

全国中等水产学校试用教材

渔船柴油机原理

山东省水产学校主编

渔船轮机专业用

农业出版社

主 编 山东省水产学校

编写单位 福建水产学校

河北水产学校

编 者 温保华 何秉纲 王恒权 王仁廷

全国中等水产学校试用教材

渔 船 柴 油 机 原 理

山东省水产学校主编

农业出版社出版（北京朝内大街130号）

新华书店北京发行所发行 天水新华印刷厂印刷

787×1092毫米 32开本 13印张 289千字

1981年2月第1版 1982年5月甘肃第2次印刷

印数 3,001—5,000册

统一书号 15144·593 定价 1.05元

说 明

《渔船柴油机原理》课程是中等水产学校渔船轮机专业的一门主要专业课。本课程的主要任务是讲授热工基本知识和柴油机工作循环方面的基本理论、特性和试验技能，为提高柴油机的经济性、可靠性和延长使用寿命提供理论基础。其基本要求如下：

1 要求从工程实际的角度出发，基本了解热力学第一定律和第二定律的实质及应用，了解气体的流动和有关喷管的知识，了解传热基本知识（导热、对流换热、辐射换热），具有对热力过程进行工程计算的能力。

2. 要求对于内燃机的工作原理——理想循环和实际循环的特点及其发展方向等几方面具有一个较完整的概念。

3. 弄懂柴油机燃料、柴油机可燃混合气的形成和柴油燃烧的基本概念，并能正确地选择渔船柴油机用的燃油品种。

4. 基本了解船用柴油机的工作特性及其调速工作特性，初步建立起船用柴油机的工作原理与运行特性之间的有机联系的概念。

5. 获得柴油机性能试验的初步训练，了解和运用试验规范的一般知识，并对常用的热工仪表及内燃机测试仪器有所了解，初步学会柴油机示功图的测录、绘制、计算和分析的基本方法。

本教材可作为中等水产学校三年制渔船轮机管理专业的

试用教材,凡超出教学大纲所规定的引伸性的内容,一律用小字排印,不作为课程讲授对象,仅供不同要求的读者参考。

本教材由山东水产学校、福建水产学校和河北水产学校合编,并邀请了旅大水产学校、山东工学院、大连水产专科学校、山东省渔船管理站、青岛渔轮厂和烟台渔轮厂等单位的代表进行审定,使教材质量有了明显的提高。在编写及汇集资料过程中,得到了各有关单位的大力协助,在此表示感谢。

由于编者的水平有限,谬误疏漏及欠妥之处,希望使用本教材的师生,不断地提出批评,以便再版时修改。

编 者

目 录

第一篇 热工学基础知识

第一章 工程热力学的基本概念.....	1
§ 1—1 工程热力学的任务和研究对象	1
§ 1—2 气体的状态参数	2
§ 1—3 理想气体	8
第二章 热力学第一定律	17
§ 2—1 热力学第一定律的实质	17
§ 2—2 气体的比热	20
§ 2—3 可逆过程与不可逆过程	28
§ 2—4 基本热力过程	29
§ 2—5 多变过程	39
第三章 热力学第二定律	43
§ 3—1 热力学第二定律的任务和实质	43
§ 3—2 熵的数学定义式	45
§ 3—3 卡诺循环	52
第四章 蒸汽和湿空气	58
§ 4—1 蒸汽的定压发生过程及其在压容图、温熵图、 焓熵图上的表示	58
§ 4—2 湿空气	65
第五章 气体的流动.....	70
§ 5—1 稳定流动的基本方程式	71

§ 5—2	喷管中气体的一般特性	73
§ 5—3	气流通过喷管的流速和流量	80
§ 5—4	气体的绝热节流	86
第六章 传热学基础		91
§ 6—1	热传导	93
§ 6—2	对流放热	95
§ 6—3	辐射换热	97
§ 6—4	传热和换热器	100

第二篇 柴油机原理

第七章 内燃机的循环原理		109
§ 7—1	柴油机的工作过程	109
§ 7—2	活塞式内燃机的理想循环	115
§ 7—3	理想循环的分析和比较	122
第八章 柴油机的燃料与燃烧		126
§ 8—1	船用柴油机的燃料	126
§ 8—2	燃料燃烧热化学	139
第九章 柴油机的实际工作循环		145
§ 9—1	进气过程	146
§ 9—2	压缩过程	157
§ 9—3	燃烧过程	162
§ 9—4	膨胀过程	177
§ 9—5	排气过程	180
§ 9—6	二冲程扫气	182
第十章 船用柴油机的性能指标		190
§ 10—1	柴油机实际循环的指示参数	190
§ 10—2	柴油机工作性能参数	197
§ 10—3	柴油机的热平衡	204
§ 10—4	实际循环与理想循环之间的关系	206

§ 10—5	柴油机工作循环的简单计算和示功图的绘制	210
第十一章	柴油机可燃混合气的形成	224
§ 11—1	对可燃混合气的要求及燃料喷射过程	224
§ 11—2	燃料的雾化	231
§ 11—3	柴油机燃烧室	238
第十二章	船用柴油机的增压	253
§ 12—1	柴油机增压的目的和方法	253
§ 12—2	柴油机的废气涡轮增压	258
§ 12—3	废气涡轮增压器	272
§ 12—4	涡轮增压器的性能与柴油机的匹配	287
第十三章	船用柴油机的特性	299
§ 13—1	船用柴油机的工作特性	299
§ 13—2	船用柴油机的调速工作特性	325
第十四章	柴油机试验中的测量与仪表	341
§ 14—1	内燃机测试的一般知识	341
§ 14—2	有效功率的测量	343
§ 14—3	转速的测量	355
§ 14—4	压力的测量	357
§ 14—5	温度的测量	364
§ 14—6	燃油消耗量的测量	371
§ 14—7	流量的测量	372
§ 14—8	示功器和示功图	379
§ 14—9	船用柴油机的试验	394

第一篇 热工学基础知识

第一章 工程热力学的基本概念

§ 1—1 工程热力学的任务和研究对象

在现代技术领域里，热能有着广泛的应用。让热能经过能量形式的转变，最后转变为机械功或电能而加以利用，也就是把热能当成取得原动力的一种能源。这种利用方式主要通过热力发动机或简称热机来实现。要想比较深入地理解各种热机的工作情况，就必须知道由热能变为机械功的客观规律，以及进行这种转变的最有利的条件。这就是工程热力学所研究的主要对象。更具体地说，工程热力学探讨以下几方面的问题：

1. 热能转变为机械功的过程所应遵循的基本规律，以及由热能转变为功的最大限度。

2. 如何在实际的热机中提高由热转变为功的效率以及在制冷装置中提高利用功吸取冷物体的热量的效率。

3. 在实际热机中所用工质的性质。

工程热力学是人们经过长期实践总结和积累下来的丰富而且系统化的理性知识。学习工程热力学就是继承前人所总结的如何把热能转变为机械功的根本道理，因而对热机的工作原理就能掌握的较快，理解的较深刻，同时，也可以懂

得进行热工计算的方法。

§ 1—2 气体的状态参数

热能转变为机械能的方式随不同的热机而有所不同。但无论哪一种热机，总是用一种媒介物质从高温热源吸热而做功，然后把余下的热能排向低温热源。这种实现热能和机械能相互转变的媒介物质叫做工质。最常用的工质是空气、燃烧后的燃气和水蒸汽。

热机的工作过程离不开工质状态的改变。要想分析热机的工作过程，首先必须能够正确地描述工质的状态。能够表明工质所处状况的量，叫做状态参数。对于工质的每一个状态，各状态参数都有一定的数值。

在工程热力学中，最常用的基本状态参数有压力 P 、温度 T 和比容 v 。另外，还有内能 u 、焓 i 和熵 S 等。

一、压力 分子运动论把气体压力看作是气体分子对容器壁力的作用的结果。

在充满气体的容器内，大量分子从各个方向跟容器壁碰撞，分子撞到容器壁上又被弹向另一方向，同时，分子就对容器壁产生一个小小的冲击力。一个分子的冲击力很小，作用时间也很短，但是大量分子以某种速度频繁地冲击器壁，就对容器壁产生了持续、稳定的作用力。这种作用力就表现为气体的压力。

显然，单位时间内气体分子对容器壁的碰撞次数越多，压力就越大；每碰撞一次的冲击力越大，压力也越大。

在热工计算中，压力的单位是公斤/厘米²、毫米汞柱和毫米水柱。工程上常用1公斤/厘米²做为压力单位，叫做

工程大气压或简称大气压。

$$1 \text{ 大气压} = 1 \text{ 公斤/厘米}^2$$

$$= 735.6 \text{ 毫米汞柱}$$

$$= 10^4 \text{ 毫米水柱}$$

上述这几种压力单位在实际上各有其适用的场合。例如，在柴油机中，爆发压力一般为50~60大气压，就不会说为36800~44160毫米汞柱；又如通风机送出的空气，其压力不高，仅有几十到几百毫米水柱，就不会用多少大气压来表示。

说明容器中工质的压力，通常有两种不同的方法，一种是直接指明工质施于容器壁的压力的实际数值，叫做绝对压力；另一种指明用压力表测量这一压力时，压力表上的读数，叫做表压力。表压力是绝对压力高出当时当地大气压力的数值。

图1—1为通风机工作时，测量吸入管和排出管内空气压力的示意图。

设当地的大气压力数值为 B ，在通风机排出管道内空气的绝对压力 P 高于当地的大气压力。两者之差用U形管内的

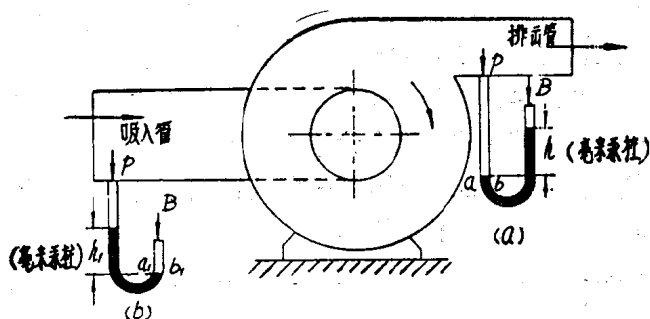


图1—1 测量通风机吸、排气管内的压力

毫米汞柱差 h 表示,这就是表压力,记作 $P_{表}$ 。在U形管 $a-b$ 截面处,压力平衡方程式为:

$$P = B + P_{表} \quad (1-1)$$

在通风机吸入管内,空气的绝对压力低于大气压力 B ,叫做真空,记作 H 。同样,以 a_1-b_1 液面列出平衡方程式:

$$P = B - H \quad (1-2)$$

很明显,只有绝对压力才能真正表示工质的状态,而表压力和真空是测量时的相对数值,即相对压力。所以,应该用绝对压力而不能用表压力和真空来描述工质的热力状态。

二、温度 温度标志物体的冷热程度。

从分子运动学说中知道,气体的绝对温度与气体分子平均动能成正比。如果两种气体有相同的温度,也就是这两种气体的分子的平均动能相等。如果一种气体的温度高些,也就是这一种气体分子的平均动能大些。

测量温度的标尺叫做温标。常用的温标有摄氏温标、华氏温标和绝对温标三种。

(一) 摄氏温标 摄氏温标也叫做国际百度温标。摄氏温标取标准大气压下清洁的冰的熔点为零度,清洁水的沸点为100度,将这两点之间分成一百个刻度,每一个刻度就是1度。这种温标叫做摄氏温标,用符号 $t^{\circ}\text{C}$ 表示。

(二) 华氏温标 这种温标规定在标准大气压下,清洁冰的熔点和清洁水的沸点为华氏32度和华氏212度,将这两点之间均匀地分为180等分,每一等分就是1度。这种温标叫做华氏温标,用符号 $t^{\circ}\text{F}$ 表示。

摄氏温标与华氏温标之间的换算关系为:

$$t^{\circ}\text{F} = 32 + \frac{9}{5}t^{\circ}\text{C} \quad (1-3)$$

(三) 绝对温标 绝对温标取摄氏零下 273.15 度为零度，而每度间隔与摄氏温标相同。用绝对温标量度的温度叫做绝对温度，用符号 $T^{\circ}\text{K}$ 表示。

需要说明，绝对零度是气体分子热运动停止时的温度。实际上，分子运动是永远不会停息的，绝对零度也是永远不可能达到的。

摄氏温标与绝对温标之间的换算关系为：

$$T = (t + 273)^{\circ}\text{K} \quad (1-4)$$

我国的温度计多按摄氏温标刻度，国外有些温度计按华氏温标刻度，而绝对温标则常在理论分析和计算中应用，一般不按这种温标进行刻度。

三、比容 1 公斤工质占有的容积叫做比容，用符号 v 表示。如 G 公斤工质占有 V 米³ 的容积，则

$$v = \frac{V}{G} \text{米}^3/\text{公斤} \quad (1-5)$$

比容的倒数就是重度。

$$\gamma = \frac{1}{v} = \frac{G}{V} \text{公斤/米}^3$$

标准状况（压力为 1 公斤/厘米²，温度为 0°C）下的比容叫做标准比容 v_0 ， v_0 的倒数就是标准重度 γ_0 。

四、气体的内能 气体的内能是气体所具有的一种能量。气态物质是由具有巨大速度且向各个方向运动的分子构成的。分子处于直线运动和回转运动中，因此，分子具有直线运动和回转运动的动能；分子是由处于振动运动的原子构成，因此，分子内部具有振动的能量，以及气体分子间的吸引力和排斥力的能量。以上各种分子能的总和就是气体的内能。或者说，气体的内能由气体的内部动能和内部位能所组

成。气体的内部动能随气体分子运动速度而定，气体内部位能由气体分子间的相互作用力和相互位置而定。这些形式的能量的变化，随气体的温度和容积的变化而定。

理想气体的分子不具有相互作用力，因此，理想气体的内能只由内部动能所组成。所以，理想气体的内能只取决于温度的高低。

确定内能的绝对值是不可能的，因为不具有能量的物体状态是不存在的。但这对于热力学的计算没有影响，因为在热力学计算中，通常不是计算内能的绝对值，而是计算内能的变化。

1 公斤气体的内能用符号 u 表示，单位是 千卡/公斤。

$$\Delta u = u_2 - u_1 = C_v(T_2 - T_1) \text{ 千卡/公斤} \quad (1-6)$$

式中 C_v ——定容比热。

对于 G 公斤气体

$$\Delta U = U_2 - U_1 = GC_v(T_2 - T_1) \text{ 千卡} \quad (1-7)$$

五、焓 在实际热机里，常常遇到工质的流动。分析工质在流动过程中所进行的能量转换关系时，引进焓这个参数是很方便的。

焓是一个复合的状态参数。

如图 1—2 所示，有两个相互连通的气缸 I 和 II，气缸

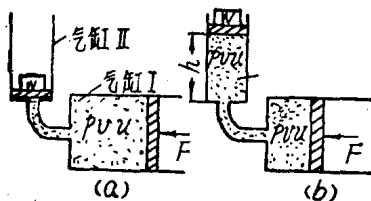


图1—2 工质的焓

I 中装有气体，状态为 p 、 v 、 u ；气缸 II 中没有气体。将 G 公斤气体缓慢地压入气缸 I，对气缸 I 这个系统而言，除了得到 G 公斤总内能为 U 的气体外，还使重量为 W 公斤的

重物升高了 h 米。因而，气缸Ⅰ所获得的总能量为 $(U + AWh)$ 。假定气缸Ⅰ的活塞面积为 S ，则得：

$$U + AWh = U + APS_h = U + APV$$

式中 V —— G 公斤气体的总容积。

对于 1 公斤气体：

$$\frac{U + APV}{G} = U + APv$$

$$\text{令 } i = u + APv \quad \text{千卡/公斤} \quad (1-8)$$

式中 i ——焓 (千卡/公斤)；

u ——内能 (千卡/公斤)；

P ——压力 (公斤/米²)；

v ——比容 (米³/公斤)；

A ——功的热当量， $A = \frac{1}{427}$ (千卡/公斤·米)。

因此，焓可以理解为内能 u 与压力位能 APv 的和。

六、过程与循环 使热能转变为机械能必须通过工质状态的变化才能实现。工质从一个状态经过中间状态变化到另一个状态所经历的全部状态的总和叫做过程。

通过工质的膨胀过程可以把热能转变为机械功。但在任何一个过程中，工质决不可能无限制地膨胀，随着过程的終了，热变功的过程也就停止。为了连续不断地得到功，必须在工质膨胀做功之后，经历某些中间过程，使工质恢复到原来的状态，以便再进行膨胀做功。这种使工质经过若干个不同的热力过程后又恢复到原来状态的全部过程的总和叫做一个热力循环或叫做循环。如图

1—3 所示。

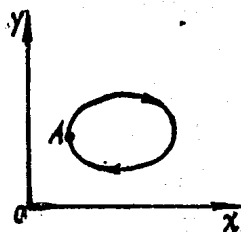


图1—3 过程与循环

§ 1—3 理想气体

气体的分子具有一定的体积，相互之间有内聚力作用，因此，气体的性质是比较复杂的。在分析计算中，如果考虑这两个因素，将是很麻烦的。在工程热力学中提出理想气体的概念，这样既可使计算和分析大大简化，又可以保证足够的准确度。

理想气体是一种实际上不存在的假想气体。假设气体的分子是不占据容积的完全弹性体，分子之间没有相互作用的内聚力，因而可以把气体分子看成是一群彼此完全自由运动着的质点的集合体。这样的气体叫做理想气体。

自然界的一切气体，有的可以近似地看作理想气体，有的必须作为实际气体。接近液态的，作为实际气体，越远离液态的越接近理想气体。例如，在热工计算中，一般的气体都可当作理想气体来看待。水蒸汽则要视其所处的状态。在蒸汽动力装置中作为工质的蒸汽，因为压力较高，比容甚小，离液态不远，就不能当作理想气体看待；而对于大气中的水分和燃气中的水分，则可当作理想气体看待。

一、理想气体的状态方程式 一定数量的工质在某容器中具有一定的体积，在任一瞬间，工质所有各点都具有同一的温度和压力。如果工质与外界没有能量的交换，内部也无任何形式的能量转换，则工质的温度和压力都将维持不变，我们就说工质处于平衡状态。

在工质发生状态变化的过程中，都是从一个平衡状态，经过无数的中间状态，变到另一个平衡状态。如果这些中间状态都是无限接近于平衡状态，那么这种状态变化的过程叫

做平衡过程。

只有工质状态的变化过程是平衡过程时，才可以在研究过程中应用状态方程式。

早在分子运动学说系统化之前，人们对气体状态参数之间的关系作过大量的实验研究，建立了如下定律：

(一) 波义耳—马略特定律 在定温下，气体的压力与比容的乘积是个常数，称为波义耳—马略特定律。

在同一温度下 ($T_1 = T_2$)，气体由状态1变化到状态2，则

$$P_1 v_1 = P_2 v_2 \quad \text{或} \quad Pv = \text{常数} \quad (1-9)$$

(二) 盖—吕萨克定律 在定压下，气体的比容与绝对温度成正比。如果气体由状态1变化到状态2是在定压下 ($P_1 = P_2$) 进行的，则

$$\frac{v_1}{T_1} = \frac{v_2}{T_2} \quad \text{或} \quad \frac{v}{T} = \text{常数} \quad (1-10)$$

在定容下，气体压力与绝对温度成正比。如果气体由状态1变到状态2是在定容 ($v_1 = v_2$) 下进行的，则

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \quad \text{或} \quad \frac{P}{T} = \text{常数} \quad (1-11)$$

式 (1-10) 和 (1-11) 叫做盖—吕萨克定律。

(三) 克拉贝隆方程

$$\text{对于 1 公斤气体} \quad Pv = RT \quad (1-12)$$

$$\text{对于 G 公斤气体} \quad PGv = RTG$$

$$\text{但} \quad vG = V$$

$$\text{于是} \quad PV = GRT \quad (1-13)$$

式中 P ——气体压力 (公斤/米²)；

v ——气体比容 (米³/公斤)；

T——气体绝对温度 ($^{\circ}\text{K}$);

G——气体重量 (公斤);

V——气体容积 (米^3);

R——气体特性常数 (公斤·米/公斤·度)。

公式 (1—12) 和 (1—13) 叫做理想气体状态方程式, 也叫做理想气体特性方程。

由状态方程式可以看出, 任一状态下气体的压力、温度、比容三者并不是独立的, 而是互相制约的。假如其中有两个参数的数值一定, 则另一参数的数值也就随之而定了。例如, 温度和压力一定, 则比容随之而定。若温度和比容一定, 则压力也就随之而定。不仅如此, 而且其他几个状态参数——内能、焓、熵也随之而定。总之, 气体的状态由两个独立的参数决定, 这时, 随气体的状态而定的气体其他全部的参数可以表示为两个所挑选的独立参数的函数。

二、阿佛加德罗定律

(一) 莫尔 莫尔是表示气体数量的一种单位。在热力学中, 采用这种单位是很方便的。

当气体重量的公斤数等于其分子量时, 这个数量的气体称为 1 莫尔气体。例如, 氧的分子量是 32, 则 32 公斤的氧气称为 1 莫尔氧。同理, 1 莫尔氢为 2 公斤, 1 莫尔二氧化碳为 44 公斤。

(二) 阿佛加德罗定律 十九世纪初, 人们通过实验发现, 在相同的温度和压力下, 1 莫尔的不同气体具有相同的容积。在标准状态下, 1 莫尔任何气体的容积均为 22.4米^3 。这就是阿佛加德罗定律的内容。

据此, 可写出 1 莫尔气体的克拉贝隆方程式:

$$P(\mu v) = (\mu R)T \quad (1-14)$$