



轮机业务概论

LUNJI YEWU GAILUN

(第2版)

主编 张存有 李可顺

主审 陈海泉

大连海事大学出版社

轮机业务概论

(第2版)

主编 张存有 李可顺

主审 陈海泉

大连海事大学出版社

© 张存有 李可顺 2014

图书在版编目(CIP)数据

轮机业务概论 / 张存有, 李可顺主编. — 2 版. — 大连: 大连海事大学出版社, 2014. 3
ISBN 978-7-5632-2984-0

I. ①轮… II. ①张… ②李… III. ①船舶—轮机—高等学校—教材 IV. ①U676.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 042123 号

大连海事大学出版社出版

地址: 大连市凌海路 1 号 邮政编码: 116026 电话: 0411-84728394 传真: 0411-84727996

<http://www.dmupress.com> E-mail: cbs@dmupress.com

大连华伟印刷有限公司印装 大连海事大学出版社发行

2011 年 6 月第 1 版 2014 年 3 月第 2 版 2014 年 3 月第 1 次印刷

幅面尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 17

字数: 418 千 印数: 1 ~ 1000 册

出版人: 徐华东

责任编辑: 沈荣欣 责任校对: 何 乔

封面设计: 王 艳 版式设计: 解瑶瑶

ISBN 978-7-5632-2984-0 定价: 39.00 元

内容提要

本书是根据海事管理专业本科培养计划指定的轮机管理(海船轮机业务)课程教学大纲而编写的。

全书共分八章,分别讲述船舶轮机概论,船舶柴油机动力装置,船舶辅助设备与系统,船舶防污染设备,船舶消防系统与应急设备,船舶通用管系,船舶设备评估与检验、检查,轮机人员、文件与备件管理。

本书结合船舶轮机最新技术、最新规范发展,介绍与航行有关的设备基本原理与管理方法,同时也注重安全与防污染设备管理与检查要点,并适当介绍轮机设备的技术状态评估和船舶检验与 PSC 检查等相关内容。

本书为航海院校本科教材,也可作为与船舶轮机相关专业的选修教材和参考书。

前 言

船舶海洋运输在我国交通运输中占有相当重要的地位。目前我国已跻身世界航运大国和海上贸易大国,沿海矿、煤、油、箱、粮五大运输系统已基本建立,内河、国际高等级航道网发展格局基本形成。目前我国港口集装箱吞吐量已经突破亿箱,全国港口货物年总吞吐量达70亿吨以上。随着世界航运的发展,船舶安全与海洋污染问题也更加严重。因此,应在船舶建造、使用管理和各种检验、检查等方面加强立法和国际合作。安全管理体系运行即是针对船舶安全和防污染所采取的措施,而对船舶的船旗国检查和港口国检查更加有力地确保船舶的安全得到连续监督。所有这些工作的开展,都要求检查、监督人员应具有轮机设备、船舶系统、船舶防污染和应急设备及船舶检验、船舶检查等方面的相关知识。

海事管理专业培养目标是为船舶安全管理及检查培养合格人才,进行船舶安全管理检查的人员必须熟悉有关轮机业务,因而编写适合培养目标的教材是亟待解决的问题。本书编者积累了多年教学和船舶实际工作经验,参考大量公约、法规及相关教材和港口国监督检查官培训讲义等技术资料,从实用出发组织编写本教材。在本书的编写过程中,编者立足船舶安全管理领域,尽力做到硬件、软件兼顾。

本书由张存有、李可顺主编,陈海泉主审。其中第三章船舶辅助设备与系统,第四章船舶防污染设备由张存有、李文华编写;第一章船舶轮机概论,第二章船舶柴油机动力装置,第七章船舶设备评估与检验、检查由李可顺、杜太利编写;第五章船舶消防系统与应急设备,第六章船舶通用管系,第八章轮机人员、文件与备件管理由李文华、李伟编写。

本次再版对原版内容进行了部分更新,同时将压载水处理装置、柴油机排放技术措施、电喷柴油机、双燃料发动机等相关新技术引入教材。本书在编写过程中得到有关领导和专家的支持与帮助,在此一并表示感谢!

编 者

2014年3月

目 录

第一章 船舶轮机概论	(1)
第一节 轮机设备分类及作用	(1)
第二节 热工基础知识	(7)
第二章 船舶柴油机动力装置	(12)
第一节 柴油机工作原理	(12)
第二节 柴油机的结构及主要部件	(22)
第三节 柴油机工作系统	(30)
第四节 柴油机启动装置和操纵系统	(36)
第五节 柴油机特性	(39)
第六节 柴油机运行管理	(45)
第七节 电喷柴油机	(48)
第八节 燃气发动机	(52)
第三章 船舶辅助设备与系统	(57)
第一节 船用泵	(57)
第二节 活塞式空气压缩机	(67)
第三节 液压甲板机械	(74)
第四节 船舶辅助锅炉	(95)
第五节 船舶制冷与空气调节装置	(116)
第六节 船舶电气概述	(126)
第四章 船舶防污染设备	(140)
第一节 船舶对海洋环境的污染	(140)
第二节 船舶防污染相关公约及国内相关法律、法规	(141)
第三节 船用油水分离器	(143)
第四节 船舶生活污水处理装置	(149)
第五节 船用焚烧炉	(154)
第六节 船舶压载水处理装置	(163)
第七节 船舶柴油机废气污染与防止措施	(168)
第五章 船舶消防系统与应急设备	(174)
第一节 船舶消防系统	(174)
第二节 应急设备的使用和管理	(182)
第六章 船舶通用管系	(188)
第一节 船舶管路系统综述	(188)
第二节 压载水系统	(193)

第三节	舱底水系统	(194)
第四节	机舱供水系统	(197)
第五节	压缩空气系统	(198)
第七章	船舶设备评估与检验、检查	(202)
第一节	船舶检验及船舶证书	(202)
第二节	港口国监督和船旗国监督概述	(209)
第三节	船舶设备评估	(228)
第八章	轮机人员、文件与备件管理	(239)
第一节	轮机人员管理	(239)
第二节	轮机文件管理	(247)
第三节	机舱备件、物料和工具的管理	(251)
参考文献		(258)

第一章 船舶轮机概论

第一节 轮机设备分类及作用

一、轮机的含义

船舶动力的发展经历了以人力和风力等作为推进手段的漫长岁月,直到 1807 年“克赖蒙特”号这艘以蒸汽机作为推进动力机械的船舶的建成,才开始了船舶以机械作为推进动力的新纪元。当时,蒸汽船的推进器是由蒸汽机带动一个桨轮推进装置,这种推进器的大部分露在水面上,人们称之为“明轮”,继而把装有明轮的船称之为“轮船”,把产生蒸汽的锅炉和驱动明轮转动的蒸汽机等成套设备称为“轮机”。所以当时的“轮机”仅是推进设备的总称。

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,增设和完善了各种系统,如船舶电站、甲板机械、冷藏和空调装置、淡水系统、压载水和消防系统等,随着世界海洋运输和海上工程、公务的发展需要以及国际公约对船舶安全、环保的不断更新的要求,船用轮机设备和系统越来越复杂,功能也越来越完善。轮机是为了满足船舶航行、各种作业、人员的生活、人员和财产安全及环境保护等各种需要所设置的全部系统及其设备的总称。轮机在工程上被称之为船舶动力装置,二者的意义是一样的。

轮机设备绝大部分安装于机舱。图 1-1 示出了机舱在全船的位置,图 1-2 和图 1-3 分别示出了机舱纵剖面图和底层布置图。一般来说,机舱布置在船舶的中、后部,上下分别布置主、辅机械。轮机技术管理是在船公司机务部门指导下由船上轮机部具体负责的。因为船舶航行条件的多变性、发生事故后果的严重性、船舶动力装置的复杂性,对船舶动力装置的管理要求极高,所以要求从事船舶动力装置的管理人员必须具有高度的责任心、独立发现问题和解决问题的能力。同时,对于从事船舶安全管理和检查的相关人员必须对船舶轮机设备基本工作原理、基本维修方法、设备检验和安全评估有较为详细的了解。

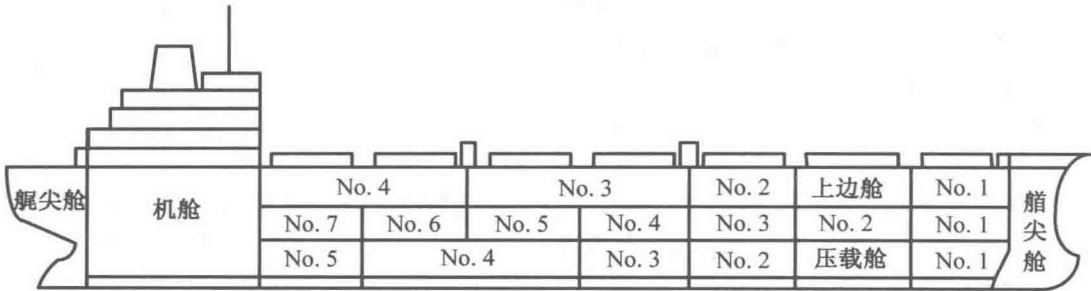


图 1-1 机舱位置示意图

二、轮机的组成及分类

一艘现代船舶就是一个现代化工业技术成就的集合,船舶需配备很多独立系统,以完成船舶自身各种需求。而轮机正是用来产生机械能、热能、电能和其他形式的能以满足船舶设备与人员的需要。

轮机是一个动力机械类性质的系统工程,不能把轮机理解成在机舱中或甲板上机械设备的简单组合。轮机工程是为满足船舶的各种功能,把各种设备或部件结合进各种系统的系统工程。根据组成船舶轮机的各种系统、机械和设备所起作用的不同,可以将其分为以下几个部分:

1. 主推进装置

主推进动力装置(推动船舶航行的设备和系统)包括主机及附属系统、传动设备、轴系和推进器。主机发出动力,通过传动设备及轴系驱动推进器产生推力,使船舶克服阻力以某一航速航行。

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”。船舶主机无论从重要程度还是制造成本来看,都处于最显著的地位,因此船舶动力装置一般按主机的形式进行分类:

(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。蒸汽机分为往复式蒸汽机和回转式蒸汽轮机两种。往复式蒸汽机最早应用于海船,后来由于其他发动机的挑战,因其经济性差、体积和重量大而被取代。汽轮机自装船使用以来,由于受柴油机的挑战,发展一直比较慢,在现有商船上应用较少,近些年部分大型 LNG 运输船利用货舱中蒸发的 LNG 气体在锅炉中燃烧产生的蒸汽驱动蒸汽轮机作为船舶主动力装置。

(2) 柴油机动力装置

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(如汽油、柴油等)的不同,内燃机分为汽油机、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。柴油机经济性好,安全可靠,目前绝大多数商用船舶采用这种动力装置。当然柴油机只是根据最初所使用的燃料(柴油)而命名的,现代柴油机由于技术水平不断提高,均可燃烧中间燃料油或渣油(统称重油)。有些柴油机已经可以使用液体燃料或气体燃料,称为双燃料发动机。

(3) 燃气轮机动力装置

利用燃料燃烧所产生的燃气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。这种动力装置由于经济性差、低负荷运转性能差、使用寿命较短(由于叶片和燃气发生器均在高温和高压下工作)等原因,目前在商船应用极少,但在军用舰艇上应用较广。

(4) 联合动力装置

为满足军用舰艇的需要,将上述三种动力装置联合加以采用,作为船舶的推进装置称为联合动力装置。联合动力装置的形式有蒸燃联合、柴燃联合、蒸柴联合等。这几种联合动力装置在商船上应用极少。此外还有另外一种联合动力装置形式——电力推进装置,即采用电动机机械带动螺旋桨来推进船舶运动的装置。这种装置是主机驱动发电机,而电动机拖动螺旋桨。电力推进主要应用在舰艇上,但由于其噪声小、机动性好等因素,在大型油船等商用船舶上也

获得了应用,并且应用前景广阔。

(5) 核动力装置

这类装置利用原子反应堆所发出的热来产生蒸汽,供给汽轮机工作。若按主机类型分,它也应属于汽轮机动力装置。但为了突出它采用的是原子反应堆的装置,所以称之为原子能动力装置。这种动力装置造价高,操纵、管理、检查系统复杂,因此这种推进装置主要用于军用舰艇上。

(6) 特种动力装置

特种动力装置是指在特种用途船舶上应用或正在研究发展的动力装置,如高速船上的喷水推进装置,正在研究的燃料电池推进装置等。

2. 辅助装置

船舶辅助装置包括供全船使用的船舶电站、辅锅炉、液压泵站和压缩空气系统以及为船员和旅客生活服务的设备及系统。

(1) 为主动力装置服务的设备与系统,例如为主机服务的滑油、燃油、冷却水、压缩空气等设备与系统,这些设备和系统可确保主机安全可靠运行。

(2) 确保船舶营运和操纵性能的设备与系统,例如锚机、绞缆机、舵机、起货机等设备与系统,这些设备能满足船舶正常的靠离港、装卸货物以及其他用途。

(3) 为船员和旅客生活服务的设备与系统,例如船舶伙食冷藏装置、船舶空气调节装置、通风系统、照明系统及日用海、淡水系统等。

(4) 船舶应急安全设备及系统,例如火灾报警系统、应急配电、全船水消防系统、机舱 CO_2 灭火系统、水喷淋灭火系统、舱底水系统等。

(5) 船舶防止污染设备与系统,包括油水分离系统、生活污水处理系统以及焚烧炉等。这些系统及设备能有效地处理船舶生活场所及工作场所产生的各种污染物,保证船舶不会对大气及海洋产生污染。

船舶轮机的组成情况大体如上所述,但也不能一概而论,根据船舶的大小、种类、用途、航线等情况不同将会有所变化。如油船就没有起货装置,而必须有货油泵和惰性气体系统;经常靠离码头的船舶往往设有侧推器;大型客船通常设有减摇装置;工程船根据任务不同其设备配置又与其他营运船舶有很大不同。

三、对船舶动力装置的要求

各种船舶动力装置虽存在着类型、传动方式及航区等条件的不同,但对一些基本性能却有着共同的要求。

1. 可靠性

可靠性是指产品在规定的条件下和规定时间内,完成规定功能的能力。船舶动力装置的可靠性是指装置在一定条件下和规定时间内能够正常运行的性能。可靠性对船舶动力装置来说具有特别重要的意义。船舶航行中,可能长期离开陆地,若影响航行的重要设备发生故障,在复杂航行环境和恶劣的气象条件下,有可能导致海损和严重的海洋污染。可靠性不足还会降低营运效益。船舶重要的设备有些必须采用冗余设计,即具有备用设备和相应系统。

2. 经济性

经济性是指一项经济活动能以最少的投入与消耗,取得最大效益的能力。船舶在营运中,动力装置的运行及维护费用占船舶总费用的比例很大,通常超过 50%,为提高船舶的营运效

益,使船东能获得最大的经济效益,必须尽量提高动力装置的经济性。

3. 机动性

船舶机动性指的是改变船舶运动状态的灵敏性,它是船舶安全航行的重要保证。船舶起航、变速、倒航和回转性能是船舶机动性的主要体现。

4. 重量和尺度

动力装置的重量和尺度直接影响船舶载货量和货舱容积。为了提高船舶的经济效益,应力求减少动力装置的重量和尺度。现代运输船舶,大多以柴油机作为船舶主机,随着柴油机技术的飞跃发展,柴油机强化程度的不断提高,使其单位做功能力的重量和尺度不断缩小。

5. 续航力

续航力是指船舶不需要补充任何物资(燃油、滑油、淡水等)所能航行的最大距离或最长时间。它是根据船舶的用途和航区确定的。为了满足船舶续航力的要求,船上必须设有足够大的油、水舱柜。

6. 环保性能

国际公约在环保方面对船舶动力装置的要求越来越高,主要包括减少对海域和大气的污染,因而要求船舶设备、系统配置均能有效减少硫氧化物、氮氧化物及油类排放,并持有相关有效证书。为了进一步降低船舶能耗、减少 CO_2 排放,对新建船舶从设计开始的设备选型、配置、线型优化到施工阶段的施工工艺改进,使船舶满足船级社的能效设计指数(EEDI);对于营运船舶需采取各种合理方法进行能耗控制,并按照营运船舶能效管理指数(EEOI)评价。船舶必须具有经主管机关批准和定期审核的能效管理计划(SEEMP)。

除了以上要求外,还要求动力装置便于维护管理,有一定的自动化程度,振动轻、噪声小,同时必须能满足国家和国际相关海事机构制定的规则和规范。

四、轮机人员的职责与分工

轮机部人员按职能划分可分为管理级、操作级和支持级。管理级:轮机长和大管轮;操作级:二管轮、三管轮、电子电气员和未满 750 kW 船舶上供职的高级船员;支持级:组成航行值班的普通船员,包括机工长和机工。轮机人员的职责分工在各船舶公司虽不尽相同,但大体上是一致的,其区别仅在于某些机械设备的主管检修分工有所不同。

1. 轮机长

(1) 轮机长是全船机械、动力、电气设备的总负责人。轮机长负责机舱各种相关机器和设备能够处于安全、有效运行。

(2) 制订本船各项机电设备的操作规程、保养检修计划、值班制度,贯彻执行各项规章制度,保证安全生产。

(3) 负责组织轮机员、电子电气员、冷藏员制订修船计划、编制修理单和预防检修计划,组织、领导修船,进行修船工作的验收。

(4) 负责燃油、润滑油、物料、备件申领、造册保管和合理使用,节约能源,降低成本。

(5) 负责保管轮机设备的证书、图纸资料、技术文件,及时报告船长申请检验。

(6) 经常亲自检查机电设备的运行情况,调整不正常的运行参数,检查和签署轮机日志、电机日志。指导相关轮机员或自己填写油类记录簿。

(7) 培训和考核轮机人员。

(8) 当进出港口备车航行、过狭窄水道和其他机动航行或当班轮机员有需要时,轮机长必

须在集控室指挥和监督。

(9) 在发生紧急事故时指挥机舱人员进行抢修和抢救工作。定期组织轮机部人员对应急设备进行保养和试验。

(10) 监督和签署轮机员、电子电气员、冷藏员的调任交接工作。

2. 大管轮

(1) 大管轮是轮机长的主要助手,在轮机长的领导下进行工作,轮机长不在时代理轮机长的职务。大管轮负责领导轮机部人员进行机电设备管理、操作、保养和检修工作,教育所属人员严格遵守工作制度、操作规程和劳动纪律,保证轮机部的各种规章制度正确执行,保证按时完成轮机部的航次计划和昼夜计划工作。在无人值班船舶,与二管轮、三管轮轮值安全班;有人值班船舶航行时当值 0400—0800 和 1600—2000 班。

(2) 负责维持机舱秩序,对机舱、工作间、材料间、备件工具及机电设备的整洁进行监督和检查,防止锈蚀、损坏和遗失,负责组织轮机部各舱室的油漆工作。

(3) 负责保持轮机部有关安全的设备,如应急舱底阀、燃油应急开关、机舱水密门、安全阀、机舱灭火设备、起重设备、危险警告牌、重要的防护装置等经常处于可靠状态,定期进行必要的检查试验,并负责指导有关人员熟悉正确的管理和使用方法。

(4) 负责管理主机、轴系及为主机直接服务的辅机,并负责管理舵机、冷藏机,贯彻执行操作规程,并对操作管理方法随时提出改进意见,经轮机长批准执行。

(5) 负责编制本人管理的机械设备的计划修理单、航次修理单和自修计划;审核和汇编其他轮机员的修理单和自修计划,并维护机舱的安全。

(6) 负责综合轮机部的预防检修和自修计划,在轮机长批准后执行。

(7) 负责贯彻执行轮机部备件和物料的定额制度,及时将收集、综合并审查工具、备件、物料的申领单交轮机长核定。

(8) 负责保管本人使用过的技术文件、仪器、工具等。

(9) 负责安排航行及停泊时的检修工作,组织、领导检查、清洁、油漆工作。

(10) 监督轮机部一般船员的交接工作。

3. 二管轮

(1) 在轮机长和大管轮的领导下进行工作,负责管理发电原动机及为它服务的机械设备、机舱内部分辅机和轮机长指定由他负责的其他设备。在无人值班船舶,与大管轮、三管轮轮值安全班;有人值班船舶航行时当值 0000—0400 和 1200—1600 班。

(2) 负责制订本人主管的机械设备的预防检修计划,进行检查、测量及修理,记载并保管修理记录簿。

(3) 负责编制本人主管的机械设备的计划修理单和航次修理单,提交大管轮审核,修理期间,协助监工、验收并参加自修工作。

(4) 负责本人主管的机械设备的备件和专用物料的申领、验收和报销,妥善保管,防止锈蚀、损坏或遗失。

(5) 负责加装燃油(驳油),进行燃油的测量、统计和记录工作。

(6) 负责保管拨交本人使用的技术文件、仪器、工具和备件等。

(7) 在航行时轮值航行班。停泊时,领导由大管轮指派的人员进行检修工作,并与大、三管轮轮流留船值班。

4. 三管轮

(1) 在轮机长和大管轮的领导下工作,负责管理甲板机械及泵、救生艇、应急救火泵、油水分离器、焚烧炉、空调机、辅锅炉及其附属设备和轮机长指定的其他辅机和设备。在无人值班船舶,与大管轮、二管轮轮值安全班;有人值班船舶航行时当值 0800—1200 和 2000—2400 班。

(2) 负责制订本人主管的机械和设备的预防检修计划,进行检查测量及修理,记载并保管修理记录簿。在未配有电子电气员的船舶,负责管理全船电气设备并领导电工的工作。

(3) 负责编制本人主管的机械设备的修理计划、修理单和航次修理单,提交大管轮审核。

(4) 负责本人主管的机械设备的备件和专用物料的申领、验收和报销,监督妥善保管,防止锈蚀、损坏或遗失。

(5) 负责保管拨交本人使用的技术文件、仪器、工具和备件等。

(6) 在航行时值航行班,停泊时领导由大管轮指派的人员进行检修工作,并与大管轮、二管轮留船值班。

5. 电子电气员

电子电气员是 STCW 公约马尼拉修正案新设岗位,公约将电子电气员定位为操作级,其职责主要有三大方面:

(1) 电气、电子和控制工程:对电气、电子和控制系统的监控;推进装置和辅助机械自动控制系统的监控;发电机的操作;船上计算机及其网络系统的操作;使用手动工具、电气和电子测量设备进行故障检查、维护和修理作业等。

(2) 维护和修理:维护和修理主推进装置和辅助机械的自动和控制系统;维护和修理驾驶台航行设备和船舶通信系统;维护和修理甲板机械和装卸货设备的电气、电子和控制系统;维护和修理生活设备的控制和安全系统等。

(3) 船舶操纵和人员管理:保证遵守防污染要求;船上防火、控制火灾和灭火;操作救生设备;在船上应用医疗急救;领导力和团队工作技能的运用等。

6. 冷藏员

(1) 在轮机长和大管轮领导下领导冷藏机工进行工作。

(2) 按照轮机长的指示,参加并组织领导冷藏机工或由大管轮派给的人员轮流值班和进行检修工作。

(3) 负责检查并按时记录冷藏库内的温度、湿度,使其经常处于规定的变化幅度之内;经常检查并保持冷藏库系和设备的完整可靠,冷藏设备发生故障时,应立即报告轮机长,并及时进行检修。

(4) 应贯彻执行冷藏设备的操作规程,防止泄漏,杜绝事故发生,延长使用寿命,保证冷冻物品的质量,不断研究改进管理办法,报经轮机长批准后执行。

(5) 负责保持冷藏机室、修理间、材料库、冷藏机及管系和有关设备的清洁整齐。

(6) 制订预防检修计划,报经轮机长批准执行。

(7) 编制计划修理和航次修理的修理单,提交轮机长审批。

(8) 负责冷冻设备所需工具、备件、物料的申领、验收、统计和报销,监督物料和备件的合理使用。

(9) 负责管理冷藏日志,按时提交轮机长审签。

(10) 保管冷藏设备的有关技术文件。

7. 机工长

- (1) 在大管轮领导下组织、安排机工值班和维修保养工作。
- (2) 负责保管机舱物料、专用工具、常用工具及电焊设备。报领机舱物料送大管轮汇总。
- (3) 安排机舱清洁工作,安排新机工跟班及熟悉基本操作。

8. 机工

(1) 在大管轮或机工长安排下参加航行和靠泊值班,在当班轮机员领导下进行值班巡视、记录和设备操作。

(2) 在不值昼夜班时,在轮机员和机工长的领导下参加机舱设备检修和机舱清洁工作。

以上是轮机部人员的基本配置情况,船舶可根据机舱自动化程度、船舶吨位、航区不同依公约规定适当减免操作级和支持级船员配置。

第二节 热工基础知识

轮机在工程上被称为船舶动力装置,常规的船舶动力装置均属于热动力装置,如蒸汽动力装置、柴油机动力装置以及燃气轮机动力装置等。热动力装置是将燃料燃烧产生的热能的一部分转化为机械能的装置。要想对热动力装置有一个清晰的认识,必须具有一定的热工基础知识。热动力装置中将热能转化为机械能的各种流动介质,称为“工质”。例如,燃气是内燃机做功的工质,水蒸气是蒸汽机做功的工质。在热动力装置中,把热能转化为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。

一、热力状态参数

在对热动力装置进行热力学分析时,通常要在相互作用的各种热力设备中划分出一个(或几个)作为研究对象,这种被划分出来的研究对象称为热力系统。要对热力系统进行分析,首先需要对系统的热力状态进行描述。在热力学中,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。常用的状态参数有压力、温度、容积、内能、焓和熵等六个参数,而压力、温度、容积三个状态参数,可直接通过仪表来测量,因此工程上称它们为基本状态参数。状态参数的数值仅由系统的状态来确定,当系统状态变化时,状态参数的变化量,只与系统的初、终状态有关,而与变化过程或途径无关。

1. 压力

在工程热力学中,把工质垂直作用在单位容积壁面或分界面上的力称为压力。气体的压力是气体分子撞击壁面的宏观结果,因此气体作用在器壁上的压力与单位容积内的分子数和分子的平均移动动能成正比。

压力的单位分为国际单位(SI)制、工程单位制和英制单位。在国际单位中,压力的单位为 N/m^2 ,称为“帕”,以符号 Pa 表示,实际多用 10^6 Pa ,称为“兆帕”,以符号 MPa 表示。各单位之间的换算关系如表 1-1 所示。

(1) 大气压力

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,其中下标 b 表示 barometric(大气压力);有时下标也用 a,表示 atmospheric pressure(大气压力)。其大小随纬度、高度、空气温度和水蒸气含量而变化。物理学中把纬度 45° 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。现已规定 $1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} = 101\,325 \text{ Pa} = 0.101\,325 \text{ MPa}$ 。

表 1-1 压力单位换算表

帕 (Pa) N/m^2	巴 (bar) 10^5 N/m^2	工程气压 (at) kgf/cm^2	标准气压 (atm) 760 mmHg	磅力/英寸 ² (psi) 1 lbf/in ²	毫米汞柱 (Torr) mmHg	米水柱 mH_2O
1	10^{-5}	$1.019\,7 \times 10^{-5}$	$0.986\,9 \times 10^{-5}$	1.45×10^{-4}	7.5×10^{-3}	1.021×10^{-4}

(注:根据我国计量法,应采用国际单位制计量单位,非国家法定计量单位应当废除。然而在生产实践中,包括上述的非国家法定计量单位仍有大量的使用,因此在这里作为常识性介绍。)

(2) 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。

(3) 表压力

用压力表测得的压力数值称为“表压力”,以 p_g 表示,其中下标 g 表示 gauge(测量仪表)。压力表测定的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,即

$$p_g = p - p_b$$

(4) 真空度

当容器内的绝对压力比大气压低时,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,其中下标 v 表示 vacuum(真空)。真空度也是表压,其数值是当地大气压与绝对压力的差值,即

$$p_v = p_b - p$$

表压力和真空度是以当地大气压为基准的相对压力,表压力表示比大气压力高出的压力值,真空度表示比大气压力低的压力值,它们之间的关系如图 1-4 所示。

在工程计算中,当 $p_g \gg p_b$ 时,可近似取 $p_b = 0.1 \text{ MPa}$,则绝对压力

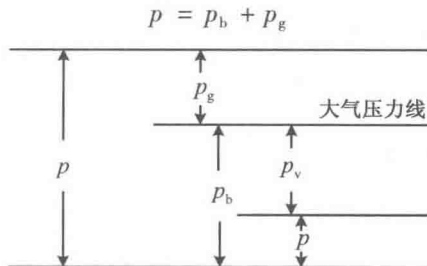


图 1-4 表压力、真空度和绝对压力的关系

2. 温度

温度是表明工质冷热程度的状态参数,以 t 表示。温度的数值表示方法叫作温标。常用的温标有以下三种:

(1) 华氏温标。在标准大气压下,将纯水的冰点标定在 32 度,沸点为 212 度,在这两点之间均分 180 等份,取其中的 1 份称为华氏 1 度,记做 1°F ,用符号 $t(^{\circ}\text{F})$ 表示。

(2) 摄氏温标。在标准大气压下,将纯水的冰点标定在 0 度,沸点为 100 度,在这两点之间均分 100 等份,取其中的 1 份称为摄氏 1 度,记做 1°C ,用符号 $t(^{\circ}\text{C})$ 表示。

(3) 开尔文温标。又称绝对温标或热力学温标,以摄氏零下 273.15 度为 0 度,每度的间隔和摄氏温标相同。1 度记做 1 K,用符号 $T(K)$ 表示。三种温标之间的换算关系是:

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

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

$$T(K) = (+ 273.15)^{\circ}\text{C}$$

3. 比容和密度

质量为 1 kg 的工质所占的容积称为比容,用符号 v 表示,单位为 m^3/kg 。设质量为 $m(\text{kg})$ 的工质所占容积为 $V(\text{m}^3)$,则其比容为

$$v = V/m$$

容积为 1 m^3 工质具有的质量称为密度,用符号 ρ 表示,单位为 kg/m^3 。设容积为 $V(\text{m}^3)$ 工质的质量为 $m(\text{kg})$,则密度为

$$\rho = m/V$$

由以上两式可知,比容 v 和密度 ρ 互为倒数,即

$$\rho = 1/v, v = 1/\rho$$

二、热与功

1. 热量

在热力学中,把系统和外界由于温差而通过边界传递的能量称为热量,用符号 Q 表示。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 kJ(千焦),工程单位为 kcal(千卡或大卡)。1 kcal 即在标准大气压下将质量为 1 kg 液态水的温度升高 1°C 所吸收的热量。对质量为 1 kg 工质的加热量(或放热量)称为单位质量热量,用符号 q 表示,其单位为 kJ/kg 或 kcal/kg 。

2. 功

在热力学中,功的定义为“当封闭系统(与外界没有物质交换的热力学系统)通过边界和外界之间发生相互作用时,如外界的唯一作用是升起重物,则系统对外界做了功;反之,如外界的唯一效果是降低重物,则外界对系统做了功”。

如图 1-5 所示,取气缸中有一定质量的高压气体作为封闭系统,活塞、曲柄连杆机构和重物为外界。则当系统膨胀时,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降,则外界通过边界对系统做功,使系统压缩。

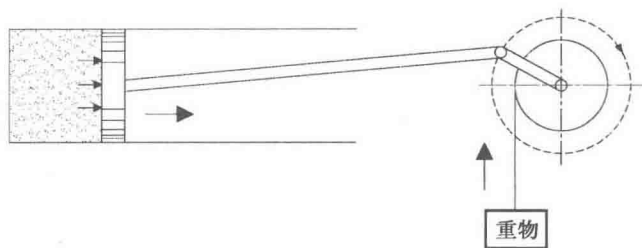


图 1-5 封闭系统做功

功的单位,在工程制中为 $\text{kgf} \cdot \text{m}$,在 SI 制中为 $\text{N} \cdot \text{m}$,即焦耳,以符号“J”表示。二者之间的换算关系为

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

工程中称单位时间内所做的功为“功率”，其单位为“马力”或“千瓦”。它们之间的关系为

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

功和热量均为系统与外界之间能量传递的方式，两者都是传递过程中出现的能量，单纯说某个系统具有多少功或热量是没有意义的。但是两者有着本质的区别，热量是不规则热运动的能量传递方式，功则是规则运动的能量传递方式。功可以完全地转化为热，热却只能部分地转化为功，而且只能通过工质的热膨胀来实现。这就是我们日常生活、生产中发现的运转的设备会逐渐发热，即部分功自发地变成热量；而热量却不能自发的转换为功，必须通过热机实现，且热效率均有限。

三、传热的三种基本方式

热传递过程相当复杂，为了便于分析，按照热传递过程中物质运动的特点，热传递可分为三种基本方式：导热、对流换热、辐射换热。

1. 导热

当物体各部分温度不同时，热量就会自发的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称为导热。

2. 对流换热

运动着的流体与固体表面接触时的换热过程称为对流换热。

3. 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。它不需要冷、热物体直接接触，只要有温差存在，就能进行辐射换热。

任何温度高于 0 K 的物体，每时每刻都在以热辐射的方式向外辐射热量，与此同时，物体又在每时每刻接收其他物体以热辐射的方式向它辐射的能量。物体表面温度越高，辐射的热量越多。当辐射的热量 Q 投射到一个物体时，部分能量 Q_A 被吸收，部分 Q_R 被反射，其余能量 Q_D 透过物体。

4. 传热过程

传热过程是以上三种传热方式的复合过程，例如，锅炉中高温燃气与水的传热过程，就同时具有导热、对流换热和辐射换热三种基本方式。高温燃气对炉胆壁面的传热以辐射和对流两种方式换热，炉胆下壁面向炉胆上壁面的传热是以导热方式进行，而炉胆上壁面向水的传热过程是对流换热方式。传热过程基本规律是传热温差越大，传热量越多；传热面积越大，传热量也越多。传热过程的传热量可由下式计算：

$$Q = KF \cdot \Delta t \quad (1-1)$$

式中： F ——传热面积， m^2 ；

Δt ——传热温差， $^{\circ}\text{C}$ ；

K ——传热系数， $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ 。

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、厚度、对流放热系数，以及辐射放热系数的全部数值。要增强传热，就应设法提高传热系数 K 值。如要削弱传热，则应设法减少 K 值。

在轮机工程中，很多设备的运行都与热量的传递、功与热的转换有关。例如，锅炉是将燃料的化学能转变为热能，传递给炉水使之产生蒸汽来加热燃油和淡水等；柴油机是将燃料的化