

汽车发动机

构造、原理与维修



QICHE FADONGJI
GOUZAO YUANLI YU WEIXIU

© 于增信 等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

汽车发动机构造、原理与维修

于增信 徐志军 孙莉 张学艳 编著



机械工业出版社

本书以四冲程水冷发动机为主,介绍了汽车发动机的构造、原理、拆装、检修、调整等知识,主要包括:发动机基本工作过程与总体构造,发动机性能与评价,机体组与曲柄连杆机构,换气过程与配气机构,汽油机燃油系统与燃烧,柴油机燃油系统与燃烧,进、排气系统,冷却系统,润滑系统,发动机的装配、磨合及验收。

本书可作为本科和高职高专学校汽车类专业教材,也适合汽车维修、汽车运用、汽车制造等相关领域的技术人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

汽车发动机构造、原理与维修/于增信等编著. —北京:机械工业出版社, 2014. 2

ISBN 978-7-111-45220-1

I. ①汽… II. ①于… III. ①汽车—发动机—构造②汽车—发动机—理论③汽车—发动机—车辆修理 IV. ①U472. 43

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第307179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:王华庆 责任编辑:王华庆

版式设计:常天培 责任校对:姜 婷

封面设计:张 静 责任印制:乔 宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2014年2月第1版第1次印刷

184mm×260mm·13.5印张·329千字

0 001—2 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-45220-1

定价:29.80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

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

近几年,汽车工业作为我国国民经济的支柱产业得到了迅猛发展,我国已成为世界第一汽车消费和生产大国,且目前仍以较快的速度发展。与国际接轨、运作高效、功能健全的汽车服务业正蓬勃发展,业务涵盖汽车检修、汽车改装、汽车测试、汽车营销、汽车保险、汽车金融、汽车贸易、汽车文化、汽车救援、二手车评估、汽车回收、汽车租赁、汽车美容等,且新的服务项目不断衍生,创造了约占整个汽车产业链 70% 的利润,已成为极具规模和吸引力的“黄金产业”,从业人员队伍迅速扩大。另外,现代汽车集各项高新技术于一体,是典型的机电一体化产品。汽车检修技术已成为集经验判断,各总成拆装、调整、修复,先进仪器分析、诊断、排除故障等于一体的综合技术。总之,汽车服务业的快速发展和检修技术的变革,使得我国汽车后市场急需大量的高素质人才。

本书是作者根据汽车后市场对人才素质的要求,结合汽车制造与检修技术的发展,融合多年来的教学、科研经验编写而成的,期望为汽车服务业人才培养及汽车相关领域的技术人员业务提升提供支持。

本书将汽车发动机构造、原理、拆装、检修、调整等知识融为一体,注重理论知识与实践技能相结合,构造、原理和检修与基本故障现象相结合,基本知识与先进技术及其发展趋势相结合,以揭示发动机结构因素、使用因素、技术状况、检修因素等与发动机整机性能和故障现象的内在联系,建立发动机构造、原理等知识与检修和故障诊断等实际应用的关系,为读者构筑持续发展的知识与技能平台。

本书强调知识的实用性、适用性和系统性,内容按循序渐进、理论与实践相结合、继承与发展的原则编排,力求深入浅出、简明扼要、通俗易懂。本书集学习与指导于一体,每章均设有学习目标、本章小结、复习思考题,以便于读者自主学习。

本书由于增信、徐志军、孙莉、张学艳编著。其中,于增信负责第 1、3、4、5 章以及第 6 章的 6.1~6.7 节和 6.9 节的编写工作,并对全书进行了统稿;徐志军负责第 7、10 章和第 6 章的 6.8 节的编写工作;孙莉负责第 8、9 章的编写工作;张学艳负责第 2 章的编写工作,并对全书图表的整理做了大量工作。

在本书的编写过程中参考了大量的文献资料,在此向这些文献资料的作者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在错误和疏漏之处,欢迎广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第1章 发动机基本工作过程与总体

构造 1

1.1 能量转换与发动机的分类 1

1.1.1 能量转换 1

1.1.2 发动机的分类 1

1.1.3 汽车用发动机 2

1.2 发动机的基本结构 2

1.3 发动机的基本结构参数 3

1.4 往复活塞式内燃机的分类 5

1.5 四冲程发动机的工作过程 5

1.5.1 四冲程汽油机的工作过程 5

1.5.2 四冲程柴油机的工作过程 7

1.5.3 工作循环中的几个重要参数 7

1.5.4 发动机运转的平稳性 7

1.5.5 柴油机与汽油机的比较 8

1.6 二冲程发动机的工作过程 9

1.6.1 二冲程汽油机的工作过程 9

1.6.2 二冲程柴油机的工作过程 9

1.6.3 二冲程发动机与四冲程发动机的 比较 10

1.7 发动机的总体构造 11

1.8 内燃机产品名称和型号编制规则 12

本章小结 13

复习思考题 14

第2章 发动机性能与评价 15

2.1 发动机性能指标 15

2.1.1 动力性指标 15

2.1.2 经济性指标 16

2.2 机械损失与机械效率 16

2.2.1 机械损失 16

2.2.2 机械效率 17

2.3 发动机使用性能特性 17

2.3.1 发动机工况 18

2.3.2 速度特性 18

2.3.3 负荷特性 20

本章小结 21

复习思考题 22

第3章 机体组与曲柄连杆机构 23

3.1 机体组 23

3.1.1 机体组的组成及作用 23

3.1.2 气缸体 24

3.1.3 气缸盖 26

3.1.4 气缸垫 27

3.1.5 油底壳 27

3.1.6 机体组的常见损伤 28

3.1.7 机体组的检修 29

3.2 活塞组 32

3.2.1 活塞 32

3.2.2 活塞环 36

3.2.3 活塞销 39

3.2.4 活塞组的损伤 39

3.2.5 活塞组的检修 40

3.3 连杆组 42

3.4 活塞连杆组的装配 46

3.5 曲轴飞轮组 48

3.5.1 曲轴 48

3.5.2 曲轴主轴承与轴向定位 52

3.5.3 飞轮 53

3.5.4 曲轴扭转减振器 54

3.6 曲轴飞轮组的检修 54

3.6.1 曲轴常见损伤形式 54

3.6.2 曲轴裂纹的检修 55

3.6.3 曲轴弯曲的检验与校正 55

3.6.4 曲轴扭曲的检验与校正 56

3.6.5 轴颈磨损的检修 56

3.6.6 轴承(瓦)的选配与修理 56

3.6.7 飞轮的检修 57

3.7 曲柄连杆机构常见故障的诊断与排除 58

3.7.1 曲轴主轴承异响 58

3.7.2 连杆轴承异响 58

3.7.3 活塞敲缸响 59

3.7.4 活塞销响 59

本章小结	59	5.3 汽油机的燃烧过程	94
复习思考题	61	5.3.1 正常燃烧	94
第4章 换气过程与配气机构	63	5.3.2 不正常燃烧	95
4.1 发动机换气过程	63	5.3.3 使用因素对汽油机燃烧的影响	97
4.1.1 发动机换气过程与配气相位	63	5.3.4 汽油机典型工况时混合气的形 成、燃烧特点与控制策略	99
4.1.2 充气效率	65	5.4 汽油机燃烧室	100
4.2 配气机构的组成与类型	66	5.5 化油器	101
4.2.1 配气机构的组成	66	5.5.1 供油装置	101
4.2.2 凸轮轴的布置形式	66	5.5.2 化油器的类型	105
4.2.3 凸轮轴驱动（正时机构）方式	67	5.6 汽油喷射系统	106
4.2.4 配气机构工作过程与气门间隙	69	5.6.1 汽油喷射系统的特点	106
4.2.5 每缸气门数	69	5.6.2 汽油喷射系统的分类	107
4.3 气门组件	70	5.6.3 电控汽油喷射系统的组成	108
4.3.1 气门	70	5.7 其他供油装置	119
4.3.2 气门座与气门座圈	71	5.7.1 汽油箱	119
4.3.3 气门导管与气门油封	71	5.7.2 汽油滤清器	119
4.3.4 气门弹簧与弹簧座	72	本章小结	120
4.3.5 气门旋转机构	72	复习思考题	123
4.3.6 气门组的检修	73	第6章 柴油机燃油系统与燃烧	125
4.4 气门传动组件	76	6.1 柴油机燃油系统的作用与组成	125
4.4.1 凸轮轴	76	6.2 柴油机混合气的形成和燃烧	126
4.4.2 挺柱	77	6.2.1 柴油机混合气的形成	126
4.4.3 推杆	78	6.2.2 柴油机燃烧过程	127
4.4.4 摇臂组	79	6.2.3 使用因素对燃烧过程的影响	128
4.4.5 气门传动组零件的检修	79	6.3 柴油机燃烧室	129
4.5 配气机构的检查与调整	82	6.3.1 直接喷射式燃烧室	129
4.5.1 气门间隙的调整	82	6.3.2 分隔式燃烧室	130
4.5.2 配气相位的检查与调整	83	6.4 喷油器	131
4.6 可变配气技术	85	6.4.1 喷油器的结构与工作原理	131
4.6.1 概述	85	6.4.2 喷油器的检修	132
4.6.2 几种可变配气机构	85	6.5 喷油泵	133
4.7 配气机构故障的诊断	87	6.5.1 柱塞式喷油泵	133
4.7.1 气门和挺柱异响	88	6.5.2 分配式喷油泵	137
4.7.2 气门漏气	88	6.5.3 喷油泵的检修	140
本章小结	88	6.6 调速器	141
复习思考题	90	6.6.1 调速器的作用及分类	141
第5章 汽油机燃油系统与燃烧	91	6.6.2 两极式调速器	142
5.1 汽油机燃油系统的作用与组成	91	6.6.3 全程式调速器	143
5.2 可燃混合气的形成	91	6.6.4 调速器的检修	144
5.2.1 混合气浓度	92	6.7 喷油泵与调速器的调试	144
5.2.2 化油器式汽油机可燃混合气的 形成	93	6.7.1 供油时刻的调试	145
5.2.3 电控燃油喷射式混合气的形成	94	6.7.2 调速器的调试	145

6.7.3 供油量的调试	146	8.2.5 节温器	178
6.8 柴油机电控燃油喷射系统	146	8.3 冷却液	179
6.8.1 柴油机电控燃油喷射系统的 分类	147	8.4 水冷系统的检修	179
6.8.2 柴油机电控燃油喷射系统的 功能	147	8.4.1 散热器的检修	179
6.8.3 柴油机喷（供）油量控制	148	8.4.2 水泵的检修	180
6.8.4 柴油机喷（供）油正时控制	150	8.4.3 节温器的检修	181
6.8.5 共轨式电控燃油喷射系统（时 间-压力控制式电控燃油喷射 系统）	151	8.5 冷却系统故障的诊断	181
6.9 柴油机电燃油供给系统常见故障的 原因	153	8.5.1 发动机过热	181
6.9.1 起动困难和不能起动	154	8.5.2 冷却液渗漏	182
6.9.2 动力不足	154	本章小结	182
6.9.3 转速不稳	154	复习思考题	183
本章小结	155	第9章 润滑系统	185
复习思考题	156	9.1 润滑系统的作用与组成	185
第7章 进、排气系统	157	9.1.1 润滑系统的作用	185
7.1 进气系统	157	9.1.2 润滑方式	185
7.1.1 空气滤清器	157	9.1.3 润滑系统的组成及油路	186
7.1.2 进气歧管	159	9.2 润滑系统的主要零部件	187
7.2 排气系统	162	9.2.1 机油泵	187
7.2.1 排气管	163	9.2.2 机油滤清器	188
7.2.2 消声器	163	9.2.3 机油冷却器	191
7.2.3 排气净化装置	163	9.3 曲轴箱通风	191
7.3 发动机增压和增压器	166	9.4 润滑系统的检修	192
7.3.1 增压度、增压比和增压的分类	166	9.4.1 机油泵的检修	193
7.3.2 增压发动机的特点	167	9.4.2 机油滤清器的检修	194
7.3.3 废气涡轮增压	168	9.5 润滑系统常见故障的诊断	194
本章小结	170	9.5.1 机油消耗过多	194
复习思考题	171	9.5.2 机油压力过高	195
第8章 冷却系统	172	9.5.3 机油压力过低	195
8.1 冷却系统的作用与组成	172	9.5.4 油位升高	196
8.1.1 冷却系统的作用	172	本章小结	196
8.1.2 冷却方式	173	复习思考题	196
8.1.3 水冷系统的组成及工作原理	173	第10章 发动机的装配、磨合及验 收	198
8.1.4 冷却强度的调节	174	10.1 发动机装配的基本要求	198
8.2 水冷系统的主要零部件	175	10.1.1 发动机装配前的准备	198
8.2.1 散热器	175	10.1.2 发动机装配过程中需注意的事 项	198
8.2.2 散热器盖和膨胀箱	175	10.2 发动机的装配与调整	199
8.2.3 水泵	176	10.2.1 安装曲轴	199
8.2.4 风扇和风扇离合器	177	10.2.2 安装（下置）凸轮轴	199
		10.2.3 安装活塞连杆组	200
		10.2.4 安装正时齿轮室盖及曲轴带	

轮	200	10.3.1 概述	202
10.2.5 安装机油泵、油底壳和集滤		10.3.2 冷磨合规范	202
器	201	10.3.3 热磨合规范	203
10.2.6 安装气门组和气缸盖	201	10.4 发动机大修竣工验收标准	204
10.2.7 安装顶置凸轮轴	201	本章小结	204
10.2.8 安装飞轮、飞轮壳和离合器	201	复习思考题	205
10.2.9 其他	201	参考文献	206
10.3 发动机的磨合	202		

第1章 发动机基本工作过程与总体构造

【学习目标】

1. 掌握发动机的基本结构参数
2. 掌握四冲程发动机的基本工作过程及总体构造
3. 掌握柴油机与汽油机工作过程及外表的区别
4. 理解内燃机的分类
5. 了解二冲程发动机的基本工作过程
6. 了解内燃机型号的编制规则

1.1 能量转换与发动机的分类

1.1.1 能量转换

能量以不同的形式或状态储存在各种物质或物体中。能量可以从一种形式转换成另一种形式，转换过程中能量的总和保持不变，但转换过程的实现受条件、方向及限度（效率）等因素的约束。

汽车上存在各种形式的能量及能量转换，如燃料燃烧时将燃油中的化学能转变成热能，蓄电池将电解液内的化学能转变成电能，燃料电池则将燃料中的化学能转变成电能，发电机把机械能转变成电能，电动机（如起动电动机、刮水器电动机等）将电能转换成机械能，制动器或其他做相对运动的零部件等通过摩擦将机械能转变成热能，光电传感器将光能转变成电能，灯泡则将电能转变成光能……

1.1.2 发动机的分类

发动机是将其他形式的能量转变为机械能的机器。根据能量转换方式和方法的不同，发动机可分为热力发动机、电动机、核能发动机、水力机、风力机等。其中在汽车上应用的是热力发动机和电动机。

1) 热力发动机简称为热机，是将燃料燃烧产生的热能转变为机械能的机器。根据燃烧发生的位置不同，热机分为内燃机和外燃机两种。

2) 内燃机就是燃料直接在发动机内部燃烧的热机，包括活塞式内燃机、燃气轮机、喷气式发动机等。活塞式内燃机又分为往复式活塞式内燃机和旋转活塞式内燃机两种。

3) 外燃机是燃料在发动机外部燃烧的热机，包括活塞式蒸汽机、蒸汽轮机和热气机（斯特林发动机）等。

4) 电动机是将电能转换为机械能的机器。其电能来自电网、蓄电池、燃料电池、太阳能电池等。

1.1.3 汽车用发动机

迄今为止,用作汽车发动机的主要是内燃机和为数不多的电动机。在各种内燃机中,往复式内燃机的综合性能占优,如热效率高(30%~46%),经济性好,结构紧凑,体积小,重量轻,移动方便,功率范围(0.59~40000kW)和转速范围(90~10000r/min)广,起动快,适应性好,维护简单,操作方便,造价低廉,耗水少等,被广泛用作各种车辆和其他机械的动力装置。

转子活塞式内燃机在汽车上也有使用,且其速度、运转平稳性和结构紧凑性优于往复式内燃机。但其结构密封性差,润滑、燃烧室设计、零件布置困难及由此带来的经济性问题等,限制了其在商品汽车上的应用。目前,世界上只有日本的马自达汽车有限公司批量生产转子发动机。

近几年,由于对汽车节能、环保方面的要求越来越严,因此电动汽车、混合动力(电动机+内燃机)汽车等凸显出优越性,其产品的研制如火如荼,成型产品也有面世。但由于电池等技术原因,其短期内不会取代往复式活塞式内燃机在汽车发动机中的主导地位。本书所讲的汽车发动机均为往复式活塞式内燃机。

1.2 发动机的基本结构

图1-1和图1-2为发动机的基本结构简图。发动机主要零部件包括气缸体、气缸盖、活塞、连杆、曲轴、飞轮、气门、凸轮轴等。

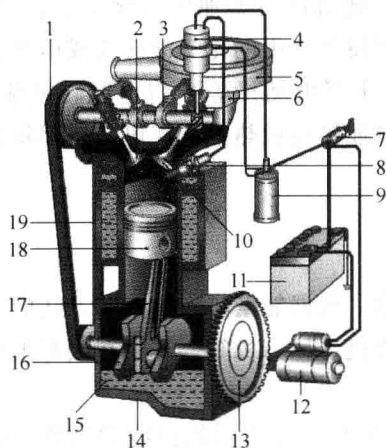


图 1-1 往复式活塞式汽油机结构示意图

- 1—正时带 2—排气门 3—凸轮轴 4—分电器
5—空气滤清器 6—化油器 7—点火开关 8—火花塞 9—点火线圈 10—进气门 11—蓄电池
12—起动机 13—飞轮兼起动齿轮 14—油底壳
15—机油 16—曲轴 17—连杆 18—活塞
19—冷却液

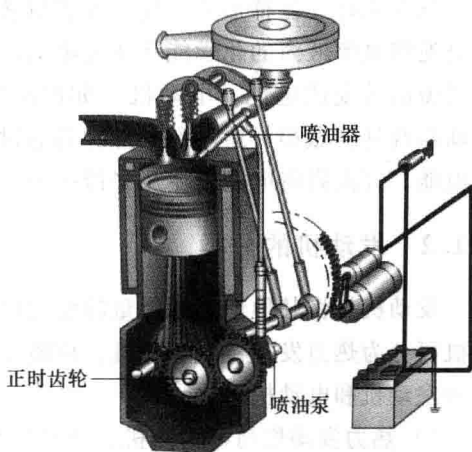


图 1-2 往复式活塞式柴油机结构示意图

气缸体内的圆筒形孔腔称为气缸孔，其中装有往复运动的活塞，封闭其下部。气缸体上端装有气缸盖，用于封闭气缸顶部。气缸孔、活塞和气缸盖构成的孔腔称为气缸，其容积称为气缸容积。每个气缸至少有一个进气门和一个排气门，由凸轮轴控制其开启和关闭。凸轮轴由曲轴驱动，曲轴的另一端与飞轮连接。连杆的一端（小头）通过活塞销与气缸内的活塞相连接，随着活塞做往复运动。连杆的另一端（大头）滑套在曲轴的曲柄销上，与曲轴相连并随着其做圆周运动。活塞、连杆、曲轴构成曲柄连杆机构，用于实现往复运动与旋转运动的相互转换。当活塞在气缸内做往复运动时，通过连杆推动曲轴做旋转运动；与此同时，装在气缸盖上的进气门和排气门，在凸轮轴的控制下适时地开启和关闭，以向气缸内充入新鲜的空气与燃油的混合气和向气缸外排出燃烧后的废气。上述机构和零部件与其他的系统、零部件配合共同完成发动机吸气、压缩、做功（燃烧-膨胀）和排气的工作循环，通过飞轮向外输出动力。

1.3 发动机的基本结构参数

图 1-3 为发动机基本术语示意图。

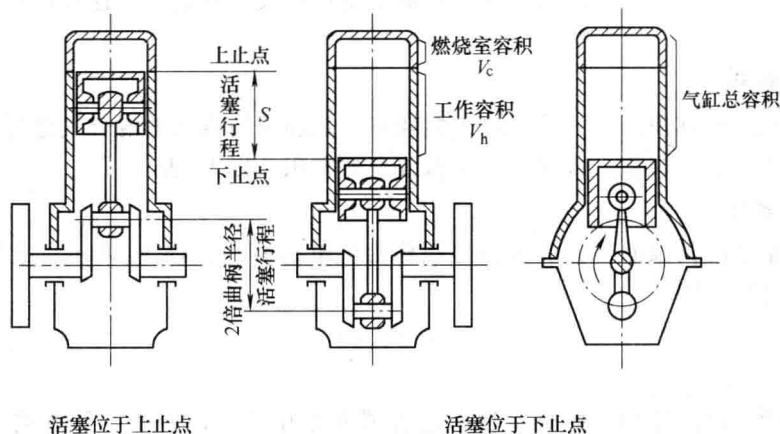


图 1-3 发动机基本术语示意图

1. 曲柄半径

曲柄销中心线到曲轴旋转中心的距离称为曲柄半径，即曲轴的旋转半径，以 R 表示。

2. 上、下止点

活塞在气缸内做往复运动时，其离曲轴旋转中心最远的位置称为上止点，离曲轴旋转中心最近的位置称为下止点。

在上、下止点时，活塞的运动方向发生改变，其速度为零。此时，活塞、连杆的中心线与曲柄在一条直线上。

3. 缸径与行程

缸径即气缸的直径，以 D 表示。活塞行程是指活塞上、下止点间的距离，以 S 表示。气缸直径和活塞行程代表了发动机气缸的尺寸，是重要的结构参数，决定了发动机的基本特点，均用“毫米（mm）”计量。

显然，曲轴每旋转半圈（即 180° ），活塞运动一个行程。所以发动机活塞行程是曲柄半

径的 2 倍, 即 $S = 2R$ 。

通常在叙述发动机气缸尺寸时, 直径和行程两个参数总是同时出现, 缸径在前, 行程在后, 表示为 $D \times S$ 。例如“100 × 88”的气缸, 即表示缸径为 100mm, 行程为 88mm。

4. 单缸排量 (气缸工作容积)

一个气缸中, 活塞从一个止点移动到另一个止点所扫过的容积称为气缸工作容积, 即上、下止点间的气缸容积, 以 V_s 表示, 用“升 (L)”计量。可以想象, 这个容积空间是个圆柱体, 其直径是气缸直径 D , 高是活塞行程 S 。因此,

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

式 (1-1) 中, D 和 S 均以毫米为单位。

5. 发动机排量 (发动机工作容积)

多缸发动机所有气缸工作容积的总和称为发动机工作容积, 又称为发动机排量, 以 V_L 表示。若缸数为 i , 则

$$V_L = iV_s \quad (1-2)$$

一般说来, 大排量发动机的功率比小排量发动机的大。发动机缸径和行程改变, 其排量即改变。

6. 燃烧室容积

活塞在上止点时其顶面上方的空间为燃烧室, 是燃油与空气的混合气进行燃烧的封闭空间。其容积称为燃烧室容积, 也叫压缩容积或余隙容积, 以 V_c 表示。

7. 气缸总容积

活塞在下止点时其顶面上方的全部容积称为气缸总容积, 以 V_a 表示。它等于燃烧室容积与活塞排量之和, 即

$$V_a = V_c + V_s \quad (1-3)$$

8. 压缩比

压缩比是指气缸总容积与燃烧室容积之比或开始压缩前的容积与压缩终了时的容积之比, 以 ε 表示。

$$\varepsilon = \frac{V_a}{V_c} = 1 + \frac{V_s}{V_c} \quad (1-4)$$

压缩比表明活塞从下止点移动到上止点时气缸内气体受压缩的程度。如果气缸总容积为 0.9L, 而燃烧室容积为 0.09L, 那么压缩比为 $0.9/0.09 = 10$, 说明在压缩过程中, 气体的容积从 0.9L 被压缩到 0.09L, 为原来容积的 1/10。

压缩比越大, 压缩终了时缸内气体压力和温度就越高, 气缸内的最高压力和温度就越大, 推动活塞做功的能力就越强, 发动机的功率也就越大。

使用过程中, 气缸磨损, 气缸及燃烧室壁面形成积炭, 会使燃烧室容积和气缸容积发生变化, 从而导致压缩比改变。同样, 在发动机修理过程中, 气缸尺寸的变化也会引起压缩比的改变。

1.4 往复活塞式内燃机的分类

1. 按所用的燃料分类

根据所用燃料的不同,往复活塞式内燃机可分为柴油机、汽油机、气体燃料(天然气、液化石油气等)发动机等。

2. 按行程数分类

按完成一个工作循环所需行程数的不同,往复活塞式内燃机可分为四冲程内燃机和二冲程内燃机两种。由四个行程完成一个工作循环的内燃机称为四冲程内燃机;由两个行程完成一个工作循环的内燃机称为二冲程内燃机。

3. 按着火方式分类

按着火方式的不同,往复活塞式内燃机分为压燃式(或自燃式)和点燃式两种。压燃式内燃机是将气缸内的空气压缩升温至高于燃料的着火温度,使燃料自行着火燃烧。点燃式内燃机是利用火花塞发出的电火花强制点火燃烧。柴油自燃点温度低,点燃温度高,因此柴油机采用压燃式着火。汽油的自燃温度较柴油的高,但点燃温度较低,所以汽油机采用点燃式着火。煤气机、气体燃料发动机等则采用点燃式着火。

4. 按冷却方式分类

按冷却方式的不同,往复活塞式内燃机分为水(液)冷式和风(空)冷式两种。以水或其他冷却液为冷却介质的为水冷式内燃机,以空气为冷却介质的为风冷式内燃机。

5. 按进气方式分类

按进气方式的不同,往复活塞式内燃机分为增压和非增压两类。增压内燃机利用增压器来提高进气压力,增大进气密度,增加进气量,提高内燃机功率。非增压内燃机不装增压器,在大气状态下靠活塞的下行自然吸气。

6. 按气缸数分类

按气缸数的不同,往复活塞式内燃机分为单缸内燃机和多缸内燃机(有2个以上气缸数)。多缸内燃机有3缸、4缸、5缸、6缸、8缸、10缸、12缸等。

7. 按气缸排列形式分类

车用多缸内燃机的气缸排列方式主要有直列式、V型和对置式等。

另外,现代车用发动机还可按配气机构的形式、燃料供给控制方式、排量是否可变、压缩比是否可变等进行分类,这些将在后续章节中介绍。

各种类型的内燃机中,目前广泛用作汽车动力源的是水冷四冲程内燃机。它是本书的主要讨论对象。

1.5 四冲程发动机的工作过程

1.5.1 四冲程汽油机的工作过程

下面对照图1-4介绍四冲程汽油机的工作过程。

1. 吸(进)气行程

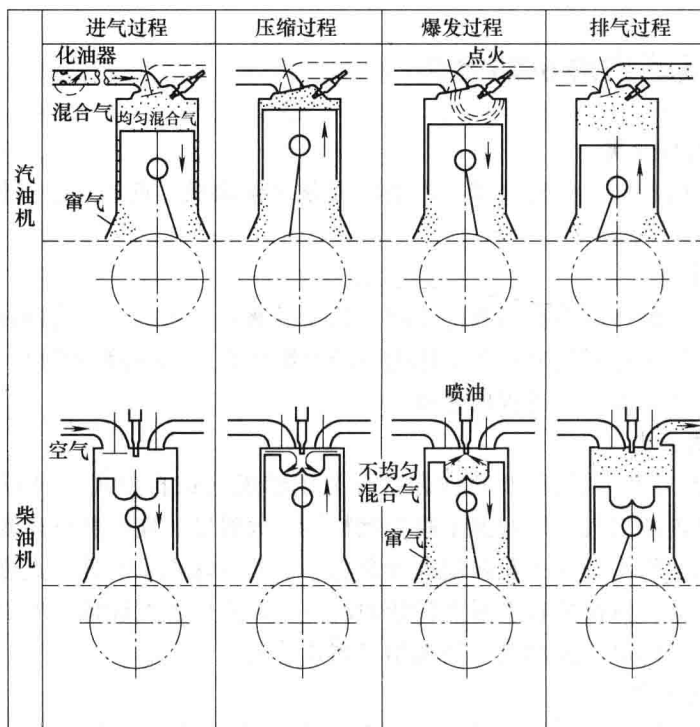


图 1-4 四冲程发动机工作原理示意图

该行程中，进气门处于开启状态，排气门处于关闭状态，曲轴带动活塞从上止点向下止点移动，气缸容积逐渐增大，使气缸内压力降低，产生真空度（又称为“负压”，即真实压力低于大气压力的值），空气和汽油的可燃混合气由进气管道经进气门被吸入气缸内，直至进气门关闭，停止进气。

由于进气系统存在阻力，进气终了时气缸内的压力低于大气压力，为 $0.075 \sim 0.09 \text{ MPa}$ 。而气门、活塞顶、气缸壁等高温零件与上一循环残留在气缸内的高温废气对新鲜混合气加热，进气终了时气缸内的温度升高至 $340 \sim 380 \text{ K}$ 。

2. 压缩行程

进气过程结束后，进、排气门均关闭，从而将气缸封闭，曲轴继续旋转，带动活塞由下止点向上止点移动，气缸容积逐渐减小，可燃混合气被压缩，压力和温度同时升高。与此同时，燃油和空气在缸内运动空气和高温的作用下进一步混合均匀，直至活塞到达上止点，压缩过程结束。此时气缸内温度达到 $600 \sim 750 \text{ K}$ ，压力达到 $0.8 \sim 1.5 \text{ MPa}$ ，为可靠、迅速地着火燃烧和做功做好了准备。

3. 做功（燃烧膨胀）行程

进、排气门仍都保持关闭。在压缩行程接近上止点时，火花塞产生电火花，点燃可燃混合气，形成火焰并迅速烧遍整个燃烧室，放出大量热，生成高温高压的燃气，直接作用在活塞顶面，推动活塞由上止点迅速向下止点移动，并通过连杆驱动曲轴旋转而对外做功。

做功行程初始，在上止点附近，气缸内最高压力可达 $3.0 \sim 6.5 \text{ MPa}$ ，最高温度高达 $2200 \sim 2800 \text{ K}$ 。膨胀终了时压力降至 $0.35 \sim 0.50 \text{ MPa}$ ，温度为 $1200 \sim 1500 \text{ K}$ 。

4. 排气行程

排气门处于开启状态,进气门仍关闭着,曲轴通过连杆带动活塞由下止点向上止点移动。膨胀做功后的燃气(称之为废气)在其自身压力和活塞的推动下经排气门从排气管道排出气缸,直至排气门关闭。

由于燃烧室容积的存在,排气终了时废气不可能完全被排除干净,气缸内还存留少量废气,称其为残余废气,其压力为 $0.105 \sim 0.12 \text{ MPa}$,温度为 $900 \sim 1100 \text{ K}$ 。

至此,四冲程汽油机曲轴旋转2圈,活塞上下往复运动4个行程,完成吸气、压缩、做功、排气过程组成的工作循环,活塞又回到进气行程上止点,进气门再次开启,曲轴继续旋转,开始下一个新的工作循环。如此周而复始,汽油机就连续不断地运转。

1.5.2 四冲程柴油机的工作过程

四冲程柴油机与四冲程汽油机的工作循环类似,也是在曲轴转2圈,活塞运行4个行程内完成吸气、压缩、做功、排气四个过程。所不同的是柴油机吸入纯空气进行压缩。由于柴油机采用较大的压缩比,因此在压缩行程末期,气缸内的压力高达 $3.0 \sim 5.0 \text{ MPa}$,温度高达 $750 \sim 1000 \text{ K}$,远高于柴油的自燃点。此时,柴油通过喷油泵和喷油器在很高的压力下以雾状喷入燃烧室内,快速与高温空气混合并自燃着火。气缸内最高压力可达 $6 \sim 9 \text{ MPa}$,最高温度可达 $1800 \sim 2200 \text{ K}$ 。膨胀终了时缸内压力为 $0.2 \sim 0.5 \text{ MPa}$,温度为 $1000 \sim 1200 \text{ K}$ 。排气终了时缸内压力为 $0.105 \sim 0.12 \text{ MPa}$,温度为 $700 \sim 900 \text{ K}$ 。

柴油机进气阻力小,新鲜空气受热少,进气终了时气缸内压力较高,为 $0.085 \sim 0.095 \text{ MPa}$,温度较低,为 $310 \sim 340 \text{ K}$ 。

1.5.3 工作循环中的几个重要参数

(1) 压缩压力 压缩终了时的压力简称为压缩压力,俗称为“缸压”,是表征发动机技术状况的重要参数。若压缩压力低于标准值,则说明发动机气缸密封性不良,可能是气缸壁、活塞组件、气门密封不严等使发动机性能恶化;若压缩压力高于标准值,则说明发动机压缩比由于某种原因(如积炭)而增大,引起发动机不正常燃烧。

(2) 气缸内最高压力与最高温度 气缸内最高压力用来评价发动机机械负荷的大小,最高温度可用来评价发动机热负荷温度的高低。气缸内最高压力越高,说明其机械负荷越大;最高温度越高,说明其热负荷越大。

(3) 排气温度 排气终了时的温度也是表征发动机热负荷高低和工作状况的一个重要参数。若排气温度低,则说明燃料燃烧及时、完全,热转换效率高;若排气温度偏高,则说明燃烧恶化,应查明原因并排除。

1.5.4 发动机运转的平稳性

四冲程发动机的每一个工作循环只有一个做功行程,其余三个行程为辅助行程,均消耗能量。显然,做功行程中曲轴的转速较其他三个行程大得多,因此一个工作循环中曲轴转速是非均匀的。减小曲轴转速波动,保证运转平稳的基本措施如下:

1) 在曲轴的输出端安装旋转质量很大的飞轮,利用其惯性在做功行程储存能量,在辅助行程释放能量。

2) 增加气缸数,让每个气缸在一个工作循环的曲轴转角(四行程为 720° ,二行程为

360°) 内均匀交替地做功一次, 这就是多缸发动机均匀间隔地发火 (工作) 的原则。

3) 对于多缸发动机, 除要求其各缸几何参数相同外, 还要求每循环进入各个气缸的混合气数量和浓度必须相同, 各缸气门开启和关闭的时刻及点火或喷油时刻也必须相同。

为保证运转平稳, 气缸数越少的发动机, 需要的飞轮越大, 所以单缸发动机的飞轮一般都很大。

1.5.5 柴油机与汽油机的比较

从工作过程来看, 汽油机和柴油机的根本区别在于: 由于汽油的挥发性好, 因此汽油机的可燃混合气是从进气管中开始形成的, 直至延续到压缩行程末期, 时间长, 混合均匀, 属于均质混合气燃烧; 由于柴油挥发性差, 因此柴油机必须在压缩终了时将柴油在高压下喷入高温、高压的气缸内, 可燃混合气仅在压缩行程和膨胀行程上止点附近很短的时间内形成。所以, 在进气过程中, 汽油机吸入汽油与空气的混合气, 柴油机则吸入纯空气; 汽油机靠火花塞点燃可燃混合气, 柴油机靠压缩终了时缸内的高温使可燃混合气自燃。

工作过程的差异, 导致了柴油机与汽油机在结构、性能、使用等方面的不同。柴油机压缩比大, 突出优点是经济性好、动力性好, 且坚固耐用, 故障少 (无点火系), 工作可靠, 但其冷起动困难, 转速低, 笨重, 平稳性差, 噪声大。汽油机则具有转速高, 重量轻, 起动容易, 噪声小, 结构紧凑等优点, 但其经济性差。汽车用柴油机与汽油机的比较见表 1-1。表 1-1 中的某些参数或比较项目将在后续章节中介绍。

表 1-1 汽车用汽油机与柴油机的比较

比较项目		汽油机	柴油机
压缩比		6 ~ 11	12 ~ 25
平均空燃比		12 ~ 18	17 ~ 31
空气与燃油的混合		缸外开始, 均匀混合	压缩末期缸内混合, 不均匀
着火方式		火花塞点火	自燃 (压燃)
燃烧方式		火焰传播燃烧	以扩散燃烧为主
振动、噪声		小	大
最高温度与排气温度 (热负荷)		高	低
最高压力 (机械负荷)		低	高
有效热效率 (经济性)		低 (差)	高 (好)
负荷调节	原理	改变混合气量 - 量调节	改变喷油量 (混合气浓度) - 质调节
	方法	控制节气门开度	控制供油机构
最大转速		高	低
气缸直径		小	大
冷起动性		好	差
排放有害物质		CO、HC、NO _x	NO _x 、碳烟
使用寿命		短	长

近年来, 汽车节能、环保、安全发展的要求, 使得柴油机的优点更突出, 其技术也得迅速发展, 在保持原有优势的基础上, 固有的弱点已经或正在被改进, 甚至可与汽油机媲美, 越来越受到青睐。因此, 柴油汽车的比例正在逐年增大。

1.6 二冲程发动机的工作过程

二冲程发动机在两个活塞行程内完成吸气、压缩、做功、排气四个过程，即曲轴转一圈，发动机就对外做一次功。

1.6.1 二冲程汽油机的工作过程

图 1-5 是一种曲轴箱扫气的二冲程汽油机工作过程示意图。在气缸壁下部开有三个气孔（进气孔、排气孔和扫气孔），通过活塞的移动控制其开、闭，完成充量（新鲜空气或可燃混合气数量）的更换。

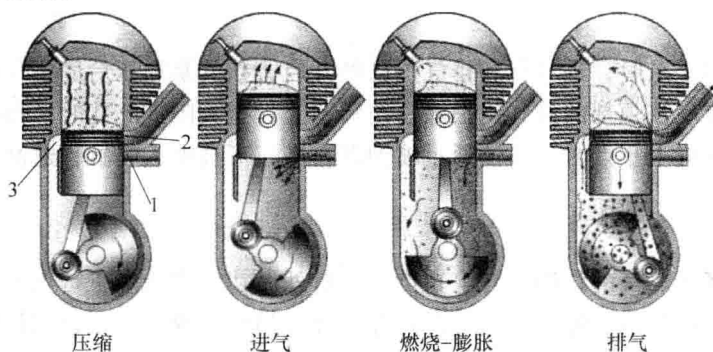


图 1-5 二冲程汽油机工作过程示意图

1—进气孔 2—排气孔 3—扫气孔

1. 第一行程

当活塞在下止点时，进气孔被关闭，排气孔和扫气孔都开启，曲轴箱内受到预压的可燃混合气经扫气孔进入气缸，在凸起的活塞顶的配合下，将气缸内的废气从排气孔扫出。随着活塞的上行，其头部先将扫气孔遮闭，扫气终止。随后活塞遮闭排气孔，气缸被封闭。活塞继续上行，在压缩可燃混合气的同时，其下方封闭的曲轴箱内容积增大，产生真空度。当进气孔露出时，新鲜可燃混合气进入曲轴箱。

2. 第二行程

当活塞行近上止点时，火花塞产生电火花，点燃已经被压缩的可燃混合气，燃烧产生的高温高压气体推动活塞下行，并通过连杆使曲轴转动。当活塞下行至将进气孔关闭时，开始压缩进入曲轴箱内的混合气。活塞接近下止点时，首先打开气缸壁上的排气孔，废气开始从排气孔冲出，接着扫气孔被打开，又开始扫气。换气过程一直进行到活塞越过下止点并上行至再次遮闭扫气孔和排气孔为止，接着开始下一循环。

二冲程汽油机经济性较差，因为在其换气过程中有部分可燃混合气在扫气时随着废气流失，且排气不充分。

1.6.2 二冲程柴油机的工作过程

图 1-6 是带扫气泵的二冲程柴油机工作过程示意图。

这种发动机的气缸盖上装有排气门，气缸壁中部周围开有进气孔。