



汽车设计

刘惟信 主编



清华大学出版社
<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

汽车设计

刘惟信 主编

上海发展汽车工业教育基金会资助项目

清华大学出版社

(京)新登字 158 号

内 容 简 介

本书全面而系统地介绍了汽车设计理论与方法。内容主要有:汽车设计理论与设计技术的发展,汽车设计的内容、特点、设计过程与发展趋势,汽车的产品型号,汽车的总布置设计,汽车零部件的载荷与计算工况和计算方法,汽车各系统、各总成及主要零部件的结构分析与设计计算以及各总成的试验等。全书共 17 章。

本书可作为高等工科院校机械类专业汽车工程专业方向的汽车设计课教材,供高年级学生用于学习汽车设计理论、设计计算方法以及指导其设计实践。本书亦可作为有关行业尤其是从事汽车设计和研究的工程技术人员的参考书。

书 名: 汽车设计

作 者: 刘惟信 主编

出版者: 清华大学出版社(北京清华大学学研大厦,邮编 100084)

[http:// www. tup. tsinghua. edu. cn](http://www.tup.tsinghua.edu.cn)

印刷者: 国防工业出版社印刷厂

发行者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 787×1092 1/16 **印张:** 49.5 **字数:** 1144 千字

版 次: 2001 年 7 月第 1 版 2001 年 7 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-04529-1/TH·94

印 数: 0001~5000

定 价: 58.00 元

前 言

本书的编著者是几位从事汽车专业教学、汽车设计实践及汽车设计理论研究达十多年至三四十年的清华大学教师,近二十年来还相继编著出版过一些获奖(一项国家级奖、四项部委级奖及一项基金会奖)专业图书,如《机械最优化设计》(第一、二版)、《机械可靠性设计》及汽车设计丛书《圆锥齿轮与双曲面齿轮传动》、《离合器》、《驱动桥》等,也参编过一些国内大型图书、手册,如《汽车工程手册》、《汽车百科全书》及《机械工程手册》(汽车篇)等。本书的编著吸取了这些专业书籍的编著经验,更吸取了清华大学汽车工程系多年来在专业教学及汽车设计实践方面的心得和相关科研的成果,以及近年来国内外有关汽车设计方面的文献、图书中的最新资料与发展趋势等而完成的。

本书编写的指导思想和追求的目标是,力求使其内容既有理论意义又有实用价值,使它既可用作高等工科院校的“汽车设计”课的教材,又可作为完成汽车设计实践的参考书和工具书。用作教材,它要阐明汽车设计理论和设计计算方法;用作指导设计实践用的参考书和工具书,它不仅要给出设计计算方法,还应给出设计参考数据和尽量多的设计用图表供设计人员查寻、借鉴和参考。这是本书与一般汽车设计教材和设计手册的区别之一。

汽车问世百余年来,特别是从汽车产品的大批量生产及汽车工业的大发展以来,汽车已经对世界经济大发展和人类进入现代生活产生了无法估量的巨大影响,为人类社会的进步作出了不可磨灭的巨大贡献。为了使读者对汽车这一影响人类社会的产品有更全面、更深入的了解,以便把握住“汽车设计”技术的发展方向,本书不仅更全面、更深入、更详尽地介绍了一般汽车设计图书所具有的基本内容,例如汽车的总体设计,汽车零部件的载荷和计算工况与计算方法,以及汽车各系统、各总成及主要零部件的结构分析与设计计算等,而且还论述了汽车的过去、现状和未来。即本书从汽车的问世与汽车工业的发展以及对人类社会的影响谈起,全面而系统地介绍了汽车设计理论与设计技术的发展,汽车设计的内容、特点及其发展趋势以及一些最新成果,汽车设计的客观规律、初始决策与设计过程,汽车的产品型号,最优化设计与可靠性设计在汽车设计中的应用,以及一些近年来发展起来的新技术,例如离合器用的双飞轮扭转减振器、现代轿车的四轮转向与四轮驱动、制动的防抱死系统等,还介绍了汽车总成的试验等。本书增加了对这些现代汽车设计技术内容的论述,这是本书的另一特色。

汽车设计的内容非常广泛、丰富,本书受到篇幅的限制,不可能面面俱到地对有关专题都阐述得很仔细、详尽。为此,在书后的参考文献中列出了国内外出版的有关图书、文献和本书作者近年来所编著出版的一些与汽车设计有关的专题教材、图书以及发表的一些与汽车设计有关的研究论文,作为本书的补充,供读者参考。

本书由刘惟信教授主编并编著第1~12章,第14章,第15章的15.1~15.4.1,15.5节,第16章,第17章的17.1~17.3,17.4.3~17.7及17.9节,并对第13章作了补充;田光宇博士编著第13章;王烈教授编著第15章的15.4.2~15.4.3节;陈全世教授编著第

15 章的 15.6~15.11 节;徐石安教授编著第 17 章的 17.4.1~17.4.2 节;李修曾教授编著第 17 章的 17.8 节;全书由刘惟信定稿。

本书可用作高等工科院校机械类专业汽车工程专业方向的教材和教学参考书,供高年级学生用于学习汽车设计理论、设计计算方法以及指导其设计实践;本书亦可供有关行业,尤其是从事汽车设计和研究的工程技术人员在设计和试验研究工作中查寻、借鉴和参考。

热忱欢迎使用本书的高校师生、广大读者以及有关行业的专家、学者对本书提出批评、指正,以便再版时修改、补充。

本书的编著与出版得到了上海发展汽车工业教育基金会的资助,在此表示衷心感谢。

编著者 2000 年 6 月于清华园

常用符号表

A ——汽车迎风面积	F_w ——汽车行驶时的空气阻力
A ——变速器齿轮中心距	F_φ ——车轮与路面的附着力
A_0 ——从动锥齿轮节锥距	f ——滚动阻力系数
ABS——antilock braking system, 防抱死制动系统	f ——离合器摩擦片的摩擦系数; 制动器摩擦副的摩擦系数
AC——汽车空气动力中心	f_{C1} ——前悬架的静挠度
APV——all purpose vehicle, 多功能汽车	f_{C2} ——后悬架的静挠度
B ——轮距, B_1 为前轮距; B_2 为后轮距	f_d ——悬架的动挠度
B ——圆锥齿轮与双曲面齿轮的齿侧间隙	G_a ——汽车重力
BF——制动器因数	G ——材料的剪切弹性模量
C ——轴承的额定动载荷	G_1 ——汽车前轴静负荷
C_D ——空气阻力系数	G_2 ——汽车后轴静负荷
C_{s1} ——前悬架弹簧刚度	h_g ——汽车质心高度
C_{s2} ——后悬架弹簧刚度	$h_{\min}$ ——汽车最小离地间隙
C_{T1} ——前轮轮胎刚度	i_0 ——驱动桥主减速比
C_{T2} ——后轮轮胎刚度	i_{Fh} ——分动器高档传动比
C_a ——扭转减振器角刚度	i_g ——变速器传动比
C_ϕ ——悬架的侧倾角刚度	i_{g1} ——变速器 I 档传动比
$C_{\varphi F}$ ——车架(或车身)的扭转刚度	i_{LB} ——轮边减速器传动比
CG——汽车重心	i_T ——传动系传动比
CP——风压中心	i_{TL} ——传动系最低档传动比
$D_{0\max}$ ——汽车直接档最大动力因数	i_{0w} ——转向系的角传动比
$D_{1\max}$ ——汽车 I 档最大动力因数	i_p ——转向器的力传动比
d_2 ——从动锥齿轮的节圆直径	i_w ——转向器的角传动比
E ——金属材料的弹性模量	j ——制动减速度
E ——双曲面齿轮偏移距	K ——液力变矩器变矩比
F ——螺旋锥齿轮与双曲面齿轮的从动齿轮齿面宽	K ——差速器锁紧系数
F_B ——地面制动力	L ——轴距
F_{f1} ——前轴车轮制动器制动力	L ——离合器的滑磨功
F_{f2} ——后轴车轮制动器制动力	L ——轴承的额定寿命
F_h ——转向盘上的切向力	L_1 ——汽车质心离前轴的水平距离
	L_2 ——汽车质心离后轴的水平距离

L_F ——前悬长
 L_R ——后悬长
 MPV——multiple purpose vehicle, 多功能汽车
 m ——齿轮模数
 m_a ——汽车总质量
 m_d ——汽车干质量
 m_G ——汽车装载质量或装载量
 m_n ——斜齿轮法向模数
 m_0 ——汽车整备质量
 m_s ——汽车簧载质量或悬挂质量
 m_{s1} ——汽车前轴上方的簧载质量或悬挂质量
 m_{s2} ——汽车后轴上方的簧载质量或悬挂质量
 m_{u1} ——汽车前轴处的非簧载质量或非悬挂质量
 m_{u2} ——汽车后轴处的非簧载质量或非悬挂质量
 n_1 ——前悬架的偏频
 n_2 ——后悬架的偏频
 n_e ——发动机转速
 n_P ——发动机最大功率下的转速
 n_T ——发动机最大转矩下的转速
 P_e ——发动机功率
 $P_{e\max}$ ——发动机最大功率
 Q ——汽车百公里最低燃料消耗量
 $R_{\min}$ ——汽车最小转弯半径
 r_e ——车轮有效半径
 r_r ——车轮滚动半径
 SI——伤害指数(当撞车时)
 T ——力矩, 转矩
 T_c ——离合器传递的摩擦力矩
 T_e ——发动机转矩
 $T_{e\max}$ ——发动机最大转矩

T_f ——摩擦力矩, 制动器对车轮的制动力矩
 T_j ——计算转矩
 T_P ——发动机最大功率下的转矩
 v_a ——汽车行驶速度
 Z_{1L} ——左前轮的地面垂向反力
 Z_{2R} ——右后轮的地面垂向反力
 z ——齿轮齿数
 α ——汽车的接近角
 α ——车轮外倾角
 α ——齿轮压力角
 β ——汽车的离去角
 β ——主销内倾角
 β ——离合器后备系数
 β ——齿轮螺旋角
 β ——汽车制动器制动力分配系数
 γ ——主销后倾角
 δ ——汽车回转质量换算系数
 φ ——轮胎与路面的附着系数
 φ_0 ——同步附着系数
 η_+ ——转向器正效率
 η_- ——转向器逆效率
 η_{m0} ——汽车整备质量利用系数
 η_{md} ——汽车质量利用系数
 η_T ——传动系效率
 λ ——滑移率
 ξ ——差速器的转矩分配系数
 $[\sigma]$ ——许用应力
 σ_c ——挤压应力
 σ_j ——接触应力
 σ_s ——材料的屈服极限
 σ_{-1} ——试件的疲劳极限
 σ_Σ ——弯扭联合作用的等效应力
 τ_s ——剪切应力

目 录

常用符号表	(Ⅶ)
1 概述	(1)
1.1 汽车工业的发展对人类社会的影响	(1)
1.2 汽车设计理论与设计技术的发展	(5)
1.3 汽车设计的内容、特点及其发展趋势	(7)
1.4 汽车设计的宏观规律、初始决策与设计过程	(12)
1.5 汽车的产品型号	(15)
2 汽车的总体设计	(18)
2.1 汽车类型的确定	(18)
2.2 汽车主要参数的选择	(30)
2.3 汽车发动机的选型	(44)
2.4 轮胎的选定	(48)
2.5 汽车总布置图的绘制	(50)
2.6 汽车性能的优化匹配、预测和计算机模拟概述	(69)
3 汽车零部件的载荷与计算工况和计算方法	(71)
3.1 概述	(71)
3.2 汽车零部件的载荷工况	(72)
3.3 汽车传动系的扭转振动	(74)
3.4 汽车传动系最大转矩的确定	(78)
3.5 路面不平度影响下的汽车行驶系载荷	(81)
3.6 簧载(悬挂)质量在随机载荷作用下的强迫振动计算	(84)
3.7 传动系静强度计算的载荷工况	(86)
3.8 传动系零件的疲劳强度计算	(88)
3.9 汽车零件的可靠性设计	(92)
3.10 汽车零部件的最优化设计	(96)
4 汽车传动系概论	(98)
4.1 传动系的功用	(98)
4.2 传动系的类型	(99)
4.3 传动系的结构布置	(102)
4.4 机械传动系的工作特点及设计要求	(103)
5 离合器设计	(105)
5.1 概述	(105)
5.2 摩擦离合器的结构型式选择	(107)

5.3	离合器基本参数的确定	(121)
5.4	摩擦离合器的滑磨及其热工况	(124)
5.5	离合器工作过程的图分析法	(127)
5.6	摩擦离合器主要零件的设计计算	(129)
5.7	离合器操纵机构设计	(150)
5.8	离合器试验	(157)
6	变速器设计	(158)
6.1	概述	(158)
6.2	变速器的结构分析与型式选择	(159)
6.3	变速器基本参数的确定	(175)
6.4	变速器齿轮的设计计算	(183)
6.5	变速器轴与轴承	(195)
6.6	同步器	(200)
6.7	副变速器与分动器	(207)
6.8	变速器试验	(210)
7	液力机械变速器设计与其他无级变速	(211)
7.1	液力变矩器	(211)
7.2	液力机械传动	(224)
7.3	液力变矩器及液力自动变速器试验	(243)
7.4	皮带和钢带式摩擦无级变速与链条无级变速	(243)
8	万向节与传动轴设计	(246)
8.1	概述	(246)
8.2	万向节与传动轴的结构型式	(246)
8.3	万向节传动的运动学及等角速传动条件	(258)
8.4	万向传动轴的设计计算	(263)
8.5	十字轴万向节传动的附加弯矩和惯性力矩	(267)
8.6	万向节的设计计算	(269)
8.7	万向传动轴试验	(273)
9	驱动桥设计	(275)
9.1	概述	(275)
9.2	驱动桥的结构型式与布置	(283)
9.3	主减速器	(294)
9.4	差速器	(350)
9.5	驱动车轮的传动装置	(380)
9.6	驱动桥桥壳	(390)
9.7	转向驱动桥	(403)
9.8	驱动桥试验	(403)
10	现代汽车的四轮驱动	(405)

11 汽车行驶系概论	(409)
11.1 行驶系概述.....	(409)
11.2 汽车行驶系的载荷.....	(411)
12 从动桥设计	(415)
12.1 概述.....	(415)
12.2 从动桥的结构型式.....	(418)
12.3 从动桥的设计计算.....	(422)
12.4 从动桥试验.....	(429)
13 悬架设计	(431)
13.1 概述.....	(431)
13.2 悬架的结构型式与分析.....	(432)
13.3 悬架主要参数的确定.....	(447)
13.4 汽车钢板弹簧设计.....	(462)
13.5 扭杆悬架的设计.....	(483)
13.6 螺旋弹簧悬架的设计.....	(489)
13.7 空气悬架的设计.....	(492)
13.8 油气弹簧的设计.....	(498)
13.9 独立悬架导向机构的设计.....	(501)
13.10 减振器的结构类型与主要参数的选择	(505)
13.11 横向稳定杆的设计	(510)
13.12 主动悬架与半主动悬架	(513)
13.13 悬架试验	(515)
14 轮胎与车轮	(518)
14.1 概述.....	(518)
14.2 轮胎.....	(518)
14.3 车轮.....	(526)
14.4 轮胎气压的调节系统.....	(534)
14.5 轮胎与车轮的试验.....	(535)
15 车架与车身设计	(537)
15.1 概述.....	(537)
15.2 车架的结构设计.....	(541)
15.3 车架的制造工艺及材料.....	(547)
15.4 车架的计算.....	(547)
15.5 车架试验.....	(571)
15.6 汽车车身.....	(571)
15.7 车身设计方法.....	(576)
15.8 人机工程学在车身设计中的应用.....	(580)
15.9 汽车造型设计和空气动力学.....	(588)

15.10	车身结构设计和碰撞安全性	(597)
15.11	车身试验	(605)
16	转向系设计	(608)
16.1	概述	(608)
16.2	转向系的主要性能参数	(611)
16.3	转向器的结构型式选择及其设计计算	(616)
16.4	动力转向系设计	(637)
16.5	转向传动机构设计	(649)
16.6	转向操纵机构的防伤安全措施	(658)
16.7	转向减振器	(660)
16.8	轿车的四轮转向	(662)
16.9	转向系试验	(666)
17	制动系设计	(667)
17.1	概述	(667)
17.2	制动器的结构型式及选择	(670)
17.3	制动系的主要参数及其选择	(685)
17.4	制动器的设计计算	(696)
17.5	制动器主要零件的结构设计	(711)
17.6	制动驱动机构的结构型式选择及设计计算	(718)
17.7	制动力分配的调节装置	(741)
17.8	汽车防抱制动系统	(750)
17.9	制动系试验	(778)
	参考文献	(779)

1 概 述

1.1 汽车工业的发展对人类社会的影响

在人类历史发展的过程中,“衣”、“食”、“住”、“行”始终是人类生存的四大需要,是人类发展、进步的最重要的基本条件。而在“四大需要”中,“行”或“交通”的变化,在人类社会的发展过程中是最突出的,它对社会进步的影响也是最大的。历史上正是因为有了陆路交通,有了沟通中国与西域各国的“丝绸之路”,才促进了东西方的贸易及科技、文化的交流与发展;正是因为有了水上交通,才发现了“新大陆”,促使了美洲的迅速开发与繁荣;正是因为有了空间交通,才使国际间的贸易与科技、文化交流更为方便、迅速,才能使“登月”得以实现。总之,交通的变革与发展,促进了人类社会的进步与繁荣。例如蒸汽机轮船与蒸汽机车的问世曾推动了当时的产业革命。

继蒸汽机轮船与火车出现之后,1886年德国工程师戴姆勒与奔茨二人以汽油内燃机为动力,分别独立地制成了最早的实用汽车。1903年美国亨利·福特创建了福特汽车公司,1908年推出了“T”型车(见图1-1),并于1913年建成了流水作业装配线进行汽车的大批量生产。这项大生产技术的出现,为提高汽车质量、降低生产成本及以后的汽车工业大发展创造了条件。1921年“T”型汽车的产量已占世界汽车总产量的56.6%,到1926年福特“T”型汽车年产量达200万辆,售价仅290美元^[1]。1927年夏,“T”型车成为历史,共售出1500多万辆,最低售

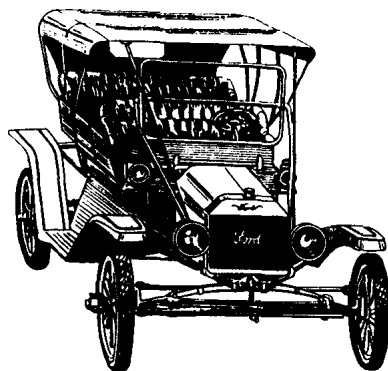


图 1-1 1909 年生产的福特“T”型汽车

价仅260美元。但当时福特所采用的“全能厂”模式终究竞争不过美国通用汽车(GM)公司所实行的“专业化”生产模式。1927年,GM公司胜过福特而成为世界上产量最大的汽车制造厂家。1923年,柴油机成为载货汽车的动力,随后又用到大客车上,且在部分小轿车上也得到了应用。

汽车问世百余年来,特别是从汽车产品的大批量生产及汽车工业的大发展以来,汽车已为世界经济的大发展、为人类进入现代生活,产生了无法估量的巨大影响,为人类社会的进步作出了不可磨灭的巨大贡献,掀起了一场划时代的革命。

人类社会及人们生活的“汽车化”,大大地扩大了人们日常活动的范围,扩大并加速了地区间、国际间的交往,成倍地提高了人们外出办事的效率,极大地加快了人们的活动节奏,促进了世界经济的大发展与人类的快速进步,开创了现代“汽车社会”这样一个崭新的时代。

当前,汽车已进入人类社会的各个领域。工业、农业、商业与国际贸易、教育、科技、文化、艺术、卫生保健、国防以及其他各项建设事业,以至人类的现代生活领域及家庭,都与汽车有紧密联系。汽车已成为人们日常工作、生产、学习、生活、旅行中最方便、最经常使用的交通工具,成为发达国家每个家庭的生活必需品,成为现代社会的象征。例如,1981年美国平均每人一年的出行里程为11988km,其中乘自用轿车的比率竟达83.8%,如果再加上乘公共汽车,则乘汽车的比率高达85.5%,而乘火车及飞机的比率总共不超过14.5%^[1]。在美国的客运中轿车之所以占了这样高的比率,是由于人们的日常工作(例如上下班)、生活(例如购物、访友、旅行)都离不开自用轿车的缘故。在其他发达国家情况也类似,即以汽车为客运手段的比率在逐年增加,且已超过铁路、水运和空运的比率之和。随着“城市化”水平的提高,汽车运输的比率将继续提高。我国城镇人口比率不高,“城市化”水平较低,不仅低于发达国家的“城市化”水平*,而且低于世界平均水平*,那么,汽车运输在我国国民经济及人民生活中的地位又是怎样呢?众所周知,长期以来运输就是我国国民经济的一个薄弱环节,是国家计划重点发展的一项事业,而汽车运输又是现代运输中与国民经济及人民生活联系最紧密,使用最广泛、最方便、最及时的交通手段。我国广大地区不是铁路、水运、空运所能达到的,汽车便成为深入这些地区唯一可行的机动交通工具。即使在铁路、水运、空运沿线,也需用汽车将分散在各处的物资集中到车站、港口和机场后才能转运。短途运输,甚至较长途的鲜品运输,用汽车比用火车的经济效益要好,这是因为汽车运输在运行时间和通车地域范围方面具有火车无法比拟的机动性和“门对门运输”的优点,与铁路运输相比,它既可缩短运输时间又杜绝了中间转运时多次装卸的损失。因此在国外,不仅在客运中,而且在货运中,汽车运输占有的比率逐年增加,我国也必然会顺应这一发展趋势。由于公路建设具有周期相对短、适应地区广、地方和群众也可以筹建等特点,再加上已实现公路通车的地区带来的经济迅速发展和繁荣等明显效果,人们终于得出了“要想富,修公路”的结论,特别是那些既无铁路又无水运的我国广大农村,汽车则成为唯一可行的高效运输工具。火车、轮船和飞机只能做城市间的交通工具,而城市内的交通,离开汽车不行。过去,我国城市交通结构基本上是公共汽车、电车加上自行车的体系,由于公交事业的投资有限,城市乘车难的问题长期得不到解决,而过多地发展自行车又会使道路拥挤、管理困难、事故不断。小轿车方便、高效、舒适、快速、安全。如以轿车在城市平均车速为40km/h计,比目前地面公交车时速16km/h提高2.5倍,比自行车平均时速10km/h快4倍。积极而适当地发展公务、出租,尤其是自用小轿车,不仅会方便人们的工作、生活,提高办事效率及运输效率,改善城市交通状况,而且由于小轿车的日常活动半径可很大,这样,在城市工作的人们可大量地移居远郊区、卫星城以至农村,这不仅可以控制城市规模、避免人口过于集中,对于农村建设、消灭城乡差别,也会有积极意义。特别应指出的是,没有汽车运输,就不会有我国乡镇企业的大发展。由上述可见,即使对我们这样一个发展中的国家来说,汽车也已成为国民经济以及各项事业和人民生活、学习、工作、生产等活动不可缺少的交通工具。大力发展汽车工业特别是轿车工业,大力发展汽车运输业,已成为我国兴旺发达、实现四个现代化的极为重要的条件。

* 根据20世纪90年代的统计数字,分别为80%~90%及50%左右。

汽车是由上万个零件组成的结构复杂、加工精密的“技术密集、劳动密集、资金密集”型的机(机械)、电(电器、电子)、化(化工)、美(美工造型)一体化且大批量生产的产品(见图 1-2),也是世界上零件数以 10^4 计、产量以 10^7 计的唯一产品,是产值高、寿命长、需要量大的社会必需品。虽然世界上一些尖端技术往往由宇航、信息、核能等尖端工业开始,但要把这些技术转化为价格低廉并为整个社会所共享的财富,非经过以大批量生产产品的汽车工业不可。因此,一些当代世界上的最新技术与成果,首先在汽车上或汽车工业中得到

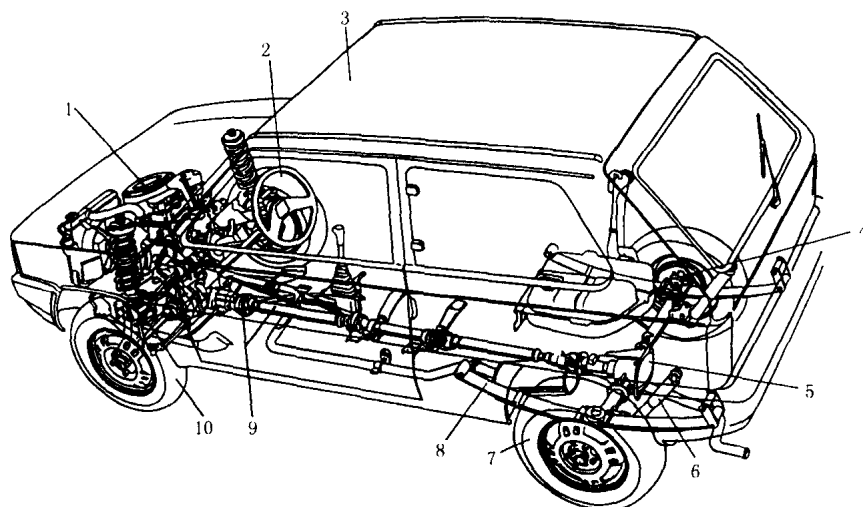


图 1-2 四轮驱动轿车的结构图

1—发动机;2—转向系的转向盘;3—车身;4—制动系的制动鼓;5—传动系的后驱动桥;
6,7,8—行驶系的减振器、后驱动车轮及钢板弹簧;9—传动系的万向节与传动轴;10—前转向驱动车轮

推广应用。如超微型计算机、微电子、计算机辅助设计(CAD)与计算机辅助制造(CAM)、激光、精密机械制造与柔性加工、优化、可靠性、自动控制、有限元分析、模态分析、模拟计算、程控等现代技术及现代加工设备及机器人等,不仅越来越多地引进汽车设计、制造、试验研究中,而且有些现代高新技术成果就直接用到汽车上,以满足对汽车的安全、节能、环保以及其他性能越来越高的要求。例如,发动机、变速器的微机控制系统,制动器的电子防抱死装置(ABS)与驱动车轮牵引力控制系统(TCS, traction control systems),汽车的雷达防撞装置,交通路线优化选择的电子导航系统,多功能高精度智能化的电子仪表及显示系统,车门锁的遥控及报警装置,安全气囊等等。另外,汽车材料种类繁多,工艺也很复杂。在制造中要用铸、锻、焊、冲压、金属切削与无切削加工、热处理、表面处理、油漆、装配等各种加工工艺及其设备;要消耗大量的各种钢材、有色金属、工程塑料、橡胶、玻璃、油漆等;要安装电机、电器、仪表、微机控制系统、电子设备、空调设备、内饰和座椅、安全设备(安全带与安全气囊)等。汽车在使用中还要消耗大量的燃料、润滑油以及零配件;汽车还需要维护保养及修理。因此,汽车工业要以钢铁、有色金属与非金属材料、机械制造、电机电器与电子、化工、石油及其加工、汽车零配件制造与修理等工业以及当代许多先进技术为基础,要有这些基础工业与科学技术的扶植。反过来说,汽车工业发展了,又能带动这

些基础工业的迅速起飞与现代科技的蓬勃发展。从这种意义上来讲,汽车工业已成为许多先进国家的支柱产业。一些发展中国家在有了一定工业基础之后,为了带动整个国民经济的发展,往往将汽车工业作为支柱产业。另外,在汽车的制造与使用中需要大量的劳动力,带来大量的就业岗位。因此,许多国家对发展汽车工业都极为重视。到1987年,世界汽车的年产量达4600余万辆,而保有量达每10人就有一辆汽车的水平。1995年,全世界在运行中的汽车达到6.2265亿辆,与1960年的1.27亿辆相比,其增加量超过390%。1997年,全世界汽车的年产量又达到了5500多万辆,世界的这种“汽车化”程度将日益提高。

美国汽车工业早已发展成为与钢铁、建筑并列的三个最大的行业之一。如今美国的信息产业与高新技术产业发展迅猛,但汽车工业仍不失为美国产业最主要的支柱之一。在全球汽车保有量中,美国生产的汽车占34.8%。日本汽车工业在1941年已有5万辆的年生产能力,1955年就达到了年产15万辆。自1960年开始大力发展轿车工业,在质量、节油及成本上下功夫,并革新企业管理模式,鼓励职工关心企业经营,使汽车年产量在20年内增长10倍,到1980年达到1104.3万辆,曾一度超过美国而成为世界第一汽车生产大国,其生产的汽车占全球汽车保有量的27.02%。西欧也是汽车生产大户,其产品约占世界汽车保有量的32.21%。1998年,德国汽车的出口额达到总出口额的18%,在所有出口产品中排在第一位。韩国的汽车工业起步于20世纪60年代,并从一开始就把汽车工业作为国民经济的支柱产业、经济发展的先导产业、出口创汇的重点产业和国家经济实力与技术水平的代表产业给予了必要的保护、正确的引导和有力的支持。很快形成了以大型企业集团为骨干的汽车工业产业体系,再加上企业的自律和竞争,积极自主开发具有国际竞争力的新车型,提高国产化率,推进出口,使汽车产量由1980年的123135辆(轿车占46.47%)发展到1988年的1083655辆(轿车占80.47%)^[2],突破了百万辆大关,1996年的生产能力又达到350万辆。

旧中国没有真正的汽车制造业。1953年,中国汽车工业从零起步,开始建立第一汽车制造厂,三年后便生产出国产“解放牌”中型载货汽车。60年代建设了第二汽车制造厂,生产中国独立设计的“东风牌”中型载货汽车。后来又建设了“川汽”、“陕汽”等重型汽车厂,还在修理厂的基础上建成了如“北汽”、“上汽”、“南汽”、“济汽”等一批骨干企业,但汽车的品种在过去的长时间内“缺重少轻”,更无轿车工业。“七五”^{*}期间又有一批骨干企业兴起,但与许多国家相比,中国汽车工业还很落后,汽车的产量、品种和质量都远远满足不了需要。鉴于这种情况,国家于“七五”期间提出“要把汽车制造业作为重要的支柱产业,争取有一个较大的发展”,又决定“高起点、大批量、专业化”地发展轿车工业,并把第一汽车制造厂、第二汽车制造厂、上海、北京、天津、广州等定为轿车生产基地,引进国外车型及先进技术与资金,强调要认真消化吸收,培养自行开发能力,加速国产化等,这些都是很必要的措施。到1994年,中国大陆汽车的年产量就达到了1338500辆,1997年又达到了158万辆,其中轿车为48.7万辆。但要快速发展中国汽车工业,必须加强统筹规划,进行宏观控制,克服分散,避免重复。为此,1994年国家颁布了“汽车工业产业政策”,它起到

* 指第七个五年计划期间。

了促进中国汽车工业的产业重组和投资集中,引导大型企业与骨干企业实行联合,促进企业集团化,加大投资力度与集中度,加快轿车工业和汽车零部件工业的发展,促进国产化,促进产品自主开发和科技进步,完善汽车市场体系,扩大产品出口和带动相关工业的同步发展等作用,并使中国汽车工业向大规模、专业化、高水平的生产型过渡,以形成在国际上的竞争力。

汽车是作为一种交通工具而产生的,但发展到今天已经不能把它理解为单纯的“行”的手段。因为“汽车化”改变了当代世界的面貌,它已经成为当代物质文明与进步的象征及文明形态的一种代表。中国汽车工业的振兴也必然会使中国的面貌焕然一新,在繁荣经济,促进四个现代化的实现,提高中国人民的生活水平,推动社会与地球上近四分之一的人类进步方面,发挥巨大的作用。

1.2 汽车设计理论与设计技术的发展

汽车设计理论是指导汽车设计实践的,而汽车设计实践经验的长期积累和汽车生产技术的发展与进步,又使汽车设计理论得到不断的发展与提高。汽车设计技术是汽车产品设计的方法和手段,是汽车设计实践的软件与硬件。

由于汽车是一种包罗了各种典型机械元件、零部件、各种金属与非金属材料及各种机械加工工艺的典型的机械产品,因此其设计理论显然要以机械设计理论为基础,并考虑到其结构特点、使用条件的复杂多变以及大批量生产等情况。它涉及到许多基础理论、专业基础理论及专业知识,例如:工程数学、工程力学、热力学与传热学、流体力学、空气动力学、振动理论、机械制图、机械原理、机械零件、工程材料、机械强度、电工学、工业电子学、电控与微机控制技术、液压技术、液力传动、汽车理论(汽车动力学或汽车行驶性能)、发动机原理、汽车构造、车身美工与造型、汽车制造工艺、汽车维修等。

汽车设计技术在近百年中也经历了由经验设计发展到以科学实验和技术分析为基础的设计阶段,进而自 60 年代中期在设计中引入电子计算机后又形成了计算机辅助设计(CAD)等新方法,并使设计逐步实现半自动化和自动化。

经验设计是以已有产品的经验数据为依据,运用一些带有经验常数或安全系数的经验公式进行设计计算的一种传统的设计方法。这种设计由于缺乏精确的设计数据和科学的计算方法,使所设计的产品不是过于笨重就是可靠性差。一种新车型的开发往往要经过设计—试制—试验—改进设计—试制—试验等二次或多次循环,反复修改图纸,完善设计后才能定型,设计周期长,质量差,消耗大。

随着测试技术的发展与完善,在汽车设计过程中引进新的测试技术和各种专用的试验设备,进行科学实验,从各方面对产品的结构、性能和零部件的强度、寿命进行测试,同时广泛采用近代数学物理分析方法,对产品及其总成、零部件进行全面的技术分析、研究,这样就使汽车设计发展到以科学实验和技术分析为基础的阶段。

电子计算机的出现和在工程设计中的推广应用,使汽车设计技术飞跃发展,设计过程完全改观。汽车结构参数及性能参数等的优化选择与匹配、零部件的强度核算与寿命预测、产品有关方面的模拟计算或仿真分析、车身的美工造型等等设计方案的选择及定型,

设计图纸的绘制,均可在计算机上进行。采用电子计算机作分析计算手段,由于其计算速度很快且数据容量很大,就可采用较准确的多自由度的数学模型来模拟汽车在各种工况下的运动,采用现代先进的数学方法进行分析,可取得较准确的结果,这就为设计人员分析多种方案进行创造性的工作提供了很大的方便。当前,由于计算机的外部设备及人机联系方面的成就,已可将计算机的快速计算和逻辑判断能力、大容量的数据储存及高效的数据处理能力、计算结果的动态图像显示功能与人的创造性思维能力及经验结合起来,实现人机对话式的半自动化设计,或与产品设计的专家系统相结合,实现自动化设计。其设计过程可由电子计算机对有关产品的大量数据、资料进行检索,对有关设计问题进行高速的设计计算,通过计算机屏幕显示其设计图形和计算结果;设计人员亦可用光笔和人机对话语言直接对图形进行修改,取得最佳设计方案后,再由与计算机联机的绘图设备绘出产品图纸。这种利用计算机及其外部设备进行产品设计的方法,统称为计算机辅助设计(CAD,computer aided design)。今后 CAD 将与 CAM(computer aided manufacture,计算机辅助制造)、CAT(computer aided test,计算机辅助测试)结合成 CADMAT 系统,更将显示出其巨大的功用。

随着计算机在汽车设计中的推广应用,一些近代的数学物理方法和基础理论方面的新成就在汽车设计中也日益得到广泛应用。现代汽车设计,除传统的方法、计算机辅助设计方法外,还引进了最优化设计^[14]、可靠性设计^[15]、有限元分析、计算机模拟计算或仿真分析、模态分析等现代设计方法与分析手段,甚至还引进了雷达防撞、卫星导航、智能化电子仪表及显示系统等高新技术。汽车设计理论与设计技术达到当前的高水平,是百余年来特别是近三十年来基础科学、应用技术、材料与制造工艺不断发展进步的结果,也是设计、生产与使用经验长期积累的结果。它立足于规模宏大的生产实践,以基础理论为指导,以体现当代科技成就的汽车设计软件及硬件为手段,以满足社会需求为目的,借助于材料、工艺、设备、工具、测试仪器、试验技术及经营管理等领域的成就,不断地发展进步。

汽车工业已在世界范围内展开了剧烈的竞争,缩短新车型的设计开发时间、降低成本、提高质量、提高市场竞争力,日益成为各汽车制造厂家考虑的首要问题。并行工程(CE,concurrent engineering)^[25]作为现代的、先进的产品设计开发模式,是解决上述问题的好办法,已为各国汽车制造业所采用。所谓并行工程,是集成、并行设计产品及相关过程(包括制造、维修等)的系统工程,它考虑到产品从概念设计、设计定型、制造、使用、维修直至报废这一全过程中的所有相关因素,能解决因设计与制造工艺脱节而引起的设计改动频繁、开发时间长、成本高等矛盾,可最大限度地提高设计质量和开发效率,提高产品的市场竞争力。并行工程的关键是对产品及其相关过程实行集成的并行设计,面向制造与装配的设计(DFMA,design for manufacturing and assembly)^[26,27]是并行工程的重要内容。

在产品开发的整个过程中,设计是关键。产品的先天质量决定于设计。统计表明,产品在包括原材料、制造、使用、维修等各方面的花费即广义成本的 70%也是由设计阶段决定。DFMA 的目标就是尽量早地在设计阶段就引入制造与装配等工艺的约束,例如材料的选择、制造工艺性、装配性等约束,使设计方案的修改尽可能地在产品开发的前期进行,减少从制造到装配时发生的不利情况,使产品设计一次成功,避免在产品开发后期因改变设计而造成的巨大浪费。