



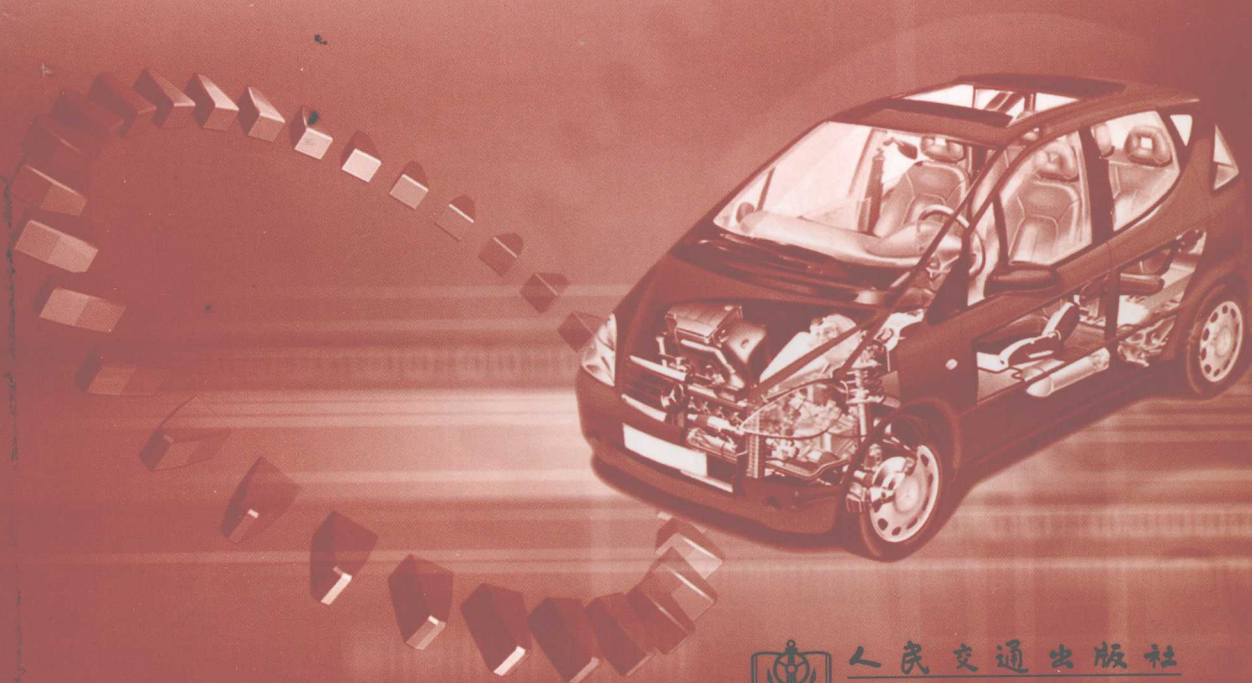
全国交通高级技工学校通用教材

发动机与汽车理论

(汽车维修、汽车电工、汽车检测专业用)

◎ 姜清浩 主编

◎ 邵登明 主审



人民交通出版社
China Communications Press

全国交通高级技工学校通用教材

Fadongji yu Qiche Lilun

发动机与汽车理论

(汽车维修、汽车电工、汽车检测专业用)

姜清浩 主编

邵登明 主审

人民交通出版社

内 容 提 要

本教材是高级技工学校汽车检测等3个专业的统编教材,依据全国交通技工学校汽车专业教材编审委员会制订的教学计划和大纲编写而成。教材采用单元课题式体系编写,能满足模块式和理实一体化教学方法的需要。

本书主要包括:工程热力学基础,发动机热力循环和性能指标,发动机的换气过程,发动机的燃烧过程,发动机的特性,汽车的动力性,汽车的制动性,汽车燃料经济性,汽车的操纵稳定性,汽车的舒适性和通过性等,共十个单元。

图书在版编目(CIP)数据

发动机与汽车理论/姜清浩主编. —北京:人民交通出版社, 2005.9

ISBN 7-114-05745-8

I.发... II.姜... III.汽车-发动机-理论-技工学校-教材 IV.U464

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 101324 号

书 名: 发动机与汽车理论

著 作 者: 姜清浩

责任编辑: 张大勇

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpress.com.cn>

销售电话: (010)85285838, 85285995

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京凯通印刷厂

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 8.75

字 数: 206 千

版 次: 2005 年 9 月第 1 版

印 次: 2005 年 9 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-114-05745-8

印 数: 0001~5000 册

定 价: 16.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)



交通技工学校汽车专业教材 编 审 委 员 会

主 任：卢荣林

副主任：宣东升 郭庆德 李福来

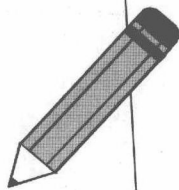
委 员：金伟强 王作发 林为群 李桂花

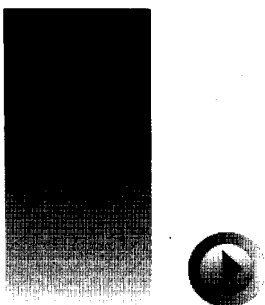
魏自荣 唐诗升 戴 威 张弟宁

邢同学 强吉国 邵登明 胡大伟

朱小茹 程兴新 雷志仁 孙永生

曹坚木 戴育红(兼秘书)





前言

随着汽车工业的飞速发展,汽车的新技术、新工艺不断更新,汽车的使用维修人员从技术上和数量上都跟不上发展的需要。为此,教育部等六部委于2003年12月联合发出通知,将汽车运用与维修等四个专业领域确定为技能型人才紧缺的领域,并决定实施“职业院校制造业和现代服务业技能型紧缺人才培养培训工程”。

为了适应社会经济发展和汽车运用与维修专业技能型紧缺人才培养的需求,交通技工学校汽车专业教材编审委员会于2004年初组织编写了汽车维修、汽车电工、汽车检测三个专业高级工教材。本套教材的特点是:

1. 教材选的车型以轿车为主,内容反映目前汽车的新技术、新工艺,使学生能学到更多的知识。
2. 教材内容与高级工等级考核相吻合,便于学生毕业后适应岗位技能需求。
3. 教材体现了通俗易懂,以图代文,图文并茂的形式,使教材更为生动,提高学生的学习兴趣。
4. 教材适于理论和实践一体化模块式的教学模式,在必需的理论基础上突出技能教学,使学生通过一段时间的实习,很快适应高级工的运用和操作。

《发动机与汽车理论》是全国交通高级技工学校通用教材之一,内容包括:工程热力学基础,发动机热力循环和性能指标,发动机的换气过程,发动机的燃烧过程,发动机的特性,汽车的动力性,汽车的制动性,汽车燃料经济性,汽车的操纵稳定性,汽车的舒适性和通过性等,共十个单元。

参加本书编写工作的有:新疆技师学院孔令忠(编写单元一、单元三、单元四和单元五),杭州市汽车技校张汛(编写单元六、单元八、单元九和单元十),湖北汽车学校姜清浩(编写单元二和单元七)。全书由姜清浩担任主编,杭州汽车技校邵登明担任主审。

限于编者经历和水平,教材内容难以覆盖全国各地的实际情况,希望各教学单位在积极选用和推广系列教材的同时,注重总结经验,及时提出修改单元和建议,以便再版修订时改正。

交通技工学校汽车专业教材编审委员会
2005年7月

目 录

单元一 工程热力学基础	1
课题一 气体的热力性质	1
课题二 热力学第一定律	4
课题三 基本热力过程	5
课题四 热力学第二定律	8
单元二 发动机热力循环和性能指标	12
课题一 发动机的循环	12
课题二 发动机的性能指标	19
单元三 发动机的换气过程	27
课题一 发动机换气过程和充气效率	27
课题二 发动机进气增压技术	33
单元四 发动机的燃烧过程	36
课题一 汽油机的燃烧过程	36
课题二 柴油机的燃烧过程	44
单元五 发动机的特性	53
课题一 汽油机的特性	53
课题二 柴油机的特性	57
单元六 汽车的动力性	63
课题一 作用于汽车的各种外力	63
课题二 汽车的动力性	71
单元七 汽车的制动性	80
课题一 制动性的评价指标	80
课题二 汽车的制动性	83
单元八 汽车燃料经济性	96
课题一 汽车燃料经济性的评价指标	96
课题二 提高汽车燃料经济性的措施	98
单元九 汽车的操纵稳定性	103
课题一 汽车的纵向和横向稳定性	103
课题二 汽车的稳态转向特性	107
课题三 前轮定位与转向轮的稳定效应	114

单元十 汽车的舒适性和通过性	118
课题一 汽车的舒适性	118
课题二 汽车的通过性	124
参考文献	129

单元一 工程热力学基础

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。它从工程技术的观点出发,把热力学基本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、热功转换的规律和方法,从理论上探讨提高发动机热效率的途径。

本单元主要研究工质的热力性质,并介绍热力学基本定律和基本的热力过程。

课题一 气体的热力性质

一、气体工质的基本概念

1. 工质

在热力学中,通常将实现热能与机械能相互转换的工作物质称为工质。由于气体具有良好的流动性和膨胀性,因此汽车发动机采用的工质都是气体。

2. 热力系统

在热力学中,将作为研究对象的某一宏观尺寸范围内的工质称为热力系统,如气缸内的气体。此外,有时也将热力系统以外和热功转换过程有关的其它物体统称为外界。

3. 热力状态

在热力学中,把工质在某一时刻所处的宏观状况称为工质的热力状态,简称“状态”。

在研究中,为便于说明气体状态的变化,可以选用一些物理量来描述气体所处的状态,这些用来描述气体状态的物理量称为气体的状态参数,如温度、压力和容积等。

4. 热力过程

在热力学上,将热力系统中的工质从某一初始状态变化到另一状态所经历的整个过程称为热力过程。

二、基本状态参数

工程热力学中规定的气体状态参数有很多,而发动机原理中常用的是温度(T)、压力(p)和比体积(v)3个可测量的状态参数,并称为工质的基本状态参数。

1. 温度

在分子运动学中,温度反映了分子无规则运动的剧烈程度,是大量分子的运动动能平均值的标志。

热力学中所用的温度是开氏温度,用符号 T 表示,单位为开尔文,简称开,单位符号为 K 。 K 是国际单位制(SI)的基本单位。国际单位制规定,采用水的三相点温度,即水的固相(冰)、



液相(水)和气相(水蒸气)三相平衡共存的温度,作为定义热力学基准,并严格规定水的三相点温度为 273.16K,而热力学温度 1K 等于三相点温度的 1/273.16。

工程上所用的摄氏温度用符号 t 表示,单位为摄氏度,单位符号为 $^{\circ}\text{C}$ 。摄氏温度与热力学温度的关系为 $t = T - 273.16$ 。工程上为了简化计算,常把摄氏温度与开氏温度的换算关系式近似写为 $t = T - 273$ 。需要说明的是,只有开氏温度才是状态参数,开氏温度均为正值。

2. 压力

工质在单位面积上所受的垂直作用力称为压力,即压强,用 p 表示。气体的压力就是气体对单位面积容器壁所施加的垂直作用力。按分子运动学说,气体的压力实质是大量分子无规则频繁碰撞容器壁所产生的平均作用力。压力的单位是帕斯卡,简称帕,单位符号 Pa,工程上常用千帕(kPa)或兆帕(MPa)作压力单位。

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

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

气体作用在容器壁上的真实压力也叫绝对压力。绝对压力 P 是气体的状态参数之一,它表示工质的真实状态。由于绝大多数用来测量压力的仪器只能指示出绝对压力与周围大气压 P_0 间的差值,不能直接指示出绝对压力,因而,绝对压力大多通过压力换算得到。

高于大气压的压力用压力表测量。设测出的表压力为 P_B ,则气体的绝对压力为

$$P = P_0 + P_B$$

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_C 。真空度表示气体压力低于大气压的值。此时,气体的绝对压力为

$$P = P_0 - P_C$$

因为表压力与真空度与大气压有关,故它们均不是状态参数。 P 、 P_B 、 P_C 、 P_0 之间的关系如图 1-1 所示。

必须注意:只有绝对压力才是气体的状态参数。

3. 比体积

单位质量的气体所占的容积称为气体的比体积,用符号 v 表示,单位为 m^3/kg ,则

$$v = \frac{V}{m}$$

式中: V ——气体的总容积, m^3 ;

m ——气体的质量, kg 。

反之,单位容积的质量称为密度,用符号 ρ 表示

示

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{1}{v}$$

即物质的比体积与密度互为倒数关系。

三、理想气体状态方程

理想气体仅是热力学研究中的一种理想模型。所谓理想气体,就是假设分子本身不占体

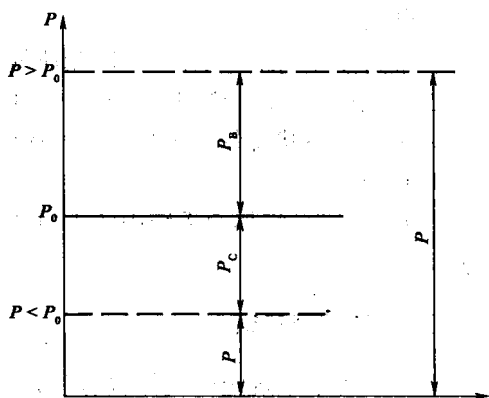


图 1-1 绝对压力、表压力与真空度的相互关系

积,分子之间也没有吸引力的气体。在对汽车发动机的研究过程中,空气、混合气和废气均可近似看作理想气体。

在工程热力学中,当热力系统处于平衡状态,组成热力系统的各部分之间没有热量交换,各部分具有确定不变的状态参数。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、比体积和温度。热力学中把理想气体的温度、压力和比体积三者之间的关系式称为理想气体状态方程。

对于 1kg 的理想气体,其状态方程为

$$P_v = RT$$

式中: R ——气体常数,其数值取决于气体的性质,单位 $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。

理想气体状态方程给出任意状态下 3 个基本状态参数之间的相互关系,如果任意两个状态参数已定,则第 3 个状态参数可由状态方程式给出。因此,在分析发动机的工作过程时,通常用两个状态参数组成的坐标图来表示气体状态的变化过程,如图 1-2 所示为压力—比体积坐标图,简称压容图或 $p-v$ 图。

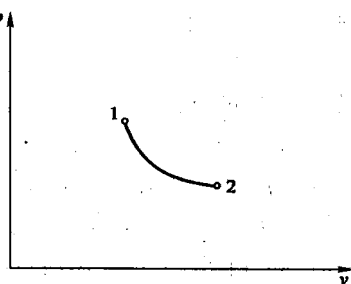


图 1-2 $p-v$ 图

四、工质的比热容

实践证明:当工质温度发生变化时,所吸收(或放出)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,需要引入比热容的概念。

所谓比热容,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。

比热容可以按下列两种方法分类:

(1) 根据对气体数量多少所取单位不同,工程上常用的比热容有下列 3 种:

① 质量比热容:1kg 气体温度升高(或降低)1K 所吸收(或放出)的热量,用 c 表示,单位为 $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。

② 容积比热容:1 m^3 气体温度升高(或降低)1K 时所吸收(或放出)的热量,用 c' 表示,单位为 $\text{J}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$ 。

③ 摩尔比热容:1kmol 气体温度升高(或降低)1K 所吸收(或放出)的热量,用 C 表示,单位为 $\text{J}/(\text{kmol} \cdot \text{K})$ 。

(2) 根据气体在加热(或冷却)过程中的性质不同,可分为定容比热容和定压比热容两类。其中定容比热容是指气体在加热过程中容积保持不变的比热容,定压比热容是指气体在加热(或冷却)过程中压力保持不变的比热容。

在定容加热过程中(图 1-3a),加入的热量只用于使工质的温度升高,不对外作功;在定压加热过程中(图 1-3b),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个距离 s ,工质对活塞作了功。通常 c_p 大于 c_v 。

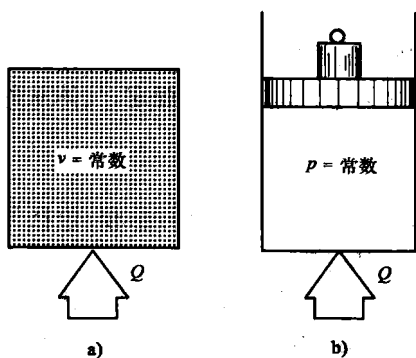


图 1-3 两种加热过程

a) 定容加热过程; b) 定压加热过程



课题二 热力学第一定律

一、功、热量和内能

1. 功

在热力学中,功是指当气体的压力和容积发生变化时,气体与外界之间相互传递的机械能。功的符号用 W 表示,单位为焦耳,符号为“J”,也常用“kJ”, $1\text{kJ} = 10^3\text{J}$ 。

根据积分原理,1kg 气体对外界所作的功即是在 $p-v$ 图上曲线下面的面积。因而, $p-v$ 图又称为示功图,如图 1-4 所示。

由此可知,气体状态发生变化时,对外所作的功不仅与气体的初、终状态有关,而且与气体所经历的热力过程有关。热力过程的性质不同(如吸热或放热等),气体压力 p 和比体积 v 之间的函数关系也不同。此外,当气体的状态变化使容积(或比体积)增加时,所作的功为正值,即气体膨胀对外做功;反之,当气体的状态变化使容积(或比体积)减小时,所作的功为负值,即外界对气体做功使气体压缩。

2. 热量

温度不同的两个物体相互接触时,就会有热量传递,传递热量的多少与两个物体的大小和温度差有关。按状态参数的定义,功和热量都不是气体的状态参数,它们的数值与气体所处的状态无关。热量和功的根本区别在于:功是两物体间通过宏观的运动发生相互作用而传递的能量,热量则是两物体间通过微观的分子运动发生相互作用而传递的能量。

通常 1kg 气体与外界传递的热量用符号 q 表示, $m\text{kg}$ 气体与外界传递的热量用符号 Q 表示。热量的国际单位与功一样为焦耳,单位符号为 J,工程上也常用 kJ 作热量的单位。

$m\text{kg}$ 气体的温度从 T_1 变化到 T_2 时,吸收或放出的热量 Q 为 $Q = mq$ 。同时规定,气体从外界吸收热量为正,气体向外界放出热量为负。

3. 内能

能量是物质运动的度量。气体的内能就是指气体内部所具有的各种能量的总和,包括气体分子移动动能、分子转动动能、分子内部的振动动能和分子间的位能。

分子运动的动能仅取决于气体的温度,随温度的升高分子运动的动能增大,位能与比体积有关。当气体的状态一定时,气体的温度、压力和比体积都有固定的数值,其内能也必然有固定的数值,因此内能也是气体的状态参数。

对于理想气体而言,理想气体的内能仅指其内部动能,它是温度 T 的单值函数。1kg 气体

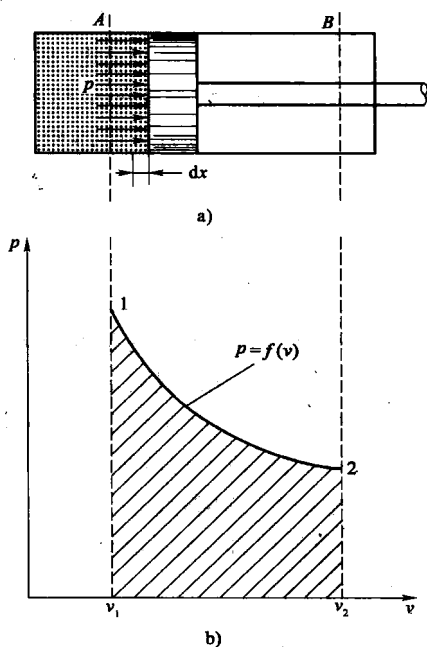


图 1-4 1kg 气体对外所作的功

的内能用符号 u 表示,单位为 J/kg,则

$$u = f(T)$$

只要工质初终态的温度确定,不论其间经过什么过程,其内能的变化量 Δu 都相等。

二、热力学第一定律

在热力学中,热力学第一定律可以表述为:热和功可以相互转换,为了要获得一定量的功,必须消耗一定量的热;反之,消耗一定量的功,必会产生一定量的热。设 Q 表示转变为功的热量, W 表示转换过来的功,则 $Q = W$

热力学第一定律是能量转换与守恒定律在热力学中的具体表述,其意义在于告诉人们不消耗能量而可获得机械功的第一类永动机是不存在的。在利用气体实现热功转换的发动机工作过程中,气体与外界交换的机械功和热量与其内能的变化量三者之间遵循能量守恒原则。

根据能量转换与守恒定律,1kg 气体由状态 1 变化到状态 2 所经历的过程中,如果气体与外界交换的热量为 q_{1-2} ,机械功为 w_{1-2} ,内能的变化量为 $u_2 - u_1$,三者之间的平衡关系可用能量平衡方程表示为

$$q_{1-2} = u_2 - u_1 + w_{1-2}$$

m kg 气体由状态 1 变化到状态 2 所经历的过程中,则有

$$Q_{1-2} = U_2 - U_1 + W_{1-2}$$

上述能量平衡方程表明,气体在经历的状态变化过程中,从外界吸收的热量等于其内能的增加量与对外所作的机械功之和。方程中各项可为正数,也可为负数。总结于表 1-1 所示。

功、热量和内能的正负 表 1-1

热量 q 或 Q	工质从外界吸收热量	正
	工质向外界放出热量	负
功 w 或 W	工质膨胀对外作功	正
	工质压缩消耗功	负
内能增量 $u_2 - u_1$ 或 $U_2 - U_1$	工质内能增加	正
	工质内能减少	负

课题三 基本热力过程

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

一、等容过程

工质的容积保持定值不变的热力过程称为等容过程。例如密封容器内气体的加热或冷却即属于此过程。

1. 过程方程式



$$v = \text{常数}$$

在 $p-v$ 图中, 等容线是一条垂直于 v 轴的直线。图 1-5 中的 1—2 线或 1—2' 线。

2. 初、终态气体状态参数之间的关系

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

3. 气体所做的功

由于 $v = \text{常数}$, 故气体所做的功为零。

4. 热量交换

对于过程 1—2, $T_2 > T_1, q > 0$, 为加热过程; 对于过程 1—2', $T_1 > T_2', q < 0$, 为冷却过程。

5. 内能变化

对于过程 1—2, $q > 0, \Delta u > 0$, 工质所吸收的热量全部用于内能的增加; 对于过程 1—2', $q < 0, \Delta u < 0$, 工质所放出的热量等于内能的减小。

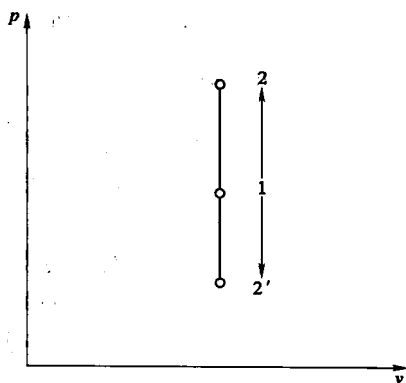


图 1-5 等容过程 $p-v$ 图

二、等压过程

工质压力保持定值不变的热力过程称为等压过程。

1. 过程方程式

$$p = \text{常数}$$

如图 1-6 中在 $p-v$ 图上等压过程曲线为平行于 v 轴的一根直线, 即 1—2 或 1—2'。

2. 初、终态参数的关系

$$\frac{v_1}{T_1} = \frac{v_2}{T_2}$$

3. 气体所作的功

在过程 1—2, $w > 0$; 在过程 1—2', $w < 0$ 。

4. 热量交换

对于过程 1—2, $q > 0$, 吸热; 过程 1—2', $q < 0$, 放热。

5. 内能的变化

对于 1—2 过程, 内能 $\Delta u > 0$, 放出的热量来自内能的减少和消耗外功; 对于 1—2' 过程, 内能 $\Delta u < 0$, 气体吸收的热量用于内能的增加和对外输出功。

三、等温过程

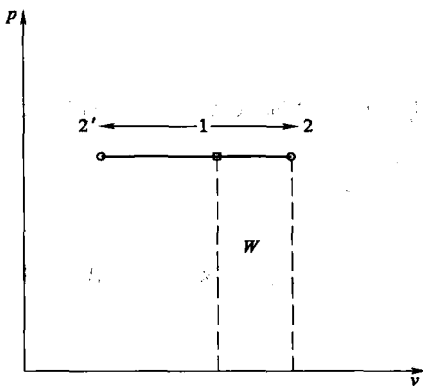
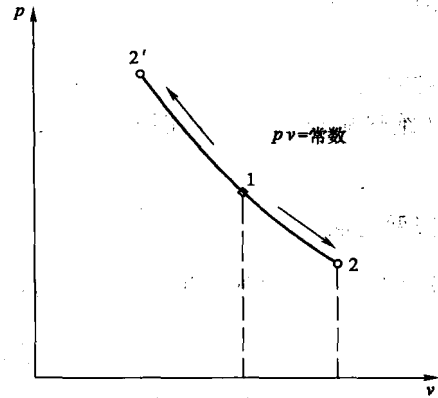
工质的温度保持定值不变的热力过程, 称为等温过程。

1. 过程方程式

由于 $T = \text{常数}$, 故 $pv = RT = \text{常数}$ 。等温线是一条以坐标轴为渐近线的等边双曲轴线, 见图 1-7。

2. 初、终态参数之间的关系

$$p_1 v_1 = p_2 v_2 = \text{常数}$$


 图 1-6 等压过程 $p-v$ 图

 图 1-7 等温过程 $p-v$ 图

3. 气体所作的功

对于过程 1—2, $w > 0$; 对于过程 1—2', $w < 0$ 。

4. 热量交换

$$q = \Delta u + w = c_v \Delta T + w = 0 + w = w = RT \ln \frac{v_2}{v_1}$$

5. 内能变化

$$\Delta u = C_v \Delta T = 0$$

所以 1—2 过程气体吸收的热量用于对外做功, 1—2 放出的热量从外界对气体做功转化而来。

四、绝热过程

当工质和外界间始终没有热量交换时工质所进行的热力过程称为绝热过程。

1. 过程方程式

$$pv^k = \text{常数}$$

式中: k 为绝热指数。

在 $p-v$ 图中, 绝热线是一条以坐标轴为渐近线的不等边曲线, 见图 1-8。因为 $K > 1$, 由图可以看出, 在绝热膨胀过程中, 气体压力的下降比等温膨胀过程来得快。这就是说, 在 $p-v$ 图上绝热线比等温线稍陡。

2. 初、终态参数间关系

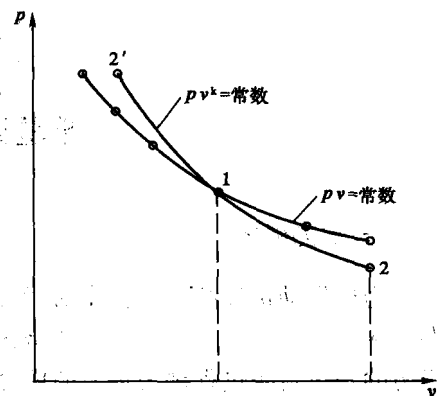
$$P_1 v_1^k = P_2 v_2^k$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}}$$

3. 气体所作的功

由于 $dq = 0$, $\Delta u + w = 0$, 所以

$$w = -\Delta u$$


 图 1-8 绝热过程 $p-v$ 图



4. 热量交换

$$q = 0$$

5. 内能变化

1—2 绝热膨胀, 以气体内能减少换取气体的膨胀功; 1—2 绝热压缩, 外界对气体做功使内能增加。

五、多变过程

比较以上所研究过的四种典型的热力过程的方程式, 可以看出这些方程式可用一个普遍方程式来表示

$$Pv^n = \text{常数}$$

式中指数 n 可以为任何一个常数, 称为多变指数, 此方程称“多变过程方程式”。

前述四种典型的热力过程都是多变过程的特例。

当 $n=0$ 时, $pv^0 = p = \text{常数}$, 是等压过程; 当 $n=1$ 时, $pv^1 = pv = \text{常数}$, 为等温过程; 当 $n=k$ 时, $pv^k = \text{常数}$, 为绝热过程; 当 $n=\infty$ 时, $v = \text{常数}$, 为等容过程。

pv^n 等于常数可以概括许多热力过程。当 n 为某一定值时, pv^n 就代表一个特定过程。多变过程在 $p-v$ 图上的位置如图 1-9 所示。

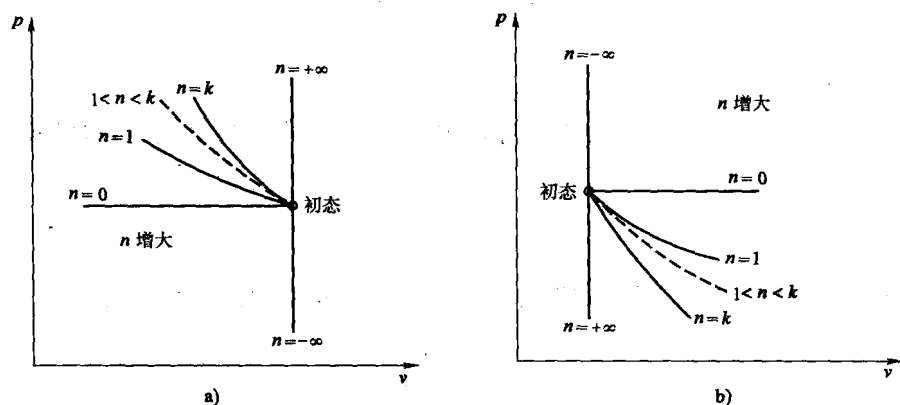


图 1-9 多变过程在 $p-v$ 图上的位置
a) 多变压缩过程 $p-v$; b) 多变膨胀过程 $p-v$ 图

课题四 热力学第二定律

一、热力循环

为使发动机连续不断地做功, 就必须在气体膨胀做功后, 通过外界使其压缩再回到初始状态。在热力学中把工质由某一初始状态出发, 经过一系列的状态变化再重新回到初始状态所经历的一个封闭过程称为热力循环, 简称循环。

循环可分为正向循环和逆向循环。热能转换成机械功的循环称为正向循环, 如汽车发动机的工作循环。消耗外界机械功而将热量从低温物体传递高温物体的循环称为逆向循环, 如

冰箱、空调的循环。

在一个循环中,由于气体从某一个初始状态经过一系列的状态变化再回到初始状态,所以循环可用 $p-v$ 图上的封闭曲线来表示,如图 1-10 所示。

设封闭曲线 $1-a-2-b-1$ 表示 1kg 工质进行的正 $p-v$ 循环。由 $p-v$ 图可以看出,工质在 $1-a-2$ 膨胀过程中吸收热量 q_1 ,并对外界作功;在 $2-b-1$ 压缩过程中消耗机械功,并向外界放出热量 q_2 ;工质膨胀时对外界作的功大于压缩时消耗的功,循环中工质所作的净功 w_0 可用 $P-v$ 图上封闭曲线 $1-a-2-b-1$ 所包围的面积(图中阴影部分)来表示;循环中工质从外界吸收的净热量为膨胀过程吸收热量的绝对值 q_1 与压缩过程向外界释放同热量的绝对值 q_2 的差值,即 $(q_1 - q_2)$ 。由于工质经过一个循环又回到初始状态,其内能不发生变化,即 $\Delta u = 0$ 。根据热力学第一定律则可得

$$q_1 - q_2 = w_0$$

上式说明,工质在循环中从高温热源吸收热量 q_1 ,只将其中的一部分转换成机械功 w_0 ,而另一部分热量 q_2 传递给低温热源。

对 $m\text{kg}$ 工质进行的热力循环,循环净功与循环净热量之间的关系则为

$$Q_1 - Q_2 = W_0$$

式中: W_0 ——工质在循环中做的净功, J ;

Q_1 ——工质在循环中吸收的热量, J ;

Q_2 ——工质在循环中放出的热量, J 。

二、热力学第二定律

热力学第一定律和第二定律是热力学的理论基础。根据热力学第一定律可知热功转换时能量守恒,但热力学第一定律解决不了在热机中燃料燃烧所产生的热量能否全部地利用来作功的问题。要回答这一类热功转换条件的问题,必须依赖热力学第二定律。

热力学第二定律常用的表述说明了实现某种具体热功转换过程的必要条件。由于这种具体过程非常多,因此:

其一,热力学第二定律的开尔文—普朗克说:“不可能建造一种循环工作的机器,其作用只是从单一热源取热并全部转变为功,而不引起其它变化。”其中“单一热源”是指温度均匀并且恒定不变的热源。“其它变化”就是指除了由单一热源吸热,把所吸的热用来作功以外的任何其它变化。这一表述说明,从单一热源(如大气、海洋或大地等)不断地吸取热量而将它全部转换成机械功的第二类永动机是不可能制成的,为了获得机械功,至少必须有两个热源,即高温热源和低温热源,热机工作时,从高温热源取得热量,只能把其中一部分转变为机械功,而把其余的一部分热量传递给低温热源。任何热机循环的热效率都不可能达到 100% 。

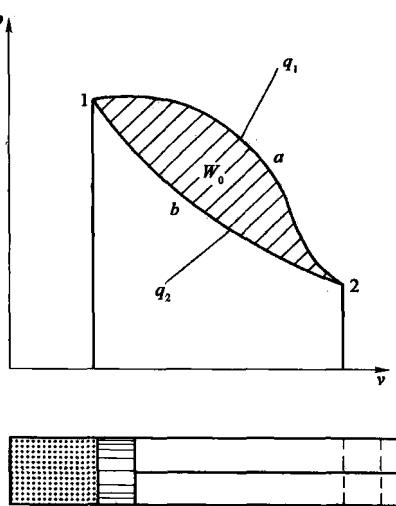


图 1-10 热力循环 $p-v$ 图



其二, 热力学第二定律的克劳修斯说法为: “不可能将热量由低温物体传向高温物体而不引起其它变化。”这一表述说明: 不管利用什么机器, 都不可能不付代价地实现把热量由低温物体转移到高温物体。各种制冷机都必须消耗功并把这些功转换为热量和低温物体的热量一起传给高温物体, 才能获得制冷, 使低温物体的温度进一步降低。

热力学第二定律尽管有各种不同的表达方式, 但其实质都是从不同的现象来说明热力过程进行的方向性, 可概括为这样一个事实: 一切自发地实现的过程都是不可逆的。这里所谓的“自发过程”是指符合自然规律、能够自发地无条件地实现的过程, 例如压缩气体的消耗的功转变成热量, 或温度不同的两个物体接触时热量由高温物体传向低温物体等就是这类过程。“不可逆”是指自发过程的反向过程是不能无条件地自发地实现的, 即进行一个自发过程后, 不论用何种复杂的方法, 都不可能使系统和外界都恢复原状而不留下任何变化。

三、卡诺循环

热力学第二定律指出, 热机的循环热效率不可能达到 100%。那么, 在一定条件下, 热效率可能达到的最高值是多少呢? 卡诺循环即回答了这个问题。

卡诺循环是最理想的循环方案, 是由两个可逆等温过程和两个可逆绝热过程交错组成的。图 1-11 所示为卡诺循环在 $p-v$ 图上的表示。

其 4 个过程简要分析如下:

(1) 等温膨胀过程($a \rightarrow b$): 工质由状态 a 在等温下从恒温热源(或高温热源)吸取热量 q_1 而变化至状态 b ;

(2) 绝热膨胀过程($b \rightarrow c$): 工质由状态 b 进行绝热膨胀到状态 c , 此时温度由 T_1 降到 T_2 ;

(3) 等温压缩过程($c \rightarrow d$): 工质由状态 c 等温压缩, 并向恒温冷源(或低温热源)放出热量 q_2 , 而达到状态 d ;

(4) 绝热压缩过程($d \rightarrow a$): 工质由状态 d 通过绝热压缩回复到状态 a , 此时温度由 T_2 上升到 T_1 , 完成了一个循环。

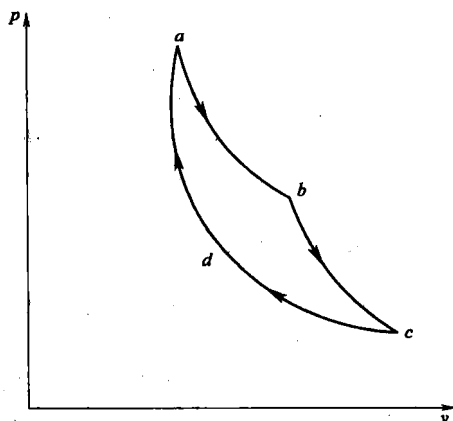


图 1-11 卡诺循环在 $p-v$ 图上的表示

显然这个循环是由 4 个可逆过程组成的, 因而是理想的循环, 但实际上是无法实现的。然而, 通过对卡诺循环的分析, 可以得出在一定条件下热能的最大利用率, 因而具有较大的理论价值。如:

(1) 卡诺循环的热效率仅仅取决于热源和冷源的温度, 而与工质的性质无关;

(2) 卡诺循环的热效率总是小于 1。如果等于 1, 则必然使得 $T_1 = \infty$ 或 $T_2 = 0$, 这都是不可能实现的。然而在 T_1 和 T_2 温度范围内, 卡诺循环是一切正向循环中热效率最高的;

(3) 提高循环热效率的途径有两条, 一是提高热源的温度 T_1 , 另一条是降低冷源的温度 T_2 ;