

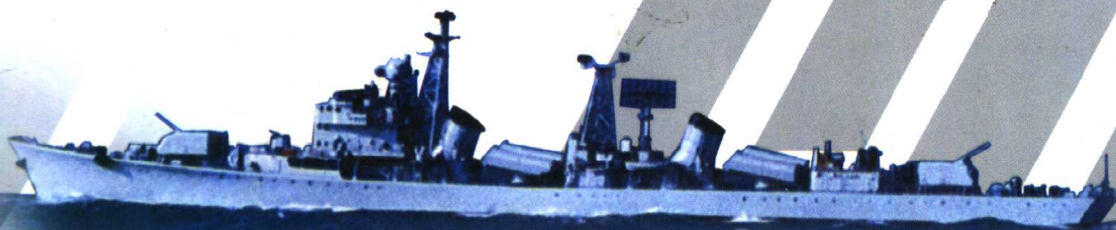
海军工程大学研究生系列教学用书

陈国钧 曾凡明 编著

# 现代舰船 轮机工程

XIANDAIJIANCHUAN LUNJIGONGCHENG

国防科技大学出版社



# 现代舰船轮机工程

陈国钧 曾凡明 编著

国防科技大学出版社

·长沙·

## 内 容 提 要

本书介绍了现代舰船轮机工程所研究的内容,包括各种推进装置的原动机、主要组成部件的总体性能和结构特点、动力装置总体设计的内容与方法、动力管系、机舱规划、推进轴系的振动分析与计算、船机桨的特性匹配与计算机仿真分析、隐身技术以及机舱自动化等。作者密切联系舰船实际装备,从总体优化的高度和系统优化的观点阐述了舰船轮机工程的基本理论和研究方法,各章节内容都融入了运用现代科技理论解决本学科前沿和疑难问题的方法和例证,反映了目前国内外轮机工程学科的先进水平和作者的研究成果与经验。

本书是轮机工程学科硕士研究生的基本教材,也可作为本学科和相近学科博士研究生的主要教学参考书和从事本学科研究和设计的工程技术人员的重要参考资料。

### 图书在版编目(CIP)数据

现代舰船轮机工程/陈国钧,曾凡明编著. —长沙:国防科技大学出版社,2001.5  
ISBN 7-81024-734-4

I. 现… II. ①陈…②曾… III. 舰船-轮机-研究生-教材 IV. U664.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第19660号

国防科技大学出版社出版发行

电话:(0731)4572640 邮政编码:410073

E-mail: gfkdcbs@public.cs.hn.cn

责任编辑:罗青 责任校对:张静

新华书店总店北京发行所经销

长沙交通学院印刷厂印装

\*

开本:787×1092 1/16 印张:49.5 字数:1143千

2001年5月第1版第1次印刷 印数:1-1300册

\*

定价:96.00元

## 编者的话

《现代舰船轮机工程》是我校工学门类轮机工程学科硕士研究生的专业主干课和必修课，也是学位课程之一。本教材是根据培养目标赋予本课程的任务，在充分吸取了我校自 1983 年建立硕士点以来的教学经验、国内外同类专业教材的有关内容和本学科领域在近 20 年来最新成果的基础上编写而成。

本教材主要介绍了现代舰船轮机工程研究的对象、任务和方法；从总体优化的高度，用系统优化的观点，对组成现代各种推进装置的原动机、主要部件的总体性能和特点进行了全面的分析；介绍了分析的方法；指出了各自的适用范围；论述了不同的组合方式对总体性能的影响；阐述了目前在本学科领域内达到的先进水平；引出了今后相当长时期中的发展方向和需要进一步研究的学科前沿问题等。直接为从事轮机工程学科领域研究的高级技术人才奠定宽广而系统的专业知识。所推荐的“模块化”设计方法和“船-桨-机配合分析”法不仅使选型论证的过程更简洁明了、结论更科学，还为制订使用预案和进行机舱自动化等的设计研究提供了依据。后传动装置、传动轴系、动力管系、机舱规划和布置等内容已进入到了技术设计的深度。所有章节都融入了运用现代科技解决本学科前沿和疑难问题的方法及例证，有助于培养本学科硕士生的科研能力。

本教材充分体现并落实了现代战争对海军舰船动力装置的各种要求，突出了以保障战斗能力（人-机工程）为主线的基本观点，并将有关的技术措施落实到相应的章节中。本教材专设了第九章（隐身技术）以满足现代战争对海军舰船动力装置的特殊需求。生命力观点、可维性观点、风险度预测、全寿命经济性等重要观点均作为指导思想的主要组成部分贯穿于本教材的始终，充分体现了海军高科技特色，有利于确立本学科硕士生的专业思想。

本教材也可作为本学科和相近学科博士生的主要教学参考书和从事本学科研究设计人员的重要参考资料。

全书分成十一章。第二章的第一节由唐开元教授撰写，第二章的第二节由万恒奕副教授撰写，第二章的第三节由金家善副教授撰写，第二章的第五节由蔡章生教授撰写，第八章的第一、二节由董祖舜教授撰写，第六章的第四节由吴新跃副教授撰写，第六章和第八章的其余部分由曾凡明副教授撰写，第七章由黄次浩教授撰写，第十一章由陈兆良教授撰写，其余由陈国钧教授撰写并与曾凡明副教授共同统稿。王昌一教授和朴甲哲教授认真审阅了全文并提出了许多宝贵的意见，在此深致谢意。

由于时间仓促和编者水平的限制，错误和遗漏在所难免，敬请读者批评指正。

# 目 录

第一章 概述	(1)
第一节 现代舰船轮机工程研究的对象和任务	(1)
1.1.1 现代舰船轮机工程研究的对象	(1)
1.1.2 现代舰船轮机工程研究的任务	(1)
第二节 现代舰船轮机工程研究的任务和过程	(2)
1.2.1 方案论证	(2)
1.2.2 技术设计	(3)
1.2.3 施工设计	(5)
1.2.4 三个阶段之间的关系	(5)
第三节 推进方式、传动方式与基本组成	(6)
1.3.1 推进方式分类	(6)
1.3.2 传动方式分类	(9)
1.3.3 基本组成	(15)
第四节 研究舰船推进系统的思路和方法	(17)
1.4.1 注重研究所需的基础	(17)
1.4.2 注重研究的方法	(19)
1.4.3 正确区分论证设计中的确定性和可选择性	(20)
第二章 原动机	(24)
第一节 柴油机	(25)
2.1.1 柴油机百年发展进程中的三个里程碑	(25)
2.1.2 舰船用柴油机	(40)
2.1.3 高科技时代的柴油机	(60)
第二节 燃气轮机	(83)
2.2.1 概述	(83)
2.2.2 舰船燃气轮机应用现状和发展	(87)
2.2.3 燃气轮机的主要结构	(89)
2.2.4 燃气轮机的稳定工作特性	(102)
2.2.5 燃气轮机的控制	(106)
2.2.6 国外舰船燃气轮机装置性能简介	(107)
第三节 舰艇蒸汽动力装置	(110)
2.3.1 概述	(110)
2.3.2 蒸汽动力装置的基本热力循环	(111)
2.3.3 舰用主锅炉	(115)
2.3.4 舰用汽轮机	(132)

2.3.5	蒸汽的冷凝与给水——凝水给水系统	(147)
2.3.6	蒸汽动力装置的热经济性	(152)
2.3.7	蒸汽动力装置的自动控制	(158)
2.3.8	某舰船用主汽轮机性能参数简介	(159)
<b>第四节</b>	<b>热气机</b>	<b>(159)</b>
2.4.1	工作原理和基本组成	(159)
2.4.2	实际结构、实际循环与技术难点	(161)
2.4.3	热气机的结构形式	(163)
2.4.4	热气机的热交换器	(166)
2.4.5	热气机的工质	(168)
2.4.6	热气机的工作特性	(170)
2.4.7	目前的发展水平和应用实例	(180)
<b>第五节</b>	<b>核动力</b>	<b>(183)</b>
2.5.1	核动力潜艇简介	(185)
2.5.2	核动力水面舰艇	(187)
2.5.3	核反应堆	(187)
2.5.4	舰艇核动力装置	(196)
2.5.5	反应堆物理	(204)
2.5.6	反应堆热工特性简介	(208)
2.5.7	核动力反应堆控制	(213)
2.5.8	辐射防护	(218)
2.5.9	核反应堆安全简介	(222)
2.5.10	美国、苏联、法国和英国的核动力潜艇简介	(224)
2.5.11	技术改进方向及展望	(229)
<b>第六节</b>	<b>燃料电池</b>	<b>(230)</b>
2.6.1	引言	(230)
2.6.2	用作舰船推进电源的可行性	(230)
2.6.3	在水下船艇中的应用	(231)
2.6.4	各国潜艇用燃料电池研制状况	(232)
2.6.5	在水面舰船上的应用	(236)
2.6.6	结束语	(242)
<b>第三章</b>	<b>可能组成推进装置的方案</b>	<b>(243)</b>
<b>第一节</b>	<b>组成推进装置的基层模块</b>	<b>(243)</b>
3.1.1	制订最初步方案的依据	(243)
3.1.2	推进模块	(244)
3.1.3	制订最初步的推进装置方案	(249)
<b>第二节</b>	<b>组成推进装置的可能方案</b>	<b>(255)</b>
3.2.1	“船-桨-机”静态配合校验(含航速性分析)	(255)
3.2.2	“船-桨-机”动态配合校验	(255)
3.2.3	推进装置总质量或续航力校验	(256)

3.2.4	现代常规动力潜艇推进装置的特点	(257)
3.3	初步方案的评定	(257)
3.3.1	推进装置的战技术性能指标	(258)
3.3.2	推进装置战技术性能指标优先次序和权值的确定	(263)
3.3.3	优化结果的输出内容	(263)
<b>第四章</b>	<b>电力推进</b>	<b>(265)</b>
1.1	电力推进的优越性	(265)
4.1.1	无主、副原动机之分,易于模块化且可在高效区工作	(265)
4.1.2	为舰船结构设计提供灵活性	(266)
4.1.3	可以采用定距桨	(266)
4.1.4	电动机-定距桨具有很大的适应性	(266)
4.1.5	较高的螺旋桨效率和螺旋桨的船后效率,减轻艉部振动	(267)
4.1.6	能减小船体阻力	(267)
4.1.7	提高轴系传动效率	(267)
4.1.8	缩短建造周期	(267)
4.1.9	全寿命周期费用	(267)
2.2	综合电力推进系统的构成与模块	(268)
3.3	电制选择	(270)
4.3.1	交-交、交-直混合制	(270)
4.3.2	交-交制	(271)
4.3.3	直-直制	(275)
4.4	组成综合电力系统的模块及其在各型舰船上的应用	(275)
4.4.1	组成综合电力系统的模块	(275)
4.4.2	各种模块在舰船上的应用	(276)
5.5	综合电力系统 CAD	(277)
<b>第五章</b>	<b>舰艇管系和动力管系</b>	<b>(278)</b>
1.1	管系技术设计的任务和应当遵循的原则	(278)
5.1.1	管系技术设计的任务	(278)
5.1.2	管系技术设计中应当遵循的原则	(279)
2.2	柴油主机海水冷却系统	(280)
5.2.1	柴油主机海水冷却系统的组成	(280)
5.2.2	初步确定海水冷却系统主要元部件的性能和选型	(280)
5.2.3	海水冷却系统的布置	(283)
5.2.4	校验	(284)
3.3	柴油主机的淡水冷却系统	(284)
5.3.1	柴油主机淡水冷却系统的组成	(284)
5.3.2	初步确定淡水冷却系统主要元部件的性能和选型	(286)
5.3.3	淡水冷却系统的布置	(288)
4.4	柴油主机的润滑系统	(288)

5.4.1	柴油主机润滑系统的组成	(288)
5.4.2	初步确定润滑系统主要元部件的性能和选型	(289)
5.4.3	润滑系统的布置	(291)
<b>第五节</b>	<b>柴油机燃油系统</b>	<b>(292)</b>
5.5.1	柴油机燃油系统的组成	(292)
5.5.2	柴油机燃油系统主要元部件的性能和选型	(293)
5.5.3	燃油系统的布置	(293)
<b>第六节</b>	<b>柴油机启动系统</b>	<b>(296)</b>
5.6.1	柴油机启动系统的组成	(296)
5.6.2	柴油机空气启动系统的主要元部件和选型	(296)
5.6.3	压缩空气系统的布置	(298)
<b>第七节</b>	<b>进排气系统</b>	<b>(300)</b>
5.7.1	排气波纹管	(300)
5.7.2	空气冷却器选型	(306)
5.7.3	常规动力潜艇的进排气系统的特点	(308)
<b>第八节</b>	<b>说明</b>	<b>(311)</b>
<b>第六章</b>	<b>后传动装置</b>	<b>(312)</b>
<b>第一节</b>	<b>弹性联轴节</b>	<b>(312)</b>
6.1.1	金属弹性元件联轴节	(313)
6.1.2	非金属弹性元件联轴节	(324)
6.1.3	万向联轴节	(335)
<b>第二节</b>	<b>离合器</b>	<b>(336)</b>
6.2.1	概述	(336)
6.2.2	摩擦式离合器	(340)
6.2.3	同步离合器	(359)
6.2.4	液力偶合器及其在舰船动力装置中的应用	(377)
<b>第三节</b>	<b>齿轮传动装置</b>	<b>(413)</b>
6.3.1	齿轮传动装置概述	(413)
6.3.2	传动齿轮箱主要参数的确定	(419)
6.3.3	传动装置方案设计时应考虑的几个问题	(424)
6.3.4	多机并车时的负荷分配	(427)
6.3.5	双速比齿轮箱	(434)
6.3.6	大速比小功率传动装置	(434)
<b>第四节</b>	<b>后传动装置的计算机辅助设计与分析</b>	<b>(436)</b>
6.4.1	计算机辅助设计在后传动装置中的作用	(437)
6.4.2	计算机辅助工程 (CAE) 在后传动装置中的作用	(445)
<b>第七章</b>	<b>轴系</b>	<b>(448)</b>
<b>第一节</b>	<b>轴系设计概述</b>	<b>(448)</b>
7.1.1	舰船轴系的作用和组成	(448)



7.1.2	轴系的数目及布置	(449)
7.1.3	轴系设计要求与设计程序	(451)
第二节	轴系元件的选型与设计	(455)
7.2.1	传动轴的设计	(455)
7.2.2	联轴节选型与设计	(464)
7.2.3	轴系密封装置的设计	(474)
第三节	轴系振动的激振力	(479)
7.3.1	舰船推进轴系的激振力	(479)
7.3.2	柴油机的激振力	(479)
7.3.3	螺旋桨激振力	(485)
第四节	推进轴系的扭转振动	(488)
7.4.1	概述	(488)
7.4.2	轴系扭转振动的计算模型	(490)
7.4.3	自由振动	(490)
7.4.4	受迫振动	(498)
7.4.5	轴系扭转振动许用应力	(503)
第五节	推进轴系的回旋振动	(505)
7.5.1	概述	(505)
7.5.2	回旋振动的特性	(506)
7.5.3	回旋振动的固有频率	(511)
7.5.4	推进轴系回旋振动固有频率的影响因素	(514)
7.5.5	固有频率的近似估算	(518)
7.5.6	回旋振动的回避	(520)
第六节	推进轴系的纵向振动	(522)
7.6.1	概述	(522)
7.6.2	纵向振动的简化模型	(523)
7.6.3	自由振动	(525)
7.6.4	受迫振动	(532)
7.6.5	舰船推进轴系纵向振动的衡量标准	(540)
7.6.6	纵振的消减和回避	(542)
第七节	舰船推进轴系校中计算	(545)
7.7.1	概述	(545)
7.7.2	轴系合理校中计算	(548)
7.7.3	舰船轴系的动态校中	(553)
<b>第八章</b>	<b>“舰体-主机-螺旋桨”配合</b>	<b>(557)</b>
第一节	舰船阻力	(558)
8.1.1	舰船阻力的组成与阻力曲线	(558)
8.1.2	摩擦阻力	(562)
8.1.3	粘压阻力(形状阻力)	(568)
8.1.4	兴波阻力	(572)

8.1.5	工程实用的舰船阻力确定方法	(582)
8.1.6	浅水对阻力的影响	(588)
<b>第二节</b>	<b>舰船推进器</b>	<b>(594)</b>
8.2.1	螺旋桨的几何特性	(594)
8.2.2	螺旋桨的工作原理和水动力特性	(598)
8.2.3	螺旋桨与船体的相互作用	(608)
8.2.4	螺旋桨性能图谱与合理选择螺旋桨	(617)
8.2.5	舰艇航速性分析	(627)
8.2.6	螺旋桨的空泡现象	(639)
8.2.7	特种螺旋桨简介	(645)
<b>第三节</b>	<b>船机桨配合的计算机辅助分析</b>	<b>(651)</b>
8.3.1	概述	(651)
8.3.2	稳定配合工况	(653)
8.3.3	变工况分析	(654)
<b>第九章</b>	<b>舰艇动力装置隐身技术</b>	<b>(670)</b>
<b>第一节</b>	<b>噪声场的抑制</b>	<b>(671)</b>
9.1.1	噪声场的形成	(671)
9.1.2	噪声在介质中传播的特性	(673)
9.1.3	声波的度量	(675)
9.1.4	几点结论	(676)
9.1.5	舰艇动力装置的振动和噪声	(677)
9.1.6	动力装置的振声控制技术	(680)
<b>第二节</b>	<b>光和电磁的隐身技术</b>	<b>(685)</b>
9.2.1	光隐身	(685)
9.2.2	磁隐身	(687)
9.2.3	其他隐身技术和发展趋势	(688)
<b>第十章</b>	<b>机舱规划和布置</b>	<b>(690)</b>
<b>第一节</b>	<b>机舱规划</b>	<b>(690)</b>
10.1.1	机舱规划的任务	(690)
10.1.2	机舱在舰船中所处部位和宽度的选择	(690)
10.1.3	机舱高度的确定	(693)
10.1.4	机舱的组成方式和数量的确定	(694)
10.1.5	关于集控室	(695)
<b>第二节</b>	<b>机舱布置</b>	<b>(696)</b>
10.2.1	机舱布置的任务和必须遵循的原则	(696)
10.2.2	机舱布置实例	(699)
10.2.3	CAD 和 CAM 等技术在机舱布置中的应用	(701)
<b>第三节</b>	<b>机舱的散热和热平衡</b>	<b>(702)</b>
10.3.1	从机舱带走热量方式的选择	(703)

10.3.2	机舱的热平衡计算 .....	(705)
第四节	质量、质心计算 .....	(708)
<b>第十一章</b>	<b>机舱自动化概论 .....</b>	<b>(709)</b>
第一节	机舱自动化的组成与发展 .....	(709)
11.1.1	机舱自动化的组成 .....	(709)
11.1.2	输入设备的发展概况 .....	(710)
11.1.3	输出设备的发展概况 .....	(713)
11.1.4	监控组件的发展概况 .....	(716)
第二节	机舱自动化的理论基础与内容 .....	(718)
11.2.1	单输入、单输出与古典控制理论 .....	(718)
11.2.2	对监控系统的要求 .....	(720)
11.2.3	多输入、多输出与现代控制理论 .....	(720)
11.2.4	计算机的离散控制 .....	(722)
11.2.5	机舱自动化的内容 .....	(727)
第三节	模拟量现场控制器 .....	(729)
11.3.1	机械液压式调速器 .....	(730)
11.3.2	模拟式电子调速器 .....	(730)
11.3.3	数字式电子调速器 .....	(734)
第四节	主推进装置的自动控制 .....	(736)
11.4.1	舰船运动的基本方程与控制策略 .....	(737)
11.4.2	间接回行推进装置的监控系统 .....	(741)
11.4.3	直接回行推进装置的监控系统 .....	(751)
11.4.4	CODOG 型动力装置的监控系统 .....	(754)
11.4.5	其他联合动力装置的监控 .....	(767)
<b>参考文献</b>	.....	<b>(778)</b>

# 第一章 概述

## 第一节 现代舰船轮机工程研究的对象和任务

### 1.1.1 现代舰船轮机工程研究的对象

任何战斗舰艇,尽管它们的使命与任务各不相同,据此而决定的排水量、航速等战术技术指标也千差万别,但是其总体构成,均分为两部分:一部分是直接为完成其战斗使命与任务而设置的作战系统,包括所有的武器装备、弹药、预警系统与电子对抗系统等;另一部分是能使作战系统充分发挥效能的海上平台系统。<sup>\*</sup> 海上平台系统的任务可以归纳成五个方面:首先是能依据作战系统各个组成部分的固有特性,科学地将它们在七维空间内形成一个有机的整体,合理地布置在平台系统中,以达到充分发挥整体效能的目的;第二是为作战系统连续地提供所需要的各种动力源;第三是为充分发挥作战系统的效能提供某些必要的环境条件,例如航空母舰飞行甲板的造型、助推器、拦阻索和相应于当时当地气象的航向航速等,均是确保舰载机顺利起降的必要条件。舰艇自身的噪声场不应影响声纳的使用。所有上层建筑不能影响火炮的射击扇面,不能干扰雷达和无线电天线等;第四是该海上平台自身应当具备的性能,例如排水量、主尺度、航速、续航力、自持力、耐波性、隐蔽性、机动性、抗破损能力、破损后的恢复能力、居住性等;第五是有优良的人机界面,以保证人员能迅速就位、有良好的工作(包括操纵、维修等)环境。

对于某一种特定的军辅船而言,一般地被局限于某一项或几项特殊的非直接的战斗使命与任务。因此,它们的作战系统通常比较简单,属于一定范围内的自卫性质,其海上平台系统则相对比较复杂。例如:大型综合补给船的海上平台系统就是如此,需设有存放各种弹药、燃料、润滑油、淡水(包括机用和饮用等)和食品等物资的舱室,其容积应足够大,需配置能在各种情况下实施海上补给的设备甚至医疗设备和医护人员,其排水量可达数万吨,航速可近 20 节,续航力达一万多海里,自持力达 60 天,能在 12 级海情下安全航行,有更优良的居住性和人机界面等。即使使命任务比较单一的运水船,其海上平台系统也比它的作战系统复杂些。

平台系统又可分成两部分:舰(船)体系统与动力系统。前者是舰船工程的研究对象,动力系统则是轮机工程的研究对象。

### 1.1.2 现代舰船轮机工程研究的任务

动力系统的任务是提供舰船所需的一切动力,还要满足规定的寿命、可靠性、生命力、

---

<sup>\*</sup> 一般的水面舰船均包含海上平台系统。但诸如潜艇等以水下活动为主,则包含的是平台系统。因此可统称为平台系统或简称“平台”。

重量、尺寸、隐蔽性、续航力、自持力和优良的人机界面等指标,因此必须由众多的分系统组成,每个分系统还可能分解成若干个子系统,有的子系统甚至还有若干层更细的子系统。例如,一艘现代驱逐舰的动力系统至少包括推进系统、发配电系统、馈电网络、舵系统、损管系统、甲板机械、污水处理系统、空调通风系统、冷藏系统、全舰性辅助系统等。推进系统则包括原动机、为原动机服务的动力管系、后传动装置、轴系、推进器等。为原动机服务的动力管系又包括燃油、润滑、冷却、启动、进排气、自动监控等系统。动力管系中还各自包括各种阀门、过滤器、热交换器、泵、压力容器、联结管系、自动监控系统等。它的自动监控系统又可分解为传感、控制、比较、放大、执行、通讯等更小的系统或单元。因此,从系统工程的角度看,本学科研究的对象是一个相当庞大而复杂的系统。

概括地说,本学科研究的任务是探求出在既定的约束条件下整个动力系统达到预定目标的最佳配置和主要机械设备最佳的总体布置,能依据研究结果建造出预期的舰船。此处“最佳”的内涵是广义的,可以理解为预定的主要战技术指标被满足的程度、全寿命效费比、可行度(包括风险度)等多目标综合寻优。

## 第二节 现代舰船轮机工程研究的任务和过程

整个研究的具体任务和过程可分成三个阶段来描述。

### 1.2.1 方案论证

第一阶段为方案论证。也称为方案设计或初步设计。包括主动力和各种基本元部件和组件的选型、数量确定、组合方式,总体布置方案,初步确定基本使用方案等。本阶段是三个阶段中的基础阶段,所确定的原则和结论是进行尔后两个阶段工作的主要依据,因此其地位十分重要。本阶段工作结束后应提交的文件资料大体包括:

- (1) 主动力型式与主机选型论证;
- (2) 推进方式(包括主推和辅推——如果有辅推时)选型论证;
- (3) 主动力传动方式与主传动装置选型论证;
- (4) 轴系数量论证;

以上四项内容中应同时附简图分析。

(5) 主机、主锅炉(含核堆)以及为它们服务的辅助设备(如隔振座、隔音罩等)、动力管系中的主要大部件(如消音器、进排气道等)、电站(包括原动机-发电机组、配电屏)、集控室等在机舱内的布置与安装(即机舱规划论证),同时提供机舱的平面、纵横剖面图和必要的说明;

- (6) 推进器选型及确定其主要参数的论证;
- (7) 轴系初步设计(含平面及纵剖面图);
- (8) 主机动力管系中主要大部件的选型论证;
- (9) 电站选型及其工作制论证;
- (10) 整套动力系统的自动化方案选型论证;
- (11) 其他有关辅助装置(如空压机、空调通风、冰库冷藏、辅助锅炉、减摇鳍、甲板机

械、特辅机械等)的选型论证;

(12) 主要全舰系统(如消磁、消防、平衡、压缩空气、液压、燃油等)的选型与布置论证;

(13) 整套动力系统的重量重心估算;

(14) 航速性、续航力、自持力估算及主动力系统使用方案论证等。

## 1.2.2 技术设计

第二阶段是技术设计阶段。本阶段的任务是根据初步设计对整个动力系统总体布置方案、主要设备的选型等全局性问题所确定的指导思想、原则和结论,就下面四个方面的问题进一步细化校核、补充完善并在明确技术难点的基础上提出具体的技术措施:

第一方面,提供详尽的计算书。例如在初步设计轴系时,完全确定其具体的结构尺寸和全部轴系元件的选型及其布置位置所需的已知条件尚未具备,只有在本阶段才能完全确定,因此本阶段除需确定轴系的具体结构尺寸和全部元件的选型及其布置位置之外,还需在此基础上进一步提供整个轴系的静强度校核、回旋振动、扭转振动、纵向振动计算书;在选定刹轴器后,需附以强度校核计算书,当选用摩擦式刹轴器时还需附以热平衡计算书;若选用带有强制冷却结构的轴承,则需提供轴承负荷和热平衡计算书并确定冷却水流量……又如,本阶段将选定所有管路系统元件并确定它们的位置和管路的具体走向,应当在此基础上提供各个管系的液力计算书、泵的排量、压头、管路通径……等;还如,机舱热平衡计算结果也是判定机舱规划是否合理的判据之一,必须提供。总之,这些计算书是选型和布局论证的必要基础之一,尤其在设计非标专用设备时更是不可或缺的内容。它们可以单独成册,也可参插在相应的选型和布局论证中。

第二方面,完成重要非标设备的技术和施工设计。例如有的轴系周围的空间较小,若选择通用型的刹轴器、转轴机构和转速测量装置,则无法将它们布置在给定的空间内,只能单独设计与此空间相适应的机构;又如柴油机采用斜支撑式隔振座时,为了便于安装和对中,一般要设计专门的安装工具并制定安装工艺;如果对一些系列化产品有特殊要求,则要提出详尽的用于订货的技术规格书,例如当齿轮箱系列提供的中心距、中心高、减速比等结构参数不符合初步设计的要求或者未配置拖航泵或传感器的数量、规格不符合要求时,则此项工作是必须的,甚至要审查生产齿轮箱厂方的技术设计。

第三方面,初步设计中必然会遗留一些技术难点,这些难点必须在技术设计阶段研究解决。例如对柴油机排气噪声和红外的抑制,一般都需经过反复地研究试验才能得到满意的结果。这些工作一般列入型号研制。

第四方面,在技术设计过程中由于各种原因可能要对初步设计本身和有些指标作些局部修改。这些原因可能是:初步设计时有的关键数据尚未由试验提供,只能按经验选取,由此而确定的指标与实际结论可能会存在差异,例如在考虑了各个后传动装置的实际效率、螺旋桨的实际效率和船体实际阻力状况后(这些数据只能当设计深入到本阶段时才能获得),虽经最大努力,原航速指标仍偏高,适当降低一些显然是必要的;初步设计时只能就主要设备进行总体规划布置,在逐步细化中对其作些小调整是不可避免的,如经过详细地机舱规划和布置后,考虑到动力系统各主要阀门的位置、人员就位、操作和维修空间

等因素,主机的位置必须作适当移动;按照本阶段最后选定的设备的特性参数进行校核,也可能要求少量更动设备的位置或更改某个设备的部分特性参数,如轴系中最后选定的高弹联轴节的扭转刚度比原来大些,引起轴系扭振特性变化,超出了“舰规”规定的范围,此时,少量更动主机位置或修改轴干直径等技术措施也是合理的。但是所有这些修改、更动和调整必须附以详尽的说明材料备查,如涉及主要指标或主要设备,则应及时呈文报委托部门或上级领导审批。

本阶段结束时所提供的文件资料十分全面,应完全能据此进行施工设计。仅以较简单的某型护卫艇轮机部分技术设计为例,提供的文件资料有:

- (1) 轮机图纸目录;
- (2) 轮机借用标准图目录;
- (3) 轮机机械设备订货明细表;
- (4) 阀门汇总表;
- (5) 管子材料汇总表;
- (6) 轮机备件及工具明细表;
- (7) 轮机规格书;
- (8) 主推进装置监控系统技术规格书;
- (9) 轴系锻件技术要求;
- (10) 主要锻件清单;
- (11) 轴系计算书;
- (12) 机舱监控系统原理图;
- (13) 系泊及航行试验大纲;
- (14) 前机舱布置图;
- (15) 后机舱布置图;
- (16) 机舱监视室布置图;
- (17) 前主机安装图;
- (18) 后主机安装图;
- (19) 轴系布置图;
- (20) 前主机轴系总装图;
- (21) 后主机轴系总装图;
- (22) 前主机艏轴图;
- (23) 前主机中间轴图;
- (24) 后主机艏轴图;
- (25) 主、副机燃油管系图;
- (26) 主、副机滑油管系图;
- (27) 主、副机淡水冷却管系图;
- (28) 主、副机海水冷却管系图;
- (29) 主、副机排气管系布置图;
- (30) 主机(气动)遥控管系图;

- (31) 压缩空气管系图;
- (32) 轮机安装原则工艺说明书;
- (33) 机舱通风计算书;
- (34) 动力装置减振计算书。

在电气部分技术设计中还包括主要电力电子设备和电缆等的选型,电站的负荷计算、布局、安装方式与工作制,电缆的计算和布置等。

### 1.2.3 施工设计

第三阶段是施工设计阶段。其总的任务是秉承技术设计的意图,完成全部施工图和施工工艺设计,造船厂能按照这些图纸资料顺利地经济地建造出达到预定战技术指标的舰船。

就非标设备而言,技术设计阶段仅完成了其中的重要部分,还有大量较简单而必要的零部件的施工设计,需要在本阶段根据它们应具备的功能、在舰船上的具体位置和可能提供的空间以及造船厂的生产加工条件来完成设计任务。例如主、副机的日用燃油箱、膨胀水箱、带有冷却水套的排烟管、固定各种管路和电缆的夹箍、管路和电缆通过水密隔墙的水密装置等。

就管路和电缆在机舱内的布置而言,是一件十分复杂又繁琐的综合工程。技术设计阶段只是完成了每个管系主要元器件选型和定位、管材规格选型、管路走向三个方面的设计和电路部分相应三个方面的设计。这些管路和电缆的规格、走向各有异同,纵横交错,要在机舱三维空间内科学地安排妥贴同时在适当位置予以固定等设计工作均需在施工设计阶段完成。

就安装工艺而言,技术设计仅完成了轮机安装原则工艺,具体细致的、符合造船厂实际情况的所有安装工艺(例如主机安装工艺、轴系校中工艺、管系密封性检验工艺、有关的工夹具等),均需在本阶段完成。

在本阶段进行过程中,可能会遇到技术设计的某些结论或要求不可能实现或不尽合理,必须作些修改。例如,各个管路和电缆经过三维空间的统一规划安排后,发现个别阀门(或手摇泵等)的位置不利于操纵,则应作必要的更动。但所有这些更动也必须履行规定的报批手续并存档备案。在实际施工过程中还可能出现这种情况,需要临时进行局部的修改设计时,同样要履行上述手续。

### 1.2.4 三个阶段之间的关系

由以上论述可知,凡是一项稍微大而复杂的工程设计都需经过三个阶段。每个阶段的重点不同。第一阶段侧重于总体方案论证和主要设备选型论证;第二阶段侧重于对第一阶段结论的初步细化和具体化,主要是基本上最后确定包括船体阻力在内的各主要设备的总体特性,并在此基础上完成全部的计算和校核,针对第一阶段遗留的所有技术难点提出具体而切实可行的解决途径,完成必要的试验研究和技术攻关,甚至局部修改第一阶段的结论;第三阶段则侧重于结合造船厂的实际情况,在第二阶段成果的基础上使第一阶段的结论进一步细化和具体化,最终成为可据以生产的全套施工图纸、施工工艺和据以确



定产品质量的验收标准。

由此可见,本学科研究的过程是按照逐步深化、逐步具体的原则进行的。但是随着计算机技术的飞速发展及各种应用软件的不开发,可以将三个阶段设计内容同时进行,称为并行设计。可以预料,不用太长的时间,这种技术必将在本研究领域内推广应用。

### 第三节 推进方式、传动方式与基本组成

舰船的推进方式目前可分五种,不同推进方式采用的传动方式又可能有若干种,因而传动方式较多。每种传动方式的基本组成还可能有多种,故基本组成方案的种类更多。每种组成方案包括相当数量和种类的主要传动部件,因此传动部件的种类也十分繁多,每一种只适用于某个特定的范围。方案论证的任务就是优选出最佳的推进方式、相应的传动方式并确定其基本组成部件。尽管如此,对它们实施标准化、系列化、通用化和模块化仍然十分重要和迫切。

#### 1.3.1 推进方式分类

##### 1.3.1.1 按产生推力的原理分类

按产生推力的最基本原理区分,推进方式分成两类:一类是设法在推进器前后造成压差;另一类是利用喷射(被喷射的物质通常是水或气体)。但一般是结合具体的推进器和被喷射的物质一起进行区分,可分为五种:

##### 1. 明轮推进

依靠明轮上埋在水中的划水板近似直线的向后或向前运动,造成划水板前后的压力差,从而推动船体前进或后退。这种推进方式的推进效率很低,是最早出现的推进方式之一。明轮埋在水中的深度很浅,其转速与划水板面积很有限,因而仅适用于水势平缓而浅、推力要求不大、航速低的早期内河湖泊船上。20世纪初期以后基本上已完全被其他推进方式取代。

##### 2. 喷水推进

利用冲量等于动量增量原理和牛顿第三定律得:

$$F = Q \cdot \Delta V \quad (1.3.1)$$

式中: $F$ ——推力;

$Q$ ——喷出水的质量流量;

$\Delta V$ ——速度增量。

实际上,水流进速绝对值近乎0,且其方向与出速之夹角通常 $\geq 90^\circ$ (进水方向一般来自两舷或船底,喷出方向是向船后),因此

$$\Delta V = V_0 - V_c \quad (1.3.2)$$

式中: $V_0$ ——喷出水流相对绝对坐标的速度;

$V_c$ ——相对绝对坐标的船速。

这种推进方式的特点是:推力不可能很大( $Q$ 与 $\Delta V$ 均不可能很大);允许船的吃水很