

国家社会科学基金(教育学科)
“十一·五”规划课题研究成果

全国高等职业院校汽车类专业规划教材

汽车发动机构造与维修

QICHE FADONGJIGOUZAO YU WEIXIU

李庆军 主编

QICHE FADONGJIGOUZAO

YU WEIXIU QICHE

FADONGJIGOUZAO YU

WEIXIU

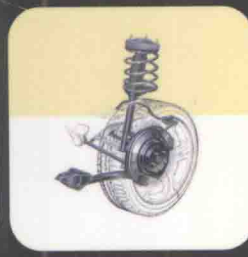
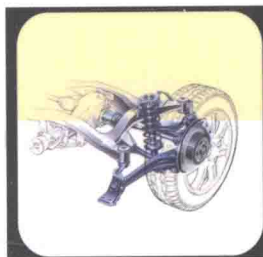
QICHE FADONG

YU WEIXIU

FADONGJIGOUZAO YU

WEIXIU QICHE FADONG

JIGOUZAO YU WEIXIU



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

国家社会科学基金（教育学科）“十一五”规划课题研究成果
全国高等职业院校汽车类专业规划教材

汽车发动机构造与维修

主 编 李庆军

副主编 刘恒学 徐 军 梁时光

主 审 周立元

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内 容 简 介

本书是针对高等职业教育的培养目标采用理论与实践一体化教学模式的教材,全书分为8个模块,包括发动机的总体构造和工作原理,曲柄连杆机构,内燃机的配气机构,汽油喷射式燃料供给系,柴油机燃料供给系与柴油机共轨技术,冷却系、润滑系统的构造与维修,发动机的总装和发动机的综合故障诊断等内容。

该教材从高等职业教育的角度出发,将结构、理论维修融为一体,突出了国内保有量较大的柴油机和共轨技术的讲解,对结构、工作过程及维修调整进行合理编排,方便了应用操作。

本书适用高职院校汽车专业及农机使用与维修专业学生使用,也可作为汽车维修人员的培训教材及相关人员的自学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

汽车发动机构造与维修 / 李庆军主编. —北京:
中国铁道出版社, 2011. 1

全国高等职业院校汽车类专业规划教材 国家社会科学基金(教育学科)“十一五”规划课题研究成果
ISBN 978-7-113-11929-4

I. ①汽… II. ①李… III. ①汽车—发动机—构造—
高等学校:技术学校—教材②汽车—发动机—车辆修理—
高等学校:技术学校—教材 IV. ①U472.43

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第236944号

书 名: 汽车发动机构造与维修

作 者: 李庆军 主编

策划编辑: 秦绪好 何红艳

责任编辑: 秦绪好

读者热线电话: 400-668-0820

编辑助理: 尚世博

封面设计: 付 巍

封面制作: 李 路

版式设计: 于 洋

责任印制: 李 佳

出版发行: 中国铁道出版社(北京市宣武区右安门西街8号 邮政编码: 100054)

印 刷: 中国铁道出版社印刷厂

版 次: 2011年1月第1版

2011年1月第1次印刷

开 本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 16.25 字数: 384千

印 数: 3 000册

书 号: ISBN 978-7-113-11929-4

定 价: 26.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社计算机图书批销部联系调换。

国家社会科学基金（教育学科）“十一五”规划课题研究成果 全国高等职业院校汽车类专业规划教材

主 任：邓泽民

副主任：（按姓氏笔画排序）

尹万建 王世震 李春明 严晓舟

委 员：（按姓氏笔画排序）

丁继斌 于万海 王 会 王 宇

王 强 王文丽 付晓光 王丽君

吉庆山 刘艳梅 刘新宇 刘照军

李友胜 李庆军 李津津 邹喜红

张 军 张东升 张红伟 张自楠

张春英 张贺隆 张景来 周志国

岳国强 赵 宇 胡海玲 骆孟波

秦绪好 高 寒 高吕和 郭 彬

郭瑞莲 梅彦利 梁建玲 曾 鑫

谢 剑 霍志毅

序

PREFACE

在国家社会科学基金课题“以就业为导向的职业教育教学理论与实践研究”取得理论研究成果的基础上,选取了高等职业教育十个专业大类开展实践研究。高职高专汽车类是其中之一。

本课题研究发现,高等职业教育在专业教育上承担着帮助学生构建起专业理论知识体系、专业技术框架体系和相应职业活动逻辑体系的任务,而这三个体系的构建需要通过专业教材体系和专业教材内部结构得以实现。为此,这套高职高专汽车类专业系列教材的设计,依据不同教材在其构建理论知识、技术方法、职业活动三个体系中的作用,采用了不同的教材内部结构设计和编写体例。

承担专业理论知识体系构建任务的教材,强调了专业理论知识体系的完整与系统,不强调专业理论知识的深度和难度;追求的是学生对专业理论知识整体框架的把握和应用,不追求学生只掌握某些局部内容,而求其深度和难度。

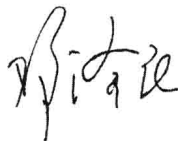
承担专业技术框架体系构建任务的教材,注重让学生了解这种技术的产生与演变过程,培养学生的技术创新意识;注重让学生把握这种技术的整体框架,培养学生对新技术的学习能力;注重让学生在技术应用过程中掌握这种技术的操作,培养学生的技术应用能力;注重让学生区别同种用途的其他技术的特点,培养学生职业活动过程中的技术比较与选择能力。

承担职业活动体系构建任务的教材,依据不同职业活动对所从事人职业特质的要求,分别采用了过程驱动、情景驱动、效果驱动的方式,形成了做学合一的各种教材结构与体例,诸如:项目结构、案例结构等。过程驱动培养所从事人的程序逻辑思维;情景驱动培养所从事人的情景敏感特质;效果驱动培养所从事人的发散思维。

本套教材无论从课程标准的开发、教材体系的建立、教材内容的筛选、教材结构的设计还是到教材素材的选择,都得到了汽车行业专家的大力支持,他们根据职业资格标准和各类技术在我国应用广泛程度,提出了十分有益的建议;倾注了国内知名职业教育专家和全国多所高职高专院校汽车类专业一线老师的心血;对高职高专汽车类专业培养的人才类型提出了可贵意见;对高职高专汽车类专业教学提供了丰富的素材和鲜活的教学经验。

这套教材是我国高职高专教育近年来从只注重学生单一职业活动逻辑体系构建,向专业理论知识体系、技术框架体系和职业活动逻辑体系三个体系构建转变的有益尝试,也是国家社会科学研究基金课题“以就业为导向的职业教育教学理论与实践研究”研究成果的具体应用之一。

如本套教材有不足之处,敬请各位专家、老师和广大同学不吝赐教。希望通过本套教材的出版,为我国高等职业教育和汽车产业的发展做出贡献。



2009年12月

前言

FOREWORD

随着我国汽车工业的发展,汽车制造和汽车维修技术人员的需求量不断增加。结合我国现阶段汽车维修行业的生产实际,并充分考虑高职教育教学的特点和维修企业对人才的需求,本书在内容编排上注重理论知识与实践技能的有机结合,突出内容的针对性、通用性、先进性和实践性,从提高学生专业理论知识、实际操作技能、分析问题、解决问题的综合能力,解决生产过程中实际问题的能力出发,精练了内容,具有较强的实用性和可操作性。

本书的主要特点:精练了一般结构的基础知识,突出了对目前国内保有量较多的柴油发动机(6110系列)和汽油发动机(EA827)的讲解,较详细地介绍了汽车发动机的新结构、共轨新技术等,并将结构、原理、维修与常见故障诊断、课内实操有机地结合在一起,可使读者在掌握汽车发动机一般结构的基础上,形成举一反三、触类旁通的能力。

本书适用于理论教学与实践教学相结合的一体化教学模式。使每个章节均将理论教学与实践内容相结合,与汽车维修行业的生产实用化的结构纳入该教材,实现理论教学与实践有机的结合,以提高学生分析问题、解决问题的综合能力。

课程内容综合化。以典型的车用柴油发动机CA6110和一汽大众捷达车用EA827型发动机为例,将发动机的结构、原理、拆装调试与维修工艺在一体化教学课堂内讲授,使知识与能力有机地结合,避免了脱节,减少了重复。

教学内容更加新颖实用。根据生产实践中的具体情况,加入了部分新知识、新技术、新工艺、新方法,使教学内容与职业岗位要求相适应。

突出“双证书”知识的内容。在理论知识的内容选取上,除遵循“必需、够用”的原则外,还涵盖了相关等级职业资格考试大纲的知识内容。学好本书可使学生能够轻松地获得汽车维修工中级职业资格证书。

本书由黑龙江农业工程职业学院李庆军主编,黑龙江生物科技职业学院刘恒学、黑龙江农业经济职业学院徐军、北京电子科技职业学院(汽车工程学院)梁时光任副主编,黑龙江农业工程职业学院李孝春、王甲聚、赵作伟参与了编写,由黑龙江农业工程职业学院周立元主审。

在本书编写过程中,参阅了相关的书籍与资料,至此对提供书籍和资料的作者致以谢意。本书在编写过程中难免有不足之处,请各位专家、老师和广大读者批评指正。



2010年10月

目 录

CONTENTS

第 1 章 发动机的总体构造和工作原理	1
1.1 发动机的定义与分类	1
1.2 四冲程发动机的工作原理	3
1.2.1 发动机的一般构造和基本名词术语	3
1.2.2 单缸四冲程汽油机的工作原理	4
1.2.3 单缸四冲程柴油机的工作原理	6
1.3 内燃机的工作原理	7
1.3.1 单缸二冲程汽油机的工作原理	7
1.3.2 四缸四冲程内燃机的工作原理	8
1.3.3 六缸机的工作原理	8
1.3.4 V 型八缸四冲程内燃机的工作原理	9
1.4 发动机的总体结构	10
1.5 发动机的性能指标	12
1.6 内燃机产品和型号编制规则	12
1.7 维修设备与工量具	14
1.7.1 常用维修设备与机具	14
1.7.2 常用及专用工具或量具	16
1.8 CA6110 型柴油发动机解体与观察	23
1.8.1 CA6110 型柴油机总成的解体	23
1.8.2 CA6110 型柴油发动机的观察	25
1.9 桑塔纳轿车汽油机的拆装	27
思考题	31
第 2 章 曲柄连杆机构	32
2.1 概述	32
2.1.1 曲柄连杆机构的功用、组成	32
2.1.2 曲柄连杆机构的受力	32
2.2 机体组	33
2.3 活塞连杆组	36
2.3.1 活塞	37
2.3.2 活塞环	38
2.3.3 活塞销	40
2.3.4 连杆	40



2.4	曲轴飞轮组	42
2.4.1	曲轴	43
2.4.2	曲轴扭转减振器	44
2.4.3	飞轮	45
2.5	发动机维修基本知识	46
2.5.1	零件、合件、组件及组成	46
2.5.2	零件故障及其原因	46
2.5.3	零件的磨损及其特性	47
2.5.4	零件的分类	49
2.6	气缸盖、气缸体的检验与修理	49
2.6.1	气缸盖的检修	49
2.6.2	气缸体平面翘曲变形的检修	50
2.6.3	气缸的检修	51
2.7	气缸套拆装	53
2.8	连杆衬套的铰削、连杆的检验与校正	54
2.8.1	连杆衬套的铰削	54
2.8.2	连杆的检验与校正	55
2.9	活塞连杆组装	56
2.10	活塞连杆组向气缸内安装	58
2.11	气缸套的更换	60
2.12	曲轴的修理	61
2.12.1	曲轴的检验与鉴定	61
2.12.2	连杆轴承、曲轴轴承的选配	63
2.13	机体零件与曲柄连杆机构故障	65
2.13.1	活塞常见损伤分析	65
2.13.2	曲轴常见损伤分析	68
2.13.3	轴瓦常见损伤分析	70
2.13.4	发动机不能起动或排气管冒黑烟	73
2.13.5	缸套的早期磨损	73
	思考题	74
第3章	内燃机的配气机构	75
3.1	配气机构的功用与分类	75
3.1.1	配气机构的功用	75
3.1.2	配气机构的分类	75
3.2	配气机构的主要零部件	80
3.2.1	CA6110 型发动机配气机构	80
3.2.2	气门组主要零件	80
3.2.3	气门传动组主要零部件	83

3.3 气门间隙	88
3.4 配气相位	88
3.5 发动机的换气过程	90
3.5.1 四冲程发动机的换气过程	90
3.5.2 影响充气效率的主要因素	91
3.5.3 提高发动机充气效率的措施	92
3.6 配气机构的故障与检查调整	93
3.7 配气机构的观察	95
3.8 CA6110 型柴油机气门间隙的检查调整	97
3.9 配气相位的检查	97
3.10 气门与气门座铰研	98
思考题	100
第 4 章 汽油喷射式燃料供给系	101
4.1 汽油喷射系统概述	101
4.1.1 汽油喷射的基本概念	101
4.1.2 汽油喷射系统的类型	102
4.2 发动机各种工况对可燃混合气成分的要求	106
4.3 电控汽油喷射系统的组成和工作原理	107
4.4 燃油供给系统主要装置的结构与工作原理	109
4.5 电控汽油喷射系统的控制	115
思考题	116
第 5 章 柴油机燃料供给系	117
5.1 柴油机燃料供给系的作用与组成	117
5.2 柴油机混合气的形成和燃烧室	118
5.2.1 可燃混合气的形成与燃烧	118
5.2.2 燃烧室	119
5.3 喷油器	122
5.3.1 喷油器的结构与工作原理	122
5.3.2 喷油器的拆卸	124
5.4 喷油泵	124
5.4.1 柱塞式喷油泵泵油原理	125
5.4.2 国产系列柱塞式喷油泵	127
5.4.3 柱塞式喷油泵的供油量调整	130
5.5 调速器	131
5.5.1 两极调速器	132
5.5.2 全程调速器	136
5.5.3 综合调速器	138
5.6 连接器及供油提前调节装置	140



5.6.1	连接器	140
5.6.2	供油提前角调节装置	141
5.7	柴油机燃料供给系辅助装置	143
5.7.1	输油泵	143
5.7.2	柴油滤清器	145
5.8	转子分配式喷油泵	146
5.8.1	径向压缩式分配泵	146
5.8.2	轴向压缩式分配泵	148
5.9	电控柴油喷射系统	153
5.9.1	喷油量的控制	154
5.9.2	喷油时刻的控制	157
5.10	柴油共轨技术	157
5.10.1	共轨系统的结构与原理	157
5.10.2	共轨系统的组成和主要零部件	158
5.11	柴油共轨系统介绍	167
5.11.1	4DC2 发动机柴油共轨系统介绍	167
5.11.2	发动机装配调试操作过程及注意事项	170
5.11.3	柴油共轨系统常见故障及可能的故障部位	170
5.11.4	博世柴油共轨系统喷油器专用拆装工具使用介绍	172
5.12	废气涡轮增压	172
5.12.1	废气涡轮增压器	173
5.12.2	冒烟限制器	174
5.12.3	增压器的使用与维护	175
5.12.4	CA6110Z 增压柴油机结构简介	176
5.13	柴油机燃料供给系故障诊断	177
5.13.1	发动机起动困难	177
5.13.2	发动机动力不足	180
5.13.3	柴油机工作粗暴	181
5.13.4	发动机运转不稳	182
5.14	供给系的主要故障	183
5.15	柴油机供给系的维修	185
5.16	喷油器的拆卸、装配与调试	185
5.17	输油泵的拆卸装配与试验	186
5.18	两极调速器的拆卸、装配与调试	186
5.19	A 型喷油泵的拆卸、装配与调整	187
5.20	喷油泵的安装及供油提前角的检查与调整	189
	思考题	189

第 6 章 冷却系、润滑系构造与维修	190
6.1 发动机冷却系的构造与维修	190
6.1.1 概述	190
6.1.2 水冷却系的组成及水路循环	190
6.1.3 水冷却系的主要部件	191
6.1.4 冷却系的常见故障及排除方法	197
6.2 发动机润滑系的构造与维修	199
6.2.1 润滑系功用及润滑方式	199
6.2.2 发动机润滑系的组成及润滑油路	199
6.2.3 机油的规格选用	202
6.2.4 润滑系主要部件	202
6.2.5 曲轴箱通风	207
6.2.6 润滑系的常见故障	208
6.3 发动机冷却系的观察与拆装	208
6.4 发动机润滑系结构观察与拆装	209
思考题	211
第 7 章 发动机总装	212
7.1 发动机试验分类与性能标定	212
7.2 发动机的装配与调整	213
7.3 发动机的磨合	214
7.3.1 发动机磨合的意义	214
7.3.2 磨合规范	215
7.4 发动机总成修理竣工技术条件	216
7.5 柴油机的维护保养	217
7.6 CA6110 型柴油机的装配和调整	222
7.6.1 装配技术要求	222
7.6.2 装配与调整步骤	223
7.7 EA827 发动机总装	228
思考题	231
第 8 章 发动机综合故障诊断	233
8.1 柴油机故障现象和原因概述	233
8.2 柴油机的故障及故障原因	235
思考题	244
附录 A 常用螺纹紧固件拧紧扭矩范围	245
参考文献	246

第1章

发动机的总体构造和工作原理

发动机是车辆的动力源，发动机的工作状况直接影响整车的动力性和经济性，为提高车辆的使用性能和车辆的使用寿命，必须对发动机定期进行维修及维护保养。维修及维护保养人员应熟练地掌握发动机的基本结构和发动机的工作过程及相关知识。

学习目标

- ☑ 了解发动机的整体结构和各结构之间的相互连接，认识发动机的外部零部件及工作原理。
- ☑ 理解发动机的定义、基本术语、类型、型号编制规则、内燃机工作循环、多缸机的工作原理。
- ☑ 掌握拆装工具的正确选择及使用，对发动机总成的合理拆卸，观察冷却水的循环，润滑油的循环及进行发动机的正确组装。

1.1 发动机的定义与分类

发动机是较为复杂的机械，种类繁多，了解其不同的类型特征，可有助于发动机的维修及分析故障和排除故障。

1. 发动机定义

发动机是将其他形式的能量转变为机械能的工作装置，是汽车的动力源，它是汽车的基本组成部分之一。

内燃机的特点是液体和气体燃料与空气混合后在内燃机内燃烧而产生热能，再将热能转化为机械能，燃烧产生热能的过程在机内完成，所以叫内燃机。现代汽车和拖拉机用往复活塞式内燃机的最多。这种发动机经过不断的革新，技术上已经完善；具有热效率高、结构紧凑、体积小、便于拆装、起动性能良好等优点；技术先进、可靠性高，被广泛应用。

2. 发动机分类

发动机种类繁多，可以按以下不同特征来加以分类。

(1) 按使用燃料的不同

按使用燃料的不同可分为汽油发动机、柴油发动机、天然气发动机，如图 1-1 所示。

(2) 按工作循环的不同

按工作循环的不同可分为四冲程发动机和二冲程发动机，如图 1-2 所示。

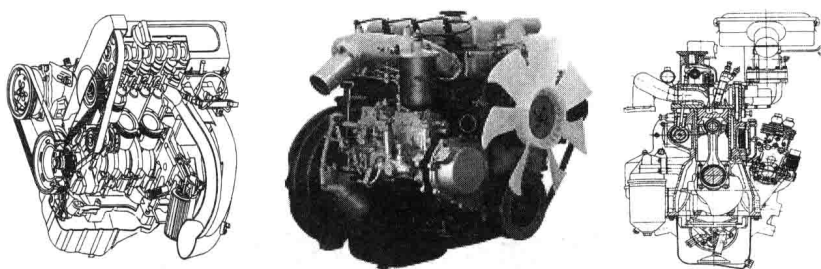


图 1-1 汽油发动机、燃气发动机、柴油发动机

(3) 按冷却方式的不同

按冷却方式的不同可分为水冷式发动机和风冷式发动机，如图 1-3 所示。

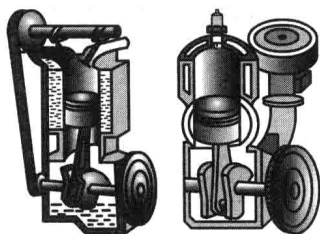


图 1-2 四冲程和二冲程发动机

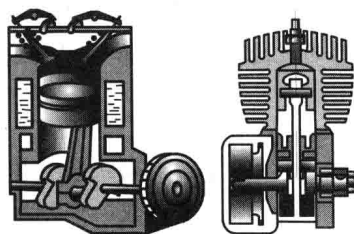


图 1-3 水冷式和风冷式发动机

(4) 按气门布置位置的不同

按气门布置位置的不同可分为顶置气门式发动机和侧置气门式发动机，如图 1-4 所示。

(5) 按气缸数目

按气缸数目可分为单缸发动机和多缸发动机，如图 1-5 所示。

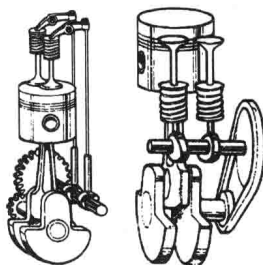


图 1-4 顶置气门式和侧置气门式发动机

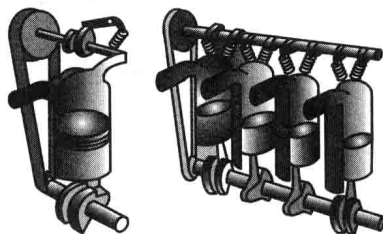


图 1-5 单缸发动机和多缸发动机

(6) 按气缸排列的方式

按气缸排列的方式可分为直列式发动机、V 型发动机和对置式发动机，如图 1-6 所示。

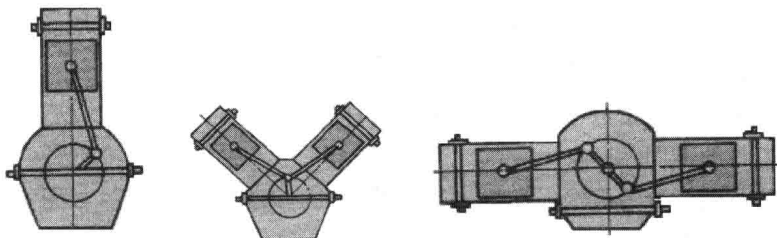


图 1-6 直列式、V 型和对置式发动机

1.2 四冲程发动机的工作原理

1.2.1 发动机的一般构造和基本名词术语

1. 发动机的一般构造

柴油机发动机主要由曲柄连杆机构、配气机构、燃料供给系统、润滑系统、冷却系统和启动系统等组成。汽油发动机多了点火系统。

2. 基本名词术语

发动机基本结构如图 1-7 所示。

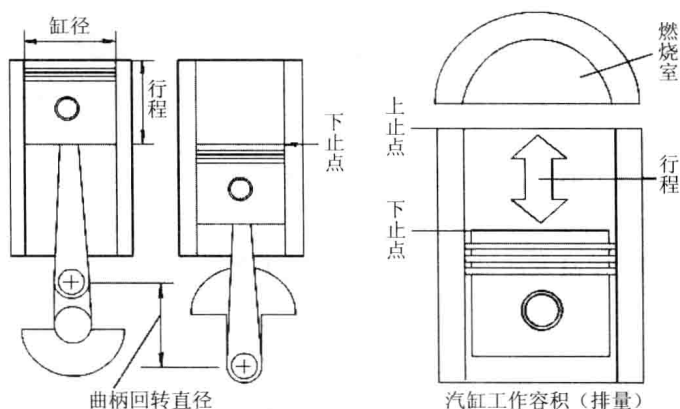


图 1-7 发动机基本结构

常用术语如下：

① 上止点：活塞在气缸内运动，其活塞顶部达到最高点处的位置，称为上止点，即活塞顶部距离曲轴回转中心最远处。

② 下止点：活塞在气缸内运动，其活塞顶部达到最低点处的位置，称为下止点，即活塞顶部距离曲轴回转中心最近处。

③ 活塞冲程：活塞在气缸内运动，其上、下止点间的距离，称为活塞冲程，用 S 来表示。

④ 曲柄半径：曲轴连杆轴颈的轴心线到主轴颈轴心线的距离，称为曲柄半径，用 R 来表示。活塞行程的大小取决于曲柄半径，其关系为：活塞行程 S 等于曲柄半径 R 的 2 倍，即 $S=2R$ 。

⑤ 燃烧室容积：活塞在上止点时，活塞顶与气缸盖之间的容积称为燃烧室容积，用 V_c 表示。

⑥ 气缸总容积：活塞在下止点时，活塞顶上方空间的容积，称为气缸总容积，用 V_a 表示。

⑦ 气缸工作容积：活塞从上止点移动到下止点或由下止点移动到上止点时活塞所扫过的空间容积，用 V_h 表示。

⑧ 压缩比：气缸总容积与燃烧室容积的比值，用 ε 表示， $\varepsilon = V_a / V_c$ 。压缩比是表示气缸内气体被压缩程度的指标。压缩比越大，压缩终了时，气缸内的气体压力越大，温度越高。

⑨ 内燃机排量：多缸机气缸工作容积之和称为排量，用 V_L 表示， $V_L = i \times V_h$ ， i 为气缸数。

⑩ 工作循环：内燃机每完成一个吸气、压缩、做功和排气工作过程，称为一个工作循环。

⑪ 二冲程内燃机：曲轴每转一圈完成一个工作循环的内燃机。

⑫ 四冲程内燃机：曲轴每转两圈完成一个工作循环的内燃机。

⑬ 工况：内燃机在某一时刻所处的工作状况，一般用内燃机的转速和负荷来表示。

1.2.2 单缸四冲程汽油机的工作原理

为使发动机产生动力，必须先使燃料和空气供入气缸，经点火后使之燃烧产生热能，以气体为工作介质推动活塞，通过连杆使曲轴旋转，使热能转化为机械能，最后将燃烧后的废气排出气缸。至此，发动机完成一个工作循环。此循环周而复始地进行，发动机便产生连续的动力。

四冲程发动机每个工作循环中的活塞行程分别为进气行程、压缩行程、做功行程和排气行程，其工作原理如图 1-8 所示。示功图表示活塞在不同位置时气缸内压力的变化情况，示功图上曲线所围成的面积即为单缸发动机在一个工作循环中所做的功。

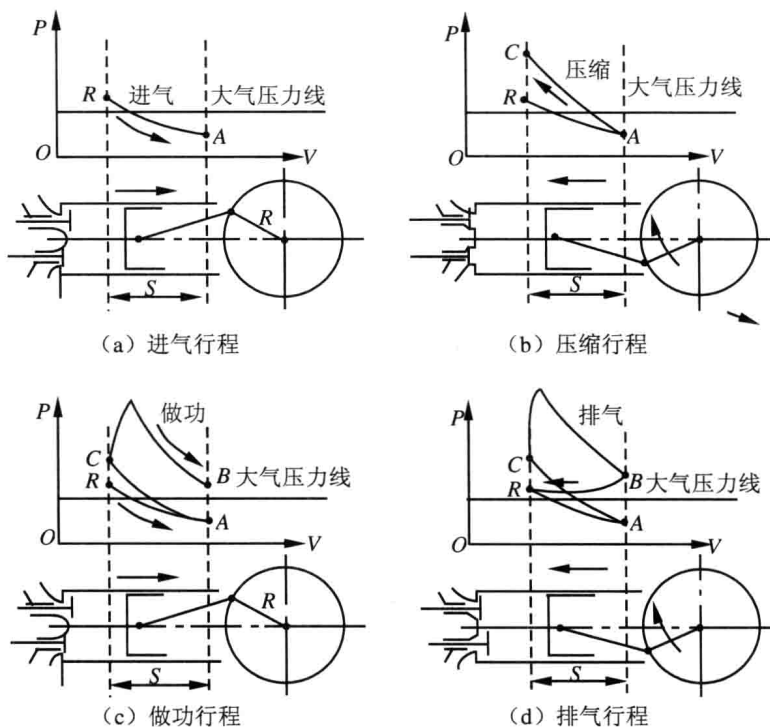


图 1-8 四冲程汽油机的示功图

活塞在气缸内往复四个行程分别为：

(1) 进气行程

进气行程如图 1-9 (a) 所示。进气门打开，排气门关闭，通过曲轴旋转带动活塞从上止点向下止点运动，气缸内容积增大，压力降低而形成真空，将可燃混合气吸入气缸。由于进气系统的阻力，进气终了时，气缸内气体的压强略低于大气压，约为 $0.075 \sim 0.09 \text{ MPa}$ ，温度为 $370 \sim 400 \text{ K}$ 。图 1-8 (a) 示功图上的曲线 RA 表示进气行程，位于大气压力线之下。它与大气压力线纵坐标之差即为活塞对应于各位置时的真空度。

(2) 压缩行程

压缩行程如图 1-9 (b) 所示。为使吸入缸内的混合气迅速燃烧，释放出更多的热量，使发动机发出更大的功率，必须在混合气燃烧前对其进行压缩，使其容积变小、温度升高。为此，进气终了前便进入压缩行程。在此行程中，进、排气门均关闭，曲轴推动活塞由下止点向上止点移动完成该行程。图 1-8 (b) 示功图上，曲线 AC 表示压缩行程。活塞到达上止点时压缩行程结束，混合气被压入活塞上方及燃烧室中。此时，混合气压强高达 $0.6 \sim 1.2 \text{ MPa}$ ，温度可达 $600 \sim 700 \text{ K}$ 。

发动机的压缩比大，则混合气燃烧迅速、发动机发出的功率大、经济性就好。压缩比过大，会导致爆燃和表面点火等不正常的燃烧现象，造成发动机过热、功率下降、油耗增大等一系列不良后果。因此在提高汽油机压缩比时，必须防止爆燃和表面点火现象的发生。

(3) 做功行程

做功行程如图 1-9 (c) 所示。在压缩行程接近终了时，火花塞产生电火花点燃混合气，此时进、排气门仍关闭。混合气的迅速燃烧，使缸内气体温度和压力迅速升高，最高压强可达 $5 \sim 9 \text{ MPa}$ ，最高温度可达 $2200 \sim 2800 \text{ K}$ 。在高温高压气体的作用力推动下，活塞向下止点运动，活塞下移通过连杆使曲轴旋转运动，产生转矩而做功。发动机至此完成了一次将热能转变为机械能的过程。图 1-8 (c) 示功图上的曲线 CB 表示做功过程。在做功终了时的 b 点，压强下降为 $0.3 \sim 0.5 \text{ MPa}$ ，温度降为 $1300 \text{ K} \sim 1600 \text{ K}$ 。

(4) 排气行程

排气行程如图 1-9 (d) 所示。混合气燃烧后成为废气，应从气缸内排出，以便下一个工作循环得以进行。当做功行程接近终了时，排气门打开，进气门仍然关闭，因废气压力高于大气压力而自动排出，此外，当活塞越过下止点上移时，靠活塞的推挤作用强制排气。活塞到上止点附近时，排气行程结束。

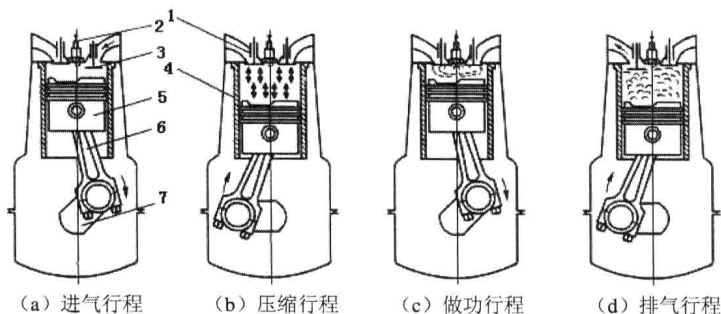


图 1-9 四冲程汽油机工作原理

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 1-8 (d) 示功图上曲线 BR 表示排气行程。排气终了时, 缸内压强约为 $0.105 \sim 0.115 \text{ MPa}$, 温度为 $900 \sim 1200 \text{ K}$ 。

至此发动机完成一个工作循环, 接着又开始了下一个工作循环。

1.2.3 单缸四冲程柴油机的工作原理

四冲程柴油机(压燃式发动机)和汽油机一样, 每一个工作循环也需经历进气行程、压缩行程、做功行程和排气行程。但由于柴油机用的燃料是柴油, 其黏度比汽油大, 不易蒸发, 自燃温度却比汽油低, 故可燃混合气的形成及点火方式都与汽油机不同, 采用压燃式。

(1) 进气行程

进气行程如图 1-10 (a) 所示。它不同于汽油机的是进入气缸的不是可燃混合气, 而是纯空气。

(2) 压缩行程

压缩行程如图 1-10 (b) 所示。不同于汽油机的是压缩的是纯空气, 且由于柴油机压缩比高, 压缩终了时的温度和压力都比汽油机高, 压强可达 $3 \sim 5 \text{ MPa}$, 温度可达 $800 \sim 1000 \text{ K}$ 。

(3) 做功行程

做功行程如图 1-10 (c) 所示。此行程与汽油机有很大差异, 第一阶段, 在柴油机压缩行程终了前, 喷油泵使柴油产生高压经喷油器呈雾状喷入气缸内与高温、高压的空气迅速气化形成混合气, 此时气缸内的温度远远高于柴油的自燃温度(约 500 K 左右), 柴油便立即自行着火燃烧, 由于喷油的持续, 致使第二阶段, 边喷油边燃烧, 气缸内压力、温度急剧升高, 推动活塞下行做功。

此行程中, 瞬时压强可达 $5 \sim 10 \text{ MPa}$, 瞬时温度可达 $1800 \sim 2200 \text{ K}$; 做功终了时压强为 $0.2 \sim 0.4 \text{ MPa}$, 温度约为 $1200 \sim 1500 \text{ K}$ 。

(4) 排气行程

排气行程如图 1-10 (d) 所示。与汽油机基本相同。排气终了时气缸压强为 $0.105 \sim 0.125 \text{ MPa}$, 温度为 $800 \sim 1000 \text{ K}$ 。

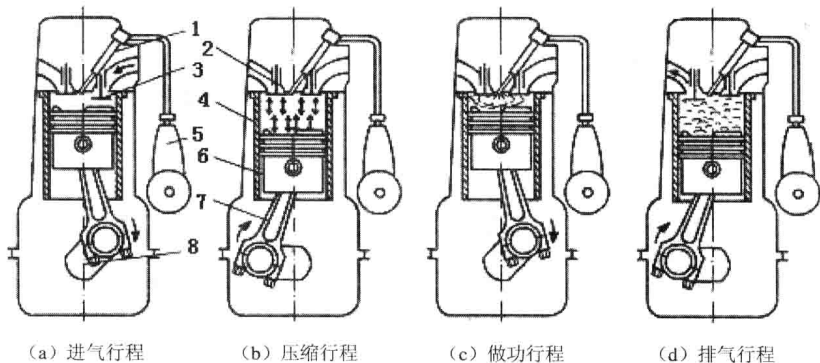


图 1-10 四冲程柴油机工作原理

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

四冲程发动机的工作特点如下:

① 每一个工作循环, 曲轴转两圈 (720°), 每一个行程曲轴转半圈 (180°), 进气行程是进气门开启, 排气行程是排气门开启, 其余两个行程进、排气门均关闭。