



高等职业教育“十二五”规划教材
汽/车/技/术/服/务/与/营/销/专/业

汽车性能 评价与选购

鲍远通 / 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



配电子课件

高等职业教育“十二五”规划教材

汽车性能评价与选购

主 编 鲍远通

参 编 真 金 左明伟 丰 烨

主 审 侯树梅



机械工业出版社

本书将购车时需要关注的汽车发动机性能和车辆的动力性、经济性、制动性、操纵稳定性、行驶性、安全性和舒适性等作为主要内容；每章在介绍必需的理论知识的基础上，再进一步对上述性能分别进行分析和评价；最后，在介绍汽车文化的基础上，对选购汽车时需要参照的性能指标和注意事项进行分析和总结。

本书可作为高职高专汽车技术服务与营销类专业的专业教材，也可作为从事汽车发动机维修和汽车运用工程工作的技术人员和技术工人的参考书。

本书配有电子课件，凡使用本书作为教材的教师可登录机械工业出版社教材服务网 www.cmpedu.com 下载。咨询邮箱：[cmpgaozhi@sina.com](mailto:cmpgaozhi@ sina.com)。咨询电话：010-88379375。

图书在版编目（CIP）数据

汽车性能评价与选购/鲍远通主编. —北京：机械工业出版社，2012.9

高等职业教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-111-39455-6

I. ①汽… II. ①鲍… III. ①汽车-选购-高等职业教育-教材 IV. ①F766

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2012）第 186633 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：张双国 责任编辑：张双国

版式设计：霍永明 责任校对：张 力 李 婷

封面设计：赵颖喆 责任印制：杨 曦

北京交通印务实业公司印刷

2013 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·12.5 印张·304 千字

0001—3000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-39455-6

定价：25.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010) 88361066

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售一部：(010) 68326294

机工官网：<http://www.cmpbook.com>

销售二部：(010) 88379649

机工官博：<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线：(010) 88379203

封面防伪标均为盗版

目 录

前言

第一章 汽车发动机性能的评价	1
第一节 发动机动力性能和经济性能的评价指标	1
第二节 发动机的换气过程	9
第三节 燃料的特性及其对发动机的影响	22
第四节 柴油机混合气的形成与燃烧	27
第五节 汽油机混合气的形成与燃烧	43
第六节 汽车发动机特性的分析与评价	57
第二章 汽车动力性能的评价	69
第一节 汽车动力性能分析的基本理论知识	69
第二节 汽车动力性能的分析	81
第三节 汽车动力性能的评价方法	95
第三章 汽车燃油经济性的评价	101
第一节 汽车燃油经济性的评价指标	101
第二节 汽车燃油经济性的计算	104
第三节 影响汽车燃油经济性的因素	108
第四章 汽车制动性能的评价	111
第一节 汽车制动性能的评价指标	111
第二节 汽车制动过程的分析	112
第三节 汽车制动性能分析	115
第四节 与汽车制动性能相关的新技术应用	131
第五章 汽车操纵稳定性能的评价	136
第一节 汽车操纵稳定性能的评价指标	136
第二节 汽车行驶的纵向和横向稳定性能	137
第三节 轮胎的侧偏特性	140
第四节 汽车操纵稳定性能与底盘的关系	144
第五节 汽车操纵稳定性能的评价方法及改善措施	146
第六章 汽车行驶性能的评价	151
第一节 汽车行驶性能的评价指标	151
第二节 汽车行驶性能的分析	155
第七章 汽车安全性能和舒适性能的评价	164
第一节 汽车安全性能的评价体系	164
第二节 汽车舒适性能的评价	172
第八章 汽车综合性能评价与选购	181

第一节 汽车轮胎·····	181
第二节 灯光系统·····	184
第三节 汽车环保性能·····	185
第四节 汽车文化与选购·····	188
参考文献·····	192

第一章 汽车发动机性能的评价

发动机质量的优劣是由一系列性能指标来综合评定的，这些性能指标主要包括：

- 1) 动力性能指标：有效功率、有效转矩、发动机转速、活塞平均速度等。
- 2) 经济性能指标：有效热效率、有效燃油消耗率等。
- 3) 强化指标：升功率、强化系数等。
- 4) 有害物质排放指标：CO、HC、NO_x 和微粒等。
- 5) 其他运行性能指标：噪声和冷起动等。
- 6) 使用性能指标：可靠性、耐久性、维修方便性。

本章主要对汽车发动机的动力性能和经济性能进行评价，为选购合适的车用发动机提供主要依据。首先，介绍了与发动机动力性能和经济性能有关的基本概念；接着，对影响发动机性能的工作过程进行了分析，以便能够合理评价发动机性能；最后，利用发动机的特性曲线对车用发动机的动力性能和经济性能进行了较全面的评价。

第一节 发动机动力性能和经济性能的评价指标

一、四冲程发动机的示功图及实际循环

1. 示功图

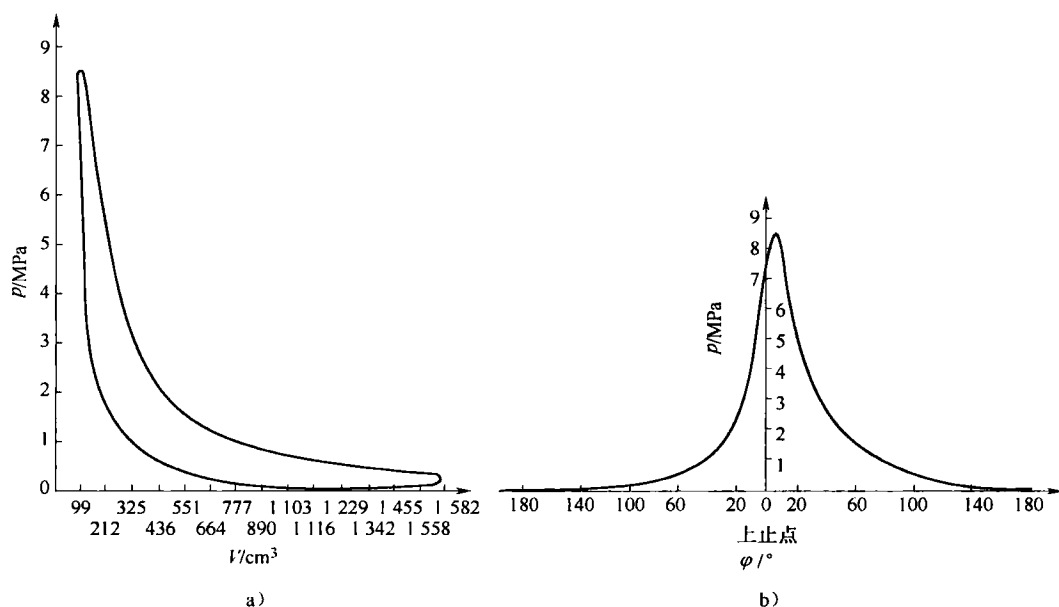
发动机实际循环是由进气、压缩、燃烧、膨胀和排气五个过程组成的。发动机的工作过程就是实际循环不断重复进行的过程。实际循环通常用气缸内工质（燃料-空气）的压力 p 随气缸容积 V 或曲轴转角 φ 而变化的图形表示，如图 1-1 所示。 $p-V$ 图中曲线所包围的面积表示工质完成一个实际循环所做的有用功，所以该图又称为示功图（见图 1-1a）； $p-\varphi$ 图又称为展开示功图（见图 1-1b）。

2. 自然吸气四冲程发动机的实际循环

图 1-2 所示为自然吸气四冲程发动机的示功图，其实际循环进行情况如下：

（1）进气过程 为使发动机能够连续运转，发动机必须不断吸入新鲜的工质。发动机吸入新鲜工质的过程即是进气过程。进气过程中，进气门开启、排气门关闭，活塞从上止点向下止点运动，在气缸内形成真空，新鲜工质因此才被吸入气缸。由于进气系统的阻力，进气终了时气缸内压力小于大气压力，约为 $0.075 \sim 0.09\text{MPa}$ ；同时由于进入气缸内的工质受到气缸壁、活塞顶等高温机件及上循环残余废气余热的加热作用，进气终了温度也升高到 $300 \sim 380\text{K}$ 。在图 1-2a 中，进气过程用曲线 ra 表示。

（2）压缩过程 为使吸入气缸内的工质能够迅速燃烧，以产生较大的压力使发动机做功，发动机必须在做功过程之前将工质进行压缩，此过程即为压缩过程。在这个行程中，进、排气门均关闭，活塞由下止点向上止点运动。在图 1-2b 中，压缩行程用曲线 ac 表示，工质受压缩的程度用压缩比 ϵ 表示。压缩过程是一个复杂多变的过程，其间有热交换和漏气损失。

图 1-1 120 四冲程单缸试验柴油机的 p - V 图及 p - φ 图a) p - V 图 b) p - φ 图

(3) 燃烧过程 在这个过程中, 活塞位于上止点前后, 进、排气门均关闭。燃烧行程的作用是将燃料的化学能转化为热能, 使工质的温度和压力升高。燃烧越靠近上止点, 工质放出热量越多, 热效率越高。

汽油机的燃烧过程接近定容加热循环 (图 1-2c 中 cz 曲线), 原因是汽油机的可燃混合气是在火花塞点火之前已基本形成, 火花塞在上止点前点火, 火焰迅速传播到整个燃烧室, 使工质的压力和温度迅速升高。

柴油机的燃烧过程接近混合加热循环, 喷油器在上止点前喷油, 燃油微粒迅速与空气混合, 并借助于空气的热量而自燃。开始时, 燃烧速度很快, 工质温度和压力剧增, 接近定容加热; 后来, 一边喷油一边燃烧, 燃烧速度逐渐缓慢, 又因活塞下移, 气缸容积增大, 压力升高不大, 而温度继续上升, 燃烧接近定压加热。

无论是汽油机还是柴油机, 燃烧都不是瞬时完成的。

(4) 膨胀过程 在这个过程中, 进、排气门仍旧关闭。当活塞接近上止点时, 工质燃烧放出大量的热能。高温高压的燃气推动活塞从上止点向下止点运动, 通过连杆使曲轴旋转并输出机械能, 除了用以维持发动机本身继续运转外, 其余的都用于对外做功。在图 1-2c 中膨胀行程用曲线 zb 表示。膨胀行程比压缩行程更复杂, 除有热交换和漏气损失外, 还有补燃。因此, 膨胀过程也是一个多变过程。

(5) 排气过程 当膨胀过程接近终了时, 开始排气过程, 排气门开启, 靠废气的压力进行自由排气, 活塞到达下止点后再向上止点运动时, 继续将废气强制排到大气中。活塞到达上止点附近时, 排气行程结束, 见图 1-2d 中的曲线 br 。表 1-1 列出了发动机实际循环各过程终了时工质的状态参数值。

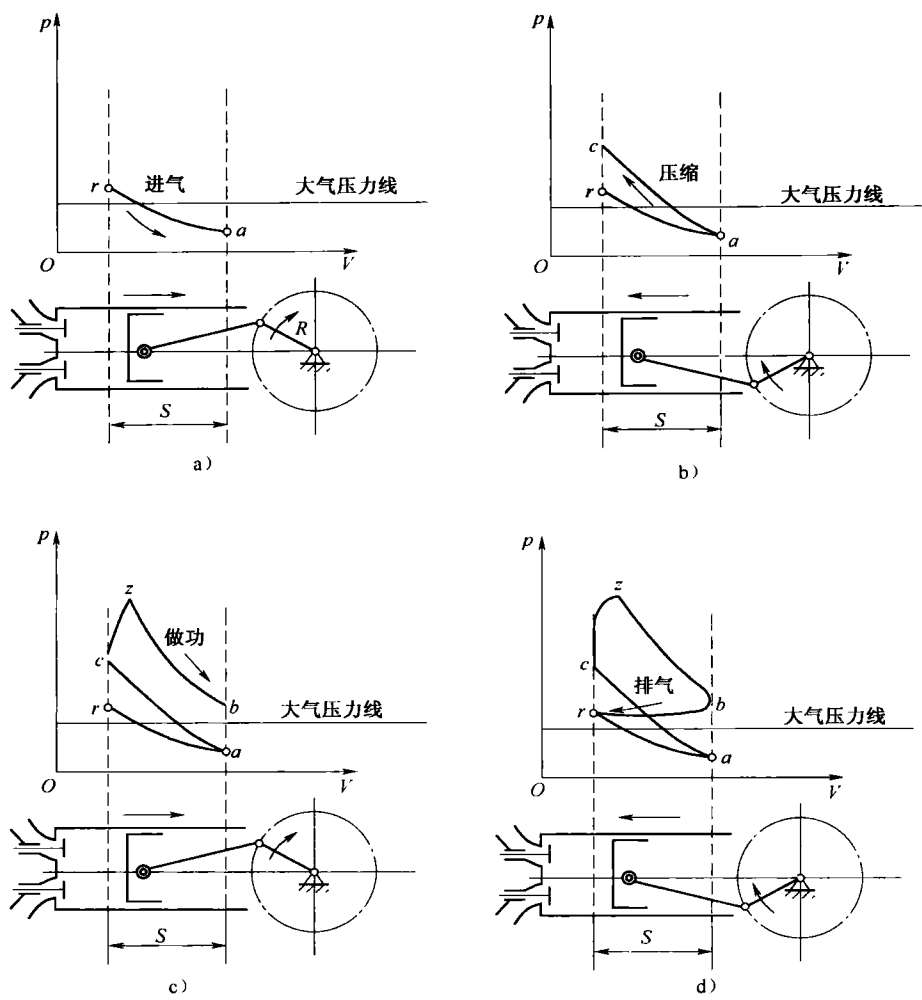


图 1-2 自然吸气四冲程发动机的示功图

a) 进气过程 b) 压缩过程 c) 燃烧、膨胀过程（做功行程） d) 排气过程

表 1-1 发动机实际循环各过程终了时工质的状态参数值

	进气终了时的压力 p_a/MPa	进气终了时的温度 T_a/K	压缩终了时的压力 p_c/MPa	压缩终了时的温度 T_c/K	最高爆发压力 p_i/MPa	最高温度 T_i/K	膨胀终了时的压力 p_b/MPa	膨胀终了时的温度 T_b/K	排气终了时的压力 p_r/MPa	排气终了时的温度 T_r/K
汽油机	$(0.8 \sim 0.9)p_0$	340 ~ 380	0.8 ~ 2.0	600 ~ 750	3.0 ~ 6.5	2 200 ~ 2 800	0.3 ~ 0.6	1 200 ~ 1 500	$(1.05 \sim 1.2)p_0$	900 ~ 1 100
柴油机	$(0.85 \sim 0.95)p_0$	300 ~ 340	3.0 ~ 5.0	750 ~ 1 000	4.5 ~ 9.0	1 800 ~ 2 200	0.2 ~ 0.5	1 000 ~ 1 200	$(1.05 \sim 1.2)p_0$	700 ~ 900
增压柴油机	$(0.9 \sim 1.0)p_0$	320 ~ 380	5.0 ~ 8.0	900 ~ 1 100	9.0 ~ 13.0				$(0.75 \sim 1.0)p_0$	

3. 自然吸气四冲程发动机的循环指示功 W_i

循环指示功 W_i 是指气缸内工质完成一个循环对活塞所做的有用功, 其值用示功图来计算。如图 1-2d 所示, 封闭面积 $aczba$ 表示膨胀正功和压缩负功的代数和, 封闭面积 $brab$ 代表进、排气行程的泵气功。于是循环指示功 W_i 可表示为 $W_i = W_{aczba} - W_{brab}$ 。

二、发动机动力性能和经济性能的评价指标

1. 指示性能指标

指示性能指标以每循环工质在气缸内对活塞做的功为基础, 平均指示压力和指示功率评定发动机实际循环的动力性能——做功能力。用指示热效率及指示燃油消耗率评定发动机实际循环的经济性能。表 1-2 是发动机指示指标的定义及计算方法。

表 1-2 发动机指示指标的定义及计算方法

指示指标	定义	计算公式	备 注
指示功 W_i/kJ	气缸内工质完成一个循环对活塞所做的有用功	$W_i = (A_i - A_1)ab$	A_i —— $p-V$ 图中膨胀、压缩曲线所封闭的面积 A_1 —— $p-V$ 图中排气、进气曲线所封闭的面积 a ——示功图纵坐标的比例 b ——示功图横坐标的比例
平均指示压力 p_{mi}/MPa	单位气缸工作容积的指示功	$p_{mi} = \frac{W_i}{V_s}$	V_s ——气缸工作容积, 单位为 L
指示功率 P_i/kW	单位时间内所做的指示功	$P_i = \frac{p_{mi} V_s n i}{30\tau}$	n ——发动机转速, 单位为 r/min i ——发动机气缸数 τ ——发动机行程数, 四行程 $\tau=4$, 二行程 $\tau=2$
指示热效率 η_i	实际循环指示功与所消耗的燃料热量之比值	$\eta_i = \frac{W_i}{Q_1} = \frac{3.6}{b_i h_\mu} \times 10^6$	W_i ——指示功, 单位为 kJ Q_1 ——循环加热量, 单位为 kJ h_μ ——燃料低热值, 单位为 kJ/kg
指示燃油消耗率 $b_i/\text{g}(\text{kW} \cdot \text{h})^{-1}$	单位指示功的燃料消耗量	$b_i = \frac{B}{P_i} \times 10^3$	B ——每小时燃油消耗量, 单位为 kg/h P_i ——指示功率, 单位为 kW

2. 有效性能指标

有效性能指标以每循环曲轴对外输出的有效功为基础, 被用来直接评价发动机实际工作性能的优劣。在通过曲柄连杆机构将指示功变为有效功的过程中, 不可避免地会出现损失, 这部分损失功主要用于克服运动件间的摩擦阻力和驱动各种附件等, 称为机械损失功。

平均有效压力、有效功率、有效转矩和活塞平均速度用来评定发动机的动力性能。用有效热效率及有效燃油消耗率评定发动机经济性。表 1-3 是发动机有效指标的定义及计算方法。

表 1-3 发动机有效指标的定义及计算方法

有效指标	定义	计算方法	备 注
平均有效压力 p_{me}/MPa	单位气缸工作容积输出的有效功	$p_{me} = \frac{W_e}{V_s} = \frac{30P_e \tau}{V_s i n}$	W_e ——有效功, 单位为 kJ τ ——发动机行程数 V_s ——发动机工作容积, 单位为 L i ——发动机气缸数

(续)

有效指标	定义	计算方法	备 注
有效功率 P_e/kW	发动机通过曲轴对外输出的功率	$P_e = \frac{T_{iq} n}{9550} = \frac{p_{me} V_a i n}{30\pi}$	
有效转矩 $T_{iq}/\text{N} \cdot \text{m}$	发动机通过曲轴输出的转矩	$T_{iq} = \frac{9550 P_e}{n}$	n ——发动机转速,单位为 r/min
活塞平均速度 $C_m/(\text{m/s})$		$C_m = \frac{S n}{30}$	S ——活塞行程,单位为 m
有效燃料消耗率 $b_e/[\text{g}/(\text{kW} \cdot \text{h})]$	单位有效功的燃料消耗量	$b_e = \frac{B}{P_e} \times 1\,000$	B ——每小时的燃油消耗量,单位为 kg/h
有效热效率 η_e	有效功与所消耗燃料热量之比	$\eta_e = \frac{W_e}{Q_1} = \frac{3.6}{b_e h_\mu} \times 10^6$	h_μ ——燃料的低热值,单位为 kJ/kg Q_1 ——循环加热量,单位为 kJ

3. 发动机强化指标

强化指标是发动机技术和工艺水平的综合体现。表 1-4 是发动机常用强化指标的定义及计算方法。

表 1-4 发动机常用强化指标的定义及计算方法

强化指标	定 义	计算公式	备 注
升功率 $P_L/(\text{kW/L})$	发动机每升工作容积所发出的有效功率	$P_L = \frac{P_e}{i V_a}$	用以衡量发动机排量的利用程度。不断提高升功率是汽车发动机非常重要的发展方向之一
比质量 $m_e/(\text{kg/kW})$	发动机的质量与所给出的标定功率之比	$m_e = \frac{m}{P_e}$	表征发动机的质量利用程度和结构紧凑性 m ——发动机质量,单位为 kg
强化系数	平均有效压力与活塞平均速度的乘积	$p_{me} C_m$	表征发动机的强化程度,是发动机技术进步的一个标志

表 1-5 给出了各种车用发动机动力性能和经济性能评价指标参数的大致变化范围。

表 1-5 各种车用发动机性能指标参数

参 数			n $/(\text{r/min})$	ε	p_{me} $/\text{kPa}$	P_L $/(\text{kW/L})$	m_e $/(\text{kg/kW})$	b_e $/[\text{g}/(\text{kW} \cdot \text{h})]$	C_m $/(\text{m/s})$
汽油机	摩托车	四行程	5 000 ~ 9 000	8 ~ 11	700 ~ 1000	30 ~ 70	4 ~ 1	350 ~ 270	10 ~ 20
	轿车	自然吸气	4 500 ~ 7 500	8 ~ 12	800 ~ 1 000	35 ~ 65	3 ~ 1	350 ~ 250	
		增压	5 000 ~ 7 000	7 ~ 9	1 100 ~ 1 500	50 ~ 100	3 ~ 1	380 ~ 280	
	货车		2 500 ~ 5 000	7 ~ 9	800 ~ 1 000	20 ~ 30	6 ~ 3	380 ~ 287	
柴油机	轿车	自然吸气	3 500 ~ 5 000	20 ~ 24	600 ~ 800	20 ~ 30	5 ~ 3	320 ~ 240	
		增压	3 500 ~ 4 500	20 ~ 24	900 ~ 1 200	30 ~ 40	4 ~ 2	290 ~ 240	
	货车	自然吸气	2 000 ~ 4 000	16 ~ 18	700 ~ 1 000	10 ~ 15	9 ~ 4	240 ~ 210	
		增压	2 000 ~ 3 200	15 ~ 17	1 000 ~ 1 300	15 ~ 20	8 ~ 3	230 ~ 205	
		增压中冷	1 800 ~ 2 600	14 ~ 16	1 300 ~ 1 800	20 ~ 25	5 ~ 3	225 ~ 195	

三、机械损失及机械效率

1. 机械损失的组成

发动机的机械损失消耗了一部分指示功率，使对外输出的有效功率减少。发动机机械损失的组成及其各部分所占比例见表 1-6。由表可见，机械损失所消耗的功率占指示功率的 10% ~ 30%，所以应降低机械损失，特别是摩擦损失，使实际循环得到的功尽可能转变成对外输出的有效功。

表 1-6 机械损失的组成及其各部分所占比例

机械损失的组成	占 p_m 的百分比/%	占 P_i 的百分比/%
摩擦损失：	62 ~ 75	8 ~ 20
活塞及活塞环	45 ~ 60	
连杆、曲轴轴承	15 ~ 20	
配气机构	2 ~ 3	
驱动各种附件损失：	10 ~ 20	1 ~ 5
水泵	2 ~ 3	
风扇(风冷发动机)	6 ~ 8	
润滑油泵	1 ~ 2	
电气设备	1 ~ 2	
带动机械增压器损失	6 ~ 10	
泵气损失	10 ~ 20	2 ~ 4
合计		10 ~ 30

机械损失的大小可用机械损失功 W_m 、机械损失功率 P_m 、平均机械损失压力 p_{mm} 来表示。它们和指示指标、有效指标之间的关系可用以下公式表达：

$$W_e = W_i - W_m$$

$$P_e = P_i - P_m \quad (1-1)$$

$$p_{me} = p_{mi} - p_{mm} \quad (1-2)$$

2. 机械效率 η_m

有效功率和指示功率之比称为机械效率 η_m ，其定义式为

$$\eta_m = \frac{P_e}{P_i} = \frac{p_{me}}{p_{mi}} = 1 - \frac{P_m}{P_i} = 1 - \frac{p_{mm}}{p_{mi}} \quad (1-3)$$

机械效率用于比较不同种类发动机机械损失所占比例的大小。总体上说，在标定工况下，自然吸气汽油机的机械效率为 0.8 ~ 0.9，自然吸气柴油机的机械效率为 0.78 ~ 0.85，涡轮增压柴油机的机械效率为 0.80 ~ 0.92。

3. 影响机械效率的主要因素

(1) 转速 n 机械效率 η_m 随发动机转速的上升而下降，如图 1-3 所示。这是因为发动机转速上升时：

1) 各摩擦副间的相对速度增加，摩擦损失增大。

2) 曲柄连杆机构的惯性力增大，活塞侧压力及轴承负荷增高，摩擦损失增大。

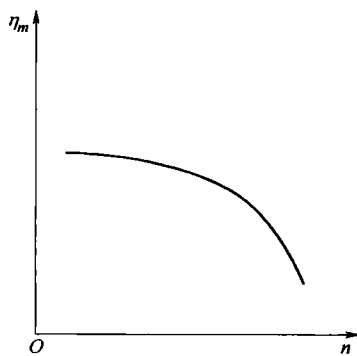


图 1-3 发动机转速对机械效率的影响

3) 进、排气流动阻力增大, 泵气损失增大。

4) 驱动附件消耗功增多。

所以用提高转速的手段来强化发动机输出功率, η_m 的降低成为受到限制的主要原因之一。

(2) 负荷 在发动机转速不变时, 机械损失功率 P_m 近似不变。根据式 $\eta_m = 1 - P_m / (P_e + P_m)$ 可知, 随着负荷 P_e 减小, η_m 下降; 直到空转时, $P_e = 0$, 指示功率全部用来克服机械损失功率, 即 $P_i = P_m$, 故 $\eta_m = 0$ 。

图 1-4 所示为发动机机械效率随负荷变化的关系曲线。从图中可以看出, 低负荷时的 η_m 很低。对于经常在城市行驶的汽车, 其发动机大部分时间在中、低负荷下运行, η_m 较低, 因此提高发动机工作时的负荷率以及降低中、低负荷时的机械损失, 对改善整车及发动机的燃油经济性具有十分重要的意义。

(3) 润滑油品质 在机械损失中, 摩擦损失占了很大的百分比, 因此改善相对运动面上的润滑条件可以显著提高 η_m 。

润滑油的粘度是影响 η_m 最重要的因素。发动机在冷起动和低温下运行时, 不允许润滑油的粘度过高; 而在发动机已充分暖机后, 不允许润滑油粘度过低, 以免破坏机件表面的油膜而出现干摩擦状态。

润滑油的粘度受温度影响, 所以保持发动机正常的冷却液温度和润滑油温度以及保持正常的传热条件, 对保持润滑油适当的粘度非常重要。正常的冷却液温度受沸点限制, 一般以 $80 \sim 95^\circ\text{C}$ 为宜; 正常的润滑油温度以在 $85 \sim 110^\circ\text{C}$ 范围内为宜, 高品质润滑油可以在更高的温度下工作。

发动机润滑油选用的原则是: 在保证各种环境和工况均能可靠润滑的前提下, 尽可能选用粘度低的润滑油以减小摩擦损失, 改善发动机的起动性能。

发动机润滑油分类涵盖了粘度等级和质量等级两个方面。我国从 2007 年 1 月 1 日起实施与国际接轨的汽油机润滑油标准 (GB 11121—2006) 和柴油机润滑油标准 (GB 11122—2006)。国标润滑油的粘度等级等同于美国汽车工程师协会 (SAE) 标准 SAE-J 300, 而质量等级参照美国石油协会 (API) 和国际润滑油标准化和认可委员会 (ILSAC) 的标准制定。

对于我国汽车发动机润滑油的质量等级, 汽油机润滑油分为 SC、SD、SE、SF、SG 和 SH 六个级别; 柴油机润滑油分为 CC、CD、CE 和 CF 四个级别。随着级别顺序的延续, 润滑油质量不断提高。

润滑油的粘度等级通常用“数字”或“数字+W”表示, 其中, “数字”如“30”, 表示夏季用油; “数字+W”如 15W, 表示冬季用油。四季通用润滑油, 用两组数字来标识, 如“15W/40”, 带 W 的第一组数字相当于冬季用油标准, 其数值越小代表该润滑油的适用环境温度越低; 第二组数字相当于夏季用油标准, 其数值越大代表该润滑油的适用环境温度越高。常用发动机润滑油的粘度等级及使用环境温度范围见表 1-7。

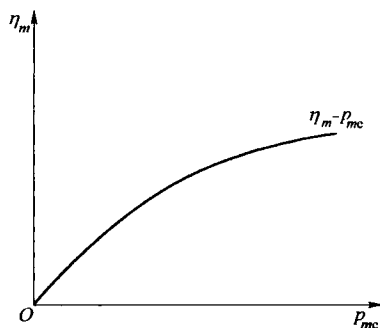


图 1-4 发动机机械效率随负荷变化的关系曲线

表 1-7 常用发动机润滑油的粘度等级及使用环境温度范围

SAE 粘度等级	使用环境温度范围/℃	SAE 粘度等级	使用环境温度范围/℃
5W	-40 ~ -10	40W	10 ~ 40
10W	-35 ~ 5	5W/30	-40 ~ 30
20W	-20 ~ 5	10W/30	-30 ~ 30
25W	-15 ~ 10	15W/40	-20 ~ 40
20	-10 ~ 30	20W/40	-10 ~ 40
30	0 ~ 30		

四、影响发动机性能指标的因素

分析上述所介绍的内容可知, 发动机动力输出的过程, 实质上就是进入发动机的燃料化学能通过燃烧转化为热能, 热能再转化为曲轴有效输出功的过程。因此, 发动机输出功率的大小取决于三个方面: 首先是单位时间内加入发动机的化学能的多少, 即进入气缸新鲜充量的数量, 对于汽油机而言是可燃混合气量, 而对于柴油机而言则是新鲜空气和喷入供油量; 其次是这些燃料所拥有的化学能转变为热能的效率; 最后是热能转换为有效输出功的效率。分析这三个方面, 归纳影响发动机动力性能和经济性能评价指标的主要因素如下:

- 1) 充气效率 η_v 。充气效率表征进、排气过程的影响, 在第二节中进行介绍。
- 2) 燃料低热值 h_u 、理论空气量 L 。燃料低热值和理论空气量表征燃料特性的影响, 在第三节中进行介绍。
- 3) 过量空气系数 α 。过量空气系数表征混合气形成及燃料供给方式的影响, 在第三、四节中进行介绍。
- 4) 指示热效率 η_i 。指示热效率表征混合气形成及燃烧过程的影响, 在第四节中进行介绍。
- 5) 机械效率 η_m 。机械效率表征机械损失的影响, 在前面已介绍过。
- 6) 发动机转速 n 。
- 7) 其他主要结构参数。其他主要结构参数, 如压缩比 ε 、气缸数、发动机排量等。

因此, 以上述主要因素对发动机性能是如何影响的作为依据, 对与这些因素紧密相关的结构和系统的特点进行分析, 就可对发动机的性能作出较全面的评价。

思 考 题

1. 简述发动机的实际工作循环过程。
2. 简述汽油机与柴油机工作循环的区别。
3. 为什么发动机性能指标有指示指标和有效指标之分? 两种指标各在什么场合使用?
4. 发动机的动力性能和经济性能在生产和使用中主要用哪几个指标来表示? 如果要进行不同机型发动机性能的对比, 应使用哪些动力性能和经济性能评价指标?
5. 机械损失由哪几部分组成? 所占百分比最大的是哪种损失?
6. 发动机转速和负荷是如何影响机械效率的? 这一影响对发动机性能的提高和使用提出了什么要求?

7. 如何对汽车发动机的动力性能和经济性能进行较全面地评价?

第二节 发动机的换气过程

发动机排出废气、充入新鲜空气或可燃混合气的全过程称为换气过程。没有换气过程, 发动机无法持续运转。每个循环进入气缸的空气量或可燃混合气量是决定发动机动力输出大小的关键因素。所以, 换气过程是发动机工作过程不可缺少的组成部分, 也是决定发动机动力性能和经济性能的重要环节。

合理组织换气过程, 保证吸入尽可能多的新鲜充量, 以获得尽可能高的输出功率和转矩; 尽量减少换气损失, 以降低机械损失, 提高发动机经济性能; 保证进气后在气缸内所形成的气体运动, 能满足组织快速燃烧的要求, 以提高热效率。

充气效率 η_v 是评价发动机换气过程完善程度和决定发动机性能的重要指标。

一、四冲程发动机的换气过程

1. 换气过程

四冲程发动机的换气过程包括从排气门开启直到进气门关闭的整个时期, 大约占 $410 \sim 480^\circ\text{CA}$ (曲轴转角)。一般将换气过程分为自由排气、强制排气、进气和气门重叠四个阶段。图 1-5 所示为四冲程发动机换气过程的 $p-V$ 图。

(1) 自由排气阶段 图 1-5 中, 从排气门早开点 b' 到晚关点 r' , 约 $240 \sim 260^\circ\text{CA}$ 的 $b'bdr'r'$ 段为排气过程。排气门开启初期, 缸内压力 p 远大于排气管压力 p_r , 此时, 尽管活塞还在下行阶段, 缸内压力也在不断下降, 但是压差 $(p - p_r)$ 已足以使废气自由逸出, 而不必依靠活塞排出废气。这一阶段为自由排气阶段。

自由排气阶段大约在下止点后 $10 \sim 30^\circ\text{CA}$ 结束。自由排气阶段虽然时间不长, 且气门开启的流通面积也较小, 但因流速很高, 排出废气量达总量的 60% 以上。

(2) 强制排气阶段 自由排气阶段结束后, 缸内压力大大降低, 必须依靠上行活塞强制排出废气, 此阶段称为强制排气阶段。因为气门流通面积减小, 排气不畅, 在排气后期到上止点时, 缸内压力略有上升。

(3) 进气阶段 图 1-5 中, 从进气门早开点 d 到晚关点 a' , 约 $220 \sim 265^\circ\text{CA}$ 的 $drr'aa'$ 段为进气过程。进气初期, 由于进气门开启面积较小, 节流损失很大, 活塞又加速下行, 导致缸内压力下降较大; 随着进气门开启面积增大, 进入气缸的充量增加, 使得缸内压力上升; 进气后期, 高速流入气缸的充量的气流动能转为压力能, 使得缸内压力又有所上升。此阶段称为进气阶段。

在这一阶段, 由于气体需要克服进气系统的流动阻力以及存在吸热温升等的影响, 使得缸内气体压力要低于进气管压力。

(4) 气门重叠阶段 图 1-5 中, drr' 段是气门重叠阶段。这是由于排气门晚关、进气门早开, 存在进、排气门同时开启的现象。

2. 配气相位及其对性能的影响

进、排气门的开、关时刻及开启持续时间 (用 $^\circ\text{CA}$ 表示), 称为配气相位, 常用图 1-6 所示的相位图来表示。进、排气门开关时刻与进气充量、进气阻力、换气损失等密切相关。

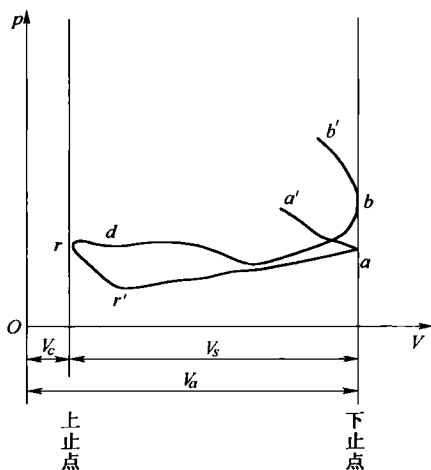
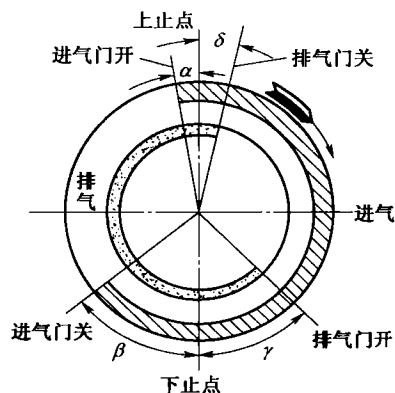
图 1-5 四冲程发动机换气过程的 $p-V$ 图

图 1-6 四冲程发动机配气相位图

(1) 排气早开角 γ 膨胀过程末期, 缸内压力较高, 如果到下止点才打开排气门, 则由于开启初期气门上升缓慢, 开度也小, 再加上气流因惯性而不会马上高速流出, 这些都会使排气不畅, 排气损失和阻力增大, 并间接影响进气充量。因此, 要求排气门在活塞到达上止点之前提前开启, 这一提前开启的角度就是排气早开角。

排气损失如图 1-7 所示。排气早开角若过大, 则自由排气阶段排出气体过多, 缸内压力下降太快, 膨胀做功会因此而减小, 此部分损失 (见图 1-7 中的 w 面积) 称为自由排气损失。排气早开角若过小, 则又会增加活塞强制排气所消耗的功, 此部分损失 (见图 1-7 中的 y 面积) 称为强制排气损失。

不同的排气早开角对排气损失的影响如图 1-8 所示。从图中可以看出, 必然存在一个最佳的排气早开角, 使得总排气损失 (自由排气损失与强制排气损失之和) 为最小。

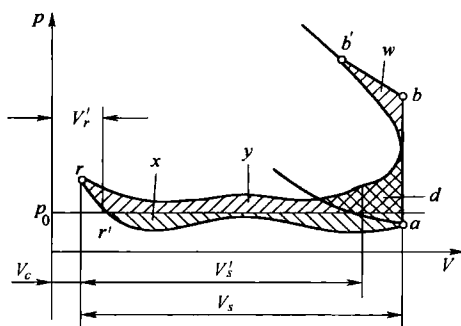


图 1-7 排气损失

w —自由排气损失 y —强制排气损失 x —自由排气损失
 $x+y-d$ —泵气损失

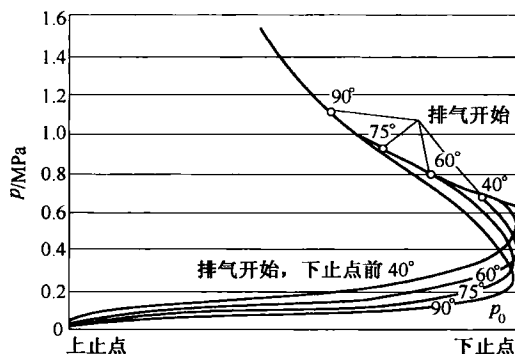


图 1-8 不同的排气早开角对排气损失的影响

最佳的排气早开角应随转速升高而适当增大。图 1-9 给出了转速对排气早开角的影响。从图中可以看出, 若排气早开角不变, 则转速对膨胀线影响不大, 故认为自由排气损失都一样; 但是, 相同的自由排气时间所对应的转角, 必然是高转速时大而低转速时小, 即发动

机高转速时,以曲轴转角计算的自由排气阶段延长,故高转速时缸内压力下降缓慢,使得强制排气损失增大,且转速越高,排气损失越大。所以,随转速升高而应适当增大排气早开角,以降低排气损失。

(2) 排气晚关角 δ 如果排气门在活塞到达上止点关闭,则此时废气还具有一定向外运动的惯性。为充分利用这一惯性增大排气量,排气门可在活塞到达上止点之后适当晚关,一般在缸内压力接近排气门外背压时关闭,这样可获得最好的排气效果。这一延迟关闭的角度就是排气晚关角。

排气晚关角若过小,则排气惯性利用不足;若过大,则会因活塞下行时缸内压力小于排气管压力而使得已排出的废气倒流回缸内。所以,排气晚关角有最佳值,且随转速升高而应适当加大。

(3) 进气早开角 α 进气门若在活塞到达上止点开启,则会因开启初期气门上升缓慢,流通截面小,以及进气流由静止到加速的滞后影响,而使缸内真空加大,进气量减少,进气损失增大。所以要求进气门在活塞到达上止点之前适当开启一定的角度,这一角度就是进气早开角。

进气门早开时排气尚未结束,缸内压力高于进气管压力,若进气早开角过大,则会造成废气倒流进入进气管的情况;若进气早开角过小,则进气不足。所以进气早开角有最佳值,且随转速升高应适当增大。

(4) 进气晚关角 β 进气门晚于活塞到达下止点而关闭的角度称为进气晚关角。进气门晚关主要是为了充分利用下止点时高速进气流惯性,增大进气充量。进气门若能推迟到气缸压力接近进气管外背压时关闭,则可获得最大的惯性效应。

进气晚关角若过小,则不能充分利用进气惯性;若过大,则有可能把已进入气缸的新鲜充量推回到进气管。所以,必然有一个最佳的进气门晚关角,并且由于进气流惯性和发动机转速成正比,进气晚关角的最佳值应随转速的升高而适当增大。

可见,进、排气的早开、晚关角度都有其特定功能和最佳角度,且最佳角度都应随转速升高而适当增大。其中,进气晚关角对进气充量影响最大,而排气早开角对排气损失影响最大,所以,在确定配气相位时,进气晚关角和排气早开角应受到特别关注。

(5) 气门重叠角 $\alpha + \delta$ 排气门晚关和进气门早开必然形成气门开启重叠,其重叠开启的角度称为气门重叠角。进、排气门同时开启时,进气管、气缸、排气管互相连通。对于自然吸气的汽油机,若进气门开启太早,则会导致废气倒流进入进气管而出现回火现象,且汽油机负荷越小,节气门开度越小,进气管的真空度越大,越容易出现回火,所以,自然吸气汽油机的气门重叠角不宜过大,一般小于 40° A。对于自然吸气的柴油机,其进入进气管的为新鲜空气,且小负荷时也没有进气管真空度增大的现象,故其气门重叠角可适当增大,一般约为 60° A。对于增压柴油机,其进气管压力大于排气管压力,故可利用新鲜空气扫除缸内残余的废气,增加新鲜充量,同时又可冷却喷油器、排气门、活塞等高温零部件,降低

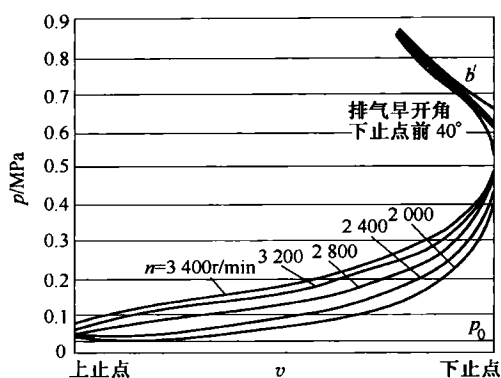


图 1-9 转速对排气早开角的影响

热负荷, 因此, 增压柴油机的气门重叠角较大, 一般为 $80 \sim 140^\circ \text{C A}$ 。

二、充气效率及其对发动机性能的影响

1. 充气效率

充气效率 η_v 是实际进入气缸中的新鲜充量与进气状态下充满工作容积的新鲜充量之比, 即

$$\eta_v = \frac{m_1}{m_s} = \frac{V_1}{V_s}$$

式中 m_1 、 V_1 ——实际进入气缸的新鲜充量的质量、体积 (进气状态下的当量体积);

m_s 、 V_s ——进气状态下充满气缸工作容积的新鲜充量的质量、体积。

所谓进气状态, 对于自然吸气发动机, 指当时当地的大气状态; 对于增压发动机, 指增压器压气机出口的气体状态。

η_v 高, 代表每个循环进入气缸的新鲜充量多, 则发动机的有效功率和有效转矩增加, 因此, η_v 是评价发动机换气过程完善程度和决定发动机性能的重要指标。

2. 影响充气效率的因素

按照定义式, 推导得 η_v 的表达式如下

$$\eta_v = \xi \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \frac{T_s}{p_s} \frac{p_{a'}}{T_{a'}} \frac{1}{1 + \gamma} \quad (1-4)$$

式中 $\xi = \frac{V_{s'}}{V_a}$;

$V_{s'}$ 、 $V_{r'}$ ——进、排气门关闭时的气缸容积 (见图 1-7);

p_s 、 T_s ——进气状态下气体的压力、温度;

$p_{a'}$ 、 $T_{a'}$ ——进气终了时缸内气体的压力、温度;

ε ——压缩比;

γ ——残余废气系数, 即进气过程结束时, 缸内残余废气量与缸内新鲜充量的比值。

由式 (1-4) 可见, 影响 η_v 的因素主要有进气状态、进气终了时缸内气体的压力和温度、配气相位、压缩比、残余废气系数。

(1) 进气终了压力 $p_{a'}$ 、 $p_{a'}$ 对 η_v 有重要影响, $p_{a'}$ 越高, η_v 值越大。

$$p_{a'} = p_s - \Delta p_a$$

式中 Δp_a ——进气过程中克服进气系统流体流动阻力而引起的压降。

根据流体力学知识, 流动阻力分为沿程流动阻力和局部流动阻力。沿程流动阻力是因管道壁面与流体发生摩擦而产生的, 而局部流动阻力是因管道截面变化产生的分离流或涡流而引起的。 Δp_a 是进气管道沿程流动阻力和各部件局部阻力之和。不管是哪种流动阻力, 都会随着气体流速 (发动机转速) 的上升成比例增大。

对于四冲程非增压发动机, 其进气系统由空滤器、进气管、节气门、进气歧管、进气道和进气门等组成。由于发动机的进气管道较短, 内表面光滑, 故其沿程阻力较小。流动损失主要来自于空滤器、节气门、进气门等的局部阻力损失, 其中, 进气门处的流通截面最小且截面变化最大, 流动损失最严重。因此, 增大进气门处的流通能力并减少流动损失, 也就成