

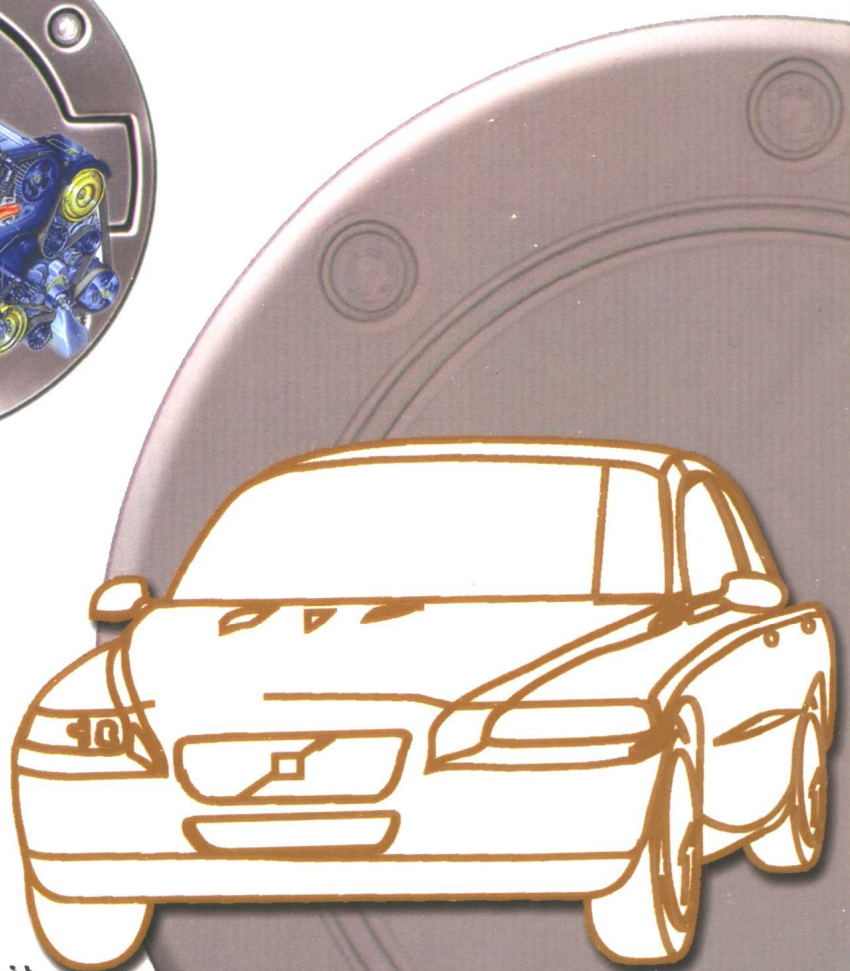
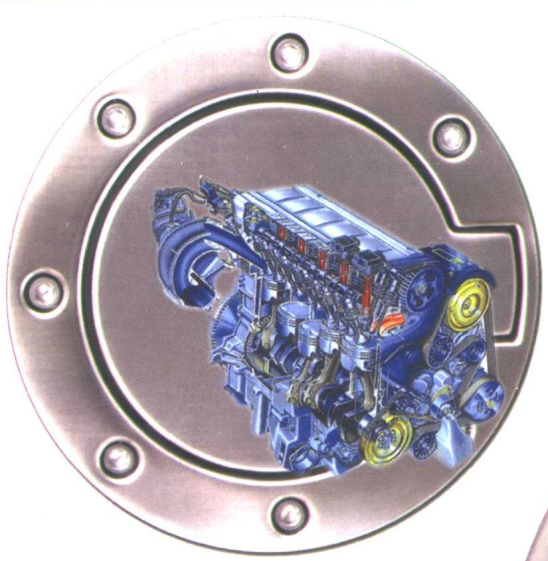


高职高专汽车专业教材

发动机原理与汽车理论

Engine Principle and Automotive Theory

张西振 吴良胜 [主编]



人民交通出版社
China Communications Press

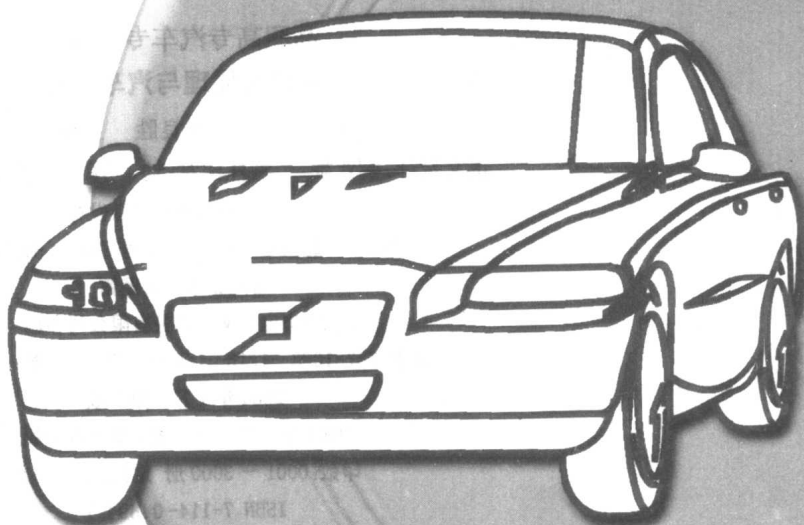
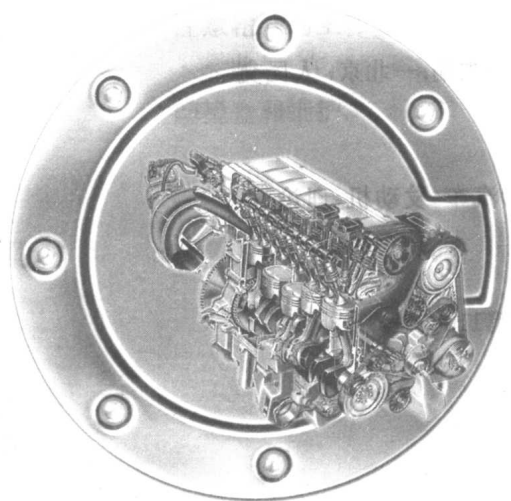


高职高专汽车专业教材

发动机原理与汽车理论

Engine Principle and Automotive Theory

张西振 吴良胜 [主编]



人民交通出版社

内 容 提 要

本书共分十三章,内容主要包括发动机原理和汽车理论两部分,重点讲述发动机的工作过程和发动机性能及汽车性能的评价指标,并进行详细分析,提出了改善发动机性能和汽车性能的合理措施。

本书可作为汽车维修与检测和汽车运用工程等专业高职高专通用教材,也可供相关人员学习和参考。

图书在版编目(CIP)数据

发动机原理与汽车理论/张西振,吴良胜主编.—北京:人民交通出版社,2004.1

ISBN 7-114-04894-7

I. 发... II. ①张... ②吴... 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 (2003) 第 110833 号

高职高专汽车专业教材

发动机原理与汽车理论

张西振 吴良胜 主编

正文设计:姚亚妮 责任校对:刘 芹 责任印制:张 恺

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号 010 64216602)

各地新华书店经销

三河市宝日文龙印务有限公司印刷

开本:787×1092 1/16 印张:12 字数:297 千

2004 年 1 月 第 1 版

2004 年 1 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:0001—3000 册 定价:20.00 元

ISBN 7-114-04894-7

前言

本书是为汽车维修与检测和汽车运用工程等专业编写的高职高专通用教材。在编写本书过程中,笔者充分考虑了目前高职高专的教学特点和学生特点,内容上尽量压缩理论性分析和公式推导,注重理论与实践相结合,突出针对性、先进性和实践性,并适当引入实用性较强且最新的汽车新技术知识。并建议在教学过程中,取消汽车各种性能的验证性试验,重点使学生掌握发动机原理与汽车理论的基本知识,掌握发动机性能和汽车性能变化的原因及分析问题的能力,了解利用新结构、新技术改善汽车性能的原理,达到更深刻地理解电子控制和液压传动等技术在汽车上应用的目的。

全书共分十三章,由张西振、吴良胜主编,张松青任副主编,其他参加编写的有:司景萍、李培军、杨宏庆、沈沉、惠有利、项仁峰等。在教材编写中,参考了大量资料,对资料原作者在此表示衷心感谢。

由于时间紧迫和编者水平所限,书中难免存在不足或疏漏之处,欢迎使用本教材的师生和读者提出宝贵意见。

编者

第一章 发动机原理基础知识	1
第一节 气体的热力性质	1
第二节 热力学第一定律	3
第三节 热力学第二定律	6
第四节 发动机的循环	8
第五节 发动机的性能指标	15
第六节 发动机的机械效率	21
第二章 发动机的换气过程	25
第一节 四冲程发动机的换气过程	25
第二节 影响换气过程的因素	30
第三节 换气过程对发动机性能的影响	33
第四节 改善换气过程的措施	35
第五节 发动机的进气增压	40
第三章 汽油机的燃料与燃烧	50
第一节 汽油的使用性能	50
第二节 汽油机混合气的形成与燃烧	51
第三节 汽油机的排气污染	56
第四节 改善汽油机燃烧过程的措施	58
第四章 柴油机的燃料与燃烧	65
第一节 柴油的使用性能	65
第二节 柴油机混合气的形成与燃烧	66
第三节 柴油机的排气污染与噪声	68
第四节 改善柴油机燃烧过程的措施	69
第五章 燃气发动机的燃料与燃烧	79
第一节 概述	79
第二节 燃气的性质	82
第三节 燃气发动机的混合气的形成与燃烧	84
第四节 改善燃气发动机燃烧过程的措施	88
第六章 发动机的特性	92
第一节 发动机的工况	92



第二节	发动机的速度特性	93
第三节	发动机的负荷特性	98
第四节	发动机的调整特性	100
第七章	汽车的动力性	104
第一节	动力性的评价指标	104
第二节	汽车的驱动力	105
第三节	汽车的行驶阻力	108
第四节	汽车的行驶条件	112
第五节	汽车动力性指标的确定方法	115
第六节	提高汽车动力性的措施	118
第八章	汽车的制动性	122
第一节	制动力的产生	122
第二节	制动效能及其恒定性	124
第三节	制动时的方向稳定性	128
第四节	制动器制动力的分配	130
第五节	提高制动性的措施	133
第九章	汽车的使用经济性	137
第一节	汽车的燃料经济性	137
第二节	汽车的可靠性	143
第十章	汽车的操纵稳定性	150
第一节	汽车的极限稳定性	150
第二节	汽车转向时的操纵稳定性	154
第三节	汽车直线行驶时的操纵稳定性	157
第四节	汽车的操纵轻便性	161
第十一章	汽车的舒适性	163
第一节	汽车行驶的平顺性	163
第二节	汽车的噪声	166
第三节	汽车的内部环境	169
第十二章	汽车的通过性	170
第一节	通过性的评价指标	170
第二节	提高通过性的措施	172
第十三章	汽车性能的合理使用	175
第一节	汽车在走合期的使用	175
第二节	汽车在低温条件下的使用	176
第三节	汽车在高温条件下的使用	181
第四节	汽车在高原和山区条件下的使用	182
	参考文献	186





第一章 发动机原理基础知识

发动机原理主要以发动机的性能指标为主线,通过分析影响发动机各个工作过程的因素,找出提高汽车发动机性能的一般规律和具体措施。

发动机原理是以工程热力学为基础,来研究发动机工作过程的。本章重点介绍学习发动机原理所必需的工程热力学基础知识、发动机循环和评价发动机性能的指标。

第一节 气体的热力性质

一、基本概念

1. 工质

众所周知,汽车发动机是将燃料燃烧的热能转换成机械能的机器,而热能与机械能的相互转换,是由发动机气缸内的气体通过吸热、放热、压缩、膨胀等热力过程来实现的。在热力学中,将实现热能与机械能相互转换的工作物质称为工质。

因为气体具有良好的流动性和膨胀性,所以汽车发动机采用的工质都是气体。

2. 热力系统

研究发动机的工作过程,主要是研究发动机气缸内气体的热力过程。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;将热力系统以外和热功转换过程有关的其他物体统称为外界。

3. 热力状态

在发动机工作过程中,作为工质的气体本身也在不断变化,宏观上表现为气体温度、压力、容积等的变化。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即称为气体的状态参数,如温度、压力和容积等。

应当注意:状态参数只取决于气体所处的状态,即气体的状态一定时,状态参数则必须有固定的数值,否则就不是状态参数。

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可以直接用仪器测量的温度(T)、压力(p)和比体积(v)三个状态参数,又称基本状态参数。





1. 温度

在日常生活中,通常用温度来描述物体的冷热程度。热的物体温度高,冷的物体温度低。冷热程度不同的两物体互相接触后,就会有热量传递,通常是冷的物体吸收热量而温度升高,热的物体放出热量而温度降低。经过一段时间后,两物体的温度达到相同时,不再发生热量传递。

按分子运动学说,温度是描述物体内部大量分子不规则运动剧烈程度的物理量,是分子运动速度的代表。气体的温度越高,分子平均运动速度高,气体内部分子的平均动能就越大。

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,作为定义热力学温度的基准,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“ $^{\circ}C$ ”,摄氏温度与开氏温度的换算关系为

$$t = T - 273.15$$

由此可见,摄氏温度的零点($t = 0$)与水的三相点并不严格相等。三相点 $273.16K$ 相当于摄氏温度 $0.01^{\circ}C$,开氏温度 $0K$ 相当于摄氏温度 $-273.15^{\circ}C$ 。

在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

$$t = T - 273$$

必需注意,只有开氏温度才是状态参数,开氏温度不可能有负值。

2. 压力

单位面积上所受的垂直作用力称为压力,即压强。气体的压力就是气体对单位面积的容器壁所施加的垂直作用力。按分子运动学说,气体的压力实质就是大量分子无规则运动而碰撞容器壁所产生平均作用力。

热力学中的压力是指气体分子对单位容器壁面产生的实际作用力,称为绝对压力,用符号 p 表示,单位是帕斯卡,简称帕,单位符号为 Pa ,因为帕的单位很小,所以常用千帕(kPa)或兆帕(MPa)作单位。

$$1kPa = 10^3Pa$$

$$1MPa = 10^6Pa$$

必需注意,只有绝对压力才是气体的状态参数。在实际中,当气体的绝对压力高于大气压力时,用压力表测量的气体压力不是气体的绝对压力,而是气体的绝对压力与当时大气压力 p_0 的差值,称为表压力,用 p_g 表示,则

$$p = p_g + p_0$$

而当气体的绝对压力低于大气压力时,用真空表测得的数值是大气压力与气体绝对压力的差值,称为真空度,用 p_v 表示,则

$$p = p_0 - p_v$$

气体的绝对压力与表压力和真空度的关系如图 1-1 所示。

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 。

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积,分子之间也没有吸引力的气体。当气体的压力较低或温度较高时,由于气体分子间的距离也远大于其直径,而且分子的质量很少,所以分子间的相互吸引力可忽略不计;同时,气体分子所占的体积比其容积小的多,也可忽略不计。因此,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做理想气体。

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(或克拉贝隆方程)。它是在实验基础上,根据分子运动学说导出的。

对 1kg 理想气体,其状态方程为

$$pv = RT$$

对 $m(\text{kg})$ 的理想气体,其状态方程则为

$$pV = mRT$$

式中: V —— $m(\text{kg})$ 理想气体的总容积, $V = mv$ 。

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

理想气体状态方程给出任意状态下三个基本状态参数之间的相互关系,只要任意两个状态参数一定,则第三个状态参数也一定。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。

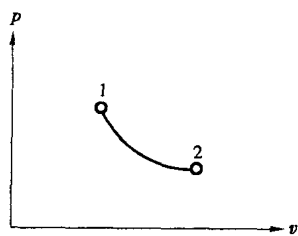


图 1-2 $p-v$ 图

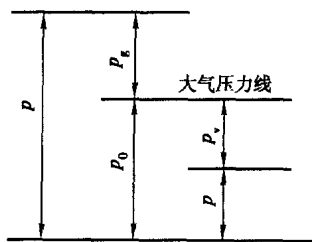


图 1-1 绝对压力与表压力和真空度的关系

第二节 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。功一般用符号 W 表示,单位为焦耳,单位符号为“J”,也常用“kJ”为单位。

$$1\text{kJ} = 10^3\text{J}$$

如图 1-3 所示,设封闭气缸内的气体质量为 1kg —活塞截面积为 $A(\text{m}^2)$,气体的压力为 p ,活塞被气体推动一个微小距离 dx ,在此期间, 1kg 气体容积(即比体积)的微小变化量为

$$dv = A dx$$





若不考虑活塞与气缸之间的摩擦和漏气等损失,按力学上定义的功等于物体所受的力与在力作用下使物体移动的距离之积,则 1kg 气体对外界所作的微元功为

$$dw = pA dx = p dv$$

若已知气体从状态 1 变化到状态 2 的过程中,气体压力 p 与比体积 v 之间的函数关系,则 1kg 气体对外界所作的功为

$$w = \int_{v_1}^{v_2} p dv$$

根据积分原理,1kg 气体对外界所作的功也就是在 $p-v$ 图上曲线下方的面积。因此, $p-v$ 图又可称为示功图。

若气缸内的气体质量为 m ,其总容积 $V = mw$,则气体从状态 1 变化到状态 2 对外所作的功为

$$W = mw = \int_{v_1}^{v_2} p m dv = \int_{v_1}^{v_2} p dv$$

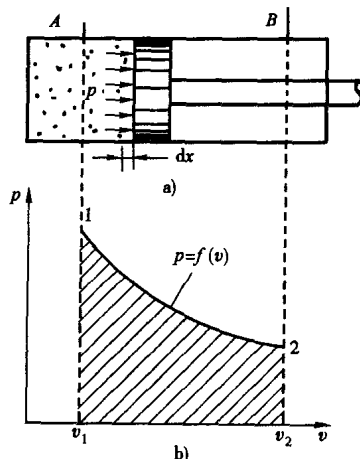


图 1-3 1kg 气体对外所作的功

从功的计算公式不难看出,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,即气体膨胀对外作功;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,即外界对气体作功使气体压缩。

2. 热量

温度不同的两个物体相互接触时,就会有热量传递,通常是高温物体将热量传递给低温物体,使低温物体温度升高,而高温物体自身的温度则降低,直到两物体的温度相等后,不再有热量传递。在上述过程中,传递热量的多少与两个物体大小和温度差有关,由于随着两物体温度的变化,温度差逐渐减小,高温物体向低温物体传递热量的速度也逐渐变慢。

应当注意,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,而是在热力过程中气体(即热力系统)与外界之间传递的能量。因此,不能说“气体在某一状态下具有多少功或热量”,而只能说“气体在某一热力过程中与外界交换了多少功或热量”。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。

按分子运动学说,物体温度高低代表了其分子运动能量的大小,温度不同的两个物体接触后,由于其分子在不规则的运动中相互碰撞,于是具有较大运动能量的分子将能量传递给运动能量较小的分子,所以说热量仅是由于温度不同,在两个物体间通过微观的分子运动作用而传递的能量。

通常 1kg 气体与外界传递的热量用符号 q 表示, m 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,也常用 kJ 为单位。

在用热力学方法分析发动机工作过程时,通常用比热来计算热量。比热是指单位量的物质温度每变化 1K 时吸收或放出的热量,用符号 c 表示,即

$$c = \frac{dq}{dT}$$





式中: dq ——单位量的物质在温度变化 dT 时吸收或放出的热量。

气体比热的数值与物量单位、气体的种类、热力过程及加热(或放热)时的温度有关。当物量单位、气体的种类、气体经历的热力过程一定时,气体的比热是温度的函数,因此热量可用下列方法进行计算:

1kg 气体的温度发生微量变化 dT 时,吸收或放出的微元热量 dq 为

$$dq = cdT$$

1kg 气体的温度从 T_1 变化到 T_2 时,吸收或放出的热量 q 为

$$q = \int_{T_1}^{T_2} cdT$$

m 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

$$Q = mq = \int_{T_1}^{T_2} cmdT$$

同时规定,气体从外界吸收热量为正,而气体向外界放出热量为负。

3. 内能

气体的内能就是指气体内部所具有的各种能量的总和,主要由气体分子运动的动能和分子间位能组成。分子运动的动能包括分子直线运动动能、旋转运动动能、分子内原子振动能、原子内的电子振动能等,它仅取决于气体的温度,随温度的升高分子运动的动能增大。分子间的位能是分子间相互吸引而形成的,它取决于气体的压力或比体积。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,所以内能也是气体的状态参数。

对于理想气体而言,因假设其分子间没有引力,也就没有位能,所以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 气体的内能用符号 u 表示,单位为 J/kg 或 kJ/kg, 则

$$u = f(T)$$

在对发动机进行的热功转换过程进行分析时,通常只需计算气体内能的变化值,而不需确定在某一状态下气体内能有多少。1kg 气体的温度从 T_1 变化到 T_2 时,其内能的变化量 Δu 为

$$\Delta u = u_2 - u_1 = f(T_2) - f(T_1)$$

m kg 气体的内能用符号 U 表示,单位为 J 或 kJ,温度从 T_1 变化到 T_2 时,其内能的变化量 ΔU 为

$$\Delta U = U_2 - U_1 = m[f(T_2) - f(T_1)]$$

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。

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

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

$m(\text{kg})$ 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。注意: 方程中各项可以是正数或负数, 规定与前述相同, 总结于表 1-1。

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

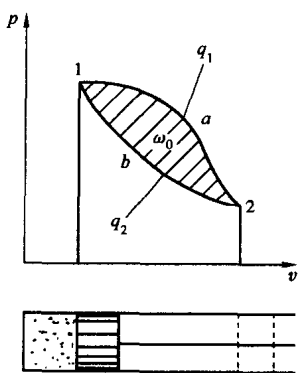
第三节 热力学第二定律

一、热力循环

发动机是利用气体吸热后膨胀来获得机械功的, 但由于气体推动活塞运动的行程是有限地, 所以仅靠单一的气体膨胀过程, 不可能使发动机连续不断的作功。为使发动机连续不断地作功, 就必须在气体膨胀作功后, 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。把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给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 1-4 所示, 设封闭曲线 $1-a-2-b-1$ 表示 1kg 工质进行正向循环。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 $1-a-$

图 1-4 热力循环 $p-v$ 图



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 与压缩过程向外界放出热量的绝对值 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 ——工质在循环中作的净功, kJ ;

Q_1 ——工质在循环中吸收的热量, kJ ;

Q_2 ——工质在循环中放出的热量, kJ 。

二、循环评定指标

发动机工作过程中,工质向低温热源传递的热量一般是无法回收利用的。为评价发动机循环进行的好坏,通常用循环热效率和循环平均压力来评定。

1. 循环热效率

循环热效率是指循环中热功转换的效率,它等于循环中工质对外界作的净功与从高温热源吸收的热量之比,用符号 η_i 表示,即

$$\eta_i = \frac{W_0}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

循环热效率说明了在实现热功转换过程中的热量利用程度,可用来评定循环在能源利用方面的经济性,是评定发动机性能的重要指标之一。

2. 循环平均压力

循环平均压力用来评定循环的动力性,它是指单位气缸工作容积所作的循环功,用符号 p_i 来表示,即

$$p_i = \frac{W_0}{V_h}$$

式中: V_h ——气缸工作容积, m^3 。

三、热力学第二定律

热力学第一定律和第二定律都是人们经过长期的生产实践总结出来的规律,这两条基本定律是热力学的理论基础。根据热力学第一定律可以知道热功转换时能量守恒,但是,根据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都是说明实现某种具体热功转换过程的必要条件。因为这种具体过程非常多,所以热力学第二定律的表述方式也很多,以下两种主要的表述方式具有普遍意义。

(1) 热力学第二定律的开尔文—普朗克说法:“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,而不引起其他变化。”

“单一热源”是指温度均匀并且恒定不变的热源。“其他变化”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他变化。

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,为了连续地获得机械功,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%。

(2)热力学第二定律的克劳修斯说法:“不可能将热量由低温物体传向高温物体而不引起其他变化。”

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述方式,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。所谓“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,例如压缩气体时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。

第四节 发动机的循环

发动机循环的各个过程进行情况直接影响发动机的性能。研究发动机的循环,目的在于分析影响发动机性能的各种因素,进而找出改善发动机循环、提高发动机性能的一般规律。

一、发动机的实际循环

发动机的工作过程就是实际循环不断重复进行的过程。发动机实际通常用气缸内工质的压力 p 随气缸容积 V (功曲轴转角 θ)而变化的图形来表示,如图 1-5 所示为四冲程非增压发动机实际循环 $p-V$ 图和 $p-\theta$ 图。

四冲程发动机的实际循环由进气、压缩、燃烧、膨胀和排气 5 个热力过程组成。

1. 进气过程(见图 1-5a 中 $r-a$ 线)

进气过程是发动机将新鲜空气或混合气吸入气缸的过程,其作用是为热功转换做必要的准备。

在进气过程中,活塞由上止点向下止点移动,进气门在活塞到达上止点前开启,排气门在活塞到达上止点后关闭。

进气过程的初始点 r 也就是上一循环排气过程的终点。由于上一循环排气过程中残留在燃烧室内的废气压力(r 点的压力 p_r)高于大气压力 p_0 ,所以进气过程开始后,随着活塞下行,首先是残余废气膨胀,使气缸内气体的压力下降。直到气缸内气体的压力下降低于大气压力的 r' 点时,在压力差的作用下,新鲜气体经发动机进气系统被吸入气缸。

由于进气系统有阻力,进气终了的压力(a 点的压力 p_a)仍低于大气压力。新鲜气体进入气缸后,因受到高温机件和残余废气的加热,进气终了的温度(a 点的温度 T_a)总是高于大气温



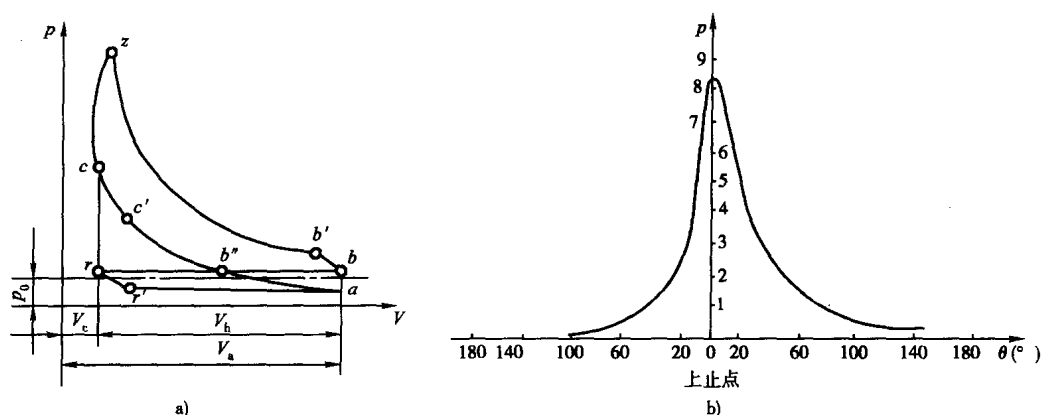


图 1-5 四冲程非增压发动机实际循环图

a) $p-V$ 图; b) $p-\theta$ 图 p_0 -大气压力; V_c -燃烧室容积; V_h -气缸工作容积; V_a -气缸总容积

度 T_0 。进气终了的温度和压力一般为:

汽油机 $p_a = (0.80 \sim 0.95) p_0$

$T_0 = 310 \sim 340\text{K}$

柴油机 $p_a = (0.75 \sim 0.90) p_0$

$T_0 = 370 \sim 400\text{K}$

进气过程进行的好坏,可用实际进入气缸的新鲜空气或混合气的数量来评定,由理想气体状态方程不难得出:在气缸容积一定时,提高进气终了压力、降低进气终了温度是增加进气量的有效措施。进气量的增加意味着循环加热量的增加,循环热效率一定时,可增加循环净功,从而提高发动机动力性。

在实际发动机工作过程中,由于进气门的迟后关闭和进气流的惯性,新鲜气体被吸入气缸的过程直到活塞达下止点(a 点)后,进气门关闭时为止。

2. 压缩过程(图 1-5a 中的 $a-c$ 线)

活塞在气缸内压缩工质的过程,即为压缩过程。压缩过程的作用是提高气缸内气体的温度和压力,为着火燃烧创造有利条件。同时,通过压缩过程使活塞回到上止点位置,以便为气体推动活塞作功做好准备。

在压缩过程中,活塞从下止点向上止点移动,排气门仍处于关闭状态,进气门也在下止点(a 点)后不久关闭。缸内气体受压后温度和压力不断上升,气体被压缩的程度用压缩比 ϵ 表示,压缩比等于压缩初始气体的容积与压缩终了气体的容积之比,即

$$\epsilon = \frac{V_a}{V_c} = \frac{V_c + V_h}{V_c} = 1 + \frac{V_h}{V_c}$$

式中: V_c ——燃烧室容积;

V_h ——气缸工作容积(气缸排量);

V_a ——气缸总容积。

压缩比是发动机的重要结构参数之一。压缩比过低会使发动机动力性、经济性和排放性





下降,提高压缩比又受到机件强度和不正常燃烧的限制,一般发动机的压缩比为:

汽油机 $\epsilon = 8 \sim 12$

柴油机 $\epsilon = 14 \sim 22$

发动机的实际压缩过程是一个复杂的热力过程。压缩开始,进气过程刚刚进入气缸的新鲜气体温度较低,从接触的高温机件(如缸壁和活塞顶)上吸收热量;随着压缩过程的进行,气体温度不断升高,到某一瞬时与接触的高温机件温度相等时,与外界没有热量交换;此后,随着气体温度的继续升高,高温气体又会向与之接触的机件放热。整个压缩过程总体来说,缸内气体的放热量大于其吸热量。

不难想象,将压缩过程所消耗的机械功全部转变成气体的内能贮存起来是最理想的,也就是说压缩过程最好没有热量损失。但实际发动机压缩过程中,气缸内气体的平均温度总是高于与之接触的机件,所以不可避免存在传热损失,此外气体泄漏和摩擦也会造成能量损失。

在实际工作中,经常测量压缩终了的压力(c 点的压力 p_c),用于评定发动机的性能或诊断故障。压缩终了的压力过低,会导致发动机动力性、经济性下降,使用中会出现动力不足、起动困难、燃料消耗增加等故障现象。压缩终了的压力过低,说明发动机气缸密封不良,其主要原因一般是气门密封不良、活塞和气缸磨损严重等。

压缩终了的温度 T_c 和压力 p_c 一般为:

汽油机 $p_c = 834 \sim 1960 \text{ kPa}$

$T_c = 600 \sim 700 \text{ K}$

柴油机 $p_c = 2940 \sim 4900 \text{ kPa}$

$T_c = 750 \sim 950 \text{ K}$

3. 燃烧过程(图 1-5a 中的 $c-z$ 线)

燃烧过程是指气缸内的混合气通过外源点火或自燃着火燃烧的过程,其作用是通过燃料燃烧对气缸内的气体加热,以提高缸内气体的温度和压力,为膨胀作功积聚能量。

在压缩过程中,活塞位于压缩上止点附近,进、排气门均关闭。

在汽油机中,当活塞压缩到上止点前(图 1-6b 中点 c'),由电火花点燃混合气,火焰迅速传遍整个燃烧室,使缸内气体的温度和压力急剧上升,其压力在极短的时间内达到最高值。由于汽油机燃烧过程进行的速度快,燃烧过程中气缸内的容积变化很小,所以对气缸内的气体而言,经历的热力过程(图 1-6b 中 $c-z$ 线)接近“定容加热过程”。

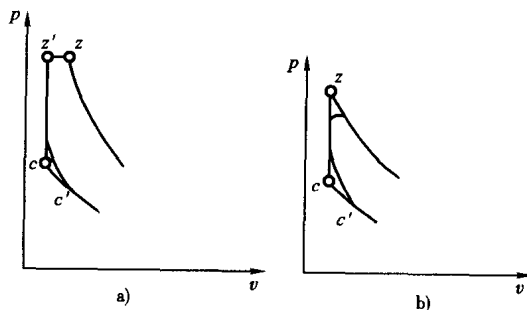


图 1-6 发动机实际循环的燃烧过程

a) 柴油机; b) 汽油机

燃气发动机与汽油机类似,在活塞运行到压缩上止点前,由电火花点燃混合气,或喷入气缸的少量柴油自燃后引燃混合气,燃气混合气的燃烧速度也非常快,燃烧过程也接近“定容加热过程”。

在柴油机中,同样应在上止点前开始喷油和燃烧。由于柴油的混合气是在气缸内部形成的,燃烧开始时,燃烧速度很快,气缸容积变化很小,缸内的气体经历的热力过程(图 1-6a 中



$c-z'$ 线)接近“定容加热过程”;随后是边喷油边形成混合气边燃烧,燃烧速度减慢,而且活塞下移使气缸容积增大,尽管仍在对缸内气体加热,但其压力变化不大,只是温度仍继续增高,所以后期缸内气体经历的热力过程(图 1-6a 中 $z'-z$ 线)接近“定压加热过程”。

燃烧过程放出的热量越多,放热时越靠近上止点,则热效率越高。

在实际燃烧过程中,不仅有散热损失,燃烧不完全损失,而且由于燃烧不是瞬时完成的,需要一定时间,因此还存在非瞬时燃烧损失。

燃烧最高温度和压力一般为:

汽油机	$p_z = 2940 \sim 4900 \text{ kPa}$
	$T_z = 2200 \sim 2800 \text{ K}$
柴油机	$p_z = 5880 \sim 8830 \text{ kPa}$
	$T_z = 1800 \sim 2200 \text{ K}$

4. 膨胀过程(图 1-5a 中的 $z-b$ 线)

膨胀过程是燃烧后的高温、高压气体膨胀推动活塞移动做功的过程。

在膨胀过程中,进、排气门均关闭,活塞由上止点向下止点移动,随着气缸容积增大,气体的压力、温度迅速下降。

发动机的实际膨胀过程与压缩过程中情况相似,也是一个复杂的热力过程。在膨胀开始时,由于存在继续燃烧现象,气缸内的气体继续被加热,但同时高温气体也向与之接触的温度相对较低的机件放热,气体的吸热量大于放热量;到某一瞬时,燃烧对缸内气体的加热量与气体向外界放热量相等;随后缸内气体向外界放热量会超过其吸热量。整个膨胀过程总体来说,缸内气体的吸热量大于放热量。

实际的膨胀过程中的散热损失和漏气损失,会造成缸内气体压力的下降,使气体推动活塞所作的功减少。为提高发动机性能,不仅希望膨胀过程无热量损失,也希望气体在膨胀过程中的吸热量越少越好。在膨胀过程进行的燃烧称为补燃,气体在膨胀过程中的吸热量越多,意味着补燃越多,而补燃放出的热量如果在活塞上止点附近的正常燃烧过程中对缸内气体加热,必然能进一步提高膨胀过程中气体的平均压力,增加膨胀所作的功。但实际补燃放出的热量是在远离活塞上止点后对缸内气体加热的,所以补燃越多,膨胀过程气体的平均工作压力降低,所作的功减少,热效率下降,发动机的动力性和经济性变差。

膨胀过程终了 b 点的压力和温度越低,说明气体膨胀和热量利用越充分。柴油机与汽油机相比,柴油机的压缩比高,活塞的行程长,气体膨胀和热量利用更充分,所以柴油机膨胀终了的温度和压力较汽油机低,热效率也较高。

膨胀终了的温度和压力一般为:

汽油机	$p_b = 294 \sim 490 \text{ kPa}$
	$T_b = 1500 \sim 1700 \text{ K}$
柴油机	$p_b = 196 \sim 392 \text{ kPa}$
	$T_b = 1000 \sim 1400 \text{ K}$

5. 排气过程(图 1-5a 中的 $b'-b-r$ 线)

排气过程是指将已燃烧且完成做功的废气排出气缸的过程,其作用是为下一循环吸入新

