



21世纪高职船舶系列教材
SHIJI GAOZHI CHUANBO XILIE JIAOCAI

船舶动力专业

船舶动力装置

CHUANBO DONGLI
ZHUANGZHI

主编 张 骛
主审 杨建国

哈尔滨工程大学出版社



21世纪高职船舶系列教材
SHIJI GAOZHI CHUANBO XILIE JIAOCAI

船舶动力专业

船舶动力装置

CHUANBO DONGLI
ZHUANGZHI

主 编 张 鹭

副主编 梁卫武 吕 青

主 审 杨建国

哈尔滨工程大学出版社

内 容 简 介

本书共分六章,包括船舶动力装置总论;推进装置设计;船舶传动设备;船舶推进装置的特性与匹配;船舶推进节能与特种推进器;船舶动力装置设计等。

本书可作为高等职业技术学院轮机工程专业和船舶动力专业的教材或教学参考书,亦可供从事船舶设计、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。

图书在版编目(CIP)数据

船舶动力装置/张鹭主编. —哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2006

ISBN 7-81073-900-X

I. 船… II. 张… 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 103860 号

出版发行	哈尔滨工程大学出版社
社 址	哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码	150001
发行电话	0451-82519328
传 真	0451-82519699
经 销	新华书店
印 刷	哈尔滨工业大学印刷厂
开 本	787mm × 1 092mm 1/16
印 张	12.5
字 数	260 千字
版 次	2006 年 9 月第 1 版
印 次	2006 年 9 月第 1 次印刷
印 数	1—2 000 册
定 价	20.00 元

前言

船舶动力装置

CHUANBO DONGLI ZHANGZHI

本书以讲述船舶动力装置基本原理为主,兼顾动力装置设计的基本计算,并根据拓宽专业口径的原则,介绍了与船舶动力装置设计关系密切的船舶推进节能及特种推进器的有关内容。

全书共分六章,兼顾内河船舶与海洋运输船舶的特点,参照了新出版的《钢质海船入级与建造规范》和《内河钢船建造规范》,系统地介绍了船舶动力装置的组成、类型、推进形式、基本特性指标、船舶轴系的组成与设计、船机桨工况配合特性、船舶动力装置总体设计、船舶推进节能及特种推进器的有关内容。

本书第一章由武汉船舶职业技术学院张骞副教授与吕青副教授编写,第二章由武汉船舶职业技术学院梁卫武高级工程师与王鸿舰讲师编写,第三章由浙江交通职业技术学院薛召讲师与武汉船舶职业技术学院吕青副教授编写,第四章由浙江交通职业技术学院薛召讲师编写,第五章由武汉船舶职业技术学院张骞副教授编写,第六章由武汉船舶职业技术学院付锦云副教授编写。全书由武汉理工大学杨建国教授主审。书中插图由武汉船舶职业技术学院陶洁副教授处理。

由于编者缺乏经验,水平有限,收集的资料亦不够全面,加之时间仓促,书中难免有不妥或错误之处,恳请批评指正。

编 者

2006年6月

目 录

21世纪高职船舶系列教材
SHIJI GAOZHI CHUANBO XILIE JIAOCAI

船舶动力装置

第一章 船舶动力装置总论	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	2
第三节 船舶动力装置的基本特性指标	7
第四节 对船舶动力装置的要求	13
第二章 推进装置设计	15
第一节 概 述	15
第二节 推进装置型式的确定与选型分析	15
第三节 轴系的任务、组成与设计要求	21
第四节 轴系布置设计	23
第五节 传动轴设计	32
第六节 轴承与轴系附件	51
第七节 轴系合理校中设计	75
第三章 船舶传动设备	85
第一节 船舶传动设备的类型及基本任务	85
第二节 船用摩擦离合器	86
第三节 船用齿轮箱	92
第四节 船用液力耦合器	106
第五节 船用联轴器	109
第四章 船舶推进装置的特性和匹配	119
第一节 概 述	119
第二节 船、机、桨的基本特性	121
第三节 船、机、桨的能量转换与配合性质	125
第四节 典型推进装置的特性与匹配	132
第五节 船、机、桨在变工况时的配合	138
第五章 船舶推进节能和特种推进器	146
第一节 概 述	146
第二节 节能船型的研究	148
第三节 附加流体动力节能装置	161
第四节 高效节能特种推进器	165
第六章 船舶动力装置设计	174
第一节 船舶动力装置设计的观点、内容与程序	174
第二节 船舶动力装置设计发展概况	177
第三节 总体设计应考虑的几个问题	180



第一章 船舶动力装置总论

第一节 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,实现能量的转化和分配,以保证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,推动船舶并保证其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,如离合器、减速齿轮箱和联轴器等;
- (3)船舶轴系 船舶轴系用来将主机的功率传递给推进器,如传动轴、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 为船舶推进装置的示意图,图中示出主机、传动设备、轴系及螺旋桨的连续情况。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。在驾驶员驾驶室,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。

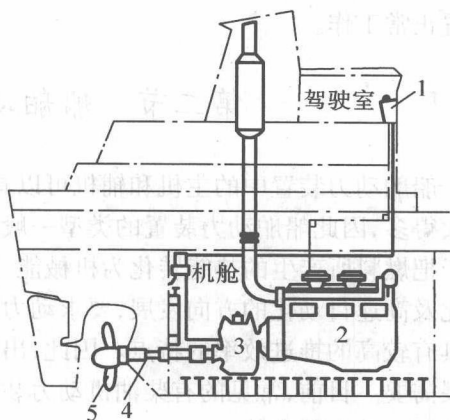


图 1-1 船舶推进装置示意图

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)

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,由辅助锅炉及为其服务的燃油、给水、鼓风、送气设备及管路、阀件等组成。



三、船舶管路系统

船舶管路系统,是用来连接各种机械设备的,它包括:

- (1)动力管路 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 保证船舶的抗沉性及船员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,如锚机、绞盘等;
- (2)操舵机械设备,如舵机及操纵机械、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,又直接影响到船舶能否正常航行和安全,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能发挥重要的作用,又必须依赖于动力装置其他组成部分的相互配合,因此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。

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所产生的热能转化为机械能,以推动船舶前进。随着船舶向大型化、快速化、专用化及高速自动化的方向发展,要求动力装置要能耗低、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,不论在商船、渔船、工程船还是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 高速柴油机消耗油率为 $0.16 \sim 0.18 \text{ kg}/(\text{kW} \cdot \text{h})$, 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 kg/(kW·h),一般汽轮机装置耗油率为0.18~0.35 kg/(kW·h),燃气轮机装置耗油率则更大,为0.24~0.40 kg/(kW·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)质量轻 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,因此单位质量指标较小;

(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10~30 min,紧急时仅需3~10 min。虽然启动比燃气机装置差一些,但它不需要像燃气轮机装置那样有一套复杂的启动和倒车设备。柴油机装置停车只需2~5 min,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质量功率比例增长快,因此单机功率受到限制,低速柴油机也仅达到 4×10^4 kW左右,中速机 2×10^4 kW左右,而高速机仅在 8×10^3 kW或更小,这就限制了它在大功率船上使用的可能,因为大功率舰艇需要的功率为 $3 \times 10^4 \sim 5 \times 10^5$ 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为1 000~2 000 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1 h。

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。做过功的蒸汽在冷凝器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 2×10^4 kW的船舶,多采用柴油机动力装置,而大于 2×10^4 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。

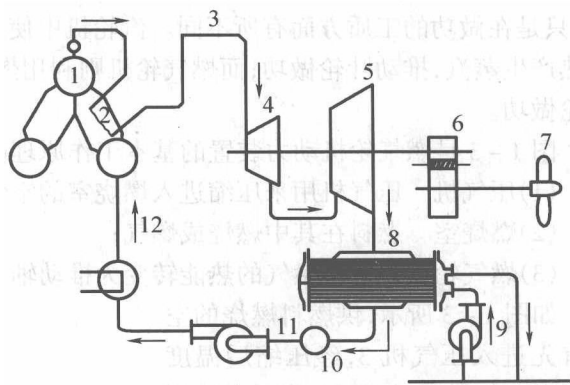


图 1-2 汽轮机动力装置原理图

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



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组功率已达 $25 \times 10^4 \text{ kW}$ 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 $60 \times 10^4 - 10 \times 10^5 \text{ kW}$ 的巨型动力装置, 正由于此, 主机本身的单位质量、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, 仅为 $0.1 \sim 0.5 \text{ g/(kW} \cdot \text{h)}$ (柴油机的滑油消耗率为 $3 \sim 10 \text{ g/(kW} \cdot \text{h)}$)。

汽轮机动力装置存在以下缺点:

(1) 装置的总质量、总尺寸因为配置了主锅炉, 以及其配备的辅助机械和设备, 占去了船体许多营运排水量;

(2) 燃油消耗大, 装置效率很低, 额定经济性仅为柴油机装置的 $1/2 \sim 1/1.5$; 在部分工况下, 甚至为 $1/3 \sim 1/2.5$; 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, 从一种工况变换为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机大致相似, 只是在做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。

图 1-3 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。

如图 1-3 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 $100 \sim 200 \text{ }^\circ\text{C}$ 左右, 然后再送到燃烧室 4 (燃气发生器) 中去; 与此同时, 燃料通过喷油嘴喷入燃烧室, 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 $2000 \text{ }^\circ\text{C}$ 左右。一般用渗入压缩空气的方法, 即二次进风的方法降低燃气温度至 $600 \sim 700 \text{ }^\circ\text{C}$ 。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。

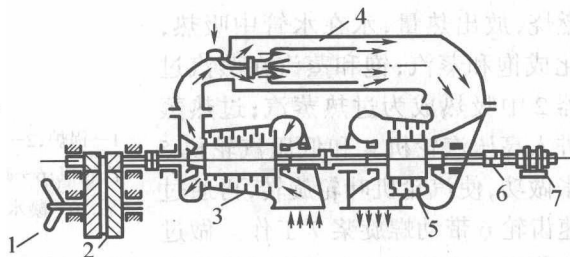


图 1-3 燃气轮机动力装置原理图

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



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质量的战术、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) 单位功率的质量、尺寸极小。加速用燃气轮机装置的单位质量可达 $0.65 \sim 1.3 \text{ kg/kW}$,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)机组功率可达到 $6 \times 10^4 \text{ kW}$;

(2) 良好的机动性,从冷态启动至全负荷时间,一般为 $1 \sim 2 \text{ min}$,大功率复杂路线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 $200 \sim 390 \text{ g/(kW} \cdot \text{h)}$,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,叶轮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 7500°C 以上的燃气轮机,寿命仅为 $500 \sim 1000 \text{ h}$;

(4) 由于燃气轮机工作时空气流量很大,一般为 $16 \sim 23 \text{ kg/(kW} \cdot \text{h)}$,柴油机约为 $5 \text{ (kW} \cdot \text{h)}$,汽轮机约为 $0.5 \text{ kg/(kW} \cdot \text{h)}$,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,但他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。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(CODOC 或 CODAG)、燃气轮机 + 加速燃气轮机(COSAG 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(即约为全功率的 50% 左右),以使经济及质量、尺寸指标为最有利;

(2) 全工况燃气轮机装置带加速燃气机装置的特点是: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,燃料消耗和质量、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) 质量、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。现有的核动力舰艇或民用船舶,几乎全部采用压力水型的反应堆。

图 1-4 为压力水堆核动力装置的结构和工作原理图。核反应堆 1 里有反应堆芯 2 存放着核燃料如浓缩铀(U235),控制箱 3 可控制核裂变速度及释放出的能量,同时用控制棒启动和停堆。核裂变

时释放出的热能被压力水带走,压力水由冷却循环泵 4 供给,压力水经过反应堆被加热后温度升高,然后经蒸汽发生器 5(热交换器)将热量传递给水,而本身温度下降。压力水放热后又进入冷却剂循环泵,重新被送入反应堆加热,因此压力水形成一个闭合回路,称为第一回路。由蒸汽发生产生的蒸汽,一路进入高压汽轮机 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。作完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。这一回路中的稳压筒 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 1-5 为核动力装置在船舶机舱内的安装示意图。

(1)核动力装置以极少量的核燃料释放出巨大的能量,这就可以保证船舶以较高的航速航行极远的距离,如 1.1×10^4 kW 核动力装置工作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,比一般其他型式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

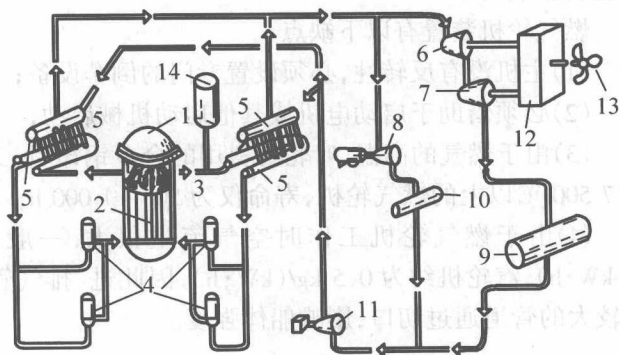


图 1-4 压力水堆核动力装置示意图

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—减速器;13—螺旋桨;14—稳压筒

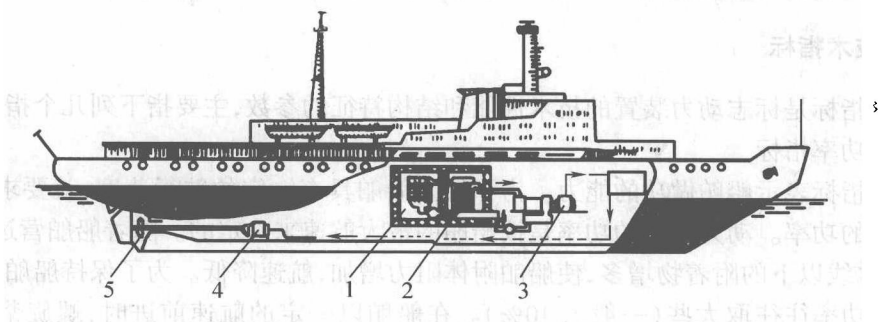


图 1-5 核动力装置示意图

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

能长期隐蔽在深水中,不易被敌舰发现。同样,此盘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,从而减小了在核战争中进入放射性杂质的危险性,易被防御,而且能减少敌人观察器材和热反应器材的发现及避免被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)核动力装置的质量、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、爆破等意外伤害时,不致污染海洋,除反应堆容器加数层围阻屏蔽系统,以阻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质量、尺寸,使得装置质量显著增加,如 5×10^4 t 以上的核动力舰艇的单位功率质量达 $34 \sim 37$ kg/kW,其中屏蔽系统质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他形式的能源,来供给反应堆启动时的辅助设备的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的放射性排泄物;

(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。

由于柴油机动力装置具有热效率高、质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。

第三节 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,但其对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,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增长,船体水线以下的附着物增多,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 (m/s) 时,其运动阻力为 R (N),则推动船舶所需的有效功率

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

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

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

而

$$\eta_d = \eta_r \cdot \eta_0 \cdot \eta_h \quad (1-3)$$

海军系数 C 与船型有关,根据弗劳德数 (Fr) 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

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

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排水量所需的主机有效功率,即相对功率

$$P_r = \frac{P_b}{\Delta} \quad (1-5)$$

因为 $P_b = \frac{\Delta \frac{2}{3} \cdot V_0^3}{C}$, $C_2 = C \cdot \eta_d$, η_d 为推进效率, $\eta_d f = \frac{P_e}{P_b}$, 所以

$$P_r = \frac{\Delta \frac{2}{3} \cdot V_0^3}{C_2 \cdot \Delta} = \frac{V_s^3}{C_2 \cdot \Delta^{\frac{1}{3}}} \text{ (kW/t)} \quad (1-6)$$

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)质量指标

质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,要求动力装置的质量轻些为好。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,从而动力装置的质量也很大。

装置的质量指标,常采用以下几项比值系数表示。

(1)主机的单位质量 g_z ,即主机单位有效功率的质量,表示式为

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

式中 G_z ——主机质量,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)装置的单位质量 g_e ,即主机单位有效功率所需动力装置的质量

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

式中 G_e 为动力装置的总质量(包括主机、辅机、管路、轴系、电站及锅炉等),kg。

动力装置质量有三个不同的内涵,即动力装置干重(代表所有的机器、设备和管系的质量,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质量,但不包括消耗品存储量)和总重(包括上述全部质量)。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)主机的相对质量 g_x ,即动力装置质量 G_z 与船舶满载排水量 Δ 之比,即

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

式中 Δ 为船舶满载排水量,t。

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

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

对于装置本身而言,其单位质量愈小(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质量对船舶整体的影响,往往还要考虑相对质量,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所分配的主要有效功率,用公式表示为

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

式中 S 为机舱所占的面积, m^2 。



2. 容积饱和度 K_v

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

式中 V 为机舱所占的容积, 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

主机燃料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

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

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

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

式中 B_e 为主机、辅机、锅炉每小时燃料总耗量, $B_e = B_z + B_f + B_g$, kg/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

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

而

$$P_e = P_b \cdot \eta_s \cdot \eta_0 \cdot \eta_r \cdot \eta_h \quad (1-16)$$

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 1 n mail, 装置所消耗的燃料量, 即



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

或

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

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

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

因为

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

所以

$$b_{nz} = \frac{b_z \cdot \Delta^{\frac{3}{2}} \cdot V_s^2}{V_{C_2}} = \frac{\Delta^{\frac{3}{2}}}{C_2} \cdot b_z \cdot V_s^2$$

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 1-6 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。图为 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。

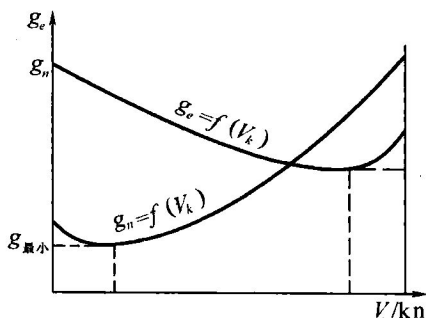


图 1-6 b_z 和 b_n 随 v_n 变化的特性线

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 , 其计算公式为

$$n_1 = \frac{\lg \frac{A}{A - iP}}{\lg(1 + i)} \quad (1-19)$$

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的,常以主、辅机修理间隔作为衡量依据,故要求其主要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,有关辅助及其系统,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 $2 \sim 10$ min。一般此时间短些为好。

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 $8 \sim 10$ °C 时,能迅速而可靠地启动。从冷态启动到全负荷状态下运行,应不超过 10 min。应急情况下应不超过 $3 \sim 4$ min。为改善主机的灵敏性,往往采用预热滑油的方法来降低零件的热应力,减少启动时的摩擦阻力。

实现迅速而可靠地倒车,保证船舶安全航行,对动力装置也是十分重要的。由于传动方式的不同,倒车所需时间也是有差别的。选型时参考数据:直接传动所需时间为 $8 \sim 10$ s,间接传动所需时间为 $3 \sim 8$ s,调距桨传动所需时间为 $2 \sim 5$ s。

为了保证船舶低速航行,要求发动机应在最低转速下,能较长时间可靠而经济地运行。一般发动机的最低稳定转速是全速的 $0.3 \sim 0.4$ 。要求柴油机的停车时间约为 $2 \sim 5$ min,在紧急情况下应缩短时间。

(三)振动和噪声的控制

轴系的扭振应力不得超过许用的范围,否则将导致断轴和使柴油机的正常工作遭到破坏,故对它必须进行控制或回避,一般可以从结构设计或加装弹性联轴器等方式入手,使其扭振的附加应力不超过规范所规定的范围,一旦扭振许用应力超过正常值时,则应在其共振转速时附近设“转速禁区”,在此禁区内,发动机不应持续运转,且应避开禁区转速范围。具体要求可参考有关规范的规定。

动力装置的强烈噪声,严重影响到轮机人员的健康,如损伤听力或诱发其他疾病。为此船舶噪声标准中,对机舱区的噪声作出如下规定:无控制室机舱主机操纵为 90 dB,无人机舱或有控制室机舱为 110 dB,机舱控制室为 75 dB,工作间为 85 dB。

(四)主机遥控和机舱自动化

主机遥控和机舱自动化是改善船员劳动条件和提高船舶生产能力的重要措施,也是衡量一艘船舶现代化程度的标志,在设计和选型时也应给予注意。

(五)动力性和配合性能

动力性和配合性能是指柴油机动力的发挥和利用情况及螺旋桨的配合性能。一般应使柴油机的功率得到充分发挥,并与所驱动的螺旋桨匹配得当,既不能供大于求,也不能求大于供。顶推船和拖船作业时要有足够的推力或牵引力;而在自航时却要有较高的航速。