



普通高等教育“十五”国家级规划教材

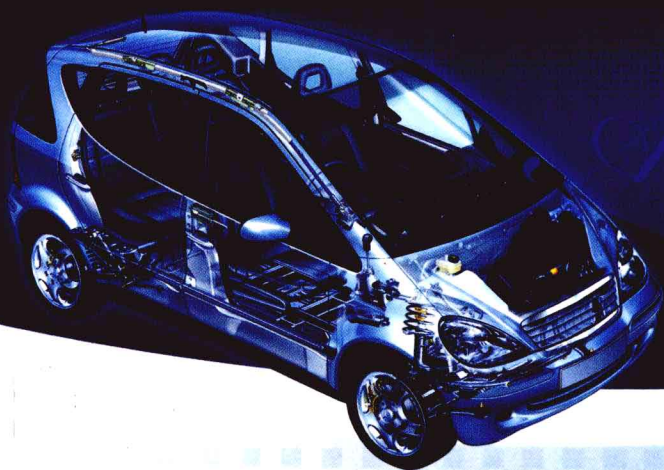


面向21世纪课程教材  
Textbook Series for 21st Century

# 汽车理论

第5版

清华大学 余志生 主编



*Automobile*

附赠1CD



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十五”国家级规划教材  
面向 21 世纪课程教材

# 汽车理论

第 5 版

主 编	余志生	
副主编	夏群生	
参 编	赵六奇	伦景光
	刘惟信	孙建纲
	李克强	季学武
主 审	陈朝阳	



机械工业出版社

本书为全国高等学校机电类专业教学指导委员会汽车与拖拉机专业小组制订的规划教材,并于“九五”期间被教育部立项为“普通高等教育‘九五’部级重点教材”和“面向21世纪课程教材”,于“十五”期间被教育部立项为“普通高等教育‘十五’国家级规划教材”。

本书根据作用于汽车上的外力特性,分析了与汽车动力学有关的汽车各主要使用性能:动力性、燃油经济性、制动性、操纵稳定性、行驶平顺性及通过性。各章分别介绍了各使用性能的评价指标与评价方法,建立了有关的动力学方程,分析了汽车及其部件的结构形式与结构参数对各使用性能的影响,阐述了进行性能预测的基本计算方法。各章还对性能试验方法作了简要介绍。另外,还介绍了近年来高效节能汽车技术方面的新发展。本书为学生提供了进行汽车设计、试验及使用所必需的专业基础知识,并配备了教学光盘和汽车试验录像光盘。

本书是高等院校车辆工程专业本科教材,也可作为企业、研究院所从事汽车设计、试验及使用的工程技术人员的参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

汽车理论/余志生主编. —5版. —北京:机械工业出版社,2009.3  
普通高等教育“十五”国家级规划教材. 面向21世纪课程教材  
ISBN 978-7-111-02076-9

I. 汽... II. 余... III. 汽车工程—高等学校—教材 IV. U461

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第200624号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:赵爱宁 责任校对:王欣

封面设计:王伟光 责任印制:杨曦

三河市国英印务有限公司印刷

2009年3月第5版第1次印刷

184mm×260mm·18.75印张·457千字

标准书号:ISBN 978-7-111-02076-9

ISBN 978-7-89451-034-1(光盘)

定价:36.00元(含1CD)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379217

封面无防伪标均为盗版

## 第5版前言

本书为1981年出版的《汽车理论》第5版，是教育部面向21世纪课程教材，普通高等教育“九五”部级重点教材和普通高等教育“十五”国家级规划教材。

本书出版二十余年来，各个方面都在不断地完善。在教材结构方面，经过几代汽车专业教师在教学中的摸索和实践，形成了目前这样比较完善的教材体系；在教材内容方面，力求将系统性、先进性和完整性相结合，每一次修订都跟随汽车工业技术和工程教学的步伐，弃旧更新。本书密切联系汽车设计和试验的实际问题，把编者多年的教学、科研经验和体会融入其中。因此，本书不但适用于汽车类专业的本科教学，也可作为汽车企业及科研院所工程技术人员参考书。

目前，立体化教学和精品化教材的要求又给我们提出了新的课题。为此，本次修订将从以下几个方面进行：

1) 将原教材的单色改为双色，即把教材中的重点内容改为蓝色，以突出重点，使读者更容易学习和掌握。

2) 配套出版教学光盘，包括电子教案、习题集、视频参考材料等。

3) 配套出版汽车试验录像光盘，介绍了汽车动力性、经济性、制动性、操纵稳定性和平顺性等基本性能试验的现代仪器设备和试验方法。

4) 修改《汽车理论》第4版中遗留的文字和图形错误。

本修订版由清华大学汽车工程系编写。参加编写的有余志生、夏群生、赵六奇、伦景光、刘惟信、孙建纲、李克强、季学武，主编为余志生，副主编为夏群生。本书由合肥工业大学陈朝阳审阅。

编写过程中，张红、彭莫、单德福、宋健、林健、陈勇、魏道高、王雷曾对本修订版提出宝贵意见与帮助；东风汽车公司、北京汽车工程学会、跃进汽车集团等有关同仁曾给予大力支持；教学光盘的具体工作由张红完成，汽车试验录像光盘由仇斌、吴凯辉、赵英、何乐、田光宇等完成。在此，对他们表示衷心的感谢。

恳切希望使用本教材的高校师生与广大读者提出批评指正。

编者

## 第4版前言

本书为1981年出版的《汽车理论》第4版，是教育部面向21世纪课程教材，普通高等教育“九五”部级重点教材和普通高等教育“十五”国家级规划教材。

自《汽车理论》第3版出版以来，汽车技术有了新的发展，特别是近来产业大国能源供应安全问题十分突出，新型节能汽车技术有了很大进展。在教学中，大家也对本书提出了宝贵意见。为此，我们在《汽车理论》第3版的基础上，在以下几个方面进行了修订：

1) 采用和介绍了一些新标准。例如，汽车的燃油经济性一章中的 GB/T 19233—2003《轻型汽车燃油消耗量试验方法》、《乘用车燃油消耗量限值》；汽车的制动性一章中的 GB 7258—2004《机动车运行安全技术条件》等。

2) 增加了一些新内容。例如，在燃油经济性中，介绍了混合动力电动汽车和燃油消耗量测量中所依据的碳平衡原理；在制动性中，增加了辅助制动器和发动机制动对制动力分配和制动效能的影响等方面的论述；在试验仪器方面，介绍了非接触式汽车速度计和燃油流量计传感器的结构原理；此外，还列入了纯电动汽车动力性计算的算例。

3) 精简了一些内容。

本修订版由清华大学汽车工程系编写。参加编写的有余志生、夏群生、赵六奇、伦景光、刘惟信、孙建纲、李克强、季学武，主编为余志生，副主编为夏群生。本书由合肥工业大学陈朝阳审阅。

在编写过程中，彭莫、单德福、宋健、林健、吴凯辉、刘昭度、徐中明、张红、冯樱、魏道高、王雷等曾对本修订版提出宝贵意见与帮助；东风汽车公司、跃进汽车集团、北京汽车工程学会等有关同志曾给予大力支持；还得到上海发展汽车工业教育基金会的热情支持。在此，对他们表示衷心的感谢。

恳切希望使用本教材的高校师生与广大读者提出批评指正。

编者

## 第3版前言

本书为1981年出版的《汽车理论》试用教材的第3版，是全国高等学校汽车与拖拉机专业教学指导委员会组织的“九五”规划教材。

自本书于1990年出版了第2版以来，迄今已有10年。10年来汽车技术和车辆动力学均有很大的发展。通过教学实践，我们对教材内容的处理有了一些新的看法，此外，也听取了各校教师和学生对本书的宝贵意见。基于上述原因，我们对第2版做了修订。

本书除保持第2版的基本结构与基本内容外，主要在以下几个方面进行了修改：

1) 在一些章节中采用了新标准。例如，平顺性的评价采用1997年公布的ISO 2631—1:1997(E)“人体承受全身振动评价——第一部分：一般要求”，它能与主观感觉更好地符合，评价时的计算方法比原标准简单。制动性中采用了新的国家标准和ECE R13的标准，如利用附着系数、充分发出的平均减速度的定义等。

2) 增加了一些新内容。例如，在动力性中引入了大驱动力工况（强劲加速或爬陡坡）对附着条件的最低要求——附着率的概念；在燃油经济性中介绍了对传统结构汽车发展有巨大影响的“新一代汽车伙伴关系（PNGV）”及高效率节能汽车；制动性中增加了ABS单轮模型的论述；操纵稳定性中增加了转向盘力特性、利用地面切向反作用力控制转向特性的机理、电子控制系统及汽车侧翻等内容；平顺性中路面输入功率谱密度引入侧倾角振动输入功率谱密度与垂直振动输入功率谱密度的比值、车身与车轮两个自由度振动中增加了主动与半主动悬架等内容。

3) 在一些章节中，如汽车动力装置参数的选定一章中，选用了新的数据。

4) 精简了部分内容。

5) 增加了各章习题以供读者参考选做。

本修订版由清华大学汽车工程系编写。参加编写者为赵六奇、夏群生、伦景光、刘惟信、孙建纲、季学武、余志生。主编为余志生。本书由合肥工业大学陈朝阳教授审阅。

编写过程中，白原新、唐志强、彭莫、吴继常、宋健、王烈、李以盛、林建、陈奎元等曾对本书提出许多宝贵意见与帮助。东风汽车公司、跃进汽车公司、北京汽车工程学会、北京汽车研究所等有关同志曾给予大力支持。编写过程中还得到上海发展汽车工业教育基金会的热情资助。在此，对他们表示衷心的感谢。

恳切希望使用本修订版的高校师生、广大读者提出批评指正。

编者  
2000年4月

## 第2版前言

本书自1980年出版以来，数次重印，并于1984年做了小修改，重排印刷，一直作为各校汽车专业的教材。1983年12月，11年所校“汽车理论”课程的主讲教师还曾举行教材座谈会，肯定了第1版的内容及其适用性。同时，汽车制造、运输企业以及有关研究机构的工程技术人员也将本书作为常用的专业参考书。

9年来，汽车工业有了很大的发展。通过教学实践，我们对汽车专业本科生应掌握的专业基础理论知识有了更明确的理解；我们通过科学研究工作以及对国内、外车辆动力学发展的了解，对本书各章内容有了进一步的认识；各校老师与同学也对本书提出了宝贵意见。上述原因促使我们感到有必要对第1版进行修订。

本书除保持第1版的基本结构与基本内容外，主要对以下几个方面进行了修改：

1) 在一些章节中，采用了新的评价与分析方法以及有关新标准。例如在第三章中引入了绘制燃油经济性-加速时间曲线”的方法，较好地解决了汽车动力装置（发动机-传动系）参数的选定问题。第四章中介绍了有关制动法规，并讨论了如何提高制动性能以满足制动法规的要求。第六章中明确了平顺性新的评价方法，介绍了新的ISO2631标准与路面分级标准，分析中采用了国际上普遍应用的“双对数坐标”。各章中还介绍了一些我国新制订的性能试验标准，增添了一些有关数据。

2) 突出基本要求与概念，精简了部分内容。例如在第五章中引入了“侧偏柔度”的概念，因此可以对包括悬架与转向系影响因素在内的时域响应进行初步定量分析，使学生对汽车的稳态响应与瞬态响应具有更为完整与深入的理解。这一章中还删去了刚体运动微分方程与线性三自由度汽车模型对前轮转角输入的响应等节。

3) 各章附有习题作业，可供使用本书的师生参考。

4) 考虑到随机振动已在许多院校单独设课，故删去附录I“随机振动的基本知识”。

本修订版由清华大学汽车工程系汽车教研组编写。主编为余志生，参加编写者为余志生、伦景光、孙建纲、赵六奇、刘惟信。本书由武汉工学院吴业森教授审阅。编写中曾得到吉林工业大学罗邦杰教授的指导，清华大学的李以盛、蔡世芳、倪佑民、李修曾、夏群生、陈全世等曾为本书提供材料或参加讨论。编写过程中还得到长春第一汽车厂、湖北第二汽车厂、四川汽车厂、北京汽车厂、北京第二汽车厂等有关同志的大力支持。在此，对他们表示衷心感谢。

恳切希望使用本修订版的高校师生、广大读者提出批评指正。

编者

1989年4月于清华大学

## 第 1 版前言

本书是根据 1978 年 4 月在天津召开的高等学校一机部对口专业座谈会精神和 1978 年 6 月在镇江召开的汽车、拖拉机、农机专业教材会议制订的“汽车理论”教材编写大纲编写的。它可作为高等工业学校汽车专业“汽车理论”课程的教材，也可供有关的工程技术人员参考。

全书分七章，中心内容是以力学为基础，阐述汽车的主要性能——动力性、燃油经济性、制动性、操纵稳定性，行驶平顺性以及通过性，并在满足这些整车性能要求的基础上提出选择汽车设计参数的一些原则，诸如汽车发动机功率的选择、传动系传动比的确定、制动器制动力的分配、悬架参数、重心位置、轮胎型式、车辆几何参数的确定等。另外，还讨论了这些主要性能的试验方法。为了便于第六章“汽车的行驶平顺性”的教学，将“随机振动的基本知识”附于附录，仅供参考。附录中还提供了“美国试验安全车的操纵稳定性性能要求及其试验方法”，作为汽车操纵稳定性的参考资料。

本书一律采用国际单位制。例如力的单位为牛顿 (N)，而不用公斤力 (kgf)；功率的单位为千瓦 (kW)，而不用马力 (PS)；压力的单位为千帕 (kPa)，而不用工程大气压 (at)。但是考虑到有一个过渡，书中随时给出了单位换算。有些转引的图表和资料虽然沿用原著的单位制，但也为读者进行了单位换算。表示单位时一律用符号而不写汉字。

本书由清华大学汽车教研组编写。参加编写者为余志生、伦景光、刘惟信、孙建纲、魏克严、赵六奇，并由余志生负责主编。编写过程中，曾得到倪佑民同志的热心帮助。

本书初稿完成后，由武汉工学院吴业森同志负责主审，初稿修改后由吴业森同志，吉林工业大学洪宗林、王志新同志，江苏工学院王德杉同志等参加会审定稿。他们在审稿过程中提出了许多宝贵意见。在编写过程中还请教了有关工厂和研究室的同志，并请汽车工程学会常务理事、清华大学宋镜瀛教授一起讨论、确定所用的汽车工程术语。在此，一并表示感谢。

由于我们的水平有限，且时间仓促，书中一定有错漏之处，欢迎使用本书的师生和广大读者批评指正。

编者  
1980 年 4 月



# 常用符号表

## 第一章 汽车的动力性

物 理 量	代 号	单 位	物 理 量	代 号	单 位
汽车质量	$m$	kg	地面法向反作用力	$F_Z$	N
汽车重力	$G$	N	空气阻力	$F_w$	N
汽车速度	$u$	m/s	坡度阻力	$F_i$	N
	$u_a$	km/h	加速阻力	$F_j$	N
驱动力	$F_t$	N	滚动阻力	$F_r$	N
车轮半径	$r$	m	滚动阻力系数	$f$	
发动机转矩	$T_{tq}$	N·m	空气阻力系数	$C_D$	
发动机功率	$P_e$	kW	道路阻力系数	$\Psi$	
发动机转速	$n$	r/min	旋转质量换算系数	$\delta$	
变速器传动比	$i_g$		附着系数	$\varphi$	
主减速器传动比	$i_0$		动力因数	$D$	
传动效率	$\eta_T$		液力变矩器的变矩比	$K$	
坡度	$i$		液力变矩器的透过度	$p$	
直线行驶加速度	$a, \frac{du}{dt}$	$m/s^2$			

## 第二章 汽车的燃油经济性

物 理 量	代 号	单 位	物 理 量	代 号	单 位
燃油消耗率	$b$	g/(kW·h)	汽车百公里油耗	$Q_s$	L/(100km)

## 第四章 汽车的制动性

物 理 量	代 号	单 位	物 理 量	代 号	单 位
制动器摩擦转矩	$T_\mu$	N·m	侧向力系数	$\varphi_1$	
地面制动力	$F_{xb}$	N	同步附着系数	$\varphi_0$	
制动器制动力	$F_\mu$	N	峰值附着系数	$\varphi_P$	
附着力	$F_\varphi$	N	滑动附着系数	$\varphi_s$	
滑率	$s$		制动器制动力分配系数	$\beta$	
制动力系数	$\varphi_b$		制动减速度	$a_b$	$m/s^2$



(续)

## 第五章 汽车的操纵稳定性

物理量	代号	单位	物理量	代号	单位
质心侧向速度	$v$	m/s	转向盘转角	$\delta_{sw}$	rad 或 ( $^{\circ}$ )
侧向加速度	$a_y$	m/s <sup>2</sup> 或 $g$	转向半径	$R$	m
侧倾角	$\Phi_r$	rad 或 ( $^{\circ}$ )	弹簧刚度	$k_s$	N/m
侧倾角速度	$\omega_p$	rad/s 或 ( $^{\circ}$ )/s	悬挂质量	$m_s$	kg
横摆角速度	$\omega_r$	rad/s 或 ( $^{\circ}$ )/s	非悬挂质量	$m_u$	kg
地面切向反作用力	$F_x$	N	轮距	$B$	m
侧偏角	$\alpha$	rad 或 ( $^{\circ}$ )	临界车速	$u_{cr}$	m/s
外倾角	$\gamma$	rad 或 ( $^{\circ}$ )	无阻尼圆频率	$\omega_0$	rad/s
侧偏力	$F_{y\alpha}$	N	阻尼比	$\zeta$	
外倾侧向力	$F_{y\gamma}$	N	侧倾转向系数	$\frac{\partial \delta}{\partial \Phi_r}$	( $^{\circ}$ )/( $^{\circ}$ )
侧偏刚度	$k$	N/rad 或 N/( $^{\circ}$ )	侧倾外倾系数	$\frac{\partial \gamma}{\partial \Phi_r}$	( $^{\circ}$ )/( $^{\circ}$ )
外倾刚度	$k_\gamma$	N/rad 或 N/( $^{\circ}$ )	侧向力变形转向系数	$\frac{\partial \delta}{\partial F_y}$	( $^{\circ}$ )/kN
稳态横摆角速度增益	$\left. \frac{\omega_r}{\delta} \right)_s$	rad $\cdot$ s <sup>-1</sup> /rad 或 ( $^{\circ}$ ) $\cdot$ s <sup>-1</sup> /( $^{\circ}$ )	回正力矩变形转向系数	$\frac{\partial \delta}{\partial T}$	( $^{\circ}$ )/(100N $\cdot$ m)
稳定性因数	$K$	s <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	侧向力变形外倾系数	$\frac{\partial \gamma}{\partial F_y}$	( $^{\circ}$ )/kN
静态储备系数	S. M.		悬架侧倾角刚度	$K_{\Phi_r}$	N $\cdot$ m/rad
特征车速	$u_{ch}$	m/s	侧倾力矩	$T_{\Phi_r}$	N $\cdot$ m
地面侧向反作用力	$F_y$	N	汽车绕 OZ 轴的转动惯量	$I_z$	kg $\cdot$ m <sup>2</sup>
翻转力矩	$M_x$	N $\cdot$ m	反应时间	$\tau$	s
回正力矩	$M_z$	N $\cdot$ m	峰值反应时间	$\varepsilon$	s
垂直载荷	$W$	N			
轴距	$L$	m			
质心至前轴的距离	$a$	m			
质心至后轴的距离	$b$	m			
前轮转角	$\delta$	rad 或 ( $^{\circ}$ )			



(续)

## 第六章 汽车的平顺性

物理量	代号	单位	物理量	代号	单位
悬架刚度	$K$	N/m	相干函数	$\text{coh}_{xy}^2(f)$ 或	
路面不平度系数	$G_q(n_0)$	$\text{m}^2/\text{m}^{-1}$		$\text{coh}_{xy}^2(\omega)$	
频率	$f$	Hz 或 $\text{s}^{-1}$	阻尼比	$\zeta$	
悬架动挠度	$f_d$	m	频率比	$\lambda$	
悬架静挠度	$f_s$	m	车轮部分垂直位移	$z_1$	m
车轮与路面间的动载	$F_d$	N	固有圆频率	$\omega_0$	rad/s
长度变量或转动惯量	$I$	m 或 $\text{kg} \cdot \text{m}^2$	有阻尼固有圆频率	$\omega_d$	rad/s
阻力系数	$C$	$\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}$	激振频率	$\omega$	rad/s
车身质量 (悬挂质量)	$m_2$	kg	车身纵向摆角或初位相	$\varphi$	rad
车轮质量 (非悬挂质量)	$m_1$	kg	相位角	$\Phi$	( $^\circ$ )
座垫上人体的位移	$p$	m	标准差	$\sigma$	
路面不平度函数	$q$	m	空间频率	$n$	$\text{m}^{-1}$
自功率谱密度函数	$G_{xx}(f)$ 或 $G_{xx}(\omega)$		双轴汽车车身振动主频率	$\Omega$	rad/s
			回转半径	$\rho$	m
互功率谱密度函数	$G_{xy}(f)$ 或 $G_{xy}(\omega)$		悬挂质量分配系数	$\varepsilon$	
			刚度比	$\gamma$	
频率指数	$W$		质量比	$\mu$	
车身垂直位移	$z_2$	m	频率响应函数	$H(j\omega)$ 或 $H(f)$	

## 第七章 汽车的通过性

物理量	代号	单位	物理量	代号	单位
土壤推力	$F_x$	N	剪切面法向压力	$\sigma$	kPa
驱动轮胎的接地面积	$A$	$\text{m}^2$	土壤剪切变形	$j$	mm 或 m
土壤的粘聚系数	$c$	kPa	水平剪切变形模数	$K$	cm 或 m
垂直负荷	$W$	N	土壤沉陷量	$z$	mm 或 m
土壤的摩擦角	$\varphi$	( $^\circ$ )	单位面积压力	$p$	kPa
土壤的切应力	$\tau$	kPa	土壤的粘聚变形模数	$k_c$	$\text{kN}/\text{m}^{n+1}$



(续)

物 理 量	代 号	单 位	物 理 量	代 号	单 位
土壤的摩擦变形模数	$k_{\phi}$	$\text{kN/m}^{n+2}$	轮胎弹滞损耗阻力	$F_{rt}$	N
承载面积短边长度	$b$	mm 或 m	单位负荷弹滞损耗阻力	$f_t$	
土壤的压实阻力	$F_{rc}$	N	滑转率	$s_r$	
推土阻力	$F_{tb}$	N	车辆的实际速度	$u$	m/s
土壤单位体积质量重力	$\gamma_s$	$\text{N/m}^3$	车辆的理论速度	$u_t$	m/s
土壤承载能力系数	$N_c、N_r$		挂钩牵引力	$F_d$	N
轮胎刚度产生的压力	$p_c$	kPa	土壤阻力	$F_r$	N
轮胎充气压力	$p_i$	kPa	沉陷指数	$n$	

# 目 录

第5版前言	
第4版前言	
第3版前言	
第2版前言	
第1版前言	
常用符号表	
<b>第一章 汽车的动力性</b> .....	1
第一节 汽车的动力性指标 .....	1
第二节 汽车的驱动力与行驶 阻力 .....	2
一、汽车的驱动力 .....	3
二、汽车的行驶阻力 .....	7
三、汽车行驶方程式 .....	16
第三节 汽车的驱动力-行驶阻力平 衡图与动力特性图 .....	18
一、驱动力-行驶阻力平衡图 .....	18
二、动力特性图 .....	21
第四节 汽车行驶的附着条件与汽车 的附着率 .....	22
一、汽车行驶的附着条件 .....	22
二、汽车的附着力与地面法向反 作用力 .....	22
三、作用在驱动轮上的地面切向反 作用力 .....	25
四、附着率 .....	27
第五节 汽车的功率平衡 .....	30
第六节 装有液力变矩器汽车 的动力性 .....	32
参考文献 .....	39
<b>第二章 汽车的燃油经济性</b> .....	41
第一节 汽车燃油经济性的评价 指标 .....	41
第二节 汽车燃油经济性的计算 .....	46
第三节 影响汽车燃油经济性 的因素 .....	50
一、使用方面 .....	51
二、汽车结构方面 .....	52
第四节 装有液力变矩器汽车的 燃油经济性计算 .....	57
第五节 电动汽车的研究 .....	58
一、混合动力电动汽车的特点 .....	59
二、混合动力电动汽车的结构 .....	60
三、混合动力电动汽车的节油原理 .....	61
四、能量管理策略 .....	62
五、实例分析——丰田混合动力 电动汽车 Prius .....	63
六、电动汽车的动力性计算 .....	65
第六节 汽车动力性、燃油经济性 试验 .....	68
一、路上试验 .....	68
二、室内试验 .....	71
参考文献 .....	73
<b>第三章 汽车动力装置参数的选定</b> .....	75
第一节 发动机功率的选择 .....	75
第二节 最小传动比的选择 .....	78
第三节 最大传动比的选择 .....	79
第四节 传动系挡数与各挡传动比 的选择 .....	80



第五节 利用燃油经济性—加速时间 曲线确定动力装置参数 .....	84	七、辅助制动器和发动机制动对制动力 分配和制动效能的影响 .....	118
一、主减速器传动比的确定 .....	84	八、防抱制动装置 .....	120
二、变速器与主减速器传动比的确定 .....	85	第六节 汽车制动性的试验 .....	126
三、发动机、变速器与主减速器 传动比的确定 .....	86	参考文献 .....	128
参考文献 .....	88		
<b>第四章 汽车的制动性</b> .....	89	<b>第五章 汽车的操纵稳定性</b> .....	130
第一节 制动性的评价指标 .....	89	第一节 概述 .....	130
第二节 制动时车轮的受力 .....	90	一、汽车操纵稳定性包含的内容 .....	130
一、地面制动力 .....	90	二、车辆坐标系与转向盘角阶跃输入下 的时域响应 .....	132
二、制动器制动力 .....	90	三、人一汽车闭路系统 .....	134
三、地面制动力、制动器制动力与 附着力之间的关系 .....	91	四、汽车试验的两种评价方法 .....	135
四、硬路面上的附着系数 .....	91	第二节 轮胎的侧偏特性 .....	135
第三节 汽车的制动效能及其 恒定性 .....	97	一、轮胎的坐标系 .....	135
一、制动距离与制动减速度 .....	97	二、轮胎的侧偏现象和侧偏力-侧偏角 曲线 .....	136
二、制动距离的分析 .....	98	三、轮胎的结构、工作条件对侧偏 特性的影响 .....	138
三、制动效能的恒定性 .....	100	四、回正力矩——绕 $OZ$ 轴的力矩 .....	141
第四节 制动时汽车的方向 稳定性 .....	102	五、有外倾角时轮胎的滚动 .....	142
一、汽车的制动跑偏 .....	102	第三节 线性二自由度汽车模型对前 轮角输入的响应 .....	144
二、制动时后轴侧滑与前轴转向 能力的丧失 .....	105	一、线性二自由度汽车模型的运动 微分方程 .....	144
第五节 前、后制动器制动力的 比例关系 .....	108	二、前轮角阶跃输入下进入的汽车稳态 响应——等速圆周行驶 .....	146
一、地面对前、后车轮的法向 反作用力 .....	108	三、前轮角阶跃输入下的瞬态响应 .....	153
二、理想的前、后制动器制动力 分配曲线 .....	109	四、横摆角速度频率响应特性 .....	159
三、具有固定比值的前、后制动器制 动力与同步附着系数 .....	110	第四节 汽车操纵稳定性与悬架的 关系 .....	162
四、前、后制动器制动力具有固定 比值的汽车在各种路面上制动 过程的分析 .....	111	一、汽车的侧倾 .....	162
五、利用附着系数与制动效率 .....	114	二、侧倾时垂直载荷在左、右侧车轮上 的重新分配及其对稳态响应 的影响 .....	169
六、对前、后制动器制动力分配 的要求 .....	116	三、侧倾外倾——侧倾时车轮外倾角 的变化 .....	171
		四、侧倾转向 .....	173
		五、变形转向——悬架导向装置变形 引起的车轮转向角 .....	174



六、变形外倾——悬架导向装置变形引起的外倾角的变化 ..... 176

第五节 汽车操纵稳定性与转向系的关系 ..... 176

一、转向系的功能与转向盘力特性 ..... 176

二、不同工况下对操纵稳定性的要求 ..... 177

三、评价高速公路行驶操纵稳定性的试验——转向盘中间位置操纵稳定性试验 ..... 180

四、转向系与汽车横摆角速度稳态响应的关系 ..... 182

第六节 汽车操纵稳定性与传动系的关系 ..... 183

一、地面切向反作用力与“不足-过多转向特性”的关系 ..... 183

二、地面切向反作用力控制转向特性的基本概念简介 ..... 184

第七节 提高操纵稳定性的电子控制系统 ..... 187

一、极限工况下前轴侧滑与后轴侧滑的特点 ..... 189

二、横摆力偶矩及制动力的控制效果 ..... 190

三、各个车轮制动力控制的效果 ..... 192

四、四个车轮主动制动的控制效果 ..... 193

五、VSC 系统的构成 ..... 193

六、装有 VSC 系统汽车的试验结果 ..... 193

第八节 汽车的侧翻 ..... 194

一、刚性汽车的准静态侧翻 ..... 194

二、带悬架汽车的准静态侧翻 ..... 196

三、汽车的瞬态侧翻 ..... 196

第九节 汽车操纵稳定性的路上试验 ..... 198

一、低速行驶转向轻便性试验 ..... 198

二、稳态转向特性试验 ..... 198

三、瞬态横摆响应试验 ..... 199

四、汽车回正能力试验 ..... 199

五、转向盘角脉冲试验 ..... 200

六、转向盘中间位置操纵稳定性试验 ..... 200

参考文献 ..... 201

第六章 汽车的平顺性 ..... 203

第一节 人体对振动的反应和平顺性的评价 ..... 203

一、人体对振动的反应 ..... 203

二、平顺性的评价方法 ..... 205

第二节 路面不平度的统计特性 ..... 206

一、路面不平度的功率谱密度 ..... 207

二、空间频率功率谱密度  $G_q(n)$  化为时间频率功率谱密度  $G_q(f)$  ..... 208

三、路面对四轮汽车的输入功率谱密度 ..... 210

第三节 汽车振动系统的简化, 单质量系统的振动 ..... 212

一、汽车振动系统的简化 ..... 212

二、单质量系统的自由振动 ..... 214

三、单质量系统的频率响应特性 ..... 215

四、单质量系统对路面随机输入的响应 ..... 216

第四节 车身与车轮双质量系统的振动 ..... 222

一、运动方程与振型分析 ..... 222

二、双质量系统的传递特性 ..... 224

三、车身加速度、悬架弹簧动挠度和车轮相对动载的幅频特性 ..... 226

四、在路面随机输入下系统振动响应均方根值的计算 ..... 227

五、系统参数对振动响应均方根值的影响 ..... 228

六、主动与半主动悬架 ..... 231

第五节 双轴汽车的振动 ..... 238

一、振型分析 ..... 238

二、使  $\omega_\varphi < \omega_z$ , 减小俯仰角加速度 ..... 240

三、计算前、后轮双输入系统振动响应时的单轮输入折算幅频特性 ..... 241

四、轴距中心处垂直位移  $z_c$  和车身俯仰角位移  $\varphi$  对前轴上方车身位移  $z_{2f}$  的幅频特性 ..... 241



五、车身上任一点 $P$ 的垂直位移 $z_{2P}$ 对 前轴上方车身位移 $z_{2f}$ 的 幅频特性 .....	243	一、土壤切应力与剪切变形的关系 .....	254
六、 $z_{2P}$ 及 $\dot{\varphi}$ 功率谱密度和均方根值 的计算 .....	244	二、土壤法向负荷与沉降的关系 .....	255
第六节 “人体—座椅” 系统的 振动 .....	246	三、半流体泥浆及雪的密度对通过性 的影响 .....	256
一、“人体—座椅” 系统的传递特性 ..	246	第三节 车辆的挂钩牵引力 .....	257
二、“人体—座椅” 系统的参数选择 ..	248	一、车辆在松软地面上的土壤阻力 .....	257
第七节 汽车平顺性试验和数据 处理 .....	248	二、松软地面给车辆的土壤推力 .....	260
一、平顺性试验的主要内容 .....	248	三、挂钩牵引力 .....	263
二、平顺性试验数据的采集和处理 .....	250	第四节 牵引通过性计算 .....	263
参考文献 .....	251	第五节 间隙失效的障碍条件 .....	264
第七章 汽车的通过性 .....	252	一、顶起失效的障碍条件 .....	264
第一节 汽车通过性评价指标及几何 参数 .....	252	二、触头失效的障碍条件 .....	266
一、汽车支承通过性评价指标 .....	252	第六节 汽车越过台阶、壕沟的 能力 .....	267
二、汽车通过性几何参数 .....	252	第七节 汽车的通过性试验 .....	269
第二节 松软地面的物理性质 .....	254	一、通过性试验的主要内容 .....	269
		二、土壤参数的测定 .....	269
		参考文献 .....	271
		习题 .....	272



# 第一章 汽车的动力性

汽车的动力性系指汽车在良好路面上直线行驶时由汽车受到的纵向外力决定的、所能达到的平均行驶速度。汽车是一种高效率的运输工具，运输效率之高低在很大程度上取决于汽车的动力性。所以，动力性是汽车各种性能中最基本、最重要的性能。本章将从分析汽车行驶时的受力出发，建立行驶方程式，并以图表的形式按汽车动力性评价指标的要求确定汽车的动力性。

## 第一节 汽车的动力性指标

从获得尽可能高的平均行驶速度的观点出发，汽车的动力性主要可由三方面的指标<sup>①</sup>来评定，即：

- 1) 汽车的最高车速  $u_{\max}$ ；
- 2) 汽车的加速时间  $t^{\text{②}}$ ；
- 3) 汽车的最大爬坡度  $i_{\max}$ 。

最高车速是指在水平良好的路面（混凝土或沥青）上汽车能达到的最高行驶车速。

汽车的加速时间表示汽车的加速能力，它对平均行驶车速有着很大影响，特别是轿车，对加速时间更为重视。常用原地起步加速时间与超车加速时间来表明汽车的加速能力。原地起步加速时间指汽车由 I 挡或 II 挡起步，并以最大的加速强度（包括选择恰当的换挡时机）逐步换至最高挡后到某一预定的距离或车速所需的时间。超车加速时间指用最高挡或次高挡由某一较低车速全力加速至某一高速所需的时间。因为超车时汽车与被超车辆并行，容易发生安全事故，所以超车加速能力强，并行行程短，行驶就安全。一般常用 0→402.5m (0→1/4mile) 或 0→400m 的时间来表明汽车原地起步加速能力；也有用 0→96.6km/h (0→60mile/h) 或 0→100km/h 所需的时间来表明加速能力的。对超车加速能力还没有一致的规定，采用较多的是用最高挡或次高挡由 30km/h 或 40km/h 全力加速行驶至某一高速所需的时间；还有用加速过程曲线即车速-时间关系曲线全面反映加速能力的。图 1-1 是一些轿车的原地起步加速过程曲线。

① 进行动力性评价指标试验时，各国规定的载质量是不一样的，我国为满载，德国为半载。美国环境保护局（EPA）规定，有关排放等试验中轿车的载质量为 2 名体重 68kg 的乘员。不少汽车杂志有自己的评价轿车试验，一般在载质量为 100~180kg 之间来测定最高车速。

② 本书中，车速  $u_a$  的单位均为 km/h，加速时间的单位均为 s，因此它们在后面的数值方程中出现时，不再给出单位。