

汽车维修 职业/技术/基础/教材

The sunroof closes if there is an imminent risk of a roll-over.

汽车理论

QI CHE LI LUN



○ 曹红兵 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

汽车维修职业技术基础教材

汽 车 理 论

主 编 曹红兵
副主编 卢国东



机 械 工 业 出 版 社

本书分析了汽车的主要性能,包括汽车的动力性、燃油经济性、汽车的制动性、操纵稳定性、安全性、环保性、乘坐舒适性、通过性和可靠性与更新理论等。各章分别介绍了各使用性能的评价指标与评价方法,分析了结构因素、使用因素对各使用性能的影响,大部分章节还对性能试验和检测进行了简单的介绍。

本书可作为高职高专汽车运用与维修专业的教学用书,又可作为其他相关专业的辅助教材,还可供从事汽车运用理论研究与实践的技术与管理
人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

汽车理论/曹红兵主编. —北京:机械工业出版社,
2007.3

汽车维修职业技术基础教材

ISBN 978-7-111-21117-4

I. 汽… II. 曹… III. 汽车工程—教材 IV. U461

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 032952 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:徐 巍 责任编辑:夏 韩 版式设计:冉晓华

责任校对:樊钟英 封面设计:王伟光 责任印制:李 妍

北京铭成印刷有限公司印刷

2007 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 11 印张 · 265 千字

0001—4000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-21117-4

定价:19.00 元

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)88379771

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是为汽车运用与维修等专业编写的高职高专通用教材。在编写本书过程中，笔者充分考虑了目前高职高专的教学特点和学生特点，坚持以“必需、实用、够用”为原则，内容上尽量压缩理论性分析和公式推导，教材理论体系从过去以载货车为主转为现在以轿车为主，如将以往的乘坐舒适性从狭义的局限于研究因振动而致的汽车平顺性拓展为包括平顺性、车内空气调节和乘坐性在内的广义的乘坐舒适性。为了与汽车节能、环保、安全的发展趋势相适应，本书增加了汽车安全性与环保性的相关内容，进一步突出了内容上的先进性。另外，教材中增加了一些汽车性能技术参数的试验与检测的内容，更加注重了理论与实践相结合，突出了实践性。为便于考查学生掌握的程度和组织考试，每章后均附有习题。

本书既可作为高职高专汽车运用与维修专业的教学用书，也可作为其他相关专业的辅助教材，还可供从事汽车运用理论与实践的技术与管理人员阅读。

在教材编写中，编者参考了大量的文献资料，在此，谨向原作者表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在错误或疏漏之处，欢迎广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言	
第1章 汽车的动力性 1	
1.1 汽车的动力性指标 2	
1.2 汽车的驱动力 3	
1.3 汽车的行驶阻力 5	
1.4 汽车行驶的驱动与附着条件..... 11	
1.5 汽车驱动力-行驶阻力平衡 13	
1.6 汽车的功率平衡..... 16	
1.7 影响汽车动力性的主要因素..... 17	
1.8 汽车动力性试验..... 20	
习题 22	
第2章 汽车的燃油经济性 24	
2.1 汽车燃油经济性的评价指标..... 25	
2.2 汽车燃油经济性的计算..... 26	
2.3 提高汽车燃油经济性的措施..... 27	
2.4 汽车燃油经济性试验..... 33	
习题 37	
第3章 汽车的制动性 38	
3.1 制动性的评价指标..... 39	
3.2 制动时车轮的受力分析..... 40	
3.3 制动效能及其恒定性..... 43	
3.4 制动时的方向稳定性..... 45	
3.5 前后制动器制动力的比例关系 ... 48	
3.6 影响汽车制动性的主要因素..... 55	
3.7 汽车制动性试验..... 57	
习题 60	
第4章 汽车的操纵稳定性 62	
4.1 操纵稳定性的研究对象与 评价指标..... 63	
4.2 轮胎的侧偏特性..... 66	
4.3 线性二自由度汽车模型对 前轮角输入的响应..... 71	
4.4 转向特性的影响因素及 改善措施..... 74	
4.5 汽车的极限稳定性..... 77	
4.6 转向轮的摆振及其稳定效应..... 80	
4.7 操纵稳定性试验..... 84	
习题 87	
第5章 汽车的安全性 90	
5.1 碰撞特性及人体损伤机理..... 91	
5.2 安全车身结构..... 94	
5.3 汽车乘员保护系统..... 96	
5.4 汽车碰撞安全法规及 碰撞试验 103	
习题 106	
第6章 汽车的环保性 107	
6.1 汽车的排放污染 108	
6.2 汽车的噪声污染 121	
习题..... 128	
第7章 汽车的乘坐舒适性 130	
7.1 汽车的振动与平顺性 131	
7.2 乘坐性及操作方便性 137	
7.3 车内空气调节 138	
习题..... 140	
第8章 汽车的通过性 142	
8.1 通过性的几何参数及支承与 牵引参数 143	
8.2 汽车通过性的影响因素与 改善措施 145	
8.3 汽车通过性试验 148	



习题.....	148	9.3 汽车的技术状况及其变化规律 ...	157
第9章 汽车的可靠性与更新理论	149	9.4 汽车使用寿命与更新理论	163
9.1 汽车的可靠性指标	150	习题.....	166
9.2 汽车的故障	151	参考文献	167



第

1

章

汽车的动力性

汽车的动力性是指汽车在良好路面上直线行驶时，由低挡起步，在起步过程中，克服各种阻力，使汽车由静止加速到一定速度的能力。汽车的动力性指标包括最高车速、加速时间和爬坡能力等。汽车的动力性主要取决于发动机的性能、传动系统的效率以及汽车的重量和空气阻力等因素。

汽车的动力性指标是评价汽车性能的重要指标之一。在道路行驶中，汽车的动力性直接影响其行驶速度、加速性能和爬坡能力。因此，在汽车设计和选型过程中，动力性是一个不可忽视的重要因素。

汽车的动力性指标包括最高车速、加速时间和爬坡能力等。最高车速是指汽车在良好路面上直线行驶时所能达到的最高速度。加速时间是指汽车从静止加速到某一指定速度所需的时间。爬坡能力是指汽车在良好路面上直线行驶时所能克服的最大坡度。

汽车的动力性指标是评价汽车性能的重要指标之一。在道路行驶中，汽车的动力性直接影响其行驶速度、加速性能和爬坡能力。因此，在汽车设计和选型过程中，动力性是一个不可忽视的重要因素。

汽车的动力性指标包括最高车速、加速时间和爬坡能力等。最高车速是指汽车在良好路面上直线行驶时所能达到的最高速度。加速时间是指汽车从静止加速到某一指定速度所需的时间。爬坡能力是指汽车在良好路面上直线行驶时所能克服的最大坡度。

学习目标

- ☑ 掌握汽车的动力性指标。
- ☑ 掌握汽车的驱动力和行驶阻力的形成机理与计算方法。
- ☑ 理解汽车行驶的驱动和附着条件。
- ☑ 理解汽车的驱动力-行驶阻力平衡图、动力特性图及功率平衡图。
- ☑ 掌握影响汽车动力性的主要因素。

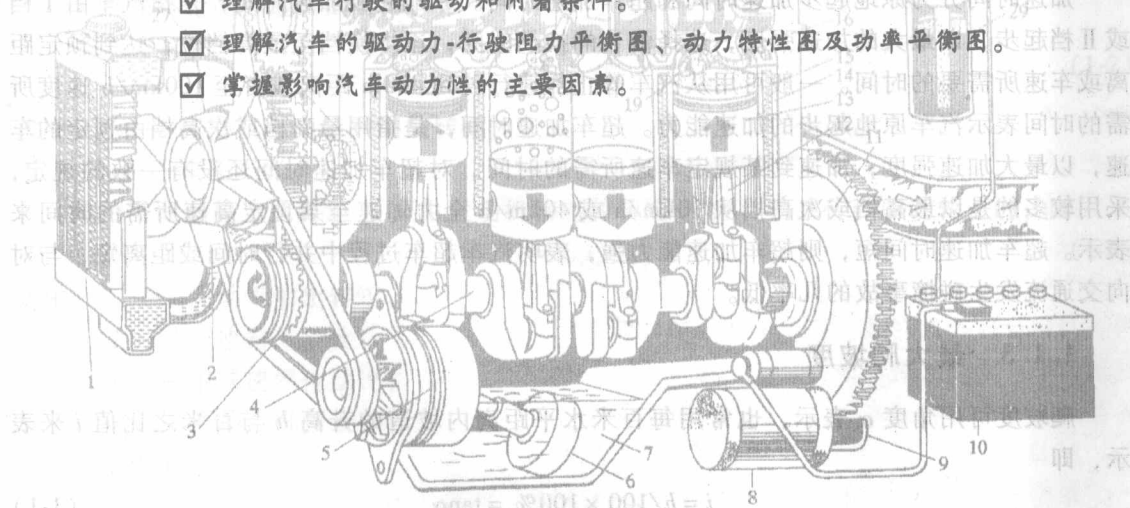


图 1-1 汽车动力性指标示意图



汽车的动力性,是指汽车在良好、平直的路面上直线行驶时,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,运输效率的高低主要取决于汽车的动力性。动力性越好,汽车以最快的运输速度完成运输工作的能力越高。提高汽车平均行驶速度,就会提高汽车的运输效率。所以,动力性是汽车各种性能中最基本、最重要的性能之一。

1.1 汽车的动力性指标

重点掌握

- 汽车动力性的主要评价指标。

从为获得尽可能高的平均行驶速度的观点出发,汽车的动力性主要以最高车速、加速时间及最大爬坡度作为评价指标。动力性代表了汽车行驶可发挥的极限能力。在评价汽车动力性时,由于汽车用途和使用条件的不同,要求也不一样。如经常在公路干线上行驶的汽车,起主要作用的是汽车最大速度,而加速度的要求居于次位。而市内行驶的汽车正好相反,由于城市内交通繁忙,汽车在行驶中需要经常制动、停车和起步,汽车加速性能便成为评价这类汽车运动性的主要指标。

1.1.1 最高车速

最高车速,是指汽车在平直的良好道路(混凝土或沥青)上所能达到的平均最高行驶车速。通常用 u_{\max} 表示,单位为 km/h。一般轿车的最高车速为 130~200km/h,客车的最高车速为 90~130km/h,货车的最高车速为 80~110km/h。

1.1.2 加速时间

汽车加速时间表示汽车的加速能力,用 t 表示,单位为 s,它对汽车平均行驶速度影响很大。

加速时间分为原地起步加速时间和超车加速时间。原地起步加速时间,是指汽车由 I 档或 II 档起步,以最大的加速强度,选择恰当的换档时间,逐步换档至最高档位,达到预定距离或车速所需要的时间。一般可用从汽车静止加速行驶到 400m 距离或者至 100km/h 速度所需的时间表示汽车原地起步的加速能力。超车加速时间,是指用最高档或次高档由预定的车速,以最大加速强度,加速到某规定车速所需的时间。对超车加速时间还没有一致的规定,采用较多的是以最高档或次高档从 30km/h 或 40km/h 全力加速至某预定高速所需的时间来表示。超车加速时间短,则超车加速能力强,表明汽车超车过程中并行时间或距离短,与对向交通流发生碰撞事故的几率低。

1.1.3 最大爬坡度

爬坡度可用角度 α 表示,也常用每百米水平距离内坡道的升高 h 与百米之比值 i 来表示,即

$$i = h/100 \times 100\% = \tan\alpha \quad (1-1)$$

最大爬坡度为 α_{\max} 或 i_{\max} ,它代表了汽车的极限爬坡能力。

最大爬坡度,是指汽车满载时以 I 档在良好路面所能爬上的坡度。各种车辆的爬坡能力



不同。越野汽车需要在坏路或无路条件下行驶,需要克服松软坡道路面的较大阻力以及凹凸不平路面的局部大阻力,因而爬坡能力是一项重要指标,它的最大爬坡度要求达到60% (30°)左右或更高;货车经常在各种路面上行驶,要求具有足够的爬坡能力,最大爬坡度一般在30% (16.5°)左右;轿车主要行驶在良好路面上,车速高,加速快,一般不强调其爬坡能力,但实际上它的低档加速能力大,所以爬坡能力也强。

此外,为了维持道路上各种车辆能畅通行驶,要求各种车辆在常见的坡道上,它们的动力性相差不能太悬殊。所以,还可以用汽车在常遇到的坡道上必须保证的一定车速来表明它的爬坡能力。例如要求汽车在3%的坡道上能以60km/h的车速行驶。控制这项指标可以使各种车辆在通常条件下的爬坡能力接近,有利于交通的畅通。

1.2 汽车的驱动力

为了确定汽车的动力性,确定汽车沿行驶方向的运动状况。我们需要掌握沿汽车行驶方向作用于汽车的各种外力,即驱动力与行驶阻力。根据这些力的平衡关系,建立汽车行驶方程式,就可估算汽车的最高车速、加速性能和最大爬坡度。

重点掌握

- 汽车驱动力的产生。
- 影响驱动力的因素。
- 驱动力图。

1.2.1 驱动力的产生

发动机输出的转矩 T_{iq} 经传动系传到驱动轮上,作用于驱动轮上的转矩 T_i ,使驱动轮对路面产生一个圆周力 F_0 ,根据作用力与反作用力定律,路面产生作用于车轮圆周上的切向反作用力 F_t , $F_t = F_0$,见图1-1。切向反作用力 F_t 是驱动汽车前进的外力,称为汽车的驱动力。

如果忽略轮胎和地面的变形,则

$$F_t = \frac{T_i}{r} \quad (1-2)$$

式中 T_i ——传输至驱动轮圆周的转矩;

r ——车轮半径。

作用于驱动轮上的转矩 T_i 是由发动机输出的转矩 T_{iq} 经传动系传到驱动轮上的,则

$$T_i = T_{iq} i_g i_0 \eta_T \quad (1-3)$$

式中 T_{iq} ——发动机输出转矩;

i_g ——变速器传动比;

i_0 ——主减速器传动比;

η_T ——传动系机械效率。

驱动力 F_t 为

$$F_t = \frac{T_{iq} i_g i_0 \eta_T}{r} \quad (1-4)$$

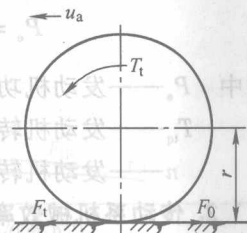


图1-1 汽车的驱动力



1.2.2 驱动力的影响因素

下面讨论上述公式中的发动机输出转矩、传动系机械效率、车轮半径，并最后给出汽车的驱动力图。

1. 发动机转速特性

发动机速度特性，是指发动机功率 P_e 、转矩 T_{iq} 、燃料消耗率 b_e （也称为比油耗）与发动机曲轴转速 n_e 的函数关系曲线，通常称为发动机速度特性曲线，或简称为发动机速度特性。发动机节气门部分开启条件下的速度特性，称为发动机部分速度特性。发动机节气门全开（即加速踏板最大行程）条件下的速度特性，称为发动机外速度特性，见图 1-2。

图 1-2 中， n_{min} 和 n_{max} 分别为发动机的最小稳定转速和最大转速；当转速低于 n_{iq} 时，发动机转矩随转速升高而增加，至 n_{iq} 时达到最大转矩 T_{iqmax} ；转速高于 n_{iq} ，转速升高，转矩开始下降。当转速低于 n_p 时，发动机功率随转速升高而增加，至 n_p 时达到最大功率 P_{emax} ；转速高于 n_p ，转速升高，功率开始下降。

若功率单位为 kW、转矩单位 $N \cdot m$ 、转速单位为 r/min ，则功率与转速和转矩的关系式为

$$P_e = \frac{T_{iq} \times 2\pi n}{60 \times 1000} \approx \frac{T_{iq} \times n}{9549} \quad (1-5)$$

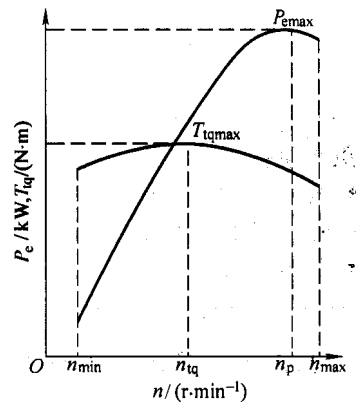


图 1-2 汽油发动机外特性

式中 P_e ——发动机功率；
 T_{iq} ——发动机转矩；
 n ——发动机转速。

2. 传动系机械效率

在将发动机动力传输到驱动轮的过程中，因克服传动系中的各个部件相互运动摩擦，消耗了部分动力，则传动系的机械效率为

$$\eta_T = \frac{P_e - P_T}{P_e} = 1 - \frac{P_T}{P_e} \quad (1-6)$$

式中 P_e ——发动机所发出的功率；
 P_T ——传动系中损失的功率。

传动系的功率损失由传动系中的变速器、传动轴、万向节、主减速器等部件的功率损失所组成。其中变速器和主减速器的功率损失较大，其他部件的功率损失较小。传动系功率损失分为机械损失和液力损失两类。传动系机械损失是齿轮传动副、轴承、油封处的摩擦损失，与啮合齿轮的对数、传递的转矩等因素有关。液力损失是消耗于润滑油的搅动、润滑油与旋转零件之间的表面摩擦等功率损失，与润滑油的品质、温度、箱体内的油面高度以及齿轮等旋转零件的转速有关。

3. 车轮半径

车轮半径分为自由半径、静力半径和滚动半径。车轮无载荷时的半径称为自由半径 r_0 。车轮静止不动时，车轮中心至轮胎与道路接触面之间的距离称为静力半径 r_s 。由于轮胎承受径向载荷的作用而发生变形，显然有 $r_0 > r_s$ 。车轮运动时，汽车运动速度 u 与车轮角速度之



比值称为车轮滚动半径或动力半径 r_r 。

对汽车进行动力学分析时应该使用静力半径 r_s ；而在进行运动学分析时，采用滚动半径 r_r 。在实际应用中，一般不考虑它们的差别，统称为滚动半径 r ，即认为 $r_r \approx r_s \approx r$ 。

1.2.3 驱动力图

一般用驱动力与车速之间的函数关系曲线 $F_t - u_a$ 来全面表示汽车的驱动力，称为汽车的驱动力图。

根据发动机外特性 $T_{iq} - n_e$ 、传动系机械效率、轮胎半径、变速器档位传动比和主传动器传动比，就可由式(1-4)求出驱动力。

同时，汽车车速 u_a 与发动机曲轴转速 n_e 成线性关系，由此可求出汽车车速 u_a ，即

$$u_a = \frac{rn_e}{i_g i_0} \times \frac{2\pi}{60 \times 3.6} \approx 0.377 \frac{rn_e}{i_g i_0} \quad (1-7)$$

式中 u_a ——汽车行驶速度；

n_e ——发动机曲轴转速；

i_g ——变速器传动比；

i_0 ——主减速器传动比。

这样，就可根据发动机外特性 $T_{iq} - n_e$ 曲线图得到汽车驱动力和车速之间的函数 $F_t - u_a$ 曲线图，即汽车驱动力图。图 1-3 为具有五档变速器的货车的驱动力图。

由于驱动力图是由发动机外特性变换后得到的，它表示使用各个档位时不同车速下汽车所能发出驱动力的极限值。在汽车行驶中，加速踏板常处于部分行程位置，相应驱动力也位于驱动力图相应曲线的下面。

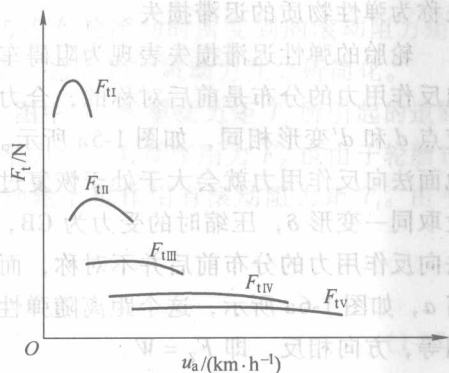


图 1-3 汽车的驱动力图

1.3 汽车的行驶阻力

汽车在水平道路上等速行驶时，需要克服地面滚动阻力 F_f 和空气阻力 F_w 。当汽车上坡行驶时，需要克服重力沿着坡道的分力，即坡道阻力 F_i 。汽车加速行驶时，需要克服加速惯性阻力，即加速阻力 F_j 。

因此，汽车行驶的总阻力为

$$\sum F = F_f + F_w + F_i + F_j \quad (1-8)$$

上述各个阻力中，只要汽车运动，滚动阻力和空气阻力就存在；而坡道阻力和加速阻力仅在一定的行驶条件下才存在。等速行驶时，就没有加速阻力 F_j ；在平直道路上行驶时，坡道阻力 F_i 就不存在。

重点掌握

- 汽车行驶阻力的四种类型。
- 滚动阻力系数的确定、意义及影响因素。
- 滚动阻力、空气阻力、坡道阻力和加速阻力的计算表达式。



下面就各种阻力进行进一步的分析。

1.3.1 滚动阻力

滚动阻力 F_f 是当车轮在路面上滚动时，由于两者间的相互作用和相应变形所引起的能量损失的总称。

车轮滚动时，轮胎与路面的接触区域产生相互作用力，轮胎和支承路面发生相应的变形。由于轮胎和支承面的相对刚度不同，它们的变形特点也不同。

当弹性轮胎在混凝土路、沥青路等硬路面上滚动时，轮胎的变形是主要的。这时，轮胎由于有内部摩擦产生弹性迟滞损失，使轮胎变形时，损耗了一部分能量。

图 1-4 为 9.00-20 轮胎在硬路面上受径向载荷时的变形曲线。图中 OCA 为加载变形曲线，OCABO 的面积为加载过程中对轮胎作的功。ADE 为卸载变形曲线，ADEBA 的面积为卸载过程中轮胎恢复变形时放出的能量。这两条曲线不重合，两面积之差 OCADEO 就是加载与卸载过程中由于轮胎变形而引起的能量损失。这部分能量消耗在轮胎各组成部分相互间的摩擦以及橡胶、帘线等物质的分子间的摩擦中，最后转化为热能而散失在大气中。这种损失称为弹性物质的迟滞损失。

轮胎的弹性迟滞损失表现为阻碍车轮滚动的一种阻力。当车轮静止时，地面对车轮的法向反作用力的分布是前后对称的，合力通过车轮中心；当车轮滚动时，在法线 $n-n'$ 前后相对应点 d 和 d' 变形相同，如图 1-5a 所示。但由于弹性迟滞现象，处于压缩过程的前部 d 点的地面法向反作用力就会大于处于恢复过程的后部 d' 点的地面法向反作用力。如图 1-5b 所示，设取同一变形 δ ，压缩时的受力为 CB，恢复时受力为 DB，而 CB 大于 DB。这样，就使地面法向反作用力的分布前后并不对称，而使它们的合力 F_z 相对于 $n-n'$ 的法线向前移了一个距离 a ，如图 1-6a 所示，这个距离随弹性迟滞损失的增大而变大。合力 F_z 与法向载荷 W 大小相等，方向相反，即 $F_z = W$ 。

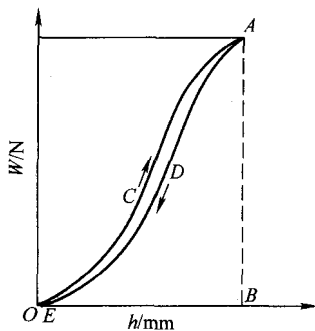


图 1-4 轮胎的径向变形曲线

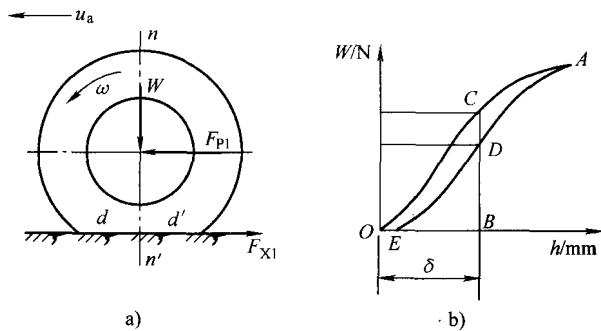


图 1-5 弹性车轮在硬路面上滚动时的受力情况

如果将法向反作用力 F_z 的作用点前移至与通过车轮中心的垂线重合，则从动轮在硬路面上滚动时的受力情况可画成如图 1-6b 所示的形式，由于 F_z 的作用点前移了一个距离 a ，而形成滚动阻力矩 $T_f = F_z a$ ，阻碍车轮滚动。

轮胎滚动时，与支承地面的接触区产生法向和切向的相互作用力，并使接触区的轮胎和地面发生相应的变形，由于轮胎和地面的相对刚度不同，它们的变形特点也不相同。

由图 1-6 可知，欲使从动轮在硬路面上等速滚动，必须在车轮中心加一推力 F_{P1} ，这个



推力与地面切向反作用力 F_{X1} 构成一力矩来克服滚动阻力矩。由平衡条件得：

$$F_{P1}r = T_f \quad (1-9)$$

则
$$F_{P1} = \frac{T_f}{r} = F_Z \frac{a}{r}$$

若令 $f = \frac{a}{r}$ ，且考虑到 F_Z 与 W 的大小相等，常将 F_{P1} 值写成

$$F_{P1} = Wf \text{ 或 } f = \frac{F_{P1}}{W} \quad (1-10)$$

f 称为滚动阻力系数。

由此可见，滚动阻力系数是车轮在一定条件下滚动时所需要的推力与车轮载荷之比，也就是单位汽车重力所需要的推力。滚动阻力等于滚动阻力系数与车轮载荷的乘积：

$$F_f = \frac{T_f}{r} = Wf \quad (1-11)$$

这样，我们在分析汽车行驶阻力时，不需要具体考虑车轮滚动时所受到的滚动阻力矩，只要知道滚动阻力系数和车轮载荷就可以求出滚动阻力。这有利于将动力性分析简化。

图 1-7 是驱动轮在硬路面上等速滚动时的受力图。图中 F_{X2} 为驱动力矩 T_i 所引起的道路对车轮的切向反作用力， F_{P2} 为驱动轴作用于车轮的水平力。法向反作用力 F_Z 也由于轮胎迟滞现象其作用点向前移了一个距离。也就是说，在驱动轮上也作用有滚动阻力矩 T_f 。由平衡条件得：

$$\begin{aligned} F_{X2} &= T_i - T_f \\ F_{X2} &= \frac{T_i - T_f}{r} = F_i - F_f \end{aligned} \quad (1-12)$$

将图 1-7 与图 1-1 (没有考虑车轮滚动阻力而求得车轮驱动力 F_i) 相比，可以得出，作用在驱动轮上的地面切向反作用力 F_{X2} 是驱动汽车行驶的作用力，其数值为驱动力 F_i 与驱动轮上的滚动阻力 F_f 之差。

综上所述，轮胎弹性迟滞损失是以车轮滚动阻力矩形式出现的一种行驶阻力。

一般而论，车轮滚动的能量损失由三部分组成，即消耗于轮胎变形和路面变形的能量损失以及轮胎与支承面间的摩擦损失。

车轮在硬路面上的滚动损失绝大部分是轮胎变形的能量损失，即表现为弹性迟滞损失的轮胎橡胶、帘布等材料内的分子摩擦损失，以及内胎与外胎、轮胎与轮辋、橡胶与帘布层等轮胎各组成物间的机械摩擦损失。

车轮在软路面上的滚动损失大部分是消耗于土壤的变形损失，即土壤变形对其微粒间的机械摩擦损失。

车轮滚动时，由于轮胎与路面间的摩擦而损失的能量一般比较小。

滚动阻力系数是概括轮胎变形、道路变形以及接触面上之摩擦等损失的系数，滚动阻力

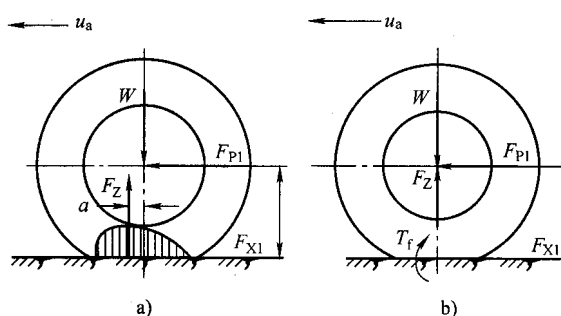


图 1-6 从动轮在硬路面上滚动时的受力情况

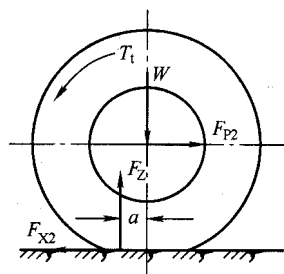


图 1-7 驱动轮在硬路面上滚动时的受力图



系数与路面的种类、行驶车速以及轮胎的构造、材料、气压等有关。

轮胎的结构、材料和气压对滚动阻力系数有很大影响。在保证轮胎具有足够的强度和使用寿命的条件下,采用较少的帘布层、较薄的胎体以及较好的轮胎材料均可减少轮胎滚动时的迟滞损失,减小滚动阻力系数。子午线轮胎的滚动阻力系数较低。在软路面上行驶的汽车,采用大直径宽轮缘的轮胎,使其与路面的接触面积增加,减小路面变形,因而可得较小的滚动阻力系数。

轮胎的充气压力对滚动阻力系数数值影响很大。在硬路面上行驶的汽车,为了提高汽车的行驶平顺性及车轮与道路的附着性能而多采用低压轮胎,轮胎气压降低,轮胎在滚动过程中的变形加大,迟滞损失增加,因而低压轮胎比高压轮胎有较高的滚动阻力系数。在软路面上行驶的汽车,降低轮胎气压可增大轮胎与地面的接触面积,降低轮胎对地面的单位压力,减小土壤变形,轮辙深度变浅。因而由于土壤变形而引起的滚动阻力减小,滚动阻力系数较小。但过多的降低轮胎气压,致使轮胎变形过大,由于轮胎变形而引起的滚动阻力急速增长,亦可导致滚动阻力系数增加。故在软路面上行驶的轮胎,对于一定的使用条件有一最佳轮胎气压值。

行驶车速对滚动阻力系数有很大影响。行驶速度较低时,滚动阻力系数无显著变化。但在高速行驶时,由于轮胎质量的惯性影响,迟滞损失随变形速度的提高而加大,滚动阻力系数迅速增长。当车速达到某一临界车速时,轮胎会发生驻波现象,即由于轮胎变形速度提高,轮胎来不及恢复原形而使轮胎周缘不再是圆形而呈明显的波浪形。出现驻波后,不但滚动阻力系数显著增加,轮胎的温度也很快增加到 100°C 以上,胎面与轮胎帘布层脱落,会出现爆胎现象,这是非常危险的。

滚动阻力系数与径向载荷有一定关系,载荷增加使轮胎变形增加,加大迟滞损失,因而滚动阻力系数也增加,但影响很小,所以可以认为滚动阻力系数不随径向载荷的大小而变化。

对滚动阻力系数影响最大的是路面的类型、表面状态和力学物理性质等。当路面无变形时,滚动损失仅由轮胎变形损失所决定;当路面有变形时,滚动损失大部分为路面变形损失所组成,且其数值较大。所以混凝土路面、沥青路面、碎石路面、土路、沙地、雪地、冰道等路面类型和干燥、潮湿、有无尘土和雪等表层、高低凹凸不平程度等表面状态以及道路粒度、多孔度、抗压强度、抗剪强度等力学物理性质都会影响路面有无变形、变形的大小和性质。不仅如此,在不同路面上,不同的轮胎形式、结构、材料、尺寸、气压和不同的行驶车速、受力情况对滚动阻力系数的影响也不相同。所以,不同路面,尤其是在各种因素的综合影响下,所有的滚动阻力系数能在很大的范围内变动。即使同一种轮胎沿各种类型路面滚动时的滚动阻力系数差别也很大。所以在汽车工程的实际应用中,滚动阻力系数可近似地按路面类型选用,而忽略其他因素的影响。表 1-1 给出了汽车在不同路面上以中、低车速行驶时,滚动阻力系数的大致数值。

表 1-1 车轮滚动阻力系数

路面类型	滚动阻力系数	路面类型	滚动阻力系数
沥青或混凝土路面(新)	0.010 ~ 0.018	压实土路(雨后)	0.050 ~ 0.150
沥青或混凝土路面(磨旧)	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	干砂	0.100 ~ 0.300
卵石路面(平)	0.035 ~ 0.030	湿砂	0.060 ~ 0.150
卵石路面(坑洼)	0.035 ~ 0.050	结冰路面	0.015 ~ 0.030
压实土路(干燥)	0.025 ~ 0.035	压实雪道	0.030 ~ 0.050



1.3.2 空气阻力

汽车在空气介质中运动，空气介质本身也有运动，这都使得汽车的运动产生阻力。汽车直线行驶时受到的空气作用力在行驶方向上的分力，称为空气阻力 F_w 。据测试，一辆以 100km/h 速度行驶的汽车，发动机输出功率的 80% 被用于克服空气阻力，减少空气阻力，就能有效地改善汽车的行驶经济性。

空气阻力由压力阻力和摩擦阻力两部分组成。

摩擦阻力是由于空气的粘性在车身表面产生的切向力造成的，是切向力在行驶方向上的分力。摩擦阻力很小，约占 9%。

压力阻力是作用在汽车车身外形表面上的法向压力在汽车行驶方向的分力。压力阻力主要由形状阻力、干扰阻力、内循环阻力和诱导阻力组成。形状阻力是由汽车形状引起的阻力，主要与汽车车身主体形状有关，约占 58%；干扰阻力主要来自汽车的突出部件，如后视镜、门把手、导水槽、驱动轴、悬架导向杆等，约占 14%；内循环阻力，是指因发动机冷却系、车身通风等需要气流流过汽车内部产生的阻力，约占 12%；诱导阻力是指空气升力在水平方向的分力，约占 7%。汽车上部和底部的空气压力不同，引起横向气流和车辆的升力，横向气流也会在车身表面产生涡流分离现象，造成压差，产生所谓的诱导阻力。

在汽车行驶速度范围内，空气阻力与气流相对速度的动压力 $\frac{1}{2}\rho u_r^2$ 成正比，即

$$F_w = \frac{1}{2} C_D A \rho u_r^2 \quad (1-13)$$

式中 C_D ——空气阻力系数；

ρ ——空气密度，一般视为常数；

A ——汽车正投影面积，通常称为迎风面积 (m^2)；

u_r ——汽车相对空气的速度 (m/s)。

在无风条件下， u_r 即为汽车行驶速度 u_a ，如果 u_a 以 km/h 计，则空气阻力为

$$F_w = \frac{C_D A u_a^2}{21.15} \quad (1-14)$$

空气阻力与汽车相对速度的平方成正比，相对速度越高，空气阻力越大。空气阻力与空气阻力系数 C_D 和迎风面积 A 成正比， C_D 和 A 值取决于汽车的外形。汽车迎风面积指汽车在其纵轴的垂直平面上投影的面积，这面积可直接在投影面上测得，亦常用汽车的轮距与高度之乘积近似地表示。以近似法求得面积，对轿车来说通常较实际面积大 5% ~ 10%，而对货车则通常小 5% ~ 10%，计算时应加以校正。由于受汽车运输效率和乘坐使用空间等的限制，依靠降低行驶速度或减小迎风面积来减小汽车的空气阻力也受到一定限制，通过合理的汽车外形设计，降低空气阻力系数 C_D 是减小空气阻力的主要手段。20 世纪 60 年代，轿车的 C_D 值在 0.4 ~ 0.6 之间，各国都致力于设法降低 C_D 值，20 世纪 90 年代 C_D 值减小至 0.25 ~ 0.4。

空气阻力系数可由道路试验、风洞试验等方法测得。一般汽车的空气阻力系数和迎风面积，如表 1-2 所列。



表 1-2 汽车的空气阻力系数和迎风面积

车型	迎面面积/m ²	空气阻力系数	车型	迎面面积/m ²	空气阻力系数
轿车	1.4~1.9	0.32~0.5	客车	4~7	0.5~0.8
货车	3~7	0.6~1.0			

1.3.3 坡度阻力

汽车上坡行驶时, 汽车重力沿坡道的分力称为汽车上坡阻力 F_i (如图 1-8 所示), 即

$$F_i = G \sin \alpha \quad (1-15)$$

式中 F_i ——坡度阻力(N);

G ——作用于汽车上的重力(N), $G = mg$, m 为汽车质量(kg);

α ——坡道角。

道路坡度用坡道角 α 及坡度 i 表示。坡度是坡高 h 与相应的水平距离 s 之比, 常用每百米水平距离内坡道的升高 h 与百米之比值来表示, 如式(1-1)所示。当坡度角不大时($\alpha < 10^\circ \sim 15^\circ$), 则

$$\sin \alpha \approx \tan \alpha = i$$

$$F_i = G \sin \alpha \approx G \tan \alpha = Gi \quad (1-16)$$

由于坡度阻力与滚动阻力都是与道路有关的阻力, 而且都和汽车重力成正比, 所以可把这两种阻力合在一起考虑, 称为道路阻力, 用 F_Ψ 表示, 即

$$F_\Psi = F_i + F_f = fG \cos \alpha + G \sin \alpha \quad (1-17)$$

当坡度角 α 不大时, $\cos \alpha \approx 1$ 、 $\sin \alpha \approx i$, 则

$$F_\Psi = fG + Gi = G(f + i) \quad (1-18)$$

现设 $f + i = \Psi$, Ψ 称为道路阻力系数, 则

$$F_\Psi = G\Psi \quad (1-19)$$

1.3.4 加速阻力

汽车加速行驶时, 需要克服本身质量加速运动的惯性力, 这就是加速阻力 F_j 。汽车的质量包括平移质量和旋转质量(主要是曲轴、飞轮、离合器总成和所有车轮), 加速时平移质量产生平移惯性力, 旋转质量产生旋转惯性力偶矩。为了能用一个公式计算, 一般把旋转质量惯性力偶矩在数值上等效转换为平移质量惯性力。对于固定档位, 常用系数 δ 作为考虑旋转质量力偶矩后的汽车旋转质量换算系数。这时, 汽车的加速阻力为

$$F_j = \delta m \frac{du}{dt} \quad (1-20)$$

式中 δ ——汽车旋转质量换算系数;

m ——汽车质量;

$\frac{du}{dt}$ ——汽车加速度。

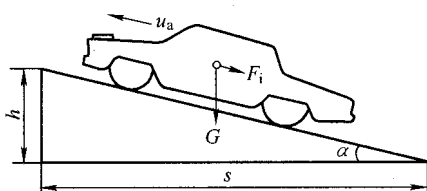


图 1-8 汽车的坡度阻力



δ 主要与发动机飞轮的转动惯量、车轮的转动惯量以及传动系统的转动比有关。

1.4 汽车行驶的驱动与附着条件

重点掌握

- 汽车行驶方程式。
- 汽车行驶的驱动条件。
- 汽车行驶的附着条件。
- 影响附着系数的因素。

汽车行驶时, 作用于汽车的外力有驱动力和行驶阻力, 它们相互平衡, 则汽车行驶方程式为

$$F_t = F_f + F_w + F_i + F_j \quad (1-21)$$

或

$$\frac{T_{i_0} i_g i_0 \eta_T}{r} = Gf \cos \alpha + \frac{C_D A u_a^2}{21.15} + G \sin \alpha + \delta m \frac{du}{dt} \quad (1-22)$$

当坡度角很小时, 汽车行驶方程式可写为

$$\frac{T_{i_0} i_g i_0 \eta_T}{r} = Gf + \frac{C_D A u_a^2}{21.15} + Gi + \delta m \frac{du}{dt} \quad (1-23)$$

式(1-21)说明了汽车行驶中驱动力与各行驶阻力的平衡关系。其平衡关系不同, 则汽车的运动状态不同。式(1-22)、式(1-23)反映了汽车的结构参数与使用参数的内在联系。

1.4.1 汽车行驶的驱动条件

将汽车行驶方程式变换, 有

$$\delta m \frac{du}{dt} = F_t - (F_f + F_w + F_i) \quad (1-24)$$

由此可得, 当 $F_t = F_f + F_w + F_i$ 时, 汽车将等速行驶;

当 $F_t > F_f + F_w + F_i$ 时, 汽车将加速行驶;

当 $F_t < F_f + F_w + F_i$ 时, 汽车将无法开动或减速行驶以至停车。

可见, 汽车行驶的驱动条件是

$$F_t \geq F_f + F_w + F_i \quad (1-25)$$

式(1-25)称为汽车行驶的驱动条件, 也是必要条件, 但还不是充分条件, 它反应了汽车本身的行驶能力。可以采用增加发动机转矩, 加大传动比的办法来增大汽车的驱动力, 以保证汽车的驱动条件。

1.4.2 汽车行驶的附着条件

上述增大驱动力的办法是有限度的, 它只有在驱动轮与路面不发生滑转时才有效。在一定的轮胎与路面条件下, 当驱动力增大到一定程度时, 驱动轮将出现滑转现象, 增大驱动轮的转矩, 只能使驱动轮加速旋转, 地面切向反作用力并不增加。这表明汽车行驶除满足驱动条件外, 还要受轮胎与路面附着条件的限制。

地面对轮胎切向反作用力的极限值(无侧向力作用时)称为附着力 F_ϕ 。在硬路面上, 它与地面对驱动轮的法向反作用力 F_z 成正比, 即

$$F_\phi = F_z \varphi \quad (1-26)$$

式中 φ ——附着系数, 它是由路面与轮胎决定的, 表示了轮胎与路面的接触强度。

因此, 为了避免驱动轮产生滑转现象, 汽车行驶还必须满足附着条件, 汽车行驶的附着