

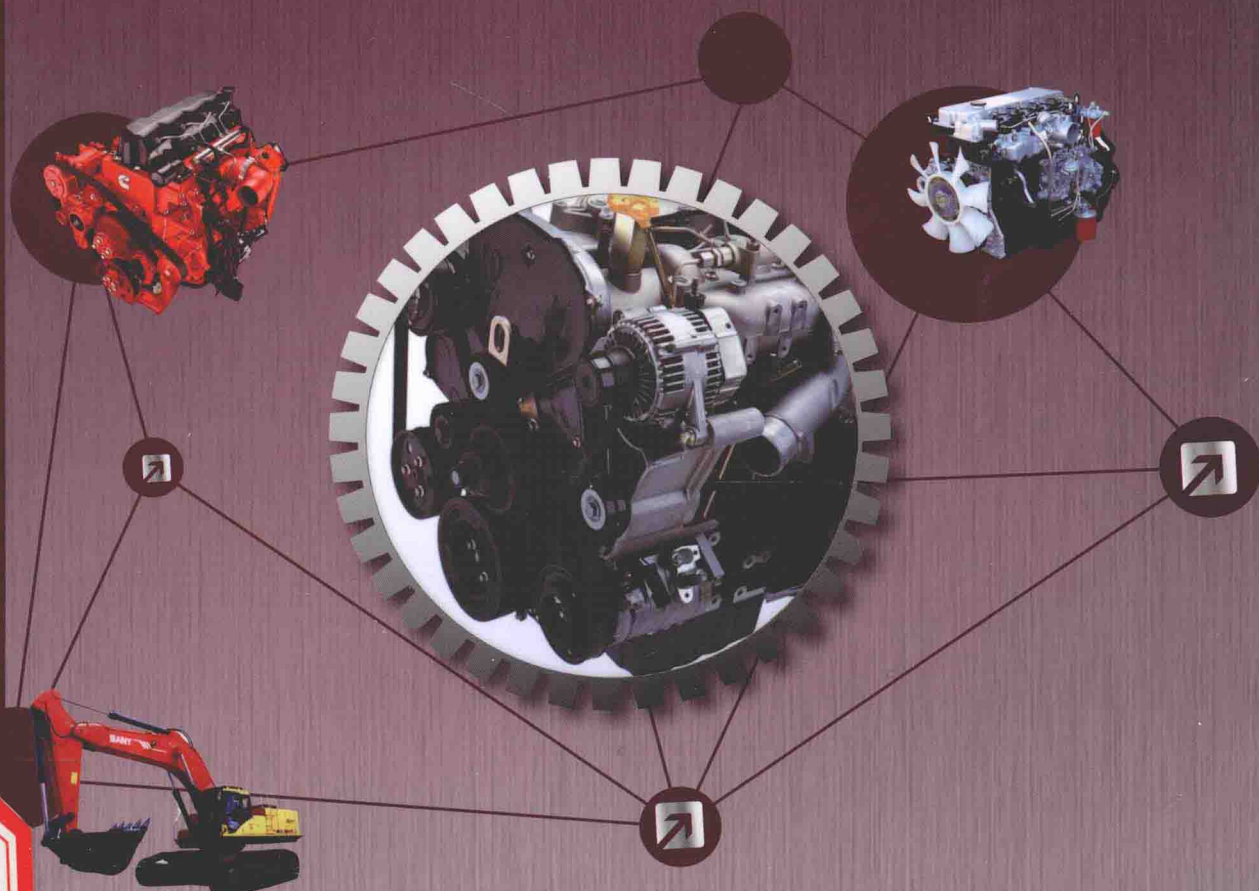


G

ONGCHENG JIXIE FADONGJI

工程机械发动机

王胜春 罗映 靳同红 编著



化学工业出版社

工程机械发动机

王胜春 罗 映 靳同红 编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书主要介绍了工程机械发动机的基本原理、构造、使用维护以及电控柴油机相关技术,重点介绍了工程机械内燃机构造,包括曲轴连杆机构、配气机构、燃油供给系统、润滑系统、冷却系统、启动系统、柴油机的增压、电子控制喷射系统等的结构和工作原理以及发动机的维护的基本知识。

本书适用于工程机械的操作、维修、使用单位的技术人员和管理人员,也可作为高等院校工程机械及相关专业的教材。

图书在版编目(CIP)数据

工程机械发动机/王胜春,罗映,靳同红编著. —北京:化学工业出版社,2012.9
ISBN 978-7-122-15038-7

I. ①工… II. ①王…②罗…③靳… III. ①工程机械-发动机 IV. ①TU603

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第180161号

责任编辑:张兴辉
责任校对:宋 夏

文字编辑:项 澈
装帧设计:王晓宇

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印 装:三河市延风印装厂
787mm×1092mm 1/16 印张18¼ 字数452千字 2013年2月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:68.00元

版权所有 违者必究

前言

Foreword



近年来,由于国家建设需要,工程机械装备为国家高速铁路、公路建设、大型桥梁、石化冶金、水电、风电、核电设备的安装、大型集装箱吊运以及城镇化和房地产等行业做出了重大贡献。这些都充分说明了工程机械在国民经济建设、国防建设、灾害抢险及治理等方面的作用越来越重要,工程机械已经成为我国国民经济重要支柱产业之一。工程机械配套用的发动机是工程机械的心脏,也是工程机械的主要总成和动力源。

工程机械发动机的结构比较复杂,了解它的结构原理和维护常识,对于广大工程机械使用人员、维护人员来说有着十分重要的意义。全书共分十章,系统、全面地介绍了工程机械内燃机的基础知识、曲轴连杆机构、配气机构、燃料供给系统、润滑系统、冷却系统、启动系统、柴油机的增压、电控喷射系统等的结构和工作原理以及发动机的维护知识。

本书既可供工程机械的操作、维修、使用单位的技术人员和管理人员的参考资料,也可作为大中专院校工程机械及相关专业的师生参考教材。本书在编写上力求理论联系实际,图文结合,结构完整,通俗易懂,实用性强,便于自学。

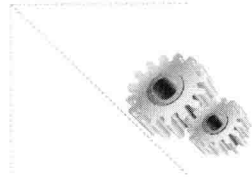
本书由王胜春、罗映、靳同红编著。其中第1、2、4、5章由王胜春编写,第6、7、8、9、10章由罗映编写,第3章由靳同红编写,全书由王胜春统稿和定稿。在此特别感谢宋世军教授在百忙之中对本书进行了细致的审校,提出了许多宝贵的意见和建议。为本书的完成做出大量工作的还有王晓伟、张青、史宝军、王积永、沈孝芹、周海涛、张岩、朱冬梅等。

由于编者水平有限,经验不足,书中难免有不妥之处,希望广大读者批评指正。

编者

目 录

Contents



第 1 章 发动机基础知识	1
1.1 发动机的分类	1
1.2 发动机的型号编制规则	3
1.3 发动机基本术语	5
1.4 发动机的工作原理	6
1.4.1 单缸四冲程汽油机的工作原理	6
1.4.2 单缸四冲程柴油机的工作原理	8
1.4.3 多缸四冲程发动机基本工作原理	10
1.5 发动机的主要性能指标	10
1.6 发动机的特性	12
1.7 工程机械发动机的选型	14
1.7.1 发动机基本形式的选择	14
1.7.2 发动机主要性能指标的选择	15
1.7.3 工程机械柴油机的特点及要求	15
1.8 典型工程机械柴油机	16
1.9 柴油机的总体构造	17
第 2 章 曲柄连杆机构	20
2.1 曲柄连杆机构的功用与组成	20
2.2 机体组	21
2.2.1 汽缸体	21
2.2.2 汽缸套	24
2.2.3 汽缸盖	25
2.2.4 汽缸垫	26
2.2.5 油底壳	27
2.3 活塞连杆组	27
2.3.1 活塞	28
2.3.2 活塞环	32
2.3.3 活塞销	37
2.3.4 连杆	38
2.4 曲轴飞轮组	42
2.4.1 曲轴	43
2.4.2 飞轮	49
2.4.3 扭转减振器	50

2.5 康明斯柴油机曲柄连杆机构	51
2.5.1 康明斯柴油机机体组	51
2.5.2 康明斯柴油机活塞连杆组	54
2.5.3 康明斯柴油机曲轴	55
第3章 配气机构	57
3.1 配气机构的功用与形式	57
3.1.1 气门布置形式	58
3.1.2 凸轮轴布置方式	58
3.1.3 凸轮轴传动方式	58
3.1.4 气门数目及排列方式	59
3.2 配气机构的组成	60
3.2.1 气门组	60
3.2.2 气门传动组	65
3.3 配气相位和气门间隙	70
3.3.1 配气相位	70
3.3.2 气门间隙	71
3.4 康明斯柴油机配气机构	71
3.4.1 概述	71
3.4.2 凸轮轴	72
3.4.3 配气相位	73
3.4.4 推杆、挺杆及摇臂机构	73
3.4.5 气门机构	74
3.5 进气和排气系统	74
3.5.1 进、排气管	74
3.5.2 空气滤清器	74
3.5.3 排气消声器	76
第4章 柴油机燃油供给系统	78
4.1 概述	78
4.2 柴油机的燃烧过程	80
4.3 燃烧室	82
4.4 输油泵	85
4.5 柱塞式喷油泵	86
4.5.1 柱塞式喷油泵的组成及原理	87
4.5.2 柱塞式喷油泵典型结构	93
4.6 调速器	100
4.6.1 调速器的功用和类型	100
4.6.2 机械离心式调速器工作原理	101
4.6.3 全速调速器的典型结构和工作过程	103
4.7 喷油泵供油提前角调节机构	109
4.7.1 联轴器及静态供油提前角的调整	110
4.7.2 供油提前角自动调节器	111

4.8	喷油器	112
4.9	柴油滤清器	115
4.10	分配式喷油泵	116
4.10.1	转子分配式供油系统概述	116
4.10.2	转子分配式喷油泵的工作原理	117
4.10.3	转子分配式喷油泵的构造	118
4.11	PT 燃油供给系统	121
4.11.1	PT 燃油系统特点	121
4.11.2	PT 燃油系统的组成与功用	122
4.12	康明斯柴油机燃油供给系统	130
4.12.1	概述	130
4.12.2	VE 泵的工作过程	132
4.12.3	供油角自动调节装置	133
4.12.4	调速器	133
第 5 章	润滑系统	137
5.1	概述	137
5.2	润滑系统的作用与组成	138
5.2.1	润滑方式	138
5.2.2	润滑系统的组成与类型	139
5.2.3	典型润滑油路	140
5.3	润滑系统主要机件	143
5.3.1	润滑油泵	143
5.3.2	润滑油滤清器	145
5.3.3	润滑油冷却器	148
5.4	曲轴箱通风	150
第 6 章	柴油机的冷却系统	152
6.1	概述	152
6.2	柴油机的冷却方式	152
6.3	水冷却系统	153
6.3.1	水冷系统的组成及工作原理	153
6.3.2	水冷系统主要部件的构造	155
6.3.3	冷却水和防冻液	162
6.4	风冷却系统	164
第 7 章	柴油机的增压	166
7.1	概述	166
7.2	增压器的分类	166
7.2.1	机械增压	166
7.2.2	废气涡轮增压	167
7.2.3	复合式增压	168
7.2.4	组合式增压	168

7.2.5 气波增压	169
7.3 废气涡轮增压的结构及工作原理	169
7.4 增压系统的控制	170
第8章 发动机启动系统	175
8.1 概述	175
8.2 发动机的启动方式	175
8.2.1 人力启动	176
8.2.2 电力启动	176
8.2.3 压缩空气启动	182
8.2.4 辅助汽油机启动	182
8.3 启动辅助装置	182
8.3.1 预热装置	182
8.3.2 减压装置	184
8.3.3 启动液喷射装置	184
第9章 柴油机电子控制喷射技术	186
9.1 概述	186
9.1.1 柴油机电子控制技术的发展	186
9.1.2 柴油机电子控制技术的特点及包含的系统	188
9.1.3 柴油机电子控制技术的组成	191
9.2 柴油机电控系统传感器	194
9.2.1 加速踏板位置传感器	194
9.2.2 凸轮轴/曲轴位置传感器	195
9.2.3 供(喷)油量传感器	199
9.2.4 供(喷)油正时传感器	201
9.2.5 压力传感器	204
9.2.6 温度传感器	206
9.2.7 空气流量传感器	207
9.2.8 氧传感器	211
9.3 柴油机电控燃油喷射系统	213
9.3.1 直列柱塞泵电控系统	213
9.3.2 轴向柱塞式分配泵电控系统	219
9.3.3 径向柱塞式分配泵电控系统	224
9.3.4 泵喷嘴电控系统	226
9.3.5 单体泵电控燃油喷射系统	230
9.3.6 共轨式电控燃油喷射系统	232
9.3.7 柴油机电控燃油喷射系统主要附件	238
9.4 柴油机辅助控制系统	245
9.4.1 怠速控制系统	245
9.4.2 进气控制系统	246
9.4.3 排放控制系统	254
9.4.4 故障自诊断系统	269

9.4.5 失效保护系统	271
--------------------	-----

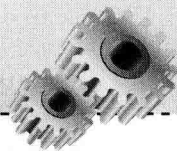
第 10 章 工程机械发动机的维护	273
--------------------------------	------------

10.1 工程机械发动机的维护目的、原则与分级	273
10.1.1 发动机磨损规律和维护原则、要求	273
10.1.2 发动机维护作业的分级内容及作业过程	274
10.1.3 发动机机件的清洁作业	275
10.2 发动机的使用与维护	276
10.2.1 发动机的使用	276
10.2.2 发动机零部件的积炭及其清除方法	280
10.2.3 康明斯发动机维护要点	280
10.3 发动机维护中的调整与磨合作业	282
10.3.1 零部件的配合间隙检查和调整	282
10.3.2 发动机的磨合	283

参考文献	284
-------------------	------------

第1章

发动机基础知识



1.1 发动机的分类

发动机是一种把自然界蕴藏的丰富能量资源，如燃料（木柴、煤、原油等）、风力、水力等转换为机械能的一种装置。

根据使用能源的不同，它分为热力发动机（简称热机）、风力发动机、水力发动机、电动机等。根据热能转换为机械能所处的位置不同，热机又分为外燃机与内燃机两大类。当燃料在锅炉中燃烧，将锅炉中的水烧成蒸汽，再将蒸汽送到汽缸中驱动机械运转（如火车用的蒸汽机、发电机组用的蒸汽轮机），这种发动机称为外燃机。将燃料送入汽缸内燃烧，通过燃气膨胀驱动机械运转（如柴油机、汽油机等），这种发动机称为内燃机。内燃机与外燃机相比具有热效率高、结构紧凑、体积小、维修方便、启动性好等优点。

内燃机根据其将热能转变为机械能的主要构件的形式，可分为活塞式内燃机和燃气轮机两大类。前者又可按活塞运动方式分为往复式活塞式内燃机和旋转活塞式（转子式）内燃机两种。往复式活塞式内燃机应用最为广泛，是本书研究的重点，下面侧重介绍往复式活塞式发动机的分类。按照不同的分类方法可以把发动机（主要指车用往复式活塞式内燃机）分成不同的类型。

① 按所用燃料分类 发动机按照所使用燃料的不同可以分为汽油机、柴油机、天然气机和煤气机等。

② 按着火方式分类 按燃料在汽缸内的着火方式可分为压燃式发动机和点燃式发动机。

压燃式：内燃机利用汽缸内被压缩的空气所产生的高温高压使燃料自行着火燃烧。柴油机就是属于这种着火方式。

点燃式：内燃机利用外界热源（如电火花）点燃燃料使其着火燃烧。汽油机、天然气机和煤气机就是属于这种着火方式。

③ 按每循环活塞行程数分类 发动机按照完成一个工作循环所需的行程数可分为四冲程发动机和二冲程发动机。

曲轴转两圈，活塞在汽缸内上下往复运动四个行程，完成一个工作循环的内燃机称为四冲程发动机；曲轴转一圈，活塞在汽缸内上下往复运动两个行程，完成一个工作循环的内燃机称为二冲程发动机。

④ 按冷却方式分类 发动机按照冷却方式不同可以分为水冷发动机和风冷发动机

(图 1-1)。

水冷发动机是利用在汽缸体和汽缸盖冷却水套中进行循环的冷却液作为冷却介质进行冷却的；而风冷发动机是利用流动于汽缸体与汽缸盖外表面散热片之间的空气作为冷却介质进行冷却的。水冷发动机冷却均匀，工作可靠，冷却效果好，被广泛地应用于现代工程机械用发动机上。

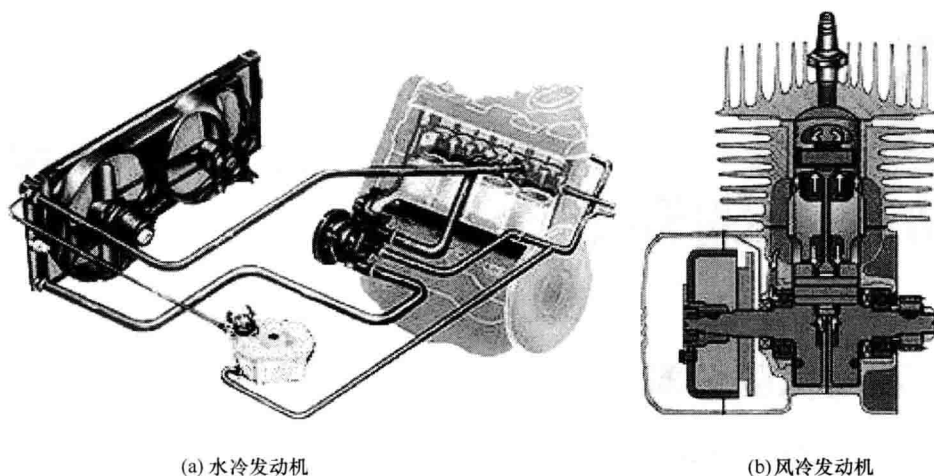


图 1-1 按照冷却方式分类

⑤ 按汽缸数目分类 发动机按照汽缸数目不同可以分为单缸发动机和多缸发动机（图 1-2）。仅有一个汽缸的发动机称为单缸发动机；有两个或两个以上汽缸的发动机称为多缸发动机。如两缸、三缸、四缸、五缸、六缸、八缸、十二缸等都是多缸发动机。现代车用发动机多采用四缸、六缸、八缸发动机。

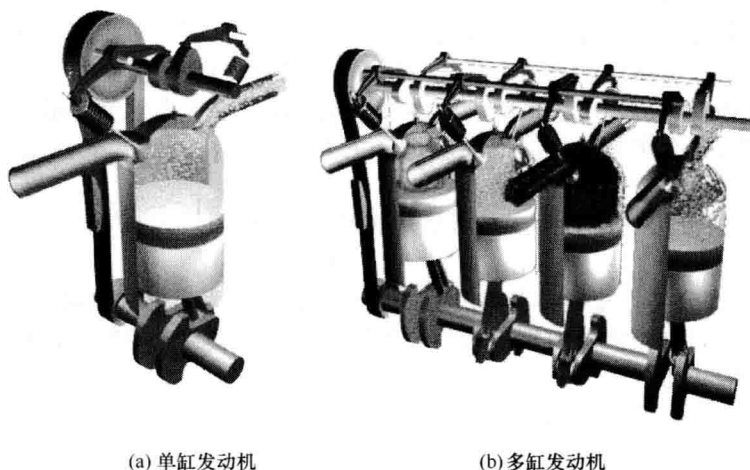


图 1-2 按照汽缸数目分类

⑥ 按照汽缸排列方式分类 发动机按照汽缸排列方式不同可以分为直列式发动机、V形发动机、对置式发动机（图 1-3）。直列式发动机的各个汽缸排成一列，一般是垂直布置的，但为了降低高度，有时也把汽缸布置成倾斜的甚至水平的；把汽缸排成两列，两列之间的夹角小于 180° （一般为 90° ）称为 V 形发动机，若两列之间的夹角等于 180° 称为对置式发

动机。个别场合也有排列成 X 形或 W 形的。

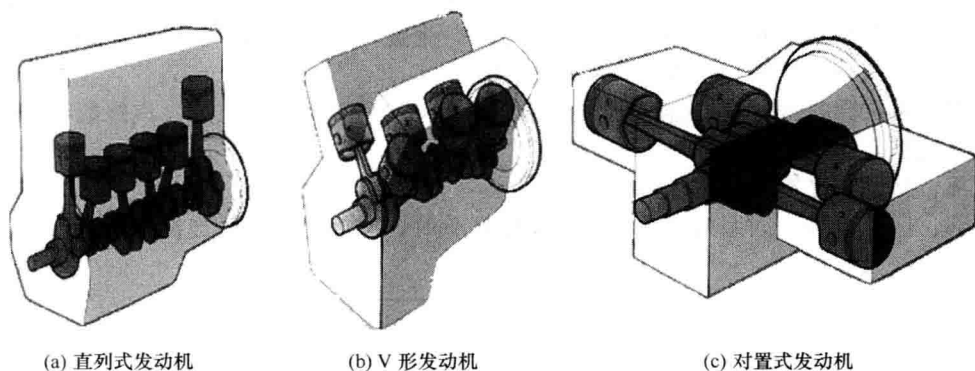


图 1-3 按照汽缸排列方式分类

⑦ 按进气方式分类 按进气方式可分为增压式发动机和非增压式发动机（图 1-4）。

非增压式：内燃机不装增压器，利用活塞的抽吸作用将空气吸入汽缸，也称自然吸气式发动机。

增压式：内燃机安装增压器，空气经过增压器后进入汽缸。

⑧ 按内燃机转速分 按内燃机转速分为高速（1000r/min 以上）、中速（600 ~ 1000r/min）、低速（600r/min 以下）。

工程机械上应用的发动机多为往复式、四冲程、高速、水冷、多缸柴油机。柴油机经济性好，它的热效率一般为 30% ~ 40%，最高可达 46%，在热机中它的热效率是最高的。柴油机的适用范围较广，能满足多种不同用途的需要。

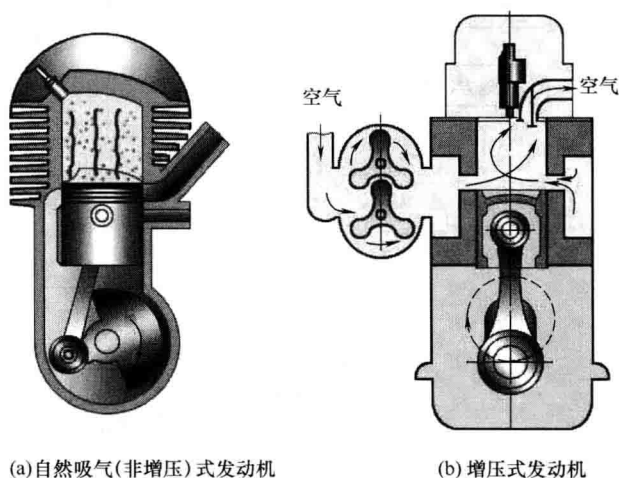


图 1-4 按照进气系统是否采用增压方式分类

1.2 发动机的型号编制规则

为了便于内燃机的生产管理和使用，中国在 1982 年对发动机型号颁布了国家标准（GB 725—1982），在 1991 年对内燃机的名称和型号的编制方法重新进行了审定，颁布了国家标准《内燃机产品名称和型号编制规则》（GB/T 725—1991）。其标准如下。

（1）内燃机产品名称和型号编制规则

① 内燃机产品名称均按所采用的燃料命名，例如柴油机、汽油机、煤气机、沼气机等。

② 内燃机型号由阿拉伯数字（以下简称数字）、汉语拼音字母（以下简称字母）和 GB/T 1883—1989 中关于汽缸布置所规定的排列形式符号组成。

③ 内燃机型号依次包括下列 4 部分（图 1-5）。

首部：为产品特征代号，由制造厂根据需自选相应字母表示，但需经过行业标准化归

口单位核准、备案。产品特征代号包括产品的系列代号、换代符号和地方、企业代号 3 部分。产品的系列代号为系列产品的代号。产品的换代符号是指产品的缸径不变,但其技术及结构与原产品有很大差异的产品标志符号。地方、企业代号是标志产品具有本地方或本企业特点的代号,每种符号用一个或两个字母表示。

中部:由缸数符号、汽缸排列形式符号、冲程符号和缸径符号组成。汽缸数和缸径用数字表示,汽缸布置用形式符号表示。

后部:结构特征符号和用途特征符号。

尾部:区分符号。同系列产品因变型需要区分时,按规定选用适当符号表示。

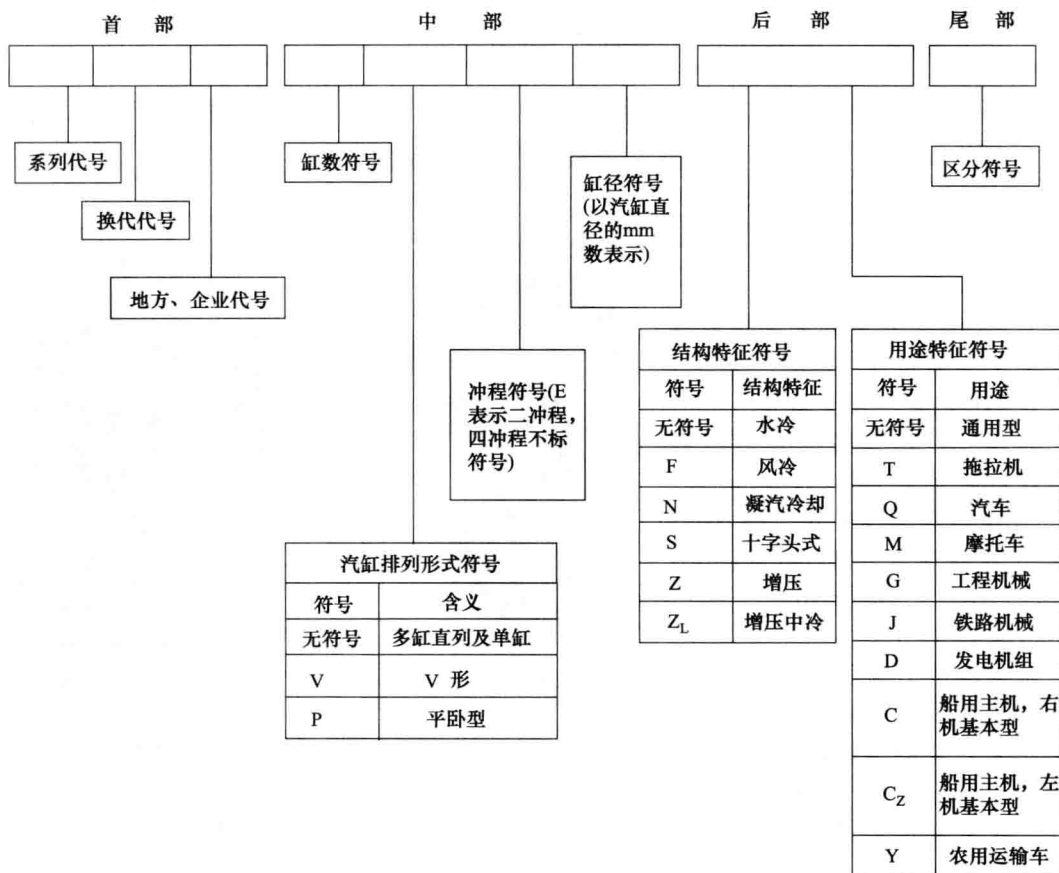


图 1-5 内燃机型号编制规则

(2) 型号编制示例

1E65F 汽油机:表示单缸、二冲程、缸径 65mm、风冷通用型汽油机。

CA6102 汽油机:表示六缸、四冲程、缸径 102mm、水冷通用型汽油机, CA 表示系列符号。

8V100 汽油机:表示八缸、四冲程、缸径 100mm、V 形排列、水冷通用型汽油机。

195 柴油机:表示单缸、四冲程、缸径 95mm、水冷通用型柴油机。

165F 柴油机:表示单缸、四冲程、缸径 65mm、风冷通用型柴油机。

495Q 柴油机:表示四缸、四冲程、缸径 95mm、水冷车用柴油机。

6135Q 柴油机:表示六缸、四冲程、缸径 135mm、水冷车用柴油机。

X4105 柴油机:表示四缸、四冲程、缸径 105mm、水冷通用型柴油机, X 表示系列

代号。

6135ZG-3 柴油机：表示六缸、四冲程、缸径 135mm、增压、水冷、工程机械用柴油机，第 3 种变型产品。

R175A 柴油机：单缸、四冲程、缸径 75mm、水冷、通用型（R 为 175 产品换代符号、A 为系列产品改进的区分符号）

1.3 发动机基本术语

图 1-6 所示为单缸往复式活塞式内燃机结构。其主要由排气门、进气门、汽缸、活塞、连杆、曲轴等组成。

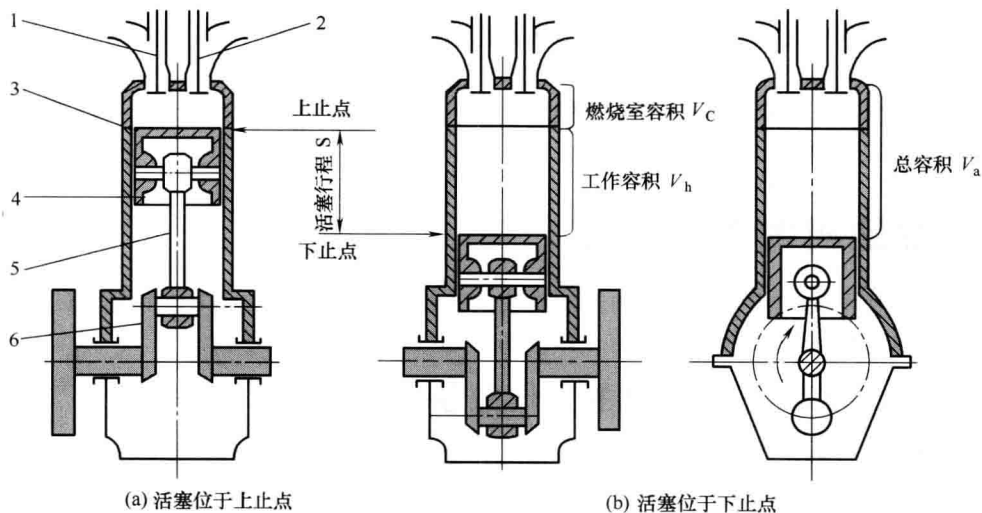


图 1-6 单缸往复式活塞式内燃机结构

1—进气门；2—排气门；3—汽缸；4—活塞；5—连杆；6—曲轴

活塞在汽缸里做往复直线运动时，当活塞向上运动到最高位置，即活塞顶部距离曲轴旋转中心最远的极限位置，称为上止点。

活塞在汽缸里做往复直线运动时，当活塞向下运动到最低位置，即活塞顶部距离曲轴旋转中心最近的极限位置，称为下止点。

上、下止点之间的距离称为活塞行程，一般用 S 表示。曲轴每转动半周（即 180° ），相当于一个活塞行程。

曲轴旋转中心到曲柄销中心之间的距离称为曲柄半径，一般用 R 表示。通常活塞行程为曲柄半径的 2 倍，即 $S=2R$ 。

活塞位于上止点时，活塞顶部上方的容积，称为燃烧室容积（或余隙容积），一般用 V_c 表示。

活塞从一个止点运动到另一个止点所扫过的容积，称为汽缸工作容积，一般用 V_h （单位 L）表示，且：

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

式中 D ——汽缸直径，mm；

S ——活塞行程, mm。

活塞位于下止点时, 其顶部与汽缸盖之间的容积称为汽缸总容积, 一般用 V_a 表示。汽缸总容积就是汽缸工作容积和燃烧室容积之和, 即

$$V_a = V_c + V_h$$

多缸发动机各汽缸工作容积的总和, 称为发动机排量, 一般用 V_l 表示:

$$V_l = i V_h$$

式中 i ——汽缸数目。

汽缸总容积与燃烧室容积之比称为压缩比, 一般用 ϵ 表示。

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

压缩比表示活塞由下止点运动到上止点时, 汽缸内气体被压缩的程度。压缩比越大, 压缩终了时汽缸内气体的压力和温度越高。通常汽油机的压缩比为 6~10, 柴油机的压缩比较高, 一般为 16~24。

每一个工作循环包括进气、压缩、做功和排气过程, 即完成进气、压缩、做功和排气四个过程叫一个工作循环。

1.4 发动机的工作原理

发动机的作用就是将燃料燃烧的热能转换为机械能, 从而输出动力。其能量的转换是通过不断地反复进行进气→压缩→做功→排气四个连续过程来实现的。

1.4.1 单缸四冲程汽油机的工作原理

四冲程汽油机的工作循环包括进气、压缩、做功、排气四个冲程。图 1-7 是单缸四冲程汽油机工作循环示意图。

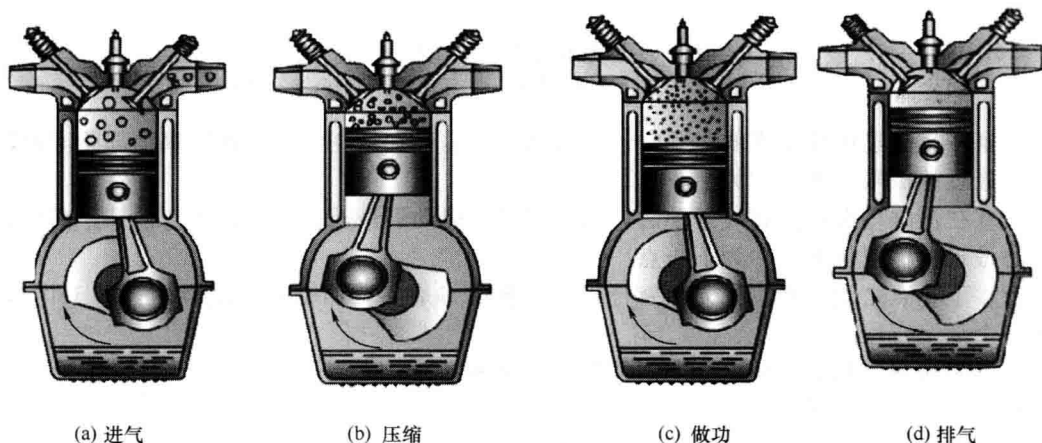


图 1-7 四冲程汽油机工作循环

(1) 进气行程

进气行程如图 1-7 (a) 所示, 曲轴带动活塞从上止点向下止点运行, 此时排气门关闭, 进气门打开。活塞移动过程中, 汽缸内容积逐渐增大, 形成一定的真空度, 将可燃混合气吸入汽缸。当活塞到达下止点时, 整个汽缸内充满了新鲜混合气。

如图 1-8 所示, 曲线 ra 表示进气行程混合气的压力变化情况, 进气过程开始时, 活塞

位于上止点,汽缸内残存有上一循环未排净的废气,因此,汽缸内的压力稍高于大气压力,随着活塞下移,汽缸内容积增大,压力减小,在进气过程中,受空气滤清器、化油器、进气管道、进气门等阻力影响,进气终了时,汽缸内气体压力略低于大气压,约为 $0.075 \sim 0.09 \text{ MPa}$,同时受到残余废气和高温机件加热的影响,温度达到 $370 \sim 400 \text{ K}$ 。

(2) 压缩行程

压缩行程如图 1-7 (b) 所示,曲轴继续旋转,活塞从下止点向上止点运动,这时进气门和排气门都关闭,汽缸内成为封闭容积,可燃混合气受到压缩,压力和温度不断升高,当活塞到达上止点时压缩行程结束。

如图 1-9 所示,曲线 ac 表示压缩行程混合气的压力变化情况。在压缩过程中,气体压力和温度升高,可燃混合气进一步均匀混合,当压缩终了时,汽缸内压力可达 $0.6 \sim 1.2 \text{ MPa}$,温度可达 $600 \sim 700 \text{ K}$ 。

压缩比越大,压缩终了时汽缸内的压力和温度越高,则燃烧速度越快,发动机功率也越大。但压缩比过大,会导致爆燃与表面点火异常燃烧现象的出现。爆燃就是由于气体压力和温度过高,可燃混合气在没有点燃的情况下自行燃烧,且火焰以极高的速率向外传播,形成压力波撞击燃烧室壁,发出尖锐的敲缸声,同时引起发动机过热,功率下降,油耗增加,磨损加剧,甚至造成机件损坏。

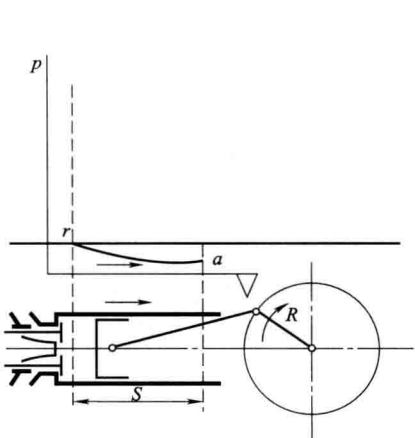


图 1-8 进气行程

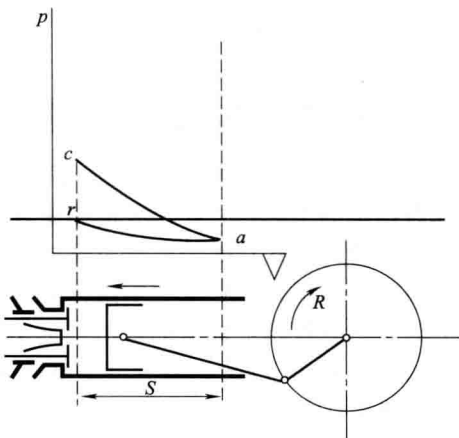


图 1-9 压缩行程

(3) 做功行程

做功行程如图 1-7 (c) 所示,在这一行程中,进气门和排气门仍然保持关闭,当压缩行程接近终了时,火花塞产生电火花点燃可燃混合气,由于混合气的迅速燃烧,使缸内气体的温度和压力迅速升高,从而推动活塞从上止点向下止点运行,并通过连杆推动曲轴旋转输出机械功。

在做功冲程的开始阶段,缸内气体温度、压力急剧上升,瞬时压力可达 $3 \sim 5 \text{ MPa}$,最高温度可达 $2200 \sim 2800 \text{ K}$ 。如图 1-10 所示,曲线 zb 表示活塞向下移动时,汽缸容积逐渐增加,其内气体压力和温度逐渐降低,在做功行程终了的 b 点,压力降至 $0.3 \sim 0.5 \text{ MPa}$,温度则降为 $1300 \sim 1600 \text{ K}$ 。

(4) 排气行程

排气行程如图 1-7 (d) 所示,混合气在缸内燃烧后生成的废气必须从汽缸中排出去以便进行下一个进气行程。当做功接近终了时,排气门开启,进气门仍然关闭,因废气压力高于大气压而自动排出,此外,当活塞越过下止点向上止点运动时,还靠活塞的推挤作用强制

排气。活塞越过上止点后，排气门关闭，排气行程结束。

如图 1-11 所示，曲线 br 表示排气行程中，汽缸内压力变化情形。受排气阻力的影响，排气终止时，缸内压力仍高于大气压力，约为 $0.105 \sim 0.115 \text{ MPa}$ ，温度约为 $900 \sim 1200 \text{ K}$ 。

至此，发动机完成了个工作循环，接着又开始了下一个新的循环过程。如此循环，发动机便可连续不断地工作，并输出动力。

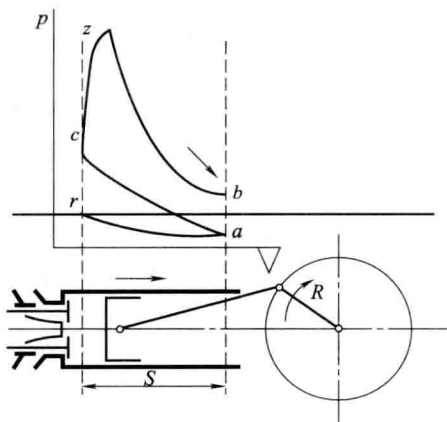


图 1-10 做功行程

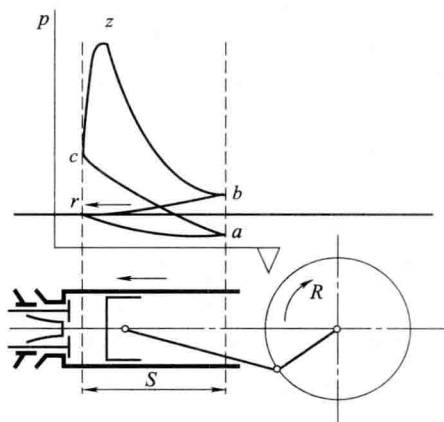


图 1-11 排气行程

1.4.2 单缸四冲程柴油机的工作原理

四冲程柴油机是压燃式内燃机，其每一工作循环也经历进气、压缩、做功、排气四个行程。和汽油机的不同之处在于柴油黏度较大，不易蒸发，自燃温度较汽油低，致使可燃混合气的形成、着火方式、燃烧过程以及气体温度压力的变化都和汽油机不同。

四冲程柴油机的工作过程如图 1-12 所示，四冲程柴油机的示功图如图 1-13 所示。图中横坐标表示汽缸容积，纵坐标表示汽缸中气体的绝对压力，水平虚线表示绝对压力为 1 atm (101.3 kPa)。 V_c 和 V_h 分别表示燃烧室容积和汽缸工作容积。

(1) 进气行程

进气行程如图 1-12 (a) 所示。它不同于汽油机的是进入汽缸的不是可燃混合气，而是纯空气。

进气过程开始时，活塞位于上止点（图 1-13 中 r 点），汽缸内残留有上一循环未排净的废气，因此汽缸内的压力稍高于大气压力。随着活塞下移，汽缸内部容积增大，压力减小。当压力低于大气压力时，新鲜空气被吸入汽缸，直至活塞移至下止点。在进气过程中，受空气滤清器、进气管道、进气门等阻力的影响，进气终了时（图 1-13 中 a 点）汽缸内的压力略低于大气压力 p_0 ，约为 $0.08 \sim 0.095 \text{ MPa}$ ，气体温度约为 $300 \sim 370 \text{ K}$ 。

图 1-13 上 ra 线表示进气过程汽缸内压力随容积变化的情况。

实际上，柴油机的进气门都是在活塞到达上止点前打开，并且延迟到下止点以后关闭，以便吸进更多的新鲜空气。

(2) 压缩行程

压缩行程如图 1-12 (b) 所示。柴油机压缩的是纯空气，且由于柴油机压缩比大，压缩终了时汽缸内的压力和温度均比汽油机高，压力可达 $3 \sim 5 \text{ MPa}$ ，温度可达 $800 \sim 1000 \text{ K}$ 。

图 1-13 上 ac 线表示压缩行程中汽缸内气体压力随容积变化的情况。

为了充分利用燃料燃烧的热能，要求燃烧过程在活塞到达上止点略后的位置完成，使气