

汽车维修行业工人技术等级培训教材



高级汽车维修工 培训教材

董元虎 诸雪征 主编



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
www.phei.com.cn

汽车维修行业工人技术等级培训教材

高级汽车维修工 培训教材



董元虎 诸雪征 主编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 提 要

本书介绍了高级汽车维修工应该掌握的知识:发动机原理、汽车理论、汽车测试设备的原理与使用、汽车性能试验、现代汽车新装置的结构与维修、汽车维修检验等。

本书取材新颖,内容丰富,条理清楚,图文并茂,可作为高级汽车维修工技术等级培训教材和自学用书,也可供汽车技术管理人员以及有关专业的广大师生阅读参考。

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。

图书在版编目(CIP)数据

高级汽车维修工培训教材/董元虎,诸雪征主编.北京:电子工业出版社,2003.6
汽车维修行业工人技术等级培训教材

ISBN 7-5053-8791-X

I. 高… II. ①董…②诸… III. 汽车-车辆修理-技术培训-教材 IV. U472.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 044420 号

责任编辑:夏平飞 马文哲 特约编辑:郭茂威

印 刷:北京冶金大业印刷有限公司

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×980 1/16 印张:15 字数:334 千字

版 次:2003 年 6 月第 1 版 2003 年 6 月第 1 次印刷

印 数:5000 册 定价:23.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077

前 言

为加强职业技能鉴定工作, 加快推行职业资格证书制度, 促进劳动者素质的提高, 2000 年 12 月 8 日, 劳动和社会保障部对此提出了《关于大力推进职业资格证书制度建设的若干意见》, 意见内容对我们组织班子编写《汽车维修行业工人技术等级培训教材》提供了具有指导作用的出版依据。

电子工业出版社是教育部认定的“国家教材出版基地”, 本着为企业完成培训计划, 开展岗位培训, 逐步使所有从事国家规定职业(工种)的职工达到相应职业资格要求, 现根据与《交通行业工人技术等级标准》中的五个汽车维修工种相对应的《职业技能鉴定规范》的培训大纲, 按各工种初、中、高三个技术等级划分, 编写了一套《汽车维修行业工人技术等级培训教材》, 分别是《(初级、中级、高级)汽车维修工培训教材》, 《(初级、中级、高级)汽车维修电工培训教材》, 《(初级、中级、高级)汽车维修漆工培训教材》, 《(初级、中级、高级)汽车维修钣金工培训教材》, 《(初级、中级、高级)汽车检测工培训教材》, 共计 15 分册。

本书介绍了高级汽车维修工应该掌握的知识: 发动机原理、汽车理论、汽车测试设备的原理与使用、汽车性能试验、现代汽车新装置的结构与维修、汽车维修检验等。

本书由董元虎、诸雪征主编, 其中第二、四、五、章由董元虎、诸雪征、杨俊儒、王广济、董顺通编写, 第一章由伍少初编写, 第三章由张鹏、张剑、潘清水编写。参加本书编写的还有南雄、丁德民、杨玉龙、张校贵等同志。

限于编者的水平, 书中难免有错误和不妥之处, 恳请广大读者批评指正。

编 者

《汽车维修行业工人技术等级培训教材》 编审委员会

主任：刘浩学

委员：龙凤丝 秦 川 董元虎 马强骏 伍少初
王生昌 张美娟 廖学军 王库房 赵春奎
罗金佑 赵社教 陆永良

目 录

第一章 发动机原理	1
第一节 工程热力学基础	1
一、热力学基本知识	1
二、热力学基本定律	4
三、热力循环分析	5
第二节 发动机理论循环	8
一、理论循环的简化	8
二、理论循环的分析	8
第三节 发动机的工作过程	10
一、换气过程	11
二、压缩过程	14
三、燃烧过程	15
四、膨胀过程	20
第四节 发动机性能指标及特性	21
一、指示指标	21
二、有效指标	22
三、发动机特性	24
第二章 汽车理论	27
第一节 汽车的动力性	27
一、汽车的动力性评定指标	27
二、汽车的驱动力与行驶阻力	28
三、汽车驱动力与行驶阻力的平衡图	32
四、动力特性图	33
五、汽车的功率平衡	34
六、影响汽车动力性的主要因素	34
第二节 汽车燃油经济性	36
一、汽车燃油经济性的评价指标	36
二、影响汽车燃油经济性的因素	37
第三节 汽车的制动性	39
一、制动性的评价指标	39
二、制动时车轮的受力	39
三、制动效能	41
四、制动时方向的稳定性	43
第四节 汽车操纵稳定性	44
一、汽车操纵稳定性的评价	44
二、汽车的稳态转向特性	46
三、汽车试验的评价方法	46
四、轮胎的侧偏特性	47
五、汽车操纵稳定性与悬架的关系	49
第五节 汽车的平顺性	50
一、人体对振动的反应和平顺性 的评价	50
二、使用因素对平顺性的影响	51
第六节 汽车的通过性	51
一、汽车支撑通过性评价指标	52
二、汽车通过性几何参数	52
三、影响汽车通过性的主要因素	53
第三章 汽车测试设备原理与 使用	55
第一节 汽车前照灯检测	55
一、前照灯检测原理	55
二、前照灯检测仪	55
第二节 汽车废气检测	60
一、汽油机废气成分的检测	60
二、降低排气污染的调整	63
三、柴油机烟度的检测	64
第三节 汽车油耗量检测	68
第四节 汽车制动试验台	70
一、制动试验台测量原理	70
二、反力滚筒式制动试验台的构造 与使用	72
三、平板式制动试验台简介	74
第五节 汽车侧滑试验台	77
一、转向轮前束引起的侧滑	77

二、转向轮外倾角引起的侧滑	77	一、发动机电子控制系统的组成	119
三、滑板式侧滑试验台的构造	78	二、传感器的结构与工作原理	120
四、侧滑试验台的使用方法	80	三、执行器的结构与工作原理	136
第六节 汽车第五轮仪	81	四、电控燃油喷射系统	141
一、第五轮仪	81	五、故障自诊断测试	147
二、第五轮仪的使用方法	83	第二节 电子控制防抱死制动	
三、非接触式车速仪	84	系统 (ABS)	148
第七节 汽车底盘测功	84	一、电子控制防抱死制动系统的	
一、发动机功率检测的必要性与国标的		组成与分类	149
有关规定	84	二、电控防抱死制动系统的结构与	
二、底盘测功试验台的结构及		工作原理	150
工作原理	85	三、电子控制防抱死制动系统的正确	
三、底盘测功试验台的使用方法	88	使用与维护	155
四、用底盘测功试验台测取发动机		四、电子控制防抱死制动系统的故障	
功率	89	自诊断测试	158
第八节 汽车发动机综合分析仪	90	第三节 汽车驱动防滑转系统 (ASR)	159
一、观测点火波形	90	一、ASR 的基本结构与功用	160
二、闭合角、重叠角的检测	97	二、ASR 的控制方式	161
三、发动机综合检测仪	99	三、ASR 的控制机构	162
四、检测点火提前角	104	四、丰田 LS400ASR 的故障自诊断	163
第九节 汽车噪声检测	107	第四节 汽车电控自动变速器	163
一、汽车噪声的测量原理与仪器	107	一、电子控制自动变速器的控制原理	163
二、汽车噪声检测标准及测量方法	109	二、电子控制自动变速器系统的结构	
第四章 汽车性能试验	112	与原理	164
第一节 汽车动力性、燃油经济性试验	112	三、电子控制自动变速器的故障	
一、道路试验	112	自诊断测试	169
二、室内试验	113	第五节 电子控制动力转向系统	170
第二节 汽车制动性的试验	113	一、对动力转向系统的要求	170
一、道路试验	114	二、电子控制动力转向系统的组成	171
二、室内试验	114	三、电子控制动力转向系统的结构与	
第三节 汽车操纵稳定性试验	115	工作原理	172
一、低速行驶转向轻便性试验	116	第六节 汽车电子巡航控制	
二、稳态转向特性试验	116	系统 (CCS)	174
第四节 汽车平顺性试验	117	一、汽车电子巡航控制系统概述	174
第五节 汽车的通过性试验	118	二、汽车电子巡航控制系统的	
第五章 汽车电子控制系统结构	119	基本原理	175
第一节 汽车发动机电子控制系统	119	三、汽车电子巡航控制系统的结构	176

四、故障诊断 (丰田 LS400)	178	四、滚动轴承	217
第七节 安全气囊系统 (SRS)	178	五、其他零件	217
一、安全气囊的组成和工作原理	178	六、变速器装配后的检验	217
二、安全气囊的零部件结构	183	七、变速器的磨合与试验	217
三、SRS 检修 (大众帕萨特汽车)	188	第十节 万向传动装置主要零件检验	218
第六章 汽车维修检验	193	一、传动轴轴管	218
第一节 汽车维护检验	193	二、传动轴花键轴	218
第二节 二级维护前检测与作业项目	194	三、万向节	218
一、维护前检测项目	194	四、中间支撑	219
二、二级维护前技术评定和附加作业		五、传动轴修理过程中的检验	219
项目的确定	198	六、传动轴装配后的检验	219
第三节 汽车维护过程检验	199	第十一节 驱动桥检验	219
一、过程检验的目的	199	一、桥壳和半轴套管	219
二、过程检验的技术要求	199	二、半轴	220
第四节 汽车维护竣工检验	199	三、轮毂	220
一、一级维护竣工检验	199	四、主减速器	220
二、二级维护竣工检验	200	五、差速器	221
第五节 汽车修理送修标志	202	六、驱动桥装配时的检验	222
第六节 汽车修理进厂检验	203	七、驱动桥的磨合与试验	222
一、汽车送修规定	203	第十二节 转向桥及转向系主要零件	
二、汽车修理进厂检验	203	检验	222
第七节 发动机主要零件检验	203	一、转向桥主要零件的检验	222
一、零件的检验和分类	203	二、转向节的检验	223
二、气缸体和气缸盖的检验	204	三、前轴与转向节的装配检验	223
三、活塞连杆组的检验	207	四、转向系主要零件的检验	223
四、曲轴及轴承的检验	208	五、转向传动机构	224
第八节 离合器主要零件检验	214	六、转向桥和转向系装配后检验	224
一、从动盘部件	214	七、转向传动机构的检验	224
二、压盘	214	八、操纵机构工作的检查	224
三、压紧弹簧	214	九、转向助力装置的检验	225
四、离合器壳	215	第十三节 制动系统主要零件检验	225
五、分离杠杆	215	一、制动鼓的检验	225
六、离合器装配后的检验	215	二、制动蹄的检验	226
第九节 变速器主要零件检验	215	三、制动盘的检查	226
一、变速器壳体与盖	215	四、气压制动传动装置零件	226
二、变速器轴	216	五、液压制动传动装置零件	226
三、齿轮	216	六、制动系的装配检验	227

七、液压制动系统的检验·····	228
八、制动踏板自由行程的检验·····	228
九、驻车制动器的检验·····	228
第十四节 车架检验·····	228

一、车架的常见损伤·····	229
二、车架的检验·····	229
参考文献 ·····	230

第一章 发动机原理

第一节 工程热力学基础

一、热力学基本知识

1. 温度、压力、比体积及密度

温度是物体冷热程度的标志。若令冷热程度不同的两个物体 A 和 B 互相接触,它们之间将发生能量交换,净能流将从较热的物体流向较冷的物体。在不受外界影响的条件下,两物体会同时发生变化:热物体逐渐变冷,冷物体逐渐变热。经过一段时间后,它们达到相同的冷热程度,不再有净能量交换,这时物体 A 和 B 达到热平衡。当物体 C 同时与物体 A 和 B 接触而达到热平衡时,物体 A 和 B 也一定热平衡。这一事实说明物质具备某种宏观性质。当各物体的这一性质不同时,它们若相互接触;其间将有净能流传递;当这一性质相同时,它们之间达到热平衡,这一宏观物理性质称为温度。

压力是指单位面积上所受的垂直作用力(即压强)。分子运动学说把气体的压力看做是大量气体分子撞击器壁的平均结果。测量工质压力的仪器称为压力计。由于压力计的测压零件处于某种环境压力的作用下,因此压力计所测得的压力是工质的真实压力(或称绝对压力)与环境介质压力之差,叫做表压力或真空度。

比体积是指单位质量物质所占的体积,即 $u = V/m$, 式中: u 为比体积, m^3/kg ; m 为物质的质量, kg ; V 为物质的体积, m^3 。

单位体积物质的质量称为密度,单位为 kg/m^3 。密度用符号 ρ 表示,即 $\rho = m/V$, 显然, V 与 ρ 互成倒数,因此它们不是互相独立的参数,可以任意选用其中之一,工程热力学中通常用 V 作为独立参数。

2. 系统、外界和边界

凡物质世界的一部分,它可以是一定数量的物质或者是空间中的一个区域,如果其特性是我们所要研究的对象,则这一部分物质世界或区域就称作系统。凡与系统发生相互作用的周围其他部分称作系统的外界。系统被其边界面从外界中分隔出来。系统的能含可以由热流、功流和质流越过其边界面而被改变。

如果系统和其外界之间没有任何相互作用,这个系统就是孤立系统。因此孤立系统的质量是恒定的,其能含也是恒定的。如果系统和其外界没有物质交换就称作闭口系统。所

以闭口系统是一个定质量系统。只有热流和功流才是我们所能借以改变闭口系统能含的惟一途径。如果质流、热流和功流都可能越过系统的边界面,则这个系统称作开口系统。如果热流被阻挡而不能传越边界面,则系统与外界是绝热的。这种情况下的边界面称作绝热壁。

3. 特性参数、状态和过程

热力系统由称作热力特性参数的量所表征。为了描述一个系统,需给出系统特性参数值。特性参数分为量性和度性两类。量性参数与系统中物质的数量成正比,它们是可加的。度性参数与系统中物质的数量无关,它们是不可加的。

当系统所有特性参数都已确定时,系统处于给定状态。当系统从一个状态变化到另一个状态时,系统经历了一个过程。当系统的初态和终态相同时,系统经历了一个循环过程,简称循环。

有许多过程可用来改变系统的状态。在热力学上有特殊意义的是准静态的和可逆的两种理想过程。准静态过程是指过程进行当中,系统内部在所有时间内都是无限小地接近于平衡状态。因而这种过程的路线可以用一系列的平衡状态来表示。准静态过程是一个内部可逆过程,这是因为只要使驱动力无限小地大于(或小于)正向过程的驱动力,过程就可以倒转过来按相反的方向进行。原则上这种过程只有无限缓慢地进行才能实现。

可逆过程在过程完成以后,系统和所有参与过程的外界都能恢复到原来的初始状态而不会使周围的其余部分有任何变化。所以可逆过程必然不仅是内部可逆的(准静态的)而且也是外部可逆的。由于我们无法排除所有的损耗效应,所以一切实际过程都是不可逆过程。

4. 热力平衡、热平衡和温度

热力平衡是指系统某一状态的所有特性参数不再受时间的限制。原则上只有当系统与外界不发生任何作用时,才有可能实现热力平衡。热力平衡也可以用自动变化的倾向性这一术语来表示。如果系统受到很小的干扰后便自动地返回到原来状态,则系统将处于热力平衡状态。热力学第二定律提供了定量检验热力平衡的方法。就孤立系统来说,当其熵达到最大时,系统就达到了热力平衡。

热平衡是热力平衡的必要条件,从而推断出热力学所独有的特性参数温度的存在。当两个物体通过导热壁互相接触在一起时,只有温度相等才能出现热平衡,否则它们之间总会有热的相互作用。

5. 热和功

热是系统和外界之间的一种相互作用,它是能量借以传过系统边界面的三种机理之一(另外两种是功的相互作用和质的相互作用)。热量传递的驱动力是温度。当两个温度不同的物体处于热接触状态时,便发生热相互作用。只有当系统中存在状态变化的时候热相互作用才是可能的。因而不能说在某一状态下系统有多少热量。也就是说热不是一个热力特性参数。对于经历准静态状态变化的闭口系统,其传热量与熵的变化有如下的关系:

$$dQ_{\text{可逆}} = TdS$$

热源是对于另一个系统作为冷源或热源用的物体或系统的统称。当系统发生热相互作用

用时,这个系统的温度始终保持恒定不变。这只有在热源的能量容量与越过其边界面的有限数量的能量相比是非常大的情况下才有可能。而且还表示热源不论在什么时候必然保持在所给定的平衡状态。从热力学第二定律来考虑,出现在热源中的一切过程都是可逆过程。因此,给定的热相互作用而导致的热源的熵的变化为:

$$[S_2 - S_1 = Q_{12}/T]_{\text{热源}}$$

功是能量借以传过系统边界面的一种相互作用。只有当系统中有状态变化时才有可能出现功相互作用。因此功不是一个热力特性参数。为了确定是否有功的相互作用,可以通过观察或测量这种相互作用对外界的效果。如果系统对外部能够提升起重物,则说明系统对外界作了功。根据系统边界面的不同,可以包括功在内,也可以不包括功在内。

功源是一个储存能量的系统。凡通过其边界面的每单位的能量都是可以作功的能量。这一定义意味着根据热力学第二定律,出现在功源中的一切过程,如同热源中那样,都是可逆过程。既然功源是只有功量传越其边界面的闭口系统,那么由于功相互作用所导致的功源的熵的变化必然等于零。即

$$[dS = 0]_{\text{功源}}$$

6. 能和熵

能量是一个量性特性参数,它是可加的。凡是系统都具有能量。系统中能的品质用其潜在的作功能力来量度。能是既不能创生也不能消灭。如果把系统与外界隔绝开来,则系统的能量是守恒的。

对任何一个系统,用文字表达有

$$\text{输入的能量} - \text{输出的能量} = \text{储存的能量的变化}$$

$$\text{或} \quad (\text{储存的能量的变化}) + (\text{输出的能量} - \text{输入的能量}) = 0$$

上式中左边可以解释为给定过程下孤立系统中产生的能量。(根据能量守恒原理孤立系统中产生的能量必然等于零)第一项表示所研究的系统中能量的变化,第二个括弧内各项表示与所研究的系统发生相互作用的外界中能量的变化。上式是热力学第一定律的普遍表达式。

熵是一个量性概念。凡是系统都具有熵。也就是说除功源以外,对于任何一个系统总是可能发生熵变。熵的解释之一:熵是衡量系统中那部分不可能用以作功的能量的指标。

孤立系统的熵是不守恒的。事实上孤立系统中的熵是时间的单调递增函数。在这一点上,熵和能有下述根本的区别:能是一个守恒性特性参数,熵则不是。用文字表达,对于任何一个系统有:

$$\text{孤立系统中熵的增生} = \text{系统中熵的变化} + \text{外界熵的变化} \geq 0$$

上式是热力学第二定律的一般表述。等号是对可逆过程而言的。热力学第二定律对于任何一个系统还可表示为:

$$\text{孤立系统中熵的增生} = (\text{系统中熵的变化}) + (\text{流出的熵} - \text{流入的熵}) \geq 0$$

二、热力学基本定律

1. 热力学第一定律

能量守恒与转换定律表示自然界中的一切物质都具有能量,能量不可能被消灭;能量可以从一种形态转变为另一种形态,且在能量的转化过程中总量保持不变。热力学第一定律就是能量守恒与转换定律在热现象中的应用,它确定了热力过程中热力系统与外界进行能量交换时,各种形态能量数量上的守恒关系。

运动是物质的基本属性,能量是物质运动的度量。分子运动学阐明了热能是组成物质的分子、原子等微粒的杂乱运动——热运动的能量。既然热能和其他形态的能量都是物质的运动,那么热能和其他形态的能量可以相互转换,在转化时能量是守恒的。在工程热力学中,主要是指热能和机械能之间的相互转换与守恒,所以热力学第一定律可表述为:

“热是能的一种,机械能变热能,或热能变机械能的时候,它们之间的比值是一定的。”或“热可以变为功,功也可变为热。一定量的热消失时必产生相应量的功;消耗一定量的功时必出现与之对应的一定量的热。”

热力学第一定律是人类在实践中累积经验的总结,事实表明第一类永动机至今仍未造成,第一定律所得出的一切推论都与实际相符合等就充分说明它的正确性。

2. 热力学第二定律

热力学第二定律表明了与热现象相关的各种过程进行的方向、条件及限度的关系。由于在工程实践中热现象的普遍存在,热力学第二定律广泛应用在热量传递、热功互变、化学反应、燃料燃烧、气体扩散、混合、分离、溶解、结晶、辐射、生物化学、生命现象、信息理论、低温物理、气象、以及其他许多领域。针对各类具体情况,热力学第二定律有多种表述形式,以下是两种最基本的表达形式。

(1) 热力学第二定律的克劳修斯表达方式

克劳修斯(Dudolf Clausius)在1850年从热量传递方向性的角度提出:热不可能自发地、不付代价地从低温物体传至高温物体。通过热泵装置的逆向制冷循环可以将热量自低温物体传向高温物体,并不违反热力学第二定律,因为它是花了代价而非自发进行的。非自发过程(热量自低温物体传向高温物体)的进行,必须同时伴随一个自发过程(机械能变为热能)作为代价、补充条件,被称为补偿过程。

(2) 热力学第二定律的开尔文表达方式

卡诺(Sadi Carnot)在1824年提出了热能转化为机械能的根本条件是“凡有温度差的地方都能产生动力”。实质上,它是热力学第二定律的一种表达方式。随着蒸气机的出现,人们在提高热机效率的研究中认识到,只有一个热源的热动力装置是无法工作的,要使热能连续地转化为机械能至少需要两个(或多于两个)温度不同的热源,通常以大气中的空气或环境温度下的水作为低温热源,另外还需有高于环境温度的高温热源。1851年前后,开尔文(Lord Kelvin)和普朗克(Max Planck)等人从热能转化为机械能的角度先后提出热力学第二动力的开尔文说法:不可能制造出从单一热源吸热、使之全部转化为功而

不留下其他任何变化的热力发动机。“不留下其他任何变化”包括对热机内部、外界环境及其他物体都不留下其他任何变化,当然热机必须是循环发动机。“全部”意味着用任何技术手段都不可能使取自热源的热全部转化为机械功,不可避免地有一部分要排给温度更低的低温热源。同样得出结论:非自发过程(热转变为功)的实现,必须有一个自发过程(部分热量由高温传向低温)作为补充条件。这种自发过程不限于一种形式。

理想气体进行定温膨胀时,从单一恒温热源吸入的热量等于对外作出的功,留下的变化就是气体的压力降低、体积增大,状态发生了变化。在无摩擦损失的理想情况下,功可以全部转化为机械能,从这个意义上说功和机械能是等价的。开尔文说法从本质上反映了热能和机械能存在质的差别。

有人设想制造一台机器,使其从环境大气或海水里吸热不断获得机械功。这种单一热源下作功的动力机称为第二类永动机。它虽不违反热力学第一定律的能量守恒原则,但是违背了热力学第二定律,因而热力学第二定律也可以表述为:第二类永动机是不存在的。

由于耗散效应和有限势差作用下的非准平衡变化是造成过程不可逆的两大因素,实际过程不可避免地存在这样或那样的不可逆因素。因而,不可逆过程相互之间的相关性,反映在热力学第二定律的各种说法在表征过程方向上也是等效的。

热力学第一定律和热力学第二定律是根据无数实践经验得出的基本定律,具有广泛的适用性和高度的可靠性。但是热能的本质、热现象之所以有方向性,其原因是不能用经典热力学宏观研究方法能解释的,只有在统计热力学中用微观的以及统计的方法才能予以描述。

三、热力循环分析

通常实用的热力发动机必须能连续不断地作功,工质在经历了一系列状态变化过程后,必须能回到原来的状态。如蒸气动力装置,水在锅炉中吸热变成高温高压蒸汽后通入汽轮机膨胀作功,作功后的乏气又在冷凝器中凝结成水,最后被水泵压缩升压,重新进入锅炉。作为工质的水和它的蒸气在经过若干过程后,重又回到原来的状态。这样一系列过程的综合,叫做热力循环,简称循环。工质完成循环后恢复其原来的状态,这有可能按相同的过程不断重复运行而连续不断地作功。当然,蒸气动力装置也可以不用冷凝器,把乏气直接排入大气,而另外从自然界取水供入锅炉。这种情况下,工质在装置内部虽未完成循环,但乏气排入大气后要被冷凝成环境温度和环境压力的水,其状态和补充给锅炉的水相同。从热力学的观点,工质仍完成了循环,只是有一部分过程在大气环境中进行。

全部由可逆过程组成的循环称为可逆循环;若循环中有部分过程或全部过程是不可逆的,则该循环为不可逆循环。在状态参数图上,可逆循环的全部过程构成一闭合曲线。根据曲线进行方向的不同,可以把循环分为正向热力循环和逆向制冷循环。将热能转化为机械能的循环叫正向热力循环,它使外界得到功;将热量从低温热源传给高温热源的循环叫逆向制冷循环,一般来讲逆向制冷循环必然消耗功。

1. 正向热力循环

正向热力循环也叫热动力循环,图 1-1 (a)、(b) 分别为该循环的 $p-v$ 图及相应的 $T-s$

图。以下就 1kg 工质在封闭气缸内进行一个任意的可逆正向热力循环为例,说明正向热力循环的性质。

在图 1-1 (a) 中,1-2-3 为膨胀过程,过程功以面积 1-2-3-n-m-1 表示。3-4-1 为压缩过程,该过程消耗的功以面积 3-4-1-m-n-3 表示。工质完成一个循环后对外作出的净功称循环功,以 w_{net} 表示。显然,循环功等于膨胀作出的功减去压缩消耗的功,在 $p-v$ 图上它等于循环曲线包围的面积,即面积 1-2-3-4-1。根据约定:工质膨胀作功为正,压缩耗功为负。因此,循环净功 w_{net} 就是工质沿一个循环过程所作功的代数和,即:

$$w_{\text{net}} = \oint \delta w$$

工质完成一个循环之后,对外作出正的净功,所以膨胀过程线位置高于压缩过程线,膨胀功数值上大于压缩功。为此,可使工质在膨胀过程开始前,或在膨胀过程中,与高温热源接触,从中吸入热量;而在压缩过程开始前,或在压缩过程中,工质与低温热源接触,放出热量。这样就保证了在相同体积时膨胀过程的温度较压缩过程高,使得膨胀过程压力比压缩过程高,做到膨胀过程线位于压缩过程线之上。例如图 1-1 (a) 中的状态 2 和 4, $v_2 = v_4$, $p_2 > p_4$ 。现今使用的热动力设备,工质往往在膨胀前加热,压缩前放热,正是这个道理。

同一循环 $T-s$ 图见图 1-1 (b),图中 5-6-7 是工质从热源吸热的过程,所吸热量为面积 5-6-7-f-e-5,以 q_1 表示;7-8-5 是放热过程,放出的热量为面积 7-8-5-e-f-7,以 q_2 表示。若以 q_{net} 可用循环过程线包围的面积 5-6-7-8-5 表示。显然,它等于循环过程中工质与热源及冷源换热量的代数和,即:

$$q_{\text{net}} = q_1 - q_2 = \oint \delta q$$

由图 1-1 可见,正向热力循环在 $p-v$ 图和 $T-s$ 图上都是按顺时针方向进行的。

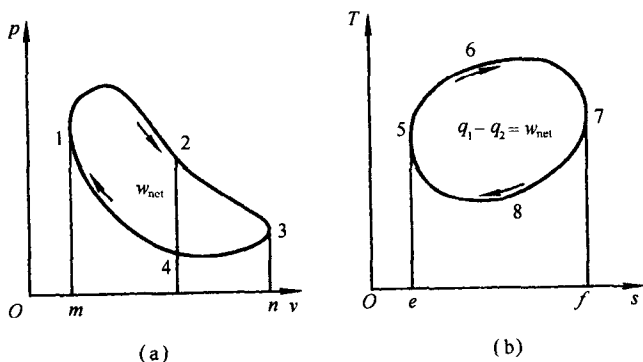


图 1-1 正向热力循环

正向热力循环的经济性用热效率 η_t 来衡量。据前述,正向热力循环的收益是循环净功 w_{net} ,花费的代价是工质吸热量 q_1 ,故

$$\eta_t = w_{\text{net}} / q_1$$

η_t 愈大, 吸入同样的热量 q_1 时得到的循环功 w_{net} 愈多, 它表明循环的经济性愈好。上式是分析、计算循环效率的基本公式, 普遍适用于各种类型的热动力循环 (包括可逆或不可逆循环)。

2. 逆向制冷循环

逆向制冷循环主要应用于制冷装置和热泵。在制冷装置中, 功源 (如电动机) 供给一定的机械能, 使低温冷藏库或冰箱中的热量排向环境大气。热泵则消耗机械能把低温热源, 如室外大气中的热量输向温度较高的室内, 使室内空气获得热量维持较高的温度。两种装置用途不同, 其热力学原理相同, 均是在循环中消耗机械能 (或其他能量), 把热量从低温热源传向高温热源。

如图 1-2 (a) 所示, 工质沿 1-2-3 膨胀到状态 3, 然后循较高的压缩线 3-4-1 压缩回状态 1, 这时压缩过程消耗的功大于膨胀过程作出的功, 故需由外界向工质输入功, 其数值为循环净功 w_{net} , 即 $p-v$ 图上封闭曲线包围的面积 1-2-3-4-1。在 $T-s$ 图中, 同一循环的吸热过程 5-6-7, 放热过程为 7-8-5。工质从低温热源吸热 q_2 , 向高温热源放热 q_1 , 其差值为循环净热量 w_{net} , 即 $T-s$ 图上封闭曲线包围的面积 5-6-7-8-5。

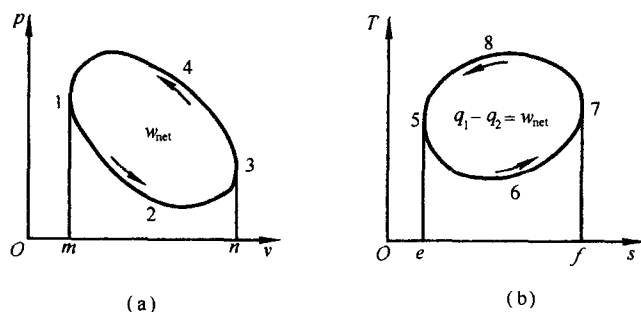


图 1-2 逆向制冷循环

逆向制冷循环时, 工质在吸热前可先进行膨胀降温过程 (如绝热膨胀), 使工质的温度降低到能自低温热源吸取热量; 而在放热过程前, 进行压缩升温过程 (如绝热压缩), 使温度升高到能向高温热源放热。可见, 逆向制冷循环在 $p-v$ 图和 $T-s$ 图上都按逆时针方向进行。

制冷循环和热泵循环的用途不同, 即收益不同, 故其经济性指标也不同, 分别用制冷系数 ϵ 和热泵系数 (也称供热系数) ϵ' 表示:

$$\epsilon = q_2 / w_{\text{net}} \quad \epsilon' = q_1 / w_{\text{net}}$$

与热效率 η_t 一样, 制冷系数 ϵ 和热泵系数 ϵ' 愈大, 表明循环经济性愈好。

第二节 发动机理论循环

一、理论循环的简化

发动机实际的热力循环经历了进气、压缩、燃烧、膨胀和排气等多个过程,其中工质存在着质和量的变化,整个过程是不可逆的。在能量的转变过程中,实际循环还存在着机械摩擦、泵气、散热、燃烧等一系列的损失,其物理、化学过程十分复杂,要确切地描述在发动机中实际进行的热力过程,了解发动机热能利用的完善程度,能量相互转换的效率,寻求提高热量利用率的途径,在不失其基本物理、化学过程特征的前提下,将发动机的实际循环进行若干简化,使其既近似于讨论的实际循环,又简化了实际变化纷繁的物理、化学过程,提出了便于定量分析的假想循环,为讨论实际循环提供了理论依据。这种假想循环就称为理论循环。其简化假定如下:

(1) 工质是一种理想的完全气体,在整个循环中保持物理及化学性质不变,其状态参量的变化完全遵守气体状态方程。

(2) 忽略实际存在的工质更换以及漏气损失,工质数量保持不变,循环是在定量工质下进行的。

(3) 把气缸内工质的压缩和膨胀看成是完全理想的绝热等熵过程,工质与外界不进行热交换,工质比热为常数。

(4) 忽略燃烧过程用假想的定容放热和定容或定压加热来代替实际的换气和燃烧过程。

二、理论循环的分析

1. 混合加热循环

混合加热循环将发动机燃烧过程假想为定容加热过程和定压加热过程两部分,如图1-3(a)所示。在该循环中: $a-c$ 为绝热压缩过程; $c-z$ 为定容加热过程,加热量为 Q_1' ; $z-z'$ 为定压加热过程,加热量为 Q_1'' ; $z'-b$ 为绝热膨胀过程; $b-a$ 为定容放热过程,放热量为 Q_2 。

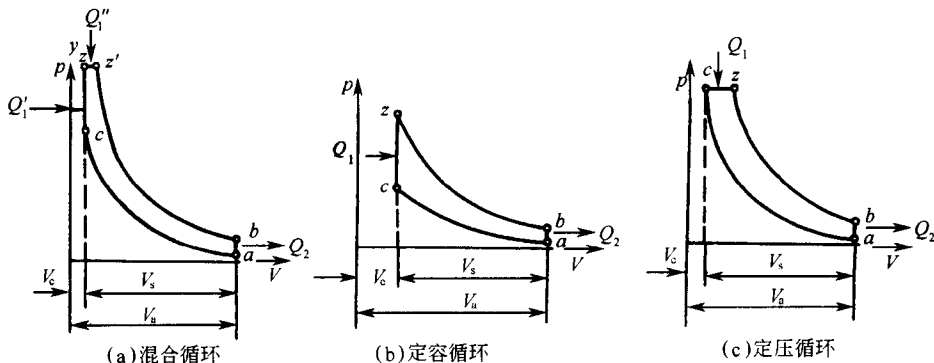


图 1-3 发动机理论循环的示功图