

经典德国汽车理论与技术丛书

德国汽车理论



耿彤◎编著

第2版

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

经典德国汽车理论与技术丛书

德国汽车理论

第2版

耿彤 编著



机械工业出版社

《德国汽车理论》第2版重点介绍了汽车基本理论和基本概念,是“经典德国汽车理论与技术丛书”的技术基础部分,也为丛书后几册做了知识上的铺垫和准备工作。本书主要内容包括汽车的基本功能及其发展、汽车基本理论和概念、车辆空气动力学、汽车声学 and 振动学、车辆热力学、车辆行驶特性和行驶动力学。本书内容全面且丰富,基本涵盖了所有汽车理论相关知识点,介绍了目前的总体技术发展状态和主要研究方向,注重理论体系的完整,概念清晰、语言精炼、图文并茂,内容由浅入深。在丛书的后几册中会继续将有关汽车理论的更具体、更深入的运用知识贯穿于全书。

图书在版编目(CIP)数据

德国汽车理论/耿彤编著. —2版. —北京:机械工业出版社,2019.3
(经典德国汽车理论与技术丛书)

ISBN 978-7-111-62610-7

I. ①德… II. ①耿… III. ①汽车—理论—德国 IV. ①U461

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第080507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:连景岩 孟阳 责任编辑:孟阳

责任校对:王欣 封面设计:鞠杨

责任印制:孙炜

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2019年7月第2版第1次印刷

169mm×239mm·20.25印张·5插页·309千字

0 001—2 500册

标准书号:ISBN 978-7-111-62610-7

定价:69.00元

电话服务

网络服务

客服电话:010-88361066

机工官网:www.cmpbook.com

010-88379833

机工官博:weibo.com/cmp1952

010-68326294

金书网:www.golden-book.com

封底无防伪标均为盗版

机工教育服务网:www.cmpedu.com

再版说明

《德国汽车理论》自2011年出版以来，得到业界的一致好评。笔者才疏学浅，承蒙各界大方学者之厚爱，深感荣幸。书中很多学术性问题必然挂一漏万，限于篇幅无法深入详细介绍。

近年来，中国汽车工业发展更加迅速，自主品牌汽车在销量和质量上都有很大提高。更多的汽车技术人员亟需更多的专业参考资料，故笔者决定对本书进行修订再版，主要修正了一些编辑和印刷错误，以及一些技术表达方式。

汽车基础理论是非常重要的，无论是对传统燃油车辆还是新能源车辆，是传统驱动方案还是混合动力驱动方案，经典的车辆热力学、声学、行驶动力学、空气动力学、运动学、行驶特性等都贯穿于整个设计过程，也是指导设计的重要依据。

混合动力车辆所涉及的内容非常广泛，在控制、驱动、安全性、行驶特性上与传统燃油车辆有很大不同，限于篇幅在本书中不做过多论述，有兴趣的朋友可参阅笔者的译作《混合动力汽车技术》。

随着计算机技术及实验手段的不断进步，多体运动学和多体动力学近年来也有长足发展，同时，弹性元件的精准设计手段也日益丰富。笔者在修订中对此进行了介绍。

汽车设计就是实践—理论—再实践—总结的不断完善的过程，笔者能力有限，希望各位读者、专家不吝赐教，共同提高。

耿彤

2018年于上海

前 言

随着我国经济的快速发展，国内汽车研发和生产水平有了很大提高，汽车保有量也有了成倍的增长。在巨大的社会需求推动下，汽车技术获得了长足的进步，自主品牌汽车产品百花齐放。在我国汽车工业取得巨大成就的今天，纵观国内现状，仍然是引进多，消化少；生产投入多，研发投入少；外来品牌多，自主品牌少；指导汽车维修的书多，探索汽车理论的书少。这种现象是发展的必然过程。我们应与时俱进，业界应投入更多的财力和人力，大力开展汽车的研发工作，创造出过硬的自主品牌。只有如此，才能保证我国汽车工业的持续发展，稳固确立汽车强国的地位。

为提高我国的汽车技术水平，促进自主品牌发展，在国内尚未建立起系统且独立的现代汽车理论体系之前，熟悉欧美发达国家的汽车理论与技术经验是必要的。俗话说：“他山之石，可以攻玉”。借鉴别人的经验，有益于自己的创造。这方面的工作，许多学术前辈和同行都已做出了相当大的成绩。

笔者旅德多年，对欧系汽车，特别是德国的汽车理论与技术，有较系统的学习与研究，也做过一些考察和试验，略有心得，在汽车企业和研究所工作时曾收集了不少相关资料。现把收集到的资料和自己的心得，编撰成书，主要介绍德国的经典汽车理论和完整的道路车辆知识体系，供汽车研发设计人员和大专院校师生参考。这也算是笔者对国家汽车工业发展尽的一点心力。本套丛书共分四册：《德国汽车理论》第2版（基本理论、基本概念及汽车物理）、《汽车动力与驱动系统技术》（动力来源、动力传递、驱动链计算和设计）、《汽车车身、底盘理论及制造技术》（金属塑性加工基础、车身理论和加工工艺、底盘理论）、《商用车和竞技车辆技术》（货车和巴士车辆技术、运动车辆和竞赛车辆技术）。

为方便读者学习应用，本书在编写过程中注重图文并茂、基本理论与实



用技术并举，尽量避免大量公式的推导和繁缛的论述，注重知识的深度和广度，尽量扩大相关知识面。书中引用了若干文献和图表，其出处可查阅本书的参考文献。

由于本书涉及的专业面广，篇幅较长，加之笔者水平有限，疏漏和谬误之处在所难免，诚望读者、专家批评指正。

耿彤

于德国斯图加特

目 录

再版说明

前言

| | |
|-----------------|-----|
| 第1章 汽车的基本功能及其发展 | 1 |
| 1.1 概述 | 1 |
| 1.2 汽车分类和基本尺寸 | 3 |
| 1.3 汽车发展简史 | 8 |
| 第2章 汽车基本理论和概念 | 17 |
| 2.1 车身 | 17 |
| 2.2 驱动方式 | 37 |
| 2.3 车辆能源消耗 | 51 |
| 2.4 功率提供 | 59 |
| 2.5 功率需求 | 61 |
| 2.6 行驶功率 | 82 |
| 2.7 行驶极限 | 89 |
| 2.8 车轮和轮胎 | 96 |
| 2.9 制动 | 110 |
| 2.10 动力传递 | 125 |
| 2.11 底盘和转向机构 | 135 |
| 第3章 车辆空气动力学 | 147 |
| 3.1 概述 | 147 |
| 3.2 车辆空气动力学发展简史 | 150 |
| 3.3 流体力学的基础问题 | 161 |
| 3.4 绕流 | 163 |
| 3.5 过流 | 175 |



| | | |
|------------|---------------------------|------------|
| 3.6 | 个人乘用车空气动力学 | 178 |
| 3.7 | 商用车空气动力学 | 201 |
| 3.8 | 风洞技术 | 212 |
| 第4章 | 汽车声学和振动学 | 219 |
| 4.1 | 汽车声学概述 | 219 |
| 4.2 | 行驶噪声 | 220 |
| 4.3 | 发动机噪声 | 222 |
| 4.4 | 滚动噪声 | 227 |
| 4.5 | 风噪声 | 228 |
| 4.6 | 电子设备声 | 230 |
| 4.7 | 外部噪声 | 230 |
| 4.8 | 振动舒适性 | 232 |
| 第5章 | 车辆热力学 | 235 |
| 5.1 | 车辆热力学概述 | 235 |
| 5.2 | 发动机冷却系统 | 235 |
| 5.3 | 乘员室的加热和冷却 | 239 |
| 第6章 | 车辆行驶特性和行驶动力学 | 243 |
| 6.1 | 引言 | 243 |
| 6.2 | 行驶特性 | 243 |
| 6.3 | 轮胎特性对行驶动力学的影响 | 247 |
| 6.4 | 悬架系统对车辆行驶稳定性的影响 | 253 |
| 6.5 | 横向动力学 | 280 |
| 6.6 | 垂直动力学 | 293 |
| | 参考文献 | 307 |

第 1 章

汽车的基本功能及其发展

1.1 概述

运动是自然界的永恒主题，帕斯卡说：我们的自然界属于运动，完全不动的只有死亡。长久以来，人们都希望能快速移动，像鸟一样飞翔、像鱼一样游泳、像猎豹一样奔跑……随着技术的不断进步，人们探索世界的领域越来越广，本领越来越强。通过风帆驱动船只，通过畜力驱动车辆。125 年前，伟大的交通工具——汽车发明了，新的交通时代到来了。今天，汽车作为运用最广泛的灵活交通工具，可以在任意时刻，到达地表几乎所有人们想去的地方。今日德国的私人交通，80% 以上依赖于汽车。

汽车的德文表达为 *Automobil*，其字根源于希腊语，*auto = selbst*，意为自己的，*mobilis* 意为移动。定义为：自行驶的交通工具，不依赖于轨道，不需要人力、畜力驱动，自身带有驱动装置在道路上行驶。这个定义也适用于二轮摩托车，但通常指多轮迹的个人乘用车。

现在的汽车基本由三大系统组成：

- 1) 发动机、驱动、动力传递等，综合为动力系统。
- 2) 轮胎、轴、转向系统、弹簧、减振等，综合为底盘系统。
- 3) 车身、座椅、内部设备等，综合为车身系统。

上述三大系统组成了汽车行驶所必须具备的动力性、安全性和舒适性。

乘用者关注车辆的主要因素是：功率和运载能力、安全性、价格、可靠性和质量、废气和噪声、舒适性、油耗、回收性。

这同时也是汽车设计者和制造商要时刻关注的问题，其中更详细的有以下几点：

1) 舒适性:

- ① 转向柱可调节;
- ② 伺服转向;
- ③ 座椅可调节、加热、通风;
- ④ 自动档驱动;
- ⑤ 空调;
- ⑥ 速度控制和距离保持系统;
- ⑦ 主动减振。

2) 安全性:

- ① 辅助制动系统;
- ② ABS、EDS、ESP 等;
- ③ 雨量传感器;
- ④ 视野和灯光、动态前照灯、转向随动前照灯;
- ⑤ 行驶轨迹保持;
- ⑥ 儿童座椅;
- ⑦ 辅助停车系统;
- ⑧ 冲击安全性。

3) 通信功能:

- ① RDS、TMC;
- ② 动态导航;
- ③ 防盗;
- ④ 紧急呼救等。

对整车来说,很多共性的东西是需要加以定义和标准化的,由此众多跨国生产厂商制定了几个大的设计分类原则,如车身基本形状分类、车身尺寸分类、驱动和设备布置方式分类。

对汽车设计师来说,采用何种分类原则并确定设计方案,必须综合考虑影响车辆设计的各种因素,如市场竞争(现在和将来的市场定位)、使用条件(休闲、商用、运动、旅游、越野)、车型柔性生产、冲击实验下的耐冲击性、座位数、人机工程、设备通用性和驱动方案等。

1.2 汽车分类和基本尺寸

根据德国工业标准 DIN 70010, 在道路上行驶的车辆分为动力车辆、车辆综合体、挂车、其他道路行驶车辆四大类, 如图 1-1 所示。

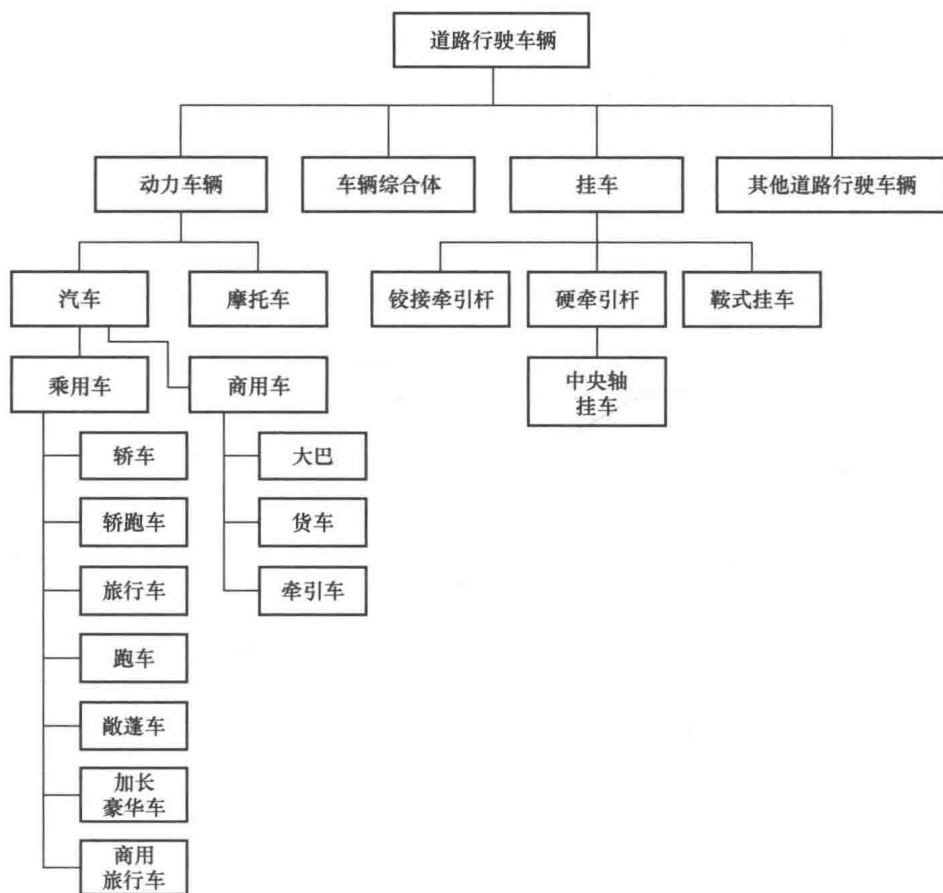


图 1-1 根据德国工业标准 DIN 70010 的汽车分类

本书中除非特别指出, 一般的车辆和汽车的概念指乘用车, 大部分情况是指轿车。

图 1-2、图 1-3 给出具体车辆外形定义尺寸, 以说明乘用车几何尺寸的定义, 及车辆的长、宽、高、轴距等作为分类依据的常用数据。这些都是汽车设计的最基本定义参数。 H 、 L 、 W 及其下标 (图中未绘出) 是有固定含义的, 为国际通用定义。

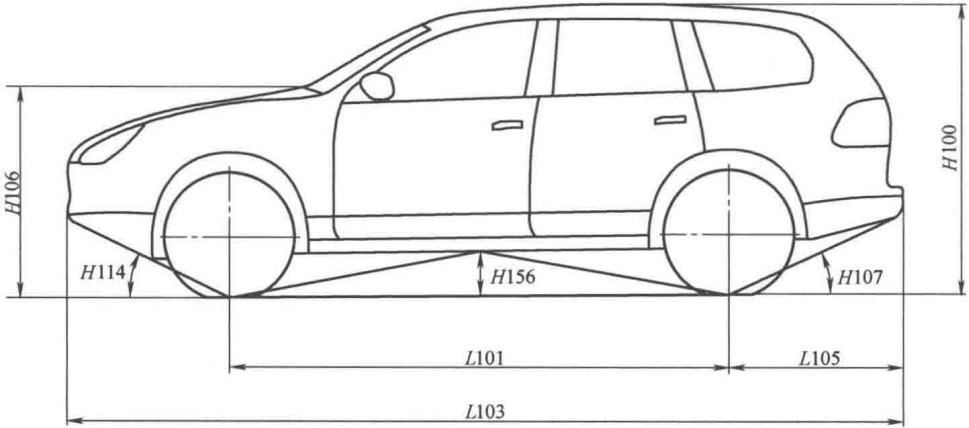


图 1-2 车辆在 X/Z 方向上的外形定义尺寸

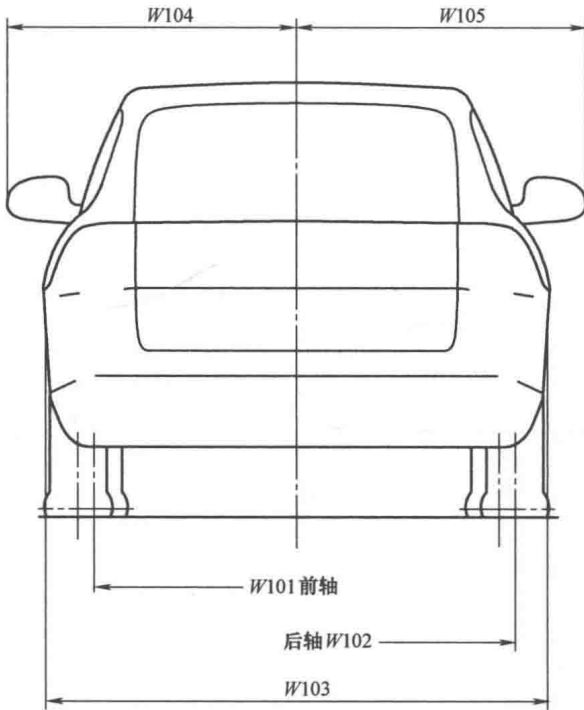


图 1-3 车辆在 Y 方向上的外形定义尺寸

表 1-1 说明各级别乘用车的几何尺寸分类数据，并列举了与之对应的常见代表车型。

表 1-1 相应的乘用车型分类数据

| 车辆级别 | MINI 车 | 紧凑型 | 中低级 | 中级 | 中高级 | 豪华车 | Van | SUV |
|-------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------------------|-------------------------|--------------------|--------------------------------|
| 举例 | 菲亚特 seicento 奔驰 smart 大众 lupu | 丰田 Yaris 菲亚特 punto 大众 polo | 奔驰 A 级 欧宝 Astra 福特福克斯 | 福特蒙迪欧 奔驰 C 级 宝马 3 系 | 欧宝 Omega 宝马 5 系 奔驰 E 级 奥迪 A6 | 捷豹 XJ 宝马 7 系 大众辉腾 | 菲亚特 Ulysse 大众夏朗 | 宝马 X5 奔驰 MLK 保时捷 Cayenne |
| 座位数 | 4/2 | 5/2 | 5/2 | 5/2 | 5/2 | 5/2 | 7/2 | 5/2 |
| 外形尺寸 | | | | | | | | |
| 长 (L103) /mm | 2500 ~ 3600 | 3600 ~ 3900 | 3900 ~ 4400 | 4300 ~ 4600 | 4500 ~ 4900 | 4800 ~ 5200 | 4600 ~ 5000 | 4400 ~ 4900 |
| 宽 (W103) /mm | 1500 ~ 1650 | 1550 ~ 1670 | 1670 ~ 1740 | 1670 ~ 1770 | 1770 ~ 1850 | 1800 ~ 1900 | 1800 ~ 1950 | 1800 ~ 1950 |
| 高 (H100) /mm | 1330 ~ 1550 | 1350 ~ 1480 | 1330 ~ 1440 | 1360 ~ 1430 | 1360 ~ 1450 | 1400 ~ 1500 | 1500 ~ 2000 | 1650 ~ 1950 |
| 轴距 (L101) /mm | 1800 ~ 2400 | 2350 ~ 2500 | 2400 ~ 2700 | 2500 ~ 2800 | 2600 ~ 2900 | 2700 ~ 3200 | 2700 ~ 3200 | 2700 ~ 3000 |
| 离地间隙 H156/mm | 100 ~ 150 | 100 ~ 150 | 100 ~ 150 | 100 ~ 150 | 110 ~ 150 | 110 ~ 150 | 120 ~ 170 | 170 ~ 250 |
| 接近角 H114/(°) | 12 ~ 50 | 15 ~ 20 | 12 ~ 20 | 12 ~ 20 | 12 ~ 20 | 12 ~ 20 | 12 ~ 20 | 24 ~ 35 |
| 离去角 (H167)/(°) | 15 ~ 50 | 15 ~ 20 | 15 ~ 20 | 12 ~ 70 | 12 ~ 20 | 12 ~ 20 | 12 ~ 20 | 14 ~ 35 |

下面用线框图举例说明各类乘用车的内部和外部尺度。

1) MINI 车 (微型车)。图 1-4 所示为奔驰 (Benz) Smart 系列微型车。

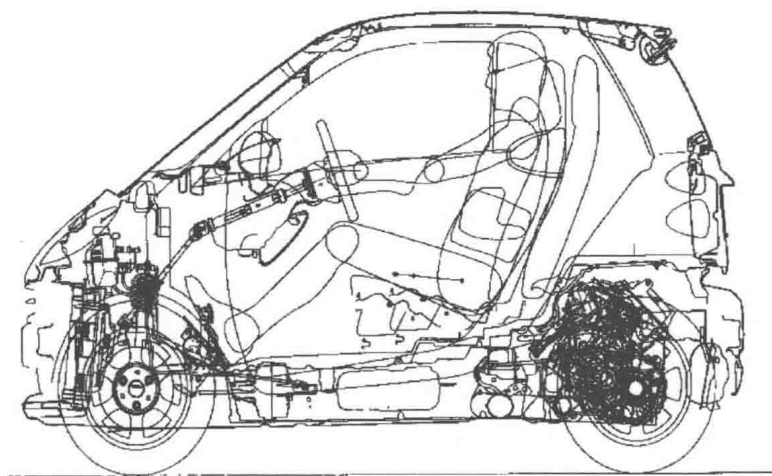


图 1-4 奔驰 Smart 系列微型车

2) 中低级车。图 1-5 所示为奔驰 A 级中低级车。

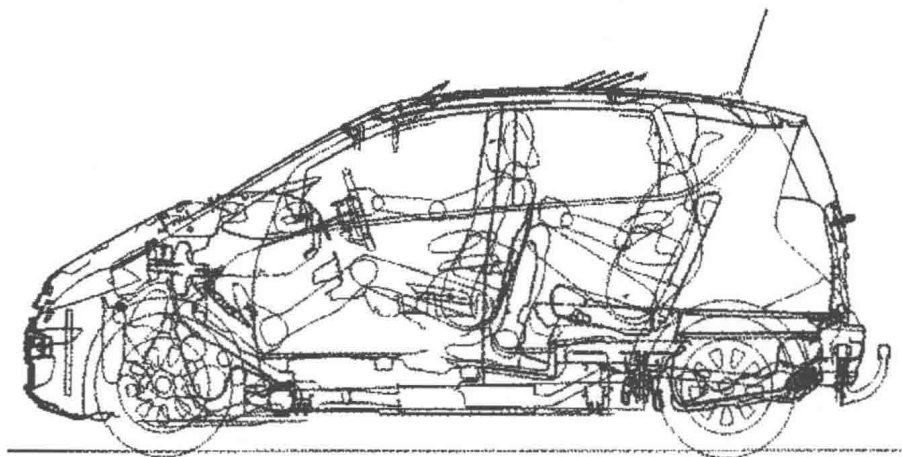


图 1-5 奔驰 A 级中低级车

3) 中级车。图 1-6 所示为宝马 (BMW) 3 系中级车。

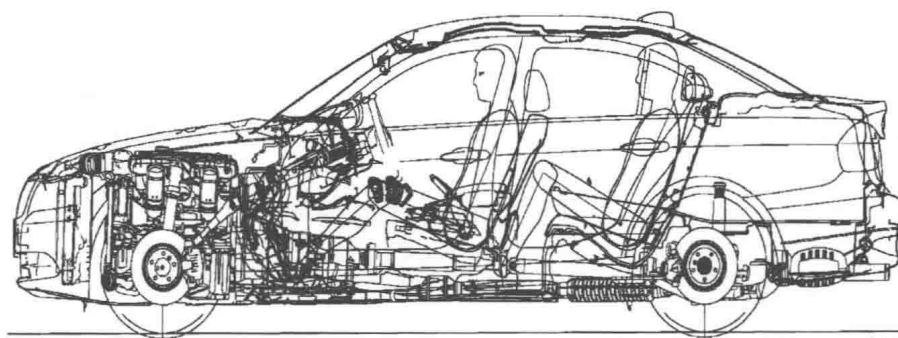


图 1-6 宝马 3 系中级车

4) 中高级车。图 1-7 所示为奥迪 (Audi) A6 中高级车。

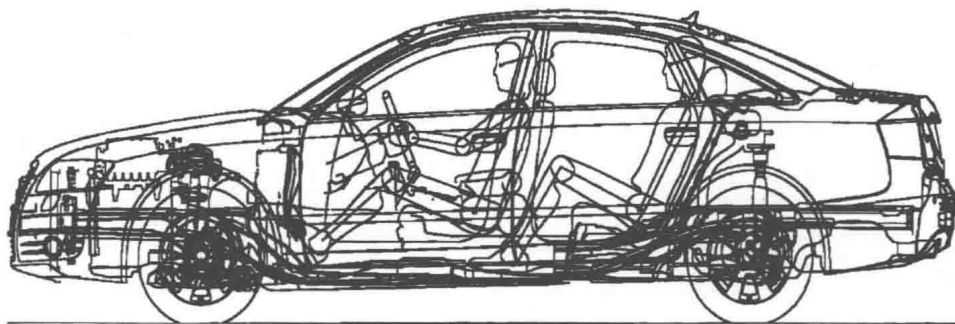


图 1-7 奥迪 A6 中高级车

5) 豪华车。图 1-8 所示为迈巴赫 (Maybach) 62 豪华车。

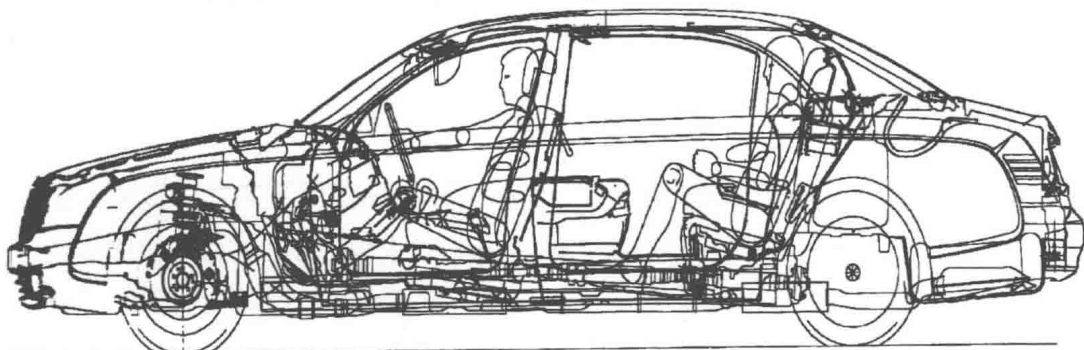


图 1-8 迈巴赫 62 豪华车

6) SUV。图 1-9 所示为保时捷 (Porsche) Cayenne Turbo SUV。

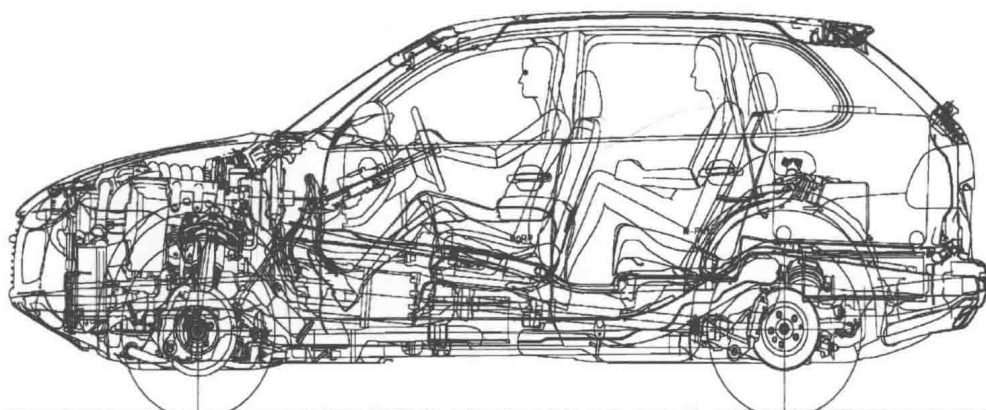


图 1-9 保时捷 Cayenne Turbo SUV

7) Van。图 1-10 所示为大众 (Volkswagen) 夏朗 Van。

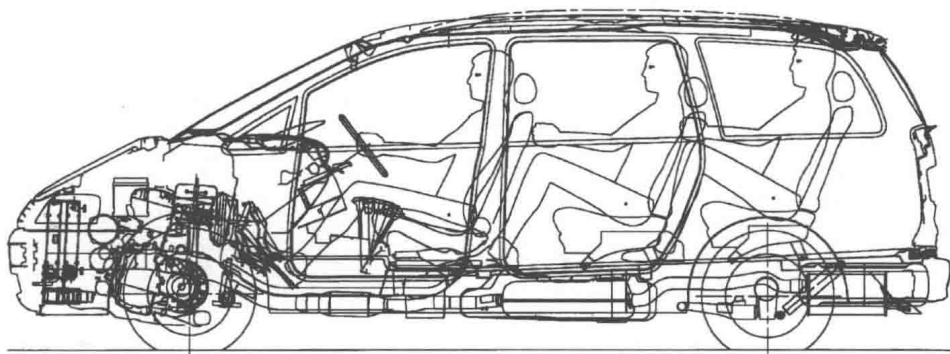


图 1-10 大众夏朗 Van

在讨论汽车理论前，先简略回顾一下汽车发展的道路。

1.3 汽车发展简史

下文简要介绍汽车技术的发展史，并介绍一些汽车发展史上的重要人物。正是这些伟大的先驱们开创了近现代汽车理论，并引导了那个时代的实践活动，加上无数工程师付出的心血和努力，才有了我们今天汽车业的成就和发展。

按照年代顺序，我们记录了汽车发展史上的一些标志性发明和大事：

1769年 蒸汽机。

1845年 充气轮胎 (Thomson)。

1867年 煤气机 (Otto)。

1876年 四冲程煤气机 (Otto)。

1885年 动力自行车带快速运转发动机和点火装置 (Daimler)。

1886年 电子点火的三轮车 (Benz)。

1897年 柴油机。

1908年 Henry Ford 的 T 型车，15000000 辆。

1924年 货车用柴油机 (Benz-MAN)。

1934年起 德国开始兴建高速公路网。

1936年 汽油喷射技术。

1950年 带涡轮驱动。

1954年 量产车带水平控制。

1959年 NSU-汪克尔-汽车。

1955~1965年 货车用柴油机直喷技术。

1961年 加利福尼亚排放法规。

约1965年 美国安全法规。

1971~1972年 安全实验车。

1975年 欧洲汽车噪声法规。

1983年 无铅汽油。

2003年 加州10%的汽车实现零排放。

2005年 德国二氧化碳排放比1990年减少25%~30%。

这二百余年诞生了很多具有非凡影响力的科学家、工程师和技师，正是他们前赴后继地推动了整个汽车工业的发展。图1-11~图1-21所示为一些重要人物和他们的主要成就。



欧根·朗根(Eugen Langen)

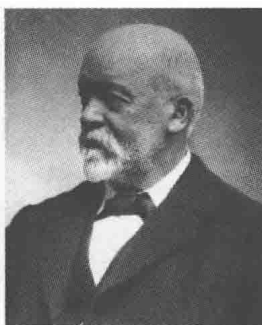


尼古拉斯·奥托(Nicolaus Otto, 汽油机发明者)

图1-11 朗根和奥托(二人合作建立N. A. Otto & Cie公司)



卡尔·本茨(Karl Benz)



G.戴姆勒(G.Daimler)



W.迈巴赫(W.Maybach)

图1-12 汽车发展史上最伟大的三位人物

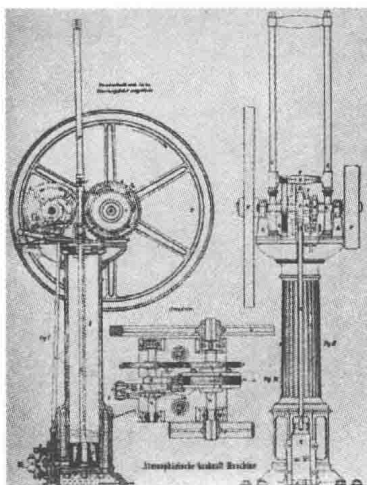


图1-13 1864年的汽油机

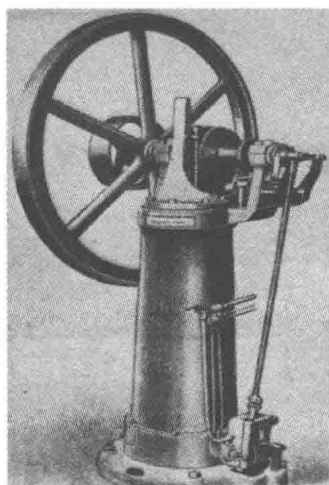


图1-14 1874年的汽油机