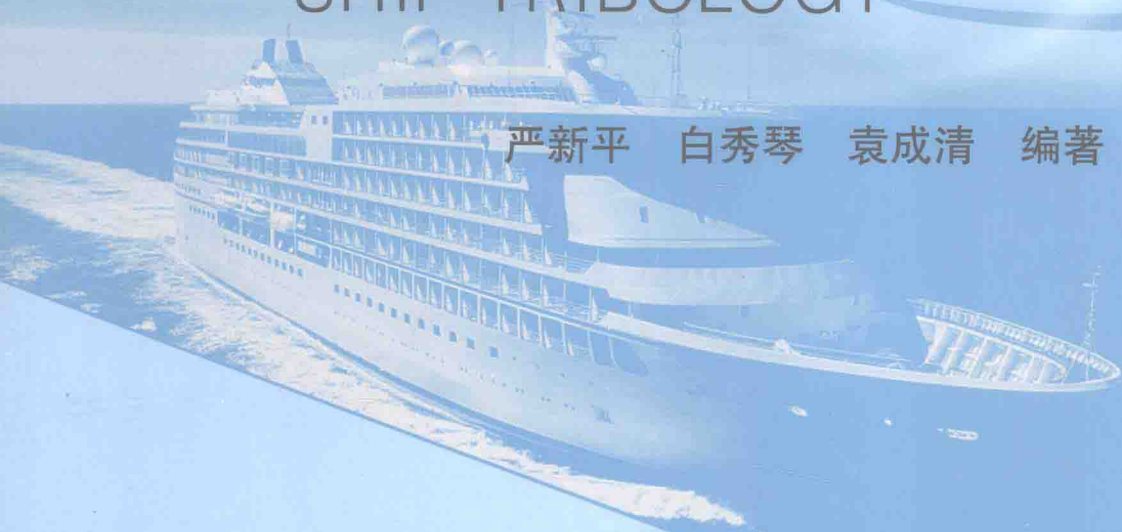


湖北省社会公益出版专项资金资助项目

船舶摩擦学

SHIP TRIBOLOGY

严新平 白秀琴 袁成清 编著



武汉理工大学出版社

湖北省社会公益出版专项资助项目

船舶摩擦学

严新平 白秀琴 袁成清 编著

武汉理工大学出版社

· 武汉 ·

内 容 提 要

本书系统介绍了船舶营运过程中的摩擦学问题,并重点总结了作者在船舶机械摩擦磨损机理、磨损状态监测与故障诊断、防污减阻等技术方面的研究成果。全书共分9章,主要包括:绪论;船舶作业环境及其特点;船舶摩擦学问题;船舶机械摩擦学研究;船舶机械摩擦学系统状态辨识研究;船舶轴系摩擦学研究;船体界面摩擦学研究;船舶机械润滑管理技术;船舶甲板防滑的摩擦学研究。

本书可作为高等院校船舶与海洋工程、交通运输工程、动力工程、机械工程等专业的研究生教材和相关专业老师的教学和科研参考书,也可作为从事相关领域工作的工程技术和研究人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

船舶摩擦学/严新平,白秀琴,袁成清编著. —武汉:武汉理工大学出版社,2016.4
ISBN 978-7-5629-5105-6

I. ①船… II. ①严… ②白… ③袁… III. ①船用柴油机-摩擦
IV. ①U664.121

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 314434 号

项目负责人:王兆国

责任编辑:于应魁

责任校对:张明华

封面设计:许伶俐

出版发行:武汉理工大学出版社

社 址:武汉市洪山区珞狮路 122 号

邮 编:430070

网 址:<http://www.wutp.com.cn>

经 销:各地新华书店

印 刷:武汉兴和彩色印务有限公司

开 本:787×960 1/16

印 张:17.5

字 数:323 千字

版 次:2016 年 4 月第 1 版

印 次:2016 年 4 月第 1 次印刷

定 价:58.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:027-87384729 87523148 87664138 87165708(传真)

• 版权所有 盗版必究 •

序

船舶航运已成为国际大宗远程贸易的主要方式,我国 90% 以上的国际贸易都是依靠水路运输完成的。船舶作为航运的载体,其能耗的大部分是由摩擦引起的,较之其他的机械系统或陆上交通工具有其特殊性,除了船舶机械系统所导致的内摩擦损失外,还包括由于船体外摩擦而导致的功率损失和能耗增加。而且苛刻的工作环境对船舶机械系统的摩擦、磨损、润滑、腐蚀以及密封性能提出了更高的要求。随着节能环保要求的日益严格,研究船舶的环境友好摩擦学,积极将摩擦学研究成果应用在船舶行业中,是船舶节能、降耗的重要措施。

船舶摩擦学是根据机械系统摩擦学原理,专门围绕船舶这一对象,研究船体与水、空气等界面之间以及船舶机械系统中存在相互作用的界面间的科学与技术,是一个具有自身体系特点的独特的摩擦学研究领域。本书从分析航运业的发展与船舶面临的技术挑战入手,基于对航运的作业环境与船舶运行特点的分析,提出了船舶摩擦学的内涵及其研究范畴,系统地将船舶的摩擦分为船舶内摩擦和船舶外摩擦。在此基础上,针对船舶内摩擦探讨了船舶主机、辅机以及船舶轴系等机械系统运转及其与水环境相互作用产生的摩擦、磨损、润滑、密封和船舶机械系统摩擦损伤的控制与防护等问题,阐述了船舶机械摩擦学系统的状态辨识方法;针对船舶外摩擦探讨了船舶航行时船体表面的防污减阻技术,分析了人员及其装备在船舶甲板上开展作业活动而面临的一些摩擦学问题。

本书作者长期从事船舶摩擦学性能研究及船舶机械设备磨损状态控制等方面的教学和研究工作。本书是作者及其研究团队在这方面科研成果的总结和对船舶摩擦学研究的一些深入思考,相信该书对从事船舶机械运用和摩擦学研究的人员具有很好的参考价值,并可供从事摩擦学相关专业的工程技术人员和高等院校师生参考。

中国工程院院士
中国科学院兰州化学物理研究所研究员
薛群基

2014 年 11 月 8 日

前 言

海洋运输是国际贸易和经济全球化的支柱,我国远洋航运的货运量已居世界第二位。船舶作为航运的载体,快速、高效、节能、环保已成为其发展目标,而苛刻的工作环境对船舶及其机械系统的摩擦、磨损、润滑、腐蚀以及密封性能提出了比陆上机械系统更苛刻的要求。

船舶摩擦学是根据机械系统摩擦学原理,研究船体与水、空气等界面之间以及船舶机械系统中存在相互作用的界面间的科学与技术,所涉及的学科基础除了摩擦学以外,还包括材料科学、信息科学、动力学、计算机科学、控制科学、海洋物理学、海洋化学以及海洋生物学等。涉及的摩擦可以分为内摩擦和外摩擦两部分,内摩擦主要指船舶主机、辅机、轴系、甲板机械等产生的摩擦以及船员作业过程中与甲板之间的摩擦问题,外摩擦主要是指船舶与空气和水接触部分所产生的摩擦。

全书共分9章。第1章是本书的绪论,主要分析了航运业的地位、船舶种类及用途以及船舶面临的技术挑战,明确了摩擦学对船舶节能降耗的重要性和作用。第2章着重分析了航运的作业环境与船舶运行特点。第3章提出了船舶摩擦学的内涵及其研究范畴,系统地将船舶的摩擦分为船舶内摩擦和船舶外摩擦。第4章聚焦于船舶机械的摩擦学问题,主要研究了船舶柴油机系统中缸套-活塞环组件、气缸盖、活塞、十字头、主轴承等主要零部件的摩擦学问题,概述了传动元件、支承元件、螺旋桨、舵机、辅机以及新能源在船舶上利用的摩擦学问题。第5章阐述了船舶机械摩擦学系统状态辨识的内涵及方法,提出了船舶机械摩擦学系统状态的在线监测设计方法及远程诊断方法。第6章探讨了船舶轴系的摩擦、磨损、润滑问题,以及船舶轴系的摩擦学设计策略,阐述了船舶轴系的摩擦学试验技术。第7章分析了船体水界面和空气界面的阻力,重点研究了船体防污减阻技术。第8章研究了船舶机械的润滑及其管理技术。第9章分析了人员及其装备在船舶甲板上开展作业活动而面临的一些摩擦学问题。

本书主要汇集了武汉理工大学可靠性工程研究所严新平教授团队近10年来在船舶机械摩擦磨损机理、磨损状态监测与故障诊断、防污减阻技术等方面的研究成果。与本书相关的研究先后得到了国家自然科学基金重点、面上和青年项目,科技部科技支撑计划,湖北省自然科学基金项目,中国工程院咨询项目和相关课题的资助,作者衷心感谢上述科研项目的支持和帮助。

本书的写作大纲和书稿由严新平教授负责审订,白秀琴教授协助组织撰写。

其中第1章由孙玉伟撰写,第2、9章由袁成清、郭智威撰写,第3、5章由严新平撰写,第4章由郭智威、白秀琴撰写,第6章由刘正林撰写,第7章由白秀琴撰写,第8章由盛晨兴撰写。本书得到中国工程院院士、中国科学院兰州化学物理研究所薛群基研究员的大力支持,并由薛群基院士为本书作序,在此表示诚挚的敬意。同时,武汉理工大学出版社为本书的出版提供了大量帮助,在此一并表示衷心的感谢。

由于船舶摩擦学的研究内容和内涵还在不断发展,限于作者的水平,书中难免存在不足之处,恳请读者给予指正。

严新平

2015年1月26日

于武汉理工大学余家头校区

目 录

1 绪论	(1)
1.1 航运业的地位	(1)
1.2 船舶技术的发展趋势	(4)
1.3 船舶种类及用途简述	(7)
1.4 船舶面临的技术挑战	(14)
参考文献	(19)
2 船舶作业环境及其特点	(21)
2.1 船舶作业环境分析	(21)
2.2 波浪	(30)
2.3 船舶阻力	(31)
2.4 船舶的运行特点	(34)
参考文献	(38)
3 船舶摩擦学问题	(39)
3.1 摩擦学的起源与定义	(39)
3.2 摩擦学的作用和发展	(40)
3.3 船舶摩擦学问题内涵	(42)
3.4 船舶摩擦学问题分析	(43)
3.5 船舶摩擦学研究现状	(48)
参考文献	(55)
4 船舶机械摩擦学研究	(58)
4.1 船舶机械概述	(58)
4.2 船舶动力装置	(58)
4.3 船舶柴油机主要零部件的摩擦学问题分析	(59)
4.4 传动元件的摩擦学问题	(98)
4.5 支承元件的摩擦学问题	(102)
4.6 螺旋桨和舵机的摩擦学问题	(103)
4.7 其他机械部件的摩擦学问题	(105)
4.8 清洁能源利用中的摩擦学问题	(107)
参考文献	(111)

5 船舶机械摩擦学系统状态辨识研究	(114)
5.1 船舶机械摩擦学系统状态辨识的特点	(114)
5.2 船舶机械摩擦学系统状态辨识的方法	(114)
5.3 船舶机械摩擦学系统状态的在线监测	(120)
5.4 船舶机械摩擦学系统状态的远程诊断	(140)
参考文献	(149)
6 船舶轴系摩擦学研究	(153)
6.1 船舶轴系构成与工作特点	(153)
6.2 船舶轴系摩擦学问题分析	(161)
6.3 船舶轴系摩擦学设计	(167)
6.4 船舶轴系摩擦学试验	(188)
参考文献	(206)
7 船体界面摩擦学研究	(208)
7.1 船体界面分析	(208)
7.2 船舶风阻研究	(211)
7.3 船体防污减阻研究	(215)
参考文献	(233)
8 船舶机械润滑管理技术	(236)
8.1 润滑功用	(236)
8.2 润滑方式	(237)
8.3 典型润滑系统	(238)
8.4 船用润滑油的选用与管理	(241)
参考文献	(250)
9 船舶甲板防滑的摩擦学研究	(252)
9.1 船舶甲板简介	(252)
9.2 船舶甲板防滑要求	(255)
9.3 船舶甲板的防滑机理	(257)
9.4 船舶甲板防滑涂料	(258)
9.5 舰船飞行甲板防滑涂层	(262)
9.6 其他船舶甲板防滑途径	(266)
9.7 船舶甲板的保养	(267)
9.8 船员甲板防滑摔概述	(268)
参考文献	(269)

1 绪 论

1.1 航运业的地位

航运(Shipping),水上运输事业的统称,分为内河航运、沿海航运和远洋航运。按照货运种类又可分为水上旅客运输、水上货物运输、水上运输辅助活动等子行业。与航空和陆路运输相比,水路运输在相同货运周期内具有运量大、通用性好、平均运距长和综合成本低等显著特点,尤其是在运输条件良好的航线,水路航运的通过能力几乎不受限制。作为水路运输的主要载体,船舶特有的可移动性、工作环境恶劣和负荷工况变化大等特点,使得船舶上存在的各种摩擦磨损问题较之陆地环境更为复杂和多变,其显著影响到船舶上主动力装置和各种辅助机械设备的机械效率和可靠性。因此,深入研究并解决船舶摩擦学问题,对于减小船舶机械设备磨损、降低能耗水平、提高机械寿命及保证船舶安全航行有着重要意义。

航运业作为世界经济重要的基础性和服务性行业,是实现国际贸易的重要保障,推进经济发展的坚实基础,在促进世界经济发展和人类社会进步中有着不可替代的作用。在新航线开辟之前各国之间的贸易主要是通过陆路进行的,运输成本高,受到道路、国别关系等因素的制约。随着船舶航运和通信技术的不断发展,世界经济贸易来往日益密切,经济全球化趋势逐渐成形,国际分工不断细化——由产业间国际分工发展为产业内国际分工,再到产品间国际分工,最后发展为产品内国际分工,即同一件产品在不同的国家进行生产。以航运为连接纽带,把全球各大洲的生产和消费市场连接起来,在全球范围内配置资源和销售产品,凭借尽可能低的运输成本又可以进一步扩展新的产品市场,图 1.1 所示为世界航线分布图。

当前,船舶航运已经成为国际大宗远程贸易的主要方式,占世界贸易总量的 85%和全球贸易价值的 70%以上,是经海路运输后在世界各地的港口装卸的,表 1.1 所列为 1970—2012 年间部分年份国际海运贸易动态统计数据;在大多数发展中国家,船舶航运量所占比例甚至更高。表 1.2 和表 1.3 所列分别为国家统计局公布的 2007—2013 年我国航运业发展统计数据和我国沿海主要港口货

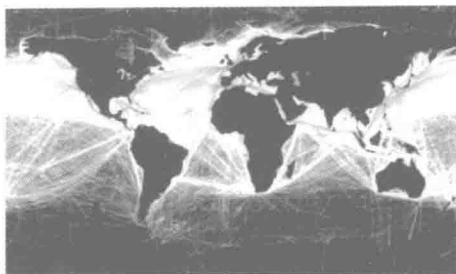


图 1.1 世界航线分布图

物吞吐量,从数据对比中可以看出:受国家高速铁路和高速公路快速发展的影响,水运客运不具有显著优势,周转量占综合运输体系的比例低于 0.4%;水运货物周转量却稳定在 45%以上;沿海 15 个主要港口近 7 年间主要货物吞吐量均保持稳定增长态势,2011—2013 年增长率分别为 12.4%、7.9%和 9.4%。

表 1.1 部分年份国际海运贸易动态(装载量: $\times 10^6$ t)

年份	石油和天然气	主要散货 *	其他干散货	合计(所有货物)
1970	1440	448	717	2605
1980	1871	608	1225	3704
1990	1755	988	1265	3704
2000	2163	1295	2526	5984
2005	2422	1709	2978	7109
2006	2698	1814	3188	7700
2007	2747	1953	3334	8034
2008	2742	2065	3422	8229
2009	2642	2085	3131	7858
2010	2772	2335	3302	8409
2011	2794	2486	3505	8784
2012	2836	2665	3664	9165
2013	—	—	—	—

数据来源:联合国贸易和发展会议秘书处根据报告国提供的并发表在政府和港口产业相关网站上的数据以及来自专业渠道的数据编制,已对 2006 年以后的数据进行修订和更新,以反映修正后的报告,其中包含按货物类型分列的新近数字和更准确的信息。

* 铁矿石、谷物、煤炭、铝土矿/氧化铝和磷酸盐。2006 年以后的数据是依据克拉克森研究公司的《干散货贸易展望》各期编制。

表 1.2 2007—2013 年我国航运业发展统计数据

年份	水运货物 周转量/ ($\times 10^8 \text{ t} \cdot \text{km}$)	综合运输 体系中所占 比例/%	主要港口 主要货物 吞吐量/ $\times 10^4 \text{ t}$	较上年 增长/%	水运客运 周转量/ ($\times 10^8 \text{ 人} \cdot \text{km}$)	在综合运输 体系中所占 比例/%
2007	64284.85	63.39	388200	13.4	77.78	0.36
2008	50262.70	45.57	429599	10.7	59.18	0.26
2009	57556.67	47.13	475481	10.7	69.38	0.28
2010	68427.53	48.24	548358	15.3	72.27	0.26
2011	75423.84	47.34	616292	12.4	74.53	0.24
2012	81707.58	47.02	665245	7.9	77.48	0.23
2013	79435.65	47.09	728098	9.4	68.33	0.25

数据来源:国家统计局, <http://data.stats.gov.cn/index>.

表 1.3 中国沿海主要港口货物吞吐量(万吨)

年份 港口	2013 年	2012 年	2011 年	2010 年	2009 年	2008 年	2007 年
大连港	40746	37426	33691	31399	27203	24588	22286
营口港	32013	30107	26085	22579	17603	15085	12207
秦皇岛港	27260	27099	28770	26297	24942	25231	24893
天津港	50063	47697	45338	41325	38111	35593	30946
烟台港	22157	20298	18029	15033	12351	11189	10129
青岛港	45003	40690	37230	35012	31546	30029	26502
日照港	30937	28098	25260	22597	18131	15102	13063
上海港	68273	63740	62432	56320	49467	50808	49227
连云港港	18898	17367	15627	12739	10843	10060	8507
宁波—舟山港	80978	74401	69393	63300	57684	52048	47336
汕头港	—	4563	4005	3509	3102	2806	2301
广州港	45517	43517	43149	41095	36395	34700	34325
湛江港	18006	17092	15539	13638	11838	6682	6075
海口港	8293	7217	6549	5700	4855	2614	2373
八所港	1293	1095	997	893	652	554	546

数据来源:国家统计局, <http://data.stats.gov.cn/index>.

1.2 船舶技术的发展趋势

1.2.1 绿色船舶兴起

随着新能源技术的不断发展,世界各航运大国已开始探索应用以风能、太阳能、核能、液化天然气(Liquefied Natural Gas, LNG)、生物质能和燃料电池等为典型代表的清洁能源技术,以开发新型节能环保船舶,即“绿色船舶”。航运界各主要船级社,诸如挪威船级社(DNV)、美国船级社(ABS)、中国船级社(CCS)、日本船级社(NK)、德国船级社(GL)和韩国船级社(KR)等,也已从不同侧重点将绿色船舶纳入到其技术规范体系之中。

所谓绿色船舶,指“采用相对先进技术(绿色技术)在其生命周期内能经济地满足其预定功能和性能,同时实现提高能源使用效率、减少或消除环境污染,并对操作和使用人员具有良好保护的船舶”。绿色船舶并非某一种船型或某一种技术手段,而是一个包括诸多专业领域的技术体系和评价体系。从船舶能源系统及其配套设备技术方面而言,绿色船舶可以概括为:以能效设计指数(Energy Efficiency Design Index, EEDI)和能效营运指数(Energy Efficiency Operational Indicator, EEOI)为技术框架和设计原则,采用绿色环保材料、先进的制造加工技术,设计建造节能环保的新船型;或是在船舶能源系统(电力系统和动力系统)中集成可以利用零污染、零排放清洁能源的电力系统(如太阳能光伏系统)或动力助航设备(如现代风翼助航设备),在设计降低常规船舶动力设备或发电机组的设计功率的基础上,通过在航行过程中最大化利用清洁能源或转换而成的电能,最大程度上降低全船在全寿命周期内的燃油消耗量和温室气体排放量。

(1) 风帆助航船

人类社会对于风帆助航的理解和认识有着悠久的历史,工业和科技水平的不断发展对于风帆技术的应用起到了巨大的推动作用,根据风帆的形式及其对风力利用性质的不同,衍生出了普通翼帆、特种翼帆(包括单转子-翼帆组合体帆、转柱帆、转带帆、Walker 型风帆)、三角帆、天帆、Magnus 效应帆(涡轮帆、转筒帆)和仿生帆等众多船舶风帆结构,如图 1.2 所示。其中以三角帆和普通翼帆技术应用水平较高,其他帆型形式在船舶上的应用多是带有试验性质的技术探索。

(2) 太阳能船

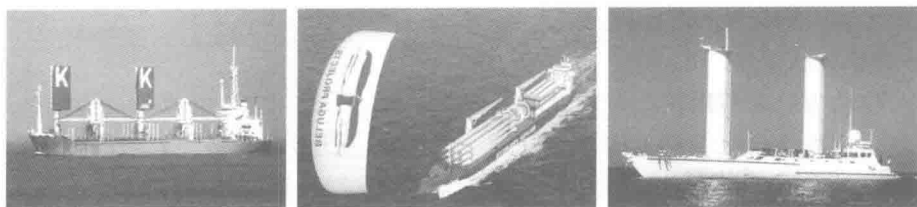


图 1.2 不同形式的风帆助航船

太阳能在能源利用形式上有太阳能发电、光热利用、光化利用和光生物能利用四种,但是由于太阳能发电,即太阳能光伏技术,较之后三种能量利用形式在实施技术难度上相对较低,且具有相对较高的能源转换效率和能源品质(电能)。随着电力电子逆变技术的不断进步,集成光伏系统的太阳能船舶逐步发展起来,如图 1.3 所示。

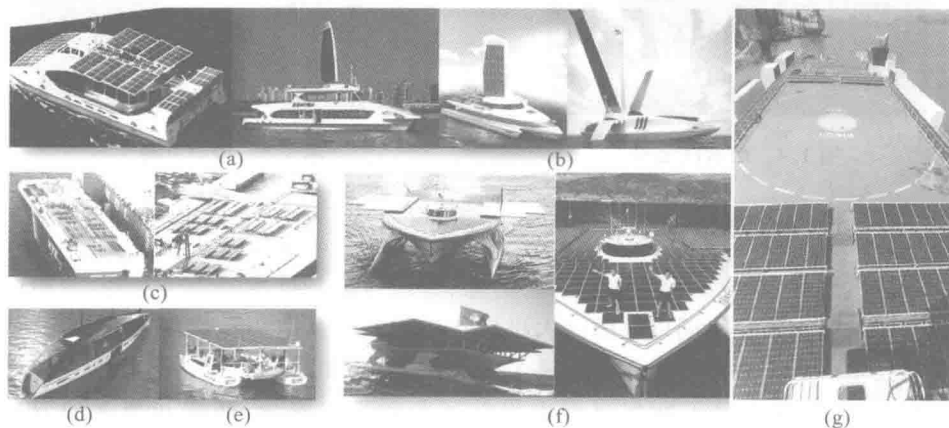


图 1.3 不同形式的太阳能船

(a) 太阳帆双体船; (b) 组合式太阳帆概念设计; (c) 滚装船“御夫座领袖”号;

(d) 概念设计; (e) 双体太阳能船“Sun 21”; (f) “星球太阳”号; (g) “中远腾飞”轮

(3) 燃料电池船

燃料电池是一种等温地将储存在燃料与氧化剂中的化学能直接转变为电能 of 电化学单元,其活性物质是独立存在的,只要供给燃料和氧化剂就可以像传统的柴油机、汽油机一样连续不断地工作,与普通热机发电机存在一定的相似性,被誉为“化学发电机”。早在 1992 年,荷兰就将熔融碳酸盐燃料电池的应用定为今后 20 年船舶推进系统的重要研究方向;冰岛决定将燃料电池应用到渔船上;1996 年,德国的渔业协会决定使用燃料电池来代替常规的柴油机,以更好地保护环境;2003 年,美国开始开发航行于奥克兰和旧金山之间的使用燃料电池作

为动力装置的渡轮(图 1.4)。

(4)核动力船

核动力船是利用核动力装置来推进船舶的,其动力装置由原子反应堆的热量产生蒸汽供给汽轮机工作,按主机形式分类应属于汽轮机动力装置。核能事业的蓬勃发展已经为船舶动力工程开辟了新的发展道路。利用核能产生动力以推动船舶,已证明其可行性。据不完全统计,全世界现有 150 多艘依赖 220 多座小型核反应堆提供动力的舰船。这些舰船虽然绝大部分都是潜艇,但也包括从破冰船到航空母舰等各种类型的舰船(图 1.5)。



图 1.4 燃料电池船



图 1.5 核动力船

1.2.2 高新技术应用

成组技术、系统工程、工业工程、信息、管理等高新技术的快速发展,为船舶技术的发展带来了不同以往的巨大机遇和挑战。在其应用和推广过程中,这些高新技术一方面将传统船舶建造模式向船体、舾装和涂装一体化的现代造船模式推进;另一方面又不断促进着世界航运业向更加安全、高效和智能的方向发展。

以现代造船模式中的虚拟造船技术和柔性制造为例,前者是以船舶及其建造系统的全局最优化为目标,以计算机支持的仿真技术为前提,对船舶产品及其建造过程进行统一的建模,在船舶设计阶段模拟船舶未来建造的全过程及其对船舶产品设计的影响,预测船舶性能、造船成本、可制造性,从而更敏捷地组织造船生产,使船厂和车间的资源得到更合理的配置,以达到船舶产品的研制周期和成本最小化、船舶性能最优化和建造效率最高化;后者是由数控加工设备、物料运储装置和计算机控制系统等组成的船舶组件的自动化制造系统,能够根据制造任务和生产环境的变化迅速调整,通过多机联动控制,自动加工生产、运输储存某一零件族中的任一零件。

1.3 船舶种类及用途简述

船舶种类的划分方法有很多,常用的分类方法有:(1)按船舶航行区域来划分,可分为海洋船舶、内河船舶和港湾船舶。海洋船舶可分为远洋船舶、近海船舶、沿海船舶三种,航行于湖泊上的船舶一般归入内河船舶类。(2)按推进方式分,可分为螺旋桨船、喷水推进船、空气螺旋桨推进船和明轮船。(3)按造船材料来划分,可分为钢船、木船、水泥船、铝合金船和玻璃钢船等。(4)按航行状态来划分,可分为浮行船、潜水船、滑行船、腾空船。浮行船和潜水船统称为排水型船;滑行船是指船航行时,船身绝大部分露出水面而滑行的船舶,像高速运行的船舶(快艇、摩托艇、水翼艇等);腾空船是指船舶航行时,船身被脱出水面之上行进的船舶,如气垫船等。

本节根据船舶用途和能源形式之间的差异,分为运输船舶、工程船舶、探测与科考船舶、渔业船舶和公务船舶等五大类进行介绍。

1.3.1 运输船舶

运输船舶是指承担客、货运输的船舶,根据运送货物种类的不同,可细分为:集装箱船、原油船、干散货船、杂货船、滚装船、液化气运输船、冷藏船和客船等。

(1) 集装箱船

集装箱船又称箱装船、货柜船或货箱船,如图 1.6 所示,是一种专门载运集装箱的船舶。其全部或大部分船舱用来装载集装箱,甲板或舱盖上也可堆放集装箱。集装箱船的货舱口宽而长,货舱的尺寸按载箱的要求规格化。具有装卸效率高、停港时间短、航行速度快(最高可达 30kn 以上)和经济性好等显著特点。

(2) 原油船

原油船是专门用于载运原油的船舶,简称油轮,如图 1.7 所示。目前,总载重吨最大的原油船可达到 50 万 t 以上。也由于载重量巨大,一旦发生原油泄漏将造成巨大的环境污染,国际海事组织已通过立法强制淘汰单底型原油船,逐步推广双壳双底船。船舶上层建筑多设置于船尾,采用泵和管道装卸原油。为防止低温环境造成原油凝固,通常安装有蒸汽盘管加热装置。部分超大型油船由于吃水超过 20m 而无法靠泊浅水港码头,只能在原油码头通过水底管道装卸。

(3) 干散货船

干散货船又称散装货船,如图 1.8 所示,按具体载运货物的差异,可分为矿砂船、运煤船、散粮船、散装水泥船、运木船等。驾驶室和机舱多布置在尾部,货舱口

宽大;内底板与舷侧以向上倾斜的边板连接,便于货物向货舱中央集中,甲板下两舷与舱口处设置有倾斜的顶边舱,以限制货物在运输过程中移动;压载水舱较多。

(4) 杂货船

杂货船又称普通货船、通用干货船或统货船,如图 1.9 所示,主要用于装载一般包装、袋装、箱装和桶装的件杂货物。由于件杂货物的批量较小,杂货船的吨位亦较散货船和油船为小。典型的载货量为 1 万~6 万 t,一般为双层甲板,配备完善的起货设备。货舱和甲板分层较多,便于分隔货物。新型的杂货船一般为多用途型,既能运载普通件杂货,也能运载散货、大件货、冷藏货和集装箱。



图 1.6 集装箱船



图 1.7 原油船



图 1.8 干散货船



图 1.9 杂货船

(5) 滚装船

滚装船或称“滚上滚下”船,如图 1.10 所示,是利用运货车辆来载运货物的专用船舶,用牵引车牵引载有箱货或其他货件的半挂车或轮式托盘直接进出货舱装卸的运输船舶。滚装船通常在船尾设有货门和跳板,车辆可通过跳板、货门和各层甲板间活动的斜坡道或升降平台,直接驶入各层甲板。由于装卸货过程中不需要使用船上或码头上传统的起货设备,因而具有较高的装卸效率。

(6) 液化气运输船

液化气运输船是专门运输液化石油气、液化天然气、氨水、乙烯、液氯等具有沸点低、易燃、易爆、剧毒或强腐蚀性的液化气体的运输船舶,如图 1.11 所示。

货舱区域均为双层壳结构,以减小船舶受损时货品溢出的危险。货舱与船员起居处所、饮水和机舱等处用空舱隔离。货舱容积按其装运的货物的危险程度受到一定的限制。液化气船按液化气体船液化气的贮存方式分为三类:压力式、冷压式和冷却式。在压力式液化气船中,货物在常温下装载于球形或圆筒形的耐压液罐内。冷压式和冷却式液化气船对货物的温度和压力都进行控制,需要设置专门的液罐隔热和货物冷却装置。



图 1.10 滚装船



图 1.11 液化气运输船

(7) 冷藏船

冷藏船是专门载运如水果、蔬菜、肉类和鱼类等需冷藏的货物的船舶,如图 1.12 所示。往往设多层甲板,货舱内通常分隔成若干独立的封闭空间。船上具有大功率的制冷装置,可以在比较恶劣的环境中,使各冷藏货舱内保持货物所需的适当温度。

(8) 客船

客船是专门用于运送旅客及其可携带行李和邮件的船舶,如图 1.13 所示。对兼运少量货物的客船也称客货船。客船多为定期定线航行,又称为班轮或邮轮。根据 SOLAS(海上人命安全公约)公约规定,凡载客超过 12 人均视为客船。客船的特点是上层建筑发达,用于布置旅客舱室;抗沉、防火、救生等方面的安全



图 1.12 冷藏船



图 1.13 客船(邮轮)