



# 船舶动力装置设计

陆金铭 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

# 船舶动力装置设计

陆金铭 编著

国防工业出版社

·北京·

## 内 容 简 介

本书主要叙述了船舶动力装置设计的基本理论与方法,并介绍了计算机辅助船舶动力装置设计及优化方法,对船舶动力装置中的废热综合利用设计也进行了论述。

本书可作为船舶动力装置专业教材,亦可供造船研究、设计和生产单位的工程技术人员及航运系统的工程技术人员与运营管理人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

船舶动力装置设计/陆金铭编著. —北京:国防工业出版社, 2006. 5  
ISBN 7-118-04343-5

I. 船... II. 陆... III. 船舶—动力装置—设计  
IV. U664.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 006614 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16 印张 13 字数 330 千字

2006 年 5 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 19.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

# 前 言

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。船舶动力装置的工作性能和效果是船舶整体性能的一个重要方面,它反映了造船技术和设计艺术的水平。

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,本课程是一门专业设计课程,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。

本书共分八章,其内容着重阐述了船舶动力装置设计的基本思想、理论与方法。同时介绍了计算机辅助设计及优化方法在船舶动力装置设计中的应用,对自己编制的设计软件也作了相应介绍。

第一章论述了船舶动力装置设计的基本思想、观点与方法,对一些辅助设计软件作了介绍。第二章介绍主推进装置设计的原理与方法。第三章介绍了轴系设计,轴承布置及振动校核等方法。第四章介绍了船舶轴系及传动部件的设计计算及选型。第五章介绍了船舶供电与供热装置的设计与选型。第六章介绍了船舶管系及辅助设备的设计方法及选型。第七章介绍了机舱布置设计与规划。第八章介绍了船舶动力装置优化设计的基本概念与方法。附录介绍了课程设计任务书及相应开发软件。全书由陆金铭副教授编写。

在编写过程中,编者得到了教研组老师们的支持,同时也得到了上海交通大学轮机自动化研究所马捷教授、徐筱欣教授的帮助,在此谨表示深切的谢意。

由于编者水平有限,书中缺点和不当之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编著者

2006年4月

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	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 船舶动力装置计算机辅助设计 .....	4
1.4 船舶动力装置优化设计.....	12
<b>第 2 章 主机与螺旋桨选型设计</b> .....	14
2.1 概述.....	14
2.2 推进功率.....	20
2.3 机桨匹配设计.....	26
2.4 空泡校核.....	34
2.5 经济性分析.....	39
<b>第 3 章 轴系设计</b> .....	46
3.1 轴系的任务、组成与设计的要求 .....	46
3.2 轴系的布置设计.....	47
3.3 传动轴的组成、材料与计算 .....	51
3.4 轴系合理校中设计.....	56
3.5 力矩分配法.....	59
3.6 三弯矩方法.....	70
3.7 轴系扭振校核.....	76
<b>第 4 章 传动部件的配置与选型设计</b> .....	86
4.1 离合器选型设计.....	86
4.2 齿轮传动装置选型设计.....	95
4.3 液力耦合器的选型设计 .....	104
4.4 弹性联轴节的选型设计 .....	111
<b>第 5 章 船舶供电和供热装置设计与余热利用</b> .....	114
5.1 船舶供电装置设计 .....	114
5.2 船舶供热装置设计 .....	119

5.3 余热利用及其计算机辅助设计 .....	129
<b>第6章 管路系统设计与设备估算及选型</b> .....	<b>144</b>
6.1 管系设计 .....	144
6.2 管路计算 .....	157
<b>第7章 机舱布置设计</b> .....	<b>166</b>
7.1 机舱的位置、大小和数目 .....	166
7.2 机器设备在机舱内的布置 .....	169
7.3 机舱布置实例 .....	178
7.4 机舱布置计算机辅助设计 .....	178
<b>第8章 船舶动力装置最优设计</b> .....	<b>183</b>
8.1 船舶动力装置最优设计问题 .....	183
8.2 船舶动力装置最优设计实例 .....	185
<b>附录1 动力装置原理课程设计任务书</b> .....	<b>196</b>
<b>附录2 软件使用说明书</b> .....	<b>199</b>
<b>参考文献</b> .....	<b>202</b>

# 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。船舶动力装置是船舶的重要组成部分,它是为船舶的正常航行、停泊、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。船舶动力装置的工作性能和效果是船舶整体性能的一个重要方面,它反映了造船技术和设计艺术的水平。

船舶动力装置比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。因为:

(1) 船舶任务不同,对船舶动力装置的要求也各异。如军舰的作战、运输船的航运、工程船的作业等,分别具有不同要求。

(2) 船舶动力装置必须为船员或旅客提供正常工作和生活的必需条件。

(3) 船舶动力装置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,必须具备足够的可靠性、机动性及隐蔽性。

(4) 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,动力装置的质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质量。

总之,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设备和系统,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又效果良好、符合设计任务要求的工程设计。

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,此外还应满足设计现代化的要求,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。本课程是一门专业设计课,是实践性和综合性均较强的课程,因此我们要重视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,解决设计中遇到的各种问题,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、方法及步骤方面都具有很大的共性。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。

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、操纵性等方面均达到较高的水平。

### 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

设计时必须从总体出发,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,而对另外两方面的要求有所降低(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他设备的布置与船体主机开口位置,辅机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。如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又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。

1) 建立目标:为某船设计的船舶动力装置,其燃油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) 明确政策与制定计划:即明确国家燃料政策、国家规定的船舶入级与建造规范,防污染公约及其他有关法令、标准等,并在此基础上制定工作计划。

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与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

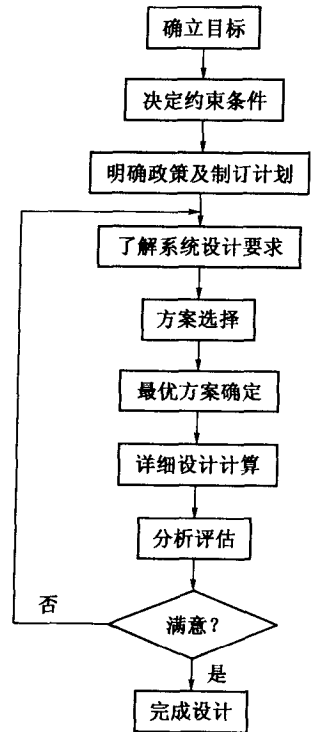


图 1.1 设计逻辑过程框图

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,并进行机舱设备质量质心估算。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机、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 船舶动力装置计算机辅助设计

从上述可知,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。若再与其他程序系统连接,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:

- 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) 完成各动力管系和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. 本集成系统结构的组成:

- 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——数据库内储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——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。计算法兰端面的偏移量和曲折度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,能代替人工进行管系零件计算和出图,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,并自动划分管系零件及弯管工艺性检查与干涉检查,包含有四个子模块来完成上述功能。
- 2) 管系零件计算与绘图模块——完成管系零件计算,绘制符合生产设计要求的各种形式的安装图和视图,包括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质量质心计算等,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) 机舱纵中面布置模块——具有绘制并生成机舱设备布置纵舭剖视图的功能。

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他个别内容中也已采用了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。

### 1.3.5 国内外先进设计方法

随着计算机的广泛应用,世界造船技术也发生了实质性的进展。先进的造船设计软件被大量应用到船舶设计上来。船舶设计在船体结构、机装及船装等专业的设计首次采用计算机三维设计软件——瑞典 KCS 公司的 TRIBON 造船设计软件。它从技术设计—施工设计的图纸都可在计算机中直接生成,从而使设计的正确性和速度大大提高,图纸的清晰度和完整性均能达到先进国家船厂的设计水平,大大提高了设计效率,而且使以往复杂的数据抽取、抽象的图形及线型的生成变的简单易行。瑞典 KCS 公司的 TRIBON M1 系统是世界上著名的计算机辅助设计与制造软件之一,它是生产及信息集成的软件系统,可用多种方法建立三维船舶数字模型。应用统一的船舶数字模型,在船舶设计的各个阶段能够实现各专业之间的信息共享,从而可以通过网络实现并行设计,降低专业间的协调成本。减少设计和制造中的修改工作量,提高设计质量。TRIBON M1 软件提供了功能强大的船舶设计和各类专业设计功能,包括用于初步设计,船体结构、管系、电缆、通风,其他钢质结构和基座的专门设计应用程序。世界上几乎所有最大的船舶和机械产品的生产厂家都使用该软件。而在大型散货船结构设计中,可用 ABS (美国船级社)的 SAFEHULL 系统 PHASE A 和 PHASE B 软件来对设计进行分析计算。利用三维有限元分析,得出各构件在不同工况下的受力情况,进而调整构件尺寸,真正做到物尽其用,减少了以往凭经验取保守值而造成的不必要浪费。世界上较为著名的机械造船设计软件很多,有基于 DOS 操作系统的,也有一些公司的 CAD 支撑软件是基于 Windows 平台开发的。有美国 Solid Works 公司的 Solid Works、Intergraph 公司的 SolidEdge、Autodesk 公司的 MAT、以色列的 Cimatron 等三维实体造船软件,具有较强的参数化特征造型功能。目前市场上最有影响的软件有:PTC 公司的 Pro/Engineer、SDRC 公司的 I-DEAS、Master Series、EDS/UG 公司的 UG II、法国 MDTV 公司的 Euclid-IS、美国的 CADDSS 和 AutoCAD,这六大软件占有

世界机械 CAD 设计软件市场的 70% 以上的份额。下面简要介绍一下各软件的设计性能。

AutoCAD 是非常优秀的计算机辅助船舶设计软件,它有多视图、网络支持、文件收藏、二次开发、上下文参照文字和线型帮助、尺寸特征和绘图优化等功能。它已向当今流行的绝大多数计算机平台上移植。使用起来相当容易,设计师在制作样品或正式加工产品之前能够对设计在微机上进行测试,大大降低了设计成本。它还提供了各种用户界面、图形编辑附加模块等功能,使用户很快能完成手工所不能完成的非常烦琐的工作,使船舶设计的进程大大加快。当前我国的船舶设计中相当数量的工作都依赖于 AutoCAD。

最早由美国 CV 公司推出的 CADD5 软件,此软件提供了功能强大的机械设计和各类专业设计功能,几乎世界上所有最大的船舶产品的生产厂家都是用该软件。1998 年 CV 公司被 PTC 公司收购,1999 年 PTC 推出了 CADD5 的全新 I 系列软件。它的功能比较齐全,用户很多。

UGS 公司的 Solid Edge 是基于 Windows 操作系统开发的,采用最新的 STREAM 技术,是完全与 Microsoft 产品相兼容的真正参数化的三维实体造型系统。Solid Edge 的 STREAM 技术是利用逻辑推理和决策概念来动态捕捉工程师的设计意图。当前应用的最新版本 Solid Edge 9.0 其中加入了 300 多项客户生产率驱动增强功能,是大型装配设计和管理、造型和绘图、工程辅助、网络设计交流的强大工具。它是目前最具工作效率的 CAD 工具之一。

澳大利亚 MAXSURF 船舶辅助设计软件系统形成了相当规模的计算机辅助设计能力,并具备了船舶设计图纸文件的电子信息储存管理功能。Maxsurf 为船舶设计和建造者提供了一套完整的船舶设计和建造软件,适用于小至游艇,大至货船的各种船舶的设计、分析和建造。Maxsurf 的各种模块均共享一个集成数据库,统一的 Windows 风格界面简单易学。并可方便地与 Microsoft Office、Microstation、AutoCAD 等进行数据与文件的转换。它包括以下模块:

1) Maxsurf 模块是 Maxsurf 系列的核心部分。它包括一整套建模工具,可使船舶设计师快速、精确地设计出优化的船体线型。用 NURB 曲面建立一个真正的三维船体模型,进行曲率分析显示,并渲染着色、输出型值和静水力计算、出图和打印。船体外形的光顺和精细对于优化船舶的性能和方便建造来说是非常关键的。Maxsurf 提供船体型线自动修改功能,以满足设定的主尺度要求及静水力性能。

2) Hydromax 模块是一个功能强大的完整和破损情况下的稳性分析程序。它包括质量质心数据表;破损情况;标准稳性校核;舱容计算;静水力计算、大倾角稳性;总纵强度计算;KN 表和稳性横截曲线。该模块特色为:完整的舱室划分;多种舱室定义;舱室合成、分解;完整的载况编辑;船舶静力学计算;稳性计算;破舱稳性;KN 稳性横截曲线;极限质心高(KG)分析;总纵强度;交互式图形结果显示。

3) Workshop 是详细结构设计模块,可使用户参数化地定义外板、肋骨肋板及纵骨结构等。它能自动生成结构部件,包括桁材、肋骨和板的展开,定义部件的位置,几何形状并建立数据库,能以 DXF 文件输出到其他 CAD 软件,或直接输入到 NC 数控切割系统。可根据 NURB 曲面模型参数化地定义部件,集成数据库可随时对定义的部件及计算结果实时更新,计算部件的数量、区域、质量、质心及切割长度等,并列成表格。

4) Seakeeper 是一个综合的适航性分析和运动预报模块。运用标准的 Strip 理论预测船舶运动,在规定海拔,对各种装载情况下船舶重心的典型运动进行预报计算。主要功能为:船体操纵响应计算;规定海域附体阻力的计算和合成;在规定载况下船舶重心运动速度、加速度的计算(绝对和相对运动);指定海域船舶典型运动的合成。并扶持多种标准,如 ITTC、JONSWAP 等,分析结果自动生成数据表格和图形。

5) Hullspeed 模块是船舶阻力和有效马力计算程序。采用多种分析方法(包括 Savitsky, Holtrop, Lahtiharju 等),以适应于海船、工作艇、游艇的不同要求。

6) PREFIT 模块(空间实体自动拟合模块)。它提供给设计者一系列的样条和曲面拟合以及精确的边界约束工具,可使拟合过程更加快捷和精确。该模块内置的型值表编辑器可以让设计者预览并修改型值,以便进行拟合工作。对船舶修造企业而言,既可根据船东和设计单位的新造船设计,精确地生成新船整体的三维立体模型,又可根据待修船的实际破损情况,生成局部的修补方案模型。

7) SPAN 模块(帆船性能分析模块)。它是专门用于帆船性能分析和预报的模块。帆船由于其船体线型、航态、推进和操纵方式等方面与其他机动船的差异,使得适用于它的分析方法也比较特殊。SPAN 应用类似于 IMS VPP 的计算理论,根据风的方向及速度,自动搜索计算出帆船相对于不同角度顺风和逆风的平衡运动状态,包括水阻力与风动力的平衡、航速和横倾角等。SPAN 的分析结果最后自动生成数据表格并绘制出航速一风的极坐标图线。

8) HYDROLINK 模块(数据转换模块)。它是可实现 MAXSURF 与其他分析系统相互进行静水力计算和分析数据传输的模块。通过 HYDROLINK 模块,可与 MAXSURF 之间进行数据相互传输的系统有 SHCP、MHCP、IMS VPP、BMT、Microship、USNA、IMSA NURBS、DXF、IGES 等。

现代船舶动力装置是船舶的心脏,在船舶上具有举足轻重的作用,它的内涵已经大大拓展,而且已经成为一项复杂的专门学科,其设计任务也变得非常繁重和艰巨。随着计算机科学技术的发展,人们逐步把计算机作为一种强有力的工具引进到众多领域,完成人工很难胜任或根本无法进行的工作。今天,计算机技术已经得到了极为广泛的应用,并且成为影响许多产业发展的首要技术因素。就船舶动力装置而言,国内外开发了多种计算机辅助设计(CAD)系统,如 KCS、CASES、CASIC、SDICAD 等,这些软件的规模、性能、作用各不相同,但都在一定程度上解决了动力装置设计和生产中的一些紧迫课题,极大地提高了工作的效率、质量和层次,展现了计算机技术在船舶动力装置设计方面的非凡作用和巨大潜力。

在我国动力装置 CAD 系统的研制,主要分布在一些高等院校、科研机构、船厂和少数软件公司(中心),经过多年的努力已初具规模。这些系统一般都包括有各类专业数据库,其计算程序多为自主开发,而其绘图功能,大多是在选定某一商业化软件平台上进行二次开发,使 CAD 系统具有许多专门的功能和鲜明的动力装置设计特点,在科研、设计、生产等方面发挥了很大的作用。动力装置 CAD 系统的计算部分,逐渐形成了集成化系统。(1)借助于数据库管理系统,将公共数据文件、各模块的输入数据和输出数据(计算结果)进行统一管理,各模块之间以数据文件为纽带建立起联系,形成一个系统。(2)工程计算子系统中各模块,经过长期的积累、应用和考核,丰富了计算内容,扩大了应用范

围,算法和软件编制水平、准确性和精确度等都有了很大的提高。(3) 目前工程计算机软件输出的计算结果和相关图表,均可以直接打印形成技术文件,并可以将中间和最后计算结果以图形方式显示在屏幕上,或打印输出,实现了所谓的工程计算可视化。工程计算内容中,有很大一部分与船舶检验规范和技术法规有关。我国船舶检验局颁布的《钢质海船入级与建造规范》、《钢质内河船舶入级与建造规范》(简称规范)和《船舶与海上设施法定检验规则》(简称法规)是船舶工程计算的依据。

目前由于我国造船工业有了很大的发展,全国各大船厂都在接受国外船东定单,产品已打入国际市场。国内船舶 CAD 系统的研制开发一时还不能满足造船工业快速发展的需要,因此不少船厂已从国外引进了船舶 CAD/CAM 系统。尤其是 KCS 的产品最受注目,近年来大连造船厂、大连新厂、江南造船厂、沪东造船厂、广州造船厂均已引进此项产品。

HydroComp Pro Expert,用于对工作船和游艇的推进系统进行选择和分析,PropExpert 建立于 NavCADTM 的技术库,它提供多种工具,用于选择合适的推进系统部件。它适用于船舶设备商、船舶建造商、设计者等任何涉及螺旋桨的技术人员都可以应用 PropExpert,尤其是考虑了主机和螺旋桨销售人员的需要。PropExpert 的适用范围主要是工作艇和游艇,包括机动船、帆船、拖轮、拖网渔船、巡逻艇、运动艇、渔船等。只需输入少量数据,就可以用 PropExpert 的各种分析计算系统对船进行详细的描述,对于几乎所有的民用船用螺旋桨,PropExpert 都可以计算出最合适的直径、螺距、叶面积和转速(RPM),这些螺旋桨可以是 2 叶到 5 叶,直径从 450mm(18")到 2.5m(100")包括高恩桨、翼剖面型(B 型桨),另外还有导管螺旋桨(Kaplan 桨)。PropExpert 提供 3 种方法来估算船舶的航速,最精确的方法是建立在在对船舶的航行试验基础上的估算。进行同类型船舶的航行试验也可以用来估算航速。当不具备可靠的航行实验数据时,可以使用 PropExpert 的平均船体航速估算公式。PropExpert 中的所有数据都储存在综合数据库中,不需要打开或存储磁盘文件,PropExpert 中包括工作数据库、航行试验数据库、默认设置数据库及螺旋桨和主机的数据库(这些文件也可以通过常用的数据库程序读出)。可以将 PropExpert 连接到开始时就建立的数据,也可以连接到商用数据库程序。World Marine Engine Data Base(世界船舶工程数据库)和 Hdrocomp Stock Propeller Data Base(HydroComp 螺旋桨数据库)都可以与 PropExpert 连接,这些附加的文件都可以向 PropExpert 订购。这样可以获得螺旋桨或主机数据。

HydroComp. Inc 和 Design Systems & Technologies(设计技术系统),它用于船舶螺旋桨的数据构造和二维或三维视图的自动成形。PropCAD 软件建立于 CAD(Corel Corporation 的可视 CADDTM)基础上,并在螺旋桨设计功能中加入了大量的带有针对性的 CAD 功能,另外 PropCAD 还具有一个完备的可视 CADD 软件包。

PropCAD 适用于船舶螺旋桨的生产商、研究者和设计者,他们是 PropCAD 的主要使用者。使用 PropCAD 强大的绘图功能,可以设计各种类型的船舶螺旋桨(PropCAD 甚至可以帮助绘制其他类型机器的转动部件,诸如涡轮机桨叶和航空推进器)。创建螺旋桨设计图最简单方法是使用 PropCAD Builder(编码程序)。

PropCAD 包含了常用螺旋桨(如高恩桨、B 型桨、Kaplan 桨、AU 桨)的资料库。输入一些关键的参数值,就可以创建螺旋桨完整的几何图形。例如,输入需要的盘面比、纵斜

和侧斜的值及厚度分布, PropCAD 将创建生成螺旋桨的所有几何参数。它包括弦长、叶厚度、侧斜、纵斜和叶剖面型值。用户可以对螺旋桨的几何参数进行编辑以创建实际的任何类型的桨型, PropCAD Builder 可以在已存在的图样基础上创建新的图样, 这样, PropCAD 所创建的螺旋桨图样可以被保存为新设计图样的“模板”。PropCAD 可以输出传统的二维设计图形, 三维视图和二维、三维叶剖面的型值表, 通过可视 CADD, 图形可以被观察、编辑和打印输出任何 Windows 支持的打印绘图设备, 设计图形包括展开图、横剖面图和侧视图, 以及螺距分布、几何信息(质量和质量转动惯量)及基本的螺旋桨几何参数。无论是二维或是三维的螺旋桨几何图形, 都可以由 PropCAD 输出, 这个信息存在多种格式, 并且用途广泛, 如可以被输入 NC 分析应用程序或者 CFD 和 FEM 分析程序。叶面厚度是任何螺旋桨设计中的一个重要参数, 而 PropCAD 可以生成一个合适的厚度计算报告报请船检部门审批。在初步设计阶段, 这些计算报告可以用来辅助 PropCAD Builder 计算螺旋桨的厚度。

美国 HydroComp. Inc 公司的螺旋桨设计软件船舶要设计出最佳匹配桨叶, 需以桨叶升力线和升力面原理针对所要设计的船舶和主机结合而设计高速度及省油桨叶, 特别是设计的桨叶, 可以得到很多方面的益处, 如提升船速、降低振动和噪声及防止或改善空泡侵蚀等。

最佳匹配螺旋桨是根据客户要求, 将船舶阻力、主机功率、有效功率曲线、桨叶直径、转数、叶片数等, 用桨叶的升力线方法计算最佳环流分布可提供伸张面积比和叶宽分布, 以达到防止空蚀发生的需求。用升力面方法设计可获得叶片拱弧、螺距分布、偏斜角和要素, 综合而成的特别设计桨叶, 即得到该船舶的最佳速度及效率。

此种设计是用专业电脑程序进行计算, 用不同减速比、叶片数和桨叶直径对该船舶进行效率重复推算, 以求达到极佳的设计方法。

所谓最佳匹配螺旋桨, 就是量身订作的桨叶, 将船体、主机及桨叶作最佳匹配, 从而设计出最高效率的螺旋桨。

下面介绍推进系统设计软件作为船舶“心脏”的船舶推进系统, 其设计和制造技术也必须相应地不断改进, 以使船舶具有更好的快速性、操纵性、机动性、降低能源消耗和更好地保护海洋生态环境。先进的 HydroComp 计算机辅助船舶推进系统设计软件在此时发挥了很大的作用。每艘现代机动船都是由船体、主机和推进器三者有机合成的能量整体。如何根据船、机、桨各自的工作特性, 进行科学合理的匹配, 以便在各种航行工况下, 使船、机、桨三者的效率最佳, 进而对船舶进行高效的管理, 对提高船舶营运经济性具有非常重要的意义。

HydroComp 计算机辅助船舶推进系统设计软件是由美国 HydroComp 公司于 1984 年推出的用于解决船舶推进系统设计的专业软件, 也是目前世界上该领域最先进和完善的软件之一。特别是 HydroComp 独特的核心设计理念, 使它在计算机辅助船舶推进系统设计领域独树一帜, 因而长盛不衰。到目前为止, 该软件已拥有全球 430 多家造船及航运业的专业用户。综上所述, 应用 HydroComp 计算机辅助船舶推进系统设计软件, 用户可以非常快捷、准确地解决船舶推进系统研究领域内的核心问题, 其中许多 HydroComp 独有的分析功能都是该软件设计理念的集中体现, 很有借鉴意义。

Seakeeper 计算机辅助船舶耐波性设计软件。船舶耐波性是指船舶在规定的海洋环



境条件下能够完成任务的能力,包括船舶在风浪中的摇荡运动、风浪阻力和失速以及船舶在风浪中受到的诱导弯矩、甲板淹湿、螺旋桨出水、船首砰击和颤振等。船舶耐波性应该与船舶快速性、稳性、抗沉性、推进和操纵等性能一样,从船舶初步设计阶段开始,直接参与主尺度及船型系数等基本要素的确定,使船舶设计成为真正意义上的“一体化动态”设计。但到目前为止,船舶耐波性设计往往在绝大多数船舶,特别是大型运输船队的初步设计阶段仍然处于非常薄弱、滞后的次要地位。

现代船舶耐波性研究始于 20 世纪 50 年代。随着船舶耐波性理论研究和计算方法的不断成熟以及计算机技术的飞速发展,现在 CAD 和 CFD(计算流体动力学)系统等计算机辅助船舶耐波性设计手段已经开始应用于船舶初步设计阶段,而且还在继续发展中。由澳大利亚 Formation Design Systems 公司开发成功的 MAXSURF 船舶辅助设计软件系列中的 Seakeeper 模块就是目前在这一领域胜人一筹的综合性船舶耐波性设计软件。

与船舶静深水阻力性能研究不同,由于船舶耐波性是一个受海洋环境条件、船舶任务、船舶响应以及耐波性衡准等诸多因素影响的综合性指标,如果在船舶设计的初步阶段就用水池实验的方法来研究它,可能做了大量的模型实验最后也未必能对实际应用有准确的指导意义;单纯应用有关船舶主尺度、船型系数以及型线特征和干舷高度等方面的耐波性经验设计原则也不能在全面考虑船舶各项设计任务的前提下进行综合优化,所以这些经验原则也只能作为大致的设计参考。这样应用 Seakeeper 计算机辅助、数学模型模拟船舶耐波性设计相对而言就比较经济可靠;设计者可以先用 Seakeeper 软件在船舶初步设计阶段以船舶耐波性设计衡准为目标,对大量的船型变量进行筛选和优化,再在后续的水池实验阶段将研究范围集中到对船舶耐波性设计影响最大的一到二个参数上,以得到后续更高的耐波性设计精度。

以上述船舶初步设计阶段耐波性设计思想为指导,Seakeeper 船舶耐波性设计软件运用标准的 Strip(薄片)理论,可对各种船舶在各种规定航线、海况和载况下的典型摇荡运动响应进行科学的预报。应用 Seakeeper 软件的这些计算结果,设计者就可在船舶后续的详细设计和生产设计阶段对船舶诸多方面的性能进行耐波性船型的优化设计。

一般来讲,航速高、质量轻的单体排水型船舶在风浪中容易产生较大的相对运动和加速度,耐波性较差。随着目前船舶航速的提高,特别是世界特种高速船以及装备更为精良的小型军用舰艇数量的增多,船东及海军正将对船舶性能要求的重点从静水航速和续航力等转向船舶的耐波性。国际海事组织也正在制定科学合理的耐波性设计标准,进而取代有关高速船的 HSC 船级符号。越来越多的船东也在船舶技术规格书和船舶建造合同中明确提出了船舶耐波性的设计指标。如瑞典 STENA 公司投入大量资金开发成功、获得了 3 项设计专利、耐波性超群的 STENA HSS 1500 型高速客船,其对船舶业的影响不亚于喷气发动机对航空业的影响。

可以预见,未来船舶耐波性设计领域的突破,将对 21 世纪整个造船及航运业带来一场新的技术革命。Seakeeper 计算机辅助船舶耐波性设计软件是大有可为的。

我国的船舶行业应用的辅助设计制造软件,多数是引进西方发达国家研制的、已经十分成熟的船舶 CAD 系统,这些软件为我国船舶设计制造做出了很大的贡献。另外我国也自主开发了有自主知识产权的国产船舶 CAD 系统。如清华大学的高华 CAD、华中理工大学 CAD、中国科学院的 PICAD 等在国内都有一定的市场。国内开发的船舶计算机辅助设