



21世纪

高等学校精品规划教材

# 汽车动力匹配技术

林学东 编著



中国机械工业出版社  
www.cmpbook.com.cn



21世纪

高等学校精品规划教材

# 汽车动力匹配技术

---

林学东 编著



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

## 内 容 提 要

本书总结了汽车发展历史,并根据汽车发展对社会及国民经济发展的作用以及社会环境对汽车发展的要求,阐述了汽车动力传动系统匹配技术的必要性和重要意义。在此基础上着重阐述汽车总体结构、行驶原理、性能指标及评价方法;车用发动机的工作原理及性能评价分析方法;汽车动力传动系统及其控制方法;发动机与动力传动系统的匹配原理;改善整车性能的有效途径;汽车新型动力源的特点及其发展趋势。

本书适用于车辆及内燃机专业以及与汽车工程相关专业的本科生、研究生的参考教材,也可供从事整车性能方面研究的工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

汽车动力匹配技术 / 林学东编著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2010.1  
21世纪高等学校精品规划教材  
ISBN 978-7-5084-7189-1

I. ①汽… II. ①林… III. ①汽车—传动系—高等学校—教材 IV. ①U463.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第016905号

书 名	21世纪高等学校精品规划教材 <b>汽车动力匹配技术</b>
作 者	林学东 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	184mm×260mm 16开本 16.75印张 397千字
版 次	2010年1月第1版 2010年1月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	<b>29.00元</b>

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

# 前言

内燃机汽车是 20 世纪的最大发明之一。它的问世及发展极大地推动了人类社会文明的向前发展。但是，汽车产业的蓬勃发展，世界汽车保有量的迅速增加，地球石油能源紧缺以及大气环境污染问题日趋严重。因此，对如何节省汽车的能源消耗，尽可能减轻其尾气排放对大气环境的污染，已成为 21 世纪汽车所面临的重大课题。

汽车作为集多学科技术于一身的重要交通工具，其性能的改善和提高关系到整车结构、汽车行驶条件、动力传动系统各装置及其与发动机性能的匹配等各方面，已成为汽车工程学问题。

车身及其结构体现汽车的外观形象和概念，但其内涵取决于发动机及其与动力传动系统的匹配情况。发动机作为汽车的“心脏”，虽然其性能好坏直接关系到汽车整车性能，但是如果没有一个良好的动力传动系统与之相匹配，就不能有效地发挥其优越的性能，而且会直接影响整车性能。

虽然近年来我国汽车工业和技术得到了快速的发展，为我国国民经济建设与发展作出了巨大贡献。但是长期以来，由于汽车电控技术等关键技术仍受控于国外，而且汽车新产品的开发，基本上遵循根据市场需求选择或设计一款新车型后，选配动力传动装置和发动机，然后经过整车标定的逆向开发路线。因此，在产品开发过程中，发动机和动力传动系统的研发相互独立，未能作为一个系统统一开发。结果，通过“选配或拼装”汽车内涵的这种逆向开发方式，很难有效地发挥发动机及其动力传动系统各自的特点，不能满足优化整车性能的新要求。

在人才培养方面，由于我国部分高等院校受到传统教育体制和其他各方面条件的限制，将汽车分为车身、车辆（底盘）以及发动机等三个专业来独立培养。因此，所培养的人才只是汽车领域某一局部方面的专业人才，缺乏整车观念。

面对汽车排放法规和节能要求的日趋严格，基于整车控制策略的整车性能优化显得尤为重要。这就要求对汽车有全面的了解和掌握。而发动机性

能和动力传动系统的进一步完善，以及两者的优化匹配技术，不仅对整车性能的提高，而且对汽车动力传动系统的正向开发具有重要的意义。

随着汽车技术、电子技术、控制技术以及专业工程软件的应用技术等的不断发展，车用发动机及其动力传动系统的电控技术以及车辆电控技术等得到不断完善，使得整车动力传动系统的协调控制变为可能，这为优化整车性能提供了很好的技术条件。

基于以上的理由编写本书，初衷在于从整车控制角度，把握汽车动力传动系统的匹配技术，建立整车理念，以掌握改善整车性能的有效途径，为汽车动力传动系统的正向开发提供依据。为此，全书从汽车发展历史以及不同发展阶段对国民经济中的重要地位，阐述汽车动力传动系统优化匹配的重要意义。在此基础上着重介绍汽车总体结构、行驶原理以及整车性能评价指标、作为汽车动力源的发动机工作原理及性能指标和评价方法、汽车动力传动装置、原理及控制方法；并结合实例介绍汽车动力传动系统的匹配方法和不同匹配效果，系统地阐述改善整车性能的有效途径；最后介绍了代用燃料、电动汽车以及混合动力汽车等汽车新型动力源的特点和发展趋势。

由于作者水平有限，加之本书内容涉及面广，时间仓促，书中错误和疏漏之处在所难免，诚恳希望广大读者批评指正。

在本书的编写过程中，参考了大量的国内外文献资料，在此，作者谨向参考文献作者致以诚挚的谢意。

作者

2009年10月

于长春

# 目录

## 前言

<b>第 1 章 总论</b> .....	1
1.1 汽车发展历史 .....	1
1.2 汽车与社会环境 .....	7
1.3 汽车动力传动系统匹配及其重要性 .....	14
<b>第 2 章 汽车总体结构及性能指标</b> .....	20
2.1 汽车的类型 .....	20
2.2 汽车的总体结构 .....	26
2.3 汽车的行驶原理 .....	45
2.4 汽车的性能评价指标 .....	48
<b>第 3 章 发动机工作原理及控制</b> .....	56
3.1 四冲程内燃机的工作循环理论 .....	56
3.2 汽油机的工作原理 .....	60
3.3 柴油机的工作原理 .....	85
<b>第 4 章 发动机性能及评价</b> .....	127
4.1 发动机的性能评价指标 .....	127
4.2 发动机的负荷特性 .....	133
4.3 发动机的速度特性 .....	136
4.4 发动机的万有特性 .....	143
<b>第 5 章 动力传动装置及其控制</b> .....	146
5.1 离合器及其工作原理 .....	146
5.2 变速器及其控制 .....	154
5.3 传动轴及主减速器 .....	165
<b>第 6 章 汽车动力传动系统匹配方法</b> .....	169
6.1 汽车动力传动系统匹配的理论依据 .....	169
6.2 汽车动力传动系统的匹配方法与原则 .....	175
6.3 动力传动系统 (Power plant) 参数的选择 .....	184

6.4 整车动力传动系统的仿真模型及匹配计算分析 .....	196
<b>第7章 改善汽车性能有效途径</b> .....	<b>207</b>
7.1 发动机性能的改进途径 .....	208
7.2 动力传动系统的改善 .....	231
7.3 提高汽车行驶效率的途径 .....	234
7.4 驱动力的控制 .....	238
<b>第8章 汽车新型动力源</b> .....	<b>244</b>
8.1 代用燃料发动机 .....	244
8.2 电动汽车 .....	251
8.3 混合动力电动汽车 .....	255
<b>参考文献</b> .....	<b>261</b>

# 第 1 章 总 论

汽车是将其他形式的能量转变为机械能，由此驱动车轮使其行驶的一种高效率的交通工具，是 20 世纪最大发明之一。它的问世极大地推动了人类社会文明的向前发展，同时也改变了社会结构，使得汽车成为人类生活中不可分割的重要的交通工具。汽车工业也在国民经济中占据着重要的地位，甚至成为支柱产业。但是，汽车历史发展的一个多世纪以来，汽车产业的蓬勃发展，汽车生产能力的不断提高，使得世界汽车保有量迅速增加，其能源消耗量的大量增加，造成地球石油能源紧缺以及汽车尾气排放对大气环境的污染，已严重破坏地球的生态环境平衡。因此如何有效节省能源和防治大气环境污染，已成为 21 世纪汽车所面临的重大课题。

为了解决能源紧张的问题，近年来世界各国着力开发研究汽车新能源及其应用技术，如太阳能、电能、氢能源、生物质能等；而且天然气、液化石油气、醇类、二甲醚等代用燃料汽车已开始投入市场应用。为了有效解决汽车尾气排放对大气环境的污染问题，世界各国相应制定了随不同年代越来越严格的节能和排放限制法规。为此，对传统的石油燃料汽车在开发研究其节能技术，并应用清洁的代用燃料以外，各汽车厂家采用具有特色的机内外相应的技术措施，并已取得了很好的效果，使汽车成为集现代化技术于一体的新型的交通工具。

虽然汽车的技术，随节能和排放控制法规要求的不断强化，得到空前的发展，而且发动机的技术也得到进一步的完善，但是为了充分发挥发动机的优越性能，以完善汽车综合性能，汽车动力传动系统的优化匹配已成为很重要的环节。

## 1.1 汽车发展历史

汽车的概念是在人类利用能源的实践活动中发明动力机械装置的基础上形成的，而动力机械装置的发展有力推动了汽车工业及其文明的向前发展。可以说人类社会文明与科学技术的发展与汽车事业的发展历史紧密相关。在人类历史发展过程中科学技术的发展不仅为推动社会文明的发展发挥了重要作用，而且成为把汽车融入于社会的重要手段。所以，汽车的发展历史是和人类社会文明协调发展的历史。

回顾汽车发展史，作为汽车心脏的动力源——发动机，在如何小型化、轻量化、高效率化的要求下，经历了从蒸汽机发展到电动机以及内燃机的过程。随着社会发展的不同时代，针对不同社会的要求，在进一步提高热效率改善经济性和降低有害排放物的过程中，内燃机得到不断的完善，已发展成集现代技术于一体的高科技机电一体化现代动力机械装置。同时，随着发动机结构的不断完善和变革，汽车结构也发生了巨大的变化。



### 1.1.1 动力源的发明与发展

任何一项发明与当时社会科学研究的背景紧密相关。汽车的问世，与动力源的发明密不可分。16世纪末和17世纪初在英国进行的三大著名实验：即包尔塔的蒸汽压力实验，托里拆利（Evangelista Torricelli, 1608~1647，流体力学奠基人）和巴斯噶的大气压力实验以及那末格里凯的真空作用实验，以及1673年荷兰物理学家赫更斯发明的内燃机“草图”，为人类第一代动力装置的问世，即早期蒸汽动力装置的产生奠定了牢固的基础。

著名的法国物理学家、工程师巴本（Denis Papin, 1647~1712），利用蒸汽压力、大气压力、真空的相互作用，发明带有活塞的蒸汽泵；英国机械工程师赛维利（T. Savery, 1650~1715）利用包尔塔的蒸汽压力原理，推出利用蒸汽从锅炉经过汽管进入汽缸后被冷却时所造成的真空，把矿井中的水经吸水管吸出来，然后再向汽缸注入蒸汽，由此把水从排水管中排出的由汽缸与锅炉构成的蒸汽泵。到1712年托马斯·纽可门（Thomas Newcomen）在赛维利设计的蒸汽泵的基础上进行了改进，把冷却水通过一个细小的龙头向汽缸内进行喷溅，避免冷却水直接进入汽缸，同时在汽缸中引入了巴本的活塞装置。这样通过蒸汽压力、大气压力和真空度的相互作用，推动活塞作往复式运动，完成了初期的蒸汽机。纽可门蒸汽发动机的诞生，使英国的煤矿工业从地下水的困惑中解脱出来，产量迅速增加，有力地推动了英国的经济发展，迎来了人类历史上的第一次工业（产业）革命。

蒸汽机的问世，激发了许多科学家认识自然、战胜自然、利用自然的斗志和创造性的思维。1764年作为格拉斯哥大学实验教学仪器工程师的瓦特受命负责修理格拉斯哥大学教学用纽可门蒸汽机。在修理过程中，瓦特通过故障分析发现纽可门蒸汽机存在的两大致命缺点：即燃料消耗量大而效率低，同时它只能作往返直线运动。而纽可门蒸汽机热效率之所以低的主要原因就是蒸汽在缸内冷凝造成的。为了解决此问题，瓦特从1765年至1784年历经20年对纽可门蒸汽机进行了研究。在这漫长的研究过程中，瓦特先后发明了冷凝器、带有齿轮和拉杆的机械联动装置、带有飞轮齿轮联动装置和双向进排气汽缸的高压蒸汽机综合装置等，并获得多项发明专利，最终发明了瓦特蒸汽机，如图1-1所示。

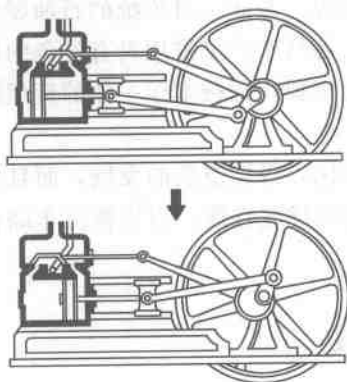


图1-1 瓦特蒸汽机

瓦特在前人的科学研究成果的基础上，在蒸汽机方面的这些重大技术革新和发明，使得蒸汽机作为首次动力机械装置，在工厂和交通运输等方面得到了广泛应用，使得人们逐渐认识到动力机械在人类社会中的重要地位，最终迎来了蒸汽革命。

瓦特蒸汽机虽然大大提高了当时的劳动生产率，促进了手工业向大工业的迅速过渡，直接推动了18世纪最伟大的工业革命（蒸汽革命）。但它仍然存在着体积庞大，效率低等问题。要克服蒸汽机的这种缺点，必须解决锅炉与汽缸分离的问题。为此许多科学家在这方面进行了不懈的探索和研究。如英国的W·L·莱特（Wright）等人早期开发研究直接利用燃烧压力来获得动力的发动机。其结构与现在的内燃机已经很相近了。到1838年英国的维利·芭巴纳特（William Barnett）提出在点火之前压缩混合气，则有利于提高

效率的观点,由此发明了压缩式发动机。同时,研究了用火点燃的点火装置。1842年美国的A·杰克(Drake)、1855年英国的A·W·牛顿(Newton)制造出热管点火式发动机。直到此时,发动机仍然处于试验研究阶段。虽然研究工作上得到可喜的成绩,但还没有达到实用化的阶段。1860年法国的雷诺(Lenoir)首次发明了将煤气和空气吸入汽缸后进行混合,并在汽缸内燃烧的无压缩过程的实用性煤气机,并推出市场。这种煤气机有汽缸、活塞、连杆、飞轮等,是内燃机的初级产品。当时由于压缩比为零(无压缩过程),所以热效率很低,只有4.5%。但当时在英国和法国很盛行。此时,社会上开始承认早在1838年纬利·葱巴纳特提出的如果在点火之前压缩混合气则有利于提高热效率的观点。1862年法国的彼奥德罗萨斯(M·Alph·Beau deRochas)立志要“站在瓦特肩膀上”,彻底改进蒸汽机的缺点。他通过系统深入的分析,认为当时内燃机的效率不如蒸汽机的根本原因,就是因为这种无压缩内燃机在设计方案上缺少提高效率的有效途径。德罗萨斯开始构想提高内燃机热效率的有效方案。经理论研究分析他认为,高效率的内燃机必须具备两个必要条件:①点火前要高压缩比;②燃料必须迅速膨胀,达到最大膨胀比。为了满足这两个条件,德罗萨斯提出了提高内燃机热效率的具体设想,即把活塞运动分成四个冲程:活塞下移,进气;活塞上移,压缩燃气,然后点火使燃气迅速燃烧膨胀,推动活塞下移做功;活塞上移,排出废气的由进气、压缩、膨胀做功、排气等四个冲程够成一个工作循环的理论。而这一理论成为了现代四冲程内燃机的最基本的理论,为内燃机以后的发展奠定了坚实的理论基础。

当时作为商人的德国人奥托从蒸汽机的推广应用中,看到了内燃机的发展前途,从而一直关注内燃机的研制情况。他利用透明的汽缸和手动活塞以及侧置式进排气管制作发动机的试验模型,并把香烟的烟喷入进气阀,经反复观察,终于研究出空气与煤气的添加方法。奥托受到雷诺煤气机的启发,认为如果用液体燃料的话,其用途将大大提高,为此设计了汽化器。1862年2月,奥托制造出一台四冲程样机。但在实用化过程中遇到了点火装置方面的困难,从而开发研究一种新的二冲程煤气发动机,并于1863年获得专利权。此发动机在1867年的巴黎世界博览会上获得金奖。而后看到德罗萨斯提出的内燃机循环理论报道后,看到内燃机的希望。于是奥托对德罗萨斯设计方案,反复研究,全心投入四冲程内燃机的研制工作。并于1872年聘请管理经验丰富的工程师戈特利叶博·戴姆勒协助研发发动机。1876年,根据德罗萨斯提出的四冲程理论创立由四个冲程构成一个工作循环的奥托循环,首次实现了四冲程发动机,并成立德国气体发动机制造公司。当时最初研制的发动机的压缩比只有2.5左右,热效率仅为10%~12%。同年,奥托又设计出一个点火系统的改进方案,5月研制出第一台四冲程内燃机,翌年获得专利。这种煤气内燃机基本上克服了蒸汽机的缺点。它“出于蒸汽机而胜于蒸汽机”。此后,英国科学家对奥托的四冲程内燃机进行了进一步改进,在一台单缸内燃机的基础上增加了一个汽缸使之变成多缸机,从而使发动机输出的转矩更加均匀。

### 1.1.2 内燃机汽车的问世

虽然奥托发明了奥托循环,在内燃机上首次实现了四冲程理论,为内燃机汽车的发展奠定了坚实的基础。但是他未能把成果进一步推向汽车领域。

曾在奥托气体发动机制造公司担任技术工作,为奥托内燃机研制作出重要贡献的德国

人戴姆勒 (G. Daimler) 认为奥托循环内燃机虽然体积大而重、转速低, 但只要稍加改进就可以安装在汽车上。于是 1881 年戴姆勒与同公司就职的梅巴赫一同辞掉奥托公司的一切职务, 办起了第一家汽车工厂, 专门研究一种轻便又快速的内燃机。当时要实现内燃机最关键的问题就是如何在汽缸内形成可燃混合气, 并使之燃烧实现热功转换。为此他们在继承和总结雷诺等人的研究成果的基础上, 根据当时已使用的雾化器的原理, 于 1883 年发明了化油器, 并研制出世界上第一台轻便又快速的内燃机—汽油机, 在该发动机上采用热管式点火方法。于 1885 年将此发动机安装在二轮车上, 同年试制三轮车。在此之前发动机最高转速只有 200r/min 的水平, 而戴姆勒制造的发动机把转速提高到 1000r/min。1886 年戴姆勒将 1.1 马力的发动机安装在四轮车上。到 1887 年汽油机已作为车用和船用发动机开始使用。

与此同时, 另一位德国人卡尔·奔驰 (K. Benz), 也热衷于制造一种无轨道、不需要马拉的车。于 1879 年他试验成功一台二冲程发动机。1885 年利用电池和线圈发明了电点火方法, 并将此方法应用于二冲程汽油机上, 制造出具有现代意义的实用性三轮汽车 (见图 1-2), 并成立奔驰汽车公司开始生产汽车。到 1900 年为止, 奔驰汽车制造公司成为世界上最大的汽车制造厂。于 1926 年奔驰汽车公司与戴姆勒汽车公司合并, 成为戴姆勒—奔驰汽车公司。

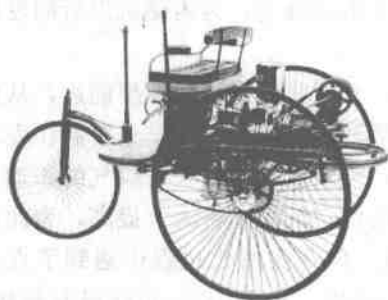


图 1-2 奔驰发明的三轮车

作为内燃机另一个典型代表的柴油机是, 由德国工程师鲁道夫·狄塞尔 (Rudolf Diesel) 针对当时发动机热效率低、着火困难等问题, 从热力学角度进行全面分析的基础上发明的。当时改善蒸汽机热效率的主要途径就是通过过热蒸汽。大学毕业后作为冷冻机技术员工作的狄塞尔对氨蒸汽比较熟悉。所以, 他着眼于利用正常运转条件下凝点远比水蒸气高而且对汽缸冷却作用不敏感的过热氨蒸汽替代水蒸气, 专门研究有关氨过热蒸汽和氨溶液的基础研究, 并设计研制

配备进排气装置的小型氨气发动机。通过研究狄塞尔确认, 为了合理利用过热蒸汽所具有的热量必须具备高压, 而在高压下过热蒸汽几乎成为气态。基于这一研究结果狄塞尔产生了一种新的思想, 即将氨气替换成高压高温的空气, 在其中逐渐导入已微粒化了的燃料, 使之燃烧加热空气, 并使之尽可能膨胀而对外做功的想法。为实现这一想法狄塞尔进行了无数次的实验研究。从蒸汽机的过热蒸汽状态到独特的燃烧过程, 狄塞尔从热力学角度进行了细致全面的理论分析和验证, 把研究结果写成《合理的热力发动机理论和结构》一书出版。于 1893 年狄塞尔获得了关于内燃机工作方式及其实施方法的第一个专利。

从理论到现实发动机的开发研究过程中, 狄塞尔通过实际发动机中存在的机械损失, 认识到卡诺循环效率仅仅是理论上的, 它只取决于温度, 而对实际发动机其热效率并非由最高温度决定, 而是工质的最高 (压缩) 压力起决定性作用。因此, 在实践中为了获取更高的升功率和机械效率, 他勇于放弃了在理论研究过程中提出的要实现等温过程的初始想法。于 1895 年获得了关于“具有在压力变化过程中可变燃料导入时期的内燃机”的第二个有关柴油机的发明专利。此专利的主要特征是:

(1) 通过发动机汽缸内活塞的压缩过程, 将纯空气压缩加热至远超过燃料的自燃点。

(2) 将微粒化的燃料导入到缸内高温高压的空气中燃烧, 由此推动活塞做功。

(3) 对缸内喷入的液体燃料, 受汽缸内高压高温空气提供的气化潜热开始, 随活塞的位移逐渐气化。

由此创立了压缩自燃发动机的工作模式, 其特点是燃料的自行着火。而高压压缩比化由此提高压缩压力的目的, 就是在上止点附近喷射的燃料能可靠地自行燃烧。因此, 在这种燃烧方式中, 压缩程度成为自行着火的必要条件。专利的另一个特点, 在于利用这样的循环方式求得最高热效率的循环工作过程。

几经多次反复的研究, 终于于 1897 年研制成功第一台具有实用价值的柴油机。当时的指示热效率就达到了 38.6%。1898 年在慕尼黑的博览会上, 狄塞尔研制的柴油机引起了汽车制造商们的浓厚兴趣。柴油机以使用廉价的低级燃料获得高热效率的特点, 广泛应用于四冲程和二冲程发动机上。后经过改进其热效率高达 46%, 成为当今热效率最高的热力发动机。但是柴油机作为汽车的动力源真正应用于汽车上的是从其发明起近 40 年后的 1936 年, 由戴姆勒—奔驰汽车公司首先安装在梅赛德斯—奔驰牌 260D 型轿车上, 成为第一台柴油轿车。

汽油机和柴油机的发明, 以及这些燃油内燃机其体积小、质量轻、效率高以及续航里程远的特点, 确定了它们作为车用发动机的牢固地位, 同时有力地推动了汽车事业的迅速发展。1908 年美国的汽车大王亨利福特 (Henry Ford) 推出了世界著名的 T 型福特汽车如图 1-3 所示, 揭开了汽车批量生产的序幕, 使汽车走向大众化的道路, 从此使得世界经济结构和社会结构发生了巨大的变化。

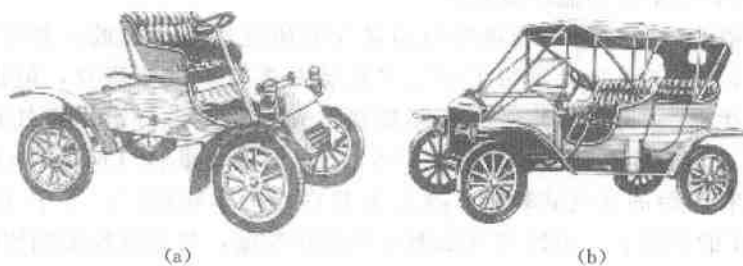


图 1-3 福特早期车型

(a) A 型车 (1903 年); (b) T 型车 (1910 年)

### 1.1.3 汽车发展的几个阶段

#### 1. 蒸汽汽车

早在 1769 年法国人琼诺 (N. J. Cugnot) 就利用当时生产的蒸汽机制作了世界上最初的具有实用价值的蒸汽机三轮汽车, 该车全长共 7.23m, 车速仅为 3.5km/h, 车身用硬木制成框架, 由三个一人多高的铁轮支撑。车的前面放着容积为 50L 的大锅炉, 锅炉所产生的过热蒸汽送往其后边的两个容积约为 50L [11 加仑 (英), 1 加仑约为 4.5454L] 的汽缸。汽缸内设有活塞, 通过简单的曲拐将活塞的往复运动转换为飞轮的旋转运动并传递给前轮, 推动汽车向行驶。但是该车每走 15min 后, 锅炉的水耗尽, 只得停下来再

加水烧成高压蒸汽。当时蒸汽汽车排出的黑烟和噪声等公害极为严重车速慢的成为“行驶公害”的程度，而且由于笨重的蒸汽汽车对道路的破坏以及煤的消耗量的增加等原因，并未得到当时社会的认可，但是“无马的汽车”的概念却由此而形成。之后采用高压蒸汽等技术措施改善了蒸汽机的效率，使蒸汽机的体积尽可能紧凑化。1875 年法国人雷恩·谢鲁波尔发明了炽热曲管式锅炉，由此不仅大大减小了锅炉的尺寸，同时消除了锅炉爆炸的危险。他的这一发明不仅使蒸汽汽车得到根本上的改善，而且也改善了原蒸汽汽车起动困难的问题，使得蒸汽汽车走向成熟，并于 1902 年创造了世界最快的以蒸汽机为动力的赛车。由此，蒸汽机作为汽车的第一代原动机得到广泛应用。从 19 世纪末到 20 世纪初，蒸汽汽车达到了鼎盛时期。之后逐渐被新兴的原动机—内燃机所替代。直到 1927 年才彻底停止蒸汽汽车的生产。

在早期的蒸汽机为动力源的汽车上，基本上没有现代意义上的包含离合器、变速器等动力传动装置。

## 2. 内燃机汽车的基本结构

直到 1908 年美国福特 T 型汽车的问世之前，车体的基本结构依然是“无马的马车”，发动机只不过是替代马的位置牵引汽车而已。内燃机的问世彻底改变了庞大的蒸汽机牵引小车的局面，从笨重而破坏公路，移动迟缓而影响交通的汽车，变成小型轻量而快速灵活的机动汽车。但是，这种汽车结构的发展，也经历了其外形和底盘的发展过程。早在 1899 年法国的雷诺首先将车身结构改成如同花轿的箱体结构，第一次制造出封闭式车身。之后，随着航空技术的应用，车身采用钢板制作，并且车身结构向重量分布尽可能均匀化的紧凑型发展。随着内燃机的动力性、经济性的不断提高，车速也不断升高，因此车身结构伴随流体力学的发展也向流线型发展。

美国的古德依尔通过对一种热带植物渗汁的研究发现了橡胶，并于 1842 年发明了实心轮胎；1845 年汤姆森发明了充气式轮胎并进行了试验研究，但由于缺乏市场经验被迫停止生产。1888 年苏格兰人邓禄普首先发明了自行车用充气式轮胎，并获得了自行车和三轮车的新式轮胎专利。1894 年法国的米其林（Michelin）兄弟俩发明了可拆卸式装有内胎的充气式轮胎，在巴黎开设自行车轮胎厂，并于 1895 年将充气式轮胎用于汽车的车轮上。1923 年又试制成功低压轮胎，与高压轮胎相比较，低压轮胎与地接触面积大，弹性又好，有效地减轻地面对车身的冲击振动，同时提高了汽车的行驶稳定性。1948 年米其林橡胶公司发明了子午线轮胎，其特点是有效减小了车轮的滚动阻力，使汽车燃油消耗率降低，同时耐磨性好，提高了汽车操纵稳定性和乘坐舒适性，所以得到广泛应用。

汽车的动力传动装置，首次在福特 T 型车上采用前进 2 挡加倒挡的脚踏式变速器后，受到当时广大用户的欢迎。由此传动装置作为发动机动力的补充，使汽车驾驶及行驶条件更加安全灵活、丰富多样化。

而早期汽车的变速器都采用标准的齿轮式手动换挡方式，这种变速器需要熟练的操作技巧。尽管后来发明的同步器减轻了驾驶员的操作难度，但其带来的跃变式车速变化使乘车者有些不适应。1904 年，美国人斯特蒂文特在他制作的汽车上第一次应用了具有高、低速两速的简单离心式自动变速器。1907 年，施特尔森利用行星齿轮的传动原理制造了

液压变矩器。在自动变速器的完善过程中，美国人霍华德辛普森（1892~1963年）作出了杰出的贡献，他首先获得了由太阳齿轮、齿圈和行星齿轮巧妙构成的自动变速器的专利。

1928年同步器的发明、1939年带有液力变矩器的全自动传动系统的问世以及20世纪80年代汽车电子控制技术的出现，使得汽车驾驶变得越来越简单方便安全。

另一方面，汽车的制动方法对汽车的操纵乃至汽车的基本结构具有重要的影响。早期的汽车采用与马车相同的轮胎制动器，即利用一个长杠杆将一块摩擦衬垫压紧轮胎实现制动。随着车速的不断提高，车辆对制动系统的要求也越来越高。1902年，雷诺汽车公司首次采用了内胀轮鼓式制动器，使制动器动力得到了大幅度的提高。鼓式制动器以其结构简单、性能良好而在全球范围内得到广泛应用，直到1987年在世界制动器市场上仍然占有统治地位。

可以说由于有了能源动力革命和轮胎的文化，以及变速器和制动器等技术的发明，才有现代汽车的文化，而且促进了近代人类社会文明的快速发展。

### 3. 汽车动力三足鼎立时期

自蒸汽机的发明直到1887年，人们已经充分认识到人类社会活动中汽车的重要性。而在19世纪后期到20世纪初作为汽车动力源有蒸汽发动机、汽油机及电动机三种。当时这三种动力源的汽车竞争非常激烈。于1895年6月在法国举行的著名的巴黎—波尔多—巴黎的第二次汽车拉力赛，不仅使人们认识到机动车的重要意义，同时通过参赛的各种车型如蒸汽汽车、汽油车、电动车及马车的比较，也开始意识到车身重量越轻优势越大的问题，而且充气式轮胎也得到充分的肯定。在这次汽车拉力赛中，也发现了各种车型所存在的问题。当时对汽车所关心的主要问题并不是能源与排放，而是燃料的能源密度和一定量燃料所能行驶的续驶里程。对三种动力源的汽车和马车进行行驶特性的对比分析结果表明，蒸汽汽车每行驶10英里需要加一次水，电动汽车每行驶30英里需要充一次电，而汽油车每行驶150英里需要加一次油。马车一般每天至多只能行走15~20英里。由于当时美国城市都比较小，任何一种私人车只要其续驶距离能达到15英里以上就可以接受了。但是出租马车较麻烦。到19世纪末开始欧美已进入旅游时代，所以动力汽车取代马车已成为必然趋势。而初期的由汽油机驱动的车辆，尽管在热效率、起动性、排放噪声以及车速等方面与蒸汽汽车相比并不占优势，反而由于当时无消声器发动机噪声更大。但是在续驶里程方面汽油车相对其他车种占有绝对的优势。后来由马克西姆发明了消声器，1899年克莱德·科尔曼（Clyde J. Coleman）设计出电动起动装置，后查尔斯·富兰克林·卡特林于1912年使之进一步完善以后，汽油机的优势逐渐明朗化。进入20世纪以后石油被世界公认为机动车辆的主要燃料，由此确立了汽油车的主导地位。

## 1.2 汽车与社会环境

直到20世纪前期为止是人类发明汽车基本结构的过程，而20世纪后期直到现在，汽车的发展历史主要是提高性能与人类社会环境要求以及多学科技术协调发展的过程。汽车工业的发展，已在社会经济上逐步占据重要的地位，同时受到来自社会各方面的影响。特

别是从第二次世界大战之后汽车工业的复兴到至今,根据社会的要求汽车发展过程经历了提高性能、主动安全、被动安全、环境保护、节能等几个阶段。这正说明汽车不仅已成为人类社会不可缺少的交通工具,也是消耗能源,破坏大气自然环境的主要污染源。

### 1.2.1 社会要求对汽车发展的影响

二战后人们对汽车的要求越来越高。对汽车性能方面的要求主要体现在车速要快,操作要方便,价格要便宜。高速化的要求主要是针对当时盛行的赛车,驾驶性和价格的要求是针对大众化的汽车。而汽车的大众化发展,又给社会带来了新的问题,即交通拥挤、交通事故、环境污染以及石油能源紧张等。

随着社会经济的高度发展,汽车工业得到了迅速的发展。伴随汽车保有量的急剧增加,交通事故也大幅度增加,成为社会化的问题,所以安全措施成为法规所要求的汽车的必需品。为此世界各大汽车公司开始纷纷开发汽车的安全技术。汽车安全技术包括主动安全技术和被动安全技术。所谓主动安全技术就是为了预防事故发生而采取的一系列技术措施。如制动系统的开发与完善,判断行驶路面状态和驾驶员状态的感知、判断支援系统,减轻操作力和疲劳强度,帮助驾驶员控制操作运行的辅助行驶支援系统,考虑驾驶员的反应时间等驾驶员和汽车的协调技术。而被动安全技术是当事故发生时,用来保护乘客和驾驶员安全的技术措施。包括以缓和车辆冲撞而吸收能量为目的的车辆结构上的技术措施,如保险杠、安全带、气囊等措施。直到如今,安全技术在主动和被动两方面仍在继续深入研究,且通过采用电子控制技术和自动控制技术使之更加完善。

以国家法律形式控制汽车尾气排放,是从 1943 年 9 月在美国洛杉矶发生的光化学烟雾事件开始的。当时整个洛杉矶市街被一层烟雾遮住,给市民带来催泪、呼吸系统疾病等灾难。美国联邦和加利福尼亚州政府对该烟雾事件组织进行了调查。结果表明造成这种烟雾事件的主要元凶就是汽车尾气排放物中的 HC 和  $\text{NO}_x$ 。于是,美国于 1960 年首次制定了防止汽车尾气污染物的法案,并决定从 1965 年开始实施。所以,从 20 世纪 60 年代后半开始到 70 年代的十几年间,汽车排气净化的新技术得到迅速发展。其中,典型的技术就是转子发动机和稀薄燃烧技术。转子发动机是 1967 年达到批量生产,其特点是燃烧温度低,所以  $\text{NO}_x$  排放量少。而稀薄燃烧技术是于 1972 年日本本田技研工业首先发明。在稀薄混合气下燃烧时,CO 和 HC 生成量少,又由于进入汽缸的空气量相对比较多,所以在排气管内也继续氧化。而且由于空气的冷却作用缸内燃烧温度较低,故  $\text{NO}_x$  排放量降低。之后出现了废气再循环(EGR)技术、电控汽油喷射技术、三效催化转换装置等后处理技术。

除了安全和尾气排放污染问题之外,对汽车发展影响比较大的还有石油能源危机。1945 年和 1972 年的两次石油危机使得世界各汽车制造行业,大力开发研制有关节能技术。在整车上,如美国 GM(通用)汽车公司采用减小外形尺寸来减轻整车质量;而福特汽车公司则通过提高铝等轻合金以及塑料等氧化树脂材料的使用率,达到减轻整车质量的目的。在整车布置上,采用发动机前置前轮驱动方式,或发动机后置后轮驱动方式等,由此通过直接传动驱动轴,提高传动效率,同时通过减小传动系统的质量,使整车质量轻量化;为了减小发动机室空间,提高发动机单位质量输出的功率(比功率),采用 V 型 4 缸机、V 型 6 缸机;奔驰、奥迪开发的直列 5 缸机,日本大发开发的直列 3 缸机等都是针对

节能问题而开发的技术措施。通过这些技术降低发动机的比质量（单位输出功率的整车质量），有效地改善了燃油消耗率。同时发动机燃烧过程的改善，电子控制技术的应用，汽车空气阻力特性的改善等方面也进行了深入的研究。在节能和排放控制方面以及安全等整车性能控制方面，汽车电子技术、控制技术以及发动机电控技术及其发展起着决定性的作用。电控技术已作为汽车必备的部分在现代汽车领域占据不可缺少的重要地位。

随着节能要求的不断提高，柴油机以其独有的热效率高，油耗低以及耐久性好的特点，不仅广泛应用于货车上，而且在轿车上也得到逐渐推广应用。柴油机工作粗暴，振动噪声大，起动性差等缺点通过柴油机电控技术及其燃烧系统的改进，已得到大幅度的改善。在西欧柴油机在轿车上的应用比较普及。但目前柴油机的微粒排放和  $\text{NO}_x$  排放仍然是尚未很好解决的问题。为此广泛深入研究和应用电控高压喷射、EGR 中冷、增压中冷、后处理技术以及 HCCI 燃烧方式等新技术。

### 1.2.2 汽车工业在国民经济中的地位和作用

纵观动力机械装置及汽车工业的发展史，汽车的发明和发展对国民经济的发展起到重大推动作用。

1712 年托马斯·纽可门蒸汽机的发明，有力地推动了英国经济的发展，迎来了人类历史上的第一次工业革命。同时，1784 年瓦特在前人的科学研究成果的基础上，进行重大技术改革和发明，使得蒸汽机首次作为动力机械，在工厂和交通运输等方面得到了广泛应用，大大提高了当时的劳动生产率，促进了手工业向大工业的迅速过渡，直接推动了 18 世纪最伟大的工业（蒸汽）革命，造就了英国成为经济超级大国的地位。

1876 年，德国人奥托发明奥托循环，首次实现四冲程发动机，并成立德国气体发动机制造公司，开始研制四冲程内燃机，为德国工业及经济的发展以及后来的汽车工业的发展作出了重大贡献。之后，1886 年德国人戴姆勒，在奥托四冲程内燃机的基础上发明了汽油机，首次将 1.1 马力的发动机安装在四轮车上，发明第一台汽油车。与此同时，另一位德国人卡尔·奔驰（K. Benz），也同时制造出具有现代意义的实用性三轮汽车，并成立奔驰汽车公司开始生产汽车，首次创立了德国汽车产业，推动了德国汽车工业及科学技术的发展，使得德国在二战期间能成为军事大国创造了条件，也为德国经济的发展打下牢固的基础。

而美国虽然只有两百多年的社会发展历史，但自从美国汽车大王亨利福特（Henry Ford）于 1903 年创立福特汽车公司开始生产 A 型车，于 1908 年推出世界著名的 T 型福特汽车，特别是于 1910 年世界上首次创造汽车生产流水线以来，揭开了汽车批量生产的序幕，使汽车走向大众化的道路，迎来了美国全新的汽车工业时代。虽然德国发明了现代汽车，但美国将汽车工业走向大众化，由此大大促进了美国经济和社会的迅速发展，为缔造强盛的美国作出重要贡献。

而现代经济超级大国的日本，在二战战败后经济实力很弱。但在 20 世纪 50 年代初发生的朝鲜战争中发横财，以此为基础开发日本汽车工业，并由此带动半导体技术、材料及其加工技术等相关产业，有力推动了日本经济的发展，使日本从战败后经过短短的 20 多年，最终发展成为世界超级经济大国。

从这些先进国家的发展历程中不难看出，汽车工业及其发展对其国内经济发展所具有



的重大推动作用。

纵观世界汽车工业发展史，可以总结以下几次重大变革：①1886年德国戴姆勒和奔驰发明内燃机为动力源的汽车，由此从笨重的蒸汽汽车时代过渡到轻便快速的现代的内燃机汽车时代；②1914年美国福特汽车公司首次实现汽车装配工艺流水线，带来了汽车工业史上的重大变革，使汽车制造业从手工制作，过渡到流水线批量生产；大大提高了生产能力，降低了制造成本，使汽车工业走向大众化；③20世纪50年代，欧洲内部关税壁垒逐渐拆除，使欧洲市场空前繁荣，有力地推动了欧洲汽车制造业的发展；④20世纪60年代末，日本汽车工业出现奇迹，生产出物美价廉的小型汽车，使得世界汽车工业发生重大变革；⑤进入21世纪后，汽车工业以惊人的速度空前得到发展，世界各大汽车企业涌入中国市场，使中国已成为世界最大的汽车市场，而且汽车产量已排为世界第三位，销售量成为世界第二位，有利促进了中国经济连续几年迅速稳步的发展。

### 1.2.3 我国汽车工业在国民经济中的地位

我国汽车工业自1952年开始起步，经过多年的艰苦创业，到现在有了长足的发展。走自主开发道路以来的50多年，中国汽车工业的发展经历了汽车产业初期阶段（1956～1976年）、汽车产业恢复期（1976～2000年）以及汽车产业集团化发展（2000～2009年）等几个阶段的曲折道路。

在汽车产业初期阶段，中国经历了1958～1960年的3年期间大跃进和从1966～1976年长达10年的“文化大革命”时期。当时汽车工业生产规模小，技术水平低，几乎没有技术开发能力和革新能力，汽车产业存在严重“散乱差”的问题，使得我国汽车工业的发展受到严重影响。

1976年“文革”结束，特别是1978年中国开始打开国门，走向改革开放、经济建设的道路以来，汽车工业的生产能力逐渐得到恢复和提高。同时与国外合作，开放中国汽车市场。自1976年到2000年长达20多年的恢复期，中国汽车工业逐渐走向正规，特别是农村经济的发展，农用轻型/微型车辆的大量需求，汽车产业得到快速发展，使汽车工业对我国GDP的贡献也逐渐明显化，迎来了中国第二次汽车热。与汽车相关的企业得到迅速发展，并在全国各地先后成立，造成汽车行业管理乱、产业分散、重复引进生产技术、品质差、生产规模小等问题。为了解决我国汽车工业“散乱差”的问题，根据国家有关政策形成以一汽（解放）、二汽（东风）、上海汽车为“三大”，北京汽车、天津汽车、广东标志为“三小”，重庆长安汽车、贵州云雀汽车为“二微”的“三大三小二微”的轻型/乘用车的汽车产业结构，并于1993年开始实行。同时以济南、重庆、陕西作为重型车辆的生产基地。在这一时期，随着中国汽车市场的发展，汽车产业对我国GDP的贡献不断提高，使汽车工业逐渐发展为中国重点支柱产业。但是汽车市场的急速扩大，市场管理乱、基础工业（汽车零部件及其加工、生产技术等）落后、核心技术依赖于国外、技术开发能力不足、产品质量差等问题成为中国汽车工业发展的主要问题。而“三大三小二微”的汽车产业结构不能解决这些问题，结果于2000年这种产业结构被破坏。随着中国汽车市场和经济的快速发展，中国汽车产业逐渐以“一汽集团”、“二汽集团”和“上海汽车集团”三大集团为主，大规模地向汽车产业集团化发展。由此将分散的汽车产业集团化管理，汽车制造与零部件设备一体化；为提高产品质量和技术水平，关键技术与国外合作或