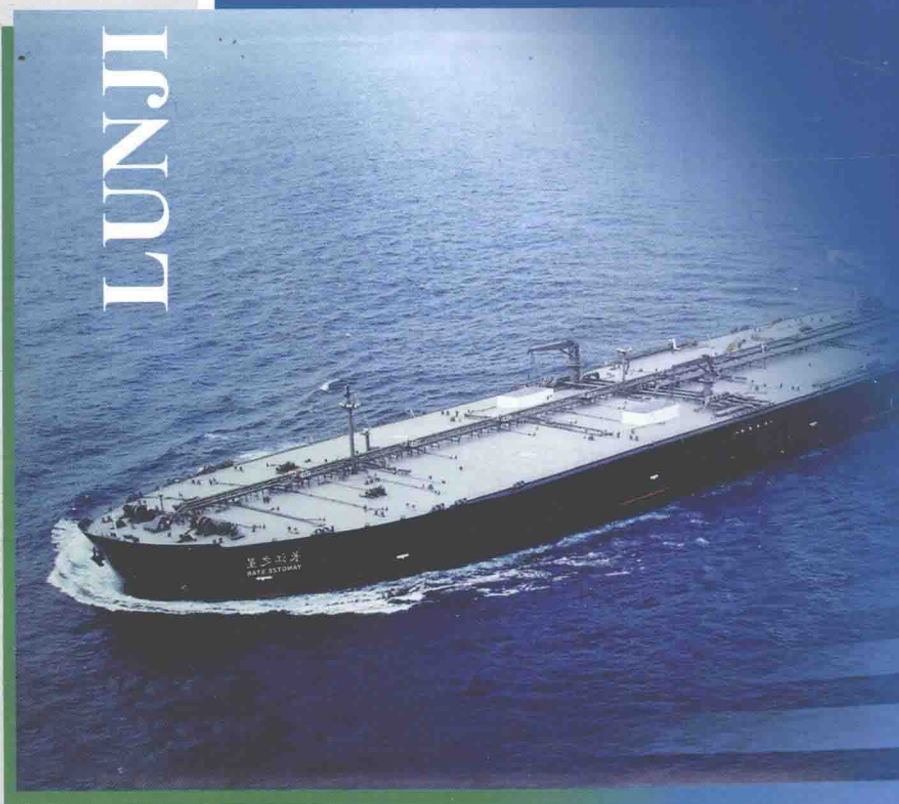


LUNJI GAILUN

轮机概论

主 编 郭军武
主 审 陈宝忠



大连海事大学出版社

轮机概论

主 编 郭军武
主 审 陈宝忠

大连海事大学出版社

© 郭军武 2012

图书在版编目(CIP)数据

轮机概论 / 郭军武主编. —大连: 大连海事大学出版社, 2012. 2
ISBN 978-7-5632-2665-8

I. ①轮… II. ①郭… III. ①轮机—概论—高等学校—教材 IV. ①U676.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 026755 号

大连海事大学出版社出版

地址:大连市凌海路1号 邮编:116026 电话:0411-84728394 传真:0411-84727996
<http://www.dmupress.com> E-mail: cbs@dmupress.com

大连美跃彩色印刷有限公司印装 大连海事大学出版社发行

2012年3月第1版 2012年3月第1次印刷

幅面尺寸:185 mm × 260 mm 印张:13.75

字数:339千 印数:1~2000册

责任编辑:苏炳魁 版式设计:诚峰

封面设计:王艳 责任校对:杨冠尧

ISBN 978-7-5632-2665-8 定价:25.00元

前 言

“轮机概论”课程是根据航海技术和热能与动力工程专业的特点和教学大纲的需要而设置的,讲授“轮机概论”是航海技术和热能与动力工程专业学生了解轮机设备特点和管理要点的主要途径。全书共分七章,内容包括热工基础知识、船舶动力装置概述、船舶柴油机、船舶推进装置、船舶辅助机械、船舶防污染与海水淡化装置、船舶电气概述。

本书第一章和第五章由阚安康编写,第二章、第三章、第四章和第六章由郭军武编写,第七章由林叶春编写。全书由郭军武主编,陈宝忠主审。

本书在编写过程中,参考了大量资料,参考文献已在书后列出,但因编者水平有限,如有欠妥和不足之处恳请读者提出宝贵意见。

编 者
2011年10月

目 录

第一章 热工基础知识	(1)
第一节 工质热力状态参数	(1)
第二节 理想气体及其状态方程	(4)
第三节 热量与功	(5)
第四节 水蒸气与湿空气	(7)
第五节 传热学基础知识	(9)
第二章 船舶动力装置概述	(14)
第一节 船舶动力装置的含义及组成	(14)
第二节 船舶动力装置的类型及特点	(16)
第三节 船舶动力装置的技术、经济及性能指标	(22)
第三章 船舶柴油机	(30)
第一节 柴油机概述	(30)
第二节 柴油机工作原理	(31)
第三节 柴油机主要技术指标	(34)
第四节 柴油机类型和主要结构参数	(37)
第五节 柴油机工作系统	(40)
第六节 柴油机换气与增压	(47)
第七节 柴油机起动换向、调速与操纵系统	(54)
第八节 柴油机运转特性	(73)
第九节 柴油机运行管理	(77)
第四章 船舶推进装置	(85)
第一节 船舶推进装置类型及特点	(85)
第二节 传动轴系	(87)
第三节 螺旋桨及螺旋桨特性	(88)
第四节 可调螺距螺旋桨	(93)
第五节 船舶推进装置管理	(96)
第五章 船舶辅助机械	(99)
第一节 船用泵	(99)
第二节 液压马达	(108)
第三节 船舶甲板机械	(112)
第四节 船舶系统	(123)
第五节 船舶锅炉	(140)
第六节 侧推装置	(150)
第七节 减摇装置	(152)

第六章 船舶防污染与海水淡化装置	(155)
第一节 油水分离器	(155)
第二节 生活污水处理装置	(165)
第三节 船用焚烧炉	(168)
第四节 油船专用系统	(170)
第五节 船舶海水淡化装置	(180)
第七章 船舶电气概述	(183)
第一节 船舶电力系统	(183)
第二节 船舶电站	(190)
第三节 船舶电气设备	(201)
第四节 船舶电气安全管理及电气管理人员的安全职责	(205)
参考文献	(212)

第一章 热工基础知识

第一节 工质热力状态参数

一、工质

将燃料燃烧产生的一部分热能转换为机械能的装置,工程上称为热动力装置。而在热力工程中,用来实现能量转换的物质称为工质。例如,柴油机以空气和油的燃烧物作为工质,蒸汽机以水蒸气作为工质,船舶制冷设备多采用氟利昂作为工质。在热动力装置中,热能转换成机械能是通过工质受热膨胀做功来实现的。因此,作为工质的物质必须具有良好的膨胀性和流动性。

二、状态参数

热力学中,在给定瞬间,工质具有一定的物理状态,用来描述系统宏观特性的物理量称为系统的热力状态参数,简称状态参数。

常用的状态参数有温度、压力、体积、热力学能(也称内能)、焓和熵等六个参数,其中压力、温度、体积可以直接通过仪表等测量,工程上称之为基本状态参数,其余状态参数可以根据基本参数间接计算得到。状态参数的数值由系统的状态来确定而且是唯一的,当系统状态发生改变时,其状态参数也会随之变化,参数的变化量只与系统的初、终状态有关,而与变化过程无关。工质在动力装置中进行工作时,它的压力、温度是不断地发生变化的,通常在船舶动力装置中,确定工质的状态是用温度和压力两个参数。

1. 温度

温度是衡量物体冷热的尺度,同时也用以确定热量传递的方向。甲物体的温度高于乙物体,则热量将由甲物体向乙物体转移,如果两物体之间不发生热量转移而处于热平衡状态,则两物体的温度必然相等。

温度的数值表示方法称为温标。它是表示温度高低的尺度。常用的温标有以下三种:

(1)摄氏温标。规定在标准大气压下,将纯水的冰点标定为0度,沸点为100度,其间100等分,每等份为摄氏1度,记作 1°C ;摄氏温标用符号 $t^{\circ}\text{C}$ 表示。

(2)华氏温标。规定在标准大气压下,纯水的冰点为32度,沸点为212度,其间180等分,每等份为华氏1度,记作 1°F ;华氏温标用符号 $t^{\circ}\text{F}$ 表示。

(3)开氏温标,又称热力学温标或者绝对温标。规定纯水的三相点温度(即固、液、气三相平衡态的温度)为基本点,定义为273.16度(此为定义值,工程上用273.15计算),每度的间隔与摄氏温标相同,1度记作1K。开氏温标用符号TK表示。

摄氏温标和华氏温标的标定都依赖于物质的物理特性,温度数值与被测物质有关,称为经验温标;而开氏温标则与被测物质的物理特性无关,是国际上规定的最基本温标。公制计算式多采用摄氏温标,英制往往采用华氏温标,而国际单位制则采用开氏温标。三种温标之间的换算关系即

$$t^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} \times t^{\circ}\text{C} + 32$$

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

$$\text{TK} = t^{\circ}\text{C} + 273.15$$

$$\text{TK} = \frac{5}{9}(t^{\circ}\text{F} - 32) + 273.15$$

测量温度的仪器称为温度计,选作温度计的感应元件的物体某些物理性质(液体、气体的体积或压力,金属或半导体的电阻,热电偶的电动势,发光颜色等)随着物体温度的变化而发生显著的变化。工程上常用的温度计有水银温度计、电阻温度计、热电偶温度计、膨胀式指针温度计、光学高温温度计等。

2. 压力

在热力学中,把工质垂直作用在单位容器壁面或分界面上的力称之为压力(物理学中称为压强),用符号 p 来表示。分子运动学说把气体的压力看作是大量气体分子撞击容器壁面的平均结果,与单位容积内的分子数和分子的平均移动动能成正比。

(1) 压力的单位

压力的单位比较多,根据力与受力面积的名称不同,压力的单位可以分为:

①国际制单位:在国际单位(SI)中,压力的单位是为“帕斯卡”,简称“帕”,用符号 Pa 表示,1 Pa = 1 N/m²。工程上因为 Pa 太小,多用 10⁶ Pa,称为“兆帕”,用符号 MPa 表示或者采用巴(bar)表示。

②英制单位:磅/平方英寸(lbf/in²)或英寸汞柱(inHg)。

③公制单位:工程大气压(at)、毫米汞柱(mmHg)、米水柱(mH₂O)、标准大气压(atm)。

压力各单位之间的换算关系如表 1-1 所示。

表 1-1 压力单位换算表

帕斯卡 Pa $\frac{\text{N}}{\text{m}^2}$	工程大气压 at $\frac{\text{kgm}}{\text{cm}^2}$	标准大气压 atm 760 mmHg	托 Torr mmHg	巴 bar $10 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$	米水柱 mH ₂ O	磅/平方英寸 psia lbf/in ²
1	1.01972×10^{-5}	0.986923×10^{-5}	7.5×10^{-3}	10^{-5}	1.021×10^{-4}	1.45038×10^{-4}
98066.1	1					
101325.0		1				
133.3			1			
10000				1		
9794.3					1	
6894.7						1

* 大气压力是由地面上几百公里高的空气层的重量所引起的,以 p_b 表示。其大小随纬度、高度、空气温度及水蒸气含量而变化。物理学中把纬度 45 度平均海平面上常年大气压的平均值定义为标准大气压,以符号 atm 表示。

(2) 绝对压力、表压力及真空度

绝对压力:工质作用在器壁上的实际压力称为“绝对压力”,以 p 表示。

表压力:用压力表测得的压力数值称为“表压力”,以 p_g 表示。用压力表测定压力,是以大

气压力作为测量基准,其数值不是绝对压力,而是绝对压力与当地大气压力的差值。

真空度:当容器内的绝对压力比大气压力低时,用压力表测得的压力为负值,取其绝对值,称为“真空度”,以 p_v 表示。真空度也是表压,其数值是当地大气压力与绝对压力的差值。

压力通常用压力表、气压表、真空表或压力真空表来测量。这些测量仪器的结构原理均建立在压力平衡的基础上。根据弹簧的变形、液柱的重量或者用活塞上的载重等去平衡容器或者系统内的压力。图 1-1(a)、(b)所示是用液柱的高度来表示容器中压力的相对值。图 1-1

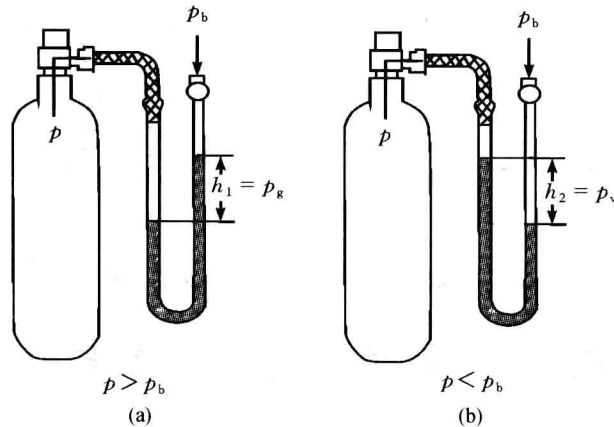


图 1-1 用液柱的高度来表示容器中压力的相对值

中(a)表示容器中的气体压力 p 比外界大气压 p_b 大了 h_1 的液柱高度。这部分压力就是表压力 p_g 。图 1-1 中(b)表示容器内的气体压力 p 比外界大气压力 p_b 低了 h_2 的液柱高度,这段高度表示了容器中气体的稀薄程度,也就是真空度 p_v 。根据压力平衡可表达为

$$p_g = p - p_b$$

$$p_v = p_b - p$$

表压力 p_g 和真空度 p_v 的大小都是相对值,而只有绝对压力才是一个真正能说明工质状态的热力参数。工质的绝对压力 p 、表压力 p_g 和真空度 p_v 之间的关系如图 1-2 所示。

3. 比体积和密度

单位质量物质所占的体积称为比体积 v ,即

$$v = \frac{V}{m}$$

式中, v 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 ,用符号 ρ 来表示,即

$$\rho = \frac{m}{V}$$

显然, v 和 ρ 互为倒数,对于一定的气体工质而言,比体积、密度均为描绘分子聚集疏密程度的物理量,比体积越大,密度越小,表明气体越稀疏。

工程热力学中在研究工质各个热力过程(吸热、放热、压缩、节流等)时往往选取温度、压力和比体积作为三个基本状态参数。

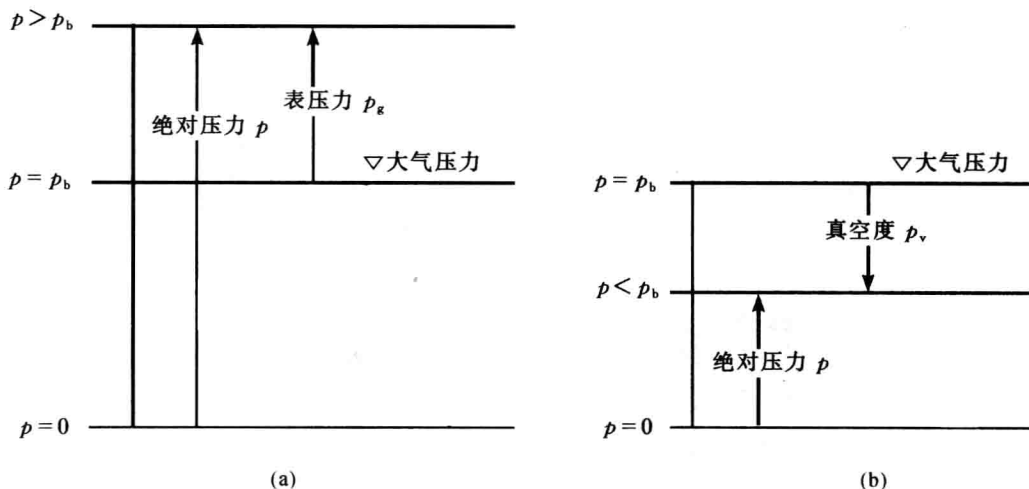


图 1-2 表压力、真空度和绝对压力的关系

第二节 理想气体及其状态方程

一、理想气体

所谓理想气体是一种实际上不存在的假想气体,假设其分子为弹性的、不占据体积的质点,分子之间没有作用力。当气体处于压力低、温度高、比体积很大的状态时,其分子浓度小,分子本身所占的体积与整个气体所占体积相比要小得多,这时,分子间平均距离大,相互间作用力很弱,就很接近理想气体。理想气体实质上是实际气体压力趋向于无穷小,比体积趋向于无穷大的极限状态。实际气体压力越低、温度越高,越接近理想气体。

理想气体模型忽略了气体分子之间复杂的作用力,使定性分析气体的许多热力学现象成为可能,并能简捷地定量计算气体状态参数。

常温常压下,氧气、氮气、一氧化碳、二氧化碳及空气、燃气、烟气等一些常用的气体工质非常接近理想气体;大气或燃气中的水蒸气,因其分压力很小,分子浓度很低,亦可看作理想气体。

不能当作理想气体的工质,统称为实际气体。

二、理想气体状态方程

气体的状态可以用状态参数来确定,其中温度 T 、压力 p 和比体积 v 是三个基本状态参数。事实上,要确定处于平衡状态的气体的状态,并不需要知道全部状态参数的值,而只要知道其中任意两个独立状态参数的值,其他参数可以通过它们之间的关系式计算出来。

克拉贝龙首先提出了理想气体在状态变化时三个基本状态参数:绝对压力 p 、比体积 v 及热力学温度 T 之间的关系式,即理想气体的状态方程式

$$pv = R_g T \quad (1-1)$$

式中的 R_g 称为“气体常数”,其数值只与气体种类有关,而与气体状态无关,单位为 $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。例如空气的气体常数为 $29.3 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$,氧气为 $26.5 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$,氮气为 $30.3 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$,二氧化碳为 $19.3 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。

从上式可看出,描述气体状态的三个基本状态参数 T 、 p 和 v ,只要给定其中任意两个,气体的状态就被确定了。若气体的质量为 m 千克,上式两边各乘以 m ,则得 m 千克理想气体的状态方程式

$$\begin{cases} mpv = mR_g T \\ pV = mR_g T \end{cases}$$

如果用 M 代表气体的摩尔质量(其单位为千克/摩尔, kg/mol),将状态方程两边各乘以 M ,则得

$$p(Mv) = (MR_g)T$$

式中, Mv 表示气体摩尔体积,用 V_m 表示;

MR_g 表示 1 摩尔气体的常数,用 R 表示,则上式可以写成为

$$pV_m = RT \quad (1-2)$$

对于各种气体,其 R 值都等于 $8.314\ 510\ \text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$,它与气体的性质和状态无关,故称之为通用气体常数。

$$R_g = \frac{R}{M} = \frac{8.314}{M} \quad \text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$$

由上式可知,只要知道气体的摩尔质量 M (1 摩尔物质的质量,在数值上恰好等于该物质的相对分子质量)就可以由通用气体常数 R 求得气体常数 R_g ,所以气体的物质的量为 n 的理想气体状态方程可写成

$$pV_n = nRT \quad (1-3)$$

式中, V_n 表示物质的量为 n 的气体所占的体积,单位是 $10^{-3}\ \text{m}^3$ 。

式(1-1)、(1-2)、(1-3)是理想气体状态方程式,分别描述了 $1\ \text{kg}$ 、 $M\ \text{kg}$ 和 $n\ \text{mol}$ 气体状态变化的规律。

在热动力装置中所用的空气和燃气以及空气调节设备内的空气中所含的水蒸气,均可按理想气体进行计算。然而蒸汽动力装置中的水蒸气以及压缩制冷装置中的制冷剂蒸气,不能按理想气体的状态方程进行计算。

第三节 热量与功

一、热量和比热容

1. 热量

在热力学中,把热力系统与外界仅仅是由于温度不同而通过边界传递的能量称为热量,用符号 Q 表示。热量是表征系统吸热或者放热多少的物理量,热量与热能不同,热量不是状态参数,是系统在过程中由于温差而通过边界传递的能量,它不仅与过程的初、终态有关,而且与过程如何进行密切相关;热能则是物系热运动形态的反映,仅取决于状态,是状态参数。工程热力学中约定,外界给系统加热, Q 取正值;反之,系统对外界放热, Q 取负值。

热量单位在 SI 制中为 J(焦耳),工程上常使用 kJ(千焦耳)。历史上热量的单位还曾使用 cal(卡)和 kcal(大卡或千卡),1 kcal 即在标准大气压力下将质量为 1 kg 纯水的温度,从 14.5°C 升高到 15.5°C 所吸收的热量。在英制单位中是将标准大气压力下 1 磅纯水的温度,从 59.5°C 升高到 60.5°C 所吸收的热量,为一个热量单位,称为 Btu(British thermal unit 英制热量

单位)。

三种单位之间换算关系如表 1-2 所示：

表 1-2 热量单位换算表

焦耳(J)	卡(cal)	大卡(kcal)	Btu
1	0.238 8		9.48×10^{-4}
4.186 8	1		
4 186.8	1 000	1	
1 055.06			1

2. 比热容

物体温度发生变化时所吸收或放出的热量与其温度变化、质量、材料的性质等有密切关系。我们把单位质量(1 kg 或 1 g)的物体温度升高或降低 1℃时所吸收或放出的热量,叫做质量比热容(简称比热容),常用符号 c 表示,单位是焦耳/(千克·开)($J/(kg \cdot K)$)。例如,水的质量比热容是 $4.2 \times 10^3 J/(kg \cdot K)$ 。

工程上常用的比热容除了质量比热容外还有容积比热容和莫尔比热容等。在非特别指明时,所有比热容均指质量比热容。

气体比热容还随加热过程的不同而有所变化。如果气体在加热过程中容积保持不变则称为定容比热容,一般用 c_v 表示;如果气体在加热过程中所处的压力保持不变则称为定压比热容,一般用 c_p 表示。

二、功和功率

在热力学中,功的定义为:“当封闭系统通过边界和外界之间发生相互作用时,如外界的唯一效果是升起重物,则系统对外界做功;反之,如外界的唯一效果是降低重物,则外界对系统做功。”功就是热力系统通过边界而传递的能量。

如图 1-3 所示,取气缸中有一定质量的高压气体为封闭系统,活塞、曲柄连杆机构和重物为外界。则当系统(高压气体)膨胀时,系统通过边界,对外界做功使重物升起;相反,如重物受外界力的作用下下降,则外界通过边界对系统做功,使系统压缩(气体压力升高)。

在力学中,功的大小等于力和力方向上的位移的乘积。功的单位,在工程制中为 $kgf \cdot m$,在 SI 制中为 $N \cdot m$,即焦耳(J)。二者之间的关系为

$$1 \text{ kgf} \cdot \text{m} = 9.8 \text{ N} \cdot \text{m} = 9.8 \text{ J}$$

单位时间所做的功,称为“功率”,其单位为 J/s ,即瓦(W)。工程中功率常用的单位还有马力(PS)和千瓦(kW),它们之间的换算关系为

$$1 \text{ PS} = 75 \text{ (kgf} \cdot \text{m)/s} = 0.735 \text{ kW}$$

英制单位中的马力(HP)比工程制中的马力(PS)稍大一些,它们之间的关系为

$$1 \text{ PS} = 0.986 \text{ HP}$$

三、功与热之间的转换

功和热量都不是状态参数,而是过程量。其大小不仅取决于初、终状态,还和过程路径有

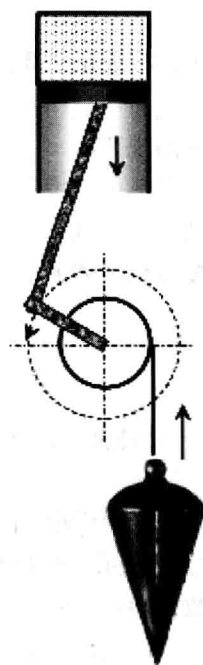


图 1-3 闭口系做功图

关。功与热量是本质上不同的两种能量形态,功是与物体运动形态相关的能量,压差是做功的驱动力,热量是与杂乱运动相联系的能量,温差是其传递的驱动力。因而由功转换成热量是无条件的;反之,是有条件的,必伴随某种补偿过程。

热力学第一定律是能量守恒与转换定律在热现象中的应用。能量守恒与转换定律是自然界的基本规律之一,它指出:自然界中一切物质都具有能量,能量不可能被创造,也不可能被消灭;它只不过是从一种形态转变为另一种形态;在能量转化的过程中,能的总量保持不变。热力学第一定律可表述为:输入系统的能量 - 输出系统的能量 = 系统贮存能量的变化。

热力学第二定律的表达方法有两种,其中开尔文说法是:“不可能制造只从一个热源取得热量,使之完全变成机械能而不引起其他变化的循环发动机。”另一种克劳休斯说法是:“热不可能自发地、不付代价地从低温物体传到高温物体。”

热力学第一定律是从量的角度阐明能量传递和转换的规律,热力学第二定律则是从质的角度揭示能量传递和转换的规律。热力学第二定律实质上是对热力学第一定律的补充,它从质的角度揭示了能量传递和转换的方向、条件及限度,其中,过程进行的方向是最根本的内容。

四、热效率

热力工程上把热能转换为机械能的装置称为热动力装置。至今,热力工程所利用的热能主要来自矿物燃料所蕴藏的化学能。燃料在适当的燃烧设备中进行燃烧,产生热能,在热机中再将热能转变为机械能。热动力装置可分为两大类:蒸汽动力装置和燃气动力装置。制冷、热泵和空气分离装置等原则上属于机械能转换为热能的设备,在热力学分析上与热动力装置有很多相似的地方。

图 1-4 为内燃机动力装置的工作原理简图。燃油在高压下喷入气缸,与进入气缸内的空气混合燃烧产生热量 Q_1 , 高温高压的燃气膨胀推动活塞移动,并通过连杆曲柄机构变成回转运动,带动推进器回转,对外界作机械功 W 。做功后的低温低压燃气排出气缸,并带走热量 Q_2 , 完成一个工作循环。根据能量守恒定律,工质在一个循环中,对外界作的机械功 W (收益) 等于从高温热源吸收的热量 Q_1 (代价) 减去传给低温热源的热量 Q_2 , 即

$$W = Q_1 - Q_2$$

工程上把收益与代价之比称为热效率 η , 即

$$\begin{aligned} \eta &= \text{收益} / \text{代价} \\ &= W / Q_1 = (Q_1 - Q_2) / Q_1 \\ &= 1 - Q_2 / Q_1 \end{aligned}$$

由于工质向低温热源放出的热量 Q_2 永远不可能为零,因此热效率 η 也不可能等于 1, 即热效率永远小于 100%。

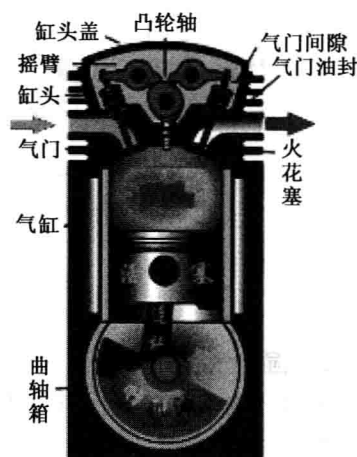


图 1-4 内燃机动力装置工作原理

第四节 水蒸气与湿空气

一、水蒸气

在船上,水蒸气也是常用的重要工质之一。锅炉水被加热而形成水蒸气可用来推动蒸汽

机或汽轮机进行工作,也可用来作为热源供热,加热燃油等。所以我们需要了解水蒸气是如何形成的以及它的一些基本特性。

水在 1 atm 下加热到 100℃ 开始沸腾,再继续加热,水逐渐变成蒸汽而减少,这个过程称为汽化过程。当压力变化时,水开始沸腾的温度也随之变化,因此,将在一定压力下水开始沸腾的温度称为该压力下水的“饱和温度”。压力越高对应的饱和温度越高;相反,在一定温度下,压力达到某一定值时水才开始沸腾,称在一定温度下,水开始沸腾的压力为该温度下对应的“饱和压力”。水蒸气的饱和压力仅与温度有关,温度越高,饱和压力越高。

为了进一步分析水变成水蒸气的汽化过程,图 1-5 给出了在一个定压容器中 1 kg 水变成蒸汽的过程示意图。在定压容器中有压力等于常数的重物压在 1 kg 水之上,这时的水处于未饱和状态,温度 $t < t_s$ (t_s 为饱和温度,温度之差称为过冷度)。如果在容器外加热,水的温度开始升高,当温度达到饱和温度即 $t = t_s$ 时,水开始沸腾汽化,这时水处于饱和状态。继续加热,这时有部分水已经变为蒸汽,但仍有部分水保持不变,它们的温度仍为 $t = t_s$,直到水全部变成蒸汽,水处于干饱和蒸汽状态,这时温度仍为 $t = t_s$ 。如果再继续加热,那么蒸汽的温度开始升高, $t > t_s$,处于过热蒸汽状态,这样的蒸汽称为过热蒸汽。过热蒸汽的温度 t 与饱和温度 t_s 之差称为过热度。

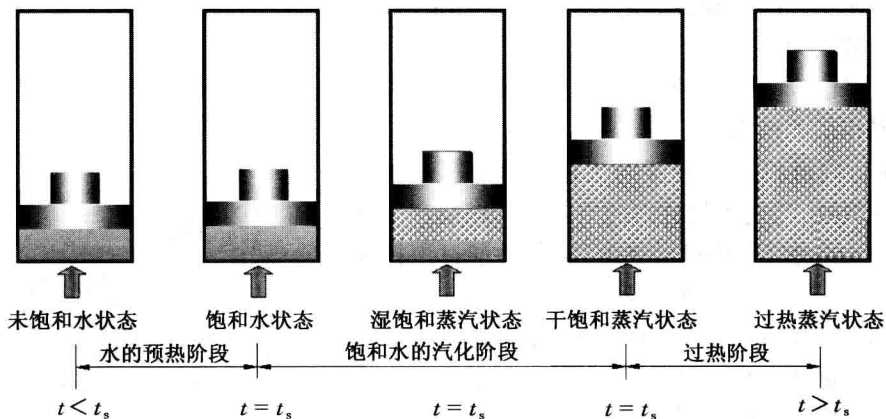


图 1-5 水在定压下的汽化过程

二、湿空气

完全不含水蒸气的空气称为“干空气”。自然界中的空气多少都含有一些水蒸气,工程上称为“湿空气”,湿空气是水蒸气和干空气的混合物。在干燥、空气调节等过程中,空气中的水蒸气起着特殊作用,所以必须研究气体和蒸汽的混合物的热力性质,特别是干空气和水蒸气的混合物即湿空气的热力性质。

空气中可以含有水蒸气最大量与温度有关,温度越高,最大限度的数量也就越大。如果空气中所含水蒸气量已经达到最大限度,称这时的湿空气为“饱和空气”。如果不是饱和空气,空气就有继续吸水的能力,这时的湿空气称为“未饱和空气”。

要确定湿空气的状态,除了温度、压力等常规状态参数外,还必须知道湿空气中水蒸气的含量,即湿度。单位容积的湿空气中所含的水蒸气的质量,称为“绝对湿度”,用符号 ρ 来表示,是指湿空气中水蒸气的绝对含量。绝对湿度不能表明湿空气所具有的吸水能力,因此引入了相对湿度的概念。相对湿度是指湿空气的绝对湿度与该温度下饱和空气的绝对湿度的比

值,用符号 φ 来表示,即

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_s}$$

相对湿度表征湿空气容纳水蒸气的能力,在 $0 \sim 100\%$ 取值,相对湿度越小,表示水蒸气距离饱和状态越远,空气吸水能力越强,空气越干燥;反之,空气越潮湿。由此可见,干空气中不含水蒸气,其相对湿度为 0 ,饱和空气的相对湿度为 100% 。相对湿度的大小可以通过干湿球温度计来测量,如图 1-6 所示。干湿球温度计含有两支普通温度计,其中一支的温包直接与湿空气接触,其测得温度称为干球温度 t ;另一支的温包则用保持浸润的湿纱布包着,测得温度称湿球温度。如果流过的空气是未饱和的,那么湿纱布表面的水分会不断蒸发,由于水蒸发时吸收热量,从而使贴近纱布的一层空气温度降低。当温度降低到一定程度时,气流传给纱布的热量正好等于水蒸发所需的热量,这时温度维持不变,此时的温度就是湿球温度 t_w 。空气的相对湿度愈小,湿球温度比干球温度就低得愈多。如果空气是饱和的,则由于空气不能接纳更多的蒸汽,故纱布上水分不会蒸发,这时湿球温度和干球温度是相同的。然后根据图 1-6 中对应的图表,可以查出湿空气的相对湿度。

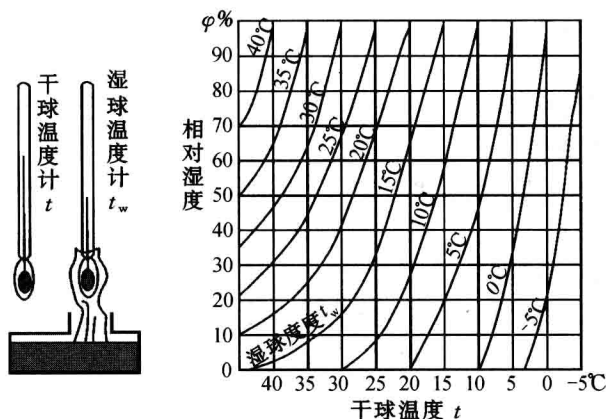


图 1-6 干湿球温度计

一定容积的湿空气所包含的水蒸气的质量 m_v 与包含的干空气质量 m_a 之比称为含湿量,也就是 1 kg 干空气所携带的水蒸气的质量,用符号 d 来表示,即

$$d = 1000 \frac{m_v}{m_a}$$

未饱和湿空气如果在等压下冷却,其相对湿度将随着温度下降而增大,当相对湿度达到 100% 时所对应的温度,称为该湿空气的露点温度,简称为露点。当未饱和湿空气温度达到露点时,就会有水蒸气凝结出来,出现结露现象。

第五节 传热学基础知识

热力学从理论上分析热力系统的状态、能量传递和迁移量以及系统的变化方向和性能的好坏,而传热学主要是研究热量传递及时间和空间分布的规律。热量由高温物体传递给低温物体的过程通常称为传热过程。

传热是一种极其普遍的自然现象。研究传热问题,对于船舶而言,有重要的实用意义。在

船舶轮机管理工程中,许多热力设备的设计制造和运行管理都涉及到传热学的知识。热传递有三种基本方式,即热传导(也称导热)、热对流和热辐射。实际热传递过程都是复合换热过程,是基本方式的不同组合。轮机管理人员应该很好地掌握和应用热传递的基本规律,有效地解决船舶传热相关的实际问题,改善运行效率,节能减排。

一、导热

当物体内有温差或者两个温度不同的物体相接触时,在物体各部分不发生相对位移的情况下,由于物体内部微粒(分子、原子或自由电子)的热运动,热量自发地从温度较高的部分或者物体传递到温度较低的部分或者物体,这种热量传递的现象称为热传导。只有在固体中,我们才能观察到单纯的导热现象。在气体和液体中虽然也有导热现象存在,但在发生导热的同时,由于气体或液体各部分的温度不同而产生流动,因而就产生了物质的位移。这里只介绍固体的导热过程。

单位时间内通过某一给定面积 A 的热量称为热流量,用符号 Φ 来表示,单位为 W 。单位时间内通过单位面积的热量称为热流密度,用 q 来表示,单位为 W/m^2 。显然可知

$$q = \Phi/A$$

热流量和热流密度反映了热量传递的快慢程度。

现分析一种最简单的热传导问题,如图 1-7 所示的平壁导热。平壁的导热面积为 A ,两侧的温度分别为 t_1 和 t_2 ($t_1 > t_2$),平壁厚度为 δ 。对于同一种材料,热流量 Φ 和温差 $\Delta t = t_1 - t_2$ 、传热面积 A 及平壁的厚度 δ 有关,导热面积越大,温差越大,厚度越小,所传导的热量越多。在温差、导热面积及屏壁厚度一定的情况下,各种材料所传导的热量也不相同。根据傅里叶导热基本定律,导热的热流量计算公式为

$$\Phi = \lambda \times \Delta t \times A/\delta$$

式中, λ 为材料的导热系数,单位为 $W/(m \cdot K)$ 。导热系数是表征物体传热能力大小的物理参数,与材料的几何形状无关,主要取决于材料的成分、内部结构、密度、温度和含湿量等,通常由实验的方法测定。一般金属的 λ 值最大,非金属固体的 λ 值较大,液体的 λ 较小,气体的 λ 值最小。

工程上习惯把导热系数 $\lambda < 0.12 W/(m \cdot K)$ 的材料称为保温材料,又称隔热材料或者绝热材料,表 1-3 列出了常见船用物质常温常压下的 λ 值。

表 1-3 常见船用物质的导热系数(常温常压)

物质名称		导热系数 $W/(m \cdot K)$	物质名称	导热系数 $W/(m \cdot K)$	
金属固体	纯铜	381 ~ 395	其他固体	水垢	0.58 ~ 2.33
	黄铜	93 ~ 116		烟灰	0.058 ~ 0.116
	铝	210 ~ 233		冰	2.21
	生铁、钢	47 ~ 58		霜	0.47
保温材料	石棉	0.099 ~ 0.209	液体	水	0.55 ~ 0.67
	玻璃棉	0.03 ~ 0.042		润滑油	0.148
	软木板	0.044 ~ 0.079		重油	0.119
	塑料泡沫	0.041 ~ 0.056	气体	空气	0.024

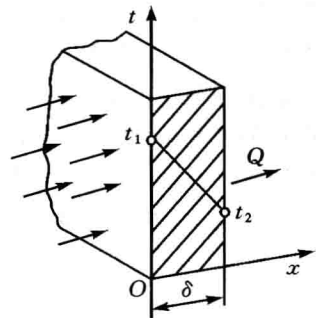


图 1-7 平壁导热

二、热对流

由于流体各部分之间发生相对位移、冷热流体相互混合所引起的热量传递过程称为热对流,简称对流。流体各部分之间由于密度差而引起的相对运动称为自然对流;而由于机械(泵或者风机等)的作用或者压差而引起的相对运动称为强迫对流。对流只能发生在流体中,由于流体中的分子同时在进行不规则的热运动,对流的同时必然伴随导热现象。船舶上流体的流经固体壁时的传热过程,一般都是对流和热传导联合作用的热量传递过程,称为表面对流换热,简称对流换热。

当温度为 t_f 的流体流过温度为 t_w ($t_w \neq t_f$)、面积为 A 的壁面时,对流换热的热流量 Φ 与换热面积 A 、流体与壁面的温差 Δt 成正比,根据牛顿冷却公式

$$\Phi = hA\Delta t$$

式中, Δt —— 固体壁面温度与流体的温度之差, K;

h —— 传热系数, $W/(m^2 \cdot K)$ 。

传热系数大小表明对流换热的强烈程度,流体流动时在壁面附近扰动程度越强烈,传热系数越大。流体在壁面附近产生相态变化时,传热系数也较大。各种对流换热的 h 值差异很大,表 1-4 列出了几种对流换热过程 h 值的大致范围。

表 1-4 表面传热系数的大致范围

对流换热种类	传热系数 $W/(m^2 \cdot K)$	对流换热种类	传热系数 $W/(m^2 \cdot K)$
空气自然对流	3 ~ 10	水沸腾	2 500 ~ 25 000
空气强迫对流	20 ~ 100	高压水蒸气强迫对流	500 ~ 3 500
水自然对流	200 ~ 1 000	水蒸气凝结	5 000 ~ 15 000
水强迫对流	1 000 ~ 15 000	有机水蒸气凝结	500 ~ 2 000

三、热辐射

物体通过电磁波传递能量的过程称为辐射,被传递的能量称为辐射能,由于热的原因,物体的内能转化为电磁波的能量并进行辐射的过程称为热辐射。温度高于 0 K 的所有物体都在不断地将自身的热能转化为辐射能,向外发出热辐射。热辐射是物质固有的特性,是唯一一种能在真空中传热的热量传递形式。物体表面温度越高,辐射的热量也就越多,当辐射的热量 Φ 投射到某一物体时(见图 1-8),其中一部分热量 Φ_α 被吸收,一部分热量 Φ_ρ 被反射,若物体具有一定透明度,还会有一部分热量 Φ_τ 透过去,按照能量守恒定律,即

$$\Phi = \Phi_\alpha + \Phi_\rho + \Phi_\tau = 1$$

或

$$\Phi_\alpha/\Phi + \Phi_\rho/\Phi + \Phi_\tau/\Phi = 1$$

式中,记 $\alpha = \Phi_\alpha/\Phi$ 为吸收比; $\rho = \Phi_\rho/\Phi$ 为反射比; $\tau = \Phi_\tau/\Phi$ 为透射比。

影响物体吸收比的因素为壁面的粗糙程度和壁面的颜色,壁面越粗糙,颜色越深,吸收比越大。

物体不断向周围的环境发出辐射能,并被周围物体所吸收,同时物体也不断接受周围其他物体辐射给它的能量。这样,物体发出和接受能量过程的综合结果产生了物体间通过热辐射而进行的热量传递,称为辐射换热。高温物体总是辐射出能量被低温物体所吸收,它们之间辐射换热热量可以表示为