



普通高等教育“九五”部级重点教材

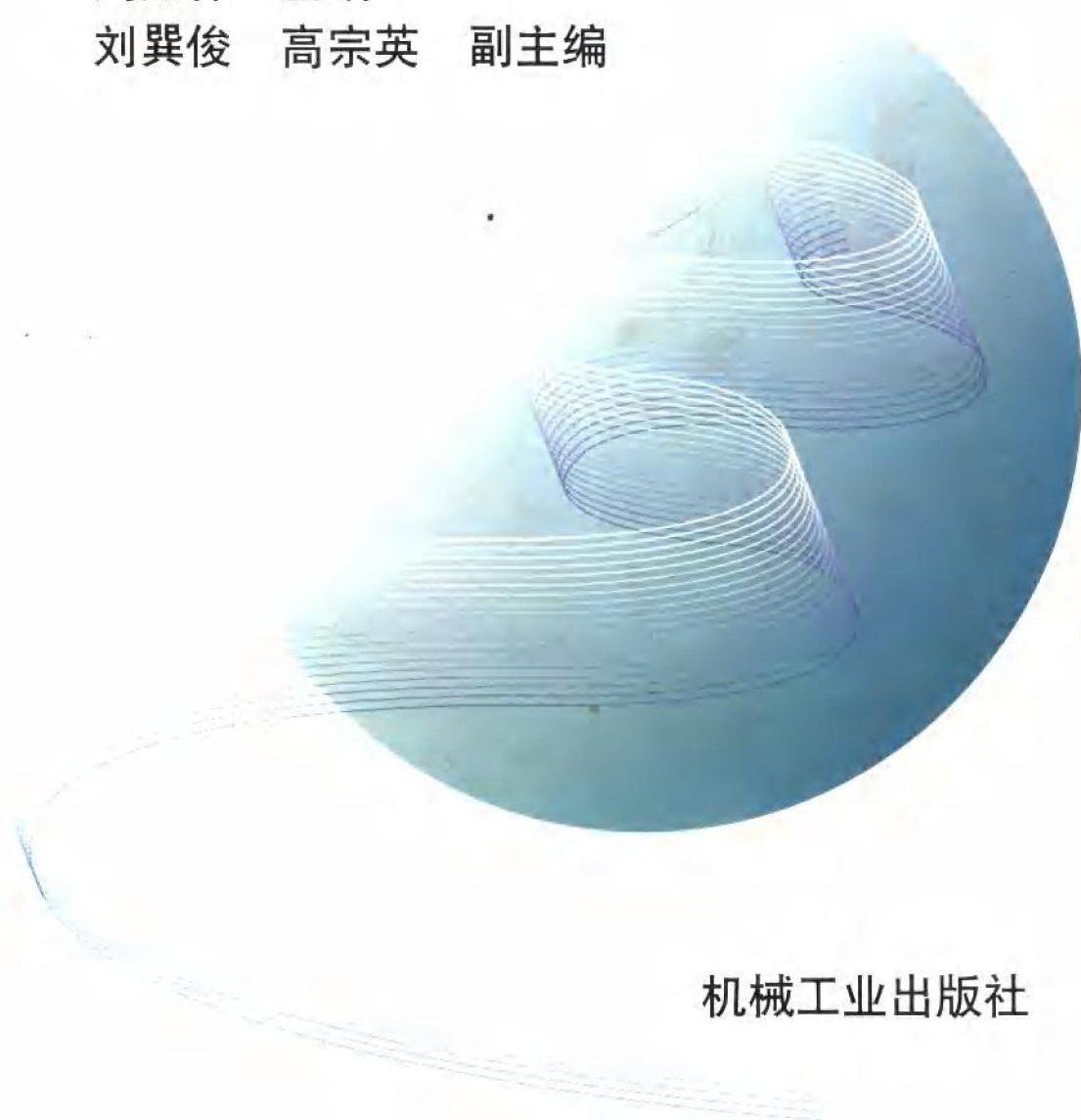
3

普通高等教育机电类规划教材

内燃机学

周龙保 主编

刘巽俊 高宗英 副主编



机械工业出版社

普通高等教育机电类规划教材

内 燃 机 学

主 编 周龙保
副主编 刘巽俊 高宗英
参 编 刘传李 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总体及主要零部件设计的原则与方法。全书共分十二章，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、混合气形成与燃烧、燃料供给与调节、污染物生成与控制、特性与匹配以及内燃机动力学、总体设计、主要零部件设计要点及内燃机发展方向等。

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. —北京: 机械工业出版社,
1999.6

普通高等教育机电类规划教材
ISBN 7-111-07159-X

I. 内… II. 周… III. 内燃机-理论-高等学校-教材
IV. TK401

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 09693 号

出 版 人: 马九荣 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 赵爱宁 版式设计: 张世琴 责任校对: 刘志文

封面设计: 姚 毅 责任印制: 路 琳

北京市密云县印刷厂印刷 · 新华书店北京发行所发行

1999 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·23.25 印张·568 千字

0 001—4 000 册

定价: 32.00 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、68326677-2527

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

常用符号

A_a ——空气消耗量	kg/h, kg/s	q_m ——质量流量	kg/s
A_r ——元素相对分子量		q_v ——体积流量	m ³ /s
B ——燃油消耗量	kg/h	S ——活塞行程	mm
BDC——下止点		T_a, t_a ——环境温度	K, ℃
b_e ——有效燃油消耗率	g/(kW·h)	$\Delta T_a, \Delta t_a$ ——充量进入气缸后的温升	K, ℃
b_i ——指示燃油消耗率	g/(kW·h)	T_{co}, t_{co} ——压缩终点温度	K, ℃
BSU——滤纸烟度		T_d, t_d ——进气温度	K, ℃
C ——机油消耗量	kg/h	TDC——上止点	
c_p ——比定压热容	kJ/(kg·K)	T_{ex}, t_{ex} ——膨胀终点温度	K, ℃
c_v ——比定容热容	kJ/(kg·K)	T_{max}, t_{max} ——最高燃烧温度	K, ℃
D ——气缸直径	mm	T_r, t_r ——排气温度	K, ℃
$dX/d\Phi$ ——燃烧率		T'_r, t'_r ——残余废气温度	K, ℃
$dQ/d\Phi$ ——放热率		T_{τ} ——转矩	N·m
F_i ——示功图面积	cm ²	v_m ——活塞平均速度	m/s
K ——传热系数	W/(m ² ·K)	V_s ——气缸工作容积	L
Hu——燃料低热值	kJ/kg	X ——燃烧百分率	(%)
i ——气缸数		α ——空燃比	
κ ——等熵指数		ϵ_c ——几何压缩比	
k ——热导率	W/(m·K)	ϵ_{ce} ——有效压缩比	
l_o ——化学计量空燃比	kg/kg	η_{et} ——有效热效率	
L_o ——化学计量空燃比	kmol/kg	η_{it} ——指示热效率	
M_r ——元素的相对分子质量		η_m ——机械效率	
n ——发动机转速	r/min	η_s ——扫气效率	
n_1 ——压缩多变指数		θ_{β} ——喷油提前角	(°)(CA)
n_2 ——膨胀多变指数		θ_{ig} ——点火提前角	(°)(CA)
P_e ——有效功率	kW	λ ——曲柄连杆比	
P_i ——指示功率	kW	λ_p ——压力升高比	
P_L ——升功率	kW/L	π_b ——增压比	
P_m ——机械损失功率	kW	ρ_0 ——初始膨胀比	
p ——压力		τ ——冲程数	
p_a ——环境压力	kPa	(四冲程 $\tau=4$, 二冲程 $\tau=2$)	
Δp_a ——进气系统流阻损失	MPa	τ_i ——滞燃期	ms
p_b ——增压压力	MPa	ϕ_a ——过量空气系数	
p_{co} ——压缩终点压力	kPa, MPa	ϕ_c ——充量系数	
p_d ——进气压力	kPa	ϕ_i ——滞燃期	(°)(CA)
p_{ex} ——膨胀终点压力	MPa	ϕ_r ——残余废气系数	
p_g ——排气背压	kPa	ϕ_s ——扫气系数	
p_{de} ——进气终点压力	kPa	ϕ_{τ} ——转矩储备系数	
p_{max} ——最高燃烧压力	kPa	ϕ_z ——喷油持续角	(°)(CA)
p_{me} ——平均有效压力	MPa	φ ——曲轴转角	(°)(CA)
p_{mi} ——平均指示压力	kPa	φ_c ——凸轮轴转角	(°)(CaA)
p_{mm} ——平均机械损失压力	kPa	Ω ——涡流比	

目 录

前言	
常用符号	
第一章 概论	1
第一节 内燃机简史	1
第二节 内燃机分类	3
第三节 各种内燃机的典型结构	4
参考文献	12
第二章 内燃机的工作指标	13
第一节 示功图与指示性能指标	13
第二节 有效性能指标	16
第三节 机械损失与机械效率	20
第四节 提高内燃机动力性能与 经济性的途径	24
参考文献	26
思考题与习题	26
第三章 内燃机的工作循环	27
第一节 内燃机的理论循环	27
第二节 内燃机的燃料及其热化学	29
第三节 内燃机的实际循环	34
第四节 内燃机循环的热力学模型	37
参考文献	42
思考题与习题	42
第四章 内燃机的充量更换	43
第一节 四冲程内燃机的换气过程	43
第二节 内燃机的增压	54
第三节 二冲程内燃机的换气	77
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	105
第四节 压燃式内燃机的燃烧	114
第五节 压燃式内燃机的燃烧室	124
参考文献	142
思考题与习题	142
第六章 内燃机的燃料供给与调节	143
第一节 压燃式内燃机燃料供给与调节 系统概述	143
第二节 压燃式内燃机燃料喷射过程	144
第三节 压燃式内燃机喷油泵的结构 与参数选择	148
第四节 压燃式内燃机喷油器的结构 与参数选择	153
第五节 压燃式内燃机异常喷射现象	156
第六节 压燃式内燃机调速器工作特 性及其与主机的匹配	158
第七节 电控高压喷射系统	164
第八节 点燃式内燃机燃料供给系统 概述	167
第九节 化油器	168
第十节 电控汽油喷射系统	173
第十一节 气体燃料供给系统	183
参考文献	190
思考题与习题	190
第七章 内燃机污染物的生成与 控制	192
第一节 概述	192
第二节 污染物的生成机理和主要影响 因素	193
第三节 内燃机的排放特性	200
第四节 内燃机的排放控制	203
第五节 排气后处理	214
第六节 低排放燃料	217
第七节 排放测量与排放法规	219
参考文献	229
思考题与习题	230
第八章 内燃机的特性与匹配	231
第一节 内燃机的特性	231
第二节 内燃机与工作机械的匹配	245
参考文献	259
思考题与习题	259
第九章 内燃机动力学	261
第一节 曲柄连杆机构运动学	261

第二节	曲柄连杆机构受力分析	264	设计中的应用	309
第三节	内燃机的转矩波动与飞轮设计	269	参考文献	311
第四节	曲轴平衡块设计	272	思考题与习题	311
第五节	内燃机往复质量的平衡	275	第十一章 内燃机主要零部件设计	
第六节	曲轴轴系的扭转振动	281	要点	313
第七节	内燃机的运转噪声及其降低	288	第一节 活塞组设计	313
参考文献		291	第二节 连杆与曲轴组及其轴承设计	325
思考题与习题		292	第三节 机体与气缸盖的设计	332
第十章 内燃机总体设计		293	第四节 配气机构设计	344
第一节 内燃机的设计要求		293	第五节 润滑系、冷却系与起动系	356
第二节 内燃机类型的选择		295	参考文献	359
第三节 内燃机主要参数的选择		298	思考题与习题	360
第四节 内燃机开发的一般程序与方法		304	第十二章 内燃机的发展方向	361
第五节 现代设计理论与方法在内燃机			参考文献	364

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热力发动机。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油与空气的混合气,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,尽管它也能燃用其他燃料)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(陆上、内河、海上和航空)、农业机械、工程机械和发电时作为动力。

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,煤气和空气在活塞的上半个行程被吸入气缸,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(它的示功图见图 1-1),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。

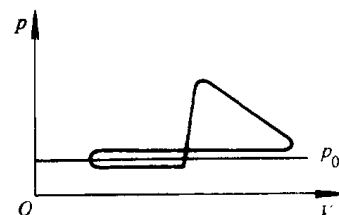


图 1-1 大气压力式
内燃机示功图
 p_0 —大气压力

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、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%,而质量则减少了近 70%,从而有效地投入工业使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 年前英国的克拉克(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油喷入缸内,利用压缩终了气体的高温将燃油点燃,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 年之后终于变为一个实际的机器,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,在成功地解决了密封与缸体震纹之后,也在一定领域(如赛车

和小型发电机组)获得较好的应用。

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,汽油和原油中的轻馏分油成为商品,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,要求增加从原油中提炼出来的汽油产量。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,改进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。40年代在洛杉矶出现汽车所造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物和碳氢化合物所产生的化学反应,而汽车则是氮氧化物和碳氢化合物以及一氧化碳的主要贡献者,柴油机则是烟气微粒以及碳氢化合物和氮氧化物的主要来源。美国加州首先建立了汽车排放标准。60年代在美国,接着在欧洲、日本,相应确立了汽车排放标准,从而发展了汽油喷射、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。70年代末,国际上开始制订车辆噪声法规,以降低噪声对环境的污染。

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,因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,如燃用天然气、甲醇、乙醇、合成汽油、合成柴油以及二甲基醚(CH_3OCH_3)等。

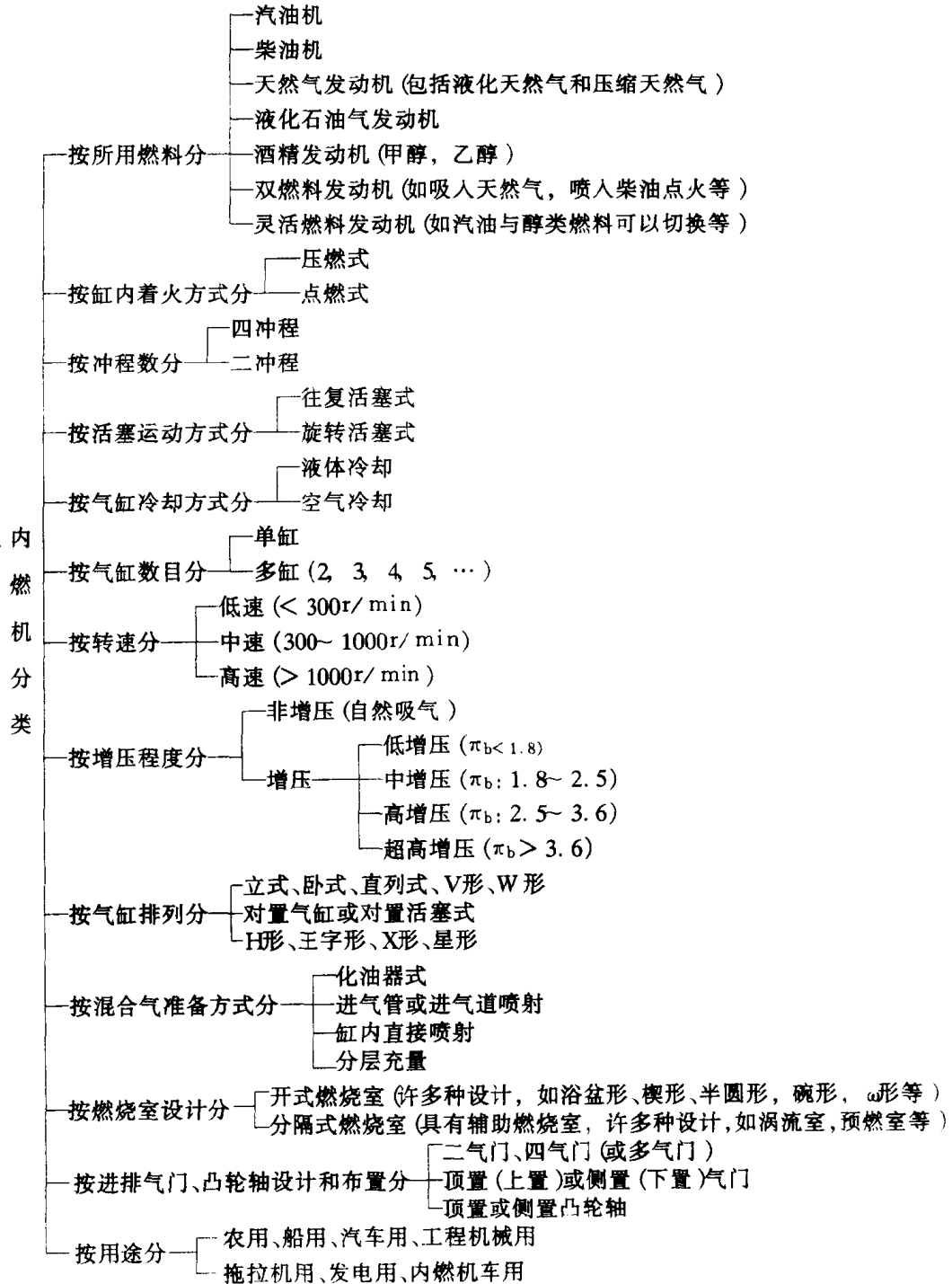
在我国,随着车辆保有量的迅速增加,汽车造成的对环境的污染越来越严重,我国已经制订了一系列排放与噪声法规来限制它们对环境的污染,这些法规将越来越严格。我国正在推广使用无铅汽油以及发展汽油喷射、三效催化技术,到2000年将停止生产有铅汽油,同时大力发展代用燃料的基础和应用研究,以求改善人们的生存环境及缓解石油基燃料短缺的矛盾。

内燃机和汽车给世界带来了现代物质文明,在经过了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,新型的综合了汽油机和柴油机的特点,可

以使用多种燃料的分层充量发动机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。让我们应用对内燃机工作过程日益增加的了解和知识,设计制造出更好的内燃机以造福人类,造福社会。

第二节 内燃机分类

内燃机种类很多,它们可以按如下不同方式分类:



第三节 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。但由于是单缸机，因而转矩不均匀性和振动较大。

图 1-2 给出了一台二冲程点燃式发动机的横剖面图。它的主要型式为单缸、直立风冷、缸径×行程为 50mm×50mm、12h 功率/曲轴转速为 2.2kW/4000r·min⁻¹、15min 功率/曲轴转速为 3kW/5000r·min⁻¹、采用曲轴箱换气。

这种型式发动机的优点为结构简单、零件数少，每缸仅有 3 个运动零件，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，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。

图 1-3 为一台 368 汽油机的剖视图。它的主要型式为直立、四冲程、水冷、3 缸机，缸

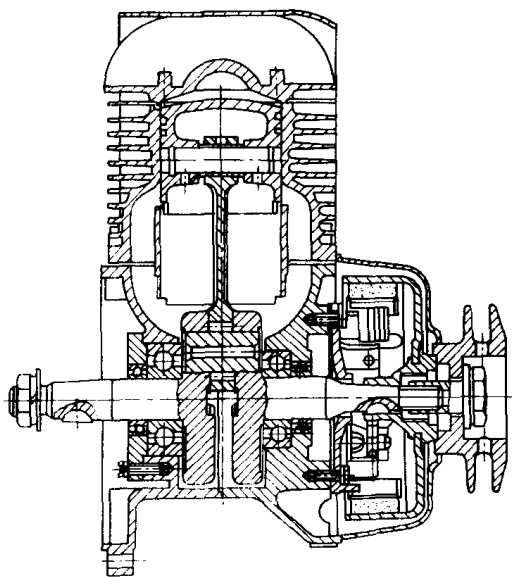


图 1-2 1E50F 发动机横剖面图

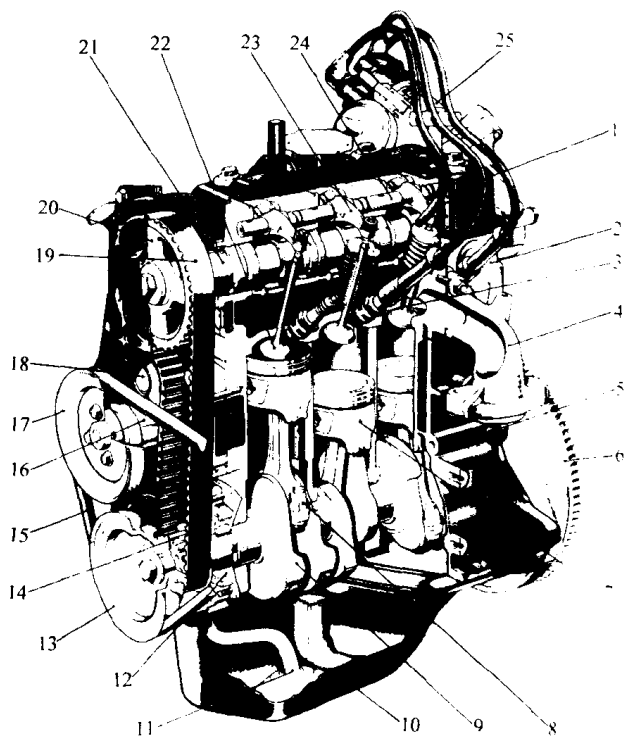


图 1-3 奥拓 368 汽油机剖视图

- 1—气缸盖罩 2—气缸盖 3—火花塞 4—排气歧管
- 5—气缸体 6—飞轮 7—活塞 8—连杆 9—曲轴
- 10—油底壳 11—机油集滤器 12—机油泵 13—曲轴带轮
- 14—定时带轮 15—发电机传动带 16—水泵 17—水泵带轮
- 18—张紧轮 19—定时传动带 20—凸轮轴带轮 21—凸轮轴
- 22—气门 23—气门摇臂 24—气门摇臂轴 25—分电器

径×行程为 $68.5\text{mm} \times 72\text{mm}$ ，标定功率/标定转速为 $26.2\text{kW}/5500\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ ，采用化油器供油、二气门、多球形燃烧室和单顶置凸轮轴。由曲轴前端的定时同步带轮通过同步带带动安装于气缸盖上的凸轮轴，再通过摇臂驱动气门。这种传动方式较之下置凸轮轴、齿轮传动，简化了配气机构传动装置，减少了挺柱、推杆等往复运动零件，降低了配气机构的动力载荷，降低了噪声。该发动机主要用于奥拓轿车以及其他小型动力装置。

多缸机常应用于汽车，它们的转矩输出较均匀，平衡也比单缸机好。2.5L 以下排量的汽车通常使用四缸机为多。六缸机通常用于排量为 2.5~4.5L 的发动机，其转矩比四缸机更均匀，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 发动机将气缸分成二列，每列三缸。二列气缸轴线夹角为 60° ，使发动机更为紧凑，一级惯性力可以得到平衡，但二级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，它们工作柔和、紧凑、排量大、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，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。

图 1-4 为桑塔纳（普通型）轿车用的 JV 型发动机的纵横剖面图。

桑塔纳轿车 JV 型发动机的型式为直列 4 缸 4 冲程水冷发动机，缸径×冲程为 $81\text{mm} \times 86.4\text{mm}$ ，最大功率为 66kW （5200r/min 时），最大转矩为 $145\text{N} \cdot \text{m}$ （3500r/min 时），采用化油器供油、顶置凸轮轴，由曲轴前端的定时同步带轮通过同步带、中间轴和凸轮轴上的同步带轮带动安装于气缸盖上的凸轮轴，高速性能好。

桑塔纳 2000 型轿车发动机采用德国莫特朗尼克（Motronic）电子控制多点顺序喷射系统代替化油器（图 6-24），即通过不同的传感器测得的参数确定发动机的工况，再根据存储器内储存的数据或综合特性曲线确定该工况下的最佳点火提前角、闭合角，对喷油时刻和喷油时间进行优化控制，精确控制空燃比在化学计量空燃比附近（即 $\phi_a = 1$ 附近）很小范围内，以降低汽油机的有害排放。采用电控汽油喷射后，直列 4 缸，1.78L 排量发动机的升功率由 $37\text{kW}/\text{L}$ 提高到 $40\text{kW}/\text{L}$ ，升转矩由 $81.4\text{N} \cdot \text{m}/\text{L}$ 提高到 $83.3\text{N} \cdot \text{m}/\text{L}$ 。

图 1-5 所示为奥迪 A4 型汽油机纵横剖面图，它的型式为直立四冲程、水冷、4 缸，缸径×行程为 $86.4\text{mm} \times 81\text{mm}$ ，标定功率/标定转速为 $110\text{kW}/6800\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ ，采用球型燃烧室、顶置凸轮轴、五气门及增压中冷，从而获得良好的动力性、经济性及高速适应性。它采用电控汽油喷射、闭环、电子管理自诊断系统及三效催化剂，对排气进行后处理。其平均有效压力达 1.48MPa ，是一种用于小轿车的高性能汽油机。

以上介绍的均为采用曲柄连杆机构的往复式发动机，汪克尔转子（又称三角形转子）发动机则是另一种与上述结构完全不同的发动机，图 1-6 示出了汪克尔发动机的主要部件与工作原理图。它仅有两个运动零件，即三角形转子与偏心轴。三角形转子在缸体型线中的运动规律是由固定在三角形转子上的定时内齿轮绕固定在前端盖上的定时外齿轮作行星运动实现的，内齿轮固定在三角形转子上，三角形转子轴承套在偏心轴颈上，偏心轴一端支承于外齿轮的主轴承中，另一端支承于后端盖的主轴承中，内外齿轮的齿数比为 3:2，缸体型线为“双弧外次摆线”又名“双弧长短幅圆外旋轮线”，三角形转子的型线为“外旋轮线的内包络线”或“内旋轮线”。转子转动时通过缸体中的进、排气孔（有时铸在端盖中）换气，燃烧室由缸体与转子表面型线构成，采用密封片、密封条和密封销及它们底部的弹簧片来保证这

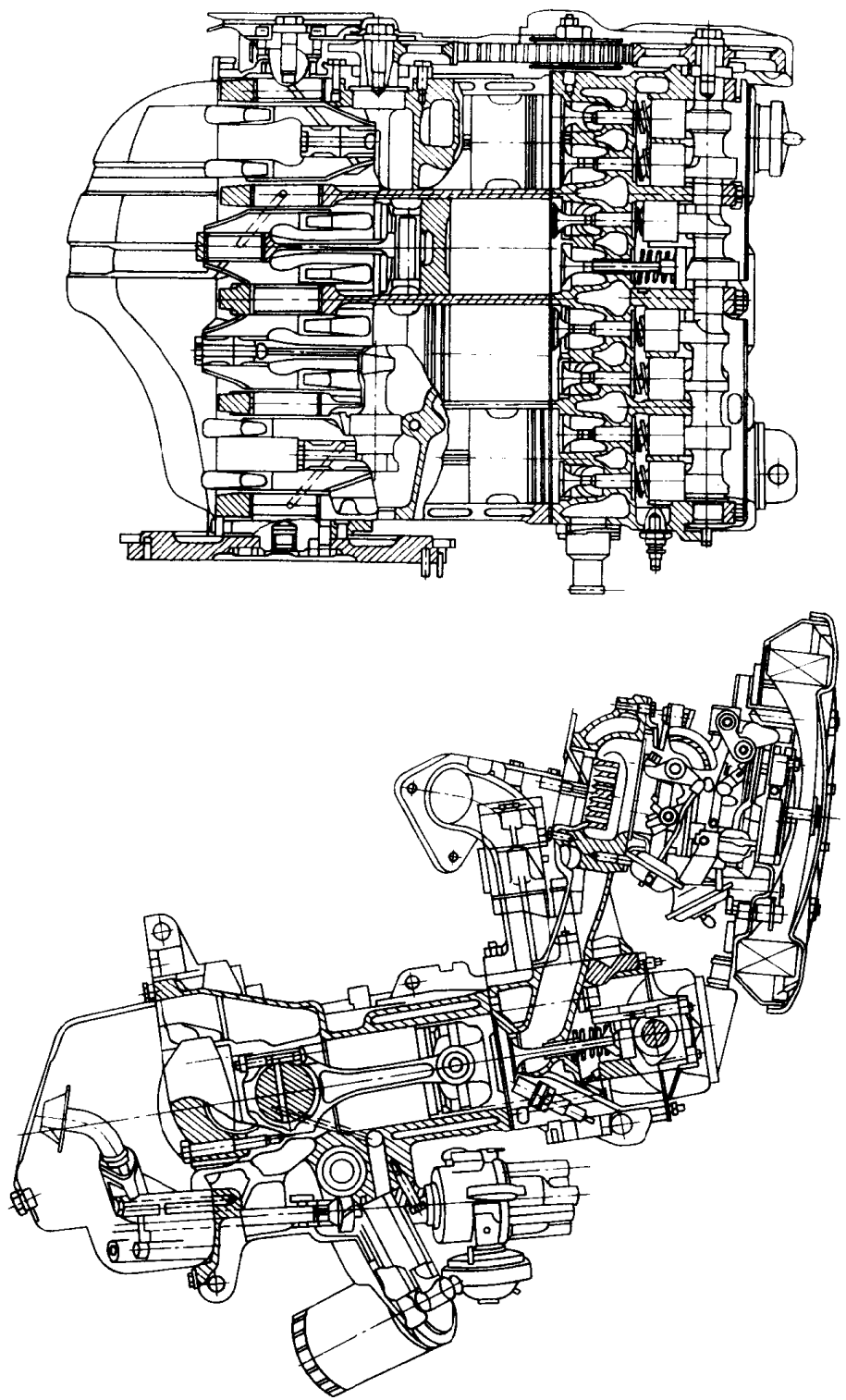


图 1-4 桑塔纳轿车 JV 型发动机机纵横剖面图

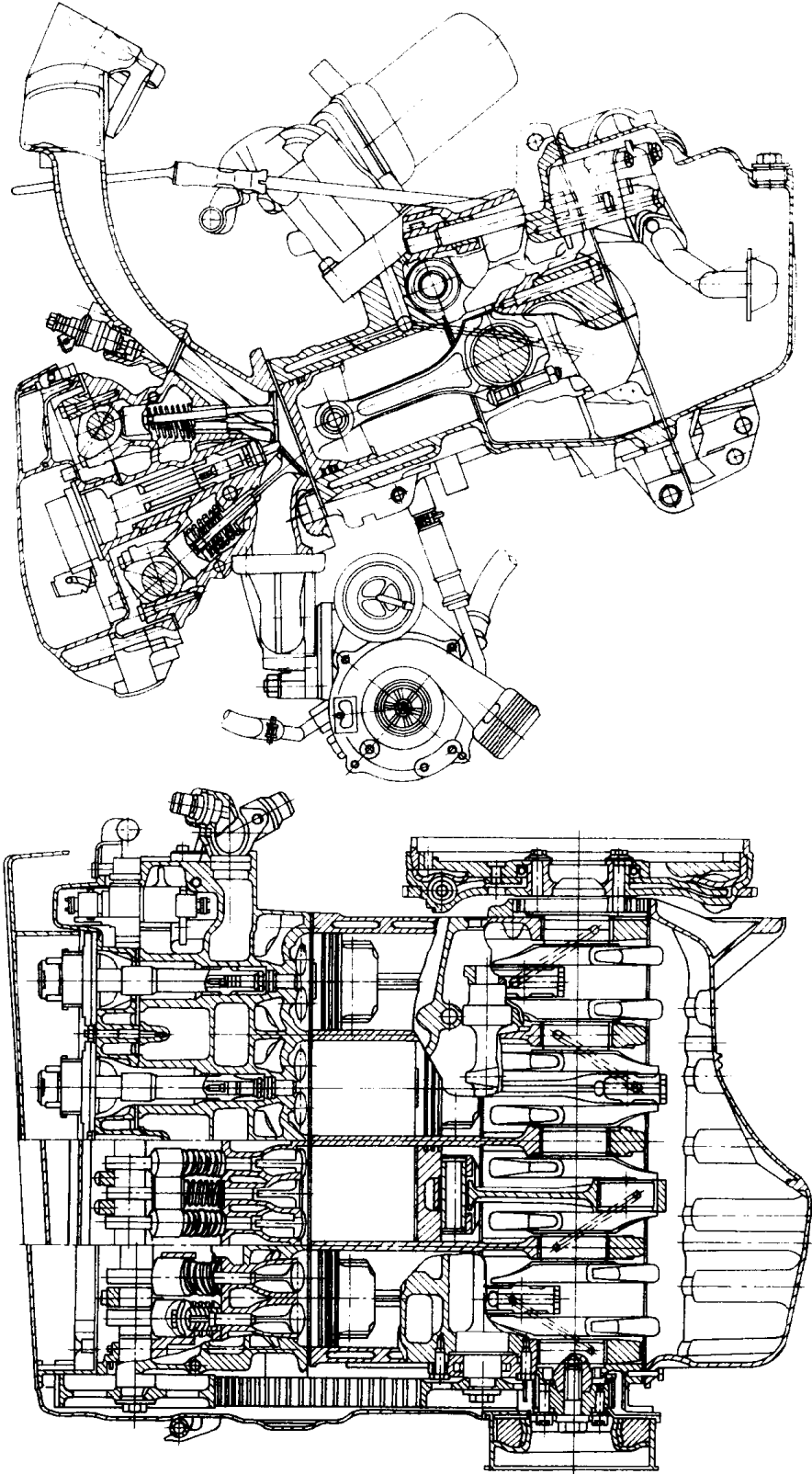


图 1-5 奥迪(Audi)A4 型汽油机

些密封件紧贴在缸体型面和端盖平面上进行密封。图 1-6 上示出了转子发动机的工作原理，即以转子表面 AB 所确定的燃烧室四冲程循环中的进气、压缩、做功和排气行程。由三角形转子另外两个表面所确定的另外两个燃烧室经历了与 AB 表面相同的过程，三角形转子转一

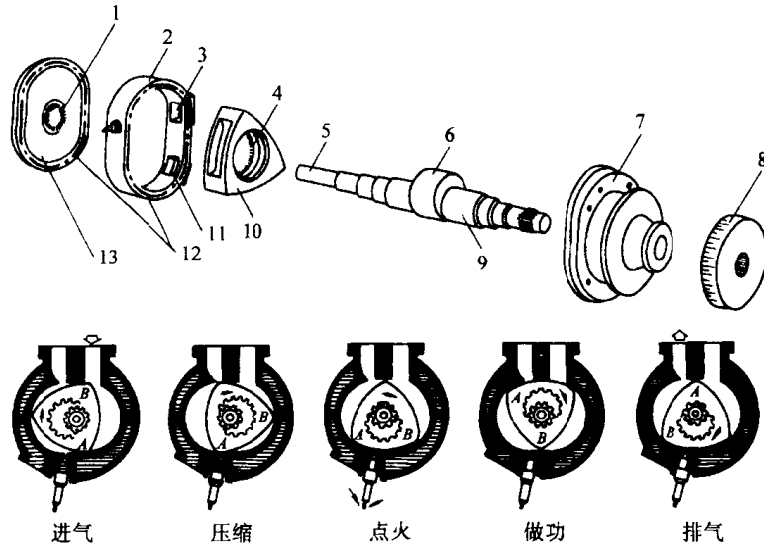


图 1-6 汪克尔发动机的主要部件与工作原理图

1—固定定时齿轮 2—缸体 3—排气道 4—内定时齿轮 5—驱动端 6—偏心轮 7—端盖 8—飞轮 9—偏心轮轴
10—转子 11—进气道 12—冷却水通道 13—端盖

圈，偏心轴转三圈，三个燃烧室产生三个做功行程，因此相当于偏心轴转一圈产生一个做功行程，汪克尔转子发动机结构简单、紧凑，零件数少，平衡性好，噪声振动小，有高的升功率和单位质量功率，高速性能好。它的缺点是燃油消耗率高，燃烧室面容比大，HC 排放较高，低速低负荷性能较差，目前在一定的领域中有应用。

二、压燃式发动机

压燃式发动机或柴油机被广泛应用于载货汽车、机车、船舶和发电。废气涡轮增压和机械增压一般用于较大的发动机，它可以降低单位输出功率发动机的尺寸与质量。由于采用压燃，柴油机的压缩比比汽油机大，在 12~24 范围内，压缩比的大小取决于发动机缸径、类型以及自然吸气还是采用涡轮增压。柴油机由于应力水平高于汽油机，因此较点燃式内燃机质量大。图 1-7 所示为第一汽车集团公司无锡柴油机厂生产的 6110/125ZL 柴油机，它是直立 6 缸四冲程水冷增压柴油机。缸径×行程为 110mm×125mm，标定功率/标定转速为 170kW/2300r·min⁻¹，最大扭矩 850N·m/1400r·min⁻¹；采用 ω 形直喷式燃烧室，燃油由 4 孔喷油器直接喷入活塞顶所形成的燃烧室内；采用特殊设计的进气道产生绕气缸轴线旋转的进气涡流，帮助混合气形成和增加燃烧速率；采用 WHIE 型增压器，增压压力为 120kPa，最大扭矩时的平均有效压力可达 1.5MPa；采用锻钢曲轴，以提高曲轴强度。这种柴油机动力性经济性好，最低燃油消耗率不高于 205g/(kW·h)，排放低。

图 1-8 给出了 D/TBD234 发动机的剖视图，它是我国河南柴油机厂按德国 DEUTZ-MWM 公司专有技术制造的。发动机型式为四冲程水冷，缸径×行程为 128mm×140mm，直喷 ω 型燃烧室，有增压和非增压两种机型；缸数有 6、8、12，气缸为 V 形排列、60° 夹角，采用 Bosch 高压燃油系统，增压机型采用 KKK 增压器，进气中冷，平均有效压力达

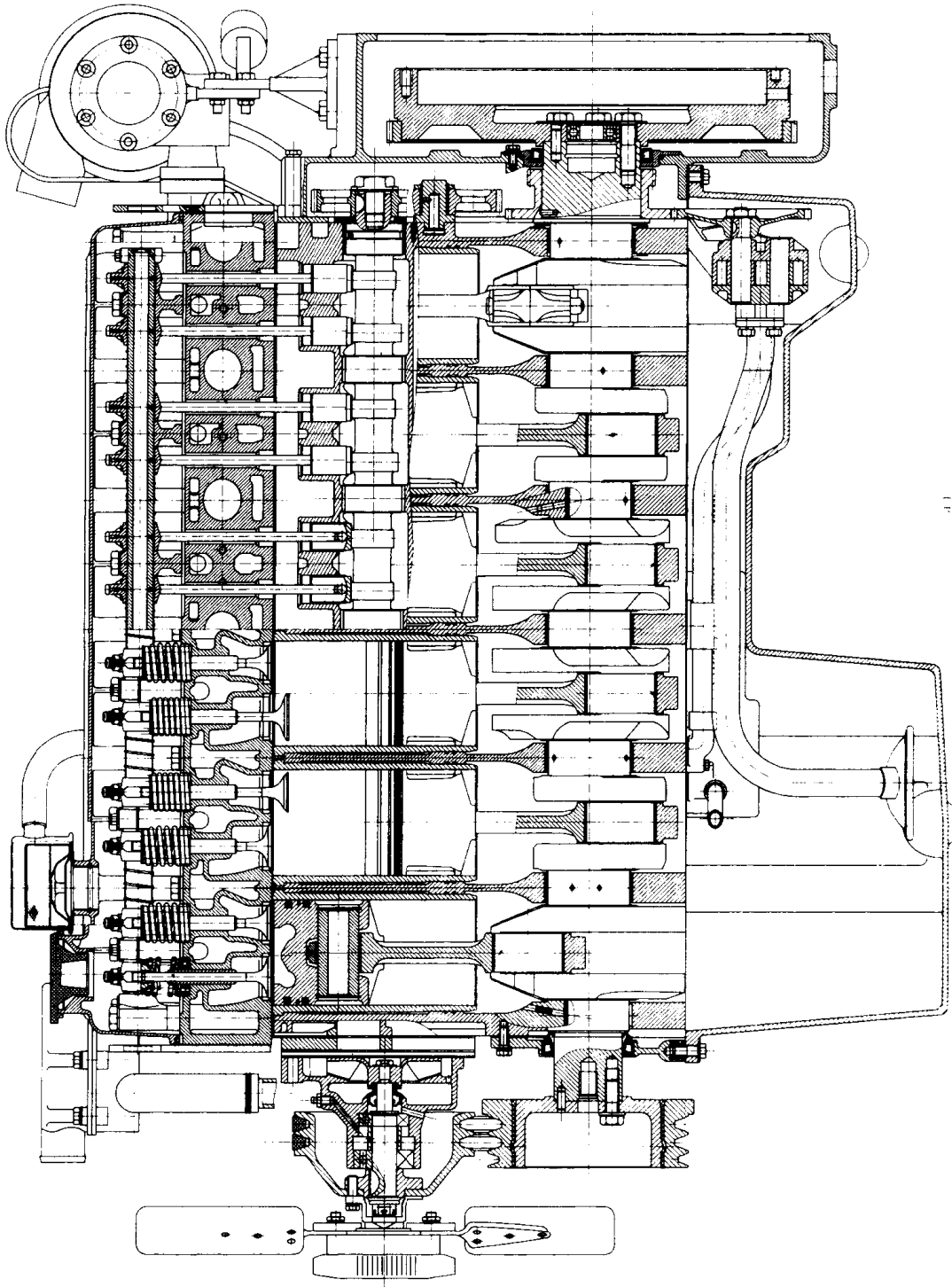


图 17 第一汽车集团公司 6110B 柴油机纵剖面图
a) 纵剖面

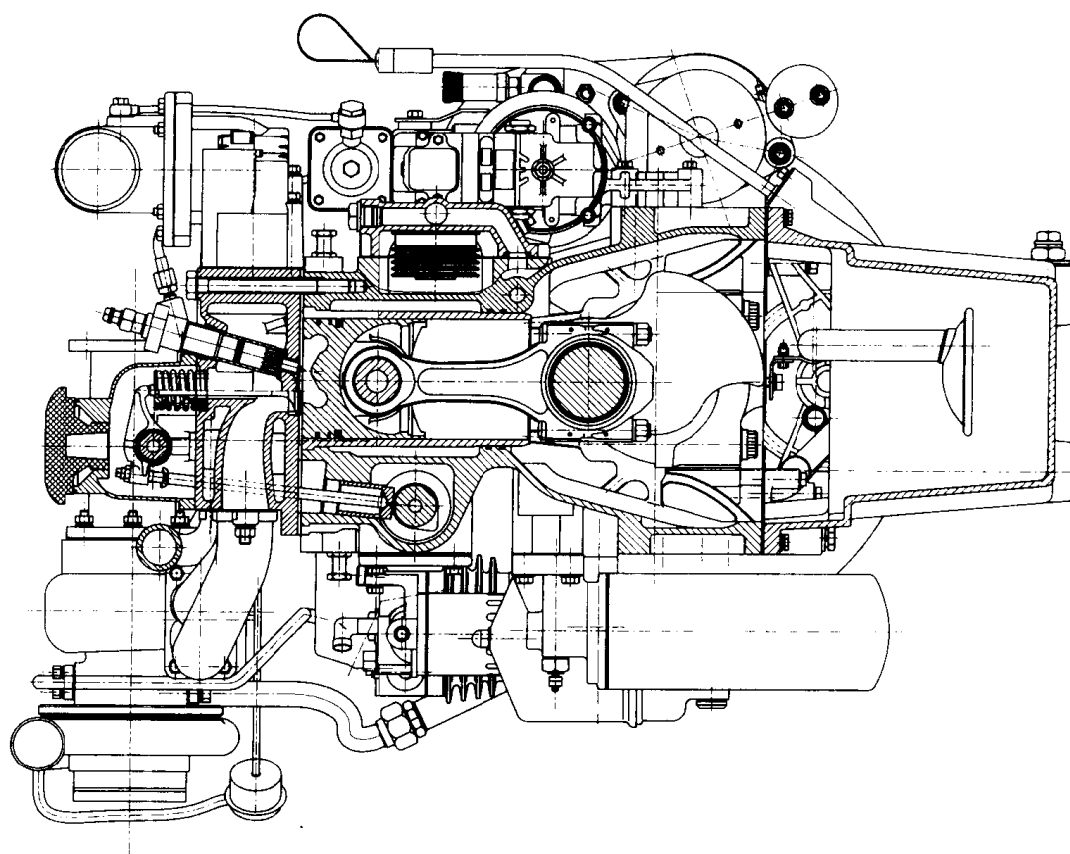


图 1-7 第一汽车集团公司 6110B 柴油机纵横剖面图(续)
b) 横剖面