

船舶与海洋工程专业规划教材

# 船舶动力装置

徐筱欣 主编

上海交通大学出版社

# 船舶动力装置

徐筱欣 主编

上海交通大学出版社

---

## 内 容 提 要

本教材着重阐述船舶动力装置的基本组成与工作原理、基本理论和基本性能。全书共分7章。第1章为总论;第2、3章介绍动力装置的组成与结构原理;第4、5章分析动力系统的配合特性、经济性问题;第6章研究动力装置的振动和噪声性能;第7章介绍动力装置设计的综合评估方法。

本书是船舶工程和热能动力机械专业动力装置及自动化方向的专业教材,也可作为相近专业的大学、专科学生的专业或参考教材,并可供船舶工程专业的设计、研究人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

船舶动力装置 / 徐筱欣主编. — 上海: 上海交通大学出版社, 2007

ISBN 978-7-313-04662-8

I. 船… II. 徐… III. 船舶-动力装置-高等学校-教材 IV. U664.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第000752号

船舶动力装置

徐筱欣 主编

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路877号 邮政编码200030)

电话:64071208 出版人:韩建民

常熟市文化印刷有限公司印刷 全国新华书店经销

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:14.75 字数:361千字

2007年4月第1版 2007年4月第1次印刷

印数:1-3 050

ISBN978-7-313-04662-8/U·139 定价:29.00元

---

版权所有 侵权必究

## 前 言

本书是根据上海交通大学 985 课程建设制定的“船舶动力装置”课程新教学大纲而编写的,并在 1996 年出版的“船舶动力装置”教材以及作者多年的教学实践基础上修改、补充而重新编写完成。

中国正在向世界造船强国发展,动力装置作为船舶最重要的组成和最重要的工程系统之一,迫切需要一大批从事动力装置设计开发、研究制造的优秀人才。本教材的编写并出版主要是适应了上海交通大学教学体制改革,在“船舶与海洋工程”的大平台上培养船舶动力装置方面的专业人才。

全书分 7 章。着重阐述船舶动力装置的基本组成与工作原理、基本理论和基本性能。第 1 章主要介绍船舶动力装置的基本概念、类型及特点和技术性能指标;第 2、3 章阐述主推进系统、辅助机械与管路系统的组成、结构原理和性能;第 4、5 章研究动力系统配合特性、动力装置经济性及主机优选方法;第 6 章着重讨论推进轴系扭转振动和动力装置噪声性能问题;第 7 章介绍了一种动力工程系统设计方案的综合评判原理。

本书运用了杨承参、施润华编写的“船舶动力装置”教材中的部分章节内容。全书由张维竞教授审查。

船舶动力装置是综合性很强的学科,随着技术的进步还在不断的发展中,更由于编者才识有限,本教材的内容组织、分析论述方面肯定存在错误和不足之处,恳请广大读者批评指正。

## 主要符号表

$A$ ——功,系数,螺旋桨桨叶面积,角位移幅值	$F_z$ ——机舱占用面积( $m^2$ )
$A_d$ ——螺旋桨盘面积	$G_y$ ——动力装置干重(kg)
$A$ ——权重集	$G'_y$ ——动力装置湿重(kg)
$a_{ij}$ ——(轴系校中)负荷影响系数	$G''_y$ ——动力装置总重(kg)
$B$ ——动力装置单位时间燃料消耗量(kg/h)	$g_y$ ——动力装置相对于船舶排水量的质量(kg/t)
$B_z$ ——主机单位时间燃料消耗质量(kg/h)	$H$ ——螺距(m)
$B_f$ ——柴油机发电机组单位时间燃料消耗质量(kg/h)	$H/D$ ——螺距比
$B_g$ ——辅助燃油锅炉单位时间燃料消耗质量(kg/h)	$h$ ——螺旋桨旋转一周轴向实际进程(m/r)
$B_p$ ——螺旋桨功率系数	$H_1$ ——焓值
$B$ ——方案集上的模糊子集	$I$ ——转动惯量,截面惯性矩
$b_{ij}$ ——(轴系校中)弯矩影响系数	$i$ ——惯性半径、饱和蒸汽热熔、传动速比
$b_{Lmin}$ ——单位质量燃料燃烧所需的最小空气量(kg/kg)	$K$ ——扭矩储备系数、总传热系数、刚度、机舱相对长度、常数
$b_m$ ——动力装置单位时间单位功率燃料消耗量(kg/kW·h)	$K_T$ ——桨的推力系数
$b_v$ ——动力装置每海里燃料消耗量(kg/kn)	$K_M$ ——桨的转矩系数
$b'_g$ ——燃油辅助锅炉对于主机燃料消耗量的相对值	$K_F$ ——机舱面积饱和度(kW/ $m^2$ )
$b'_t$ ——柴油机发电机组对于主机燃料消耗量的相对值	$K_V$ ——机舱容积饱和度(kW/ $m^3$ )
$C$ ——轴径估算公式中系数;阻尼系数	$L$ ——轴承间距(m)
$c_p$ ——比热容	$K_z$ ——机舱总长度(m)
$D$ ——船舶排水量(t);螺旋桨直径;蒸汽产量(t/h)	$M$ ——扭矩、力矩、弯矩
$d$ ——蒸汽机械单位时间单位功率耗汽量(kg/kW·h)	$M_\gamma$ —— $\gamma$ 次简谐力矩幅值
$d$ ——推进轴基本轴径	$m$ ——质量(kg)、放大系数、中空轴空心度
$E$ ——材料弹性模量;总能量;无因次轴段柔度	$n$ ——转速(r/min)
$e$ ——轴际柔度;偏心距	$P$ ——功率
$F$ ——力(N)、面积( $m^2, mm^2$ )	$P_e$ ——发动机有效功率(kW)
	$P_s$ ——轴功率(kW)
	$P_p$ ——螺旋桨收到功率(kW)
	$P_T$ ——螺旋桨推功率(kW)
	$P_r$ ——船舶阻力功率(kW)
	$P_{TX}$ ——废热发电输出总功率(kW)
	$P_{EX}$ ——废热发电发电功率(kW)
	$P_{sc}$ ——废热发电输出机械功率(kW)
	$p$ ——压力(MPa)

$Q$ ——单位时间供给柴油机的燃油总热量	$\beta$ ——轴线偏斜角( $^{\circ}$ )、质量集中系数
$Q_{PH}$ ——燃料的低发热值(kJ/kg)	$\gamma$ ——无因次转动惯量、汽化潜热、干扰力矩谱次
$q$ ——比热量;耦合器无液程度系数	$\lambda_p$ ——进程比
$\Delta Q_A$ ——废气锅炉中废气最大释放热量	$\lambda$ ——导热系数、长度比
$\Delta Q'_A$ ——部分负荷时废气最大释放热量	$\varphi$ ——角位移、扭转角度
$R$ ——半径、阻力	$\psi$ ——均布载荷比、柔性系数、排气最大热量利用率
$R_c$ ——离合器摩擦半径	$\omega$ ——角速度;伴流系数
$r$ ——半径	$\omega_n$ ——自振频率
$\mathbf{R}$ ——评判矩阵	$\mu$ ——摩擦系数、影响因素、耦合器传动效率
$S$ ——液力耦合器转差率;轴承厚度(mm)	$\mu(\chi)$ ——隶属函数
$S_K$ ——惯性力矩	$\eta_e$ ——有效热效率
$T$ ——螺旋桨推力(kN)	$\eta_m$ ——机械效率
$t$ ——推力减额系数	$\eta_i$ ——指示效率
$T_V$ ——废气涡轮的进口温度	$\eta_p$ ——螺旋桨的敞水效率
$T_n$ ——废气涡轮的出口温度	$\eta_s$ ——船身效率
$U$ ——指标集合	$\eta_r$ ——相对旋转效率
$u_i$ ——指标集合元素	$\eta_{ad}$ ——附加效率
$u$ ——弹性力矩	$\epsilon$ ——初相位、应变、滑动摩擦功率、制冷系数
$V$ ——评判方案集,容积( $m^3$ )	$\rho$ ——密度;
$v_i$ ——评判方案集元素	$\Delta$ ——无因次圆频率、形变、间隙
$v_p$ ——桨进速	$\delta$ ——无因次弹性力矩、直径系数
$v_s$ ——船舶设计航速	$\xi$ ——质量比
$V_{\Sigma}$ ——机舱总占有容积( $m^3$ )	$\gamma_0$ ——空气在标准状态下的比重
$W$ ——功	$\sigma_b$ ——抗扭强度下限(MPa)
$W_c$ ——阻尼功	$\sigma_H$ ——合成应力(MPa)
$y$ ——挠度(mm)	$\sigma_S$ ——材料屈服极限(MPa)
$z$ ——摩擦因数、桨叶数、桨数目、循环倍率	$\sigma_w$ ——弯曲应力(MPa)
$\alpha$ ——轴线倾斜角( $^{\circ}$ )、锥角( $^{\circ}$ )、相对功率、相对振幅耦合器尺寸常数	$\sigma_r$ ——扭转应力(MPa)
$\alpha_R$ ——船舶阻力系数	$\sigma_{wl}$ ——附加应力(MPa)
$\alpha_n$ ——过量空气系数	$\sigma_T$ ——推力载荷系数(MPa)
$\tau$ ——材料系数	
$\tau_w$ ——剪应力	

# 目 录

主要符号表	1
第 1 章 总论	1
1.1 船舶动力装置的定义及组成	1
1.2 船舶动力装置性能的评判指标	2
1.3 船舶动力装置的基本类型及特点	6
1.4 船舶动力装置的设计要求及步骤	10
第 2 章 船舶推进系统	12
2.1 船舶推进系统型式及特点	12
2.2 船舶推进轴系组成与布置	18
2.3 船舶轴系主要部件	22
2.4 船舶传动设备原理与结构	30
2.5 船舶推进轴系设计中的几个问题	53
第 3 章 船舶辅助装置与管路系统	66
3.1 船舶供电装置	66
3.2 船舶供热装置	73
3.3 船舶制淡装置	81
3.4 船舶制冷装置与空气调节	85
3.5 船舶环保设备	95
3.6 船舶动力装置的管路系统	100
第 4 章 推进系统的动力配合性能	114
4.1 推进系统各部件特性	114
4.2 动力配合特性分析	121
4.3 推进系统动态配合特性分析	131
4.4 喷水推进系统特性分析	137
第 5 章 动力装置经济性与发动机的选型	143
5.1 船舶动力装置经济性指标及提高经济性的途径	143
5.2 动力装置的废热利用	146
5.3 主机选型分析	150

<b>第 6 章 动力装置的振动、噪声控制</b> .....	166
6.1 推进轴系的扭转振动 .....	166
6.2 动力机械隔振 .....	193
6.3 动力装置噪声控制 .....	196
<b>第 7 章 动力装置设计的综合评判</b> .....	206
7.1 模糊综合评判的基本原理 .....	206
7.2 隶属函数与隶属度 .....	209
7.3 指标权重的确定——层次分析法 .....	216
7.4 多层次模糊综合评判 .....	222
<b>主要参考文献</b> .....	227



# 第1章 总论

## 1.1 船舶动力装置的定义及组成

广义上讲,动力装置是利用燃油化学能、核能、自然界水能、风能和地热等能量产生原动力的成套技术装备,由原动机、辅助机械和设备、管路、仪表、监控系统等组成。船舶动力装置的主要任务是为船舶提供所需能量,以保证船舶的正常航行、人员正常生活和安全以及完成各种工程作业并符合环境保护的要求。总之,船舶动力装置是所需能量产生、传递及消耗的全部动力机器、机械设备和系统的有机综合体,是船舶的心脏和动脉。

根据船舶动力装置各组成部分能量的形式和特点,或依它们各自的功能或任务,可以分为以下几个部分。

### 1. 主推进装置

包括主发动机、传动设备、轴系和螺旋桨等保证船舶正常航行的整套设备。

#### 1) 主发动机

主发动机(一般称为主机)将化学能转变为机械功,通过传动设备、轴系、推进器转换为船舶推进动力,是动力装置最核心的设备。主机类型有柴油机、蒸汽轮机、燃气轮机等。

#### 2) 传动设备

传动设备的功能是脱开或接合主发动机传递给传动轴系和推进器的功率,同时可以达到减速、变速、反向和减振的目的。它包括离合器、减速或变速齿轮箱、弹性联轴器等设备。

#### 3) 推进轴系

推进轴系将由传动设备传递的主发动机的功率转传递给螺旋桨。从主机至推进器依次由推力轴、中间轴、艉轴及其支承设备所组成。

#### 4) 推进器

推进器是将轴系传递的主机功率转变为推进动力的设备,主要有定距桨或可调桨装置、喷水推进装置等。

#### 5) 动力设备及管系

为保证主推进装置能正常运行,还需要为主机提供燃料、冷却水和进排气系统等,统称为动力管路系统。

### 2. 辅助机械装置

辅助机械装置是相对于主推进装置而言,它提供除推进功率以外的各种能量以供航行和工作、生活需要,为保证上述各种能量的输送、储存的设备和系统。它主要包括发电装置、供热装置、制冷装置和环保设备等。发电机组供应全船所需的电能,常用的有柴油发电机组、轴带发电机组、废热发电机组等;辅助锅炉装置产生热水和蒸汽,供应全船加热、取暖所需的热能,主要有辅助燃油锅炉、废热锅炉及其系统设备;制冷装置为全船冷冻、冷藏室和有关舱室提供食品、货物环境所需要的温度、湿度。

### 3. 全船管路系统

保证船舶生命力、安全稳定地航行和人员的正常生活需要,如防水、防火、通风、取暖、空调、照明、通信、供水等设备和系统以及环境保护方面的烟气治理、污水处理装置及系统。

### 4. 其他机械及设备

为保证船舶正常航行、停泊和装卸货物的需要,船舶还需要操舵装置、锚装置和装卸设备等,统称为甲板机械,对工程船舶应包括工程作业机械,对军舰来说还有相应的各种武器装备及其系统等。

### 5. 自动监测和控制系统

现代动力装置都有完整的自动监测和控制系统,以改善工作条件、提高生产效率及进行故障预诊断等。主要包括自动监测、自动调节、自动操纵和控制系统及故障诊断、专家系统等。

综上所述,船舶动力装置是一个非常复杂的设备和系统或能量的综合体。但其中原动机及其传动装置是最重要的部分,它直接影响到整个动力装置的基本性能。当然,装置的正常运行还依赖于其他部件和系统的相互配合。动力装置的研究内容极为广泛,本课程着重研究柴油机动力装置的共性问题。

## 1.2 船舶动力装置性能的评判指标

各类船舶用途不同、设计要求不同,动力装置的组成也有所不同,但其主要的性能指标基本是相同的。

船舶动力装置的性能指标一般可以分为三类:

(1) 技术指标。代表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。

(2) 经济指标。代表燃料在动力装置中的热能转换率,包括燃料消耗率、每海里航程燃油耗量及装置热效率、运行和维护经济性等。

(3) 性能指标。代表动力装置在接受命令、执行任务中的服从性、坚固性、对外界条件和工作人员的依赖性,包括机动性、可靠性、制动性、自动化程度以及振动控制性能等指标。

上述三方面指标既有绝对值也有相对值,是标志动力装置基本性能的代表性参数,用来比较不同类型船舶动力装置的特征,也可对同类型动力装置设计方案作出评判比较。

#### 1. 技术指标

##### 1) 功率指标

动力装置的功率与航行速度、阻力、船舶种类等因素有关。图 1.1 是船舶动力装置推进系统的布置图,标明推进系统上各部位功率的称谓,从主机依次到螺旋桨,以及轴系传动效率、螺旋桨敞水效率和船体效应等。各部位功率各称分别为有效功率  $P_e$ 、轴功率  $P_s$ 、螺旋桨功率  $P_p$ 、阻力功率  $P_r$  等;功率指标都以发动机输出的有效功率为标志,另外还常用相对功率指标来表示,即:

$$\alpha = \frac{P_e}{D} \quad (\text{kW/t})$$

式中:  $D$  为总质量即船舶排水量(t)

不同种类的船舶,由于设计速度、形体不同,因而  $\alpha$  的差别也很大。

##### 2) 质量指标

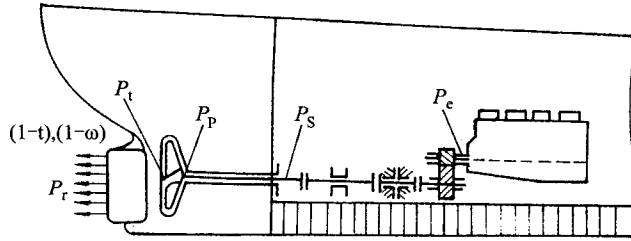


图 1.1 船舶动力装置推进系统

动力装置的质量指标也有绝对指标和相对指标两种。

绝对指标有：干重  $G_y$ ——代表所有机器、器具及管系，不包括其内部工质和消耗物品，如油、水等质量；

湿重  $G'_y$ ——代表所有机器、器具及管系内部装满工质，但仍不包括消耗品的储存质量；

总量  $G''_y$ ——代表湿重加上完成规定续航力所需总的储存质量。

相对指标有：船舶单位排水量的动力装置质量  $g_y = \frac{G'_y}{D}$ ，或者单位功率的动力装置质量

$$\gamma_y = \frac{G'_y}{P_e}$$

$$g_y = \frac{G'_y}{D} = \frac{P_e}{P_e} \cdot \frac{G'_y}{D} = \alpha \gamma_y$$

### 3) 尺寸指标

代表动力装置的机器、设备和所有系统所占用的面积或空间，它也有绝对指标和相对指标两种。

绝对指标有：机舱总长度  $L_\Sigma$ ，占用面积  $F_\Sigma$ ，占用空间  $V_\Sigma$ ；

相对指标有：相对长度  $K = L_\Sigma / L_{WL}$ ，面积饱和度  $K_F = P_e / F_\Sigma$  ( $\text{kW}/\text{m}^2$ )，容积饱和度  $K_V = P_e / V_\Sigma$  ( $\text{kW}/\text{m}^3$ )。由于动力装置的机械设备绝大部分集中在机舱，所以一般以机舱尺寸、机舱空间的尺寸代表动力装置的尺寸指标。机舱的大小应当能够合理布置动力装置，并方便机舱人员管理、维修。

## 2. 经济指标

### 1) 动力装置的燃料消耗率

对船舶来说，单位时间的燃料消耗量除包括发动机的燃料消耗外，还包括辅助锅炉和柴油发电机组所消耗的燃料，即整个动力装置在单位时间所消耗的燃料总质量。

燃油消耗率定义为：

$$b_m = B / P_t,$$

式中： $B = B_z + B_f + B_g$  ( $\text{kg}/\text{kWh}$ )，

$P_t$  为桨的推进功率 ( $\text{kW}$ )；

$B_z$  为主机单位时间燃料消耗量 ( $\text{kg}/\text{h}$ )；

$B_f$  为电站辅机单位时间燃料消耗量 ( $\text{kg}/\text{h}$ )；

$B_g$  为辅助锅炉单位时间燃料消耗量 ( $\text{kg}/\text{h}$ )。

### 2) 装置每海里耗油量 $b_v$

上述指标一般代表动力装置在额定功率下的热能利用经济性。但动力装置经常在部分负荷下运行,或者工况变化频繁,因此常用单位行驶距离即每海里(n mile)消耗的油量来反映装置的热经济性,定义为:

$$b_v = \frac{B}{v_s} \quad (\text{kg/n mile})$$

式中:  $B$  为动力装置单位时间燃料消耗总量(kg/h);

$v_s$  为航速(kn)。

将上式作适当变换,可演化为  $b_v \propto v_s^2$ 。图 1.2 表示了  $b_v$  与航速  $v_s$  的关系。

上式表明,该经济指标不仅与装置的热经济性有关,而且与装置的管理水平、运输管理水平等都有关系。

### 3) 动力装置的有效热效率

$$\eta_e = \frac{3600 \cdot P_t}{B \cdot Q_{PH}} = \frac{3600}{b_e \cdot Q_{PH}}$$

式中:  $Q_{PH}$  为燃料的低发热值。

### 3. 动力装置的性能指标

动力装置的性能指标取决于发动机形式及其技术参数、传动形式、辅助设备形式和动力装置热线图等,这些性能反映了装置特点,也是评判设计优劣的重要性能指标。评判指标包括装置的可靠性、机动性、制动性、振动噪声及自动化程度等。

#### 1) 机动性

船舶的机动性能很大程度上取决于动力装置的机动性,它包括以下几个方面:

(1) 动力装置准备运行所需时间,包括油和水补给、充电、充气、仪表仪器校验等所需时间;

(2) 动力装置启动过程,包括启动前准备、启动开车、带负荷三个阶段,其性能取决于发动机及各系统的启动性能和操纵人员的技术水平、气候环境条件等;

(3) 变工况机动性,包括主发动机由部分负荷到全负荷的加速特性、部分机组到全部机组投入运行所需时间,这涉及到主发动机操纵调速特性和发动机之间负荷分配的稳定性;

(4) 推进装置倒车机动性。

#### 2) 动力配合性能

船舶的动力配合性能很大程度上取决于装置的动力性能。对船舶,动力性可用拖力和航速的关系来描述,即大的拖力下又有比较高的航速。实际上,装置良好的动力性是发动机和驱动负荷之间充分协调的结果,它反映了:

(1) 整个动力装置功率的利用程度,即在任何工况下能充分发挥利用发动机的全部功率;

(2) 发动机特性和负荷特性的互相适应程度;

(3) 装置在各种工况下的热能利用率。

#### 3) 装置的可靠性

动力装置的工作持久性(即寿命)表示维持正常工作的期限或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,非计划检修时间前能保持正常工作的能力。动力装置是一个复杂的工程系统,其可靠性主要取决于发动机本身的可靠性,同时还取决于其他设

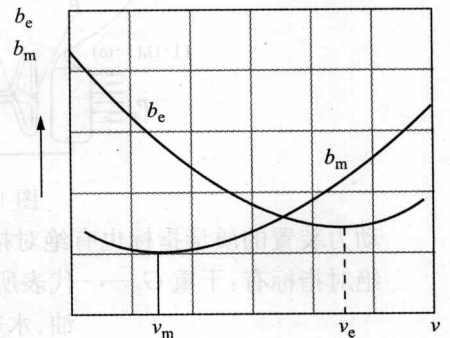


图 1.2  $b_e$  和  $b_m$  随航速变化关系曲线

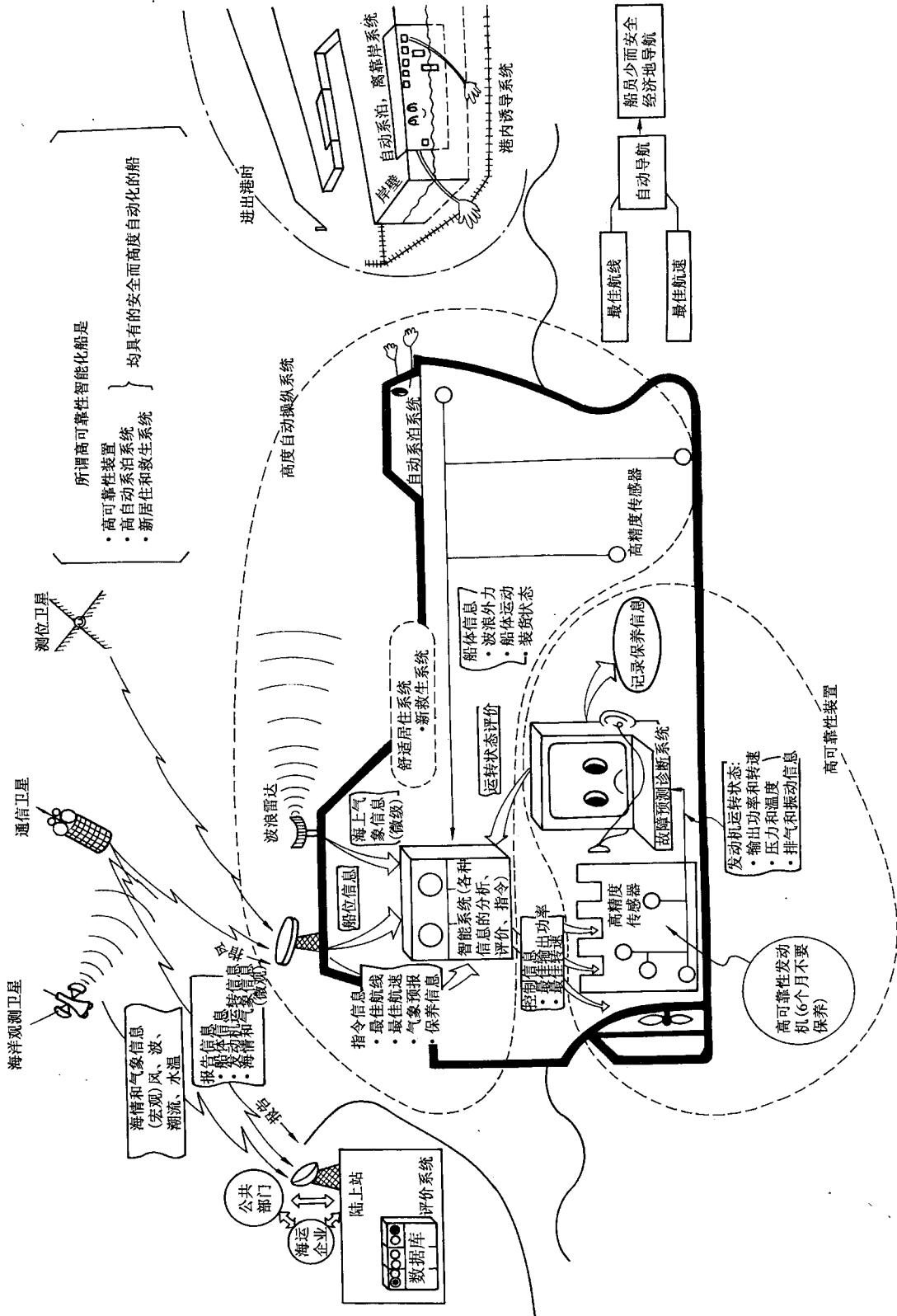


图1.3 高可靠性智能化船的概念图

备和系统的可靠性以及装置的结构形式。为满足动力装置可靠性要求,设计与使用中应注意下列问题:

- (1) 组成动力装置的单元尽可能地要少,布置要合理;
- (2) 应合理选择和确定机器及部件的结构形式,各设备之间联系要合理;
- (3) 应用故障诊断技术、开展视情修理,平时进行正确的维护保养。
- 4) 振动噪声的控制

动力装置的振动噪声不仅影响机器寿命、造成事故,而且严重影响工作人员的健康,对于舰艇,振动噪声源往往成为对方易于发现的目标。因此,各种船舶设计规范都对振动噪声有严格的要求。

#### 5) 自动控制性能

从船舶机舱自动化角度出发,分为值班机舱和无人值班机舱,其中无人值班机舱又分为12h、24h等无人机舱;机舱自动化程度还可依据机旁控制、集中控制室控制和驾驶室控制的程度来区分。现代船舶机舱自动化不仅减轻工作人员的劳动强度,减少工作人员,更体现在复杂的多变的工况下保证动力装置可靠地运行。近年来,新型船舶对自动化的要求越来越高,不仅是对发动机甚至对总系统和主要部件都提出了自动化的要求,计算机控制、网络技术、总线技术等等也已经应用于船舶动力装置自动化系统中。图1.3表示了正在发展的高可靠性智能化船的概念,它不仅包括了主推进系统高度自动化操纵,最佳运行状态的控制,还包括了运行状态的评价,故障诊断系统及自动系泊系统,同时还可根据各种卫星测得的多种信息数据,不断修正航线、改变航速,始终使主推进系统保持在最佳运行状态。

### 1.3 船舶动力装置的基本类型及特点

现代船舶动力装置一般按其主发动机形式来分,有柴油机动力装置、蒸汽轮机动力装置、燃气轮机动力装置、联合动力装置和核动力装置。

#### 1. 柴油机动力装置

到目前为止,柴油机动力装置在船舶动力装置中仍占着最重要的地位。在2000t以上的民用运输船舶中,总艘数达到98%以上,装船总功率达到90%以上。柴油机动力装置有以下优点:

(1) 良好的经济性,一方面是其耗油率低,如目前高速柴油机油耗率为 $0.2\sim 0.245\text{ kg/kW}\cdot\text{h}$ ,中速机为 $0.16\sim 0.19\text{ kg/kW}\cdot\text{h}$ ,低速机为 $0.16\sim 0.176\text{ kg/kW}\cdot\text{h}$ ;另一方面中高速机还可燃烧劣质燃料。

(2) 中高速机在质量、尺寸方面具有较强的竞争力,而且辅助设备少,布置简单。

(3) 良好的机动性,操作简单,启动方便,正倒车迅速。一般从正常启动到全负荷只需10~30min,紧急时仅需3~10min。此外,柴油机正在向大功率方向发展,如MANB&W的C系列柴油机,单机功率达到70000kW,K98MC柴油机达到68610kW,14缸的K98MC达到73500kW;Waitsila公司开发的W64中速机,其V形机缸数可达16~20缸,转速为428r/min,单缸功率可达1940kW。

(4) 高可靠性能适应各类船舶。

当然柴油机动力装置也有缺点,主要有:

- (1) 单机功率仍较蒸汽轮机、燃气轮机装置小,尤其是中高速机。
- (2) 振动、噪声大。
- (3) 高速机的寿命较短。
- (4) 低速稳定性差。

## 2. 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将功率传递给推进器。热电厂中,蒸汽轮机驱动发电装置是最重要的设备之一。蒸汽轮机动力装置的热线图如图 1.4 所示。它由蒸汽锅炉、蒸汽轮机、凝汽器、预热器、给水泵等组成。

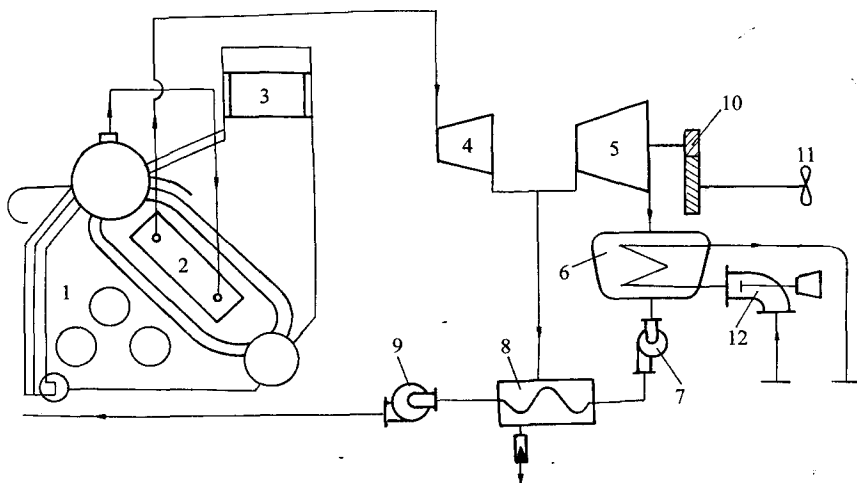


图 1.4 船舶蒸汽动力装置的简单热线图

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

燃料在锅炉 1 的炉膛中燃烧,释放的热量使水汽化成为饱和蒸汽,然后将饱和蒸汽引至过热器 2 中进一步吸热后成为过热蒸汽。过热蒸汽进入高压汽轮机 4 和低压汽轮机 5,分别膨胀做功,即将高温高压的蒸汽热能转换为机械功输出,通过齿轮减速箱 10 和轴系驱动螺旋桨。做过功的乏汽在主冷凝器 6 中将热量传递给冷却水,乏汽凝成水,由凝水泵 7 抽出送至给水预热器 8,给水泵 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循环水泵 12 从舷外抽入,吸热后排出舷外。

蒸汽轮机动力装置的主要优点有:

- (1) 功率大,现代船用蒸汽轮机的单机组功率达到  $7.5 \times 10^4 \text{ kW}$  以上。采用的蒸汽参数达到  $4.4 \sim 6.6 \text{ MPa}$ ,  $450 \sim 490 \text{ }^\circ\text{C}$ , 美国航母采用  $8.27 \text{ MPa}$ ,  $510 \text{ }^\circ\text{C}$  的蒸汽参数。
- (2) 蒸汽轮机系回转机械,转速稳定,无周期性扰动,因而振动小、噪声低。
- (3) 磨损部件少,可靠性高,使用寿命高达  $1 \times 10^5 \text{ h}$  以上。
- (4) 可使用劣质燃料,润滑油消耗率也很低。

蒸汽轮机动力装置的主要缺点是:① 装置总质量尺寸大、主锅炉需要很多辅助机械和设备为其服务;② 装置经济性较差、尽管可以燃烧劣质燃料,但其油耗率高;③ 机动性差,即使在暖机情况下,也需要  $15 \sim 20 \text{ min}$  才能起动,加速到额定工况,工况变换的过渡时间也较长。

### 3. 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。目前,船用燃气轮机正从简单循环向带有中间冷却回热的燃气轮机复杂循环发展。

图 1.5 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、它用来压缩进入燃烧室的空气,图 1.5 中 0—I 为进气口, I—II 为压缩段;
- (2) 燃烧室,将燃料在其中燃烧成燃气,即图中 II—III 段;
- (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,图中 III—IV 段,燃气作功后经排气道排出。

燃气轮机分为高压燃气轮机和低压燃气轮机两部分。前者与压气机轴相连,后者经减速器、轴系驱动螺旋桨。所以,高压燃气轮机又叫燃气发生器燃气轮机,低压燃气轮机常称为动力燃气轮机。

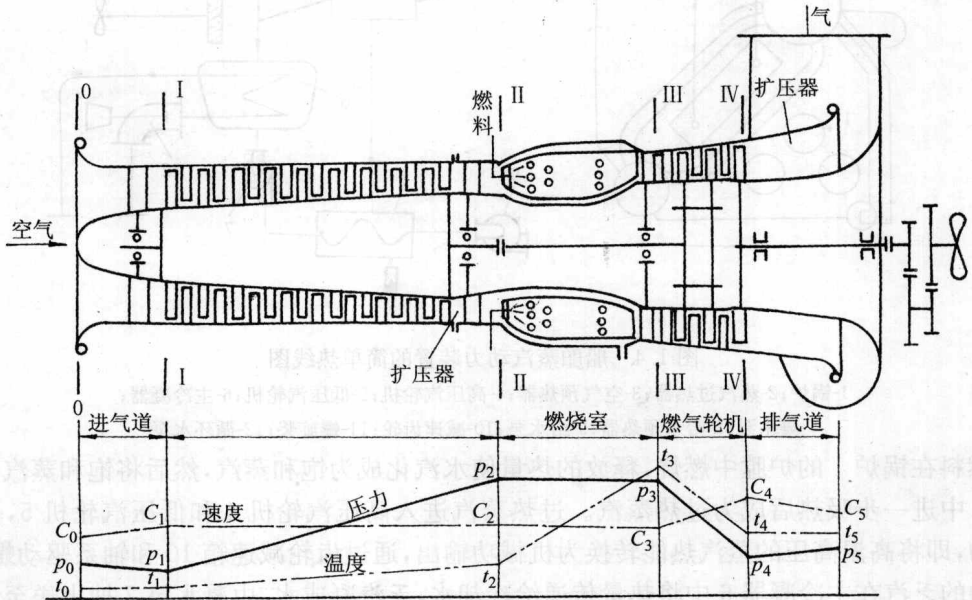


图 1.5 船舶燃气轮机机组示意图

正常运行时,高速旋转的压气机通过进气道从外界大气中吸入空气,把它压缩到一定的压力,温度相应升高,然后被送到燃烧室中,与喷入的燃料相混合并燃烧成高温、高压的燃气。高温、高压的燃气经高、低压燃气轮机时膨胀作功,推动高压燃气轮机驱动压气机一起旋转;推动低压燃气轮机驱动螺旋桨旋转。燃气在燃气轮机中作功后,其压力和温度都逐步下降,最后经排气道排入大气。图 1.5 下方表示了空气和燃气在机组中沿轴向流动时,其压力、温度和速度的变化。船用燃气轮机机组中燃气所作的机械功约有 2/3 是驱动压气机,只有大约 1/3 的机械功是驱动螺旋桨的。所以常将压气机、燃烧室和高压燃气轮机看作为一整体,称作燃气发生器。

船用燃气轮机机组大多采用轴流式压气机和轴流式燃气轮机。为保证机组正常启动和运行,还需要有一整套附属系统如启动和点火系统、燃料供给及其控制系统、进排气系统、润滑系



统、冷却水系统等。

燃气轮机动力装置能够较好地满足近代舰艇对动力装置要求的高速、高机动性和极低的单位质量的战术、技术指标,故在大、中型水面舰艇中得到广泛使用。

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  $2 \sim 4 \text{ kg/kW}$ 。单机机组功率也较大,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蒸汽轮机影响为小。

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) 必须借助于起动电机或其他启动机械启动。

(3) 由于燃气的高温,叶片材料使用的合金钢昂贵,因此工作可靠性较差、寿命短,如燃气初温在  $750^\circ\text{C}$  以上的燃气轮机,寿命仅  $500 \sim 1000 \text{ h}$ ;

(4) 由于燃气轮机工作时空气流量很大,一般为  $16 \sim 23 \text{ kg/(kW} \cdot \text{h)}$ ,而柴油机约为  $5 \text{ kg/(kW} \cdot \text{h)}$ ,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,甲板上有一定的通过管道开口,影响船体强度。

#### 4. 联合动力装置

为进一步提高战斗力,要求舰艇必须尽可能地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,但此工况在舰艇总航行时间中所占比例较小,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质量;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方面的矛盾,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:蒸汽轮机+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分别是:

##### 1) 蒸汽轮机动力装置带燃气轮机加速装置的特点

此种装置由于蒸汽轮机装置的一系列优点,与燃气轮机装置联合后,能适用于功率较大的轻型舰艇,蒸汽装置保证全速的  $80\%$  以下航行所需的功率( $50\%$ 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轮机装置的特点

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;后者在巡航工况能保证较高的热效率,部分负荷情况下性能良好。

##### 3) 柴油机与燃气轮机联合的特点

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。这类装置常被中小型舰艇使用,它的常用功率一般小于全功率的  $50\%$ ,全功率仅占总航行时间的  $1\% \sim 2\%$ 。