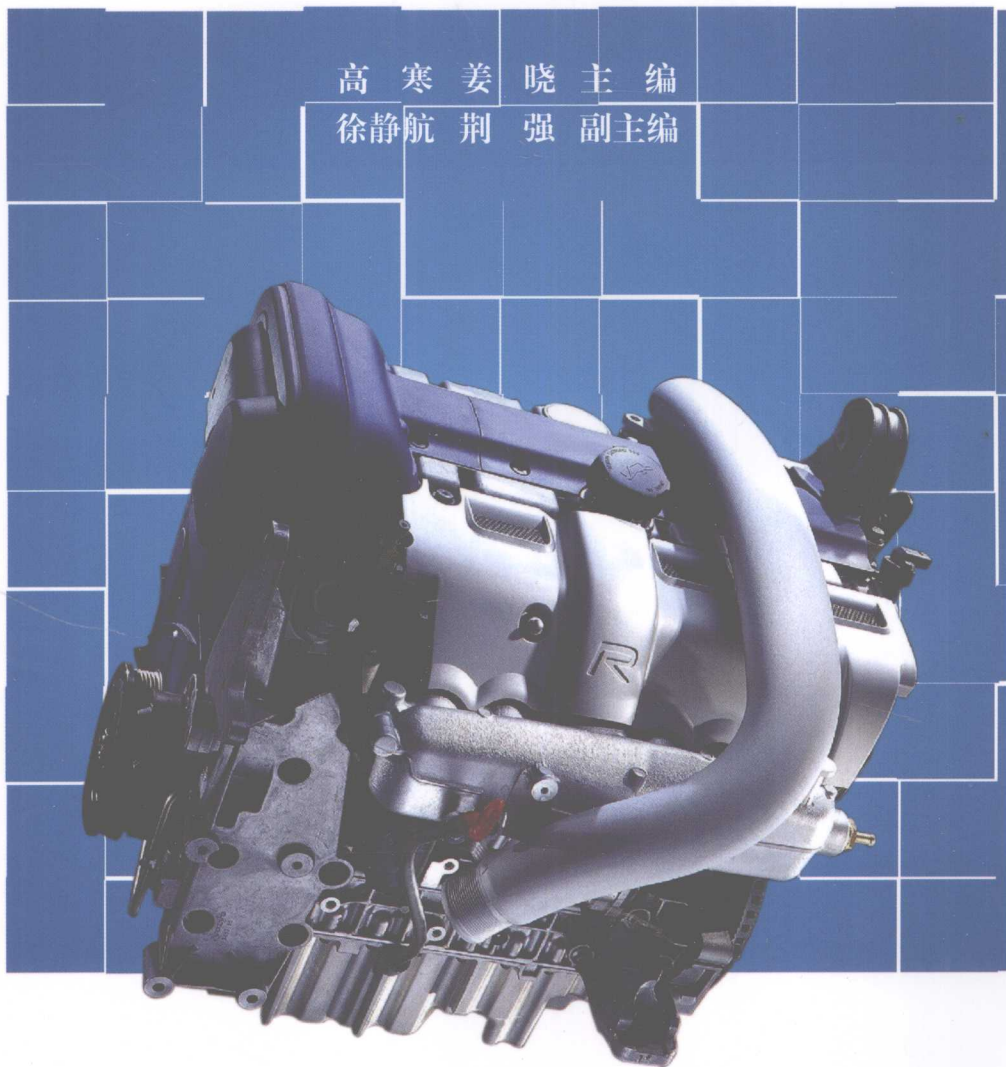


21世纪高职高专规划教材·汽车系列

发动机原理

高寒姜晓主编

徐静航荆强副主编



北京交通大学出版社

21 世纪高职高专规划教材·汽车系列

发动机原理

高 寒 姜 晓 主 编
徐静航 荆 强 副主编
于秀敏 主 审

北京交通大学出版社

·北京·

· 内容简介 · 21 世纪高职高专规划教材 · 汽车系列

全书分为 10 章：第 1 章介绍发动机的理论循环和实际循环及发动机的工作过程；第 2 章介绍发动机的性能指标及其影响因素和实验测定；第 3 章介绍发动机的换气过程、充气效率及提高充气效率的措施；第 4 章介绍常用燃料的使用特性及燃烧机理；第 5 章介绍汽油机混合气形成的方式、燃烧过程及汽油机点火控制；第 6 章介绍柴油机混合气形成的方式、正常燃烧过程、燃油喷射和电控喷射系统等；第 7 章介绍汽油机和柴油机的燃烧室；第 8 章介绍发动机的各种特性及其与车辆的匹配；第 9 章介绍废气涡轮增压器的基本结构和工作原理及其与发动机的匹配等；第 10 章介绍发动机有害排放物的种类及危害、污染物的主要影响因素、排放物的检测、排放标准和净化措施。

本书适合作为汽车、发动机制造及维修专业的大专教材，也可作为相关专业及工程技术人员的参考书。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

发动机原理/高寒, 姜晓主编. —北京: 北京交通大学出版社, 2007. 12

(21 世纪高职高专规划教材·汽车系列)

ISBN 978-7-81123-200-4

I. 发… II. ①高…②姜… III. 汽车-发动机-理论 IV. U464

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 171535 号

责任编辑: 刘 洵

出版发行: 北京交通大学出版社 邮编: 100044 电话: 010-51686414 <http://press.bjtu.edu.cn>

印刷者: 北京市梦宇印务有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 185×230 印张: 16.5 字数: 482 千字

版 次: 2007 年 12 月第 1 版 2007 年 12 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-81123-200-4/U·17

印 数: 1~4 000 册 定价: 26.00 元

本书如有质量问题, 请向北京交通大学出版社质监局反映。对您的意见和批评, 我们表示欢迎和感谢。

投诉电话: 010-51686043, 51686008; 传真: 010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

前 言

随着汽车工业的飞速发展,急需汽车设计、发动机制造与维修人员。“发动机原理”课程是汽车维修、汽车设计等专业的必修课程。本书主要结合应用型人才的特点,根据全国汽车运用工程专业高职高专教学大纲编写。

本书内容主要包括工程热力学基础与发动机的工作循环、发动机的性能指标、燃烧过程、发动机的换气过程、汽油机混合气的形成与燃烧、柴油机混合气的形成与燃烧、发动机的燃烧室、发动机增压、发动机的排气污染与净化。

本书本着“加强基础、重视应用、删繁就简、更新内容、难度适中”的原则,主要以汽车相关专业高职高专学生为主要对象,以培养从事第一线工作的高级应用型人才为目标,在内容上涵盖面广,难度适中,重点、难点突出,并加入了发动机的新技术,为学生将来从事维修和故障排除及发动机设计工作,打好坚实的基础。

本书在各章节后面附有复习思考题,用于学生检验学习情况。并在书末注录了相关参考文献,以便于教师和学习者学习查阅。

本书由高寒、姜晓主编,徐静航、荆强副主编。其中第1,6,9章由高寒编写;第2~3章由姜晓编写;第4~5章由徐静航编写,第8~10章由荆强编写;第7章由袁源编写。本书由吉林大学汽车学院于秀敏教授主审。

本书为汽车、发动机制造及维修专业大专教材,可作为相近专业的参考书,也可供工程技术人员参考。

在本书的编写过程中,吉林大学汽车学院许晋军,无锡油泵油嘴研究所王鹏、杨威,一汽技术中心崔勇、王宇、王亚娟,无锡威孚集团王先勇等提供了大量的帮助并提出了许多宝贵意见,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,错误之处在所难免,欢迎使用本书的同志批评指正。

编 者

2007.12

常用符号表

a ——加速度	P_L ——升功率
B ——每小时耗油量	P_m ——机械损失功率
b_e ——有效燃油消耗率	p_0 ——大气压力
b_i ——指示燃油消耗率	p_a ——进气终点压力
c ——比热容、声速	p_b ——膨胀终点压力
C_m ——活塞平均速度	p_c ——压缩终点压力
c_p ——等压比热	p_r ——排气终点压力
c_v ——等容比热	p_{me} ——平均有效压力
D ——气缸直径	p_z ——循环最高压力
f ——频率	p_{mi} ——平均指示压力
H ——焓	p_k ——扫气压力，增压器出口压力
h ——比焓	p_w ——饱和蒸汽压力
H_μ ——燃料低热值	Q ——热量
i ——气缸数	Q_{mix} ——混合气热量
K ——适应性系数，绝热指数	q ——单位质量热量
L_0 ——理论空气量	R ——气体常数
M_a ——燃料相对分子质量	S ——熵、活塞行程
m ——质量	s ——比熵
m_e ——比质量	T ——热力学温度
n ——发动机转速	T_0 ——大气温度
n_1 ——压缩多变指数	T_a ——进气终点温度
n_2 ——膨胀多变指数	T_b ——膨胀终点温度
P —— m kg 工质压力（工程热力学中）	T_c ——压缩终点温度
p ——1 kg 工质压力（工程热力学中）、 气缸内压力	T_z ——循环最高温度
P_i ——指示功率	T_r ——排气终点温度
P_e ——有效功率	T_{tq} ——有效扭矩
P_k ——压气机功率	V ——容积
P_T ——涡轮机功率	V_s ——气缸工作容积
	V_k ——燃烧室容积

V_c ——压缩容积
 v ——质量体积, 流量
 W ——功
 W_i ——指示功
 ω ——单位质量的功
 α ——过量空气系数
 δ ——调速率
 ϵ ——压缩比
 η_{ad-k} ——压气机绝热压缩效率
 η_v ——充气效率
 η_e ——有效热效率

η_m ——机械效率
 η_i ——指示热效率
 η_s ——扫气效率
 η_T ——涡轮机效率
 θ ——点火提前角, 喷油提前角
 λ ——压力升高比
 μ ——扭矩储备系数
 ρ ——密度、预膨胀比
 τ ——冲程数
 τ_i ——着火延迟期
 φ ——曲轴转角

目 录

第 1 章 发动机基础	1
1.1 工程热力学基础	1
1.1.1 基本概念	1
1.1.2 基本状态参数	5
1.1.3 理想气体状态方程	6
1.1.4 基本热力过程	7
1.2 发动机的工作循环.....	13
1.2.1 发动机理论循环	13
1.2.2 发动机实际循环	19
1.3 发动机的工作过程.....	20
1.3.1 进气过程	20
1.3.2 压缩过程	21
1.3.3 燃烧过程	22
1.3.4 膨胀过程	23
1.3.5 排气过程	25
复习思考题	25
第 2 章 发动机的性能指标	26
2.1 发动机的指示指标.....	26
2.1.1 动力性指标	26
2.1.2 经济性指标	28
2.2 发动机的有效指标.....	29
2.2.1 动力性指标	29
2.2.2 经济性指标	30
2.2.3 发动机强化指标	31
2.3 机械损失.....	31
2.3.1 机械损失性能指标	31
2.3.2 机械损失影响因素	33
2.4 提高发动机性能的途径.....	35
2.5 热平衡.....	36

2.6	性能指标的实验测定	37
2.6.1	有效功率的测定	38
2.6.2	机械损失功率的测定	41
2.6.3	有效燃油消耗率的测定	43
	复习思考题	45
第3章	发动机的换气过程	46
3.1	四冲程发动机的换气过程	46
3.1.1	换气过程	46
3.1.2	换气损失	49
3.2	四冲程发动机的充气效率	51
3.2.1	充气效率 η_v	51
3.2.2	影响充气效率的因素	52
3.3	提高充气效率的措施	57
3.3.1	减少进、排气系统的阻力	57
3.3.2	减少对进气充量的加热	60
3.3.3	采用配气可变技术	60
3.3.4	合理利用进气管的动态效应	66
3.4	二冲程发动机的换气过程	68
3.4.1	换气过程	68
3.4.2	扫气基本形式	69
3.4.3	换气质量的评价	70
	复习思考题	71
第4章	燃料与燃烧	73
4.1	发动机的燃料	73
4.1.1	概述	73
4.1.2	汽油的使用性能	75
4.1.3	柴油的使用性能	78
4.1.4	气体燃料的使用性能	80
4.2	燃料的燃烧	84
4.2.1	理论空气量	84
4.2.2	过量空气系数与空燃比	86
4.2.3	燃料与可燃混合气的热值	87
4.2.4	燃料燃烧原理	88
	复习思考题	90
第5章	汽油机混合气的形成与燃烧	91

5.1	汽油机混合气的形成	91
5.1.1	汽油机对混合气的要求	92
5.1.2	汽油喷射式燃油供给系组成	95
5.1.3	燃油喷射控制	97
5.2	汽油机的燃烧过程	104
5.2.1	正常燃烧过程	104
5.2.2	不正常燃烧	111
5.2.3	使用因素对燃烧过程的影响	115
5.3	汽油机的点火控制	117
5.3.1	点火时间的控制	118
5.3.2	闭合角控制	123
5.3.3	爆震控制	124
	复习思考题	125
第6章	柴油机混合气的形成与燃烧	126
6.1	柴油机混合气的形成	126
6.1.1	形成混合气的两种基本方式	126
6.1.2	燃油的雾化	128
6.2	柴油机的着火和燃烧	131
6.2.1	着火情况	131
6.2.2	柴油机的燃烧过程	132
6.2.3	合理的燃烧放热规律	138
6.3	燃烧过程的影响因素	140
6.4	燃油喷射	142
6.4.1	燃油喷射系统	142
6.4.2	燃油喷射过程	146
6.4.3	供油规律与喷油规律	147
6.4.4	异常喷射现象	147
6.4.5	喷油泵的速度特性	149
6.5	柴油机的电控喷射系统	151
6.5.1	电控喷射系统的类型	151
6.5.2	电控分配泵	154
6.5.3	电控共轨系统	157
	复习思考题	159
第7章	燃烧室	160
7.1	汽油机的燃烧室	160

7.1.1	对燃烧室的要求	160
7.1.2	典型燃烧室	160
7.1.3	充量分层和缸内直喷系统	163
7.2	柴油机的燃烧室	165
7.2.1	直喷式燃烧室	166
7.2.2	分隔式燃烧室	171
7.3	不同柴油机燃烧室的对比	174
	复习思考题	175
第8章	发动机特性	176
8.1	发动机工况	176
8.1.1	发动机的三类典型工况	176
8.1.2	发动机性能指标与工作过程的参数关系	177
8.2	负荷特性	178
8.2.1	汽油机负荷特性	178
8.2.2	柴油机负荷特性	179
8.2.3	汽油机与柴油机负荷特性的对比	181
8.2.4	负荷特性曲线的应用	181
8.3	发动机的速度特性	182
8.3.1	汽油机速度特性	182
8.3.2	柴油机速度特性	185
8.3.3	汽油机与柴油机速度特性曲线的对比	187
8.3.4	速度特性曲线的应用	187
8.4	万有特性	187
8.4.1	绘制方法	188
8.4.2	万有特性图分析	188
8.5	发动机扭矩特性	190
8.5.1	衡量发动机扭矩特性的参数	190
8.5.2	柴油机扭矩校正	192
8.6	汽油机的调整特性	192
8.6.1	点火提前角调整特性	192
8.6.2	燃料调整特性	194
8.7	柴油机的调整特性	194
8.7.1	喷油提前角调整特性	194
8.7.2	柴油机调速特性	195
8.8	改善发动机与车辆的匹配	199

8.8.1	提高汽车动力性能	199
8.8.2	提高汽车的经济性能	201
	复习思考题	203
第9章	废气涡轮增压	205
9.1	概述	205
9.1.1	增压的基本概念	205
9.1.2	增压系统的分类	206
9.2	废气涡轮增压器的基本结构及原理	208
9.2.1	离心式压气机	209
9.2.2	径流式涡轮机	212
9.3	废气能量的利用	214
9.3.1	恒压增压系统	215
9.3.2	脉冲增压系统	216
9.3.3	两种增压系统的比较及选择原则	216
9.4	废气涡轮增压器与柴油机的匹配	217
9.4.1	柴油机选配废气涡轮增压器的要求	217
9.4.2	离心式压气机特性线的调整方法	217
9.4.3	增压发动机在结构上的变动	218
9.4.4	增压发动机的性能	219
9.5	汽油机的增压	220
9.5.1	汽油机增压的困难	221
9.5.2	汽油机增压系统的常用措施	221
	复习思考题	222
第10章	有害排放物的生成与控制	224
10.1	发动机排放物的种类和危害	224
10.2	污染物的主要影响因素	226
10.2.1	过量空气系数的影响	226
10.2.2	点火提前角的影响	227
10.2.3	运转工况的影响	227
10.2.4	燃料不同的影响	229
10.3	排放物的检测	229
10.3.1	不分光红外线分析法	230
10.3.2	柴油机烟度检测	233
10.4	排放标准	235
10.4.1	我国轻型汽车发动机污染物排放标准	235

10.4.2	国外汽车排放标准简介	238
10.5	发动机污染物的净化措施	239
10.5.1	排放污染物的机内处理	240
10.5.2	排放污染物的机外处理	244
	复习思考题	248
	参考文献	249

205	.....
206	.....
207	.....
208	.....
209	.....
210	.....
211	.....
212	.....
213	.....
214	.....
215	.....
216	.....
217	.....
218	.....
219	.....
220	.....
221	.....
222	.....
223	.....
224	.....
225	.....
226	.....
227	.....
228	.....
229	.....
230	.....
231	.....
232	.....
233	.....
234	.....
235	.....
236	.....
237	.....
238	.....
239	.....
240	.....
241	.....
242	.....
243	.....
244	.....
245	.....
246	.....
247	.....
248	.....
249	.....

第 1 章 发动机基础

发动机是汽车的“心脏”，为汽车提供动力。汽车行驶需要能驱动车轮的扭矩来克服地面的阻力，这个扭矩正是由发动机提供的。发动机使其气缸内部的工质（可燃混合气）燃烧，燃烧后，工质体积膨胀，推动活塞运动，最终驱动曲轴旋转来得到扭矩。

从能量的角度来看，发动机就是将燃料本身的化学能通过燃烧转变为热能，再转变为驱动曲轴旋转的动能的机器。发动机通过工作循环不断地完成这样的能量转变，从而使汽车得到连续的动力。

在阐述发动机的工作循环之前，需要先了解一些工程热力学的知识。

1.1 工程热力学基础

工程热力学是热力学的一个分支，是热力学理论在工程上的具体应用，主要研究热能和机械能及其他形式的能量之间相互转换的规律。它是从理论上讨论提高发动机热效率的途径，因此，它是发动机原理的基础。

1.1.1 基本概念

在研究热功转换的基本规律之前，要先了解一些必要的概念。

1. 工质

在发动机的工作过程中，将热能转变为机械能的工作物质称为“工质”。对于发动机来讲，是通过燃料与空气混合形成的可燃混合气燃烧来产生热量，燃烧后气体膨胀来完成热功转换的，故这里我们所说的工质就是指气缸内的可燃混合气。

2. 热力系统

在热力学中，把某一宏观尺寸范围内的工质作为研究对象，称为热力系统。

在发动机的研究中，将气缸内的气体作为热力系统来进行研究，而将热力系统外面和热功转换过程中有关的其他物体统称为“外界”，如气缸。对于外界一般只考察它们和热力系统间传递的热量和机械功。

3. 热力状态

工质所处的某种宏观状态称为“热力状态”。

在依靠工质将热能转换为机械能的过程中，工质本身的状态也在不断地变化。在宏观上表现为工质的物理特性，如压力、温度等在不断变化。工质的状态常用一些物理量来描述。

用于描述工质状态的物理量称为“状态参数”。例如比容、压力和温度三个可测的状态参数，称为基本状态参数。每一个状态参数都从某一方面描述工质的状态。

4. 平衡状态

工质在不受外界影响的条件下，宏观性质不随时间变化的状态叫作平衡状态。

许多物理现象表明，处在没有外界影响条件下的热力系统，经过一定时间后，将达到一个确定的状态，而不再有任何宏观变化。这里所说没有外界影响，是指外界对系统既不做功也不传热。处于平衡状态的工质各部分均匀一致，每一个状态参数只有一个数值。工质的一个平衡状态对应有一组状态参数（如比容、压力和温度）。只要有一个状态参数发生了变化，就足以说明工质的状态发生了变化。今后我们所讲的工质的状态都是指平衡状态。

实际上完全不受外界影响、宏观性质绝对保持不变的热力系统是不存在的，平衡状态只是一个理想的概念。在许多实际问题中，可以把实际状态近似地当作平衡状态处理。

5. 热力过程

热力系统的状态随时间变化的过程称为热力过程。

当热力系统的状态随时间变化时，我们就说系统经历了一个热力过程。热力学所研究的主要是准静态过程，在这种过程进行中的每一时刻，热力系统都处于平衡状态，即工质变化经过的所有状态都是平衡状态。准静态过程是一种无限缓慢进行的理想过程，在准静态过程中热力系统和外界的温度与压力总保持着无限接近并且无摩擦阻力的影响。

6. 工质的比热

工质的比热就是单位量的物质温度升高（或降低）1 K 时所吸收（或放出）的热量。用 c_v 表示等容比热， c_p 表示等压比热。

比热是物质的一个重要的热力学性质。工质比热的数值与工质的性质、热力过程的性质和加热时的状态等有关。

7. 工质的功

对于图 1-1 所示的热力系统，当工质膨胀推动活塞右移时，工质对外做功；反之，当活塞左移，压缩工质时，外界对工质做功，或称工质接受了外界的功。可见功是热力系统与外界间传递的能量，它的全部效果表现为使物体改变宏观运动的状态。

图 1-1 中曲线下面所包围的面积，就代表 $\int_{V_1}^{V_2} p dV$ 这一积分的数值。因此，气体在这一过程中所做的功也能用曲线下面的面积来表示。

8. 热量

实践中经常要应用热量的概念。当温度不同的两个物体接触时，热的物体要变冷，冷的物体要变热，最后达到平衡，具有相同的温度。对于这种现象，用热量的概念解释为：有热量从高温物体传递给低温物体。

在热力学中规定：工质接收的热量为正，工质放出的热量为负。在国际单位制中，热量

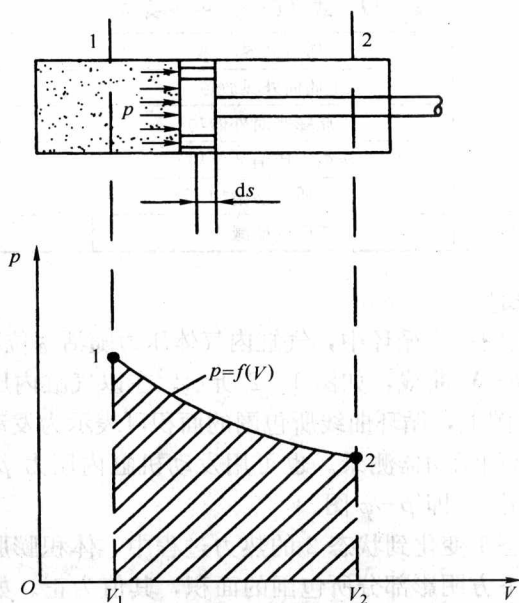


图 1-1 工质在气缸中做功的示意图

的单位为 J，也常用 kJ。

9. 内能

内能就是工质内部气体分子和原子的动能和分子间的位能的总和。对于理想气体，由于假设其分子间没有吸引力，所以理想气体的内能仅指气体内部的动能，它是温度的单值函数。只要工质初终状态的温度 T_1 、 T_2 确定。不论期间经过什么过程，其内能的变化 Δu 都相等。

10. 能量平衡方程

在热力过程中，能量平衡关系由能量平衡方程表示。

假设封闭在气缸中的工质的质量为 1 kg，工质从状态 1 (p_1, V_1, T_1, u_1)，经历某一过程到达状态 2 (p_2, V_2, T_2, u_2)，在该过程中工质从外界吸收的热量为 q ，并对外做功 w 。其中， p_1, p_2 为工质压力； V_1, V_2 为工质容积； T_1, T_2 为工质温度； u_1, u_2 为工质内能。此时工质与外界仅有能量交换，没有物质交换，系统内没有整体运动。根据能量转换与守恒定律，系统内能、热量和功三者转换必然遵守下列方程：

$$q_{1-2} = u_2 - u_1 + w_{1-2} \quad (\text{kJ/kg}) \quad (1-1)$$

对质量为 m (kg) 的工质，有

$$Q_{1-2} = U_2 - U_1 + W_{1-2} \quad (\text{kJ}) \quad (1-2)$$

式中各项的符号规定见表 1-1。

表 1-1 式 (1-2) 中各项的符号

热 量 Q	工质自外界吸热	+
	工质向外界放热	-
功 W	工质膨胀对外做功	+
	压缩工质消耗外功	-
内能增量 $u_2 - u_1$	工质内能增加	+
	工质内能减少	-

11. 示功图 ($p-V$ 图)

示功图是指在发动机的一个循环中, 气缸内气体压力随活塞位移 (或气缸内容积) 变化而变化的循环曲线, 即 $p-V$ 曲线, 如图 1-2 所示。在以气缸内压力 p 为纵坐标, 以气缸内容积为横坐标的 $p-V$ 图上, 循环曲线所包围的面积可表示为发动机所做的功或所消耗的功, 故称为示功图, 它可用示功器测录。也可用发动机缸内压力 p 与曲轴转角 φ 组成的坐标系表示, 称为展开示功图, 即 $p-\varphi$ 图。

图 1-2 中工质从状态 1 变化到状态 2 的热力过程中, 体积膨胀, 工质对外界做功, 所做功的大小为 1-2 曲线下方阴影部分所包围的面积, 其值为正。如果从状态 2 变化到状态 1, 工质被压缩, 体积减小, 外界对工质做功, 工质对外界所做功为负值, 大小等于 2-1 曲线下方阴影部分的面积。

12. 温熵图 ($T-S$ 图)

熵是单位质量工质所吸收的热量除以工质的热力学温度所得的商。

与 $p-V$ 图类似, 在以热力学温度 T 为纵坐标, 以熵 S 为横坐标的 $T-S$ 图 (温熵图) 上, 任意一条曲线下端的面积就表示了这一热力过程中单位质量工质与外界所交换的热量, 所以温熵图也称为示热图 (如图 1-3 所示)。图中工质从状态 1 变化到状态 2, 熵增加, 温度升高, 为从外界吸收热量的过程, 吸收的热量等于 1-2 曲线下方阴影部分的面积。从状态 2 变化到状态 1 的过程中, 熵减少, 温度降低, 为向外界释放热量的过程, 放出的热量等于 2-1 曲线下方阴影部分的面积。

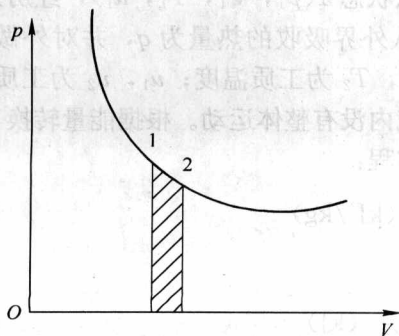


图 1-2 示功图

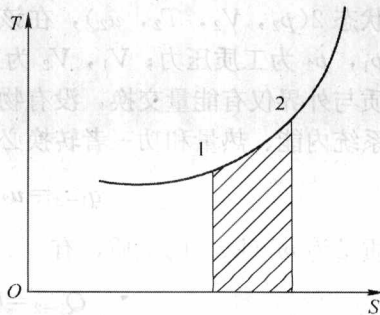


图 1-3 温熵图

示热图与示功图一样，是进行热力学分析的重要工具。

1.1.2 基本状态参数

热力系统处于平衡状态时，可以选用几个物理量来描述工质的状态，称这些物理量为工质的状态参数。比容、压力和温度可以直接测得，称为基本状态参数。

1. 比容

单位质量的工质所占有的容积称为比容，用符号 ν 表示，单位为 m^3/kg 。按定义有公式

$$\nu = \frac{V}{m} \quad (\text{m}^3/\text{kg}) \quad (1-3)$$

式中： V ——工质的容积， m^3 ；

m ——工质的质量， kg 。

对于 1 kg 的工质 $\nu = V$ 。

反之，单位容积物质的质量称为密度，用符号 ρ 表示，单位为 kg/m^3 。按定义可得

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{1}{\nu} \quad (\text{kg}/\text{m}^3) \quad (1-4)$$

显然，物质的比容 ν 与密度 ρ 互为倒数。

2. 压力 (压强)

单位面积上所受到的垂直作用力称为压力。气体的压力就是气体在单位面积容器壁上的垂直作用力。气体压力的实质是大量分子对容器内壁碰撞的平均结果。因为分子热运动是无规则的，所以当容器内气体没有宏观运动，气体本身的重量又略去不计时，在容器内任何位置任何方向上气体的压力都相同。对于 1 kg 的工质，压力的符号为 p ，对于 $m \text{ kg}$ 的工质，压力的符号为 P ；压力的单位是帕斯卡，中文符号为帕，国际符号为 $\text{Pa}(\text{N}/\text{m}^2)$ 。因为帕的单位很小，所以工程中常用千帕 kPa 或兆帕 MPa 作单位。

$$1 \text{ kPa} = 10^3 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa}$$

气体的压力也称为气体的绝对压力。测量压力的仪表并不是直接测得气体的绝对压力，而是测得气体的绝对压力和当时的大气压力 p_0 的差值 ($p_0 = 1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$)。当气体的绝对压力高于大气压力时，压力表指示的数值称为表压力。当气体的压力低于大气压力时，用真空表测得的数值称为真空度，它是绝对压力低于大气压力的数值。

显然大气压力是经常变化的，所以即使绝对压力不变，随着大气压力的变化，表压力和真空度也要发生变化。要注意，只有绝对压力才能作为工质的状态参数，表示工质的真实状态。

真空度在汽车上有很重要的应用，许多部件的控制都是通过进气管中的真空度来实现的。当节气门开度小时，节气门前方的真空度小，气体的绝对压力高；节气门后方的真空度大，绝对压力低。随着节气门开度的增加，节气门前方的真空度越来越大，后方的真空度越来越小。节气门全开时，二者相等。