



“十二五”普通高等教育车辆工程专业规划教材

汽车理论 (第二版)

QICHE LILUN

吴光强 主编



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.



“十二五”普通高等教育车辆工程专业规划

汽车理论 (第二版)

QICHE LILUN

吴光强 主编



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书共分7章,其主要内容包括:作用在汽车上的外力,汽车的动力性,汽车经济性和排放性,汽车的制动性,汽车的操纵稳定性,汽车的噪声与振动性能,汽车的通过性。

本书可作为普通高等院校车辆工程专业的教材,也可供相关专业的技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

汽车理论 / 吴光强主编. —2 版. —北京:人民交通出版社股份有限公司,2014.8

“十二五”普通高等教育车辆工程专业规划教材

ISBN 978-7-114-11612-4

I. ①汽… II. ①吴… III. ①汽车工程—高等学校—教材 IV. ①U461

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 186942 号

“十二五”普通高等教育车辆工程专业规划教材

书 名: 汽车理论(第二版)

著 作 者: 吴光强

责任编辑: 夏 韡 时 旭

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 20.5

字 数: 470 千

版 次: 2007 年 2 月 第 1 版

2014 年 8 月 第 2 版

印 次: 2014 年 8 月 第 1 次印刷 总第 3 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-11612-4

定 价: 46.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

“十二五”普通高等教育车辆工程专业规划教材

编委会名单

编委会主任

龚金科(湖南大学)

编委会副主任(按姓名拼音顺序)

陈南(东南大学) 方锡邦(合肥工业大学) 过学迅(武汉理工大学)
刘晶郁(长安大学) 吴光强(同济大学) 于多年(吉林大学)

编委会委员(按姓名拼音顺序)

蔡红民(长安大学) 陈全世(清华大学) 陈鑫(吉林大学)
杜爱民(同济大学) 冯崇毅(东南大学) 冯晋祥(山东交通学院)
郭应时(长安大学) 韩英淳(吉林大学) 何耀华(武汉理工大学)
胡骅(武汉理工大学) 胡兴军(吉林大学) 黄韶炯(中国农业大学)
兰巍(吉林大学) 宋慧(武汉科技大学) 谭继锦(合肥工业大学)
王增才(山东大学) 阎岩(青岛理工大学) 张德鹏(长安大学)
张志沛(长沙理工大学) 钟诗清(武汉理工大学) 周淑渊(泛亚汽车技术中心)

第二版前言

近年来,随着汽车工业的快速发展,中国已成为名副其实的汽车大国,但不是汽车强国,培养高素质的汽车人才依然是当务之急,此外,汽车理论,尤其是新能源汽车理论也在不断完善与发展过程中,因此,编写适应新形势的汽车理论教材具有重要的意义。与第一版相比,再版的《汽车理论》主要根据汽车的几方面性能,组织教材的内容,其主要特点包括以下几个方面。

(1)各章按照“指标”——“分析和计算”——“综合评价”(其中包括实验)的框架组织和安排内容。

(2)各章内容组织时,均融入了新能源汽车,包括电动汽车(EV)、混合动力汽车(HEV)与燃料电池电动汽车(FCV)的有关内容,主要有:

①动力性部分,新增EV、HEV与FCV的动力性计算与评价;

②经济性与排放性部分,新增EV、HEV和FCV的相关内容;

③制动性部分,新增新能源汽车的制动能量回收内容(复合制动),传统汽车部分增加发动机辅助制动内容,评价部分融入制动升温等的内容。

(3)将传统的平顺性扩充为汽车的NVH性能,包括新能源汽车的特性。

(4)新增汽车的通过性,对几何通过性、牵引通过性等作概述性的介绍。

第一版《汽车理论》于2007年问世,是“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”,出版后引起了良好的社会反响,曾于2008年荣获上海汽车工业教育基金会优秀著作二等奖,于2011年荣获上海普通高校优秀教材奖一等奖。

本书的编写分工为:第2章的2.6~2.7、第3章的3.6、第4章的4.7由赵治国编写;第6章由左曙光编写;第7章由陈辛波编写;其余章节由吴光强编写。全书由吴光强统稿与主编,余卓平主审。

本书得到上海汽车工业教育发展基金会资助,在此表示诚挚的谢意。该书的编写得到了上海大众汽车有限公司高全均和上汽集团技术中心张成宝以及我的多位研究生的帮助,在此一并致谢!

最后,限于学识与经验,书中难免存在不足和错误之处,殷切期望使用本教材的高校师生和广大读者不吝指教,多加批评指正,以便于将来修改与完善。

吴光强

2014年03月于同济大学

第一版前言

汽车作为重要的运载器具,正在不断地改变着世界,影响社会与人们的生活。在一个短的时间内开发出新的车型对汽车工业企业至关重要,将影响市场的占有率和经济上的利益,关系到企业的生存与发展。汽车设计与制造过程中,需进行整车性能的分析,在产品开发初期就能对其性能做出预测与评价,并进行系统与结构的优化,以利用低成本、快速开发出高质量的汽车产品。在这个方面,车辆动力学的模型建立、数字仿真等手段具有日益增加的重要性,它可在开发的前期,在没有物理样机的条件下进行(数字)试验和评估。此外,汽车本身由于技术的发展、使用及不同用户更高的要求等原因,也出现了显著的变化,为此,需要在汽车、力学和自动控制等相关学科理论与方法的基础上,借助有关工具,进一步进行汽车理论的研究,这同时也是培养高素质汽车专门人才的需要。

本书在各章节具体内容的组织上,主要考虑和根据车辆坐标系的方向、驾驶员的操作输入及其他扰动的不同类型等。这样就使得其特色表现在以下几个方面:

①首先从充气轮胎力学、空气动力学入手,确定汽车行驶过程中所受到的外力;

②根据车辆坐标系的方向,分析与提出汽车性能的3个部分内容:纵向动力学相关的汽车性能(动力性、制动性),侧向动力学相关的汽车性能(低速时的转向性能与高速时的操纵稳定性),垂向动力学相关的汽车平顺性(振动与噪声);

③增加了电动汽车经济性与混合动力等汽车排放性能的计算;

④融入主动与被动安全性的内容;

⑤增加了新能源汽车,包括电动汽车、混合动力及燃料电池汽车的相关理论。

这样既体现了本版《汽车理论》教材的编写特色,又不失现有的《汽车理论》教材中按汽车性能编写的整体思路。

该书编写的分工依章节的次序分别为:

第1章、第2章的2.6~2.10由张洪欣教授编写;第2章的2.1~2.5(初稿)由吴小清副教授编写;第3章由何东伟副教授编写;第4章由陈辛波教授编写;第5章、第8章由吴光强教授编写,并对第2章进行了修改与补充;第6章由孟宪皆副教授编写;第7章由朱西产教授编写。全书由吴光强教授统稿与审定。

在编写过程中,得到了杨伟斌、方杰等的帮助,在此表示感谢!此外,对引用文献和引用了但没有列出的作者表示真诚的谢意!

最后,热切地期望使用本教材的高校师生和读者批评指正,以便再版时修改完善。

编 者

2006年10月于同济大学

主编简介



吴光强,同济大学汽车学院教授、博士生导师,(日本)东京大学生产技术研究所客员教授,曾任(德国)斯图加特大学工程与计算力学研究所访问教授、(美国)密歇根大学汽车研究中心访问教授,创建了“中日联合汽车先端技术研究中心”与“同济-萨克斯液力传动联合研究所”,并担任其负责人。

兼任国家科技进步奖励评审专家,国家“青年千人计划”评审专家,上海市科学技术委员会技术预见专家,中国机械工程学会流体传动与控制分会委员,上海市汽车专业高级专业技术职务评审专家,中国标准化汽车变速器标准化委员会委员,美国汽车工程师学会(Society of Automotive Engineers, SAE)高级会员, Load Simulation and Vehicle Performance: Nonlinear Components/Systems 分会的 Organizer, 美国机械工程师学会(American Society of Mechanical Engineers, ASME)会员, 国际杂志 International Journal of ITS Research 的责任编辑等。

一直从事汽车先进设计与仿真理论及方法、汽车非线性系统与结构动力学及其智能控制,以及汽车主动安全性,特别是整车动力学集成控制及各种自动变速器等方面的理论与技术研究,包括新能源汽车的有关技术。在“Vehicle System Dynamics”, “International Journal of Vehicle Design”和《机械工程学报》等国内外重要学术刊物及国际学术会议上发表论文 230 余篇,且已有约 100 篇收录入 SCL/EI; 出版《车辆静液驱动与智能控制系统》、《汽车数字化开发技术》(机械工业出版社高水平著作基金资助)等专著,出版“Fahrzeugdynamik”译著,这些图书为美国、日本等国的多所著名大学图书馆所馆藏;主持过国家高技术研究发展计划(863)、国家自然科学基金项目、与美国及德国的国际合作课题等 40 余项,获国家发明专利 18 项、实用新型专利 6 项,获国家计算机软件著作权 21 项,负责制定国家标准 2 项、修订汽车行业标准 3 项,荣获霍英东教育基金会高等院校青年教师基金奖,作为第一完成人获省部级技术发明奖二等奖 1 项、三等奖 1 项,省部级科技进步奖二等奖 2 项、三等奖 4 项,省部级教学成果奖二等奖 2 项,上海普通高校优秀教材奖一等奖 1 项,上海汽车工业教育基金会优秀著作二等奖 2 项,并获中国汽车工业优秀青年科技人才奖、通用汽车中国高校汽车领域创新人才奖等。此外,被评为上海市第八届曙光学者。

吴光强教授与欧洲、美国及日本等地区及国家的一流大学及著名教授有着较广泛的合作与交往,在国际学术界具有较高的影响,其曾应邀在东京大学组织的 MOVIC2010(The 10th International Conference on Motion and Vibration Control), SAE 2014 World Congress 等多个重要国际学术会议上作大会报告(Keynote Address)或特邀报告(Invited Speech)。

常用符号表

第1章 作用在汽车上的外力

物理量	代号	单位	物理量	代号	单位
力	F	N	制动力系数	φ_b	
力矩	T	N·m	外倾角	γ	rad 或(°)
车速	v_a	km/h	附着系数	φ	
纵向力	F_x	N	侧偏角	α	rad 或(°)
侧向力	F_y	N	车轮半径	r	m
地面法向反作用力	F_z	N	自由半径	r_0	m
滚动阻力	F_f	N	静力半径	r_s	m
空气阻力	F_w	N	滚动半径	r_r	m
穿水阻力	F_{sch}	N	诱导阻力系数	C_{xi}	
前束阻力	F_v	N	气动侧向力系数	C_y	
气动阻力	F_{ax}	N	汽车与空气相对速度	v_r	m/s
诱导阻力	F_{xi}	N	汽车正投影面积	A	m ²
外倾侧向力	F_{yy}	N	俯仰力矩系数	C_{My}	
回正力矩	T_z	N·m	汽车特征长度	L	m
滑动率	s		侧风速度	W	m/s
滚动阻力系数	f		来流侧偏角	β_w	rad 或(°)
侧偏刚度	k_α	N/rad	气动切向力系数	C_T	
外倾刚度	k_γ	N/rad			

第2章 汽车的动力性

物理量	代号	单位	物理量	代号	单位
汽车最高车速	v_{amax}	m/s	动力因数	D	
道路坡度角	θ	rad 或(°)	道路阻力系数	ψ	
道路坡度	i_R		重力加速度	g	m/s ²
汽车质量	m	kg	变速器输入轴转矩	T_g	N·m
汽车重力	G	N	电动机输出转矩	T_M	N·m
发动机转矩	T_e	N·m	变速器输入轴转速	n_g	r/min
发动机功率	P_e	kW	电动机转速	n_M	r/min
发动机转速	n_e	r/min	齿轮传动效率	η_c	
变速器传动比	i_g		齿轮传动比	i_c	

续上表

物理量	代号	单位	物理量	代号	单位
主减速器传动比	i_0		太阳轮转速	n_s	r/min
传动系机械效率	η_T		齿圈转速	n_r	r/min
传动系功率损失	P_T	kW	太阳轮转矩	T_s	N·m
旋转质量换算系数	δ		齿圈转矩	T_r	N·m
驱动力	F_t	N	行星排输出轴转矩	T_{out}	N·m
汽车质心高度	h_g	m	行星排输出轴转速	n_{out}	r/min
风压中心高度	h_w	m	汽车消耗的总能量	$E_m(t)$	J
坡度阻力	F_i	N	燃料支路消耗的能量	$E_f(t)$	J
加速阻力	F_j	N	电力支路消耗的能量	$E_e(t)$	J
道路阻力	F_ψ	N	车轮转速	ω_w	rad/s
车轮转动惯量	I_w	kg·m ²	车轮转矩	T_w	N·m
飞轮转动惯量	I_f	kg·m ²	燃料热值	H_{LHV}	kJ/kg
旋转质量惯性力	F_{jr}	N	燃料质量	m_f	kg
汽车轴距	l	m	蓄电池电流	I_b	A
汽车质心至前轴距离	l_f	m	蓄电池电压	U_b	V
汽车质心至后轴距离	l_r	m	蓄电池消耗功率	P_b	kW
液力变矩器的转速比	i		燃油消耗功率	P_f	kW
液力变矩器的变矩比	K		发动机排量	Le	L
泵轮转矩系数	λ_p	min ² / (m·r ²)	发动机转动惯量	I_c	kg·m ²
液力变矩器透穿性系数	C		电机最高转速	n_{Mmax}	r/min
空气阻力系数	C_D		电机额定转速	n'_M	r/min

第3章 汽车经济性和排放性

物理量	代号	单位	物理量	代号	单位
燃料消耗率	b	g/(kW·h)	电动机过载系数	λ_M	
单位时间燃料消耗量	Q_t	mL/s	电动机最大转矩	T_{Mmax}	N·m
百公里燃料消耗量	Q_s	L/100km	电动机额定转矩	T'_M	N·m
百公里能耗	E	kW·h	电动机的扩大恒功率区系数	β_M	
续航里程	S	km	平均行驶阻力功率	P_{av}	kW
汽油热值	ΔQ	MJ/SOCkg	燃料电池功率	P_{fec}	kW
百公里等效燃油消耗量	Q_E	L/100km	蓄电池功率	P_{bat}	kW
燃油消耗体积	V_E	L	燃料电池汽车的混合度	H	
电机最大功率	P_{Mmax}	kW	发动机怠速转速	n_{idl}	r/min
电机基速	n_b	r/min	APU 标定输出功率	P_{APU}	kW
电机额定功率	P'_M	kW			

第 4 章 汽车的制动性

物 理 量	代号	单 位	物 理 量	代号	单 位
制动器摩擦力矩	T_{μ}	N · m	制动效能因数	K_{ef}	
制动器制动力	F_{μ}	N	制动器作动力作用半径	r_c	m
地面制动力	F_b	N	整车质心惯性力	F_j	N
制动踏板力	F_p	N	制动力分配系数	β	
附着力	F_{φ}	N	同步附着系数	φ_0	
制动减速度	a_b	m/s ²	前轴利用附着系数	φ_f	
停车时间	T_b	s	后轴利用附着系数	φ_r	
制动距离	S_b	m	制动缸压力	$p(t)$	MPa
制动强度	z		制动器摩擦系数	μ	
附着系数利用率	ε		车轮转动角速度	ω	rad/s
峰值附着系数	φ_p		制动器增益	K_T	m ³

第 5 章 汽车的操纵稳定性

物 理 量	代 号	单 位	物 理 量	代 号	单 位
转向半径	R	m	稳态横摆角速度增益	$\frac{\omega_r}{\delta} \Big _s$	s ⁻¹
轮距	S_t	m	质心总的速度	V	m/s
悬架质量中心高度	H_{cg}	m	整车质量	M	kg
转向轮等效转动惯量	I_s	kg · m ²	悬架质量	M_s	kg
转向盘等效转动惯量	I_h	kg · m ²	侧倾角速度	p	rad/s 或 (°/s)
转向系统刚度	k_s	N · m/rad	前回正力矩刚性	N_1	N · m/rad
转向盘等效阻尼系数	c_h	N · m/s	后回正力矩刚性	N_2	N · m/rad
转向轮等效阻尼系数	c_s	N · m/s	前侧倾转向系数	E_f	
质心侧偏角	β	rad 或 (°)	后侧倾转向系数	E_r	
轮胎拖距	ξ_n	m	前悬架侧倾角阻尼	D_f	N · m · s/rad
主销后倾拖距	ξ_c	m	后悬架侧倾角阻尼	D_r	N · m · s/rad
转向盘力矩	T_h	N · m	前悬架侧倾角刚度	$C_{\phi 1}$	N · m/rad
电动机助力力矩	T_a	N · m	后悬架侧倾角刚度	$C_{\phi 2}$	N · m/rad
横摆角速度	ω_r	rad/s 或 (°/s)	侧倾力臂长度	H_{cr}, h	m
转向轮转角	δ	rad 或 (°)	稳定性因数	K	rad · s ² /m ²
前轮转角	δ_f	rad 或 (°)	转向系统固有频率	W_s	rad/s
后轮转角	δ_r	rad 或 (°)	临界车速	v_{cr}	m/s
转向盘转角	α	rad 或 (°)	手、腕与转向盘间的等效刚度	k_h	N · m/rad
质心侧向速度	v	m/s	侧翻阈值	rT	
质心纵向速度	u	m/s	轴荷分配系数	rL	

续上表

物 理 量	代号	单位	物 理 量	代号	单位
前轮侧偏角	β_f	rad 或($^\circ$)	侧倾力矩	M_b	N·m
后轮侧偏角	β_r	rad 或($^\circ$)	侧倾刚度分配系数	rR_i	
侧偏力	F_Y	N	前后载荷转移系数	ldD_i	
绕 i 轴转动惯量	$I_i (i=x, z)$	kg·m ²	转弯时外侧轮胎力的分配系数	ldU_{oi}	
前轴轮距	d_f	m	车辆转弯时内侧轮胎垂向力的分配系数	ldU_{ij}	
后轴轮距	d_r	m	悬架弹簧跨距	S_s	m
前胎侧偏刚度	k_f	N/rad	轮胎刚度(垂直)	K_t	N/m
后胎侧偏刚度	k_r	N/rad	气动侧向力	Y_w	N
质心侧偏角增益	$\left. \frac{\beta}{\delta} \right _s$		气动横摆力矩	N_w	N·m
静态储备系数	$S. M.$		横摆力矩系数	C_{MZ}	
固有圆频率	W_0	rad/s	侧风等效作用中心与车辆质心间距离	l_w	m
阻尼比	ζ		车辆 NSP 和车辆质心间距离	l_N	m
航向角	ψ	rad 或($^\circ$)	侧向加速度	a_y	m/s ²
侧倾角	ϕ	rad 或($^\circ$)	侧向加速度稳态值	a_{ys}	m/s ²
惯性积	I_{xz}	kg·m ²	纵倾角	ρ	rad 或($^\circ$)
悬架质量绕车身重心纵轴的转动惯量	I_{xc}	kg·m ²	车轮纵向滑移率	s_x	

第 6 章 汽车的噪声与振动性能

物 理 量	代号	单位	物 理 量	代号	单位
声压级	L_p	dB	悬架质量分配系数	ε	
声功率级	$L_{\bar{w}}$	dB	频率指数	W	m
声强级	L_I	dB	车身垂直位移	z_2	m
响度级	L_N	phon	频率响应函数	$H(\omega)$	
悬架刚度	K	N/m	频率比	λ	
路面不平度系数	$G_q(n_0)$	m ² /m ⁻¹	车轮垂直位移	Z_i	m
频率	f	Hz	激振频率	ω	rad/s
悬架动挠度	δ_d	m	路面不平度	q	m
车轮与路面间的动载	F_d	N	相位角	ψ	($^\circ$)
阻尼系数	C	N·s/m	标准差	σ	
车身质量(悬架质量)	m_2	kg	空间频率	n	m ⁻¹
车轮质量(非悬架质量)	m_1	kg	刚度比	γ	
自相关函数	$R(\tau)$	m ²	质量比	μ	
自功率谱密度函数	$G(f)$	m ² ·s			

第7章 汽车的通过性

物 理 量	代号	单 位	物 理 量	代 号	单 位
牵引系数	TC		轮胎与土壤接触面积	A_c	m^2
挂钩牵引力	F_d	N	轮胎垂直载荷	W_t	N
牵引效率(驱动效率)	TE		土壤位移	j	m
驱动轮动力半径	r_d	m	土壤切应力-位移曲线模量	j_0	m
燃料利用指数	E_f	J/L	接地面积的长度	l_c	m
附着质量	m_φ	kg	沙土变形指数	n	
附着质量系数	K_φ		沙土变形模量	K_E	N / m^{n+2}
车轮接地比压	p	kPa	推力	F_T	N
轮胎气压	p_a	kPa	牵引力	F_q	N
最小离地间隙	h	m	地面附着力允许的牵引力	F_a	N
纵向通过角	β_p	(°)	下陷量	z	m
接近角	γ_1	(°)	汽车中部地隙	h_m	m
离去角	γ_2	(°)	地隙直径	D_r	m
土壤推力	F_p	N	障碍物高度	h_b	m
土壤阻力	F_r	N	分动器传动比	i'_R	
土壤黏聚系数	c	Pa			

目 录

第1章 作用在汽车上的外力	1
1.1 轮胎力及其特性	1
1.2 气动力及其特性	25
参考文献	33
第2章 汽车的动力性	34
2.1 汽车动力性及其评价指标	34
2.2 汽车行驶驱动力与行驶阻力	35
2.3 汽车行驶的驱动—附着条件与汽车的附着力	41
2.4 汽车的动力性分析	46
2.5 汽车动力性的主要影响因素	58
2.6 电动汽车动力系统原理及驱动能量管理	61
2.7 电动汽车动力装置参数及换挡规律确定	79
参考文献	85
第3章 汽车经济性和排放性	87
3.1 汽车燃料经济性的评价指标	87
3.2 汽车燃料经济性的计算方法	92
3.3 汽车排放性	98
3.4 电动汽车的燃料经济性	99
3.5 影响汽车经济性的因素	108
3.6 电动汽车动力系统关键部件参数匹配	117
参考文献	124
第4章 汽车的制动性	125
4.1 汽车制动性的评价指标及轮胎受力	125
4.2 汽车的制动效能及其恒定性	126
4.3 汽车制动时的方向稳定性	130
4.4 制动力分配及其调节	132
4.5 发动机辅助制动作用及其对汽车制动性能的影响	148
4.6 汽车防抱死制动系统(ABS)	154
4.7 电动汽车制动系统构型及复合制动控制	160
参考文献	166
第5章 汽车的操纵稳定性	167
5.1 概述	167
5.2 汽车转向系统特性与动力学模型建立	170
5.3 汽车电动助力转向系统(EPS)	174

5.4	汽车操纵稳定性模型建立使用的坐标系及运动学分析	177
5.5	基于两自由度模型的操纵稳定性分析	179
5.6	转向系统对汽车操纵稳定性的影响	196
5.7	汽车的四轮转向对转向及操纵稳定性的影响	201
5.8	汽车操纵稳定性与悬架的关系	208
5.9	传动系统对汽车操纵稳定性的影响	217
5.10	侧风对汽车稳定性的影响	221
5.11	汽车电子稳定性程序(ESP)	225
	参考文献	233
第6章	汽车的噪声与振动性能	234
6.1	概述	234
6.2	汽车噪声与振动性能的评价	235
6.3	动力源的噪声与振动	243
6.4	路面激励下的轮胎噪声与振动	255
6.5	风激励噪声	262
6.6	汽车振动的传递及评价	265
6.7	汽车车内噪声的产生及传播途径	285
	参考文献	287
第7章	汽车的通过性	289
7.1	汽车通过性评价指标及几何参数	289
7.2	牵引通过性计算	292
7.3	间隙失效的障碍条件	296
7.4	汽车越过台阶或壕沟的能力	298
7.5	汽车通过性的影响因素	300
7.6	汽车通过性试验	305
	参考文献	308
	复习题	309

第 1 章 作用在汽车上的外力

汽车受到的外力(除重力以外),主要来自地面和车周围气流的反作用力。本章首先介绍由轮胎与地面间相互作用而引起的、作用在轮胎上的力和力矩及其各种力学性能,然后介绍空气与运动中车辆之间相互作用而引起的气动力及其力学性能。考虑到内容的连贯性,汽车驱动力的内容将放在第 2 章介绍。

1.1 轮胎力及其特性

1.1.1 轮胎的描述

轮胎是汽车上一个重要部件,支承整车,缓和因路面不平对车辆形成的冲击力,为驱动和制动提供良好的附着作用,直接影响汽车的操纵稳定性,许多使用性能与轮胎有关。因此对轮胎要求也很高,主要有以下几点:

- (1) 要有足够的强度和寿命,气密性好,保持行驶安全;
- (2) 良好的弹性和阻尼特性,与悬架一起缓和因路面不平引起的振动和冲击,噪声要小,保证乘坐舒适和安全;
- (3) 胎面花纹要增强与地面的附着性,保证必要的驱动力和制动效能;
- (4) 轮胎变形时,材料中摩擦损失或迟滞损失要小,以保证滚动阻力小;
- (5) 轮胎侧偏特性好,保证转向灵敏和良好的方向稳定性。

现代汽车大都采用充气轮胎,充气轮胎按组成结构不同,又分为有内胎轮胎和无内胎轮胎两种。充气轮胎按胎体中帘线排列的方向不同,还分为普通斜交胎、带束斜交胎和子午线轮胎。

轮胎种类是通过规格划分的,轮胎规格由以下几部分组成:

- (1) 轮胎宽度(mm),即轮胎断面宽度;
- (2) 扁平率(%);
- (3) 轮胎结构形式;
- (4) 轮辋直径(in 或 mm);
- (5) 工作标记(包括速度标记 GSY 和负荷指数 LI),见表 1-1 和表 1-2。

速 度 标 记

表 1-1

速度标记(GSY)	最高车速(km/h)	速度标记(GSY)	最高车速(km/h)
F	80	R	170
M	130	S	180
P	150	T	190
Q	160	H	210

负荷指数 (LI)

表 1-2

LI	承载能力(kg)	LI	承载能力(kg)	LI	承载能力(kg)	LI	承载能力(kg)
50	190	65	290	80	450	95	690
51	195	66	300	81	462	96	710
52	200	67	307	82	475	97	730
53	206	68	315	83	487	98	750
54	212	69	325	84	500	99	775
55	218	70	335	85	515	100	800
56	224	71	345	86	530	101	825
57	230	72	355	87	545	102	850
58	236	73	365	88	560	103	875
59	243	74	375	89	580	104	900
60	250	75	387	90	600	105	925
61	257	76	400	91	615	106	950
62	265	77	412	92	630	107	975
63	272	78	425	93	650	108	1000
64	280	79	437	94	670	109	1030

轮胎规格示例如下：

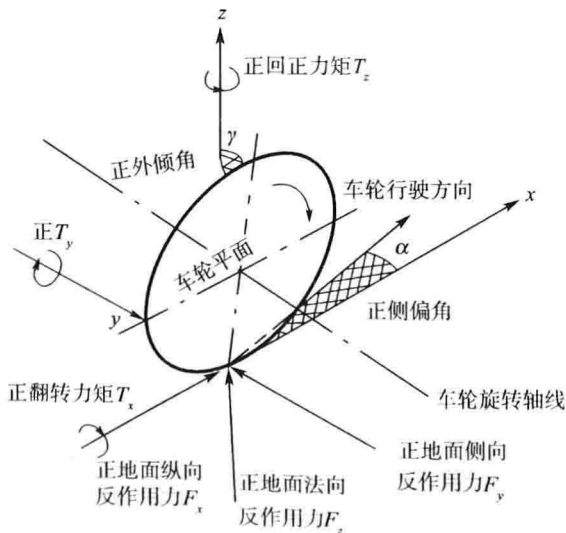
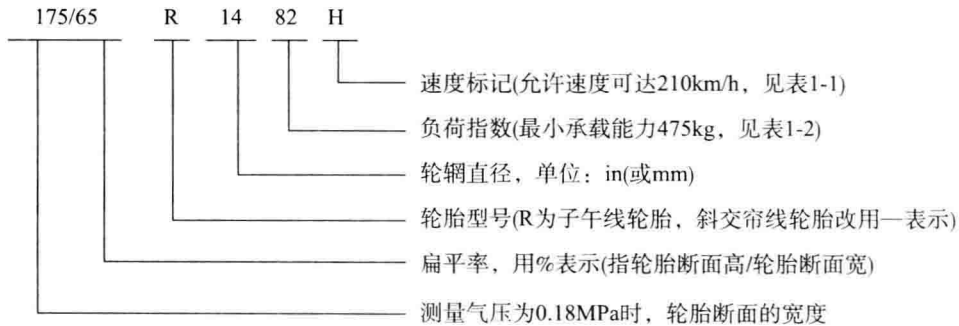


图 1-1 轮胎坐标系

1.1.2 作用在轮胎上的力和力矩

为了分析作用在轮胎上的各种力和力矩,必须有一个统一的参考坐标系,图 1-1 是一种比较通用的坐标系,其原点是轮胎接地面的中心。

x 轴是车轮平面(即轮胎的中分面)与地面的交线,前进方向为正, z 轴垂直于路面,向上为正, y 轴在地平面内,规定面向轮胎前进方向时指向左方为正。地面对轮胎作用有三个力和力矩,即图中 F_x, F_y, F_z 和 T_x, T_y, T_z ,这六个量称为轮胎六分力,其名称及意义见表 1-3。

符 号	名 称	意 义
F_x	纵向力	地面对轮胎的反作用力沿轮胎坐标系 x 轴分量
F_y	侧向力	地面对轮胎的反作用力沿轮胎坐标系 y 轴分量
F_z	法向力	地面对轮胎的反作用力沿轮胎坐标系 z 轴分量
T_x	翻转力矩	地面对轮胎反作用力绕 x 轴产生的力矩
T_y	滚动阻力矩	地面对轮胎反作用力绕 y 轴产生的力矩
T_z	回正力矩	地面对轮胎反作用力绕 z 轴产生的力矩

1.1.3 轮胎纵向力学特性

本节主要研究滚动阻力、驱动力和制动力与轮胎参数及地面状况的关系。

1) 滚动阻力

由于轮胎的内摩擦产生弹性迟滞损失,在软路面上由于地面变形和沉陷以及轮胎与地面间的局部滑移,地面沿轮胎的法向反力总是偏前一距离 a ,使地面反力与车轮上垂直负荷 W 形成力偶 $F_z a$,它起到阻止运动的作用,称为滚动阻力偶。由图 1-2 可知,欲使从动轮滚动,必须在车轮中心施加推力 F_{p1} ,根据平衡条件,它引起地面切向反力 F_f ,此力阻碍车轮滚动,故称为滚动阻力 F_f ,此二力大小相等,方向相反,并构成一对力偶矩来克服上述滚动阻力偶,可用下式表示:

$$T_f = F_{p1} \cdot r = F_z \cdot a \quad \text{或} \quad F_{p1} = F_z \cdot \frac{a}{r} \tag{1-1}$$

式中: r ——车轮半径。

令 $f = \frac{a}{r}$,考虑到 $F_z = W, F_f = F_{p1}$,得:

$$F_f = Wf \tag{1-2}$$

式中: F_f ——滚动阻力;

f ——滚动阻力系数。

式(1-2)表明,滚动阻力等于滚动阻力系数与车轮垂直载荷(或地面法向反作用力)之乘积。

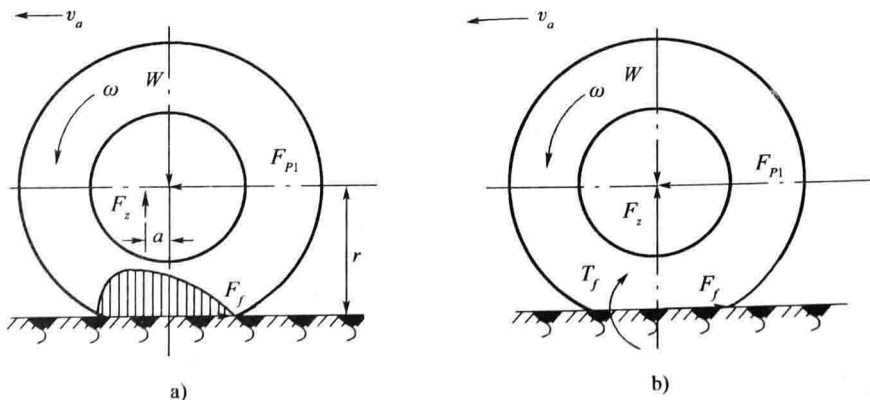


图 1-2 从动轮受力情况

(1) 直线行驶时滚动阻力。

① 硬路面。