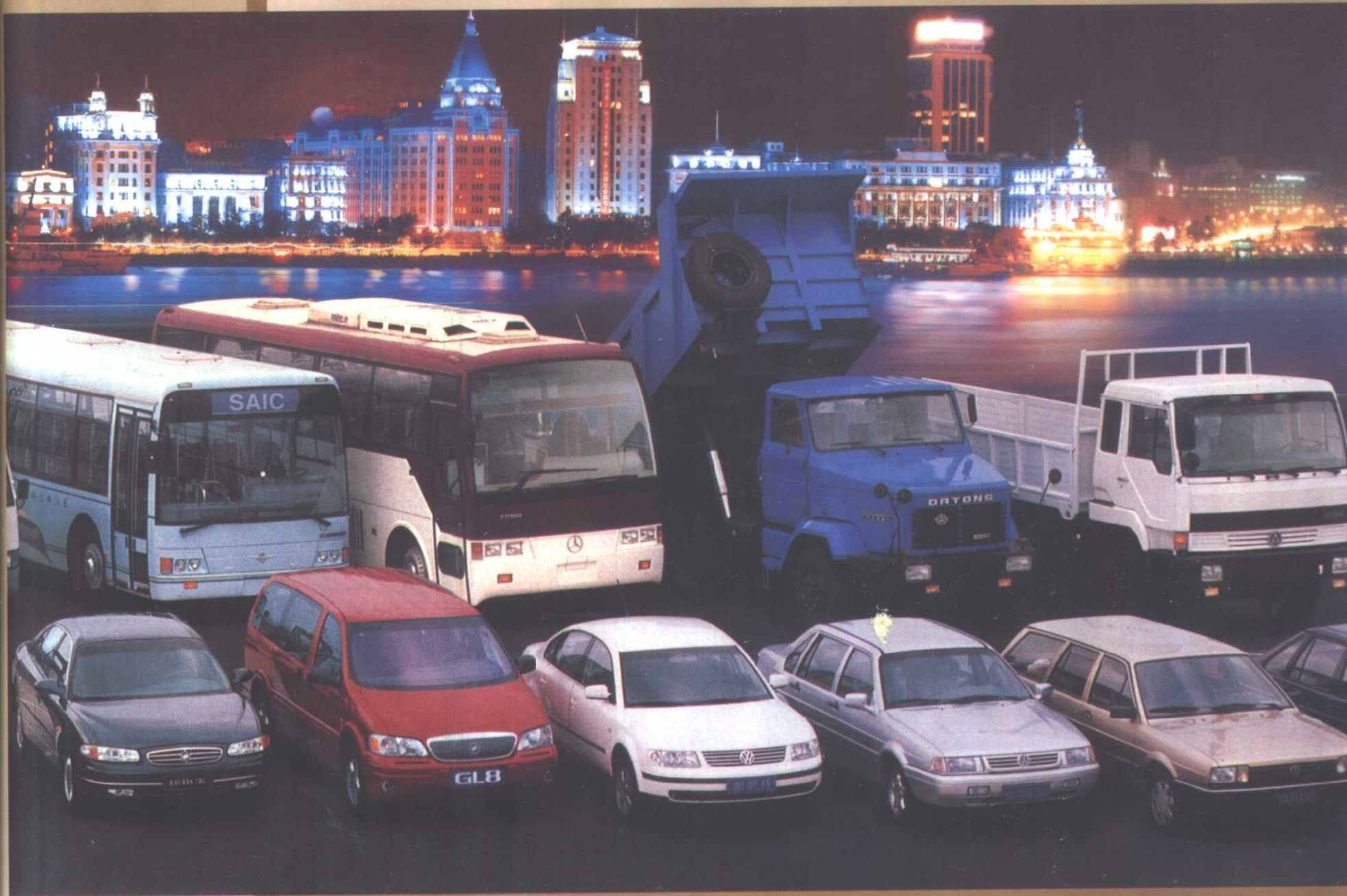


《汽车工程手册》编辑委员会

# 汽车 工程手册

AUTOMOTIVE  
ENGINEERING  
HANDBOOK

## ● 基础篇



人民交通出版社



QICHE GONGCHENG SHOUCHE

汽车工程手册

基础篇

《汽车工程手册》编辑委员会

人民交通出版社

## 内 容 提 要

本书是由汽车界上千名技术专家、教授花费多年精力编写的我国汽车行业第一部工具书。本套书共分五册——基础篇、设计篇、试验篇、制造篇、摩托车篇。

本册为基础篇,共分十二章,分别是:汽车发动机性能;汽车动力性与燃油经济性;汽车动力传动;汽车制动性;汽车操纵稳定性;汽车振动和平顺性;汽车噪声及其控制;交通工程;汽车碰撞安全性;汽车排气污染及其控制;汽车标准与法规;电子技术在汽车上的应用。

### 图书在版编目(CIP)数据

汽车工程手册. 基础篇 / 《汽车工程手册》编辑委员会.  
北京:人民交通出版社, 2001.6  
ISBN 7-114-03929-8

I.汽... II.汽... III.①汽车工程—技术手册  
②汽车工程—基本知识 IV.U46-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第24331号

7114-03929-8

## 汽车工程手册

### 基础篇

《汽车工程手册》编辑委员会

正文设计:刘晓方 责任校对:尹静 责任印制:张凯

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街10号)

各地新华书店经销

深圳当纳利旭日印刷有限公司印刷

开本:787×1092  $\frac{1}{16}$  印张:44.75 字数:1505千

2001年5月 第1版

2001年5月 第1版 第1次印刷

印数:0001—5000册 定价:100.00元

ISBN 7-114-03929-8

U·02859

# 序 言

由汽车界上千名技术专家、教授花费四年多的精力编写的我国汽车行业第一部工程技术工具书——《汽车工程手册》终于在世纪之交问世了,这是我国汽车工业发展中的一项重大技术基础设施建设。

我国汽车工业从无到有、从小到大历经四十余年,产量已居世界第九位,但在产品技术开发水平方面还处于落后状态。面对国际化市场的严峻挑战,唯一的出路只能是加强开发能力建设,提高工程技术人员的创新能力。一部先进、实用、系统、科学,既总结我们自己的经验,结合我国实际,又广泛吸收国外先进技术并具前瞻性的技术工具书,对于提高我国汽车行业技术水平具有格外重要的意义。

希望这部手册不仅能为工程技术人员、高等院校师生所欢迎,也能对汽车界的经营、管理人员有所帮助,使读者系统地了解当前汽车工业国内外技术水平和发展方向。

这部手册的编著和出版既反映了汽车行业的期盼,又凝聚了主编单位、参编单位以及全行业的心血。这部近 1000 万字巨著的高质量顺利完成也显示了我国汽车行业的技术力量与协同能力。在此我谨代表编审委员会和国家机械工业局向参加编审工作的全体工作人员致以衷心的感谢,并向支持本手册编著出版工作的各个单位致以诚挚的感谢。

作为中国汽车行业第一部工程手册,在编写过程中由于多方面原因,不足之处在所难免,恳请广大读者批评指正。希望这部手册今后还能不断地修订完善,作为全行业的一项重要基础性工作持续下去。

张燮

2000年3月

---

---

## 《汽车工程手册》编审委员会

主任委员：张小虞

委员：(按姓氏笔划为序)

叶平	田炜	朱正林	安庆衡	吕振华
任晓常	孙敏	吴云	陈林	陈永强
陈铁群	何世斌	张兴业	张应吉	宋延光
李家本	赵航	徐仁根	徐兴尧	郭孔辉

## 《汽车工程手册》编辑委员会

主任委员：冯超

副主任委员：邬惠乐

委员：余志生 康展权 顾柏良 姚贵升 李德宽

## 《汽车工程手册》编辑办公室

主任：高和生

委员：武兆迁 高瑛

---

## 《汽车工程手册》主要编写单位

**企 业：**中国第一汽车集团公司  
东风汽车公司  
上海汽车工业(集团)总公司  
跃进汽车集团公司  
中国汽车工业总公司  
天津汽车工业(集团)有限公司

**高等院校：**清华大学  
原吉林工业大学  
原武汉汽车工业大学  
同济大学  
江苏理工大学  
原西安公路交通大学

**研究院所：**中国汽车技术研究中心  
长春汽车研究所  
东风汽车工程研究院  
重庆汽车研究所  
南京汽车研究所  
上海汽车技术中心  
天津摩托车技术中心  
重型汽车集团公司技术中心  
长沙汽车电器研究所  
长春汽车材料研究所  
机械部第九设计研究院  
机械部汽车规划设计(天津)研究院

## 《汽车工程手册》编辑说明

编著出版一部中国自己的汽车工程手册的酝酿工作由来已久。1995年6月机械部汽车司以机汽科[1995]093号文指示立项编辑出版中国汽车工程手册,将其列为“九五”汽车行业重点课题。在批文中提出:“手册的编辑出版是我国汽车行业的一项十分重要的基础性工作,对贯彻汽车工业产业政策,促进我国汽车工业的自主开发,提高行业整体技术水平具有重要意义。”

1995年7月召开了有21个汽车行业主要企事业单位和高校代表参加的汽车工程手册筹备工作会议,与会代表一致表示积极支持“手册”的编辑出版工作。人民交通出版社参与了筹备工作并承担出版任务。

经过近一年时间的筹备,1996年8月在北戴河召开了“汽车工程手册第一次编撰工作会议”。会上讨论通过了包括“汽车工程手册编写方针、要求和措施”、“汽车工程手册编写大纲及控制字数”、“汽车工程手册组织机构”、“汽车工程手册主要编写单位”等文件,确定了“手册”的主要结构、各篇的设置和主要内容、控制字数,特别是确定了各篇的主编、副主编;明确提出了“手册”的目标是为形成自主开发能力和加速科技进步服务。

由于组织和经费等原因,在1997年到1998年初的一年多时间内,“手册”的编写工作受到了较大的影响。1998年6月在北京召开了有国家机械局领导参加的“汽车工程手册第二次编撰工作会议”。会议再次强调:“编辑出版一套技术新、内容实用、使用方便的汽车工程手册是全行业的一件大事,具有十分重要的意义”;要求抓紧编辑出版工作,一定要在“九五”期间,即本世纪末与读者见面。这次会议成了一次再动员会,大大推进了“手册”编撰工作的进展。又经过了约两年的努力,于2000年上半年完成了全部稿件的初稿工作。

为了达到上述目标,我们用以下四个方面来概括对“手册”内容的要求,即:先进;实用;系统;科学。

**先进:**要能反映、体现当代汽车技术发展的现状,反映先进实用的技术发展趋势,要有高、新的技术含量。

**实用:**要能有助于形成自主开发能力,有助于提高技术创新能力,有助于提高行业的整体技术水平。总之,是要立足于对中国汽车工业有用。

**系统:**这是一部大型工具书,要全面系统地包含汽车技术的主要方面,五册书之间要有合理的联系,使读者通过这部手册能掌握全面情况。

**科学:**在内容上和形式上都要体现科学的编著。要有手册的特点,内容简洁,便于使用。所引用的资料数据尽量可靠、权威。

汽车工程手册分为基础篇、设计篇、试验篇、制造篇(含材料)和摩托车篇共五册。在编撰工作中贯彻了以下方针:

(1)依靠行业力量,集体编写:

这是“手册”编撰中的主要原则。在组织编写队伍时,强调了产、学、研各个领域专家相结合。特别注意请长期处在第一线,有丰富实践经验的专家参加编写。集体编写的重要意义还

在于“手册”的著作权为行业所有,这样也就可能依靠全行业的力量继续修订、更新。参加本“手册”五篇编著审校工作的专家总共近 1000 人。

(2)实行各篇主编负责制。“手册”编撰工作的组织结构为:

编审委员会→编辑委员会→各篇编委会→各章负责人→参加编写的专家

各篇编委会由主编、主审和数名副主编组成。主编即为编委会主任,负责该篇的质量和进度,包括决定该篇具体结构和各章的编写人选,对稿件的完成情况和质量负责。为明确文责,采用在各章、节、段后将主要编著人员署名的方式。参编单位则统一列于手册各篇前页。

编写中对各篇之间的相关章节进行了必要的协调,同时注意了保持各篇的相对独立性和系统性。

(3)增加行业专家审稿程序:

除了正常的校、审、定稿程序外,为确保质量,在每篇稿件完成一审校样后,由编审委员会主持,组织行业中未参加“手册”编著工作的该领域专家审稿,并召开审稿会,对稿件的先进性、实用性、系统性和科学性提出评价和修改意见,各篇编委会据此再对稿件进行必要的修改完善。

在整个编写过程中,我们一直探索的几个问题是:如何结合我国的实际情况,做好先进性与实用性的结合;如何编出“手册”应有的特点;如何既能保证统一的要求又要允许不可避免的作者风格的差异;以及如何在时间、条件的限制下处理好“从无到有”与“精益求精”的关系。

“手册”的编著和出版是我国汽车界全行业共同努力的结果。几年来,从酝酿筹备、编著校审直到付印出版都是在行业各单位的关心和支持下才得以完成。作为行业“九五”重点课题,这项工作自始至终是在机械部汽车司(现为国家机械局)的直接领导和支持下进行的。许多大企业以广告费的方式给予了至关重要的经济支持。特别是担任主编、副主编和参加编审工作的上千名专家教授,其中许多人已经退休,为本书做了大量艰辛的努力,使得这部“手册”终于如期呈现在中国汽车界读者的面前。这一切都是因为大家有一个共同的愿望,就是为振兴中国汽车工业做一点切实的贡献。

国外同类手册已有几十年的历史,并经过多年不断地更新、完善,而我们刚刚迈出第一步。这部汽车工程手册显然在一定程度上也反映了当前我国汽车工业和作者们的综合水平,加上在时间和条件方面所受的限制,肯定有许多不足之处,殷切期望读者批评指正。汽车技术的进展日新月异,我们期待汽车行业能将这部手册的更新、修订工作继续下去,使它更好地为 21 世纪中国汽车工业的大发展服务。

冯 超

2000 年 7 月



## 《汽车工程手册·基础篇》编委会

主 编：余志生  
主 审：邬惠乐  
副主编：王仲范 王望予

## 《汽车工程手册·基础篇》评审专家

徐石安 陈道熙 林 逸 虞 明 余 群 赵湘吉

## 《汽车工程手册·基础篇》

### 编写人员名单

(按姓氏笔划为序)

于秀敏	方 华	王 志	王元庆	王仲范	王建军	王建昕
王晓冬	王晓泉	毛小群	邓楚南	冯 超	刘 珊	刘忠长
刘学军	刘彦戎	刘星荣	叶盛基	孙 惠	朱 毅	庄人隽
许拔民	许秀香	余志生	何天明	李云清	李百川	李克强
李修曾	杜汇良	张生瑞	张金换	陆秋明	肖植雄	汪德容
周 伟	连小珉	杨万福	杨天伟	郑四发	金先龙	罗禹贡
林柏忠	宫长明	郭孔辉	姜紫峰	高 莹	徐石安	袁兆成
钱耀义	黄世霖	黄存军	崔新宇	董力平	蒋红卫	葛安林
韩荣良	熊 文	虞 明	裘 新			

## 《汽车工程手册·基础篇》 编写说明

本书是根据 1996 年 8 月“汽车工程手册第一次编撰工作会议”上确定的编写方针、编写大纲、主要内容等要求编写的汽车工程手册中的第一册——基础篇。

基础篇分十二章,中心内容是汽车的专业基础理论知识,它包括汽车的各项基本性能、传动的基础理论、汽车振动、汽车的法规与标准,电子技术在汽车上的应用以及交通工程等章。书中对当前读者感兴趣的汽车碰撞安全性、汽车排气污染及其净化、汽车噪声及其控制等学科作了稍为详细的论述。

本篇中每一章后均附有详尽的参考文献目录,以便读者进一步查阅。

工程科学院院士郭孔辉,中国汽车技术研究中心冯超、许拔民教授级高工,清华大学黄世霖、徐石安、连小珉、王建昕教授,原吉林工业大学钱耀义、葛安林教授,原武汉汽车工业大学汪德容、王仲范教授,江苏理工大学刘星荣教授,原西安公路交通大学周伟教授等各方面专家学者共计 60 多人参加了本篇的编撰工作。在此,我谨代表基础篇编委会向他们致以衷心的感谢。

由于执笔专家众多,各人写作风格不同,简繁不一,编委会虽曾作过一定修改,但效果可能不显著,尚请读者原谅。编委会水平有限,本篇中仍有不少疏漏之处,欢迎读者批评指正。

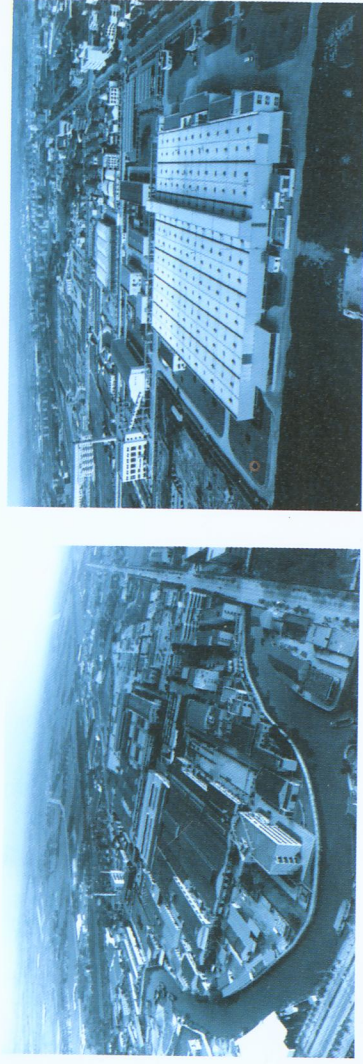
余志生  
2001 年 4 月



上海大众汽车有限公司是中德合资的轿车生产企业，公司合营各方分别为上海汽车有限公司，中国银行上海信托咨询公司，中国汽车工业投资开发公司和德国大众汽车有限公司。中德双方投资比例各占50%，公司于1985年9月开业。合营期限25年。

## 上海大众汽车有限公司

上海大众汽车有限公司成立以来，各方面取得了飞速发展。产品从单一的桑塔纳普通型发展到目前包括桑塔纳2000型在内的两大系列多种车型，一个拥有420多家特约维修站的售后服务网络已建成，为广大桑塔纳用户提供无后顾之忧的良好服务。



上海大众

桑塔纳 Santana

上海大众汽车有限公司

电话 86-21-59561888

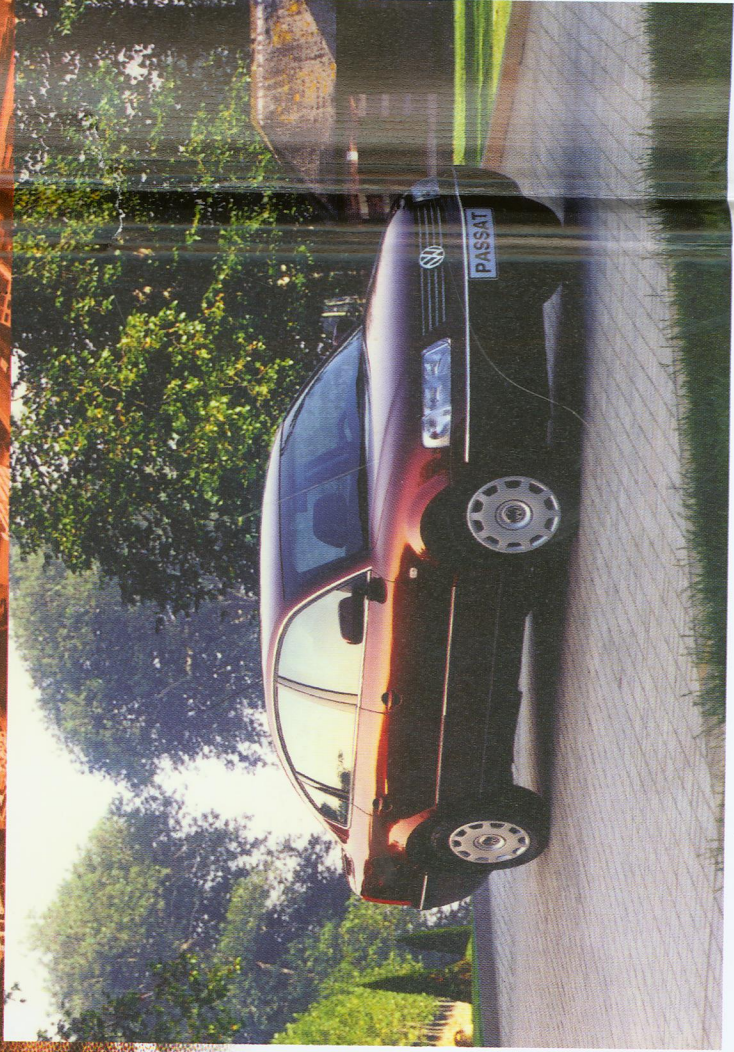
传真 86-21-59572815

地址 上海市安亭洛浦路63号

邮政编码 201805

网址 <http://www.cswv.com>

帕萨特 Passat







# 正是全新别克 GS

以北美警车底盘，带来无限驾驶乐趣。

别克 当代精神当代车



别克 GS

致力创新，注重操控；双层结构天窗、北美警车底盘、地排档，别克 GS 处处以驾者为先。  
别克竭力为顾客提供全方位的安全性，所有别克车型均配备双安全气囊、ABS 系统和四轮盘式制动。



中国奥委会  
中国体育代表团  
独家汽车赞助商



18M27/09



欢迎您光临上海通用汽车授权销售服务中心  
别克销售和租赁咨询热线：800-820-2020 (免费) 或 (021) 5055 4580 传真：(021) 5834 4803 网址：www.shanghaigm.com



## 目 录

## 1 汽车发动机性能

1.1 发动机概论 .....	1
1.1.1 汽车发动机的历史 .....	1
1.1.2 发动机的分类及工作原理 .....	1
1.1.3 对汽车发动机的性能要求 .....	3
1.1.4 现状与将来 .....	4
1.2 循环与热效率 .....	7
1.2.1 效率、功率和平均有效压力的定义 .....	7
1.2.2 理论空气循环 .....	9
1.2.3 燃料空气循环 .....	11
1.2.4 实际循环 .....	12
1.3 燃油消耗率 .....	17
1.3.1 热效率与燃油消耗率的关系 .....	17
1.3.2 运转因素对燃料消耗的影响 .....	18
1.3.3 燃料消耗量 .....	21
1.3.4 汽油机燃油消耗率和柴油机燃油消耗率的比较 .....	21
1.4 输出功率与转矩 .....	22
1.4.1 发动机输出功率与转矩 .....	22
1.4.2 充气效率与充填效率 .....	22
1.4.3 发动机的高转速化 .....	30
1.5 发动机增压 .....	32
1.5.1 增压的效果 .....	32
1.5.2 增压发动机的理论循环 .....	34
1.5.3 废气涡轮增压汽油机和柴油机的比较 .....	36
1.6 发动机控制 .....	37
1.6.1 反馈控制 .....	37
1.6.2 脱机最优化控制 .....	39
1.6.3 其他的控制 .....	41
1.6.4 控制系统的构成 .....	41
1.7 燃烧和排放 .....	42
1.7.1 火花点火发动机的燃烧 .....	42
1.7.2 汽油机的排放与净化 .....	47
1.7.3 压燃式发动机的燃烧 .....	49
1.7.4 柴油机的排放与净化 .....	53
1.8 传热与冷却 .....	54
1.8.1 热负荷与冷却 .....	54
1.8.2 燃烧室的热传递 .....	54



1.8.3 燃烧室内的对流热传递 .....	55
1.8.4 燃烧室各处的温度 .....	56
1.8.5 水冷式发动机的冷却装置 .....	58
<b>1.9 摩擦、润滑</b> .....	59
1.9.1 润滑系的目的是与作用 .....	59
1.9.2 摩擦与润滑理论简述 .....	60
1.9.3 发动机各部分的润滑 .....	61
1.9.4 摩擦损失的预测 .....	63
<b>1.10 发动机性能模拟</b> .....	64
1.10.1 发动机性能模拟程序分类 .....	64
1.10.2 零维、准维模型的汽油机性能模拟 .....	66
1.10.3 零维、准维模型的柴油机性能模拟 .....	71
1.10.4 多维模型 .....	77
1.10.5 进、排气系统换气过程及充填效率的模拟 .....	80
<b>1.11 发动机机构力学</b> .....	83
1.11.1 活塞曲柄连杆机构的平衡性分析 .....	83
1.11.2 配气机构 .....	96
<b>参考文献</b> .....	103

## 2 汽车动力性与燃油经济性

<b>2.1 汽车的驱动力与行驶阻力</b> .....	106
2.1.1 驱动力 .....	106
2.1.2 行驶阻力 .....	109
2.1.3 行驶特性图 .....	115
2.1.4 装有液力变矩器汽车的动力性 .....	116
<b>2.2 汽车的动力性能</b> .....	117
2.2.1 最高车速 .....	117
2.2.2 加速性能 .....	117
2.2.3 爬坡性能 .....	119
<b>2.3 汽车行驶的附着条件和附着率</b> .....	119
2.3.1 汽车行驶附着条件 .....	119
2.3.2 汽车的地面法向反作用力 .....	120
2.3.3 作用在从动轮、驱动轮上的切向反作用力 .....	122
2.3.4 附着率 .....	123
<b>2.4 汽车的驾驶性能</b> .....	127
2.4.1 驾驶性能表示方法 .....	127
2.4.2 各种环境下汽车驾驶性能的变化 .....	128
2.4.3 汽油特性与行驶性能 .....	128
<b>2.5 汽车的燃油经济性</b> .....	129
2.5.1 燃油经济性的评价指标 .....	129
2.5.2 汽车燃油经济性的计算 .....	130
2.5.3 装有液力变矩器的汽车的燃油经济性计算 .....	132
2.5.4 影响燃油经济性的因素 .....	133
2.5.5 改善燃油经济性的途径 .....	135

参考文献 .....	136
------------	-----

### 3 汽车动力传动

<b>3.1 动力传动概述</b> .....	137
3.1.1 理想的动力传动特性 .....	137
3.1.2 最佳燃油经济性特性 .....	138
3.1.3 动力传动系统的功能 .....	140
3.1.4 发展趋势 .....	143
<b>3.2 离合器</b> .....	144
<b>3.3 液力传动</b> .....	148
3.3.1 液力偶合器 .....	148
3.3.2 液力变矩器 .....	149
<b>3.4 万向传动</b> .....	153
3.4.1 运动与受力分析 .....	153
3.4.2 等速万向节 .....	154
3.4.3 传动轴临界转速 $n_K$ .....	154
<b>3.5 转矩变换器</b> .....	154
3.5.1 手动变速器(MT) .....	154
3.5.2 自动变速器 .....	158
<b>3.6 分配机构</b> .....	169
3.6.1 差速装置 .....	169
3.6.2 动力分配装置 .....	170
3.6.3 差速限制装置(LSD) .....	173
<b>3.7 动力传动系统的控制</b> .....	174
3.7.1 自动变速控制 .....	174
3.7.2 巡航控制(ACCS) .....	179
3.7.3 驱动力防滑控制与动力学控制 .....	181
3.7.4 动力学控制(VDC) .....	182
3.7.5 电控系统的故障诊断与容错技术 .....	183
3.7.6 发展趋势 .....	184
参考文献 .....	185

### 4 汽车制动性

<b>4.1 制动力学</b> .....	186
4.1.1 制动能力 .....	186
4.1.2 制动力分配 .....	187
4.1.3 驻车制动力学 .....	190
<b>4.2 制动力矩计算</b> .....	191
4.2.1 制动器效能因数 .....	191
4.2.2 鼓式制动器效能因数及制动力矩 .....	191
4.2.3 盘式制动器效能因数计算 .....	195
4.2.4 带式制动器效能因数计算 .....	195
<b>4.3 制动时的发热</b> .....	196
4.3.1 制动器的能量负荷 .....	196

4.3.2 制动器的温升 .....	197
<b>4.4 制动的稳定性 .....</b>	<b>198</b>
4.4.1 制动效能的稳定性 .....	198
4.4.2 制动时的方向稳定性 .....	200
<b>4.5 制动性能的控制 .....</b>	<b>202</b>
4.5.1 踏板力的控制 .....	202
4.5.2 前后轮制动力分配的控制 .....	206
4.5.3 防追尾碰撞的控制 .....	208
4.5.4 制动能量的回收 .....	209
<b>4.6 防抱死制动系统 .....</b>	<b>212</b>
4.6.1 概述 .....	212
4.6.2 防抱死制动的的基本工作原理和控制技术 .....	212
4.6.3 轿车用液压 ABS .....	217
4.6.4 轮速传感器和齿圈 .....	218
4.6.5 ABS 工作时的某种工作特性 .....	219
4.6.6 载货汽车气压 ABS .....	220
<b>4.7 汽车行驶安全性发展动向 .....</b>	<b>222</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>223</b>

## 5 汽车操纵稳定性

<b>5.1 操纵稳定性概述 .....</b>	<b>225</b>
5.1.1 汽车的运动及坐标系 .....	225
5.1.2 汽车系统 .....	225
5.1.3 驾驶员-汽车系统 .....	226
5.1.4 汽车的操纵稳定性 .....	226
<b>5.2 轮胎的力学特性 .....</b>	<b>227</b>
5.2.1 轮胎坐标系及轮胎六分力 .....	227
5.2.2 轮胎的稳态侧偏特性 .....	227
5.2.3 轮胎的稳态纵滑特性 .....	232
5.2.4 轮胎的稳态纵滑侧偏特性 .....	234
5.2.5 轮胎的非稳态特性 .....	237
<b>5.3 悬架的力学特性 .....</b>	<b>238</b>
5.3.1 车身的侧倾与纵倾 .....	239
5.3.2 车轮负荷的确定 .....	242
5.3.3 独立悬架的举升效应和车轮侧倾 .....	243
5.3.4 侧倾转向 .....	244
<b>5.4 转向系的力学特性 .....</b>	<b>245</b>
5.4.1 转向系的弹性与侧向力转向 .....	246
5.4.2 转向系的综合刚度 .....	246
5.4.3 转向-悬架杆系干涉引起的附加转角 .....	247
5.4.4 前轮定位参数的作用——角反馈与力反馈 .....	248
5.4.5 汽车运动中车轮定位参数的变化 .....	249
5.4.6 转向梯形的作用 .....	254
5.4.7 转向力与路感 .....	255

<b>5.5 车身的空气力特性</b> .....	255
5.5.1 空气阻力 .....	256
5.5.2 侧向力 .....	256
5.5.3 升力 .....	257
5.5.4 横摆力矩 .....	257
5.5.5 侧倾力矩 .....	257
5.5.6 纵倾力矩 .....	258
<b>5.6 汽车转向运动性能的理论分析</b> .....	258
5.6.1 二自由度汽车模型 .....	258
5.6.2 二自由度汽车模型的运动特征 .....	260
5.6.3 考虑车身侧倾和转向自由度的汽车模型 .....	263
5.6.4 侧风稳定性分析 .....	265
5.6.5 力输入模型和力输入运动 .....	266
5.6.6 多自由度汽车模型 .....	269
<b>5.7 存在驱动或制动时汽车的转向运动</b> .....	269
5.7.1 驱动或制动时的力学模型及运动方程式 .....	269
5.7.2 驱动或制动时的转向特性 .....	273
5.7.3 驱动力和制动力的控制 .....	274
<b>5.8 操纵稳定性的主动控制</b> .....	274
5.8.1 四轮转向系统(4WS) .....	275
5.8.2 主动侧倾控制(ARC) .....	279
5.8.3 汽车动力学控制(VDC) .....	279
<b>5.9 极限运动性能</b> .....	280
5.9.1 识别汽车方向控制特性的能量相平面表示方法 .....	280
5.9.2 汽车侧偏角瞬变过程的间接测定法 .....	288
5.9.3 汽车的抗侧翻性能 .....	292
<b>5.10 拖挂车辆的运动性能</b> .....	293
5.10.1 拖挂车辆的力学模型和运动方程式 .....	294
5.10.2 拖挂车辆的运动稳定性 .....	297
<b>5.11 驾驶员-汽车系统</b> .....	298
5.11.1 驾驶员转向操纵行为模型 .....	299
5.11.2 驾驶员-汽车闭环系统的运动性能 .....	305
<b>参考文献</b> .....	306

## 6 汽车振动和平顺性

<b>6.1 汽车振动</b> .....	309
6.1.1 汽车振动的常用分析方法 .....	309
6.1.2 汽车发动机振动 .....	311
6.1.3 汽车传动系扭转振动 .....	317
6.1.4 汽车传动系弯曲振动 .....	323
6.1.5 汽车前轮摆振 .....	329
6.1.6 车架和车身振动 .....	332
<b>6.2 汽车平顺性</b> .....	336
6.2.1 路面统计特性 .....	336