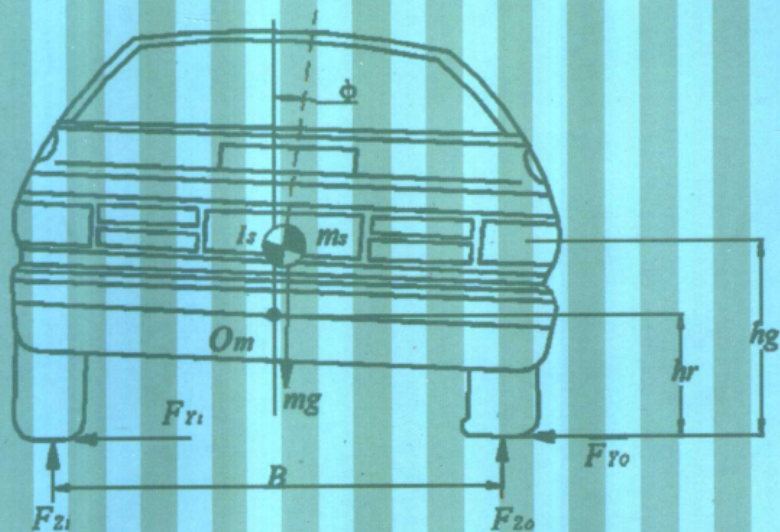


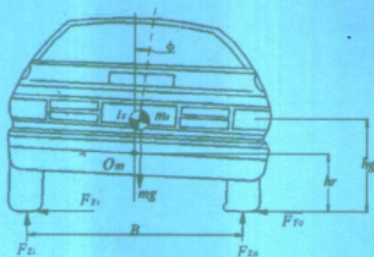
QICHEDONGLIXUE

汽车动力学

何 锋 杨 宁 / 编著



QICHEDONGLIXUE



责任编辑/段湘林 封面设计/石俊生

ISBN 7-80662-245-4



9 787806 622452 >

ISBN7-80662-245-4

TH·002 定价:20.00元

汽车动力学

何 锋 杨 宁 编著

贵 州 科 技 出 版 社

· 贵 阳 ·

图书在版编目(CIP)数据

汽车动力学/何锋,杨宁编著. —贵阳:贵州科技出版社,2003.4

ISBN 7-80662-245-4

I.汽... II.①何...②杨... III.汽车—动力学
IV.U461.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第023288号

贵州科技出版社出版发行

(贵阳市中华北路289号 邮政编码:550004)

出版人:丁 聪

贵阳佳美印务有限公司印刷 贵州省新华书店经销

850 mm×1 194 mm 32开本 9印张 250千字

2003年4月第1版 2003年4月第1次印刷

印数1~2 000 定价:20.00元

内 容 提 要

本书根据作用在汽车上的外力特性,从分析轮胎与地面相互作用的力及轮胎的力学特性出发,对汽车的动力性、制动性、操纵稳定性、侧翻及平顺性等进行了详细的理论分析,同时简要介绍了汽车各使用性能的评价指标、评价方法及试验方法。注重对汽车动力学基本理论及基本研究方法的介绍,具有一些较新的研究内容。

本书可作为高校汽车及交通运输专业师生的教材或教学参考书,也可供从事汽车设计、试验及服务的工程技术人员参考。

前 言

近年来我国汽车工业迅猛发展,已成为国民经济的支柱产业之一。随着科学技术水平的不断提高,为汽车工业的发展创造了有利条件。但同时也带来了能源、环保和交通拥堵与事故的多发等问题。因此,不断地开发、研究和创新汽车技术对汽车工业的可持续发展和环境保护具有重要意义。

汽车动力学是伴随着汽车的出现而发展起来的一门专业学科。随着道路交通条件的不断改善,汽车性能的进一步提高,对汽车动力学的研究提出了一个又一个的新要求。

20世纪90年代初,我在加拿大卡尔顿大学(Carleton University)师从于世界著名的汽车动力学专家黄祖元教授(Dr. J. Y. Wong),学习《地面车辆原理》和《地面运输技术》,同时在加拿大国家研究院(NRC)汽车动力学实验室(现为地面运输技术中心CSTT)参加载重汽车侧倾稳定性和汽车动态车轮载荷对道路的破坏等课题的研究,与同在实验室的奥根迪(M. El-Gindy)、伍德鲁夫(J. H. Woodrooffe)和普雷斯顿-托马斯(J. Preston-Thomas)等许多汽车动力学领域的专家一起工作。1992年赴英国剑桥大学参加第三届国际载重汽车重量与尺寸研讨会,会议期间通过与西博(D. Cebon)、范奇(P. S. Fancher)和温克尔(C. B. Winkler)等来自世界各国的汽车动力学专家的交流,使我感受到汽车动力学研究在世界各国所处的重要位置。随着道路交通运输的迅速发展,特别是现代汽车高性能化的发展趋势,世界各国对汽车动力学

的研究非常活跃,每年都有大量的汽车动力学研究成果发表。

目前,我国汽车及其相关行业中汽车动力学的研究和应用已得到充分重视,为了大力推广这门学科的应用并促进其发展,通过对汽车动力学大量相关资料的收集,结合多年来从事汽车专业的教学和科研实践,我们编写了这本书。其目的是通过对汽车动力学的介绍,为了解当今世界汽车动力学的最新研究成果提供基础,并为学习汽车专业的学生和从事汽车设计及研究的人员提供参考。同时,也希望非汽车专业人员能够理解其中的大部分内容,为从事与汽车技术相关的工作提供帮助。

本书以经典力学为基础研究汽车的运动性能,力求展现基本概念和基本理论,并对选材进行了精简,以使重点突出。书中阐述了汽车充气轮胎的力学特性,详细介绍了汽车动力性,并简要介绍了汽车的燃油经济性和动力装置参数的选择,同时介绍了汽车的制动性,重点分析了汽车的操纵稳定性,并将汽车的侧翻作为单独的一章进行讨论,最后介绍了汽车的平顺性。全书共分七章,其中前六章由何锋编写,第七章由杨宁编写。

本书编写中参考了中外作者的汽车动力学相关教材和书籍,得到了贵州工业大学机械工程与自动化学院老师们的热情鼓励和大力帮助,杨文杰、杨利勇对书中插图进行了处理工作,在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限,时间仓促,书中内容一定有不当和错误之处,恳请读者批评指正。

何 锋

2002年12月于贵州工业大学

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 汽车的定义与历史.....	(1)
第二节 汽车动力学的发展.....	(4)
第三节 汽车动力学简介.....	(6)
第四节 建立汽车模型的基本方法.....	(9)
第二章 轮胎力学	(12)
第一节 轮胎的结构与规格	(12)
第二节 轮胎的坐标系与术语	(16)
第三节 轮胎的滚动阻力	(18)
第四节 轮胎切向力与附着性能	(27)
第五节 轮胎的侧偏特性	(34)
第六节 轮胎在湿路面上的性能	(47)
第七节 轮胎的垂直振动特性	(50)
第三章 汽车的动力性	(54)
第一节 汽车的动力性指标	(54)
第二节 汽车的驱动力、行驶阻力与行驶方程.....	(55)
第三节 汽车的行驶特性图	(72)
第四节 汽车的动力性分析	(76)
第五节 汽车行驶的附着条件与附着率	(79)
第六节 汽车的燃油经济性	(89)
第七节 汽车动力装置参数的选择.....	(102)
第四章 汽车的制动性	(108)
第一节 制动性的评价指标.....	(108)

第二节	车轮上所受的制动力	(109)
第三节	制动效能及其恒定性	(111)
第四节	制动强度、附着系数利用率及品质系数	(120)
第五节	制动力分配	(121)
第六节	制动稳定性	(129)
第七节	制动防抱死装置	(137)
第八节	汽车的制动性试验	(144)
第五章	汽车的操纵稳定性	(150)
第一节	线性二自由度汽车模型	(151)
第二节	稳态响应	(154)
第三节	汽车稳态转向特性道路试验	(161)
第四节	瞬态响应	(165)
第五节	横摆角速度频率响应特性	(174)
第六节	汽车悬架对操纵稳定性的影响	(177)
第七节	汽车转向系对操纵稳定性的影响	(193)
第八节	汽车传动系对操纵稳定性的影响	(201)
第六章	汽车的侧翻	(206)
第一节	刚性汽车的准静态侧翻	(207)
第二节	带悬架汽车的准静态侧翻	(209)
第三节	载重汽车的准静态侧翻	(210)
第四节	汽车的瞬态侧翻	(213)
第五节	汽车的侧倾试验台	(216)
第七章	汽车的平顺性	(218)
第一节	汽车振动的输入	(218)
第二节	汽车平顺性模型	(235)
第三节	人体对振动的反应和平顺性的评价	(271)

第一章 概 述

第一节 汽车的定义与历史

随着现代科学技术的发展,道路的不断改善,汽车作为一种高速机动的交通运输工具,已在世界各地得到了广泛的运用。

汽车是指使用四个或四个以上的车轮、具有动力且不必按预定轨道行驶的快速机动的陆上交通工具。它有别于有轨道的列车和履带式车辆。汽车分为用于载货、乘用(客车及轿车)两大类,既是各行各业经济运行的生产技术装备,又是社会生活必需的交通工具,也是家庭耐用消费品。

早在 1769 年法国军事工程师尼古拉斯·约瑟夫·居诺(Nicholas Joseph Cugnot)将蒸汽机装在三轮车上用于拉炮,从而制造出了世界上第一辆利用机器为动力的车辆。1784 年苏格兰工程师詹姆斯·瓦特(James Watt)制造了以蒸汽为动力的车辆,但不能正常工作。1802 年英国人里查德·切维热克(Richard Trevithick)开发了以蒸汽为动力的客车。

1885 年德国工程师卡尔·奔驰(Karl Benz)制造了一辆装有 0.85 马力汽油机的三轮车,同时另一位德国工程师戈特利布·戴姆勒(Gottlieb Daimler)也制造出了一辆以 1.1 马力汽油发动机作动力的四轮汽车,这便是现代意义上的汽车。1886 年 1 月 29 日,奔驰取得了世界上第一辆汽车的专利,这一天被世人公认是汽车的誕生日。从 19 世纪末到 20 世纪初,世界相继出现了至今人们

都非常熟悉的汽车制造公司,如德国的戴姆勒和奔驰汽车公司、美国的福特公司、英国的罗尔斯罗伊斯公司、法国的标致和雪铁龙公司以及意大利的菲亚特公司等。1890年,德国奔驰公司率先采用橡胶充气轮胎。在法国米其林兄弟作了大量基础工作之后,1897年至1898年汽车开始从全橡胶轮胎过渡到采用高压充气轮胎,这对汽车的发展有很大的影响。1889年法国标致公司研制成功了齿轮变速器和差速器,并在1891年首先采用前置发动机后轮驱动,由于法国人的不断改进使早期汽车的性能得以极大地提高。1896年美国的亨利·福特(Henry Ford)制造出了第一辆福特车,1908年福特汽车公司开始生产T型车,该型车以其结构紧凑、坚固耐用、容易驾驶、价格低廉等优点而受到欢迎,并以其产量之高而著称于世(图1-1)。福特汽车公司还首先采用“流水作业法”来制造汽车,大大提高了劳动生产率,降低了汽车制造成本,并为今天的汽车制造厂所继承。接下来,美国通用汽车公司、德国大众汽车公司等汽车制造公司相继成立,至此世界汽车工业在20世纪初蓬勃发展。

在20世纪初期的几十年中,世界汽车工业致力于发展更快、更舒适和更可靠的汽车。1915年美国福特公司生产出了带有门和窗的新型福特T型车,这类车称为箱型汽车。为增大汽车功率并减小空气阻力系数,人们开始降低汽车的高度,并将发动机由单缸变成四缸、六缸或八缸,因而汽车发动机罩变长。作为高速汽车,箱型汽车因空气阻力大而不理想,所以,在1934年美国克莱斯勒公司生产的轿车首先采用了流线型的车身外形。流线型车身的大量生产是从德国的大众公司开始的,德国波尔舍博士设计了一种类似甲壳虫外形的汽车,由于第二次世界大战的原因,甲壳虫汽车直到1949年才真正大批量生产,它以其一种车型累计生产超过2000万辆的记录而著称于世。1949年美国福特公司生产出的福特V8轿车在外形上改变了以往汽车的造型模式,生产出船型汽车,

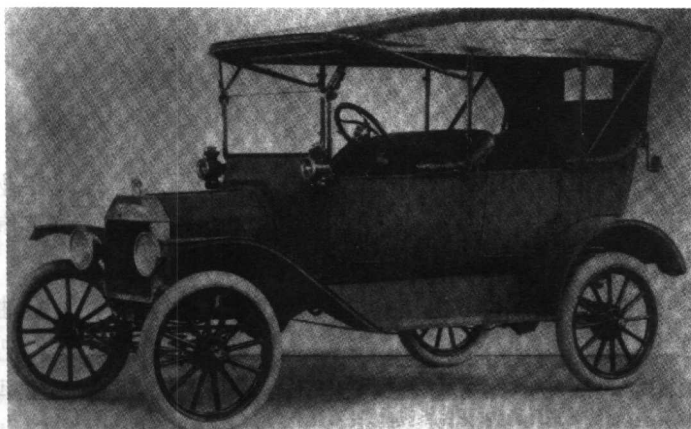


图 1-1 福特 T 型车

并且首先把人机工程学应用在汽车的设计上,使汽车便于操纵且乘坐舒适。船型汽车不论从外形上还是从性能上都优于甲壳虫汽车,同时还解决了甲壳虫汽车对侧向风不稳定的问题。但船型汽车尾部过分向后伸出,形成阶梯状,在高速时会产生较强的空气涡流。为克服这一缺陷,人们把船型汽车的后窗玻璃逐渐倾斜,称为斜背式汽车,其围绕车身的气流比较平顺,涡流阻力也较小,在 20 世纪 60 年代得到广泛应用。

汽车的车速记录一直在不断提高,1895 年汽车只能以 30km/h 行驶,1900 年可达到 90km/h,1904 年已经达到 170km/h。但随着车速的提高,汽车有许多问题急需解决。

第二节 汽车动力学的发展

汽车动力学是伴随着汽车的出现而发展起来的一门专业学科。随着汽车车速的提高,特别是在快速转向和制动时,许多汽车动力学问题逐渐受到汽车工程师们的关注。

1904年进行了世界上第一次汽车蛇行试验,汽车在涂有油脂的道路上急速蛇行行驶,速度可达 $24\sim 32\text{km/h}$ 。那时人们已认识到制动时后轮抱死将会导致汽车不稳定。1908世界上最早研究汽车动力学的工程师之一弗雷德里克·威廉·兰切斯特(Frederick William Lanchester)提出了过多转向的概念。1920年代初,米其林公司的低压轮胎推向市场,但采用低压轮胎使得汽车转向摆振问题非常普遍,由于缺乏对轮胎力学特性的认识,阻碍了人们对汽车的转向特性和摆振问题的研究。1925年法国人布劳赫特(Broulheit)发现了汽车轮胎侧偏现象,使人们的认识有了突破。到1931年,在可测量充气轮胎力学特性的试验机问世以后,人们开始了至今仍有意义的汽车转向特性研究。莫里斯·奥利(Maurice Olley)是第一位对汽车不同转向特性下定义的人。在已知充气轮胎在侧向力作用下将偏离轮胎中心平面,以所谓的侧偏角滚动的情况下,莫里斯·奥利(Maurice Olley)将前轮的侧偏角与后轮的侧偏角作比较,把前轮侧偏角较大时称为不足转向,后轮侧偏角较大时称为过多转向,而前、后轮侧偏角相等时称为中性转向。1930年代末至1940年代初,人们开始了汽车转向特性的试验。1940年,雷克特(Rieckert)和斯康克(Schunk)提出了用自由度描述的汽车数学模型,对汽车绕其垂直轴转动和侧向运动作了分析解答。1956年美国的西格尔(Segel)等对二自由度汽车模型引入了横摆运动,并研究了汽车的稳态和瞬态运动特性。1960年代到

1980年代,随着计算机技术的广泛应用,促进了汽车动力学研究的发展。到1990年代中期较为健全的汽车动力学理论得到建立。



图 1-2 上海通用别克新世纪轿车

汽车工业的发展至今已有 100 多年的历史,从初期著名的福特 T 型车到世界各地各种品牌的现代汽车,体现了人类科学技术的进步及结晶(图 1-2)。其中汽车动力学的研究在汽车的发展中起到非常重要的作用。1969 年英国约翰·罗莱恩·埃利斯(John Ronaine Ellis)博士的《车辆动力学》、1972 年德国米奇克(M. Mitschke)的《汽车动力学》、1978 年加拿大黄祖元(Jo Yung Wong)博士的《地面车辆原理》和 1992 年美国托马斯·吉里斯皮(Thomas D. Gillespie)博士的《车辆动力学基础》等汽车动力学相关著作,全面总结了汽车在纵向、横向和垂直方向的动力学理论知识,为汽车动力学的研究打下了良好的基础。

我国对汽车动力学的研究起步较晚,但我国在汽车动力学领

域的研究也为世界汽车动力学的发展作出了重要贡献。中国工程院院士郭孔辉教授在轮胎力学、汽车动力学以及驾驶员-汽车闭环操纵动力学等方面的研究成果均达到世界先进水平,是我国最早把近代系统力学与随机振动理论引入汽车科学研究的学者。庄继德教授对汽车轮胎学的研究、张洪欣教授的《汽车系统动力学》、雷雨成教授的《汽车系统动力学及仿真》以及余志生教授主编的《汽车理论》等著作为我国汽车动力学的研究提供了研究方法和理论基础。通过对大量汽车动力学相关文献的研究,本书力求全面介绍汽车动力学基础知识,为汽车相关专业人员掌握汽车动力学知识以及非汽车专业人员了解汽车性能特性提供帮助。

第三节 汽车动力学简介

汽车动力学主要研究汽车在各种力的作用下的动态特性,并讨论这些动态特性及其对汽车使用性能的影响。汽车通过车轮与地面相接触,由于汽车和地面的相对运动而使车轮受到来自地面的力,这个力就是使汽车运动的力。汽车的各项性能,即汽车的驱动力性、制动性、操纵稳定性及平顺性等,就是汽车对所受各种力的响应。因此,汽车动力学就是要研究这些力的产生机理及其性质。

汽车在运动过程中所受到的外力,除重力及惯性力外,还有地面通过轮胎传递给汽车的各种力和力矩或空气介质作用于汽车的力或力矩。很多汽车的重要性能都与轮胎有关,即控制汽车运动的主要的力或力矩都是通过地面作用在轮胎上而产生的。因此,在讨论整车动力学之前,首先研究充气轮胎的力学特性,即研究作用在轮胎上的力和力矩、轮胎的侧偏特性和振动特性等。全面掌握轮胎的力学特性是研究汽车动力学的基础。

汽车动力学研究了汽车的驱动力、行驶阻力及其影响因素,以

及汽车在行驶方向上的速度和加速度等特性。并根据汽车的动力性及燃油经济性的要求确定汽车动力装置参数,即发动机的功率和传动系的传动比。

汽车制动性研究了汽车制动性评价指标、汽车的制动过程分析和制动性试验等。

随着汽车车速日益提高,汽车的操纵稳定性越来越重要。通常汽车的操纵稳定性包含互相联系的两个部分,一是操纵性,即汽车能够确切地响应驾驶员转向指令的能力;二是稳定性,即汽车受到外界扰动(路面扰动或突然阵风扰动)后恢复原来运动状态的能力。两者很难断然分开,稳定性的好坏直接影响操纵性的好坏,通常统称为操纵稳定性。汽车的运动是在驾驶员的操纵下实现的,因此欲对汽车的运动性能作深入分析,必须研究包括驾驶员特性在内的驾驶员-汽车系统。

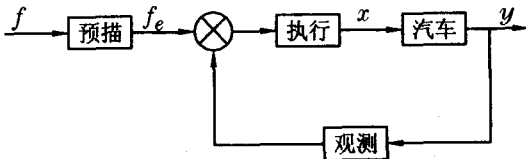


图 1-3 驾驶员-汽车系统

图 1-3 中汽车的输入 x 是驾驶员给汽车的转向指令(转向盘转角或力),输出 y 是汽车的转向运动量(横摆角速度或转弯半径等),驾驶员可以看做是由观测环节、执行环节和比较环节(图中的 \otimes)三部分组成的调节器。整个系统的输入可以认为是道路输入。所以驾驶员-汽车系统在一定路面和环境下的操纵运动响应,一方面取决于汽车的操纵稳定性,另一方面也取决于驾驶员的行为特性和驾驶技术,二者配合良好才能使驾驶员-汽车系统获得良好的操纵运动响应。汽车操纵稳定性的研究将从建立线性二自由度汽车模型出发,系统分析汽车转向输入的稳态响应和瞬态响应以及

汽车悬架、转向系、传动系对操纵稳定性的影响,从而评估汽车的操纵稳定性。

近年来,国际社会对汽车侧翻的研究非常重视。本书把它列为单独的一章,通过建立由简单到复杂的汽车侧倾模型,研究汽车的准静态侧翻和瞬态侧翻,并简要介绍了汽车的侧倾试验装置。

汽车平顺性研究的是路面-汽车-人构成的系统。通过对影响汽车振动的激振源的研究,建立了简单的汽车振动模型,分析了汽车的振动响应特性,据此研究了人体对汽车振动的反应和汽车平顺性的评价指标。

汽车动力学的研究主要采用两种方法:一类是以试验为主的主观评价法;另一类则是以理论分析为主的客观评价法。主观评价法就是让试验评价人员根据试验时自己的感觉来评价汽车的性能及其影响因素。但如果研究仅停留在试验阶段,或根据过去的经验来应对新的设计要求,而不去揭示汽车设计或影响其性能的内在规律,必然会有许多未知的因素使试验结果与过去的经验相矛盾。同时,大量重复的试验将使汽车设计耗资巨大且周期较长。而客观评价法可通过理论分析确定汽车评价指标与汽车结构参数的函数关系,即根据已知的物理定律来描述相关的力学特性并建立分析模型,模型由力与运动的代数或微分方程式表示,通过这些方程式来评价汽车的性能。因此,模型提供了改变汽车结构及结构参数以提高汽车性能的手段。但是汽车动力学是一门相当复杂的学科,要想通过理论分析得到符合实际的结果,必须考虑很多因素,使得系统的力学模型十分复杂。例如有线性二自由度汽车模型、包括汽车侧倾自由度的线性三自由度汽车模型、线性四自由度汽车模型和十七自由度汽车模型等。可见要建立简单的汽车系统分析模型,就必须采用许多假设条件。

过去由于受到计算手段的限制,在汽车动力学的理论研究中不得不采用种种近似方法,由于汽车中有大量的部件、系统、子系