

船舶动力装置概论

张志华等 / 编著

哈尔滨工程大学出版社



船舶动力装置概论

张志华等 编著

哈尔滨工程大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

船舶动力装置概论/张志华等编著. —哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社, 2002. 7
ISBN 7-81073-349-4

I. 船... II. 张... III. 船舶-动力装置-概论
IV. U664.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 052280 号

内 容 简 介

本书主要介绍船舶(军、民用)动力装置系统的组成、结构、工作原理、性能及发展。其中包括船舶内燃机、燃气轮机、蒸汽锅炉及汽轮机、核动力、联合动力装置、轴系传动、特种动力装置等。联合动力装置包括柴燃联合动力装置、燃蒸联合动力装置、电力推进等。特种动力装置包括闭式循环热能动力(热气机、柴油机、燃气轮机、蒸汽轮机)、燃料电池、蓄热式非传统能源、采用空间传输机构的特种发动机等。

本书可作为热能动力工程专业本科生及研究生学习船舶动力装置的基础性教材和教学参考书,亦可供从事船舶动力装置方面的科技人员参考。

哈尔滨工程大学出版社出版发行
哈尔滨市南通大街145号 哈工程大学11号楼
发行部电话:(0451)2519328 邮编:150001
新华书店经销
黑龙江省教育委员会印刷厂印刷

*

开本 787mm×1 092mm 1/16 印张 17.5 字数 433 千字

2002 年 8 月第 1 版 2002 年 8 月第 1 次印刷

印数:1—1 000 册

定价:22.00 元

前 言

本着教育改革精神,以面向 21 世纪的课程体系和教学内容改革为指导思想,以加强基础、拓宽知识面、提高学生创造能力、增强学生综合素质为原则,我们编写了这本教材。本书将各类船舶动力装置内容融合为一体,同时增加了船舶动力装置最新发展的内容,以适应新形势下社会对人才的需求。

通过本书的编写及相应课程的开设,期望能做到以下几点。

1. 以传统内容与现代发展相结合的课程编排激发学生自主学习的热情

本书内容几乎覆盖了各类船舶(包括水面与水下)所涉及的各种常规与特种动力装置。在内容编写、结构安排上力争迎合青年学生的求知欲望,做到读之易懂、学之有趣。

求新探索、思考创新是青年学生所具有的智慧灵光。本书从整体到局部基本是按着这一思路编写的。通过每一章的学习,使其能引起学生对相关动力装置各个专题的思考,激发学习主动性以便更深入的钻研探索。

2. 在目前专门教育为主的基础上,增加通才培养

我国高等技术人才培养的专门化模式已受到社会改革开放对人才需求的强烈冲击。事实证明过窄的知识面不符合一个工程师的基本要求。作为一个舰船动力工程师,应掌握各类舰船动力装置的构成、工作原理、工程应用等各方面的知识。在此基础上,经过进一步的专业培养与实践,具备解决专门领域工程实际问题的能力。有鉴于此,本书内容几乎涉及各类舰船动力装置,对每种装置都进行了恰当的介绍。学生通过本书的学习,能够获得尽可能大的信息量,对各类舰船的动力装置能有一个全面、适度的了解,以避免不同动力专业的学生对新型动力(如核动力等)一无所知、知识面过窄的现象。

3. 达到非动力类专业学生的入门启蒙效果

各类舰船动力装置融合了多门学科和各种高新技术,赋予了传统动力装置以新的生命力。新技术、新发明加速了新型、特种动力装置的研究,相当多的非动力类人员在舰船动力这个研究对象上有了用武之地。跨专业报考研究生,重新选择学习主攻方向,确已成为当今学生十分可行的愿望。通过本书的学习,非动力类学生可望在较短的时间内取得良好的效果,比较容易进入相应的研究领域。

本书由多年从事舰船动力装置教学和科研工作的教师集体编写而成,参加编写工作的有张志华(第一章)、贾锡印(第二章)、王国学(第三章)、王乃义、于瑞侠(第四章)、王兆祥(第五章)、孙聿峰(第六章)、王芝秋(第七章)。本书由主编张志华组织编写并统稿,由张文平、姜任秋主审。

限于编者水平与能力,定会存在不完善、欠妥甚至缺点错误之处,敬请读者给予指正。

编 者

2001.9 于哈尔滨工程大学

目 录

1 总论	1
1.1 船舶动力装置定义及其组成	1
1.2 船舶性能及其对动力装置的要求	2
1.3 船舶动力装置的性能指标	4
1.4 动力装置的类型及特点	8
思考题	14
2 船舶柴油机装置	16
2.1 柴油机的基本结构	16
2.2 四冲程柴油机的工作原理	17
2.3 二冲程柴油机的工作原理	20
2.4 增压柴油机的特点	23
2.5 多缸柴油机的工作次序	24
2.6 柴油机的分类	25
2.7 柴油机的主要技术指标与特性	27
2.8 运动机件	32
2.9 固定机件	39
2.10 配气机构和配气相位	43
2.11 柴油机的各系统和调速器	46
2.12 柴油机的自动化	66
2.13 典型柴油机简介	68
2.14 船舶柴油机的发展动向	71
思考题	72
3 船舶燃气轮机装置	73
3.1 船舶燃气轮机装置及其热力循环	73
3.2 压气机	82
3.3 燃烧室	90
3.4 燃气涡轮	99
3.5 燃气轮机装置的平衡运行特性	104
3.6 舰船燃气轮机的技术水平和发展动向	107
思考题	109
4 船舶蒸汽锅炉与汽轮机	110
4.1 船舶蒸汽锅炉	110
4.2 船舶锅炉的燃料和燃烧设备	112
4.3 船舶蒸汽锅炉的型式和结构	114
4.4 蒸汽过热器和尾部受热面	121
4.5 锅炉的基本工作过程	129

4.6	船舶锅炉的自动控制概述	135
4.7	船舶蒸汽锅炉的发展动向	137
4.8	汽轮机一般概念	138
4.9	汽轮机的基本结构	139
4.10	汽轮机基本工作原理	145
4.11	汽轮机的功率调节及运行特点	152
4.12	冷凝器	154
4.13	舰船汽轮机的发展趋势	156
	思考题	157
5	船舶核动力装置	158
5.1	原子核反应和核反应堆	158
5.2	反应堆装置	169
5.3	二回路装置特点	189
5.4	核安全	192
5.5	舰船核动力装置发展动向	194
	思考题	195
6	联合动力装置与后传动技术	196
6.1	概述	196
6.2	联合动力装置推进系统的组成和性能	201
6.3	船舶电力推进和电磁推进动力装置	203
6.4	船舶齿轮箱	206
6.5	船舶离合器与液力耦合器	209
6.6	船舶大功率高速联轴器	216
6.7	船舶轴系与螺旋桨	218
6.8	联合动力装置与后传动技术的发展	230
	思考题	230
7	特种动力装置	231
7.1	引言	231
7.2	闭式循环热能动力	233
7.3	热气机	243
7.4	燃料电池	255
7.5	蓄热式非传统能源	260
7.6	采用空间传输机构的特种发动机	263
	思考题	270
	参考文献	271

1 总 论

航行于水上的运载工具一般谓之曰船舶,其中用于军事用途具有装甲和武备的船舶称为舰艇。最早一般是利用风帆及桨橹使船舶运动,18世纪后逐渐发展使用热力机械作为船舶推进的动力(如往复式蒸汽机、柴油机、蒸汽轮机、燃气轮机等)。发展到现代,船舶动力装置的内涵、类型与结构更加丰富多样化和复杂,本书简要介绍现代船舶(军、民用)动力装置的组成、结构、性能及其发展概况。

1.1 船舶动力装置定义及其组成

“船舶动力装置”是指将燃料化学能转化为热能、机械能使船舶产生推进力保证船舶航行和提供能量消费的全部机械、设备和系统的总合体。船舶动力装置由以下几部分组成。

(1)推进装置

推进装置是将热机输出的动力、驱动推进器产生船舶推力的整套装置,其中包括有:

①主机

主机包括发出动力的原动机及为其工作服务的辅助设备和系统,是动力装置的最主要部分,如柴油机、蒸汽轮机、燃气轮机等。

②传动设备

传动设备是将主机动力传递给推进器的中间传动部件,包括起接合或断开作用的离合器、减速和反向的减速齿轮箱、传动轴和联轴节、或起联接和减振作用的弹性联轴节等。

③推进器

推进器是将主机动力转换成船舶推进动力的设备。现在绝大多数船舶使用的是螺旋桨,在水中旋转推动水流而产生动力。

(2)辅助装置

辅助装置提供船舶除推进装置以外所需的能量,以保证船舶航行和生活需要,包括:

①发电副机组

发电副机组供给全船所需的电能,如柴油发电机组、涡轮机发电机组等。

②辅助锅炉装置

辅助锅炉装置供应蒸汽以满足加热、取暖以及其他生活需要,包括辅助锅炉、给水鼓风、冷凝、换热等设备及阀件、管路系统。

③压缩空气系统

压缩空气系统供应全船所需的压缩空气,用于主机启动,舰艇鱼雷发射、潜艇沉浮以及船舶作业等项用途。包括压气机组、储气罐及减压阀等设备和管路系统。

(3)机舱自动化系统

为了改善工作条件、提高工作效率、减少故障和维修工作,船舶上多装有自动化系统,现代船舶推进动力装置采用三级控制系统。其中主机控制系统用于主机及可调螺距螺旋桨装

置等的控制,接受船舶总控制系统的指令,操纵和控制机组的启动、加减速、停机和稳态运行;具有极限调节,安全保护和参数检测处理等功能。

(4)船舶系统

动力装置正常工作,必需有全船系统的配合保障。全船系统包括有生活方面的通风、取暖、空调、照明、供水、卫生、制淡、冷藏等设备;安全方面的防火、防爆、防水、防漏等系统装备;此外还有锚、舵及装卸设备等。

1.2 船舶性能及其对动力装置的要求

舰船对动力装置的要求主要取决于船舶的类型及其性能。船舶是为完成预定的任务而建造的,对于民用船舶而言,其类型有:散装船、集装箱船、油轮、客轮、客货两用船、渔船及各种专门用途船,如游轮、渡轮、破冰船、科学考察船等;军用舰艇则有航空母舰、战舰、驱逐舰、护卫舰、扫(布)雷舰、潜艇、反潜艇、炮艇、鱼雷(导弹)快艇、后勤补给舰等。船舶作为水上运载工具,在使用性能上主要有技术性能和经济性能两个方面,对军用舰船来说着重于战术技术性能,而民用船舶则侧重于经济性,此外还要考虑建造营运的技术经济指标。不同类型的船舶其性能指标有所差别和重点不同,但主要性能指标是一致的。

(1)排水量(Δ)

排水量等于船舶总重量,由空船重量(LW)和载重量(DW)组成。

空船重量是指船体及其全部机电设备和武器装备的总重量,这可以认为是不变的重量。载重量则包括运载的物资,各种消耗和储备物资(燃料、滑油、淡水、粮食和弹药)的重量,旅客、船员及其行李的重量。

不同类型船舶其空船重量和载重量的比例是不同的,军用战斗舰艇的空船重量所占比例要大得多。民用客船的空船重量比例也比货船大。载重量是可变的,必须对排水量加以注明(排水量的单位为公吨,有些国家用英制吨(长吨)和美制吨(短吨))。 $1\text{公吨}=0.984\text{2长吨}=1.102\text{4短吨}$ 。

对民用船舶,最常用的是轻载排水量和满载排水量。轻载排水量是指包括有船员和行李及所有船上供应品,但未装载货物和各种消耗物资储备。满载排水量是指满载货物、燃料及船上其他物资储备。对于军用舰船根据消耗物资储备的数量多少,可分为以下排水量:

①轻载排水量——空船重量情况下的排水量。

②标准排水量——全部舰员及其所需的粮食、淡水和其他生活必需品储备,全部武备弹药,但不包括燃料、滑油和锅炉给水储备。

③正常排水量——标准排水量加上满载排水量时各种消耗物资的一半。

④满载排水量——标准排水量加上保证给定续航力所需的燃料、滑油和锅炉给水储备。

⑤最大排水量——所有消耗储备物资在舰上装载达到可能最大数量时的排水量。

(2)容积(∇)

水面航行船舶的水下部分的体积,也称作容积排水量(单位为 m^3),容积排水量与水密度的乘积,即为重量排水量。

在民船的营运中,由于排水量和载重量还不能表明船的大小,国际上一般使用登记吨位作为度量单位($1\text{登记吨位}=100(\text{ft})^3=2.83\text{m}^3$),其中只计装载货物、人员和储备消耗品的

舱室容积。

(3)航速(v)

舰船在水面或水下航行的速度,单位为节(knot—kn),每小时航行一海里为1节(n mile/h)(1海里=1.852(km)),航速是决定军舰战斗力的主要战术性能,也是民用船舶对经济效益有影响的使用技术指标。

①民船有最大航速、经济航速和最低航速之分。

②军用舰船可分为全速、经济航速、最低航速、倒车航速。

●全速 主机长时间用额定转速工作时达到的航速。对于快艇还有“最高航速”,此时主机超负荷工作,发出最大功率。主机由于超负荷连续工作不得超过一小时,这航速一般用于战斗追击或撤离战区。

●经济航速 此时船舶航行每海里的燃料消耗量最少。一般用于巡航。

●最低航速 主机以极限低转速稳定工作时的航速。此工况用于军舰靠码头或在烟雾、风暴中航行。

●倒车航速 停靠码头、海上机动及舰艏破损时使用,倒车航速相当于正车全速的30%~40%,可利用主机本身逆转、可反转离合器或可调距螺旋桨实现,潜艇可使电动机反转。

③潜艇在战争期间,主要是在水下航行的,因此其水下航速是重要的战术性能。

●水下全速 它取决于水下推进电机的功率和艇体阻力。核潜艇采用水滴形艇体单桨推进,航速可达到30(kn),而常规动力潜艇由于蓄电池容量限制一般只为(13~15)kn。

●水下低速 主推进电机在极限低转速下工作。

●水下经济航速 在这种航速下,使用经济推进电动机,每海里航程消耗电池组的电能最少,在低航速下艇体阻力小,螺旋桨低转速下工作效率高,蓄电池小电流放电损耗小,故可增长放电时间。

●潜航航速 为了不暴露目标,潜艇不浮出水面,只是通气管浮阀装置处在水面上,主机工作进行充电或航行。此时由于排气背压高,进气真空度大,柴油机工作恶化,其转速与功率降低,此外,由于通气管浮阀装置的附加阻力、通气管强度和刚度、及浮阀受波浪的影响,航速较低,一般不超过(9~11)kn,但不能低于2kn,航速过小会妨碍潜艇水平舵的操纵。

(4)续航力(S)

舰船在用尽全部燃料及其他消费品储量前,以恒速所航行过的距离称为续航力,以海里计。经济航速时的续航力,民用船舶称为最大航程。军用舰艇多给出全航速及其他航速下的续航力。

潜艇水下续航力 潜艇在电池组充满电能至完全放电的时间内在水下用推进电动机航行的距离。核潜艇航行可不依靠电池组,故水下续航力可以很大。而装有不依赖空气推进动力装置舱段的潜艇,可以在水下充电,故水下续航力还决定于液氧的储备量。

(5)自给力(T)

舰船在海上航行,中途不补给任何储备品所能持续活动的时间称为自给力,以昼夜计。它取决于燃料、油料、淡水、食品、弹药和备件等的储量和消耗的速率。

(6)生命力

舰船能抵御战斗破坏或失事破损并保持其运载、战斗能力的性能称为生命力。主要由船体生命力(不沉性和防火性),技术设备生命力和人员战斗力所决定。

(7)机动性

舰船起锚开航、改变航速和航向的性能。潜艇还包括改变水上、水下航态的性能,采用两个以上的机组、轴系及螺旋桨可增强舰船的机动性和生命力。

(8) 隐蔽性

舰船在海上航行并完成战斗运输任务而不被敌方发现的性能。隐蔽性主要是对军用舰船的要求,敌方靠雷达、声呐、红外探测器材等侦查我方舰艇。由于隐蔽性是潜艇至为重要的性能。应尽量减小装备振动噪声经艇体向水中辐射,采用隐身技术,吸收或非正常反射电磁波、声波等技术措施增强舰船的隐蔽性。

(9) 耐波性

舰船能在大风浪不良天气条件下完成任务的性能。民船在恶劣天气情况下,可以进港避风,而军用舰船可装备减摇鳍,以减少舰船的摇摆。一般来说水面舰船应在横摇 45° 、横倾 15° 、纵摇 10° 、纵倾 5° 情况下能正常航行。

船舶动力装置是船舶的重要组成部分。船舶的性能很大程度上要由动力装置来保证。为满足船舶的各项性能指标,对动力装置提出了相应要求。

功率足够大以满足船舶设计航速的要求。船舶在使用一个阶段后,船体被海生物污染,船阻力增大,动力装置效率也有所降低,故动力装置的设计功率要增大 $5\% \sim 10\%$ 。

重量轻、尺寸小,能保证船舶有大的载货重量和容积。

经济性好,耗油率低,能降低船舶的运行经济费用,增大舰船的续航力。

除以上三项主要的要求外,还应当机动性好,生命力强,隐蔽性好,耐用可靠,操纵管理方便,制造成本低等。

1.3 船舶动力装置的性能指标

船舶的性能指标与动力装置尤其是主机的性能有很大关系,在选择动力装置的类型及其组成部件时,首先要考虑能否满足船舶的性能。动力装置的性能指标主要有以下三个方面。

1.3.1 技术指标

它是动力装置最主要的指标,包括功率(转速)、尺寸、重量等多项内容。

(1) 功率指标

为了保证船舶有设计最大航速,要求动力装置有足够的功率。船舶航行时,船体受到的阻力与排水量、船型、吃水深度、航速、风浪情况以及船的摇摆性能等有关。克服船体运动阻力所必需的拖曳功率为

$$P_R = \frac{R \times v}{1000} \quad (\text{kW})$$

式中, v ——航速(m/s);

R ——船模试验得到的阻力。

由螺旋桨推进效率 η_p , 可得螺旋桨要求的推进功率。

$$P_p = \frac{P_R}{\eta_p}$$

考虑到推进轴系效率 η_s 后,即得到主机发出的有效功率。

$$P_e = \frac{P_p}{\eta_s}$$

螺旋桨要求的推进功率 P_p 亦可用“海军系数法”进行估算

$$P_p = \frac{V^{2/3} v^3}{C_B}$$

式中, V ——容积排水量(m^3);

v ——航速(kn);

C_B ——海军系数可由佛鲁特(Fu)数相同的母型船的 V_0 、 v_0 和 P_{p0} 求出。

$$C_B = \frac{V_0^{2/3} v_0^3}{P_{p0}}$$

对于排水型船舶,也可用阿佛那雪夫公式估算主机的指示功率。

$$P_0 = \frac{P_e}{\eta_m} = \left(\frac{v}{A}\right)^{10/3} \left(\frac{D}{K}\right)^{1/3} \quad (\text{kW})$$

式中, η_m ——主机的机械效率;

v ——船速(kn);

D ——排水量(t);

K ——船长型宽比 $K = L_w/B$;

A ——系数 $A = 24 \sim 32$ (客船取较小值)。

排水量相同的船,由于其性质、用途不同,对动力装置的要求有很大差别,为了比较其功率指标的大小,常用每吨排水量所必需的动力装置功率(称相对功率 α)来表征。

$$\alpha = \frac{P_{\kappa\kappa}}{\Delta} = \frac{V^{2/3} v^3}{\eta_s C_B \Delta} = \frac{v^3}{C_2 \Delta^{1/3}} \quad (\text{kW/t})$$

由式可见,相对功率 α 与船速三次方成正比(排水型船),而与排水量立方根成反比,内河船比海船大,军用船舶最大。

(2) 重量指标

船舶的排水量由船体重量、动力装置重量、消耗品重量、货物及旅客重量四部分组成,其中动力装置重量占很大比例。在一定排水量情况下,动力装置重量增大,必然将减少消耗品及运载重量。因此对动力装置的要求是在满足功率需求下,尽量使其重量要轻些。

动力装置重量有三种定义:动力装置干重(包括主机、辅机、管路、轴系,电站及锅炉)、湿重(干重,加上内部的工质及消耗品,但不包括消耗品存储量)及总重(湿重与消耗品存储量的总和),一般常用湿重。

排水量相同的船舶,由于用途及船速要求不同,所需功率也不同,从而动力装置的重量的差别也很大,为了表征动力装置的重量的特性,常采用比重量系数。

①动力装置的单位功率重量,亦称单位重量。

$$g_z = G_z / P_{\kappa\kappa} \quad (\text{kg/kW})$$

②单位排水量的重量,亦称动力装置相对重量。

$$\gamma = G_z / \Delta = \alpha \cdot g_z \quad (\text{kg/t})$$

相对重量亦可用排水量的百分数来表示。

$$\gamma' = \frac{\gamma}{1000} \times 100\% = 0.1\gamma\% = 0.1\alpha g_z\%$$

对于主机而言,有主机相对重量 γ_E 和主机单位重量 g_E ,一般 g_z 是 g_E 的(2~3)倍。

要保证船舶一定的船速,主要是减小 g_z 来降低相对重量 γ 。

(3)尺寸指标

动力装置的绝大部分机械设备集中布置在机舱内,机舱的大小应能合理安排下这些机械设备并便于维修管理,但机舱所占尺寸又会影响到船舶的有效装载容积。不同的舰船机舱的大小,对于装载能力和战斗力影响程度不同,对机舱尺寸要求也不一致。

机舱的绝对尺寸有机舱总长度 L 、机舱总面积 F 和机舱总容积 V 。

为了表征机舱的面积和容积利用率,采用以下尺寸指标相对值。

①机舱面积饱和度 K_F ,机舱单位面积的动力装置总功率值。

$$K_F = P_{\Sigma} / F \quad (\text{kW/m}^2)$$

式中, P_{Σ} ——动力装置的总功率,包括推进装置功率 P_p 和全部辅机的总功率 $P_{\text{辅}}$ 。

②机舱容积饱和度 K_v ,机舱单位容积所容纳的装置总功率值。

$$K_v = P_{\Sigma} / V \quad (\text{kW/m}^3)$$

不同用途的船舶,由于其装载量、航速、续航力的不同,各自的 K_F 、 K_v 值相差较大。

1.3.2 动力装置的经济指标

船舶的续航力和自给力,主要由动力装置的经济性决定,动力装置的经济指标由以下参数来评定。

(1)动力装置燃料消耗率

$$b_z = B_z / P_{\Sigma} \quad (\text{kg}/(\text{kW} \cdot \text{h}))$$

式中, B_z ——动力装置每小时的燃料消耗量

$$B_z = B_E + B_i + B_b \quad (\text{kg/h})$$

式中, B_E 、 B_i 、 B_b 分别为主机、辅机和锅炉每小时的燃料消耗量。

(2)主机燃料消耗率

$$b_E = B_E / P_e \quad (\text{kg}/(\text{kW} \cdot \text{h}))$$

(3)动力装置每海里航程燃料消耗量(kg/n mile)

$$b_m = B_z / v = \frac{B_E}{v} + \frac{B_i + B_b}{v} = \frac{g_e}{10^3} \cdot \frac{P_e}{v} + \frac{B_b}{v}$$

式中, g_e 、 P_e ——主机燃油消耗率(g/(kW·h))与有效功率, $B_b = B_i + B_b$ 为常量,与 v 无关。

已知主机功率与航速有近似 $P_e \sim C_1 v^3$ 关系,故

$$b_m = \frac{C_1}{10^3} g_e v^2 + \frac{B_b}{v}$$

可见 b_m 与燃油经济性(g_e)及航速 v 有关,可较好地反映动力装置的经济性。

(4)动力装置有效热效率

$$\eta_{\Sigma} = \frac{3600 P_{\Sigma}}{B_z Q_w} = \frac{3600}{b_z Q_w}$$

式中, Q_w ——燃料的低发热值 kJ/kg

同样可列出推进装置的有效热效率。提高动力装置热效率主要是降低燃料消耗率来达

到。

(5) 动力装置的建造、运转及维修经济性。

1.3.3 动力装置运行性能指标

此项运行性能指标对动力装置运行有重要影响,是动力装置选型所要考虑的重要依据。

(1) 机动性

船舶机动性很大程度上决定于动力装置(尤其是主机)的机动性,它是动力装置中各种机械设备改变工况的工作性能,包括启动、改变负荷工况、倒车工况、停车等。

主机准备启动阶段,有关辅机及其系统要处于工作状态,给主机注油、盘车和暖机时间随主机类型而不同,希望准备时间尽可能短些。

应迅速而可靠启动,从冷态暖机、启动到负荷状态下运行,其经历时间决定于主要部件的热应力状态,为此也常采用预热滑油的方法。

变工况机动性:主机由部分负荷到全负荷,部分机组到全部机组运行所需时间决定于调速系统性能和负荷分配的稳定性。

迅速可靠的实现正倒车变换,对于船舶的离靠码头和避碰是十分重要的,船舶全速前进变换至倒车制动航行期间的滑行距离标志着倒车机动性,倒车机动时间与主机类型及推进装置的传动方式有关,柴油机船舶反转时间最少,主机直接反转为(8~10)s,倒车离合器反转(3~8)s,变距桨反转(2~5)s,涡轮机变距桨反转(5~10)s。

为了保证船舶低速航行,主机应在最低稳定转速下可靠的工作,一般最低稳定转速是额定转速的0.3~0.4。

从开始断油或停止供气到停车的时间,虽对机动性能影响不大,但停车后仍需进行盘车等结束性工作。

(2) 可靠性

任何产品设备工作可靠性总是最重要的前提要求,工作不可靠,则其他性能都是不真实的。可靠性有两层含义:一是设备在使用阶段,非计划检修时间前能保持正常工作的能力,以故障发生的几率和因此停航检修或更换损坏件的时间来表征。二是使用寿命,设备在大修前能确保可靠工作的期限。动力装置主机寿命与其类型及用途有关,柴油机船舶主机:低速大功率柴油机为(4.0~8.0)万h,中速柴油机(0.8~3.0)万h,高速柴油机为(3 000~20 000)h。其它配套的机械设备的寿命应与主机寿命相适应。

(3) 隐蔽性

对于军用舰船来说是其战术技术性能的一项主要要求,隐蔽性是指不被敌方侦察器材发现的能力,以开始被敌方雷达或声纳发现的距离来评定。现代舰艇除采用隐身技术(使用吸收、干扰敌方发射的电磁波或声波的材料或结构)外,我方舰船应尽量消减通过船体向外发射的振动与声波,对民用船舶而言,振动噪声不仅影响机械本身的寿命,而且影响人员的工作条件与健康。

动力装置是船舶的主要振动噪声源,包括主、辅机振动、轴系扭振、横向和纵向振动;主、辅机噪声、进排气噪声和螺旋桨噪声。国家船级社制定出规范,对主、辅机的振动烈度、轴系振动和噪声级进行检验。

(4) 遥控和机舱自动化

这是衡量船舶现代化程度的标志,也是改善船员工作条件和提高船舶航行与生产能力的重要措施。根据船舶自动化程度,机舱可分成值班机舱和无人机舱两类,而主、辅机的操纵管理分成驾驶台远距离遥控、微机自动化管理,机舱控制室管理和机旁控制三类。机旁控制只作为故障和紧急情况下的操纵管理。

(5) 生命力

在故障、破损情况下动力装置最大限度维持工作的能力,是舰船总生命力的重要组成部分。动力装置生命力要靠主、辅机系统的合理布置、重要设备和机械有冗余备份和必要的工具材料储备来保证,在故障破损时主、辅机仍能工作。另外还需要船员的技术培训,使之有能力排除故障。

1.4 动力装置的类型及特点

在民用船舶及军用舰船中,因其用途和吨位的不同,动力装置的型式有很多种类,单一的柴油机、蒸汽轮机或燃气轮机一般称为常规动力,核动力、联合动力装置、电力推进称为新型动力,其它的如不依赖空气推进系统等称为特种动力。民用远洋运输船舶多用低速柴油机或蒸汽轮机,内河船只则用中、高速柴油机;军用中小型舰船多用中、高速柴油机,大型舰船采用燃气轮机、蒸汽轮机、联合动力装置或核动力;至于特种用途的船舶或水中兵器有可能采用特种动力装置。船上发电副机组或应急发电机组一般使用柴油发电机组,大型舰船上亦有与主机类型一致,而采用蒸汽或燃气轮机组组成发电机组的。

1.4.1 柴油机动力装置

柴油机动力装置由于其具有比较优良的性能,而广泛应用于货轮、客轮、油轮、渔船、工程船及军用舰船上,目前我国柴油机船的船舶总数、吨位和主机总功率均占 90% 以上。

(1) 柴油机动力装置具有的优点

① 有较高的经济性

耗油率 $g/(kW \cdot h)$ 比蒸汽、燃气轮机低得多。高速柴油机(转速在 $1\,000r/min$ 以上)耗油率为 $(200 \sim 250)g/(kW \cdot h)$, 中速机 $(300 \sim 1\,000)r/min$ 为 $(150 \sim 220)g/(kW \cdot h)$, 低速机 $(300r/min$ 以下)为 $(160 \sim 180)g/(kW \cdot h)$ 。新型号产品保持下限值,且由于结构改进和采用新技术,耗油率仍有下降的趋势。某些中、低速机可采用重油,耗油率稍高些,但燃油价格低,故经济性高。而蒸汽轮机装置耗油率为 $(180 \sim 350)g/(kW \cdot h)$, 燃气轮机耗油率更高为 $(250 \sim 400)g/(kW \cdot h)$ 。

② 重量轻

由于柴油机耗油率低,所以在一定燃油储量情况下,船舶续航力可提高,或在一定续航力下,可减少燃油储备量,增大其它物品的承载量。柴油机为内燃机类型,不需要主锅炉或燃烧器、工质输送管道,所以辅助机械设备较少,布置简单,故单位重量指标数值较小。

③ 具有良好的机动性

操作简单启动方便,正倒车迅速。一般启动前准备时间不超过 $(1 \sim 2)min$, 正常启动到全负荷运行只需要 $(10 \sim 30)min$, 紧急时,只需 $(3 \sim 10)min$ 。虽然比燃气轮机差些,但不需

要燃气轮机那样的启动和倒车设备。柴油机停车需(2~5)min,主机本身停机只要几秒钟即可。

(2) 柴油机动力装置具有的缺点

① 单机功率低

柴油机单机功率与汽缸数、汽缸工作容积、平均有效压力及转速成正比,现代柴油机平均有效压力一般为(1.0~2.5)MPa。柴油机尺寸重量随功率增长很快,其单位功率的重量:高速机为(1.4~3.7)kg/kW,中速机为(10~19)kg/kW,低速机为(20~35)kg/kW。所以柴油机单机功率受到限制,低速机也仅达 4×10^4 kW,中速机为 2×10^4 kW左右,高速V型机仅为 2×10^3 kW以下,个别达到 8×10^3 kW,这就限制了柴油机在大功率船舶上的应用。大型舰艇功率需($3 \times 10^4 \sim 5 \times 10^5$)kW,所以只能采用其他类型的动力装置。

② 柴油机工作中振动,噪声大

由于柴油机工作循环的周期性和主要运动机件的往复运动,故振动噪声大,应采用减振降噪措施,以满足船舶规范的要求。

③ 大修期限较短

中、高速柴油机运动部件磨损较厉害,因此大修期限短。一般中速柴油机为(20 000~50 000)h,高速柴油机为(10 000~20 000)h,舰用轻型高速强载柴油机的大修期为(2 000~5 000)h。

④ 柴油机在低速区工作时稳定性差

这是由于低转速时各缸的喷油均匀性恶化,甚至造成个别缸不着火现象,因此低转速的转速波动大。一般最低工作稳定转速为额定转速的0.3~0.4,影响船舶的低速航行性能。另外柴油机的过载能力也较差,超负荷10%时的运行时间限制为1h。

⑤ 滑油耗率较高

由于部分润滑油在气缸中烧掉,滑油蒸汽从曲轴箱中排出,故滑油耗率较高,一般为(0.5~4)g/(kW·h)

1.4.2 汽轮机动力装置

锅炉中产生的高温高压蒸汽,推动汽轮机工作,在汽轮机中膨胀做功后的乏汽经冷凝器凝结成水,再经过凝水泵、给水泵及给水预热器回到锅炉的水鼓中,从而形成一个循环。汽轮机再通过减速齿轮箱带动螺旋桨旋转。汽轮机动力装置的燃料在发动机外部进行燃烧,故属于外燃机的一种类型。

除汽轮机直接驱动螺旋桨外,也可采用蒸汽轮机发电,使用电力推进的方式。

(1) 蒸汽轮机动力装置的主要优点

① 汽轮机的转子在高温高压高速流动的蒸汽作用下连续工作,转速较高(船舶推进主机一般为(3 000~7 000)r/min,汽轮发电机大多 $\geq 3 000$ r/min),而且可采用高压、低压几级汽轮机,因此单机功率很大。现代蒸汽轮单机功率可达1 200MW,舰船用蒸汽轮机受到拖动螺旋桨的重量尺寸限制,单机功率达到75MW。

② 汽轮机叶轮转速稳定,没有周期性作用力,因此汽轮机组振动噪声小。

③ 汽轮机工作时只是转子轴承处有磨擦阻力。故磨损部件少,工作可靠性高。大修寿命可到10万h以上。

④可使用劣质燃油,滑油耗率也低,仅 $(0.1\sim 0.5)\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ 。另外,汽轮主机结构简单、紧凑、管理使用方便,保养检修工作量小。

(2)汽轮机动力装置作为船舶主、辅机不足之处

①汽轮机动力装置由于装备锅炉、冷凝器以及辅机和设备,故动力装置比较复杂、装置重量尺寸大,装置单位重量为 $(24\sim 26)\text{kg}/\text{kW}$ 。

②燃料消耗量大,装置效率低,额定经济性仅为低速柴油机装置的 $1/1.5\sim 1/2$,部分工况下仅为 $1/2.5\sim 1/3$ 。在相同燃料储备下续航力降低,燃油耗率约为 $(280\sim 350)\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ 。

③机动性差。由于启动前要加热滑油、冷凝器抽真空、主机暖机,蒸汽参数达到规定值后才能启动,故启动前准备时间大约为 $(30\sim 35)\text{min}$,缩短暖机过程后也需要 $(15\sim 20)\text{min}$ 。为了舰艇在战时能立即起锚航行,就以暖机状态停泊,从而增加了燃料消耗。另外从一个工况变换到另一个状态也较柴油机长 $(2\sim 3)$ 倍。汽轮机由正车改为倒车运行,须先将转速降下来,打开倒车阀进汽使汽轮机改为倒转。一般采用低转速下倒车,如为高速倒车,工作时间限制在 $(15\sim 30)\text{min}$ 之内。

1.4.3 燃气轮机动力装置

舰用燃气轮机是在航空燃气轮机应用以后发展起来的新型动力装置。由于其具有功率大、重量尺寸小、机动性好等优点,能满足舰艇动力装置的要求而得到广泛应用和发展。燃气轮机的高压涡轮驱动的压气机将从外界大气吸入的空气压缩,温度升高可达到 $300^{\circ}\text{C}\sim 500^{\circ}\text{C}$,进入燃烧室与喷入的燃油混合、燃烧后生成温度达到 $2\,000^{\circ}\text{C}$ 左右的燃气,再与来自压气机的另一股高压空气混合,掺混后温度降低至 $1\,200^{\circ}\text{C}$ 左右。进入高压涡轮(通常为 $10\,000\text{r}/\text{min}$ 左右)带动压气机,进入低压涡轮(多为 $3\,600\text{r}/\text{min}$)带动螺旋桨旋转。燃气轮机的启动要借助于电动机、高压气源或泵等外动力源的帮助。

(1)燃气轮机动力装置优点

①单位功率重量尺寸小、机组功率较大。有中间冷却、中间加热和回热措施的机组可达 $6\times 10^4\text{kW}$ 。商船燃气轮机单位功率重量为 $(6\sim 18)\text{kg}/\text{kW}$,舰用加速机组的装置单位功率重量为 $(0.65\sim 1.3)\text{kg}/\text{kW}$,全工况机组为 $(2\sim 4)\text{kg}/\text{kW}$ 。

②良好的机动性能 能迅速从冷态起动,也能迅速从热态转为停机。燃气轮机舰艇能在 $(2\sim 10)\text{min}$ 内达到 20kn 的航速,从空载到全速的时间需 $(2\sim 3)\text{min}$ 。大功率复杂循环的燃气轮机动力装置需 $(3\sim 5)\text{min}$ 。

(2)燃气轮机装置的缺点

①主机本身不能自行反转,可反转的机组其结构也较复杂,一般需设置专用的倒车设备。另外燃气轮机进、排气口附近噪声大,必须采取消声措施。

②由于燃气的高温,叶片使用的合金钢材料价格昂贵,工作可靠性差,寿命短,如燃气初温在 $1\,200^{\circ}\text{C}$ 以上的燃气轮机,大修寿命可达 $8\,000\text{h}$ 以上。

③燃气轮机耗油率比柴油机高,现已接近高速柴油机水平,达到 $(200\sim 300)\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ 的水平。

④由于燃气轮机工作时空气流量大,一般为 $(16\sim 23)\text{kg}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ (柴油机约为 5 ,汽轮机约为 6)因此进排气管道尺寸较大,给机舱布置带来困难,甲板上较大的管道通过切口,影响船体强度。单位时间空气耗量发出的功率称为比功率,燃气轮机为

(200~300)kW/(kg/s),大功率柴油机可达 400kW/(kg/s)。

1.4.4 联合动力装置

上述的三种动力装置,在最大功率、尺寸重量、装置经济性和操纵运转机动性等方面都各有优、缺点。对于民用船舶来说,主要考虑经济性,其他的问题可采用某些措施加以调整解决。对于军用舰艇,以提高战斗力为主要目标,尽可能提高航速和机动性,增大功率的同时还要减少装置所占排水量以提高续航力。舰艇全速工况要求动力装置发出最大功率,但全速工况在舰艇总航行时间中只占 2% 左右,舰艇大部分是巡航工况,要求经济性高,以提高续航力。为解决全速大功率与巡航经济性的矛盾,可采用联合动力装置。联合动力装置的型式有蒸燃联合动力装置、柴燃联合动力装置、燃燃联合动力装置等,其结构特点及性能可参见本书第六章内容。

联合装置的特点是大多利用燃气轮机作为全功率加速机组,巡航功率小于全功率的 50%,巡航机组和加速机组均通过离合器与主减速器连接,采用倒顺离合器或调距螺旋桨实现倒车。

(1) 联合装置的优点

- ①在保证足够大功率情况下,动力装置尺寸重量小。
- ②操纵方便,备车迅速,紧急情况下可用燃气轮机立即开车。
- ③自巡航到全速工况加速迅速。
- ④两机组共用一个减速齿轮箱,具有多机组并车的可靠性。

(2) 两种机型联合动力装置的不足之处在于舰上和基地需准备两种机型的备件

电力推进装置是与以上不同的另一种联合动力装置,或称为柴电联合或燃电联合、燃柴电联合动力装置。主机驱动发电机,而电动机拖动螺旋桨,主机可以是柴油机或燃气轮机,发电机组与电动机轴可以是分离的,也可以是通过离合器齿轮箱连接。另外也可用燃气轮机作为加速机组。

电力推进装置的最大优点是机动性好,电动机的最低转速可低到额定转速的十分之一以下,船舶可获得较小的航速,另外电动机的起动、正倒车时间也较短。发电机组与电动机可以各处于最合适的位置,动力装置的布置更为灵活,推进主轴较短。主机与螺旋桨可分别在最佳转速下工作,便于遥控,操纵性能好,可选用尺寸重量较轻的中高速柴油机组。电力推进装置的缺点是重量尺寸大,中间损耗大,初投资大,需要维修运行人员的技术水平高。电力推进多在潜艇及特种船舶上应用。

1.4.5 核动力装置

核动力装置是以可控核裂变链式反应所产生的巨大热能,通过加热工质来推动汽轮机工作的一种动力装置,现有的核动力舰船或核电站几乎全部采用压力水型反应堆。核反应堆中有反应堆芯存放着核燃料(如浓缩铀 U^{235}),燃料元件吸收中子后能直接产生裂变并放出新中子和巨大能量,用压力水作为中子的慢化剂和堆芯的冷却剂,裂变时释放出的能量被压力水带走,并经蒸汽发生器(热交换器)将能量传递给另一回路中的水使之成为蒸汽,压力水放热降温后再进入冷却剂循环泵,重新被送入反应堆加热,因此压力水形成一个闭合回路