

汽车检修技能提高教程丛书

汽车发动机 构造与检修技术

Construction
& Maintenance

主编 王盛良 / 副主编 王治博

第3版

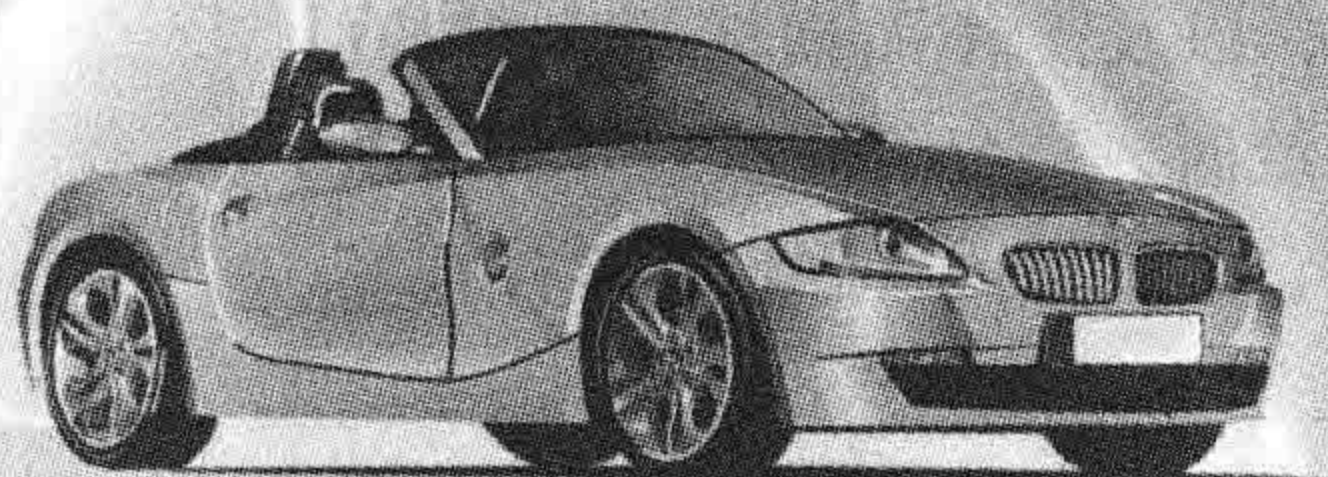


赠电子课件



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

汽车检修技能提高教程丛书



汽车发动机构造 与检修技术 第3版

主 编 王盛良

副主编 王治博

机械工业出版社

《汽车发动机构造与检修技术 第3版》介绍了汽车发动机的基本理论和发动机曲柄连杆机构、配气机构、润滑系统、冷却系统、燃料供给系统的主要总成及部件的功用、位置、结构、工作原理、工作流程、拆装方法与检修技术。另外,本书还介绍了转子发动机的工作原理及发动机的装配与磨合部分内容。第3版补充介绍了近年发展起来的汽车发动机新技术和相关系统、部件的检修。

本书以力的传递路线、液体的流动路线和气体的流动路线为线索,把各系统的工作原理和流程联系在一起;介绍机械部分时,着重介绍其动力传递路线和工作面(受力面)的定位、检修,以及工作面损坏所引起的故障;介绍燃料供给系统、冷却系统、润滑系统时,结合了液压故障的特点。液压故障的本质是不能建立或维持管路压力,故障原因一般包括部件损坏、泄漏及液压回路中有空气等。

本书采用“积木法”编写,章节编排合理,内容系统连贯,图文并茂,实际操作内容多,具有较强的实用性。本书可作为中、高职类汽车专业教材,也可供汽车从业人员、汽车驾驶人员以及汽车运行管理人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

汽车发动机构造与检修技术 / 王盛良主编. —3版. —北京:机械工业出版社, 2016.11

(汽车检修技能提高教程丛书)

ISBN 978-7-111-55323-6

I. ①汽… II. ①王… III. ①汽车-发动机-构造②汽车-发动机-车辆修理 IV. ①U472.43

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 266851 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:连景岩 杜凡如 责任编辑:连景岩 孟 阳

责任校对:刘志文 封面设计:鞠 杨

责任印制:李 洋

北京振兴源印务有限公司印刷

2017 年 1 月第 3 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·18 印张·443 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-55323-6

定价:49.00 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

服务咨询热线:010-88361066

读者购书热线:010-68326294

010-88379203

封面无防伪标均为盗版

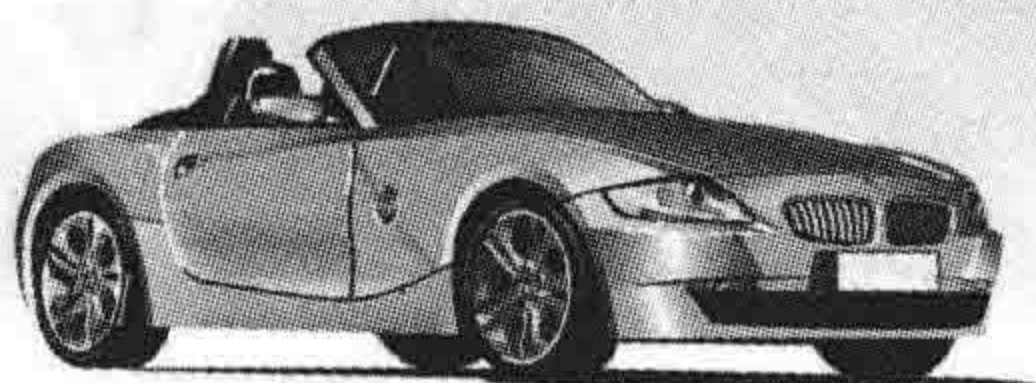
网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

金书网:www.golden-book.com



前言

我国的汽车工业发展为什么远不如高铁工业、工程机械快？在我国汽车产销量均出现井喷式增长的黄金时期，自主品牌汽车为什么没有处于主导地位？与美、日等汽车强国相比，为什么总是形似而神非？这些是值得我们所有汽车行业从业者深思的问题。作为近30年我国汽车工业发展的参与者，笔者一直在反思、总结。从20世纪80年代末至90年代中期的手工单台生产，到现在的工业化流水线批量生产；从拥有几千家汽车制造企业和上千个品牌，到现在只剩下几个自主品牌和数十个汽车制造企业；自主品牌的国内市场占有率从95%以上，到现在的不足10%。我们缺技术吗？缺资源吗？缺市场吗？面对汽车保有量以每年10%~20%的速度递增的庞大市场，作为汽车人，我们还应该思考怎样实现弯道超车。

笔者在编写汽车专业教材时采用了“积木法”，中国的汽车工业要脱颖而出也要走“积木法”路线，这样既能降低研发、生产成本，避免造成资源分散与浪费，又能提高产品品质和市场竞争力。而要走“积木法”路线，就必须以教育为手段，因为汽车上的每一个小“积木”都能成就一番大事业。作为汽车专业人士，作为想进入汽车行业的有志之士，在万众创新、全民创业的大好形势下，成就自我，成就中国汽车产业，已经迎来最好的契机。如何把汽车“积木”变成产业项目，把项目变成特色，把特色变成效果，把效果变成效益，这是我们要不断思考的问题。

在本书编写再版时，笔者留下大量空间，供汽车专业的教育者、学习者、读者来补充、完善，也期待与高、中等院校汽车专业老师、学生及汽车从业人士，就专业、就业、创业及汽车企业孵化器等问题开展专题讲座与探讨，解决学与用的问题；与汽车制造企业及汽车售后企业，就项目运营、节能减排、创新发展、特色服务及操作进行面对面的交流，解决提高品牌、企业竞争力的问题。

笔者一直在摸索、一直在努力、一直在开拓，尽管培养了一大批优秀汽车行业从业者，指导了一大批汽车售后企业，也拥有一些投入生产的新项目、新技术、新工艺、新方法，但终归力量有限，中国汽车产业的发展，仍然任重道远，需要大家共同努力。参加本书编写的还有谌刚华、王正红、冯建源。本书仍存在许多不足，期待同行与读者批评指正，以惠及更多汽车同仁！

王盛良

目 录



前言

第1章 汽车发动机总体构造及工作原理	1
1.1 发动机的总体构造及分类	1
1.2 发动机的常用术语	3
1.3 单缸四冲程发动机的工作原理	4
1.4 单缸二冲程发动机的工作原理	7
1.5 汽油机与柴油机工作的异同	9
练习与思考题	9

第2章 曲柄连杆机构	11
2.1 曲柄连杆机构的功用与组成	11
2.2 机体组	11
2.2.1 气缸体	11
2.2.2 气缸与气缸套	13
2.2.3 气缸盖	15
2.2.4 燃烧室	16
2.2.5 气缸垫	17
2.2.6 发动机的支承	18
2.2.7 机体组的拆装	19
2.2.8 机体组的检验与维修	22
2.3 活塞连杆组	30
2.3.1 活塞	30
2.3.2 活塞环	34
2.3.3 活塞销	37
2.3.4 连杆	38
2.3.5 活塞的选配与检修	40
2.3.6 连杆组的检修	41



2.3.7 活塞连杆组的拆装	43
2.3.8 活塞连杆组的检验与维修	43
2.4 曲轴飞轮组	44
2.4.1 曲轴	45
2.4.2 曲轴扭转减振器	48
2.4.3 曲轴轴承(轴瓦)	49
2.4.4 飞轮	49
2.4.5 曲轴的耗损及检验	50
2.4.6 飞轮的修理	53
2.5 曲柄连杆机构常见故障与维修	54
2.6 曲柄连杆机构可变压缩比技术	57
2.7 曲柄连杆机构案例分析	58
练习与思考题	74
第3章 配气机构	76
3.1 配气机构的组成	76
3.1.1 配气机构的结构	76
3.1.2 配气机构的形式与分类	77
3.1.3 配气机构力的传递路线与工作原理	82
3.2 气门传动组	83
3.2.1 凸轮轴	83
3.2.2 挺柱	86
3.2.3 推杆	87
3.2.4 摇臂与摇臂组	88
3.3 气门组	89
3.3.1 气门	89
3.3.2 气门弹簧	91
3.3.3 气门导管	91
3.3.4 气门座	92
3.4 配气相位与配气相位图	92
3.4.1 配气相位	92
3.4.2 配气相位图	93
3.5 配气机构的检修与调整	94
3.5.1 配气机构的拆装	94
3.5.2 气门间隙的检查与调整	97
3.5.3 气门组零件的检修	99
3.5.4 气门传动组零件的检修	104
3.6 配气机构常见故障与排除	108
3.7 配气机构案例分析	111



练习与思考题	112
第4章 汽油发动机燃料供给系统	114
4.1 汽油发动机燃料混合气的燃烧与发动机运行工况	114
4.1.1 汽油发动机燃烧过程分析	114
4.1.2 空燃比与过量空气系数	115
4.1.3 发动机运行工况及对混合气浓度的要求	117
4.2 汽油发动机燃料供给系统的功用及组成	118
4.2.1 汽油发动机燃料供给系统的功用	118
4.2.2 汽油发动机燃料供给系统的组成	118
4.2.3 汽油发动机燃料供给系统的燃油流动路线	120
4.3 汽油供给装置	121
4.3.1 汽油箱	121
4.3.2 汽油滤清器	123
4.3.3 汽油泵	124
4.3.4 燃油压力调节器	128
4.3.5 汽油分配管	129
4.3.6 喷油器	129
4.4 燃油供给装置常见故障的检修与排除	132
4.5 燃油供给装置故障案例	133
4.6 进排气装置	134
4.6.1 空气滤清器	134
4.6.2 进、排气歧管	136
4.6.3 进气预热装置	136
4.6.4 排气消声器	139
4.6.5 排气净化装置	140
4.7 汽油发动机燃料混合比的控制装置及工作流程	146
4.8 汽油发动机燃料供给系统常见故障及检修	146
4.9 燃油供给系统案例分析	147
练习与思考题	148
第5章 柴油机燃料供给系统	151
5.1 概述	151
5.1.1 柴油机燃料供给系统的组成	151
5.1.2 柴油机燃料供给系统的燃油流动路线	151
5.2 可燃混合气的形成与燃烧室	152
5.2.1 可燃混合气形成特点	152
5.2.2 可燃混合气的形成方式	153
5.2.3 柴油机燃烧室	153



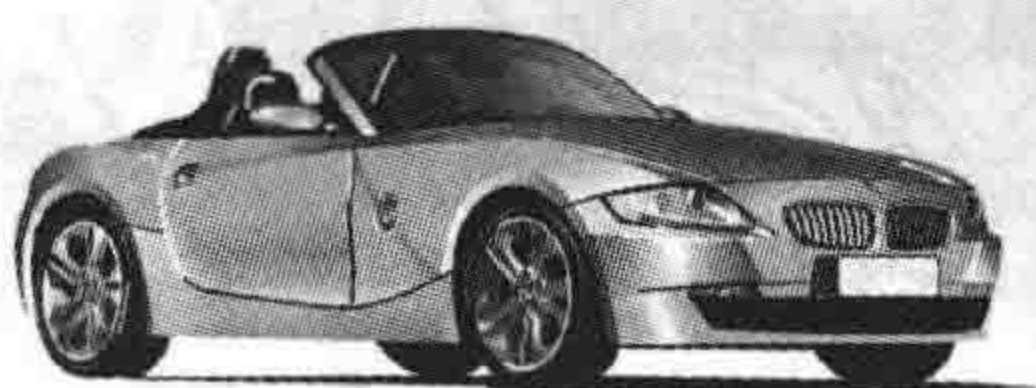
5.3 喷油器	156
5.3.1 喷油器的作用及分类	156
5.3.2 孔式喷油器	156
5.3.3 轴针式喷油器	157
5.3.4 低惯量孔式喷油器	158
5.4 喷油泵	159
5.4.1 喷油泵的功用与分类	159
5.4.2 柱塞式喷油泵的基本结构与工作原理	159
5.4.3 柱塞式喷油泵系列及典型结构	162
5.4.4 VE 型柴油泵的结构与工作原理	164
5.4.5 柴油机喷油正时的调整	168
5.5 调速器	169
5.5.1 柱塞式喷油泵的速度特性及调速器的功用与形式	169
5.5.2 简单机械离心式调速器的构造与工作原理	170
5.5.3 几种常用调速器	173
5.6 柴油机燃料供给系统的辅助装置	179
5.6.1 柴油滤清器	179
5.6.2 输油泵	179
5.6.3 柴油机的起动辅助装置	181
5.6.4 废气涡轮增压	182
5.6.5 柴油机排气净化	182
5.7 电控柴油喷射系统	183
5.7.1 电控柴油喷射的优点	184
5.7.2 电控柴油喷射系统的组成及类型	184
5.7.3 典型电控柴油喷射系统	185
5.8 柴油机燃料供给系统的维修	189
5.8.1 柴油机燃料供给系统的维护	189
5.8.2 柴油机喷油器的检修	190
5.8.3 柴油机喷油泵的检修	192
5.8.4 柴油机调速器的检修	197
5.9 柴油发动机燃油供给系统常见故障与排除	199
5.10 柴油发动机燃油供给系统故障案例分析	203
练习与思考题	205
第6章 润滑系统	209
6.1 概述	209
6.1.1 润滑系统的功用	209
6.1.2 润滑方式	209
6.1.3 润滑系统的组成	210



6.2	润滑系统主要部件的构造	213
6.2.1	机油泵	213
6.2.2	机油滤清器	215
6.2.3	机油散热器与机油冷却器	218
6.2.4	曲轴箱通风装置	219
6.3	润滑系统的维修	221
6.3.1	润滑系统的维护	221
6.3.2	机油泵的修理	222
6.3.3	机油滤清器的检修	223
6.3.4	机油压力开关的检测	224
6.3.5	发动机机油压力的检测	225
6.3.6	机油质量的检查	225
6.4	润滑系统常见故障诊断与排除	226
6.4.1	机油压力过低	226
6.4.2	机油压力过高	227
6.4.3	机油消耗过多	229
6.4.4	油底壳油面自行升高	229
6.4.5	机油易变质	230
6.5	润滑系统故障案例分析	232
	练习与思考题	233
第7章 冷却系统		235
7.1	概述	235
7.1.1	冷却系统的作用及类型	235
7.1.2	风冷系统	236
7.1.3	水冷系统	236
7.1.4	冷却液的特点与选用	237
7.2	冷却系统主要部件的构造	238
7.2.1	冷却系统的主要部件	238
7.2.2	冷却强度的调节装置	243
7.2.3	冷却液的流动路线	246
7.3	冷却系统的维修	246
7.3.1	冷却系统的使用与维护保养	246
7.3.2	散热器的检查与修理	247
7.3.3	水泵的检查与修理	248
7.3.4	节温器的检查与更换	249
7.3.5	风扇的检修	250
7.4	冷却系统的常见故障诊断与排除	251
7.4.1	冷却液温度过高	251



7.4.2 冷却液温度过低	252
7.4.3 冷却液消耗过多	252
7.5 冷却系统故障案例分析	252
练习与思考题	253
第8章 发动机的装配与磨合	255
8.1 发动机的装配与调试	255
8.1.1 发动机装配注意事项	255
8.1.2 发动机的装配顺序与调整	256
8.2 发动机的磨合	260
8.2.1 磨合试验的目的	260
8.2.2 磨合试验及磨合规程	261
8.3 发动机总成修理竣工技术条件	263
8.3.1 一般技术要求	263
8.3.2 主要使用性能	263
8.3.3 发动机试验	264
练习与思考题	265
第9章 转子发动机	266
9.1 转子发动机概述	266
9.2 转子发动机的基本结构及主要零部件	267
9.2.1 转子发动机机体结构	267
9.2.2 转子发动机供油系统	269
9.2.3 转子发动机进气系统	270
9.2.4 转子发动机排气、排放控制系统	270
9.2.5 转子发动机润滑系统	270
9.2.6 转子发动机冷却系统	270
9.2.7 转子发动机点火系统	271
9.2.8 转子发动机控制系统	271
9.3 转子发动机的工作流程	272
9.4 转子发动机的日常保养	273
练习与思考题	274
参考文献	275



第1章

汽车发动机总体构造及工作原理

基本思路:

要学习与研究发动机结构和工作原理,就必须掌握发动机的种类和总体结构。发动机是汽车的动力源,要全面了解和掌握发动机的总体构造和工作原理就必须以各种力的传递路线作为学习和研究的基础。

发动机是汽车的动力源,它最早诞生在英国,因此其概念也源于英语,本义为“产生动力的机械装置”。发动机的发展经历了外燃机和内燃机两个发展阶段:外燃机指燃料在发动机的外部燃烧,如瓦特发明的蒸汽机;内燃机指燃料在其内部燃烧,如人们常见的汽油机、柴油机等。

▶▶▶ 1.1 发动机的总体构造及分类

汽车发动机的种类多种多样,根据不同的分类依据,主要有以下类型:

- 1) 按使用能源不同分:汽油发动机、柴油发动机、燃气发动机、油电混合动力、纯电动等。
- 2) 按完成一个工作循环所需行程数分:四冲程发动机和二冲程发动机。
- 3) 按冷却方式分:水冷式发动机、风冷式发动机。
- 4) 按点火方式分:点燃式发动机、压燃式发动机。
- 5) 按气缸排列形式分:直列式发动机、V型发动机、水平对置式发动机。
- 6) 按气缸数分:单缸发动机、多缸发动机。

汽车发动机结构复杂,不同类型或同类型的发动机在结构上都会存在差别,但是不管何种类型的汽油机和柴油机,其总体结构都是相似的,如图1-1所示。由于燃料点火方式存在差异,汽油机一般包括两大机构和五大系统,即曲轴连杆机构、配气机构、燃料供给系统、



润滑系统、冷却系统、点火系统和起动系统。柴油机则为两大机构和四大系统，即曲柄连杆机构、配气机构、燃料供给系统、润滑系统、冷却系统和起动系统。

1. 曲柄连杆机构

曲柄连杆机构的作用是将燃料燃烧后作用于活塞顶上的力转变为曲轴的转矩并对外输出。曲柄连杆机构由机体组（主要有气缸体、气缸盖、气缸垫、油底壳、发动机支承等零部件）、活塞连杆组（主要有活塞、活塞环、活塞销、连杆、连杆轴瓦等零部件）和曲轴飞轮组（主要有曲轴、扭转减振器、飞轮等零部件）三部分组成。

2. 配气机构

配气机构的作用是按照发动机每一气缸工作循环和各气缸点火顺序的要求，定时开启及关闭各气缸的进排气门，使可燃混合气（汽油机）或空气（柴油机）及时进入气缸并将废气及时排出气缸。配气机构由气门组（主要有气门、气门座、气门弹簧、气门锁片等零部件）和气门传动组（主要有凸轮轴、挺柱、推杆、摇臂及摇臂轴等零部件）构成。

3. 燃料供给系统

燃料供给系统的作用是不断地输送清洁的燃油和新鲜空气，根据发动机的要求，配制出一定数量和浓度的混合气，送入气缸，并将燃烧后的废气从气缸内排到大气中去。汽油机燃料供给系统有化油器式和喷射式两种类型。化油器式发动机燃料供给系统主要部件有空气滤清器、进气管道、化油器、进气歧管、燃油箱、燃油泵、燃油滤清器、燃油压力调节器等；喷射式发动机主要部件有空气滤清器、进气管道、空气计量装置、进气歧管、节气门体、喷油器、燃油箱、燃油泵、燃油滤清器、燃油压力调节器等。柴油机燃料供给系统的常用部件主要是空气滤清器、进气管道、进气歧管、燃油箱、燃油滤清器、输油泵、喷油泵、喷油器等。

4. 润滑系统

润滑系统的功用是向进行相对运动的零件表面输送定量的清洁润滑油，以实现液体摩擦，减小摩擦阻力，减轻机件的磨损，并起到对零件表面进行清洗、冷却、防锈和密封的作用。润滑系统通常由机油泵、机油滤清器、机油散热器和油底壳等组成。

5. 冷却系统

冷却系统的功用是将受热零件吸收的部分热量及时散发出去，保证发动机在最适宜的温

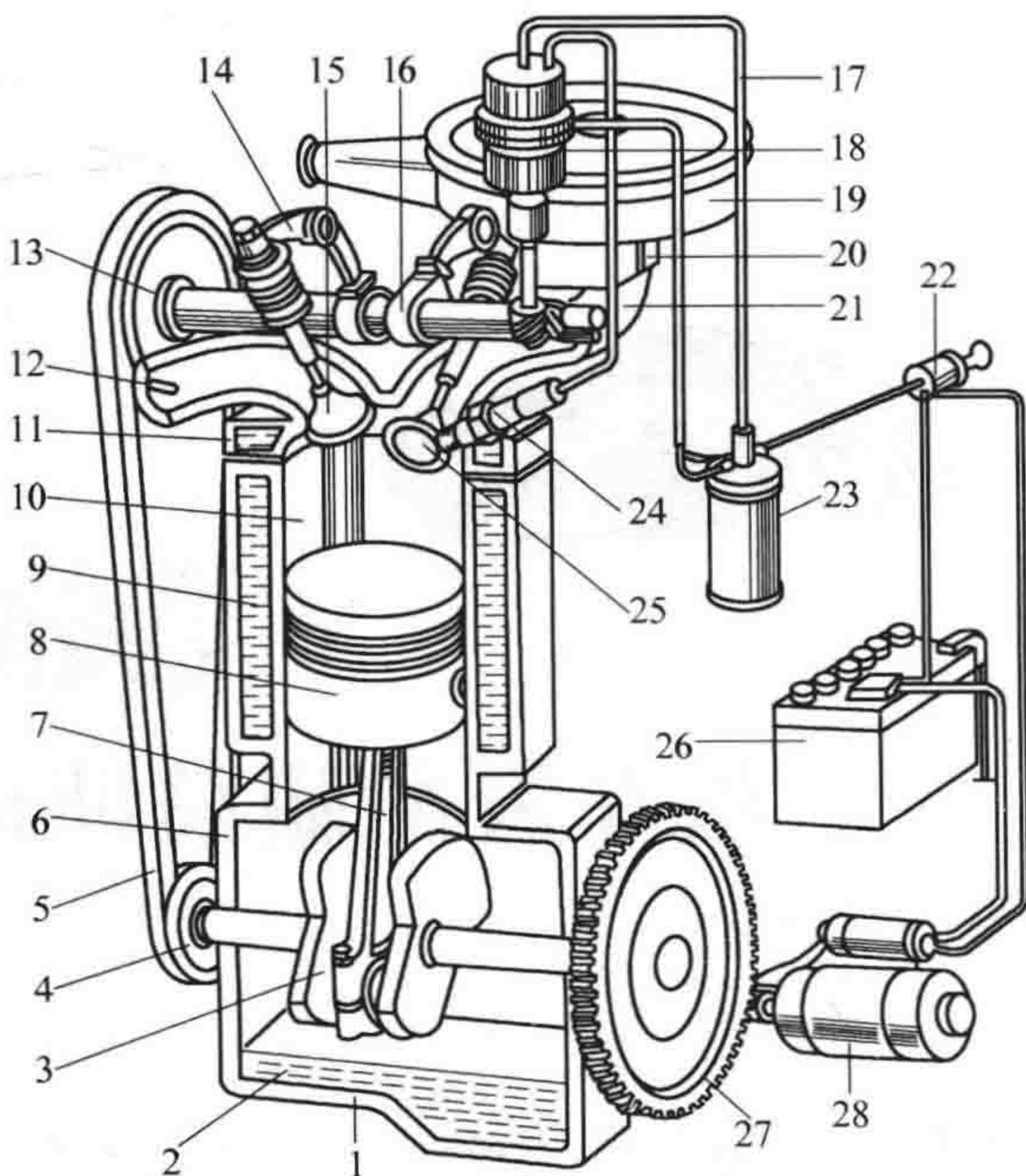


图 1-1 单缸发动机的基本结构

- 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—起动机



度状态下工作。发动机上采用的冷却方式主要有水冷式和风冷式两种。水冷式发动机的冷却系统主要部件有冷却液套、水泵、风扇、散热器、节温器等。风冷式发动机主要结构有风扇和散热片。

6. 起动系统

从曲轴在外力作用下开始转动到发动机开始自动地怠速运转的全过程，称为发动机的起动。要使发动机由静止状态过渡到工作状态，必须先用外力转动发动机的曲轴，使活塞往复运动，气缸内的可燃混合气燃烧膨胀做功，推动活塞向下运动使曲轴旋转，发动机才能自行运转，工作循环才能自动进行。完成起动过程所需要的装置，称为发动机的起动系统。起动系统由起动机、起动继电器及附属装置组成。

7. 点火系统

在汽油机中，气缸内的可燃混合气是通过电火花点燃的，因此在汽油机的气缸盖上装有火花塞。能够定时在火花塞电极间产生电火花以点燃气缸内混合气的全部设备称为点火系统，常规点火系统通常由蓄电池、点火线圈、分电器和火花塞等组成。

1.2 发动机的常用术语

汽车发动机是一台结构复杂的能量转换机器，如图 1-2 所示，为便于研究其工作过程，通常把其主要的运动关系通过一些基本术语来描述，归纳如下：

- 1) 上止点：活塞离曲轴回转中心最远处，即活塞最高位置。
- 2) 下止点：活塞离曲轴回转中心最近处，即活塞最低位置。
- 3) 活塞行程 S ：上、下两止点之间的距离 (mm)。
- 4) 曲柄半径 R ：曲柄销中心到曲轴回转中心的距离。
- 5) 气缸工作容积 V_h ：活塞从上止点到下止点所让出的空间容积 (L)。
- 6) 燃烧室容积 V_c ：活塞在上止点时，活塞上方的空间容积。
- 7) 气缸总容积 V_a ：活塞在下止点时，活塞上方的容积，即燃烧室容积与气缸工作容积之和：

$$V_a = V_c + V_h$$

- 8) 发动机排量 V_L ：发动机所有气缸工作容积之和，即

$$V_L = iV_h$$

i 为气缸数目，如六缸发动机 $i=6$ ；四缸发动机 $i=4$ ，依此类推。

- 9) 压缩比：气缸总容积与燃烧室容积之比称为压缩比，一般用 ε 表示，即

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

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

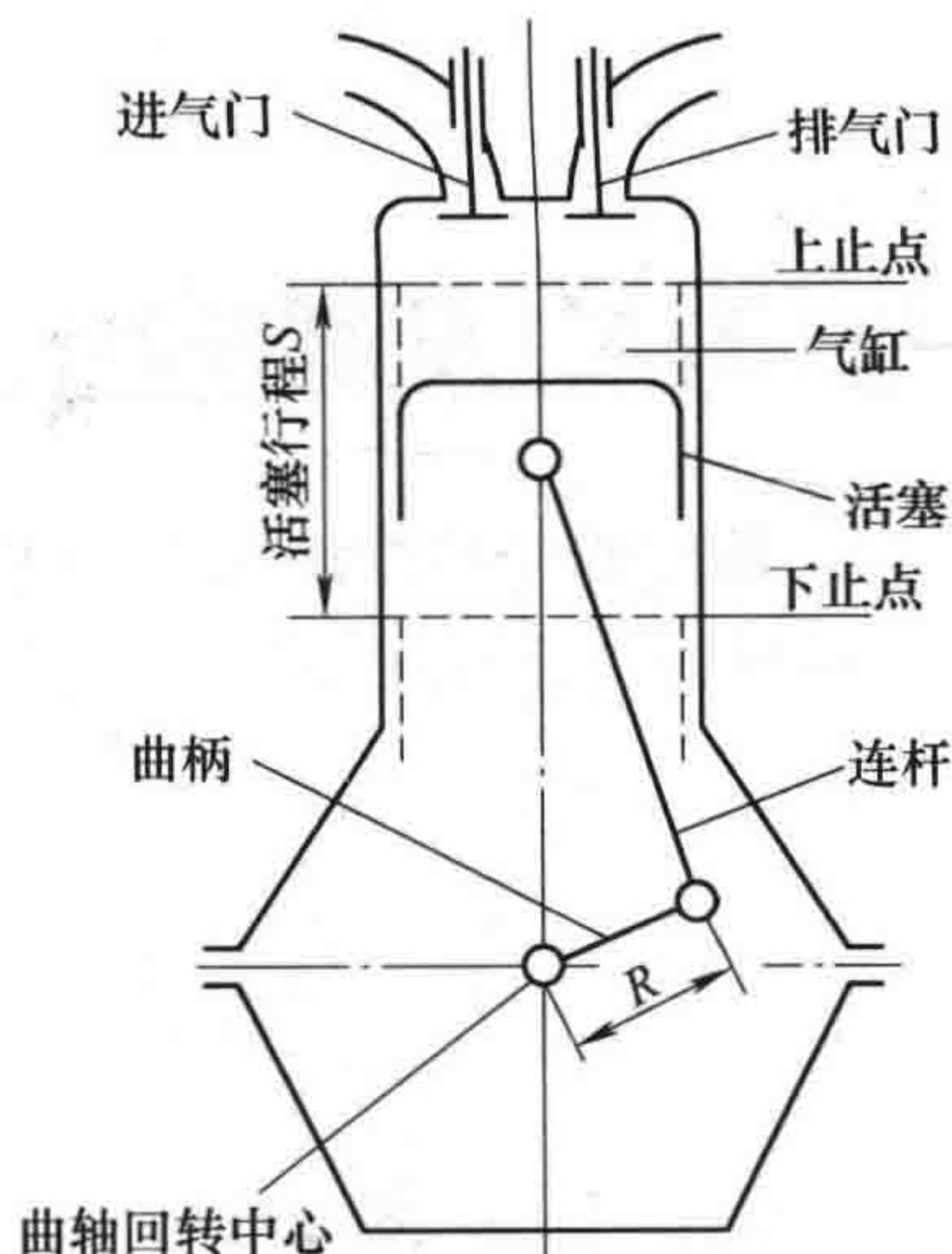


图 1-2 发动机基本术语和参数



越大，压缩终了时气缸内的气体压力和温度就越高，燃烧效率就越高。一般来说，柴油机的压缩比要大于汽油机的压缩比。汽油机压缩比一般为 7 ~ 13，柴油机的压缩比一般为 16 ~ 22。表 1-1 所示为几种国产轿车汽油机的压缩比 ϵ 。

表 1-1 国产轿车汽油机的压缩比 ϵ

车名	长安奥拓	夏利	富康	桑塔纳	捷达	标致	奥迪
压缩比 ϵ	8.7	9.5	9.3	8.5	10	8.0	9.3

10) 发动机的工作循环：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连续过程（一般包含进气、压缩、做功、排气四个行程）。

11) 工况：内燃机在某一时刻的运行状况简称工况，以该时刻内燃机输出的有效功率和曲轴转速表示。曲轴转速即内燃机转速。

12) 负荷率：内燃机在某一转速下发出的有效功率与相同转速下所能发出的最大有效功率的比值称为负荷率，以百分数表示。负荷率通常简称负荷。

汽车上使用的发动机基本上是往复式活塞式内燃机。往复式活塞式内燃机主要有四冲程和二冲程两种形式。现代汽车大部分采用四冲程发动机，它包括进气、压缩、做功、排气四个行程，每一个工作循环发动机活塞在气缸中往复运动四次，对外做功一次，曲轴转动两圈，也就是 720°。二冲程发动机在汽车上较少采用，也包括进气、压缩、做功、排气四个行程，每一个工作循环发动机活塞在气缸中往复运动两次，对外做功一次，曲轴转动一圈，也就是 360°。

▶▶▶ 1.3 单缸四冲程发动机的工作原理

1. 单缸四冲程汽油机工作原理

四冲程汽油机在轿车上使用最多，其工作循环如图 1-3 所示。

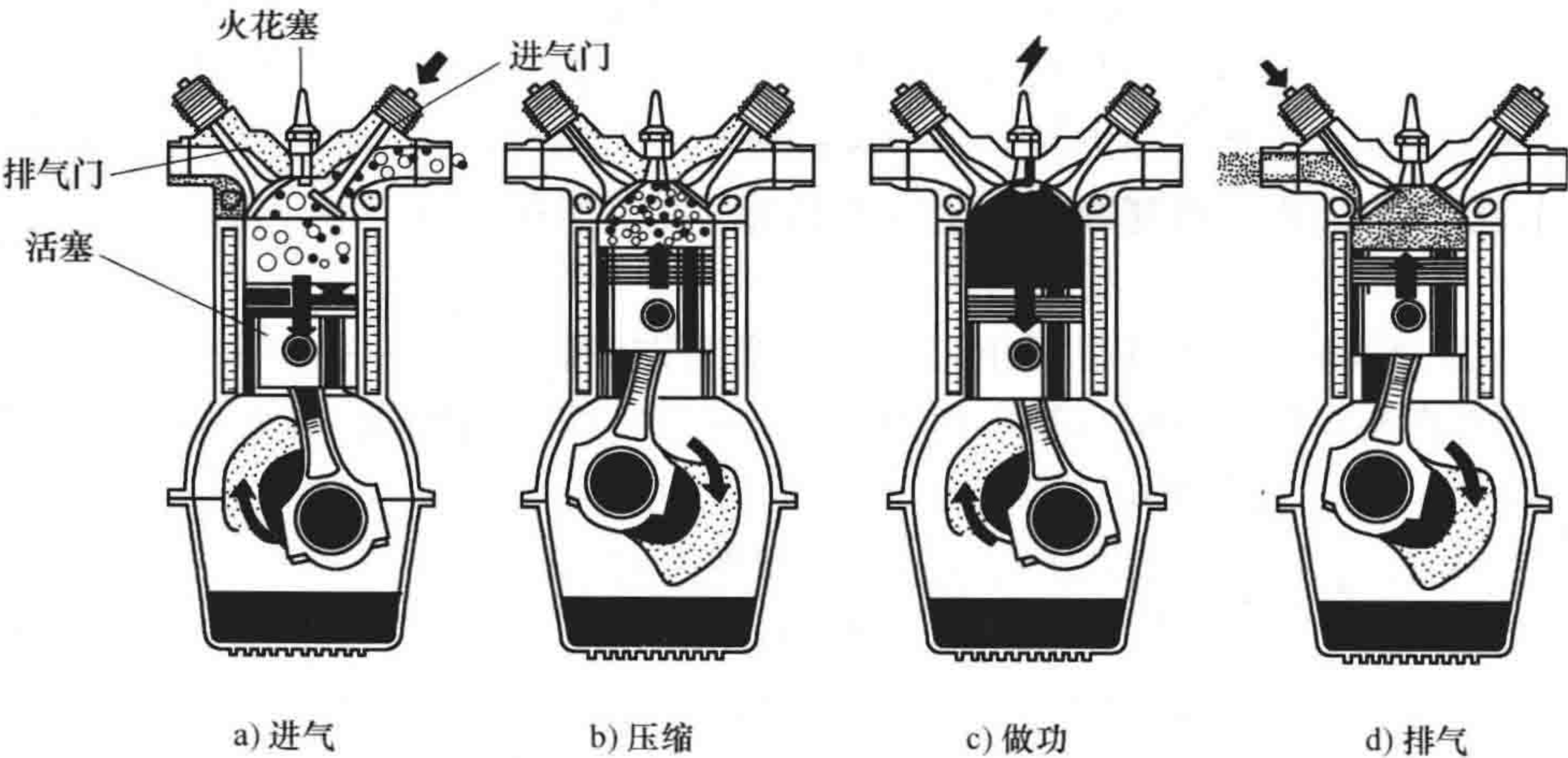


图 1-3 单缸四冲程汽油机工作循环图

为了研究汽车工作循环中，气体压力 p 和相应的活塞所在不同位置的气缸工作容积 V 之



间的变化关系，常用发动机循环示功图来表示。如图1-4所示，示功图中，曲线所围成的面积表示发动机整个工作循环中气体在单个气缸内所做的功。

(1) 进气行程 如图1-3a所示，进气行程曲轴带动活塞从上止点向下止点运动，进气门开启，排气门关闭，气缸内活塞上方容积增大，进气行程压力小于外界大气压，形成一定真空度，可燃混合气经进气歧管、进气门吸入气缸。由于进气时间短且进气系统存在压力，进气终了气缸压力略低于大气压力，为0.074~0.093MPa。气体与气缸壁之间存在摩擦，同时高温机件和残余废气加热下，其温度上升到80~130℃。

在图1-4a中，进气行程用曲线 ra 表示。曲线 ra 位于大气压力线之下，它与大气压力线纵坐标之差表示气缸内的真空度。

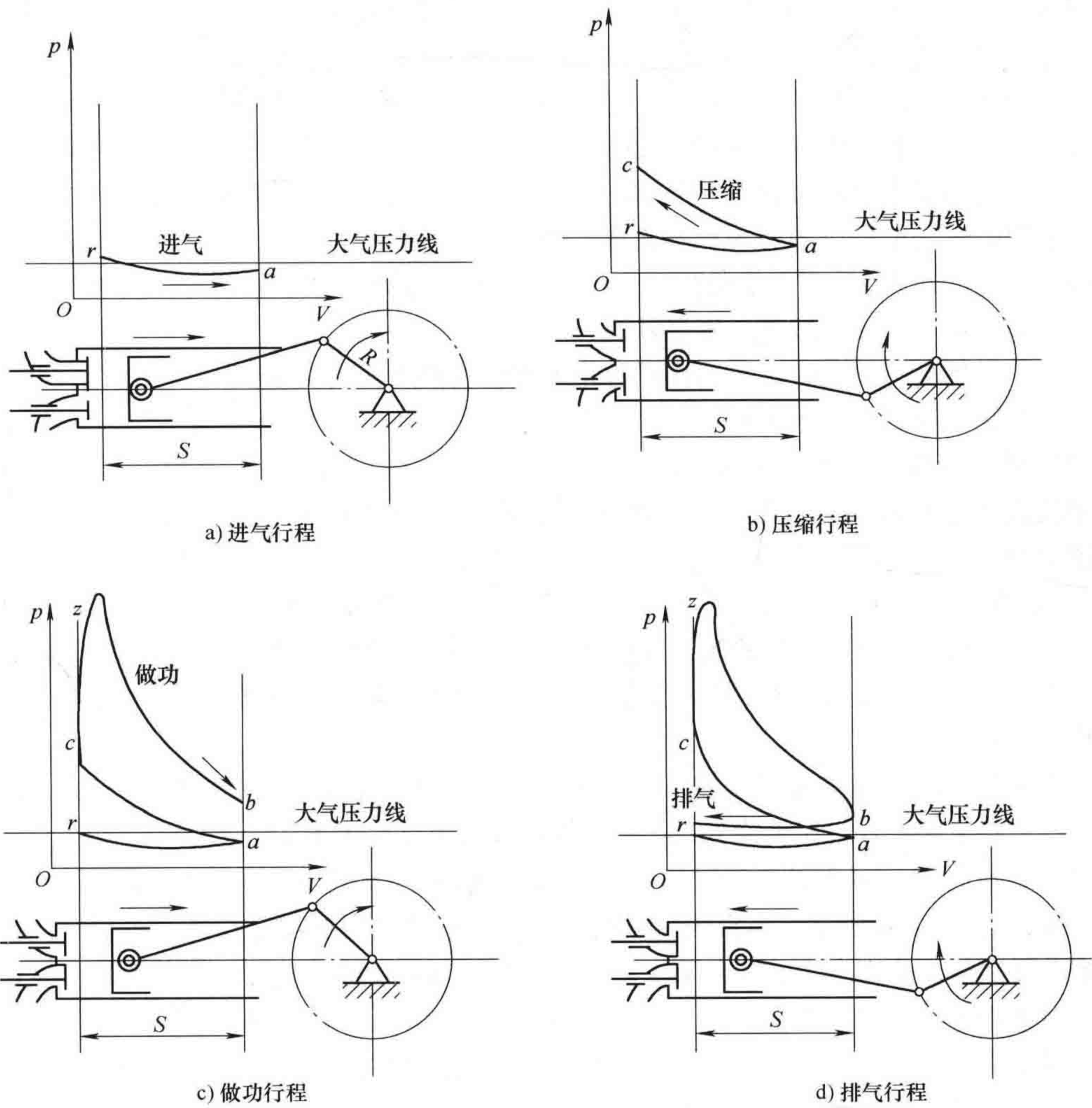


图1-4 四冲程发动机示功图

(2) 压缩行程 为了使可燃混合气能迅速、完全、集中地燃烧，使发动机能输出更大的功率，燃烧前必须将可燃混合气压缩。如图1-3b所示，在进气行程终了时，活塞自下止点向上止点移动，曲轴由180°转到360°，此时，进、排气门均关闭。随着气缸的容积不断



缩小,可燃混合气受到压缩,其温度和压力不断升高。压缩行程一直继续到活塞到达上止点时为止。此时,可燃混合气被压缩到活塞上方的很小空间,即燃烧室中。压缩终了时,可燃混合气的温度为 $327\sim 427^{\circ}\text{C}$,可燃混合气压力为 $0.6\sim 1.5\text{MPa}$ 。如图1-4b所示,压缩行程用曲线 ac 表示。

压缩终了时,可燃混合气的压力和温度取决于压缩比,压缩比愈大,燃烧速度愈快,因此发动机输出的功率也愈大,动力性和经济性也愈好。但压缩比过大时,不仅不能进一步改善燃烧状况,还会出现爆燃和表面点火等不正常燃烧现象。爆燃是因气体压力和温度过高,在燃烧室内离点燃中心较远及具有高温处(如排气门头部、火花塞电极和积炭处),可燃混合气自燃造成的一种不正常燃烧。爆燃时,火焰以极高的速率向外传播,在气体来不及膨胀的情况下,由于温度和压力急剧升高,形成压力波,以较高速度向前推进。这种压力波撞击燃烧室壁时便发出尖锐的敲击声,俗称敲缸。爆燃还会引起发动机过热、功率下降、工作不稳定、转速下降、发动机有较大振动、燃油消耗量增加等一系列不良后果。严重时甚至造成气门烧毁、轴承破裂、火花塞绝缘体击穿等机件损坏。表面点火(或炽热点火)是因燃烧室内炽热表面与炽热处(如排气门头部、火花塞绝缘体或零件表面炽热的沉积物等)在火花塞点燃混合气之前产生的另一种不正常燃烧(也称为早燃)。表面点火发生时,也伴有强烈的敲击声(较沉闷),所产生的高压会使发动机机件负荷增加、活塞和连杆损坏,以及气门、火花塞、活塞等零件过热,寿命降低。

因此,在提高压缩比时,必须注意防止爆燃和表面点火的发生。此外,压缩比提高还受到排气污染法规限制。许多国家生产的汽油机,其压缩比出现了下降的趋势。

(3) 做功行程 如图1-3c所示,在这个行程中,进、排气门仍关闭。当活塞在压缩行程中接近上止点时,装在气缸盖上的火花塞在高压电作用下产生电火花,点燃被压缩的可燃混合气。可燃混合气燃烧后,放出大量的热能,使燃气的压力和温度急剧升高,如图1-4c曲线 cz 所示。最高压力 p 为 $3\sim 5\text{MPa}$,相应的温度为 $1927\sim 2527^{\circ}\text{C}$,且体积迅速膨胀。此时,活塞被高压气体推动从上止点下行,带动曲轴从 360° 旋转到 540° ,并输出机械能,能量除了维持发动机本身继续运转消耗一部分外,其余部分都用于对外做功,因此该行程称为做功行程。

示功图上,曲线 zb 表示活塞向下移动时,气缸内容积增加,气体压力和温度都在降低。在做功行程终了的 b 点,压力降到 $0.3\sim 0.5\text{MPa}$,温度则降为 $1027\sim 1327^{\circ}\text{C}$ 。

(4) 排气行程 可燃混合气燃烧后生成的废气,必须从气缸中排出,以便进行下一个进气行程。如图1-3d所示,当膨胀过程接近终了时,进气门关闭,排气门开启,曲轴通过连杆推动活塞从下止点向上止点运动,曲轴由 540° 旋转到 720° 。废气在自身残余压力和活塞的推力作用下从气缸中排出,进入大气之中。活塞到上止点附近时,排气行程结束。

如图1-4d所示,这一行程用曲线 br 表示。排气系统存在排气阻力,因此排气终了时的气缸内压力稍高于大气压力,为 $0.102\sim 0.120\text{MPa}$,废气温度为 $627\sim 927^{\circ}\text{C}$ 。

燃烧室占有一定容积,故排气终了时,不可能将废气排尽,留下的这一部分废气称为残余废气。残余废气量占总气量的比例一般用残余废气系数表示,残余废气系数是表征排气是否彻底的一个非常重要的参数。

2. 单缸四冲程柴油机工作原理

四冲程柴油机的工作原理与四冲程汽油机一样,每个工作循环也要经历进气、压缩、做



功、排气四个行程，如图1-5所示。柴油机用的燃料是柴油，其所含化学成分稳定性差、自燃性好，又因柴油黏度大且随温度的下降而增加，使柴油机可燃混合气的形成与点火方式都与汽油机不同。柴油机在进气行程中吸入的是纯空气。在压缩行程接近终了时，柴油经喷油泵将油压提高到10MPa以上，通过喷油器喷入气缸，与压缩后的高温空气混合，形成可燃混合气（而汽油机的混合气一般是在气缸外面的进气管道内形成的）。柴油机压缩比高，压缩终了的压力可达3~5MPa，温度可达530~730℃，大大超过柴油自燃温度，故立即自行着火燃烧，使气缸内压力、温度急剧升高，瞬时压力为5~10MPa，瞬时温度为1530~1930℃。在高压气体推动下，活塞向下运动并带动曲轴旋转。

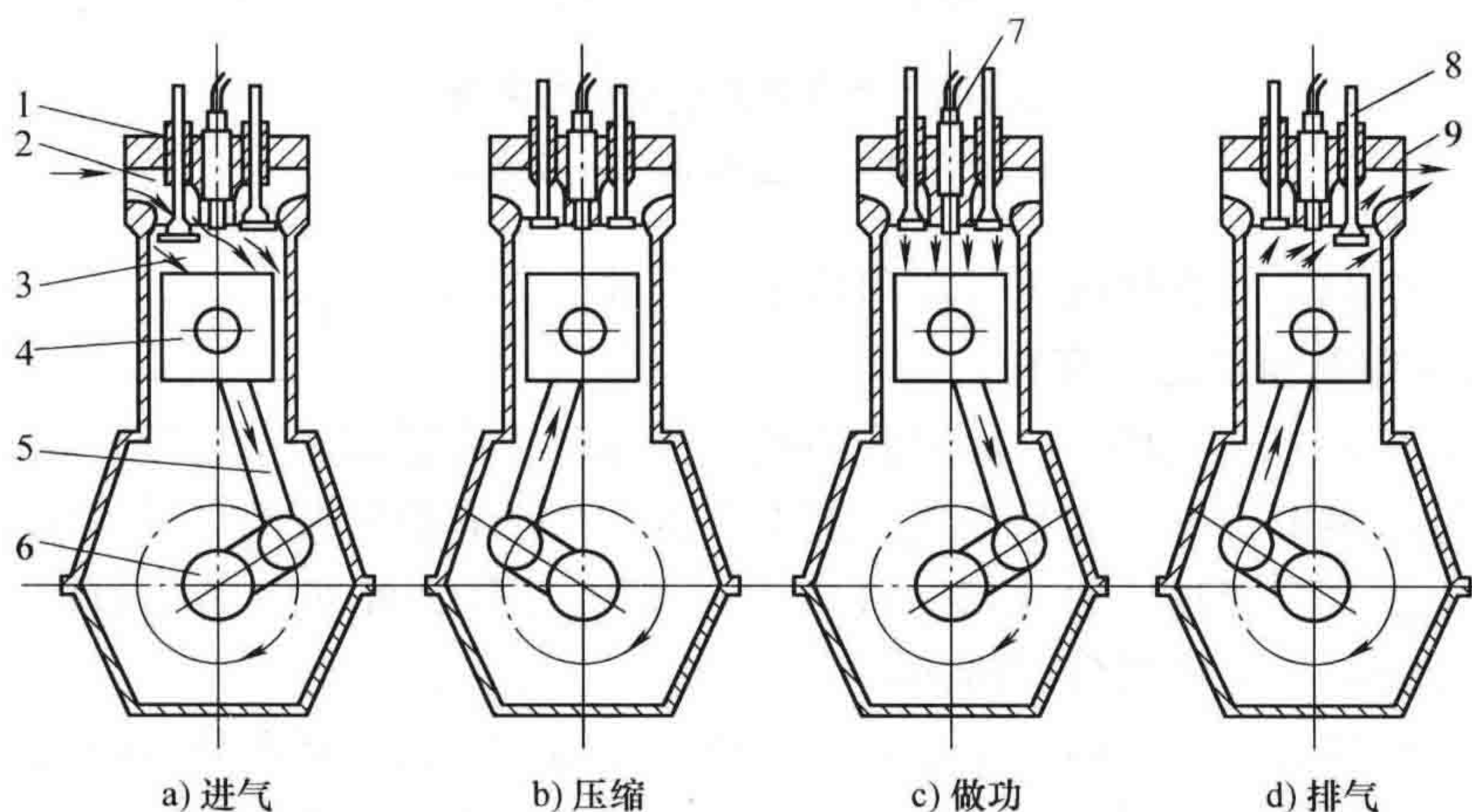


图1-5 四冲程柴油机工作循环

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

▶▶▶ 1.4 单缸二冲程发动机的工作原理

1. 单缸二冲程汽油机工作原理

二冲程发动机的工作循环也包括进气、压缩、做功和排气等四个过程，只不过这些过程的完成仅需要活塞运行两个行程，即曲轴旋转360°。二冲程汽油机的工作循环中，进、排气均由活塞来控制，没有气门机构，如图1-6所示。

第一行程：在曲轴的带动下，活塞由下止点向上止点运动，当活塞将换气孔、排气孔和进气孔都关闭时（图1-6a），活塞开始压缩进入气缸的混合气，同时在活塞的下方形成一定的真空度。因此当进气孔开启时（图1-6b），燃油供给系统供应的混合气被吸入箱内，直至活塞到达上止点，完成压缩和进气行程。

第二行程：当活塞接近上止点时（图1-6c），火花塞产生电火花，点燃混合气后形成的高温、高压气体，推动活塞向下止点运动做功。当活塞下行到关闭进气孔后，下方曲轴箱内的可燃混合气被预压。当活塞下行到排气孔开启时（图1-6d），废气在压力作用下经排气孔排出，紧接着换气孔开启，曲轴箱内预压的混合气经换气孔进入气缸，气缸内废气被排出，这一过程为做功和排气行程。二冲程汽油机的活塞顶一般做成特殊形状，使混合气沿一定方向流向气缸上腔，这样既可以利用混合气排出废气，又可以避免新鲜混合气中过多地混入废