

# 轮机概论

大连海运学院 汪育才 陈崇铨 方竹 编

集美航海学校  
图书资料室

人民交通出版社

# 轮 机 概 论

大 连 海 运 学 院

汪育才 陈崇铨 方 竹 编

人 民 交 通 出 版 社

# 轮机概论

大连海运学院

汪育才 陈崇铨 方竹 编

人民交通出版社出版

(北京市安定门外和平里)

北京市书刊出版业营业许可证出字第 006 号

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本: 787×1092<sub>毫米</sub> 印张: 13 字数: 296 千

1981年6月 第1版

1981年6月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—8,100册 定价: 1.40元

## 内 容 提 要

本书主要根据我国高等海运院校船舶驾驶专业的教学需要编写而成。全书共分十章，分别讲述：热工基本知识；船舶柴油机、汽轮机和燃气轮机装置；船舶锅炉；船舶轴系和推进器；甲板机械；船舶制冷和空气调节；船舶通用系统；船舶机舱的总体布置和无人化。

本书可用作海洋船舶驾驶专业的教材，亦可供海船驾驶员以及有关专业的师生和工程技术人员参考。

本书由汪育才主编，方竹副教授审校。书中第一、二章由方竹编写，第三、四、六、八章由陈崇铨编写，其余各章由汪育才编写。全书大部分插图由吴晓光描绘。

# 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，直到十八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。因此，从某种意义上来说，“轮机”也可认为就是船舶机械化的一种简称。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，甚至已使人们很难为“轮机”一词下一个十分确切的定义。本书仅就船舶动力装置、甲板机械和船舶系统等内容，从一个船舶驾驶人员的角度出发，来对现代船舶轮机的基本知识作一扼要的论述和介绍。

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，或是以主机来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，实现所谓的全盘液化化。

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。

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协(IMCO)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已开始进入了“轮机学”的范畴。

按照惯例，我们通常都把推进船舶的机械称为“主机”，而相应地把其它的一些机械设备则定义为“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。往复蒸汽机是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加以介绍。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轉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产生蒸汽供给汽轮机进行工作。如按主机型式分类，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。从六十年代开始，各国相继发展了自动化船舶。至七十年代初，船舶自动化的内容还只局限于机舱的自动化和舾装自动化，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、舾装、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。

# 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	4
第三节 热与功	7
第四节 水蒸气与湿空气	10
第五节 传热的基本方式	15
第二章 船舶柴油机装置	18
第一节 活塞-连杆机构的工作原理	18
第二节 四冲程柴油机工作原理	19
第三节 二冲程柴油机工作原理	21
第四节 柴油机的增压	22
第五节 柴油机的功率和效率	23
第六节 柴油机的基本结构型式	25
第七节 柴油机的工作系统	31
第八节 柴油机的操纵系统	39
第九节 柴油机的运行管理	46
第三章 船舶蒸汽轮机和燃气轮机装置	48
第一节 汽轮机的工作原理	48
第二节 汽轮机分级	50
第三节 船用汽轮机组的构造和型式	53
第四节 船用汽轮机的功率调节和调速	58
第五节 船用汽轮机的主要系统	61
第六节 船用汽轮机组的操作和保养	62
第七节 船舶燃气轮机装置	63
第四章 船舶蒸汽锅炉	68
第一节 概述	68
第二节 船用锅炉的主要型式及其构造	71
第三节 燃料及其燃烧设备	79
第四节 船用锅炉装置的主要系统	82
第五节 锅炉的自动调节	85
第六节 锅炉的运行和保养	88
第五章 船舶轴系和推进器	90
第一节 轴系	90

第二节	螺旋桨的特性曲线	92
第三节	变螺距螺旋桨	94
<b>第六章</b>	<b>船用泵</b>	101
第一节	综述	101
第二节	往复泵	103
第三节	回转泵	109
第四节	离心泵	112
<b>第七章</b>	<b>甲板机械</b>	115
第一节	舵机	115
第二节	起锚机和绞缆机	128
第三节	起货设备	132
<b>第八章</b>	<b>船舶制冷和空气调节</b>	148
第一节	制冷的一般知识	148
第二节	压缩蒸发制冷装置	150
第三节	活塞式制冷压缩机	154
第四节	船舶食物冷库制冷装置及其自动化	157
第五节	吸收式电冰箱	163
第六节	舱室空气调节的基本知识	164
第七节	空调系统的主要设备	168
第八节	空调装置实例	172
第九节	热泵式微型空调器	172
第十节	货舱干燥系统	174
<b>第九章</b>	<b>船舶通用系统</b>	176
第一节	船舱系统及其遥控	176
第二节	卫生系统	179
第三节	消防系统	180
第四节	环卫机械和设备	181
<b>第十章</b>	<b>船舶机舱的总体布置和无人化</b>	191
第一节	机舱总体布置	191
第二节	主机的机旁操作和遥控	191
第三节	无人机舱简介	199



# 第一章 热工基本知识

## 第一节 工质的基本状态参数

在动力装置中用来作功的各种流动介质，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”。

工质的状态参数很多。压力、温度和每公斤工质所具有的容积——比容是最常用的三个状态参数。经验表明，这三个状态参数中，只要知道两个，就能确定气体工质处于什么状态。通常在船舶动力装置中确定工质的状态是用压力和温度两个参数。

### 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。在工程上常用的压力单位是作用在每平方厘米面积上的公斤力，写为公斤力/厘米<sup>2</sup>( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ )。在使用英制度量单位的国家，压力单位为磅力/英寸<sup>2</sup>( $\text{lbf}/\text{in}^2$ )。它们之间的换算关系为

$$1\text{kgf}/\text{cm}^2 = 14.2\text{lbf}/\text{in}^2$$

当工质的压力很小时，常常用毫米水柱( $\text{mmH}_2\text{O}$ )或毫米汞柱( $\text{mmHg}$ )来表示。英制单位为英寸汞柱( $\text{inHg}$ )。它们和公斤力/厘米<sup>2</sup>单位之间的换算关系为

$$\begin{aligned} 1\text{kgf}/\text{cm}^2 &= 735.5\text{mmHg} = 29\text{inHg} \\ &= 10,000\text{mmH}_2\text{O} = 10\text{mH}_2\text{O} \end{aligned}$$

为了使单位统一，最近国际上规定了国际单位制(SI制)。在这种单位制中，力的单位采用“牛顿”，代号为N或牛。使一公斤物质产生1米/秒<sup>2</sup>加速度的力称为1牛顿。压力单位采用帕斯卡，代号为Pa或帕， $1\text{Pa} = 1\text{N}/\text{m}^2$ (1帕 = 1牛/米<sup>2</sup>)。

在工程计算中，常用的压力单位为千克力/厘米<sup>2</sup>或公斤力/厘米<sup>2</sup>(代号 $\text{kgf}/\text{cm}^2$ )。有时也采用巴(代号bar)。它们与国际单位制之间的换算关系为

$$\begin{aligned} 1\text{kgf}/\text{cm}^2 &= 9.80665 \times 10^4\text{Pa} \\ 1\text{bar} &= 0.1\text{MPa}(0.1\text{兆帕}) = 10^5\text{Pa} \\ 1\text{bar} &= 1.0197\text{kgf}/\text{cm}^2 = 750.6\text{mmHg} \\ &= 10,197\text{mmH}_2\text{O} = 10.197\text{mH}_2\text{O} \end{aligned}$$

#### 1. 大气压力

由于地球被大气层包围着，而大气层中的空气又有重量，因此暴露在大气中的物体就承受着大气压力的作用。大气压力数值的大小随不同的地理位置和季节而变，可用大气压力计测得。工程计算上通常取北纬45°海面上常年大气压力的平均值760毫米汞柱为一标准大气压，即

$$1\text{标准大气压} = 760\text{mmHg} = 29.9\text{inHg} = 1.033\text{kgf}/\text{cm}^2$$

$$= 10,330\text{mmH}_2\text{O} = 1.013\text{bar} = 101325\text{Pa}$$

可见大气压力接近于 $1\text{kgf}/\text{cm}^2$ ，更接近于 $1\text{bar}$ ，因此当计算不要求十分精确时，可以近似地认为大气压力的数值等于 $1\text{kgf}/\text{cm}^2$ 或等于 $1\text{巴}(\text{bar})$ 。

## 2. 绝对压力、表压力和真空压力

密封容器（例如压力水柜、锅炉和机器的气缸中）或管路系统中的工质，它的压力可以高于大气压力，处于“压力”状态；或低于大气压力，处于“真空”状态。在动力装置中，压力可以很容易地用压力表测出。用压力表所测出的压力通常都是表示高于或低于大气压力的数值。例如从锅炉压力表上读得 $7\text{公斤力}/\text{厘米}^2$ （表），这个压力我们称之为“表压力”。为了便于和绝对压力区别，通常在表压力单位后加一“表”字，它表示锅炉中水和蒸汽的压力比当地的大气压力高 $7\text{公斤力}/\text{厘米}^2$ 。如果当地的大气压力为 $1\text{公斤力}/\text{厘米}^2$ ，则锅炉压力的绝对值应该是 $7\text{公斤力}/\text{厘米}^2 + 1\text{公斤力}/\text{厘米}^2 = 8\text{公斤力}/\text{厘米}^2$ ，称为“绝对压力”。绝对压力、表压力和大气压力之间的关系为

$$\text{绝对压力} = \text{表压力} + \text{大气压力}$$

如果某容器中工质的压力比大气压力低，从真空压力表上读出的数值是比大气压力低多少，称为“真空压力”或“真空”。例如从某冷凝器的压力表上读出其压力比大气压力低 $740\text{毫米汞柱}$ ，我们就称它的真空为 $740\text{毫米汞柱}$ ，这时它的绝对压力应为 $760\text{毫米汞柱} - 740\text{毫米汞柱} = 20\text{毫米汞柱}$ 。绝对压力、真空压力和大气压力之间的关系为

$$\text{绝对压力} = \text{大气压力} - \text{真空压力}$$

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。它们都是压力表（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。如果不要求十分精确，则可认为大气压力为 $1\text{公斤力}/\text{厘米}^2$ 而近似地求出绝对压力。

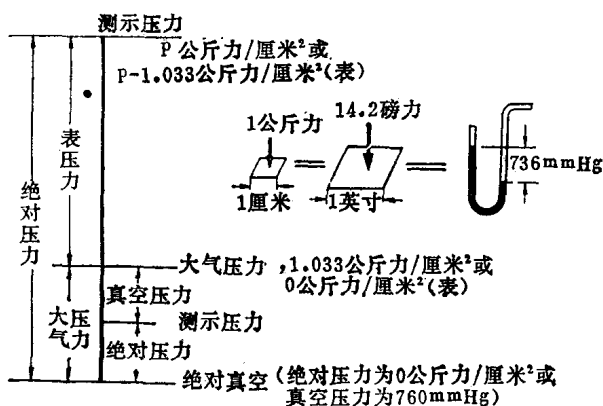


图1-1 绝对压力、表压力和真空压力的关系

## 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。我国和其它用公制单位的国家均采用摄氏温标，用 $^{\circ}\text{C}$ 表示。它是取一标准大气压力下纯水的冰点作为 $0^{\circ}\text{C}$ ，沸点为 $100^{\circ}\text{C}$ ，再将这两点间分为100等分，每等分为 $1^{\circ}\text{C}$ 。用英制单位的国家采用华氏温标，用 $^{\circ}\text{F}$ 表示。它是将一个标准大气压力下纯水的冰点定为 $32^{\circ}\text{F}$ ，沸点为 $212^{\circ}\text{F}$ ，两点之间分为180等分，每等分为 $1^{\circ}\text{F}$ 。

这两种温标的换算关系如下：

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

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

在进行热工计算和确定工质的状态时，采用绝对温度。其温度单位采用开氏温标，用K表示。开氏温标每一度的间隔与摄氏温标相同，但其零度(0K)却比0°C低273.15°，因此两者的换算关系为

$$\text{绝对温度}(K) = \text{摄氏温度}(^{\circ}\text{C}) + 273.15^{\circ}$$

绝对温度在工程上常被简写为

$$K = ^{\circ}\text{C} + 273$$

开氏温标被定为国际单位制的基本温度单位。

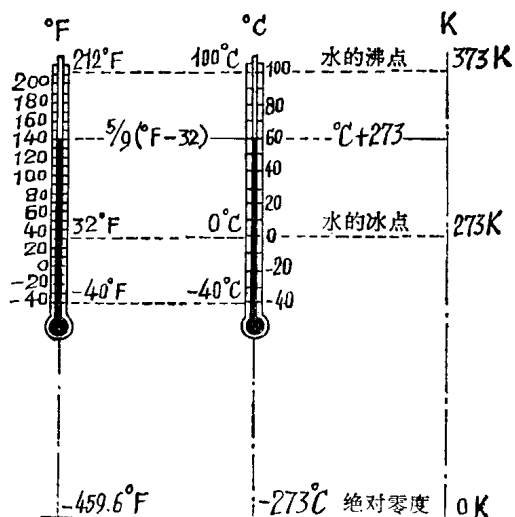


图1-2 摄氏温度、华氏温度和开氏温度间的关系

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。

### 三、比容和重度

工质占有的空间容积  $V$  以立方米( $\text{m}^3$ )或升(1000立方厘米)表示。每公斤工质的容积称为比容，用符号  $\nu$  表示，它的单位是米<sup>3</sup>/公斤 ( $\text{m}^3/\text{kg}$ ) 或升/公斤( $\text{l}/\text{kg}$ )。相反，每立方米容积工质的重量称为重度，用符号  $\gamma$  表示，它的单位是公斤力/米<sup>3</sup>( $\text{kgf}/\text{m}^3$ )，即

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

### 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，它们之间是否存在着一定的关系呢？

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。通过实验得知，当温度变化时，液体的体积（或比容）就会产生相应的变化。但其变化的数值一般并不很大。液体的压力对比容也有一定的影响，但基本上可认为不变。各种液体的温度与比容之间的关系通常都是通过实验来测定的。例如水，当压力从1个大气压力增加至100个大气压力时，其体积只减小0.5%（即比容变化为0.5%）；而当温度从0°C增至100°C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，每一种气体的压力、温度和比容这三个状态参数之间存在着一定的关系。如果有  $G$  公斤气体，其状态变化前后的绝对压力、绝对温度、容积分别为  $p_1, T_1, V_1$  和  $p_2, T_2, V_2$ ，那么它们之间存在着如下关系：

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

因为在状态变化前后气体的重量  $G$  不变，所以

$$V_1 = G\nu_1$$

$$V_2 = G\nu_2$$

于是

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

上式说明,任何一公斤气体,不论其状态如何变化,其绝对压力、绝对温度和比容之间必保持一固定关系,即在任何一个状态下,气体的绝对压力与比容的乘积再除以绝对温度 $\left(\frac{pv}{T}\right)$ 等于一个固定的常数 $R$ ,称为这种气体的“气体常数”。所以,上式可以写为

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

这一关系式称为气体状态方程式。不同气体的气体常数 $R$ 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板上。因此对压力和温度的测量是十分重要的。本节主要介绍近代船舶动力装置中常用的几种测压和测温仪表。

### 一、测压仪表

#### 1. 单圈弹簧式压力表

这是一种最普通的测压仪表,其工作原理如图1-3所示。它是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为单圈弹簧式压力表的构造图。

当扁圆形管的尺度和厚薄改变时,就可以适应于不同的测压范围。这种压力计的量程可以达到 $0 \sim 10000 \text{ kgf/cm}^2$ 。真空压力计的刻度为 $760 \text{ mmHg} - 0 - 0.6 \text{ kgf/cm}^2$ 。

#### 2. U形液柱式压力表

这类压力表可用来测量自 $0.5 \text{ mmH}_2\text{O}$ 到 $1000 \text{ mmH}_2\text{O}$ 的压力或达 $760 \text{ mmHg}$ 的真空压力。因此船上常用来测量压力较小的工质压力,例如柴油机扫气压力、锅炉鼓风机的风压等。

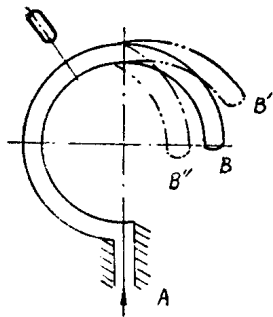


图1-3 单圈弹簧式压力表工作原理

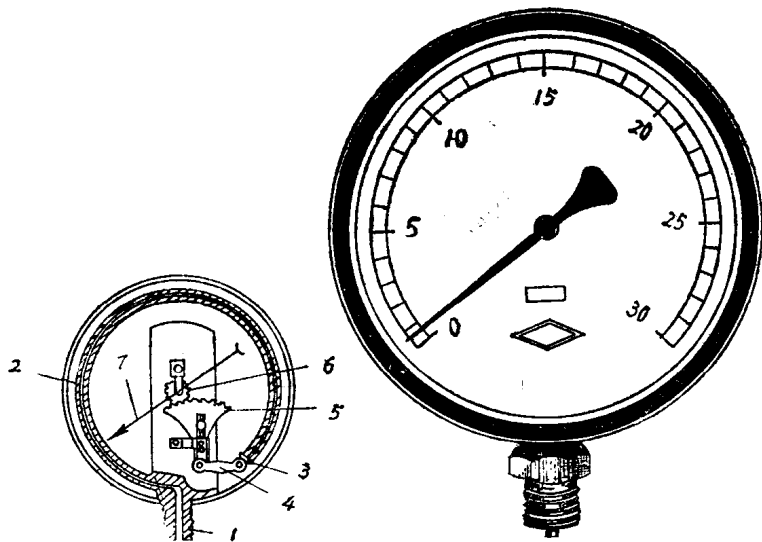


图1-4 单圈弹簧式压力表的构造  
1- 接被测工质的接头；2- 扁圆形截面管；3- 自由端；4- 传动杆；5- 扇形齿轮；6- 小齿轮；7- 指针

U形压力表的构造如图1-5所示。它由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）。此液体同时起着两个作用，一方面使处于不同压力下的工质间隔开来，同时起着平衡被测压力的作用，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

在现代船舶动力装置中，为了实现自动化的需要，工质的压力除了能随时用目测观察外，还需根据压力的高低进行自动调节，使压力稳定在某一范围之内。为此，要求测压计能传送出一定的信号。最简单的一种就是电触点式压力表。

图1-6为电触点式压力表的构造示意图。它是在一个弹簧管式压力表上加装了高低限触点。当压力降低到低限时，压力表指针上所附的接触器就与低值限定器接触，而当压力达到高限时，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加以调整。

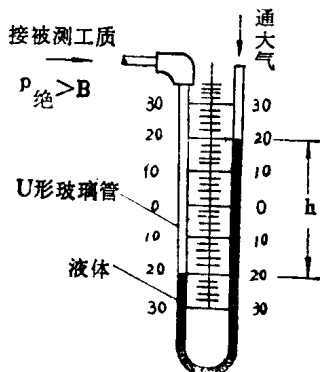


图1-5 U形液柱式压力表

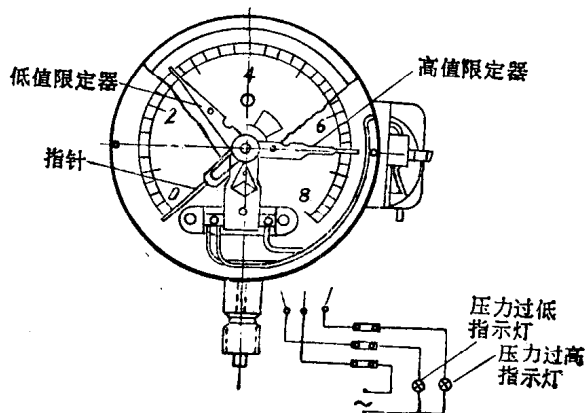


图1-6 电触点式压力表

## 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 所示为其构造示意图。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就越大，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。

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  $20\sim 22$  米。根据仪表板到被测温度点的距离，在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，以使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构造外形。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表上构成一个回路。当此回路处于相同的温度下时，即各处都是环境温度时，回路中没有电流流

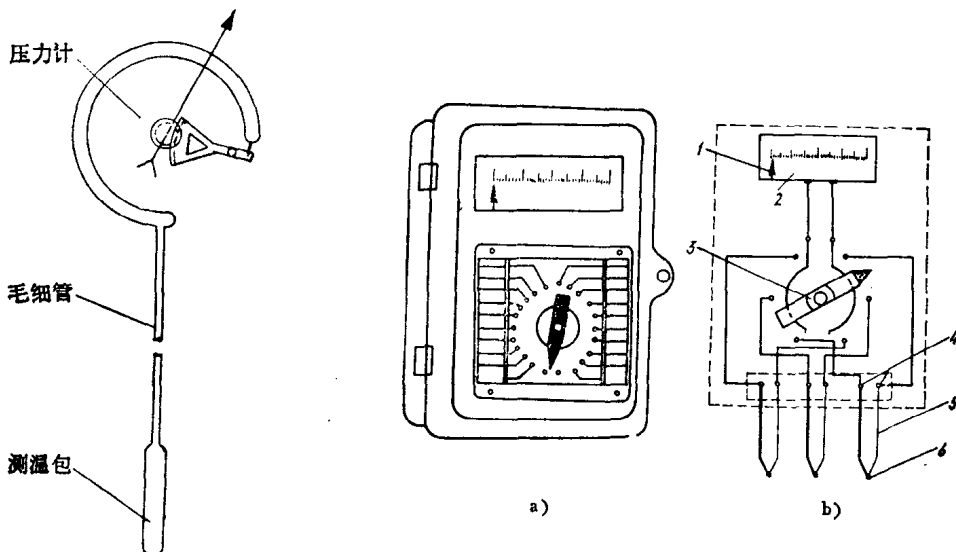


图1-7 压力表式温度计

图1-8 热电偶温度计  
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

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 $0^{\circ}\text{C}$ 或 $15^{\circ}\text{C}$ 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  $100\sim 500^{\circ}\text{C}$  的温度。低于  $100^{\circ}\text{C}$  的温度可利用铜电阻温度计。

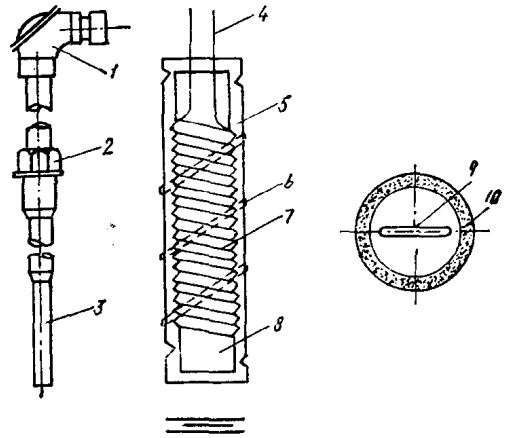


图1-9 铂电阻温度计

1-头部；2-螺丝接口；3-保护管；4-引出银线；5-保护用云母片；6-绑扎用银带；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。

在国际单位制中，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 1 公斤纯水升高  $1^{\circ}\text{C}$  所需的热量为 1000 卡，称为 1 千卡。在采用英制的国家中，是用标准大气压下将 1 磅水升高  $1^{\circ}\text{F}$  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

$$1 \text{ 千卡} = 4186.8 \text{ 焦} = 3.968 \text{ B.T.U.}$$

### 二、功 和 功率

电动机带动水泵转动时，可以认为电动机作了“功”而水泵得到了“功”。水泵又将水吸入并且输送出去，我们又可以认为水泵作了“功”而水得到了“功”。在工程技术中，“做功”一词的含义较广。只要有一定的力作用在物体上，并且使物体沿该力的作用方向移动一定的距离，就称该力对物体作了功。仍以水泵对水做功为例，水泵由于电动机的作用力而得到功并且转动。水泵在转动时以一定的力将水沿管道推送出去，水就可以沿着水泵的作用力的方向在管道中流动一定的距离。这时我们就认为水泵的力对水作了功。又如柴油机中的燃气以一定的力在气缸中进行膨胀而推动活塞移动一定的距离，我们就称燃气对活塞作了

功。

由以上分析可见，功的量度中只有二个因素：物体移动的距离 $S$ 以及作用在物体移动方向上的力 $P$ ，其计算公式如下：

$$\text{功 } L = P \cdot S$$

在工程单位制中，力的单位为公斤力，距离的单位为米，所以功的单位为“公斤力·米” ( $\text{kgf} \cdot \text{m}$ )

在国际单位制中，力的单位为牛顿，距离的单位为米，所以功的单位为“牛·米” ( $\text{N} \cdot \text{m}$ )，即“焦耳” ( $\text{J}$ )。二者的换算关系为

$$1 \text{ 公斤力} \cdot \text{米} = 9.8 \text{ 牛} \cdot \text{米} = 9.8 \text{ 焦}$$

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” ( $\text{HP}$ ) 或“千瓦” ( $\text{kW}$ )。国际单位制中规定功率的单位以“瓦” ( $\text{W}$ ) 或“千瓦” ( $\text{kW}$ ) 表示，它决定于物体移动的距离 $S$ 和作用在物体移动方向上的力以及移动这一距离所需的时间 $\tau$ ，用公式表示为

$$\text{功率} = \frac{P \cdot S}{\tau}$$

其单位为焦/秒或公斤力·米/秒。

每秒钟作功 1 焦耳称为 1 瓦，1000 瓦为 1 千瓦，所以 1 千瓦与公斤力·米/秒的关系应为  
1 千瓦 = 1000 焦/秒 = 1000 牛·米/秒 = 102 公斤力·米/秒

在公制单位中规定 1 马力 = 75 公斤力·米/秒

所以 1 千瓦 = 1.36 马力

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

$$1 \text{ 公制马力} = 0.986 \text{ 英制马力}$$

### 三、功的热当量

凡要作功，都需消耗能量。能量就是一种作功的本领。能量以多种形式存在，如机械能、热能、电能、化学能和原子能等。物体中所含的能量只能通过从外界接受或向外界转移而发生变化，而不能自生自灭。各种能量的形式是可以互相转换的，如电能转变为热能和机械能，热能转变为机械能，但转换前后能量的总和在数量上是完全相等的。这就是宇宙间物质的基本定律之一，称为能量守恒和转换定律。

人们经过大量实验测定 427 公斤力·米的功能把 1 千克纯水从  $19.5^\circ\text{C}$  升高到  $20.5^\circ\text{C}$ ，也就是说 427 公斤力·米的能量相当于 1 千卡的能量。把功的单位“千克力·米”折合为相当于热量的单位“千卡”，叫做“功的热当量”，用字母  $A$  表示，即

$$A = \frac{1}{427} \text{ 千卡/公斤力} \cdot \text{米}$$

在国际单位制中，为了简化单位，规定用“焦耳”作为热量的单位，同时亦为功的单位。这样它就使功、能和热的单位统一起来了。根据 1 公斤力·米 = 9.8 焦的关系可知焦耳与千卡之间的关系为

$$1 \text{ 焦} = \frac{1}{9.8} \text{ 公斤力} \cdot \text{米} = 0.239 \times 10^{-3} \text{ 千卡}$$



#### 四、热功转换与效率

上面谈到各种能量的形式是可以互相转换的，并且它们在转换过程中能量的总和数量是完全相等的。动力装置中各种能量的转换也必定完全符合这一能量守恒定律。

人们在长期的生产实践中发现 427 公斤力·米的机械功（机械能）可以使 1 公斤的水升高  $1^{\circ}\text{C}$ ，即可以完全转换为 1 千卡的热能。但是 1 千卡的热能却不能完全转变为 427 公斤力·米的机械功。这一现象是否违反了能量守恒定律呢？

我们结合船舶动力装置中由热能转换成机械能的例子来说明这一问题。

图 1-10 为汽轮机动力装置的原理简图。在锅炉中用燃料燃烧所得的热量  $Q_1$  加热水并使之成为具有较高压力和温度的蒸汽。由于锅炉的排烟具有一定的热量  $Q_{\text{烟}}$ ，所以，根据能量守恒定律，蒸汽得到的热量  $Q_{\text{汽}} = Q_1 - Q_{\text{烟}}$ 。蒸汽进入汽轮机推动其叶轮回转产生机械功  $AL$ ，从而带动推进器推进船舶。工作完了的蒸汽排入冷凝器被海水冷却成水，水再由给水泵打入锅炉重新被加热成蒸汽，这样水或蒸汽就完成了—个循环，称为工质的一个循环。排气被海水带走排出船外的热量为  $Q_{\text{水}}$ 。由于不断地进入高温高压的蒸汽而排出低温低压的蒸汽，汽轮机才能连续不断地输出机械功。根据能量守恒定律，汽轮机中进出的热量应相等（不计汽轮机向外的散热），则

$$Q_{\text{汽}} = AL + Q_{\text{水}}$$

显然，在汽轮机动力装置中，工质（蒸汽）离开锅炉时所具有的热量  $Q_{\text{汽}}$  并不能全部转变为机械功。进入汽轮机的蒸汽自锅炉中燃烧燃料（称为高温热源）取得的热量有一部分要向冷凝器中的海水（称为低温热源）排出，而只有一部分转变成为机械功。如果把整个动力装置作为一个整体，供入的热量为  $Q_1$ ，向周围环境排出的热为  $Q_2 = Q_{\text{烟}} + Q_{\text{水}}$ ，作功为  $AL$ ，则

$$Q_1 = AL + Q_2$$

我们再来看一下柴油机动力装置中热能转变成机械功的情况。

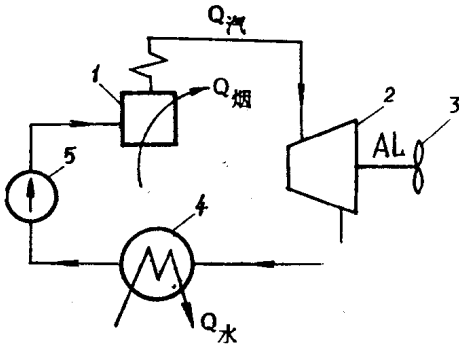


图 1-10 汽轮机动力装置原理简图

1-锅炉；2-汽轮机；3-推进器；4-冷凝器；5-给水泵

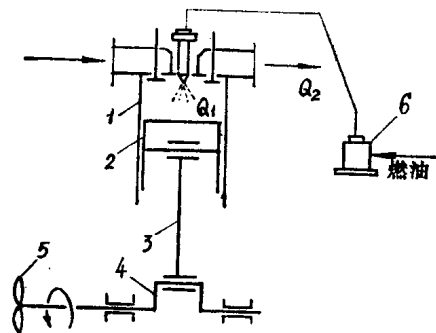


图 1-11 柴油机动力装置工作原理简图

1-柴油机气缸；2-活塞；3-连杆；4-曲柄；5-推进器；6-高压油泵

图 1-11 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  $Q_2$ 。根据能量守恒定律也可以写成

$$Q_1 = AL + Q_2$$