

船舶与海洋工程专业规划教材

船舶动力系统

徐筱欣 编著

上海交通大学出版社

前 言

本书是根据船舶与海洋工程专业“船舶动力系统”课程的教学大纲,结合编者多年的教学经验编写而成的。

本书编写中力求在内容上与教学改革相适应、与现代船舶动力装置技术发展相适应;在体系安排和阐述中着重于精选内容、拓宽知识面并注重能力的培养。全书共分8章。第1章为船舶动力系统概述,主要介绍动力系统的组成、类型及评价指标等;第2章为船舶柴油机,主要介绍柴油机的结构原理和技术指标,工作特性及与螺旋桨的配合,船舶主机选型要点等;第3章介绍船舶蒸汽轮机动力装置的特点和组成,锅炉工作原理等;第4章为船舶燃气轮机的基本组成、原理和性能;第5章介绍船舶电力推进系统的组成、原理、特性及其与螺旋桨的配合等;第6章介绍船舶电站系统,配电装置,电站负荷计算与功率配置等;第7章主要介绍船舶推进轴系与传动设备的结构原理及特性等;第8章介绍船舶动力系统自动化的相关知识。

限于编者的水平,对书中的缺点、错误恳请读者批评指正。

徐筱欣

2007年1月

主要符号说明

A ——流通面积(m^2)	K_l ——机舱相对长度(m)
A_Σ ——机舱总占有面积(m^2)	K_A ——机舱面积饱和度(kW/m^2)
B ——动力装置每小时燃料消耗量(kg/h)	K_V ——机舱容积饱和度(kW/m^3)
D ——排水量(t)	k_Q ——调差系数
D_j ——螺旋桨直径	K_Q ——桨的转矩系数
D_z ——蒸汽产量(kg/h)	K_T ——桨的推力系数
d_e ——耗汽率	L_Σ ——机舱总长度(m)
D_L ——蒸汽的质量流量(kg/s)	L_{wL} ——船舶水线长(m)
EM ——主机能力贮备的百分比数	M_{eH} ——标定转矩($\text{kN} \cdot \text{m}$)
E_g ——发电机电势	M_e ——额定转矩($\text{kN} \cdot \text{m}$)
E_s ——定子绕组的电势(V)	M_{dz} ——堵转转矩($\text{kN} \cdot \text{m}$)
E_r ——转子绕组感生的电势(V)	M_m ——电动机转矩($\text{kN} \cdot \text{m}$)
E'_r ——转子绕组中感生的电势	M_T ——摩擦离合器传递扭矩($\text{kN} \cdot \text{m}$)
e ——被控参数偏差	n ——转速(r/min)
F ——力(N)	P_e ——主机额定功率(kW)
f ——频率(Hz)	P_i ——指示功率(kW)
G' ——装置相对质量(kg/t)	P' ——相对功率(kW/t)
g_e ——燃料消耗率	p_i ——平均指示压力(N/m^2)
g_m ——每海里航程的燃料消耗量	p_e ——平均有效压力(MPa)
g_c ——单位功率质量(kg/kW)	p_m ——推进电动机极对数
G_K ——锅炉的总质量	p_g ——主发电机极对数
g_i ——指示耗油率($\text{kg}/\text{kW} \cdot \text{h}$)	p ——极对数
H_u ——燃料的低发热值(kJ/kg)	ρ ——水的密度(kg/m^3)
H_1 ——过热蒸汽热焓(kJ/kg)	Q ——单位时间供给柴油机的燃油总热量
h_2 ——锅炉给水的热焓(kJ/kg)	Q_e ——有效功率的当量热量
δh_b ——动叶损失(kJ/kg)	q_H ——受热面热负荷
δh_c ——余速损失(kJ/kg)	Q_{PH} ——燃料的低发热值(kJ/kg)
δh_n ——喷嘴损失(kJ/kg)	R ——电阻(Ω)
δh_x ——湿汽损失(kJ/kg)	S ——距离(m)
δh_p ——级内漏汽损失(kJ/kg)	S_H ——活塞行程(m)
ΔH_t ——理想焓降(kJ/kg)	SM ——海况贮备功率的百分比数
i ——传动比	SFC ——比燃料消耗
I_{dz} ——发电机的堵转电流(A)	T_r ——排气温度($^\circ\text{C}$)
I ——电流(A)	T_v ——废气涡轮的进口温度($^\circ\text{C}$)

T_n ——废气涡轮的出口温度($^{\circ}\text{C}$)

τ ——剪应力(MPa)

U_o ——发电机的空载电压

ΔU_s ——静态电压调率

U_s ——发电机电压的静态最大(最小)值(V)

U_n ——发电机额定电压(V)

v_1 ——蒸汽实际流速

v_{1t} ——理想流速

v_s ——船航速(k Ω)

V_{Σ} ——机舱总占有容积(m^3)

V ——气缸容积(m^3)

W_i ——指示功(kW)

ψ ——叶片的速度系数

W_s ——定子绕组的匝数

W_r ——转子绕组的匝数

y ——蒸发率

z ——齿轮齿数

α ——过量空气系数

β ——转子叶片角

η_e ——有效热效率

η_m ——机械效率

η_i ——指示效率

η_o ——螺旋桨的敞水效率

λ_p ——进程比

φ ——喷嘴的速度系数

γ_o ——空气在标准状态下的密度

Φ ——磁通

σ_s ——材料屈服极限(MPa)

σ_H ——合成应力(MPa)

μ ——摩擦副的摩擦系数

目 录

主要符号说明

第 1 章 绪论	1
1.1 船舶动力装置的任务及组成	1
1.2 船舶动力系统的评价指标	2
1.3 船舶动力系统的基本类型和特点	4
1.4 船舶动力系统的设计思路	10
第 2 章 船舶柴油机	12
2.1 活塞—连杆机构的工作原理	12
2.2 四冲程柴油机工作原理	13
2.3 二冲程柴油机工作原理	16
2.4 柴油机的功率与效率	17
2.5 柴油机的增压	19
2.6 柴油机的型号与结构实例	21
2.7 柴油机的操纵系统	22
2.8 柴油机特性	27
2.9 机-桨-船工况配合特性	30
2.10 配合点选定时的几个问题	33
第 3 章 船舶蒸汽轮机	38
3.1 船舶蒸汽轮机动力装置的特点和组成	38
3.2 锅炉工作原理	39
3.3 汽轮机工作原理及性能参数	44
3.4 汽轮机工作特性及其与螺旋桨的配合	55
第 4 章 船舶燃气轮机	57
4.1 船舶燃气轮机动力装置的组成	57
4.2 燃气轮机装置	60
4.3 燃气轮机工作特性	69
第 5 章 船舶电力推进系统	76
5.1 船舶电力推进系统概述	76

5.2	直流电力推进系统	82
5.3	交流电力推进系统	91
5.4	电力推进系统与螺旋桨特性配合	96
第6章	船舶电站	103
6.1	船舶电力系统概述	103
6.2	船舶配电装置	105
6.3	船舶电网和电缆	110
6.4	船舶电力系统自动调压及并联运行	114
第7章	船舶推进轴系及传动设备	127
7.1	推进装置型式及其特点	127
7.2	船舶推进轴系	133
7.3	船舶后传动设备	142
第8章	船舶动力系统自动化	154
8.1	船舶动力系统自动化概述	154
8.2	常用控制元件	159
8.3	柴油机调速器	173
8.4	动力系统自动控制	176
8.5	动力辅助系统的自动控制	197

第 1 章 绪论

1.1 船舶动力装置的任务及组成

船舶动力装置的主要任务是保证船舶的正常航行、停泊、作业以及船员、旅客正常工作、生活与安全。动力装置是为完成上述任务而需要的全部机械设备和系统的综合体,它是船舶最重要的组成部分之一。根据动力装置中能量的形式和工作特点,船舶动力装置可划分为以下几部分。

1.1.1 主推进装置

主推进装置为船舶正常航行提供所需的推进动力,它包括从主机到螺旋桨的一整套机械设备和相应系统,其中:

① 主发动机,简称主机,包括为其服务的辅助设备和系统。主机为船舶正常航行提供推进功率,其类型有柴油机、蒸汽轮机、燃气轮机等。

② 传动设备和轴系,它将主机的功率传递给推进器,并实现某种功能,如减速、离合等,包括减速箱、离合器、弹性联轴器、传动轴、轴承、尾管装置以及为以上设备服务的系统。

③ 推进器,将主机扭矩转化为推进力,主要有螺旋桨、明轮、喷水推进器等型式。

1.1.2 辅助装置

为船舶提供电能、热能和冷能等除推进动力以外的各种能量,以及输送、贮存这些能量所需的各种设备和系统:

① 船舶电站,供应全船所需电能,包括各种形式的发电机组、蓄电池、配电箱及相应系统和设备。

② 辅助锅炉及蒸汽系统,供应全船加热、取暖所需热能,包括辅助锅炉或余热锅炉和蒸汽系统以及相应系统和设备。

③ 制冷装置和空调系统,包括制冷机组、冷冻冷藏柜(箱)以及空气调节装置和系统等。

1.1.3 全船系统

保证船舶生命力和安全以及船员、旅客正常生活的所需要设备和系统。包括防水、灭火、防爆、防损等系统和设备以及生活方面的供水、卫生等系统。

1.1.4 机舱自动化系统

该系统的功能是实现动力装置远距离检测、操纵和控制,以改善船员工作条件、提高效率等。包括自动监测与调节系统、自动操纵和控制系统。

1.1.5 船舶甲板机械

保证船舶航行、锚泊和装卸货物所需的机械设备。包括:舵设备及系统、锚泊机械、起重机械设备等。

以上主要是根据各机械设备的功能模块划分的,实际上它们之间是相互联系、相互作用、相互影响的。整个动力装置是相当复杂的一个机械设备系统的综合体。其中主推进装置是最重要的组成部分,它影响到整个船舶动力装置的性能,其工作的好坏又影响到船舶的正常航行和安全。

1.2 船舶动力系统的评价指标

各种船舶的动力装置虽有类型、传动方式等不同,但对基本特性却有着共同的要求,而且动力装置的性能直接影响了船舶的性能。如排水量、航速、续航力、机动性、经济性、抗损性和不沉性等。动力装置基本特性指标包括:技术指标、经济指标和性能指标。这些指标是评判动力装置方案选择、设计、性能好坏或优劣的重要依据。

1.2.1 技术指标

技术指标是动力装置技术装备的总指标,包括:功率指标、质量指标和尺寸指标。

(1) 功率指标

为了保证船舶有一定的航速,就要求动力装置有合适的功率。动力装置的功率是按船舶最大航速来确定的,其评判指标常以相对功率表示,定义为:

$$P' = \frac{P_e}{D} \quad (\text{kW/t}) \quad (1-1)$$

式中: P' ——相对功率(kW/t); P_e ——主机额定功率(kW); D ——排水量(t)。

即使排水量相同,不同的船舶由于其性质、用途的不同,相对功率有很大差别,如导弹快艇可达40~100kW/t,而货船仅0.2~1kW/t。

(2) 质量指标

绝对质量指标有:干重 G_y 、湿重 G'_y 和总重 G''_y 。干重 G_y 指所有机器、器具和管系的质量,不包括内部的工质和消耗物品及其贮存量(油水等);湿重 G'_y 包括干重和机器、器具、管系内部装满的工质和消耗物品,但不包括消耗物品的贮存量;总重 G''_y 是湿重 G'_y 和消耗物品的贮存量之和。

装置单位功率质量定义为:

$$g_c = \frac{G'_y}{P_e} \quad (\text{kg/kW}) \quad (1-2)$$

各类船舶的质量指标相差很大,如驱逐舰的 g_c 为10~15 kg/kW,而客货轮达70~150kg/kW。

装置相对质量定义为:

$$G' = \frac{G'_y}{D} \quad (\text{kg/t}) \quad (1-2)'$$

该指标是相对于船舶排水量而言,在一定的排水量下,应要求动力装置的质量小一些。

(3) 尺寸指标

动力装置的绝大部分机械设备和系统都集中在机舱,所以机舱的尺寸大小就代表了动力装置的尺寸指标。

机舱的绝对尺寸指标有:机舱总长度 L_{Σ} (m),机舱总占有面积 A_{Σ} (m^2),机舱总占有容积 V_{Σ} (m^3);

相对尺寸指标有:机舱相对长度 $k_l = L_{\Sigma}/L_{wL}$, L_{wL} 为船舶水线长;机舱面积饱和度 $k_F = P_e/A_{\Sigma}$ (kW/m^2);机舱容积饱和度 $k_V = P_e/V_{\Sigma}$ (kW/m^3)。

各类船舶的尺寸指标差距很大,如以面积饱和度为例,导弹快艇高达 $400 \text{ kW}/\text{m}^2$,而客货船仅 $15 \sim 40 \text{ kW}/\text{m}^2$ 。

1.2.2 经济指标

经济指标反映动力装置的热能转换率,包括燃料消耗率、装置总热效率、每海里航程燃料耗量等指标。

(1) 动力装置燃料消耗率 g_e 。

$$g_e = \frac{G}{P_e} \quad (\text{kg}/\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (1-3)$$

式中: G ——动力装置每小时的燃料消耗量,包括主机、辅机和辅助燃油锅炉等全船所有热能设备的燃料消耗量(kg/h); P_e ——主机额定功率(kW)。

(2) 动力装置有效热效率 η_e 。

这是指每小时内相当于主机有效功率的热量与同样时间内燃料所释放的总热量之比,即

$$\eta_e = \frac{3600P_e}{GH_u} \quad (1-4)$$

式中: P_e 为主机功率(kW); G 为整个装置的燃料消耗量(kg/h); H_u 为燃料的低发热值,约为 $4.18 \text{ kJ}/\text{kg}$ 。

(3) 每海里航程的燃料消耗量 g_m 。

即航行 1 海里装置所消耗的燃料量,

$$g_m = \frac{G}{v_s} \quad (\text{kg}/\text{n mile}) \quad (1-5)$$

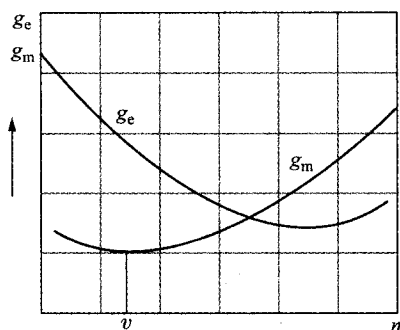
式中: v_s 为船航速; G 为装置的单位时间即每小时燃料消耗量。船负荷一定时,主机的有效功率 p_e 与船速 v_s 的三次方成正比,即 $P_e = A v_s^3$,又因为 $g_e = G/P_e$ 。

故

$$g_m = \frac{G}{v_s} = A g_e v_s^2 \quad (1-6)$$

式中: A 为常数。

由式 1-6 可知,每海里燃料消耗量与航速平方成正比,在低速航行时虽然 g_e 会增大,而 g_m 则降低。船舶保持 g_m 为最小时的航速称为经济航速。在不受货期约束时,按经济航速航行可以降低货运成本,如图 1-1 所示。但应注意,这里的经济航速并非是最盈利航速,欲获得船舶的最大盈利航速,还需要考虑船的折旧费、客货的周转量、运输成本及利润等因素。不同的航区和不同的船种将有其相应的最大盈利航速,需要通过调研统计加以分析才能确定。

图 1-1 g_e 和 g_m 随航速变化关系曲线

1.2.3 性能指标

性能指标包括:机动性、可靠性、噪声振动控制性和自动化性能等,是确定动力装置方案的重要依据,也是反映装置设计运行好坏的重要指标。这里仅对前两项作简单说明。

(1) 机动性

机动性能主要是指主推进装置改变工况时的工作性能。

机动性主要包括:从准备、启动到全工况所需时间,称为启航加速机动性;主机从部分负荷到全负荷、部分机组到全部机组投入运行的快速性等称为变工况机动性;紧急倒车机动性等。

(2) 可靠性

动力装置工作持久性即寿命,定义为维持正常工作的期限或指两次大修之间能正常工作的时间。工作可靠性表示在整个服务期限内,在非计划检修时间内能保持正常工作的能力。

1.3 船舶动力系统的基本类型和特点

现代船舶动力装置按其主机型式来分,有柴油机装置、蒸汽轮机装置、燃气轮机装置、联合动力装置和核动力装置。

1.3.1 蒸汽轮机动力装置

蒸汽轮机装置的工作原理是以锅炉产生的蒸汽作为工质推动蒸汽轮机做功,并通过齿轮减速机组传递功率给螺旋桨。这种装置型式也有用来发电的,这就是蒸汽轮机发电装置。蒸汽轮机推进装置的热线图如图 1-2 所示,它由蒸汽锅炉、蒸汽轮机、凝汽器、预热器和泵等组成。

燃料在锅炉 1 的炉膛中燃烧,放出的热量使周围管内的水汽化成为饱和蒸汽,将饱和蒸汽引至过热器 2 中吸热后成为过热蒸汽。此过热蒸汽进入高压汽轮机 4 和低压汽轮机 5,分别膨胀做功,使汽轮机转动并通过齿轮减速箱 10 和轴系驱动螺旋桨 11。作过功的乏汽在凝汽器(或冷凝器)6 中将热量传给冷却水,使乏汽冷凝成水,由凝水泵 7 抽出送至给水预热器 8,经水泵 9 打入锅炉的汽鼓中,从而形成一个工作循环。凝汽器中的冷却水由水泵 12 从舷外抽入,吸热后排出舷外。蒸汽轮机装置的主要特点是:

- ① 单机功率大,目前船用蒸汽轮机功率达到 $25 \times 10^4 \text{ kW}$,陆用机组达到 $60 \times 10^4 \sim 10 \times$

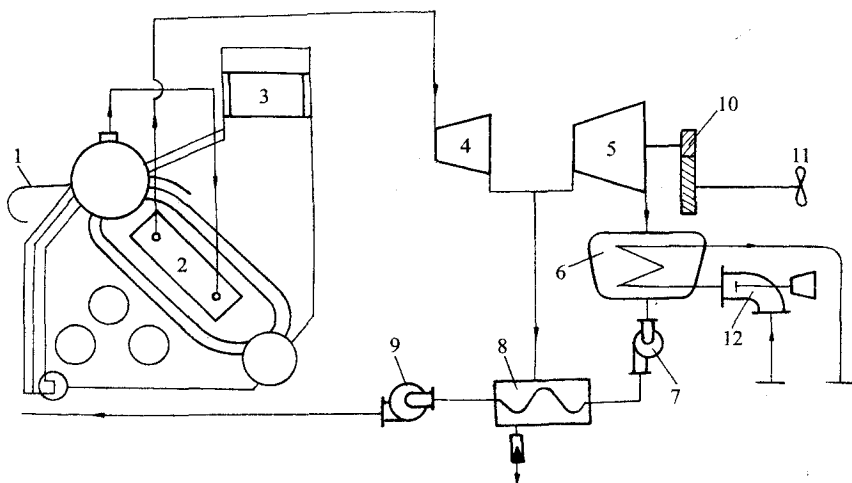


图 1-2 船舶蒸汽动力装置的简单热线图

1—锅炉；2—蒸汽过热器；3—空气预热器；4—高压汽轮机；5—低压汽轮机；6—主冷凝器；7—凝水泵；8—给水预热器；9—给水泵；10—减速齿轮；11—螺旋桨；12—循环水泵

10^5 kW；磨损部件少、工作可靠、寿命长；且由于蒸汽轮机是回转机械，没有往复运动部件，故运转平稳可靠、振动噪声小，寿命可达 1×10^5 h 以上。

② 可使用劣质燃料。但总体来说，热效率较低、油耗高、热经济性低，在全速时要比柴油机装置的油耗高 1.5~2 倍，部分工况时要高 2.5~3 倍。

③ 设备多，整个装置质量尺寸大。

④ 机动性较差。锅炉从生火到产生蒸汽大约要 30~35 min，一般要比柴油机装置启动时间长 2~3 倍。

1.3.2 燃气轮机动力装置

船舶用燃气轮机大多由航空型发展而来，其历史只有四五十年。机组包括高、低压气机，高、低压燃气透平，燃烧室，中间冷却器，回热器等，如图 1-3 所示。它的基本工作原理与汽轮机大致相似，只是做功的工质及其生产过程有所不同。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。

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转动的机械功。

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 $100 \sim 200^\circ\text{C}$ 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，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

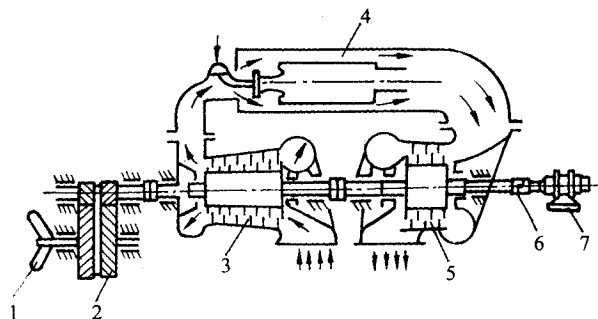


图 1-3 燃气轮机装置示意图

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—起动电动机

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。

燃气轮机通过多级减速齿轮机组传递功率给螺旋桨以推进船舶。这是近年来发展很快、较新的动力装置,它能满足近代船舶对动力装置提出的高速、高机动性和极低单位质量之战术技术要求。

燃气轮机装置优点:

① 机组的质量尺寸指标小。加速燃气轮机装置单位功率的质量可达 $0.65 \sim 1.3 \text{ kg/kW}$,全工况用燃气机装置为 $2 \sim 4 \text{ kg/kW}$,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只需 $3 \sim 5 \text{ min}$ 。

③ 燃料消耗率比柴油机高,一般为 $0.2 \sim 0.39 \text{ kg/(kW} \cdot \text{h)}$,低负荷时经济性的恶化比蒸汽轮机影响为小。

燃气轮机装置目前尚有下列缺点:

① 主机没有反转性能,必须设置专门的倒车设备。

② 必须借助于启动电动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 $500 \sim 10^3 \text{ h}$ 。

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 $5 \text{ kg/(kW} \cdot \text{h)}$),因而进、排气管道尺寸庞大,布置困难。

1.3.3 柴油机动力装置

柴油机是船舶应用最为广泛的主机型式。多年来在每年完成的全世界造船总数中,柴油机船均占总数的 98% 以上,装船功率占造船总功率的 90% 以上。柴油机装置的优点是:

① 较高的经济性,一是油耗低,即使是高速机也比蒸汽轮机和燃气轮机低;二是中、低速机可燃烧劣质燃料。

② 中高速机组质量轻、辅助设备少。

③ 良好的机动性,操作简单,倒车方便。

主机从冷态启动到全负荷一般在 10 min 以内;柴油机装置的缺点是:

① 单机功率较小,目前中速机为 $2 \times 10^4 \text{ kW}$ 左右,高速机仅 $8 \times 10^3 \text{ kW}$ 左右,限制了它在大中型水面船舶上的使用。

② 振动噪声大。

③ 中高速机的寿命较低。

④ 低速时稳定性较差。

1.3.4 联合动力装置

对大中型舰艇,在增大功率的同时希望减少装置所占排水量、提高续航力,而在全航速时所要求主机的全功率在舰艇总航行时间中仅占 2% 左右,却要占去相当一部分排水量;而所需功率仅为全功率 1/4 左右的巡航工况其巡航时间要占总航行时间的 80% 以上,要求有良好的经济性和高的续航力。为了解决全航速时的大功率和巡航时的经济性高续航能力这一突出矛盾,国外从上世纪 50 年代开始发展了联合动力装置,它基本上解决了上述难题,一般可降低装置质量 20%、续航力提高 25%。联合动力装置目前有三种方式,即蒸汽轮机+加速燃气轮机联合(COSOG 或 COSAG);柴油机装置+加速燃气轮机(CODOG 或 CODAG);全燃气轮机装置即 COGAG 或 COGOG。

三种联合动力装置特点是:

(1) 汽轮机动力装置带燃气轮机加速装置

由于汽轮机装置的一系列优点,与燃气轮机装置联合后,适用于功率较大的轻型舰艇,蒸汽轮机装置能保证 80% 全速以下航行所需的功率(即全功率的 50% 左右),以使经济性即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轮机装置

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;后者在巡航时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装置

柴油机做巡航机时,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。这类装置常被小型船舶使用。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 质量尺寸小,同样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 无论何种形式必须配置使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,小齿轮数量多,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。

表 1-1 反映了商船各类推进装置性能参数及优缺点。

表 1-1 商船的各类推进装置性能参数

发动机种类		优缺点分析					
		经济性 /kg·(kW·h) ⁻¹	可靠性 /h	机动性 /min	噪声振动	单位功率质量 /(kg·kW ⁻¹)	功率范围 /kW
柴油机装置	低速	0.160~0.176	寿命 6×10 ⁴	倒车 10, 加速 10	噪声低, 振动较大	单重 20~30	6×10 ⁴ 以下, (使用最多 1.2~2.0×10 ⁴)
	中速	0.166~0.190	1.2×10 ⁴	倒车 5, 加速 5~10	噪声较高, 振动较大	单重 6~10	2×10 ⁴ 以下
	高速	0.200~0.245	5×10 ³	倒车 2, 加速 3	噪声在 95dB 以上, 振动大	1.5~2	8×10 ³ 以下
蒸汽轮机装置		0.245~0.470 油质要求最低	1.0×10 ⁵	倒车 15~30, 加速 15	噪声振动都小	单重 12~16	2.0×10 ⁴ ~7.5×10 ⁴
燃气轮机装置		0.270~0.470 油质要求特殊	5×10 ³ ~1×10 ⁴	离合器倒车 1~2; 加速 0.5~1	噪声振动较小	单重 0.65~4	0.8×10 ⁴ ~6×10 ⁴

1.3.5 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 为压力水堆和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,存放核燃料如浓缩铀,控制箱 3 可控制核裂变速度及释放出的能量,使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,压力水由冷却剂循环泵供给,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 4,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。由蒸汽发生器产生的蒸汽,一路进入高压汽轮机 6 和低压汽轮机 7 膨胀作功,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 膨胀作功,驱动发电机向全船供电。做过功的乏汽分别经主冷凝器 9 和辅冷凝器 10 凝结成水,冷凝水由主给水泵 11 送入蒸汽发生器 5,完成又一个工作循环,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。

核动力装置的特点:

① 核动力装置以极少量的燃料而释放出巨大的能量,足以保证船舶以较高的航速航行极远的距离,如 1.1×10⁴ kW 核动力装置,工作一昼夜仅消耗核燃料 15~18g。

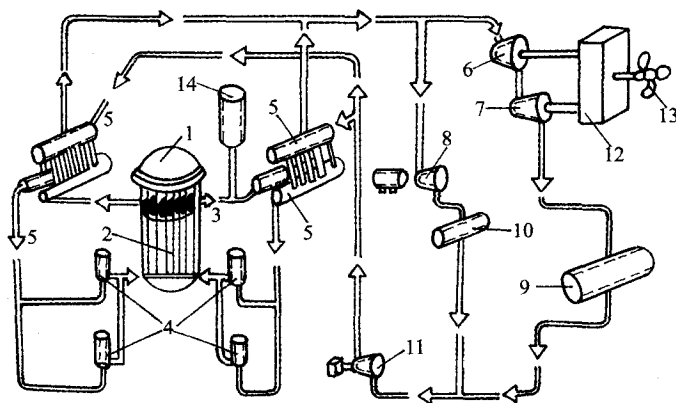


图 1-4 压力水堆和动力装置的结构和工作原理图

② 核动力装置在限定舱室空间所能供给的能量,比一般其他形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,完全满足大功率主机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,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: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,减少了甲板开口,从而在核战争中减少吸入放射性杂质的危险性,易于核防御,而且能减少被敌人观察器材和热反应器材发现及避免红外线自导武器命中的危险。

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,还污染环境。另外,为避免核动力船可能遭遇碰撞、触礁、冲击、着火爆破等意外灾害时,不致污染海洋,除核反应堆容器必须加数层围阻屏蔽系统,以阻止及截留放射性物质逃逸反应堆外,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 $5 \times 10^4 \text{ t}$ 以上的核动力舰艇的单位功率质量达 $34 \sim 37 \text{ kg/kW}$,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,用以装卸燃料和排出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(锆合金、铍合金、硼钢、奥氏体钢等)。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),要比一般动力装置潜艇在同一时间内所需普通燃料的费用高 10 倍左右。

目前,核动力装置主要用在军用潜艇或破冰船上,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,在民用船舶中占有主导地位,故本书着重研究船舶柴油机动力装置的有关内容。

1.4 船舶动力系统的设计思路

1.4.1 动力装置的设计要求

对船舶动力装置一般有以下要求:

(1) 机电设备安全可靠

动力装置是船舶的“心脏”,是船舶所有能量的来源。如果其机电设备发生故障,船舶将失去活动能力、作业能力,并严重影响船员、旅客的工作、生活及船舶的安全,所以动力装置的安全可靠是极为重要的。对主推进装置来说,要求能长期而安全地运行,如客轮、舰艇多设双机双桨。有些重要的设备如发电机组、除一台或两台投入工作,尚需配置备用机组、应急机组。对船舶机电设备必须符合有关安全规定,经过严格的质量检查。

(2) 提高船舶动力装置的经济性

对民用运输船舶而言,其经济性就是运量越多、消耗越少,经济性就越高;对舰艇而言,就是降低燃料消耗和增加续航力,因此无论在设计、建造和运行管理上都要着眼于提高动力装置的经济效益。一般从以下几方面加以考虑:

① 降低燃料消耗。动力装置的燃料费用,一般占运行开支的 30%~40%,有的可能更高,故降低燃料消耗对提高经济效益有明显的重要意义。

在动力装置方面,采用热效率较高的主机和高效率的推进装置,可降低耗油率。此外可使用价格低廉的劣质燃料。

② 废热利用。主机排气及冷却水所携带的热量约占燃料总热量的二分之一。所谓废热利用就是充分利用这部分热量。

1.4.2 动力装置的设计内容与设计步骤

动力装置设计内容包括四个方面,即主推进装置设计、辅助供能装置设计、管路系统设计和机舱布置总体设计。如前所述,在功能上动力装置是各个方面相互影响、相互制约的综合体,在设计过程中,同样是一个非常复杂的系统工程问题,因此必须用系统的观点和方法来研究和设计动力装置,即必须树立全局和综合的观点、相关的观点和最优的观点。

船舶动力装置的设计步骤分成四个阶段,即投标设计、初步设计、详细设计与生产设计。

(1) 投标设计

在该阶段,设计部门对用船单位(船主)提出的技术任务及营运要求进行详细分析研究,并作技术上的检验校核。经过方案可行性论证,初步确定船舶动力装置主、辅机、设备造型以及机舱大体布置,并编制主要动力装置说明书、机舱布置图与主要设备清单。同时还应提供各主要设备供应厂商表,估算船舶动力装置总成本,再按当时市场情况、贷款利率和付款方式定出价格,提交用船单位(船主)。用船单位接到这些材料后,若认为满意,则与设计部门进行技术与商务谈判,进一步明确整个船舶动力装置技术细则,然后以详细说明书的形式确定下来,并签订合同。多数情况下是经过初步设计阶段后才签订合同的。

(2) 初步设计

在初步设计阶段,必须对船舶动力装置的形式及设备予以确定,同时应编制详细的轮机

(船舶动力装置)说明书、设备订购清单,并进一步计算材料设备费、人工费等。为此必须绘制机舱布置图、各主要管系统原理简图,并进行机舱设备质量质心估算。在此阶段,用船单位与设计部门应经常切磋,有些项目与内容可能要做些修改,也可能要重新调整价格等,最后都必须在达成协议后以谈判记录形式确定下来。

(3) 详细设计

详细设计又称技术设计,是对报价设计及初步设计确定下来的方案进行详细的设计计算。如对各主、辅设备和管系进行详尽的设计计算,从而提供为生产设计所用的各种文件,如设计计算书,详细的船舶动力装置(轮机)说明书、机舱布置图(图纸尺寸全,内容也更详尽)、轴系布置图、管系布置原理图、机械设备一览表,甚至包括备件等。详细设计中所编制的说明书目前一般都十分详尽,有时长达上百页。此时根据该说明书及所绘制的图纸,估价人员可对材料设备费与人工费进行精确的计算,从而获得较为准确的船舶动力装置总成本费。

(4) 生产设计

生产设计是指船舶动力装置制造与安装过程中所需的设计图纸绘制,以及工艺说明书等技术资料的编制过程。生产设计图纸一般要比详细设计的图纸更具体,更符合生产要求,使生产时能按这些图纸资料所表示的尺寸、形状及工艺要求准确地进行放样、制造与安装。如绘制零件图、放样图及安装施工图等,同时亦要求制定动力装置试验大纲。

总之,上述各设计阶段的设计项目大体相同,但详尽与准确程度则一步步提高。全部设计过程是一个螺旋展开与上升的过程。

随着船舶动力装置生产的单元组装化、标准化及船舶生产的预舾装化,详细设计与生产设计之间逐渐相互结合相互渗透起来,因此有的设计部门已将这两个设计阶段结合在一起进行,进一步提高了设计效率。