

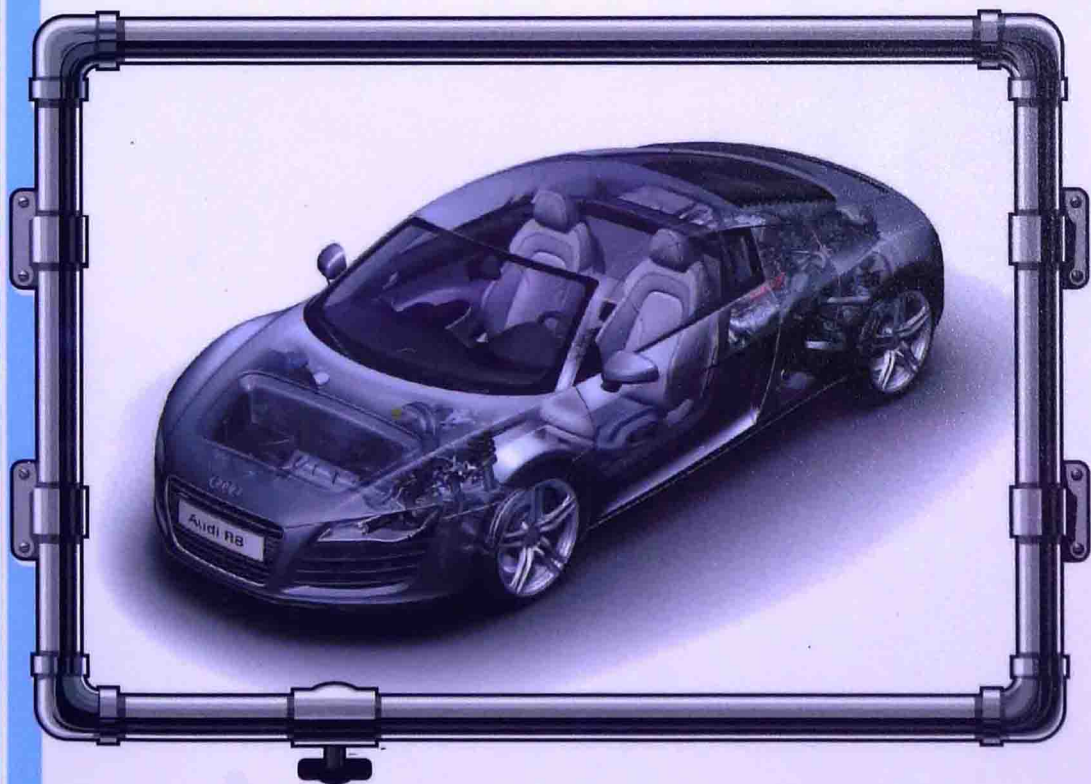


21世纪全国高等院校汽车类**创新型**应用人才培养规划教材

汽车运用工程基础

赵英勋 宋新德 主编

- ✓ 系统地阐述汽车运用基础知识
- ✓ 理论联系实际，注重能力的培养
- ✓ 反映汽车运用领域新技术、新成果



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国高等院校汽车类创新型应用人才培养规划教材

汽车运用工程基础

主 编 赵英勋 宋新德
副主编 王淑平 游彩霞 罗怡红



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

定价：88.00 元

内 容 简 介

本书系统介绍了汽车运用基础知识和汽车主要使用性能,内容包括:汽车动力性、汽车燃油经济性、汽车制动性、汽车操纵稳定性、汽车行驶平顺性和通过性、汽车公害及控制、汽车运行材料的合理使用、汽车在特殊条件下的使用、汽车更新与选配。本书附有大量习题并配有教学课件,可方便教师授课和学生课外自学。

本书可作为普通高等院校及高职高专汽车类各专业的教材,也可作为非汽车类专业的选修课教材,还可供汽车运用、交通运输、车辆工程等方面的工程技术人员和管理人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

汽车运用工程基础/赵英勋,宋新德主编. —北京:北京大学出版社,2014.10

(21世纪全国高等院校汽车类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-25017-4

I. ①汽… II. ①赵…②宋… 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(2014)第245517号

书 名: 汽车运用工程基础

著作责任者: 赵英勋 宋新德 主编

策划编辑: 童君鑫 黄红珍

责任编辑: 黄红珍

标准书号: ISBN 978-7-301-25017-4/TH·0410

出版发行: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路205号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> 新浪官方微博: @北京大学出版社

电子信箱: pup_6@163.com

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

印 刷 者: 北京富生印刷厂

经 销 者: 新华书店

787毫米×1092毫米 16开本 17.75印张 412千字

2014年10月第1版 2014年10月第1次印刷

定 价: 38.00元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

随着汽车工业的高速发展和汽车保有量的不断增加,汽车运用已涉及社会生产和人民生活的各个方面。普通高等院校汽车类专业和非汽车类专业也因此而普遍开设汽车运用工程基础专业课或选修课。为适应社会的需求和高校教学的需要,特编写本书。

汽车运用工程基础是研究汽车使用性能及其有效利用和汽车技术状况变化及恢复方法的学科。汽车使用性能是指汽车在一定的使用条件下,以最佳效益安全工作的能力。汽车的主要使用性能有:汽车的动力性、经济性、制动性、操纵稳定性、行驶平顺性及通过性。通过汽车运用工程基础课程的学习,可使读者掌握汽车的主要使用性能,具有分析和评价汽车主要使用性能的能力,可充分利用汽车的使用性能,合理使用与管理汽车,提高汽车运输生产率和降低运输成本。

本书以合理运用汽车为宗旨,以最新的汽车使用理论为依据,结合现代汽车新技术,全面系统地阐述了汽车运用工程基础知识,主要内容有:汽车动力性、汽车燃油经济性、汽车制动性、汽车操纵稳定性、汽车行驶平顺性和通过性、汽车公害及控制、汽车运行材料的合理使用、汽车在特殊条件下的使用、汽车更新与选配。本书力求理论联系实际,注重能力的培养,既有较强的理论性,又有较强的实践性和操作性;注重内容的科学性、先进性、实用性,努力反映汽车运用领域的新技术、新理论、新成果;编写深入浅出、图文并茂、通俗易懂,能适应现代化汽车类专业和非汽车类专业教学的需求。本书配有专用教学课件,能直接用于课堂教学,可方便教师授课和学生课外自学。

本书由武汉科技大学赵英勋统稿。赵英勋、宋新德担任主编,王淑平、游彩霞、罗怡红担任副主编。第1~5章由赵英勋编写,第6章、第9章由宋新德、王淑平、罗怡红编写,第7~8章由游彩霞编写。

在本书的撰写过程中参阅了大量的书籍资料,获益匪浅,在此向这些作者表示衷心的感谢!

由于作者水平所限,书中难免存在不足之处,敬请各位读者批评指正。

编者

2014年5月

目 录

第 1 章 汽车动力性	1
1.1 汽车动力性评价指标	2
1.2 汽车动力性分析	4
1.2.1 汽车行驶原理	4
1.2.2 汽车的驱动力平衡	15
1.2.3 汽车的动力特性	17
1.2.4 汽车的功率平衡	19
1.3 汽车动力性的主要影响因素	21
1.3.1 汽车结构方面	21
1.3.2 汽车使用方面	29
1.4 汽车动力性试验	30
1.4.1 汽车动力性道路试验	30
1.4.2 汽车动力性台架试验	32
本章小结	34
习题	35
第 2 章 汽车燃油经济性	37
2.1 汽车燃油经济性评价指标	38
2.2 汽车燃油经济特性	39
2.3 汽车燃油经济性的主要影响因素	45
2.3.1 汽车结构方面	45
2.3.2 汽车使用方面	46
2.3.3 环境条件方面	49
2.4 汽车燃油经济性试验	50
2.4.1 等速百公里油耗试验	50
2.4.2 多工况百公里油耗试验	52
本章小结	58
习题	58
第 3 章 汽车制动性	60
3.1 汽车制动性评价指标	61
3.2 汽车制动性分析	62
3.2.1 汽车制动状态分析	62
3.2.2 汽车制动效能分析	66
3.2.3 制动效能恒定性分析	68
3.2.4 制动方向稳定性分析	69
3.2.5 前、后制动器制动力分配	72
3.3 汽车制动性的主要影响因素	76
3.4 汽车制动性试验	83
3.4.1 汽车制动性道路试验	83
3.4.2 汽车制动性台架试验	85
本章小结	88
习题	89
第 4 章 汽车操纵稳定性	91
4.1 汽车行驶稳定性	92
4.1.1 汽车侧向稳定性	92
4.1.2 汽车纵向稳定性	94
4.2 汽车转向特性	95
4.2.1 轮胎的侧偏特性	95
4.2.2 汽车转向运动学	100
4.2.3 汽车稳态转向特性	101
4.2.4 汽车转向瞬态响应	106
4.3 汽车操纵稳定性的主要影响因素	108
4.4 汽车操纵稳定性试验	115
本章小结	118
习题	118
第 5 章 汽车行驶平顺性和通过性	120
5.1 汽车行驶平顺性	121
5.1.1 汽车振动与人体反应	121
5.1.2 汽车行驶平顺性的评价	122
5.1.3 汽车行驶平顺性的主要影响因素	125



5.2 汽车通过性	129	7.3.1 汽车制动液及其使用	203
5.2.1 通过性几何参数	129	7.3.2 发动机冷却液及其 使用	205
5.2.2 通过性牵引支承参数	131	7.4 汽车轮胎及其使用	207
5.2.3 汽车通过性的主要影响 因素	132	7.4.1 汽车轮胎的类型	207
本章小结	136	7.4.2 汽车轮胎的结构和 规格	208
习题	136	7.4.3 汽车轮胎的合理使用	211
第6章 汽车公害及控制	138	本章小结	214
6.1 汽车排放污染及控制	140	习题	215
6.1.1 汽车排放污染物的形成及 危害	140	第8章 汽车在特殊条件下的使用 ..	217
6.1.2 汽车排放污染物的影响 因素	141	8.1 汽车在走合期的使用	218
6.1.3 汽车排放污染物的 控制	147	8.1.1 汽车走合期及其作用	218
6.1.4 汽车排放污染物的 检测	153	8.1.2 汽车走合期的使用 特点	219
6.2 汽车噪声及控制	163	8.1.3 汽车在走合期的使用 措施	219
6.2.1 汽车噪声及其危害	163	8.2 汽车在低温条件下的使用	221
6.2.2 汽车噪声来源及特性	163	8.2.1 低温条件对汽车使用 性能的影响	221
6.2.3 汽车噪声的控制	165	8.2.2 汽车在低温条件下的 使用措施	224
6.2.4 汽车噪声的检测	167	8.3 汽车在高温条件下的使用	227
6.3 汽车电磁干扰及控制	174	8.3.1 高温条件对汽车使用 性能的影响	227
6.3.1 汽车电磁干扰的形成及 危害	174	8.3.2 汽车在高温条件下的 使用措施	229
6.3.2 汽车电磁干扰的抑制	174	8.4 汽车在高原和山区条件下的 使用	231
6.3.3 汽车电磁干扰的检测	175	8.4.1 高原和山区条件对汽车 使用性能的影响	231
本章小结	177	8.4.2 汽车在高原和山区 条件下的使用措施	233
习题	177	8.5 汽车在坏路和无路条件下的 使用	236
第7章 汽车运行材料的合理使用 ..	179	8.5.1 汽车在坏路和无路 条件下的使用特点	237
7.1 汽车燃油及其使用	180	8.5.2 汽车在坏路和无路 条件下的使用措施	237
7.1.1 车用汽油及其使用	181	8.6 汽车在应急情况下的使用	239
7.1.2 车用柴油及其使用	185		
7.2 汽车润滑剂及其使用	189		
7.2.1 发动机油及其使用	189		
7.2.2 汽车齿轮油及其使用	196		
7.2.3 汽车润滑脂及其使用	199		
7.3 汽车特种液及其使用	203		

本章小结	242	9.2.1 汽车使用寿命	256
习题	243	9.2.2 汽车更新	257
第9章 汽车更新与选配	245	9.2.3 汽车报废	262
9.1 汽车技术状况变化与分级	246	9.3 汽车选配	265
9.1.1 汽车技术状况的变化	246	9.3.1 汽车的价值分析	265
9.1.2 汽车技术状况变化 规律	248	9.3.2 汽车的选配原则	266
9.1.3 汽车技术状况变化的 影响因素	250	9.3.3 汽车的合理配置与 要求	269
9.1.4 汽车技术状况分级与 评定	254	9.3.4 汽车的购置方法	269
9.2 汽车更新与报废	255	本章小结	271
		习题	272
		参考文献	274



第1章

汽车动力性



本章教学要点

知识要点	掌握程度	相关知识
汽车动力性评价指标	了解汽车动力性概念； 掌握汽车动力性评价指标	汽车动力性评价体系； 汽车最高车速、最大爬坡度、加速时间、驱动轮输出功率
汽车驱动力、行驶阻力	了解汽车驱动力、行驶阻力概念； 了解汽车行驶阻力产生机理； 掌握汽车驱动力、行驶阻力的计算方法； 熟悉驱动力、行驶阻力特性	汽车驱动力及其特性； 汽车驱动力图； 车轮受力分析； 滚动阻力、空气阻力、坡度阻力和加速阻力
汽车行驶条件	了解汽车行驶方程式； 掌握汽车行驶的驱动与附着条件	汽车行驶的驱动条件； 汽车行驶的附着条件； 汽车行驶的驱动与附着条件
汽车动力性分析	熟悉汽车动力性的主要影响因素； 掌握汽车动力性评价方法； 能正确分析和评价汽车动力性	汽车驱动力平衡； 汽车动力特性； 汽车功率平衡； 汽车动力性影响因素； 底盘测功



导入案例

动力性极致的轿车

人类对速度的渴求,通过巴博斯的不断突破正走向极致,2011年是巴博斯(图 1.01)再度刷新自身速度纪录的一年。Brabus Rocket 800 首次亮相法兰克福车展,以最高车速 370km/h 延续了独创神话。这款车改装自梅赛德斯 CLS 系列,搭载巴博斯 800V12 双涡轮增压发动机动力系统,可提供 800hp(1hp=745.7W)的最大动力与 1420N·m 的峰值转矩,从 0→100km/h 加速只需 3.7s,0→200km/h 加速只需 9.8s,0→300km/h 加速只需 23.8s,所有的这些纪录都为巴博斯汽车所独占。当世界上其他豪车以 100km/h 加速时间作为衡量标准时,巴博斯已将 300km/h 加速时间作为自己加速能力的参考。



图 1.01 巴博斯汽车

汽车动力性是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,表示汽车以最大可能的平均行驶速度运送货物或乘客的能力。汽车作为一种高效运输工具,其高效在很大程度上取决于汽车的动力性。因此,汽车动力性是汽车各种使用性能中最基本、最重要的一种性能。

1.1 汽车动力性评价指标

提高汽车的平均行驶速度,可提高汽车的运输生产率。从获得尽可能高的汽车平均行驶速度的目的出发,汽车的动力性可由汽车的最高车速、加速时间、最大爬坡度和驱动轮输出功率等指标评价。

1. 汽车最高车速

汽车最高车速 u_{\max} 是指汽车在水平良好的路面(混凝土和沥青)上满载行驶所能达到的最高行驶速度(km/h)。

汽车最高车速越高,则汽车提高平均行驶速度的潜力越大,因而汽车的动力性就越好。随着汽车制造业水平的提高,汽车最高车速有增加的趋势。轿车常行驶于良好的路面,追求高的动力性,因此轿车最高车速较高,范围在 140~300km/h。在我国,由于交通法规的限制,轿车行驶达不到最高车速,但它仍是动力性的象征。货车和客车的主要技术参数是载质量或载客量,因而其最高车速相对较低,为 80~130km/h,它对长途运输车

辆的平均行驶速度影响最大。

2. 汽车加速时间

汽车加速能力常用加速时间来表征。汽车加速时间是指汽车在干燥、清洁、平直的良好路面上,由某一低速全力加速到某一高速所需的时间(s)。常用原地起步加速时间和超车加速时间来表示汽车的加速能力。

原地起步加速时间是指汽车由1挡或2挡起步,并以最大的加速强度,选择恰当的换挡时机逐步换至最高挡后到某一预定车速所需的时间。一般常用0→100km/h的秒数来表明汽车的原地起步加速能力。原地起步加速时间越短,则使用低速挡的时间就越短,汽车平均行驶速度就越高,这对市区运输车辆有较大的影响。因此,轿车对原地起步加速时间特别重视,其加速时间短。例如,中级轿车从0→100km/h所需时间为10~17s;高级轿车加速时间更短,如宝马M5轿车、法拉利SA APERTA超级跑车从0→100km/h所需的时间分别为4.4s和3.6s。

超车加速时间是指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。它对长途运输车辆的平均行驶速度及安全行车有较大的影响。若超车加速时间越短,则表示加速性能越好,超车能力越强,超车时两车并行的行程越短,行驶安全性越高,平均行驶速度越大。

3. 汽车最大爬坡度

汽车的上坡能力用汽车最大爬坡度 i_{\max} 来表示。最大爬坡度 i_{\max} 是指汽车在良好的路面上满载等速行驶所能通过的最大坡度,显然它就是汽车最低挡时的最大爬坡度。

汽车的类型不同,则对最大爬坡度的要求也不一样。由于货车在各种路面上行驶,故要求具有较高的爬坡能力,一般货车的 i_{\max} 在30%左右。而越野车由于在差路或无路条件下行驶,故应有更高的爬坡能力,通常越野车的最大爬坡度在60%左右,爬坡能力特别强的越野车其最大爬坡度可达70%~100%,如陆虎的 i_{\max} 就是100%。轿车通常在较好路面上行驶,一般不强调其爬坡能力,但由于轿车第1挡的加速能力大,故轿车的爬坡能力也强。汽车最大爬坡度越大,说明汽车行驶的通过性越好,它对山区行驶车辆的平均行驶速度有很大的影响。

4. 驱动轮输出功率

驱动轮输出功率是指汽车发动机动力经传动系统至驱动轮输出的功率。其功率计算如下:

$$P_t = \frac{T_t n_t}{9550} = P_e \times \eta_T \quad (1-1)$$

式中 P_t ——驱动轮输出功率(kW);
 P_e ——发动机输出功率(kW);
 T_t ——驱动轮输出转矩(N·m);
 n_t ——驱动轮转速(r/min);
 η_T ——传动系统机械效率。

驱动轮输出功率是汽车发动机和传动系工作过程的输出参数,它完全取决于发动机发出的功率和传动系统的机械效率。汽车在使用过程中,发动机、传动系统的技术状况会逐



渐下降，其驱动轮输出功率将因此而减小，所以用驱动轮输出功率的数值能评价在用汽车的动力性。

常用发动机在额定转矩和额定功率时的驱动轮输出功率作为在用汽车动力性评价指标。额定转矩时的驱动轮输出功率可反映在用汽车通过最大坡度的能力，额定功率时的驱动轮输出功率能反映在用汽车高速行驶的能力。因此，汽车驱动轮输出功率越大，说明汽车提高平均行驶速度的能力越强，汽车动力性越好。

1.2 汽车动力性分析

1.2.1 汽车行驶原理

欲使静止的汽车开始行驶，必须有与行驶方向相同的驱动力作用于汽车上。驱动力用来克服汽车行驶中的各种阻力，使汽车产生运动。若要汽车正常行驶，则必须满足汽车行驶的驱动与附着条件。

1. 汽车驱动力

1) 驱动力产生原理

汽车驱动力是指汽车行驶时，由地面提供给驱动轮的克服各种行驶阻力推动汽车前进的作用力。汽车行驶时，发动机输出的转矩经由传动系统变换后传到驱动轮上，其驱动力矩 T_t 力图使驱动轮旋转（图 1.1）。当驱动轮转动时，在轮胎与地面接触点，车轮对地面施加一个向后的切向作用力 F_0 ，与此同时，路面对车轮也施加了一个数值相等、方向与汽车行驶方向相同的切向反作用力 F_t ，则 F_t 就是推动汽车行驶的驱动力。

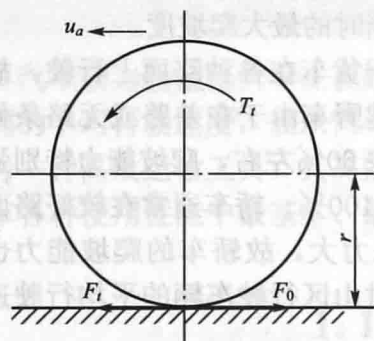


图 1.1 汽车驱动力

2) 驱动力计算

汽车驱动力与发动机转矩、传动系统参数和车轮滚动半径有关，其大小可用式(1-2)计算：

$$F_t = \frac{T_t}{r} = \frac{T_q i_0 i_g \eta_T}{r} \quad (1-2)$$

式中 F_t ——驱动力(N)；

T_q ——发动机输出的有效转矩(N·m)；

i_g ——变速器的传动比；

i_0 ——主减速器的传动比；

η_T ——传动系统的效率；

r ——车轮半径(m)。

(1) 发动机转矩。发动机的转矩与发动机工况有关，它取决于发动机的速度特性。发动机的速度特性是指发动机功率 P_e 、转矩 T_q 、燃油消耗率 b 与发动机转速的变化关系，通常以曲线表示。如果节气门全开(或在最大供油量位置)，则此特性曲线称为发动机外特

性曲线,图 1.2 为某汽油发动机的外特性曲线。如果节气门部分开启(或部分供油),则其特性曲线称为发动机部分速度特性曲线,如图 1.3 所示。

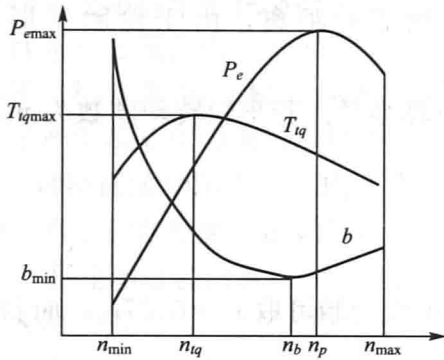


图 1.2 汽油发动机外特性

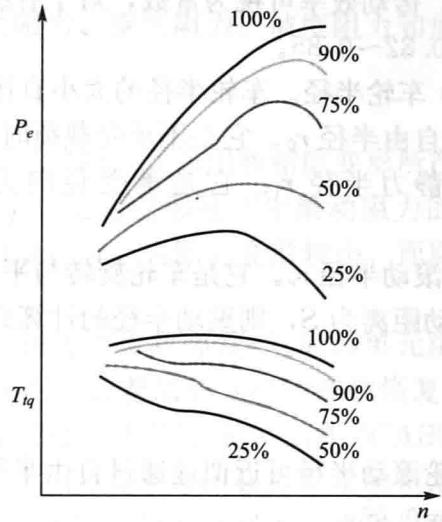


图 1.3 汽油机外特性及部分速度特性

由图 1.2 和图 1.3 可知,发动机转矩随发动机转速、负荷而变。由于动力性要反映汽车的最大动力强度,因此发动机转矩常取自发动机外特性,当节气门部分开启时,其转矩相对减小。

实际上,汽车发动机输出的外特性应是使用外特性,它是指发动机带上全部附件后的发动机外特性。使用外特性的功率、转矩均比外特性的小。一般汽油机输出的最大功率比其外特性最大功率约小 15%,货车柴油机输出的最大功率约小 5%,轿车与轻型汽车柴油机最大功率约小 10%;其发动机转矩根据其转速的不同相应减小。

(2) 传动效率。传动系统在传输动力时会损失部分功率,其损失程度可用传动效率描述。传动效率是指传动系统输出功率与输入功率的比值,即

$$\eta_T = \frac{P_e - P_T}{P_e}$$

式中 P_T ——传动系统的损失功率(kW)。

传动系统的功率损失主要由变速器、万向传动装置、主减速器等处的功率损失组成。其中变速器和主减速器的功率损失占主要部分。

传动系统的功率损失可分为机械损失和液力损失两大类。机械损失主要包括:齿轮传动副之间、轴承及油封等摩擦损失,它与齿轮啮合对数和传递转矩有关。液力损失主要包括:润滑油搅动、润滑油与零件表面摩擦引起的损失,它与润滑油的品质、温度、油面高度及旋转件的转速有关。

传动效率与诸多因素有关。通常同一挡位转矩增加时,搅油损失相对比例较小,机械效率提高;转速低时,搅油损失较小,机械效率较高;直接挡传动时,变速器的机械损失较小,传动效率较高;润滑油品质好、温度适中、油面高度合适时,润滑条件好,搅油损失小,传动效率较高;手动变速器比液力变矩器式自动变速器的液力损失小,传动效率较高;单级主减速器比双级主减速器机械损失小,传动效率较高;单轴驱动汽车比多轴驱动



汽车的损失功率小，机械效率高。

传动效率受多种因素影响而不断变化，只能通过试验测得。但对汽车进行一般动力性分析时，传动效率可视为常数，对于有级变速器的轿车 $\eta_T=0.90\sim 0.92$ ，载货汽车和大客车 $\eta_T=0.82\sim 0.85$ 。

(3) 车轮半径。车轮半径的大小直接影响着驱动力。车轮半径有多种。

① 自由半径 r_0 。它是不承受载荷时的车轮半径。

② 静力半径 r_s 。它是承受径向力时轮心至地面的距离，由于轮胎变形， r_s 小于 r_0 。

③ 滚动半径 r_r 。它是车轮旋转与平移运动的折算半径。若车轮转动圈数为 n_w ，实际车轮滚动距离为 S ，则滚动半径的计算式为

$$r_r = \frac{S}{2\pi n_w}$$

车轮滚动半径可近似地通过自由半径求得，子午线轮胎可取 $r_r=0.97r_0$ ，而斜交轮胎可取 $r_r=0.95r_0$ 。

对汽车进行动力学分析时应用静力半径；进行运动学分析时应用滚动半径。在实际应用中，一般不计其差别，统称车轮半径 r ，即认为 $r=r_r=r_s$ 。

3) 驱动力特性

汽车驱动力特性是指驱动力与挡位、车速的变化关系。利用驱动力图可方便分析汽车驱动力特性。在驱动力式(1-2)各参数确定后，利用车速与发动机转速的关系式

$$u_a = 0.377 \frac{rn}{i_g i_0} \quad (1-3)$$

式中 u_a ——车速(km/h)；

n ——发动机转速(r/min)。

可作汽车驱动力图，即驱动力与车速的变化关系图(图 1.4)。汽车驱动力图能全面直观地显示各挡位在发动机节气门全开时驱动力随车速的变化特性，表述如下。

① 驱动力随挡位而变。受变速器传动比的影响，驱动力随挡位的降低而增大。低挡位驱动力大，克服道路阻力的能力强，最大爬坡能力及最大加速能力，往往在第 I 挡；高挡位驱动力小，对应的车速高，适合在良好路面行车。

② 驱动力随车速而变。受外特性转矩变化的影响，汽车在各挡位稳定行驶时，驱动力随车速的降低而增大，这说明汽车在道路条件变差时能够自动地减速来提高克服道路阻力的能力。

③ 驱动力随节气门位置而变。受速度特性转矩变化的影响，各挡驱动力随节气门的加大而增加，节气门全开时，各挡驱动力最大(图 1.4)，但汽车实际行驶时，由于发动机节气门经常在部分开度下工作，因此各挡相应的驱动力会

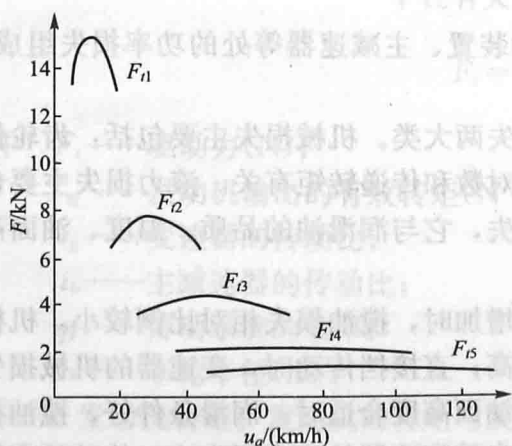


图 1.4 汽车驱动力图

减少。

2. 汽车行驶阻力

汽车行驶过程中，阻止汽车前进的阻力有滚动阻力、空气阻力、坡度阻力和加速阻力4种，这些阻力合称为行驶阻力。

1) 滚动阻力

滚动阻力是指车轮在路面滚动时，轮胎与路面之间的相互作用和相应变形所产生的阻力。弹性车轮在硬路面上滚动时，路面的变形很小，轮胎变形是产生滚动阻力的根本原因；车轮在松软路面(如松软土路、沙地、雪地等)滚动时，轮胎的变形较小，而路面的沉陷变形是产生滚动阻力的根本原因。

(1) 硬路面滚动阻力的形成。汽车充气轮胎可视为由无数弹簧-阻尼器单元组成的弹性轮胎。当轮胎在硬路面滚动时，轮胎的每个单元都经历着加载变形和卸载恢复的过程。图 1.5(a)是轮胎受径向载荷时的变形曲线，其中 C 曲线为加载过程，面积 $OCAB_0$ 为加载过程对轮胎所做的功；而 D 曲线为卸载过程，面积 $ADEBA$ 为卸载过程轮胎恢复变形所释放的功。两面积之差 $OCADE_0$ 即为在加载和卸载过程中的能量损失，这种损失称为弹性轮胎的迟滞损失。迟滞损失是由轮胎变形时轮胎各个组成部分相互间的摩擦及橡胶、帘线等物质的分子间摩擦产生，并转化为热能而散失在大气中。

轮胎滚动时产生的迟滞损失，表现为阻碍车轮运动的阻力偶。车轮未滚动时地面对车轮法向反力的分布其前后是对称的，合力指向轮心。车轮滚动时，由于轮胎与地面接触区的前端处于压缩加载，而后端处于松弛卸载，因而接触面前端法向力大于后端法向力，使得接触区法向反作用力的分布前后不对称，法向反作用合力向前偏移了一段距离 a [图 1.5(b)]，使车轮上的地面反力 F_Z 与车轮垂直载荷 W 形成力偶 $F_Z a$ ，它起到阻碍车轮滚动的作用，称为滚动阻力偶。

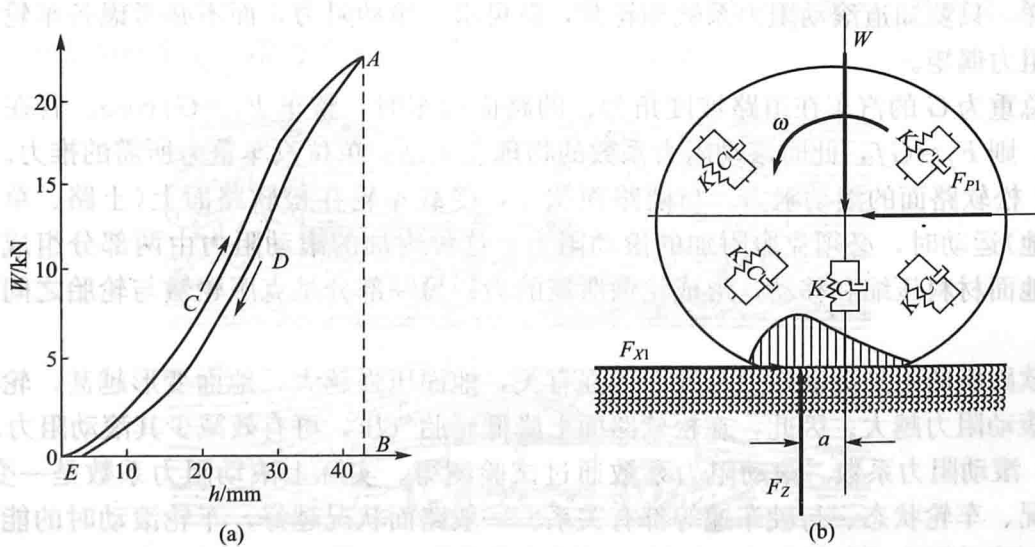


图 1.5 滚动阻力偶形成原理

(a) 轮胎径向变形曲线；(b) 滚动阻力偶的形成

滚动阻力偶的出现导致汽车行驶产生滚动阻力，下面以从动轮在硬路面上的等速滚动(图 1.6)为例来说明。欲使从动轮等速滚动，必须在车轮中心施加推力 F_{P1} ，使其与地面



切向反作用力 F_{X1} 构成力偶矩来克服滚动阻力偶矩 T_f ，根据平衡条件有

$$T_f = F_Z a = F_{P1} r$$

$$F_{X1} = F_{P1} = \frac{a}{r} F_Z = \frac{a}{r} W$$

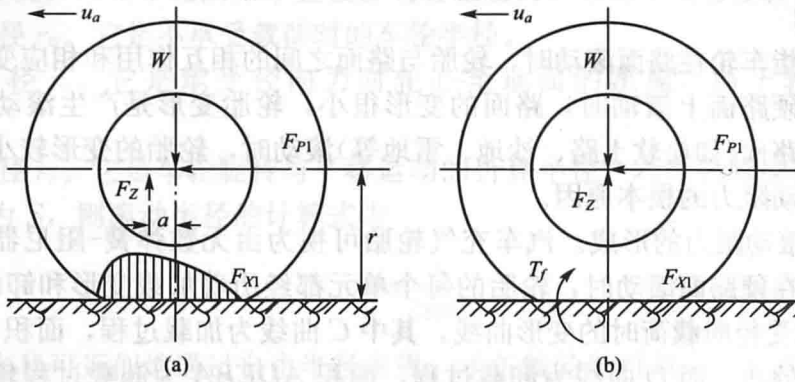


图 1.6 从动轮滚动时的受力

令 $f = \frac{a}{r}$ ， f 称为滚动阻力系数，则

$$F_{P1} = W f \tag{1-4}$$

式(1-4)表明，车轮等速滚动时必须克服的阻力是车轮法向垂直载荷 W 与滚动阻力系数 f 的乘积，因此其滚动阻力为

$$F_f = W f = \frac{T_f}{r} \tag{1-5}$$

这样，只要知道滚动阻力系数和轮荷，就可求出滚动阻力，而不必考虑各车轮所受到的滚动阻力偶矩。

当总重为 G 的汽车在道路坡度角为 α 的路面行车时，整车 $F_f = G f \cos \alpha$ 。若在水平路面行车，则 $F_f = G f$ ，此时滚动阻力系数的物理意义是：单位汽车重力所需的推力。

(2) 松软路面的滚动阻力。与硬路面相比，受载车轮在松软路面上(土路、草地、沙土、雪地)运动时，必须克服附加的滚动阻力。这种附加的滚动阻力由两部分组成：一部分是使地面材料压缩和移动，形成轮辙所需的力；另一部分是克服轮辙与轮胎之间摩擦所需的力。

松软路面的附加滚动阻力与地面压强有关，地面压强越大，地面变形越甚，轮辙深度越深，滚动阻力越大。因此，在松软路面上降低轮胎气压，可有效减少其滚动阻力。

(3) 滚动阻力系数。滚动阻力系数通过试验测得。实际上滚动阻力系数是一变化值，它与路况、车轮状态、行驶车速等都有关系。一般路面状况越好，车轮滚动时的能量损失越少，则滚动阻力系数就越小；子午线轮胎因帘线层数少、弹性迟滞损失少使得其滚动阻力系数比普通斜交轮胎的小；同类型轮胎，在硬路面行车时，若轮胎气压降低，则轮胎变形增加，弹性迟滞损失加大，滚动阻力系数变大；在松软路面时，气压适当低些，路面变形较小，滚动阻力系数减小；在路面及轮胎状况相同的条件下，车速越高，轮胎周向、侧向扭曲变形就越大，滚动阻力系数越大，当车速过高时，轮胎产生驻波现象，轮胎周缘不

再是圆形而呈明显的波浪状,此时滚动阻力系数会急剧加大。表 1-1 是汽车中低速行驶时的不同路面的滚动阻力系数。

表 1-1 汽车中低速行驶时不同路面的滚动阻力系数

路面类型	滚动阻力系数	路面类型	滚动阻力系数
良好的沥青或混凝土路面	0.010~0.018	压紧的雨后土路	0.050~0.150
一般的沥青或混凝土路面	0.018~0.020	泥泞土路(雨季或解冻期)	0.100~0.250
碎石路面	0.020~0.025	干沙	0.100~0.300
良好的卵石路面	0.025~0.030	湿沙	0.060~0.150
坑洼的卵石路面	0.030~0.050	结冰路面	0.015~0.030
压紧的干燥土路	0.025~0.035	压紧的雪道	0.030~0.050

2) 空气阻力

空气阻力是指汽车直线行驶时,空气作用在汽车行驶方向上的分力。汽车行驶时,由于汽车与空气的相对运动(图 1.7),汽车要挤开周围的空气,并与空气产生摩擦,因而产生空气阻力。

(1) 空气阻力的组成。空气阻力由压力阻力和摩擦阻力两部分组成。

① 压力阻力。作用在汽车外形表面上法向压力的合力在行驶方向的分力称为压力阻力。压力阻力又分为 4 部分:形状阻力、干扰阻力、内循环阻力和诱导阻力。

形状阻力是指与汽车形状有关的压差阻力。汽车行驶时,空气流经车身,由于汽车主体形状所限和空气具有黏性,空气在车身表面会产生分离现象,被车辆分开的空气无法在后部平顺合拢而恢复原状,造成车身后部有明显的涡流区(图 1.7),并产生负压,而汽车前面是正压,这样在汽车行驶方向上产生了压差阻力。涡流区域越大,压差阻力也就越大。形状阻力是汽车空气阻力的主体,约占空气阻力的 58%。

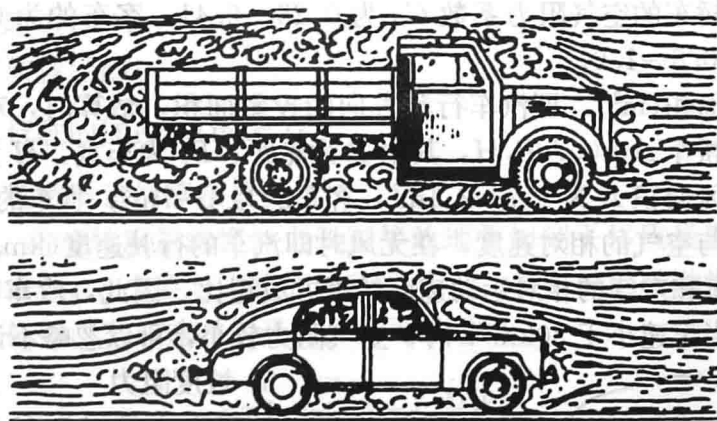


图 1.7 汽车行驶时的空气流动

干扰阻力是指车身表面突起物(如后视镜、门把手、天线等)引起的阻力。干扰阻力约占空气阻力的 14%。

内循环阻力是指发动机冷却系统、车身通风等所需的空气流经车体内部时所产生的阻力(图 1.8)。内循环阻力约占空气阻力的 12%。



诱导阻力是指升力在水平方向的分力 F_{xi} (图 1.9)。由于气流经过车身上下部时, 由于空气质点流经上下表面的路程不同、流速不同从而产生压差, 即升力。诱导阻力约占空气阻力的 7%。

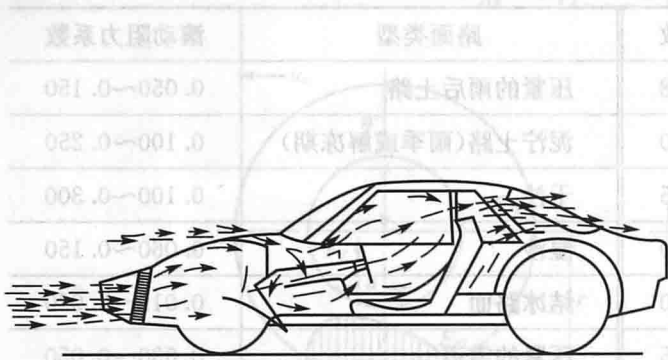


图 1.8 汽车内循环气流

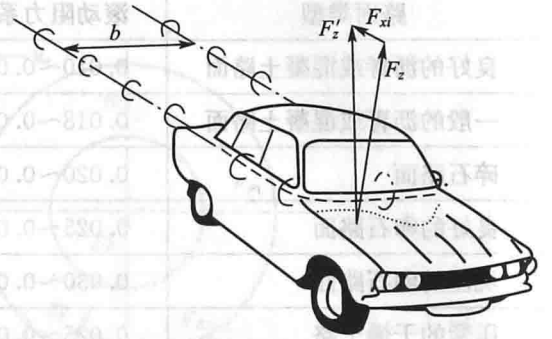


图 1.9 诱导阻力

F'_z —空气升力; F_{xi} —诱导阻力

② 摩擦阻力。它是指车身表面与空气摩擦时产生的切向力合力在汽车行驶方向的分力。汽车运动时, 因空气的黏性作用, 使得空气与车身表面发生摩擦, 从而产生车辆表面的摩擦阻力。摩擦阻力一般很小, 约占空气阻力的 9%。

(2) 空气阻力的计算。空气阻力尽管是作用于整个车辆, 但可等效地简化为一个合力, 认为作用于汽车的风压中心。汽车空气阻力主要与汽车的外部形状、正投影面积、汽车与空气的相对运动速度有关。空气阻力大小可用式(1-6)计算:

$$F_w = \frac{C_D A u_a^2}{21.15} \quad (1-6)$$

式中 F_w ——空气阻力(N);

C_D ——空气阻力系数, 取决于汽车的形状和表面的粗糙程度, 由风洞试验测得。目前, 轿车的空气阻力系数 C_D 为 0.28~0.41, 客车的为 0.50~0.80, 货车的为 0.6~1.0;

A ——迎风面积(m^2), 即汽车行驶方向的投影面积, 估算时, 对于货车 $A=BH$, 对于轿车 $A=0.78B_1H$, 其中 B 为轮距, B_1 为车宽, H 为车高。典型轿车的迎风面积 A 为 1.7~2.1 m^2 , 客车的为 4~7 m^2 , 货车的为 3~7 m^2 ;

u_a ——汽车与空气的相对速度, 在无风时即汽车的行驶速度(km/h)。

空气阻力与汽车和空气的相对运动速度的平方成正比。因此, 汽车高速行驶时, 空气阻力显著增加, 而当车速小于 30km/h 时, 空气阻力较小, 可以忽略不计。

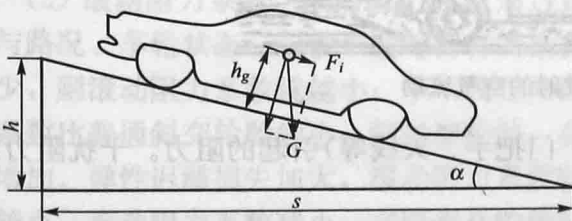


图 1.10 汽车的坡度阻力

3) 坡度阻力

坡度阻力是指汽车上坡行驶时, 汽车重力沿坡道方向的分力, 如图 1.10 所示。坡度阻力取决于汽车的总质量和道路的坡度角, 可由式(1-7)计算:

$$F_i = G \sin \alpha \quad (1-7)$$