



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
2014 年全国高等农业院校优秀教材

QICHE TUOLAJI XUE

汽车拖拉机学

第二册

发动机原理与构造

FADONGJI YUANLI YU GOUZA0

许绮川 樊启洲◎主编



 中国农业出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

汽车拖拉机学

第一册 发动机原理与构造

许绮川 樊启洲 主编

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

汽车拖拉机学. 第1册, 发动机原理与构造 / 许绮川,
樊啟洲主编. —北京: 中国农业出版社, 2011.5 (2015.1 重印)

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-109-15803-0

I. ①汽… II. ①许…②樊… III. ①汽车-发动机
-高等学校-教材②拖拉机-发动机-高等学校-教材
IV. ①U46②S219

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 118265 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路2号)

(邮政编码 100125)

责任编辑 马顥晨

北京通州皇家印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2011年8月第1版 2015年1月北京第2次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 17.5

字数: 413千字

定价: 32.00元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

内 容 提 要

本教材系统讲述汽车拖拉机用内燃机的结构和工作原理,并将国内外内燃机的最新结构,特别是电子控制燃油喷射系统、微机控制点火系统和其他类型内燃发动机的结构和工作过程作了介绍。

全书共分为十一章,内容包括内燃机的基本工作原理和总体构造、曲柄连杆机构、配气机构和换气系统、柴油机燃油供给系统、汽油机燃油供给系统、润滑系统、冷却系统、启动系统、汽油机点火系统、发动机特性及其他类型发动机等。

本教材编写内容将结构与原理相结合,涉及面广,图文并茂,深入浅出,实用性强。本书为高等院校汽车、拖拉机、内燃机、农业机械化等专业教材,也可作为从事汽车、拖拉机、内燃机、工程机械的教学、研究、设计、制造、使用、修理等工作的工程技术人员的参考书。

主 编 许绮川 (华中农业大学)

樊啟洲 (华中农业大学)

副主编 鲁植雄 (南京农业大学)

刘宏新 (东北农业大学)

吴 明 (吉林农业大学)

参 编 (按姓名笔画排序)

马荣朝 (四川农业大学)

师帅兵 (西北农林科技大学)

孙松林 (湖南农业大学)

李冠峰 (河南农业大学)

盖致富 (农业部农业机械试验鉴定总站)

主 审 徐 达 (武汉理工大学)

前 言

随着社会经济的快速发展,汽车和拖拉机在现代交通运输、农业生产和人们日常生活中所发挥的作用日益显著,越来越多的人迫切需要学习、了解和掌握汽车拖拉机方面的相关知识。虽然汽车与拖拉机的外在形态和使用领域不尽相同,但它们的结构和工作原理有许多相同或相似之处,而且联系十分密切。将汽车和拖拉机的技术知识统编在一起,可满足众多读者对相关知识综合性和多样性的需求。

继我国学科专业调整及其目录颁布之后,汽车拖拉机已归并为一个学科,其重要地位进一步加强。与之对应,其教材既需要充分反映学科专业的基本要求,又需要及时体现汽车拖拉机领域的技术水平,紧紧跟踪该领域新技术的发展方向。随着现代科学技术飞速发展,新材料、新能源、新技术和新工艺在汽车拖拉机上的应用与日俱增。为此,新编了《汽车拖拉机学》系列教材。本系列教材共分三册:第一册,发动机原理与构造(许绮川和樊啟洲主编);第二册,底盘构造与车辆理论(李文哲和许绮川主编);第三册,电器与电子设备(鲁植雄和李文哲主编)。编委会按照教育部关于本科人才培养目标的具体要求,充分讨论制定了《汽车拖拉机学》系列教材编写大纲,并通过历时近两年的不断努力,终于编出了该系列教材。

本教材是《汽车拖拉机学》系列教材中的第一册,获教育部批准作为普通高等教育“十一五”国家级规划教材出版。本教材由许绮川和樊啟洲任主编,鲁植雄、刘宏新、吴明任副主编。许绮川编写绪论、第一章、第二章,樊啟洲、盖致富编写第三章、第四章,刘宏新编写第五章,师帅兵编写第六章,孙松林编写第七章,马荣朝编写第八章,鲁植雄编写第九章,吴明编写第十章,李冠峰编写第十一章。全书由樊啟洲统稿。

本教材的编写过程中,参考了国内外大量的文献资料,得到了许多同仁的大力支持,在此向所有参考文献资料的作者和关心支持本教材编写的人们表示衷心的感谢!

由于编者的水平和经验有限,书中内容难免有错误或不当之处,恳请使用本教材的师生和广大读者批评指正。

本教材的出版发行得到了中国农业出版社的大力支持与帮助,在此一并表示衷心感谢!

编 者

2010年12月

本书常用符号及意义

A_T ——火焰前锋面积	m_p ——平衡重质量
A_1 ——自由排气损失	n ——曲轴转速
A_2 ——强制排气损失	n_b ——标定转速
A_3 ——进气损失	$n_{0\max}$ ——发动机最高空转转速
B ——缸体宽度	P ——功率
C_m ——电机常数	P_e ——有效功率
D ——汽缸直径	P_i ——指示功率
E_f ——反电动势	P_k ——压气机功率
e ——偏心距	P_l ——升功率
F ——沿汽缸中心线的合力	P_m ——机械损失功率
F_c ——基本喷射时间修正系数	p ——气体压力
F_j ——往复运动惯性力	p_a ——进气终了时汽缸压力
F_q ——活塞顶的总气体压力	p_e ——平均有效压力
F_r ——旋转运动惯性力	p_g ——排气管内压力
G_a ——每循环汽缸进气量	p_i ——平均指示压力
G_e ——比质量	p_r ——排气终了时汽缸压力
G_f ——每小时燃油消耗量	p_z ——汽缸内气体压力
G_k ——空气流量	p_0 ——大气压力
G_l ——内燃机结构质量	Q ——燃料产生的热量
g_e ——有效耗油率	Q_e ——相当于有效功的热量
g_i ——指示耗油率	Q_r ——废气排出的热量
H_u ——燃料低热值	Q_s ——其余热损失
I_a ——电枢电流	Q_w ——传递给冷却介质的热量
i ——汽缸数	Q_l ——得到指示功所消耗热量
k ——绝热指数	R ——理想气体常数
l ——连杆长度	R_a ——电枢电阻
M_1 ——每小时排出废气体量	R_f ——电阻
M_2 ——每小时消耗空气量	R_p ——平衡重质心到曲轴中心距离
m_a ——活塞组质量	r ——曲柄半径
m_b ——曲柄组质量	S ——活塞行程
m_c ——连杆组质量	T ——气体的热力学温度
m_j ——作往复运动的质量	T ——电磁转矩
m_r ——作旋转运动的质量	T_a ——进气终了时缸内气体温度

T_e ——有效转矩	δ_1 ——稳定调速率
T_{eb} ——标定工况下转矩值	δ_2 ——瞬调速率
T_p ——基本喷射时间	ϵ ——压缩比
T_v ——喷油器无效喷射时间	ρ_T ——未燃混合气密度
t_r ——排气温度	ρ_p ——汽油密度
U_T ——火焰速度	ρ_s ——空气密度
U_1 ——电枢电压	η_e ——有效效率
V_a ——汽缸总容积	η_i ——指示效率
V_c ——燃烧室容积	η_k ——压气机绝热效率
V_h ——汽缸工作容积	η_m ——机械效率
V_z ——活塞总排量	η_v ——充量系数
W_i ——实际循环所作的有用功	θ ——供油提前角
α ——过量空气系数	λ ——曲柄连杆比
β ——进气门迟关角	τ ——内燃机行程数
γ ——排气门早开角	ϕ ——磁通
δ ——排气门迟关角	ω ——曲轴角速度

目 录

前言

本书常用符号及意义

绪论	1
一、内燃机基本工作特征	1
二、内燃机技术发展概况	1
三、内燃机在生产中的应用	5
第一章 发动机总体构造和工作原理	7
第一节 内燃机的总体构造	7
一、内燃机的分类	7
二、内燃机的总体构造	8
第二节 内燃机的基本工作原理	10
一、内燃机基本术语	10
二、四行程内燃机工作原理	11
三、二行程内燃机工作原理	13
四、多缸四行程内燃机工作原理	16
五、内燃机产品名称和型号编制规则	16
第三节 内燃机的主要性能指标	17
一、指示性能指标	17
二、有效性能指标	18
三、运转性能指标	19
四、可靠性与耐久性	21
五、内燃机的热平衡	21
第四节 影响内燃机工作性能的主要因素	23
一、机械损失及机械效率的主要影响因素	23
二、动力性和经济性的主要影响因素	25
思考题	26
第二章 机体组与曲柄连杆机构	28
第一节 机体组	28
一、机体与下曲轴箱	28

二、汽缸与汽缸套	29
三、汽缸盖与汽缸垫	30
第二节 活塞连杆组	32
一、活塞组	32
二、连杆组	36
第三节 曲轴飞轮组	38
一、曲轴	38
二、飞轮	41
三、扭转减振器	41
第四节 曲柄连杆机构受力分析与平衡	42
一、曲柄连杆机构的运动规律	42
二、曲柄连杆机构的质量换算	44
三、曲柄连杆机构的受力分析	45
四、曲柄连杆机构的平衡措施	47
思考题	51
第三章 配气机构与换气系统	52
第一节 配气机构	52
一、配气机构的类型	52
二、配气机构的构造	53
三、配气相位与气门间隙	58
第二节 换气系统	60
一、空气滤清器	60
二、进气管与排气管	61
三、排气消声器	62
四、发动机排气净化	63
第三节 四行程发动机的换气过程	66
一、换气过程	66
二、换气损失	69
三、充量系数及其影响因素	69
四、提高充量系数的措施	70
第四节 废气涡轮增压	71
一、涡轮增压器的工作原理与基本结构	72
二、涡轮增压器的主要参数和工作特性	73
三、压缩空气的冷却	74
思考题	75

第四章 柴油机燃油供给系统	76
第一节 柴油机燃油供给系统的组成	76
一、燃油供给系统的组成与工作原理	76
二、燃油供给系统的基本工作要求	77
第二节 柴油机可燃混合气的形成与燃烧室	78
一、可燃混合气的形成与燃烧	78
二、柴油机燃烧室	79
第三节 喷油器	82
一、孔式喷油器	82
二、轴针式喷油器	83
三、燃油的喷雾	84
第四节 喷油泵	85
一、柱塞式喷油泵	86
二、转子分配式喷油泵	98
第五节 调速器	99
一、调速器的功用	99
二、调速器的种类及工作原理	100
三、机械调速器的结构及工作过程	103
第六节 柴油机供给系统的辅助装置	110
一、燃油箱	110
二、燃油滤清装置	110
三、输油泵	112
第七节 柴油机电控燃油喷射系统	113
一、燃油喷射量控制	115
二、燃油喷射正时控制	116
三、怠速控制	117
四、进气节流控制	117
思考题	118
第五章 汽油机燃油供给系统	119
第一节 可燃混合气的形成与燃烧	119
一、汽油及其可燃混合气的形成	119
二、可燃混合气的燃烧	120
三、使用因素对燃烧的影响	125
第二节 化油器式燃油供给系统	127
一、化油器的基本构造和工作原理	128

二、实用化油器的辅助装置	129
第三节 电子控制燃油喷射系统	134
一、燃油喷射系统	135
二、进气系统	139
三、燃油喷射控制系统	141
思考题	145
第六章 发动机润滑系统	146
第一节 润滑油及润滑方式	146
一、润滑油	146
二、润滑方式	147
第二节 润滑系统的组成及油路	148
一、润滑系统的组成	148
二、润滑系统的油路	149
第三节 润滑系统的主要机件	151
一、机油泵	151
二、机油滤清器	153
三、机油冷却装置	156
第四节 曲轴箱的通风	157
一、通风的必要性	157
二、通风方式	157
三、曲轴箱通风的典型结构	158
思考题	158
第七章 发动机冷却系统	159
第一节 冷却介质及冷却方式	159
一、冷却介质	159
二、冷却方式	160
第二节 冷却系统的组成及工作原理	161
一、强制式水冷却系统	161
二、风冷却系统	163
第三节 水冷系统主要机件	164
一、水泵	164
二、散热器	166
三、冷却强度的调节装置	167
思考题	172

第八章 发动机启动系统	173
第一节 发动机的启动和启动方式	173
一、发动机的启动	173
二、发动机的启动方式	173
第二节 电启动系统	174
一、电磁操纵强制啮合式启动机	175
二、电启动机的传动机构	179
三、其他形式的启动机	181
四、电启动机驱动保护电路	183
第三节 启动辅助装置	184
一、电热塞	184
二、进气预热器	185
三、启动液喷射装置	185
四、启动减压装置	185
思考题	186
第九章 汽油机点火系统	187
第一节 点火系统要求与分类	187
一、对点火系统的要求	187
二、点火系统的分类	190
第二节 传统点火系统	190
一、传统点火系统的组成	190
二、传统点火系统的工作原理	191
三、传统点火系统各组件的构造	194
第三节 半导体点火系统	199
一、概述	199
二、有触点半导体点火系统	200
三、无触点半导体点火系统	200
第四节 微电脑点火控制系统	204
一、特点与类型	204
二、组成与工作原理	205
三、高压配电原理	206
四、点火提前角的控制	207
思考题	210
第十章 发动机特性	211
第一节 发动机的工况及标定功率	211
一、发动机工况	211

二、发动机标定功率	212
第二节 调整特性	213
一、柴油机调整特性	213
二、汽油机调整特性	215
第三节 负荷特性	217
一、汽油机负荷特性	218
二、柴油机负荷特性	219
第四节 速度特性	220
一、柴油机速度特性	220
二、汽油机速度特性	224
第五节 调速特性	227
一、调速特性	227
二、调速器的工作指标	230
第六节 万有特性	231
一、万有特性的意义	231
二、万有特性曲线的制取	232
三、汽油机与柴油机万有特性的比较	233
思考题	234
第十一章 其他类型发动机	235
第一节 转子发动机	235
一、转子发动机的发展及其基本组成	235
二、转子发动机的工作原理	236
三、转子发动机的主要构造	239
四、转子发动机的主要系统	244
第二节 燃气涡轮发动机	248
一、燃气涡轮发动机的发展及其基本组成	248
二、燃气涡轮发动机的工作原理	249
三、燃气涡轮发动机主要构造	250
第三节 气体燃料发动机	253
一、天然气发动机	254
二、液化石油气发动机	260
三、氢燃料发动机	262
思考题	264
主要参考文献	265

绪 论

一、内燃机基本工作特征

广泛应用于汽车、拖拉机的内燃机是一种将燃料在其气缸内部燃烧，并将燃料燃烧释放出的热能转变为机械能，以此带动其他机械做功的一种热力发动机。燃料燃烧前与空气形成可燃混合气，燃烧后产生含有污染成分的燃烧产物。由于内燃机一个工作循环接着一个工作循环连续工作，所以在进行下一工作循环时，必须先将上一工作循环产生的燃烧产物排放掉，故其工作方式为开式循环。同时，由于一般内燃机为容积式内燃机，即利用高温高压膨胀气体推动活塞在汽缸内往复运动，从而实现将热能转化为机械能，故其工作过程为间歇式。

基于上述基本工作特征，内燃机具有热效率高、功率范围宽、单位输出功率质量轻、结构简单、体积较小、移动方便等诸多优点，被现代汽车、拖拉机所广泛使用。但是内燃机对燃料要求高，排放的燃烧产物含有一定有害成分，工作速度受到较大限制，工作时产生较大噪声和振动等是内燃机技术进步中亟待解决的问题。

二、内燃机技术发展概况

1. 内燃机技术发展简史 内燃机的发明始于煤气内燃机的出现。1678年，法国人浩特佛勒（Hautefeuille）基于欧洲一些城市照明煤气的供应，萌发了创造煤气内燃机的思想。此后约180年内，欧洲较发达国家相继提出了关于煤气内燃机的活塞汽缸结构和等压燃烧、煤气压缩、电点火等技术原理。直至1860年法国人雷诺尔（Lenoir）研制成功一种最大功率约2 kW的二行程大气压力式煤气内燃机并投入使用。其工作过程为煤气和空气在活塞的前半行程被吸入汽缸并被火花塞点燃；后半行程为燃气膨胀过程，促使活塞下行做功。由于此内燃机没有压缩过程，汽缸内最大压力只有400 kPa，其热效率仅有4.2%左右。

1876年，德国人奥托（Otto）提出了先压缩可燃混合气和等容燃烧的四行程煤气内燃机，其热效率达到14%，压缩比约为2.5，功率为2.9 kW，质量比雷诺尔研制的煤气内燃机减少了70%左右。奥托研制的煤气内燃机是在法国人罗卡斯（Beau De Rochas）1862年提出的四行程等容燃烧理论指导下的成果，这是内燃机发展史上的第一次重大技术突破。

随着石油工业的发展，出现了比煤气热值高出很多的汽油和柴油等产品，为后来液体燃料发动机的诞生创造了新的能源条件。1883年德国人戴姆勒（Daimler）研制成功了带化油器的电火花点火的立式汽油机，其转速高达1 000 r/min。同时德国人奔驰（Benz）研制高速汽油机，并于1886年成功地将汽油机装在车辆上运行，从此开始了汽油机的广泛应用，并由此诞生了汽车。

1892年德国工程师鲁道夫·笛赛尔（Rudolf Diesel）提出了压燃式内燃机的工作原理和

一种新型内燃机专利。五年之后研制出了带有冷却水套的,趋近于等压过程燃烧的,以煤油为燃料的压燃式内燃机,由于采用了大压缩比和膨胀比,热效率比当时的其他内燃机提高一倍,达到31%左右。压燃式笛赛尔内燃机的研制成功是内燃机发展史上的第二次重大技术突破。

初期的压燃式内燃机采用压缩空气将燃油喷入汽缸,发动机必须附带空气压缩机,因此整个动力装置非常笨重。1899年开始研制机械式喷油装置,直到20世纪初,随着机械工业的发展及制造工艺水平的提高,出现了结构简单、外形尺寸小的机械式精密喷油装置,使内燃机的基本形态和原理延续至今。

2. 内燃机技术发展现状 内燃机近一百多年的发展历程中,具有划时代意义的两个重要发展阶段是:20世纪50年代初兴起的增压技术在内燃机产品上的广泛应用;20世纪70年代开始的计算机技术和电子技术在内燃机研制中的应用。20世纪80年代以来,由于环境污染和能源短缺的问题日益严重,内燃机正面临着废气净化和燃油消耗等一系列约束,从而促进了各种基础研究和应用研究的开展,致使当代内燃机技术不断进步。

(1) 整机性能不断提高 为了满足用户需要和提高内燃机在国际市场上的竞争力,美、日、西欧等各主要生产厂家自20世纪80年代初以来,积极开展价值工程、机型品种、产品市场等多方位研究,其中最突出的是把经济性放在首位,并着力提高其整体性能。

小型通用卧式柴油机,多以人力启动方式为主,主要是为了适应小型拖拉机、自走式耕耘机和加工机械等农业装备发展的需要。根据其用途和特性的不同,小型通用卧式柴油机可分为:22 kW级低速型、7.35 kW通用型和轻小机型三种。22 kW级柴油机功率较大,主要用于各种工程机械;7.35 kW左右的柴油机主要适用于与耕耘机配套;轻小型水冷柴油机可配套于植保机械和微型耕整机。基于改善操作条件,满足轻型、高速、大功率、振动小、噪声低等方面的要求,立式柴油机主要向多缸方向发展。

就目前技术水平而言,大型动力装备中几乎毫无例外地采用中、低速柴油机。功率范围为750~3 000 kW的中速四行程柴油机,因其结构紧凑、操作灵活和成本适中而广泛受到欢迎。因转速范围为450~1 500 r/min有利于高功率化和与配套装置高效匹配,故机车、小型船舶以及摆渡运输船等通常选用中速柴油机,其平均有效压力可达2.5 MPa,比油耗低于200 g/(kW·h)。功率范围为7 500~66 000 kW的柴油机,其循环热效率已达50%~55.6%,比油耗已降至150~200 g/(kW·h)。中、低速大功率柴油机使用寿命已有明显提高:低速二行程柴油机的大修期可达20 000 h;中速四行程柴油机可达12 000~15 000 h。同时中速柴油机的比质量可下降到1.36 kg/kW。

有关资料表明,燃料费约占载重车运行费的70%,因此,降低油耗是内燃机经济性的首要追求目标。由于柴油车的油耗一般比汽油车低30%~40%,近些年来国际上高速柴油车的发展明显加快。目前车用柴油机的发展趋势有以下特点:小排量内燃机柴油化及其向轿车领域扩展;分开式燃烧室柴油机直喷化;直喷式柴油机增压化并引入进气中冷器;电子控制技术广泛应用等。在发展废气净化技术的同时,为提高燃油经济性,广泛推行直喷、增压和电控等技术;为改善混合气形成质量而使气缸小型化和高速化;为提高升功率,采用多气门和增压技术;为改进燃烧条件,采用燃油预喷射技术;为降低噪声,改进噪声辐射件(如机体、油底壳、齿轮室等)设计。

汽油机由于其升功率高、工作柔和平稳、噪声低、比容积小和比质量轻等优点,适合于

汽车和轻型车使用。为满足排放法规和燃油经济性要求,汽油机广泛采用高空燃比和稀混合气燃烧系统。如:May 火球式高紊流燃烧室用于 JaguarXJS 型车辆上,其燃油经济性可提高 20%;德国 Bosch 公司的最佳热力学系统,在部分负荷时燃油经济性可提高 30%;丰田公司开发了一种可在怠速和常速运行条件下采用稀混合气燃烧的系统,空燃比可达 24。为了提高燃油经济性,还可采用高压压缩比和分层充气技术。如:BMW 公司的新型 Eta 汽油机采用的快速燃烧系统,其压缩比高至 13,燃油经济性提高 1.5%~1.8%;松田公司的分层充气系统,将“S”形进气道与带导气屏的进气门配合,结合高能点火系统,使汽油机在全工况范围内取得了提高燃烧速度与稳定着火的良好效果;Fiat 公司的 Marker 系统为另一种最新分层充气系统,具有良好的燃油经济性并适用多种燃料,燃油经济性比一般汽油机提高 30%。此外,本田公司的复合旋流燃烧控制(CVCC)充量分层系统和 GM 公司的轴向分层喷油式汽油机等都能较好地改善经济性。MAN 公司采取汽油向燃烧室壁面喷射,燃油由壁面蒸发形成混合气,实现工质分层和外源点火的燃烧方式,使整个工作转速范围内接近于等压燃烧,比油耗接近柴油机的水平,最低油耗为 231.8 g/(kW·h)左右。双顶置凸轮轴、多气门、电控多点喷射系统和三元催化净化系统已得到普遍采用。在这些方面保持领先的主要有丰田公司的稀薄燃烧技术、三菱公司的缸内直喷技术(GDI)、奥迪公司和本田公司的可变气门正时技术(VVT 和 VTEC)等。已广泛应用进气管处多点燃油喷射技术的小型汽油机,其最低油耗在 205 g/(kW·h)左右,整机动力性提高 20%以上,并有效改善了排放。

由于多气门技术和燃油喷射系统的采用,目前小轿车汽油机的燃油消耗较过去有较大幅度的降低,这样既减少了使用费用,又有利于环境保护。目前欧洲和日本小轿车每百千米平均油耗一般在 5.5~6.5 L,部分机型甚至达到 5L 以下,而且许多汽车公司正在研制油耗为 3 L/100 km 的小型轿车。

(2) 增压技术应用广泛 增压技术始于 20 世纪 20 年代,但直到第二次世界大战结束后,其研究和应用才受到重视。20 世纪 70 年代,由于增压度可达 200%以上,致使柴油机的平均有效压力,四行程机达 2.0 MPa 以上,二行程机超过 1.6 MPa。由于普遍采用中冷,使高增压($p_c > 2.0$ MPa)的四行程机实用化。英国 Atlas 公司研制出 p_c 达 3.5 MPa 的试验机;瑞典 Gotaverken 公司在二行程 3 缸试验机上采用二级增压,使 p_c 达 1.8 MPa。增压四行程柴油机的比油耗不大于 187.6 g/(kW·h);二行程机不大于 160.8 g/(kW·h)。这相对于 50 年代初期的增压技术水平有了惊人的发展。20 世纪 80 年代,进排气系统的优化提高了充气效率;排气能量的充分利用,出现了谐振进气系统和 MPC 增压系统;可变截面涡轮增压器使得单级涡轮增压比可达到 5 以上。法国的 Suralmo 超高增压系统平均有效压力可提高到 3.3 MPa 以上,其技术关键是设有 Hyperbar 旁通和补燃系统。采用超高增压系统,增压比可达 10 以上,功率输出可提高 2~4 倍。法国 Poyaud520 系列发动机采用超高增压系统,使 V8×1500 型内燃机的体积功率高达 699 kW/m³。美国 Cummins 公司在—台普通涡轮增压的 NTC-400 直列 6 缸柴油机上采用自由动力涡轮复合后,试验中取得 155.4 g/(kW·h)的最低比油耗,比原机节油 14.8%,发动机功率由 299 kW 上升到 336 kW。

涡轮增压技术发展非常迅速。20 世纪从 80 年代开始,美国 Garrett 公司、德国 KKK 公司、英国 Holset 公司和日本的三菱重工等径流式增压器的主要厂商,相继开发出前倾后弯式压气叶轮、各种排气放气阀和可变几何截面涡轮增压器。各种新的增压系统和材料技术