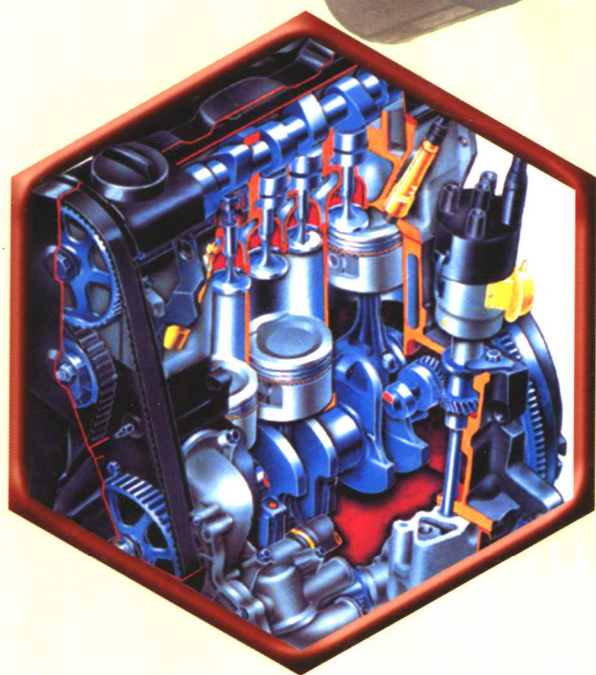




汽车拖拉机理论

公路工程机械使用与维修专业用

● 主编 刘银瑞
● 主审 严 军



人民交通出版社
China Communications Press

全国交通高级技工学校通用教材

Qiche Tuolaji Lilun

汽车拖拉机理论

(公路工程机械使用与维修专业用)

刘银瑞 主编

严 军 主审

人民交通出版社

内 容 提 要

本书内容包括:热力学基础,发动机热力循环和性能指标,发动机换气过程,发动机燃烧过程,发动机特性,汽车及履带式拖拉机的牵引、动力性能和燃油经济性,履带式拖拉机的行驶理论、转向理论和行驶稳定性,汽车的制动性和行驶稳定性。

本书是全国交通高级技工学校公路工程机械使用与维修专业教学用书,也可供有关技术人员学习参考,或作为职业培训教材以及高级工、技师、高级技师培训的选用教材。

图书在版编目(CIP)数据

汽车拖拉机理论 / 刘银瑞主编. —北京:人民交通出版社, 2005.10

ISBN 7-114-05814-4

I. 汽... II. 刘... III. ①汽车—概论②拖拉机—概论 IV. ①U461 ②S219.01

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第120574号

全国交通高级技工学校通用教材

书 名: 汽车拖拉机理论(公路工程机械使用与维修专业用)

著 作 者: 刘银瑞

责任编辑: 赵履榕

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.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)85285656, 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: 北京交通印务实业公司

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 13

字 数: 320 千

版 次: 2005年11月 第1版

印 次: 2005年11月 第1次印刷

书 号: ISBN 7-114-05814-4

印 数: 0001 — 3000 册

定 价: 23.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前言

FOREWORD

为了适应交通新的跨越式发展,积极推进一体化教学改革,进一步加快高级技工学校公路类专业教材建设,交通职业教育教学指导委员会公路类(技工)学科委员会和交通技工教育研究会公路专业委员会组织制定了高级技工学校公路施工与养护和公路工程机械使用与维修两个专业的教学计划与教学大纲,并依此确定了教学改革和教材改革的模式。2004年3月启动教材的编写工作,2005年7月交稿。

本套教材用于培养公路类专业高级技工和技师,它具有以下特点:

1. 教材内容与高级工等级标准、考核标准相衔接,适应现代化施工与养护的基本要求,教材全部采用最新的标准和规范,符合先进性、科学性和实用性的要求。
2. 教材编写满足理实一体化和模块式的教学方式,以操作技能为主,体现职业教育特色,使学生具备较高的实用技能。
3. 教材与作业、题库配套。各课程均编写了“习题集和答案”,汇成题库和题解,供学生做作业和练习,也可供命题参考。

本套教材由柯爱琴担任责任编辑。

《汽车拖拉机理论》是全国交通高级技工学校公路工程机械使用与维修专业通用教材之一,内容包括:热力学基础,发动机热力循环和性能指标,发动机换气过程,发动机燃烧过程,发动机特性,汽车及履带式拖拉机的牵引、动力性能和燃油经济性,履带拖拉机的行驶理论、转向理论和行驶稳定性,汽车的制动性和行驶稳定性。

参加本书编写工作的有:河南省交通技工学校刘银瑞(编写单元一~四),山西交通高级技工学校张爱玲(编写单元五、六、七、十),河南南阳公路技工学校李连军(编写单元八、九、十一~十四)。全书由刘银瑞担任主编,浙江公路机械技工学校严军担任主审。

本套教材在编写过程中,得到了全国16个省市的高级技工学校领导的大力支持和帮助,共有60余名公路类专业教师参与了教材的编审工作,在此表示感谢。

由于我们的业务水平和教学经验有限,书中有不妥之处,恳切希望使用本书的教师和读者批评指正。

交通职业教育教学指导委员会公路类(技工)学科委员会
交通技工教育研究会公路专业委员会

二〇〇五年八月

目 录

CONTENTS

单元一 发动机工作循环	1
课题一 基本概念	1
课题二 发动机理论循环	6
课题三 发动机实际循环	9
单元二 发动机性能指标	14
课题一 发动机的指示指标	14
课题二 发动机的有效指标	16
课题三 发动机的机械损失及测量	17
课题四 发动机性能指标的标定	20
单元三 发动机的换气过程	22
课题一 四冲程发动机的换气过程	22
课题二 四冲程发动机的换气损失	25
课题三 四冲程发动机的充气效率	26
课题四 发动机的增压	33
单元四 发动机的燃烧过程	44
课题一 柴油发动机的燃烧过程	44
课题二 汽油发动机的燃烧过程	67
课题三 内燃机的排气污染与净化	80
单元五 发动机的特性	90
课题一 发动机的调整特性	90
课题二 发动机的速度特性	92
课题三 发动机的负荷特性	97
课题四 发动机的万有特性	100
单元六 发动机的台架试验	102
课题一 发动机试验的分类	102
课题二 有效功率的测量	104
课题三 燃油消耗率的测量	108
单元七 汽车的动力性	112
课题一 汽车动力学	112
课题二 汽车动力性分析	118

课题三 汽车动力性的影响因素·····	124
课题四 汽车动力性试验·····	130
单元八 履带式拖拉机的行驶理论·····	135
课题一 履带式拖拉机的行驶原理·····	135
课题二 履带式行走装置的运动学·····	136
课题三 履带式行走装置动力学·····	139
课题四 履带式拖拉机的附着性能·····	143
单元九 履带式拖拉机的牵引性能·····	146
课题一 履带式拖拉机的牵引平衡·····	146
课题二 履带式拖拉机的功率平衡和牵引效率·····	148
课题三 履带式拖拉机的牵引特性·····	149
单元十 汽车拖拉机的燃油经济性·····	154
课题一 汽车的燃油经济性·····	154
课题二 影响汽车燃油经济性的因素·····	158
课题三 拖拉机的燃油经济性·····	164
单元十一 汽车的制动性能·····	166
课题一 汽车的制动力和制动性能的评价指标·····	166
课题二 汽车制动时的稳定性·····	168
课题三 影响汽车制动性的因素·····	170
单元十二 拖拉机汽车的行驶稳定性·····	173
课题一 汽车的行驶稳定性·····	173
课题二 汽车抗侧向偏离的行驶稳定性·····	175
课题三 汽车转向轮的振动及其稳定效应·····	178
课题四 履带式拖拉机的稳定性·····	183
单元十三 履带式拖拉机的转向理论·····	186
课题一 履带式拖拉机的转向运动学·····	186
课题二 履带式拖拉机的转向动力学·····	187
课题三 履带式拖拉机的转向阻力·····	188
课题四 履带式拖拉机的转向能力·····	189
课题五 具有转向离合器机构的履带拖拉机的转向性能·····	191
单元十四 拖拉机汽车的通过性·····	192
课题一 汽车的通过性·····	192
课题二 履带拖拉机的通过性·····	196
参考文献·····	197



单元一 发动机工作循环

【知识目标】

1. 掌握状态参数的含义,了解状态方程式;
2. 理解理论循环的基本指标,了解三种理论循环的特点和影响因素;
3. 深刻理解发动的实际循环,学会分析发动的示功图。

发动机是汽车和各种工程机械的动力源。汽车及工程机械的运输效率和工作效率在很大程度上依赖于发动机的质量。往复式活塞式四冲程发动机在汽车和工程机械中应用最为广泛,只有深入研究其工作过程、燃烧过程,才能找出影响其性能指标的各种因素,并从中归纳出提高整机性能的一般规律。

课题一 基本概念

工程热力学是学习发动机原理的理论基础,它主要研究热能转换成机械能的规律和方法以及提高转化效率的途径。因此,我们首先要学习热力学中相关的基本概念和规律。本课题仅就热力学的基本概念作一简要概述。

一、工质

发动机利用可燃混合气燃烧获得高温高压的燃气,推动活塞移动而作功,最后将废气排入大气。我们把实现热能和机械能相互转化的媒体介质叫做工质。发动机的工质是空气和可燃混合气。因为气体具有良好的流动性和膨胀性,便于迅速引进热机,作功以后又能迅速排出,在相同的压差和温差下,其膨胀比最大,因而能够有效地作功。同时,气体的热力性质最简单,可以简化为理想气体。

所谓理想气体就是假设分子是弹性的,不占据体积的质点,分子相互之间没有作用力。在这两个假设的条件下,气体的分子运动规律将大大简化,我们不但可以定性的分析气体的热力学现象,而且可以定量地得出状态参数之间的函数关系式。

在热力学中,通常把空气、燃气等气体近似地看作理想气体来进行各种热力计算,其结果误差很小。所以对理想气体性质的研究在理论上和实际上都很重要。



气体的状态参数与状态方程

1. 气体的状态参数

工质在热力设备中,必须通过吸热、膨胀、排热等过程才能完成热能转变为机械能的工作。在此过程中,工质的宏观物理状况随时在起变化,我们把工质在热力变化过程中某一瞬间呈现的宏观物理状况称为工质的热力学状态,简称状态。工质的状态常用一些宏观物理量来描述,这种用来描述工质所处状态的宏观物理量称为状态参数。在研究热力过程时,采用温度、压力、比容作为工质的基本状态参数。

1) 温度

温度是标志物体冷热的程度。从微观上看,温度标志物质分子热运动的激烈程度。对于气体,它是大量分子平移动能平均值的量度。

温度的测量可用温度计,测量温度的标尺叫温标。摄氏温标用于公制系统,用 t 表示,它规定在标准大气压下纯水的冰点是 0°C 。国际单位制中采用热力学温标,用符号 T 表示。热力学温度单位是开尔文,符号为 K 。热力学温标的基准点采用水的三相点,即水的固相、液相、汽相平衡共存的状态点。两种温标的换算关系为

$$t = T - 273.15 \quad (1-1-1)$$

两种温标一度的大小相同,只是温标的零点不同。必须指出,只有热力学温标才是状态参数。

2) 压力

单位面积上所受到的垂直作用力称为压力,用 p 表示。分子运动说把气体的压力看作是分子撞击容器内壁的结果。气体作用在容器壁上的真实压力叫绝对压力。它表示工质的真实状态,是气体的状态参数之一。绝大多数用来测量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。

高于大气的压力用压力表测量。设测出的表压力为 p_g ,则气体的绝对压力为

$$p = p_0 + p_g \quad (1-1-2)$$

低于大气的压力用真空表测量,测出的表压力值称为真空度 p_v 。真空度表示气体压力低于大气压力的值。此时气体的绝对压力为

$$p = p_0 - p_v \quad (1-1-3)$$

绝对压力、表压力、真空度和大气压力之间的关系可用图 1-1-1 说明。

在国际单位制中压力的单位名称为帕,单位符号为 Pa 。工程上常采用千帕(kPa)和兆帕(MPa)。换算关系为

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

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

3) 比容

单位质量物质所占的容积称为比容,用字母 v 表示。国际单位制中用 m^3/kg 作单位。

2. 理想气体的状态方程

一个热力系统,如果在不受外界影响的条件下,系统的状态能够始终保持不变,则系统的

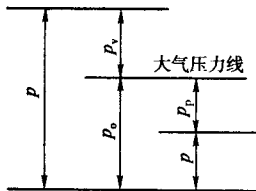


图 1-1-1 绝对压力、表压力及真空度的相互关系



这种状态称为平衡状态。对于由气态工质组成的热力系统,当处于平衡状态时,各部分具有相同的压力、温度和比容等参数。这三个参数之间并不相互独立,而具有一定的关系。理想气体的压力、温度和比容三者之间的关系式称为理想气体的状态方程。写作

$$pv = RT \quad (1-1-4)$$

式中: R ——气体常数。由于在同温同压下,同体积的各种气体质量各不相同,因而 R 值随气体种类而异,各种气体都有一定的 R 值。

该方程式表明气体只有两个状态参数是独立的,可以根据任意两个已知状态参数确定另一个参数。

在国际单位制中,各量的单位: $p(\text{Pa})$; $v(\text{m}^3/\text{kg})$; $T(\text{K})$; $R(\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K}))$ 。

三 热力过程及其功量

1. 热力过程

热能和机械能的相互转化必须通过工质的状态变化过程才能完成。工质在发动机中不断进行吸热、膨胀、压缩等过程,使热能不断的转化为机械能而作功。

例如,在带有活塞的气缸中有某种气体,如图 1-1-2 所示。当气体受热时就进行膨胀,气体作用在活塞上的总压力大于加在活塞上的外力,气体就推动活塞而对外作功。在这个例子中,热量的加入和膨胀功的输出是伴随着气体的压力、温度、比容的变化而发生的。这种工质状态参数的一系列变化过程就叫热力过程。过程开始的状态称为初态,过程终止的状态称为终态。

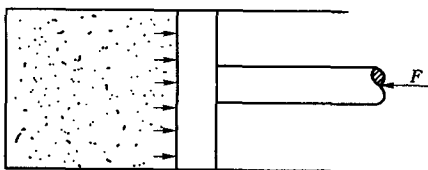


图 1-1-2 气体的热力过程

气体在某一状态时,它的状态参数间的关系可用状态方程式来表示,但状态方程式只适用于平衡状态。

在实际设备中进行的热力过程都是很复杂的。首先,一切过程都是平衡被破坏的结果,工质和外界有了热和力的不平衡才能促使工质向新的状态变化,故实际过程都是不平衡的。

为了要利用状态方程式来说明热力过程,就必须设想这样一个假设过程,这个过程是由无数多的、前后连续的变化极其缓慢的平衡状态所组成。在每一个平衡状态变化至相邻的另一个平衡状态时,在整个容积内,气体的压力和温度必须保持一致。这样,整个状态变化过程可以看作无数个前后承接的平衡状态组成,这样的过程就叫平衡过程。

平衡过程是实际过程的理想化。为了解决实际过程的问题,常常将实际过程有条件的、近似的看作平衡过程来研究。

2. 压容坐标图

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。

由气体状态方程式可知,用两个独立的状态参数可以确定气体的状态,所以我们采用平面坐标图来描述一定的状态,即压力和比容组成直角坐标图,简称压容图或 $p-v$ 图。例如,具有压力 p_1 ,比容 v_1 的气体,它的状态可用 $p-v$ 图中的点 1 来表示。如图 1-1-3a) 所示。显然只有平衡状态才能用图上的一点来表示,不平衡状态没有一定的参数,在坐标图上无法表示。

一个热力过程,从初态 1 到终态 2 可以逐点度量气体的压力和比容而描绘在压容坐标图



上,形成一条连续的曲线,叫作过程曲线,它表示一个平衡过程。如图 1-1-3b) 所示。

3. 功量

在热力过程中,装在气缸中的气体压力如果大于外界压力,那么活塞就会向外移动,气体的体积增加而对外做功,这种功叫作气体的膨胀功。如果外界压力大于气体压力,我们就认为外界对气体做功,这种功叫做压缩功。

设有 $m\text{kg}$ 的气体工质在气缸中膨胀做功,其变化过程由图 1-1-4 中过程曲线 1-2 表示。

按照功的力学定义,工质推动活塞移动距离 dx 时,反抗外力所做的膨胀功为

$$dW = Fdx = PA dx = p dv \quad (1-1-5)$$

式中: A ——活塞面积;

dv ——工质容积变化量。

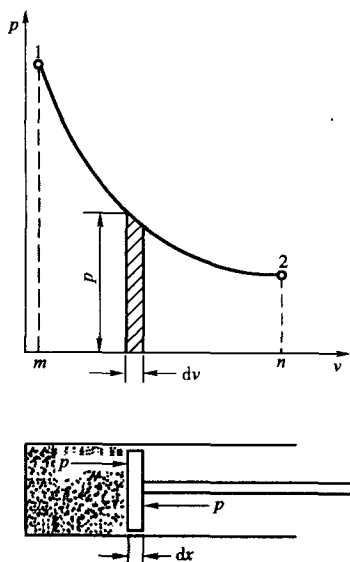


图 1-1-4 气体在气缸中所作的功

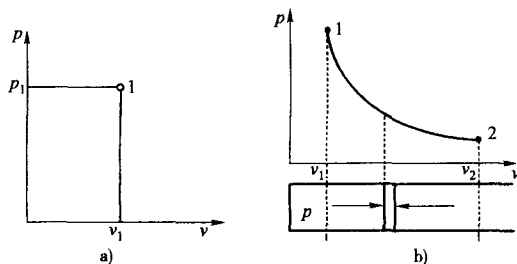


图 1-1-3 $p-v$ 图

在工质从状态 1 到状态 2 的膨胀过程中,膨胀功 W_{1-2} 在 $p-v$ 图上用过程曲线下方的面积 1-2-n-m-1 来表示。因此, $p-v$ 图也叫示功图。

在国际单位制中,功的单位为焦耳(J)。

四 循环和循环功

通过工质的热力变化过程,可以将热能转化为机械能而做功。当然,要做功必须通过工质的膨胀过程,但是任何一个热量膨胀过程都不可能一直进行下去,而且连续不断地做功。因为工质的状态将会变化到不适宜继续膨胀做功的情况。为使连续做功成为可能,工质在膨胀做功后还必须经历某些压缩过程,使它恢复到原来的状态,以便重新进行膨胀做功。这种使工质经历一系列的状态变化,重新恢复到原来状态的全部过程,就叫做一个循环。在状态参数的压容图上,循环的全部过程一定构成一个闭合曲线,整个循环可看作一个闭合过程,所以也称循环过程,简称循环。工质在完成一个循环之后,可以重复进行下一个循环,如此周而复始,就能连续不断地把热能转化为机械能。

随着效果的不同和进行方向的不同,可以分为正向循环和逆向循环。将热能转化为机械能的循环叫正向循环,它使外界得到功;将机械能转化为热能的循环叫逆向循环,其效果为:将热量从低温物体传给高温物体,这时必然消耗外功。

下面以 1kg 工质进行一个正向循环为例,概括说明正向循环的性质,如图 1-1-5 所示。图中,1-a-2 为膨胀过程,过程功以面积 1-a-2- v_2 - v_1 -1 表示。为使工质能继续做功,必须将工质从 2 压缩回到 1,如果循较低的压缩线 2-b-1,该过程消耗的功可以面积 2-b-1- v_1 - v_2 -2 表示,这样就构成了循环 1-a-2-b-1。工质完成一个循环对外作出的净功称循环功。以 w_0 表示。显然循环功等于膨胀作出的功减去压缩消耗的功,它总等于 $p-v$ 图上封闭曲线所包围的面积,即面积

1-a-2-b-1。根据规定,工质膨胀做功为正,压缩耗功为负,可见循环净功 w_0 就是工质沿一个循环过程所作功的代数和。

为使工质在完成一个循环之后,能够对外作出正的净功,循环中膨胀过程线位置必须高于压缩位置线,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,与高温热源接触,并从中吸入热量 q_1 ;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,并向冷源放出热量 q_2 。循环中吸热量减去放热量即为该循环的净热量,若以 q_0 表示,则 $q_0 = q_1 - q_2$ 。根据热力学的定律可得 $W_0 = q_0$,该式表明:循环的净功等于净热量。

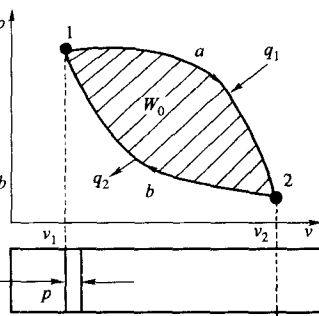


图 1-1-5 热力循环 p - v 图

由上述可知,完成一个正向循环后全部效果为:

- ①高温热源放出了热量 q_1 ;
- ②低温热源获得了热量 q_2 ;
- ③将 $(q_1 - q_2) = q_0$ 的热量转化为功。

于是,可得出如下结论:从高温热源得到的热能 q_1 ,其中只有一部分可以转化为功,在这部分热能转化为功的同时,必有另一部分 q_2 传向低温热源。一切热动力装置只能将自热源得到的热量中的一部分转化为功,这是热力循环共有的根本特性。

五 循环效率

正向循环的经济性用热效率 η_t 来衡量,即 $\eta_t = W_0/q_1$ 。 η_t 越大,即吸入同样的热力 q_1 时得到的循环功 W_0 越多,它表明循环功的经济性越高。上式是分析计算循环热效率最基本的公式。它普遍适用于各种类型的热动力循环。研究热力学的重要任务之一就是尽可能提高各种热动力循环的热效率。

六 比热

为了计算在状态变化过程中气体吸入或放出的热量,引入了比热的概念。物体温度升高 1°C 所需的热量叫热容,单位物量的物体温度升高 1°C 所需的热量叫比热容,简称比热。

根据选用计量物量的单位不同,有质量比热和容积比热之分。通常用质量千克作计量物量的单位,得到的是质量比热,它的单位名称是千焦/千克·开 ($\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$),用符号 c 表示;标准状况下 1m^3 气体温度升高 1°C 所需的热量称作容积比热,单位符号是 $\text{kJ/m}^3 \cdot \text{K}$,以 C 表示。

热量是与过程性质有关的量,即使过程的初、终态相同,如果途径不同,气体吸入或放出的热量也不同。故比热也是与过程特性有关的量,不同的热力过程比热值是不同的。热动力装置中工质的吸热和放热都是在接近容积不变或压力不变的条件下进行的,因此,定容过程和定压过程的比热最有现实意义,分别用 c_v 和 c_p 表示。

气体定容加热时容积不变,加入的热量全部转变为分子的动能,使气体温度升高;而定压加热时容积增大,气体要对外做功,这时加给气体的热量,一部分用来提高分子的动能,使气体温度升高,还有一部分要转变为机械能而对外做功。所以温度同样升高 1°C ,后者所需热量大于前者,即气体的定压比热总是大于定容比热。定压比热和定容比热的关系是



$$c_p = c_v + R \quad (1-1-6)$$

R 是气体常数,恒大于零。上式表明,同一种气体的 c_v 和 c_p ,同样温度时也不相同,且 $c_p > c_v$,其差值恒等于常数 R 。

此外,比热的比值 c_p/c_v ,在热力学理论研究和计算方面是一个重要的参数,用 k 表示, k 叫作绝热指数。

课题二 发动机理论循环



研究理论循环的意义

发动机在实际循环中所产生的一系列物理化学变化过程是非常复杂的,因而,若一开始就直接对实际循环作全面研究,那必然被种种变化万千的现象所困惑,以致茫然失措,无从着手,这时则需要借助于理论循环,而这些理论循环是人们根据发动机实际工作过程所表现的特征,予以科学抽象,经过适当的假设和简化而建立起来的。研究这些理论循环,可以用以下几种方式:

(1)用比较简单的理论公式来说明各基本热力学参数间的关系,以明确提高理论循环热效率和平均压力的基本途径。例如,理论循环所阐明的压缩比对提高循环热效率的作用曾在很长时期内引导人们为在汽油机中实现高压压缩比而进行了不懈的努力。

(2)确定极限的循环热效率,以用来判断实际发动机的经济性和工作过程的完善程度。

(3)有利于比较各种热力学循环的经济性和动力性。

根据不同的假设基础,可以形成不同的理论循环,而理论循环的假设基础越符合实际情况,则分析的结论也越接近于实际。



理论循环及基本指标

1. 发动机工作循环的简化

把实际循环简化为理论循环,需作如下假设:

- ①工质是理想气体,其比热视为定值。
- ②工质与外界无质量交换,不计进、排气过程及其流动损失。
- ③工质的压缩和膨胀过程均为绝热过程,不计缸壁传热、漏气等损失。
- ④燃烧过程为外界高温热源以等容过程、等压过程向工质加热,排气过程用等容放热过程代替。

⑤构成循环的各个过程均是可逆的。

2. 评定理论循环的基本指标

①循环的热效率 η_i 循环的热效率 η_i 是指工质的循环净功与工质在循环中吸收的热量的比值。热效率用来评定循环的经济性。

②循环平均压力 p_i 循环平均压力 p_i 表示单位气缸工作容积所作的循环功,用来评定循环的动力性。



3. 混合加热循环

高速柴油机的燃烧过程基本上由定容燃烧和定压燃烧两个阶段组成,故其工作循环可以理想化为混合加热循环。

图 1-2-1 为混合加热循环的 $p-v$ 图。该循环由 5 个可逆过程组成:1~2 为绝热压缩过程;2~3 为定容加热过程,吸热量为 Q_{1v} ;3~4 为定压加热过程,吸热量为 Q_{1p} ;4~5 为绝热膨胀过程;5~1 为定容放热过程,放热量为 Q_2 。

在描述混合加热循环的基本指标时,需定义下列循环特性参数:

压缩比

$$\varepsilon = \frac{v_1}{v_2}$$

压力升高比

$$\lambda = \frac{p_3}{p_2}$$

预胀比

$$\rho = \frac{v_4}{v_3}$$

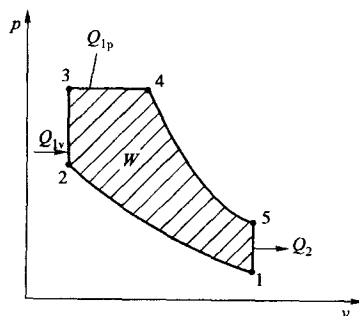


图 1-2-1 混合加热循环的 $p-v$ 图

根据工程热力学的有关公式可知,混合加热循环的热效率与压缩比、压力升高比、预胀比以及工质的绝热系数有关。混合加热循环的平均压力 p_i 随压缩始点压力、压缩比、压力升高比、预胀比和绝热系数的增大而增大。

4. 等容加热循环

每循环加入到气缸中的热量 Q_1 是在等容情况下加入的。汽油机因混合气燃烧非常迅速,气缸内温度、压力增长很快,其实际循环很接近等容加热循环,如图 1-2-2 所示。对比混合加热循环和等容加热循环可以发现,当混合气的预胀比等于 $\rho = 1$ 时,就得到等容加热循环。所以等容加热循环可以看作混合加热循环的一个特例。该循环包括 4 个过程:1~2 为绝热压缩过程;2~3 为等容加热过程,加热量为 Q_1 ;3~4 为绝热膨胀过程;4~1 为等容放热过程,放热量为 Q_2 。

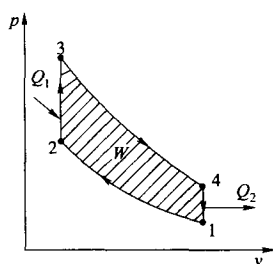
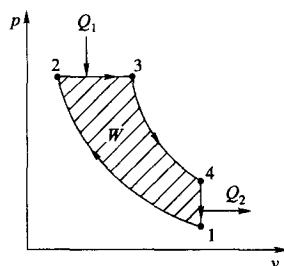
根据工程热力学的有关公式可知,等容加热循环热效率随压缩比及绝热指数的增大而增大。等容加热循环的平均压力随压缩始点压力、压缩比、压力升高比、预胀比和绝热系数的增大而增大。

5. 等压加热循环

高增压和低速大型柴油机中,由于受燃烧最高压力的限制,大部分燃油是在上止点后压力基本上一定的情况下燃烧的,其工作循环可以理想化为等压加热循环。

等压加热循环 $p-v$ 图如图 1-2-3 所示,可以发现,当混合加热循环中压力升高比 $\lambda = 1$ 时,就成为等压加热循环。故等压加热循环也可以看作混合加热循环的一个特例。该循环由 4 个可逆循环组成:1~2 为绝热压缩过程;2~3 为等压加热过程,加热量为 Q_1 ;3~4 为绝热膨胀过程;4~1 为等容放热过程,放热量为 Q_2 。

根据工程热力学的有关公式可知,等压加热循环热效率与压缩比、预胀比及绝热指数有关。等压加热循环的平均压力与压缩始点压力、预胀比、压缩比和绝热系数有关。

图 1-2-2 等容加热循环 $p-v$ 图图 1-2-3 等压加热循环的 $p-v$ 图

三 理论循环分析

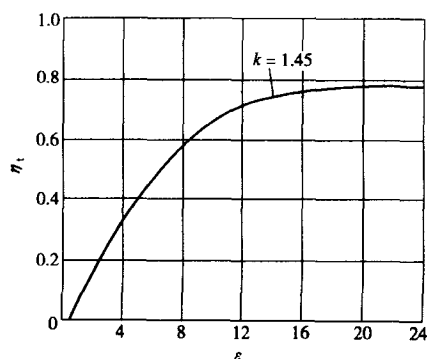
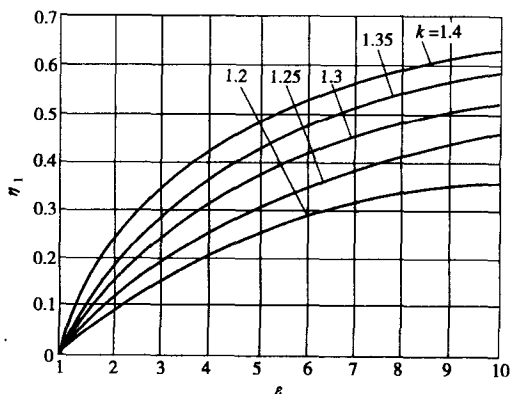
下面分析各参数对循环基本指标循环的热效率和循环平均压力的影响。

1. 压缩比

随着压缩比的增大,三种理论循环的热效率和平均压力都将提高。这是因为在加热量相同的情况下,提高压缩比可提高循环最高温度及平均吸热温度,降低循环平均放热温度,扩大循环温度差,增大膨胀比,使循环作功较多,循环的热效率和循环平均压力均随之提高。但热效率的增长率随压缩比的不断增长而逐渐变缓,如图 1-2-4 所示。

2. 绝热指数

绝热指数越大,则循环热效率越高。如图 1-2-5 所示。

图 1-2-4 等容加热循环热效率 η_t 与压缩比 ε 的关系图 1-2-5 η_t 与 ε, k 的关系

3. 压力升高比

增大压力升高比,可以增加混合循环中等容部分的加热量,提高了热量的利用率,因而也提高了循环热效率和循环平均压力。

4. 预胀比

在等压加热循环中,循环热效率随预胀比的增大而减小,循环平均压力将增大。如图 1-2-6 所示。在混合加热循环中,当压缩比、绝热指数、加热量保持不变时,随预胀比值增大循环热效率将降低。随着循环热效率的降低,在加热量 Q_1 不变的情况下则循环功 W 减少,因而,循环的平均压力也将降低。



从理论循环所得到的以上结论,是在不考虑发动机实际工作条件的约束下作出的。因而,在用于指导实践时,就必须顾及以下方面的限制:

1) 结构强度的限制

理论循环的分析指出:提高压缩比和压力升高比对改善循环热效率起着有利的作用,但是压缩比和压力升高比的提高必然导致最高燃烧压力的猛增。这对承载零件的结构强度要求较高,这必然加重发动机的重量,降低了发动机的使用寿命和可靠性。因此,在实际运用时,必须根据二者的具体情况,权衡二者的利弊而行事。

2) 机械效率方面的限制

发动机的机械效率与气缸中最大爆发压力密切相关,不加限制的提高压缩比或压力升高比必然会引起机械效率的下降。

3) 燃烧方面的限制

如果压缩比定的很大,压缩终点的温度和压力均升高很多,对汽油机将引起爆燃和表面点火等不正常燃烧的发生;对柴油机将由于压缩终了的气缸容积变得很小,给柴油机燃烧室的设计带来了困难,往往不利于高效率地燃烧,得不偿失。

所有这些情况,使得目前柴油机的压缩比一般在 $\varepsilon = 12 \sim 22$, 压力升高比 $\lambda = 1.3 \sim 2.2$; 汽油机的压缩比 $\varepsilon = 6 \sim 11$, 压力升高比 $\lambda = 2.0 \sim 4.0$ 。

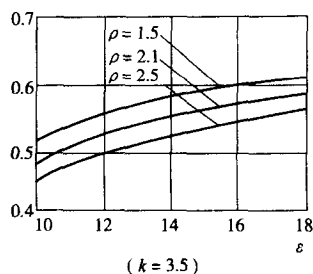


图 1-2-6 循环热效率 η_t 与预胀比 ε 的关系

课题三 发动机实际循环

热力学中对理论循环所作的种种假设,从许多方面排除了实际循环不可避免的损失,使它取得了实际循环永远不能达到的高指标。研究实际循环的目的,就是分析理论循环和实际循环的差异和引起各种损失的原因,以求不断改善实际循环,缩小其与理论循环的差距,促进发动机的改进和发展。



四冲程发动机示功图

在研究四冲程发动机的工作循环时,通常将工质在气缸中的实际工作情况用气体压力 p 随气缸工作容积 v 而变化的图形表示,称为示功图又叫 $p-v$ 图。示功图表示出了发动机工作循环的每个行程活塞处在不同位置时气缸内压力的变化情况,曲线封闭的面积代表气体循环中所作功的大小。示功图是研究发动机工作过程的重要依据。通过对示功图的分析有助于详细研究发动机的工作过程和工作状况,因此示功图已成为研究和改善气缸内部工作过程,摸索各种因素对发动机工作过程影响规律的有效工具。



实际循环

四冲程发动机一个实际工作循环分为进气、压缩、作功过程(燃烧、膨胀)和排气 4 个过程。四冲程发动机的示功图如图 1-3-1 所示。



1. 进气过程

进气过程中,进气门开启,排气门关闭,活塞从上止点向下止点运动,在气缸内形成真空,新鲜工质被吸入气缸。由于进气系统的阻力,进气终了时气缸内压力小于大气压力,一般为 $0.075 \sim 0.09 \text{ MPa}$ 。工质进入气缸后,受缸内高温机件和残余废气加热,使进气终了温度也升高到 $370 \sim 400 \text{ K}$ 。在图 1-3-1 中进气过程用曲线 ra 表示。

2. 压缩过程

进排气门均关闭,活塞由下止点向上止点运动,缸内工质被压缩,温度和压力上升。压缩的程度用压缩比表示。压缩过程的作用是增大工作循环的温度差,以获得最大的膨胀比,提高热功转换效率,为迅速燃烧创造条件,且压缩后气体的高温是保证柴油机燃油着火的必要条件。

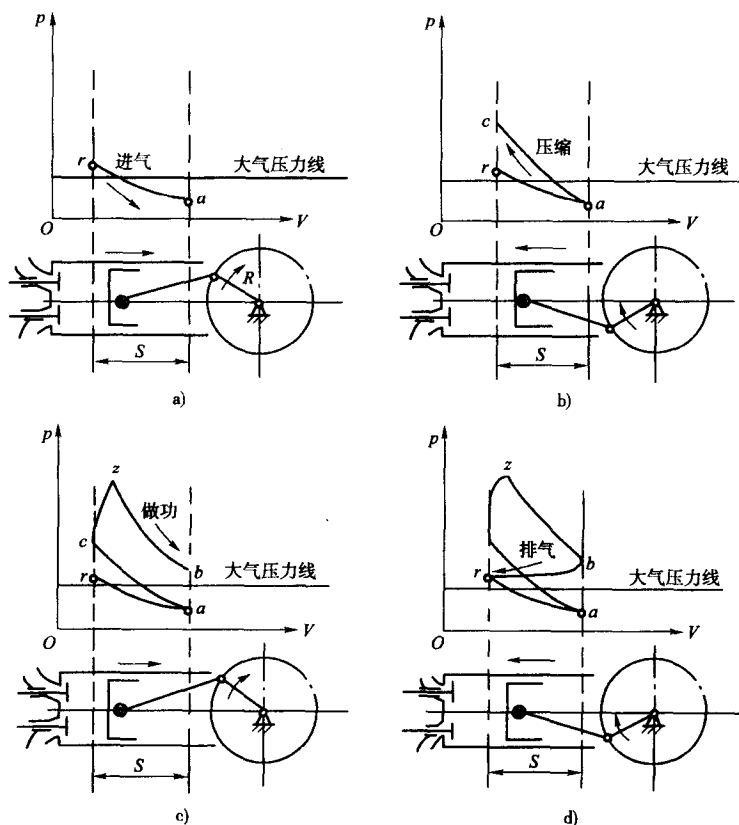


图 1-3-1 四冲程发动机的示功图

a) 进气过程; b) 压缩过程; c) 膨胀、作功过程; d) 排气过程

在理论循环中,我们假设压缩过程是绝热过程,而实际发动机的压缩过程是相当复杂的多变过程,其间有热交换和漏气损失。压缩终点的气体压力和温度视压缩始点压力、温度、压缩比及工质与缸壁间热交换的情况而定。在图 1-3-1b) 中压缩过程用曲线 ac 表示。

3. 燃烧过程

此时进排气门均关闭,活塞位于上止点附近。燃烧过程的作用是将燃油的化学能转变为



热能,使工质的压力、温度升高。放热量越多,放热时越靠近上止点,热效率越高。因此,要求燃烧过程正常、完全、及时。

在分析理论循环时,假定热量是在某瞬时加入的。实际上,燃油燃烧不是瞬时完成的。柴油机在上止点前就开始喷油(如图 1-3-2a)中的 c' 点),柴油微粒迅速蒸发与空气混合,借助压缩终了高温空气的热量自燃。燃烧开始进行的很快,所放热量使工质的压力、温度剧增,容积变化不大,接近于等容加热,如图 1-3-2a)中的 cz' 段;接着是边喷油边混合边燃烧,燃烧速度缓慢,随着活塞向下止点移动,气缸容积增大,所以工质压力增高不大,而温度继续上升,接近于等压加热循环,如图 1-3-2a)中的 $z'z$ 段。可见,柴油机燃烧过程可视为由接近等容加热和等压加热两部分组成。同样,汽油机在上止点前开始点火(图 1-3-2b)中的 c' 点,汽油与空气形成的可燃混合气被电火花点燃后火焰迅速传播到整个燃烧室,燃烧所释放的热量使工质压力、温度剧增,而容积无明显变化,整个燃烧接近于等容加热循环。如图 1-3-1 和图 1-3-2b)中 cz 段。

无论汽油机还是柴油机,燃烧都不是瞬时完成的。

4. 膨胀过程

在这个过程中,进排气门仍旧关闭,高温、高压气体在气缸内膨胀,推动活塞由上止点向下止点运动,通过连杆使曲轴旋转并输出机械功。在图 1-3-1 用曲线 zb 表示。

在理论循环中,假定膨胀过程是绝热过程,实际上总有一部分燃油因在燃烧过程中不能及时完全燃烧而拖到膨胀过程,即存在补燃现象,还有热交换、漏气损失和高温热分解的影响。故实际的膨胀过程是一个多变过程。

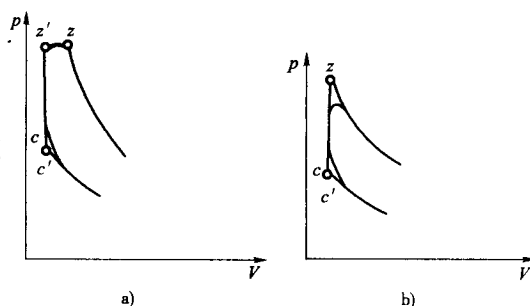


图 1-3-2 发动机实际循环燃烧过程

a) 柴油机; b) 汽油机

5. 排气过程

当做功行程接近终了时,开始排气行程。此时,进气门关闭,排气门开启,靠废气的压力进行自由排气,当活塞由下止点向上止点移动时,继续将废气强制排到大气中。见图 1-3-1 中的曲线 br 段。由于排气系统的阻力,使排气终了时缸内的压力高于大气压力。

表 1-3-1 列出了发动机实际循环各过程的有关参数。

发动机实际循环各过程终点的压力和温度

表 1-3-1

参数 冲程	机型	汽油机		柴油机	
		压力 (MPa)	温度 (K)	压力 (MPa)	温度 (K)
进气过程		0.08 ~ 0.09	340 ~ 380	0.085 ~ 0.095	300 ~ 340
压缩过程		0.8 ~ 2.0	600 ~ 750	3.0 ~ 5.0	750 ~ 1000
燃烧过程		3.0 ~ 6.5	2200 ~ 2800	4.5 ~ 9.0	1800 ~ 2200
膨胀过程		0.3 ~ 0.6	1200 ~ 1500	0.2 ~ 0.5	1000 ~ 1200
排气过程		0.105 ~ 0.12	900 ~ 1100	0.105 ~ 0.12	700 ~ 900