

# 内燃机构造与原理

陆耀祖 主编

中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

内燃机构造与原理 / 陆耀祖主编. 北京: 中国建材工业出版社, 2004.1

ISBN 7-80159-538-6

I. 内... II. 陆... III. 内燃机 IV. TK4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 125097 号

内燃机构造与原理

陆耀祖 主编

出版发行: 中国建材工业出版社

地 址: 北京市西城区车公庄大街 6 号

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787 mm × 1092 mm 1/16

印 张: 25.625

字 数: 650 千字

版 次: 2004 年 1 月第 1 版

印 次: 2004 年 1 月第 1 次

印 数: 1~3000 册

书 号: ISBN 7-80159-538-6/TU·273

定 价: 38.00 元

# 前 言

本书是论述工程机械和汽车用内燃机构造与原理的专业书籍，也是高等院校相关专业的内燃机课程教材。

早在 1979 年，我们曾编写过一本建筑系统院校统编教材《柴油机构造与修理》（中国建筑工业出版社出版）。1986 年我们又根据当时新制定的建筑系统院校内燃机课教学大纲，编写了《内燃机构造与原理》统编教材（中国建筑工业出版社出版）。这两本教材采用的院校很多，其中《内燃机构造与原理》于 1992 年被评为建设部优秀教材。后来由于出版方面的原因，一直未编写新的教材。从 1986 年至今，已过去十几年时间。这期间工程机械和汽车用内燃机工业发展很快，大量新的结构和理论涌现，不少有关内燃机的标准和规范也已更新。这次编写本书，仍沿用 1986 年建工版《内燃机构造与原理》统编教材的书名和框架，章节仅作了少量变动。但是，教材内容已经全面更新。本书将力求反映上世纪 90 年代以来工程机械和汽车用内燃机的最新结构与理论，以面向 21 世纪。

本书将内燃机构造和原理合并成一册编写。书中每一部分均以理论为先导，然后再深入分析相应的构造。全书内容主要包括：内燃机发展简史、内燃机热力循环、性能指标、充量更换、主要机构和系统、混合气形成与燃烧、燃料供给与调节、内燃机特性、增压技术、噪声控制与排气净化等。本书采用我国高校动力机械及工程专业统一规定的内燃机专业名词术语符号。

本书主要供建筑系统院校机械设计与制造及其自动化专业本科生作为内燃机课教材，也可作为车辆工程等专业的内燃机课教学用书。同时也适合从事内燃机工作的科技人员阅读参考。

本书由西安建筑科技大学机电工程学院陆耀祖教授主编。参加编写工作的有陆耀祖（绪论、第二章、第五章、第六章、第七章、第八章、第十七章）、王晓云（第十二章、第十三章、第十五章、第十六章）、东亚斌（第九章、第十章、第十四章）、王宏儒（第一章、第三章、第四章、第十一章）。西安交通大学能源与动力工程学院周龙保教授对全书进行了审阅和修改，为提高本书质量作出了宝贵的贡献，在此表示衷心的感谢。

编者

2003 年 11 月

# 主要符号表

$a$ ——加速度	$T_c$ ——压缩终点温度
$B$ ——每小时耗油量	$T_0$ ——大气温度
$b_e$ ——有效燃油消耗率	$T_r$ ——排气终点温度
$b_i$ ——指示燃油消耗率	$T_{tq}$ ——转矩
$c$ ——声速	$T_z$ ——循环最高温度
$c_p$ ——比定压热容	$V$ ——容积
$c_v$ ——比定容热容	$V_c$ ——压缩容积(燃烧室容积)
$D$ ——气缸直径	$V_L$ ——内燃机排量
$F$ ——作用力	$V_s$ ——气缸工作容积
$F_j$ ——往复惯性力	$v$ ——速度, 比容(比质量容积)
$F_r$ ——旋转惯性力	$v_m$ ——活塞平均速度
$f$ ——频率	$W$ ——功
$g_b$ ——每循环供油量	$W_i$ ——指示功
$H_u$ ——燃料低热值	$\alpha$ ——空燃比
$i$ ——气缸数	$\delta$ ——后期膨胀比
$k$ ——绝热指数	$\delta_1$ ——瞬时调速率
$K_n$ ——转速适应性系数	$\delta_2$ ——稳定调速率
$m$ ——质量	$\epsilon$ ——压缩比
$n$ ——转速	$\eta_{et}$ ——有效热效率
$P_e$ ——有效功率	$\eta_{it}$ ——指示热效率
$P_i$ ——指示功率	$\eta_b$ ——绝热压缩效率
$P_L$ ——升功率	$\eta_m$ ——机械效率
$P_m$ ——机械损失功率	$\eta_s$ ——扫气效率
$p$ ——压力	$\eta_t$ ——理论循环热效率
$p_a$ ——进气终点压力	$\theta_{fi}$ ——喷油提前角
$p_b$ ——增压压力	$\theta_{fs}$ ——供油提前角
$p_c$ ——压缩终点压力	$\theta_{ig}$ ——点火提前角
$p_{mec}$ ——平均有效压力	$\lambda_p$ ——压力升高比
$p_{mi}$ ——平均指示压力	$\pi_b$ ——增压比
$p_{mm}$ ——平均机械损失压力	$\rho$ ——初期膨胀比, 密度
$p_0$ ——大气压力	$\tau$ ——冲程数
$p_t$ ——理论循环平均压力	$\tau_i$ ——滞燃期(ms)
$p_z$ ——循环最高压力	$\phi_a$ ——过量空气系数
$Q$ ——热量	$\phi_c$ ——充量系数
$R$ ——曲柄半径, 气体常数	$\phi_r$ ——残余废气系数
$S$ ——活塞行程, 焓	$\phi_{tq}$ ——转矩储备系数
$T$ ——热力学温度	$\varphi$ ——曲轴转角
$T_a$ ——进气终点温度	$\varphi_i$ ——滞燃期(°CA)
$T_b$ ——膨胀终点温度, 增压器出口温度	

# 目 录

绪论.....	1
第一章 内燃机的基本工作原理及总体构造.....	8
第一节 内燃机的基本结构及术语.....	8
第二节 四冲程内燃机的工作原理.....	9
第三节 二冲程内燃机的工作原理 .....	12
第四节 内燃机的总体构造 .....	14
习题与思考题 .....	19
第二章 内燃机热力循环 .....	20
第一节 内燃机的理论循环 .....	20
第二节 内燃机的实际循环 .....	28
第三节 内燃机热平衡 .....	30
习题与思考题 .....	32
第三章 内燃机的性能指标 .....	33
第一节 指示指标 .....	33
第二节 有效指标 .....	36
第三节 机械损失 .....	41
习题与思考题 .....	44
第四章 曲柄连杆机构 .....	46
第一节 曲柄连杆机构的运动规律 .....	46
第二节 曲柄连杆机构的受力分析 .....	48
第三节 内燃机运转平稳性和惯性力平衡 .....	52
第四节 气缸体-曲轴箱组.....	60
第五节 活塞连杆组 .....	67
第六节 曲轴飞轮组 .....	79
习题与思考题 .....	87
第五章 内燃机换气过程与配气机构 .....	89
第一节 四冲程内燃机的换气过程 .....	89
第二节 内燃机的充量系数及其影响因素 .....	93
第三节 提高充量系数的措施 .....	97

第四节	进气管的动态效应.....	100
第五节	配气机构.....	102
第六节	进、排气系统.....	117
第七节	可变进气技术.....	122
第八节	二冲程内燃机的换气过程.....	125
	习题与思考题.....	128
<b>第六章</b>	<b>燃料及燃烧基本理论.....</b>	<b>130</b>
第一节	燃料.....	130
第二节	燃烧基本原理.....	136
	习题与思考题.....	144
<b>第七章</b>	<b>柴油机混合气的形成与燃烧.....</b>	<b>145</b>
第一节	柴油机混合气形成的特点和基本方式.....	145
第二节	柴油的喷射雾化.....	146
第三节	柴油机的燃烧过程.....	149
第四节	柴油机燃烧室.....	153
	习题与思考题.....	162
<b>第八章</b>	<b>柴油机燃油系统.....</b>	<b>163</b>
第一节	柴油机燃油系统的组成.....	163
第二节	喷油器.....	164
第三节	柱塞式喷油泵.....	168
第四节	转子分配式喷油泵.....	181
第五节	调速器.....	185
第六节	P-T 燃油系统.....	200
第七节	柴油机燃油系统的附属设备.....	206
第八节	电控柴油喷射系统.....	210
	习题与思考题.....	215
<b>第九章</b>	<b>汽油机混合气的形成与燃烧.....</b>	<b>216</b>
第一节	汽油机混合气的形成及燃烧过程.....	216
第二节	汽油机燃烧室.....	221
	习题与思考题.....	225
<b>第十章</b>	<b>汽油机燃油系统.....</b>	<b>226</b>
第一节	化油器式燃油系统的组成.....	226
第二节	汽油机各种工况对混合气成分的要求.....	230
第三节	化油器构造.....	233
第四节	汽油喷射式燃油系统.....	248

第五节 电子控制汽油喷射系统的基本类型.....	264
习题与思考题.....	269
第十一章 润滑系统.....	271
第一节 润滑系统的功用及润滑方式.....	271
第二节 润滑油.....	272
第三节 润滑油路.....	274
第四节 润滑系统的主要部件.....	277
第五节 曲轴箱通风.....	284
习题与思考题.....	286
第十二章 冷却系统.....	287
第一节 冷却系统的功用及冷却方式.....	287
第二节 水冷系统.....	287
第三节 风冷系统.....	294
习题与思考题.....	296
第十三章 起动装置.....	297
第一节 起动条件和起动方式.....	297
第二节 电动机起动装置.....	299
第三节 柴油机的起动辅助装置.....	302
习题与思考题.....	305
第十四章 汽油机点火系统.....	307
第一节 电源设备.....	308
第二节 传统点火系统.....	315
第三节 半导体点火系统.....	324
第四节 微机控制点火系统.....	333
习题与思考题.....	338
第十五章 内燃机特性.....	339
第一节 内燃机的工况.....	339
第二节 负荷特性.....	340
第三节 速度特性.....	343
第四节 调速特性.....	347
第五节 万有特性.....	350
第六节 内燃机的功率标定及大气修正.....	353
习题与思考题.....	355

第十六章	内燃机增压	357
第一节	内燃机增压的基本概念	357
第二节	废气涡轮增压器	359
第三节	废气涡轮增压系统的选择	364
第四节	增压内燃机的性能	367
第五节	汽油机增压技术	371
	习题与思考题	374
第十七章	内燃机的噪声控制和排气净化	376
第一节	内燃机噪声控制	376
第二节	内燃机排气净化	383
第三节	内燃机排放的测量及法规	391
	习题与思考题	400
	参考文献	401

# 绪 论

## 一、内燃机发展简史

早在 1700 年，英国人纽卡姆就制成了蒸汽机。1763 年英国人詹姆斯·瓦特（James Watt）改良了纽卡姆蒸汽机，使蒸汽机进入了实用阶段，这一重大发明在当时促成了欧洲的工业革命。但是，由于蒸汽机存在着热效率低、结构笨重、移动不方便及操作麻烦等缺点，因而逐渐不能适应生产发展的需要。

1876 年德国工业家尼古拉斯·奥托（Nicolaus A. Otto）创制了按等容燃烧，用电火花点火的四冲程煤气机，其功率为 4 马力，压缩比为 2.5，这种发动机的热效率提高到了 14%，这是世界上第一台按四冲程循环工作的内燃机。但是，由于煤气机必须使用气体燃料，而当时气体燃料的来源比较困难，这就阻碍了煤气机的进一步发展。

1885 年德国人戈特利布·戴姆勒（Gottlieb Daimler）仿照四冲程煤气机的工作原理制成了第一台汽油机，并于 1886 年使第一台用汽油机驱动的汽车问世。与此同时，德国工程师卡尔·奔驰（Karl Benz）也于 1886 年 1 月 20 日向德国帝国专利局申请了他发明的汽车专利，同年 11 月 2 日专利局批准了他的发明，并颁发了专利证书。因此，奔驰和戴姆勒两人是世界上公认的汽车发明人。由于汽油机具有轻小价廉、运转平稳及起动、使用简便等优点，便迅速在运输车辆上得到了广泛应用。

接着在 1890 年英国的克拉克（Dugald Clerk）和罗伯逊（James Robson）、德国的卡尔·奔驰（Karl Benz）成功地发明了二冲程内燃机。二冲程内燃机与四冲程内燃机相比，具有较高的单位容积功率和较均匀的扭矩，并且结构简单、使用维修方便；但是它的燃油及润滑油消耗量较高，冷却较困难和耐用性较差。目前二冲程和四冲程内燃机在不同的领域中都得到了广泛的应用。

为了研制使用廉价燃料的发动机，并进一步提高发动机的热效率，1892 年德国工程师鲁道夫·狄塞尔（Rudolf Diesel）首先提出了柴油机的工作原理。他在发明专利中写道：“在气缸中的纯空气将被活塞强烈地压缩，致使它所产生的温度远超过所使用的燃料的自然温度，而燃料的喷入气缸是在活塞越过上止点之后进行的……”。一般说来，现代的柴油机基本上是按照这一原理工作的。最初，狄塞尔曾试用煤粉做燃料，力图实现等温燃烧过程，即具有最高热效率的卡诺循环来获得尽可能好的经济性，但是试验失败了。后来他继续对发动机进行研究，改用煤油作燃料，采用了较高的压缩比和压缩着火方式，并将等温燃烧过程改为等压燃烧过程，终于在 1897 年研制成了世界上第一台柴油机（当时为煤油机）。

早期柴油机的燃料是靠压缩空气将其喷入气缸的。1922 年德国的罗伯特·波许（Robert Bosch）公司研制出燃料机械喷射装置。此后，这种机械喷油装置就完全代替了燃料的空气喷射，这就给柴油机在交通运输中的广泛应用提供了可能性，从此，柴油机开始了迅速的发展。

柴油机增压的设想早在 1892 年鲁道夫·狄塞尔发表柴油机理论时就提出来了，当时他指

出：“在单缸机上安装增压泵和进气室，这样改变了进气室中的空气压力，就能改变输出功率”。1911~1914年瑞士工程师艾尔弗雷德·比希（Alfred Buchi）首先提出柴油机废气涡轮增压的理论，并于1915年进行了试验。1925年他又以“脉冲增压”获得瑞士专利。1926年废气涡轮增压技术开始用于四冲程柴油机，1942年以后在低速、船用二冲程柴油机上陆续采用。增压技术可以有效地提高柴油机的平均有效压力，从而大幅度地提高柴油机的有效功率。与此同时，柴油机的经济性和废气污染也可得到明显地改善。目前，大型低速二冲程柴油机已全部采用涡轮增压，中速和高速大功率柴油机绝大多数采用涡轮增压，载重汽车和工程机械柴油机则越来越多地采用了涡轮增压技术。

内燃机自发明以来，一直把提高动力性，改善经济性以及提高可靠性和耐久性作为努力的目标，不断地进行研究改进。但是，随着车用内燃机生产量和保有量的迅速增加，汽车对环境的污染越来越严重。1961年美国开始规定轿车的排气标准，1970年美国加利福尼亚州决定对载重卡车用柴油机排放的一氧化碳、碳氢化合物和氮氧化物从1973年和1975年起分两个阶段进行限制，接着在欧洲、日本和我国都相应制定了汽车排放法规，并且这些法规将越来越严格。此外，由于从1973年10月开始，石油输出国大幅度地提高石油价格，从而引起各国对发动机燃油经济性的重视。为了减少内燃机对日益短缺的石油基燃料的依赖，各国正在进行内燃机燃用代用燃料的研究工作，以逐步取代汽油和柴油，如燃用天然气、甲醇、乙醇、合成汽油、合成柴油以及二甲基醚（ $\text{CH}_3\text{OCH}_3$ ）等。这些严峻的问题给全世界的内燃机研究者和制造公司提出了新的要求，使内燃机传统的研究目标发生了根本性的变化。除了继续提高其动力性、可靠性、耐久性外，主要的研究目标将是净化废气，降低噪声，降低燃油消耗率和采用多种燃料。

## 二、内燃机的优缺点

与其他热机相比，内燃机的优点是：

1. 热效率高。即运转经济性好，燃油消耗率低，特别是在部分负荷运行时更为显著。目前汽油机的有效热效率为30%~35%，而柴油机的有效热效率已达46%，是所有热机中热效率最高的一种。

2. 功率和转速范围宽广。现代汽油机最小功率为0.59 kW，而柴油机的最大功率已达35 328 kW；大型低速柴油机的转速只有100~200 r/min，而小型汽油机的转速可达10 000 r/min以上，故适用范围大。

3. 结构紧凑，比重量（内燃机重量与其标定功率的比值）较小，便于移动。车用和工程机械用柴油机的比重量可达3.4~4.7 kg/kW，而车用汽油机和军用高速柴油机的比重量有的可达1.36 kg/kW，这对于移动式动力装置特别有利。

4. 起动迅速，操作简便，并能在起动后很快达到全负荷运行。

缺点是：

1. 对燃料要求比较高。高速内燃机目前主要燃用的仍然是汽油或轻柴油，并且对燃料的清洁程度要求严格。在气缸内部难以使用劣质燃料或固体燃料。

2. 由于不能消除往复运动质量，因而振动较大，且转速难以进一步提高。

3. 低速时转矩小，内燃机动力机械一般都需配备变速装置。

4. 排气污染和噪声引起公害。内燃机应用在国民经济的各个领域，其产量和保有量

极大，对环境的污染严重。

### 三、内燃机在国民经济中的应用

内燃机自 19 世纪后期出现以来，经过一百多年来的不断研究和改进，已发展到相当完善的程度，在动力机械中占有极其重要的地位，它广泛地应用在国民经济和军事装备的各个领域中。

#### 1. 航空

在第二次世界大战结束以前，飞机上一直使用往复式内燃机。目前，只有私人飞机、教练飞机、直升飞机和其他轻型飞机还使用往复式内燃机。至于民航飞机，几乎都改用涡轮螺旋桨或喷气式发动机，而军用飞机则已全部改用喷气式发动机。

#### 2. 农业

随着农业机械化的迅速发展，拖拉机及农田作业机械、排灌机械、农副产品加工机械、中小渔船、农船和林牧机械都大量使用内燃机作动力。

#### 3. 车辆与机车

对于轿车和载重汽车，内燃机几乎是惟一的动力，尽管近些年来电动汽车已取得了相当的进展，但把它作为车辆动力，目前还处于试验阶段。

铁路机车现在全部是电力机车或内燃机车。由于电力机车所需的电力网建设费用昂贵，故一般线路主要使用内燃机车。

#### 4. 矿山、建筑及工程机械

在矿山机械、建筑和工程机械中，大多用内燃机作动力，自行式工程机械则全部采用内燃机作动力。

采用内燃机为动力的工程机械主要有：

- (1) 起重机械，如汽车起重机、轮胎起重机、履带起重机等；
- (2) 挖掘机械，如单斗挖掘机、多斗挖掘机、多斗挖沟机、隧道挖掘机等；
- (3) 铲土运输机械，如铲运机、平地机、推土机、装载机、翻斗车等；
- (4) 压实机械，如压路机等；
- (5) 路面机械，如道路翻松机、水泥（沥青）混凝土摊铺机、沥青喷洒机、混凝土振实机等；
- (6) 桩工机械，如柴油打桩机等；
- (7) 混凝土机械，如混凝土搅拌运输车、汽车式混凝土输送泵等。

#### 5. 船舶

内河船舶全部采用内燃机作动力。远洋客货轮和油轮则采用汽轮机或柴油机作动力。第二次世界大战后，由于船用柴油机废气涡轮增压技术的不断进步以及成功地解决了燃烧重油的问题，使船用柴油机的经济性大大得到改善。近些年来，在远洋客货轮和油轮上，柴油机动力已占有明显的优势。

#### 6. 固定电站

对功率超过 100 MW 的大型固定电站来说，汽轮机占主导地位。原子能电站也是利用汽轮机来发电的。但是，对中小型固定式或移动式电站来说，柴油发电机组是十分经济的，应用广泛。

## 7. 军事装置

坦克、装甲车、重武器牵引车以及各种水面舰艇和潜水艇等，内燃机都是最主要的动力。

# 四、内燃机的分类

把燃料燃烧时所放出的热能转换成机械能的机器称为热机。

热机可分为外燃机和内燃机两大类。燃料燃烧的热能通过其他介质转变为机械能者，称为外燃机，如蒸汽机和汽轮机等；燃料在发动机气缸内部进行燃烧，工质被加热并膨胀做功，直接将所含的热能转变为机械能者称为内燃机，如汽油机、柴油机、煤气机和燃气轮机等。其中以汽油机和柴油机应用最为广泛，通常所说的内燃机多是指这两种发动机。

内燃机按其主要运动机构的不同，分为往复式内燃机和旋转式内燃机两大类，其中往复式内燃机在数量上占统治地位。所谓旋转式内燃机是本世纪 50 年代才出现的新型发动机，它没有往复式内燃机的往复运动机构和气门机构，结构简单，体积小，重量轻，转速高，单位气缸容积的有效功率大，振动小，运转平稳，而且制造成本低。世界上一些工业发达国家经过长期的研究试制工作，已小批量投入生产，主要适用于高速场合，如小客车、竞赛汽车、赛艇、小型飞机和小型军用发电机组等方面。我国对这种发动机也进行了大量的研制工作，并取得了一定的成果。由于旋转式内燃机还存在着不少问题，所以目前尚未普遍应用。

常用的往复式内燃机分类方法如下：

### 1. 按燃料分类

有柴油机、汽油机、煤气（包括各种代用燃料）机等。

### 2. 按一个工作循环的行程数分类

有四冲程内燃机、二冲程内燃机。

### 3. 按燃料着火方式分类

有压燃式内燃机、点燃式内燃机。

### 4. 按冷却方式分类

有水冷式内燃机、风冷式内燃机。

### 5. 按进气方式分类

有自然吸气式内燃机、增压式内燃机。

### 6. 按气缸数目分类

有单缸内燃机、多缸内燃机。

### 7. 按气缸排列分类

有直列式内燃机、V 型内燃机、卧式内燃机、对置气缸内燃机等（图 0-1）。

### 8. 按转速或活塞平均速度分类

有高速内燃机（标定转速高于 1000 r/min 或活塞平均速度高于 9 m/s）；中速内燃机（标定转速 600~1000 r/min 或活塞平均速度 6~9 m/s）；低速内燃机（标定转速低于 600 r/min 或活塞平均速度低于 6 m/s）。

### 9. 按用途分类

有农用、汽车用、工程机械用、拖拉机用、铁路机车用、船用及发电用等内燃机。

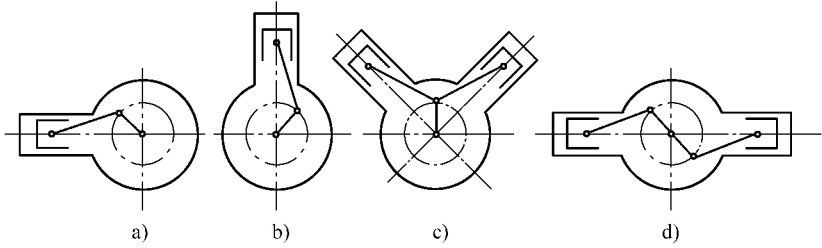


图 0-1 气缸排列形式

## 五、工程机械和汽车用内燃机的特点

### 1. 工程机械用内燃机的特点

(1) 工程机械的施工场地往往是凹凸不平的，使内燃机工作时受到很大的冲击和振动，因此机体要有较大的刚度和强度，附件应可靠地连结。为了减小底盘变形对内燃机的影响，常在内燃机与底盘之间采用三点支承或弹性支承的连接方式。

(2) 工程机械经常要在倾斜地面上工作，内燃机应能保证在前后、左右倾斜  $30^{\circ} \sim 35^{\circ}$  的情况下可靠地运转，因此对润滑、冷却和燃油供给等系统要有相应的措施。

(3) 施工场地的空气含尘量很大（可达  $1.5 \sim 2.0 \text{ g/m}^3$ ），内燃机不但要配备效率高、容量大的空气滤清器，还应配备高效率的燃油和机油滤清器，以保证内燃机有较长的使用寿命。

(4) 工程机械使用的地区广，环境气温的变化幅度大，所以对燃油、机油、冷却系统和起动方法应作特殊的考虑。

(5) 工程机械在隧道或矿井工作时，内燃机应有严格的废气净化和降低噪声的措施；在水中工作时，要采用防水的密封结构。

(6) 工程机械在工作时，负荷的变化率很大。为使工程机械在任何转速下均能稳定运转，内燃机需要使用性能良好的全程式调速器。

(7) 工程机械内燃机全负荷作业时间所占的比例较大。此外在工作时还经常承受突加负荷，而且在某些情况下还需在超负荷下工作。因此扭矩储备要大，工作转速范围要宽，其扭矩储备系数一般不应小于 15%，转速适应性系数不应小于 1.4。

(8) 一定用途的工程机械内燃机在结构布置上有其特殊的要求。如推土机及装载机希望内燃机在飞轮前有侧向动力输出装置（输出 50%~70% 功率），以便提升及转向等机构的取力；液压传动的工程机械则希望内燃机前端（自由端）也能输出部分功率以带动液压泵；液力传动的工程机械其液力变矩器用油的冷却要由内燃机冷却系统来完成。

由以上特点可知，工程机械内燃机是在十分苛刻的使用条件下工作的，在设计和制造时必须对内燃机整体性能以及零部件的附属设备进行充分地考虑，采用相应措施研制专用的工程机械内燃机系列，或者由车用内燃机变型使用，以满足各种工程机械的要求。

由于工程建设规模不断扩大，而建设周期要求缩短，目前工程机械内燃机正在向大型化、高速化和增压化发展。与此同时，还要求不断提高其可靠性，延长使命寿命，降低燃油消耗。此外，降低工程机械内燃机的噪声和排气污染也必须予以足够的重视。

### 2. 汽车用内燃机的特点

(1) 为提高汽车的机动性和有效载重量，其内燃机的强化程度高，即要求高速、升功率大、比重量小、结构紧凑。因此，常采用涡轮增压、短行程、短活塞、少活塞环、顶置凸轮轴和多气门机构以及采用大量轻金属零部件等。

(2) 汽车要求良好的加速性能，内燃机需具备足够的后备功率和优良的加速系统，这对小轿车内燃机尤为重要。

(3) 汽车在城市中行驶时，起动、加减速、怠速和制动频繁，其内燃机除了要有良好的加速性能外，还应有良好的起动性能，怠速应低而稳定。

(4) 汽车以最大功率工作的时间很短，大部分时间以部分负荷运转，故要求内燃机中、低负荷及常用转速范围内的耗油率低。

(5) 汽车的社会保有量极大，且与人们的工作和生活关系密切，其内燃机的排放和噪声要低，必须符合国家的环保法规，而且这些法规越来越严格。为此，目前车用汽油机广泛采用电子控制的汽油喷射加三效催化转换器技术；而柴油机则常采用改进燃烧室、高压喷射、增压或增压中冷、废气再循环和排气后处理等技术。

## 六、内燃机产品名称和型号编制规则

为了便于内燃机的生产管理和使用，我国对内燃机名称和型号编制规则重新审定并颁布了国家标准 GB/725—1991。标准的主要内容如下：

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、双（多种）燃料发动机等。

2. 内燃机型号由阿拉伯数字、汉语拼音字母和 GB 1883 中关于气缸布置所规定的象形字符号组成。

3. 内燃机型号由四部分组成。

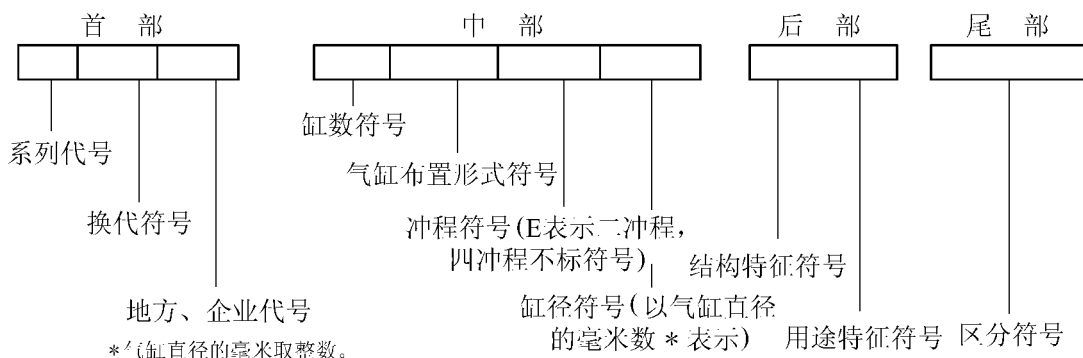
(1) 首部：包括产品系列代号、换代符号和地方、企业代号，由制造厂根据需要自选相应字母表示，但需经行业标准化归口单位核准、备案。

(2) 中部：由缸数符号、气缸布置形式符号、冲程符号和缸径符号组成。

(3) 后部：由结构特征符号和用途特征符号组成。

(4) 尾部：区分符号。同一系列产品因改进等原因需要区分时，由制造厂选用适当符号表示。后部与尾部可用“-”分隔。

型号表示方法：



气缸布置形式符号

符号	气缸布置形式
无符号	多缸直列及单缸
V	V 型
P	平卧形

结构特征符号

符号	结构特征
无符号	水冷
F	风冷
Z	增压
Z <sub>L</sub>	增压中冷
D <sub>Z</sub>	可倒转
N	凝气冷却
S	十字头式

用途特征符号

符号	用途
无符号	通用型及固定动力
T	拖拉机
M	摩托车
G	工程机械
Q	汽车
J	铁路机车
D	发电机组
C	船用主机, 右机基本型
C <sub>Z</sub>	船用主机, 左机基本型
Y	农用运输车
L	林业机械

型号示例：

### 1. 柴油机

(1) YZ6102Q——六缸直列、四冲程、缸径 102 mm、水冷、汽车用 (YZ 为扬州柴油机厂代号)；

(2) 12V135ZG——12 缸、V 型、四冲程、缸径 135 mm、水冷、增压、工程机械用；

(3) 12VE230ZC<sub>Z</sub>——12 缸、V 型、二冲程、缸径 230 mm、水冷、增压、船用主机、左机基本型。

### 2. 汽油机

(1) 1E65F——单缸、二冲程、缸径 65 mm、风冷、通用型；

(2) EQ6100Q-1——六缸、直列、四冲程、缸径 100 mm、水冷、汽车用，区分符号 1 表示第一种变型产品 (EQ 为第二汽车制造厂代号)；

(3) BJ492QA——四缸、直列、四冲程、缸径 92 mm、水冷、汽车用，区分符号 A 表示变型产品 (BJ 为北京汽车制造厂代号)。

## 习题与思考题

### 1. 解释名词术语：

(1) S195 柴油机；(2) TJ376Q 汽车机；(3) 3E150C-2 柴油机；(4) 8V120F 柴油机；(5) YC6108ZG-2 柴油机。

2. 与其他热机比较，内燃机有什么优缺点？

3. 工程机械内燃机有什么特点？用内燃机作动力的工程机械有哪些？

4. 车用内燃机有什么特点？

5. 内燃机是如何分类的？

# 第一章 内燃机的基本工作原理及总体构造

## 第一节 内燃机的基本结构及术语

### 一、基本结构

单缸往复活塞式内燃机结构的示意图如图 1-1 所示，其主要由排气门 1、进气门 2、气缸盖 3、气缸 4、活塞 5、活塞销 6、连杆 7 和曲轴 8 等组成。

气缸 4 内装有活塞 5，活塞通过活塞销 6、连杆 7 与曲轴 8 相连接。活塞在气缸内作上下往复运动，通过连杆推动曲轴转动。为了吸入新鲜空气和排出废气，在气缸盖上设有进气门 2 和排气门 1。

### 二、基本术语

#### 1. 上止点、下止点及活塞行程

从图 1-1 中可以看出活塞在气缸中上下移动一个行程，曲轴旋转一周。活塞顶端离曲轴旋转中心最远处，称为上止点。活塞顶端离曲轴中心最近处，称为下止点。上、下止点间的距离  $S$  称为活塞行程。连杆轴颈中心到曲轴轴颈中心的距离  $R$  为曲柄半径。对于气缸中心线通过曲轴中心线的内燃机，其活塞行程等于曲轴半径的两倍，即  $S = 2R$ 。

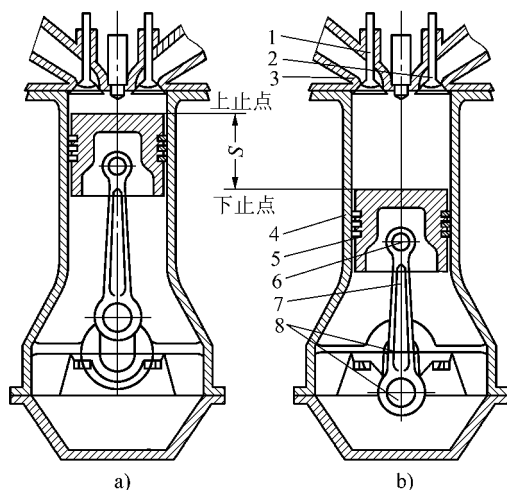


图 1-1 往复活塞式内燃机机构简图

1—排气门；2—进气门；3—气缸盖；4—气缸；  
5—活塞；6—活塞销；7—连杆；8—曲轴

#### 2. 气缸工作容积

上、下止点所包容的气缸容积称为气缸工作容积，用  $V_s$  表示。

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

式中  $D$ ——气缸直径 (mm);

$S$ ——活塞行程 (mm)。

### 3. 内燃机排量

内燃机所有气缸工作容积的总和称为内燃机排量, 用  $V_L$  表示。

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

式中  $i$ ——气缸数;

$V_s$ ——气缸工作容积 (L)。

内燃机排量表示内燃机的作功能力, 在内燃机其他参数相同的前提下, 内燃机排量越大内燃机所发出的功率就越大。

### 4. 燃烧室容积

活塞位于上止点时的气缸容积称为燃烧室容积, 也称压缩容积, 用  $V_c$  表示。

### 5. 气缸总容积

气缸工作容积与燃烧室容积之和称为气缸总容积, 用  $V_a$  表示。

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

### 6. 压缩比

气缸总容积与燃烧室容积之比称为压缩比, 用  $\epsilon$  表示。

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

压缩比表示气缸中气体被压缩的程度。

### 7. 工况

内燃机在某一时刻的运行状况简称为工况。以该时刻内燃机输出的有效功率或转矩及其相应的曲轴转速表示。

## 第二节 四冲程内燃机的工作原理

对于往复式活塞式内燃机, 曲轴每转两圈, 活塞往复运动四次完成进气、压缩、作功、排气一个工作循环的称为四冲程内燃机。四冲程内燃机每一个活塞行程内只进行一个过程。因此, 活塞的行程分别用四个过程命名。

内燃机气缸内的气体压力随曲轴转角或气缸容积变化的曲线称为示功图, 是用示功器在实验中直接测得的。由示功图可以获得许多重要数据, 如气缸内的瞬时压力和温度, 最高爆发压力, 着火时刻, 燃烧终点, 燃烧规律等, 是分析内燃机工作过程好坏的原始数据 (图 1-3、图 1-5)。

### 一、单缸四冲程柴油机的工作原理

#### 1. 进气过程 (图 1-2a)

活塞从上止点向下止点移动, 这时在配气机构的作用下进气门打开, 排气门关闭。由于活塞的下移, 气缸内容积增大, 压力降低, 新鲜空气经滤清器、进气管不断吸入气缸。由于