

船舶动力装置原理

程国瑞 主编

人民交通出版社

船舶动力装置原理

Chuanbo Dongli Zhuangzhi Yuanli

程国瑞 主编

人民交通出版社
北京

内 容 简 介

全书共分六章,主要包括:船舶动力装置绪论;船舶轴系的组成与设计;推进系统的传动设备;船舶管路系统;船、机、桨工况配合特性;机舱规划与设备布置等。

本书作为船舶动力类专业的教材,也可作为高等职业技术学院船舶动力类专业的教学参考书,还可供航运系统的有关工程技术人员、管理人员学习参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

船舶动力装置原理/程国瑞主编.-北京:人民交通出版社, 2001.4

ISBN 7-114-03873-9

I. 船… II. 程… III. 船舶-动力装置-理论
IV. U664.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 17756 号

船舶动力装置原理

程国瑞 主编

正文设计:孙立宁 责任校对:张莹 责任印制:张凯

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号 010 64216602)

各地新华书店经销

北京牛山世兴印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 10.75 字数: 265 千

2001 年 7 月 第 1 版

2001 年 7 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 0001—2500 册 定价: 25.00 元

ISBN 7-114-03873-9

U · 02815

前 言

本书是根据工程教育会议的精神及船舶动力类专业制订的《船舶动力装置原理》课程教学大纲而编写的。在编写过程中,遵循“拓宽专业口径,调整专业结构”的原则,在内容取舍上做到删繁求简,以讲述船舶动力装置基本原理为主,兼顾动力装置的基本计算。

全书共分六章,考虑到内河船舶和海洋运输船舶动力装置的特点,系统介绍了船舶动力装置的组成、类型、推进型式、基本特性指标、传动设备、船舶轴系、船舶管路系统,船、机、桨工况配合特性、机舱规划与设备布置等内容,以使学习者对船舶动力装置原理有一个基本的了解。

本书第一章船舶动力装置绪论,第二章船舶轴系的组成与设计,第六章机舱规划与设备布置由程国瑞编写;第三章推进系统传动设备,第五章船、机、桨工况配合特性由周瑞平编写;第四章船舶管路系统由胡义编写,中国长江航运集团青山船厂船研所王年生、喻孟军高工评审,最后由程国瑞对全书整理定稿。

本书在编写过程中,徐祖兴对初稿中的文字、插图编排、法定计量单位提出了修改意见,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中内容一定存在错误或不当之处,请批评指正。

编 者

目 录

第一章 绪论	1
§ 1-1 船舶动力装置的含义及组成	1
§ 1-2 船舶动力装置的类型及特点	2
§ 1-3 船舶动力装置的基本特性指标	7
§ 1-4 对船舶动力装置的要求	12
第二章 船舶轴系的组成与设计	14
§ 2-1 概述	14
§ 2-2 轴系的布置设计	17
§ 2-3 传动轴的规范计算及强度校核	22
§ 2-4 传动轴的结构设计	29
§ 2-5 中间轴承与推力轴承	35
§ 2-6 尾轴管装置	42
第三章 推进系统的传动设备	51
§ 3-1 船用齿轮箱	51
§ 3-2 船用液力耦合器	56
§ 3-3 船用摩擦离合器	59
§ 3-4 联轴节	63
§ 3-5 可调螺距螺旋桨装置	70
第四章 船舶管路系统	75
§ 4-1 燃油管路	75
§ 4-2 滑油管路	82
§ 4-3 冷却管路	87
§ 4-4 压缩空气管路	93
§ 4-5 排气管路	95
§ 4-6 舱底水系统	97
§ 4-7 压载水系统	100
§ 4-8 消防系统	105
§ 4-9 供水系统	110
§ 4-10 机舱通风管路	112
§ 4-11 船舶空调系统	115
§ 4-12 管路附件、管路布置	118

第五章 船、机、桨工况配合特性	122
§ 5-1 基本概念	122
§ 5-2 船、机、桨的基本特性	123
§ 5-3 船、机、桨的能量转换与配合性质	129
§ 5-4 典型推进装置的特性与配合	133
§ 5-5 船、机、桨在变工况时的配合	137
第六章 机舱规划与设备布置	143
§ 6-1 机舱的位置及尺寸	143
§ 6-2 设备布置的原则及要求	146
§ 6-3 机舱规划的方法与步骤	148
§ 6-4 机舱布置实例	152
参考文献	163

第一章 绪 论

§ 1-1 船舶动力装置的含义及组成

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的综合体。船舶动力装置的主要任务是：发出一定功率，产生各种能量，实现能量转化和分配，以利船舶正常航行和作业。所以，它有船舶“心脏”之称。

船舶动力装置主要由推进装置、辅助装置、船舶管路系统、船舶甲板机械、机舱的机械设备遥控及自动化等五个部分组成。

一、推进装置

推进装置是指发出一定功率、经传动设备和轴系带动螺旋桨，推动船舶并保证以一定航速前进的设备。它是船舶动力装置中最重要的组成部分，包括：

(1)主机。主机是指推动船舶航行的动力机。如柴油机、汽轮机、燃气轮机等。

(2)传动设备。传动设备的功用是隔开或接通主机传递给传动轴和推进器的功率；同时还可使后者达到减速、反向和减振的目的。其设备包括离合器、减速齿轮箱和联轴器。

(3)船舶轴系。船舶轴系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。

(4)推进器。推进器是能量转换设备。它是将主机发出的能量转换成船舶推力的设备。如螺旋桨、明轮和喷水推进器等。

图 1-1-1 为船舶推进装置的示意图，图中示出主机、传动设备、轴系及螺旋桨的连接情况。启动主机 2，可驱动传动设备 3 和轴系 4，使螺旋桨 5 旋转。当螺旋桨在水中旋转时，能使船舶前进或后退。图中驾驶员从驾驶室，通过车钟与机舱中的值班轮机员取得联系或直接遥控机器，改变主机的转速和轴系的转动方向，从而控制船舶航行的快、慢和进、退。

二、辅助装置

除供给推进船舶的能量之外，用以产生船上需要的其他各种能量的设备，即称为辅助装置。它包括：

(1)船舶电站。船舶电站的作用，是供给辅助机械及全船所需要的电能。由发电机组、配电板及其他电气设备组成。

(2)辅助锅炉装置。民用船舶一般用它产生低压蒸汽，以满足加热、取暖及其他生活需要。它由辅助锅炉及为其服务的燃油、给水、鼓风、送汽设备及管路、阀件等组成。

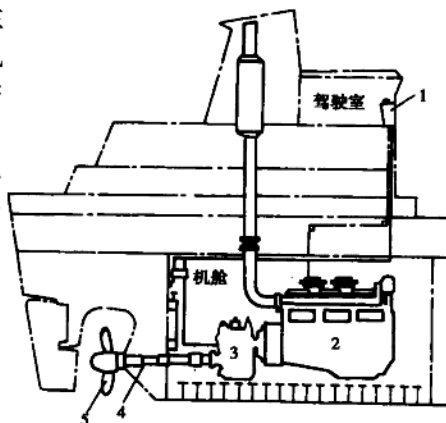


图 1-1-1 船舶推进装置示意图

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

三、船舶管路系统

船舶管路系统,是用来连接各种机械设备,并传递有关工质,它包括:

(1)动力管路。它主要用来为主机和辅机服务的管路,有燃油、滑油、冷却水、压缩空气、排气及废气利用等管路。

(2)船舶系统。为保证船舶的抗沉性及船员和旅客的正常生活所需的系统,有舱底、压载、消防、生活供水、施救、冷藏、空调、污水处理、通风及取暖等。

四、船舶甲板机械

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,包括锚机、绞盘等。

(2)操舵机械设备,包括舵机及操纵机械、执行机构等。

(3)起重机械设备,如起货机,吊艇机及吊杆等设备。

五、机舱的机械设备遥控及自动化

机舱的机械设备遥控及自动化,包括对主、辅机和有关机械设备等的远距离控制、调节、检测和报警系统等。

在上述船舶动力装置的五个组成部分中,推进装置是最重要的部分。它影响到整个船舶动力装置的性能。其工作的好坏,又直接涉及到船舶的正常航行和安全,故在进行设计选型和建造过程中要特别注意。然而推进装置在船上所以能发挥重要的作用,又必须依赖于动力装置其他各个组成部分的配合,故对其他部分也不能忽视,这样才能保证整个船舶动力装置正常工作。

§ 1-2 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。但主机的功率比辅机的功率通常要大得多,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。船舶主机的作用在于把燃料燃烧所产生的热能转化为机械能,用以推动船舶前进。随着船舶向大型化、快速化和专用化及高速自动化的方向发展,要求动力装置具有能耗低、单机功率大、寿命长和可靠性好,同时具有较高的推进效率的特点。因此,出现了各种各样的动力装置型式以满足各类船舶的发展需要。目前,常见的有柴油机动力装置、燃气轮机动力装置、汽轮机动力装置、联合动力装置和核动力装置等。

一、柴油机动力装置

柴油机动力装置具有比较优良的性能,在现代船舶中,不论商船、渔船、工程船及军用舰艇上都得到了极为广泛的应用。目前以柴油机作为主机的船舶占 98% 以上。柴油机船总功率占造船总功率的 90% 以上。可见柴油机动力装置占绝对的统治地位。

柴油机动力装置具有如下优点:

(1)有较高的经济性,耗油率比蒸汽、燃气动力装置低得多。高速柴油机耗油率为 $0.16 \sim 0.18 \text{ kg}/(\text{kW} \cdot \text{h})$, 中速柴油机为 $0.125 \sim 0.170 \text{ kg}/(\text{kW} \cdot \text{h})$, 低速机为 $0.126 \sim 0.140 \text{ kg}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 。一般汽轮机装置耗油率为 $0.18 \sim 0.35 \text{ kg}/(\text{kW} \cdot \text{h})$, 燃气轮机装置耗油率则更大,为 $0.24 \sim 0.40 \text{ kg}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 。这一优点使柴油机船的续航力大大提高。换句话说,一定续航力下所需的燃油储备量较少,从而使营运排水量相应增加。

(2)重量轻。柴油机动力装置中除主机和传动机组外,不需要主锅炉、燃烧器及工质输送管道等,所以,辅助设备和机械相应较少,布置简单,因此单位重量指标较小。

(3)具有良好的机动性,操作简单、启动方便,正倒车迅速。一般正常启动到全负荷只需10~30min,紧急时仅需3~10min。虽然启动比燃气轮机装置差一些,但它不需要像燃气轮机装置那样一套复杂的启动和倒车设备。柴油机装置停车只需2~5min,主机本身停机只要几秒钟即可。

柴油机装置存在如下缺点:

(1)由于柴油机的尺寸和重量按功率比例增长快,因此单机功率受到限制,低速柴油机也仅达 $4 \times 10^4 \text{ kW}$ 左右,中速机 $2 \times 10^4 \text{ kW}$ 左右,而高速机仅在 $8 \times 10^3 \text{ kW}$ 或更小,这就限制了它在大功率船上使用的可能。因此大功率舰艇希望有 $3 \times 10^4 \sim 5 \times 10^5 \text{ kW}$,故其无法胜任。

(2)柴油机工作时噪声、振动较大。

(3)中、高速柴油机的运动部件磨损较严重,高速强载柴油机的整机寿命仅1000~2000 h。

(4)柴油机在低转速时稳定性差,因此不能有较小的最低稳定转速,影响船舶的低速航行性能。另外,柴油机的过载能力也较差,在超负荷10%时,一般仅能运行1h。

二、汽轮机动力装置

汽轮机动力装置是由锅炉、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,即在锅炉中进行的。汽轮机动力装置的基本工作原理如图1-2-1所示。

图中可知,燃料在锅炉1的炉膛里燃烧,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中吸热成为过热蒸汽;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,汽轮机占有一定优势,统计资料表明,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。所以,高速客船和集装箱船以及大型油船多采用汽轮机动力装置。

汽轮机推进装置具有如下优点:

(1)由于汽轮机工作过程的连续性有利于采用高速工质和高转速工作轮,因此单机功率比活塞式发动机大。现代舰用汽轮机的单机功率已达 $25 \times 10^4 \text{ kW}$ 以上,若不受推进器尺寸和制造的影响,像陆用电站汽轮机一样可做成 $60 \times 10^4 \sim 10 \times 10^5 \text{ kW}$ 的巨型动力装置。正由于此,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,无周期性扰动力,因此机组振动小、噪声小。

(3)磨损部件少,工作可靠性大,使用期限可高达 10^5 h 以上。

(4)使用劣质燃料油,滑油消耗率也很低,仅 $0.1 \sim 0.5 \text{ g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ (柴油机的滑油消耗率为 $3 \sim 10 \text{ g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$)。

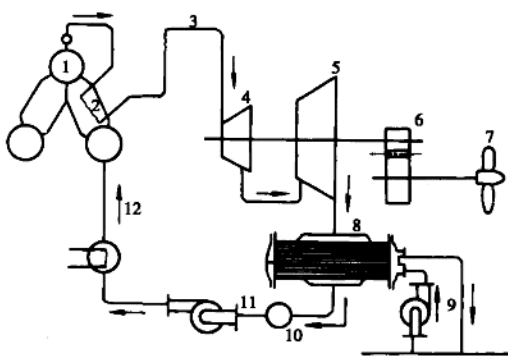


图 1-2-1 汽轮机动力装置原理图
1-锅炉;2-过热器;3-主蒸汽管路;4-高压汽轮机;5-低压汽轮机;6-减速齿轮;7-螺旋桨;8-冷凝器;9-冷却水循环泵;10-凝水泵;11-给水泵;12-给水预热器

汽轮机动力装置存在以下缺点:

(1)装置的总重量、尺寸大。因为它配置了主锅炉,以及为其服务的辅助机械和设备,占去了船体许多营运排水量。

(2)燃油消耗大,装置效率较低,额定经济性仅为柴油机装置的 $1/1.5 \sim 1/2$;在部分工况下,甚至为 $1/2.5 \sim 1/3$;在相同燃料储备下续航力降低。

(3)机动性差,启动前准备时间约为 $30 \sim 35\text{min}$;紧急情况下,缩短暖机过程后也需要 $15 \sim 20\text{min}$;在舰艇上为保证立即起锚的要求,以暖机状态停泊,从而增加了停泊时的燃料消耗。另外,从一种工况切换到另一种工况的过渡时间也较柴油装置长 $2 \sim 3$ 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。它的基本工作原理与汽轮大致相似,只是在作功的工质方面有所不同。汽轮机中使用的燃料是在锅炉内燃烧,使锅炉中的水加热产生蒸汽,推动叶轮作功;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作功。

图 1-2-2 是燃气轮机动力装置的基本工作原理图。一般由三部分组成:

(1)压气机。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。它将燃气的热能转变为推动轴系和螺旋桨的机械功。

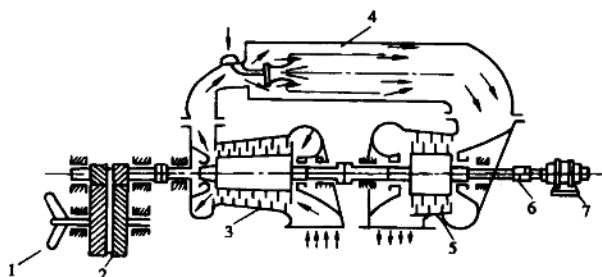


图 1-2-2 燃气轮机动力装置原理图

1-螺旋桨;2-减速齿轮装置;3-压气机;4-燃烧室;5-燃气轮机;6-联轴器;7-启动电动机

如图 1-2-2 所示,供燃料燃烧的空气首先进入压气机 3,经压缩后温度升高到 $100 \sim 200^\circ\text{C}$ 左右,然后再送到燃烧室 4(燃气发生器)中去;与此同时,燃料通过喷嘴喷入燃烧室,与高温高压的空气混合后经点火即进行燃烧,这时温度可高达 2000°C 左右。一般用渗入压缩空气的方法,也即二次进风的方法降低燃气温度至 $600 \sim 700^\circ\text{C}$ 。燃气进入燃气轮机 5,在叶片槽道内膨胀,将其动能转换为机械功,使燃气轮机旋转,驱动压气机 3,随后通过减速齿轮 2 带动螺旋桨 1 工作。装置的启动是利用电动机 7 进行的,电动机通过联轴器 6 与燃气轮机连接。

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的战术、技术要求,故在军用舰艇中较常使用。

燃气轮机动力装置有如下优点:

(1)单位功率的重量尺寸极小。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、中间加热和回热措施)机组功率可达 $6 \times 10^4\text{kW}$ 。

(2)良好的机动性,从冷态启动至全负荷时间,一般为 $1 \sim 2\text{min}$,大功率复杂线路的燃气轮机装置也只需 $3 \sim 5\text{min}$ 。

(3)燃料消耗率不及柴油机低,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。

燃气轮机装置有以下缺点:

(1)主机没有反转性,必须设置专门的倒车设备。

(2)必须借助于启动电机或其他启动机械启动。

(3)由于燃气的高温。叶片材料用的合金钢昂贵,工作可靠性较差、寿命短,如燃气初温在 750°C 以上的燃气轮机,寿命仅 $500\sim 1\,000\text{h}$ 。

(4)由于燃气轮机工作时空气流量很大,一般为 $16\sim 23\text{kg}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ (柴油机约为 $5\text{kg}/(\text{kW}\cdot\text{h})$),汽轮机约为 $0.5\text{kg}/(\text{kW}\cdot\text{h})$,因此进、排气管道尺寸较大,舱内布置困难,甲板上有一定的管道通过切口,影响船体强度。

四、联合动力装置

军用舰艇从提高战斗力要求,应尽可能提高航速和机动能力。舰艇在全速时要求动力装置发足全功率,但它在舰艇总航行时间中所占比例极小,一般不超过1%。为此它要花费足够的排水量安置全功率的机械设备重量。而舰艇的巡航时间极长,要求有良好的经济性以提高续航力。为解决全速时的大功率和巡航时的经济性,就出现了两类发动机联合工作的联合动力装置。目前有三种联合动力装置:汽轮机+加速燃气轮机(COSOG或COSAG)、柴油机+加速燃气轮机(CODOG或CODAG)、燃气轮机+加速燃气轮机(COGAG或COGOG)。

三种联合动力装置的特点是:

(1)汽轮机动力装置带燃气轮机加速装置的特点是:此种装置由于汽轮机装置的一系列优点,与燃气装置联合后,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(即全功率约50%左右),以使经济及重量尺寸指标为最有利。

(2)全工况燃气轮机装置带加速燃气轮机装置的特点是:这类装置中,巡航燃气轮机装置可以采用复式线路(带中间冷却器及回热)工作的开式燃气轮机,或闭式循环工作的燃气轮机。前者具有蒸—燃联合装置的大部分优点,燃料消耗和重量尺寸都可减少;后者在巡航机能保证较高的热效率,部分负荷时性能良好。

(3)柴油机与燃气轮机联合的特点是:这类装置中,柴油机作巡航机时,与燃气轮机两者都通过离合器与主减速器相联,采用倒顺离合器或调距桨实现倒车。这类装置常被小型舰艇使用,它的常用功率一般小于全功率的50%,全功率仅占整个服役时间的1%左右。

这类联合装置的优点是:

(1)重量尺寸小,一定排水量下可提高航速或增加配置功率。

(2)操纵方便、备车迅速,紧急情况下可将燃气轮机立即启动,用调距桨或倒顺离合器实现倒车。

(3)自巡航到全速工况加速迅速,可立即发出全功率。

(4)两个机组共同使用一个减速器,具有多机组并车的可靠性。

(5)管理与检修费较低。

由于是两种装置联合,因此有下列不足之处:

(1)必须配置适用不同机种的燃料及相应的管路的储存设备,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机组有一定难度。

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具大热能,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。现有的核动力舰艇或民用船舶,几乎全部采用压力水型的反应堆。

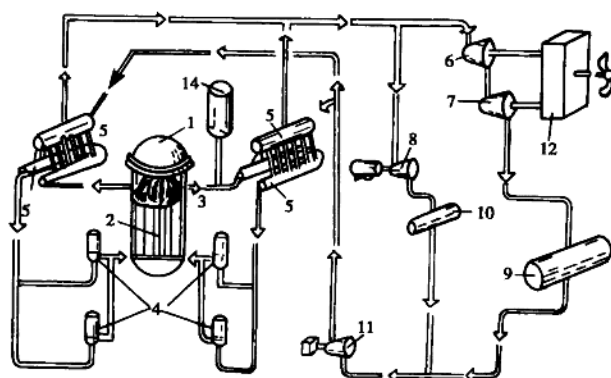


图 1-2-3 压力水堆核动力装置示意图

1-核反应堆;2-反应堆芯;3-控制棒;4-冷却循环泵;5-蒸汽发生器;6-高压汽轮机;7-低压汽轮机;8-辅汽轮机;9-主冷凝器;10-辅冷凝器;11-主给水泵;12-减压器;13-螺旋桨;14-稳压筒

路进入高压汽轮机 6 和低压汽轮机 7 膨胀做功,通过减速器 12 驱动螺旋桨 13 推进船舶。另一路蒸汽进入辅汽轮机 8 膨胀做功,驱动发电机向全船供电。作过功的乏汽分别经主冷凝器 9 和辅冷凝器 10 凝结成水,凝水由主给水泵 11 送入蒸汽发生器 5,这又完成一个工作循环,称为第二回路。第二回路的基本工作原理与一般汽轮机动力装置相同。第一回路中的稳压筒 14 的作用是保持供入蒸汽发生器的压力水有足够的压力。

图 1-2-4 为核动力装置在船舶机舱内的安装示意图。

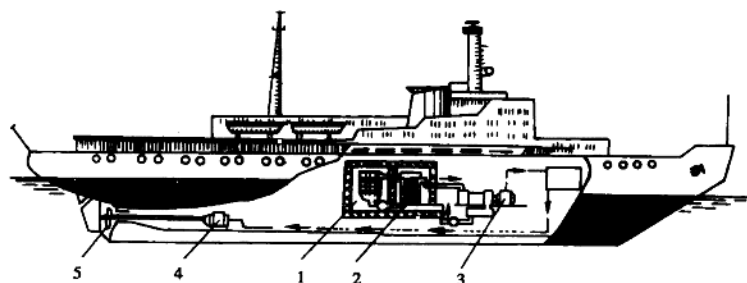


图 1-2-4 核动力装置示意图

1-原子反应堆;2-热交换器;3-发电机组;4-推进电动机;5-螺旋桨

(1)核动力装置以及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极远的距离,如 $1.1 \times 10^4 \text{ kW}$ 核动力装置工作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,比一般其他型的动力装置要大得多。也就是说,核动力装置能发出极大的功率,这主要决定地大功率主机制造及螺旋桨所能吸收的最大功率。

(3)核动力装置的最大特点是不消耗空气而获得热能,这就不需要进、排气装置,这对潜艇具有重大意义:这是潜艇广泛应用核能的主要原因之一,大大提高了潜艇的战斗力;使它能长期隐蔽在深水中,不易被敌舰发现。同样,此特点对水面舰艇也有较大意义,因不需要进、排气口,没有烟囱,减少甲板开口,从而在核战争中减少进入放射性杂质的危险性,易于核防御,而

且能减少敌人观察器材和热反应器材的发现及避免红外线自导武器命中的危险性。

核动力装置存在以下缺点:

(1)核动力装置的重量尺寸较大。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,污染环境。另外,为避免核动力船可能遭遇碰撞、触礁、海浪冲击、着火、爆破等意外灾害时,不致污染海洋,除核反应堆容器加数层围阻屏蔽系统,以阻止及截留放射性物质逃离反应堆外,动力装置也应加装屏蔽系统。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 $5 \times 10^4 \text{ t}$ 以上的核动力舰艇的单位功率重量达 $34 \sim 37 \text{ kg/kW}$,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纵,而且在核动力船舶上还必须配置独立的其它形式的能源,来供给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、奥斯体钢等)。据统计,建造一个潜艇反应堆比建造同样排水量潜艇的柴油机电动装置,造价要高 10 倍。另一方面,核燃料亦昂贵,尤其浓缩铀,浓缩度愈高价格愈贵。如核动力潜艇反应堆加满一次核燃料(约用 2~2.5 年),要比载有一般动力装置潜艇在同一时间内所需的燃料的费用高 10 倍左右。

目前,核动力装置主要用在军用舰艇或破冰舰上,在民用船舶上进展不大。

由于些油机动力装置具有热效率高、重量相对较轻且设备简单的优点,在民用船舶中占主导地位,故本章着重研究船舶柴油机动力装置的有关内容。

§ 1-3 船舶动力装置的基本特性指标

各种船舶的动力装置虽存在着类型、传动方式及航区等条件的不同,但对其一些基本特性指标却有着共同的要求。动力装置的基本特性指标是指技术指标、经济指标和性能指标。这些指标是我们对船舶进行选型、设计和判断性能优劣的重要依据。

一、技术指标

技术指标是标志动力装置的技术性能和结构特征的参数。它主要指下列几个指标:

(一)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

已知船舶的航行速度为 $V_s(\text{m/s})$ 时,其运动阻力为 $R(\text{N})$,则推进船舶所需的有效功率

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

P_e 常称为拖曳功率,可以从船模或实船或实验中得出。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_d (包括船身效率 η_h 、螺旋桨相对旋转效率 η_r 和 敞水效率 η_0) 和轴系传动效率 η_s 后, 则主机的输出功率

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

其中

$$\eta_d = \eta_r \cdot \eta_0 \cdot \eta_h$$

新船设计时, 若要确定推进装置的功率, 只要已知母型船的排水量、功率及航速等技术参数, 一般可采用“海军系数法”进行估算

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

式中: Δ ——排水量, t;

V_s ——航速, kn;

C ——海军系数, 与船型有关, 根据弗劳德数 (F_r) 相同的母型船来估算。若已知母型船的航速 V_0 、排水量 Δ_0 和功率 P_{e0} , 则有

$$C = \frac{\Delta_0^{\frac{2}{3}} \cdot V_0^3}{P_{e0}} \quad (1-3-4)$$

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, 通常用相对功率来表示。所谓相对功率, 就是对应于推进船舶每吨排水量所需的主机有效功率, 即相对功率

$$P_r = \frac{P_b}{\Delta} \quad \text{kW/t} \quad (1-3-5)$$

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

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

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, 故高速船舶每吨排水量所需要的功率较大。船的用途和船速不同, 其值也有一定差异, 内河船舶较海船大些, 军用船舶最大。

(二) 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, 为了保证船舶具有足够的排水量, 要求动力装置的重量的轻些为好。但对于排水量相同的船舶, 由于彼此的航速不同, 所需的总功率也不同, 从而动力装置的重量的相差也很大。

装置的重量的指标, 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

$$g_z = \frac{G_z}{P_b} \quad \text{kg/kW} \quad (1-3-7)$$

式中: G_z ——主机重量, kg;

P_b ——主机的有效功率, kW。

对于内河船舶和军用舰艇要求有较小的 g_z 值。一般高速机的 g_z 较低速机小。

(2) 装置的单位重量 g_e , 即主机单位有效功率所需动力装置的重量

$$g_e = \frac{G_e}{P_b} \quad \text{kg/kW} \quad (1-3-8)$$

式中: G_e ——动力装置的总重量(包括主机、辅机、管路、轴系、电站及锅炉等), kg。

动力装置重量有三个不同的内涵, 即动力装置干重(代表所有的机器、设备和管系的重量, 不包括内部的工质和消耗物品及其存储量)、湿重(包括其内部所装工质和消耗物品重量, 但不包括消耗品存储量)和总重(包括上述全部重量)。计算时常用湿重。

一般 g_e 约为 g_z 的 2~3 倍。内河船舶的 g_e 较海洋船舶小。

(3) 主机的相对重量 g_x , 即主机重量 G_z 与船舶满载排水量 Δ 之比, 即

$$g_x = \frac{G_z}{\Delta} \quad \text{kg/t} \quad (1-3-9)$$

式中: Δ ——船舶满载排水量, t。

(4) 装置的相对重量 g_{er} , 即动力装置重量 G_e 与船舶满载排水量之比, 即

$$g_{er} = \frac{G_e}{\Delta} \quad \text{kg/t} \quad (1-3-10)$$

对于装置本身而言, 其单位重量愈小(g_e), 表示该装置愈轻, 所消耗的金属材料也愈少。但考虑到船舶种类不同及装置重量对船舶整体的影响, 往往还要考虑相对重量, 即 g_x 和 g_{er} 这两个因素。

(三) 尺寸指标

动力装置的机械设备, 绝大多数布置在机械舱内。机舱的大小应当能够把这些机械设备合理地安排在舱内, 并便于维修管理。从这点出发机舱应宽敞些为好。但从增加船舶有效装载容积观点考虑, 又要求机舱小些为好。对于不同的船舶, 对机舱尺寸要求也不统一, 为了表征机舱的面积和容积利用率, 特引用面积饱和度和容积饱和度两个概念。

1. 面积饱和度 K_s

面积饱和度是指每平方米机舱面积所分配的主机有效功率, 用公式表示为

$$K_s = \frac{P_b}{S} \quad \text{kW/m}^2 \quad (1-3-11)$$

式中: S ——机舱所占的面积, m^2 。

2. 容积饱和度 K_v

容积饱和度是指每立方米机舱容积所分配的主机有效功率, 用公式表示为

$$K_v = \frac{P_b}{V} \quad \text{kW/m}^3 \quad (1-3-12)$$

式中: V ——机舱所占的容积, m^3 。

K_s 和 K_v 大, 表示机舱内机械设备布置得紧凑, 利用程度高, 这是在保证动力装置正常工作、方便维修的条件下应该努力做到的。但不同类型的船舶, 其指标是有差别的。

二、经济指标

动力装置的经济指标, 常用以下三个指标表示。

1. 主机燃料消耗率 b_z

主机燃油消耗率是指在单位时间内主机单位有效功率所消耗的燃料量, 即

$$b_z = \frac{B_z}{P_b} \quad \text{kg}/(\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (1-3-13)$$

式中: B_z ——主机每小时燃料消耗量, kg/h ;

P_b ——主机有效功率, kW 。

2. 动力装置燃料消耗率 b_e

$$b_e = \frac{B_e}{P_b} \quad \text{kg}/(\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (1-3-14)$$

式中: B_e ——主机、辅机、锅炉每小时燃料总耗量, $B_e = B_z + B_f + B_g, \text{kg}/\text{h}$ 。

3. 推进装置的有效热效率 η_e

推进装置的有效热效率是指有效功的热和所消耗的热之比, 表达式为

$$\eta_e = \frac{3600 P_e}{B_e \cdot H_u} \quad (1-3-15)$$

而

$$P_e = P_b \cdot \eta_s \cdot \eta_0 \cdot \eta_r \cdot \eta_h \quad \text{kW} \quad (1-3-16)$$

式中: P_e ——推进装置的有效功率, kW ;

H_u ——燃料低热值, kJ/kg ;

η_s ——轴系传动效率;

η_0 ——螺旋桨敞水效率;

η_r ——螺旋桨相对旋转效率;

η_h ——船身效率;

η_e ——装置的有效热效率。

从以上三个指标中看出, 降低燃料消耗率的方法是降低 B_e 值以求提高 η_e 。所以, 对动力装置进行热力学综合性研究是大家关心的问题。由于 B_z 在 B_e 中占相当比例, 因此研究工况配合以减少 B_z 也是热点。

以上三个经济指标都是代表动力装置在有效功率下, 燃料和热能利用的经济性。但是, 有些船舶全功率、全航速的时间不多, 经常使用部分负荷航行, 或者工况变化非常频繁。这时有一个全面性的燃料经济指标——装置每海里燃料消耗量。

4. 每海里航程的燃料消耗量 b_n

每海里航程的燃料消耗量是指船舶航行 1n mile, 装置所消耗的燃料量, 即

$$b_n = \frac{B_e}{V_s} = \frac{B_e \cdot t}{V_s \cdot t} \quad \text{kg}/\text{n mile}$$

或

$$b_n = \frac{b_z \cdot P_b}{V_s} + \frac{B_f + B_g}{V_s} \quad (1-3-17)$$

式中: V_s ——航速, kn ;

t ——航行时间, h 。

一般, B_f 和 B_g 与航速无关。主机每海里消耗的燃料量为

$$b_{nz} = \frac{b_z \cdot P_b}{V_s} = \frac{B_z}{V_s} = \frac{B_z \cdot t}{V_s \cdot t} \quad (1-3-18)$$

因为

$$P_b = \frac{\Delta^{\frac{3}{2}} \cdot V_s^3}{C_2}$$

$$b_{nz} = \frac{b_z \cdot \Delta^{\frac{2}{3}} \cdot V_s^3}{V_s \cdot C_2} = \frac{\Delta^{\frac{2}{3}}}{C_2} \cdot b_z \cdot V_s^2 \quad (1-3-19)$$

可见, b_n 既与 b_z 有关, 又与 V_s 有关。这项经济指标与船舶营运管理水平和轮机管理水平密切相关。

图 1-3-1 为燃料消耗率和每海里航程燃料消耗量随航速变化的关系曲线。当船舶处于慢速航行时, 虽然 b_z 会有所增加, 但 b_z 因航速的降低仍将下降。图中 b_n 的最小值所对应的航速常称为经济航速。应该指出, 这里的经济航速, 并非船舶最大的盈利航速, 尚需考虑船舶的折旧费、客货的周转量、运输成本及利润等因素。不同的航区和航种将有其相应的最大盈利航速, 需要通过调研、统计及分析加以确定。

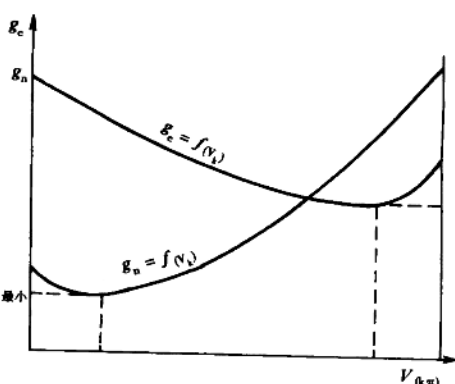


图 1-3-1 b_z 和 b_n 随 V_s 变化的特性线

5. 节能投资的经济标准

为了评估某项节能措施在经济上是否可行, 必须有一个经济标准, 符合标准的节能措施就采用, 否则就不用; 在多方案比较中, 经济性最优的就采用, 差的就不用。这样可以避免投资的盲目性, 使所采用的节能措施在技术上可行, 经济上也合理。评价节能措施的经济性主要有投资回收期 n_1 , 其计算式为

$$n_1 = \frac{\lg \frac{A}{A - iP}}{\lg(1 + i)} \quad (1-3-20)$$

式中: P ——节能措施的投资额, 它等于所用节能设备的成本、运费、安装费用、税款等;

A ——节能增加的年收益, 即每年节约的燃料费用和节能设备维修保养费之差;

i ——贷款年息。

一般回收期 n_1 越小越好。在我国, 船舶近期节能技术改造项目的投资回收期一般应在 3~5 年之内。

三、性能指标

性能指标是进行动力装置选型的重要依据, 也是反映装置好坏及特点的重要指标, 它主要包括: 装置的可靠性、机动性、使用寿命、振动噪声专以及机舱自动化等。

(一) 可靠性

可靠性是用船舶动力装置在使用阶段的故障发生率和因此而发生的停航时间来考核, 常以主、辅机修理间隔时间作为衡量依据, 故要求其主零、部件及易损件的使用寿命较长, 如柴油机活塞组大修前的使用寿命是: 低速大功率柴油机为 $4 \times 10^4 \sim 8 \times 10^4$ h、中速柴油机为 $8\,000 \sim 1.2 \times 10^4$ h、高速柴油机为 $3\,000 \sim 5\,000$ h。

(二) 机动性

机动性是指装置中的各种机器设备, 改变工况时的工作性能。

在发动机准备启动阶段, 有关辅机及其系统, 应处于工作状态。给发动机注油、盘车和暖机等, 所需时间约为 2~10min。一般希望此时间短些为好。

对于柴油主机、工作的机动性、灵敏性尤为重要。要求其曲轴在任何位置, 环境温度在 8