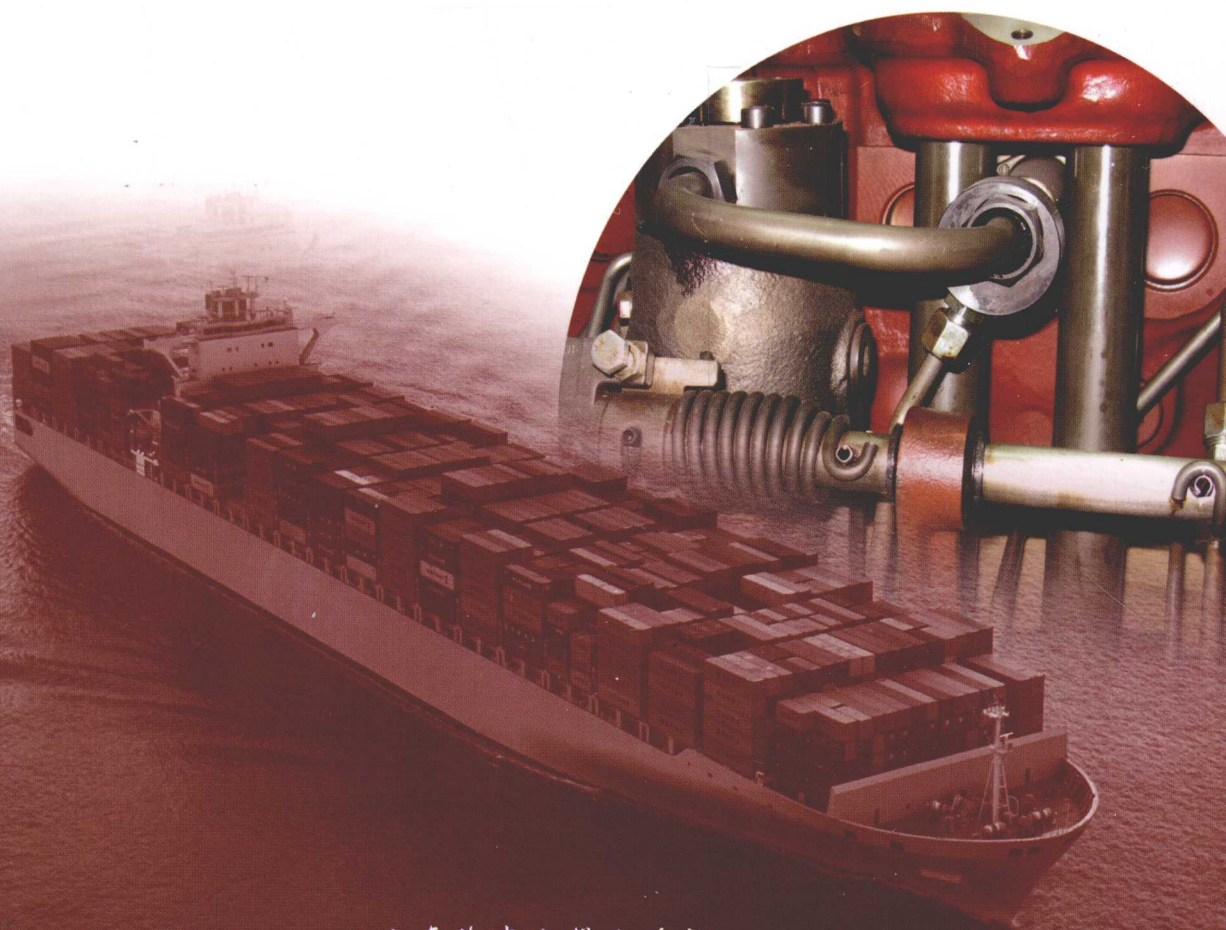


船舶动装设计

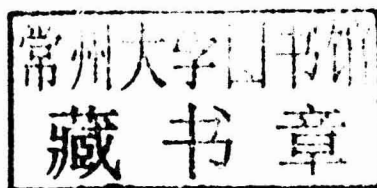
丁晓梅 主编



大连海事大学出版社

船舶动装设计

丁晓梅 主编



大连海事大学出版社

© 丁晓梅 2014

图书在版编目(CIP)数据

船舶动装设计 / 丁晓梅主编. —大连: 大连海事大学出版社, 2014. 4
ISBN 978-7-5632-3005-1

I. ①船… II. ①丁… III. ①船舶机械—动力装置—船舶设计 IV. ①U664.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 078287 号

大连海事大学出版社出版

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

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

大连住友彩色印刷有限公司印装

大连海事大学出版社发行

2014 年 4 月第 1 版

2014 年 4 月第 1 次印刷

幅面尺寸:185 mm × 260 mm

印张:11.75

字数:289 千

印数:1 ~ 1200 册

出版人:徐华东

责任编辑:苏炳魁

责任校对:孙雅荻

封面设计:王 艳

版式设计:解瑶瑶

ISBN 978-7-5632-3005-1

定价:27.00 元

前 言

为了适应高等职业技术教育发展的需要,满足培养高职高专学生成为高技能应用型人才的目标要求,我们编写了《船舶动装设计》教材。

本书在引入必需的基本理论知识的基础上,增加了船舶机舱布置设计方面的实践内容,强调理论在实践中的应用。较全面地介绍了船舶动力装置的基本概念,船舶动力装置设计的基本思路、理论与方法。除作为高职院校船舶工程技术专业、船舶动力装置专业的学生教材使用外,也可作为从事船舶设计、生产及航运系统的有关工程技术人员与管理人员的参考书。

本书共分六章,内容包括:船舶动力装置概论;船舶轴系布置及设计;船舶传动设备;船舶管路系统设计;船舶动力装置设计;机舱布置设计等。

本教材由浙江交通职业技术学院丁晓梅与姚建树共同编写,其中姚建树编写了第二章及第五章的第一节、第二节,其余部分由丁晓梅编写,全书由丁晓梅统稿。浙江交通职业技术学院的黄万能、倪科军老师及杭州现代船舶设计公司的钱琳高级工程师对本书的编写、相关内容和编写形式提出了大量宝贵的意见,天津博迈科海洋工程股份有限公司的张志钢也为教材的编写提供了部分设计资料,在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中内容难免有不妥或错误之处,敬请广大读者批评指正。

编者

2014 年 1 月

目 录

第一章 船舶动力装置概论	1
第一节 船舶动力装置的含义及组成	1
第二节 船舶动力装置的类型及特点	3
第三节 船舶动力装置的基本特性指标	10
思考与练习	16
第二章 船舶轴系布置及设计	17
第一节 推进装置型式及其特点	17
第二节 船舶轴系的任务、组成及设计要求	24
第三节 船舶轴系的布置设计	25
第四节 传动轴的组成、材料及设计	30
第五节 支撑轴承与轴系附件	39
第六节 艏管装置	43
第七节 轴系计算实例	53
思考与练习	55
第三章 船舶传动设备	56
第一节 船舶传动设备的类型及基本任务	56
第二节 船用齿轮箱	57
第三节 船用摩擦离合器	67
第四节 船用液力耦合器	70
第五节 船用联轴器	72
思考与练习	77
第四章 船舶管路系统设计	78
第一节 概述	78
第二节 燃油管路系统设计	80
第三节 滑油管路系统设计	89
第四节 冷却管路系统设计	100
第五节 压缩空气管路系统设计	112
第六节 排气系统设计	119
第七节 压载水管路系统设计	123
第八节 舱底水管路系统设计	129
第九节 消防系统设计	133
第十节 供水系统设计	138

第十一节 机舱通风系统设计·····	140
第十二节 船舶空调系统设计·····	142
思考与练习·····	145
第五章 船舶动力装置设计·····	146
第一节 船舶动力装置设计的主要内容及注意事项·····	146
第二节 动力装置设计要求及设计阶段的划分·····	154
第三节 动力装置设计初始阶段的任务·····	156
第四节 合同设计阶段动力装置的设计工作·····	158
思考与练习·····	159
第六章 机舱布置设计·····	160
第一节 机舱规划设计与设备布置·····	160
第二节 机舱布置的基本规定·····	161
第三节 机舱位置及尺寸的确定·····	164
第四节 机舱布置要点·····	166
第五节 机舱布置实例·····	171
思考与练习·····	178
参考文献·····	179



第

一章

船舶动力装置概论

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 世纪才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,为了更好地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,保证船舶的正常航行、作业及人员生活的安全等。因此,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,包括传动轴、轴承和密封件等。

(3)传动设备。传动设备是将主机与推进器之间进行动力传递接通或断开的中间部件,主要包括起接合或断开作用的离合器、减速箱和联轴器。

(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、喷水推进器、电磁推进器等。绝大部分船舶使用螺旋桨,通过其在水中旋转推动水流受动的反作用力推动船舶运动。

如图 1-1 所示为典型的船舶推进装置示意图。图中示出了主机、传动设备、轴系和螺旋桨的连接情况。主机 2 的转矩通过传动设备 3 和轴系 4 传递到螺旋桨 5,使其在水中转动,能使船舶前进或后退。图中驾驶员从驾驶台通过车钟与机舱的值班轮机员取得联系或直接遥控主机,改变主机的转速和轴系的转动方向,从而控制船舶航行速度和方向。

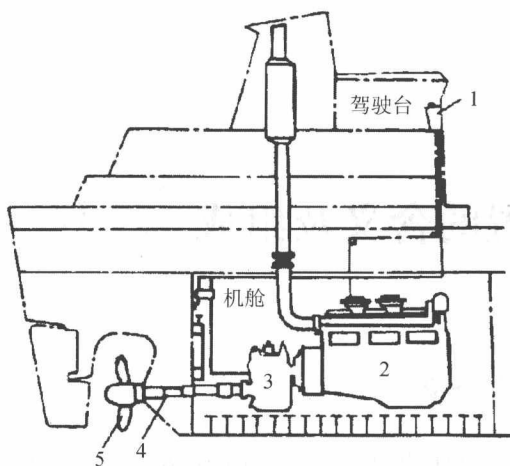


图 1-1 船舶推进装置示意图

1—遥控操纵台;2—主机;3—传动设备(包括离合器和减速齿轮箱);4—轴系;5—推进器

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的需要,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、换热设备等及管路。

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。主要用来为主机和副机服务的管路系统,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、制链器、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

船舶动力装置的类型及特点

船舶动力装置中的主机和副机可以具有不同的型式,但主机的功率要比副机的功率大得多,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具有比较优良的性能,而广泛应用于货船、客船、渔船、油船以及军用舰船上。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。柴油机耗油率比蒸汽、燃气轮机低得多。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, 起动方便, 正倒车迅速。一般起动前准备时间不超过 $1 \sim 2 \text{ min}$, 正常起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起动和倒车设备。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. 柴油机动力装置具有的缺点

(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, 其功率的重量: 高速机为 $1.4 \sim 3.7 \text{ kg/kW}$, 中速机为 $10 \sim 19 \text{ kg/kW}$, 低速机为 $20 \sim 35 \text{ kg/kW}$ 。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 $1 \times 10^4 \sim 2 \times 10^4 \text{ h}$, 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 $30\% \sim 40\%$, 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) 滑油消耗率较高。由于部分润滑油在气缸中烧掉, 滑油蒸气从曲轴箱中排出, 故滑油消耗率较高。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, 即在锅炉中进行的, 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 1-2 所示, 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 膨胀作功; 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。

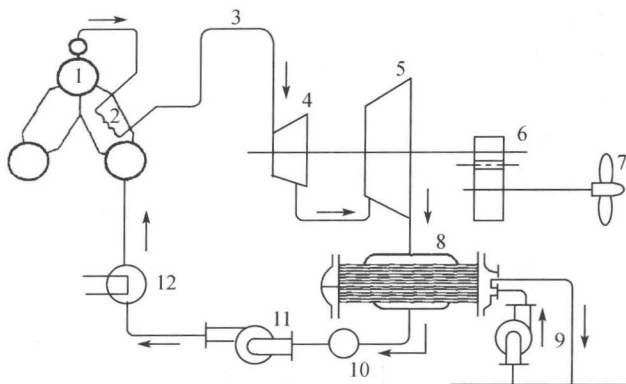


图 1-2 汽轮机动力装置原理图

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

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 2×10^4 kW 的船舶,多采用柴油机动力装置,而大于 2×10^4 kW 的船舶多采用汽轮机。

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 $3 \times 10^3 \sim 7 \times 10^3$ r/min,汽轮发电机大多 $\geq 3 \times 10^3$ 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 1.2×10^3 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 h 以上。

(4) 可使用劣质燃油,滑油消耗率低,为 $0.1 \sim 0.5$ g/(kW·h),柴油机滑油消耗率为 $3 \sim 10$ g/(kW·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 $24 \sim 26$ 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,故起动前准备时间为 $30 \sim 35$ min,缩短暖机过程后也需要 $15 \sim 20$ 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,只是在作功介质方面有所不同。汽轮机中使用的燃料在锅炉内燃烧,对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. 燃气轮机动力装置的工作原理

船舶燃气轮机由三部分组成,如图 1-3 所示。

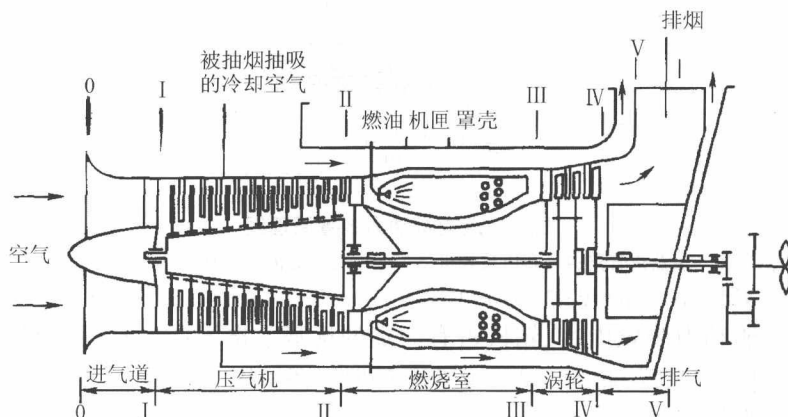


图 1-3 燃气轮机动力装置原理图

- (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,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 $1\,800 \sim 2\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。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,涡轮材料也难以承受,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做功,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 $0.65 \sim 1.3 \text{ kg/kW}$, 全工况用燃气轮机装置为 $2 \sim 4 \text{ kg/kW}$ 。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。从冷态起动到全负荷起动时间一般为 $2 \sim 3 \text{ min}$, 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 $200 \sim 390 \text{ g/(kW} \cdot \text{h)}$, 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 1200°C 以上的燃气轮机, 寿命为 8000 h 。

(3) 燃气轮机的耗油率高, 为 $200 \sim 300 \text{ g/(kW} \cdot \text{h)}$, 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 $16 \sim 23 \text{ kg/(kW} \cdot \text{h)}$, 柴油机为 $5 \text{ kg/(kW} \cdot \text{h)}$, 汽轮机为 $6 \text{ kg/(kW} \cdot \text{h)}$, 因此进、排气管道尺寸较大, 给机舱布置带来困难, 甲板上有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, 尽可能地提高航速和机动性, 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. 联合动力装置的优点

(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

核动力装置是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

如图1-4所示为压力水堆核动力装置原理流程图。从图中可以看到,核动力装置一般有两个回路。

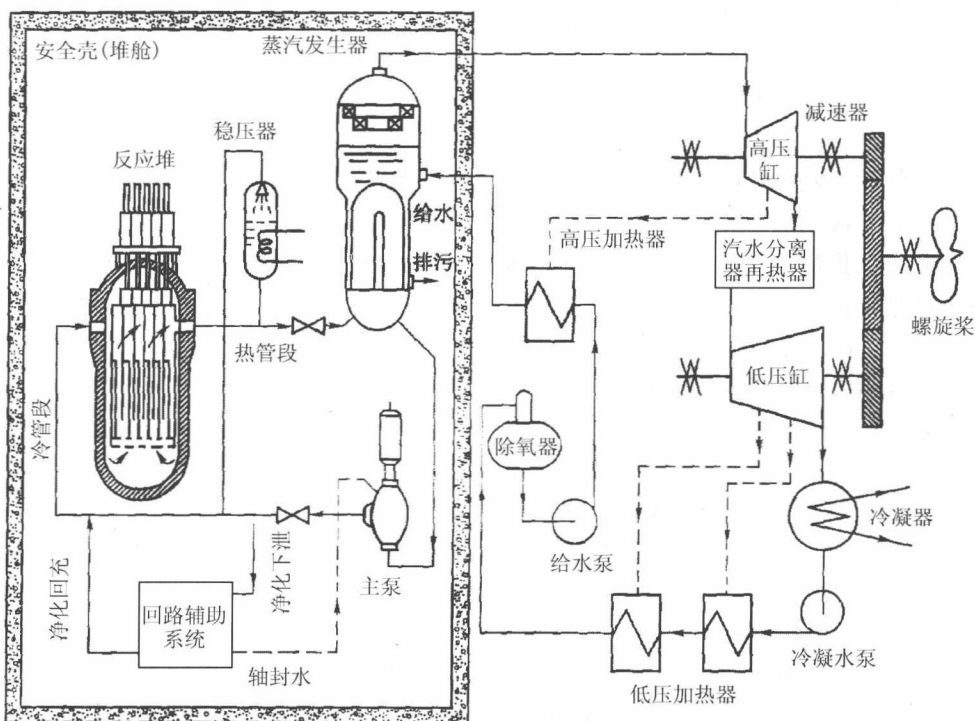


图1-4 压力水堆核动力装置原理流程图

(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泄放系统。通过设置波动管,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,维持主回路中的工作压力在一定的水平上,从而保持了一回路系统稳定。此外一回路的辅助系统还包括冷却剂净化系统,紧急冷却系统,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。

2. 核动力装置的优点

(1)核动力装置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 1.1×10^4 kW 的核动力装置,航速可达 25 kn,一昼夜仅消耗核燃料 15 ~ 18 g。

(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。

(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 5×10^4 t 以上的核动力舰艇单位功率重量可达 34 ~ 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,在核动力装置和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费用要高10倍。另一方面,核燃料也昂贵,尤其像浓缩铀,浓缩度愈高价格愈贵,如核动力潜艇加一次核燃料(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。

第三节

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水量、航速、续航力、轮机装备、机动性、稳性和适航性、抗沉性、通讯导航性能等。上述船舶技术性能相互之间有直接或间接的联系,相互制约、相互影响,而动力装置性能对它们的影响最显著、最重要,为此在选择动力装置类型及其组成部件时,首先要考虑满足船舶的性能。

动力装置技术特征通常有三方面指标。

技术指标:代表着全套动力装置技术装备的总指标,包括功率指标、重量指标和尺寸指标。

经济指标:代表燃料在该动力装置中的热能转换率,其中有燃料消耗率、装置总效率、推进装置热效率、每海里航程燃料耗量等。

性能指标:代表动力装置在接受命令执行任务时的服从性和外界条件、工作人员的依赖性,它包括机动性、可靠性、操纵性、振动噪声控制指标等。

一、技术指标

1. 功率指标

功率指标表示船舶做功的能力。为了保证船舶具有一定的航行速度,就要求推进装置提供足够的功率。动力装置的功率是按船舶的最大航速来确定的。随着船舶营运时间的延长,船体水线以下的附生物的增多,使船舶附体阻力增加,航速降低。为了保持船舶的航速,动力装置的功率往往取大一些(一般大10%)。在船舶以一定的航速前进时,螺旋桨产生的推力必须克服船体对水和风的阻力,这些阻力取决于船舶的线型、尺寸、航行速度以及风浪大小和航道深浅等。

(1)船舶有效功率。已知船舶航行速度为 v_s (m/s)时,其运动阻力为 R (N),则推进船舶所需的有效功率为:

$$P_e = R \cdot v_s \times 10^{-3} \text{ kW} \quad (1-1)$$

P_e 常称为拖曳功率,可以从船模或实验中获得。式中的阻力 R 相当于以速度 v_s 拖动船模(或实船)时绳索上的拖曳力。

(2)主机的输出功率。主机的输出功率即主机的制动功率或有效功率。考虑推进效率(η_h, η_r, η_o)和轴系传动效率 η_s 后,则主机的输出功率

$$P_b = \frac{R \times v_s}{\eta_s \times \eta_d} \times 10^{-3} \text{ kW} \quad (1-2)$$

式中, η_d ——推进效率, $\eta_d = \eta_h \times \eta_r \times \eta_o$;

η_h ——船身效率;

η_r ——螺旋桨相对旋转效率;

η_o ——敞水效率。

新船设计时,要确定推进器装置的功率,只要知道母型船的排水量、功率及航速等技术参数,一般采用“海军系数法”进行估算,即

$$P_e = \frac{\Delta^{\frac{2}{3}} \times v_s^3}{C} \text{ kW} \quad (1-3)$$

式中, Δ ——排水量, t;

v_s ——航速, kn;

C ——海军系数,与船型有关,若已知母型船的航速 v_s , 排水量 Δ 和功率 P_{eo} , 则有

$$C = \frac{\Delta_o^{\frac{2}{3}} \times v_o^3}{P_{eo}} \quad (1-4)$$

(3)相对功率。对于排水量相同的船舶,由于其性质、任务不同,动力装置所要求的功率相差很大。为便于比较,通常用相对功率表示。所谓相对功率,就是对应于推进船舶每吨量所需的主机有效功率,即

$$P_r = \frac{P_b}{\Delta} \text{ kW/t} \quad (1-5)$$

因为 $P_b = \frac{\Delta^{\frac{2}{3}} \times v_s^3}{C_2}$, $C_2 = C \times \eta_d$, η_d 为推进效率, $\eta_d = \frac{P_e}{P_b}$, 所以

$$P_r = \frac{\Delta^{\frac{2}{3}} \times v_s^3}{C_2 \times \Delta} = \frac{v_s^3}{C_2 \times \Delta^{\frac{1}{3}}} \text{ kW/t} \quad (1-6)$$

由此可见,相对功率与船速 v_s 的三次方成正比,与排水量的立方根成反比,故高速船吨排水量所需要的功率较大。船的用途不同其值也有一定差别,内河船舶比海船大些,军用船舶最大。

2. 重量指标

重量指标通常是相对于主机功率或船舶排水量而言。在一定的排水量下,为了保证具有足够的载货量,要求动力装置的重量越轻越好。但对于排水量相同的船舶,由于彼此的航速不同,所需要的总功率也不同,从而动力装置重量相差也很大。动力装置的重量指标,常采用以下几项比值系数表示:

(1)主机的单位重量 g_z , 即主机单位有效功率的重量,表示式为

$$g_z = \frac{G_z}{P_b} \text{ kg/kW} \quad (1-7)$$