



高等职业教育规划教材

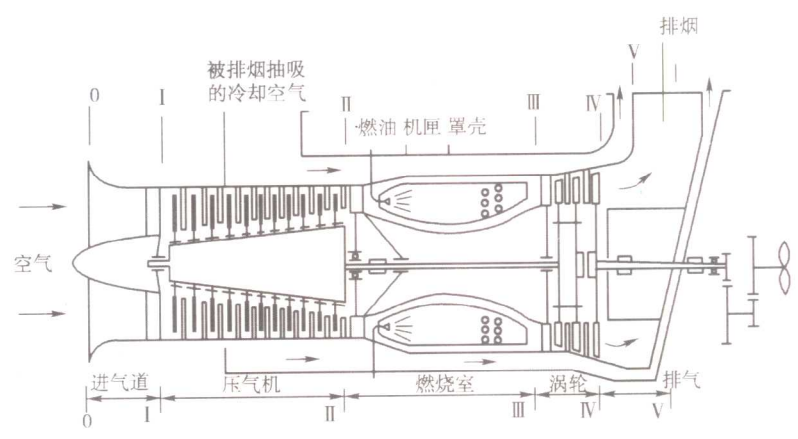
交通职业教育教学指导委员会推荐教材  
高等职业院校船舶技术类专业教学用书

# 船舶动力装置

轮机工程技术（船舶动力机械与装置方向）专业

● 刘兴永 主编 ● 张心宇 主审

Chuanbo  
Dongli  
Zhuangzhi



人民交通出版社  
China Communications Press



高等职业教育规划教材

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

# 船舶动力装置

轮机工程技术（船舶动力机械与装置方向）专业

● 刘兴永 主编 ● 张心宇 主审

人民交通出版社

## 内 容 提 要

本书是高等职业教育船舶技术类轮机工程技术(船舶动力机械与装置方向)专业交通职业教育教学指导委员会规划教材之一,按照《船舶动力装置》教学大纲的要求而编写的。

本书共分六章,主要内容包括:绪论;船舶轴系布置及设计;推进装置的设备;船舶管路系统;推进装置的特性与配合;船舶动力装置设计等方面的知识。

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。

### 图书在版编目(CIP)数据

船舶动力装置/刘兴永主编. —北京:人民交通出版社, 2006.8  
ISBN 7-114-05992-2

I. 船... II 刘... III. 船舶机械-动力装置-高等学校: 技术学校-教材 IV. U664.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第038395号

书 名: 船舶动力装置  
著 者: 刘兴永  
责任编辑: 贾秀珍  
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: 人民交通出版社交实书店  
印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司  
开 本: 787×1092 1/16  
印 张: 11.5  
插 页: 3  
字 数: 283 千  
版 次: 2006年7月第1版  
印 次: 2006年7月第1次印刷  
书 号: ISBN 7-114-05992-2  
印 数: 0001—2000 册  
定 价: 22.00 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。

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。

《船舶动力装置》是高等职业教育船舶技术类轮机工程技术（船舶动力机械与装置方向）专业交通职业教育教学指导委员会规划教材之一，按照《船舶动力装置》教学大纲的要求，考虑到海洋船舶和内河动力装置的特点，系统介绍了船舶动力装置的组成、类型、基本特性指标、推进形式、船舶轴系、传动设备、船舶管路系统，船、机、桨工况配合特性、船舶动力装置设计等内容，以使读者全面了解船舶动力装置的基本原理。

参加本书编写工作的有：主编渤海船舶职业学院刘兴永（编写第一、二、四、六章），参编江苏省无锡交通高等职业学校钱洪新（编写第三、五章）。

本书由武汉交通职业学院张心宇担任主审，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

二〇〇六年三月



<b>第一章 绪论</b> .....	1
第一节 船舶动力装置的含义及组成.....	1
第二节 船舶性能及其对动力装置的要求.....	2
第三节 船舶动力装置的类型及特点.....	5
第四节 船舶动力装置的基本特性指标 .....	11
思考与练习 .....	17
<b>第二章 船舶轴系布置及设计</b> .....	18
第一节 推进装置型式及其特点 .....	18
第二节 船舶轴系的任务、组成及设计要求.....	23
第三节 船舶轴系的布置设计 .....	24
第四节 传动轴的计算及强度校核 .....	34
第五节 传动轴的结构设计 .....	40
第六节 传动轴承及尾轴管装置 .....	48
第七节 船舶轴系附件 .....	68
第八节 轴系材料 .....	75
思考与练习 .....	78
<b>第三章 推进装置的设备</b> .....	79
第一节 船用齿轮箱 .....	79
第二节 船用摩擦离合器 .....	84
第三节 船用液力耦合器 .....	89
第四节 船用联轴器 .....	93
第五节 可调螺距螺旋桨装置 .....	99
思考与练习.....	104
<b>第四章 船舶管路系统</b> .....	105
第一节 概述.....	105
第二节 燃油管系.....	106
第三节 滑油管系.....	108
第四节 压缩空气管系.....	112
第五节 冷却管系.....	113
第六节 舱底水管系.....	119
第七节 压载水管系.....	121

第八节 消防水管系·····	124
第九节 生活用水管系·····	128
第十节 机舱通风管系与船舶舱室空气调节管系·····	130
第十一节 油船专用管系·····	136
思考与练习·····	142
<b>第五章 推进装置的特性与配合·····</b>	<b>143</b>
第一节 概述·····	143
第二节 船、机、桨的基本特性·····	145
第三节 船、机、桨的能量转换及其配合性质·····	151
第四节 典型推进装置的特性与配合·····	155
第五节 船、机、桨在变工况时的配合·····	161
思考与练习·····	164
<b>第六章 船舶动力装置的设计·····</b>	<b>165</b>
第一节 船舶动力装置设计的特点和主要要求·····	165
第二节 船舶动力装置设计的阶段划分和主要内容·····	166
第三节 机舱布置原则与规划·····	167
思考与练习·····	176
<b>参考文献·····</b>	<b>177</b>



# 第一章 绪 论

## ● 学习目标

### 知识目标

1. 正确叙述和理解船舶动力装置的含义、任务及组成；
2. 正确理解和掌握船舶动力装置的类型、特点及基本原理；
3. 正确理解和掌握船舶动力装置的基本特性指标。

### 能力目标

1. 会根据不同船舶的用途选择船舶动力装置的类型；
2. 会简单计算船舶动力装置的技术指标、经济指标。

## 第一节 船舶动力装置的含义及组成

### 一、船舶动力装置的含义

船舶历史悠久,最早一般利用风力、人力使船舶运动,直到18世纪逐渐发展使用热力机械作为船舶推进的动力,驱动一个带有桨叶的转轮,人们把推进船舶航行的一整套的设备称之为“轮机”。随着科技的发展,为了更好的适应船舶各种作业的需要,增加了诸如甲板机械、船舶电站、空调装置等。发展到现在,船舶动力装置的内涵、类型、结构更加丰富多样。船舶动力装置的主要任务是为船舶提供各种能量,保证船舶正常航行、作业、人员生活的安全等。为此,船舶动力装置是各种能量产生、传递、消耗的全部机械设备及系统的有机组合体,它是船舶的重要组成部分。

### 二、船舶动力装置的组成

根据船舶动力装置中各种机械、设备、系统的作用不同,船舶动力装置可分为以下几个部分。

#### 1. 推进装置

推进装置是提供船舶正常航行所需推动力的一整套设备,其中包括:

(1) 主机:主机是指推进船舶航行的动力机,是动力装置的最主要部分,如柴油机、蒸汽轮机、燃气轮机等。

(2) 船舶轴系:它用来将主机的功率传递给推进器,它包括传动轴、轴承和密封件等。

(3) 传动设备:传动设备是将主机动力传递接通或断开给推进器的中间部件,主要包括起接合或断开作用的离合器、减速箱和联轴器等。

(4) 推进器:它是能量转换的设备,是将主机发出的能量转换成船舶推力的设备,如螺旋桨和喷水推进器等,大部分船舶使用螺旋桨。

#### 2. 辅助装置

辅助装置是指提供船舶除推进装置以外的其他所需能量的设备,以保证船舶航行和生活





需要,其中包括:

(1) 船舶电站:其作用是供应全船所需的电能,主要由发电机组、配电板及其他电气设备组成。

(2) 辅助锅炉装置:用它产生蒸汽以满足加热、取暖以及其他生活需要,包括辅助锅炉、给水、鼓风、冷凝、换热等设备及管路。

### 3. 船舶管路系统

船舶管路系统是指用来连接各种机械设备,并输送有关工质的成套设备,由各种阀件、管路、泵、滤器、热交换器、仪表等组成。按用途不同管路系统分为:

(1) 动力管路系统:主要用来为主机和辅机服务的管路系统,它包括燃油、润滑、冷却、压缩空气、排气及废气利用等系统。

(2) 船舶管路系统:主要用来为船舶的平衡性、稳性、人员生活及安全服务的管路系统。包括舱底水、压载水、生活水、消防水、通风、空调、冷藏等系统。

### 4. 船舶甲板机械

船舶甲板机械是指为保证船舶航向、停泊及装卸货物所需要的机械设备,包括:

(1) 锚泊机械设备:由锚机、锚链、止链器、锚链筒、锚等组成。

(2) 操舵机械设备:由舵、舵机、转舵机构、操纵机构等组成。

(3) 起重机械设备:由起货机、吊艇机及吊杆等设备组成。

### 5. 机舱自动化设备

机舱自动化设备包括对动力装置的远程、集中和自动控制的各种系统。主要由遥控、自动调节、监视、安全和报警等设备组成。

船舶动力装置的组成情况基本如上所述。在上述5个组成部分中,推进装置是一个重要组成部分,它影响整个船舶动力装置的性能,其工作的好坏,直接涉及船舶的正常航行和安全。所以在设计及建造工作中都要特别注意,这样才能保证船舶动力装置正常工作。

## 第二节 船舶性能及其对动力装置的要求

船舶对动力装置的要求主要取决于船舶的类型及其性能。对民用船舶而言,其类型有:散装货船、集装箱船、油轮、客轮、客货两用船、渔船及各种专门用途船舶,如游轮、渡轮、拖轮、破冰船、挖泥船、科学考察船等;军用舰艇则有航空母舰、驱逐舰、护卫舰、潜艇、鱼雷快艇、后勤补给舰等。船舶作为水上运载工具,在使用性能上主要有技术性能和经济性能两个方面。对民用船舶来讲着重于经济性,而对于军用舰艇则侧重于战术技术性能。不同类型的船舶其性能指标有所区别,着重点不同,但主要性能指标要求是一致的。

### 1. 排水量( $\Delta$ )

船舶排水量等于船舶总重量,由空船重量( $LW$ )和载重量( $DW$ )组成。

空船重量指船体及其全部机电设备的总重量,这可以认为是不变的重量。载重量则包括运载的物资、各种储备、消耗物资(油料、食物等)重量,旅客、船员及备品的重量。不同类型的船舶其空载重量和载重量的比例是不同的。

军用战斗舰艇的空船重量所占比例要大的多,民用客船的空船重量比例也比货船大。对





民用船舶,最常用的是轻载排水量和满载排水量。轻载排水量是指包括船员和行李及所有船上供应品,但未装载货物和各种消耗物资储备;满载排水量是指满载货物、燃料及船上的其他物资储备。对于军用舰船根据消耗物资储备的数量多少可分为以下排水量:

(1) 轻载排水量——空船重量下的排水量。

(2) 标准排水量——全部船员及其所需的粮食、淡水和其他必需品的储备总重量,但不包括燃料、滑油和锅炉给水设备等的重量。

(3) 正常排水量——标准排水量加上满载排水量时各种消耗物资的一半。

(4) 满载排水量——标准排水量加上保证给定续航力所需的燃料、滑油和锅炉给水设备。

(5) 最大排水量——所有消耗储备物资在船上装载达到可能最大数量时的排水量。

## 2. 容积

水面航行船舶水下部分的体积也称容积排水量,容积排水量与水密度的乘积,即为重量排水量。在民用船舶中,由于排水量和载重量还不能表明船的大小,国际上一般使用登记吨位作为度量单位( $1$  登记吨位  $= 2.83\text{m}^3$ ),其中只计装载货物、人员和储备消耗品的舱室容积。

## 3. 航速( $V$ )

船舶航行时的速度大小,单位为节。每小时航行1海里为1kn(n mile/h)(1海里  $= 1.852\text{km}$ ),航速是决定军舰战斗力的主要战术性能,也是民用船舶对经济效益有影响的技术指标。

(1) 民用船舶分为最大航速、经济航速和最低航速。

(2) 军用船舶分为全速、经济航速、最低航速及倒车航速。

①全速——主机长时间用额定转速工作时达到的航速。对于快艇还有“最高航速”,此时主机超负荷工作发出最大功率。主机由于超负荷连续工作不得超过一小时,这种航速一般用于战斗追击和撤离战区。

②经济航速——此时船舶航速每海里的燃料消耗量为最小,一般用于巡航。

③最低航速——主机以极限低转速稳定工作时的航速。此工况用于靠近码头,或在烟雾、风暴中航行。

④倒车航速——停靠码头,海上机动时使用倒车航速,相当于正车全速的30%~40%,可利用主机本身逆转,或可反转离合器或可调距螺旋桨实现。

(3) 潜艇在战争期间,主要是在水下航行,因此水下航速是重要的战术性能。

①水下全速——它取决于水下推进器电机的功率和艇体阻力。单桨推进的核动力潜艇航速可达30kn,而常规动力潜艇由于受蓄电池容量的限制,一般只有13~15kn。

②水下低速——主推进电机在极限低转速下工作。

③水下经济航速——在这种航速下,推进电动机每海里航程消耗电池组的电能为最少,在低转速下航行艇体阻力小,螺旋桨在低转速下工作效率高,蓄电池小电流放电损耗小,为此可增长放电时间。

## 4. 机电设备安全可靠

动力装置是船舶的“心脏”,是船舶动力的来源。如果船舶机电设备发生故障,那么船舶就会失去活动能力和作业能力,严重影响船员、旅客的工作、生活以及船舶的安全,并将造成严重的经济损失。为此,动力装置的安全可靠性是极为重要的。对推进装置而言,要求能长期安全地运行;有些重要设备如发电机组等,除正常工作运转以外,还需配置备用机组;对船用机



电设备,必须符合有关安全规定,必须经过严格的质量检查。

#### 5. 提高船舶装置的经济性

民用运输船舶的经济性,就是运量越多,能源消耗越少,其经济效益越好。因此要求动力装置从设计、建造和使用管理等方面入手来提高经济效益,具体有以下几个方面。

(1)降低燃料消耗:动力装置的燃料费用,一般约占船舶总营运开支的30%~40%,故降低燃料消耗对提高经济效益意义重大。为此,在动力装置方面采用热效率较高的发动机和高效率的推进装置,可降低耗油率。油耗降低不但在节省燃料开支方面带来好处,而且在相同的航程中,可以减少所携带的燃料重量,以及燃料所占的空间,从而增加载货吨位,提高船舶运营能力,降低运营成本。

(2)采用低质廉价燃料:重柴油比轻柴油价格便宜,因此,在保证发动机正常运转的情况下,尽量采用重柴油或燃料油代替轻柴油。以往低质燃料油在大型低速机上应用。随着科技的发展,中速机也已使用低质燃料油,有些高速机也开始使用重柴油,这对降低船舶营运成本,提高效益是大有好处的。

(3)废热利用:燃料在柴油机中燃烧所产生的热量一部分转变成有用的机械功,另一部分由冷却介质带走和经机体表面散发到大气中,还有一部分被排出的废气带走。这三者约占燃料总热量的1/3。为了提高动力装置的效率,降低燃料的消耗,设法从排出的废气及冷却水中回收部分热量。如将排出的废气送到锅炉中,使水加热成蒸汽,又将蒸汽引入汽轮发电机中发电;大型船舶利用废气驱动废气涡轮达到给柴油机增压的目的;也有些中小型船舶利用废气的热量加热废气锅炉中的水,再用水产生的蒸汽加热燃油、滑油及供生活之需要;有的海船利用排出的冷却水热量淡化海水,为船舶提供生活淡水。

总之,利用废热是提高动力装置热效率的重要途径。

#### 6. 具有一定续航力

“续航力”是指船舶不需要到港口或基地去补充任何物质(如燃油、滑油、淡水及备件等)所能航行的最长时间或最大距离。经济航速下的续航力,民用船舶称为最大航程。续航力与动力装置的经济性、每海里航程燃料消耗及其他物资储备有关。为此在动力装置的设计过程中必须满足船舶续航力的要求。

#### 7. 良好的操纵性

所谓良好的操纵性就是要求动力装置启动迅速,主机在较短的时间内由启动工况达到全速工况,并能保持稳定运转,同时使船舶具有迅速改变航速和航向的能力,另外要求动力装置有足够的倒车功率,使船舶倒航迅速,向前滑行的距离短且回转半径小。这些性能对内河及港口作业船舶尤为重要。

#### 8. 耐波性

船舶在风浪等恶劣天气条件下完成任务的性能。一般来说水面舰船应在横摇 $45^\circ$ 、横倾 $15^\circ$ 、纵摇 $10^\circ$ 、纵倾 $5^\circ$ 情况下正常航行,民用船舶在横摇 $15^\circ$ 、横倾 $22.5^\circ$ 、纵摇 $5^\circ$ 、纵倾 $7.5^\circ$ 情况下,主辅机以及船舶安全有关的设备能正常的运转。

#### 9. 主、辅机选型合理

主、辅机的技术、经济、性能指标既要有一定的先进性,又必须从现实条件出发,主辅机之间配套应合理,避免出现供大于求或供不应求的现象。



#### 10. 其他方面的要求

- (1) 在不同工况下,机桨配合要得当。
- (2) 具有相适应的主机遥控和机舱自动化设备。
- (3) 船舶的建造成本要低。
- (4) 重量轻、尺寸小、机舱面积饱和度和容积饱和度合理。
- (5) 检测、维修、管理方便。
- (6) 所选用的各种机械设备及有关计算应满足船舶建造规范的要求。

### 第三节 船舶动力装置的类型及特点

船舶动力装置中的主机和辅机可以具有不同的型式,但主机的功率要比辅机的功率大的多,因此船舶动力装置的类型一般是以主机的结构型式来命名的。随着船舶向大型化、快速化、专业化和高度自动化方向发展,要求动力装置具有能耗低、单机功率大、寿命长、可靠性好,同时具备较高推进效率的特点。因此,出现了各种各样的动力装置型式以满足各类船舶发展的需要。民用远洋运输船舶多采用大型低速柴油机,内河船舶则采用中、高速柴油机,军用中小型舰艇多采用中、高速柴油机,大型船舶采用燃气轮机、蒸汽轮机、联合动力装置或核动力,至于特殊用途的船舶可采用特殊动力装置,下面介绍几种典型的船舶动力装置。

#### 一、柴油机动力装置

柴油机动力装置由于其具有比较优良的性能,而广泛应用于货船、客船、渔船、油轮、工程船舶以及军工舰船上。目前我国柴油机船的船舶总数、吨位和主机总功率约占90%以上。

##### 1. 柴油机动力装置具有的优点

(1) 有较高的经济性:耗油率比蒸汽、燃气轮机低的多。高速柴油机耗油率为 $200 \sim 250\text{g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ ,中速机耗油率为 $150 \sim 220\text{g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ ,低速机耗油率为 $160 \sim 180\text{g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 。某些中、低速柴油机可采用重油,耗油率稍高些,但燃油价格低,故经济性好。而蒸汽轮机装置耗油率为 $180 \sim 350\text{g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ ,燃气轮机耗油率为 $250 \sim 400\text{g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 。

(2) 重量轻:由于柴油机耗油率低,所以在一定的燃油储量下,船舶续航力可提高,或是在一定的续航力下可减少燃油储备量,增大其他物品的承载量。柴油机装置中除主机和传动机组外,不需要主锅炉或燃烧室、工质输送管道,所以辅助机械设备少、布置简单,故单位重量指标数值较小。

(3) 具有良好的机动性:操作简单,启动方便,正倒车迅速。一般启动前准备时间不超过 $1 \sim 2\text{min}$ ,正常启动到全负荷运行只需要 $10 \sim 30\text{min}$ ,紧急时只需要 $3 \sim 10\text{min}$ ,虽然比燃气轮机差些,但不需要燃气轮机那样的启动和倒车设备。柴油机停车只需要 $2 \sim 5\text{min}$ ,主机本身停机只需几秒钟即可。

##### 2. 柴油机装置具有的缺点

(1) 单机功率低:柴油机单机功率与气缸数、气缸工作容积、平均有效压力及转数成正比,现代柴油机的平均有效压力一般为 $1.0 \sim 2.5\text{MPa}$ 。柴油机重量、尺寸随功率增长很快,其单位功率的重量:高速机为 $1.4 \sim 3.7\text{kg}/\text{kW}$ ,中速机为 $10 \sim 19\text{kg}/\text{kW}$ ,低速机为 $20 \sim 35\text{kg}/\text{kW}$ 。所以柴油机的单机功率受到限制,低速机仅为 $4 \times 10^4\text{kW}$ ,中速机为 $2 \times 10^4\text{kW}$ 左右,高速机在



$8 \times 10^3 \text{ kW}$  以下,这就限制了柴油机在大功率船舶上的应用。

(2) 柴油机工作中振动噪声大:由于柴油机工作循环的周期性和主要运动部件的往复运动,故振动噪声大,应采取减振降噪措施,以满足船舶规范要求。

(3) 大修期限较短:中高速柴油机运动部件磨损较严重,因此大修期限短,一般中速柴油机为  $2 \times 10^4 \sim 5 \times 10^4 \text{ h}$ ,高速柴油机为  $10^4 \sim 2 \times 10^4 \text{ h}$ ,船用轻型高速强载柴油机大修期为  $2 \times 10^3 \sim 5 \times 10^3 \text{ h}$ 。

(4) 柴油机在低转速区工作时稳定性差:一般最低工作稳定转速为额定转速的 30% ~ 40%,在这样的转速下柴油机各缸喷油均匀性恶化。因此,低转速时波动大,影响船舶的低速航行性能。另外,柴油机超负荷 10% 时的运行时间为一小时,过载能力较差。

(5) 滑油耗率较高:由于部分润滑油在气缸中烧掉,滑油蒸气从曲轴箱中排出,故滑油耗率较高。一般为  $0.5 \sim 4 \text{ g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 。

## 二、汽轮机动力装置

汽轮机动力装置由锅炉、汽轮机、冷凝器、轴系、管系及其他有关机械设备组成。在这种装置中燃料的燃烧是在发动机的外部进行燃烧,即是在锅炉中进行的,为此汽轮机也是外燃机的一种类型。

### 1. 汽轮机动力装置的基本工作原理

如图 1-1 所示。

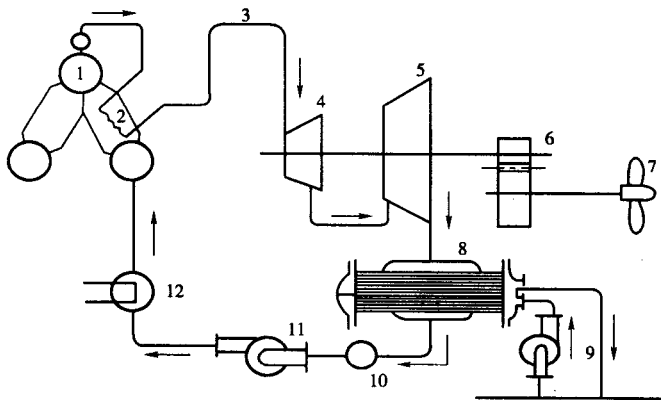


图 1-1 汽轮机动力装置原理图

1-锅炉;2-过热器;3-主蒸汽管路;4-高压汽轮机;5-低压汽轮机;6-减速齿轮;7-螺旋桨;8-冷凝器;9-冷却水循环泵;10-凝水泵;11-给水泵;12-给水预热器

燃料在锅炉 1 的炉膛内燃烧,放出热量,水在水管中吸热汽化成饱和蒸汽;饱和蒸汽在蒸汽过热器 2 中吸热成过热蒸汽;过热蒸汽进入高压汽轮机 4 和低压汽轮机 5 膨胀做功;使汽轮机叶轮旋转,再通过减速齿轮 6 带动螺旋桨 7 工作。作过功的乏汽在冷凝器 8 中将热量传递给冷却水,同时本身凝结成水,然后由凝水泵 10 抽出,并经给水泵 11 通过给水预热器 12 打入锅炉 1 的水鼓中,从而形成一个工作循环。冷凝器 8 中的冷却水用循环泵 9 由舷外打入,吸热后又排至舷外。

在大功率船舶动力装置中,汽轮机占有一定的优势,据统计,功率小于  $2 \times 10^4 \text{ kW}$  的船舶,多采用柴油机动力装置,而大于  $2 \times 10^4 \text{ kW}$  的多采用汽轮机。

### 2. 汽轮机动力装置的主要优点

(1) 汽轮机的转子在高温、高压、高速流动的蒸汽作用下连续工作,转速较高(船舶推进主



机一般为  $3 \times 10^3 \sim 7 \times 10^3 \text{ r/min}$ , 汽轮发电机大多  $\geq 3 \times 10^3 \text{ r/min}$ , 而且可采用高压、低压几级汽轮机, 因此, 单机功率很大。现代单机汽轮机单机功率可达  $1.2 \times 10^3 \text{ MW}$ , 因此, 主机本身的单位重量尺寸指标优越。

(2) 汽轮机叶轮转速稳定, 没有周期性作用力, 因此, 汽轮机组振动噪声小。

(3) 汽轮机工作时只是转子轴承处有摩擦阻力, 故磨损部件少, 工作可靠性高, 使用期限可高达  $10^5 \text{ h}$  以上。

(4) 可使用劣质燃油, 滑油消耗率低, 仅为  $0.1 \sim 0.5 \text{ g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ , 柴油机滑油消耗率为  $3 \sim 10 \text{ g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 。

(5) 汽轮机主机结构简单、紧凑, 使用管理方便, 保养维修工作量小。

### 3. 汽轮机动力装置的缺点

(1) 汽轮机动力装置由于装备锅炉、冷凝器以及辅机和设备, 故整个动力装置比较复杂, 装置重量尺寸大。装置单位重量为  $24 \sim 26 \text{ kg/kW}$ , 占去了船舶许多营运排水量。

(2) 燃油消耗量大, 装置效率低。额定经济性仅为低速柴油机装置的  $1/1.5 \sim 1/2$ , 部分工况下仅为  $1/2.5 \sim 1/3$ 。在相同燃料储备下续航力低。

(3) 机动性差。由于起动前要加热滑油冷凝器, 主机暖机蒸汽参数达到规定值才能起动, 故起动前准备时间大约为  $30 \sim 35 \text{ min}$ , 缩短暖机过程后也需要  $15 \sim 20 \text{ min}$ 。为了舰艇作战时能立即起锚航行, 就以暖机状态停泊, 从而增加了燃料消耗。另外从一种工况变换到另一种工况的过渡时间也较柴油机长  $2 \sim 3$  倍。

## 三、燃气轮机动力装置

燃气轮机是近几十年发展起来的一种新型发动机装置。它的工作原理与汽轮机大致相似, 只是在做功介质方面有所不同。汽轮机中使用的燃料在锅炉内燃烧, 使锅炉中的水加热产生蒸汽, 推动叶轮做功, 而燃气轮机则利用燃料在燃烧室内燃烧, 所产生的燃气推动叶轮做功。

### 1. 燃气轮机装置的工作原理

如图 1-2 所示, 船舶燃气轮机由三部分组成。

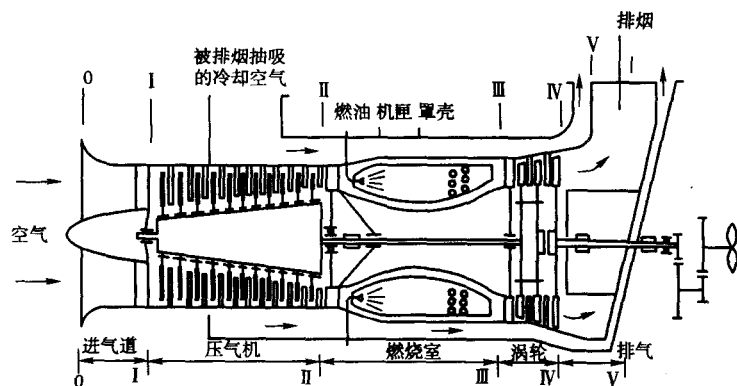


图 1-2 燃气轮机动力装置原理图

(1) 压气机: 用来压缩进入燃烧室的空气。

(2) 燃烧室: 燃料在其中燃烧成燃气。



(3)燃气轮机:是将燃气的热能转变成推动轴系和螺旋桨的机械功。

如图所示,在运转过程中燃气轮机的压气机由大气中吸取一定量的空气,并将其压缩到某一压力后再供给燃烧室的火焰管以及火焰管与外壳之间的环形通道。流向燃烧室火焰管的那部分空气是供给燃烧室作油气混合并燃烧用的,仅占空气流量的25%,而流向环形通道的那部分空气,则用作冷却燃烧室和掺混高温燃气。燃油和空气混合,燃烧后产生的炽热气体,其温度高达 $1\ 800\sim 2\ 000^{\circ}\text{C}$ 。这种高温燃气必然要对燃烧室进行强烈的辐射热交换和对流热交换,如果燃烧室的内衬(火焰管)不进行冷却,就极易烧坏。所以保证在环形通道中间有一定量空气流过是很必要的。另外,燃烧室的高温燃气如果直接流入燃气涡轮中,涡轮的材料也难承受,所以也需要大量的冷却空气来和这种高温燃气掺混,将燃气温度降低到燃气涡轮材料所允许的最高持续温度。燃气经掺混达到特定温度后,就流向燃气涡轮并在其中膨胀作功,然后排入大气。燃气轮机组件分为高压涡轮和低压涡轮两部分,高压涡轮通过联轴器驱动压气机进行空气压缩而低压涡轮通过中间轴和挠性联轴器驱动螺旋桨。一般来讲,将压气机、燃烧室和驱动压气机的高压涡轮看作为一个整体,称为燃气发生器,而将驱动螺旋桨的低压涡轮称作动力涡轮。

燃气轮机动力装置能够较好地满足近代舰艇对动力装置提出的高速、高机动性和极低的单位重量指标的战术技术要求,故在军用舰艇上较常应用。

#### 2. 燃气轮机动力装置的优点

(1)单位功率的重量尺寸较小:加速用燃气轮机装置的单位重量可达 $0.65\sim 1.3\text{kg}/\text{kW}$ ,全工况用燃气轮机装置为 $2\sim 4\text{kg}/\text{kW}$ 。机组功率也较大,复杂线路的燃气轮机装置(有中间冷却、中间加热和回热设施)机组功率可达 $6\times 10^4\text{kW}$ 。

(2)良好的机动性:从冷态启动到全负荷启动时间一般为 $2\sim 3\text{min}$ ,大功率复杂线路的燃气轮机动力装置也只需 $3\sim 5\text{min}$ 。

(3)燃料消耗率不及柴油机:一般达到 $200\sim 390\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ ,低负荷时经济性的恶化比汽轮机影响为小。

#### 3. 燃气轮机动力装置的缺点

(1)主机本身不能自行反转,可反转的机组结构复杂,一般设置专用倒车设备。燃气轮机进出口附近噪声大,须采取消声措施。

(2)由于燃气的高温,叶片使用的合金钢价格昂贵,工作可靠性差、寿命短,燃气初温在 $1\ 200^{\circ}\text{C}$ 以上的燃气轮机,寿命为 $8\ 000\text{h}$ 。

(3)燃气轮机的耗油率高,为 $200\sim 300\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ ,达到高速柴油机耗油率的水平。

(4)由于燃气轮机工作时空气流量大,一般为 $16\sim 23\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ ,柴油机为 $5\text{kg}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ ,汽轮机为 $6\text{kg}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ ,因此进排气管道尺寸较大,给机舱布置带来困难,甲板上较大的管道通过切口,影响了船体的强度。

### 四、联合动力装置

上述三种动力装置,在最大功率、尺寸重量、装置经济性和操纵运转机动性等方面都有优缺点,对于应用民用船舶来说主要考虑经济性,其他的问题可采用某些措施加以调整解决。对于军用舰艇以提高战斗力为目标,尽可能的提高航速和机动性,增大功率的同时还要减少装置



所占的排水量以提高续航力,舰艇全工况要求动力装置发生最大功率,但全速工况占舰艇航行时间的2%左右,舰艇大部分时间是巡航工况,要求经济性高以提高续航力。为解决全速大功率与巡航经济性的矛盾可采用联合动力装置。目前有三种联合动力装置:汽轮机+加速燃气轮机,柴油机+加速燃气轮机,燃气轮机+加速燃气轮机。

### 1. 三种联合动力装置的特点

(1) 汽轮机+加速燃气轮机装置。此种装置由于汽轮机组的一系列优点与燃气轮机联合后能适用于功率较大的轻型舰艇,蒸汽装置保证80%全速以下航行所需的功率,以使经济、重量、尺寸指标最为有利。

(2) 柴油机+加速燃气轮机装置。这种装置中,柴油机作巡航机用,与燃气轮机两者都通过离合器与主减速器相连,采用倒顺离合器或调距桨实现倒车。这种装置常用于小型舰艇。

(3) 全工况燃气轮机+加速燃气轮机。这类装置中巡航燃气轮机装置可采用复式线路(带中间冷却及回路)工作的开式燃气轮机或闭式循环工作的燃气轮机,前者具有汽轮机+燃气轮机联合装置的大部分优点,燃料消耗及重量尺寸可减小,后者在巡航时保证较高的热效率,部分负荷性能良好。

### 2. 联合装置的优点

(1) 在保证足够大的功率情况下,动力装置重量、尺寸小。

(2) 操纵方便,备车迅速,紧急情况下可用燃气轮机立即开车。

(3) 自巡航到全速工况加速时间短。

(4) 两机组共用一个减速齿轮箱,具有多机组并车的可靠性。

### 3. 联合动力装置的缺点

(1) 必须配置适用不同机种的燃料及相应的管路和储存设备,不同类燃料的储存比例会影响舰艇战术性能。

(2) 共同使用一个主减速器,小齿轮数目多,结构复杂。

(3) 在减速器周围布置两种不同类型的机组难度较大。

## 五、核动力装置

核动力装置以原子核的裂变反应所产生的巨大热能,通过工质(蒸汽或燃气)推动汽轮机或燃气轮机工作的一种装置。现有的核动力舰艇几乎全部采用压力水型反应堆。

### 1. 压力水堆核动力装置的基本工作原理

图1-3为压力水堆动力装置原理流程图。

(1) 一回路装置:一回路系统是一组完全相同的、各自独立且相互对称的、平行而并联在反应堆压力壳接管上的密闭环路。每一条环路都是由一台蒸汽发生器,一台反应堆冷却泵,反应堆进出口接管处的各一只冷却剂隔离阀和连接这些设备的主回路冷却剂管道组成。作为反应堆冷却剂的高温高压水,在反应堆冷却剂泵的驱动下,流经反应堆堆芯,吸收了核燃料裂变放出的热能后出堆,流经蒸汽发生器,通过蒸汽发生器的U形传热管壁面,把热量尽可能多地传给U形管外侧二回路系统的蒸汽发生器给水,然后流回反应堆冷却剂泵,再重新被泵送进反应堆。吸收堆芯核燃料持续释放出的热能再出堆,如此循环往复构成了放射性密闭循环回路。为了维持反应堆安全可靠地正常工作,一回路系统还包括有一些必需设置的辅助系统。



为了稳定和限制一回路冷却剂压力波动,设有稳压器的压力安全和压力卸放系统。这个系统通过波动管,冷却剂可以自由地从主回路涌入稳压器,或从稳压器返回主回路中,维持主回路

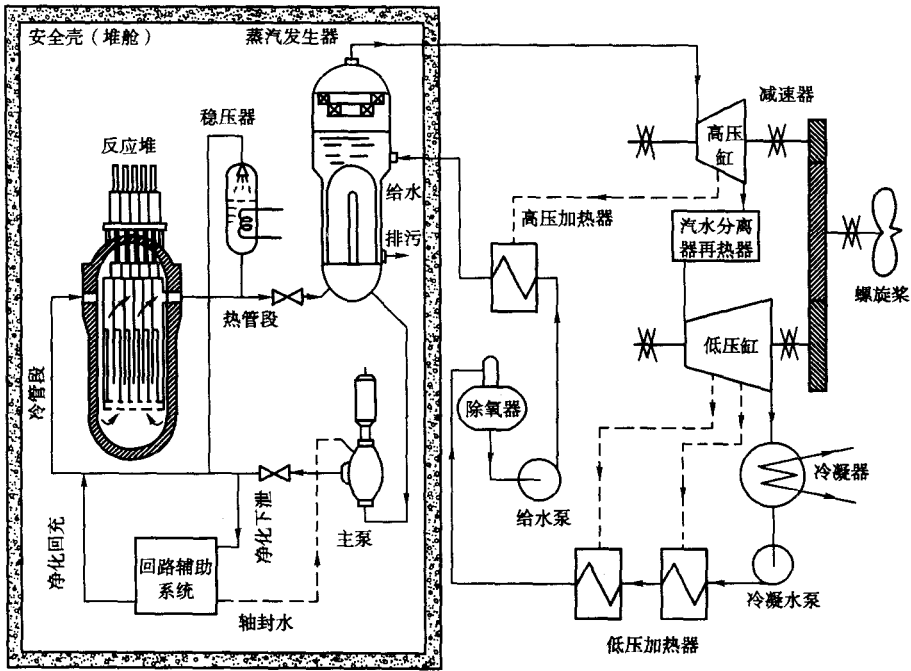


图 1-3 压力水堆核动力装置原理流程图

中的工作压力在一定的水平上,从而保持了一回路系统。此外一回路的辅助系统还包括冷却剂净化系统、危急冷却系统、化学停堆系统、设备冷却水系统、补给水系统、取样分析系统、去污清洗系统、安全注射系统、放射性废物废液废气的处理系统等。

(2)二回路装置:二回路系统是将蒸汽的热能转换成机械能或电能的装置。二回路系统主要由蒸汽发生器、蒸汽轮机、主冷凝器、冷凝水泵、给水加热器、除氧器、循环水泵、中间汽水分离器和相应的阀门、管路等组成。

二回路系统的蒸汽发生器给水,通过蒸汽发生器大量 U 形管的管壁,吸收了一回路高温高压水从反应堆带来的热量,在蒸汽发生器里蒸发形成饱和蒸汽,蒸汽从蒸汽发生器顶部流出,通过主蒸汽管流进蒸汽轮机的主气门和调节气门,然后进入汽轮机高压汽缸,推动叶轮做功,然后通过减速器、齿轮组传递给螺旋桨,使其旋转。自高压缸和出来的蒸汽流经中间汽水分离器,提高干度后的蒸汽再进入汽轮机低压缸,驱动低压汽轮机做功,做功后的乏汽,全部排入低压缸下的主冷凝器,通过循环冷却水的冷却后凝结成水,冷凝水由冷凝水泵驱动进入低压加热器加热再到除氧器加热除氧,然后经给水泵送到高压加热器再加热,提高温度后重新返回蒸汽发生器,作为蒸汽发生器给水,再进行上述循环。

图 1-4 为核动力装置在船舶机舱内的安装示意图。

## 2. 核动力装置的优点

(1)核动力以极少量的核燃料而释放出巨大的能量,这就可以保证船舶以较高的航速航行很远的距离。如轴功率为  $1.1 \times 10^4 \text{ kW}$  的核动力装置,航速可达 25kn,一昼夜仅消耗核燃料





15~18g。

(2)核动力装置在限定舱室空间内所能供给的能量,比其他形式的动力装置要大的多,也就是说核动力装置能发出极大的功率。

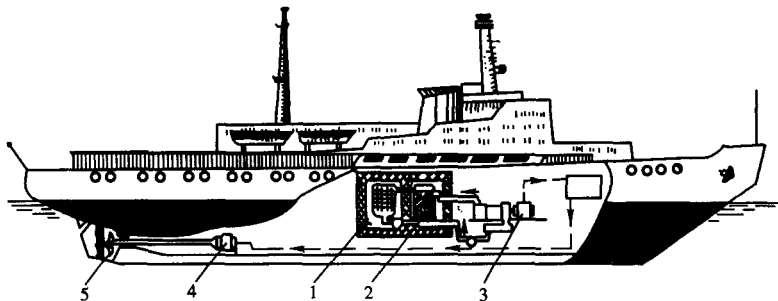


图 1-4 核动力装置示意图

1-原子反应堆;2-热交换器;3-汽轮发电机组;4-推进电动机;5-螺旋桨

(3)核动力装置的另一最大特点是不消耗空气而获得能量,这可使潜艇长期在水下航行,隐蔽性能大大提高。对于水面舰艇,由于不需要进排气装置和管路,船体上无烟囱,进排气口小,因而减小了甲板开口,有利于全船的封闭。对于防止放射性及有毒物质进入舱内是有利的,也可减少对方红外侦察器的发现及红外自导武器的攻击危险性。

### 3. 核动力装置存在的缺点

(1)核动力装置的重量比较大。因为核分裂反应释放出大量的放射性物质,对人体有严重的杀伤作用,且污染环境;另外为避免核动力船舶可能遭遇碰撞、触礁、海浪冲击着火、爆炸等意外灾害时,不至污染海洋,除核反应堆容器加数层围阻屏蔽系统,以阻止放射性物质逃离反应堆外,动力装置应加装屏蔽系统,这些屏蔽系统具有很大的重量、尺寸,使得装置重量显著增加。如 $5 \times 10^4$ t 以上的核动力舰艇单位功率重量可达 $34 \sim 37$ kg/kW,其中屏蔽系统重量占整个动力装置的30%以上。

(2)操纵管理检查系统比较复杂。在防护层内的机械设备必须远距离操作,而且在核动力船舶上还必须配置独立的其他形式的能源,来供反应堆启动时的辅助设备和反应堆停止工作后冷却反应堆的设备所需的能量,这就增加了动力装置的复杂性。另外,在核动力装置的船舶上还必须设置专门的机器和设备,用以装卸核燃料和排除反应堆中载有放射性的排泄物。

(3)核动力装置造价昂贵。反应堆活性区的材料都是价格昂贵的稀有高级合金(钨合金、铍金属、硼钢等),根据统计建造一个舰艇反应堆比建造同样排水量潜艇的柴油机动力装置要高10倍。另一方面,核燃料也昂贵,尤其浓缩铀、浓缩度愈高价格愈贵,如核动力潜艇加满一次核燃料(约用2~2.5年)要比载有一般动力装置的潜艇在同一时间内所需燃料的费用高10倍左右。

目前核动力装置主要用在军用舰艇或破冰船上,在民用船舶上进展不大。

## 第四节 船舶动力装置的基本特性指标

船舶的性能指标与动力装置尤其是主机的性能有很大关系,船舶主要技术性能通常指排