

车辆工程导论

● 主编 周万春 郑路 陈晓 李静



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

车辆工程导论

周万春 郑路 陈晓 李静 主编

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书根据高等教育发展的新要求,为推进高校转型发展和应用型人才培养改革创新,结合编者多年的教学经验及近几年的教学改革成果编写而成。

本书有如下3个特色:首先,行文顺序以学生接触和学习车辆工程专业的视角编写;其次,加强了汽车电子技术尤其是汽车网络部分的内容;最后,详细描述了电动汽车和智能网联汽车的主要概念和内涵。

全书共10章,主要包括:车辆工程专业导论、国外汽车工业及汽车品牌、中国汽车工业及汽车品牌、汽车构造、汽车电子技术、汽车设计、汽车制造、汽车试验、电动汽车、智能网联汽车。

本书可作为普通高等院校16~32学时的车辆工程专业导论课程教材,也可供高职高专、电大、函授等类型院校相关专业教学参考,同时还可供从事车辆工程专业的工程技术人员入门参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

车辆工程导论 / 周万春等主编. --北京:北京理工大学出版社, 2022. 6

ISBN 978-7-5763-1389-5

I. ①车… II. ①周… III. ①车辆工程-高等学校-教材 IV. ①U27

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2022)第 101760 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(总编室)
(010)82562903(教材售后服务热线)
(010)68944723(其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市龙大印装有限公司

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 20

字 数 / 470 千字

版 次 / 2022 年 6 月第 1 版 2022 年 6 月第 1 次印刷

定 价 / 88.00 元

责任编辑 / 李 薇

文案编辑 / 李 硕

责任校对 / 刘亚男

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

主编简介

周万春，教授，河南省机械工程学会理事。

郑州市专业技术拔尖人才，郑州市教育局学术技术带头人。河南省工程实验室“电动汽车电池网络组合与维护技术实验室”负责人，郑州市“汽车人机关系与安全”重点实验室主任。郑州市精品资源共享课《材料力学》负责人，郑州地方高校优秀教学团队“机械设计制造及其自动化”带头人。

主持完成教育部及河南省教科研项目3项，编写教材5部，获国家发明专利和实用新型专利20余项，发表学术论文30余篇，获河南省科技进步三等奖1项。

本书是根据高等教育发展的新要求，为推进高校转型发展和应用型人才培养改革创新，依照河南省应用型教材建设联盟汽车类专业应用型本科教材开发工作要求，并通过编者近年来的教学改革探索，在总结、凝练教学经验和成果的基础上编写而成。

本书的特色：

1. 汽车是人们日常生活中常见的一种交通工具，不少学生对于汽车或多或少、或深或浅地有一些了解。但对于多数车辆工程专业的新生来讲，什么是车辆工程专业，要学习哪些课程，如何学好这些课程等问题是比较陌生的。

基于上述考虑，本书章节顺序的编排站在新入学的大一学生的角度，从汽车的历史、现状和未来发展方向入手，先介绍了车辆工程专业的概况及课程体系，画出了课程地图，给出了车辆工程专业本科4年学习的全景画面；之后，详细介绍了世界各国主要汽车品牌以及汽车行业机械技术和电子技术的现状；然后，针对车辆工程专业的人才培养目标要求，介绍了汽车设计、汽车制造、汽车试验等内容；最后，结合当前及未来汽车发展的重点方向，又对电动汽车和智能网联汽车的概念和内涵进行了介绍。

2. 本书加强了对汽车电子尤其是汽车网络相关内容的介绍。当今世界汽车工业正处于大变革、大调整的时期，而变革的主线是汽车的电子化、信息化和智能化，关键技术是汽车电子控制技术。汽车电子控制技术的水平直接影响着汽车的动力性、经济性、安全性和舒适性。如今汽车电子装置的成本占整车成本的比重越来越高，以至形成了“软件定义汽车”的概念。

3. 本书紧跟汽车领域发展步伐，详细描述了电动汽车和智能网联汽车的主要概念和内涵。电动汽车和智能网联汽车分别反映了汽车动力源和操作方式的革命，从大一即开始学习，我们认为是必要的，也是必需的。

本书由郑州工程技术学院周万春、郑路、陈晓、李静主编，编写分工如下：周万春（第1、2章），李静（第3、4、5章），陈晓（6、7、8章），郑路（第9、10章）。

限于水平，书中不当之处在所难免，欢迎读者批评指正。

编 者

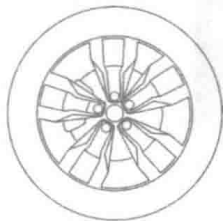
2022年3月

目 录

第 1 章 车辆工程专业导论	(1)
1.1 汽车发展历史、技术现状与产业未来	(1)
1.2 车辆工程专业简介	(14)
1.3 车辆工程专业竞赛	(17)
第 2 章 国外汽车工业及汽车品牌	(20)
2.1 欧洲汽车企业和品牌	(20)
2.2 美国汽车企业和品牌	(35)
2.3 亚洲汽车企业和品牌	(39)
第 3 章 中国汽车工业及汽车品牌	(44)
3.1 国有车企和品牌	(44)
3.2 民营车企和品牌	(61)
3.3 新势力车企和品牌	(66)
第 4 章 汽车构造	(68)
4.1 汽车总体构造及其行驶原理	(68)
4.2 汽车发动机构造	(73)
4.3 汽车底盘构造	(92)
4.4 汽车车身构造	(111)
4.5 汽车电气与电子设备构造	(116)
第 5 章 汽车电子技术	(124)
5.1 汽车电子控制系统概述	(124)
5.2 发动机电子控制系统	(127)
5.3 汽车底盘电子控制系统	(142)
5.4 汽车网络技术	(150)
第 6 章 汽车设计	(160)
6.1 汽车设计概述	(160)
6.2 汽车车型设计	(161)
6.3 汽车设计方法	(172)
6.4 概念车设计举例	(174)
第 7 章 汽车制造	(178)
7.1 汽车制造概述	(178)
7.2 汽车金属零部件制造	(180)



7.3	汽车非金属零部件制造	(191)
7.4	汽车整车生产	(202)
第8章	汽车试验	(226)
8.1	汽车整车性能道路试验	(226)
8.2	汽车可靠性行驶试验	(232)
8.3	整车碰撞安全性试验	(235)
8.4	汽车环保特性试验	(237)
8.5	汽车典型总成与零部件试验	(239)
第9章	电动汽车	(243)
9.1	电动汽车概述	(244)
9.2	纯电动汽车、插电式混合动力电动汽车和燃料电池电动汽车	(247)
9.3	电动汽车的电池、电机和电控	(254)
9.4	插电式混合动力电动汽车的串联、并联和混联	(263)
9.5	插电式混合动力电动汽车案例	(266)
第10章	智能网联汽车	(271)
10.1	智能网联汽车概述	(272)
10.2	智能汽车概述	(278)
10.3	网联汽车概述	(293)
10.4	先进辅助驾驶技术	(298)
10.5	智能小车案例	(303)
参考文献	(306)



第1章

车辆工程专业导论



本章首先以时间为主线,简要介绍汽车发展的历史、现状和未来,同学们应认真体会,并从图书馆和互联网等渠道搜集资料,进行扩展阅读,了解汽车文化。其次,本章着重介绍车辆工程专业,同学们应了解本专业主干课程和综合实训,以及它们之间的关联,既不要畏难惰学,也不要仅凭热血,学习贵在踏实和坚持,打好基础,才能勇攀高峰。最后,本章结合全国大学生智能车大赛和方程式车大赛,谈一谈车辆工程专业的学习建议,愿同学们都能规划好车辆工程专业的学习之路。

1.1 汽车发展历史、技术现状与产业未来

1.1.1 汽车发展历史

1. 世界汽车发展历史

在众多制造业产品中,汽车作为社会生产发展到一定高度的必然产物,不仅是科技进步的体现,更是一种新兴生产方式的诞生和体验,汽车工业的发展蕴藏着经济运行的深层背景和动力。汽车工业曾被称为“工业中的工业”,至今也依然是全世界最大的制造业。自1885年世界上第一辆汽车诞生以来,世界汽车工业已经走过了一个多世纪的历程。在过去的100多年之中,全球汽车工业历经了不同的发展阶段,取得了令人瞩目的成就。

1) 世界汽车工业的萌芽(1885—1908年)

1766年,英国发明家瓦特改良了蒸汽机,拉开了工业革命的序幕。1769年,法国陆军工程师N. J. 居纽制造出第一辆蒸汽机驱动的自动力车,如图1-1所示。这种车装着3个木制车轮,车驾前端装着一个大锅炉,是世界上最早的汽车,因为使用蒸汽机驱动,所以叫汽车。虽然蒸汽驱动被后来的燃油、燃气、电池等驱动方式淘汰,但“汽车”称谓沿用至今。18世纪末到19世纪初,欧美国家出现了制造蒸汽汽车的热潮,各种用途的蒸汽汽车相继问世,此时的蒸汽公共汽车是最早的公共汽车雏形,如图1-2所示。

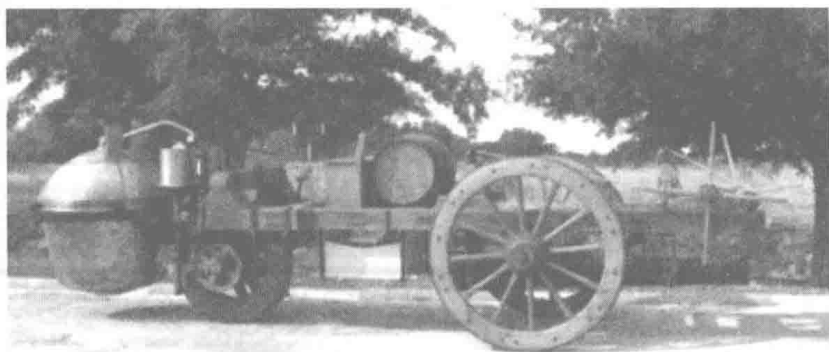


图 1-1 法国居纽制造的蒸汽汽车



图 1-2 蒸汽公共汽车

1885年，德国人卡尔·本茨研制成功一辆装有0.85马力（1马力=735.5W）的汽油机三轮车，该车已具备现代汽车的一些基本特点，如火花点火、水冷循环、钢管车架、钢板弹簧悬架、后轮驱动前轮转向和制动手把等，被公认为世界第一辆真正意义上的汽车，拉开了世界汽车工业发展的帷幕。1886年1月26日，卡尔·本茨向德国的曼海姆专利局提交申请，并获得了世界上第一项汽车专利权，标志着世界汽车工业的正式诞生。但是，卡尔·本茨制造的三轮汽车发动机性能低下，点火装置的可靠性也较差，因而没有投入商业使用。在此期间，戈特利布·戴姆勒研制出一辆用1.1马力汽油发动机作为动力源的世界第一辆四轮汽车，该车的发动机采用了四冲程形式和更加可靠的点火系统，从而推动了汽车工业的商业化生产进程。世界上第一辆三轮汽车如图1-3所示。

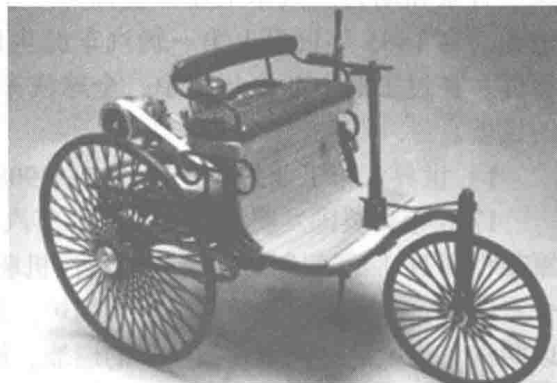


图 1-3 世界上第一辆三轮汽车

汽车正式投入商业化生产之后，发明家和生产商不懈地寻求产品性能的改善、生产技术的突破和生产效率的提高，但从1885年至1908年的20多年期间，汽车生产技术仍然处于初始的摸索和积累阶段，手工生产和简单落后的设备一直都是汽车生产的主要手段，

因此汽车生产的效率低下，产量难以迅速提高。

2) 世界汽车工业的初步发展 (1908—1945 年)

第一辆在生产线上生产的福特 T 型汽车于 1908 年在美国诞生，如图 1-4 所示。其一改以往类似马车的造型，在功能配置上进行创新和改进，成为当时城市的最佳个人交通工具，上市一年卖出近 2 万辆，到 1927 年停产时共生产了 1 500 多万辆。

亨利·福特发明的 T 型汽车开创了汽车工业的大量生产 (Mass Production) 时代，成为汽车工业史上一次具有划时代意义的革命。福特 T 型汽车简单实用、结实灵活、操作方便，而且可以大规模生产，从根本上影响了汽车工业的发展。

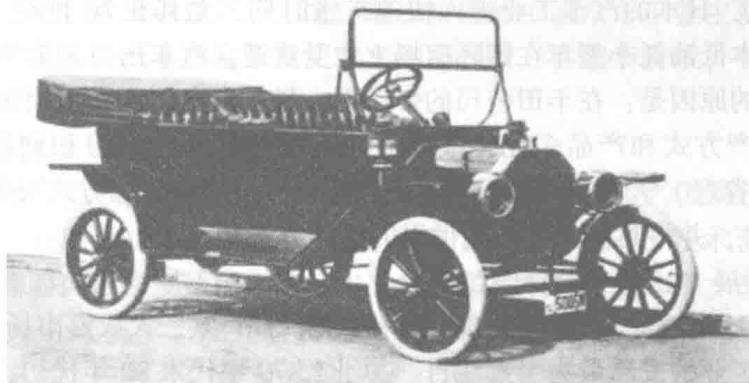


图 1-4 最早的福特 T 型汽车

1914 年，福特公司再次率先推出流水线装配大量作业方式，使汽车生产的效率迅速提高、产量大增。流水线作业方式将工人固定在某一个特定岗位上，零部件和原材料通过传送带在不同工种的工人之间进行转移。流水线生产方式提高了生产效率，从而降低了汽车的生产成本和销售价格。福特汽车公司进行的生产变革使美国出现了普及汽车的高潮，世界汽车工业发展的中心也从欧洲转向美国。20 世纪 20 年代初，通用汽车在大量生产方式的基础上推行产品多元化战略和进行全系列产品生产，进一步改善了汽车工业的生产方式和管理体制。与此同时，规模经济带来的竞争压力导致汽车生产迅速集中在少数的大厂商手中，而许多小规模的企业破产或者被兼并。

20 世纪 30 年代，福特制生产方式传播到欧洲。早期有一股“朝拜”的人流，包括安德烈·雪铁龙、路易·雷诺、赫伯特·奥斯汀，访问了海兰公园。而且，福特在达根汉和科隆建立的工厂在欧洲当地已直截了当地展示了大量生产方式的各个方面。因此，多年之前，在欧洲已经很容易了解到大量生产方式的基本概念。

福特 T 型汽车的销售纪录直到 1938 年大众甲壳虫车型问世才被打破。大众甲壳虫汽车外形由箱型变为流线型，如图 1-5 所示。



图 1-5 大众甲壳虫汽车

3) 从发展走向成熟 (1945 年到 20 世纪 80 年代初)

第二次世界大战期间 (1939—1945 年)，各国民用汽车工业的发展受到了很大的干



扰。战争结束初期,德国、日本等国的汽车工业几乎陷入了全面的停滞。经过几年的调整,德国和日本的汽车工业迅速得到了恢复和发展,成为举足轻重的汽车生产和消费大国。欧洲和日本在产品设计以及生产组织方面发起了两次革新,推动世界汽车工业逐步走向成熟,美国、日本和欧洲全球三大汽车市场遂成鼎足之势。

20世纪50年代,欧洲人率先实施产品差异化战略以满足不同顾客的各种需求,提高了汽车在欧洲的普及程度。1955—1966年,欧洲汽车生产量以年均10.6%的速度增长,产量一举突破1000万辆,超过美国成为又一个世界汽车工业发展中心。20世纪70年代初期,欧洲汽车市场规模已经能够与美国相媲美,汽车生产总量甚至已经超过了美国。20世纪60年代开始,日本的汽车工业进入快速扩张时期,尤其在20世纪70年代的两次石油危机期间,日本低油耗小型车在国际市场上大受欢迎,汽车出口量激增。日本汽车工业迅猛发展最重要的原因是:在丰田公司的带动下,日本汽车厂商大力缩短开发时间,采用并推广小批量生产方式和产品多元化战略,并且通过不断的学习和创新提高产品性能。1984年,美国麻省理工学院的研究小组正式将日本汽车生产管理方式冠名为“精益生产”(Lean Production),并将其誉为“改变世界的生产方式”。

4) 多极化发展(20世纪80年代至今)

20世纪80年代以来,全球汽车工业进入了美、日、欧三大成熟市场三足鼎立的时代,尤其以日本汽车工业的发展最为引人注目。20世纪70年代末80年代初,经济危机使美国和欧洲汽车工业受到了一定的挫折,但日本汽车工业的发展一枝独秀。面对日本汽车巨头的全球扩张,欧洲和美国汽车厂商几乎难以招架。在贸易方面,欧美车商一方面加快优化设计,另一方面游说政府出面迫使日本签订自愿出口限制协议和强迫日元升值,从而抑制日本的汽车出口。为了绕开欧美的贸易壁垒,日本汽车公司加大了海外投资建厂的力度,本田、日产、三菱和富士公司相继在美国设厂。

20世纪90年代以来,新兴汽车市场成为全球汽车工业的重要推动力,中国、印度、韩国、巴西和墨西哥已经成为全球重要的汽车工业国。相比于发达国家来说,新兴汽车市场的平均增长速度要快得多。尽管发展中国家的汽车工业获得了巨大发展,许多国家都建立了雄心勃勃的汽车发展战略,但它们仍然在很大程度上依赖跨国公司的技术和资本。汽车产业资本密集、技术含量高,采取“以市场换资金”和“以市场换技术”的战略虽然可以促进本国汽车工业的发展,但在资本积累和技术创新方面的效果并非很好。

2. 中国汽车发展历史

自1949年以来,中国汽车工业经历了从无到有、从有到优的曲折而辉煌的发展历程。2018年,中国汽车产销量突破2800万辆,连续十年排名全球第一,巨大的汽车市场给中国汽车工业由大变强、走向世界带来了极佳的历史机遇。然而,中国还远不是汽车强国,总体上中国汽车工业的技术水平与生产效率较低,能耗与污染较高,汽车工业转型升级的内在需求非常迫切。根据不同历史时期的发展特征,中国汽车工业大体上经历了以下4个发展阶段。

1) 起步阶段(1949—1978年)

此阶段中国百废待兴,汽车工业的基础非常薄弱。1953年,在苏联的技术援助之下,中国第一汽车制造厂在长春成立,标志着中国第一家汽车制造企业诞生。1956年7月13日,解放牌汽车在一汽成功下线,中国的汽车工业开始慢慢起步。随后,一汽在生产解放牌汽车技术积累的基础之上,于1958年生产出红旗牌轿车。红旗牌轿车在借鉴西方发达



国家先进汽车技术的基础上,融合了中国传统文化之美,高端大气的风格让其顺利成为国家领导人的用车。20世纪50年代末到60年代初,上海汽车制造厂先后制造出了凤凰牌和上海牌轿车,相比红旗牌轿车服务于国家领导人的定位,上海牌轿车则走平民化路线,是当时人民群众争先购买的汽车。20世纪60年代,苏联撤走了所有对中国的援助,同时,美国构建第三岛链对中国进行封锁,中国汽车工业彻底被切断了外部支持资源,独立自主地发展汽车工业成了自上而下的共识。1969年,中国第二汽车制造厂在湖北省十堰市筹备成立,全国各地的汽车工业优质资源支援二汽建厂,其中,一汽的贡献最大,出人、出技术、出资金。二汽建厂初期的主要产品是东风牌卡车。一汽和二汽的建成投产为中国的重工业化战略作出了不可磨灭的贡献。总之,起步阶段的中国汽车工业主要以军车和卡车为主,红旗牌汽车和上海牌汽车丰富了民用汽车产品领域。在起步阶段,中国汽车工业实现了“从0到1”的突破。

2) 引进合资阶段(1978—2001年)

1978年,中国开始实行改革开放,彻底加快了中国汽车工业的发展进程。虽然在起步阶段,中国汽车工业取得“零的突破”,但存在着生产水平低下、技术含量低、生产效率差等问题,特别需要向西方发达国家学习先进的汽车技术和管理水平。改革开放后,中国汽车工业开始进入引进技术、成立合资公司的进程。1983年,中国第一家汽车合资企业——北京吉普成立;1984年,经过多轮谈判,“姗姗来迟”的上海大众获批成立;1985年,广州标致成立,等等。众多合资公司纷纷成立,中方人员开始接触到国际汽车企业,在学习先进汽车技术的同时,还借鉴其管理制度、法律体系和组织程序,为中国汽车工业的发展提供了制度基础。

总之,改革开放打开了中国汽车工业向西方学习的大门,让中国汽车从业者真正认识到了中国汽车工业和西方发达国家之间的差距,加速了中国汽车工业与国际先进水平接轨的进程。

3) 市场化发展阶段(2001—2009年)

2001年,中国正式加入世界贸易组织(WTO)。作为加入WTO的条件,中方承诺在汽车工业方面实施降低进口关税、增加配额等一系列举措。随着改革开放的力度进一步加大,中国汽车工业迎来了快速发展时期。一方面,世界汽车巨头企业进一步进入中国市场,如丰田、福特、奔驰等企业纷纷与国内企业成立合资公司,实现在华本地化经营;另一方面,中国在“入世”前后,允许部分民营企业进入汽车市场,如吉利、长城等企业,民营企业进入后,大大提升了中国汽车市场的活力,民营汽车企业也在与合资企业的竞争中逐渐成长。随着汽车企业的增多,汽车产品也得到进一步丰富,人民群众可以以更低廉的价格买到更好的产品,极大地刺激和提升了中国消费者的消费欲望,中国汽车消费的市场急剧扩大。

总之,中国在“入世”之后,汽车工业呈现高度市场化发展的态势,企业间竞争态势进一步加剧,汽车产销量逐年快速增长,满足了消费者对高质量汽车产品的需求。

4) 创新发展阶段(2009年至今)

经过多年快速发展,中国已经成为全球最重要的汽车国家,自2009年中国汽车产销量超过美国、排名全球第一之后,中国不断巩固这种地位和优势。目前,据公安部统计,2021年全国机动车保有量达3.95亿台,机动车驾驶人达4.81亿人,全国新注册登记机动车3674万台,新领证驾驶人2750万人。这意味着中国已经全面彻底地超过美国,成为



全球机动车保有量最大的国家。预测到 2022 年年底，中国将成为全球第一个机动车保有量突破 4 亿台的国家，其中汽车保有量则必然超过 3 亿台。从技术水平来看，中国汽车工业初步摆脱了技术落后、产品质量差的帽子，在新能源汽车技术、整车平台技术等领域实现了一定的突破；从产品设计来看，中国汽车工业在吸收借鉴国外先进汽车产品造型的基础上，融合了东方因素，打造出了符合中国消费者审美的原创造型，如上汽荣威、广汽传祺、吉利博越等；从新能源汽车来看，中国目前处于跟发达国家并跑甚至部分领域领跑的阶段，中国新能源汽车销售市场全球第一，“三电”核心技术水平持续提升，比亚迪、北汽新能源等企业新能源汽车销量全球领先；从自主品牌来看，中国汽车工业自主品牌影响力持续提升，距离非主流外资品牌的差距已经不大，消费者逐渐认可并乐于购买自主品牌，哈弗、领克、WEY、五菱宏光等自主品牌已经成为质量好、性价比高的国产“神车”。

总之，在创新发展阶段，中国汽车工业产业规模全球领先，研发能力进一步提升，自主品牌价值进一步提高，实现了良性发展。着眼于未来“2030 碳达峰/2060 碳中和”时代背景下的新能源汽车和“5G+人工智能”新一代数字技术在汽车工业领域应用下的智能网联汽车，这两个热点方向对中国汽车工业的发展是个挑战，需要以更大的创新实现更高质量的发展。

1.1.2 汽车技术现状

汽车新技术未来的发展核心将围绕人类对汽车的需求展开。当前汽车行业的新技术包含环保节能技术、智能驾驶技术以及安全性能技术等。这些新技术的发展势必会让未来的汽车变得更加安全，更加人性化，更加符合大众对汽车的要求。

1. 发动机技术现状

汽油机由于功率密度较高、振动噪声小、成本较低且污染物控制比柴油机容易，因此是轻型汽车（包括乘用车和轻型商用车）的主要动力源；而柴油机制造成本高，且需要复杂的后处理系统来满足日益严格的排放标准，因此在中国轻型车上应用较少，在欧洲国家的应用也会逐步减少。

为介绍发动机技术，现对发动机工作过程（见图 1-6）做简单概述。进气系统及燃油供给系统将空气和燃料分别引入到发动机内并形成空气-燃料混合气，混合气在发动机燃烧室内被点燃并发生燃烧，带动曲轴旋转对外输出动力。随着燃烧产生的产物有 H_2O 、 CO_2 以及空气中没有参与反应的 N_2 ，同时也伴有少量 CO 、 HC 、 NO_x 和颗粒物等有害排放物。因此，对发动机工作过程的改善一般可以从如下几方面入手：最大限度地提高动力输出以及其与燃料输入的比值，即提高动力性及燃油经济性；依法合规降低有害物排放量；降低 CO_2 排放（碳排放）。

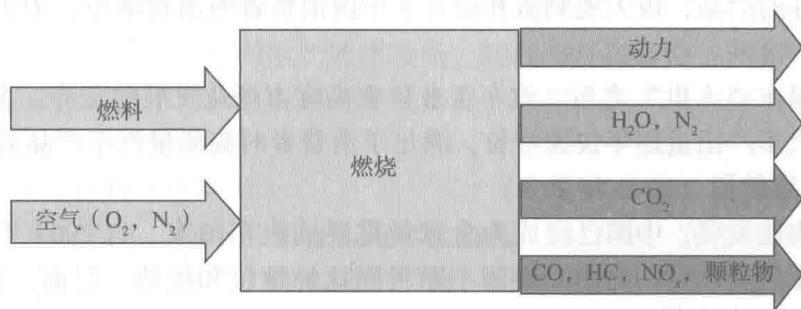


图 1-6 发动机工作过程

1) 进气技术

发动机动力性的提高可以通过提高发动机的充气效率来实现。提高汽油机充气效率的进气技术包括：采用4气门、可变进气管长度、可变进气正时（Variable Valve Timing, VVT）、可变进气升程（Variable Valve Lift, VVL）以及废气涡轮增压等技术，其中废气涡轮增压技术是当前提升汽油机动力性的主要手段。

废气涡轮增压技术可以利用废气能量驱动涡轮带动压气机工作，提升进气压力，提高发动机的充气量，继而大幅提升汽油机的动力性。由于动力性的提升，汽车可在保持与原有自然吸气发动机相同动力性的情况下，采用较小排量的涡轮增压发动机，利于发动机小型化和轻量化，从而有效降低燃油消耗量及有害物的排放量，实现节能、减排。因此，增压小型化也成为现今车用汽油机的主流趋势。但是，采用涡轮增压技术也存在一些问题：进气压力和温度的增加会导致压缩终了气缸内温度和压力升高，以及发动机热负荷增加，使发动机爆震倾向增大。一般可通过进气中冷、提高燃油辛烷值、降低压缩比、推迟点火角、加浓混合气、废气再循环（Exhaust Gas Recirculation, EGR）等技术手段来抑制爆震。

2) 燃油喷射技术

早期汽油机通过化油器实现汽油供给，到20世纪80年代初期随着电子控制技术的兴起，开始普遍采用汽油气道喷射技术（Port Fuel Injection, PFI），从单点喷射到各缸多点喷射技术。到20世纪90年代中期，缸内直接喷射技术（Gasoline Direct Injection, GDI）得到了商业化应用。尽管几十年前人们几次尝试推出汽油直喷技术的产品（如福特汽车公司的PROCO），但直到1996年日本三菱汽车公司率先在市场上推出直喷分层燃烧的汽油机汽车产品，才开启了现代汽油直喷技术的时代，经过十多年的发展，废气涡轮增压当量均质混合气直喷汽油机技术在国内基本普及。为满足日益严格的排放标准，人们一直在改善燃油雾化和喷射控制，缸内直喷技术经历了从伞喷到多孔喷油器，喷射压力从10 MPa到35 MPa，每循环单次喷射到多次喷射，喷雾油粒平均直径从25 μm到10 μm的进步。随着燃油喷射控制技术的进步，喷油离燃烧室越来越近，使得喷油量、喷射时间和喷射策略的控制也越来越精确，有利于对空燃比精确控制，进而实现对燃烧的精确控制；而且有利于对各缸空燃比的一致性控制，降低了各缸不均匀性。

3) 整机技术

随着进气和燃油喷射技术的发展，汽油机整机技术也相应得到提高。以燃油喷射技术为特征的整机技术经历了从自然吸气PFI汽油机、废气涡轮增压PFI汽油机到自然吸气GDI汽油机，再到目前主流的废气涡轮增压GDI汽油机的发展历程。以上市产品为例，表1-1总结对比了国内外整机技术的发展历程。1967年，德国大众汽车公司已有PFI汽油机上市；德国宝马汽车公司在1973年推出了2.0 L增压PFI汽油机。1996年，日本三菱公司首先推出了现代GDI汽油机，应用在Galant车型上，该款发动机排量为1.8 L，采用分层稀薄燃烧技术。2000年，德国大众汽车公司推出了增压直喷汽油机，应用在Lupo车型上，该款发动机排量为1.4 L，采用当量燃烧技术。

表1-1 国内外整机技术发展历程

整机技术	国外		国内	
	车款	年份	车款	年份
自吸PFI	大众 Type3 600TL/E	1967	长安、奇瑞等	2000
增压PFI	宝马 2002 Turbo	1973	奇瑞瑞虎 5	2009

续表

整机技术	国外		国内	
	车款	年份	车款	年份
自吸 GDI	三菱 Galant	1996	—	—
增压 GDI	大众 Lupo	2000	奇瑞瑞麒	2010

反观中国自主品牌市场，在 2000 年左右，长安、奇瑞、昌河、华晨金杯和夏利等汽车公司生产的应用 PFI 发动机的汽车陆续批量上市。2009 年，奇瑞汽车推出瑞虎 5 车型，应用 2.0 L 增压 PFI 汽油机；2010 年，奇瑞汽车又推出瑞麒车型，搭载 2.0 L 直喷增压汽油机。从表 1-1 可以看到中国汽油机整机技术与发达国家相比较为滞后，这与中国汽车工业发展相对滞后直接相关。在增压直喷汽油机技术应用的时间上，中国比国外滞后 10 年左右，但目前总体上已经与国外技术基本拉平。在整机技术的发展过程中，除提高指示热效率的各种技术手段（常用的包括 VVT、VVL、EGR、Atkinson/Miller 循环等）以外，废气涡轮增压、发动机结构设计、轻量化材料、低摩擦材料、高效率可变附件等技术也是层出不穷，方兴未艾。

4) 动力性

选取并对比历年美国沃德十佳发动机（自 1995 年开始）及中国心十佳发动机（自 2006 年开始）获奖名单中 4 缸汽油机产品的升功率 (W_L) 及升扭矩 (T_L) 指标，如图 1-7 ~ 图 1-10 所示。可以看出：采用增压技术可显著提高发动机动力性，且随着时间发展，增压发动机的动力性指标也取得了很大提升。国外发动机采用的增压技术包括涡轮增压、机械增压以及涡轮与机械双增压。以采用涡轮与机械双增压发动机的沃尔沃 S60 Polestar 汽车为例，其升功率和升扭矩已分别达到 135 kW/L 和 235 N·m/L。从总体上讲，在过去 20 年里，国外增压汽油机的平均升功率从 60 kW/L 提高到了 100 kW/L，提高了近 67%，同时升扭矩从 120 N·m/L 提高到 200 N·m/L，进步十分显著。对于涡轮增压发动机来说，中国自主品牌的动力性大概与国外品牌 10 年前的水平相当，但是在过去十几年里也取得了明显进步，平均升功率从 60 kW/L 提高到 88 kW/L 左右，提高了约 47%。对于自然吸气发动机的动力性，多年来并未有显著提高，国内外发动机的动力性基本相当，升功率保持在 50 ~ 55 kW/L。还需注意的是，由于车用动力的多元化发展，国外逐渐出现混动汽车专用发动机，且以自然吸气为主。

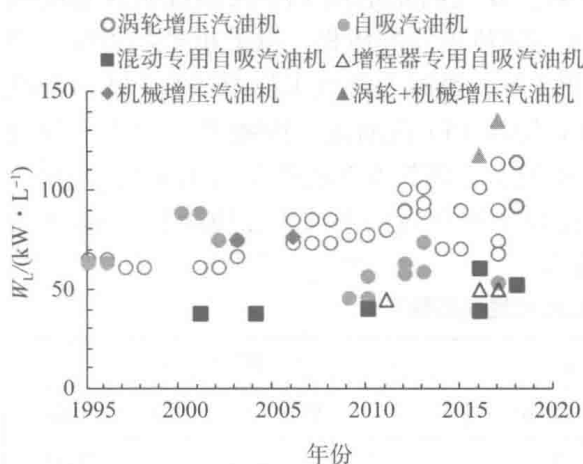


图 1-7 国外发动机升功率



图 1-8 国内发动机升功率

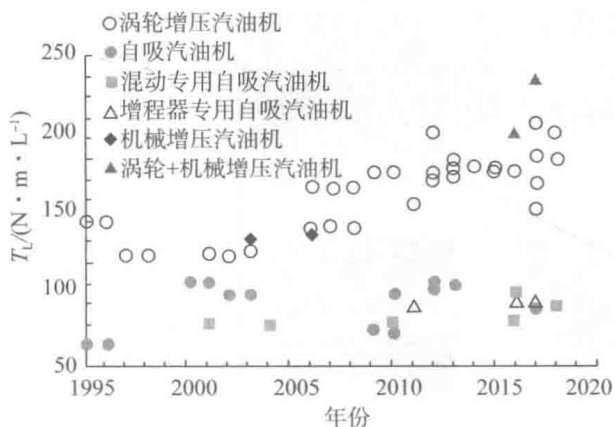


图 1-9 国外发动机升扭矩

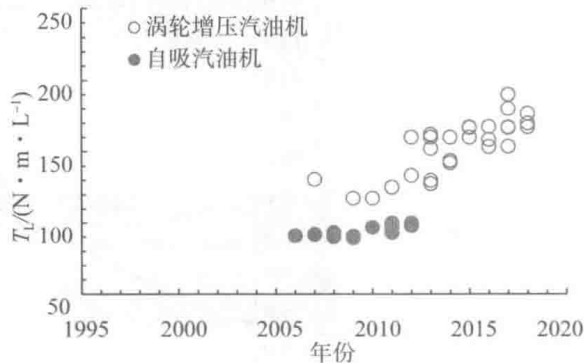


图 1-10 国内发动机升扭矩

5) 发动机热效率和燃油经济性

在过去30年里，汽油机热效率也有较为显著的提高。图1-11给出了日本丰田汽车的汽油机热效率变化历史，该图也基本反映了国外汽车工业界的发展轨迹。从图1-11可以看出，过去30年里汽油机热效率从33%提高到39%，目前有报道丰田公司量产的汽油机最高热效率为41%，热效率提高了8个百分点，相对值提高幅度为24.2%。

2005—2021年间，中国先后实施了4个阶段的乘用车燃油消耗量限值

法规，2021年7月开始实施第五阶段。通过法规的实施，促使乘用车企业对其所销售车辆的平均油耗不断降低，到2025年，乘用车企业平均燃油消耗量第五阶段目标值需降低至4 L/(100 km)。第四阶段油耗限值、第五阶段油耗限值分别如图1-12、图1-13所示。

以手动挡变速器且具有三排以下座椅的车辆为例：

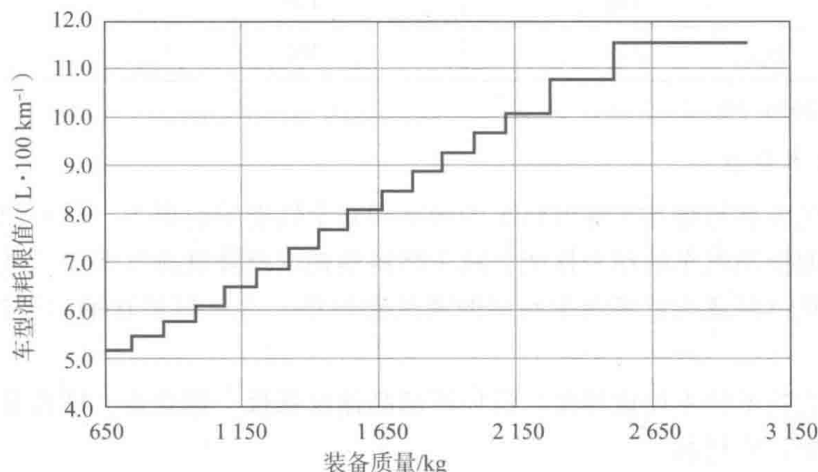


图 1-12 第四阶段油耗限值

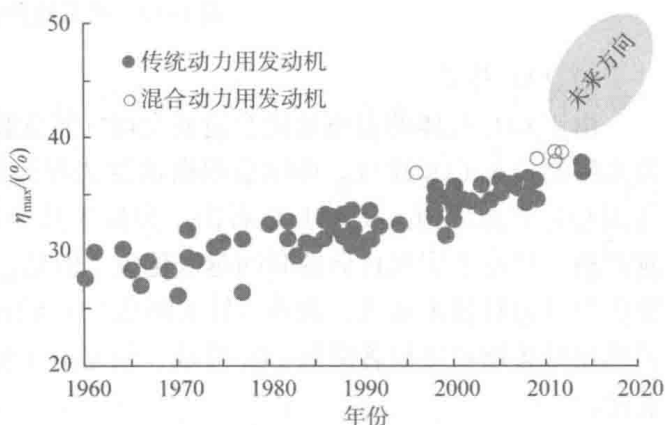


图 1-11 丰田汽车汽油机热效率变化历史

以手动挡变速器且具有三排以下座椅的车辆为例：

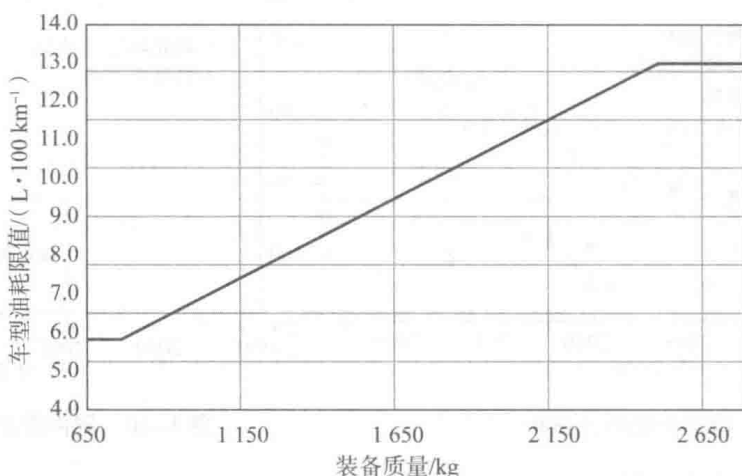


图 1-13 第五阶段油耗限值

6) CO₂ 排放

由于 CO₂ 气体的温室效应会造成全球气候变暖，欧盟、美国、日本等均制定了 CO₂ 限值来限制汽车 CO₂ 排放。中国也根据油耗法规折算出 CO₂ 限值。表 1-2 给出了不同阶段各国 CO₂ 排放限值。从表 1-2 看出，类似于其他汽车强国，中国制定的 CO₂ 限值也越来越严格，且给予实现目标的时间越来越短。但是，目前中国对于 CO₂ 排放的降低主要通过降低燃油消耗量来实现，而专门针对降低 CO₂ 的技术并没有得到足够的重视。例如，发动机燃用低碳燃料可显著降低 CO₂ 排放，但是对于低碳燃料在发动机中的应用还未引起广泛关注。

表 1-2 不同阶段各国 CO₂ 排放限值

国家	$e [CO_2]/(g \cdot km^{-1})$		
	2006 年	2015 年	2020 年
欧盟各成员国	160	130	95
美国	249	154 *	131
日本	149	125	105
中国	188	167	120

注：* 表示 2016 年数据。

2. 车身技术现状

车身技术的发展趋势是在保证汽车的强度和安全性能的前提下，尽可能地降低汽车的整备质量，从而提高汽车的动力性能、减少燃料消耗以及降低排气污染。随着环保和节能的需要，轻量化已经成为世界汽车发展的潮流和趋势。汽车轻量化的主要途径如图 1-14 所示。

实现轻量化技术的主要途径是广泛使用超高强度钢板、铝合金、镁合金、塑料以及碳纤维复合材料等轻质材料。