

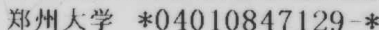
高等学校教材



汽车学

◆ 刘昭度 主编

U46
L720

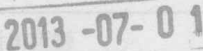


汽车学

Qichexue

林 逸 顾柏良 审阅

林 逸 顾柏良 审阅



藏 书

U46
L720



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书为配合教育部“质量工程”的实施,根据国家特色专业“车辆工程”建设项目规划的教材目录编写。

本书力求反映最新的汽车学知识,把汽车理论和汽车设计知识有机地融为一体,强化汽车的新结构、新理论和新设计方法。汽车理论方面的内容重点介绍汽车的总体性能、动力性、燃料经济性和排放性、制动性、行驶平顺性、转向性能和操纵稳定性方面的基本概念和理论,汽车结构与设计方面的内容重点介绍汽车的总体设计、离合器设计、变速器设计、万向传动轴设计、驱动桥设计、制动系统设计、悬架系统设计、转向系统设计的基本知识。

本书为高等院校车辆工程以及相关专业的教学用书,也可供研究生和有关的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

汽车学 / 刘昭度主编. -- 北京: 高等教育出版社, 2012.9

ISBN 978 - 7 - 04 - 035028 - 9

I. ①汽… II. ①刘… III. ①汽车工程 - 高等学校 - 教材 IV. ①U46

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 184246 号

策划编辑 段博原
版式设计 杜微言

责任编辑 段博原
插图绘制 尹 莉

特约编辑 周 琳
责任校对 金 辉

封面设计 赵 阳
责任印制 毛斯璐

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
印 刷 北京中科印刷有限公司
开 本 787mm × 1092mm 1/16
印 张 43
字 数 1060 千字
购书热线 010 - 58581118

咨询电话 400 - 810 - 0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
版 次 2012 年 9 月第 1 版
印 次 2012 年 9 月第 1 次印刷
定 价 66.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物 料 号 35028 - 00

前言

本书为配合教育部“质量工程”的实施,根据国家特色专业“车辆工程”建设项目规划的教材目录编写。编写本书的目的是进一步加强教材建设,服务于高校的课程建设与人才培养。全书包括汽车理论和汽车设计两方面的内容。本书力求反映最新的汽车学知识,把汽车理论和汽车设计知识有机地融为一体,强化汽车的新结构、新理论和新设计方法。

本书由北京理工大学机械与车辆学院组织编写,刘昭度担任主编,编写分工如下:第一章由孙立清和刘昭度共同编写,第二章由孙立清编写,第三章、第四章和第九章由刘昭度编写,第五章由谷中丽编写,第六章由金辉编写,第七章、第八章和第十二章由王军编写,第十章由张军编写,第十二章由施国标编写,第十三章由刘昭度、张军和王军共同编写。

本书由北京汽车研究院林逸教授和东风汽车公司顾柏良教授级高工主审。北京理工大学陈慧岩组织了本书的编写,付出了很多辛勤的劳动,并提出了很多宝贵意见。本书编写过程中参考了相关教材、专著、期刊论文等,还得到有关大学、研究院所和汽车企事业单位的大力支持,在此一并表示感谢。

限于编者水平,书中不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2012年6月

目 录

第一章 汽车的总体性能	1
第一节 发动机的输出性能	1
一、发动机的速度特性	1
二、发动机的负荷特性	5
三、发动机的全特性	7
第二节 轮胎性能	7
一、轮胎结构	7
二、轮胎径向变形特性	10
三、轮胎的纵向附着性能	12
四、轮胎侧偏特性	17
第三节 汽车性能和主要评价指标	27
一、汽车动力性和主要评价指标	27
二、汽车燃料经济性和排放性及其主要评价指标	28
三、汽车制动性和主要评价指标	31
四、汽车操纵稳定性和主要评价指标	32
五、汽车行驶平顺性和主要评价指标	33
六、汽车通过性和主要评价指标	36
习题	38
第二章 汽车的总体设计	39
第一节 汽车设计流程	39
一、概述	39
二、汽车设计的基本过程	40
三、目前汽车底盘设计相关的应用软件	47
第二节 整车总体设计	48
一、整车总体设计的任务、原则和目标	48
二、整车型式	48
三、汽车主要参数的选择	50
第三节 动力传动系统的参数选择	58
一、发动机基本形式的选择	58
二、发动机主要性能指标的选择	59
三、传动系参数的选择	60
第四节 总布置图的绘制	62
一、整车布置的基准线——零线的确定	63
二、确定车轮中心至车架上平面——零线的最小布置距离	64
三、前轴落差的确定	65
四、发动机及传动系的布置	65
五、车头、驾驶室的布置	66
六、传动轴的布置	66
七、悬架的布置	67
八、车架总成外形及其横梁的布置	67
九、转向系的布置	68
十、制动系统的布置	68
十一、进、排气系统的布置	69
十二、操纵系统的布置	69
十三、车箱的布置	69
第五节 运动校核	70
一、转向轮跳动图	70
二、传动轴跳动图	72
三、汽车传动轴跳动图解算法	74
四、转向拉杆与悬架导向机构运动的协调	75
习题	76
第三章 汽车的动力性	77
第一节 汽车的驱动力	77
一、汽车的驱动力	77
二、传动系效率	77

三、汽车的驱动力图	80	一、配置机械变速器的汽车燃料 经济性计算	149
四、汽车的驱动力与各挡传动比的 关系	85	二、配置液力变矩器汽车的燃料 经济性计算	152
第二节 汽车的行驶阻力	87	第三节 汽车结构及其匹配与燃料经济 性的关系	153
一、滚动阻力	88	一、发动机	153
二、空气阻力	93	二、汽车的轻量化	159
三、坡度阻力	97	三、空气阻力系数	163
四、加速阻力	99	四、变速器	163
五、汽车的行驶方程	102	五、汽车轮胎	169
六、汽车的功率平衡	102	六、起-停系统	170
第三节 路面的法向作用力和附着力	104	七、燃料经济性的发动机和传动 系统的性能匹配	170
一、路面的法向作用力	104	八、汽车结构、成本和运行工况对 燃料经济性的影响小结	170
二、汽车的附着力	112	第四节 汽车运用与燃料经济性的 关系	172
三、汽车的行驶附着条件	114	一、汽车技术状态对燃料经济性 的影响	172
四、汽车的附着利用率	115	二、驾驶技术对燃料经济性的 影响	174
第四节 汽车的加速性能和爬坡性能	118	第五节 汽车的排放性	176
一、受限于驱动力的汽车加速 能力	118	一、发动机有害排放物产生机理	177
二、受限于路面附着力的汽车加速 能力	123	二、汽油机排放性的影响因素	179
三、汽车的爬坡性能	126	三、柴油机排放性的影响因素	181
第五节 装备 ASR 的汽车动力性	127	四、汽油车排气污染物控制的主要 措施	182
一、概述	127	五、柴油车排气污染物控制的 主要技术措施	185
二、ASR 的基本结构	129	习题	188
三、非全轮驱动汽车 ASR 制动干预 调节的工作原理和汽车的动力 性	131	第四章 汽车的燃料经济性和排放性	135
四、非全轮驱动汽车 ASR 发动机 功率调节的工作原理和汽车 的动力性	132	第一节 汽车燃料经济性和排放性 法规	135
习题	133	一、汽车燃料经济性法规	135
		二、汽车排放性法规	142
		第二节 汽车燃料经济性的计算	149
		第五章 离合器设计	189
		第一节 概述	189
		第二节 摩擦式离合器结构方案分析	190
		一、从动盘的数目和离合器的工作 环境	191
		二、压紧弹簧的结构型式	193

第三节 离合器主要参数的选择	197	第三节 变速器主要参数的选择与 计算	244
一、离合器的摩擦力矩	198	一、挡数	244
二、后备系数	199	二、传动比范围	244
三、单位压力	199	三、中心距	245
四、摩擦片外径、内径和厚度	200	四、变速器的轴向尺寸	246
五、摩擦因数、摩擦面数和离合器 间隙	201	五、轴的设计计算	246
第四节 离合器的设计与计算	201	六、齿轮参数	248
一、离合器的接合过程分析	201	七、各挡齿轮齿数的分配	253
二、离合器基本参数的优化	204	第四节 同步器设计	255
三、压紧弹簧设计	205	一、惯性式同步器的结构与工作 原理	255
四、主要零部件的设计考虑	215	二、同步器的锁止条件	258
第五节 扭转减振器设计	223	三、同步器主要参数的确定	260
一、概述	223	第五节 汽车自动变速器	263
二、扭转减振器的参数选择	225	一、液力机械变速器	263
三、从动盘减振器的特性局限性	226	二、带式无级变速器	264
四、双质量飞轮减振器	227	三、电控机械式自动变速器	266
第六节 离合器的操纵机构	227	四、双离合自动变速器	267
一、离合器操纵机构设计要求	227	五、自动变速技术的新发展	270
二、操纵机构结构型式的选择	228	习题	274
三、离合器操纵机构的设计计算	228	第七章 万向传动轴设计	275
习题	229	第一节 万向传动轴结构方案分析	275
第六章 变速器设计	230	一、万向传动轴设计的基本要求	275
第一节 变速器传动机构布置方案	230	二、传动轴的结构型式	276
一、变速器设计要求	230	三、万向节的结构型式	277
二、机械式变速器传动机构布置 方案	230	第二节 万向传动的运动和受力分析	284
第二节 变速器零部件结构方案分析	238	一、单十字轴万向节传动	284
一、齿轮型式	238	二、双联式准等速万向节传动	284
二、变速器轴	238	三、球笼式万向节传动	286
三、轴承类型	239	第三节 万向节设计	287
四、换挡机构型式	240	一、万向传动的计算载荷	287
五、防脱挡机构	240	二、十字轴万向节的设计	288
六、齿轮的布置	241	三、球笼式万向节的设计	290
七、变速器壳体	241	第四节 传动轴设计	290
八、变速器的结构刚性	242	习题	292
九、变速器操纵机构	242		

第八章 驱动桥设计	293	二、减速行驶达到安全车距阶段	355
第一节 驱动桥的结构方案分析	293	的自车车速调节	355
一、驱动桥设计的基本要求	293	三、加速行驶达到跟随行驶阶段	
二、驱动桥的结构方案分析	293	自车车速调节	373
第二节 主减速器设计	295	四、其他车距保持系统	384
一、主减速器的结构型式	295	第四节 汽车制动时方向稳定性	384
二、主减速器锥齿轮主要参数		一、汽车的制动跑偏	386
选择	304	二、制动时汽车转向能力的丧失	390
三、主减速器锥齿轮强度计算	308	三、制动时汽车的侧滑	390
四、主减速器锥齿轮轴承的载荷		四、铰接汽车的制动折转	392
计算	321	第五节 前后制动器制动力的比例	
五、锥齿轮的材料	324	关系	394
第三节 差速器设计	325	一、路面对前、后车轮的法向	
一、差速器结构型式的选择	325	作用力	395
二、普通锥齿轮差速器齿轮设计	330	二、无 ABS 配置时理想的前、后	
三、多驱动桥汽车的轴间差速器	331	制动器制动力分配曲线	395
第四节 半轴和驱动桥壳设计	332	三、具有固定比值的前、后制动器	
一、结构型式分析	332	制动力与同步附着系数	397
二、半轴计算	334	四、利用附着系数与制动效率	398
三、驱动桥壳结构方案分析	336	五、对前、后制动器制动力分配的	
四、驱动桥壳强度计算	337	要求	400
习题	339	第六节 汽车制动防抱死装置	403
第九章 汽车制动系统的理论与设计	340	一、汽车制动防抱死装置的意义	403
第一节 汽车制动时的受力和运动	340	二、汽车制动防抱死装置的结构	
一、制动时汽车受力和运动	340	和工作原理	403
二、制动轮的受力和运动	342	三、汽车制动防抱死装置的性能	
三、车轮路面制动力、制动器制动力		要求	407
与附着力之间的关系	343	四、汽车制动防抱死装置的轮速	
第二节 汽车的制动效能和安全车距	345	调节类型	410
一、汽车的制动效能	345	五、汽车制动防抱死装置的布置	
二、制动距离的计算	346	型式	410
三、安全车距	349	六、汽车制动防抱死控制技术	413
四、汽车制动效能的恒定性	350	第七节 制动系设计要求和制动器	
第三节 汽车自适应巡航系统	354	设计	415
一、汽车自适应巡航系统的安全		一、制动系设计要求	415
车距	354	二、制动器结构方案分析	416
		三、鼓式制动器主要参数的确定	421
		四、盘式制动器主要参数的确定	423

五、鼓式制动器的设计计算	423	第七节 悬架运动对汽车参数的影响	
六、盘式制动器的设计计算	426	分析	489
七、衬片磨损特性计算	427	一、轮距	489
八、前、后轮制动器制动力矩	428	二、各种悬架侧倾中心	490
九、制动器的主要元件结构	428	三、车轮外倾角	494
第八节 制动驱动机构的设计计算	432	四、主销内倾角及偏移距	496
一、制动驱动机构型式	432	五、主销后倾	500
二、制动分路系统	433	六、纵倾中心及抗纵倾性	506
三、液压制动驱动机构的设计		七、前后悬架方案的选择	510
计算	434	第八节 悬架主要参数的确定	511
四、真空助力器的设计计算	435	一、悬架静挠度和动挠度	511
习题	437	二、悬架弹性特性	511
第十章 汽车的平顺性和悬架系统		三、悬架侧倾角刚度及其在前、后轴	
设计	438	的分配	513
第一节 汽车行驶的路面特性	438	第九节 悬架主要部件设计	513
一、路面的统计特性	439	一、弹性元件	513
二、路面不平度的功率谱	439	二、减振器	526
第二节 汽车平顺性分析	442	三、悬架导向机构的设计	528
一、汽车振动系统的简化	442	第十一章 汽车转向系统的理论与	
二、汽车单质量振动系统的平顺性		设计	543
分析	444	第一节 转向系统的运动和受力	543
三、汽车双质量振动系统的平顺性		一、前轮转向系统运动学	543
分析	451	二、四轮转向系统运动学	546
四、汽车双轴模型的平顺性分析	461	三、转向主销的几何关系	546
第三节 汽车七自由度振动系统的平		四、转向角与转向力	548
顺性分析	466	第二节 转向系统的设计要求和主要	
第四节 汽车乘客与座椅系统对平顺性		性能参数	550
的影响	472	一、转向系统的组成	551
一、人体 - 座椅系统的传递特性	473	二、转向系统的设计要求	551
二、人体 - 座椅系统的参数选择	473	三、转向系统效率	551
第五节 悬架控制性能	474	四、转向系传动比	554
一、悬架控制分类	475	五、转向器传动间隙	557
二、悬架运动及其控制效果分析	476	六、转向系刚度	558
第六节 悬架结构型式	480	第三节 机械转向器设计	559
一、概述	480	一、机械转向器方案分析	559
二、非独立悬架结构型式	481	二、齿轮齿条式转向器设计	562
三、独立悬架结构型式	485	三、循环球式转向器设计	565

第四节 液压动力转向设计	571	一、汽车的侧倾运动	614
一、对动力转向的要求	571	二、侧倾时垂直载荷在左、右侧车轮	
二、液压动力转向方案分析	571	上的重新分配及其对稳态响应的	
三、液压动力转向的设计计算	575	影响	619
四、液压动力转向的评价指标	578	三、侧倾外倾——侧倾时车轮外	
第五节 电动助力转向设计	579	倾角的变化	621
一、电动助力转向方案分析	580	四、侧倾转向	623
二、电动助力转向的主要参数		五、变形转向——悬架导向装置	
设计	581	变形引起的车轮转向角	624
三、电动助力转向的助力特性	582	六、变形外倾——悬架导向装置	
第六节 转向操纵机构和传动机构		变形引起的外倾角的变化	626
设计	585	第四节 汽车操纵稳定性与转向系统的	
一、转向操纵机构方案分析	585	关系	626
二、防伤安全机构设计	587	一、转向系的功能与方向盘力	
三、转向梯形结构方案分析	589	特性	626
四、整体式转向梯形机构优化		二、不同行驶工况下对操纵稳定性	
设计	591	的要求	627
五、转向传动机构强度计算	594	三、转向系与汽车横摆角速度稳态	
六、转向减振器	595	响应的关系	630
习题	595	第五节 汽车操纵稳定性与传动系的	
第十二章 汽车的操纵稳定性	596	关系	631
第一节 概述	596	一、地面切向反作用力与“不足 -	
一、车辆坐标系与运动	596	过多转向特性”的关系	631
二、人 - 汽车闭环系统	597	二、路面切向作用力控制转向特性	
三、汽车操纵稳定性的两种评价		的基本概念简介	632
方法	597	习题	637
第二节 线性二自由度汽车模型对		第十三章 汽车学试验	638
前轮角输入的响应	598	第一节 汽车动力性试验	638
一、线性二自由度汽车模型的		一、汽车动力性的道路试验通则	638
运动微分方程	598	二、汽车行驶阻力道路试验	639
二、前轮角阶跃输入下的汽车		三、汽车加速性能和最高车速道路	
稳态响应	600	试验	641
三、前轮角阶跃输入下的汽车		四、汽车爬陡坡道路试验	642
瞬态响应	606	五、汽车动力性台架试验设备	643
四、横摆角速度频率响应特性	612	六、汽车动力性台架试验的道路	
第三节 汽车操纵稳定性与悬架系统的		阻力模拟	643
关系	613	七、汽车动力性台架试验	646

第二节 汽车燃料经济性试验	647	四、排放测试结果计算	658
一、道路试验条件和试验项目	647	第五节 汽车行车制动性能道路试验	659
二、最高挡全油门加速燃料消耗量 道路试验	648	一、试验要求	659
三、等速行驶燃料消耗量道路 试验	648	二、制动系统性能要求	660
四、多工况燃料消耗量道路试验	648	三、行车制动试验方法	662
五、限定条件下的平均使用燃料 消耗量试验	650	第六节 汽车操纵稳定性试验	664
六、试验数据校正	650	一、低速行驶转向轻便性试验	664
七、汽车燃料消耗量台架试验	651	二、稳态转向特性试验	665
第三节 型式认证汽车尾气排放性 试验	651	三、瞬态横摆响应试验	666
一、测试设备	651	四、汽车回正能力试验	666
二、排放测试	654	五、方向盘角脉冲试验	667
第四节 在用汽车尾气排放性试验	656	六、闭环操纵稳定性试验	667
一、汽油车稳态加载工况简介	656	第七节 汽车平顺性试验	669
二、测试仪器和设备	656	一、平顺性试验的主要内容	669
三、稳态加载工况试验	658	二、平顺性试验数据的采集和 处理	671
		习题	671
		主要参考文献	673

发动机的性能包括其在整个转速范围内的动力性能指标(指各种工况的功率、力矩和转速等)、燃料消耗率、其他运转性能(包括排放、噪声和冷启动性能等)以及可靠性、耐久性和维护方便性等使用性能。发动机的转速特性(简称发动机特性)、负荷特性曲线以及发动机的全特性(简称万有特性)是汽车总体设计至关重要的几个输出特性。下文予以重点阐述。

一、发动机的速度特性

汽油机保持节气门开度不变或柴油机保持油量调节杆位置不变,而各工况又在最佳调整状态时,发动机的性能指标和特性参数随转速的变化规律称为发动机的速度特性。

每一个节气门开度位置或油量调节位置都对应一条速度特性曲线。标定工况位置所决定的是全负荷速度特性曲线,又叫外特性曲线。外特性曲线表示了发动机各转速对应的最大功率和最大力矩,汽车的最大动力性能就是由这条特性曲线所决定的。其余的为部分负荷速度特性线,又叫部分特性曲线。柴油机的速度特性,特别是外特性,除了直接影响配套汽车的动力性外,还与汽车能否安全运转密切相关,怠速的部分特性曲线又与能否稳定运转相关。

1. 汽油机的速度特性

测定汽油机速度特性曲线时,除了保持节气门开度不变之外,各工况均须调整到最佳点火提前角,过量空气系数则要按理想值来制备。此外,水温、油温、油压等均应保持正常稳定的状态。

第一章 汽车的总体性能

汽车作为道路的主要动力交通工具,涉及很多使用性能,从本质上说,汽车的好坏主要是指汽车性能的优劣。汽车的使用性能主要有汽车的动力性、燃料经济性、排放性、制动性、操纵稳定性、行驶平顺性和通过性等。汽车的动力性、燃料经济性和排放性主要与汽车发动机的性能、发动机与传动系统配置、轮胎性能等有关;汽车的排放性还与燃料品质和机外净化措施等有关;汽车的制动性主要与整车布置和制动系统性能等有关;汽车的操纵稳定性主要与整车布置、悬挂系统和转向系统性能等有关;汽车的行驶平顺性主要与整车布置和悬挂系统性能等有关;汽车的通过性主要与整车布置和轮胎结构参数等有关。从总体上把握上述汽车性能及其影响因素是汽车总体设计的基础。

第一节 发动机的输出性能

当代汽车发动机主要包括以汽油机为代表的点燃式发动机和以柴油机为代表的压燃式内燃机。随着新能源的发展也出现了压缩天然气发动机、液化石油气发动机、氢内燃机和生物柴油发动机以及新型的燃料电池发动机等。以越来越小的体积和质量、越来越清洁的废气排放和越来越低廉的生产成本,产生越来越高效和强劲的动力输出是过去百年汽车人的不懈追求,更是当今化石能源即将走向枯竭过程中现代汽车人孜孜以求的梦想。本章主要探讨目前广泛使用的汽油机和柴油机的输出性能。

发动机的性能包括其在整个转速范围内的动力性能指标(指各种工况的功率、力矩和转速等)、燃料消耗率、其他运转性能(包括排放、噪声和冷起动性能等)以及可靠性、耐久性和维护方便性等使用性能。发动机的转速特性(简称发动机特性)、负荷特性曲线以及发动机的全特性(简称万有特性)是汽车总体设计至关重要的几个输出特性。下文予以重点阐述。

一、发动机的速度特性

汽油机保持节气门开度不变或柴油机保持油量调节杆位置不变,而各工况又在最佳调整状态时,发动机的性能指标和特性参数随转速的变化规律称为发动机的速度特性。

每一个节气门开度位置或油量调节位置都对应一条速度特性曲线。标定工况位置所决定的是全负荷速度特性曲线,又叫外特性曲线,外特性曲线表示了发动机各转速对应的最大功率和最大力矩,汽车的最大动力性能就是由这条特性曲线所决定的。其余的为部分负荷速度特性线,又叫部分特性曲线。柴油机的速度特性,特别是外特性,除了直接影响配套汽车的动力性外,还与汽车能否安全运转密切相关,怠速的部分特性曲线又与能否稳定运转相关。

1. 汽油机的速度特性

测定汽油机速度特性曲线时,除了保持节气门开度不变之外,各工况均须调整到最佳点火提前角,过量空气系数则要按理想值来制备。此外,水温、油温、油压等均应保持正常稳定的状态。

在图 1.1 上作出各种负荷(此处取全、中、小三种节气门开度)条件下各特性参数的变化曲线,然后再叠加合成于图 1.2 中。

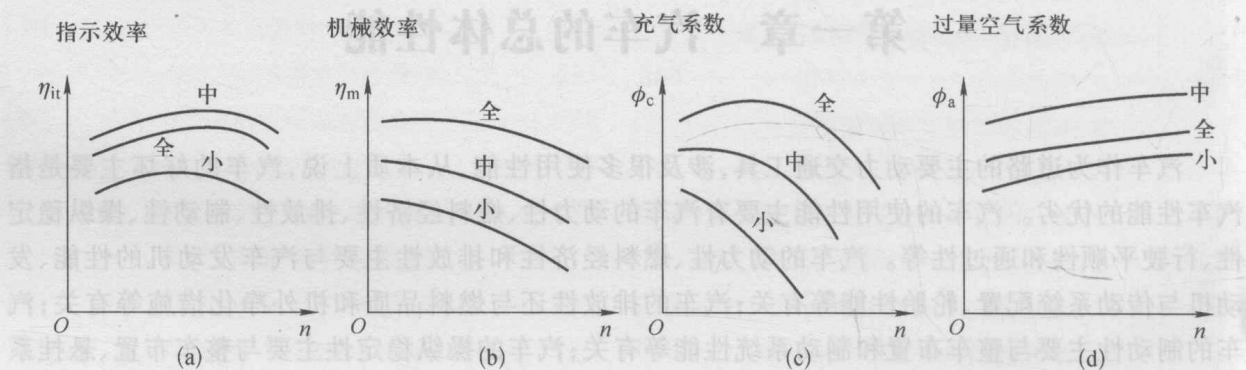


图 1.1 汽油机全、中、小负荷条件下,各特性参数随转速的变化曲线

汽油发动机的输出功率和力矩是发动机转速和节气门开度的函数。当汽油发动机处于最大油门开度状态时,发动机的输出功率、力矩、燃料消耗率与发动机转速的关系曲线称为发动机的外特性曲线。如果汽油机节气门部分开启,发动机的输出功率、力矩、燃料消耗率与发动机转速的关系曲线称为发动机的部分负荷特性曲线。图 1.3 为某汽油机外特性和部分负荷特性曲线,曲线上的数字为节气门开度百分比,相应的曲线便是各个节气门开度下的发动机力矩与功率。

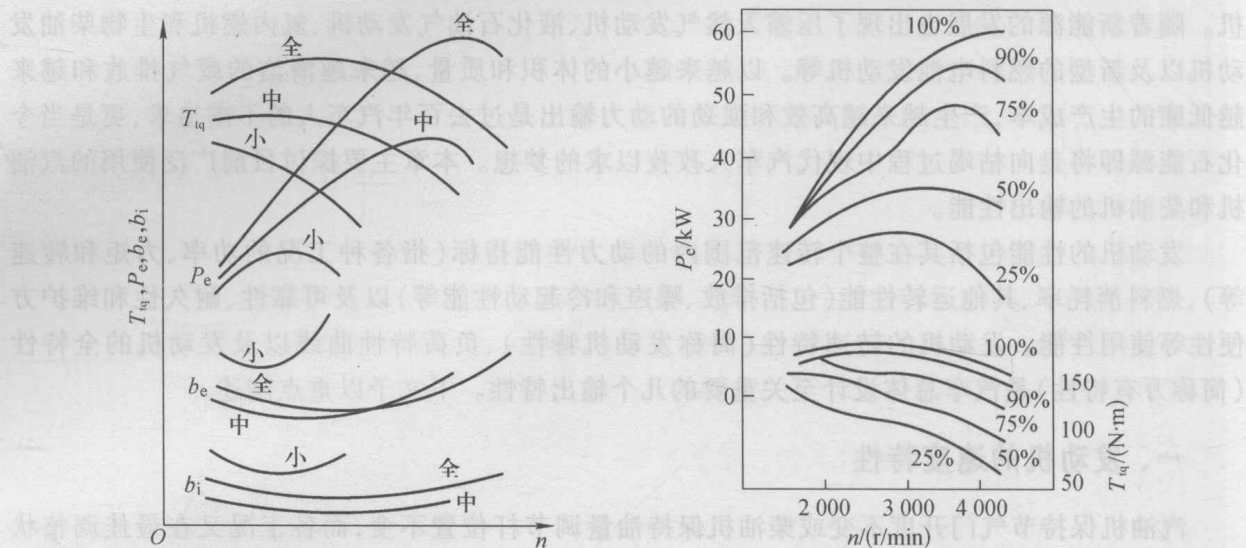


图 1.2 汽油机不同全、中、小节气门开度(负荷)时的速度特性曲线

图 1.3 汽油机外特性和部分负荷特性曲线

为方便研究汽车的动力性、燃料经济性和排放性,一般用 3 次多项式近似描述发动机功率和其转速的关系,用 2 次多项式近似描述发动机力矩和其转速的关系。

汽油发动机处于最大油门开度时,功率和其转速的关系可近似表示为

$$P_e = k_1 \omega_e + k_2 \omega_e^2 + k_3 \omega_e^3 \tag{1.1}$$

式中, P_e 为汽油发动机处于最大油门开度状态时的功率, W; ω_e 为发动机转速, rad/s; k_1 为系数, N · m; k_2 为系数, N · m · s; k_3 为系数, N · m · s²。

$$k_1 = \frac{P_{\text{emax}}}{\omega_{eP}}, k_2 = \frac{P_{\text{emax}}}{\omega_{eP}^2}, k_3 = -\frac{P_{\text{emax}}}{\omega_{eP}^3} \quad (1.2)$$

式中, P_{emax} 为汽油发动机的最大功率, W; ω_{eP} 为汽油发动机的最大功率时的转速, rad/s。

汽油发动机处于最大油门开度时, 力矩和其转速的近似关系为

$$T_e = k_4 (\omega_e - \omega_{eT})^2 + k_5 \quad (1.3)$$

式中, T_e 为汽油发动机处于最大油门开度状态时的力矩, N·m; ω_{eT} 为发动机最大输出力矩相应的转速, rad/s; k_4 为系数, N·m·s²; k_5 为系数, N·m。

$$k_4 = \frac{T_{eP} - T_{\text{emax}}}{(\omega_{eP} - \omega_{eT})^2}, k_5 = T_{\text{emax}} \quad (1.4)$$

式中, T_{eP} 为汽油发动机的最大功率点的输出力矩, N·

m, $T_{eP} = \frac{P_{\text{emax}}}{\omega_{eP}}$; T_{emax} 为汽油发动机的最大力矩, N·m。

式(1.4)描述的力矩曲线是关于 $T_{\text{emax}} - \omega_{eT}$ 线对称的, 实际上, T_e 在 $\omega_{eP} \geq \omega_e \geq \omega_{eT}$ 段比 $\omega_e < \omega_{eT}$ 段对称的相应值略有减少, 若需精确计算, 对不同的发动机, 在 $\omega_e < \omega_{eT}$ 段 T_e 曲线对称各点的值对式(1.3)的计算结果应乘以 1.02 ~ 1.08。某 1.6 L 轿车配置的汽油发动机的功率和力矩随其转速的输出特性如图 1.4 所示。

某 1.6 L 轿车汽油发动机有关参数如表 1.1 所示。

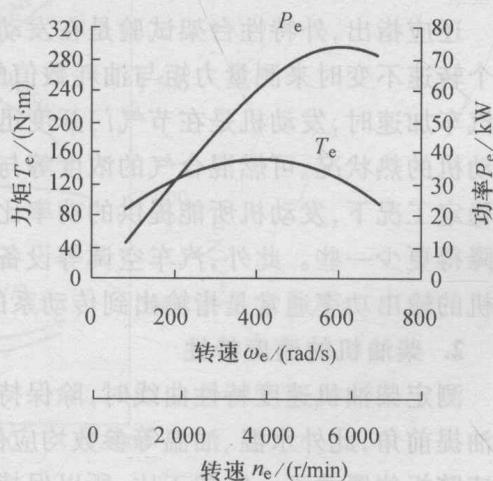


图 1.4 某 1.6 L 轿车汽油机的外特性图

表 1.1 某 1.6 L 轿车汽油发动机有关参数

发动机参数		
汽油发动机	缸数: 直列 4 缸	排量: 1.6 L
最大功率 74 kW (对应的转速为 5800 r/min, 即 607.37 rad/s)	最大力矩 150 N·m (对应的转速为 3 800 r/ min, 即 397.94 rad/s)	怠速转速 810 r/min (84.82 rad/s)

根据式(1.2)有

$$k_1 = \frac{74\,000}{607.37} = 121.84 \text{ N} \cdot \text{m}, k_2 = \frac{74\,000}{607.37^2} = 0.200\,6 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s},$$

$$k_3 = -\frac{74\,000}{607.37^3} = -3.302\,1 \times 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

根据式(1.1), 该 1.6 L 轿车的功率表达式为

$$P_e = 121.84\omega_e + 0.200\,6\omega_e^2 - 3.302\,1 \times 10^{-4}\omega_e^3 \text{ (W)}$$

根据式(1.4)有

$$k_4 = \frac{\frac{74\,000}{607.37} - 150}{(607.37 - 397.94)^2} = -6.421 \times 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2, k_5 = 150 \text{ N} \cdot \text{m}$$

根据式(1.3), 该 1.6 L 轿车的力矩表达式为

$$T_e = -6.421 \times 10^{-4} (\omega_e - 397.94)^2 + 150 \text{ N} \cdot \text{m}$$

发动机实际的输出功率和力矩与发动机转速和节气门开度或供油量的关系通过发动机台架实验确定。发动机制造厂提供的发动机特性曲线,有时是在试验台上未带水泵、发电机、进气管、排气管等条件下测得的。带上全部附件设备时的发动机特性曲线称为使用外特性曲线。使用外特性曲线的功率小于外特性的功率。一般汽油发动机使用外特性的最大功率比外特性的最大功率约小 15%,柴油机的使用外特性最大功率约小 5%,轿车与轻型汽车柴油机约小 10%。

还应指出,外特性台架试验是在发动机工况相对稳定,保持水、机油温度于规定的数值,且在各个转速不变时来测量力矩与油耗数值的。而在实际使用中,发动机的工况常是不稳定的,例如在汽车加速时,发动机是在节气门开度迅速加大,曲轴转速连续由低升高的变化过程中工作的,发动机的热状况、可燃混合气的浓度等与外特性台架试验时的稳定工况有差异。在加速过程的不稳定工况下,发动机所能提供的功率比稳定工况时要稍有下降,电喷汽油机比化油器汽油机要下降得更少一些。此外,汽车空调等设备也要消耗发动机的输出功率,在进行动力性估算时,发动机的输出功率通常是指输出到传动系的功率。

2. 柴油机的速度特性

测定柴油机速度特性曲线时,除保持油量调节杆位置不变外,各工况均须调整到各自的最佳供油提前角,此外水温、油温等参数均应保持正常稳定的状态。油量调节杆位置和驾驶员控制的加速踏板位置并不一定成正比,所以保持加速踏板位置不变得到的速度特性曲线和保持油量调节杆位置不变得到的速度特性曲线有区别。加速踏板位置不变时,各转速对应的油量调节杆位置往往已经过“校正”或“调速”而有变动。

图 1.5a 所示为全、中、小三个不同油量调节杆位置时上述各参数随转速变化的曲线,图 1.5b 所示为速度特性曲线。

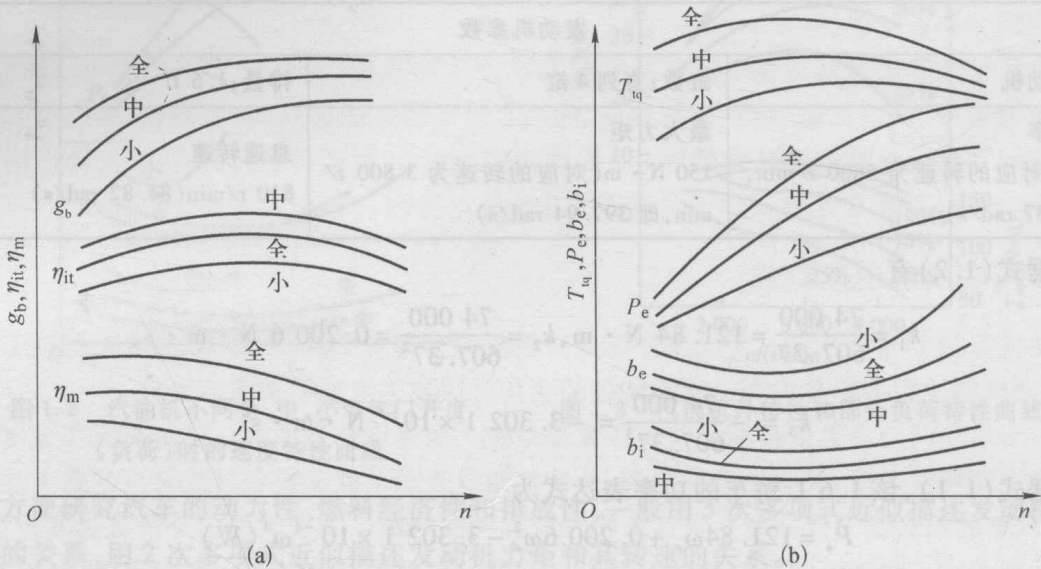


图 1.5 柴油机全、中、小三种供油量时特性参数和速度特性随转速变化曲线

(a) 特性参数; (b) 速度特性

柴油发动机的输出功率和力矩是发动机转速和供油量的函数。柴油机处于最大供油量状态时,发动机的输出功率、力矩、燃料消耗率与发动机转速的关系曲线称为发动机的外特性曲线,如

图 1.6 所示。柴油机部分供油,发动机的输出功率、力矩、燃料消耗率与发动机转速的关系曲线称为发动机的部分负荷特性曲线。

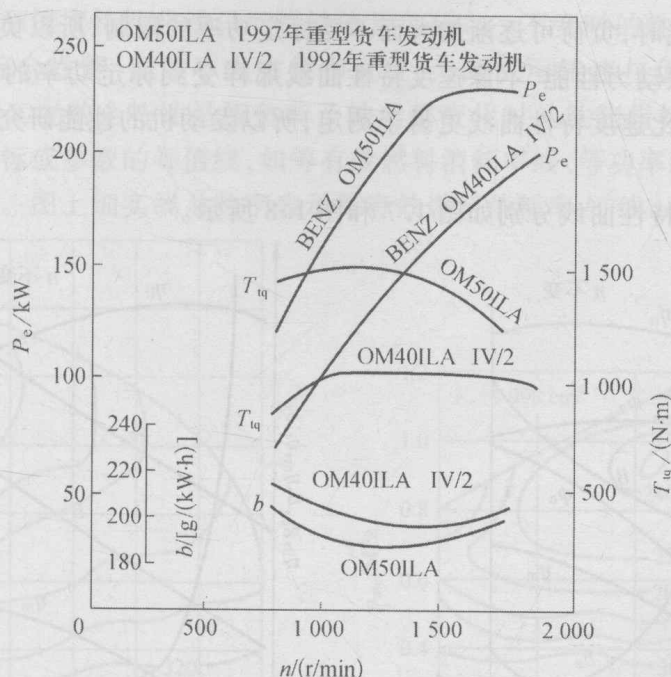


图 1.6 两种货车用增压柴油机外特性

柴油机在最大供油量位置时的功率也可按式(1.1)来近似表达。对于非直喷柴油机,式(1.1)的系数可取为

$$k_1 = 0.6 \times \frac{P_{\text{emax}}}{\omega_{eP}}, k_2 = 1.4 \times \frac{P_{\text{emax}}^2}{\omega_{eP}^2}, k_3 = -\frac{P_{\text{emax}}^3}{\omega_{eP}^3}。$$

对于直喷柴油机,式(1.1)的系数可取为

$$k_1 = 0.87 \times \frac{P_{\text{emax}}}{\omega_{eP}}, k_2 = 1.13 \times \frac{P_{\text{emax}}^2}{\omega_{eP}^2}, k_3 = -\frac{P_{\text{emax}}^3}{\omega_{eP}^3}。$$

对比图 1.2 所示汽油机速度特性曲线图和图 1.5b 所示。柴油机速度特性曲线图,可以看出汽油机和柴油机速度特性的主要区别是:

(1) 汽油机 T_{iq} 曲线总体上向下倾斜较大,低负荷时倾斜更大;而柴油机 T_{iq} 曲线总体变化平坦,低负荷时甚至上扬。这一下一上的差别导致这两种机型配套汽车时动力和运行稳定性的巨大差异。

(2) 汽油机外特性曲线的最大值点一般就是标定功率点;而柴油机可达到的最大值点的转速很高,所以标定点并非该特性曲线的极值点。

(3) 柴油机燃料消耗率 b_e 曲线要比汽油机的平坦,低负荷时更是如此。

二、发动机的负荷特性

当发动机保持转速不变时,稳态性能指标随负荷而变化的规律叫做发动机的负荷特性。汽车在阻力变化的路面上保持等速行驶,转速在很小范围内变动,可认为近似按负荷特性运行。负

荷特性曲线的横坐标是负荷,因此负荷特性曲线一般用来分析发动机的燃料经济性(有效燃料消耗率)。

测定负荷特性曲线时,负荷可逐渐加大而不受标定功率的限制,所以负荷特性还可用于分析发动机所能达到的极限动力性能,不像速度特性曲线那样受到标定功率的限制。再加上在试验台架上,负荷特性曲线比速度特性曲线更易于测定,所以发动机的性能研究多采用负荷特性曲线来进行。

汽、柴油机的负荷特性曲线分别如图 1.7 和图 1.8 所示。

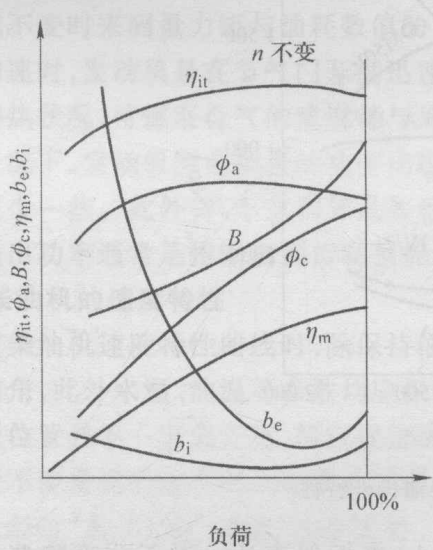


图 1.7 汽油机负荷特性曲线

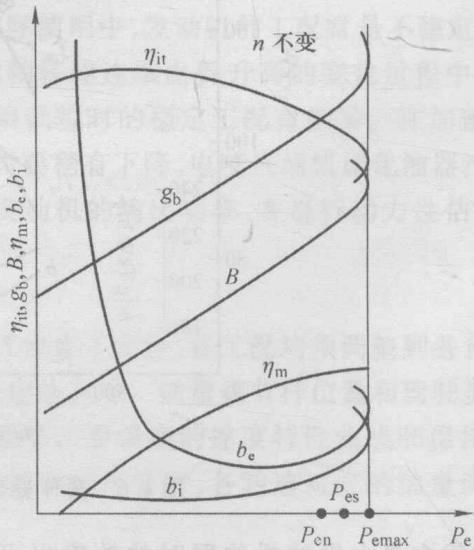


图 1.8 柴油机负荷特性曲线

将标定功率及转速相接近的汽、柴油机的负荷特性曲线进行对比,其主要差别为:

(1) 汽油机有效燃料消耗率都比同负荷的柴油机高,这是两种机型的混合气形成、着火燃烧以及负荷调节方式的不同造成的。

(2) 中、低负荷处燃料消耗率的差值明显比最低油耗点和标定功率处大,由图 1.9 可知, $\Delta b_{e1} > \Delta b_{e2} > \Delta b_{emin}$, 这是因为汽油机 b_e 线过于陡尖,而柴油机有较宽的平坦段的缘故。统计资料表明,汽、柴油机 b_{emin} 的差值为 (15 ~ 30)%, 而综合使用油耗的差值可达 (25 ~ 45)%, 就是由于汽车大多在中、低负荷条件下运行所致。

由以上两点可以得知,若单纯从燃料经济性出发进行汽车动力的选择,自然是柴油机优于汽油机,这是柴油机最明显的优势。实际选用时不可能只考虑这一因素。另外一点则是,无论汽油机还是柴油机都希望尽可能提高负荷利用率,使其经常接近最经济的 (80 ~ 90) % 负荷率处工作。这一点对汽油机尤为重要。它已成为改善发动机燃料经济性、降低实际使用油耗的一个极为重要的原则。

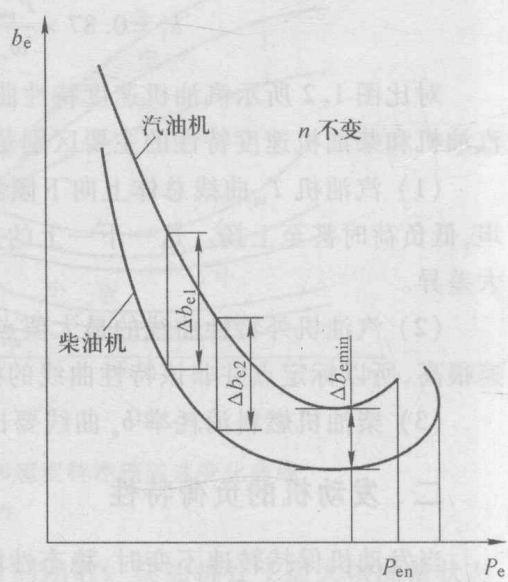


图 1.9 汽、柴油机负荷特性曲线的对比