



普通高等教育“十五”国家级规划教材

# 内燃机学

第2版

周龙保 主 编  
刘巽俊 高宗英 副主编

普通高等教育“十五”国家级规划教材

# 内 燃 机 学

第 2 版

主 编	周龙保	
副主编	刘巽俊	高宗英
参 编	刘圣华	黄佐华
主 审	蒋德明	刘巽俊



机械工业出版社

本书讲述内燃机工作过程的基本理论及内燃机动力学和概念设计。全书共分十一章,内容包括内燃机的工作指标、工作循环及其数值计算方法、充量更换、混合气的形成与燃烧、代用燃料、燃料供给与调节、污染物的生成与控制、使用特性与匹配以及内燃机动力学及概念设计等。

本书为热力发动机专业本科生教材,也可供从事内燃机设计、制造、运行和研究开发的工程技术人员和科研部门的技术人员参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

内燃机学/周龙保主编. —2 版. —北京:机械工业出版社, 2005. 1  
普通高等教育“十五”国家级规划教材  
ISBN 7-111-07159-X

I. 内... II. 周... III. 内燃机 - 高等学校 - 教材 IV. TK4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 096776 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: 邓海平 责任编辑: 蔡开颖 版式设计: 张世琴  
责任校对: 张 媛 封面设计: 姚 毅 责任印制: 李 妍  
北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行  
2005 年 1 月第 2 版第 1 次印刷  
787mm × 1092mm<sup>1</sup>/<sub>16</sub> · 22.5 印张 · 557 千字  
定价: 36.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换  
本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646  
68326294 68320718

封面无防伪标均为盗版

## 第2版前言

本书系原普通高等教育“九五”部级重点教材《内燃机学》（1999年5月机械工业出版社出版）的修订本，被国家列为“十五”规划教材。在修订时力求少而精，反映近五年来内燃机领域国内外最新成果与水平。

本书共分十一章，内容包括内燃机简史、中国内燃机工业发展简史、分类、典型结构、工作指标、工作循环及其数值计算、充量更换、混合气形成与燃烧、代用燃料、燃料供给与调节、污染物的生成与控制、使用特性与匹配、内燃机动力学、内燃机的概念设计等。本书主要供热力发动机专业本科生作为必修课教材，也可供从事内燃机设计、制造和研究、开发的工程技术人员和热力发动机专业研究生参考。

本书由西安交通大学能源与动力工程学院周龙保教授任主编，吉林大学汽车工程学院刘巽俊教授、江苏大学汽车工程学院高宗英教授任副主编。参加编写工作的有周龙保教授（第一、第二、第六章）、刘巽俊教授（第八、九、十、十一章）、高宗英教授（第七章）、西安交通大学能源与动力工程学院刘圣华教授（第三、四章）和黄佐华教授（第五章）。初稿完成后，由刘巽俊教授和蒋德明教授分别对第一、二、三、四、五、六、七章和第八、九、十、十一章进行了仔细的审核与修改，对提高本书的质量作出了宝贵的贡献。

本书的名词、术语、符号均按原全国高等工业学校动力工程专业指导委员会热力发动机专业小组根据国标、部标所作的统一规定执行。

本书引用了国内一些工厂、研究所、大专院校的产品图样、试验研究资料以及行业归口领导机构的报告和数据等，在此谨致深切的谢意。

本书涉及面广，编者水平有限，疏漏谬误之处在所难免，谨请使用本书的专家、读者批评指正。

**编者**

# 第1版前言

本书系根据全国高等工业学校动力工程专业教学指导委员会热力发动机专业小组第二次会议（1997年4月镇江会议）上18所高等院校通过的“内燃机学”编写大纲编写的。内容力求少而精，反映90年代内燃机领域国内外最新成果和水平，面向21世纪。

本书共分十二章，内容包括内燃机简史、分类、典型结构、工作指标、工作循环及其数值计算、充量更换、混合气形成与燃烧、燃料供给与调节、污染物形成与控制、特性与匹配，内燃机动力学、总体设计、主要零部件设计要点和内燃机的发展方向等。本书主要供热力发动机专业本科生作为必修课教材，也可供从事内燃机设计、制造和研究、开发的工程技术人员和热力发动机专业研究生参考。

本书由西安交通大学能源与动力工程学院周龙保教授任主编，吉林工业大学汽车工程学院刘巽俊教授、江苏理工大学汽车工程学院高宗英教授任副主编。参加编写工作的有周龙保教授（第一、二章）、刘巽俊教授（第七、九、十、十一章）、高宗英教授（第六章）、西安交通大学能源与动力工程学院黄佐华教授（第五、十二章）和刘传李副教授（第三、四、八章）。初稿完成后，由刘巽俊教授和蒋德明教授分别对第一、二、三、四、五、六、八、十二章和第七、九、十、十一章进行了仔细的审核与修改，对提高本书的质量作出了宝贵的贡献。

由于内燃机专业用书的名词符号还不很统一，在专业指导小组第三次会议（1998年8月呼和浩特会议）上，根据国标和部标对此作了一些统一规定。本书的名词术语符号按上述规定执行。

本书引用了国内一些工厂、研究所、大专院校的产品图样和试验研究资料，在此谨致深切的谢意。

本书涉及面广，编者才疏学浅，疏漏谬误之处在所难免，谨请读者批评指正。

**编者**

1998年10月

# 目 录

第 2 版前言	
第 1 版前言	
常用符号	
第一章 概论	1
第一节 内燃机简史	1
第二节 中国内燃机工业发展简史	3
第三节 内燃机的应用与分类	4
第四节 各种内燃机的典型结构	6
参考文献	14
第二章 内燃机的工作指标	16
第一节 示功图与指示性能指标	16
第二节 有效性能指标	19
第三节 机械损失与机械效率	26
第四节 排放指标	29
第五节 提高内燃机动力性能与经济性能 的途径	30
参考文献	32
思考题与习题	32
第三章 内燃机的工作循环	33
第一节 内燃机的理论循环	33
第二节 内燃机的燃料及热化学	35
第三节 内燃机的实际循环	40
第四节 内燃机工作过程的热力学模型	42
参考文献	47
思考题与习题	47
第四章 内燃机的换气过程	48
第一节 四冲程内燃机的换气过程	48
第二节 四冲程内燃机的换气损失	51
第三节 提高内燃机充量系数的措施	53
第四节 内燃机的增压	60
第五节 二冲程内燃机的换气	76
参考文献	80
思考题与习题	81
第五章 内燃机混合气的形成和 燃烧	82
第一节 内燃机缸内的气体流动	82
第二节 点燃式内燃机的燃烧	86
第三节 点燃式内燃机的燃烧室	103
第四节 压燃式内燃机的燃烧	112
第五节 压燃式内燃机的燃烧室	121
参考文献	131
思考题与习题	131
第六章 内燃机的代用燃料	133
第一节 发展代用燃料汽车(内燃机) 的重要性	133
第二节 内燃机的代用燃料	134
参考文献	144
思考题与习题	145
第七章 内燃机的燃料供给与调节	146
第一节 概述	146
第二节 柴油机燃料供给与调节系统 的结构、分类与发展	147
第三节 柴油机的燃料喷射过程	153
第四节 柴油机喷油泵评价指标和结构 参数的确定	162
第五节 柴油机喷油器的结构和参数 选择	173
第六节 柴油机的异常喷射现象	179
第七节 调速器工作特性及其与柴油 机的匹配	182
第八节 柴油机燃料供给与调节系统 的电子控制	194
第九节 点燃式内燃机燃料供给系统的 功能、分类与发展	202
第十节 电控汽油喷射系统	204
第十一节 气体燃料供给系统	217

参考文献 .....	226	参考文献 .....	284
思考题与习题 .....	227	思考题与习题 .....	284
<b>第八章 内燃机污染物的生成与控制</b> .....		<b>第十章 内燃机动力学</b> .....	286
<b>控制</b> .....	228	第一节 曲柄连杆机构运动学 .....	286
第一节 概述 .....	228	第二节 曲柄连杆机构受力分析 .....	287
第二节 污染物的生成机理和影响因素 .....	229	第三节 内燃机质量平衡 .....	291
第三节 内燃机的排放控制 .....	237	第四节 曲轴轴系的扭转振动 .....	298
第四节 内燃机的排气后处理 .....	253	参考文献 .....	305
第五节 排放法规 .....	261	思考题与习题 .....	305
参考文献 .....	266	<b>第十一章 内燃机的概念设计</b> .....	306
思考题与习题 .....	267	第一节 内燃机的设计要求 .....	306
<b>第九章 内燃机的使用特性与匹配</b> .....	268	第二节 内燃机类型的选择 .....	307
第一节 内燃机的工况 .....	268	第三节 内燃机基本参数的选择 .....	311
第二节 内燃机的负荷特性 .....	269	第四节 内燃机开发的程序与方法 .....	314
第三节 内燃机的速度特性 .....	271	第五节 内燃机主要零件设计要点 .....	317
第四节 内燃机的万有特性 .....	275	第六节 配气机构设计要点 .....	336
第五节 内燃机的功率标定及大气校正 .....	279	第七节 润滑系、冷却系与起动系 .....	349
第六节 内燃机与工作机械的匹配 .....	281	参考文献 .....	351
		思考题与习题 .....	351

# 常用符号

$A_a$ ——空气消耗量	kg/h, kg/s	$p_g$ ——排气背压	kPa
$B$ ——燃油消耗量	kg/h	$p_{de}$ ——进气终点压力	kPa
BDC——下止点		$p_{max}$ ——最高燃烧压力	MPa
$b_e$ ——有效燃油消耗率	g/(kW·h)	$p_{me}$ ——平均有效压力	MPa
$b_i$ ——指示燃油消耗率	g/(kW·h)	$p_{mi}$ ——平均指示压力	MPa
BSU——滤纸烟度		$p_{mm}$ ——平均机械损失压力	MPa
$C$ ——机油消耗量	kg/h	$q_m$ ——质量流量	kg/s
$c_p$ ——比定压热容	kJ/(kg·K)	$q_v$ ——体积流量	m <sup>3</sup> /s
$c_v$ ——比定容热容	kJ/(kg·K)	$S$ ——活塞行程	mm
$D$ ——气缸直径	mm	$T_a, t_a$ ——环境温度	K, °C
$dX/d\varphi$ ——燃烧率		$\Delta T_a, \Delta t_a$ ——充量进入气缸后的温升	K, °C
$dQ_B/d\varphi$ ——放热率	kJ/[ (°)(CA) ]	$T_{co}, t_{co}$ ——压缩终点温度	K, °C
$F_i$ ——示功图面积	cm <sup>2</sup>	$T_d, t_d$ ——进气温度	K, °C
$K$ ——传热系数	W/(m <sup>2</sup> ·K)	TDC——上止点	
$H_u$ ——燃料低热值	kJ/kg	$T_{ex}, t_{ex}$ ——膨胀终点温度	K, °C
$i$ ——气缸数		$T_{max}, t_{max}$ ——最高燃烧温度	K, °C
$\kappa$ ——等熵指数		$T_r, t_r$ ——排气温度	K, °C
$k$ ——热导率	W/(m·K)	$T'_r, t'_r$ ——残余废气温度	K, °C
$l_0$ ——化学计量空燃比		$T_{iq}$ ——转矩	N·m
$M_r$ ——元素的相对分子质量		$v_m$ ——活塞平均速度	m/s
$n$ ——发动机转速	r/min	$V_s$ ——气缸工作容积	L
$n_1$ ——压缩多变指数		$X$ ——燃烧百分率	
$n_2$ ——膨胀多变指数		$\alpha$ ——空燃比	
$P_e$ ——有效功率	kW	$\varepsilon_c$ ——几何压缩比	
$P_i$ ——指示功率	kW	$\varepsilon_{ee}$ ——有效压缩比	
$P_L$ ——升功率	kW/L	$\eta_{ei}$ ——有效热效率	
$P_m$ ——机械损失功率	kW	$\eta_{ii}$ ——指示热效率	
$p$ ——压力		$\eta_m$ ——机械效率	
$p_a$ ——环境压力	kPa	$\eta_s$ ——扫气效率	
$\Delta p_a$ ——进气系统流阻损失	kPa	$\theta_{\beta}$ ——喷油提前角	(°)(CA)
$p_b$ ——增压压力	MPa	$\theta_{\gamma}$ ——点火提前角	(°)(CA)
$p_{co}$ ——压缩终点压力	MPa	$\lambda$ ——曲柄连杆比	
$p_d$ ——进气压力	kPa	$\lambda_p$ ——压力升高比	
$p_{ex}$ ——膨胀终点压力	MPa	$\pi_b$ ——增压比	



# 内 燃 机 学

$\rho_0$ ——初始膨胀比

$\tau$ ——冲程数(四冲程  $\tau=4$ , 二冲程  $\tau=2$ )

$\tau_i$ ——滞燃期 ms

$\phi_a$ ——过量空气系数

$\phi_c$ ——充量系数

$\varphi_i$ ——滞燃期 ( $^{\circ}$ )(CA)

$\phi_r$ ——残余废气系数

$\phi_s$ ——扫气系数

$\phi_{\text{sq}}$ ——转矩储备系数

$\phi_s$ ——喷油持续角 ( $^{\circ}$ )(CA)

$\varphi$ ——曲轴转角 ( $^{\circ}$ )(CA)

$\varphi_c$ ——凸轮轴转角 ( $^{\circ}$ )(CaA)

$\Omega$ ——涡流比

# 第一章 概 论

## 第一节 内燃机简史

热机是将燃料中的化学能转变为机械功的机器。区别于外燃机，内燃机是燃料在机器内部燃烧而将能量释放做功的，它的工质在燃烧前是燃料与空气的混合气，在燃烧后则是燃烧产物。本书介绍的主要是点燃式发动机（汽油机，也能燃用其他燃料）和压燃式发动机（柴油机，也能燃用其他燃料）。燃气轮机也是内燃机的一种，但它的工作原理与汽油机和柴油机完全不同，因而不在本书讨论范围之内。由于内燃机的热效率高（是当今热效率最高的热力发动机）、结构简单、比质量（单位输出功率的质量）轻、移动方便，因而被广泛应用于交通运输（陆地、内河、海上和航空）、农业机械、工程机械和发电作为动力。

内燃机的出现和发明可以追溯到 1860 年，莱诺依尔（J. J. E. Lenoir, 1822 ~ 1900 年）首先发明了一种大气压力式内燃机，煤气和空气在活塞上的上半个行程被吸人气缸，然后被火花点燃，后半行程为膨胀行程，燃烧的煤气推动活塞下行膨胀做功。活塞上行时开始排气行程，如图 1-1 所示为大气压力式内燃机示功图。这种发动机在燃烧前没有压缩行程，热效率低于 5%，最大功率为 4.5kW，1860 ~ 1865 年共生产了约 5000 台。1867 年奥托（Nicolaus A. Otto, 1832 ~ 1891 年）和浪琴（Eugen Langen, 1833 ~ 1895 年）发明了一种更为成功的大气压力式内燃机。它利用燃烧所产生的缸内压力升高，在膨胀行程时加速一个自由活塞和齿条机构，它们的动量将使气缸内产生真空，然后大气压力推动活塞内行。齿条通过滚轮离合器与输出轴相啮合，输出功率。这种发动机热效率可达 11%，共生产了近 5000 台。

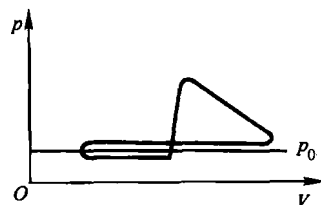


图 1-1 大气压力式内燃机示功图  
 $p_0$ —大气压力

为了克服莱诺依尔和他本人提出的这种大气压力式内燃机热效率低、质量大的缺点，奥托提出了一种四冲程循环的内燃机，即进气、着火前的压缩、燃烧膨胀与排气，他的四冲程的原型机于 1876 年投入运行，这种发动机的热效率提高到了 14%，而质量则减小了近 70%，从而有效地投入工业应用而形成了内燃机工业。至 1890 年，有 50 万台机器销往欧洲和美国。接着在 1890 年，英国的克拉克（Dugald Clerk, 1854 ~ 1913 年）和罗伯逊（James Robson, 1833 ~ 1913 年）、德国的卡尔·奔驰（Karl Benz, 1844 ~ 1929 年）成功地发明了二冲程内燃机，即在膨胀行程末期和压缩行程初期进行进气和排气行程。1892 年德国的工程师鲁道夫·狄塞尔（Rudolf Diesel, 1858 ~ 1913 年）提出了一种新型内燃机的专利，即在压缩终了将液体燃料喷入缸内，利用压缩终了气体的高温将燃料点燃，它可以采用大的压缩比和膨胀比，没有爆燃，热效率可以比当时其他的内燃机高一倍。这种构想在 5 年之后终于变成一个实际的机器，即压燃式发动机——柴油机。之后，学者们曾提出了各种各样回转式内燃机的结构方案，但一直到 1957 年才由汪克尔（F. Wankel）成功地试验了他发明的转子发动机。这种发动机通过多年的努力和发展，在解决

了密封与缸体震纹之后，也在一定领域（如赛车和军用小型发电机组等）获得了较好的应用。

燃料在发动机发展中起着重要的作用。最早用来产生机械功的是煤气，1900年之后，原油中的轻馏分油（汽油）成为商品，出现了各种各样将这种油料汽化并与空气混合的化油器。在1905年之前，为避免爆燃，压缩比用得较低（4），汽油的性能与供应都不存在问题，高挥发性的油料使发动机起动容易，在寒冷地区使用有较好的性能。在1907~1915年，汽油需求量增加了5倍。威廉·伯尔顿（William Burton, 1865~1954年）发明了将重油在压力下加热裂解成易挥发的轻馏分油的技术，从而大大提高了汽油的产量。但这种汽油沸点较高，使冷起动困难。由于在1912年发明了起动电动机，从而较好地解决了这一问题。

第一次世界大战以后，对爆燃问题有了进一步的理解，通用汽车公司发现了四乙铅的抗爆作用，1923年美国开始将它用来作为汽油的添加剂。尤金·荷德莱（Eugene Houdry）发明了催化裂化法，既提高了汽油的产量，同时使汽油获得越来越好的抗爆性，从而使发动机的压缩比不断增加，提高了发动机的动力性能与经济性能。1902年法国的路易斯·雷诺（Louis Renault）提出了增加缸内压力的发明专利，也就是后来被广泛接受的机械增压。1907年美国宾夕法尼亚的一家工厂试制成功了世界上第一台增压发动机，它采用了曲轴通过传动带驱动一个直径为8in（约203mm）的离心式压气机的机械增压方案。1915年，瑞士工程师阿尔弗雷德·波希（Alfred Buchi）将这种增压器的机械驱动改造成为发动机的排气涡轮驱动，这是第一台用于内燃机的涡轮增压器的雏形。第二次世界大战后，增压技术开始在压燃式发动机上得到广泛的应用，并逐步扩展到汽油机中。

近30年来，影响发动机设计和运行的主要因素是控制发动机对环境的污染。20世纪40年代在洛杉矶出现了由汽车排放物形成的空气污染事件后，1952年哈琴·史密特（A. J. Haagen Smit）阐明了光化学烟雾来自日照下的氮氧化合物和碳氢化合物所产生的化学反应，而氮氧化合物、碳氢化合物以及一氧化碳主要来自汽车排气，柴油机则是烟气微粒和氮氧化合物的主要来源。美国加州首先建立了汽车排放标准。20世纪60年代在美国，接着在欧洲、日本，相应确立了汽车排放标准，从而导致了汽油喷射、三效催化剂、无铅汽油的应用，以控制汽油机的排放。内燃机也是一个重要的噪声来源，噪声来自空气动力效应、燃烧过程中气体的压力和旋转、往复零部件的机械激励等。20世纪70年代末，国际上开始制定车辆噪声法规，以降低噪声对环境的污染。随着全世界汽车保有量的迅速增加（2002年底，已达到7亿辆左右），各国的排放和噪声法规越来越严格。

20世纪70年代初，由于石油危机导致原油价格成倍上涨，引起对发动机燃油经济性的重视，但由于要控制排气污染，从而增加了改进燃油经济性的困难。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，如用天然气、液化石油气、甲醇、乙醇、合成汽油、合成柴油、生物柴油以及二甲基醚（ $\text{CH}_3\text{OCH}_3$ ）等。

内燃机和汽车给世界带来了现代物质文明，在经过了超过一个世纪的发展之后，它的发展远远没有达到其顶点，在动力性、经济性以及排污控制方面还在不断地改进。新材料的出现导致内燃机可以进一步减轻质量、降低成本和热损失，综合了汽油机和柴油机的优点的缸内直喷式汽油机（GDI）、均质混合气压缩燃烧（HCCI）发动机、各种代用清洁燃料发动机

等都将会有很好的应用前景。这些都对内燃机工作者提出了新的挑战。

## 第二节 中国内燃机工业发展简史

中国内燃机工业从1908年广州均和安机器厂制成第一台煤气机,1915年广州协同和机器厂制成第一台烧球式柴油机起至今已有近百年历史,它在中国发展的历史可以概括分为内燃机工业创建阶段、建设内燃机工业体系阶段和内燃机工业体系的形成与发展新阶段。

### 一、内燃机工业创建阶段(1908~1957年)

1901年冬上海开始出现由外国人带人的汽车,外国生产的内燃机作为商品也开始进入我国口岸。据统计,仅上海一地,先后有20多个洋行(外国人办的商行)在我国推销英、德、美、法等国生产的30多种型号的内燃机。由于内燃机在性能上比蒸汽机优越,有市场需求,继1908年均和安机器厂的5.88kW单缸卧式煤气机及协同和机器厂的29.4kW烧球式柴油机后,1924年上海新祥和机器厂制成11.76kW、17.05kW等5种不同规格压缩着火四冲程低速柴油机,上海新中工程公司分别于1929年与1939年制成我国第一台功率为26.47kW双缸柴油机和功率为47.79kW4缸机及1800r/min的车用柴油机。这表明中国已由制造结构比较简单的单缸卧式低速柴油机和煤气机发展到技术要求较高的多缸柴油机和车用柴油机,但这些机器的技术指标还比较落后,耗能耗材大,故障多,关键零部件需依赖进口。1949年全国内燃机总的生产能力为7000kW左右,从1908年到1949年累计生产内燃机不足14万kW。

1949年新中国成立后,内燃机工业得到了恢复与发展。上海柴油机厂试制成功110系列柴油机,天津动力机厂研制成功4146柴油机,上海与天津建立油泵油嘴生产点。1952年我国内燃机产量达到近3万kW,同年第一机械工业部成立,由第四机器工业管理局负责领导与管理全国动力机械生产。1956年长春建立第一汽车制造厂,年产3万辆装载质量为4t的解放牌汽车,其发动机为功率为66kW的CA10型6缸汽油机,同年南京汽车厂开始生产功率为37kW的NJ-50型4缸汽油机。到1957年全国内燃机产量达到50万kW,内燃机工业已初具规模。

### 二、建设内燃机工业体系阶段(1958~1978年)

1958~1966年,内燃机工业发展迅速。1959年农业机械部成立(1965年改为第八机械工业部),对我国内燃机工业的规划与发展起了重要作用。这一时期中,上海柴油机厂试制成功了可与汽车、工程机械、船舶、农业机械、发电机等多种用途配套的135系列柴油机,它是我国由仿制到自行设计、由小批量转为大批量生产的第一个中小功率柴油机系列。

在拖拉机与农用柴油机方面,1959年建成了洛阳第一拖拉机厂,生产东方红54型履带式拖拉机与4125型柴油机。该厂从苏联引进了柴油机先进生产技术与由专用机床组成的流水生产线,引进了具有当时国际先进水平的油泵油嘴生产技术与检测设备。天津拖拉机厂引进并生产东方红40拖拉机和4105型柴油机。北京内燃机总厂引进与铁牛55型拖拉机配套的4115型柴油机。在农业机械部的领导组织下,有关工厂还先后研制开发了多种型号(165、175、195系列)的小型单缸农用柴油机,推动了我国农业机械化进程。

在大功率柴油机方面,我国自行设计了12V180型机车用柴油机、6250Z型增压柴油机(用于发电与船舶)以及6300系列柴油机(用于船用、发电、排灌)。

在废气涡轮与增压柴油机方面：1958年新中动力机厂研制成功我国第一台轴流式T250X型排气涡轮增压器及882kW的8L350Z型柴油机，之后有关单位先后研制成功10号径流式增压器（配6135型柴油机）和12号径流式增压器（配6160型柴油机）。

1966年开始的文化大革命使内燃机工业遭到严重破坏，基本停留在20世纪60年代甚至倒退到50年代的水平，与此同时国外技术迅速发展，从而拉大了我国内燃机工业与世界先进水平的差距。

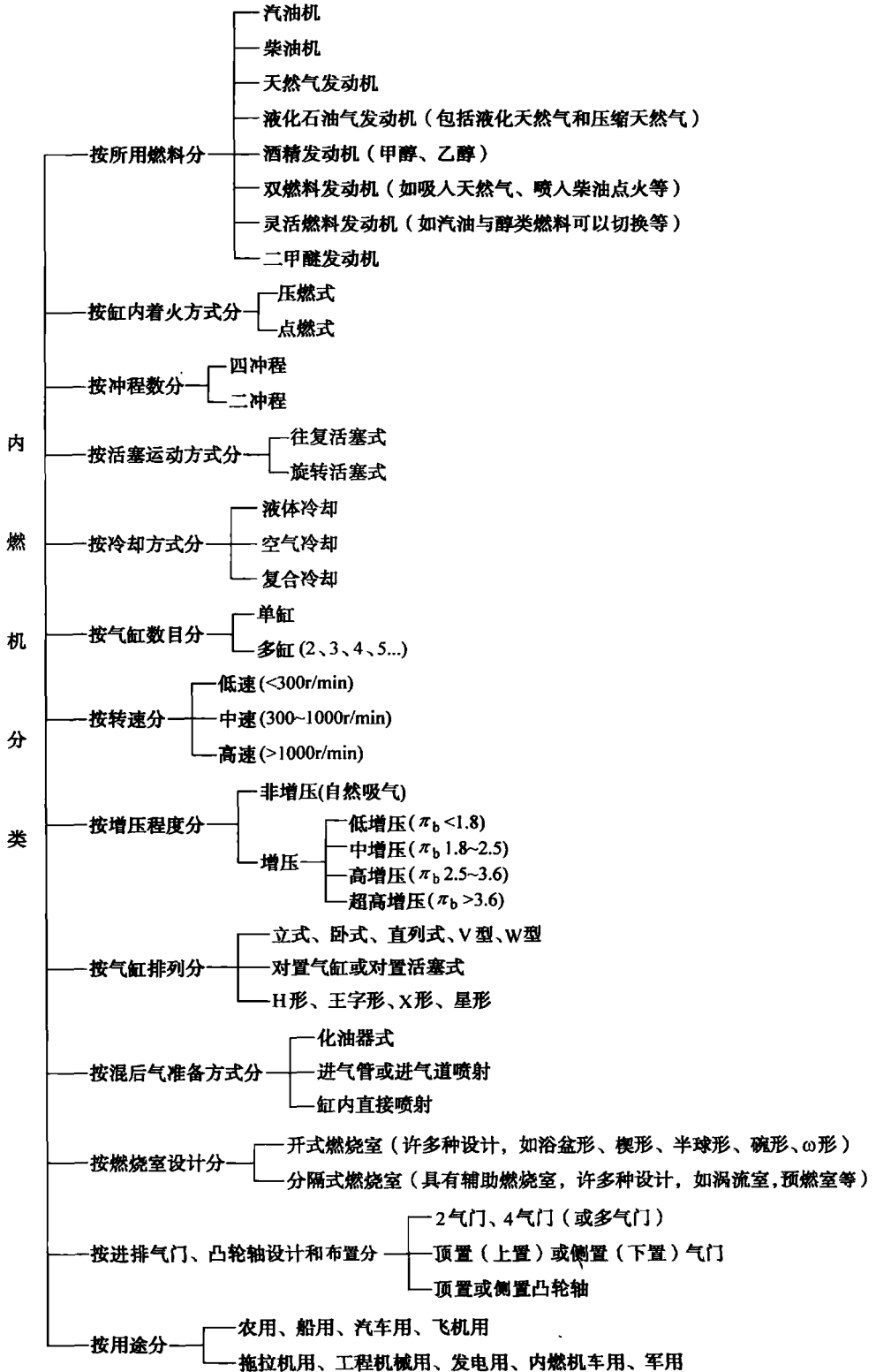
### 三、内燃机工业体系的形成与发展的新阶段（1979～现在）

1979年十一届三中全会以后，拨乱反正，内燃机工业进行了一系列调整整顿工作，通过引入市场机制，推行全面质量管理，引进国外先进技术和对企业进行技术改造等，我国内燃机的技术水平有了明显提高。这一时期是我国内燃机发展史中的鼎盛时期，引进与开发的新产品种类繁多，其主要代表产品有上海通用汽车公司配别克轿车的GM2.0L的L34汽油机及3.4L的LNJ轿车汽油机（出口北美）；上海大众汽车公司配帕萨特的8LBBG（V型6缸）和8LAWL481Q增压汽油机；一汽集团公司的6102、488（配奥迪、捷达）和EA113轿车用汽油机；二汽东风康明斯B系列柴油机及TU3轿车用汽油机；南汽生产配依维柯Sofim8140.01柴油机；北京吉普汽车有限公司D498Q汽油机；一汽集团公司大连柴油机厂、无锡柴油机厂的CA498A、CA4110A、CA6110A、CA6113型柴油机；玉林柴油机厂、湖南动力机厂、柳州机械总厂的6105Q柴油机、朝阳柴油机厂100、102等系列柴油机；第一拖拉机厂R100系列柴油机；上海柴油机厂D6114、3300B系列柴油机；江铃、庆铃的4JA1、4JB1柴油机；潍坊柴油机厂和杭州汽车发动机厂的WD615系列柴油机；重庆康明斯发动机公司的N.K.L系列柴油机；陕西柴油机厂12PC2—5V型柴油机；上海船厂8RTA52U柴油机；上海FM公司的P7泵；无锡动力机厂的Holset H系列增压器；无锡欧亚柴油机喷射有限公司的P系列孔式喷油器；上海联合汽车电子有限公司的汽油发动机的控制系统、喷射系统及汽车尾气净化器等。此外，还有许多工厂生产各种类型汽油机、摩托车发动机和柴油机及多种型号小型单缸柴油机，难以一一列举。

近百年来，我国内燃机工业取得了长足的进步，截止到2001年底，我国内燃机总产量已达2.5亿kW，品种、数量与质量可满足国民经济日益增长的需求。但与国际先进水平相比，在性能、质量与可靠性以及自主开发能力方面还有很大差距。随着汽车保有量的增加（2001年达2000万辆），为控制汽车排气对环境的污染，我国从2000年起实施欧洲I排放标准，从而有力推动了我国装有三效催化转化器的电控喷射汽油机以及采用多气门、增压、排气再循环、高压喷射与排气后处理技术的柴油机的发展。2003年9月1日到2004年1月我国将对车用压燃式发动机实施欧洲II标准，到2010年我国的排放标准将与国际接轨。为减少汽车与内燃机对日益短缺的石油基燃料的依赖，国家鼓励发展代用清洁燃料汽车。中国加入WTO后，汽车与内燃机产品面临着国际市场的竞争。这些都将持续有力地推动我国内燃机工业的技术进步。

## 第三节 内燃机的应用与分类

内燃机种类很多，它们可以按如下不同方式分类：



## 第四节 各种内燃机的典型结构

### 一、点燃式发动机

小型点燃式发动机被广泛应用于家庭割草机、链锯、移动式小发电机组、植保、舷外机和摩托车，它们通常是单缸机，其特点是尺寸小，质量轻，便宜。但由于是单缸，因而转矩不均匀性和振动较大。

如图 1-2 所示为一台二冲程点燃式发动机的横剖视图。它是单缸直立风冷机，缸径 × 行程为 50mm × 50mm，12h 功率为 2.2kW（曲轴转速为 4000r/min），15min 功率为 3kW（曲轴转速为 5000r/min），采用曲轴箱换气。

这种形式发动机的优点为结构简单、零件数少，每缸仅有 3 个主要运动件，即活塞、连杆、曲轴。由于做功次数为四冲程机的一倍，因此升功率比四冲程高。但由于有扫气损失，加之采用混合油（将润滑油以一定比例加入汽油中）或采用润滑油一次性地润滑活塞、活塞环与缸套，因此它的燃油、润滑油消耗量及未燃碳氢排放量比四冲程发动机高，常用于小型轻便动力装置上。

多缸机常应用于汽车，它们的转矩输出较均匀，平衡性也比单缸机好。2.5L 以下排量的汽车通常使用 4 缸机为多。6 缸机通常用于排量为 2.5 ~ 4.5L 的发动机，其转矩比 4 缸机更均匀，但气缸直线排列会增加发动机长度，使曲轴扭转振动增加。由于进气管长，使燃料在各缸之间分配不易均匀。V-6 发动机将气缸分成两列，每列 3 缸。

两列气缸轴线夹角为 60° 或 90°，使发动机更为紧凑，但惯性力平衡情况要比直列式差。V-8 和 V-12 缸机也是常用的发动机，它们结构紧凑，排量大（因而转矩和功率可以很大），振动小。增压汽油机可以在给定排量下获得更大的功率输出，因为发动机的功率取决于缸内燃烧的燃料量，燃料量又取决于每循环吸入气缸的新鲜混合气量，而增压可以增加进入气缸混合气的密度，从而增加发动机在给定排量下的输出功率。

如图 1-3 所示为第一汽车集团公司生产装配于小红旗系列轿车的 CA4GE 汽油发动机的纵横剖视图。它是直列 4 缸四冲程水冷发动机，采用单顶置凸轮轴，排量为 2.2L，缸径 × 行程为 87.5mm × 92mm，压缩比 9.0，标定功率为 76kW（转速为 5500r/min），最大转矩为 185N·m（转速为 2400 ~ 2800r/min）。气缸盖为压铸铝合金，采用切向进气道和电控多点顺序燃油喷射系统，燃油由喷油器喷入进气道后在进气涡流作用下与空气混合形成可燃混合气，由火花塞点火燃烧。采用氧传感器与三效催化转化器对排气进行后处理，使整车满足欧洲 II 排放标准。

如图 1-4 所示为上海通用汽车有限公司生产的装配别克（Buick）轿车的 LW9V 型 6 缸发动机纵横剖视图，气缸呈 60° 夹角两列布置，每缸 2 气门，顶置，四冲程，水冷。缸径 ×

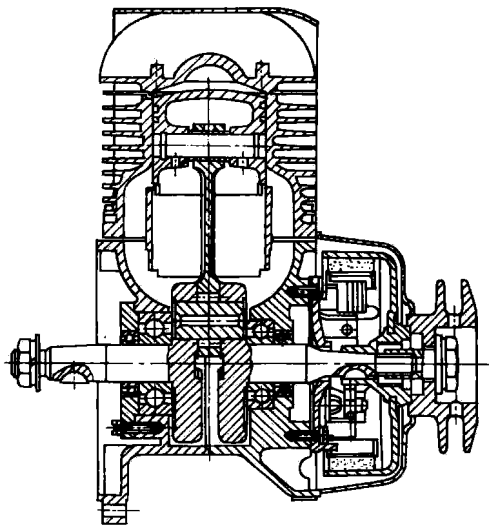
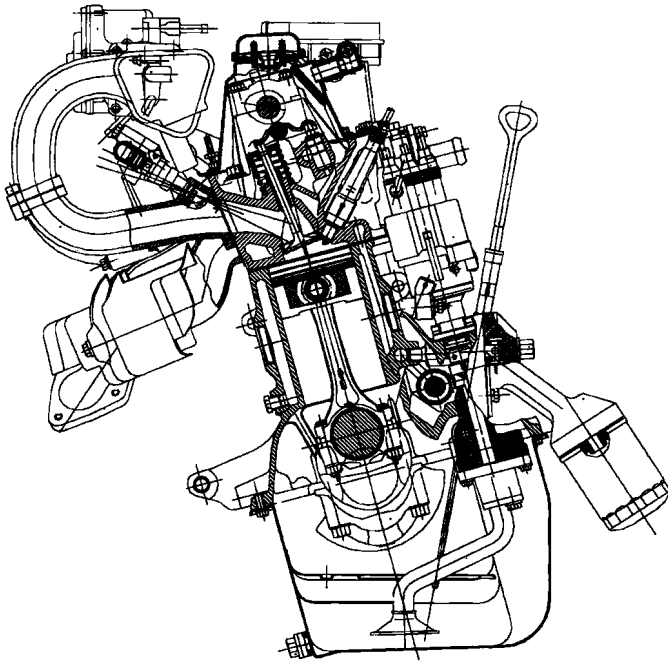
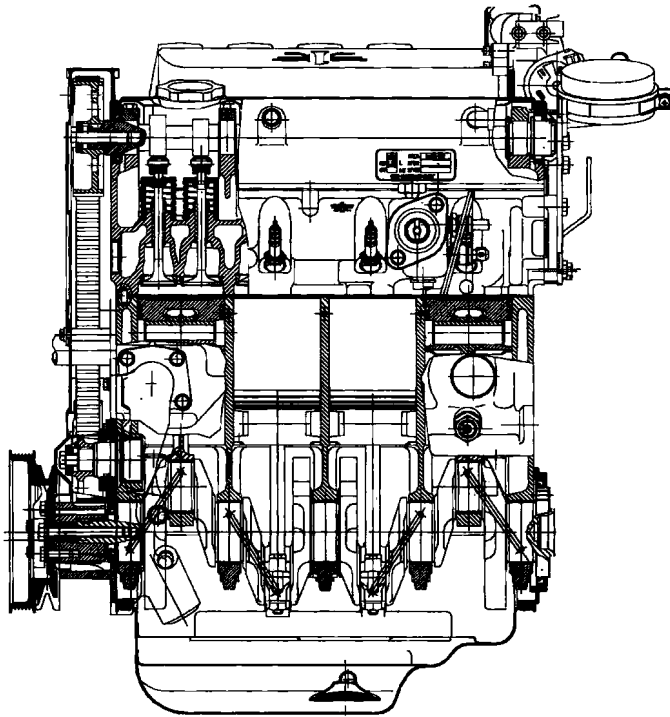


图 1-2 1E50F 汽油发动机横剖视图



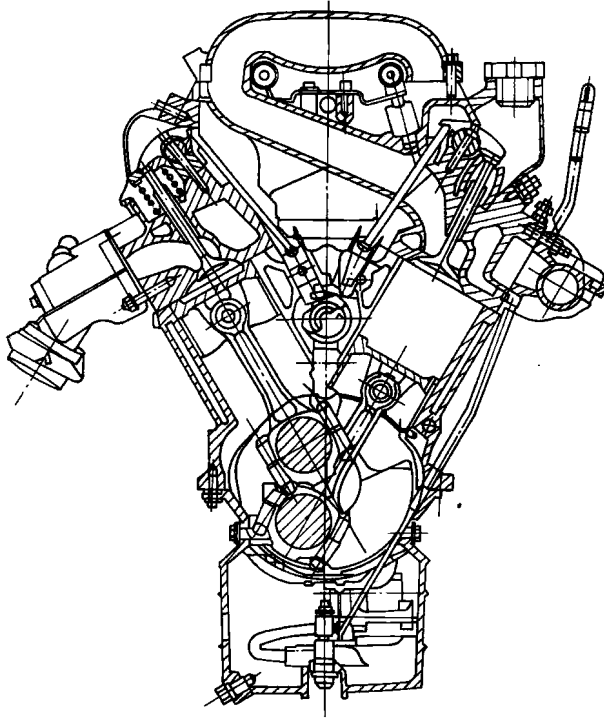
a)



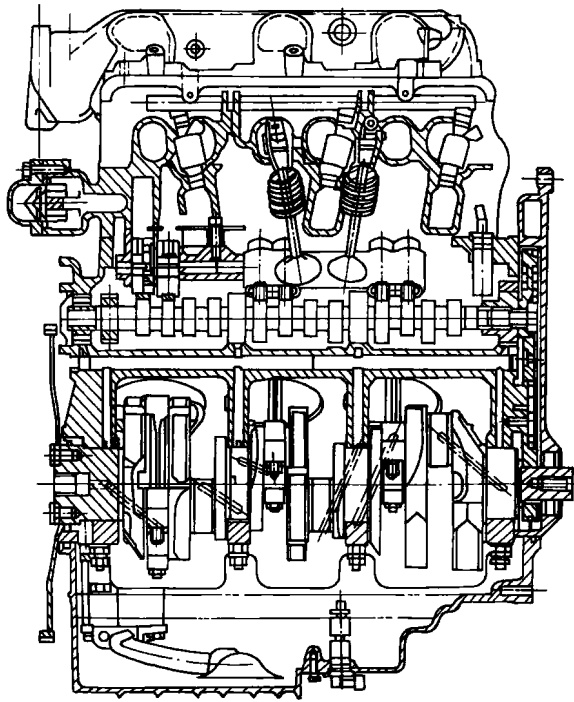
b)

图 1-3 一汽红旗 CA4GE 汽油发动机的纵横剖视图  
a) 横剖视图 b) 纵剖视图





a)



b)

图 1-4 上海通用别克 LW9V 型 6 缸汽油发动机纵横剖视图

a) 横剖视图 b) 纵剖视图