



普通高等教育机电类规划教材

汽车 动力装置

□ 常思勤 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育机电类规划教材

汽车动力装置

常思勤 编著
蔡忆昔 审



机械工业出版社

汽车动力装置是汽车的重要部分,对实现车辆“节能、环保、安全”的要求起到关键的作用。本书系统地介绍了汽车动力装置的工作原理、性能以及技术进展等。主要内容包括:对汽车动力装置的主要要求;汽车发动机的工作循环和性能评价;发动机的换气过程及混合气形成与燃烧过程的分析与改善;汽车变速系统以及电驱动与混合驱动等。

本书可作为高等学校车辆工程以及相关专业本科生专业课教材使用,也可作为硕士研究生选修课的教材、教学参考书,或供从事汽车以及汽车动力装置设计、制造等方面工作的研究人员与工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

汽车动力装置/常思勤编著. —北京:机械工业出版社, 2006.2

普通高等教育机电类规划教材

ISBN 7-111-18314-2

I. 汽... II. 常... III. 汽车—动力装置—高等学校—教材 IV. U464

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 161107 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:赵爱宁 责任编辑:董连仁 版式设计:冉晓华

责任校对:张晓蓉 封面设计:王伟光 责任印制:李妍

北京中兴印刷有限公司印刷

2006 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm $\frac{1}{16}$ ·14 印张·343 千字

定价:23.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010) 68326294

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是在《汽车拖拉机发动机(第3版)》的基础上完成的。《汽车拖拉机发动机(第3版)》从1996年出版至今已有近10年了,在汽车技术日新月异的发展潮流中,编写更新该教材的想法也已有数年时间。本书在内容与体系上均作了较大幅度的改变,在内容的更新与扩展方面,不但大量补充、增强了发动机在节能环保等方面的新技术,删去了部分陈旧内容,而且还增加了汽车变速系统以及电驱动与混合驱动等内容,书名的更新也反映了这一变化。

在教材编写中注意到了加强学生能力的培养,而不仅是知识的传授。从内容上讲,不强调具体结构,而重在了解工作原理、要求等更深层次的内容,注重解决技术问题新思路与探索客观规律的新认识。

本人教授本科生以及硕士研究生相关课程已有多多年,同时车辆动力装置的模拟、设计与优化也是自己的主要科研方向之一。因此,在本书的编写中也融入了一些多年的教学、科研的体会与心得。由于本人学识、时间与精力有限,本书定会存在问题与不足之处,欢迎批评指正。

本书在编写过程中得到了中国机械工业教育协会以及机械工业出版社的支持与帮助,同时也参考了大量的国内外专业文献,江苏大学蔡忆昔教授审阅了本书并提出了一些宝贵意见,在此一并致以谢意。

编 者
2005年8月

常用符号表

a ——加速度	p_z ——最大爆发压力
B ——每小时耗油量	Q ——热量
b_e ——有效燃油消耗率	q ——比热量
b_i ——指示燃油消耗率	R ——气体常数
c ——比热容	S ——活塞行程
C_m ——活塞平均速度	T ——热力学温度
c_p ——比定压热容	T_{iq} ——有效转矩
c_v ——比定容热容	V ——容积
D ——气缸直径	V_s ——气缸工作容积
f ——频率	W ——功
h_μ ——燃料（低）热值	w ——比功
i ——气缸数，传动比	W_e ——有效功
κ ——等熵指数	W_i ——指示功
L_0 ——理论空燃比	α ——过量空气系数
m ——质量	ϵ ——压缩比
m_e ——比质量	γ ——残余废气系数
n ——转速，多变指数	η_e ——有效热效率
P_e ——有效功率	η_i ——指示热效率
P_i ——指示功率	η_m ——机械效率
P_m ——机械损失功率	η_v ——充气效率
P_L ——升功率	ω ——角速度
p ——压力	φ ——曲轴转角
p_{me} ——平均有效压力	λ ——压升比
p_{mi} ——平均指示压力	ρ ——密度，预胀比
p_{mm} ——平均机械损失压力	τ ——行程数

目 录

前言

常用符号表

第一章 概论 1

第一节 引言 1

第二节 对汽车动力装置的要求 4

第三节 汽车能源 8

第二章 发动机的工作循环和性能 12

第一节 发动机理论循环 12

第二节 发动机实际循环 16

第三节 发动机的两类指标 20

第四节 机械损失与热平衡 26

第三章 发动机的换气过程与增压 33

第一节 增压技术基础 33

第二节 四冲程发动机换气过程及评价 34

第三节 改善换气过程的主要措施 40

第四节 废气涡轮增压器 52

第五节 车用发动机的增压系统 60

第四章 汽油机混合气的形成和燃烧 72

第一节 汽油机混合气的形成 72

第二节 汽油机的燃烧过程 78

第三节 汽油机的有害排放物与控制 89

第四节 汽油机混合气形成和燃烧的技术发展 96

第五章 柴油机混合气的形成和燃烧 105

第一节 柴油机混合气的形成 105

第二节 柴油机的燃烧过程 124

第三节 柴油机的有害排放物与控制 132

第四节 柴油机混合气形成和燃烧的技术发展 140

第五节 不同混合气形成和燃烧过程的比较以及 HCCI 燃烧方式 145

第六章 发动机的特性 148

第一节 发动机工况 148

第二节 发动机负荷特性与速度特性 153

第三节 发动机万有特性 158

第四节 发动机选型及与车辆的匹配 160

第七章 汽车变速系统 166

第一节 概述 166

第二节 自动变速与无级变速 169

第三节 变速系统的匹配与控制 182

第八章 电驱动与混合驱动 193

第一节 电驱动 193

第二节 混合驱动 203

第三节 汽车动力装置的技术发展 212

附录 英文缩写词简表 216

参考文献 217

第一章 概 论

第一节 引 言

汽车动力装置是汽车的动力源和重要组成部分，又被称为汽车的“心脏”，其基本功能是完成汽车在各种工况下行驶所需能量的储存、转换和功能传递，对实现汽车“节能、环保、安全”的要求有着至关重要的影响，同时对汽车性能的提高起着决定性的作用。而现代汽车技术日新月异的发展，也反映在汽车动力装置的技术进步中。

汽车动力装置是指汽车中实现能量转换与传递功能部件的集成，例如对于内燃机动力汽车，通常就将发动机与变速器的集成称为汽车动力装置或称汽车动力总成。按照汽车动力装置的不同，汽车可分为内燃机动力汽车和电动车两大类。而内燃机动力汽车又分为柴油机动力、汽油机动力和其他燃料动力汽车等类型；电动车又分为蓄电池电动车、燃料电池电动车以及混合动力电动车等类型。

实际上汽车动力装置还有着另一个附加功能，即能量的车载储存。在常规汽车中，能量的储存主要由燃油箱来完成，这一功能的实现相对简单；而在电动车中电能或氢气的储存由蓄电池或储氢容器等完成，也存在着一些需要解决的技术问题与难点。

汽车中所涉及的能量形式主要包括化学能、机械能及电能。化学能是物质中可以通过某种化学反应释放出的能量；机械能是物体因宏观机械运动所具有的能量；电能是电荷的流动或聚积而具有的做功能力。表 1-1 列出了汽车中实现各种能量之间转换与传递功能的主要部件。燃料中的化学能可在内燃机中转换为机械能输出或在燃料电池中转化为电能输出；电动机和发电机实现机械能与电能之间的转换；变速器等可实现机械能的传递；蓄电池等可实现电能的传递（包括电能的储存）。

表 1-1 汽车中实现能量转换与传递的部件

	化学能 (→)	机械能 (↔)	电能 (→)
机械能 (←)	内燃机	变速器等	电动机
电能 (←)	燃料电池	发电机	蓄电池等

以内燃机为动力的常规汽车，目前在市场上仍占有绝对多数。在常规汽车中应用往复式内燃机，即柴油机和汽油机，完成燃料的化学能到机械能的能量转换，这一部分也可视为汽车动力装置的核心部分，也是本书的重点。为满足车辆高效节能、环境友好的要求，使电驱车辆和混合驱车辆有望得到更大的发展。其应用的关键在于关键部件的技术突破、制造成本的降低（特别对于燃料电池电动车），以及可与常规车辆竞争的车辆性能（特别对于蓄电池电动车的一次充电的续驶里程等）。

将燃料的化学能在机器的内部通过燃烧转化为热能，再通过气体膨胀做功将其转化为机械能输出的机器称为内燃机（或通常就称为发动机）。内燃机具有热效率高、体积小、质量轻以及便于移动等优点，得到了广泛的应用。柴油机或汽油机都属于往复式内燃机中的一

种，而往复式内燃机又是热机大家族中的重要组成部分，如图 1-1 所示。

热机是实现将热能转化为机械能输出这一功能的机器的总称，又可分为内燃机和外燃机两大类。

内燃机又可再分为往复式内燃机与旋转式内燃机两类，柴油机和汽油机同属于往复式内燃机。柴油机与汽油机虽然有许多相似之处，但由于所使用的燃料特性的差别，使两者之间在发动机构成、工作过程以及性能等方面均有所不同。

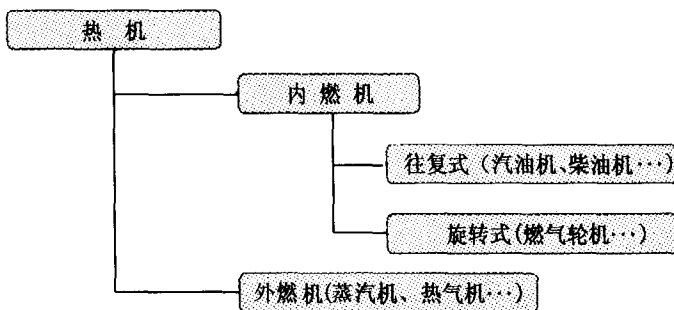


图 1-1 热机的分类

旋转式内燃机的典型代表是燃气轮机。燃气轮机主要由压气机、燃烧室和涡轮三部分构成，在连续流动的工质和旋转叶轮之间实现能量的转换。压气机吸入空气并压缩后送入燃烧室，燃烧室内空气与喷入的燃油混合燃烧，生成的高温高压燃气再进入涡轮中膨胀做功。所作的膨胀功除去一部分驱动压气机外，其余的对外输出。相对体积小、质量轻是燃气轮机的突出优点，但其经济性较差的缺点也较明显，因此燃气轮机目前只应用在一些特种车辆中。

此外，还有一类转子发动机，与普通往复式活塞发动机相比，转子发动机体积更小、更轻、动力平顺，振动与噪声都更低，并具有超高转速的潜力。但由于其较高的燃油消耗率使其竞争力下降，难以得到更大的发展。目前日本 Mazda 公司是世界上惟一将转子发动机应用于其轿车产品中的公司。

外燃机（蒸汽机、热气机等）的基本特征是燃烧不在机器的内部，而在其外部进行。例如蒸汽机就是在锅炉内进行燃烧产生高温高压的水蒸气作为工质的。主要由于体积和质量等原因而难以在汽车动力装置中得到应用。

发动机自其问世以来已有 100 多年的历史了，1886 年第一台 Benz 车用汽油机问世，其基本技术参数与性能为：单缸；工作容积为 0.98L；压缩比为 2.68；最大功率为 0.65kW，400r/min；升功率为 0.66kW/L；比质量为 168kg/kW；有效燃油消耗率为 1170g/(kW·h)。

在发动机发展早期数十年的时间内，作为其主要目标的是提高发动机强化程度，即以更轻的自重、更小的体积实现输出更大的功率，当然其经济性也得到了一定程度的提高。20 世纪 70 年代以后，由于“石油危机”导致了原油价格成倍上涨，引起了对于发动机经济性的更多重视，针对节能问题进行了大量的研究与发动机改进。到了 20 世纪 80 年代以后，环境保护问题日益得到重视，发动机首先要考虑的是要满足日益严格的有害排放与噪声控制法规，即使是在一定程度上牺牲发动机的动力性与经济性等性能也在所不惜。随着技术发展，人们对发动机的性能提出了更高和更全面的要求。

经过 100 多年的发展，发动机技术已达到了一个较为成熟的阶段，其性能也达到了很高的水平。但科学技术的发展是无止境的，发动机性能仍处在一个不断提高的过程之中。有人认为，发动机技术经过 100 多年的发展，在性能提高方面已接近极限，很难再有所进展，这无疑是一种错误的观点。

作为本节的结束，表 1-2 介绍了由“AutoWorld”评出的 2005 年世界十佳汽车发动机。

表 1-2 由“AutoWorld”评出的 2005 年世界十佳汽车发动机

发动机型号及 制造企业	特 征	缸径 /mm	行程 /mm	压缩比 ϵ	最大功率 最大扭矩	升功率 /(kW·L ⁻¹)	应用车型	汽车百公里油耗 (EPA city/highway) L/100km	技 术 特 点
FSI 3.2L DOHC V-6 Audi AG	3.123L 汽油机 V 形 6 缸(90°夹角)	84.5	92.8	12.5	190kW @ 6500 (r/min) 329 Nm @ 3250 (r/min)	59.7	Audi A6 3.2 quattro	12.4 / 9.0	汽油缸内直喷;双顶置凸轮 轴;机体缸盖全铝结构
4.2L DOHC V-8 Audi AG	4.163L 汽油机 V 形 8 缸(90°夹角)	84.5	92.8	11	254 kW @ 7000 (r/min) 409 Nm @ 3500 (r/min)	60.4	Audi S4 Avant	15.7 / 11.2	双顶置凸轮轴;机体缸盖全 铝结构
Hermi Magnum 5.7L OHV V-8 DaimlerChrysler AG	5.654 L 汽油机 V 形 8 缸(90°夹角)	99.5	90.9	9.6	254 kW @ 5000 (r/min) 529 Nm @ 4000 (r/min)	44.8	Chrysler 300C	13.8 / 9.4	顶置气门;应用停缸控制技 术;铸铁机体/铝缸盖
Mercedes 3.2L DOHC I-6 CDI DaimlerChrysler AG	3.222 L 柴油机 直列 6 缸	88	88.3	18	150 kW @ 4200 (r/min) 500 Nm @ 1800-2600 (r/min)	47.0	Mercedes E320 CDI	8.7 / 6.4	增压直喷;双顶置凸轮轴; 铸铁机体/铝缸盖;0 至 97 km/h 加速时间:6.6s
4.6L SOHC V-8 Ford Motor Co.	4.606 L 汽油机 V 形 8 缸(90°夹角)	90.2	90	9.8	224 kW @ 5750 (r/min) 434 Nm @ 4500 (r/min)	48.5	Ford Mustang GT	13.8 / 9.4	单顶置凸轮轴;机体缸盖全 铝结构每缸 3 气门;可变配气 定时
Vortec 4.2L I-6 General Motors corp.	4.160 L 汽油机 直列 6 缸	93	102	10	205 kW @ 6000 (r/min) 373 Nm @ 3600 (r/min)	48.5	Chevrolet TrailBlazer	15.7 / 11.2	双顶置凸轮轴;机体缸盖全 铝结构;可变配气定时;电子 节气门
3L SOHC V-6 IMA Hybrid Honda Motor Co. Ltd.	2.997 L 汽油机 V 形 6 缸(60°夹角)	86	86	10.5	190 kW @ 6000 (r/min) 315 Nm @ 4500 (r/min)	63.4	Honda Accord Hybrid	8.1 / 6.4	单顶置凸轮轴;应用停缸控 制技术;机体缸盖全铝结构; 混合驱动(12-kW 永磁直流 电机)
Acura 3.5LSOHC V-6 Honda Motor Co. Ltd.	3.471 L 汽油机 V 形 6 缸(60°夹角)	89	93	11	224 kW @ 6200 (r/min) 353 Nm @ 5000 (r/min)	64.2	Honda Acura RL	13.1 / 9.0	单顶置凸轮轴;机体缸盖全 铝结构
1.3L Renesis Rotary Mazda Motor Corp.	1.308 L 汽油机 转子式	—	—	10	178 kW @ 8500 (r/min) 216 Nm @ 5500 (r/min)	183 136.5	Mazda RX-8	13.1 / 9.8	
3.5L VQ DOHC V-6 NissanMotor Co. Ltd.	3.498 L 汽油机 V 形 6 缸(60°夹角)	95.5	81.4	10.3	222 kW @ 6400 (r/min) 353 Nm @ 4800 (r/min)	63.4	Nissan Infiniti G35 Coupe (6-speed MT)	12.4 / 9.0	双顶置凸轮轴;机体缸盖全 铝结构

第二节 对汽车动力装置的要求

良好的动力性能、经济性能和环保性能是对汽车动力装置的最基本的要求，此外还有可靠性与寿命、良好的维修性以及安全性等其他要求。下面分别进行简要的分析。

1. 良好的动力性能

汽车行驶需要动力装置提供牵引力来克服行驶阻力（包括滚动阻力、空气阻力、坡道阻力及加速阻力），汽车动力装置必须适应汽车在起步、加速、行驶以及克服各种道路障碍等不同行驶条件下对驱动车轮牵引力和车速的不同要求。

评价发动机动力性的指标，主要有额定功率和最大有效转矩，即发动机所能输出的最大功率和转矩。为了使各种发动机之间有一定的可比性，也常用平均有效压力、升功率和升转矩等来评价。同样重要的是动力装置的强化，即以较小体积、较轻质量的动力装置来提供更好的动力性能。应用增压技术、多气门技术、采用轻量化材料以及提高最高转速等是提高发动机强化程度的常见措施，能够使较小体积、较轻质量的发动机发出较大的功率和转矩。

从获得尽可能高的平均行驶速度的观点出发，汽车的动力性可由三方面的指标评价。

1) 汽车的最高车速。是指汽车在平坦路面上行驶时，行驶阻力和驱动力相平衡时能达到的最高稳定车速。

2) 汽车的加速性能。又分为原地起步加速性能和超车加速性能，常用达到某一预定距离或车速的时间来表示。

3) 最大爬坡能力。是指满载时汽车在良好路面上等速行驶的最大爬坡度。

从整车的角度而言，汽车动力性能是各类汽车行驶性能中最基本、最重要的性能，它基本上就是由动力装置决定的。发动机若能够提供较高的功率和转矩且变速系统匹配合理，则汽车爬坡、加速性能更好，可达到更高的最高车速并有更强的原地起步和超车的能力。

2. 良好的经济性能

要求动力装置在能量转换与能量传递的过程中有较高的效率，可以将更多的能量用于克服汽车行驶阻力驱动汽车行驶，而不是消耗在能量转换与能量传递的过程中。

发动机的经济性能好坏可以通过有效效率和有效燃油消耗率来衡量；而汽车的经济性能常用百公里油耗，即按一定行驶规范行驶 100km（公里）所消耗的燃油量来衡量。经济性能与运行工况有密切关系。

在汽车燃油经济性以及排放的测试及评定中，工况是十分重要的。自 20 世纪 70 年代起，各国为了能使所测定的汽车经济性能和环保性能更符合实际情况，同时也便于相互比较和制定统一的标准，在调研、统计汽车各种不同的典型使用工况的基础上，制定了各种试验规范（Test mode 或 Test Cycle）。例如欧洲的 ECE-15 和 EUDC 试验规范。ECE-15 为图 1-2 所示的 15 个工况连续

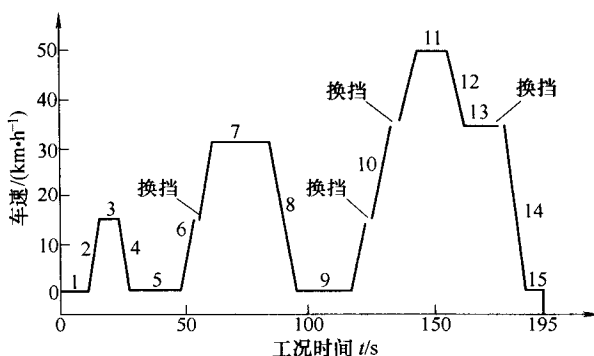


图 1-2 欧 ECE-15 试验规范

运行 4 个循环的试验方法, 主要模拟市内交通工况; 而 EUDC 为车速较高的城市外行驶循环, 如图 1-3 所示。此外, 还有如图 1-4 所示的美国的 FTP-75 (为美国乘用车和轻型货车的排放标准所规定的测试工况) 和日本的 10-15 工况试验规范 (图 1-5) 等。

图 1-6 给出了常规中档轿车在市内交通工况和高速公路工况 (括号内数值) 时汽车能量利用的情况。从图中可见, 真正用于克服行驶阻力的能量只占到总能量的 6.8% (市内交通工况) 和 18.0% (高速公路工况), 汽车节能应还有很大的潜力可挖。发动机和变速系统对于汽车动力装置的经济性能的提高都有着重要的关系。

从图中可以看到, 变速系统自身的损耗并不大, 但这并不意味着对经济性能提高不重要。变速系统更重要的作用是通过变速使发动机的工作区域移向或保持在经济性更好的运行区域, 从而提高其效率。优化发动机的运行区域也是在混合动力中动力装置节能的主要途径之一。

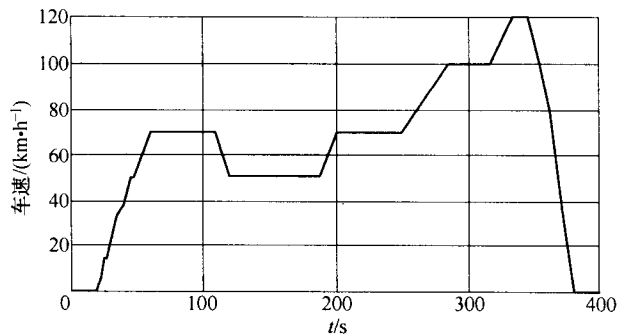


图 1-3 欧 EUDC 试验规范

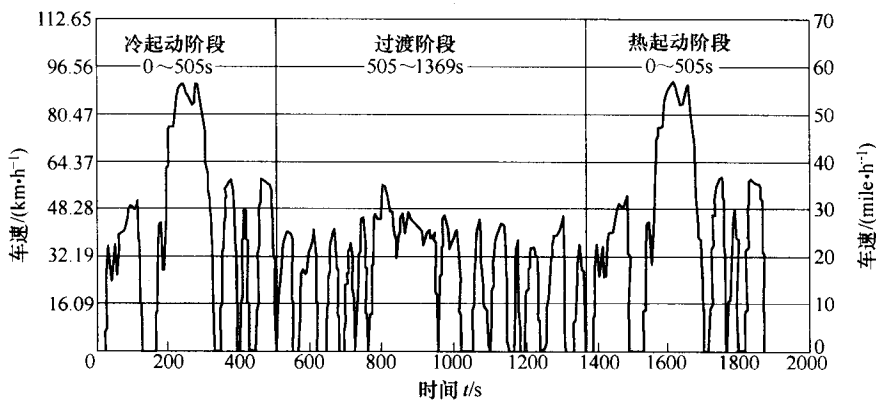


图 1-4 美 FTP-75 试验规范

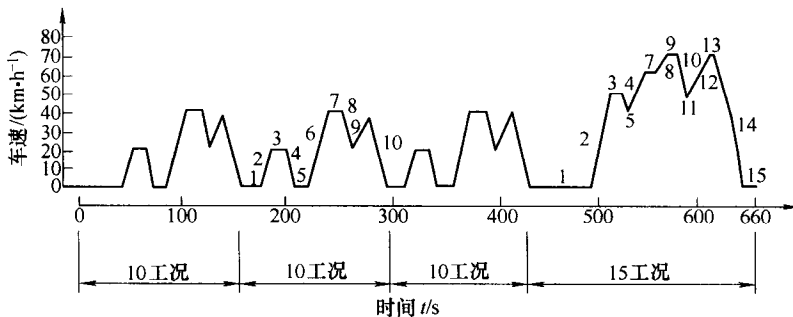


图 1-5 日 10-15 工况试验规范

在动力装置 (特别是混合动力等新型动力装置) 的系统设计中, 注意尽可能简化能量转换和传递的环节, 对提高效率和改善汽车经济性能将起到较好的效果。

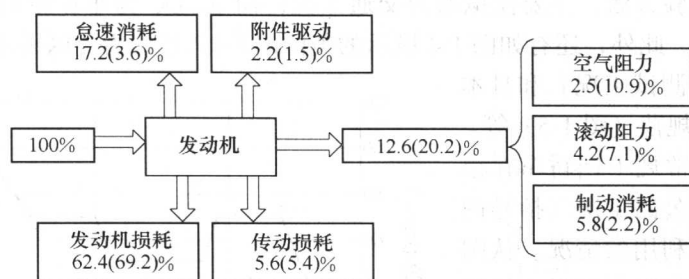


图 1-6 汽车能量利用的分析

以上所讨论的经济性能是指汽车使用过程中的经济性能，即所谓的“从加油站到车轮 (Pump to Wheel)”的情况。而从全局和系统的观点来看，应考虑能量转换的整个过程中的效率问题，即所谓的“从油井到车轮 (Well to Wheel)”的全过程。这就要包括燃料在生产与储运环节中，即所谓的“从油井到加油站 (Well to Pump)”的效率。这一点在比较使用不同燃料的动力装置的经济性能时必须充分注意到，同时各种燃料在生产与储运环节中的效率必须作为节约能源中的重要部分来加以考虑。

图 1-7 比较了一些燃料在生产与储运环节中，即“从油井到加油站”的效率。可见，各种燃料在生产与储运环节中的效率相差极大，例如柴油和汽油的效率可达 80% 以上，而电能制氢的效率则不到 30%。

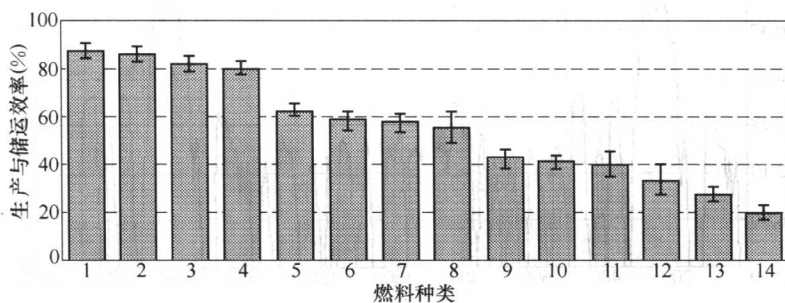


图 1-7 各种燃料的生产与储运 (Well to Pump) 效率

- 1—压缩天然气 2—粗挥发油 (Crude Naphtha) 3—柴油 4—汽油 5—天然气制甲醇
 6—天然气制粗挥发油 7—天然气制 (气态) 氢 (集中) 8—天然气制 (气态) 氢 (分散)
 9—天然气制 (液态) 氢 (集中) 10—电能 11—纤维素甲醇 12—天然气制 (液态) 氢 (分散)
 13—电能制 (气态) 氢 14—电能制 (液态) 氢

3. 良好的环保性能

随着对环境保护的日益重视，各国均制定了相应的法规并不断提高限值，严格控制汽车的有害排放物与噪声。以电驱动和混合驱动为代表的新型动力装置的出现与发展的主要动力之一，就是对汽车动力装置环保性能的要求。

(1) 满足严格的排放控制法规 汽车对大气环境的危害包括两层含义。其一是汽车排放污染物包括一氧化碳 (CO)、碳氢化合物 (HC)、氮氧化合物 (NO_x) 以及颗粒物 (PM) 等，都是对人体十分有害的物质。汽车排放污染物的主要来源是发动机的气体排放物，此外还有曲轴箱排放物和燃油系统蒸发排放物等，所造成的局部空气污染（特别是城市空气污染）对人类和其他生物造成危害。其二是汽车排放的二氧化碳、氮氧化合物以及硫化物等

所造成的温室效应，臭氧层被破坏和酸雨等大气环境恶化。对于完全燃烧的二氧化碳，过去并不认为是一种大气污染物。但由于化石燃料的大量使用，使地球大气中的二氧化碳含量有了明显的增长，有可能造成所谓的“温室效应”，影响全球气候。这一问题也正在引起人们越来越多的关注。

我国目前基本等效采用了欧洲的相关法规来制定我国的排放控制法规。分别于 2000 年和 2004 年开始执行的第一阶段和第二阶段轻型汽车污染排放限值就是我们通常所称的欧 1 和欧 2 标准，是欧洲分别于 1992 年和 1996 年开始实施的。目前欧洲所应用的为从 2005 年开始实施的欧 4 标准。各国的排放控制法规除了对上述的试验规范和排放限制做出规定外，一般还对汽车排气中有害排放物的取样装置、取样方法以及分析仪器的精度、种类等作出明确的规定。我国目前采用的轻型汽车排放试验规范就是由欧洲的 ECE-15 和 EUDC 两部分构成的。表 1-3 给出了我国目前国家标准规定的第二阶段轻型汽车污染排放限值。

表 1-3 中的第一类车指设计乘员不超过 6 人（包括司机），且最大总质量 $\leq 2.5\text{t}$ 的 M_1 类车；而第二类车指除第一类车以外的其他所有轻型汽车。基准质量（ R_m ）是指整车整备质量加 100kg 的质量。

表 1-3 我国第二阶段轻型汽车污染排放限值

车辆类型	基准质量 R_m/kg	限值/($\text{g}\cdot\text{km}^{-1}$)						
		一氧化碳(CO) L_1		碳氢化合物+氮氧化物(HC+ NO_x) L_2			颗粒物(PM) L_3	
		点燃式发动机	压燃式发动机	点燃式发动机	非直喷压燃式发动机	直喷压燃式发动机	非直喷压燃式发动机	直喷压燃式发动机
第一类车	全部	2.2	1.0	0.5	0.7	0.9	0.08	0.1
	≤ 1250	2.2	1.0	0.5	0.7	0.9	0.08	0.1
第二类车	1250~1700	4.0	1.25	0.6	1.0	1.3	0.12	0.14
	> 1700	5.0	1.5	0.7	1.2	1.6	0.17	0.20

(2) 满足严格的噪声控制法规 噪声对人类健康也有着一定程度的危害，不仅能引起人体的生理改变和损伤，而且能对人心理、生活和工作产生不利的影响。各国也都有着严格的噪声控制法规，表 1-4 为目前国家标准规定的汽车加速行驶车外噪声限值。

表 1-4 汽车加速行驶车外噪声限值

汽 车 分 类		噪声限值/dB(A)	
		第一阶段	第二阶段
		2002.10.1~2004.12.31 期间生产的汽车	2005.1.1 以后生产的汽车
M_1		77	74
M_2 (GVW $\leq 3.5\text{t}$)	GVW $\leq 2\text{t}$	78	76
或 N_1 (GVW $\leq 3.5\text{t}$)	$2\text{t} < \text{GVW} \leq 3.5\text{t}$	79	77
M_2 ($3.5\text{t} < \text{GVW} \leq 5\text{t}$)	$P < 150\text{kW}$	82	80
或 M_3 (GVW $> 5\text{t}$)	$P \geq 150\text{kW}$	85	83
N_2 ($3.5\text{t} < \text{GVW} \leq 12\text{t}$) 或 N_3 (GVW $> 12\text{t}$)	$P < 75\text{kW}$	83	81
	$3.5\text{t} < \text{GVW} \leq 5\text{t}$	86	83
	$P \geq 150\text{kW}$	88	84

注：1. M_1 、 M_2 (GVW $\leq 3.5\text{t}$)类汽车装用直喷式柴油机，其限值增加 1dB(A)。

2. 对于越野汽车，其 GVW $> 2\text{t}$ 时：如果 $P < 150\text{kW}$ ，其限值增加 1dB(A)；如果 $P \geq 150\text{kW}$ ，其限值增加 2dB(A)。

3. M_1 类汽车，若其变速器前进挡多于 4 个， $P \geq 140\text{kW}$ ， P/GVW 之比大于 75kW/t ，并且用第三挡测试时其尾端出线的速度大于 61km/h ，则其限值增加 1dB(A)。

4. GVW(Gross Vehicle Weigh)——车辆最大总质量

动力装置则是汽车的主要振动与噪声源。发动机运转时所发出的噪声主要由燃烧噪声、气体动力噪声和机械噪声三部分构成，与发动机的工作过程有着十分密切的关系，而变速系统则是机械噪声。

4. 其他性能

汽车动力装置的其他性能也同样不容忽视，其中包括：

1) 使用的可靠性与耐久性、良好的维修性、可回收性以及安全性等。

2) 应考虑燃料供应的便捷与安全问题，这一问题将在下一节中再加以讨论。

3) 低的制造成本和高的性能价格比对于产品的市场竞争力是十分重要的。例如，据测算目前燃料电池的制造成本约为每千瓦 500 美元，作为汽车产品，显然距离消费者所能接受的水平还有很大差距。

第三节 汽车能源

1. 概述

能源可分为一次能源和二次能源。一次能源是指自然界中存在的天然能源，如化石燃料、核燃料、太阳能等。二次能源是由一次能源直接或间接加工转换而成的人工能源，如电能、氢能等。在各种能源中，传统的汽车能源是从石油中提炼出来的汽油和柴油。

石油是目前世界上最主要的能源，由石油提炼得到的汽油和柴油也是目前汽车的主要能源。石油已在世界范围内得到了较为充分的开发。石油是一次性能源，具有不可再生性，石油价格节节攀升，已从 20 世纪 70 年代石油危机爆发前的每桶 3 美元上涨到近期的每桶 70 美元左右。最终会有石油资源枯竭的一天到来，一般预计到 21 世纪中叶之后石油将逐步转变为次要能源。因而在节约能源的同时，寻求新的能源来替代日益紧缺并将最终枯竭的石油能源，成为一项重要的任务。

随着石油资源的日益短缺，其他汽车能源（主要包括电能、氢能等）也逐步得到重视与应用。对新的汽车能源的主要要求应包括：

(1) 有利于汽车节能与环保性能的提高 例如在燃料电池电动车中氢气的应用能够实现“零排放”。用于内燃机的混合气形成与燃烧紧密相关的燃料性能主要是其蒸发性能与自燃性能，蒸发性能的好坏决定了混合气形成方式（例如燃油是低压喷射还是高压喷射）；而自燃性能则决定了着火方式是采用点燃还是压燃。

(2) 具有较高的能量密度和比能量 即在单位体积和单位质量的燃料中能具有更多的能量，从而有利于降低整车自重和提高汽车续航里程。图 1-8 列出了一些汽车能源的能量密度和比能量的相对比较。

(3) 燃料供应的便捷与安全 目前供应汽油和柴油的加油站设施已较为完备，而在非常规能源的应用中，还有较多的问题需要解决。

(4) 燃料在生产与储运环节中的较高效率 这一点在上一节已作了讨论和分析。

近年来，有人提出了“燃料设计”的概念，即采用多种燃料，按一定比例混合制成合成燃料，使其综合的理化性能能够适合于某一类型的发动机并获得更好的发动机性能。这一思路值得重视与进一步的研究与实践，目前已有了一些合成燃料成功应用的例子。

2. 化石燃料

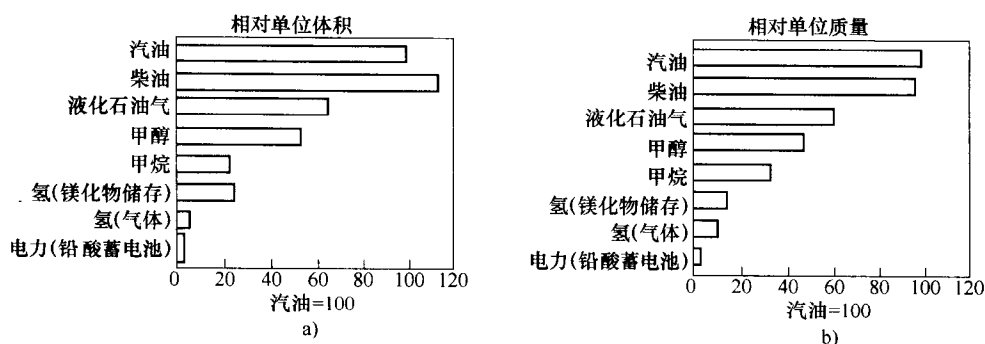


图 1-8 一些汽车能源的能量密度和比能量相对比较

a) 能量密度 b) 比能量

化石燃料是古代埋入地下的动植物在一定的地质条件下形成的，包括了石油、天然气以及煤炭等，是不能再生的能源。

目前，从石油中提炼而得到的汽油和柴油仍是常规汽车动力装置最主要的燃料。石油的主要成分是碳、氢两种元素，含量占 97%~98%，其他还有少量的硫、氧、氮等。石油产品是以多种碳氢化合物的混合物的形式出现的，分子式可表示为 C_nH_m ，通常又称为烃。根据石油产品中碳原子的不同，可构成不同沸点、不同相对分子质量的物质，见表 1-5，其理化性质也有所变化。随着石油产品中碳原子数的增多，石油产品的密度和粘性增大，挥发性变差，化学安定性变好，而且更易于自燃。石油经过不同的提炼过程制成汽油、煤油、柴油、润滑油、重油和渣油等石油产品，最简单的炼制方法就是利用沸点的不同直接进行分馏。此外，热裂法是在高温和高压的作用下将重分子烃分裂为轻分子烃，以增加轻油百分比。较先进的提炼方法是催化裂化法和加氢法，这两种方法可以生产出大量的高质量的汽油和柴油。

表 1-5 不同的石油产品

品 种	碳原子数	沸点/℃	相对分子质量
石油气	1~4	常温	16~58
汽 油	5~11	50~200	95~120
煤 油	11~19	180~300	100~180
(轻、重) 柴油	16~23	250~360	180~200
渣 油	23	360 以上	220~280

作为代用燃料的两种气体燃料，即压缩天然气 (CNG) 与液化石油气 (LPG)，目前已有一些应用的实例。天然气是由多种烃类物质和少量的其他物质组成的混合气体，储量较为丰富。天然气中最主要的成分是甲烷 (Methane，化学分子式为 CH_4)，其所占体积分数一般在 85%~97% 的范围内。

天然气经压缩后装入天然气钢瓶 (额定工作压力为 20MPa) 中并作为汽车发动机燃料使用。压缩天然气自燃温度比汽油更高，约为 630~730℃，因而不宜于压燃而宜于点燃。以压缩天然气为燃料的发动机既可以与汽油机相同的方式用电火花点燃，也可以用在柴油/压缩天然气双燃料发动机中，由柴油先压燃后再引燃天然气的方式工作。

液化石油气的主要成分为丙烷 (C_3H_8)、丁烷 (C_4H_{10})，另外含有少量的丙烯 (C_3H_6)、丁烯 (C_4H_8) 及其他烃类物质。在 15°C 时液化石油气的密度约为 0.55kg/L 。液化石油气的储运压力相对较低，一般为 1.6MPa 。以液化石油气为燃料的发动机与以压缩天然气为燃料的发动机工作方式类似，但在进入发动机前还有一燃料蒸发过程。

煤炭作为固体燃料，在发动机中是无法直接应用的，但有可能通过先进的煤转化技术将其转化为汽油或柴油来应用，目前已是技术可行但成本偏高；此外，还可以制成甲醇 (CH_3OH) 等作为燃料使用。甲醇作为汽车燃料应用的研究已延续多年，但仍存在毒性、腐蚀性较大等问题。

二甲醚 (Dimethyl Ether, DME) 也是一类近年来得到较多关注与研究的燃料。二甲醚的化学分子式为 CH_3OCH_3 ，可由煤炭或天然气制成，在常温常压下，为无色气体，加压后易于液化。二甲醚毒性低，自燃性能好，是一种较理想的柴油的代用燃料。

3. 电能

电能是一种二次能源，它可以通过任何一种其他能源的转换而获得，其来源是极其丰富的。电动车在运行过程中没有废气排出，而且噪声也较小。对车辆节能、环保等方面的要求，特别是环保方面的要求，推动了电动车的发展。电能被视作清洁能源而在汽车动力装置中得到应用。

电能作为汽车能源的实际应用也仍然存在着一些障碍，主要包括：

(1) 能量密度和比能量低 为了保证必要的续驶里程，就要装备较多、较重的蓄电池，对车辆性能造成不利的影响；而若减少蓄电池，必然会使续驶里程缩短，也影响动力性。高能量密度蓄电池技术尚有待突破。

(2) 充电时间相对较长 蓄电池的充电一般需要数小时，当然可以利用夜间车辆不用时进行充电，但毕竟也有不方便之处。

(3) 成本与寿命的问题 成本与寿命与前两个问题是紧密相连的。一般能量密度较高的蓄电池，其制造成本也较高；而快速充电一般可能会影响蓄电池的寿命。

4. 氢能

通常意义上的氢能是指氢作为燃料所具有的化学能。氢能是一种清洁能源，氢是唯一不含碳的燃料，与氧反应生成水而不会产生任何有害物质。氢气的制取有多种方式，例如可从天然气、煤炭、渣油等中制取。也可通过电解水的方法制取氢气，但效率极低，只在某些特殊情况下才可能应用。氢气的储运也有压缩、液化以及利用储氢材料等多种方式。

氢能可以通过两种途径作为汽车能源得到应用：一种是通过燃料电池中的化学反应直接转化为电能的途径；而另一种则是作为燃料通过在发动机内的燃烧而转变为机械能的途径。氢气发动机可以部分利用成熟的发动机技术，在制造成本方面具有较大优势。但从效率方面来看，氢气发动机要明显低于燃料电池，同时由于高温燃烧还会产生氮氧化物有害排放。

氢能的进一步应用，还有待于在经济、大批量的制取技术和安全、低耗的储运技术等方面的突破。

5. 其他能源

可再生能源包括生物质能、太阳能等。

(1) 生物质能 目前主要有从植物等作为原料制成的乙醇 ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)、生物柴油等。乙醇和汽油混合后构成的乙醇汽油已是一种较为成熟、实用的代用燃料。我国已颁布了“变

性燃料乙醇”的国家标准，并在一些地区应用。变性燃料乙醇是以淀粉质（玉米、小麦等）、糖质（薯类）为原料，经发酵、蒸馏制得乙醇，脱水后再添加 1.96%~4.76%（体积分数）的变性剂后的燃料乙醇。车用乙醇汽油一般含有 10% 的变性燃料乙醇。各类植物油作为柴油机燃料直接应用还存在不易自燃，粘度大等问题，需要对其进行一定的处理或可以作为生物柴油的原料使用。

（2）太阳能 是一种有利于生态环境、清洁的能源，对太阳能的直接利用，代表了人类文明发展的新水平，有利于人类社会的可持续发展。太阳能电池是利用光电效应将太阳辐射直接转换成电能的装置。主要动力源来自太阳能的汽车称为太阳能电动车，其工作原理是：太阳能电池收集太阳能并将其转换为电能，电能再输入电动机来驱动汽车运动，多余的电能则储存在蓄电池内，在需要时（例如汽车加速、上坡等工况）也同时提供部分电能。太阳能电动车被誉为“绿色汽车”和“未来汽车”。但由于太阳能电池的转化效率、成本等方面的原因，至今为止除了一些概念车与比赛车外，太阳能电动车在世界上还未作为产品得到实际应用。