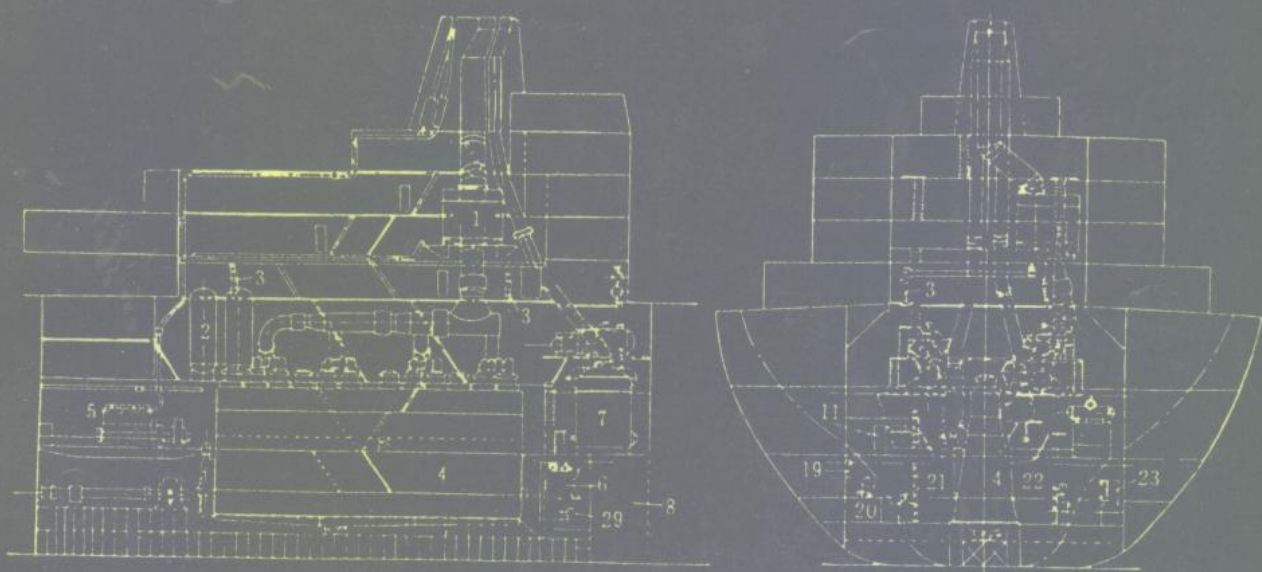


高 鹏 任文江 编

船舶动力装置设计



上海交通大学出版社

U664.1

616

425278

船舶动力装置设计

高 鄂 任文江 编



00425278

上海交通大学出版社

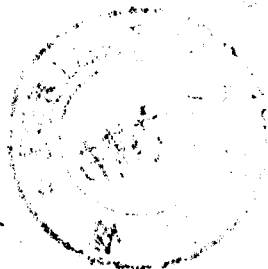
田宝荣

(沪)新登字 205 号

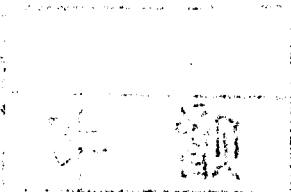
内 容 提 要

本书主要介绍船舶动力装置设计的基本理论与方法,对当前发展的电子计算机辅助船舶动力装置设计及最优设计等最新设计技术与方法都作了介绍。在此同时,也对船舶动力装置中的废热(余热)综合利用设计进行了论述。本书也反映了国内外船舶动力装置设计的新发展和科研成果。

本书作为船舶动力装置专业教材,也可供造船系统(设计、研究及生产单位)的工程技术人员,航运系统(远洋、沿海及内河)的工程技术人员与运行管理人员参考。



0317/35



船舶动力装置设计

出版: 上海交通大学出版社
(淮海中路1984弄19号)

印刷: 常熟市文化印刷厂

开本: 787×1092(毫米) 1/16

印张: 13

字数: 317000

版次: 1991年11月 第1版

印次: 1991年12月 第1次

印数: 1—1200

科目: 257—302

ISBN7-313-00975-5/U·66

定价: 3.75 元

前 言

本书系根据 1986 年全国高等院校船舶动力类专业教材讨论会上制订的“船舶动力装置设计”大纲编写的。

本书共分 7 章,着重阐述船舶动力装置设计的基本思想、理论与方法。随着船舶动力装置技术的发展,新的设计方法不断涌现,本书对此作了及时的介绍。特别要提到的是近年来所采用的电子计算机对船舶动力装置进行的辅助设计以及优化设计,集中体现了船舶动力装置设计新技术发展的最高点,为此本书用较多的篇幅对上述内容作了较详尽的论述,这可以说是本书的特点之一。在编写过程中同时参照了最新刚出版的 1989 年钢质海船入级与建造规范,这在迄今为止公开出版的船舶动力类书籍中所少见的,此乃本书的特点之二。

本书第 1 章论述了船舶动力装置设计的基本思想、观点与方法,对电子计算机辅助设计也作了介绍。第 2 章介绍主推进装置设计的原理与方法。第 3 章分别论述船舶轴系及传动设备的设计计算及选型。第 4 章阐述船舶供电与供热装置的设计与选型。第 5 章论述船舶管系及辅助设备的设计方法及其选型。第 6 章论述机舱布置设计与规划。第 7 章阐述船舶动力装置优化设计的基本概念与方法,并有实例介绍。上述各章均附有电子计算机辅助设计框图。

由于各院校的专业性质和侧重面的差异,对本课程的要求和学时数不尽相同,因此在内容安排上着重反映其共性和基本内容,各院校使用本教材时也可根据教学实际作适当取舍。

本书的编写工作由上海交通大学高鹗,任文江共同完成。高鹗编写第 1 章,第 3 章,第 6 章及第 7 章。任文江编写第 2 章,第 4 章及第 5 章。本书由武汉水运工程学院动力装置教研室张乐天教授主审。

本书在编写过程中,得到了各兄弟院校、船舶设计院等各部门有关专家的支持,提供了不少最新的宝贵资料,在此谨表深切的谢意。

编 者
1991年 6 月

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承担了全国高等学校船舶类专业教材的编审、出版的组织工作。自1978年以来，完成了两轮教材的编审、出版任务，共出版船舶类专业教材116种，对解决教学急需，稳定教学秩序，提高教学质量起到了积极作用。

为了进一步做好这一工作，中国船舶工业总公司成立了“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”四个教材小组。船舶类教材委员会(小组)是有关船舶类专业教材建设的研究、指导、规划和评审方面的业务指导机构，其任务是为作好高校船舶类教材的编审工作，并为提高教材质量而努力。

中国船舶工业总公司在总结前两轮教材编审出版工作的基础上，于1986年制订了《1986年—1990年全国高等学校船舶类专业教材选题规划》。列入规划的教材、教学参考书等共166种。本规划在教材的种类和数量上有了很大增长，以适应多层次多规格办学形式的需要。在教材内容方面力求做到两个相适应：一是与教学改革相适应；二是与现代科学技术发展相适应。为此，教材编审除贯彻“打好基础，精选内容，逐步更新，利于教学”的原则以外，还注意了加强实践性教学环节，拓宽知识面，注重能力的培养，以适应社会主义现代化建设的需要。

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。本规划所属教材分别由国防工业出版社、人民交通出版社以及各有关高等学校的出版社出版。

限于水平和经验，这批教材的编审出版工作还会有许多缺点和不足，希望使用教材的单位和广大师生积极提出宝贵意见，以便改进工作。

中国船舶工业总公司教材编审室

1988年3月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 船舶动力装置设计的任务、内容和要求.....	1
1.2 船舶动力装置设计的观点、方法与步骤.....	2
1.3 船舶动力装置电子计算机辅助设计概况.....	4
1.4 船舶动力装置最优设计的发展.....	7
第 2 章 主推进装置设计	8
2.1 主推进装置设计目的与内容.....	8
2.2 主推进装置型式的确定.....	8
2.3 机桨匹配与主机选型论证分析.....	10
2.4 机桨匹配和推进装置选型的计算机辅助设计.....	22
2.5 国内外典型计算机辅助设备选型程序系统简介.....	30
第 3 章 轴系设计与传动部件选型	35
3.1 轴系的任务、组成与设计的要求.....	35
3.2 轴系的布置设计.....	36
3.3 传动轴的组成、材料与计算.....	41
3.4 轴系合理校中设计及计算机辅助设计程序.....	48
3.5 传动部件的配置与选型设计.....	67
第 4 章 船舶供电和供热装置设计与余热利用	95
4.1 船舶供电装置设计.....	95
4.2 船舶供热装置设计.....	101
4.3 余热利用及其计算机辅助设计.....	109
第 5 章 管路系统设计与设备估算及选型	123
5.1 管系设计.....	123
5.2 管路计算.....	135
5.3 设备估算与选型及其计算机辅助设计.....	145
第 6 章 机舱布置设计	165
6.1 机舱布置分析和设备布置.....	165
6.2 机舱布置实例.....	170
6.3 机舱布置计算机辅助设计.....	176
第 7 章 船舶动力装置最优设计	180
7.1 船舶动力装置最优设计问题.....	180
7.2 船舶动力装置最优设计实例.....	184

第1章 绪 论

1.1 船舶动力装置设计的任务、内容和要求

船舶是水上运输、作业和保卫国防的工具。船舶动力装置是船舶的重要组成部分,它是为船舶的正常航行、作业、战斗和其他需要提供推进动力和各种二次能源(如电、蒸汽、热水、压缩空气等)的一套复杂的机电设备。习惯上,船舶动力装置是船舶上的机电设备和系统的总称,一般由主推进装置、辅助供能装置、保证船舶生命力和安全的设备及保证船上人员正常生活所必需的设备和环境保护设备等组成。船舶动力装置的工作性能和效果直接构成船舶整体性能的一个重要方面,也反映了造船技术和设计艺术的水平。

有人把船统称为人们在水上活动用的建筑物,它与陆地上的工厂或车间不同之处,在于它有较复杂的要求和工作条件。军舰的作战、运输船的航运、工程船的作业等活动,其任务不同,要求也各异,每一种船的动力装置必须为此提供条件,使各种活动能顺利实现,这是构成设计工作复杂性的原因之一。船员长时间生活和工作在船上,客船上的旅客在旅程中也生活在船上,动力装置必须为他们的正常工作和生活提供一定的条件,这是构成设计工作复杂性的原因之二。船舶与陆地上的建筑物或车辆不同,它是浮在水面或潜在水中,并活动于不同的地区,在任何时刻它都受到风浪、水流、气候等环境的直接影响,它又长时间离开陆地的支持,独立地在海洋和河流上活动,动力装置就必须能够在大风大浪颠簸摇摆的恶劣条件下工作,要具有在孤立无援的条件下依靠自己,维持工作,保障安全的能力。战斗舰船的要求更为苛刻,在战争条件下它要时刻为保存自己,消灭敌人而紧张活动,这是构成设计工作复杂性的原因之三。对特殊用途的舰船还具有其特殊的要求等等,这也增加了设计工作的复杂性。此外,船舱的总容积决定于船的大小,它是有限的,也是十分宝贵的,为此,动力装置的全部设备,只能集中放置在容积有限的机舱内,设备布置非常密集。同时,动力装置的重量占去相当一部分排水量,因此,设计时就要尽量压缩机舱容积和减轻动力装置的重量。总之,船舶动力装置较之陆上固定式动力装置具有更多的功能,更严格的要求,更复杂的工作条件,这是船舶动力装置设计的特点,也是船舶动力装置设计者所面对的现实。

船舶动力装置是一个复杂的工程系统,它包含着数量众多的机械和系统,而它们之间有着密切的联系和相互影响。这个工程系统的设计就称为船舶动力装置设计。设计的任务是根据用船部门的要求,制订一个既切实可行而又效果良好、符合设计任务要求的工程设计。

不论是常规的生产性设计,还是开发性的研究设计,船舶动力装置设计的基本内容一般包括主推进装置设计、辅助供能装置设计、管路系统与设备设计及机舱布置总体设计四大部分。

由于船舶动力装置设计工作的复杂性,作为未来的船舶动力装置设计工程师和科学工作者必须具有正确的设计思想与观点,掌握船舶动力装置设计的基本原理、基本内容和方法,此外应适应设计现代化的要求,掌握船舶动力装置计算机辅助设计的基本理论和方法,包括最优化设计的基本概念。本课程是一门设计课,是实践性和综合性均较强的课程,因此

我们重视加强在设计能力上的培养,使学生通过本课程的学习,灵活运用过去所学的基础知识和专业知识,解决设计中的各种问题,为今后从事船舶动力装置设计工作打下坚实基础。

1.2 船舶动力装置设计的观点、方法与步骤

众所周知,按主发动机类型,船舶动力装置可分为柴油机动力装置、蒸汽轮机动力装置、燃气轮机动力装置、核能动力装置和联合动力装置。由于柴油机动力装置具有较高的经济性、机型众多而功率范围广及良好的机动性等优点,从而使它在船舶中占有绝对的优势;另一方面不论上述何种船舶动力装置型式,在设计观点、方法及步骤方面具有很大的共性。因此本书就以柴油机动力装置作为典型进行深入分析与研究,从而起到牢固掌握一种,灵活运用于多种的举一反三的良好效果。

前述船舶动力装置设计的四大内容:主推进装置设计、辅助供能装置设计、管路系统与设备设计及机舱布置总体设计,它们在功能上是一个相互有关、相互制约的综合体,是一个有组织的、并具有共同功能目的复杂的整体,可称之为船舶动力装置设计系统工程。因此,必须用系统工程的观点方法来研究与设计船舶动力装置。设计研究人员只有具备了下述正确的设计观点与方法,才能使所设计的船舶动力装置不仅具有可靠、优良的工作性能,而且在经济性、操纵性等方面都达到较高的水平。

1.2.1 设计观点

正确的设计观点应该是全局和综合的观点、相关的观点以及最优的观点。

1. 全局和综合的观点

既然整个船舶动力装置由前述四大内容组成,因此在设计时务必要从总体出发,全局和综合地考虑问题,切忌片面性与局部性。

例如在设计时只考虑主推进装置效率的提高,而忽视其余三大部分的总体效果,那么,这样的设计不能说是优良的。再如在设计时,强调要满足总体性能要求,即对船舶动力装置而言,就应满足在可靠性、经济性和机动性(舰船还有隐蔽性等)等方面的要求,这三者必须全面地、辩证地加以分析,也不可因过分强调其中的一个方面而对另两方面要求有所降低(特种船舶或特殊情况除外)。诚然,要同时而无主次地满足上述三方面要求,往往是不可能的。例如有时为提高可靠性,在设备配置上数量多了一些,就有可能影响经济性。又为了提高经济性,增加了相应的节能设备,也有可能影响可靠性与操纵性,因为设备愈多,损坏与维修的可能性也相应增加。这就要求设计人员按照不同对象,全面综合地予以考虑。

2. 相关的观点

由于船舶动力装置各设备之间的相互依赖关系,设计人员应具有相关的观点。例如,在主机淡水冷却泵选型计算时,为了要使水泵排量减小,必须提高进出主机的淡水温差,但温差过大,淡水在主机出口处温度过高,就会导致主机冷却效果的降低及气缸磨损率的增加,这就要考虑水泵选型设计与主机可靠性之间的相关性。又如,在机舱布置设计时,动力装置设备的布置应该考虑到船体及电气设备的布置及工作要求。主机在机舱中位置的后移,可以缩短轴系长度,但这后移的位置必须服从于其它设备的布置与船体主机开口位置;辅机发

发电机组的布置既要有利于排气管的布置，又要为电机的移出机舱烘潮提供足够的方便。所有这些都要求设计人员从相关的观点予以很好的协调。

3. 最优的观点

从最优观点出发，要求所设计的动力装置具有最佳的综合效果。

主机的最优选型应该在满足一定航速条件下，所选择的主机具有最高的经济性，实现船、机、桨的最佳匹配。

海水冷却管系的最优设计就是要在能满足动力装置可靠工作条件下，选择最优海水温度参数，从而使整个管系与设备的成本费与运行费为最低。

1.2.2 设计方法与步骤

船舶动力装置设计是一个复杂而有联系的系统工程设计，所以应采用系统分析的方法，其逻辑过程如图 1.1 所示。

逻辑过程分析如下：

1) 建立目标：为某船设计的船舶动力装置，其燃耗费与初投资费均较低，性能可靠优良，符合设计任务书要求。

2) 决定约束条件：即航速、航区、续航力、油种及船舶主尺度的约束。

3) 明确政策与制订计划：即明确国家燃料政策、国家规定的船舶入级与建造规范、防污染公约及其它有关法令、标准等，并在此基础上制订工作计划。

4) 了解系统设计要求：对船舶动力装置在可靠性、经济性及机动性等方面和船主的具体设计要求必须了解清楚。

5) 方案选择：对船舶动力装置主机选型、传动型式、轴系设计、电站配置、管系设备设计与机舱布置等进行不同方案的论证、权衡与选择比较。

6) 最优方案确定：从各技术经济指标出发，参照船主要求，对各个方案进行优选、最终确定最优方案。

7) 详细设计计算：对所选择的最优方案，进行各部分内容的详细设计计算。

8) 分析评估：对整个设计从性能及各种指标方面予以评估。如果满意的话，即可投入生产设计进行生产，设计完成。若不满意的话，则必须重复前述过程予以修改，直到满意为止。

现分析船舶动力装置设计步骤：

根据前述方法，对设计工作在具体实施时一般要分成几个步骤阶段(又称时间维)：即报价设计、初步设计、详细设计与生产设计。

1. 报价设计

报价设计又称投标设计。设计部门对用船单位(船主)提出的技术任务书及营运要求进行详细分析研究，并作技术上的检验校核。从而初步确定船舶动力装置主、辅机，设备选型，以及机舱中的设备大体布置。此时应编制一份简要船舶动力装置说明书、机舱布置图与主

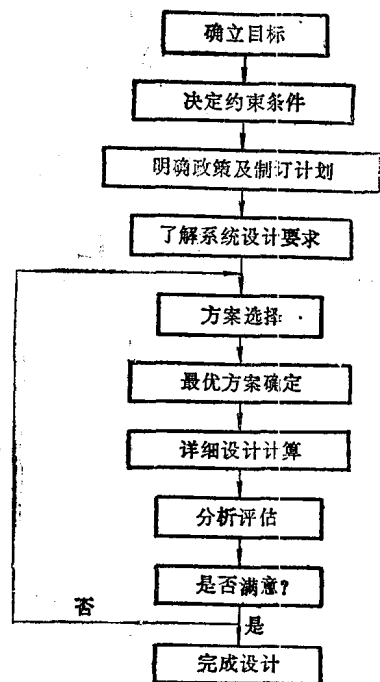


图 1.1 设计逻辑过程框图

要设备清单。同时也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订出价格,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型式及设备予以决定,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、各主要管路系统原理简图,并进行机舱设备重量重心估算。在此阶段,用船单位与设计部门应经常磋商,有些项目与内容可能要作些修改,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(图纸尺寸大,内容也更详尽)、轴系图、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,同时亦要求能制订动力装置试验大纲。

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。

1.3 船舶动力装置电子计算机辅助设计概况

从前述可知,船舶动力装置设计是一项内容广泛而又错综复杂的任务,为使设计人员更迅速而有效地提高设计质量、加快设计进度、避免设计工作中的重复计算以及在判断上易于出错等人为弱点,应按照船舶动力装置设计要求,充分发挥电子计算机的优点。几年来,由于造船界科技人员及高等院校教师的努力,已经研制了一系列电子计算机辅助船舶动力装置设计系统,并已在实际设计与生产中推广应用。

1.3.1 船舶动力装置设备选型集成系统

本集成系统是按照船主提出的技术要求及船体设计提供的信息,在计算机硬件的支持



下,能辅助设计人员进行船舶动力装置设备的选型设计。若再与其它程序系统连接,将可实现船舶设计——施工——管理的信息化。

1. 本集成系统主要功能是:

- 1) 按不同方案进行主机和所匹配的螺旋桨选型;校核主机与螺旋桨的最佳匹配;
- 2) 柴油发电机组辅机选型;
- 3) 完成各动力管系及全船性管系及设备的计算与选型;
- 4) 完成废热利用热线图计算,提供不同废热利用方案及经济性比较;对给定的废热利用方案,计算其经济指标,提出废热利用设备的技术参数;
- 5) 打印出规范化的主要设备初步计算书及规格化设备选型计算书和设备明细表。

2. 本集成系统结构由如下部分组成:

- 1) 程序主控模块——根据设计人员输入的信息,控制整个系统的操作流程;
- 2) 执行各种功能的程序模块——有主推进装置选型模块、废热利用设计模块、燃滑油管系设计模块、压缩空气管系设计模块、蒸汽管系设计模块、舱底压载消防管系设计模块及辅机发电机组选型模块等;
- 3) 专用数据库——数据库内贮存设计任务书的数据要求、船体有关数据、主辅机及各辅助设备的型号、规格、参数、价格等各种必要的数据库。

1.3.2 船舶轴系设计程序系统

本系统主要是实现在计算机上进行轴系振动与校中计算的程序要求。若再与轴系规范计算程序相结合,即成为船舶轴系设计集成系统。

本程序系统主要功能与结构模块是:

- 1) 扭转振动计算模块——计算轴系自由振动及强制振动;
- 2) 纵向振动计算模块——用我国船舶柴油机纵向振动计算标准或GOTAVERKEN方法计算强制振动,并计算纵向振幅许用值;
- 3) 回旋振动计算模块——计算横向振动固有频率,正、逆回旋的固有频率和临界转速。计算与固有频率相应各轴截面上的相对位移、转角、剪力和弯矩;
- 4) 校中计算模块——计算轴系校中时各截面上位移、转角、剪力、弯矩和轴承负荷。计算各轴承负荷影响系数并在各种限制条件下的轴承高度的合理变化值和此时轴系变形与受力。计算法蓝开口和偏移以及此时轴系的变形与受力。

1.3.3 船舶管路程序集成系统

本集成系统是采用电子计算机技术辅助船舶的管系综合布置设计,能替代人工进行管子零件计算和出图,绘制管系布置图,并提供管材统计表格和组织生产的指导性文件等。

本集成系统主要功能与结构模块如下:

- 1) 计算机辅助管路布置模块——根据所提供的机舱布置图进行自动排管,完成最佳路径计算,并自动划分管子零件及弯管工艺性检查与干涉检查,这包含有四个子模块来完成上述功能;
- 2) 管子零件计算与绘图模块——完成管子零件计算,绘制符合生产设计要求的各种形式的安装图和视图,这包含有二个子模块完成上述功能;

3) 管材统计模块——具有完成管材、支架等统计功能及进行重量重心计算等，这包含有四个子模块完成上述功能。

1.3.4 船舶机舱布置设计程序系统

本系统能代替人工进行机舱各层平面及有关部位结构图的绘制、机舱各设备图绘制与定位、机舱布置图的修改与绘制，并自动生成必要的文件。

本系统主要功能与结构模块如下：

- 1) 机舱平面布置模块——具有完成机舱平面各层结构图、设备平面视图绘制以及生成机舱平面各层的设备布置图，此外还打印设备明细表；
- 2) 机舱横向布置模块——具有绘制并生成机舱设备布置任一肋位横向剖视图的功能；
- 3) 机舱纵舳面布置模块——具有绘制并生成机舱设备布置纵舳剖视图的功能；
- 4) 文件生成模块——能自动生成机舱布置所需的有关文件。

除了上述所研制的较完整并又移植于微机进行推广应用的集成程序系统外，在船舶动力装置设计的其它个别内容中也已采用了电子计算机进行辅助设计计算。如油舱柜的蒸汽加热计算、机舱通风管路阻力计算、传动设备设计计算等。实践表明，应用计算机辅助船舶动力装置设计具有巨大的优越性，可适用于各个设计阶段。

为了更好发挥计算机在船舶动力装置设计中的作用，我们应该建立一个完整的船舶动力装置设计的计算机综合信息处理系统，如图 1.2 所示。该系统为一纵横混合结构，纵向结构以专业程序系统出现，横向结构则以阶段设计模块出现，纵横结构之间则通过数据库及程序库加以灵活运用。图 1.3 所示则是一个较完善的船舶动力装置设计计算机综合信息处理系统，它包括四个阶段设计模块：初步设计模块 PD、详细设计模块 PATD、生产设计工艺及管理模块 TAM 以及布置设计模块 DD 作为其横向结构。纵向结构则包括设备选型集成系统 SPSS、船舶轴系设计程序系统 SCPS、船舶管路程序集成系统 PCPS、机舱布置设计程序系统 ERLS、器材配套程序系统 ACPS 及生产施工程序系统 FMOS 等专业系统。所有全部均是以前程序库 PB 及数据库 DB 作为中心进行管理和调度。

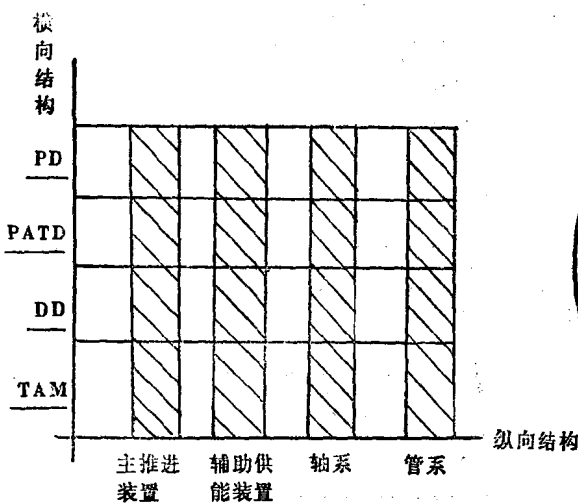


图 1.2 纵横混合结构

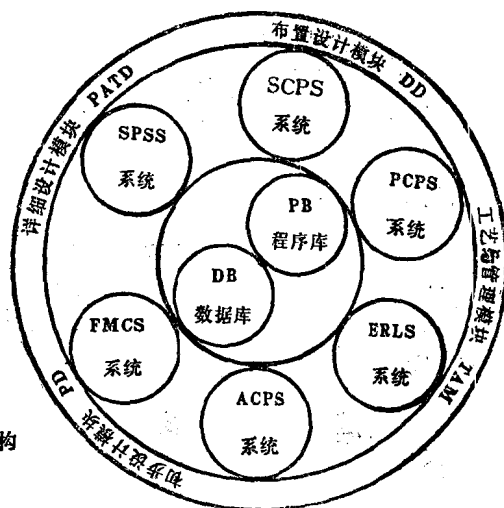


图 1.3 动力装置设计计算机综合信息系统

1.4 船舶动力装置最优设计的发展

船舶动力装置最优设计是近廿年来发展起来的以最优化数学为理论基础、以电子计算机为工具的一门新的技术,也可以说是船舶动力装置电子计算机辅助设计的重要和崭新的内容之一。

在船舶动力装置设计中,如何选取合理的设计参数,使装置效率最高、油耗最小、材料最省;在机舱管系布置设计中,如何使所选取的设备容量最小,管路最短,而又能满足设计要求;在轴系布置中,又如何使轴承布置的间距最佳,才能使轴承负荷小而均匀,如此等等,都是使这一类设计问题的目标最佳、效果最优。以往,船舶动力装置设计中的“最优”,往往只能较多采用经验和直观,人为地进行判断。但是,随着生产的不断发展及设计问题的复杂化,进行优化所涉及的因素愈来愈多,这时如单凭经验和直观判断,难以得出最优的设计方案。随着最优化理论的发展与高速电子计算机的出现,使我们有可能进行船舶动力装置最优设计问题的研究,并得以顺利解决,详见第7章。

因此可以说,船舶动力装置最优设计是船舶动力装置设计的必然趋势与方向,是新科技、新方法在船舶动力装置设计中的应用之一,应该加以进一步开发、推广与应用。

第 2 章 主推进装置设计

2.1 主推进装置设计目的与内容

主推进装置是船舶动力装置的一个重要组成部分,它包括主机、轴系、传动设备和螺旋桨等,其作用是由主机发出船舶推进所需功率,通过轴系与传动设备传给螺旋桨,从而使螺旋桨转动而产生推力,推动船舶运动,图 2.1 所示为主机功率传递过程。

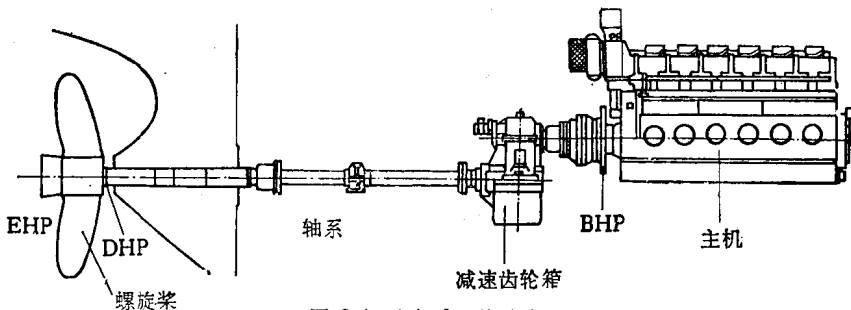


图 2.1 主机功率传递过程

主推进装置设计就是从设计任务书要求(航速、废热利用型式要求等)出发,设计一套在经济性、可靠性及机动操纵性等方面性能均为优良的主推进装置。设计内容一般有:

- 1) 主推进装置型式的确定;
- 2) 主机的选型;
- 3) 轴系设计;
- 4) 轴系传动设备的计算与选型。

本章先介绍 1)、2) 两个方面内容,第 3 章再介绍 3)、4) 两方面内容。

2.2 主推进装置型式的确定

主推进装置既然是由主机、轴系、传动设备及螺旋桨组成,因此根据它们的类型与数目的不同组合,就有不同型式的主推进装置,主要由下列四方面体现:

- 1) 按主机的类型与数目——低速柴油机、中速柴油机、高速柴油机;单机、双机、多机等。
- 2) 按螺旋桨类型与数目——定距螺旋桨、变距螺旋桨;单桨、双桨、多桨等。
- 3) 按轴系数目——单轴、双轴、多轴等。
- 4) 按传动方式——机械传动、电力传动、液力传动;直接传动、间接传动等。

各种类型与数目的主机、螺旋桨、轴系与传动方式都有其各自的技术特点。按照不同船舶要求,适当地将上述四者予以合理组合,就构成各种各样具有不同特点的主推进装置。实用的组合形式很多,比较典型的可见图 2.2。

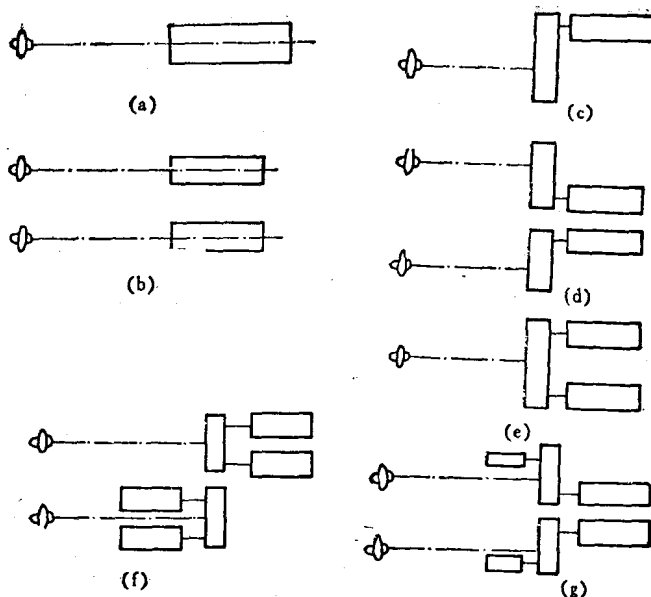


图 2.2 推进装置几种典型组合形式

正确确定主推进装置的型式,牵涉的问题错综复杂,但归纳起来,可以从如下几方面的原则加以考虑。

1. 按主机总功率的大小

按主机总功率的大小可以考虑主机的类型与数目、轴系与螺旋桨的数目。

大型低速柴油机单机功率大,耗油率低且耐用可靠,因此就较适宜于应用在大型沿海和远洋运输船舶中,可较大幅度降低运输成本和提年高运输量,采用型式以单机单桨直接传动较多。若要求主机总功率过大,则可采用双机单桨(轴),双机双桨(轴),或多机多桨(轴)等型式。此时主机大多是采用中速或高速柴油机,其重量、尺寸较小,便于机舱布置。

2. 按船舶种类与要求

对工况比较稳定的沿海或远洋货轮、油轮除了主机采用大型低速柴油机外,主推进装置大多是单机单桨,直接传动且螺旋桨是应用定距桨。客轮由于航速要求较高,吃水浅,因此主推进装置型式则采用双机(多机)双桨(多桨),一方面以满足航速要求,螺旋桨可充分浸入水中;另一方面采用双桨(或多桨)则可提高机动性。此时如果主机采用中速机或高速机,则必须采用间接传动以降低螺旋桨转速。渡轮、拖轮及其它工程船由于工况变化频繁,机动性要求较高,而且机舱尺寸有限,故主机采用中、高速柴油机,多机多桨,齿轮减速间接传动,螺旋桨可采用变距形式,以适应工况多变的要求。对舰艇,考虑到其作战及巡航等不同工况,为提高战斗力与生命力,亦常采用多机多轴多桨、间接传动的推进装置型式。近代潜艇及大型破冰船等由于其工作条件限制,且要求有较好的机动性,往往采用电力传动方式,而电力推进。

3. 按船舶的吃水深度

单机单桨直接传动的推进效率较高,但如果船舶吃水浅,单桨所需的螺旋桨直径又较大,此时必须采用双桨(或多桨)、以减小每只螺旋桨的直径,从而又可产生舵的转向效果,提高机动性。在这种情况下主推进装置型式则为多机多桨,有时在传动机组方面则设有并车

或分车装置。

4. 按主推进装置初投资、运转费和初投资费回收年限多少

在选用不同主推进装置型式时,应考虑其初投资与运转费用的大小和初投资回收年限,这里涉及到经济性的问题。以直接转动与间接转动相比,间接转动固然可降低螺旋桨转速,提高推进效率,从而增加航速或减少燃油耗量(燃料费用),但设置一套齿轮传动装置,包括弹性连轴节等,就会使整个主推进装置初投资费及维修费上升,此时就应考虑所增加的初投资费用的回收年限。若回收年限过长,间接传动的优越性必将受到重新评估。再如电传动,其优点固然是操纵灵活,机动性好,效果与变距螺旋桨相似,但从初投资费来看,造价比变距螺旋桨大,推进效率也较直接传动为低。

2.3 机桨匹配与主机选型论证分析

主机选型是根据设计任务书中的技术要求以及船体设计所提供的资料来进行的。主机选型和螺旋桨的设计密切相关,推进装置设备的选型也包括螺旋桨的选型与计算。

机桨匹配的任务是通过船、机、桨匹配计算和分析选定螺旋桨参数和主机型号,在满足设计技术要求(如航速、桨径、转速、功率)和考虑油耗、造价,吊缸高度、振动等前提下,选择一套包括螺旋桨和主机在内的最佳的推进系统。

当前,燃油费用已主导着整个船舶的营运费用。节能已成为降低营运成本的重要手段。因此,主机的选型不仅要考虑主机本身,机桨的最佳匹配也是寻求整个动力装置节能的重要手段。

2.3.1 机桨匹配的一般方法

过去,对同一缸径和冲程的柴油机只有一个额定输出点(MCR)。由于热负荷及经济性因素,其最佳使用工况一般推荐为85~90% MOR。这在一定程度上不能满足某一选定船舶所需要的功率和螺旋桨需要的最佳转速。因此即使吨位差异较大的船舶,往往只能匹配在这个狭窄的使用工况上,形成所谓“船配机”或“桨配机”的传统的船机桨匹配。近年来,柴油机厂采取了措施,采用了减额输出的方法,于是对于同一缸径及冲程的柴油机有了比较宽广的功率及转速输出范围可供选择。高速柴油机和大部分中速机一般仍只有一个额定输出点。

包括主机选型与螺旋桨参数确定的机桨匹配设计,根据已知条件和设计任务的不同,可分为初步匹配设计和终结匹配设计两个阶段。

初步匹配设计	{	输入: 船体主尺度,航速,有效功率曲线;
		输出: 主机功率,螺旋桨最佳转速或直径,并选择相适合的主机型号;
终结匹配设计	{	输入: 主机功率及转速,船体主尺度,有效功率曲线数据;
		输出: 相匹配的螺旋桨要素及校核所能达到的航速。

一般在机桨匹配设计中均包括上述两种设计内容。对于只有一个额定输出点的柴油机更需要根据这两个设计阶段的结果找到较好的匹配。初步匹配设计主要是在已知条件下经过分析论证与计算,得出所需的主机功率和螺旋桨转速,从而初步选择主机型号。但是往往所选择的主机型号,其功率与转速不大可能完全与初步匹配设计阶段的计算结果相一致,而往往是相接近,因此再必须以所选择的主机型号、功率、转速为基础,匹配一只效率最高的螺

螺旋桨以达到任务书提出的设计航速。

1. 初步匹配设计

初步匹配设计的任务是在已知航速 v 和有效功率 $EHP \sim v$ 曲线的条件下根据船舶的主尺度选定螺旋桨直径 D ，确定螺旋桨的最佳转速 n ，螺旋桨效率 η_p ，螺距比 H/D ，据此决定主机功率和转速，并选购主机。或者根据给定的转速 n ，确定螺旋桨效率 η_p ，最佳的直径 D ，螺距比 H/D 及主机功率，并据此选择主机。也就是说，在这个阶段要求我们根据给定条件确定最佳的螺旋桨特性参数，选择合适的主机，使之既能满足达到预定航速的要求，又能使消耗的主机功率小，以达到最好的匹配效果。

不论是初步匹配设计或者终结匹配设计，确定与主机相匹配的螺旋桨参数是其中主要的设计内容。影响螺旋桨性能的参数较多，诸如桨数、桨径、转速、螺距比、桨叶数、盘面比等。各参数之间又相互制约，故在计算和选定有关参数时应综合考虑各方面的要求，充分协调各参数之间的关系，从推进效率、空泡、振动、机动性、生命力等方面统筹考虑，作出合理的决定。

确定螺旋桨特性参数的方法很多，可以用最简单的经验图表和辅以简单的经验公式来确定；也可用螺旋桨模型敞水系列试验的结果绘制成专供设计的图谱来确定；也可以采用环流理论来计算求得。目前应用得最广泛的方法是图谱设计方法。这种方法比较简单、方便，易于为人们所掌握，而且如选用的图谱适宜，其结果也较满意。虽然应用图谱设计受到螺旋桨系列型式的限制，但此类资料日益丰富，已能包括一般常用螺旋桨的类型。

目前各国已发表的螺旋桨设计图谱较多。在商船螺旋桨设计中，以荷兰的楚思德 B 型螺旋桨和日本的 AU 型螺旋桨应用最为广泛。在这两种类型螺旋桨的图谱中， $B \sim \delta$ 型图谱是目前最常见的也是应用最广的一种图谱形式。B 型螺旋桨设计是采用 $B_p \sim \delta$ 图谱，其纵坐标为螺距比 H/D ，横坐标为 B_p ，如图 2.3 所示。图中有三种曲线：螺旋桨效率 η_p 及直径系数 δ 的等值线和最高效率线 η_{pmax} 。这些曲线是根据模型敞水试验结果绘制的。每张图对应于一定的叶数和盘面比。 B_p 和 δ 是 B 型图谱的计算系数， B_p 与 δ 的表达式为

$$B_p = K_B \frac{n \cdot P_D^{1/2}}{v_a^{2.5}}, \quad (2.1)$$

$$\delta = K'_B \frac{nD}{v_a}, \quad (2.2)$$

式中： B_p 为功率系数； δ 为直径系数； n 为螺旋桨转速 (r/min)； v_a 为螺旋桨的进速 (kn)，

$$v_a (kn) = v_a (m/s / 0.5144);$$

P_D 为螺旋桨收到功率 (kW)； D 为螺旋桨直径 (m)； K_B 和 K'_B 为单位转换系数，分别为 1.159 和 3.28。

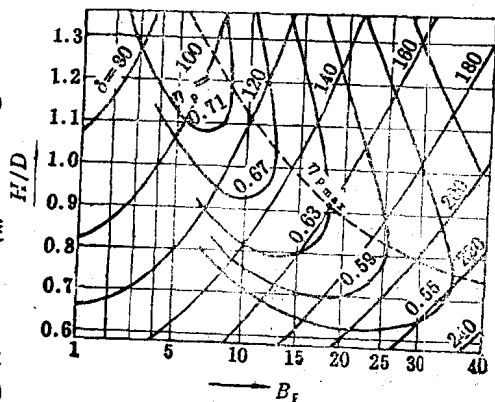


图 2.3 B 型 $B_p \sim \delta$ 图谱

B 型螺旋桨除提供 $B_p \sim \delta$ 图谱形式外，还提供了一种 $B_u \sim \delta$ 图谱。此图谱采用的纵坐标仍是螺距比 H/D ，而横坐标为功率系数 B_u 。直径系数 δ 的定义与式 (2.2) 相同。 B_u 的计算式为

$$B_u = K_B \frac{n \cdot U^{1/2}}{v_a^{2.5}}, \quad (2.3)$$