



“十二五”江苏省高等学校重点教材  
应用型本科汽车类专业规划教材

# 汽车车身结构 与设计

第2版

智淑亚 主编



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



“十二五”江苏省高等学校重点教材  
应用型本科汽车类专业规划教材

# 汽车车身结构与设计

第2版

主 编 智淑亚  
副主编 李鸿秋 孟妍妮  
参 编 凌秀军 王 璐  
主 审 鞠全勇

机械工业出版社

本书全面介绍了汽车车身结构和车身设计的基本知识和基本设计方法。全书共8章,内容包括车身概论、汽车车身结构、汽车车身结构分析与设计、基于人机工程学的车身布置设计、汽车造型与空气动力学、车身结构碰撞安全性、车身结构有限元分析及优化设计和汽车车身材料与结构轻量化。

本书融合多学科知识点,力求反映现代技术和设计方法在车身设计中的应用,在内容上注重理论联系实际,突出应用性,取材丰富,图文并茂,阐述深入浅出,通俗易懂,以使学生学以致用。本书可作为高等院校车辆工程专业本科生教材或教学参考书,也可作为机械类相关专业本科生选修教材,还可作为汽车行业工程技术及研究人员的参考用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

汽车车身结构与设计/智淑亚主编. —2版. —北京:机械工业出版社,2017.5

应用型本科汽车类专业规划教材

ISBN 978-7-111-56821-6

I. ①汽… II. ①智… III. ①汽车—车体结构—高等学校—教材②汽车—车体—设计—高等学校—教材  
IV. ①U463.82

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第084506号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:赵海青 责任编辑:赵海青

责任校对:张晓蓉 封面设计:路恩中

责任印制:李飞

北京铭成印刷有限公司印刷

2017年6月第2版第1次印刷

184mm×260mm·20.5印张·484千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-56821-6

定价:55.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线:010-88379833

读者购书热线:010-88379649

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

金书网:www.golden-book.com

## 车辆工程方向教材编审委员会

主任：河南科技大学	张文春
副主任：南昌工程学院	林谋有
鲁东大学	于京诺
委员：沈阳理工大学	赵海波
上海电机学院	陆忠东
金陵科技学院	智淑亚
金陵科技学院	付香梅
黑龙江工程学院	于春鹏
哈尔滨理工大学	贾冬开
九江学院	黄 强
广西工学院	黄雄健
沈阳大学	凌永成
河南工业大学	吴心平

# 汽车服务工程方向教材编审委员会

主任：上海建桥学院	陈永革
副主任：武汉科技大学	赵英勋
长春工业大学	刘兰俊
北京运华天地科技有限公司	廖 明
委员：江汉大学	李素华
黑龙江工程学院	于春鹏
吉林农业大学发展学院	吴 明
金陵科技学院	付香梅
浙江师范大学	曹红兵
黑龙江东方学院	贾冬开
九江学院	丁志华
九江学院	代红梅
九江学院	徐玉红
上海建桥学院	裘文才
同济大学	陈昌明
同济大学	陈传灿
上海大学	何忱予

# 交通运输方向教材编审委员会

主任：长安大学	陈焕江
副主任：浙江师范大学	曹红兵
鲁东大学	宋进桂
山东交通学院	戴汝泉
委员：沈阳理工大学	赵海波
上海建桥学院	朱 列
吉林农业大学	吴 明
黑龙江工程学院	于春鹏
鲁东大学	陈 燕
山东交通学院	李景芝

## 从 书 序

进入 21 世纪以来,我国高等教育得到了迅猛发展,已经进入了大众化的发展阶段,全国高等教育的毛入学率已达到 20%,上海、北京等高等教育发达地区的毛入学率已经超过 50%,率先进入了高等教育大众化的发展阶段。

在高等教育大众化发展阶段,受教育者和社会对高等学校的要求趋向于多元化和复杂化,对人才的认识和评价标准趋向于多样化,它的发展必然要求高等教育理念、办学形式的多元化和高等学校办学层次、类型的多样化。我国传统的“精英式”高等教育理念、“研究型”高等学校办学模式和“学术性”人才培养模式在高等教育大众化阶段受到了严重挑战。也就是说,高等教育大众化在提高适龄青年接受高等教育比例的同时,使教育的对象、目标和教育结构发生了变化,接受高等教育的人具有了不同的类型和不同的特点,这就需要高等教育具有不同层次和不同类型,因此,产生了学校设置的不同类型和不同定位。应用型本科人才的培养正是在这种情况下越来越得到社会的重视。

为适应社会对应用型人才的需求,对高等学校尤其是新建本科院校来说,应用型本科人才的培养工作重任在肩。应用型本科如何定位、分类和发展,是国内教育界非常关注的问题。定位于职业取向的应用型大学,既有普通本科教育的共性,又有区别于普通本科的自身特点,它更加注重的是实践性、应用性和技术性。有人认为,“后劲足、上手快”,即基础知识比高职高专学生深厚、实践能力比传统本科生强,是本科应用型人才最本质的特征,但是由于类型多而复杂,应用型本科院校之间缺乏横向交流和适用于应用型人才针对性教材一直是制约院校发展的瓶颈。

2011 年 12 月,围绕应用型本科人才培养和教材开发,机械工业出版社牵头在上海建桥学院召开了“汽车类专业应用型本科示范教材”开发研讨会。上海建桥学院、上海电机学院、鲁东大学、九江学院、长安大学、河南科技大学、南昌工程学院、黑龙江工程学院、武汉科技大学、山东交通学院、河南工业大学、长春工业大学、哈尔滨理工大学、沈阳理工大学、浙江师范大学、吉林农业大学、金陵科技学院等来自全国 20 多所设有汽车类专业的应用型本科院校的 30 多位汽车专业系主任和骨干教师参加了此次会议。此次会议组建成立了“全国汽车类专业应用型本科院校联盟”,审议并通过了“全国汽车类专业应用型本科院校联盟”章程和联盟理事会工作细则,确定了教材联编共同的思路。

在此次会议上,与会代表对汽车类专业应用型本科的培养方案、专业建设、教材建设等问题进行了深入而广泛的探讨,并成立了教材编审专家委员会,对教材编写体例、内容组织、教材体系等多方面问题进行了探讨。

本套教材具有如下特点。

- 强调以知识为基础,以能力为重点,知识、能力、素质协调发展。具体培养目标是强调学生综合素质和专业核心能力的培养。

- 内容组织和体现形式符合学生认知和技能养成规律，体现以应用为主线。
- 体现行业需求、职业要求和岗位规范，尤其是要注意紧跟技术更新。
- 注重对学生分析能力、判断能力、创新能力和沟通能力的综合能力培养。
- 配套开发了课程设计指导和实训教学指导书，配备多媒体教学课件，打造立体化教材。

本套教材附赠多媒体课件、练习题答案等教学资料供任课老师采用，可在机械工业出版社教材服务网([www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com))免费下载或拨打编辑热线(010-88379353)获取。

虽然本套教材的各参编院校在应用型本科人才培养和教学改革方面进行了有益的探索，但限于认识水平和工作经历，教材中仍难免有许多不足之处，恳请各位专家、同行和广大使用本套教材的师生给予批评指正。

**应用型本科汽车类专业规划教材编委会**



# 前 言

近年来,随着我国汽车工业的飞速发展,人们对汽车安全性、舒适性、可靠性以及造型美观和个性化的要求越来越高。车身作为汽车的三大总成之一,越来越显示其重要性;汽车行业将需要大批应用型、技能型和创新型汽车车身方面的技术人才。近几年,随着应用型本科院校的不断发展,许多院校设置了车辆工程专业,并开设了“汽车车身结构与设计”课程。

目前适用于本课程的教材较少,且主要侧重于车身设计,理论性较强,难度较大,主要适用于本科车身设计专业及研究生相关专业,缺乏适用于应用型本科、车辆工程专业及机械类相关专业的车身结构与设计教材。由于应用型本科毕业生大多不从事车身设计工作,但又需要了解车身结构及车身设计的基础知识,因此,只能开设学时较少的选修课来满足要求。本书是为适应教学要求和我国汽车车身工业高速发展的需要而编写的。2014年11月由机械工业出版社正式出版。本书融合了空气动力学、人机工程学、造型艺术、工程材料、结构设计及工艺、有限元法、车身轻量化等多学科知识点,全面介绍了汽车车身结构和车身设计的基本知识和基本设计方法,反映了现代技术和设计方法在车身结构和设计中的应用。该教材成为2013年金陵科技学院立项建设精品教材,2015年获江苏省立项建设重点教材。本教材自出版至今,已被多所应用型本科院校使用。

随着现代轿车车身技术的飞速发展,车身更新换代日新月异,为了更好地适应应用型本科人才培养目标的要求和时代发展的需要,《汽车车身结构与设计》教材在原教材基础上进行了修订。修订教材体现了以下特色与创新。

## 1. 凝练了文字,增强了可读性

在原教材基础上,凝练了文字,语言简洁流畅,通俗易懂,使阐述更科学、规范;图文配合恰当,图表准确,图形符号、计量单位符合国家标准。形式上注重图文并茂,导读、案例、阅读材料相得益彰,选材丰富、案例经典,增强了可读性和趣味性。

## 2. 内容组织更严谨、科学

教材内容以轿车车身结构为主线,以其设计方法和应用技术为指导,将人机工程学、空气动力学、造型艺术、工程材料及工艺、有限元分析方法、轻量化设计等多学科知识有机融入车身中,各章内容模块化,各模块密切相关又相互独立。章节安排合理,条理清晰、层次分明,逻辑性强;理论、概念、设计方法等阐述正确、严谨、科学。

## 3. 应用性更突出,适用性增强

本教材属于校企联合编写教材,注重理论紧密联系实际,突出应用性,精炼了原应用案例,更新了部分阅读材料,增加了反映现代轿车车身新技术的应用成果,如GOA安全车身等;将车身课程实验、课程设计等实践内容有机融入到教材中,实现理论教学与实践教学一体化,学用有机结合,体现了应用型本科技术技能人才培养目标的要求。

#### 4. 充实了新技术、新方法

完善了运用软件 CATIA 建模、运用 ANSYS 或 Nastran 软件对车身进行有限元分析的方法及案例；凝练了人机工程设计软件 RAMSIS 在车身中的应用；增加了逆向工程软件 Mageware 在车身造型设计中的应用等。体现了汽车领域发展的新知识、新技术、新工艺和新方法在车身结构与设计中的应用，符合现代轿车对车身设计的要求。

#### 5. 完善了与教材配套的 CAI 课件

在原 CAI 课件基础上，进一步修改完善，增加了图片、动画等，更直观、更生动、更形象。

本教材的修订，较好地体现了应用型本科培养目标的要求，在培养学生的综合素质、创新意识、分析解决问题的能力 and 操作技能方面起到很好的启发与促进作用，可有效确保教学质量的提升，是一本应用性较强、可读性较强的好教材，修订版正式出版后，希望能成为适用于“应用型”本科车辆工程专业及汽车类相关专业的首选教材。

本修订教材的编写既是编者多年来教学和实践经验的概括和总结，又是许多优秀教材和研究成果的结晶与精华。全书由金陵科技学院智淑亚主编并统稿，共 8 章，第 1、2、3、5、6 章由智淑亚编写，第 4 章由金陵科技学院孟妍妮编写，第 7、8 章由金陵科技学院李鸿秋编写，同时金陵科技学院凌秀军，奇瑞汽车股份有限公司高级工程师王璐参加了部分内容的编写工作，全书由金陵科技学院鞠全勇教授、博士主审。本书在编写过程中，得到长安福特南京公司、奇瑞汽车股份有限公司等企业的大力支持与帮助；在出版过程中，得到机械工业出版社的大力支持，在此一并表示最诚挚的敬意与感谢！

由于编者水平有限，书中难免有不妥和错漏之处，诚恳欢迎使用本书的师生和广大读者批评指正。

编者

2017 年 3 月

# 目 录

丛书序

前言

第1章 车身概论	1
1.1 车身发展概况	1
1.1.1 马车形车身	2
1.1.2 箱形车身	2
1.1.3 甲壳虫形车身	2
1.1.4 船形车身	3
1.1.5 鱼形车身	4
1.1.6 楔形车身	5
1.1.7 子弹头形车身	5
1.2 现代汽车车身设计特点	6
1.2.1 现代汽车车身设计的主要特点	6
1.2.2 现代汽车车身设计的技术要求	6
1.3 现代汽车车身开发流程与设计方法	7
1.3.1 现代汽车开发流程	7
1.3.2 现代汽车车身开发流程	8
1.3.3 现代汽车车身设计内容与方法	14
1.4 现代汽车车身设计技术及发展趋势	14
1.4.1 现代汽车车身设计技术	15
1.4.2 现代汽车车身造型技术的发展趋势	17
思考与训练	19
第2章 汽车车身结构	20
2.1 轿车车身的结构类型	20
2.1.1 按承载形式分	20
2.1.2 按车身外形分	25
2.1.3 按级别分	26
2.1.4 按功能分	29
2.2 轿车车身详细结构	32
2.2.1 车身结构组成	32
2.2.2 车身体本结构	33
2.2.3 车身体本总成	34
2.2.4 车身前板制件	37

2.2.5	行李箱盖及铰链机构	40
2.2.6	车身附件	42
2.2.7	车身内外装饰件	44
2.2.8	通风、暖气及空调装置	45
2.3	轿车车门	47
2.3.1	车门的性能要求	47
2.3.2	车门的结构组成	47
2.3.3	车门的结构形式	55
2.4	客车车身	56
2.4.1	客车车身类型	57
2.4.2	客车车身的承载形式	58
2.4.3	客车车身结构	60
2.5	货车车身	65
2.5.1	货车类型	66
2.5.2	货车车身结构特点	67
2.5.3	货车车身结构	68
	思考与训练	71
<b>第3章</b>	<b>汽车车身结构分析与设计</b>	<b>72</b>
3.1	车身结构总体分析与设计	73
3.1.1	车身结构的总体设计要求	73
3.1.2	车身结构的划分	73
3.1.3	车身结构件的分析与设计	74
3.1.4	车身覆盖件的结构分析与设计	77
3.1.5	车身焊接工艺	80
3.1.6	车身产品分块	82
3.1.7	轿车车身的整体结构设计	83
3.2	车身结构强度与刚度分析	84
3.2.1	车身承受的主要载荷	84
3.2.2	车身主要失效形式	85
3.2.3	车身结构强度	86
3.2.4	车身结构刚度	90
3.3	车身结构的动力学性能设计	92
3.3.1	车身振动特性	92
3.3.2	车身结构动力学性能	95
3.4	车身强度与刚度试验	98
3.4.1	车身静态试验	98
3.4.2	车身动态试验	103
	思考与训练	106

第4章 基于人机工程学的车身布置设计	107
4.1 车身总布置设计要求	107
4.1.1 车身总布置设计的总体要求	107
4.1.2 车身总布置设计的功能要求	108
4.1.3 车身总布置设计的主要内容	109
4.2 车身布置设计中的人机工程学	120
4.2.1 汽车人机工程学的定义	121
4.2.2 汽车人机工程学的研究内容	121
4.2.3 汽车人机工程学中的人体基本特性	123
4.2.4 车身布置设计中人体测量数据的选择	130
4.3 车身内部人机设计辅助工具	131
4.3.1 H点装置	131
4.3.2 眼椭圆	139
4.3.3 头廓包络	147
4.3.4 驾驶人手伸及界面	151
4.3.5 数字化人体模型	155
4.4 车身内部布置设计	156
4.4.1 基于人机工程学的车身内部布置设计	156
4.4.2 车身内部人机界面设计	169
思考与训练	180
第5章 汽车造型与空气动力学	182
5.1 汽车造型设计特点和要求	183
5.1.1 汽车造型设计特点和内容	183
5.1.2 汽车造型设计要求	184
5.2 汽车空气动力学基本知识	185
5.2.1 汽车空气动力学的研究内容	186
5.2.2 汽车的空气动力	186
5.2.3 空气阻力与其他因素的关系	191
5.2.4 空气在汽车周围流动的物理特性	192
5.2.5 汽车内部设备的冷却和散热通风	196
5.3 空气动力特性在车身造型设计中的应用	196
5.3.1 车身外形设计的局部优化	197
5.3.2 车身外形设计的整体优化	201
5.4 汽车的空气动力性试验	202
5.5 汽车造型设计方法	204
5.5.1 传统汽车造型设计方法	204
5.5.2 现代汽车车身造型设计方法	209
5.5.3 现代汽车造型设计发展趋势	210

5.5.4 车身造型设计的制约因素 .....	211
思考与训练 .....	212
<b>第6章 车身结构碰撞安全性</b> .....	<b>213</b>
6.1 汽车碰撞安全性 .....	213
6.1.1 汽车主动安全性 .....	214
6.1.2 汽车被动安全性 .....	215
6.2 汽车碰撞形式及乘员伤害 .....	216
6.2.1 汽车碰撞形式 .....	216
6.2.2 汽车碰撞时的乘员伤害 .....	217
6.3 汽车安全技术法规与新车评价规程 .....	220
6.3.1 汽车技术法规和标准 .....	220
6.3.2 各国汽车安全技术法规 .....	221
6.3.3 新车评价规程 .....	225
6.4 车身抗撞性安全设计 .....	227
6.4.1 车身抗撞性概念 .....	227
6.4.2 与抗撞性相关的车身结构特点 .....	227
6.4.3 车身抗撞性设计的基本思想 .....	228
6.4.4 车身抗撞性设计要求 .....	229
6.4.5 车身抗撞性设计内容 .....	230
6.4.6 基于碰撞安全性的主要结构设计 .....	237
6.5 汽车碰撞性试验与模拟分析 .....	245
6.6 汽车安全性新技术 .....	245
6.6.1 主动安全性新技术 .....	246
6.6.2 被动安全性新技术 .....	249
6.6.3 未来汽车的主动安全性 .....	251
6.6.4 未来汽车的被动安全性 .....	252
思考与训练 .....	253
<b>第7章 车身结构有限元分析及优化设计</b> .....	<b>254</b>
7.1 有限元方法概述 .....	254
7.1.1 有限元方法的基本原理 .....	256
7.1.2 有限元方法求解基本步骤 .....	256
7.1.3 有限元软件简介 .....	257
7.1.4 有限元软件分析基本过程 .....	260
7.2 车身有限元模型的建立 .....	263
7.2.1 车身建模的简化原则 .....	264
7.2.2 车身有限元分析难点及解决方法 .....	266
7.3 有限元法在车身结构分析中的应用 .....	267
7.3.1 车身有限元分析 .....	268

7.3.2	有限元法在车身强度分析中的应用 .....	271
7.3.3	有限元法在车身刚度分析中的应用 .....	273
7.3.4	有限元法在车身模态分析中的应用 .....	273
7.3.5	有限元法在汽车抗撞性分析中的应用 .....	274
7.3.6	有限元法在车身结构优化分析中的应用 .....	276
7.4	基于 ANSYS 的车身有限元分析及优化设计实例 .....	278
7.4.1	客车车身骨架截面形状的优化 .....	278
7.4.2	客车车身骨架总质量优化 .....	278
7.4.3	仿真分析 .....	281
	思考与训练 .....	283
<b>第8章</b>	<b>汽车车身材料与结构轻量化</b> .....	<b>284</b>
8.1	车身结构轻量化的意义 .....	284
8.2	车身轻量化的实现途径 .....	285
8.2.1	采用新材料实现车身轻量化 .....	285
8.2.2	采用新工艺实现车身轻量化 .....	295
8.2.3	采用合理化结构实现车身的轻量化 .....	301
8.3	车身轻量化设计实例 .....	303
8.3.1	车身轻量化的评价指标 .....	303
8.3.2	车身结构轻量化设计方法 .....	303
8.3.3	车身结构的优化设计模型 .....	304
8.4	车身轻量化面临的主要问题 .....	305
	思考与训练 .....	308
	参考文献 .....	309

# 第1章 车身概论

## 学习目标

1. 了解车身发展概况。
2. 了解现代汽车车身设计特点和方法。
3. 熟悉现代汽车车身开发流程和设计技术。

## 学习要求

知识要点	能力要求	相关知识
现代汽车车身设计特点	掌握车身设计特点和技术要求	安全、节能、舒适、环保等
现代汽车车身设计内容与方法	了解车身设计内容与方法	有限元分析、优化设计
车身现代设计方法	熟悉现代汽车车身开发流程和设计技术	概念设计、技术设计

【导读】 纵观世界汽车工业史，可以看出现代汽车是按“底盘—发动机—车身”的顺序逐步发展完善起来的，其发展过程在很大程度上取决于当时的科学技术和物质条件。汽车的更新换代、改型改装、产品促销等在很大程度上取决于车身。车身工程是汽车工业中发展迅速的一个分支。

从19世纪末到20世纪初期，汽车设计师把主要精力都用在汽车机械工程学的发展和革新上。到了20世纪前半期，汽车设计师开始着手从汽车外部造型上进行改进，并相继引入了空气动力学、人机工程学以及工业造型设计等概念，力求让汽车能够从外形上满足各种年龄、各种阶层，甚至各种文化背景的人的不同需求，使汽车从一个冷冰冰的机械变成具有非凡魅力的艺术品。

## 1.1 车身发展概况

汽车车身是实现汽车功能的重要系统，车身的设计与制造水平将影响整车的动力性、操纵性、平顺性、安全性、舒适性和经济性。特别是轿车车身，在很大程度上影响汽车的质量和市場销售情况。近年来，随着汽车工业的飞速发展，人们对汽车安全性、舒适性、可靠性、耐久性和造型美观性的要求越来越高。由于轿车车身的设计和制造直接受到相关学科技术进步的影响，而轿车本身又是一种大批量生产、工业化程度非常高的大众化产品，且产品种类繁多，市场国际化竞争激烈，并与人类社会有着密切关系。因此，汽车车身不同于一般的机械产品，有其自身的特点和设计的要求。本章主要以轿车车身为例，以车身演变及车身特点为导向，简介现代车身开发流程与设计方法，概述现代车身设计技术及发展趋势。

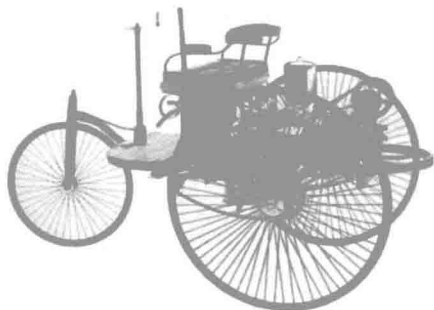
轿车车身在发展过程中最富有特色、最具有直观性的首先是车身外形的演变，它主要经历了具有里程碑意义的七个阶段：马车形车、箱形车、甲壳虫形车、船形车、鱼形车、楔形



车和子弹头形车车身阶段。

### 1.1.1 马车形车身

自 1886 年德国工程师卡尔·奔驰发明第一辆汽车以来,世界各国都争先恐后地生产自己设计的汽车。最初的汽车车身基本上沿用了马车的造型,因此汽车被人们称为无马的“马车”。当时的汽油机功率很小,一般都只是在木质框架上加装结构简单的敞开车篷。随着乘坐舒适性要求的提高,车身上加装了挡风板、挡泥板等。世界上第一辆三轮汽车“奔驰一号”和第一辆四轮汽车“戴姆勒一号”都是马和发动机两个动力源互换的产物,如图 1-1 所示。



a) 奔驰一号



b) 戴姆勒一号

图 1-1 世界上最早的汽车

### 1.1.2 箱形车身

马车形车身很难抵挡风雨的侵袭,美国福特汽车公司在 1915 年生产出一种新型的福特 T 型车,其车室像一只大箱子,并装有门窗,人们称之为“箱形车”,其车身由简陋的帆布篷发展为带有木质框架的箱形车身,这是车身外形设计的开端。箱形车车身高大,室内空间大,然而巨大的空间带来了巨大的空气阻力,要想让车速快,最初的设想是依靠加大发动机功率来克服空气阻力,发动机由单缸变成 4 缸、6 缸、8 缸,气缸一列排开,发动机舱盖也随之变长。箱形车的出现,实现了汽车零件标准化及采用流水线装配方式两大突破,奠定了汽车工业发展到今天的基础,图 1-2 所示为一款福特 T 型车。

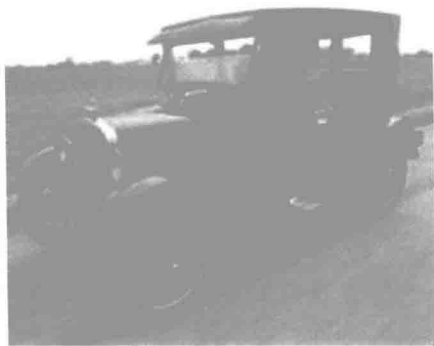


图 1-2 福特 T 型车

### 1.1.3 甲壳虫形车身

随着生活节奏的加快,人们对车速的要求也越来越高。人们已注意到,因为箱形车的空气阻力大,大大妨碍了汽车前进的速度,车身外形设计的主要内容之一是减小空气阻力。所以人们开始研究一种新的车型——流线形汽车,流线形车身空气阻力小,有利于提高车速。随着机床制造业和冲压技术的不断完善,生产具有柔和光顺曲面的流线形车身成为可能。