

轮机概论

Lunji

Gailun

上海海运学院

绪 论

船舶动力在其发展史上，经历了以人力和风力等自然力来作为推进手段的漫长岁月，直到18世纪人们发明了蒸汽机并成功地在船舶上应用之后，才揭开了船舶机械化的新篇章。由于明轮是早期船舶的一种显著标志，因此“轮机”可能就是这种“轮”船上的“机”器的简称。然而，随着科学技术的进步以及船舶在功能上向着多样化、专业化和完善化的方向发展，今天，一艘现代化船舶实际上已成了一个现代工业技术成就的集合体，并涉及到机械、电气、电子等等一系列技术设备的综合运用。

根据当代系统工程和管理科学的理论研究表明，我们不能仅把“轮机”理解成机械设在机舱中的简单组合，而必须按照学科的基本理论和共性内容，以及机械设备之间的内涵联系来认识。因此，“轮机”乃是一个动力机械类性质的系统工程，是机舱中乃至全船不少子系统的总称。例如机械动力系统、液压系统、热力系统、电力系统和电气系统等等。根据轮机系统工程的内涵，轮机学所研究的共性问题包括：动力系统可靠性，热力系统经济性，动力输配系统的稳态匹配性，以及由于外界环境变化而能及时接受指令进行应变的动态机动性（过渡特性）和机舱噪声、振动合理控制的环保性能等，它们都是广义系统工程基本属性（集合性、相关性、目的性和环境适应性）在轮机中的相应特性。兹结合本门课程的具体要求分述如下：

通常，船舶动力装置可分为主动力装置和辅助动力装置两类：前者包括主机、轴系和推进器以及为主机服务的各种泵和换热器等，它是推进船舶的动力，所以总称为推进装置，这是船舶上最主要的机械能源；后者是指为了保证船舶在正常情况和应急时的供电需要，在船上设有发电机组和配电盘等机电设备以构成船舶电站，作为船舶的供电能源。但是，在电力推进的船舶上，或在以主机直接带动发电机的船舶上，主、辅助动力装置的概念又突破了原有的“界限”而有了新的含义。在有的船舶上，还用主机来带动高压油泵以建立一个集中制的液压能源，通过油马达来驱动发电机、制冷机、货油泵、压载泵以及各种甲板机械，实现所谓的全盘液动化。

船舶锅炉是船舶上的汽源，它无论在蒸汽动力装置船舶或内燃动力装置船舶上通常都是一种不可缺少的动力设备。锅炉产生的蒸汽可以用来满足船舶在动力、油水等的加热、炊事以及消防等方面的需要。

甲板机械包括船舶舵机、起货机、起锚机、自动系缆机以及滚装船上的开门与跳板控制设备等。顾名思义。所有甲板机械对于船舶的营运性能和航行安全都有十分重要的意义。象动力装置一样，甲板机械亦在朝着自动化的方向发展。

制冷设备是向船舶供冷的一种“冷源”，以便冷藏食品、运输冷藏货物和进行空气调节等。目前，除了一般船舶上所用的小型冷库和将部分舱容用来贮运冷藏货物外，还有专门用来运输冷藏货物的冷藏船和液化气船。

船舶系统是指包括压载、舱底、消防、卫生、空调等等为船舶的正常营运创造条件而与动力装置无关的各种专门化管网。

随着全球性的对开展环境保护工作的重视，船舶这一污染源不能不受到国际海事组织(IMO)各种公约条款的约束，从而为防止船舶的污染提出了一系列新的课题，例如油污处理、粪便处理、污水处理等等。于是象污水的生化处理等一些边缘科学也都开始介入了“轮机学”的范畴。

按照惯例，通常把推进船舶的机械称为“主机”，相应地把其他的一些机械设备定义为“辅机”。

船舶动力装置一般按主机的型式进行分类。

1. 蒸汽动力装置

利用锅炉所产生的蒸汽来工作的机器叫蒸汽机。蒸汽机分为往复蒸汽机和汽轮机两种。往复蒸汽机利用蒸汽的压力来推动活塞作往复运动，再通过连杆将活塞的往复运动变为曲轴的回转运动。汽轮机俗称透平机，它用蒸汽的能来转动叶轮从而使轴作回转运动。习惯上所说的蒸汽机是指往复蒸汽机而言。用往复蒸汽机作为主机的动力装置称为蒸汽机动力装置。现代船舶已不采用蒸汽机作为主机，因此这类动力装置本书不再介绍。用汽轮机作为主机的动力装置称为汽轮机动力装置。

2. 内燃机动力装置

利用燃料直接在机器内部燃烧所产生的燃气来工作的机器叫内燃机。根据所用燃料(如煤气、汽油、柴油等)的不同，内燃机分为煤气机、汽油机和柴油机等。采用柴油机作为主机的动力装置称为柴油机动力装置。

3. 燃气轮机动力装置

利用燃料燃烧所产生的燃气去推动叶轮回转的机器称为燃气轮机。采用燃气轮机作为主机的动力装置称为燃气轮机动力装置。

4. 原子能动力装置

这类装置利用原子反应堆所发出的热产生蒸汽，供给汽轮机工作。若按主机型式分类，它也应属于汽轮机动力装置。但为了突出它是采用原子反应堆的装置，所以称之为原子能动力装置。

随着国际贸易的发展和造船技术的不断提高，以及机电设备和装卸机械的日渐改进，当前世界海上运输船舶正向大型化、专用化和自动化的方向发展。从60年代开始，各国相继发展了自动化船舶，出现了无人机舱。至70年代初，船舶自动化的内容还只局限于机舱的自动化和舢装自动化，现在随着电子技术的发展和电子计算机在船上的应用，已开始了导航、机舱、舢装、装卸、报务甚至机器故障自动诊断等的全面自动化，即所谓的“超自动化”，并发展成为各部分的集中遥控。

根据预测，在船舶和航海技术发展的基础上，将来船员的体制将有可能发生实质性的变革。目前，一艘远洋船舶实行18个船员定编的已日渐增多，而且随着全球性的卫星通信技术的发展，今后船员的编制仍有可能进一步减少。虽然，在18人定编的船舶上，轮机部尚有5名船员(1名轮机长，3名轮机员，1名电机员)，3名轮机员实行接天轮班，但是机舱是“无人”的。在离靠码头时，1名轮机员在机舱，2名轮机员参加带缆，而轮机长则在驾驶室协助操船。显然，在这样的船上，轮机与驾驶的“合一”问题更加明显了，因此从发展趋势看，在驾驶室值班的人员应持有驾驶员和轮机员两种适任证书。众所周知，只有充分地认识管理对象，才能更好地发挥一个船舶驾驶人员的作用。为祖国的航海事业多作贡献。

复习思考题

1. 船舶在航行中，如何判断主机和舵机的工作是否正常？
2. 驾驶室可以通过哪些设备及其具体的技术手段与机舱值班人员或机械装置发生联系？
3. 驾驶人员了解一些轮机知识的必要性何在？
4. 轮机技术的主要内容和发展方向是什么？你对学习本课程有何设想？

目 录

绪 论	(1)
第一章 热工基本知识	(1)
第一节 工质的基本状态参数	(1)
第二节 船舶动力装置中压力和温度的测量	(2)
第三节 热与功	(5)
第四节 水蒸气与湿空气	(7)
第五节 传热的基本方式	(7)
复习思考题	(10)
第二章 船舶柴油机装置	(11)
第一节 活塞——连杆机构的工作原理	(11)
第二节 四冲程柴油机工作原理	(12)
第三节 二冲程柴油机工作原理	(14)
第四节 柴油机的增压	(16)
第五节 柴油机的功率和效率	(17)
第六节 柴油机的结构实例	(19)
第七节 柴油机的工作系统	(20)
第八节 柴油机的操纵系统	(23)
第九节 柴油机的运转特性	(35)
第十节 各种航行条件下主机的工况	(38)
第十一节 柴油机船的节能技术及其创收的综合途径	(41)
第十二节 柴油机的运行管理	(44)
复习思考题	(46)
第三章 船舶蒸汽轮机装置	(47)
第一节 汽轮机的工作原理	(47)
第二节 船舶汽轮机装置	(49)
第三节 汽轮机的功率调节	(50)
第四节 船舶汽轮机组的操作和保养	(51)
复习思考题	(53)
第四章 船舶蒸汽锅炉	(51)
第一节 概述	(51)
第二节 船用锅炉的主要型式和构造	(54)
第三节 燃料及其燃烧设备	(57)
第四节 船级社对锅炉检验的要求	(60)
第五节 锅炉的运行和保养	(60)

复习思考题.....	(62)
第五章 船舶轴系和推进器.....	(63)
第一节 轴系.....	(63)
第二节 螺旋桨的特性曲线.....	(65)
第三节 变螺距螺旋桨.....	(67)
复习思考题.....	(72)
第六章 船用泵.....	(73)
第一节 综述.....	(73)
第二节 往复泵.....	(75)
第三节 回转泵.....	(80)
第四节 离心泵.....	(84)
复习思考题.....	(86)
第七章 甲板机械.....	(88)
第一节 舵机.....	(88)
第二节 侧推装置.....	(96)
第三节 起锚机和绞缆机.....	(99)
第四节 起货设备.....	(103)
复习思考题.....	(110)
第八章 船舶制冷和空气调节.....	(112)
第一节 制冷的一般知识.....	(112)
第二节 压缩蒸发制冷装置.....	(113)
第三节 活塞式制冷压缩机.....	(117)
第四节 船舶食物冷库制冷装置及其自动化.....	(118)
第五节 船舶空气调节.....	(123)
第六节 货舱干燥系统.....	(125)
复习思考题.....	(126)
第九章 船舶通用系统.....	(127)
第一节 船舱系统及其遥控.....	(127)
第二节 消防系统.....	(132)
第三节 环保设备.....	(133)
第四节 真空蒸发式造水装置.....	(138)
复习思考题.....	(139)
第十章 轮机自动化.....	(140)
第一节 柴油机运行参数的自动控制.....	(140)
第二节 锅炉自动控制.....	(141)
第三节 主机遥控系统及无人机舱.....	(143)
复习思考题.....	(152)
第十一章 油船专用系统及设备.....	(153)
第一节 油船装卸系统.....	(153)

第二节	油船压载系统.....	(158)
第三节	油船惰性气体系统.....	(159)
第四节	原油洗舱系统.....	(165)
	复习思考题.....	(169)
第十二章	船舶电力系统.....	(169)
第一节	概述.....	(169)
第二节	船舶电源.....	(172)
第三节	船舶配电装置.....	(174)
第四节	船舶电站的自动化.....	(176)
	复习思考题.....	(178)

第一章 热工基本知识

第一节 工质的基本状态参数

在动力装置中用来做功的各种流动介质,如燃气、蒸汽、水、空气等,统称之为“工质”。工质在动力装置中进行工作时,它的压力、温度都要不断地发生变化。一般说来,可以用压力和温度来说明工质的热力状态,所以压力和温度就是说明工质热力状态的参数或简称“状态参数”。

一、压 力

工质施加在容器壁面单位面积上的作用力,称为压力,通常用 p 表示。绝对压力、表压力和真空压力的意义和关系可以用图1-1形象地加以说明。从图中可以看出,表压力和真空压力都是表示工质的绝对压力与当地大气压力的差值,都是压力表(真空压力表)的直接读数,所以在运行管理中都习惯用表压力或真空压力。但要表明工质的热力状态,就必须以绝对压力为基准。为此,在技术资料 and 热力计算中都用绝对压力(在技术资料中如标明的是表压力,则在其单位后均标明“表”字)。在精确的计算中,必须用大气压力计测出当地的大气压力,然后再与表压力相加(或以大气压力减去真空压力)而求出工质的绝对压力。如果

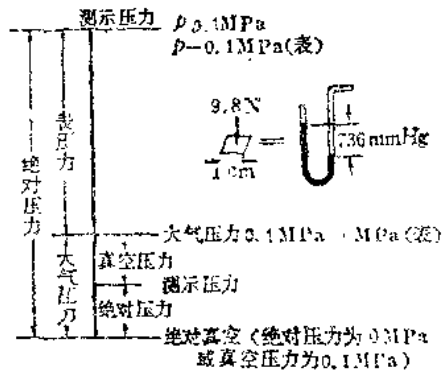


图1-1 绝对压力、表压力和真空压力的关系

不要要求十分精确,则可认为大气压力为0.1MPa而近似地求出绝对压力。”

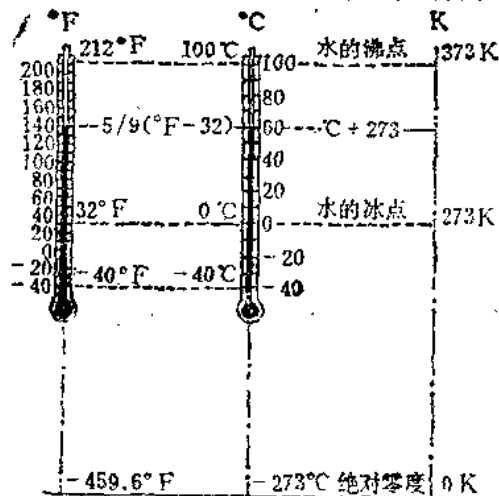


图1-2 摄氏温度、华氏温度和开氏温度间的关系

摄氏温度、华氏温度和开氏温度之间的换算可用图1-2形象地表示出来。

二、温 度

温度是表明工质冷热程度的状态参数,通常用符号 t 表示。

常用的温度单位有摄氏和华氏两种。其换算关系如下:

$$\text{摄氏温度 } ^\circ\text{C} = \frac{5}{9} \times (\text{华氏温度 } ^\circ\text{F} - 32)$$

$$\text{华氏温度 } ^\circ\text{F} = \frac{9}{5} \times \text{摄氏温度 } ^\circ\text{C} + 32$$

在进行热工计算和确定工质的状态时,采用绝对温度。绝对温度 $K = \text{摄氏温度 } ^\circ\text{C} + 273.15^\circ$

三、比容和密度

工质占有的空间容积 V 以立方米(m^3)或升($1000cm^3$ 或L)表示。每公斤工质的容积称为比容,用符号 v 表示,它的单位是米³/公斤(m^3/kg)或升/公斤(L/kg)。相反,每立方米容积工质的质量称为密度,用符号 γ 表示,它的单位是公斤/米³(kg/m^3),即:

$$v = \frac{1}{\gamma}$$

四、压力、温度和比容的关系

压力、温度和比容都是表明工质状态的参数,它们之间存在着一定的关系。

我们知道,当固体物质在受热或冷却时,其体积会发生变化,产生热胀冷缩现象。液体也有类似的性质。例如水,当压力从 $1 \times 10^6 Pa$ 增加至 $1 \times 10^7 Pa$ 时,其体积只减小0.5% (即比容变化为0.5%);而当温度从0℃增至100℃时,其体积约增加4% (即比容变化为4%)。

气体的体积随压力和温度的变化比液体要显著得多。实验表明1kg气体,其状态变化前后的 p_1 、 T_1 、 v_1 和 p_2 、 T_2 、 v_2 之间存在以下关系:

$$\frac{p_1 v_1}{T_1} = \frac{p_2 v_2}{T_2}$$

即

$$\frac{pv}{T} = R \quad \text{或} \quad pv = RT$$

这一关系式称为气体状态方程。 R 称为气体常数。不同气体的 R 值不等,如空气为29.3,氧气为26.5,氮气为30.3,二氧化碳为19.3等。

当气体存放于一定的容器中时,其体积 V 是固定不变的,这时压力和温度之间的变化将成为正比关系,即:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \quad \text{或} \quad \frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

由此可知为什么充满氧气的氧气瓶不能在太阳下曝晒,更不能靠近火或高温,这是因为瓶内气体的压力将随温度的升高而升高,并有可能引起爆炸事故。

第二节 船舶动力装置中压力和温度的测量

动力装置中工质的状态可以用压力和温度来表示。所以在运行管理中各种机械设备的的工作是否正常,通常都可通过测量工质的压力和温度来进行判断。目前比较先进的船舶是将机舱主、辅机中的各种压力和温度用压力表和温度表集中反映在机舱的集中操纵室的仪表盘上。因此,对压力和温度的测量是十分重要的。

一、测压仪表

1. 弹簧管式压力表

如图1-3所示,一根扁圆形截面的管子,弯成圆弧形,管子B端封闭而自A端通入被测工质。如将A端固定,当弹簧管内感受到被测工质的压力时,其自由端B就会发生位移。当

被测工质的压力大于大气压时， B 移到 B' ；而当工质压力小于大气压力时， B 移到 B'' 。管内受压与大气压力相差越大，位移量也就越大。如果通过一扇形齿轮式杠杆传动系统，就可将此位移转变成指针的转角。而在指针的盘面上标上适当的刻度，指针就可指出压力（或真空压力）的大小。图1-4为弹簧管式压力表的构造图。

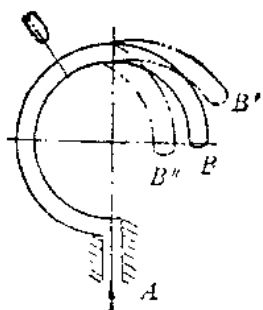


图1-3 弹簧管式压力表工作原理

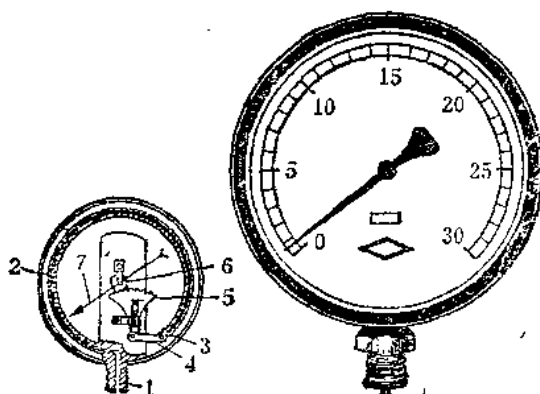


图1-4 弹簧管式压力表的构造

1-接被测工质的接头；2-扁圆形截面管；3-自由端；4-传动杆；5-扇形齿轮；6-小齿轮；7-指针

2. U形液柱式压力表

如图1-5所示，该表由U形玻璃管制成，管内装有液体（根据所测压力的高低而采用水银、油或水）。此液体可使处于不同压力下的工质间隔开来，同时可平衡被测压力，并以其液位差来表示被测压力的数值。如将被测工质与U形管一端接通，另一端通大气，两边管内的液位差即反映被测工质的压力与大气压力之差。在管间标以适当的刻度即可测出被测工质的表压力。

3. 电触点式压力表

它是在一个弹簧管式压力表上加装了高低限触点，见图1-6。当压力降至低限时，压力

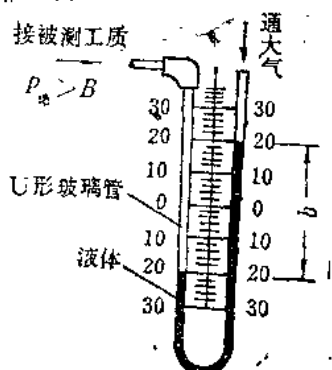


图1-5 U形液柱式压力表

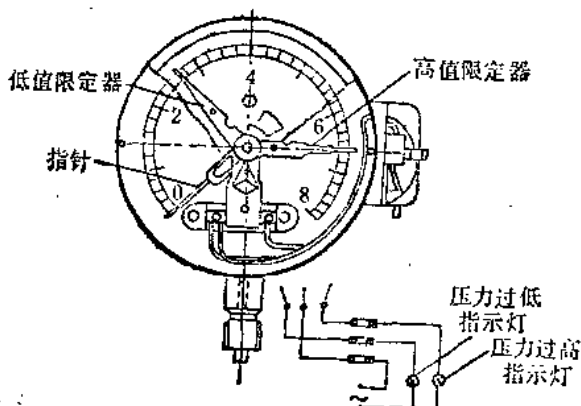


图1-6 电触点式压力表

表指针上所附的接触器就与低值限定器接触，当压力达到高限时，指针则与高值限定器接触，从而使相应的控制电路起作用，并通过指示灯显示或蜂鸣器报警。其限定值可根据需要进行调整。

二、测温仪表

1. 玻璃管液体温度计

玻璃管液体温度计是利用液体在玻璃管内热胀冷缩的原理制成的，其构造可从图1-2看出。在玻璃管下部有一小球与玻璃管相通，内部充入一定数量的液体。船上常用水银和酒精液体，称为水银温度计和酒精温度计。

水银温度计的适用量程是 $-30\sim 700^{\circ}\text{C}$ ，而在 $0\sim 200^{\circ}\text{C}$ 的区域内使用效果最好。酒精温度计的适用量程是 $-100\sim 75^{\circ}\text{C}$ ，所以用它来测量较低的温度。为了便于观察，酒精液体常染成红色或蓝色。

玻璃管液体温度计通常只能在被测工质处就地测示温度。

2. 压力表式温度计

压力表式温度计实际上就是由一只弹簧管式压力表和测温感受件（温包）所组成的温度计。它可以在一定的距离内测示温度。图1-7为其构造示意图。它具有一个专门的测温包，以毛细管和压力表接通而构成一密闭系统，在系统中充满液体（视所测温度范围而采用水银或二甲苯，也有充入惰性气体或饱和液体和气体的）。当温度升高时，测温包内的液体就发生膨胀。由于系统是密闭的，所以液体膨胀时就产生一定的压力，温度越高，其膨胀所产生的压力越大，只要将压力表盘面的刻度分成相应的温度等分，即可反映被测工质的温度值。

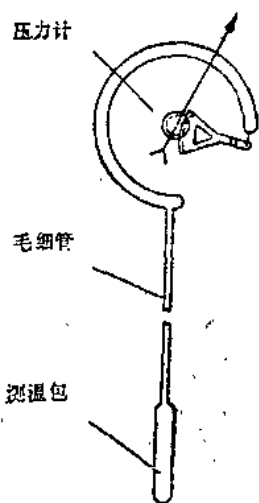


图1-7 压力表式温度计

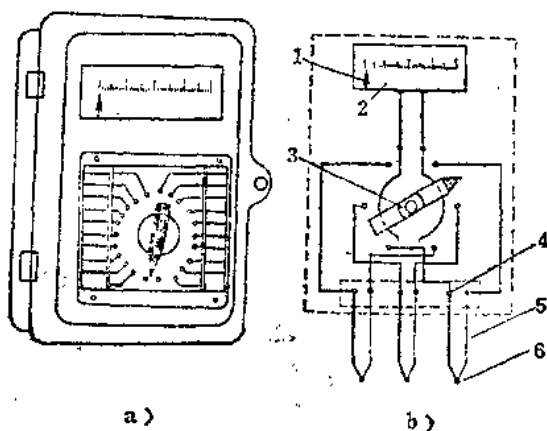


图1-8 热电偶温度计

a) 外形图, b) 原理图

1-温度指针; 2-表盘; 3-切换开关旋钮; 4-冷接点; 5-热电偶; 6-热接点

这类温度计，充水银的适用量程为 $-30\sim 550^{\circ}\text{C}$ ，充二甲苯的适用量程为 $-40\sim 200^{\circ}\text{C}$ 。毛细管的最大长度为 $20\sim 22\text{m}$ 。根据仪表板到被测温度点的距离，出厂时毛细管有几种不同长

度的规格。

3. 热电偶温度计

这类温度计可以远距离遥测温度，在船上通常用来测量柴油机各缸的排气温度，并在操作台上设有切换开关，以便用一个表头可以读出每一缸的排气温度。

图1-8为这种温度计的原理图和外形图。它的测温感受件是用两种不同的金属丝（例如铜-康铜、镍铬-镍或铂铑-铂等）接成的热电偶。热电偶的二端用引线接到一个毫伏计上构成一个回路。当此回路处于相同的温度下，即各处都是环境温度时，回路中没有电流流通，毫伏计指针不动。当热接点感受的温度升高而冷接点仍为环境温度时，冷热接点处的电势就会不一样，因而电流就会从高电势流向低电势，毫伏计上的指针就会移动。冷热接点间的温差越大，电势差也就越大，电流就会越强。毫伏计上的刻度为温度刻度，这样就可测示温度值。

这类温度计由于测示的温度是冷热接点的温差，所以要精确地测示温度时，必须使冷点保持恒温（例如0℃或15℃等）。

4. 电阻温度计

这也是一种可以遥测温度的温度计，常被用在船舶的集中仪表板上。

金属的电阻值会随温度的变化而变化。当温度升高时，金属的电阻变大，电阻温度计的感受件就是一个由金属丝绕成的电阻。测量仪表是能反映电阻变化的特殊电工仪表，称为比率计。它的外形与毫伏计相仿，被测工质的温度可直接由比率计上读得。

工业用铂电阻温度计的感受件如图1-9所示。铂电阻温度计可以较为准确地测量100~500℃的温度。低于100℃的温度可利用铜电阻温度计。

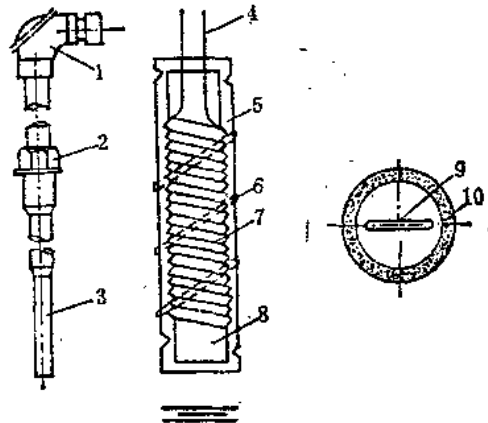


图1-9 铂电阻温度计

1-头部；2-螺丝接口；3-保护管；4-引出线；5-保护用云母片；6-绑扎用线带；7-铂丝；8-云母片骨架；9-铂电阻线圈整体；10-保护管

第三节 热 与 功

一、热量的单位

在动力装置中，工质有时吸收热量，有时放出热量。为了衡量工质吸收或放出热量的多少，需要定出热量的单位。

在SI制中，热量单位采用焦耳（焦或J）。我国工程中以往常用的热量单位是卡（cal）和千卡（kcal）。在标准大气压下将1kg纯水升高1℃所需的热量为1000cal，称为1kcal。在采用英制的国家中，是用标准大气压下将1Lb水升高1°F所需的热量作为一个热量单位，称为英热单位（B.T.U.）。它们之间的换算关系为：

$$1\text{kcal} = 4186.8\text{J} = 3.968\text{B.T.U.}$$

二、功和功率

在工程单位制中，力的单位为kgf，距离的单位为m，所以功的单位为kgf·m。

在SI制中，力的单位为N，距离的单位为m，所以功的单位为N·m，即焦耳(J)。二者的换算关系为：

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

功率是表示在单位时间内所作的功。工程中计算功率的单位是马力(HP)①或千瓦(kW)。每秒钟作功1J称为1W，所以

$$1\text{kW} = 1000\text{J/s} = 1000\text{N}\cdot\text{m/s} = 102\text{kgf}\cdot\text{m/s}$$

在公制单位中规定 $1\text{PS} = 75\text{kgf}\cdot\text{m/s}$

所以 $1\text{kW} = 1.36\text{PS}$

采用英制单位的国家所用的英制马力比公制马力大一点，它们的关系为

$$1\text{公制马力(PS)} = 0.986\text{英制马力(HP)}$$

$$\text{即 } 1\text{PS} \approx 1\text{HP}$$

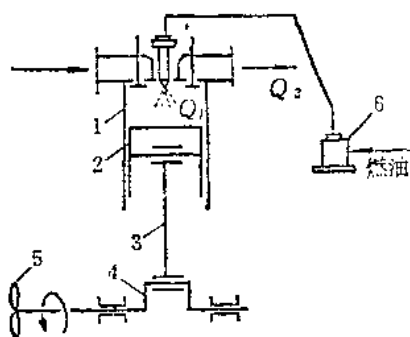


图1-10 柴油机动力装置工作原理简图

1-柴油机气缸；2-活塞；3-连杆；

4-曲柄；5-推进器；6-高压油泵

三、热功转换与效率

图1-10为柴油机动力装置的工作原理简图。燃油由高压油泵喷入气缸，在气缸中燃烧产生热量 Q_1 ，使进入的空气变成高温高压的燃气而推动活塞产生机械功。活塞的移动通过连杆曲柄机构变成曲柄的回转运动（机械功）带动推进器回转推船前进。工作完了的低温低压燃气排出气缸，排气带走热量 Q_2 ，从而也完成一个循环。根据能量守恒定律也可以写成：

$$Q_1 = AL + Q_2$$

我们把有效作功热量与供给热量之比称为有效热效率 η ，即：

$$\eta = \frac{\text{效果}}{\text{代价}} = \frac{AL}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

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

卡诺在总结了前人大量的实践和理论研究之后，提出了最理想的动力机械循环的概念，即所谓“理想极限循环”或称“卡诺循环”，其有效热效率只与高温热源的绝对温度 T_1 和低温热源的绝对温度 T_2 有关，用公式表示为：

$$\eta_{\text{卡诺}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

① 公制马力的代号是PS (德语Pferdstarke)，也可以是CV (法语Cheval Vapeur)。英制马力的代号为HP (英语horse power)。本书取近似值，令 $1\text{HP} = 75\text{kgf}\cdot\text{m/s} = 735\text{W}$ 。

第四节 水蒸气与湿空气

一、水蒸气的形成和性质

众所周知，水在1atm下（约等于 10^5Pa ）被加热到 100°C 时就开始沸腾。如果继续加热，水就会逐渐减少而变成蒸汽，这个过程称为汽化过程。当水还没有完全变成水蒸气以前，无论是水或水蒸气的温度均保持 100°C 不变。但是，当压力变化时，水的沸腾温度也随之变化。例如当压力由 $1 \times 10^5\text{Pa}$ 增加到 $2 \times 10^5\text{Pa}$ 时，其沸腾温度就由 100°C 上升到 120°C ，亦即水要在 120°C 时才开始沸腾而变成水蒸气，这时蒸汽温度亦为 120°C 。在不同压力下水开始沸腾的温度称为该压力下水的“饱和温度”。显然，当水处于 $2 \times 10^5\text{Pa}$ 压力之下，如果水的温度为 100°C ，它就不会沸腾。但是如果将压力降低到 $1 \times 10^5\text{Pa}$ ，水又立即沸腾。我们称此时的压力为该温度下水的“饱和压力”。

图1-11示出了在既定压力下，温度随加热量而变化的曲线。由图可见，将某一过冷度的水加热使之变为具有一定过热度的蒸汽，汽化潜热占有很大的比例。例如在 0.1MPa 下使 1kg 水温度升高 1°C 所需的热量

约为 4.2kJ ，使 1kg 的饱和蒸汽温度升高 1°C 所需热量约为 1.89kJ ，而要使 1kg 饱和水变成 1kg 饱和蒸汽所需的汽化潜热则约为 2258kJ 。

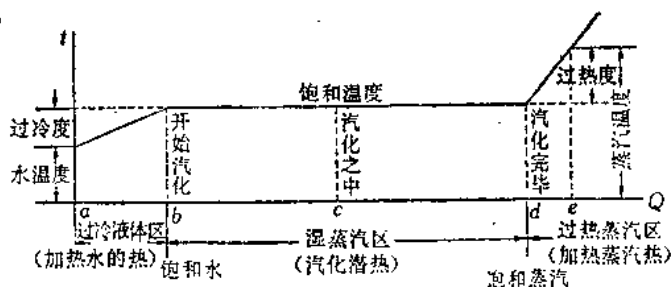


图1-11 温度随加热量变化的曲线

二、湿空气

自然界中的空气多少都含有一些水蒸气，工程上称之为湿空气。实验表明，空气中可以含有水蒸气的最大限量是与温度有关的，温度越高，所能含水的最大限量也越大。如果空气中所含的水蒸气量已经达到最大限量，就称这时的湿空气为“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”。

在给定的温度下， 1m^3 湿空气中所含水蒸气量与 1m^3 饱和空气中所含的水蒸气量之比（用百分比表示）称为“相对湿度”。由此可见，干空气中不含水蒸气，其相对湿度为零，而饱和空气的相对湿度为 100% 。相对湿度反映了湿空气接近饱和空气的程度。相对湿度越小，其吸水的能力（干燥能力）就越大。相对湿度用符号 φ 表示。

第五节 传热的基本方式

以上叙述了有关热力学方面的一些基本知识。热力学是讨论热能与机械能相互转换规律的。在传热学中研究热量传递的规律，即热量由高温物体传递给低温物体的规律，这种热量传递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，对于船舶来讲，也有重大的实用意

义。

研究指出，任何一种传热过程都不外乎以下三种基本方式，即导热、对流和辐射。

一、导 热

当物体各部分的温度不同时，热量就会自发地从温度较高的部分传递到温度较低的部分。这种不依赖于物体各部分的相对位移而在物体内部进行的热量传递叫做导热。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。所以，这里只介绍固体的导热过程。

现以图1-12所示的平壁来说明影响导热的因素。如果平壁的导热面积是 F 平方米，两侧表面的温度分别为 t_1 ℃和 t_2 ℃ ($t_1 > t_2$)，厚度为 δ ，显然，温差 $\Delta t = t_1 - t_2$ 和导热面积 F 越大、厚度 δ 越小时，所传导的热量必定越多。但是在 Δt 、 F 和 δ 相同的情况下，各种材料所传导的热量并不相同，因此通过平壁的导热热量 Q 可以写成：

$$Q = \lambda \frac{\Delta t}{\delta} F \quad \text{kJ/h}$$

式中 λ 称为材料的导热系数。不同的物质具有不同的 λ 值。 λ 值越大，表示导热性能越好。金属的 λ 值最大，液体次之，气体的 λ 值最小。习惯上常把一般温度下导热系数 λ 小于 $0.2 \text{ kJ/m} \cdot \text{h} \cdot \text{°C}$ 的材料叫做隔热材料（或绝热材料），例如夹有空气层的铝箔隔热结构、玻璃纤维、软木、矿渣棉和聚氯乙烯泡沫塑料等。所以，在设备和导管的外部包上绝热材料，就可以使 λ 减小，从而减少导热的传热量。

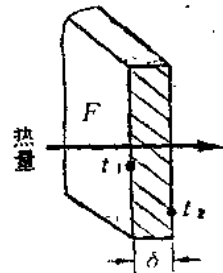


图1-12 平壁导热原理

二、对 流 换 热

流体与固体壁面接触时的换热过程称为对流换热。对流换热时传热量 Q 与传热（接触）面积 F 和传热温差 Δt 之间的关系也可写为：

$$Q = \alpha F \cdot \Delta t \quad \text{kJ/h}$$

式中： Δt ——固体壁面温度与液体或气体温度之差，℃；

α ——放热系数， $\text{kJ/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{°C}$ 。

放热系数 α 表明对流换热的强烈程度。液体或气体流动时在壁面附近扰动的程度越剧烈，放热系数就越大。液体或气体在壁面附近产生相态变化时，放热系数也较大。

三、辐 射 换 热

辐射换热是靠电磁波中的可见光线和红外线来传递热量的。它不需要冷、热二物体直接接触，即使二者之间是高度真空，只要有温度差存在，就能进行辐射换热。例如太阳对地球的热传递就是通过辐射进行的。

任何物体，不论它是“冷”的还是“热”的，随时都向外界辐射热量。物体表面温度越高，辐射的热量越多。当辐射的热量 Q 投射到某一物体时（见图1-13），其中一部分 Q_1 被吸收，另一部分 Q_2 被反射出来，若物体是透明的，则还有一部分 Q_3 透过去。被物体吸收的热

量 Q_1 与投射到该物体的热量 Q_0 之比称为该物体的吸收率 A ,即

$$A = \frac{Q_1}{Q_0}$$

影响物体表面吸收率的因素有:

- 1) 壁面的粗糙程度: 壁面越粗糙对红外线的吸收率越大。
- 2) 壁面颜色的深浅: 壁面颜色越深, 对可见光的吸收率越大。

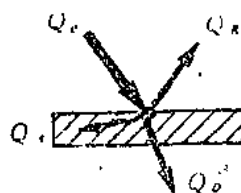


图1-13 辐射换热原理

不同温度的物体, 向外辐射可见光线与红外线所传递的热量比例也不相同。如在一般工程的高温范围内(1000K), 主要由红外线传递热量, 所以影响吸收率的主要因素是壁面的粗糙度, 这时颜色的深浅对吸收率影响不大。而对阳光来说, 因太阳表面的温度高达6000K, 它的红外线与可见光线传递的热量差不多各占一半, 这时物体表面的颜色对吸收率的影响也加大了, 所以为了削弱对太阳辐射热的吸收, 船舶上层建筑和冷藏船船体多漆成白色。为了增强对太阳辐射热的吸收, 太阳能吸收器的表面均为粗糙的黑色物体。

物体之间的相互辐射或吸收, 就构成了辐射换热过程。高温物体1总是辐射出热量而被低温物体2所吸收, 它们之间辐射换热量可用化简后的公式表示为:

$$Q = \alpha_{\text{辐}} F_2 \cdot \Delta t \quad \text{kJ/h}$$

式中: $\alpha_{\text{辐}}$ —— 辐射换热强弱的辐射放热系数, $\text{kJ/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{C}$;

F_2 —— 物体2接受辐射的表面积, m^2 ;

Δt —— 物体1与物体2壁面的温度差, C 。

根据以上的分析, 影响辐射放热系数 $\alpha_{\text{辐}}$ 大小的因素较多, 决定于高温物体的表面温度和低温物体表面的情况等。为了减少辐射传热的热量, 使用遮热板是船上常采用的一种方法。例如, 在露天甲板上设置遮阳天棚就可有效地削弱阳光对舱室的辐射热。又如, 在燃煤锅炉的炉门内装设一块遮热板, 可以大大减少炉膛内向炉门的辐射热。

四、传热过程

传热过程是以上三种基本传热方式的复合过程。以锅炉中的传热过程为例, 如图1-14所示。

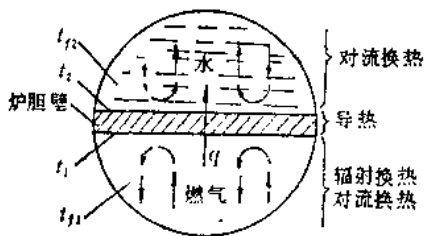


图1-14 锅炉中的传热过程

热量从炉膛中的高温燃气传给水就是同时具有导热、对流换热和辐射换热三种基本方式的传热过程。高温燃气对炉胆壁面的传热包括辐射换热和对流换热两种方式。由于传热的结果, 炉胆下壁面温度达到 t_1 , 热量由炉胆的下壁面传向上壁面, 其温度为 t_2 , 这时的传热是以导热的方式进行的。热量由上壁面传向水的过程是对流换热方式。

传热过程虽然复杂, 但分析三种基本方式后可以得知, 其基本规律是: 当热的一方温度越高, 冷的一方温度越低, 即传热双方的温差越大, 传热量就越多。此外, 参加传热的面积越大, 传热量也就越多。所以, 我们可以结合以上三种传热方式的计算公式将任何二物体之间的传热过程的传热量 Q 写成如下形式:

$$Q = KF \cdot \Delta t \quad \text{kJ/h}$$

式中: F —— 传热面积, m^2 ;

Δt ——传热双方的温差， $^{\circ}\text{C}$ ；

K ——传热系数， $\text{kJ}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C}$ 。

显然，传热系数 K 表示在传热过程中除了 Δt 、 F 以外其他各种因素对传热影响的强弱程度。它包含了导热系数 λ 、壁厚 δ 、对流放热系数 α 以及辐射放热系数 $\alpha_{\text{辐}}$ 的全部数值。在某些热交换器中，例如燃油加热器、淡水冷却器等的传热过程，只有导热和对流两种传热方式。可见，在工程上并不是所有传热过程中都必定包括三种传热方式，而必须根据具体情况进行分析。

在船舶动力装置中，根据实际情况有时要设法加强传热量，有时又要设法减少传热量。我们应该根据以上分析的各种传热方式的基本原理和相应的公式对 ([1] 情况进行具体分析，决定如何采取措施来增加传热量或减少传热量，以满足机械设备运行的要求和提高效率。

复习思考题

1. 何谓“气体常数”？试讨论这一概念的具体应用。
2. 为什么热机效率达不到100%，它可以通过哪些途径来提高？
3. 说明在船舶业务上哪些方面与水蒸汽和湿空气的知识有关。
4. 举例说明传热学知识在船舶上的各种实际应用。