

汽车性能剖析

及典型新能源汽车技术研究

QICHE XINGNENG POUXI

JI DIANXING XINNENGYUAN QICHE JISHU YANJIU

刘海朝◎著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

汽车性能剖析

及典型新能源汽车技术研究

刘海朝◎著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

·北京·

内 容 提 要

本书首先从总体上对汽车的性能进行了剖析,然后探讨了几种典型的新能源汽车技术。本书主要对汽车动力性能、燃油经济性能、制动性能、操纵稳定性能等进行了分析。

本书在内容体系的构建上力求系统和完整,条理清晰,结构合理,兼顾理论性及实用性,是一本值得学习研究的著作。

本书可作为从事汽车领域的工程技术人员、管理人员和科研人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

汽车性能剖析及典型新能源汽车技术研究 / 刘海朝
著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2017.6
ISBN 978-7-5170-5602-7

I. ①汽… II. ①刘… III. ①汽车—性能分析②新能
源—汽车—研究 IV. ①U472.32②U469.7

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第167434号

书 名	汽车性能剖析及典型新能源汽车技术研究 QICHE XINGNENG POUXI JI DIANXING XINNENGYUAN QICHE JISHU YANJIU
作 者	刘海朝 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座100038) 网址:www.waterpub.com.cn E-mail:sales@waterpub.com.cn 电话:(010)68367658(营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话:(010)88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京亚吉飞数码科技有限公司
印 刷	三河市佳星印装有限公司
规 格	170mm×240mm 16开本 18.25印张 237千字
版 次	2018年1月第1版 2018年1月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	64.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

近年来,随着科学技术和社会经济的飞速发展,汽车的产销量也获得了快速增长,汽车产业已成为许多国家的支柱产业。汽车工业的发展水平在很大程度上体现了一个国家的综合实力。中国是汽车消费大国,因此努力提高汽车科技发展水平、培养汽车专业人才、加快汽车产业发展,对促进国民经济的发展具有重要战略意义。

随着各国汽车工业几十年的飞速发展,全球的汽车保有量急剧增加,使得人们面临由此带来的石油短缺和环境破坏的挑战。为此,发展节能、低排放的新型车辆的任务极为迫切。近十几年以来,纯电动汽车、混合动力汽车、燃料电池汽车、代用燃料汽车等新能源汽车受到极大关注,各国投入巨大的人力和资金对它们进行研发和推广。

本书前5章分别介绍了汽车各主要使用性能:动力性、燃油经济性、制动性、操纵稳定性和通过性,分章节介绍了各使用性能的评价指标与评价方法,建立了有关的动力学方程,分析了汽车及其部件的结构形式与结构参数对各使用性能的影响;第6章介绍了纯电动汽车的结构与原理、关键技术及充电技术;第7章介绍了混合动力汽车的结构与原理、动力系统设计及能量管理;第8章介绍了燃料电池及代用燃料汽车的基础知识。

本书在撰写中特别注意两点:一是通俗易懂,深入浅出,从最基础的知识开始讲起,而且尽量避免繁杂的理论公式推导,以讲清楚知识点为原则;二是注意向读者介绍各种技术的研究发展前沿的信息,让读者在系统学习掌握新能源汽车各种技术原理的同时,也可以了解各类技术的研究现状和发展方向。

本书是结合作者多年的教学实践和相关科研成果而撰写的,

凝聚了作者的智慧、经验和心血。在撰写过程中,作者参考了大量的书籍、专著和相关资料,在此向这些专家、编辑及文献原作者一并表示衷心的感谢。由于作者水平所限以及时间仓促,书中不当之处在所难免,敬请读者指正。

作者

2017年5月

目 录

前言

第 1 章 汽车性能之动力性能分析	1
1.1 汽车动力性的评价指标	1
1.2 汽车的驱动力与行驶阻力	4
1.3 汽车行驶的附着条件与汽车的附着率	23
1.4 汽车的功率平衡	33
1.5 汽车动力性的影响因素分析	38
第 2 章 汽车性能之燃油经济性能分析	42
2.1 汽车燃油经济性的评价指标	42
2.2 汽车燃油经济性的计算	47
2.3 汽车燃油经济性的影响因素分析	56
第 3 章 汽车性能之制动性能分析	64
3.1 汽车制动性能的评价指标	64
3.2 汽车制动时车轮的受力	65
3.3 汽车的制动效能及其恒定性	71
3.4 制动时汽车的方向稳定性	75
3.5 汽车防抱死制动系统	80
3.6 汽车制动性能的应用因素分析	88
第 4 章 汽车性能之操纵稳定性能分析	91
4.1 概述	91
4.2 轮胎的侧偏特性	94
4.3 线性二自由度汽车模型对前轮角输入的响应	100

4.4	汽车的侧翻	118
第 5 章	汽车性能之通过性能分析	125
5.1	汽车通过性的评价指标	125
5.2	车辆的挂钩牵引力	129
5.3	间隙失效的障碍条件	140
5.4	汽车通过性的影响因素分析	143
第 6 章	纯电动汽车技术	156
6.1	纯电动汽车概述	156
6.2	纯电动汽车的结构与原理	163
6.3	纯电动汽车的关键技术	171
6.4	电动汽车充电技术	174
第 7 章	混合动力汽车技术	184
7.1	混合动力汽车概述	184
7.2	混合动力汽车的结构与原理	189
7.3	混合动力汽车动力系统设计	207
7.4	混合动力汽车的能量管理	220
第 8 章	燃料电池及代用燃料汽车技术	225
8.1	燃料电池电动汽车概述	225
8.2	燃料电池电动汽车的结构与原理	229
8.3	燃料电池电动汽车的氢安全	230
8.4	天然气汽车	233
8.5	液化石油气汽车	243
8.6	醇类燃料汽车	253
8.7	氢燃料汽车	270
8.8	太阳能汽车	275
参考文献	284

第 1 章 汽车性能之动力性能分析

汽车的动力性是汽车性能中最重要、最基本的性能之一,作为一种交通运输工具,汽车的动力性决定了汽车的运输效率。本章在汽车动力性的评价指标和汽车行驶时受力分析的基础上,分析各种因素对汽车动力性的影响。

1.1 汽车动力性的评价指标

1.1.1 最高车速

最高车速是指在水平良好的路面上汽车能达到的最高行驶车速。此时变速器处于最高挡,发动机供油量达到最高,即油门踏板踩到底时所能达到的最高行驶速度。

在进行动力性评价指标试验的时候,各国规定的载荷质量是不一样的,如我国为满载,德国为半载。美国环境保护局(EPA)规定,相关汽车试验中轿车的载荷质量为 2 名体重 68kg 的乘员。

1.1.2 加速时间

汽车加速能力常用汽车加速过程中的加速度 $a(m/s^2)$ 、加速时间 $t(s)$ 和加速距离 $s(m)$ 来评价。其中加速时间又分为原地起步加速时间和超车加速时间。

各个国家对原地起步加速时间的单位也不相同,我国常用 $0\sim 100\text{km/h}$,或 $0\sim 400\text{m}$ 所需时间来表明原地起步加速能力,美国常用 $0\sim 60\text{mile/h}$ ($0\sim 96.6\text{km/h}$),或 $0\sim 1/4\text{mile}$ ($0\sim 402.5\text{m}$) 所需的时间来表明原地起步加速能力。表 1-1 所示为常见轿车的

原地起步加速时间和最高车速。

表 1-1 常见轿车原地起步加速时间和最高车速

车辆	发动机排量 /L	整备质量 /kg	变速器类型	官方百公里加速 时间/s	最高车速 /(km/h)
比亚迪 F0	1.0	870	5 挡手动	14	151
大众 Polo	1.4	1060	5 挡手动	12.2	182
斯柯达明锐	1.6	1210	5 挡手动	11.2	190
奥迪 Q3	2.0T	1520	6 挡双离合	9.3	201
别克君威	2.4	1625	6 挡手自一体	9.5	210
宝马 X5	3.0T	2240	8 挡手自一体	6.9	230
保时捷 911	3.4T	1560	7 挡双离合	5	280
布加迪威航	8.0T	1888	7 挡手自一体	2.5	407

超车加速时间是指用最高挡或次高档内某一较低车速全力加速至某一高速所需的时间。如图 1-1 所示是汽车的加速过程曲线。

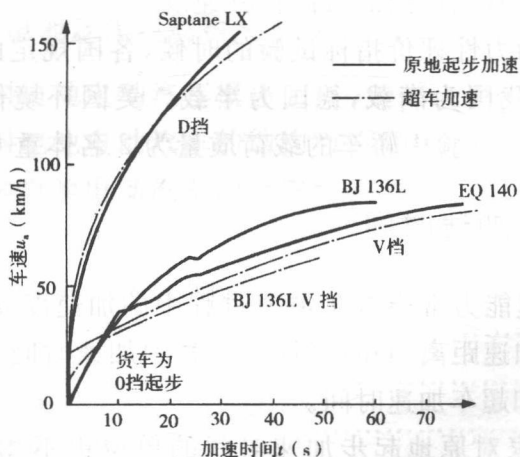


图 1-1 汽车的加速过程曲线

1.1.3 最大爬坡度

汽车的爬坡能力常用满载时汽车在良好路面上的最大爬坡度来表示,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。

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

$$i = \frac{h}{100} \times 100\% \quad (1-1)$$

显然,汽车爬过最大坡道时,必须将加速踏板踩到底,变速器挂入最低挡位(I 挡),而且汽车只能在最大坡道上等速行驶。

最大爬坡度用符号 i_{\max} 来表示,它是汽车能爬过的最大坡道角度 α_{\max} 的正切值,它代表了汽车的极限爬坡能力,即

$$i_{\max} = \tan \alpha_{\max} \quad (1-2)$$

各种车辆的爬坡能力不同。货车在各种路面上行驶,要求具有足够的爬坡能力,一般 i_{\max} 为 30% 左右。轿车主要行驶在良好路面上,而且轿车的发动机功率较大,车速高,加速快,爬坡能力也强,一般不强调它的爬坡能力。越野车要在坏路或无路条件下行驶,因而爬坡能力是一个很重要的指标,它的最大爬坡度可达 60% 即 31° 左右,如图 1-2 所示。军用车辆的适应条件和环境较之公路车辆更为复杂,对其动力性的要求通常是在一定的坡道上要达到一定的速度。

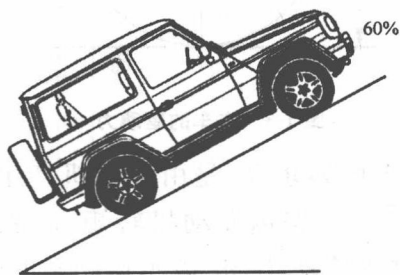


图 1-2 越野车的爬坡能力

应该注意的是,上述三方面的指标可通过试验室内的台架试验或路测测得,在路测中应在无风或微风条件下测得。

1.2 汽车的驱动力与行驶阻力

1.2.1 汽车的驱动力

1. 驱动力的产生

汽车发动机产生的转矩,经过传动系传至驱动轮上。此时作用于驱动轮上的转矩 T_t 产生一对地面的圆周力 F_0 ,地面对驱动轮的反作用力 F_t (方向与 F_0 相反)即是驱动汽车的外力,此外力称为汽车的驱动力,如图 1-3 所示。其数值为

$$F_t = \frac{T_t}{r} \quad (1-3)$$

式中, T_t 为作用于驱动轮上的转矩; r 为车轮半径。

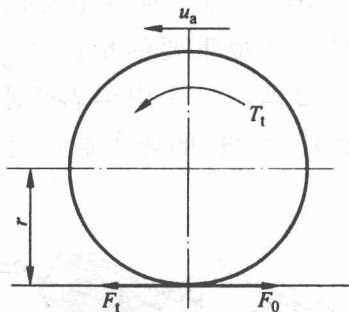


图 1-3 汽车的驱动力

作用于驱动轮上的转矩 T_t 是由发动机产生的转矩经传动系传至车轮上的。若令 T_{tq} 表示发动机转矩, i_g 表示变速器的传动比, i_0 表示主减速器的传动比, η_T 表示传动系的机械效率,则有

$$T_t = T_{tq} i_g i_0 \eta_T \quad (1-4)$$

对于装有分动器、轮边减速器、液力传动装置的汽车,上式应

计入相应的传动比和机械效率。因此驱动力为

$$F_t = \frac{T_{tq} i_g i_0 \eta_T}{r} \quad (1-5)$$

2. 影响驱动力的因素

(1) 发动机的转速特性

发动机的有效功率 P_e 、转矩 T_{tq} 和燃油消耗率 b 随转速变化的关系称为发动机的转速特性,表示上述关系的曲线称为发动机特性曲线。日本 JIS 规定,1985 年以后生产的汽车均应给出净功率,即使用外特性功率。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些。

发动机的外特性表示发动机所能达到的最高性能。根据外特性可以找出发动机最大功率、最大转矩及其相应转速的数值。部分负荷特性曲线位于外特性曲线之下,有无限多条。汽车用发动机经常处于部分负荷下工作,所以它对汽车使用的燃油经济性有重要影响。

如图 1-4 所示为一汽油发动机外特性中的功率与转矩曲线。

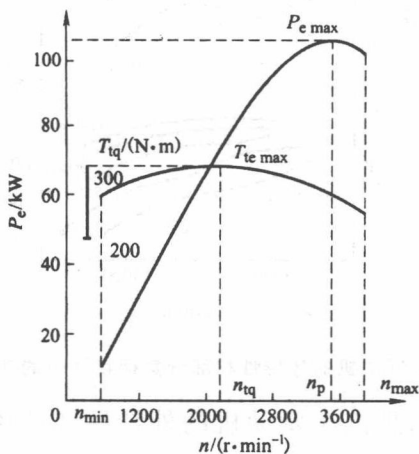


图 1-4 某汽油发动机的外特性

柴油机燃料供给系通常装有调速器,如图 1-5 所示为某装有

全程调速器的柴油机外特性曲线。如图 1-6 所示为某汽油发动机的外特性和部分负荷速度特性的功率与转矩曲线。

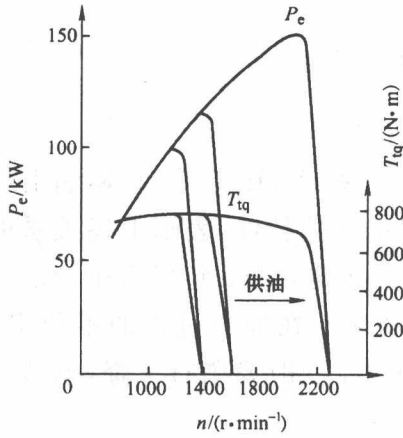


图 1-5 某柴油发动机的外特性

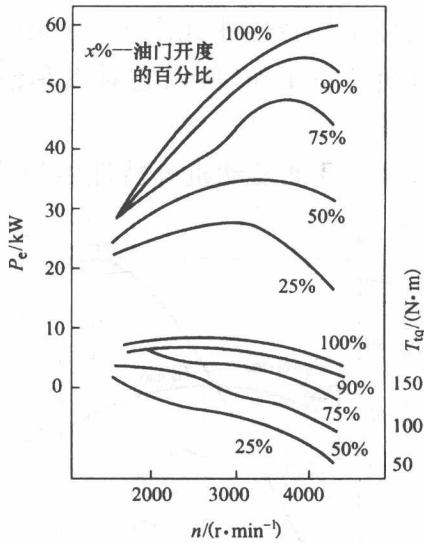


图 1-6 某汽油发动机的外特性和部分负荷特性中的功率和转矩曲线

如图 1-7 所示是汽车发动机的外特性和使用外特性中的功率与转矩曲线。为了便于计算,常采用多项式来描述由试验台测得的、接近于抛物线的发动机转矩曲线。即

$$T_{tq} = a_0 + a_1 n + a_2 n^2 + \dots + a_k n^k$$

式中,系数 $a_0, a_1, a_2, \dots, a_k$ 可由最小二乘法来确定;拟合阶数 k 随特性曲线而异,一般在 2、3、4、5 中选取。

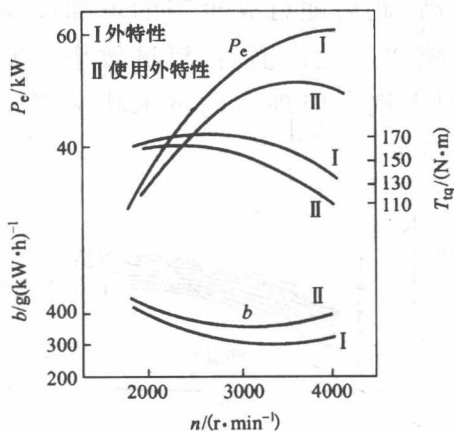


图 1-7 某发动机的外特性和使用外特性中的功率和转矩曲线

发动机转矩可由如下五次多项式来表示

$$T_{tq} = -54.306 - 16.061 \left(\frac{n}{1000} \right) + 648.981 \left(\frac{n}{1000} \right)^2 - 530.080 \left(\frac{n}{1000} \right)^3 + 162.878 \left(\frac{n}{1000} \right)^4 - 17.887 \left(\frac{n}{1000} \right)^5$$

式中, T_{tq} 为发动机转矩, $\text{N}\cdot\text{m}$; n 为发动机转速, r/min 。

(2) 传动系的机械效率

输入传动系的功率 P_{in} 经传动系传至驱动轮的过程中, 为了克服传动系各部件中的摩擦, 消耗了一部分功率。如以 P_T 代表传动系中损耗的功率, 则传动系的机械效率为

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

在等速行驶情况下, $P_{in} = P_e$, 故

$$\eta_T = \frac{P_e - P_T}{P_e} = 1 - \frac{P_T}{P_e} \quad (1-7)$$

对变速器的所有挡位来说, 挡位越高, 传动效率也越高, 一般直接挡的传动效率最高, 这是因为其他啮合的齿轮不传递转矩, 使机械损失减小。同一挡位且传递转矩不变时, 转速越高效率越

低。同一挡位且转速不变时,机械效率随传递转矩的增加而有所提高,如图 1-8 所示。而就汽车的使用过程来说,新车走合期结束后的传动效率最高,此后随行驶里程的增加而缓慢下降;当各部件磨损至配合间隙超过允许值后,机械效率急剧下降,经大修后可以得到提高,但因汽车修理后的技术状况不及出厂新车,故其机械效率也不及新车。

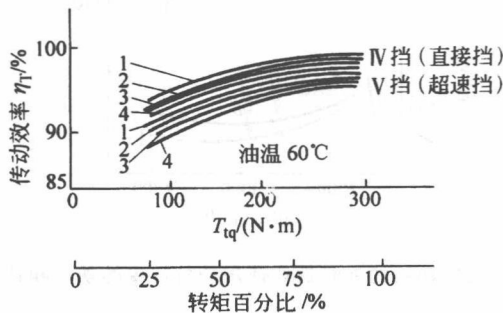


图 1-8 解放牌 4t 载货汽车 CA10B 变速器在 IV 挡、V 挡工作时的传动效率

1—1200r/min; 2—1600r/min; 3—1900r/min; 4—2200r/min

(3) 车轮的半径

汽车的车轮上一般都装用充气轮胎,这种轮胎使车轮在各个方向——径向、横向及切线方向都有弹性。因此,汽车轮胎在它所造成的各种力的作用下,由于弹性变形而引起车轮半径变化。

①自由半径。这是车轮在无负荷情况下的半径,用 r_0 表示。这个半径的大小只与轮胎的充气压力有关,通常是指轮胎在标准充气压力下的半径。

②静力半径。车轮不转动且只有垂直负荷作用在车轮上,在这种情况下,车轮轴线至支承面间的距离称为车轮的静力半径,用 r_s 表示。显然,轮胎的充气压力越高,承受的负荷越小,则该半径越大。若轮胎的充气压力和负荷都达到额定值,则该半径可认为是一定值。

③动力半径。汽车在行驶时,车轮在垂直负荷和圆周力的作用下,车轮轴线至支承面间的距离称为车轮的动力半径,用 r_g 代表。车轮的动力半径不是一个常数,它随车轮的行驶条件而改

变。轮胎的充气压力越高,垂直负荷越小,则该半径越大。作用在车轮上的圆周力也对车轮动力半径产生影响,实验证明,车轮上的圆周力增加,车轮的动力半径减小,而且轮胎圆周方向的弹性越大,动力半径减小得越多。当车轮的转速增加时,作用在轮胎外层的离心力会使车轮的动力半径增加;而且,轮胎内压越低,保护层越厚,在车轮转速升高时车轮动力半径的增加越明显。

④滚动半径。这是一个假想的刚性车轮的半径,用 r_r 代表。假想条件为:车轮不滑转,也不滑移,只做纯滚动,并且具有与实际车轮相同的角速度及线速度,因此,车轮滚动半径可由下式确定

$$r_r = \frac{S}{2\pi n_w} \quad (1-8)$$

式中, S 为轮心行走的距离, m ; n_w 为在 S 距离内车轮的转数。滚动半径由试验测得,也可以作近似估算。

车轮的滚动半径也取决于影响动力半径的那些因素,而且对车轮滚动半径影响最大的是作用在车轮上的力矩或圆周力。

滚动圆周可用下式计算

$$C_R = Fd \quad (1-9)$$

式中, d 为 ETRTO 会员生产轮胎的自由直径; F 为计算常数,子午线轮胎 $F=3.05$,斜交轮胎 $F=2.99$ 。

以上系指在最大载荷、规定气压与车速在 60km/h 时的滚动圆周,故滚动半径为

$$r_r = \frac{Fd}{2\pi} \quad (1-10)$$

弹性车轮在刚性路面上滚动,并受切向力作用时,由于驱动力和制动力引起的轮胎变形不同,驱动力作用下的滚动半径减小,制动力作用下的滚动半径增大。

显然,对汽车作动力学分析时,应该用静力半径 r_s ;而作运动学分析时,应该用滚动半径 r_r 。但一般不计它们的差别,统称为车轮半径 r ,即认为

$$r_s \approx r_r \approx r$$

部分国产汽车轮胎的有关数据如表 1-2 和表 1-3 所示。

表 1-2 国产汽车轮胎静力半径

国产汽车 类型	轮胎规格	胎面花纹	轮胎充气后		轮胎负荷 下的静力 半径/mm
			外直径 /mm	断面宽 /mm	
载货汽车、 客车用	12.00-20	普通、混合	1120±8	310±5	525±5
	12.00-20	越野	1130±8	310±5	528±5
	11.00-20	普通、混合	1080±8	290±5	513±5
	10.00-20	普通、混合	1058±8	278±5	497±5
	9.00-20	越野	1024±5	260±5 250±5	480±5
	9.00-20	普通、混合	1018±5	260±5 250±5	478±5
	8.25-20	越野	975±5	235±5 225±5	462±5
	8.25-20	普通、混合	970±5	235±5 225±5	460±5
	7.50-20	越野	945±5	215±5 205±5	450±5
	7.50-20	普通、混合	940±5	215±5 250±5	488±5
轻型载货 汽车用	7.50-16	普通	810±5	205±5	—
	7.00-16	普通	775±5	195±5	—
	6.50-16	越野	760±5	177±5	—
轿车用	6.50-16	普通	755±5	177±5	—
	6.00-16	普通	725±5	164±4	—
	6.70-13	普通	655±5	170±4	—