

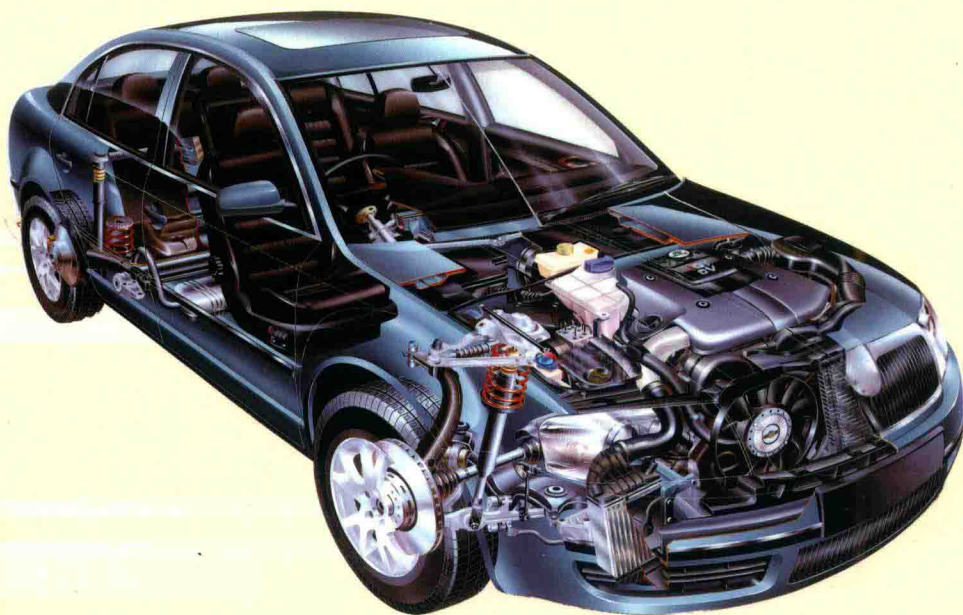


高等职业教育汽车运用与维修技术专业规划教材

(第4版)

发动机原理与汽车理论

张西振 高元伟 主编



电子课件下载

www.cpress.com.cn



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

车运用与维修技术专业规划教材

Fadongji Yuanli yu Qiche Lilun
发动机原理与汽车理论

(第4版)

张西振 高元伟 主 编



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书是高等职业教育汽车运用与维修技术专业规划教材。主要内容包括:发动机原理基础知识、发动机的换气过程、汽油机的燃料与燃烧、柴油机的燃料与燃烧、发动机的特性、汽车的动力性、汽车的制动性、汽车的使用经济性、汽车的操纵稳定性、汽车的舒适性、汽车的通过性及汽车的合理使用。

本书可作为高等职业院校汽车运用与维修技术、汽车检测与维修和汽车电子技术等专业的教材,也可作为汽车服务类专业职业教育的参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

发动机原理与汽车理论/张西振,高元伟主编.—4版.—
北京:人民交通出版社股份有限公司,2018.12

ISBN 978-7-114-15133-0

I. ①发… II. ①张… ②高… III. ①汽车—发动机—理论 ②
汽车—理论 IV. ①U464.11 ②U461

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第252725号

书 名: 发动机原理与汽车理论(第4版)

著 者: 张西振 高元伟

责任编辑: 时 旭

责任校对: 刘 芹

责任印制: 张 凯

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

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)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 12.75

字 数: 302千

版 次: 2004年1月 第1版

2008年6月 第2版

2013年7月 第3版

2018年12月 第4版

印 次: 2018年12月 第4版 第1次印刷 总第19次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-15133-0

定 价: 32.00元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)



第4版前言

本教材第1版于2004年1月出版发行,2008年6月修订出版了第2版,2013年7月修订出版了第3版,多年来已多次印刷,一直深受广大高等职业院校师生的欢迎,在此对长期使用本教材的师生表示感谢。为适应高职汽车类专业课程建设和教学改革的需要,同时不断追赶现代汽车技术和市场的发展步伐,根据人民交通出版社股份有限公司和广大用书院校的要求,编者对此书进行再版修订。此次修订的内容主要包括:

(1)对原“第五章 燃气发动机的燃料与燃烧”进行了整章删减,主要是考虑使用燃气发动机汽车的市场保有量并不高,本部分的内容对学生以后的职业发展帮助并不大,不具有很好的代表性。

(2)部分内容随新颁布的国标进行了更新。对教材中与现代汽车技术发展不适应的内容和一些错误进行了更正,力求做到概念准确、表述正确、数字精确。

(3)对“第十二章 汽车的合理使用”中的部分内容进行了增补和重新编排。

本教材继续保留了前3版的整体结构体系,全书共分为十二章,主要包括发动机原理基础知识、发动机的换气过程、汽油机的燃料与燃烧、柴油机的燃料与燃烧、发动机的特性、汽车的动力性、汽车的制动性、汽车的使用经济性、汽车的操纵稳定性、汽车的舒适性、汽车的通过性及汽车的合理使用。

本教材第4版由张西振、高元伟担任主编,黄艳玲、李晗担任副主编,其他参加编写的有吴胜良、张青松、张义、司景萍、李培军、项仁峰、沈沉等。全书由辽宁省交通高等专科学校张西振教授统稿。

本教材在编写过程中参考了大量资料,也听取了很多企业专家的建议,在此对资料的原作者和各位专家一并表示衷心感谢。受编者水平所限,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
2018年8月



目 录

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	16
第六节 发动机的机械效率	21
复习思考题	25
第二章 发动机的换气过程	26
第一节 四冲程发动机的换气过程	26
第二节 影响换气过程的因素	31
第三节 换气过程对发动机性能的影响	34
第四节 改善换气过程的措施	36
第五节 发动机的进气控制与增压	39
复习思考题	42
第三章 汽油机的燃料与燃烧	44
第一节 汽油的使用性能	44
第二节 汽油机混合气的形成	45
第三节 汽油机的燃烧过程	49
第四节 改善汽油机燃烧过程的措施	53
第五节 汽油机的排气污染	59
复习思考题	64
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	66
第三节 柴油机的燃烧过程	73
第四节 改善柴油机燃烧过程的措施	74
第五节 柴油机的排气污染与噪声	82
复习思考题	92
第五章 发动机的特性	93
第一节 发动机的工况	93
第二节 发动机的速度特性	94
第三节 发动机的负荷特性	100
第四节 发动机的调整特性	102
复习思考题	105
第六章 汽车的动力性	106
第一节 动力性的评价指标	106
第二节 汽车的驱动力	107
第三节 汽车的行驶阻力	110
第四节 汽车的行驶条件	115
第五节 汽车动力性指标的确定方法	117
第六节 提高汽车动力性的措施	120
复习思考题	124
第七章 汽车的制动性	125
第一节 制动力的产生	125
第二节 制动效能及其恒定性	127
第三节 制动时的方向稳定性	131
第四节 制动器制动力的分配	133
第五节 提高制动性的措施	137
复习思考题	140
第八章 汽车的使用经济性	141
第一节 汽车的燃料经济性	141
第二节 汽车的可靠性	147
复习思考题	154
第九章 汽车的操纵稳定性	155
第一节 汽车的极限稳定性	155

第二节	汽车转向时的操纵稳定性·····	159
第三节	汽车直线行驶时的操纵稳定性·····	163
第四节	汽车的操纵轻便性·····	166
	复习思考题·····	167
第十章	汽车的舒适性 ·····	169
第一节	汽车行驶的平顺性·····	169
第二节	汽车的噪声·····	172
第三节	汽车的内部环境·····	175
	复习思考题·····	176
第十一章	汽车的通过性 ·····	177
第一节	通过性的评价指标·····	177
第二节	提高通过性的措施·····	179
	复习思考题·····	182
第十二章	汽车的合理使用 ·····	183
第一节	汽车在磨合期的使用·····	183
第二节	汽车在低温条件下的使用·····	184
第三节	汽车在高温条件下的使用·····	188
第四节	汽车在高原和山区条件下的使用·····	190
第五节	汽车在坏路和无路条件下的使用·····	192
	复习思考题·····	194
参考文献	·····	195

第一章 发动机原理基础知识



学习目标

1. 能够运用工程热力学基础知识分析发动机工作过程；
2. 能够分析并总结与发动机性能相关的各种因素；
3. 能够分析并概括总结提高发动机性能的措施；
4. 能够解释评价发动机性能的指标及其内在关系。

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,是由发动机汽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,主要是研究发动机汽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,如汽缸内的气体;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,分子平均运动速度越高,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“ $^{\circ}\text{C}$ ”,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°C ,开氏温度 0K 相当于摄氏温度 -273.15°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:

$$t = T - 273$$

必须注意,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的平均作用力。

热力学中的压力是指气体分子对单位容器壁产生的实际作用力,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。

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

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

必须注意,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 。

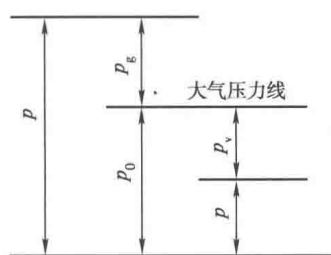


图 1-1 绝对压力与表压力和真空度的关系

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,而且分子的质量很小,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得多,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作理想气体。

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(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。

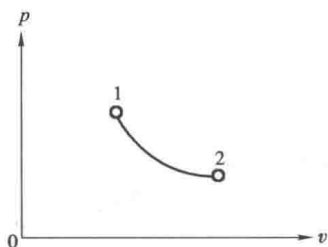


图 1-2 $p-v$ 图

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,设封闭汽缸内的气体质量为 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:

$$dv = Adx$$

若不考虑活塞与汽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 气体对外界所做的微元功为:

$$dw = pAdx = pdv$$

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 气体对外界所做的功为:

$$w = \int_{v_1}^{v_2} pdv$$

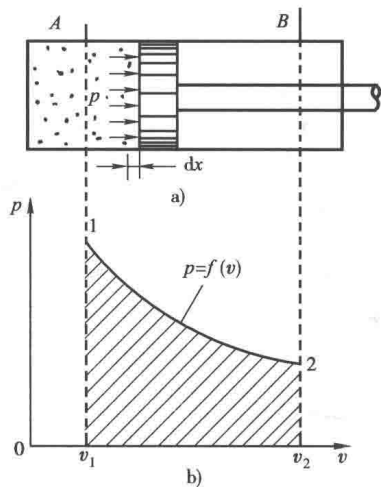


图 1-3 1kg 气体对外所做的功

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

若汽缸内的气体质量为 m ,其总容积 $V = mv$,则气体从状态 1 变化到状态 2 对外所做的功为:

$$W = mw = \int_{v_1}^{v_2} pmdv = m \int_{v_1}^{v_2} pdv$$

从功的计算公式不难看出,气体状态发生变化时,对外所做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,所做的功为正值,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,所做的功为负值,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,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理量单位、气体的种类、热力过程及加热(或放热)时的温度有关。当物理量单位、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的位能组成。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:

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

mkg 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做的机械功之和。

注意:方程中各项可以是正数或负数,规定与前述相同,其总结见表 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	工质膨胀对外做功	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的,所以仅靠单一的气体膨胀过程,不可能使发动机连续不断地做功。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。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 , 并对外界做功; 在 $2-b-1$ 压缩过程中消耗机械功, 并向外界放出热量 q_2 ; 工质膨胀时对外界做的功大于压缩时消耗的功, 循环中工质所做的净功 w_0 可用 $p-v$ 图上封闭曲线 $1-a-2-b-1$ 所包围的面积 (图 1-4 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得出:

$$q_1 - q_2 = w_0$$

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, 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做的净功与从高温热源吸收的热量之比, 用符号 η_t 表示, 即:

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

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, 它是指单位汽缸工作容积所做的循环功, 用符号 p_t 来表示, 即:

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

式中: V_h ——汽缸工作容积, 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

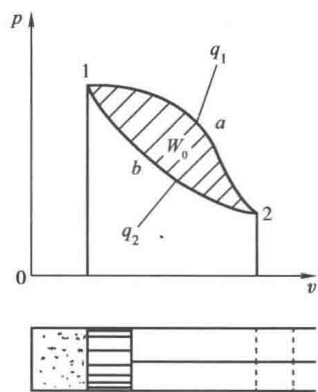


图 1-4 热力循环 $p-v$ 图

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做功的问题。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(英国)表述:“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,把所吸的热用来做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(德国)表述:“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。发动机实际通常用汽缸内工质的压力 p 随汽缸容积 V (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(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汽缸的过程,其作用是为热功转换做必要的准备。

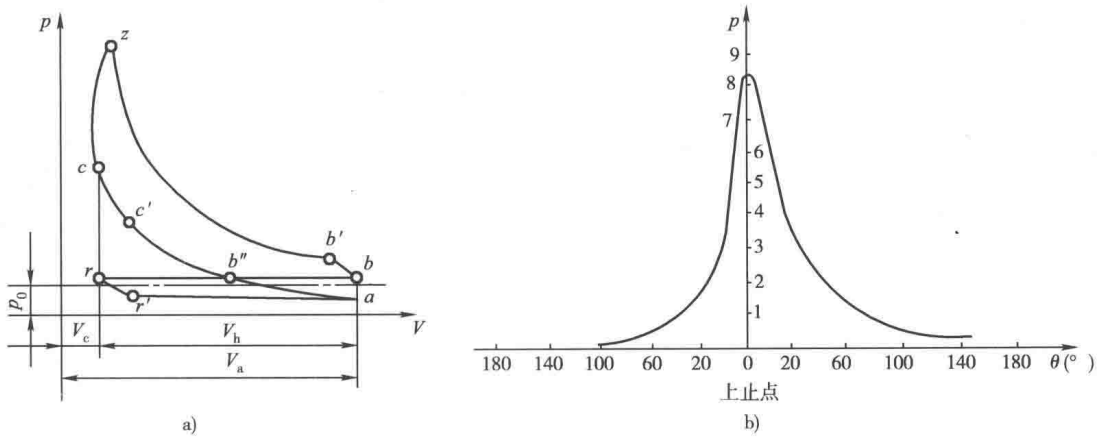


图 1-5 四冲程非增压发动机实际循环图

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

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,使汽缸内气体的压力下降。直到汽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汽缸。

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。新鲜气体进入汽缸后,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,可用实际进入汽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;在汽缸容积一定时,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,新鲜气体被吸入汽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)

活塞在汽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汽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做功做好准备。

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:

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

式中: V_c ——燃烧室容积;

V_h ——汽缸工作容积(汽缸排量);

V_a ——汽缸总容积。

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 $\varepsilon = 8 \sim 12$

柴油机 $\varepsilon = 14 \sim 22$

发动机的实际压缩过程是一个复杂的热力过程。压缩开始,刚刚进入汽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储存起来是最理想的,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,汽缸内气体的平均温度总是高于与之接触的机件,所以不可避免地存在传热损失,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,说明发动机汽缸密封不良,其主要原因一般是气门密封不良、活塞和汽缸磨损严重等。

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)

燃烧过程是指汽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汽缸内的气体加热,以提高缸内气体的温度和压力,为膨胀做功积聚能量。

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,燃烧过程中汽缸内的容积变化很小,所以对汽缸内的气体而言,经历的热力过程(图 1-6b 中 $c-z$ 线)接近“定容加热过程”。

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,或喷入汽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”。