



21世纪高等院校应用型规划教材



汽车技术实训

(基础篇)

欧阳爱国 主 编 ●

徐 衡 卜永丽 副主编 ●



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

21 世纪高等院校应用型规划教材

汽车技术实训

(基础篇)

主 编 欧阳爱国
副主编 徐 衡 卜永丽
参 编 高 磊 赵新树 胡锦川
熊光崇 李建平 李红英

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书为各类高等院校、职业学院及成人高校试用教材,全书分上下两篇,本书为基础篇,共分6章,以培养学生实践中的运作能力为主线,分别介绍了发动机、柴油机燃油喷射系统、汽车底盘(不含离合器和变速器)、离合器与变速器、汽车电控技术、汽车电子电器等内容,具有较强的实用性和综合性。

本教材可作为高等院校、高职高专汽车类专业的教材,亦可作为汽车相关专业的师生和从事汽车运输管理、汽车维修技术人员的参考书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

汽车技术实训.基础篇/欧阳爱国主编. —北京:北京理工大学出版社,
2007.9

ISBN 978 - 7 - 5640 - 1167 - 3

I. 汽… II. 欧… III. 汽车工程 - 高等学校 - 教材 IV. U46

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 138407 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / [http:// www. bitpress. com. cn](http://www.bitpress.com.cn)

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京国马印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 32

字 数 / 783 千字

版 次 / 2007 年 9 月第 1 版 2007 年 9 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 3500 册

定 价 / 48.00 元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 母长新

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前 言

随着我国汽车工业的飞速发展,汽车的综合性能在不断提高,为顺应教学改革潮流,本书结合了高等院校、高职高专的要求和特点,根据当前汽车行业的要求而编写。

汽车技术实训是汽车专业的必修课程。本书共分6章,分别是第1章发动机、第2章柴油机燃油喷射系统、第3章汽车底盘(不含离合器和变速器)、第4章离合器与变速器、第5章汽车电控技术、第6章汽车电子电器等内容。本书注重理论联系实际,使学生在模块化教学中更易于理解和接受。

本书由江西蓝天学院欧阳爱国主编,徐衡、卜永丽为副主编,高磊、赵新树、胡锦涛、熊光崇、李建平、李红英参加编写。

由于时间仓促、水平有限,书中难免有不妥之处,恳切读者多提宝贵意见。

编者

目 录

第1章 发动机	(1)
第一节 发动机基本结构与工作原理	(1)
第二节 曲柄连杆机构	(14)
第三节 配气机构与换气系统	(31)
第四节 发动机冷却系	(48)
第五节 发动机润滑系	(58)
第2章 柴油机燃油喷射系统	(72)
第一节 概述	(72)
第二节 机械式燃油供给系统的种类及组成	(73)
第三节 柴油机的燃料及可燃混合气的形成与燃烧	(74)
第四节 柴油机燃烧室	(76)
第五节 柱塞式喷油泵燃油供给系统	(79)
第六节 油量调节机构	(98)
第七节 驱动装置及供油正时	(105)
第八节 调速器	(111)
第九节 转子分配泵燃油供给系统	(127)
第十节 柴油机燃油供给系统的辅助装置	(133)
第十一节 喷油器	(138)
第十二节 柴油机启动辅助装置	(148)
第十三节 电控柴油机燃油喷射系统	(151)
第3章 汽车底盘 (不含离合器和变速器)	(157)
第一节 传动系	(157)
第二节 万向传动装置	(160)
第三节 驱动桥	(166)
第四节 行驶系	(177)
第五节 转向系	(191)
课题1 转向器	(193)
课题2 转向操纵机构	(205)
课题3 转向传动机构	(206)
课题4 动力转向装置	(212)
课题5 转向系的综合故障诊断与排除	(218)
第六节 制动系	(223)

第4章 离合器与变速器	(243)
第一节 离合器	(243)
第二节 手动变速器	(257)
第三节 自动变速器	(285)
第5章 汽车电控技术	(348)
第一节 电控燃油喷射系统概述	(348)
第二节 电控燃油喷射系统的基本组成和工作原理	(349)
第三节 电控燃油喷射系统的故障诊断与检修	(397)
第6章 汽车电子电器	(404)
第一节 蓄电池	(404)
第二节 交流发电机	(416)
第三节 起动机	(430)
第四节 点火系	(446)
第五节 照明、信号及仪表系统	(463)
第六节 汽车辅助电器	(477)
第七节 全车电路分析	(492)

第1章

发 动 机

第一节 发动机基本结构与工作原理

一、4 冲程发动机基本结构及工作原理

(一) 4 冲程汽油机基本结构及工作原理

1. 4 冲程汽油机基本结构和工作原理（见表 1-1-1、图 1-1-1）

表 1-1-1 4 冲程汽油机基本工作过程

行程名称	曲轴转角/ (°)	活塞行向	进气门	排气门
进气	0 ~ 180	↓	开	关
压缩	180 ~ 360	↑	关	关
作功	360 ~ 540	↓	关	关
排气	540 ~ 720	↑	关	开

2. 基本术语

1) 4 冲程发动机

活塞在上、下止点间往复移动 4 个行程（相当于曲轴旋转了两周），完成进气、压缩、作功、排气一个工作循环的发动机就称为 4 冲程发动机。

4 个行程中，只有一个行程作功，造成曲轴转速不均匀，工作振动大。所以在曲轴后端安装了一个质量较大的飞轮，作功时飞轮吸收储存能量，其余 3 个行程则依靠飞轮惯性维持转动。

2) 冲程与活塞行程

① 冲程：指发动机的类型。

② 行程 S ：指活塞在上、下两个止点之间的距离。

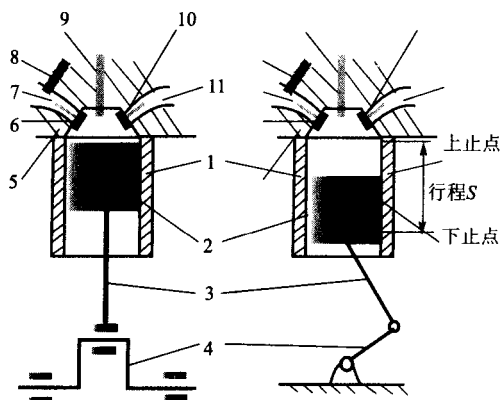


图 1-1-1 4 冲程汽油机基本结构简图

- 1—气缸；2—活塞；3—连杆；4—曲轴；
- 5—气缸盖；6—进气门；7—进气道；
- 8—电控喷油器；9—火花塞；
- 10—排气门；11—排气道

③ 气缸工作容积 V_s ：一个活塞在一个行程中所扫过的容积。

④ 燃烧室容积 (V_c)：活塞在上止点时，活塞上方的空间叫燃烧室，它的容积叫燃烧室容积。

⑤ 气缸总容积 (V_a)：活塞在下止点时，活塞上方的容积称为气缸总容积 (L)。它等于气缸工作容积与燃烧室容积之和，即

$$V_a = V_h + V_c, \quad V_s = \frac{\pi D^2}{4 \times 10^6} S$$

式中 V_s ——工作容积 (m^3)；

D ——气缸直径 (mm)；

S ——活塞行程 (mm)。

⑥ 发动机的排量 V_L ：一台发动机所有气缸工作容积之和。

$$V_L = V_s i$$

式中 V_L ——发动机的排量 (L)；

i ——气缸数。

3) 压缩行程的作用

一是提高进入气缸内混合气的压力和温度（压缩终了的气缸内气体压力可达 $0.6 \sim 1.2 \text{ MPa}$ ，温度达 $600 \sim 700 \text{ K}$ ），为混合气迅速着火燃烧创造条件。

二是可以有效提高发动机的燃烧热效率 η 。由热力学第一定律

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

可知当混合气压缩程度提高时，发动机混合气燃烧所达到的最高温度 (T_1) 升高，而排气的温度 (T_2) 降低，导致热效率提高。

1860 年，法国人 Lenoir（勒努瓦）研制成功的世界第一台内燃机没有压缩行程，热效率仅 4.5% ；1876 年，德国人奥托（Otto）制造出第一台 4 冲程内燃机，采用压缩行程，虽然压缩比只有 2.5，但热效率却提高到 12% ，这有力地证明了科学是第一生产力这个真理。

压缩比 ε ：气缸内气体被压缩的程度。

$$\varepsilon = \frac{V_a}{V_c} = \frac{V_s + V_c}{V_c}$$

式中 V_a ——气缸总容积（活塞处于下止点时，活塞顶部以上的气缸容积）；

V_c ——气缸燃烧室容积（活塞处于上止点时，活塞顶部以上的容积）。

现代汽油机压缩比一般为 $7 \sim 11$ ，如广州本田雅阁 2.4i-VTEC 发动机压缩比为 9.7，而 3.0V6-VTEC 发动机压缩比则为 10。柴油机的压缩比为 $15 \sim 22$ 。

发动机压缩比也不能过高，否则会导致压缩终了温度和压力升高，汽油机产生爆震燃烧，热负荷、机械负荷、噪声和振动加大，启动困难。

可变压缩比（SVC）发动机：能根据发动机工作负荷变化，自动调节压缩比。负荷减少时，使压缩比提高；全负荷时，使压缩比降低。可有效达到防止爆震燃烧，增加功率、降低油耗、减少排放的目的。

当气缸、活塞等磨损，气门不密封时，将导致发动机压缩气体外泄，热效率和功率下降。

3. 工作过程分析

1) 进气行程

① 活塞由曲轴带动从上止点向下止点运动。

② 进气门开启, 排气门关闭。

③ 由于活塞下移, 活塞上腔容积增大, 形成一定真空度, 在真空吸力的作用下, 空气与汽油形成的混合气经进气门被吸人气缸, 活塞运动到下止点时, 进气门关闭, 停止进气, 进气行程结束。

2) 压缩行程

① 活塞在曲轴的带动下, 从下止点向上止点运动。

② 进、排气门均关闭。

③ 随着活塞上移、活塞上腔容积不断减小, 混合气被压缩, 活塞到达上止点时, 压缩行程结束。

在压缩过程中, 气体压力和温度同时升高。压缩终了时, 气缸内的压力为 $600 \sim 1\,500\text{ kPa}$, 温度为 $600 \sim 800\text{ K}$, 远高于汽油的点燃温度 (约 263 K)。

3) 作功行程

① 压缩行程末, 火花塞产生电火花, 点燃气缸内的可燃混合气, 并迅速着火燃烧, 气体产生高温、高压, 在气体压力的作用下, 活塞由上止点向下止点运动, 再通过连杆驱动曲轴旋转向外输出作功, 活塞运动到下止点时, 作功行程结束。

② 作功行程中, 进、排气门均关闭。

在作功过程中, 开始阶段气缸内气体压力、温度急剧上升, 瞬时压力可达 $3 \sim 5\text{ MPa}$, 瞬时温度可达 $2\,200 \sim 2\,800\text{ K}$ 。随着活塞的下移, 压力、温度下降, 作功行程终了时, 压力为 $300 \sim 500\text{ kPa}$, 温度为 $1\,500 \sim 1\,700\text{ K}$ 。

4) 排气行程

① 在作功行程终了时, 排气门被打开, 活塞在曲轴的带动下由下止点向上止点运动。

② 废气在自身的剩余压力和活塞的驱赶作用下, 自排气门排出气缸, 活塞运动到上止点时, 排气门关闭, 排气行程结束。

排气终了时, 由于燃烧室容积的存在, 气缸内还存有少量废气, 气体压力也因排气门和排气道等有阻力而高于大气压。此时, 压力为 $105 \sim 125\text{ kPa}$, 温度为 $900 \sim 1\,200\text{ K}$ 。

排气行程结束后, 进气门再次开启, 又开始了下一个工作循环, 如此周而复始, 发动机就自行运转。

4. 示功图

将 4 冲程发动机在一个工作循环里气缸内气体压力随气缸工作容积或曲轴转角变化的关系以坐标图表示, 得到如图 1-1-2 所示的发动机示功图。

由示功图可以看到发动机一个工作循环里工作状态的变化, 可通过检查判断发动机性能的优劣。发动机特征点参数随机型、结构等有所不同, 一般范围如表 1-1-2 所示。

5. 多缸发动机结构特点

单缸发动机的问题是: 功率小, 转速不均匀, 工作振动大。现代汽车发动机都是多缸发动机, 用得最多的是 4 缸、6 缸和 8 缸发动机。

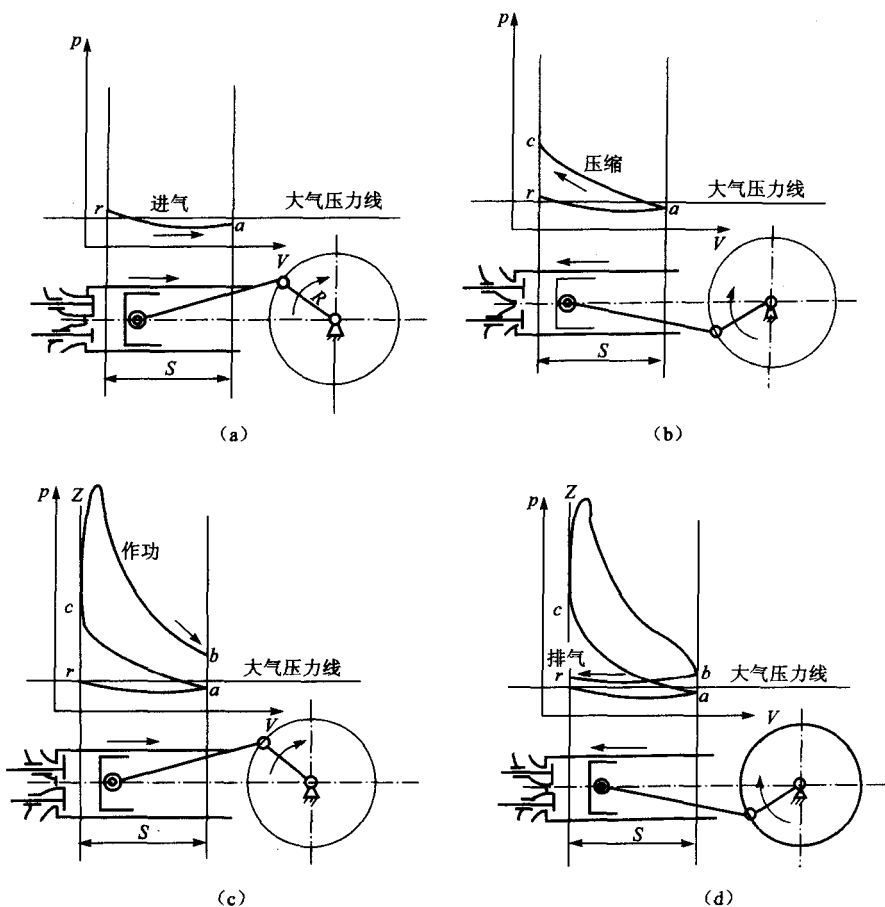


图 1-1-2 发动机示功图

(a) 进气行程; (b) 压缩行程; (c) 膨胀行程; (d) 排气行程

表 1-1-2 发动机特征点参数

特征点 发动机参数		a	c	z	b	r
汽油机	P	0.075 ~ 0.09	0.6 ~ 1.2	3 ~ 5	0.3 ~ 0.5	0.105 ~ 0.115
	T	370 ~ 400	600 ~ 700	2 200 ~ 2 800	1 300 ~ 1 600	900 ~ 1 200
柴油机	P	0.08 ~ 0.09	3.5 ~ 4.5	6 ~ 9	0.2 ~ 0.4	0.105 ~ 0.125
	T	300 ~ 370	750 ~ 1 000	2 000 ~ 2 500	1 200 ~ 1 500	800 ~ 1 000

注: P——气缸内气体压强 (MPa); T——气缸内气体温度 (K)。

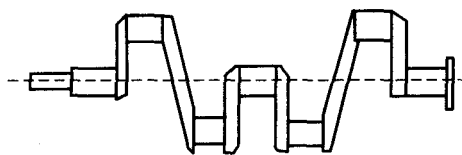


图 1-1-3 4缸发动机曲轴

多缸发动机的结构特点是: 由多个结构相同的气缸组成, 它们共用一个机体, 一根曲轴。曲轴的曲柄布置应该使各缸做功行程均匀分布在 720° 曲轴转角内。如 4 缸发动机曲轴 (见图 1-1-3) 相邻工作缸的曲柄夹角为 180°, 曲轴每转

180°, 便有一个气缸做功。

(二) 4 冲程柴油机结构特点与工作原理

① 结构特点: 没有火花塞, 喷油器直接安装在气缸顶向气缸内喷油 (见图 1-1-4)。

② 工作原理: 进气行程进入气缸的是纯空气, 而不是可燃混合气; 在压缩行程末, 喷油器向气缸喷入高压柴油。由于气缸的高温高压作用, 柴油迅速着火燃烧, 使气体急剧膨胀, 推动活塞做功。其着火方式属于压燃式, 而不是汽油机的点燃式。

1. 进气行程

进气行程不同于汽油机的是, 进入气缸的不是混合气, 而是纯空气。

2. 压缩行程

① 压缩行程压缩的是纯空气。

② 由于柴油机压缩比大, 压缩终了的温度和压力都比汽油机高, 压力可达 3 ~ 5 MPa, 温度可达 800 ~ 1 000 K。

注: 点燃温度是指燃料在空气中移近火焰时, 其表面上的燃料蒸气能够被点着的最低环境温度。汽油的点燃温度很低, 约为 263 K; 柴油的点燃温度高, 为 313 ~ 359 K。

自燃温度是指燃料不与火焰接近, 能够自行燃烧的最低环境温度。柴油的自燃温度低, 为 473 ~ 573 K; 汽油的自燃温度高, 约为 653 K。

3. 作功行程

① 压缩行程末, 喷油泵将高压柴油经喷油器呈雾状喷入气缸内的高温空气中, 迅速汽化并与空气形成可燃混合气。因为此时气缸内的温度远高于柴油的自燃温度 (约 500 K), 柴油自行着火燃烧, 且以后的一段时间内边喷边燃烧, 气缸内的温度、压力急剧升高, 推动活塞下行做功。

② 作功行程中, 瞬时压力可达 5 ~ 10 MPa, 瞬时温度可达 1 800 ~ 2 200 K; 作功终了时, 压力为 200 ~ 400 kPa, 温度为 1 200 ~ 1 500 K。

4. 排气行程

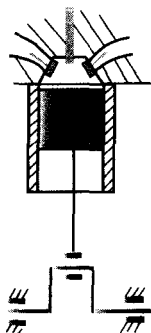
排气行程与汽油机排气行程基本相同。由上述 4 冲程汽油机和柴油机的工作原理可知: 两种发动机工作循环的基本内容相似, 其共同特点如下。

① 每个工作循环曲轴转两转 (720°), 每一行程曲轴转半转 (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。

② 4 个行程中, 只有作功行程产生动力。其他 3 个行程是为作功行程做准备工作的辅助行程, 虽然作功行程是主要行程, 但其他 3 个行程也不可缺少。

③ 发动机运转的第一个循环, 必须有外力使曲轴旋转完成进气、压缩行程, 着火后, 完成作功行程, 依靠曲轴和飞轮储存的能量便可自行完成以后的行程, 以后的工作循环发动机无需外力就可自行完成。

柴油黏度高, 不易挥发, 自燃点低, 不会产生爆燃。为了使柴油可靠着火, 提高发动机燃烧热效率, 柴油机的压缩比汽油机高得多, 一般为 16 ~ 22, 所以其最高燃烧压力也比汽油机高, 工作也比汽油机粗暴。



1-1-4 4 冲程柴油机
基本结构简图

柴油机与汽油机的比较如表 1-1-3 所示。

表 1-1-3 柴油机与汽油机比较

性 能	汽 油 机	柴 油 机
着火方式	点燃	压燃
燃油消耗	高	低
热效率	30% 左右	40% 左右
工作平稳性	柔和	粗暴
发动机转速	高 (4 000 ~ 6 000 r/min)	低 (2 500 ~ 3 000 r/min)
升功率	大	小
启动性	易	难
制造维修成本	低	高
比质量	小	大
使用寿命	短	长
排放	CO、HC 大, NO _x 、黑烟少	CO、HC 小, NO _x 、黑烟多

注: 柴油机的转速也在不断提高, 奔驰 V230 轿车柴油机, 最高转速可达 6 000 r/min。

二、二冲程发动机结构特点及工作原理

二冲程发动机是指活塞在上、下止点间往复移动两个行程 (相当于曲轴旋转 360°), 完成进气、压缩、做功、排气一个工作循环的发动机。

(一) 二冲程汽油机结构特点与工作原理

1. 结构特点 (图 1-1-5)

没有进、排气门, 代之以进、排气孔 7 和 8, 由活塞圆柱面控制其开闭。另外还有扫气孔 2, 扫气时曲轴箱和气缸连通。

2. 二冲程汽油机工作原理

- ① 第一行程 (换气 - 压缩行程): 活塞自下止点向上止点移动, 到活塞圆柱面将排气孔 8 和扫气孔 (换气孔) 2 都关闭时, 开始压缩上一循环吸入气缸内的汽油与空气混合气, 同时在活塞下面的曲轴箱内形成真空度 (曲轴箱是密封的)。当活塞继续上行时, 进气孔 7 打开, 新的汽油与空气可燃混合气经进气孔 7 被吸入活塞下方的曲轴箱内。
- ② 第二行程 (做功 - 换气行程): 活塞接近上止点时, 火花塞点火, 点燃被压缩的混合气, 高温、高压气体急剧膨胀, 推动活塞向下运动, 对外做功。当活塞下行关闭进气孔 7 到露出排气孔 8 时, 气缸开始排气, 同时压缩活塞下方的可燃混合气; 活塞继续下行到露出扫气孔 (换气孔) 2 时, 受到预压的新鲜混合气自扫气孔流入缸内, 并扫除废气。
- 为了防止新鲜混合气大量与废气混合并排出气缸而造成浪费, 活塞顶做成特殊形状, 使

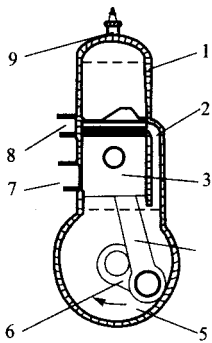


图 1-1-5 二冲程汽油机基本结构
1—气缸; 2—扫气孔; 3—活塞;
4—连杆; 5—曲轴箱; 6—曲轴;
7—进气孔; 8—排气孔; 9—火花塞

新鲜混合气的气流被引向上部，还可以利用新鲜混合气来扫除废气，使排气更干净。

二冲程与 4 冲程汽油机的比较如表 1-1-4 所示。

表 1-1-4 二冲程与 4 冲程汽油机比较

性 能	二冲程汽油机	4 冲程汽油机
结 构	简单	复杂
比质量	小	大
燃油消耗	高	低
升功率	大	小
制造维修成本	低	高
启动性	好	差
使用寿命	短	长
排 放	大	小

理论上，二冲程比 4 冲程汽油机升功率大一倍，但实际上由于排气、换气占去了 1/3 行程，使做功行程缩短，导致实际单位气缸工作容积的功率只比 4 冲程汽油机大 50% ~ 60%。由于排气行程短，废气排不尽，部分新鲜可燃混合气在扫气时随废气外流，造成燃油消耗率高，经济性差，HC 排放增加。同时，由于做功频繁，机械负荷和热负荷大，润滑困难，导致发动机寿命短。因此，二冲程汽油机在现代汽车上较少采用，而广泛应用于摩托车和微型汽车。

(二) 二冲程柴油机结构特点与工作原理

1. 结构特点

图 1-1-6 所示为美国 GM 公司生产的 710G3B 型二冲程柴油机。在气缸盖上安装有排气门 3 和泵-喷嘴 4，当排气门打开时，排出的废气冲击排气涡轮叶轮 8 使其旋转，并带动离心式风机 9 旋转，将空气加压，增压空气经冷却器 11，进入集流箱 13，再从缸套上的空气进气孔 2 进入气缸。

2. 二冲程柴油机工作原理 (图 1-1-6)

① 第一行程：活塞自下止点向上止点运动，行程开始时，进气孔 2 和排气门 3 均开启，利用从离心式风机 9 压来的空气使气缸换气。活塞继续向上移动，进气孔被遮盖，排气门也关闭，气缸内的空气受到压缩，压力和温度上升。当活塞接近上止点时，高压燃油从泵-喷嘴 4 喷入气缸并着火燃烧，使气缸内压力急剧升高。

② 第二冲程：高温高压气体急剧膨胀，推动活塞从上止点向下止点运动，对外做功。活塞接近下止点时，排气门开启，排出的废气冲击涡轮叶轮 8 使其旋转，并带动离心式风机 9 旋转，将空气加

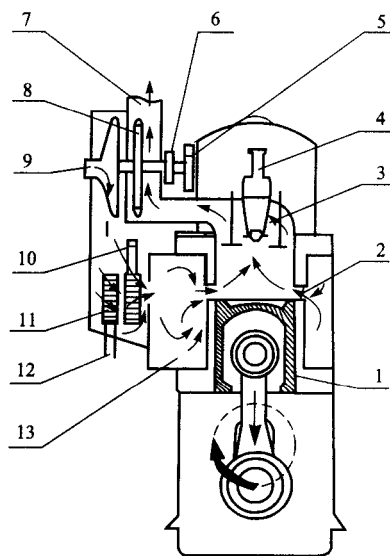


图 1-1-6 二冲程柴油机结构

- 1—活塞；2—进气孔；3—排气门；4—泵-喷嘴；
5—传动轮（由柴油机驱动）；6—单向离合器；
7—废气排出口；8—排气涡轮叶轮；9—离心式
风机；10—排水口；11—增压空气冷却器；
12—进水口；13—集流箱

压,增压空气经冷却器 11 冷却后,再从缸套上的空气进气孔 2 进入气缸,进行换气。

二冲程柴油机的工作过程与二冲程汽油机的工作过程不同的是:进入柴油机气缸的是纯空气,而不是可燃混合气,而且空气进入气缸前先经过增压,所以二冲程柴油机比二冲程汽油机的经济性好。日本雅马哈发动机公司于 1999 年 3 月开发出 100 km 只燃用 3 L 柴油的车用二冲程 SD 型柴油机。美国 GM 公司生产的 710G3B 型二冲程柴油机功率达 3 060 kW,燃油消耗率仅为 196.4 g/(kW·h)。二冲程柴油机主要应用于内燃机车、低速船用柴油机上。

三、内燃机分类及型号

(一) 内燃机的分类

内燃机种类繁多,根据不同特点有不同分类(表 1-1-5)。

表 1-1-5 内燃机的分类

分类方法	类 别	含 义
按冲程数分	二冲程内燃机	活塞经过两个行程完成一个工作循环的内燃机
	4 冲程内燃机	活塞经过 4 个行程完成一个工作循环的内燃机
按着火方式分	点燃式内燃机	压缩气缸内的可燃混合气,并用外源点火燃烧的内燃机
	压燃式内燃机	压缩气缸内的空气或可燃混合气,产生高温,引起燃料着火的内燃机
按使用燃料种类分	液体燃料内燃机	燃烧液体燃料(汽油、柴油、醇类等)的内燃机
	气体燃料内燃机	燃烧气体燃料(液化石油气、天然气等)的内燃机
	多种燃料内燃机	能够使用着火性能差异较大的两种或两种以上燃料的内燃机
按进气状态分	非增压内燃机	进入气缸前的空气或可燃混合气未经压缩的内燃机。对于 4 冲程内燃机来说,亦称自吸式内燃机
	增压内燃机	进入气缸前的空气或可燃混合气先经过压气机压缩。借以增大充量密度的内燃机
按冷却方式分	水冷式内燃机	用水冷却气缸和气缸盖等零件的内燃机
	风冷式内燃机	用空气冷却气缸和气缸盖等零件的内燃机
按气缸数及布置分	单缸内燃机	只有一个气缸的内燃机
	多缸内燃机	具有两个或两个以上气缸的内燃机
	立式内燃机	气缸布置于曲轴上方且气缸中心线垂直于水平面的内燃机
	卧式内燃机	气缸中心线平行于水平面的内燃机
	直立式内燃机	具有两个或两个以上直立气缸,并呈一列布置的内燃机
	V 形内燃机	具有两个或两列气缸,其中心线夹角呈 V 形,并共用一根曲轴输出功率的内燃机
	对置气缸式内燃机	两个或两列气缸分别排列在同一曲轴的两边呈 180°夹角的内燃机
	斜置式内燃机	气缸中心线与水平面呈一定角度(不是直角)的内燃机
按用途分类	有汽车用、机车用、拖拉机用、船用、坦克用、摩托车用、发电用、农用、工程机械用等内燃机	

(二) 内燃机型号

根据国家标准 GB 725—1991 规定，我国内燃机型号由以下 4 个部分组成（见图 1-1-7）。

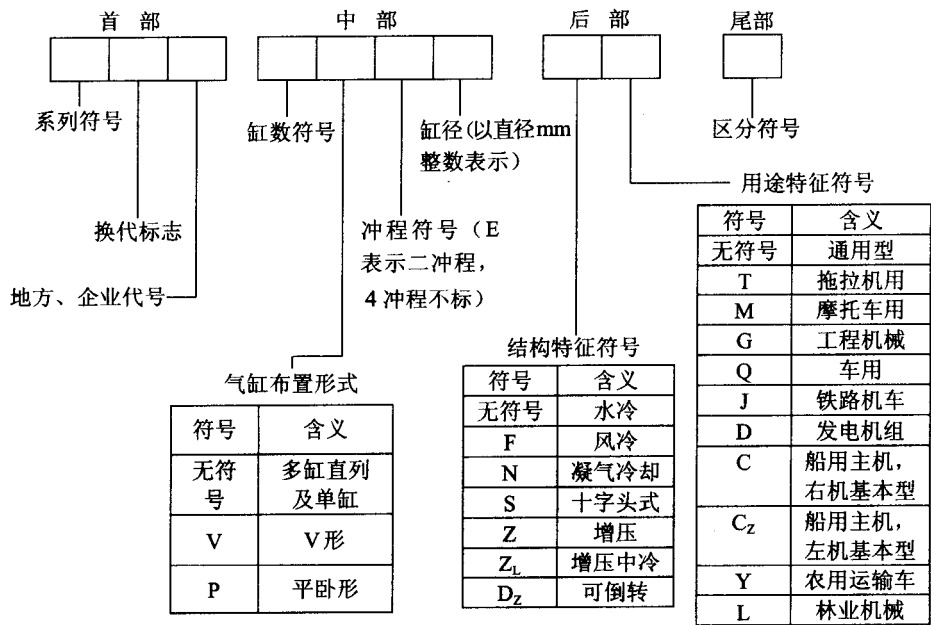


图 1-1-7 发动机编号规则

型号示例：

4100Q——四缸、直列、4 冲程、缸径 100 mm、水冷、汽车用。

1E65F——单缸、二冲程、缸径 65 mm、风冷、通用型。

12V135ZG——12 缸、V 形、4 冲程、缸径 135 mm、水冷、增压、工程机械用。

四、发动机性能指标

评价一台发动机好坏，需要有一批性能指标来衡量。常见的性能指标有动力性能指标、经济性能指标、运转性能指标和可靠、耐久性能指标等。

(一) 动力性能指标

1. 有效转矩

发动机曲轴输出的平均转矩称为有效转矩，以 T_e 表示，单位为 $N \cdot m$ 。有效转矩与外界施加于发动机曲轴上的阻力矩相平衡，可以用发动机台架试验方法测得。

2. 平均有效压力

指单位气缸工作容积所输出的有效功，以 P_{me} 表示，单位为 kPa 。平均有效压力越大，动力性能越好。

$$P_{me} = \frac{\text{发动机输出的有效功}}{\text{发动机气缸工作容积}}$$

3. 有效功率

发动机曲轴输出的功率称为有效功率，用 P_e 表示。它等于有效转矩与曲轴角速度的

乘积。

$$P_e = T_e \frac{2\pi n}{60} \times 10^{-3} = \frac{T_e n}{9550} \quad (\text{kW})$$

式中 T_e ——有效转矩 ($\text{N} \cdot \text{m}$);

n ——曲轴转速 (r/min)。

有效功率也可以由下式计算

$$P_e = \frac{P_{me} V_s n i}{30 \tau} \quad (\text{kW})$$

式中 P_{me} ——平均有效压力 (kPa);

V_s ——气缸工作容积 (m^3);

n ——曲轴转速 (r/min);

i ——气缸数;

τ ——冲程系数, 二冲程 $\tau=1$, 4 冲程 $\tau=2$ 。

发动机制造厂按国家规定标定的有效功率, 称为标定功率。标定功率时的发动机转速称标定转速。发动机名称牌上标明的功率就是标定功率。

标定功率是根据发动机用途、使用特点以及连续运转时间来确定的, 各个国家有所不同, 我国内燃机功率标定分以下 4 级 (见表 1-1-6)。

表 1-1-6 我国内燃机功率标定

分 级	含 义	应 用
15 min 功率	在标准环境条件下, 内燃机能连续稳定运转 15 min 的最大有效功率	汽车等
1 h 功率	在标准环境条件下, 内燃机能连续稳定运转 1 h 的最大有效功率	工程机械、拖拉机等
12 h 功率	在标准环境条件下, 内燃机能连续稳定运转 12 h 的最大有效功率	部分拖拉机和电站等
持续功率	在标准环境条件下, 内燃机能长期连续稳定运转的最大有效功率	铁路机车、船舶和发电机组等

发动机还常用升功率 P_c 比较不同发动机的动力性能, 它是指发动机在标定工况下每升气缸工作容积所发出的有效功率。升功率越大, 发动机动力性能越好。

$$P_c = \frac{P_e}{V_s i} \quad (\text{kW/L})$$

(二) 经济性能指标

1. 燃油消耗率

发动机每发出 1 kW 有效功率, 在 1 h 内所消耗的燃油质量 (以 g 为单位), 称为燃油消耗率, 用 b_e 表示。可按下式计算

$$b_e = \frac{B}{P_e} \times 10^3 \quad \text{g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$$

式中 B ——发动机每小时消耗的燃油质量 (kg/h)；
 P_e ——发动机的有效功率 (kW)。

2. 有效热效率

燃料中所含的热量转变为有效功的比例称为有效热效率，用 η_e 表示。

$$\eta_e = \frac{W_e}{Q_1}$$

式中 W_e ——发动机有效功 (kJ)；
 Q_1 ——燃料中所含的热量 (kJ)。

当测得发动机有效功率 P_e 和每小时消耗的燃油质量 B 时，则

$$\eta_e = \frac{3.6 \times 10^3 P_e}{BH_u}$$

或
$$\eta_e = \frac{3.6 \times 10^6}{b_e Hu}$$

式中 Hu ——燃料低热值 (kJ/kg)。

现代汽车汽油机 η_e 值一般 0.30 左右，柴油机的 η_e 值为 0.40 左右。

(三) 运转性能指标

发动机的运转性能指标主要指排放指标、噪声、启动性能等。

1. 排放指标

发动机的排气中含有多种对人体有害的物质，主要有一氧化碳 (CO)、碳氢化合物 (HC)、氮氧化物 (NO_x)、二氧化硫 (SO_2)、醛类和微粒 (含碳烟) 等。其主要危害如表 1-1-7 所示。

表 1-1-7 发动机主要有毒排放及危害

有害排放	有害物特征	危 害
CO	无色、无臭、有毒气体	使人出现恶心、头晕、疲劳等缺氧症状，严重时窒息死亡
NO ₂	赤褐色带刺激性的气体	伤害心、肝、肾。与光化学反应形成臭氧和醛等
HC	刺激性的气体	破坏造血机能，造成贫血、神经衰弱，降低肺对传染病的抵抗力。与光化学反应形成臭氧和醛等
光化学烟雾	HC 与 NO _x 在阳光作用下所形成的烟雾，有刺激性	降低大气可见度，伤害眼睛、咽喉，影响植物生长
醛类	较强的刺激性臭味	伤害眼睛、上呼吸道、中枢神经
微粒	炭烟等	伤害肺组织
SO ₂	无色、刺激性气体	刺激鼻喉，引起咳嗽、胸闷、支气管炎等