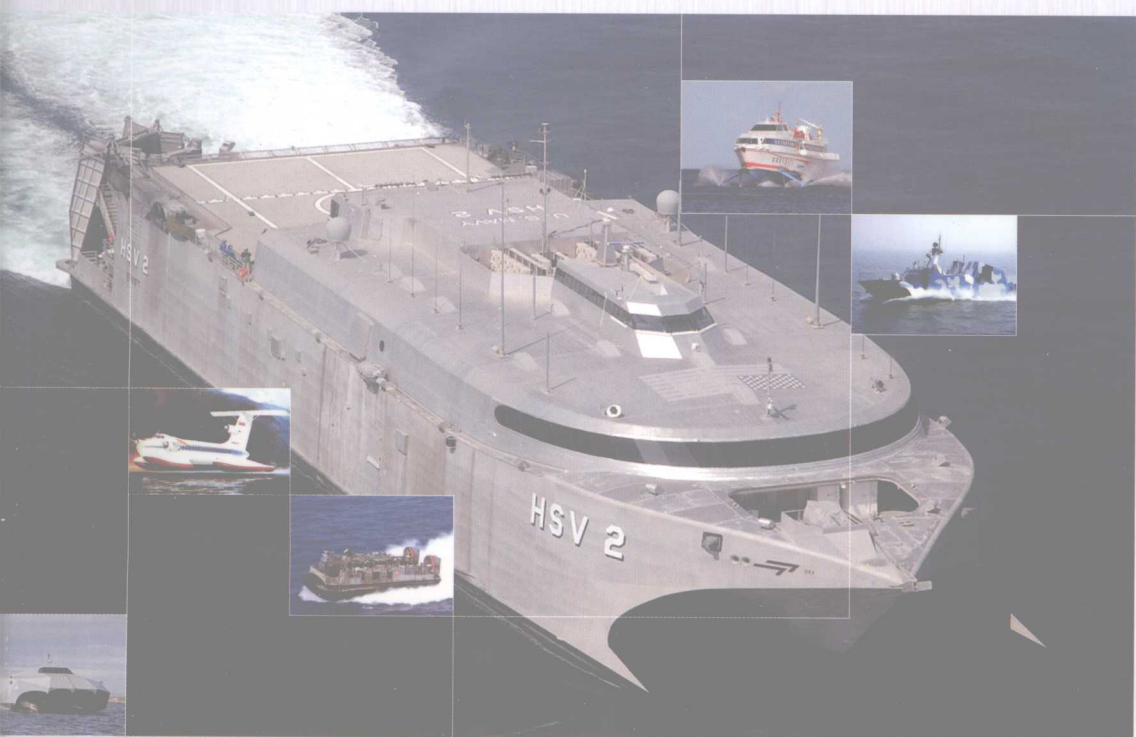


高性能船舶 原理与设计

The Principle and Design of
High Performance Ships

赵连恩 谢永和 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

高性能船舶原理与设计

The Principle and Design of High Performance Ships

赵连恩 谢永和 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

高性能船舶原理与设计 / 赵连思, 谢永和编著. —北京:
国防工业出版社, 2009. 1

ISBN 978 - 7 - 118 - 06109 - 3

I. 高... II. ①赵... ②谢... III. ①船舶原理②船舶 - 设计 IV. U66

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 201307 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 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 710 × 960 1/16 印张 28 $\frac{3}{4}$ 字数 530 千字

2009 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 72.00 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

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。
2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。
4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金
评审委员会

国防科技图书出版基金 第五届评审委员会组成人员

主任委员 刘成海

副主任委员 王 峰 张涵信 程洪彬

秘 书 长 程洪彬

副 秘 书 长 彭华良 蔡 锺

委 员 于景元 王小谟 甘茂治 刘世参
(按姓氏笔画排序)

李德毅 杨星豪 吴有生 何新贵

佟玉民 宋家树 张立同 张鸿元

陈冀胜 周一宇 赵凤起 侯正明

常显奇 崔尔杰 韩祖南 傅惠民

舒长胜

本书主审委员 吴有生

序

近二三十年来,高性能船舶不断推陈出新,发展迅速,受到了造船界的广泛关注,也引起了各国海军的密切注意,美、英等国还研制开发了专门的试验舰艇,来研究评估其主要性能。21 世纪舰船总体技术创新发展的一个新特征是对新船型的研发和现有船型的优化。虽然常规船型仍是目前舰船最广泛采用的船型,但多体船型、小水线面船型和穿浪船型、复合船型等新船型的探索和应用,已成为 21 世纪前期舰船总体技术最具创新活力的内容。我国海军对此也非常重视,在以往使用经验的基础上,已成功选用高性能船型研制了几型水面舰船,取得了很好的效果。

《高性能船舶水动力原理与设计》一书,紧跟世界高性能舰船的最新发展,在作者四十多年的教学、科研和设计经验的基础上,特别增加了穿浪双体船、多体船、动力增升杂交船型和最新的多 M 型槽道滑行艇等专题分析研究,更加全面、深入和系统地展现了各型高性能船舶的基础理论、主要特点、设计应用及历史概况等。本书理论浅显易懂,分析细致透彻,实例资料详实,图文并茂,是近年来难得一见、适合不同读者需求、内容非常全面的学术专著。该书必将成为有志于从事高性能船舶事业的广大科技人员和管理人员的良师益友。

舰船装备是海军装备体系的重要组成部分,可以预见,高性能船舶将在其中占有越来越重要的地位。希望广大科技人员能充分发挥聪明才智,勇于开拓,敢于创新,为我国高性能舰船的发展及海军技术装备水平的提高做出贡献。

海军中将

原海军副司令员兼装备部部长

2008 年 6 月 8 日 于北京



前 言

20 世纪 80 年代以后,一批前所未有的各种借助于浮力、水动力和气动力综合作用高效航行的,被称为“高性能船舶”纷纷面世,并相继开发投入使用。这些高性能船舶的出现备受各国商界的关注,同时更受到军界的高度重视。这些航速高、性能好的新型船(艇)几乎都是首先应用于军用或民用转军用平台上,海上作战舰艇正在逐步更新换代。

为满足培养国防船舶科技高级人才和推动国防科技与武器装备现代化发展的需要,本书作者基于多年教学、科研和设计经验,跟踪高性能船舶领域的前沿技术,对原《高性能船舶水动力原理与设计》(2001 年版)的内容做了重要的扩充和全面的知识更新,重新精心编写而成此书。

随着对该领域研究的不断深入,以及考虑与吸纳读者的反馈意见和要求,本书力求能全面地反映该领域的技术发展现状,在内容上更加详实和面向实用,并突出船型新概念与技术创新。新书重点介绍各类高性能船舶的基本原理,凝练与强化重要的基本概念、新方法和新技术。作者希望本书对促进国防船舶现代化、提升高性能船舶的理论研究水平与培养学生创新能力,以及在指导工程设计和新型船舶的研发方面有一定的应用意义与参考价值。为此,在编写过程中力求深入浅出,尽量避免枯燥繁复的公式推导;力求理论结合实际,着重基本原理和物理概念的阐释,透彻分析各类高性能船舶的性能、特点及其变化规律;同时对船型优化与设计、性能计算与评估,以及提高、改善高速船舶航行性能的技术与方法给予较全面的阐述,以利于读者的理解、掌握和开拓运用。此外还对目前正在研究中的新船型给予介绍、评价和分析,以启示未来船型发展的一般趋向。

本书共分 11 章,包括概论、高速排水型船舶概念及其兴波阻力表达式、高性能排水型单体船、常规高速双体船与非对称型双体船、小水线面双体船与隐身船型、高速穿浪双体船、高速多体(包括三体、四体和五体)船、动力增升体船等复合(杂交)船、常规滑行艇、槽道滑行艇(包括 W 型槽道艇、单 M 型槽道艇、多 M 型槽道艇)、水翼艇、气垫船,以及掠海地效翼船等。全面系统地论述了高性能船舶的基本原理、船型新概念及其演变、航态、快速性、稳性和耐波性及其相关的评估标准等,并阐述了各类船舶的水动力性能估算、船型改进与优化设计方法,同时还重点

地介绍了当前国内外高性能船舶的最新研究成果。

本书的主要读者对象是从事高性能船舶工程研究与设计的人员,海军装备技术管理和论证、研制、生产部门的工程技术人员和管理人员,也可作为高等院校船舶及其相关专业博士研究生、硕士研究生和高年级本科生的教学参考书。

本书由赵连恩、谢永和编写,其中赵连恩编写第1章~第8章和第11章,谢永和编写第9章和第10章。全书由赵连恩统稿。在编写过程中得到吴有生院士、金矛海军中将的关心、支持与指导。特别感谢吴有生院士在百忙中精心地审阅了本书全部的书稿,并提出重要的修改与补充建议,使本书的科学性和严谨性得到进一步提升。感谢中国船舶及海洋工程设计研究院恽良研究员、上海交通大学邵世明教授、哈尔滨工业大学李焱教授对本书稿提出了非常宝贵的意见。浙江海洋学院黄永生为本书绘制了部分插图,国防工业出版社欧阳黎明对本书的出版给予了大力支持和帮助,在此一并致以谢意。

由于编者水平所限,书中缺点和错误在所难免,恳请广大读者批评指正。

赵连恩

2008年8月

于浙江海洋学院(舟山)

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 高性能船舶的基本概念及特点	1
1.1.1 高性能船舶的基本概念	1
1.1.2 高性能船舶的特点	2
1.2 船舶水动力技术与船型演变	3
1.2.1 船舶航态与船舶性能	3
1.2.2 船型演变的一般趋势及高性能船舶的种类	5
1.3 高性能船舶发展概况	6
1.4 高性能船舶航行性能的研究方法	8
1.4.1 理论计算方法	8
1.4.2 船模试验	9
1.4.3 实船试验	9
1.5 高性能船舶耐波性评估标准	11
1.5.1 正常营运限制	11
1.5.2 预定最坏条件限制	12
1.5.3 航行舒适性限制	12
第 2 章 高速排水型船舶与兴波阻力表达式	14
2.1 基本概念与船型	14
2.1.1 相对航速概念	14
2.1.2 高弗劳德数减阻概念	15
2.1.3 “薄船”或瘦长船概念	16
2.2 不同形式的片体组合及其兴波阻力表达式	16
2.2.1 单体“薄船”兴波阻力	16
2.2.2 双体“薄船”兴波阻力	17
2.2.3 三体“薄船”兴波阻力	19
2.2.4 四体“薄船”兴波阻力	21
2.2.5 五体“薄船”兴波阻力	23
第 3 章 高性能排水型单体船	25
3.1 主要性能与船型的关系	25

3.1.1	阻力性能与主要船型参数的关系	25
3.1.2	耐波性能与主要船型参数的关系	26
3.2	高速方尾排水型船的阻力性能及预报方法	33
3.2.1	方尾型船的水动力特点	34
3.2.2	苏联《方尾图谱》的应用	35
3.2.3	NPL 型船系列图谱	39
3.2.4	应用回归分析法估算过渡型快艇的阻力	42
3.2.5	预报高速方尾排水型船舶阻力性能的电子方尾图谱	44
3.3	高速深 V 型船	46
3.3.1	深 V 型船的船型特征	46
3.3.2	船体 V 度和尾板形状对阻力的影响	47
3.3.3	深 V 型船与常规圆舭型船在流体动力性能上的比较	52
3.3.4	横剖面形状对耐波性的影响	54
3.3.5	半潜首对阻力和耐波性的影响	56
第 4 章	高速常规双体船与非对称型双体船	61
4.1	高速常规双体船的船型特征	61
4.1.1	双体船的优点	62
4.1.2	双体船的缺点	63
4.2	高速双体船的阻力特性及临界航速概念	64
4.2.1	高速双体船的阻力特性	64
4.2.2	高速双体船的临界速度和无干扰弗劳德数概念	67
4.2.3	片体间距对阻力的影响	68
4.2.4	修长系数和长宽比对阻力的影响	69
4.2.5	片体横剖面形状对阻力的影响	71
4.2.6	高速双体船兴波阻力理论公式	74
4.2.7	双体船航行升沉与纵倾变化特点	75
4.3	高速双体船阻力计算	77
4.3.1	阿尔费里耶夫高速双体船剩余阻力图谱	77
4.3.2	用 NPL 高速双体船试验资料估算阻力	81
4.3.3	用双体母型资料和影响系数估算双体船的阻力	85
4.3.4	用单体船图谱或试验资料估算双体船的阻力	87
4.4	常规高速双体船的耐波性	91
4.4.1	船舶耐波性研究的现状	91
4.4.2	与耐波性有关的基本概念	93
4.4.3	常规高速双体船耐波性的简化计算	100
4.5	非对称型高速双体船	114

4.5.1	非对称型双体船的特点	115
4.5.2	非对称型双体船的兴波阻力计算	115
第5章	小水线面双体船与隐身船型	118
5.1	综述	118
5.1.1	SWATH 发展简史	119
5.1.2	SWATH 的主要优缺点	123
5.1.3	SWATH 的性能特点	126
5.2	小水线面双体船的快速性特点	130
5.2.1	SWATH 阻力性能与常规船比较	130
5.2.2	SWATH 耐波性与波浪中的失速	131
5.2.3	SWATH 的推进性能	131
5.3	小水线面双体船船型与性能的关系	132
5.3.1	SWATH 的阻力性能	132
5.3.2	SWATH 的运动性能	138
5.4	小水线面双体船的船型优化和改进	143
5.5	小水线面隐身船型	145
5.5.1	隐身船概念	145
5.5.2	小水线面隐身船的性能与船型特征	147
5.5.3	舰艇隐身技术	149
第6章	穿浪双体船(WPC)	152
6.1	概述	152
6.2	WPC 船型参数对性能的影响	154
6.2.1	片体的长度系数和长宽比	154
6.2.2	横剖面的选择	155
6.2.3	尾端形状	156
6.2.4	首端形状	156
6.2.5	浮心纵向位置(LCB)	157
6.2.6	干舷与储备浮力	157
6.2.7	连接桥和中央船体的形状	158
6.2.8	片体间距对性能的影响	159
6.3	WPC 与相当单体船航行性能的比较	160
6.3.1	快速性	161
6.3.2	耐波性能	161
6.4	改善高速穿浪双体船航行性能的措施	163
6.5	最小兴波阻力双体船船型优化	166
6.5.1	二次型数学规划法的基本概念	167

6.5.2	用“帐篷”函数法解最小兴波阻力双体船船型优化问题	169
6.5.3	约束的标准形式	174
6.5.4	二次规划问题的解法	176
第7章	高速多体船与复合船型	185
7.1	概述	185
7.2	高速三体船船型与性能特点	186
7.3	高速三体船阻力与耐波性估算	188
7.3.1	高速三体船阻力估算	188
7.3.2	高速三体船耐波性估算	193
7.4	高速四体船	194
7.4.1	高速并列四体船	194
7.4.2	高速小水线面四体船	196
7.5	高速五体船	201
7.5.1	主一侧五体船	201
7.5.2	等片体五体船	207
7.6	高速三体船、五体船在迎/顺浪中的“参数谐振”问题	210
7.6.1	现象与安全问题	210
7.6.2	参量横摇基本概念与机理	211
7.6.3	船型对参量横摇运动的影响	213
7.6.4	减小与避免参量横摇与同步横摇的措施	217
7.7	三体船、主侧五体船与相当单体船性能比较	218
7.7.1	阻力性能比较	218
7.7.2	完整稳性比较	220
7.7.3	耐波性能比较	222
7.7.4	侧体设计的相关问题	222
7.7.5	其他有关结论	223
7.8	多体船的应用与发展前景	223
7.9	高性能复合船型	226
7.9.1	概述	226
7.9.2	动力增升体/动力增潜体型船	227
7.9.3	动力增升体型船的优点	228
7.9.4	动力增升附体船的实例与几种船型概念的设想	229
7.9.5	关于水动力学船型概念的注记	234
第8章	常规滑行艇与槽道滑行艇	236
8.1	常规滑行艇基本原理	236
8.1.1	滑行艇的受力分析与二元滑行平面	237

8.1.2	实际流体中的滑行面	239
8.2	常规滑行艇阻力性能计算	256
8.2.1	应用滑行平板资料估算滑行艇阻力	257
8.2.2	应用系列模型试验资料估算滑行艇阻力	266
8.3	常规滑行艇的运动稳定性	268
8.3.1	滑行艇的横稳性	268
8.3.2	滑行艇的纵向运动稳定条件	270
8.3.3	纵向稳定运动的界限	271
8.4	常规滑行艇的艇型特点	273
8.4.1	滑行艇主尺度及主要船型系数	273
8.4.2	滑行艇剖面形状对艇性能的影响	275
8.4.3	改善滑行艇性能的一些特殊措施	277
8.5	W 型槽道滑行艇	278
8.5.1	W 型槽道滑行艇的基本原理	278
8.5.2	槽道尺度对滑行艇航行性能的影响	279
8.5.3	W 型槽道滑行艇的阻力计算	280
8.6	W 型槽道水翼滑行艇	282
8.6.1	W 型槽道水翼滑行艇的基本原理及船型特征	283
8.6.2	槽道水翼对滑行艇快速性的影响	283
8.7	单 M 型槽道滑行艇与多 M 型槽道滑行艇	287
8.7.1	M 型艇的起源与船型概念	287
8.7.2	M 型槽道滑行艇的技术特点	290
8.7.3	M 型槽道滑行艇的基本原理	292
8.7.4	M 型与 W 型槽道滑行艇性能的比较	294
8.7.5	M 型与 W 型槽道滑行艇的推进性能与特点	298
第 9 章	水翼艇	306
9.1	水翼艇的发展	306
9.2	水翼艇的工作原理	309
9.2.1	水翼工作原理	309
9.2.2	水翼的升力	312
9.2.3	水翼的阻力	316
9.2.4	水翼浅浸效应	319
9.2.5	水翼空化现象	320
9.3	水翼系统的设计	323
9.3.1	水翼类型和水翼系统	323
9.3.2	水翼要素的确定	328

9.3.3	水翼装置的上翻和收缩	332
9.3.4	水翼结构及强度计算	333
9.3.5	水翼的自动控制	334
9.4	水翼艇的性能	337
9.4.1	水翼艇翼航状态下的吃水和阻力	337
9.4.2	水翼艇翼航状态下的稳性	340
9.4.3	水翼艇的适航性	345
9.4.4	水翼艇的操纵性	348
第 10 章	气垫船	350
10.1	气垫船概述	350
10.1.1	气垫船的发展过程	350
10.1.2	气垫船的类型和特点	355
10.1.3	气垫船的应用	357
10.1.4	气垫围裙	358
10.2	气垫技术的基本原理	362
10.2.1	气垫的形成与维持	362
10.2.2	气垫船的基本参数及其相互关系	363
10.2.3	早期的垫升性理论	365
10.2.4	实用的垫升性表达式	367
10.2.5	垫升功率的确定	368
10.3	气垫船的阻力	369
10.3.1	气动阻力	370
10.3.2	水动阻力	372
10.3.3	主要因素对阻力性能的影响	377
10.4	气垫船的航海性能	380
10.4.1	气垫船的稳性	380
10.4.2	气垫船的操纵性	385
10.4.3	气垫船的适航性	386
第 11 章	掠海地效翼船	390
11.1	掠海地效翼船发展背景	390
11.2	地效翼船的基本原理	395
11.2.1	地面效应原理	395
11.2.2	机翼的几何特征与空气动力特性	396
11.3	地面效应、水面效应与水翼浅浸效应比较	403
11.3.1	地面效应(刚性固面情况)	404
11.3.2	水面效应(机翼低速飞行时的水面情况)	405

11.3.3	水翼浅浸效应	405
11.4	地效翼船的快速性能	406
11.4.1	地效翼船阻力曲线特征与变化规律	406
11.4.2	阻力计算	408
11.5	地效翼船的关键技术——运动稳定性	409
11.5.1	纵向稳定性	410
11.5.2	地效翼船的横向稳性	413
11.6	动力增冲和动力气垫技术	414
11.6.1	动力增冲(PAR)技术与动力增冲地效翼船	414
11.6.2	动力气垫(DAC)技术与动力气垫地效翼船	415
11.7	地效翼船耐波性、操纵性与方向控制	419
11.7.1	耐波性	419
11.7.2	操纵性	421
11.8	地效翼船的经济性	422
11.9	地效翼船飞行性能设计参数	424
11.9.1	设计规格特征	424
11.9.2	发动机的安装与选择	424
11.10	地效翼船的优缺点与应用前景	425
11.10.1	地效翼船的优缺点	425
11.10.2	地效翼船的应用	427
参考文献		429

CONTENTS

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Basic conception and characteristic of HPV	1
1.1.1 Basic conception of high performance ships	1
1.1.2 Basic characteristic of high performance ships	2
1.2 Ship hydrodynamic technique and ship form evolvement	3
1.2.1 Navigate State and performance of ships	3
1.2.2 Generic trend of ship form and Sort of high performance ships	5
1.3 Development survey of HPV	6
1.4 Methodology of investigation on ship performance	8
1.4.1 The method of theoretical calculation	8
1.4.2 Model experiments	9
1.4.3 Full scale trial	9
1.5 Criteria of seakeeping assessment for HPV	11
1.5.1 Limits for Normal Operation	11
1.5.2 Limits for Worst Intended Condition	12
1.5.3 Assessment of Limits for Comfortable Cruise	12
Chapter 2 High speed displacement ships and its wave resistance expression	14
2.1 Basic conception and ship forms	14
2.1.1 The concept of relative speed	14
2.1.2 The concept of reducing resistance at high Froude number	15
2.1.3 The concept of "thin ship" or slender body	16
2.2 Different combination of semihulls and wave resistance expressions	16
2.2.1 Wave making resistance expression of thin monohull	16
2.2.2 Wave making resistance expression of thin catamaran	17
2.2.3 Wave making resistance expression of thin trimaran	19
2.2.4 Wave making resistance expression of thin four - hulls	21
2.2.5 Wave making resistance expression of thin pentamaran	23
Chapter 3 High performance displacement monohull	25