



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

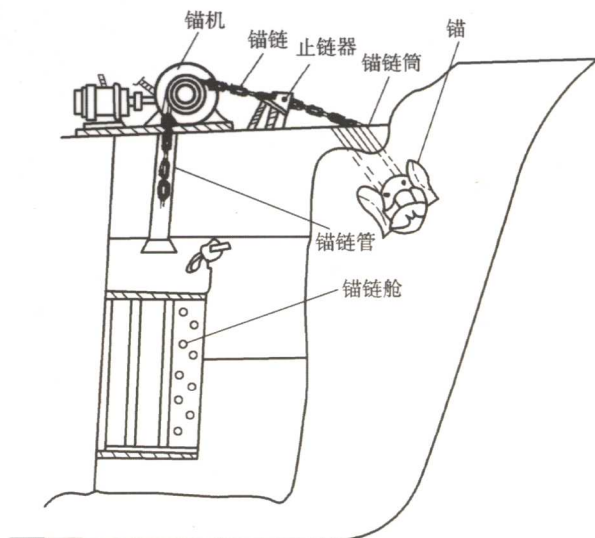
交通职业教育教学指导委员会推荐教材
高等职业院校船舶技术类专业教学用书

船舶机电基础

船舶工程技术专业

● 倪依纯 主编 ● 谢 荣 主审

Chuanbo
Jidian
Jichu



人民交通出版社
China Communications Press



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

交通职业教育教学指导委员会推荐教材
高等职业院校船舶技术类专业教学用书

船舶机电基础

船舶工程技术专业

● 倪依纯 主编 ● 谢 荣 主审

人民交通出版社

内 容 提 要

本书为“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”,是高等职业教育船舶技术类船舶工程技术专业交通职业教育教学指导委员会规划教材之一,按照《船舶机电基础》教学大纲的要求而编写的。

本书共分七章,内容包括:绪论,船舶动力装置,船用泵及阀件,船舶甲板机械,船舶锅炉、船舶制冷和空气调节装置,船舶电气设备,船舶辅机电力拖动,船舶电站及电力系统。

本书是针对三年制高等职业教育编写的,二年制的也可参考使用。同时,本书还适用于船员的考证培训和船厂职工的自学以及其他形式的职业教育使用。

图书在版编目(CIP)数据

船舶机电基础 / 倪依纯主编. —北京: 人民交通出版社, 2006.12

ISBN 978-7-114-06276-6

I. 船… II. 倪… III. 船舶机械—基本知识
IV. U664

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 144493 号

书 名: 船舶机电基础

著 作 者: 倪依纯

责任编辑: 富砚博

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010) 85285838, 85285995

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京宝莲鸿图科技有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 8.75

字 数: 216 千

版 次: 2007 年 1 月 第 1 版

印 次: 2007 年 1 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-06276-6

印 数: 0001—2000 册

定 价: 17.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)



为深入贯彻《国务院关于大力发展职业教育的决定》，积极推进课程改革和教材建设，为职业教育教学和培训提供更加丰富、多样和实用的教材，更好地满足我国造船工业快速发展的需要，交通职业教育教学指导委员会航海类专业指导委员会委托交通职业教育研究会船舶技术专业委员会，联合组织全国开办有船舶技术类专业的职业院校及其骨干教师，编写了高等职业教育船舶工程技术专业、轮机工程技术（船舶动力机械与装置方向）专业和电气自动化技术（船舶电气方向）专业交通职业教育教学指导委员会规划教材。其中，部分教材还入选了“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”。

本系列教材注重以就业为导向，以能力为本位，面向市场，面向社会，体现了职业教育的特色，满足了高素质的实用型、技能型船舶技术类专业高等职业人才培养的需要。本系列教材在组织编写过程中，形成了如下特色：

1. 认真总结了全国开办有船舶技术类专业的职业院校多年来的专业教学经验，并吸收了部分企业专家的意见，代表性强，适用性广；
2. 以职业岗位的需求为出发点，适当精简了教学内容，减少了理论描述，具有较强的针对性；
3. 教材编写时在每章前列出了知识目标 and 能力目标等学习目标要求，每章结尾处编制了大量思考与练习题，便于组织教学和学生学习。

本系列教材是针对三年制高等职业教育编写的，二年制的也可参考使用。同时，本系列教材还适用于船员的考证培训和船厂职工的自学以及其他形式的职业教育。

《船舶机电基础》是普通高等教育“十一五”国家级规划教材，按照《船舶机电基础》教学大纲的要求而编写，力求做到理论联系实际，尽量减少详细的基本原理分析，侧重于机电技术以及设备在船舶上的应用，使船舶工程专业的学生通过学习获得现代船舶主机、主要的辅机、辅机电气控制系统、船舶电站及电力系统的基本常识，了解这些机电设备在船舶上的运用。

参加本书编写工作的有：主编江苏省无锡交通高等职业技术学校倪依纯（编写绪论、第七章），参编哈尔滨航运学校张庆胜（编写第一、二章）、江苏海事职业技术学院孙建新、刘善平、王瑜（编写第三、四章）、江苏省无锡交通高等职业技术学校蒋治国（编写第五、六章）。

本书由江苏海事职业技术学院谢荣担任主审，江苏海事职业技术学院周涛参审，在此表示感谢！

限于编者经历和水平，教材内容难以覆盖全国各地的实际情况，希望各教学单位在积极选用和推广本系列教材的同时，注重总结经验，及时提出修改意见和建议，以便再版修订时改正。

交通职业教育教学指导委员会航海类专业指导委员会

二〇〇六年九月



绪论	1
第一节 船舶机电概述	1
第二节 船舶动力装置及辅机概述	2
第三节 船舶电气系统与自动化	4
思考与练习	5
第一章 船舶动力装置	7
第一节 柴油机的基本概念	7
第二节 柴油机的工作原理	8
第三节 柴油机的主要部件	11
第四节 船舶操纵控制系统	19
第五节 船舶轴系	22
思考与练习	27
第二章 船用泵及阀件	31
第一节 船用泵	31
第二节 管路阀件	37
思考与练习	41
第三章 船舶甲板机械	44
第一节 舵设备	44
第二节 锚设备	51
第三节 系缆设备	56
第四节 船舶起货机	59
思考与练习	60
第四章 船舶锅炉、船舶制冷和空气调节装置	64
第一节 船舶锅炉	64
第二节 船舶制冷装置	72
第三节 船舶空气调节装置	76
思考与练习	80
第五章 船舶电气设备	84
第一节 船舶电气基础	84
第二节 船舶电气系统常见电气元器件	86
思考与练习	102

第六章 船舶辅机电力拖动	105
第一节 船用辅机电力拖动的基本控制电路.....	105
第二节 船舶主要辅机的电力拖动控制.....	107
第三节 船舶信号、传讯与检测报警系统	114
思考与练习.....	119
第七章 船舶电站及电力系统	122
第一节 船舶电力系统的构成及特点.....	122
第二节 船舶电力系统的主要设备.....	124
第三节 船舶电站的自动控制及继电保护.....	127
思考与练习.....	132
参考文献	134



绪 论

● 学习目标

知识目标

1. 熟悉船舶机电设备发展历程;
2. 熟悉船舶动力装置的概念和组成;
3. 熟悉船舶辅机的主要类型;
4. 熟悉船舶电力系统的构成及类型。

能力目标

1. 初步具备识别船舶主动力装置、辅机及电气设备的能力;
2. 初步了解船舶主动力装置、辅机及电气设备的作用。

第一节 船舶机电概述

船舶是人类最早开发利用的交通工具。船在人类文明发展过程中扮演了重要角色,涉及到人类社会生活的方方面面。船舶作为人类的交通工具,由来已久。纵观船舶发展历史,从古代船只到现代船舶,船舶技术大体上经历了三次飞跃性的发展。一是用钢质材料替代了木质材料;二是在推进方式上由传统的篙、桨、橹、帆等人力或借助自然风力的推进方式发展为机器推进;三是导航方法由初期的海岸观察、天文导航、指南针导航发展为无线电、雷达和卫星导航等现代化导航系统。

千百年来,人类一直在不断探索更理想、更强大的船舶动力以及更方便、更有效的船舶驾驶和控制方式。由于工业革命,出现了蒸汽机,特别是 19 世纪初,当时欧洲经济发展迅速,各国的经济、军事竞争十分激烈。因此,各国纷纷将在陆地上已经使用得比较成熟的蒸汽机陆续安装到船舶上。

英国人罗波特·富尔顿于 1807 年首先建造了蒸汽机船。这艘船被命名为“克莱蒙特”,安装的蒸汽机功率为 15kW,推进器为明轮推进器。第一次试航,在单独使用蒸汽机的情况下,获得了大约 4.6km/h 的航速。“克莱蒙特”的试航成功,使蒸汽机带动明轮推进器的船舶成为当时世界风行的潮流。1843 年,推进效率更高的螺旋桨推进器试验成功,并逐渐替代明轮推进器成为现代船舶主流推进器。然而,随着船舶运输吨位的需求上升,对蒸汽机的功率要求也越来越大,蒸汽机的体积也随之越来越大。这就在蒸汽机制造工艺和船舱布置等各个方面遇到了越来越多的困难,于是,气轮机和内燃机逐步取代蒸汽机成为船舶主动力装置,尤其是大功率船舶。

世界上第一艘内燃机船舶是俄国人建造成功的。不过,这艘命名为“万达尔”的内燃机船舶,虽然装备了三台 88kW 的柴油机,但真正推动螺旋桨工作的却是由这三台柴油机分别带动的三台电动机,所以,“万达尔”号还应该是世界上第一艘电力推进的船舶。随着内燃机制造





技术和控制技术的不断提高,内燃机本身具有的效率、占地少、管理和控制方便的优点,使得它在船舶上得到了广泛的应用,现代的船舶绝大部分都利用内燃机作为主要动力,其中,柴油机使用最为普遍。

现代船舶的动力源除柴油机外,还有燃气轮机和核动力装置。燃气轮机是20世纪30年代开始兴盛的。1947年,美国人首先将燃气轮机运用于军用船舶上。20世纪50年代,燃气轮机开始用于民用船舶。燃气轮机的优点是重量轻、体积小、单机功率大、机动性能高、操纵和管理方便。但是,燃气轮机的经济性比较差,寿命短,对燃油的品质要求高,维护保养困难,目前已逐渐退出民用船舶动力的舞台。

核能的开发,为船舶动力提供了崭新的前景。1952年,世界上第一艘核动力潜艇“鹦鹉”号下水试航成功,标志着核动力装置在船舶动力的成功应用。核动力装置的主要特点是燃料的重量极轻、船舶的续航能力极大、不用空气助燃、不需进排气管道等。但是,由于造价高,核反应堆的防护难度大,技术复杂等原因,在民用船舶上的使用甚少。

随着船舶动力装置不断发展,为保证船舶航行的安全可靠、操纵的精确、乘员的生活和工作的舒适而设置的各种配套设备和自动化设备也越来越多地出现在船舶上。这些配套设备以及自动化控制技术,同样体现了船舶的现代化程度。一艘现代化的船舶就是一座浮动在水上的现代化“城市”。我们所说的船舶机电就是对船舶动力以及各种机电设备的总称。

第二节 船舶动力装置及辅机概述

一、船舶动力装置

船舶动力装置是保证船舶正常航行、作业、停泊及船员、旅客正常工作和生活所必需的机械设备综合体。它由推进装置、辅助装置、船舶甲板机械、船舶管路系统、遥控及自动化设备等五部分组成。除了前后两部分外,其余三部分所涉及的范围广泛的辅助机械(除发电机组外),统称为船舶辅机。船舶动力装置的类型取决于船舶主机的类型。就人类目前的技术水平而言,船舶主机的作用就是将燃料燃烧所产生的热能转化为机械能,用于推动船舶前进,因此它又称为船舶主动力装置。

二、船舶主动力装置

根据燃料和燃烧方式的不同,我们通常将船舶主动力装置分为以下几个类型。

1. 蒸汽动力装置

蒸汽动力装置是以水蒸气作为工作介质,推动主机对外做功的一种动力装置。根据运动方式的不同,蒸汽动力装置有往复式和汽轮机两种。往复式蒸汽机具有结构简单、运转可靠的特点,是最早运用于海船的动力装置。但由于经济性差,体积和重量大,现在已经基本上被其他船用动力装置所替代。

汽轮机则一直受到柴油机的挑战而发展缓慢,汽轮机虽然自身的单机功率大,运转平稳,摩擦小、噪声低,但与之配套的锅炉、冷凝器、减速齿轮箱以及其他配套装置的重量和体积都比较大。因此,限制了汽轮机在船舶上的运用。



2. 内燃动力装置

内燃动力装置是以燃料在主机内部燃烧形成的燃气作为工作介质,推动主机对外做功的一种动力装置。按照主机的结构和工作方式的不同,可分为燃气轮机和柴油机两大类。

柴油机动力装置的主要特点有:

- (1)热效率高,耗油量低;
- (2)功率适应范围广,从几个千瓦到几万千瓦的功率均可采用;
- (3)操纵灵活机动,体积小,重量轻,辅助设备少。
- (4)噪声、振动和磨损较大。

由于柴油机的各方面特点比较适应船舶动力装置的要求,故而,现代船舶的主机以及发电机的原动机(又称副机)大都采用柴油机。目前,在中、大功率商船上使用的柴油机可分为大功率低速柴油机和大功率中速柴油机两大类。

随着废气涡轮增压技术的使用和推广,大功率低速机的得到了迅速的发展。目前,从节能的角度出发,已不再一味要求提高船舶的航速。为此,大功率低速柴油机的缸径尺寸不但不再增加,而且有所减小。

大功率中速柴油机的重量和尺寸较小,成为低速机的强有力竞争者。特别是在机舱尺寸要求严格的滚装船和客船上,中速机的应用就更为广泛了。目前,中速机的耗油率还略高于低速机,运转的噪声也比较大,维护和管理还不如低速机方便。

柴油机动力作为船舶动力已持续了很多年,而且可以预测,这种状况还将持续很长的时间。柴油机的热效率已经可以达到50%以上,然而进一步提高的步伐已经放慢了。事实上还可以通过对整个装置的配套优化,加大对废热利用的深度和广度,进一步提高整个装置的经济性。

对于柴油机来说,提高柴油机装置的可靠性和维修性,减少排放污染是值得着重研究的课题。

3. 核动力装置

核动力装置是以原子核的裂变反应所产生的巨大热能,通过某种工作介质(一般是蒸汽或燃气)推动汽轮机或燃气轮机工作的一种装置。由于采用的反应堆作用原理的差异,核动力装置又分为多种形式,目前,使用比较广泛的是压力水堆核动力装置。

核动力装置的主要特点有:

- (1)燃料消耗少,续航能力强。例如,一艘载重为30kt的油轮航行10000n mile仅消耗含5% U^{235} 的浓缩铀100kg。
- (2)功率大,船速高。
- (3)不需要空气助燃,无进排气问题。这一点尤其适合潜艇的长期隐蔽潜航。
- (4)燃料价格高,处理复杂,反应堆及辅助设备的防护难度大,运行调节要求高,设备昂贵。

三、船舶辅机

各种船舶辅机的正常运行,也是船舶高效、安全、经济运行的不可缺少条件。

根据服务对象,船舶辅机可分为:

- (1)为船舶主机服务的设备,如:空气压缩机、燃油输送泵、润滑油泵、淡水泵、海(江)水泵



及分油机等。

(2)为船舶航行相关安全服务的设备,如:舵机、起锚机、绞缆机、吊艇机、消防泵及舱底水泵等。

(3)为船舶货运服务的设备,如:起货机、舱口盖机、通风机、驳油泵及洗舱泵等。

(4)为船员和旅客生活服务的设备,如:燃油辅助锅炉、废气锅炉、制冷装置、空气调节装置、江水快速净化装置、海水淡化装置、清水泵和卫生水泵等。

(5)为船舶防污染服务的设备,如:油水分离器、生活污水处理装置及焚烧炉等。

由此可见,船舶辅机范围广泛,种类繁多。作为推进装置的主要组成部分的船舶主机,其工作的好坏,直接关系到船舶动力装置的性能、船舶的正常航行和安全。然而它是否能安全可靠地运行和充分发挥其作用,必须依赖动力装置中各种辅助机械及其管路系统的配合。例如,船舶辅机中用于控制船舶航行方向的舵机,其技术状况的好坏就会直接影响船舶航行的安全,很多船舶往往都是因为舵机失灵而发生海损事故的。

现代船舶辅机是消耗功率的机械,它的工作机构必须靠原动机(如柴油机、汽油机、蒸汽机、电动机等)驱动。所以,船舶辅机一般由工作机械和原动机两部分组成。现代船舶上的各种辅机主要采用电动机作原动机。

船舶辅机大都已实现自动控制,并朝着标准化、系列化、小型化、自动化和采用电子计算机控制的方向发展。

第三节 船舶电气系统与自动化

电能,是现代化社会中应用最广泛的一种能源。由于它效率高、控制方便、污染少等原因,使电机、各种电气设备得到极为广泛的应用。随着科学技术的发展,电子技术已渗入到社会的各个领域。近年来,计算机系统也应用到船舶的设备控制、运行管理中,目前最先进的船舶已实现了全船计算机集中控制,并将完成智能管理。微电子科学技术正在飞速地发展,它将对我国的水运事业起到无可限量的促进作用。

如今,船舶电气设备、电子系统已成为现代化船舶基本的组成部分。例如,操舵仪、导航设备、生活照明、空调、船舶电站以及为主机服务的各种电气设备的使用和维护已成为保障船舶安全、经济运行的决定性因素。

一、船舶电气化、自动化现状

随着科学和船舶工程技术的发展,船舶电气化、自动化程度也在不断提高。自从19世纪40年代船舶上第一次使用蓄电池供电的照明灯具以来,电能的运用在船上以惊人的速度得到推广。照明及信号灯系统首先全面实现了电气化。在动力方面,随着蒸汽机船舶的淘汰,在以柴油机为主机的船上,几乎所有的辅机全都采用了电力拖动。某些水下航行舰船、火车渡轮和海洋调查船等,还采用了以电动机作为主机的电力推进系统。

在20世纪50年代后期,交流发电机的调压、交流电动机的调速问题相继得到妥善解决,使经济、方便的交流电在船上逐渐取代直流电及在船舶电气化方面的发展前进了一步。随着船舶日益大型化和自动化,电气设备的增多,船舶电站容量越来越大。一艘万吨级以上的



船舶的电站功率在 800 ~ 1000kW 之间,有些甚至高达 10000kW。

各种甲板机械已完成向液压动力和电气控制系统方向的发展,自动化程度也达到相出高的水平。例如,能自动维持航向的自动电气液压舵机,能自动按张力收放缆绳的绞车,能实现双杆联合工作的电气液压起货吊车等设备,都已得到了推广和应用。

在生活设施方面,也已逐步实现了电气化和自动化。例如,舱室空调设备,包括各种副食品加工机械在内的成套电气化厨房设备;洗衣、烘衣设备,以及自动电梯,内、外通信系统、闭路电视、音响设备等,使得船上有了一个和陆地相类似的舒适的生活环境。

随着自控技术、遥控技术、遥测技术、微机技术的发展和完善,为建造高度自动化的船舶创造了必要的条件,由计算机或微机控制的机舱全面自动化已得到了实现。在长途航行中,主机能按驾驶人员发出的指令自动进行起动、加速、停车、反向。电站发电机组可根据负荷大小自行起动、并联或解列、停车。当机舱各系统中出现故障时,会自动将报警信号发到值班人员居住的房舱,同时按情况自动进行处理,并将故障予以显示和记录备查。正常无故障时,值班人员可以连续 8 ~ 24h 不下机舱,在自己舱室里就可值班。

卫星定位技术的研究成功,使船舶导航方面有了一个巨大飞跃。随着卫星定位技术的进一步完善,并辅以其他各种先进的导航设备,使船舶自动导航得以实现。

目前,使用世界上最新科学技术装备起来的超级自动化船只,日夜航行在世界各大洋上,它标志着船舶电气化、自动化已发展到了一个崭新阶段。

二、船舶电气系统分类

船舶是一个各种功能齐全的独立单位,船舶上的电气设备种类繁多,涉及电机、电器和电子工业等各个门类,可按其性质和用途分成以下 6 类;

- (1) 电力系统包括船舶电站、电力网及配电在内的供电系统;
- (2) 电力拖动系统包括各种舱室机械和甲板机械的电力拖动系统;
- (3) 电力推进系统包括带动螺旋桨的推进电动机和独立为它服务的供电和控制系统;
- (4) 照明系统包括全船正常、应急照明以及航行信号照明系统;
- (5) 船内通信及信号系统包括电话、广播、信号铃等音响联络系统;
- (6) 通信及导航系统包括各种对外通信联络系统和为航行服务的各种导航系统。



SIKAOYULIANXI

一、选择

1. 第一艘真正意义上的轮船出现在_____。
A. 1807 年 B. 1870 年 C. 1847 年 D. 1843 年
2. 现代船舶的主要装置是_____。
A. 汽轮机 B. 柴油机动力装置 C. 核动力装置 D. 往复式蒸汽机



3. 现代船舶主机的能量转换形式是_____。
- A. 将各种燃料燃烧所产生的热能转化为电能
B. 将各种燃料的化学能直接转化为热能
C. 将各种燃料热能转化为化学能
D. 将各种燃料燃烧所产生的热能转化为机械能
4. 下面哪一个是核动力装置船舶所独有的特点?
- A. 热效率高,耗油量低
B. 不需要空气助燃,无进排气问题
C. 结构简单,运转可靠
D. 单机功率大,运转平稳,摩擦小、噪声低
5. 下列船舶设备不属于辅机的是_____。
- A. 起锚机
B. 绞缆机
C. 燃油辅助锅炉
D. 同步电动机
6. 下列说法不正确的是_____。
- A. 现代船舶已基本实现交流电代替直流电
B. 船舶所有的辅机只能采用电力拖动
C. 现代船舶的电站容量甚至可高达 10000kW
D. 以电动机作为主机的推进系统称为电力推进

二、简答题

1. 简述为什么燃气轮机无法在现代船舶上得以广泛应用?
2. 我们所说的船舶机电设备是指什么? 主要包括哪几个部分?
3. 什么是船舶动力装置? 什么是船舶辅机?
4. 简述船舶电气系统的分类。



第一章 船舶动力装置

● 学习目标

知识目标

1. 能正确叙述柴油机的基本结构参数以及柴油机的优缺点;
2. 初步掌握四冲程和二冲程柴油机的工作原理;
3. 了解柴油机主要部件和功用;
4. 熟悉船舶操纵控制系统各组成部分的结构、工作原理及功用;
5. 能正确叙述船舶轴系的组成、作用及轴线的布置;
6. 能正确叙述船舶传动轴系的结构。

能力目标

1. 熟悉船舶柴油机的基本组成;
2. 熟悉柴油机的类型,能基本识别柴油机主要部件;
3. 基本熟悉船舶操纵控制系统,初步掌握操纵柴油机的能力;
4. 能识别船舶传动轴系。

第一节 柴油机的基本概念

一、概述

1. 热机

所谓热机是指把热能转换为机械能的动力机械。根据燃料燃烧场所的不同,热机可分为外燃机和内燃机两大类。

外燃机燃料的燃烧发生在机器的外部,而热能转变为机械能发生在机器内部。由于热能需经中间工质(蒸汽)传递,必然存在热损失,所以外燃机的热效率不高。典型的外燃机有蒸汽机、汽轮机和燃气轮机等。

内燃机燃料的燃烧发生在机器的内部,它以燃气为工质,直接利用燃烧产生的高温高压燃气在气缸中膨胀做功(热能转换为机械能)。由于内燃机的两次能量转换过程都发生在气缸内部,能量损失小,所以其热效率较高。典型的内燃机有柴油机、汽油机、煤气机等。

2. 柴油机

柴油机是一种压缩发火的往复式内燃机。它使用柴油或劣质燃油做燃料,采用内部混合气形成可燃混合气,缸内燃烧采用压燃式,即利用缸内空气压缩形成的高温自行发火。这些特点使柴油机在热机范畴内具有最高的热效率,因而柴油机得到了广泛的应用。

柴油机在船舶上除用作主推进发动机(主机)外,还广泛用作发电机的原动机、动力型救生艇发动机、应急发电机原动机和应急消防泵原动机等。





柴油机的主要特点在绪论中已有叙述。

二、柴油机的基本结构参数(图1-1)

- (1) 上止点(T. D. C): 活塞在气缸中运动到离曲轴中心线最远的位置。
- (2) 下止点(B. D. C): 活塞在气缸中运动到离曲轴中心线最近的位置。
- (3) 曲柄半径(R): 曲轴主轴径中心线与曲柄销中心线的距离。
- (4) 行程(S): 活塞从上(下)止点移动到下(上)止点的直线距离。它等于曲轴曲柄半径的两倍($S = 2R$)。活塞移动一个行程, 相当于曲轴转动 180°CA (曲轴转角)。
- (5) 缸径(D): 气缸的内径。
- (6) 压缩室容积(V_c): 活塞在上止点时, 活塞顶面以上的全部空间(活塞顶、气缸盖底面与气缸套表面所包围的空间)容积, 亦称气缸余隙容积或燃烧室容积。
- (7) 气缸工作容积(V_h): 活塞在气缸中从上止点移动到下止点时所扫过的容积。

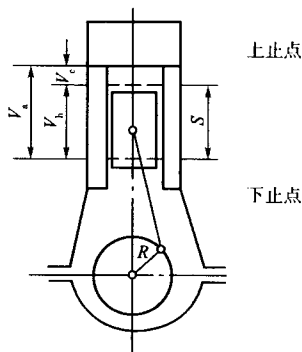


图 1-1 柴油机基本结构参数

$$V_h = \pi D^2 S / 4$$

- (8) 气缸总容积(V_a): 活塞在气缸内位于下止点时, 活塞顶面以上的全部气缸容积。

显然,

$$V_a = V_h + V_c$$

- (9) 压缩比(ε): 气缸总容积与压缩室容积之比值。亦称几何压缩比。

$$\varepsilon = V_a / V_c = (V_h + V_c) / V_c = 1 + V_h / V_c$$

压缩比是柴油机的一个重要性能参数, 它表示气缸内空气被活塞压缩的程度。压缩比越大, 压缩终点的压力和温度就越高, 燃油就越容易燃烧, 柴油机就越容易起动。压缩比对柴油机的燃烧、热效率、起动性能和机械负荷都有一定影响, 其大小随柴油机的形式而定, 一般柴油机的压缩比在 11 ~ 20 之间。

第二节 柴油机的工作原理

柴油机的基本工作原理是采用压缩发火方式使燃料在气缸内部燃烧, 以高温、高压的燃气工质在气缸中膨胀推动活塞作往复运动, 再通过活塞—连杆—曲柄机构将活塞往复运动转变为曲轴的回转运动, 从而带动工作机械。

根据柴油机的工作特点, 燃油在柴油机气缸中燃烧作功必须通过进气、压缩、燃烧、膨胀和排气五个过程。柴油机每完成从进气到排气这五个过程一次称为一个工作循环, 然后进入下一个工作循环, 从而周而复始的运行下去。

如果柴油机的一个工作循环分别在四个活塞行程中完成(即曲轴回转 720°CA), 称为四冲程柴油机。若柴油机的一个工作循环分别在二个活塞行程中完成(即曲轴回转 360°CA), 称为二冲程柴油机。



一、四冲程柴油机的工作原理

四冲程柴油机的工作过程为:

第一行程:进气行程。

如图 1-2 所示,活塞从上止点下行,进气阀 a 已打开,由于气缸容积的不断增大,缸内压力下降,依靠缸内气体与大气的压差,新鲜空气经进气阀 a 被吸入气缸。进气阀一般均在活塞到达上止点前即提前打开(曲柄位于点 1),进气阀提前在上止点前开启的曲轴角度称进气阀开启提前角,活塞到下止点后延迟关闭(曲柄位于点 2),进气阀延迟在下止点后关闭的曲轴角度称进气阀关闭延迟角。曲轴转角 $\varphi_{1,2}$ (图中阴影所占的角度表示进气持续角)为进气冲程,约为 $220 \sim 250^\circ \text{CA}$,其作用是使气缸内充满新鲜空气。

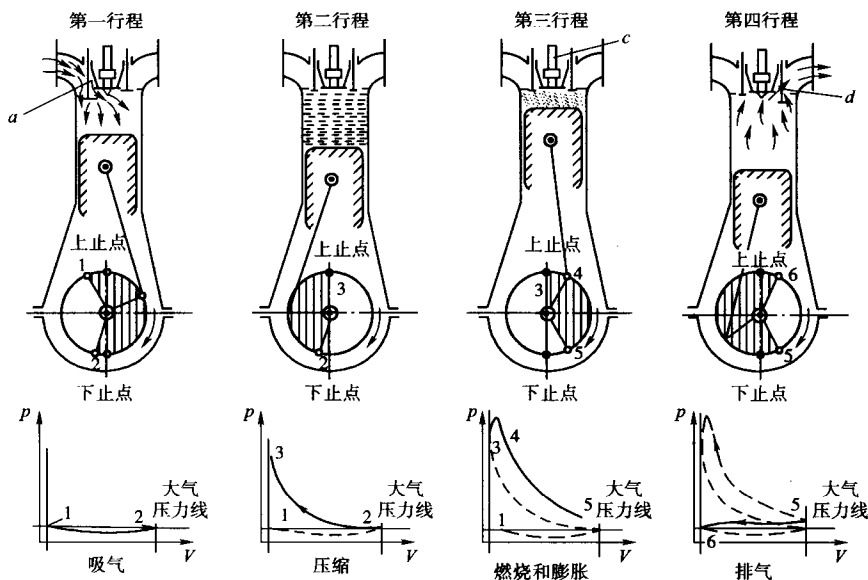


图 1-2 四冲程柴油机工作原理图

第二行程:压缩行程。

活塞从下止点向上运动,自进气阀 a 关闭(点 2)开始对气体进行压缩,一直到活塞到达上止点(曲柄到达点 3)为止。第一行程吸入的新鲜空气经压缩后,压力增高到 $3 \sim 6 \text{MPa}$,温度升至 $600 \sim 700^\circ \text{C}$ (燃油的自燃温度为 $210 \sim 270^\circ \text{C}$)。压缩终点的压力和温度分别用符号 p_c 和 t_c 表示。在压缩过程的后期,喷油器 c 在活塞运行到上止点前某一角度(喷油提前角)将燃油喷入气缸,使高压燃油与高温空气混合、加热,并自行发火燃烧。曲柄转角 $\varphi_{2,3}$ 表示压缩过程,约为 $140 \sim 160^\circ \text{CA}$ 。压缩行程的作用是通过活塞的压缩,使气缸内的空气达到一定的压力和温度,从而为燃油的燃烧和工质的膨胀做功创造条件。

第三行程:燃烧和膨胀行程。

活塞在上止点附近,由于燃油猛烈燃烧,使气缸内的压力和温度急剧升高,压力约达 $5 \sim 8 \text{MPa}$, (甚至达到 14MPa 以上),温度约为 $1400 \sim 1800^\circ \text{C}$ 或更高些。将燃烧产生的最高压力称最高爆发压力,用 p_z 表示,最高温度用 t_z 表示。高温高压的燃气(即工质)膨胀推动活塞下行



而作功。由于气缸容积逐渐增大,而压力下降,在上止点后的某一时刻(曲柄位于点4)燃烧基本结束,膨胀一直持续到排气阀 b 开启时结束。膨胀终了时缸内气体压力 P_b 为 $0.25 \sim 0.45\text{MPa}$,温度 t_b 约为 $600 \sim 700^\circ\text{C}$ 。由于排气阀流通截面积在开启过程中只能逐渐地增大,因此与进气阀相同,排气阀 b 总是在活塞到达下止点前(点5)提前开启,实现充分排气。曲柄转角 $\varphi_{3,4,5}$ 表示燃烧和膨胀,为 $140 \sim 160^\circ\text{CA}$ 。燃烧和膨胀行程的作用是将燃油燃烧产生的热能转变成机械能向外输出。

第四行程:排气行程。

为使下一循环的新鲜空气再次进入,应先将气缸内的废气排出。在上一行程末,排气阀 b 开启时活塞尚在下行,废气靠气缸内外压力差经排气阀排出,当活塞由下止点上行时,剩余废气可被上行活塞强行推挤出气缸,此时的排气过程是在略高于大气压力(约 $1.05 \sim 1.1$ 大气压)且在压力基本不变的情况下进行的。为使缸内废气排出得更干净,并减少排气过程的耗功,排气阀一直延迟到上止点后(点6)才关闭。排气过程用曲柄转角 $\varphi_{5,6}$ 表示,约为 $230 \sim 260^\circ\text{CA}$ 。其作用是将做功后的废气排出气缸。

进行了上述四个行程后,柴油机就完成了一个工作循环。当活塞继续运动时,另一个新的工作循环又按同样的顺序重复进行。

四冲程柴油机每完成一个工作循环,曲轴要回转两圈(凸轮轴回转一圈)。每个工作循环中只有燃烧膨胀行程对外做功,其他三个行程都是为燃烧膨胀行程服务的,都需要由外界供给能量。因此柴油机常做成多缸的,这样,进气、压缩、排气行程所需的能量可由其他处于做功行程的气缸供给。如果是单缸柴油机,就由较大的飞轮储存和提供能量。

图1-2下方 $p-V$ 图表示一个工作循环内气缸中气体的压力随活塞位移(或气缸容积)变化的情况,称为 $p-V$ 示功图。该图可用来研究柴油机工作过程进行的情况,并可用来计算柴油机一个工作循环的指示功。

二、二冲程柴油机工作原理

通过活塞的两个行程完成一个工作循环的柴油机叫做二冲程柴油机。二冲程柴油机与四冲程比较,在相同条件下,其功率约为四冲程的 $1.6 \sim 1.7$ 倍,而且其回转也比四冲程均匀,但二冲程的换气质量较四冲程差、热负荷也比四冲程机高。

在二冲程柴油机中,没有单独的进气与排气过程,其进气与排气过程几乎重叠在下止点前后约 $120 \sim 150^\circ\text{CA}$ 内同时进行。因此在结构上,二冲程柴油机可采用气缸套下部设扫气口—排气口(如图1-3a)所示,或气缸套下部设扫气口—气缸盖上设排气阀的换气机构。而且还必须设置一个专门的扫气泵以提高进气压力,使进气能从扫气口进入气缸并清扫废气出气缸。由此可把进、排气过程缩减到下止点前后的部分行程中完成。现以带扫气泵的二冲程柴油机为例来说明其工作原理。

如图1-3所示,采用扫气口—排气口换气形

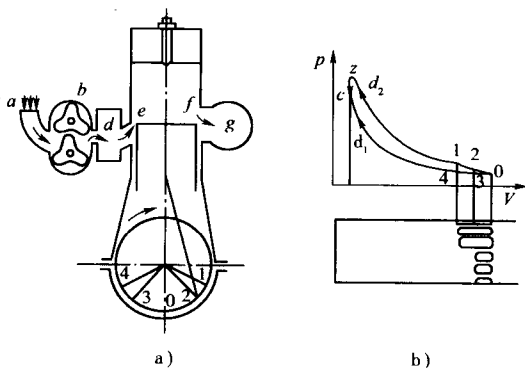


图1-3 二冲程柴油机工作原理



式。机带扫气泵 b 设在柴油机一侧,空气由泵的吸入口 a 吸入,经压缩后储存在具有较大容积的扫气箱 d 中并保持一定压力(0.11~0.14MPa)。在柴油机膨胀行程中,柴油机活塞下行,先将排气口 f 打开(曲柄点 1 位置)。缸内废气经排气口排入排气管 g 。当气缸内压力降至接近扫气压力时,活塞下行把扫气口 e 打开(曲柄位于点 2 位置),扫气空气由扫气箱 d 经扫气口 e 进入气缸同时清扫废气出气缸,于是进气与排气同时进行,一直到下止点(点 0)并转而上行把扫气口关闭(点 3)扫气结束,活塞继续上行把排气口关闭(点 4)。至此,换气过程全部完成(进、排气结束),而开始进行压缩、燃烧和膨胀过程。这两个过程进行情况同四冲程柴油机基本相同。

图 1-3b)为二冲程柴油机的 $p-V$ 示功图。其尾部 1—2—0—3—4 即为它的排气、进气过程(称换气过程)。尾部形状明显不同于四冲程柴油机,是在膨胀行程末和压缩行程初这一较短时间内完成的。在上止点前 d_1 开始喷油,在上止点 c 开始燃烧,到点 d_2 时燃烧结束。

三、二冲程增压柴油机的工作原理

在柴油机中我们把用增加进气压力来提高气缸功率的方法称为柴油机增压。为此必须装设一个压气泵,如果压气泵是由柴油机带动的,则进气压力的提高会使柴油机消耗于压气泵的功率增大。这种方式称为机械增压,用这种机械增压的增压压力一般不超过 0.17MPa。

实现柴油机增压的最好方法是采用由柴油机排气驱动的废气涡轮增压器,这种增压方式称为废气涡轮增压。它既能提高柴油机功率,同时又可提高柴油机的经济性,这是目前应用广泛的一种增压方式。

废气涡轮与同轴安装的压气机合称为废气涡轮增压器。如图 1-4 所示为一种具有废气涡轮增压的二冲程柴油机工作原理图。

它的新鲜空气通过气缸下部的进气口 a 进入气缸,而废气则通过气缸盖上的排气阀 b 排出气缸。在进、排气管道上分别安装了离心式压气机 e 和废气涡轮机 d 。废气涡轮从废气中获得能量而带动压气机高速旋转。新鲜空气经压气机压缩后压力和温度升高,然后由管 g 经冷却器 k 冷却后进入进气管 h 和扫气箱 i 准备进入气缸。

气缸内工作循环的各主要过程——压缩、燃烧和膨胀的进行情况与非增压柴油机一样,只是由于采取了增压,使各过程的压力和温度有所增高。至于换气过程,则与非增压的二冲程柴油机相似。

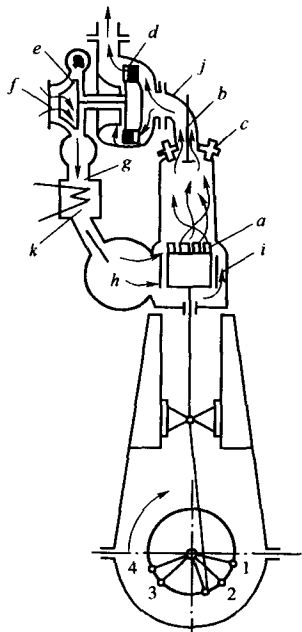


图 1-4 废气涡轮增压二冲程柴油机工作原理图

第三节 柴油机的主要部件

柴油机的主要部件包括燃烧室部件、曲柄连杆机构、机座机架及贯穿螺栓等部件。这些部件的好坏不但直接影响柴油机的技术性能指标,而且还对船舶安全航行起着重要作用。