

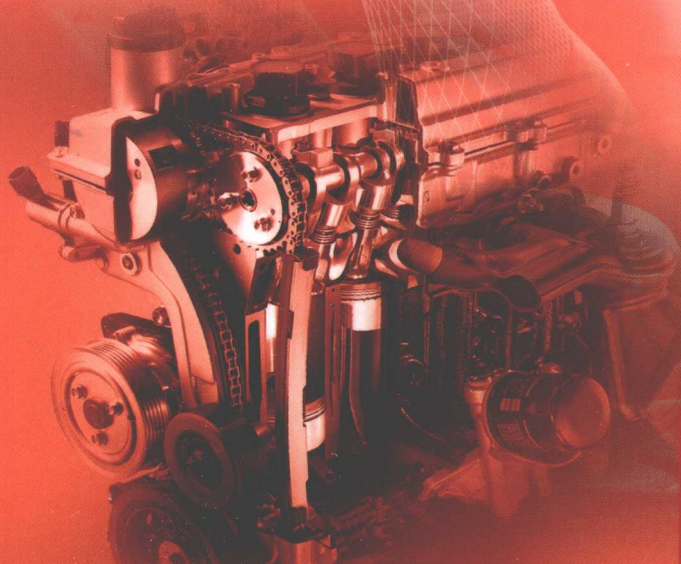


21世纪全国高职高专汽车类规划教材

发动机原理与汽车理论

FADONGJI YUANLI YU QICHE LILUN

郭 彬 主 编
蒋浩丰 屠卫星 黄秋平 副主编



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国高职高专汽车类规划教材

发动机原理与汽车理论

主 编 郭 彬

副主编 蒋浩丰 屠卫星 黄秋平



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本教材系统介绍了发动机的工作原理和汽车的基本理论。全书 13 章, 主要内容包括: 发动机的工作过程、发动机的性能指标、燃料与燃烧、发动机的换气过程、汽油机混合气的形成和燃烧、柴油机混合气的形成和燃烧、发动机的排放与汽车噪声、发动机的特性和发动机试验、汽车的动力性、汽车的燃油经济性、汽车的制动性、汽车的操纵稳定性、汽车的平顺性和通过性。

本书既可作为高职高专汽车维修与检测、汽车运用技术等专业的教材, 也可供从事汽车、发动机的设计、制造和运用的工程技术人员、技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

发动机原理与汽车理论/郭彬主编. —北京: 北京大学出版社, 2009.11

(21 世纪全国高职高专汽车类规划教材)

ISBN 978-7-301-13047-6

I. 发… II. 郭… III. ①汽车—发动机—理论②汽车—理论 IV. U46

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 192162 号

书 名: 发动机原理与汽车理论

著作责任者: 郭 彬 主编

责任编辑: 胡伟晔

标准书号: ISBN 978-7-301-13047-6/U · 0008

出版者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62765126 出版部 62754962

网 址: <http://www.pup.cn>

电子邮箱: xxjs@pup.pku.edu.cn

印 刷 者: 三河市欣欣印刷有限公司

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×980 毫米 16 开本 18.75 印张 396 千字

2009 年 11 月第 1 版 2009 年 11 月第 1 次印刷

定 价: 34.00 元

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

发动机原理与汽车理论是高职高专汽车检测与维修、汽车运用技术等专业的主要专业课之一。通过对本课程学习,使学生能够深入了解发动机工作循环中各个过程的各个阶段;掌握整机工作性能评定指标及其影响因素、运转特性及调整特性;获得一般的试验方法及操作技能,以便正确合理地选择、运用发动机;同时掌握整车主要性能及检测的基本理论和基本方法,理解有关标准、法规和实用性能检测的内容,为后续课程的学习打下必要基础。

全书共 13 章,参考学时 50~60 学时,具体内容及参考学时分配如下表:

章 次	建议学时	章 次	建议学时
第 1 章 发动机的工作过程	4	第 8 章 发动机的特性	6
第 2 章 发动机的性能指标	2	第 9 章 汽车的动力性	6
第 3 章 燃料与燃烧	4	第 10 章 汽车的燃油经济性	2
第 4 章 发动机的换气过程	4	第 11 章 汽车的制动性	6
第 5 章 汽油机混合气的形成和燃烧	4	第 12 章 汽车的操纵稳定性	4
第 6 章 柴油机混合气的形成和燃烧	4	第 13 章 汽车的平顺性和通过性	2
第 7 章 发动机的排放与汽车噪声	4		

本书既可作为高职高专汽车维修与检测、汽车运用技术等专业的教材,也可供从事汽车、发动机的设计、制造和运用的工程技术人员、技术人员参考。

本书由郭彬主编。南京交通职业技术学院屠卫星编写第 1、第 2、第 7、第 13 章,蒋浩丰编写第 3、第 4、第 8 章,郭彬编写第 5、第 6、第 12 章,黄秋平编写第 9、第 10、第 11 章。

在编写过程中,参考了大量的国内外技术资料,得到了南京交通职业技术学院汽车工程系领导和同事的大力支持,在此谨向所有参考资料的作者,以及关心、支持本书编写的同志表示感谢。

由于编者水平有限,经验不足,时间仓促,缺点和错误在所难免,敬请读者和专家批评指正。

编 者
2009 年 5 月

目 录

第 1 章 发动机的工作过程	1
1.1 热功转换的基本概念	1
1.1.1 工质的热力状态	1
1.1.2 工质的基本状态参数	1
1.1.3 理想气体的状态方程	3
1.1.4 工质的比热容	4
1.1.5 热力过程	4
1.1.6 热力学第一定律	5
1.1.7 热力过程分析	6
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 四冲程发动机实际循环	16
复习思考题	20
第 2 章 发动机的性能指标	21
2.1 发动机的指示指标和有效指标	21
2.1.1 发动机的指示指标	21
2.1.2 发动机的有效指标	22
2.2 发动机的热平衡	23
2.3 发动机的机械损失	24
2.3.1 机械效率	25
2.3.2 影响机械效率的因素	25
复习思考题	27
第 3 章 燃料与燃烧	28
3.1 发动机燃料	28
3.1.1 发动机的燃料介绍	28
3.1.2 汽油的使用性能	30
3.1.3 柴油的使用性能	34

3.2 代用燃料及应用	36
3.2.1 代用燃料分类	36
3.2.2 天然气	36
3.2.3 液化石油气	38
3.2.4 醇类燃料	40
3.2.5 二甲醚	43
3.3 燃烧化学	45
3.3.1 理论空气量 (L_0)	45
3.3.2 过量空气系数与空燃比	46
3.3.3 燃料与可燃混合气的热值	47
3.4 燃烧的基础知识	48
3.4.1 着火方式及着火机理	48
3.4.2 燃烧方式	49
复习思考题	49
第 4 章 发动机的换气过程	51
4.1 四冲程发动机的换气过程	51
4.1.1 换气过程	51
4.1.2 换气损失	54
4.1.3 充气系数	56
4.1.4 充气系数与发动机功率、转矩的关系	57
4.2 影响充气系数的主要因素	59
4.3 提高充气系数的措施	62
4.3.1 降低进气系统的阻力	62
4.3.2 合理选择配气相位	63
4.3.3 谐振进气与可变进气歧管	67
4.3.4 废气涡轮增压系统	69
4.3.5 降低进气温度和减小排气阻力	71
复习思考题	71
第 5 章 汽油机混合气的形成和燃烧	72
5.1 汽油机混合气的形成	72
5.2 汽油机燃烧过程	74
5.2.1 正常燃烧过程	74
5.2.2 不正常燃烧过程	76

5.2.3 影响汽油机燃烧的主要因素	80
复习思考题	87
第 6 章 柴油机混合气的形成和燃烧	88
6.1 柴油机混合气的形成	88
6.1.1 柴油机混合气的形成特点和方式	88
6.1.2 影响混合气形成的主要因素	91
6.2 柴油机燃烧过程及影响因素	93
6.2.1 柴油机燃烧过程	93
6.2.2 影响燃烧过程的主要因素	96
复习思考题	100
第 7 章 发动机的排放与汽车噪声	101
7.1 发动机有害排放物的生成及危害	101
7.2 发动机排放标准与检测	103
7.2.1 发动机排放标准	103
7.2.2 汽油机排气污染物的检测	106
7.2.3 柴油机排气污染物的检测	114
7.3 发动机排放净化技术	119
7.3.1 汽油机排气的净化	119
7.3.2 柴油机排放的净化	122
7.4 汽车噪声	124
7.4.1 汽车噪声的评价指标	124
7.4.2 汽车噪声的产生及其影响	126
7.4.3 汽车噪声控制技术简介	128
复习思考题	131
第 8 章 发动机的特性	132
8.1 发动机的特性概述	132
8.1.1 发动机的工况	132
8.1.2 发动机的功率标定	133
8.1.3 发动机特性参数间的关系	134
8.2 发动机的负荷特性	134
8.2.1 汽油机负荷特性	135
8.2.2 柴油机负荷特性	136

8.3 发动机的速度特性	138
8.3.1 汽油机速度特性	138
8.3.2 柴油机速度特性	142
8.4 发动机的调整特性	145
8.4.1 汽油机点火提前角调整特性	145
8.4.2 柴油机喷油提前角调整特性	146
8.4.3 柴油机的调速特性	147
8.5 发动机的万有特性	149
8.5.1 万有特性	149
8.5.2 万有特性的应用	150
8.6 发动机试验	151
8.6.1 发动机试验台架	151
8.6.2 功率的测量	152
8.6.3 燃油消耗率的测量	158
8.6.4 转速的测量	160
8.6.5 稳态测功与动态测功	161
复习思考题	162
第9章 汽车的动力性	163
9.1 汽车动力性的评价指标	163
9.2 汽车的驱动力与行驶阻力	164
9.2.1 汽车的驱动力	164
9.2.2 汽车的行驶阻力	167
9.2.3 汽车行驶的驱动与附着条件	174
9.2.4 汽车的驱动力—行驶阻力平衡图与动力特性图	179
9.3 汽车的功率平衡	181
9.3.1 功率平衡方程式	181
9.3.2 功率平衡图	182
9.4 影响汽车动力性的主要因素	183
9.5 汽车动力性检测	185
9.5.1 汽车动力性检测项目与标准	185
9.5.2 汽车动力性检测方法	185
复习思考题	189

第 10 章 汽车的燃油经济性	190
10.1 汽车燃油经济性的评价指标	190
10.2 汽车燃油经济性计算	193
10.3 影响汽车燃油经济性的因素	197
10.3.1 汽车结构方面	198
10.3.2 减小汽车行驶中的行驶阻力	201
10.3.3 汽车轻量化技术	204
10.3.4 汽车使用节能技术	205
复习思考题	210
第 11 章 汽车的制动性	211
11.1 制动时车轮的受力分析	211
11.1.1 地面制动力	211
11.1.2 制动器制动力	212
11.1.3 地面附着力	212
11.1.4 硬路面上的附着系数	213
11.2 汽车制动性能的评价	217
11.2.1 汽车的制动效能	217
11.2.2 制动效能的恒定性	222
11.2.3 制动时的方向稳定性	223
11.3 前后制动器制动力的比例关系	227
11.4 影响汽车制动性的主要因素	232
11.5 汽车制动防抱死系统	235
11.6 汽车制动性检测	237
11.6.1 制动性能的道路试验检测法	237
11.6.2 制动性能的台架试验检测法	240
11.6.3 两种检验方法的比较	244
复习思考题	245
第 12 章 汽车的操纵稳定性	246
12.1 汽车的操纵稳定性	246
12.1.1 概述	246
12.1.2 轮胎的侧偏特性	247
12.1.3 汽车的转向特性	252

12.1.4 汽车的纵翻和侧翻	260
12.1.5 汽车转向轮的摆振与稳定	264
12.2 提高操纵稳定性的电子控制系统简介	270
12.2.1 四轮转向系统	270
12.2.2 车辆动力学控制系统	271
12.2.3 可变力动力转向系统	272
复习思考题	274
第 13 章 汽车的平顺性和通过性	275
13.1 行驶平顺性的评价指标	275
13.1.1 振动及其传递途径	275
13.1.2 人体对振动的反应	276
13.2 行驶平顺性的评价方法	277
13.2.1 ISO 2631 的评价方法	278
13.2.2 影响平顺性的主要因素	279
13.2.3 国家标准对行驶平顺性的评价方法	280
13.3 影响汽车行驶平顺性的结构因素	280
13.4 汽车通过性的参数	282
13.4.1 间隙失效	282
13.4.2 汽车通过性的几何参数	282
13.5 影响汽车通过性的主要因素	284
13.5.1 使用因素	284
13.5.2 结构因素	285
复习思考题	286
参考文献	287

第1章 发动机的工作过程

工程热力学主要是研究热能与机械能之间相互转换的一门科学。本章从工程技术的观点出发,把热力学基本定律(热力学第一定律和热力学第二定律)应用到工程技术领域中,通过分析热力工程中有关的热力过程和热力循环,讨论热功转换的规律和方法,并侧重于热能转换为机械能的规律,从理论上探讨提高发动机热效率的途径。因此,它是发动机理论的基础。

1.1 热功转换的基本概念

1.1.1 工质的热力状态

在工程热力学中,把实现热能与机械能相互转换的工作物质(如汽缸内气体)称为工质。最适宜的工质就是气体介质,它的流动性与膨胀性都很好,能有效地实现热功转换,热力性质最简单。对于点燃式发动机,工质最常见的就是油与空气的混合气;对于压燃式发动机,工质就是柴油与空气的混合物。

热机的运转是依靠工质在特定条件下不断地改变它的热力状态,执行某一具体的热工转换过程来实现的。即通过工质的燃烧将化学能转换成热能,通过机械装置将热能转换成机械能,从而实现热力状态的改变。

把某一宏观尺寸范围内的工质作为研究的具体对象,这样的对象称为热力系统,简称系统。与系统有相互作用的其他系统,称为外界。包围系统的封闭表面就是系统与外界的分界面,称为边界。

热力系统按照与外界有无物质和能量的交换进行分类。与外界有物质交换的称为开口系统;与外界无物质交换的称为闭口系统;而与外界无热交换的系统,称为绝热系统;与外界既无物质交换,也无能量交换的称为孤立系统。

1.1.2 工质的基本状态参数

说明工质所处状态的物理量,叫做工质的状态参数。在工程热力学中,压力、比容、温度是三个可测量的状态参数,称为工质的基本状态参数。因此,对应于某个给定的状态,所有状态参数(如压力、比容、温度等)都应有确定的数值。

1. 压力 (p)

工质在单位面积容器壁上作用的垂直力,称为工质的压力,用 p 表示。可把气体的压力看做是大量气体分子频繁撞击容器壁的平均效果。

压力的单位为帕斯卡,简称帕,用 Pa 表示。 $1\text{Pa} = 1\text{N/m}^2$ 。

工程上常以千帕 (kPa) 或兆帕 (MPa) 为单位。

(1) 气体作用在容器壁上的真实压力也叫绝对压力。它表示工质的真实状态,是气体的状态参数之一。但绝大多数用来测量压力的仪器不能指示出绝对压力,而只能指示出绝对压力和周围大气压 p_0 间的差值,绝对压力通过换算才能得到。测量时的压力计的读数压力,称为表压力 p_g 。

(2) 高于大气压的压力用压力表测量。此时气体的绝对压力为: $p = p_0 + p_g$ 。

(3) 低于大气压的压力用真空表测量,测出的表压力值称为真空度 p_v 。此时气体的绝对压力为: $p = p_0 - p_v$ 。

绝对压力与表压力和真空度的关系如图 1-1 所示。

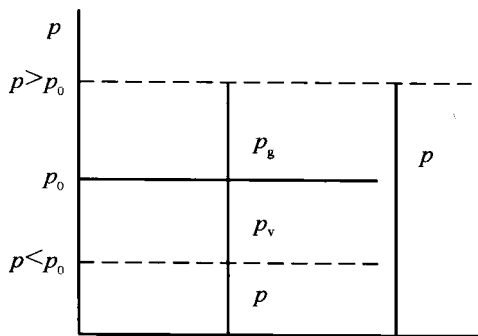


图 1-1 绝对压力、表压力及真空度的相互关系

2. 温度 (T)

温度表示物体冷热的程度。分子运动学说把温度和分子运动的动能联系起来。分子在做不规则的运动时,不断地相互碰撞,因此各个分子的运动速度是不同的,动能也不同。温度反映了分子无规则运动的剧烈程度,它是大量分子的运动动能的平均值的标志。

由热力学温标所确定的温度称为热力学温度,用符号 T 表示,单位开尔文 (K)。国际单位制规定,采用水的三相点温度,即固相 (冰)、液相 (水) 和气相 (水蒸气) 三相平衡共存的温度作为定义热力学温度的单一固定点,并规定水的三相点温度为 273.16K。

摄氏温标由热力学温标导出。摄氏温标所确定的温度用 t 表示。其与热力学温度的关系为:

$$t = T - 273.16$$

两种温度的大小相同，只是温标的零点不同。在工程上可按下式近似换算：

$$t = T - 273$$

注意只有热力学温度才是状态参数。

3. 比容 (v)

单位质量的工质所占有的体积称为比容，单位为 m^3/kg ，也称为比体积。用字母 v 表示。

$$v = \frac{V}{m} \quad (1-1)$$

单位体积的质量称为密度，单位为 kg/m^3 。用符号 ρ 表示。

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{1}{v} \quad (1-2)$$

即物质的比容与密度互为倒数关系。

4. 工质的平衡态

工质的平衡态是系统中气体的温度和压力必须均匀一致，不随时间而变化的状态。

如果组成热力系统的各部分之间没有热量交换，系统就处于热平衡；各部分之间没有相对位移，系统就处于力的平衡。同时具备了热与力的平衡，系统就处于热力平衡状态，简称平衡状态。处于热力平衡状态的系统，只要不受到外界影响，它的状态就不会随时间而改变，平衡就不会自发地破坏。反之，系统就处于不平衡状态。处于不平衡状态的系统则由于各部分之间的传热与位移，其状态必将随时间而改变，改变的结果，一定是传热和位移逐渐减弱，直至完全停止。因此，不平衡状态会自发地趋于平衡状态。只有处于平衡状态的系统，各部分才具有确定不变的状态参数。工程热力学通常只研究平衡状态。

1.1.3 理想气体的状态方程

1. 理想气体

所谓理想气体就是分子本身不占有体积，分子间又没有吸引力的气体，理想气体仅是一种理想的模型，在实际中并不存在。但实验证明当压力较低或温度较高时，一般实际气体的比容较大，分子间的距离比分子的直径大得多，因此，其分子间吸引力和分子本身的体积就可忽略不计，它的性质就比较接近于理想气体，所以通常把汽缸内的气体近似看做理想气体。

2. 理想气体的状态方程

当系统处于平衡状态时，理想气体的各部分具有相同的压力、比容和温度，这些参数

之间并不是相互独立的，而是具有一定的关系。理想气体的压力（ p ）、比容（ v ）和温度（ T ）三者之间的关系式称为理想气体的状态方程。

（1）对于 1kg 的理想气体，状态方程式为：

$$pv = RT \quad \text{或} \quad \frac{pv}{T} = R \quad (1-3)$$

（2）对于 m kg 的理想气体，则状态方程式为：

$$pV = mRT \quad (1-4)$$

式中： $V = mv$ ，表示 m kg 气体的总容积。

R 为气体常数，它的数值决定于气体性质，单位为 $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ 。

理想气体状态方程给出了某一状态下三个基本状态参数之间的关系，如果任意两个状态参数已定，则第三个状态参数可由状态方程式给出。

1.1.4 工质的比热容

当工质温度发生变化时，所吸收（或放出）的热量的多少，不仅取决于工质的温度变化范围，还与工质的数量、工质本身的性质以及加热过程有关。为了能说明工质吸热（或放热）能力的大小，需要引入比热的概念。

所谓比热，就是单位量的物质温度升高（或降低）1K 时所吸收（或放出）的热量。用符号 C 表示。

1. 比热的种类

比质量热容：1kg 气体温度升高（或降低）1K 时所吸收（或放出）的热量，单位为 $\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$ 。

比容积热容：1 m^3 标准温度升高（或降低）1K 时所吸收（或放出）的热量。

比摩尔热容：1kmol 气体温度升高（或降低）1K 时所吸收（或放出）的热量，单位为 $\text{kJ}/(\text{kmol}\cdot\text{K})$ 。

2. 定容比热和定压比热

根据气体在加热（或冷却）过程中的性质不同，可分为定容比热和定压比热两类。定容比热是指气体在加热过程中容积保持不变时的比热。例如对装在密封容器中的气体进行加温，就是用于定容加热过程，用 C_v 表示。定压比热是指气体在加热（或冷却）过程中压力保持不变的比热，用 C_p 表示。在定容加热过程中，加入的热量只用于使工质的温度升高，不对外做功；而在定压加热过程中，加入的热量除了使工质温度升高以外，还推动活塞移动了一段距离，工质对活塞做了功，这样才能保持压力不变。因此

$$C_p > C_v$$

1.1.5 热力过程

热能转变为机械能，或机械能转变为热能，与工质所经历的一系列状态的变化是分不

开的。工质状态的改变是由于工质和周围环境的相互作用而发生的。这种相互作用常见的有下列两种情况：第一种是对工质加入热量或自工质中取出热量；第二种是工质克服外力增大体积，输出膨胀功，或工质受外力压缩减少体积而消耗压缩功。

在带有活塞的汽缸中有某种气体，用任意方法自汽缸外部给气体加热，于是气体就膨胀，当气体作用在活塞上的总压力大于加在活塞上的外力时，气体就推动活塞对外做功。热量的加入和膨胀功的输出是伴随着气体的压力、比容、温度的变化而发生的。这种工质状态参数的一系列变化过程，就叫做热力过程。

整个状态变化过程可以看成是无数个前后承接的平衡状态组成的，这样的过程叫做平衡过程。

如果进行一个热力过程后，有可能沿原来过程逆向进行，使系统和外界都返回原状而不下任何变化，这样的热力过程就称为可逆过程。可逆过程就是无摩擦无温差的平衡过程。

在热力学中，通过 $p-v$ 图来研究分析各种平衡过程是非常方便的。在图 1-2 中，活塞向右移动，气体的比容在增加，这样的过程就叫做膨胀过程；而活塞向左移动，气体的比容在减小，此过程为压缩过程。

在热力过程中，装在汽缸中的气体压力如果大于外界压力，那么活塞就会向右移动（见图 1-2），于是气体的体积增加而对外做功，这种功叫做气体的膨胀功。如果外界压力大于气体压力，那么活塞就向左移动，气体的体积减小，这时就认为外界对气体做功，这种功叫做压缩功。

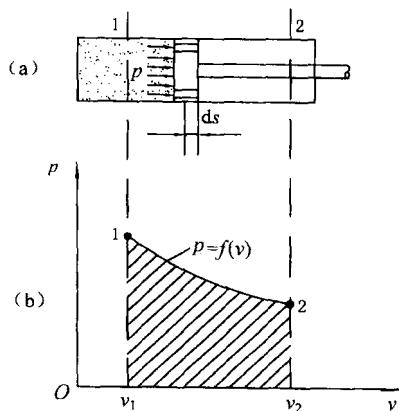


图 1-2 气体在汽缸中所做的功

1.1.6 热力学第一定律

人们从大量的生产实践和科学实验中总结出了能量转换与守恒定律，它指出能量既不

可能被创造,也不可能被消灭,它只能从一种形式转换成另一种形式,或者从一个(一些)物体转移到另一个(一些)物体,而转换(或转移)前后能量的总和保持不变。能量转换与守恒定律,用于热力学中,便是热力学第一定律。热可以转变为功,功可以转变为热,转变前后的能量保持不变。

设 Q 表示转变为功的热量, W 表示转换过来的功,单位都用千焦耳,则

$$Q = W \quad (1-5)$$

1. 功 (W)

因为气体在容积变化极小时压力可以看成不变,所以气体的膨胀功就可作用在活塞上的力和活塞移动距离的乘积来表示。设气体的压力为 F (kPa), 活塞的截面积为 A (m²), 那么作用在活塞上的总压力应为 $F \cdot A$ (kN)。

于是, 1kg 气体所做的功为 dW , 用公式表示为

$$dW = F \cdot A \cdot dx = p \cdot dV$$

2. 热量 (Q)

吸热为正, 放热为负。

3. 工质的内能 (U)

工质内部具有的各种能量, 包括分子热运动的动能和克服分子间作用力的位能。

4. 封闭系统能量方程

(1) 对于 1kg 工质, 外界供给气体的热量为 q J/kg, 该热量中, 一部分用来向外界输出膨胀功 W , 另一部分使气体产生内能的变化 Δu , 根据能量转换和守恒定律:

$$q = \Delta u + W \quad (1-6)$$

(2) 对于 m kg 工质, 有

$$Q = \Delta U + W \quad (1-7)$$

外界输入气体的热量应等于气体内能的变化量与对外输出的膨胀功之和, 这就是能量平衡方程式。能量平衡方程式不仅适用于膨胀过程, 也可用于压缩过程, 既可用于吸热过程, 又可用于放热过程。区别只是三项能量的正、负号不同而已。热力学中规定, 气体吸热为正值, 放热为负值; 气体对外膨胀做功为正值, 外界对气体输入压缩功为负值; 气体内能增加为正值, 内能减少为负值。

1.1.7 热力过程分析

发动机的工作是靠热力循环进行的, 每个热力循环都是由相当复杂的热力过程所构成。

为了分析研究方便,可以近似地利用几个特殊的热力过程来代替那些复杂的过程。在工程热力学中,主要典型的热力过程有等容过程、定压过程、等温过程、绝热过程和多变过程。

研究热力过程就是确定工质在过程中的变化规律,即求得过程方程式 $f(p, v) = 0$, 给出过程曲线,并计算过程热量、功及内能的变化,写出过程中初、终态参数的关系式。

1. 定容过程

工质的容积保持定值不变的热力过程,就叫等容过程。例如密封容器内气体的加热或冷却。

(1) 过程方程式

$$v = \text{常数}$$

在 $p-v$ 图中(图 1-3), 等容线是一条垂直于 v 轴的直线。

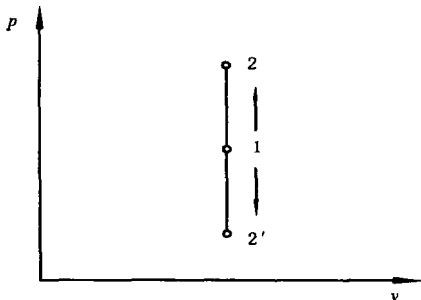


图 1-3 定容过程

(2) 初、终态气体状态参数之间的关系

在定容过程中气体的压力与绝对温度成正比。

$$\frac{p}{T} = \frac{R}{v} = \text{常数}; \quad \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

(3) 能量变化

从 $p-v$ 图中(图 1-3)看出,对于 1—2 过程,气体吸收的热量用于内能的增加和对外输出功;对于 1—2' 过程,放出的热量来自内能的减少和消耗外功。

2. 定压过程

工质压力保持定值不变的热力过程,就叫定压过程。

(1) 过程方程式

$$p = \text{常数}$$