程师卡尔·本茨研制出世界上第一台单缸汽油发动机，制造出世界上第一辆以汽油为动力的三轮汽车，于当年 1 月 29 日获得专利。因此 1886 年 1 月 29 日被认为是世界汽车诞生日。同年，德国工程师戈特利布·戴姆勒制造出四冲程汽油发动机的四轮汽车。

1892 年，德国工程师鲁道夫·狄塞尔研制出压燃式柴油发动机，并取得了制造这种发动机的专利权。

1957 年，德国人菲加士·汪克尔发明了转子活塞发动机，这是汽油发动机发展的一个重要分支。1967 年，日本东洋工业公司将转子发动机装在马自达轿车上，并开始批量生产。

化油器最早诞生于 1892 年，由美国人杜里埃发明。2002 年起，中国已经明令禁止销售化油器式发动机的汽车，所有车型都改用电控喷射发动机。随着时间的推移，化油器式发动机将彻底退出历史的舞台。

1967 年，德国博世公司研制出 D-Jetronic 电控汽油喷射系统，并批量生产应用在大众汽车上。

此后，发动机新技术层出不穷……目前，由于环境污染的恶劣影响，对汽车尾气排放的要求也越来越高，更多充分利用新能源的技术正在不断地研发当中。同时，由于全球能源危机的巨大影响，更加节能的新能源技术必将在发动机技术的发展史上书写重重的一笔。

学习任务 1 发动机的基本认知

一、发动机的基本结构

发动机是一种由多种机构和系统组成的复杂机器，是汽车的“心脏”，要完成能量转换，实现工作循环，并保持长时间连续正常工作。

现代汽车发动机的具体结构形式多种多样，但由于它们的基本工作原理和总体功能相同，故基本结构大同小异。发动机通常都由两大机构、五大系统组成，即曲柄连杆机构、配气机构、燃油供给系统、冷却系统、润滑系统、启动系统、点火系统（汽油发动机独有，柴油发动机无此系统）。图 1-1 所示为典型发动机的结构剖视图。

1. 曲柄连杆机构

曲柄连杆机构是发动机实现工作循环、完成能量转换的主要机构。其功能是利用燃油燃烧所产生的热能推动活塞做直线运动，通过连杆使曲轴产生旋转运动并输出转矩和动力；然后，通过飞轮储存的能量（惯性力）释放，把曲轴的旋转运动转换成活塞的直线运动，如此周而复始。

曲柄连杆机构主要由机体组、活塞连杆组、曲轴飞轮组三部分组成。

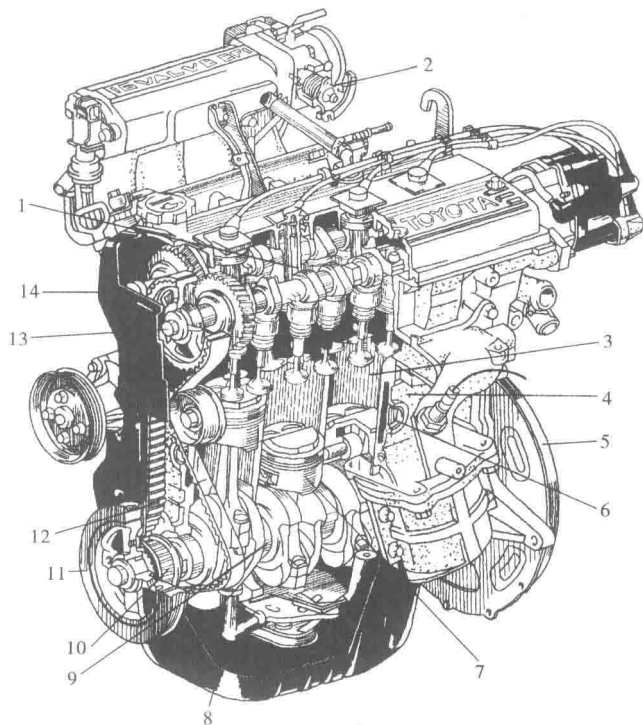


图 1-1 典型发动机的结构剖视图

1—火花塞;2—节气门;3—气缸;4—气缸体;5—飞轮;6—水套;7—活塞;8—油底壳;
9—曲轴;10—正时同步带轮;11—曲轴 V 带轮;12—正时同步带;13—凸轮轴;14—气缸盖

2. 配气机构

配气机构的功能是根据发动机的工作顺序和工作过程,定时开启和关闭进气门和排气门,使可燃混合气及时进入气缸,并及时将废气从气缸内排出,实现换气过程。

配气机构大多采用顶置气门式配气机构,由气门组和气门传动组两大部分组成。

3. 燃油供给系统

汽油发动机燃油供给系统分为传统化油器式和电控喷射式两种,其功能是将一定浓度和数量的可燃混合气均匀地送入气缸,以供燃烧做功并将燃烧后生成的废气排出。柴油发动机燃油供给系统分为传统喷射式和电控喷射式两种,其功能是将空气和柴油先后分别均匀地送入气缸,使其在燃烧室内形成混合气并燃烧做功,再将燃烧后生成的废气排出。

无论是汽油发动机还是柴油发动机,无论是传统式发动机还是电控喷射式发动机,燃油供给系统都由燃油储存输送装置和废气排放装置两大基本部分组成。电控喷射式汽油发动机取消了化油器,汽油发动机、柴油发动机都增加了电控单元、各种传感器和执行器。

4. 冷却系统

冷却系统的功能是将受热机件吸收的部分热量及时散发到大气中,保证发动机在合适的温度下正常工作。

发动机冷却系统可分为水冷式和风冷式两种,现在多数使用水冷式。水冷式发动机的冷却系统主要由水泵、水套、风扇、散热器(水箱)、节温器等组成。

5. 润滑系统

润滑系统的功能是将清洁的润滑油送至进行相对运动的各零件摩擦表面,以减轻机件的磨

损,并对零件表面进行清洗和冷却,延长发动机的使用寿命。

润滑系统主要由机油泵、油底壳、机油滤清器、润滑油道和一些阀组成。

6. 启动系统

启动系统的功能是使静止状态的发动机启动并转入自行运转状态。

启动系统主要由电源(蓄电池)、启动机及控制装置等组成。

7. 点火系统

点火系统的功能是按规定时刻使火花塞电极间产生电火花,点燃气缸内的可燃混合气。

点火系统是汽油发动机独有的系统,其控制方式分为传统点火系统和电控点火系统两种。传统点火系统由电源(蓄电池、发电机)、点火线圈、分电器、火花塞等组成;电控点火系统则增加了电控单元、传感器和执行器等。

二、发动机的类型

发动机的分类方式很多,按不同的分类方式可把发动机分成不同的类型;主要类型如表 1-1 所示。

表 1-1 发动机的主要类型

按燃烧位置分	内燃发动机	按冷却方式分	水冷式发动机
	外燃发动机		风冷式发动机
按内部运动类型分	往复式发动机	按气缸排列分	单行直列式发动机
	转子发动机		双行 V 形排列发动机
按使用燃料分	汽油发动机	按气门布置位置分	顶置气门式发动机
	柴油发动机		侧置气门式发动机
按工作循环分	四冲程发动机	按气缸数分	单缸发动机
	二冲程发动机		多缸发动机

现代汽车发动机中应用最广、数量最多的是水冷四冲程往复活塞式汽油内燃机、柴油内燃机。轻型汽车、小型客车、微型车、轿车一般采用汽油发动机,中型、重型车多采用柴油发动机。

三、发动机的型号及含义

目前,世界各国对发动机的编号还没有一个统一的规则,因此,各国制造的发动机型号中的字母、数字代表的含义不尽相同。国家标准《内燃机产品名称和型号编制规则》(GB/T 725—2008)对我国生产的内燃机名称、型号编制方法作了明确规定。标准规定内燃机型号由阿拉伯数字(以下简称数字)、汉语拼音字母或国际通用的英文缩略字母(以下简称字母)组成,如图 1-2、表 1-2至表 1-4 所示。

内燃机型号含义示例如下。

1. 柴油机型号

12V190ZLD——12 缸、V 型、四冲程、缸径 190 mm、冷却液冷却、增压中冷、发电用(G 为系列代号);

R175A——单缸、四冲程、缸径 75 mm、冷却液冷却(R 为系列代号、A 为区分符号);

YZ6102Q——六缸直列、四冲程、缸径 102 mm、冷却液冷却、车用(YZ 为扬州柴油机厂代号);

8E150C-1——8 缸、直列、二冲程、缸径 150 mm、冷却液冷却、船用主机、右机基本型(1 为区分符号);

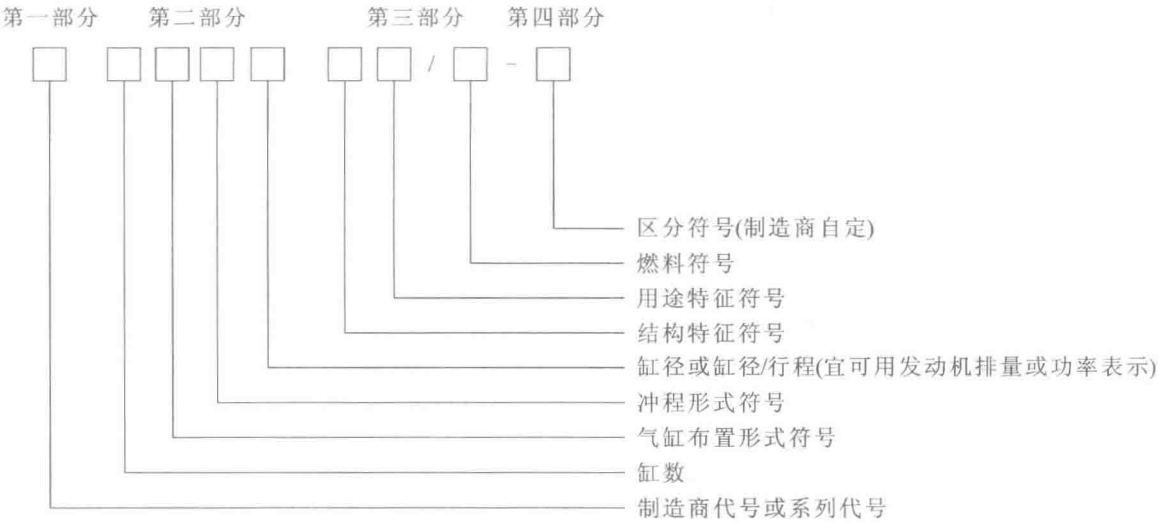


图 1-2 内燃机型号表示方法

表 1-2 气缸布置形式符号

符 号	含 义	符 号	含 义
无符号	多缸直列及单缸	H	H 形
V	V 形	X	X 形
P	卧式		

注:其他布置形式符号见 GB/T 1883.1。

表 1-3 结构特征符号

符 号	结 构 特 征	符 号	结 构 特 征
无符号	冷却液冷却	Z	增压
F	风冷	ZL	增压中冷
N	凝气冷却	DZ	可倒转
S	十字头式		

表 1-4 用途特征符号

符 号	用 途	符 号	用 途
无符号	通用型及固定动力(或制造商自定)	D	发电机组
T	拖拉机	C	船用主机、右机基本型
M	摩托车	CZ	船用主机、左机基本型
G	工程机械	Y	农用三轮车(或其他农用车)
Q	汽车	L	林业机械
J	铁路机车		

注:内燃机左机和右机的定义按 GB/T 726 的规定。

JC12V26/32ZLC——12 缸、V 型、四冲程、缸径 260 mm、行程 320 mm、冷却液冷却、增压中冷、船用主机、右机基本型(JC 为济南柴油机股份有限公司代号)；

12VE230/300ZCZ——12缸、V型、二冲程、缸径 230 mm、行程 300 mm、冷却液冷却、增压、船用主机、左机基本型；

G8300/380ZDZC——8缸、直列、四冲程、缸径 300 mm、行程 380 mm、冷却液冷却、增压可倒转、船用主机、右机基本型(G 为系列代号)。

2. 汽油机型号

IE65F/P——单缸、二冲程、缸径 65 mm、风冷、通用型；

492Q/P-A——四缸、直列、四冲程、缸径 92 mm、冷却液冷却、汽车用(A 为区分符号)。

四、发动机在汽车上的布置形式

为满足不同使用要求,发动机及汽车的总体布置可有不同形式。现代汽车按发动机相对于底盘的安置位置,有以下几种布置形式。

1. 发动机前置后轮驱动(FR)

这是一种传统的布置形式。这种布置形式应用较广泛,除越野汽车外,适用于其他各类型汽车,如大多数货车、部分乘用车和部分客车都采用这种布置形式。采用这种布置形式的汽车爬坡性能好,但传动轴及传动距离较长。

2. 发动机前置前轮驱动(FF)

大多数乘用车采用此布置形式。采用这种布置形式的汽车具有结构简单紧凑、整车质量小、高速行驶时操纵稳定性好等优点;但爬坡性能差。豪华乘用车一般不采用这种布置形式。

3. 发动机后置后轮驱动(RR)

大、中型客车和少数乘用车采用此布置形式。采用这种布置形式的汽车具有室内噪声小、空间利用率高等优点。

4. 发动机中置后轮驱动(MR)

方程式赛车、大多数跑车采用此布置形式。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,提高汽车的性能。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车厢底板下面。

5. 发动机前置全轮驱动(XWD)

全轮驱动是指汽车所有车轮都是驱动轮,这是越野汽车特有的布置形式。一般将发动机布置在汽车前部,动力经离合器、变速器、分动器、传动轴分别到达前、后驱动桥,最后传到前、后驱动轮,使汽车行驶。一般情况下,汽车仅需后轮驱动,需要时,操纵分动器手柄使齿轮啮合,便可使前轮同时驱动。采用这种布置形式的汽车越野性能好,但结构比一般汽车复杂。

学习任务 2 发动机的工作原理

发动机是汽车最主要的总成之一,其基本工作原理是将燃油雾化并与空气混合后在气缸内燃烧产生热能,推动活塞作往复直线运动,通过连杆使曲轴旋转,将化学能转换成热能,再将热能转换成机械能,而对外输出动力。

一、发动机的基本术语

发动机的基本术语图示如图 1-3 所示。

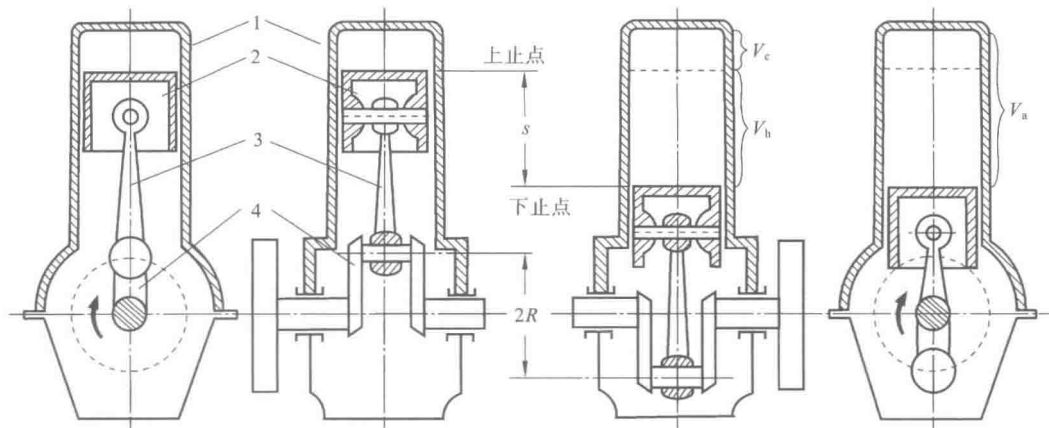


图 1-3 发动机的基本术语图示

1—气缸;2—活塞;3—连杆;4—曲轴; s —活塞行程; R —曲柄半径;

V_c —燃烧室容积; V_a —气缸总容积; V_h —气缸工作容积

1. 上止点

上止点(TDC)指活塞运动到最高位置时其顶面所处的位置。

2. 下止点

下止点(BDC)指活塞运动到最低位置时其顶面所处的位置。

3. 曲柄半径

曲柄半径指曲轴旋转中心到曲柄销中心的距离,用 R 表示,单位为 mm。

4. 活塞行程

活塞行程指上止点和下止点之间的距离,用 s 表示,单位为 mm。活塞每一次由一个止点运动到另一个止点的过程,称为一个行程(冲程)。显然,四冲程发动机曲轴每旋转 180° 完成一个行程,即

$$s=2R$$

5. 气缸工作容积

气缸工作容积指活塞从一个止点运动到另一个止点(即一个行程)所扫过的容积(即气缸面积与活塞行程的乘积),用 V_h 表示,单位为 L(升)。

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

式中: V_h ——气缸工作容积,L;

D ——气缸直径,mm;

s ——活塞行程,mm。

6. 燃烧室容积

燃烧室容积指活塞位于上止点时,活塞顶面上方的空间容积,用 V_c 表示,单位为 L(升)。由于燃烧室没有统一的形状,故燃烧室容积无固定计算公式。

7. 气缸总容积

气缸总容积指活塞位于下止点时,活塞顶面上方的全部空间容积,用 V_a 表示,单位为 L(升)。显然,气缸总容积包括工作容积和燃烧室容积,即

$$V_a = V_h + V_c$$

8. 发动机排量

发动机排量指发动机所有气缸工作容积之和,用 V_L 表示,单位为 L(升)。对于多缸发动机,有

$$V_L = V_h i$$

式中: i ——发动机气缸数。

发动机排量是一个很重要的特征参数,轿车就是以此参数进行分级的:微型车, $V_L \leq 1.0$ L;普通级车, 1.0 L $< V_L \leq 1.6$ L;中级车, 1.6 L $< V_L \leq 2.5$ L;中高级车, 2.5 L $< V_L \leq 4.0$ L;高级车, $V_L > 4.0$ L。

9. 压缩比

压缩比指气缸总容积与燃烧室容积之比,用 ϵ 表示。

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

压缩比用来衡量空气或混合气被压缩的程度,它影响发动机的热效率。汽油发动机压缩比一般为 6~10;柴油发动机压缩比较高,为 16~22。

10. 工作循环

发动机完成进气、压缩、做功、排气四个过程称为完成一个工作循环。

四冲程发动机曲轴需要旋转 2 圈(720°)才能完成一个工作循环;二冲程发动机曲轴只需要旋转 1 圈(360°)就能完成一个工作循环。

11. 发动机的动力性能指标

发动机的动力性能指标是指曲轴对外做功的指标,包括有效扭矩、最大扭矩、有效功率和最大功率。

1) 有效扭矩

有效扭矩是指发动机通过曲轴或飞轮对外输出的扭矩,通常用 M_e 表示,单位为 $N \cdot m$ 。有效扭矩是作用在活塞顶部的气体压力通过连杆传给曲轴产生扭矩,并克服摩擦力、驱动附件等损耗之后通过曲轴对外输出的净扭矩。

2) 最大扭矩

最大扭矩表示发动机克服最大阻力的能力,它是有效扭矩的最大值。

3) 有效功率

有效功率是指发动机通过曲轴或飞轮对外输出的功率,通常用 P_e 表示,单位为 kW。有效功率同样是曲轴对外输出的净功率,它等于有效扭矩和曲轴转速的乘积。发动机的有效功率可以在专用的试验台上用测功器测出有效扭矩和曲轴转速,然后用下面公式计算出有效功率。

$$P_e = \frac{M_e \cdot n}{9\,500}$$

式中: P_e ——有效功率, kW;

M_e ——有效扭矩, $N \cdot m$;

n ——曲轴转速, r/min 。

4) 最大功率

最大功率表示发动机的最大工作能力,是有效功率的最大值。

二、四冲程发动机的工作原理

四冲程发动机是指曲轴旋转 2 圈(720°),活塞往复运动 4 次完成一个工作循环的发动机。由于所用燃油不同,汽油发动机和柴油发动机的工作过程也存在一定差异。

1. 四冲程汽油发动机的工作原理

四冲程汽油发动机的一个工作循环由进气、压缩、做功、排气四个行程组成。单缸四冲程汽油发动机的工作原理如图 1-4 所示。

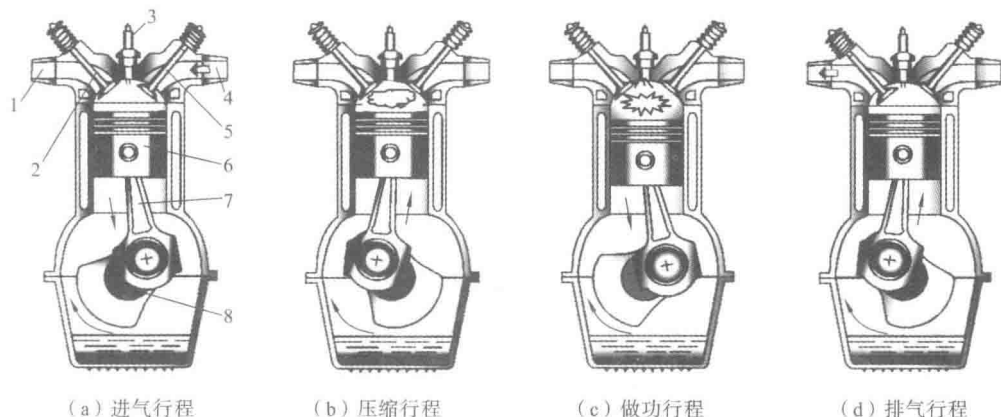


图 1-4 单缸四冲程汽油发动机的工作原理

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

1) 进气行程

活塞由曲轴带动从上止点向下止点运动时,进气门开启,排气门关闭。在活塞向下运动的过程中,气缸容积由小变大,形成一定的真空,可燃混合气便通过进气门被吸入气缸并进一步雾化混合,直至活塞到达下止点时,进气门关闭,停止进气。

进气行程终了时,气缸内的气体压力低于大气压力,为 $0.075 \sim 0.09 \text{ MPa}$,而气缸内气体的温度却升高到 $97 \sim 127^\circ\text{C}$,这是气缸壁、活塞等高温件及上一循环留下的残余高温废气加热的结果。

2) 压缩行程

为使可燃混合气迅速燃烧,燃烧前必须对可燃混合气进行压缩,以提高可燃混合气的压力和温度。进气行程结束后,活塞从下止点向上止点运动,气缸容积由大变小;在此过程中,进气门、排气门均关闭,可燃混合气被逐步压缩,压力增大,温度继续升高。

压缩行程终了时,气缸内压力可达 $0.6 \sim 1.2 \text{ MPa}$,温度为 $327 \sim 427^\circ\text{C}$ 。

3) 做功行程

压缩行程接近终了,火花塞产生电火花点燃混合气,混合气迅速燃烧,气体温度、压力迅速升高,气体迅速膨胀;此时进气门、排气门仍为关闭状态,气体压力推动活塞从上止点向下止点运动,再通过连杆使曲轴旋转做功,活塞到达下止点时做功结束。

在做功行程中,开始阶段气缸内气体的压力、温度急剧升高,瞬间压力可达 $3 \sim 5 \text{ MPa}$,瞬时

温度可达 $1\,927\sim 2\,527\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。做功行程终了时,气体的压力降至 $0.3\sim 0.5\text{ MPa}$,温度降至 $1\,027\sim 1\,327\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

4) 排气行程

为使循环连续进行,须将燃烧后产生的废气及时排出。做功行程接近终了时,排气门打开,进气门关闭,曲轴在飞轮惯性力的作用下通过连杆推动活塞从下止点向上止点运动,废气在活塞推力和自身残余压力的作用下被排出气缸。当活塞到达上止点后,排气门关闭,排气完成,进气门打开,又开始下一个工作循环。

排气行程终了时,由于燃烧室的存在,气缸内存有少量废气,加之排气系统阻力,缸内压力略高于大气压,为 $0.105\sim 0.115\text{ MPa}$,温度为 $627\sim 927\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

2. 四冲程柴油发动机的工作原理

四冲程柴油发动机的工作循环由进气、压缩、做功、排气四个行程组成。柴油发动机使用的燃油与汽油发动机的不同,所以在可燃混合气的形成及着火方式上二者也有很大区别。单缸四冲程柴油发动机的工作原理如图 1-5 所示。

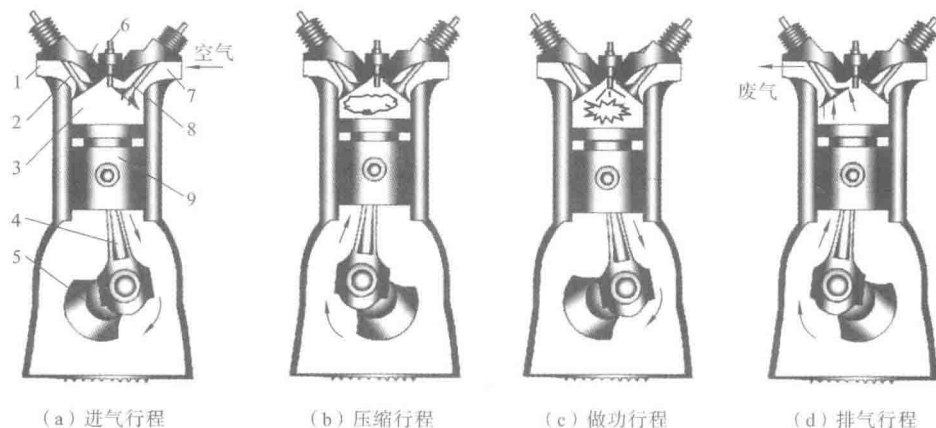


图 1-5 单缸四冲程柴油发动机的工作原理

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

1) 进气行程

在进气行程,进入气缸的是纯空气而不是可燃混合气。因进气阻力比汽油发动机的小,上一行程残留的废气温度比汽油发动机的低,故进气行程终了时柴油发动机气缸内的压力为 $0.075\sim 0.095\text{ MPa}$,温度为 $47\sim 77\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

2) 压缩行程

此行程压缩的是纯空气。柴油发动机的压缩比大,压缩行程终了时气缸内的压力和温度都远高于汽油发动机的,压力可达 $3\sim 5\text{ MPa}$,温度为 $527\sim 727\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。此温度足以使柴油自行着火燃烧。

3) 做功行程

此行程与化油器式汽油发动机的区别很大。压缩行程终了时,喷油泵将高压柴油经喷油器呈雾状喷入充满高温高压空气的燃烧室内,高压柴油被迅速汽化并与空气混合,因气缸内温度远高于柴油着火温度(约为 $227\text{ }^{\circ}\text{C}$),混合气立即自行着火燃烧,此后一段时间内边喷入高压柴油边混合边燃烧,气缸内压力和温度急剧升高,推动活塞做功。

在做功行程中,气缸内瞬间压力可达 $5\sim 10\text{ MPa}$,瞬时温度可达 $1\,527\sim 1\,927\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。做功行