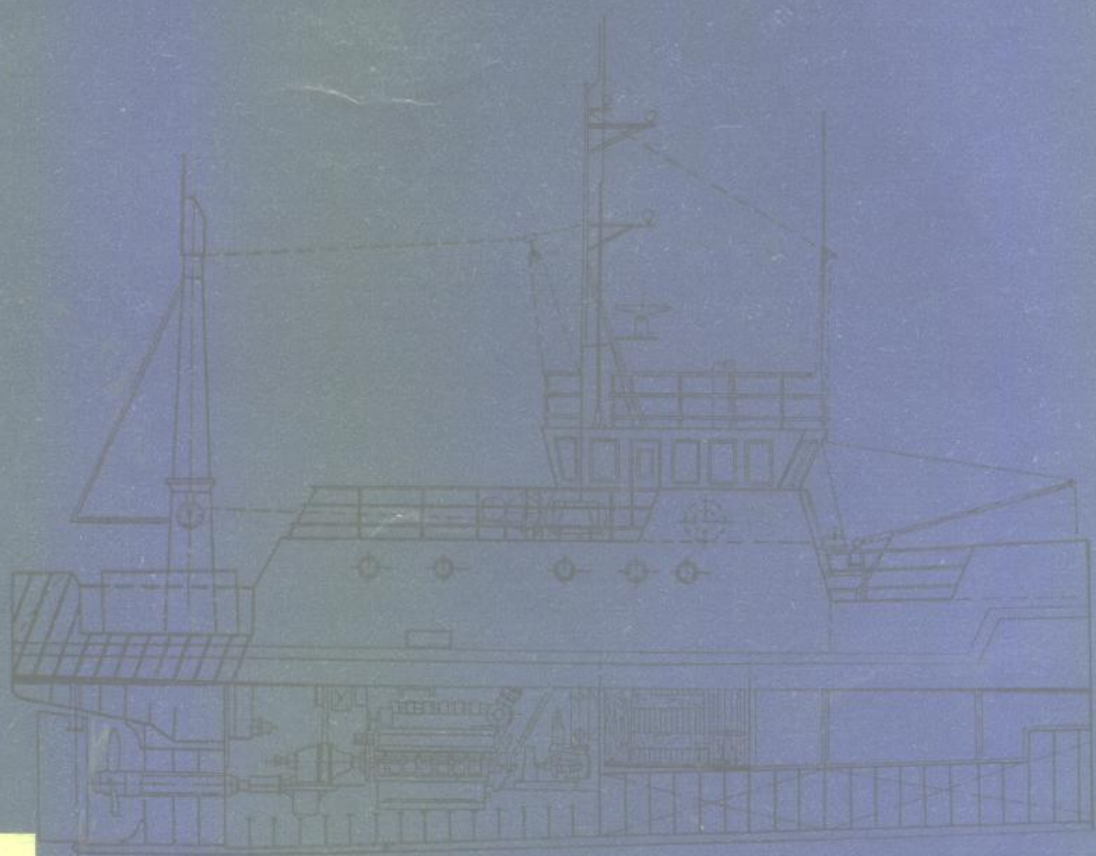


船舶动力装置

杨承参 施润华 编



上海交通大学出版社

195283

船舶动力装置

杨承参 施润华 编



上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书着重阐明船舶柴油机动力装置的基本理论及概念、工作原理和性能。全书共分七章。前三章介绍装置的组成、结构和工作原理。第四到第六章论述装置配合特性、经济性和振动特性等。第七章是总体设计。本书是船舶动力装置专业教材,也可供造船系统、航运系统工程技术人员和管理人员参考。

船 舶 动 力 装 置

杨承参 施润华 编

上海交通大学出版社·出版

(上海市华山路 1954 号 邮政编码 200030)

新华书店上海发行所·发行

上虞市科技外文印刷厂·印刷

开本: 787×1092 (毫米) 1/16 印张: 17 字数: 418000

版次: 1993 年 7 月 第 1 版 印次: 1993 年 3 月 第 1 次

印数: 1—1000

ISBN 7-313-01669-4/TK·049

定价: 20.00 元

前 言

本书是根据上海交通大学动力机械系相应课程教学大纲要求而编写的，并在我校1987年出版的“轮机学”教材多年教学实践基础上修改、补充而写成的。

全书共分七章。着重阐明船舶柴油机动力装置的基本理论和概念，工作原理和性能。第一章叙述船舶动力装置基本概念和技术性能指标。第二、第三章分别论述柴油机推进装置的组成结构(轴系和传动部件)以及动力管系的工作原理。第四章到第六章的主要内容是分析了动力装置的技术性能。即论述推进装置稳态和动态配合特性，介绍它们的定性和定量分析方法；讨论了热力系统的经济性和提高装置经济性的有关措施；阐明了推进装置扭转振动机理，定量计算模式、控制振动方法。第七章是总体设计。论述总体设计内容、观点和方法以及设计方案的模糊综合评判原理。

本书是由上海交通大学杨承参、施润华两同志在多年教学实践基础上合作编写的。编写过程中运用了施仲篪教授在“轮机学”教材编写中的部分章节内容。蒋惠康、陈勇、程宇等同志参加了部分章节编写。全书由武汉海军工程学院陈国钧教授主审。华南理工大学崔朗然副教授也参加评审。708研究所邵佩夫高级工程师、朱锦章高级工程师等对本书提出了不少宝贵意见和提供了许多资料，在此一并表示感谢。

由于船舶动力装置是综合性很强的系统，且有许多内容尚待进一步深化。因此，本书的内容和论述方面不免有欠妥和不到之处，恳请广大读者批评指正。

出 版 说 明

根据国务院国发(1978)23号文件批转试行的“关于高等学校教材编审出版若干问题的暂行规定”,中国船舶工业总公司负责全国高等学校船舶类专业教材编审、出版的组织工作。

为了做好这一工作,中国船舶工业总公司相应地成立了“船舶工程”、“船舶动力”两个教材委员会和“船电自动化”、“惯性导航及仪器”、“水声电子工程”、“液压”、“水中兵器”五个教材小组,聘请了有关院校的教授、专家60余人参加工作。船舶类专业教材委员会(小组)是有关船舶类专业教材建设的研究、指导、规划和评审方面的专家组织,其任务是做好高等学校船舶类专业教材的编审工作,为提高教材质量而努力。

在总结前三轮教材编审、出版工作的基础上,根据国家教委对“八·五”规划教材要“抓好重点教材,全面提高质量,适当发展品种,力争系统配套,完善管理体制,加强组织领导”的要求,船舶总公司于1991年又制定了《1991—1995年全国高等学校船舶类专业规划教材选题》。列入规划的选题共107种。

这批教材由各有关院校推荐,同行专家评阅,教材委员会(小组)评议,完稿后又经主审人审阅,教材委员会(小组)复审,然后分别由国防工业出版社、人民交通出版社以及有关高等学校的出版社出版。

为了不断地提高教材质量,希望使用教材的单位和广大师生提出宝贵意见。

中国船舶工业总公司教材编审室

1992年5月

目 录

第 1 章 绪论	1
§ 1-1 船舶动力装置的含义及组成	1
§ 1-2 船舶动力装置的技术、经济及性能指标	2
§ 1-3 船舶动力装置的基本类型及其特点	8
第 2 章 船舶轴系与传动	13
§ 2-1 推进装置型式及其特点	13
§ 2-2 船舶轴系	17
§ 2-3 齿轮传动机组	31
第 3 章 船舶辅助装置与管路系统	50
§ 3-1 船舶辅助装置	50
§ 3-2 船舶动力装置的管路系统	70
第 4 章 推进装置工况配合特性	88
§ 4-1 概述	88
§ 4-2 机、传动、桨、船的主要工作特性	90
§ 4-3 推进装置在稳态设计工况的匹配分析	103
§ 4-4 船舶典型推进装置的稳态配合及其工作特性	116
§ 4-5 推进装置的工况过渡特性	143
第 5 章 柴油机动力装置经济性	157
§ 5-1 概述	157
§ 5-2 提高装置推进效率	161
§ 5-3 柴油机装置的废热利用系统	165
第 6 章 船舶推进轴系扭转振动及其控制	190
§ 6-1 推进轴系扭转振动概述	190
§ 6-2 推进轴系扭转振动计算	195
§ 6-3 推进轴系扭转振动的控制	215
第 7 章 船舶动力装置总体设计	232
§ 7-1 设计内容、方法和步骤	232
§ 7-2 动力装置模糊综合评判	236
§ 7-3 机舱规划	258

第1章 绪 论

§ 1-1 船舶动力装置的含义及组成

船舶动力装置的主要任务是:为船舶提供各种能量和使用这些能量,以保证船舶的正常航行与安全,人员的正常生活与安全,以及完成各种作业等。所以,船舶动力装置是各种能量的产生、传递及消耗的全部机械、设备及系统的有机组合体。它是船舶的一个重要组成部分。

船舶动力装置中的机械、设备和系统,包括动力机械、工作机械、传动设备、滤清和储存设备、热交换器以及动力管系、全船管系和机舱自动化设备。

根据动力装置中各种能量的形式和特点,船舶动力装置可分以下几个部分。

1. 推进装置

在给定的条件下,保证船舶正常航行所需的推进力的一整套设备,其中有:

(1) 主发动机为发出推进动力的原动机,和为主发动机服务的辅助设备和管系。主发动机有柴油机、蒸汽轮机、燃气轮机及蒸汽机等。

(2) 主锅炉为蒸汽轮机和蒸汽机提供蒸汽的设备。包括为它服务的辅助设备和管系等。

(3) 推进器为发出推进力的工作机。主要有螺旋桨推进器、明轮推进器、直翼推进器和喷水推进器等。

(4) 传动设备为将原动机发出的推进动力传递给推进器的设备。包括减速器、离合器、联轴器、轴系、电力推进的专门设备以及为上述设备服务的管系等。

2. 辅助装置

发出除供推进装置以外的各种能量,以供船舶航行、作业和生活的需要,保证上述能量输送和储存的各种设备,其中包括:

(1) 发电机组供应全船所需要的电能。主要有柴油发电机组,汽轮发电机组,轴带发电机组和余热发电机组以及为它们服务的管系和设备。

(2) 辅助锅炉装置产生蒸汽供应全船加热、取暖等所需的热能。主要有辅助锅炉或余热锅炉以及为它们服务的管系和设备。

(3) 压缩空气系统供应全船所需的压缩空气,以满足作业、启动及船舶用气等用途。主要有空气压缩机,贮气瓶,管系及其他设备。

3. 机舱自动化设备

保证实现动力装置远距离操纵与集中控制,以改善工作条件,提高工作效率及减少维修工作等。主要有自动控制与调节系统,自动操纵系统及集中监测系统。

4. 全船系统

保证船舶生命力和安全及船员和旅客正常生活的设备。其中安全方面有防水、防火、防爆炸、防漏泄、防烫伤及防损坏等系统和设备,以及生活方面有通风、取暖、空调、照明、供水、卫生、制淡及冷藏等系统和设备。

5. 船舶设备,主要指甲板机械

保证船舶航行和停泊以及装卸货物所需的设备。其中有锚及系船设备,舵设备,装卸设备,吊艇设备及特殊设备(如敷设,施放设备等)。

以上看出,船舶动力装置是一个很复杂的能量综合体。然而,根据船舶的用途和型式以及动力装置的复杂程度,上列设备的配备是不相同的。

综上所述,船舶动力装置的能量形式很多,但从燃料的化学能转化来的只有三种能量:推进动力、电能和热能。因此,可以通过三种能量的产生、传递和消耗过程来描述船舶动力装置的含义和组成。图 1-1 表示为基本装置型式的能量从产生到消耗的转化过程,该图为典型的柴油机动力装置,在中大型民用船舶中,这类装置是应用较广的一种型式。

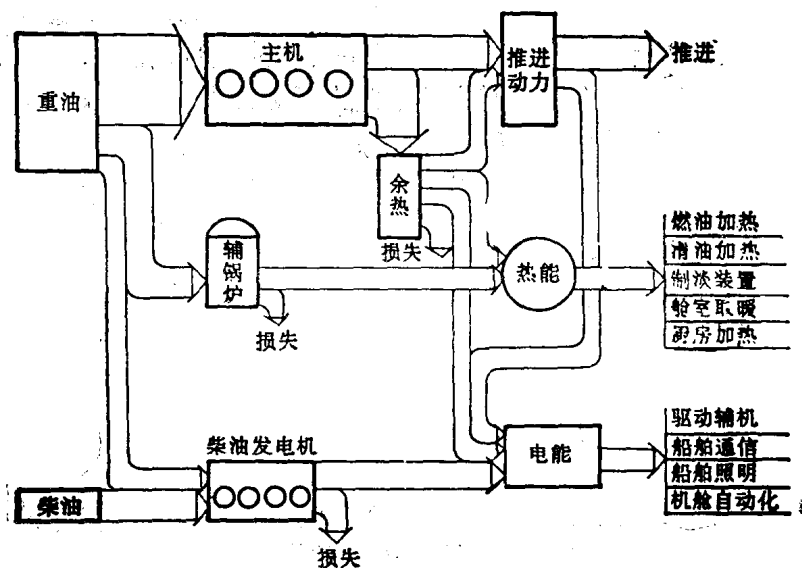


图1-1 典型动力装置能量转换过程

从动力装置在一般船舶中的作用来看,推进动力是决定船舶活动能力的根本依据,所以提供推进动力是动力装置设计的根本任务。而推进动力所消耗的能量占动力装置总消耗能量的绝对多数,如万匹马力以上的柴油机动力装置,其推进装置输入能占总输入能的90%以上。因此,推进装置技术性能可以代表动力装置的特点。

如前所述,动力装置研究的内容极为广泛,本教材主要讨论柴油机动力装置,而重点研究推进装置。

§ 1-2 船舶动力装置的技术、经济及性能指标

动力装置的技术性能在许多方面直接关系到船舶的技术性能。船舶的主要技术性能通常有排水量(主尺度)、航速、续航力、轮机装备、自持力、机动性、稳性与适航性、不沉性、通信导航性能等。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重要、又显著。

动力装置的技术特征通常有三方面指标:

技术指标 代表着这套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。

经济指标 代表燃料在该动力装置中的热能转换率。有燃料消耗率、装置总效率、推进装置热效率、每浬航程燃料耗量及动力装置的运转-维修经济性。

性能指标 代表动力装置在接受命令、执行任务中的服从性、坚固性和对外界条件、工作人员的依赖性。因此它包括机动性、可靠性、自动远操纵性能、牵曳性能以及噪声振动的控制等指标。

上述三方面指标有绝对值,也可以用相对值,是标志动力装置基本特性的代表性技术参数,可以用来和其他船舶的动力装置特征作定量比较,尤其是它们的相对值。

一、技术指标

1. 功率指标

动力装置的功率指标通常以推进装置的功率为代表,它决定于船体的阻力、航速、船种、作业要求以及航区等因素。

根据船舶原理,一艘船上的功率称呼有好几种;如阻功率 P_R ,推功率 P_T ,桨功率 P_p ,轴功率 P_s ,制动功率 P_B (或称有效功率 P_e),以及指示功率 P_i ,图1-2所示为各个功率的代表处。

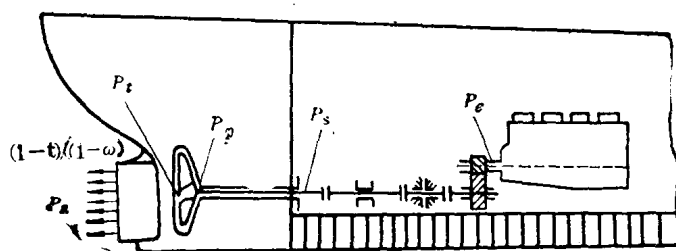


图1-2

当已知船速 v 的船体阻力 R 时,就得知阻功率 $P_R = R \cdot v / 75$ 。考虑船体效应 $\eta_s = 1 - t / (1 - \omega)$ 后就可得桨的推功率 P_T ,即 $P_T = vR / (75\eta_s)$,代表着桨能发出的功率,考虑桨的旋转效率 η_r 和桨的敞水效率 η_p 后,又得到螺旋桨要收到的功率 P_p ,即 $P_p = P_T / (\eta_r \cdot \eta_p)$,再考虑艄管效率 η_{m4} 后,得轴系的功率 P_s ,即 P_s / η_{m4} ,然后再考虑中间轴承效率 η_{m3} 、推力轴承效率 η_{m2} 和传动设备(离合器、齿轮箱等)效率 η_{m1} ,就获得所要求发动机的制动功率或有效功率 P_e 。

B. N阿佛那雪夫提供了排水型船选用主发动机时的估算公式;

$$P_i(\text{指示功率}) = \frac{P_e}{\eta_m} = 10^3 \left(\frac{v}{A} \right)^{\frac{10}{3}} \cdot \left(\frac{D^2}{K} \right)^{\frac{1}{3}}, \quad \text{kW},$$

式中: η_m 为发动机机械效率; v 为船速,kn; D 为排水量,静吨位,t; K 为 $\frac{L_{WL}}{B}$, B 为型宽,m; L_{WL} 为船长,m; A 为系数,24~32(客船取较小值)。

在方案设计中常采用海军常数法,以估算桨功率 P_p ,即

$$P_p = \frac{v^3 \cdot D^{\frac{2}{3}}}{C_w},$$

式中: C_w 为海军常数。

海军常数通常和船型密切有关,根据佛氏数(Fu)相同的母型船来求算。

吨位相同的船,由于其性质、用途不同,对动力装置功率的要求,其差别很大。为了比较起见常用相对值表示,即相对功率 α ,每吨排水量所必须的功率,代表式为

$$\alpha = \frac{P_e}{D}, \text{ kW/t.}$$

因为 $P_e = \frac{v^3 D^{\frac{2}{3}}}{C_2}$, $C_2 = C_w \cdot \eta_{\text{传}}$, $\eta_{\text{传}}$ 为传动效率,故得

$$\alpha = \frac{P_e}{D} = \frac{v^3 \cdot D^{\frac{2}{3}}}{DC_2} = \frac{v^3}{C_2 D^{\frac{1}{3}}}, \text{ kW/t.} \quad (1-1)$$

由式(1-1)可以看出,相对功率与船速的三次方成正比(排水型船)而与排水量的立方根成反比,可知高速船的相对功率要很大。下面列表说明几种主要类型船的相对功率情况。

表1-1

船 种	$\alpha, \text{ kW/t}$	船速, kn	桨转速, r/min
鱼雷快艇(导弹快艇)	40~100	45~55	1000~1500
驱逐舰	10~15	33~35	250~400
客轮(柴油)	1~3.5	18~24	120~200
货轮(柴油)	0.2~1	14~16	90~120

2. 质量指标

船的排水量由四部分组成:船体质量、动力装置质量、消耗品(油、水、材料备件)及货物旅客质量,其中动力装置质量占有很大的比例,在一定排水量下,任何一项质量的增加,必然要引起其他项相应地减少。由此可见,动力装置质量是直接影响着舰船的营运和其他技术性能的,因此在设计阶段,尤其对军用舰艇来说,应当努力减少。

动力装置的质量指标有:干重 G_y ,湿重 G'_y ,以及总重 G''_y ,干重代表所有机器、器具管系内都没有工质和消耗物品(油、水等)及其贮存量的质量,湿重代表机器、器具的管系内装满工质和消耗物品,但仍不包括消耗品的贮存量的质量,总重则代表湿重再加上完成额定续航力所需的贮存品质量。

动力装置质量指标的相对值有:

每吨重 $g_y = G'_y/D$, D 为排水量,

每kW重 $\gamma_y = G'_y/P_e$ 。

根据上两式,可以得到,每吨重 g_y 为

$$g_y = \frac{P_e \cdot \gamma_y}{D} = \alpha \cdot \gamma_y, \text{ kg/t,} \quad (1-2)$$

$$\frac{\alpha}{10^3} \cdot \gamma_y \cdot 100\% = 0.1\alpha \cdot \gamma_y\% = 0.1g_y\%。 \quad (1-3)$$

表1-2 列出了各类船舶的装置质量指标。

表1-2

船 种	排水量 D t	相对功率 α kW/t	装置每kW重 γ_y kg/kW	装置每吨重 0.1 g_y , %	螺旋桨转速 r/min
鱼雷艇(柴油机)	60~100	40~100	2~6	20~60	1000~1500
驱逐舰(柴油机与 燃气轮机联合)	$3.5 \times 10^3 \sim 7 \times 10^3$	10~15	10~20	12~15	250~400
客轮(柴油机)	$2 \times 10^3 \sim 5 \times 10^3$	1.0~3.5	70~150	5~10	120~200
货轮(柴油机)	$2 \times 10^3 \sim 6 \times 10^4$	0.2~1.0	70~150	1.5~5	90~120

由表1-2可以看出,任务不同的船舶,配置的装置质量有很大差异,相对功率 α 比较大的船,其相对质量 g_y 必然较大。这时船的载货量和所带消耗品质量就必然要相应降低。在军舰艇上就降低了战斗力。如鱼雷艇上0.1 g_y 的数值达60%,所以设计中努力降低装置质量就具有很大意义。

相反,柴油机货船的0.1 g_y 值只有1.5%~5%,设计时就不是个突出问题。

3. 尺寸指标

动力装置的机器设备,绝大部分是集中在机舱里,所以机舱的尺寸大小就代表动力装置的尺寸指标,机舱的大小应当以能够把这些机器设备合理安排为原则,并使工作人员在管理上、维修上不感到困难,机舱尺寸的大小也和质量一样直接影响着船的载重能力,这也和船舶的种类有关。

机舱的绝对尺寸有:机舱总长度 L_z ,m,机舱总占有面积 F_z ,m²和机舱总占有容积 V_z ,m³。

尺寸指标的相对值有:机舱相对长度 $k_l = L_z/L_{WL}$,机舱面积饱和度 $k_F = P_e/F_z$,kW/m²,

机舱容积饱和度 $k_v = P_e/V_z$,kW/m³。

机舱饱和度表示动力装置对机舱大小的需要,饱和度越高,它的机器设备的安排就非常集中和紧凑,因此管理和维修的工作条件必然较差。表1-3所示为一般船的有关值。

表1-3

船 种	机 舱 饱 和 度	
	k_F , kW/m ²	k_v , kW/m ³
鱼 雷 艇	400	100
驱 逐 舰	130	20
客 轮	40	5
货 轮	20	3

二、动力装置的经济指标

1. 动力装置燃料消耗率 b_e 。

$$b_e = \frac{B}{P_T}, \quad \text{kg}/(\text{kW} \cdot \text{h}), \quad (1-4)$$

式中: B 为整个装置的每小时的燃料消耗量, kg/h 。

$$B = B_{ry} + B_{oc},$$

式中: B_{ry} 为推进装置的每小时耗油量, kg/h , 它包括主推进发动机耗油量、一切为主机服务的辅助机械(包括舵机)及加热器具的相当耗油量和机舱的取暖、通风、照明所相当的耗油量; B_{oc} 为全船性机械的每小时总耗油量; 包括所有全船性机械、加热器、通风、照明、取暖、制冷及其他特种机械(电焊机、拖缆机等)的相当耗油量。

以上两个油耗指标中, B_{ry} 占很大比率, 第四章进行机-桨-船匹配理论的研究目的, 在于节省这部分耗油量。

2. 动力装置有效热效率 η_e 。

$$\eta_e = \frac{632 P_T}{B \cdot Q_{PH}} = \frac{632}{b_e \cdot Q_{PH}}, \quad (1-5)$$

式中: Q_{PH} 为燃料的低发热值。

表1-4所示为两类装置的 b_e 和 η_e 值。

表1-4

装 置 形 式	b_e	η_e
柴 油 机 装 置	0.16~0.26	0.24~0.35
蒸汽轮机装置	0.24~0.47	0.18~0.23

从式(1-5)看出, η_e 的提高取决于 B 的减少, 为此进行装置热力系统的综合经济性研究, 也是大家关注的“热点”。

3. 推进装置的有效热效率 η_{ry}

$$\eta_{ry} = \frac{632 P_T}{B_{ry} \cdot Q_{PH}} = \frac{632}{b_{ry} \cdot Q_{PH}},$$

式中: $b_{ry} = B_{ry}/P_T$ 为推进装置的单位耗油率, $\text{kg}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 。

以上三个经济指标都是代表动力装置在额定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。这时候有一个全面性的燃料经济指标——装置每海里耗油量 b_M 。

4. 装置每海里耗油量 b_M

$$b_M = \frac{b_e \cdot P_T \cdot t}{v \cdot t} = \frac{b_e \cdot P_T}{v}, \quad \text{kg/n mile}, \quad (1-6)$$

式中: t 为航行时间, h (小时); v 为航速, $\text{n mile}/\text{h}$ (海里/时)。

因为

$$P_T = \frac{P_p}{\eta_{传动}} = \frac{v^3 D^5}{C_w \cdot \eta_{传动}}, \quad (1-7)$$

式中: $\eta_{传动}$ 为发动机到螺旋桨的传动效率。

这项经济指标与船舶运营管理水平 and 装置管理水平密切相关。

利用式(1-7)可使式(1-6)演化为

$$b_M = \frac{D^{\frac{2}{3}}}{C_w \cdot \eta_{\text{传动}}} \cdot \frac{b_e \cdot v^3}{v} = K \cdot b_2 \cdot v^2. \quad (1-8)$$

5. 动力装置运转维修经济性

动力装置的运转维修经济性指标有：①航运中的载运能力(吨-涅)；②航运的载运能力(比吨/吨%)，这是运输量相对于净吨位的相对值；③每吨-涅的成本(元)，成本包括燃料费、维修费、工资、折旧以及其他杂用费；④船员的劳动生产力，吨涅/人；⑤每吨载重的生产力，吨涅/(吨·昼夜)。

三、动力装置的性能指标

动力装置的性能指标由多方面因素综合而成。这些因素主要有主机型式、燃料种类、发动机工作参数、动力装置热力线图型式、推进传动型式、主要辅助设备型式、以及它们和推进装置的联系等。

1. 动力装置机动性

船舶的机动性很大程度上取决于动力装置的机动性，它有下列几方面：

(1) 动力装置准备动作所需的时间，这里包括油、水补给、充电、充气、机械检测等所需的时间。

(2) 动力装置启动所需的时间，包括启动前的准备、暖机(启动开车)、带负荷三个过程，这些性能都取决于主机、辅机、各系统的启动性能以及工作人员的技术水平、气候环境等。

(3) 变工况机动性，包括主机由部分负荷到全负荷的快速性，部分机组到全部机组工作(多机并车时)所需的时间和部分轴系到全部轴系投入工作的快速性，因此这就联系到主机操纵调速机件的性能和主机间负荷分配的稳定性。

(4) 推进装置倒车机动性，主机倒车功率大小和倒车时间长短，决定着舰船全速前进时要求急倒车制航所允许的滑行距离，故推进装置从正车变倒车的时间尽可能短，也要求尽量准确。倒车机动时间常和主推进装置的传动型式有关，例如：

主机直接反转 8~10s；

倒车离合器反转 3~8s；

变距桨反转 5~10s。

定距桨推进装置要达到反转，常常限于船身滑行制航条件，因此总时间不是几秒而是几十秒、几百秒。

2. 动力装置可靠性指标

动力装置的工作持久性(寿命)表示装置维持正常工作的期限，或指两次大修之间能工作的时间。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。动力装置是一个动力机械类系统工程，其可靠性一方面决定于设备本身的可靠性，同时还决定于系统的结构型式。现代动力装置设计中有可靠性计算一项和机动性一样是评定设计方案好坏的一项指标，为了满足动力装置的可靠性要求，设计中应注意下列几方面：

(1) 组成整个动力装置的单元要少，(主要设备一般采用贮备方案)布置方案要合理；

(2) 合理选择和确定机件的结构型式，各机器设备间的联系方案要合理，合理选用材料和

工艺过程;

(3) 平时需进行正确的维护和保养。

机械系统的可靠性决定于元件本身的可靠性,元件本身可靠性则具体反映在它的失效率上,因此,提高动力装置可靠性先要采用可靠的元件。设计者对于设计方案的可靠性虽然做了很仔细的考虑和计算,从理论上表明了其工作的可靠程度,但船建成后的使用实际效果,还得看管理人员的技术水平,维修制度的执行情况和环境条件变异等。

3. 推进装置的牵曳性

船舶牵曳性的代表之一就是拖钩拖力和航速的关系,在大拖力下又有较好的航速,则表明该船牵曳能力大,推进装置的牵曳性很大程度上决定着船舶的牵曳能力,装置牵曳性良好实际上是发动机和工作机(螺旋桨)性能的充分协调的结果,它有下列指标:

- (1) 整个动力装置功率的利用程度,在全速工况和部分工况下,最好都能使用全功率;
- (2) 装置在各种工况下的热能利用率(即效率);
- (3) 发动机特性和工作机特性的适应程度;
- (4) 发动机和整套装置操纵的快速性。

从牵曳性角度说蒸汽往复机推进就比柴油机推进为好。它能利用配气调节,使发动机在各种轻载重载工况下都能发出全功率。同样,电力推进的牵曳能力也较好。

推进装置牵曳能力大,它的机动能力也好。

4. 噪声振动的控制

机舱的噪声和振动不仅影响机器寿命,而且严重影响工作人员的健康,因此设计中都对发动机、电动机、进排气、螺旋桨等以及整个机舱的噪声级要求有一定控制,船级社也订出规范予以检验,机器的振动级也同样有明确要求,尤其在军用舰艇上,对噪声、振动级有更严格要求。

机舱的噪声源主要是机器振动、进排气噪声和螺旋桨噪声,机器的振动又引发出传动轴系的振动,设计时必须予以充分注意,以提高这方面的指标。

5. 自动-远操纵性能

根据船舶自动化要求的等级,分成值班机舱和无人值班机舱两类。机舱中应尽量使所有机器设备自动化和远操纵,以减轻工作人员的劳动强度,并保证机器在复杂多变工况下正常工作。近年来,新型船的推进装置在这方面愈来愈提出明确的要求,除了发电机组自动化以外,要求主机全套自动化或远操纵,整个机舱实现12h,或24h无人机舱等等。

§1-3 船舶动力装置的基本类型及其特点

近代舰船上动力装置的型式按主推进装置发动机的类型来分,有柴油机装置、蒸汽轮机装置、燃气轮机装置、联合装置和原子能装置。

一、柴油机动力装置

柴油机动力装置常根据主机功率传递方式的不同,分直接传动螺旋桨、通过离合器-减速齿轮机组驱动桨的间接传动和通过发电机、电动机-驱动桨的电力传动,以及不采用桨的喷水推进装置等几种型式。

柴油机动力装置有如下几方面优点:

(1) 有较高的经济性。它的耗油率($\text{kg}/(\text{kW} \cdot \text{h})$)比蒸汽、燃气动力装置低得多,高速柴油机油耗率为 $0.21 \sim 0.245$,中速($300 \sim 800 \text{r}/\text{min}$)机为 $0.166 \sim 0.190$;低速($300 \text{r}/\text{min}$ 以下)机为 $0.160 \sim 0.176$,一般蒸汽轮机装置的油耗率要 $0.245 \sim 0.47$ 。燃气轮机装置油耗率则更大,为 $0.27 \sim 0.47 \text{kg}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 。

这些优点使柴油机船的续航力大大提高,换句话说,一定续航力所需之燃油贮带量较少,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、燃烧器以及工质输送管道等,所以辅助机械和设备相应较少,布置简单,因此单位质量指标较小。

(3) 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 $10 \sim 30 \text{min}$,紧急时仅需 $3 \sim 10 \text{min}$ 。虽然比燃气轮机装置差些,但它不需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 $2 \sim 5 \text{min}$,主机本身停机只要几秒钟即可。

柴油机装置存在如下几个缺点:

(1) 由于柴油机的尺寸和质量按功率比例增长快,因此单机组功率受到限制,低速柴油机也仅达 $6 \times 10^4 \text{kW}$ 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性,大功率舰艇常希望有 $3 \times 10^4 \sim 3 \times 10^5 \text{kW}$,故其无法胜任。

(2) 柴油机工作中的噪声、振动较大。

(3) 中高速柴油机的运动部件磨损较厉害,高速强载柴油机的整机寿命仅 $1 \sim 5 \text{kh}$ 。

(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,一般仅能运转 1h 。

二、蒸汽轮机动力装置

蒸汽轮机以锅炉产生的蒸汽为工质通过齿轮箱减速机组传递功率到螺旋桨,也有采用蒸汽轮机发电,使用电力推进方式。

蒸汽轮机动力装置有如下几个主要优点:

(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,因此单机功率远比活塞式发动机大。现代舰用蒸汽轮机的单机组功率已达 $7.5 \times 10^4 \text{kW}$ 以上,若不受推进器尺寸和制造的影响,像陆用电站蒸汽轮机一样可做成 $60 \text{万} \sim 100 \text{万 kW}$ 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,噪音小。

(3) 磨损部件少,工作可靠性大,使用期限可高达 10万 h 以上。

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

汽轮机动力装置存在下列一些缺点:

(1) 装置总质量尺寸大,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,装置效率较差,额定经济性仅为柴油机装置的 $\frac{1}{1.5} \sim \frac{1}{2}$,部分工况下,

甚至为 $\frac{1}{2.5} \sim \frac{1}{3}$, 在相同燃料贮备下续航力降低。

(3) 机动性差, 起动前准备时间大约 30~35min, 紧急情况下, 缩短暖机过程后也需要 15~20min, 在舰艇上为保证立即起锚的要求, 就以暖机状态停泊, 从而增加了停泊时的燃料消耗。另外从一个工况变换到另一个工况的过渡时间也较柴油机装置长 2~3 倍。

三、燃气轮机装置

燃气轮机通过多级减速齿轮机组传递功率给桨以推进船舶, 这是近年来发展很快的较新的装置, 它能满足近代舰艇对动力装置提出高速、高机动和极低的单位质量之战术技术要求。

舰用燃气轮机装置由高、低压压气机, 高、低压燃气轮机、燃烧室、中间冷却器和回热器等组成。

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 0.65~1.3 kg/kW, 全工况用燃气机装置 2~4 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 6×10^4 kW。

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

(3) 燃料消耗率比柴油机高, 但也能达 0.27~0.47 kg/(kW·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) 必须借助于启动马达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℃ 以上的燃气轮机, 寿命仅 500~10³h。

(4) 由于燃气轮机工作时空气流量很大, 一般为 16~23 kg/(kW·h)(柴油机——约 5 kg/

表 1-5 商船的各类推进装置性能参数

发 动 机		优 缺 点 分 析					
种	类	经济性, kg/(kW·h)	可靠性, h	机动性, min	噪声振动	质量尺寸, kg/kW	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 $1.2 \sim 2.0 \times 10^4$
	中速	0.166~0.190	$\sim 1.2 \times 10^4$	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	$\sim 5 \times 10^3$	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	$\sim 1.0 \times 10^5$	倒车 15~30 加速 15	噪声振动 都 小	单重 12~16	$2 \times 10^4 \sim 7.5 \times 10^4$
燃气轮机装置		0.270~0.470 油质要求特殊	$\sim 5 \times 10^3$ $\sim 1 \times 10^4$	离合器倒车 1~2 加速 0.5~1	噪声振动 较 小	单重 0.65~4	$0.8 \times 10^4 \sim 6 \times 10^4$

(kW·h), 蒸汽轮机——0.5kg/(kW·h))因此进、排气管道尺寸较大,舱内布置困难,甲板上较大的管道通过切口,影响船体强度。

上述三类最常用的动力装置的主要优缺点见表1-5。

四、联合装置

上述各类动力装置无论在质量尺寸、最大功率、装置经济性、操纵运转机动性等方面都存在某些不足,这对商船来说,除经济性之外,其他问题都可适当调整解决,但对军用舰艇来说,一种类型的装置只能适应某一功率范围以及某种使用目的舰艇,但是从提高战斗力观点要求应尽可能提高航速和机动能力,因此要在增大功率的同时还要减少装置所占排水量,提高续航力,这就不是单一型式的装置所能胜任,如汽轮机装置的功率范围很大,但它的单位质量和经济指标都较低;高速柴油机装置恰相反,它仅限于小功率范围内有利;燃气轮机具有质量尺寸小的特点,但寿命短,经济性不好,功率也不如汽轮机那样广泛。因此大力改善单一动力装置的性能是舰艇动力装置设计的重要任务。

任何舰艇在全速时要求装置发足全功率,但它在艇舰总航行时间中仅占2%还不到,为此它要花费足够的排水量安置全功率的机械质量;而舰艇巡航时间极长,要求经济性高,以求提高续航力。为解决全速时之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装置。

联合动力装置的应用解决了单一动力装置在舰艇使用方面的大难题,在某些舰上,它使质量降低20%,燃料经济性提高,从而使续航力提高25%。

目前有三种联合方式:蒸汽轮机+加速燃气轮机联合(COSOG或COSAG);柴油机装置+加速燃气轮机联合(CODOG或CODAG);燃气轮机装置+加速燃气轮机联合(COGAG)。

下面简单介绍它们的特点:

1. 蒸汽轮机动力装置带燃气轮机加速装置

此种装置由于蒸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

这种装置中,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按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小,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

这类装置中,柴油机作巡航机,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2%左右。

这类联合装置的优点: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;紧急情况下可用燃气轮机立即开车,用变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,可立刻发出全功率;④两个机组共同使用一个减速器,具有多种机组并车的可靠性;⑤管理与检修费较低。