



# 高速船快速性

Powering Performance of High Speed Crafts

主编 吴晓光 吴启锐



國防工業出版社

National Defense Industry Press

# 高速船快速性

主 编 吴晓光 吴启锐

国防工业出版社

· 北京 ·

## 内 容 简 介

本书围绕高速船快速性,主要介绍过渡型高速船和滑行艇,包括单体船、双体船、水翼船的船型特点、阻力性能和减阻措施,及高速船的动力和推进特性、快速性估算、试航分析等。书中对高速船快速性提出的分析、方法、措施、结论均较为实用,且很多已得到验证,因此具有较高的工程实用价值。

本书可作为高等院校船舶工程专业的研究生教材,也可供从事高速船的船舶工程方面的研究和设计人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

高速船快速性/吴晓光,吴启锐主编. —北京:国防工业出版社,2015.2

ISBN 978-7-118-09960-7

I. ①高... II. ①吴...②吴... III. ①高速船—快速动力学—研究 IV. ①U674②U661.31

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 025987 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)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16 印张 15½ 字数 400 千字

2015 年 2 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 86.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)88540777

发行邮购: (010)88540776

发行传真: (010)88540755

发行业务: (010)88540717

# 序 言

快速性是高速船最重要的特征和性能,关系到民用船舶的营运效率和作战舰艇的机动性。随着经济的快速发展和海军装备现代化的需要,及船用大功率高集成度的推进动力的日臻成熟,高速船的应用越来越广泛。为了达到预期的航速,人们从来没有停止过探索和研究各种新颖的船型和减阻增速的措施,同时也充分认识到高速船的快速性研究和设计、计算由于航速高、流动复杂,比低航速船舶的难度要大得多。

编者长期从事高速船的总体性能研究和设计,继承和发展了半个多世纪以来在高速船研制的成果,通过对已研制的各种高速、高性能舰船快速性研究、设计、试验试航和改进提高等方面的总结和提升,编著了本书。书中系统地论述了过渡型高速船和滑行艇,包括单体、双体、水翼船的船型特点、阻力性能和减阻措施,及高速船的动力和推进特性、快速性估算、试航分析等,提出了很多较为适用且得到验证的分析、方法和措施、结论,因此,具有较高的工程实用价值。

本书的编著和出版,是船舶行业科学技术方面的创新性尝试,对推动我国高速船快速性领域的研究具有很好的借鉴意义。

期待行业专家有更多著作出版,为提升我国船舶科研能力和造船技术水平多做贡献。



2015 年 1 月

# 前 言

本书围绕高速船快速性,主要介绍过渡型高速船和滑行艇,包括单体船、双体船、水翼船的船型特点、阻力性能和减阻措施,及高速船的动力和推进特性、快速性估算、试航分析等。书中对高速船快速性提出的分析、方法、措施、结论均较为实用,且很多已得到验证,因此具有较高的工程实用价值。

本书所述高速船主要是浸水航行的船舶,对于空气垫升的气垫船、利用地效产生升力的地效翼船,因其快速性更多地涉及到空气动力学,在此未作介绍。另外,考虑到本书的工程实用性,并未涉及高速船基本的流体动力性能和快速性的理论计算方法,读者可参阅相应的专业书籍。

全书共9章,第1章绪论,主编为李慧民;第2章单体高速船,主编为吴晓光;第3章高速双体船,主编为邓爱民;第4章高速多体船,主编为杨帅;第5章水翼船,主编为刘昌明;第6章高速船减阻技术和措施,主编为杨清奕;第7章高速船动力及推进,主编为吴晓光;第8章高速船快速性估算,主编为许晟;第9章高速船快速性试航与分析,主编为陈锐。参加编著的还有李水才、李德智、胡雅梅、胡翩、沈小红。

本书在编写过程中参考了中国舰船研究设计中心李慧民编著、吴晓光主审的《快艇快速性手册》(内部),并得到了李国佩、亢为宏等专家的悉心指导,尤其是朱英富院士在百忙之中对本书提出了很多宝贵的意见和建议,在此一并致以衷心的感谢。对岳蕾、陈林、喻欣、王庆旭、王玉成、万里在资料收集、书稿整理、图表制作等方面的辛勤劳动表示十分感谢。

到目前为止,在高速船快速性方面尚没有较为系统的论述,本书是一次尝试,希望该书对我国高速船的研究和设计及未来高速船的发展起到有益的推进作用。由于编者水平所限,且该领域本身的技术难度较大,书中缺点和错误在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

# 目 录

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 第 1 章 绪论              | 1  |
| 1.1 高速船的定义和特点         | 1  |
| 1.1.1 高速船的定义          | 1  |
| 1.1.2 高速船的分类          | 2  |
| 1.2 快速性的定义及高速船快速性工作内容 | 3  |
| 1.2.1 快速性的定义          | 3  |
| 1.2.2 高速船快速性工作内容      | 3  |
| 1.3 高速船快速性的技术发展趋势     | 5  |
| 参考文献                  | 5  |
| 第 2 章 单体高速船           | 6  |
| 2.1 概述                | 6  |
| 2.2 过渡型高速船            | 7  |
| 2.2.1 圆舭型高速船          | 7  |
| 2.2.2 圆舭折角型高速船        | 9  |
| 2.2.3 准深 V 型高速船       | 12 |
| 2.3 滑行艇               | 14 |
| 2.3.1 常规滑行艇           | 14 |
| 2.3.2 深 V 型滑行艇        | 31 |
| 2.3.3 断级型滑行艇          | 37 |
| 2.3.4 其他滑行艇           | 43 |
| 参考文献                  | 45 |
| 第 3 章 高速双体船           | 50 |
| 3.1 概述                | 50 |
| 3.2 普通高速双体船           | 51 |
| 3.2.1 普通高速双体船船型特点     | 51 |
| 3.2.2 发展历程及应用         | 52 |
| 3.2.3 高速双体船的阻力        | 52 |
| 3.3 高速穿浪双体船           | 61 |
| 3.3.1 高速穿浪双体船的船型特点    | 61 |
| 3.3.2 发展历程及应用         | 62 |
| 3.3.3 高速穿浪双体船阻力       | 63 |
| 3.4 小水线面双体船           | 70 |
| 3.4.1 小水线面双体船船型特点     | 70 |

|       |               |     |
|-------|---------------|-----|
| 3.4.2 | 发展历程及应用       | 71  |
| 3.4.3 | 小水线面双体船的阻力    | 72  |
| 3.5   | 槽道双体船         | 74  |
| 3.5.1 | 槽道双体船船型特点     | 74  |
| 3.5.2 | 发展历程及应用       | 75  |
| 3.5.3 | 槽道双体船的阻力      | 75  |
|       | 参考文献          | 77  |
| 第4章   | 高速多体船         | 78  |
| 4.1   | 高速多体船概述       | 78  |
| 4.2   | 高速三体船         | 79  |
| 4.2.1 | 高速三体船船型       | 79  |
| 4.2.2 | 发展历程及应用       | 80  |
| 4.2.3 | 高速三体船的阻力      | 81  |
| 4.3   | 高速四体船         | 86  |
| 4.3.1 | 高速四体船船型       | 86  |
| 4.3.2 | 发展历程及应用       | 87  |
| 4.3.3 | 高速四体船快速性      | 87  |
| 4.4   | 高速五体船         | 89  |
| 4.4.1 | 高速五体船船型       | 89  |
| 4.4.2 | 发展历程及应用       | 90  |
| 4.4.3 | 高速五体船的阻力      | 92  |
| 4.5   | M 船型          | 93  |
| 4.5.1 | 船型特征          | 93  |
| 4.5.2 | 发展历程及应用       | 95  |
| 4.5.3 | M 型船阻力        | 97  |
|       | 参考文献          | 100 |
| 第5章   | 水翼船           | 101 |
| 5.1   | 概述            | 101 |
| 5.1.1 | 水翼船定义         | 101 |
| 5.1.2 | 分类及特点         | 101 |
| 5.2   | 基本原理          | 103 |
| 5.2.1 | 水翼工作原理        | 103 |
| 5.2.2 | 水翼的升力         | 106 |
| 5.2.3 | 水翼的阻力         | 109 |
| 5.2.4 | 自由液面对水翼水动力的影响 | 111 |
| 5.2.5 | 空泡现象          | 112 |
| 5.3   | 国内外水翼船的发展情况   | 113 |
| 5.3.1 | 美国            | 113 |
| 5.3.2 | 俄罗斯           | 114 |

|       |                           |     |
|-------|---------------------------|-----|
| 5.3.3 | 其他国家 .....                | 114 |
| 5.3.4 | 国内水翼船的发展情况 .....          | 114 |
| 5.4   | 水翼船的阻力 .....              | 115 |
|       | 参考文献 .....                | 122 |
| 第 6 章 | 高速船减阻技术和措施 .....          | 124 |
| 6.1   | 概述 .....                  | 124 |
| 6.2   | 尾板 .....                  | 125 |
| 6.2.1 | 尾板减阻原理 .....              | 125 |
| 6.2.2 | 水平尾板 .....                | 127 |
| 6.2.3 | 垂直尾板 .....                | 129 |
| 6.3   | 舳板 .....                  | 131 |
| 6.3.1 | 水平舳板 .....                | 131 |
| 6.3.2 | 垂直舳板 .....                | 132 |
| 6.3.3 | 八字形舳板 .....               | 132 |
| 6.4   | 楔形板 .....                 | 133 |
| 6.4.1 | 首楔形板 .....                | 133 |
| 6.4.2 | 尾楔形板 .....                | 136 |
| 6.4.3 | 舳楔形板 .....                | 136 |
| 6.4.4 | 首尾双楔形板 .....              | 136 |
| 6.5   | 水翼 .....                  | 137 |
| 6.5.1 | 减阻首水翼 .....               | 137 |
| 6.5.2 | 减阻舳水翼 .....               | 139 |
| 6.5.3 | 消波水翼 <sup>[2]</sup> ..... | 140 |
| 6.6   | 其它技术 .....                | 140 |
|       | 参考文献 .....                | 141 |
| 第 7 章 | 高速船动力及推进 .....            | 142 |
| 7.1   | 概述 .....                  | 142 |
| 7.2   | 燃气轮机 .....                | 143 |
| 7.3   | 高速柴油机 .....               | 144 |
| 7.3.1 | 高速柴油机产品概况 .....           | 144 |
| 7.3.2 | 高速柴油机的应用场合 .....          | 145 |
| 7.3.3 | 高速柴油机特性与船舶推进特性的配合 .....   | 145 |
| 7.3.4 | 高速柴油机的功率标定与应用的关系 .....    | 151 |
| 7.4   | 推进器 .....                 | 153 |
| 7.4.1 | 高速船推进器分类 .....            | 153 |
| 7.4.2 | 推进器的基本原理 .....            | 154 |
| 7.4.3 | 高速船螺旋桨 .....              | 160 |
| 7.4.4 | 喷水推进 .....                | 190 |
| 7.4.5 | 表面桨 .....                 | 199 |

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| 参考文献 .....                         | 215 |
| 第 8 章 高速船快速性估算 .....               | 216 |
| 8.1 概述 .....                       | 216 |
| 8.2 采用表面桨的深 V 滑行艇 .....            | 217 |
| 8.3 采用定距螺旋桨的无断级滑行艇 .....           | 217 |
| 8.4 采用喷水推进的滑行艇 .....               | 219 |
| 8.5 采用 Trimax 表面桨的双断级滑行艇 .....     | 221 |
| 8.6 槽道滑行艇 .....                    | 221 |
| 8.7 采用喷水推进的高速双体船 .....             | 222 |
| 8.8 采用定距桨推进的中速艇 .....              | 223 |
| 8.9 采用喷水推进的穿浪双体船 .....             | 224 |
| 8.10 采用定距螺旋桨推进的翼滑艇 .....           | 225 |
| 8.11 水翼艇 .....                     | 225 |
| 8.11.1 全浸式自控水翼艇 .....              | 226 |
| 8.11.2 割划式自控水翼艇 .....              | 226 |
| 8.11.3 固定式水翼艇 .....                | 226 |
| 8.12 采用螺旋桨推进的小水线面船航速和主机功率的估算 ..... | 227 |
| 参考文献 .....                         | 227 |
| 第 9 章 高速船快速性试航与分析 .....            | 228 |
| 9.1 概述 .....                       | 228 |
| 9.2 高速船快速性试航 .....                 | 228 |
| 9.2.1 试航要求 .....                   | 228 |
| 9.2.2 试航主要内容 .....                 | 228 |
| 9.2.3 试航注意事项 .....                 | 229 |
| 9.3 试航结果分析 .....                   | 229 |
| 9.3.1 试验数据可靠性分析 .....              | 229 |
| 9.3.2 试航结果的修正 .....                | 229 |
| 9.3.3 “相关”系数的计算 .....              | 230 |
| 9.3.4 试航出现的船—机—桨匹配问题 .....         | 232 |
| 参考文献 .....                         | 240 |

# 第1章 绪 论

## 1.1 高速船的定义和特点

### 1.1.1 高速船的定义

高速船在航行中,随着航速的不断提高,支撑船体的压力由水静压力支撑逐渐过渡为由部分甚至全部水动压力支撑,船舶的航态发生很大的变化,如图 1-1 所示。

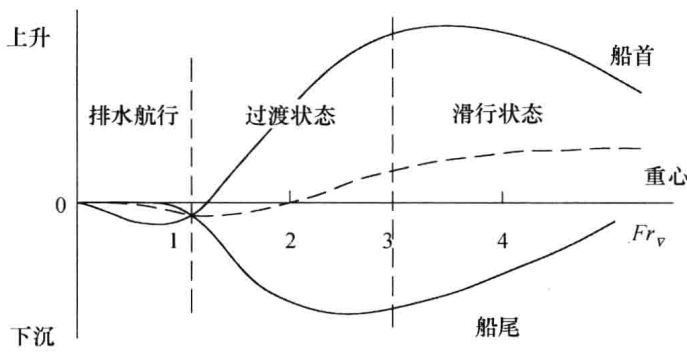


图 1-1 船体首、中、尾升沉随航速变化情况

图 1-1 中  $Fr_v$  为排水体积傅汝德数,是专业研究人员为研究高速船水动力性能与航速的关系而引入的相对速度  $Fr_v = V/\sqrt{g \nabla^{1/3}}$ , 式中  $V$  是航速 (m/s),  $g$  是重力加速度 ( $m/s^2$ ),  $\nabla$  是排水体积 ( $m^3$ )。

对应不同的  $Fr_v$ , 高速船可以分为三种比较典型的航态。

#### 一、排水航行状态

当  $Fr_v < 1.0$  时,船舶的航速较低,流体动力所占的比例极小,船体基本由静浮力支持,船体航态与静浮时变化不大,处于排水航行状态。在这个速度范围内的各种船舶,其阻力及其他航行性能可以认为与航态无关,称为排水型船舶。

#### 二、过渡(或半滑行)状态

当  $1.0 < Fr_v < 3.0$  时,船体航态较静浮状态有明显的变化:船首上抬,船尾明显下沉,整个船体出现尾倾现象。船体流体动力显著增大,在船体垂向支持力中,升力所占的比例不可忽视,船舶的排水体积小于静浮时的排水体积。由于船舶的水动升力与静浮力相比毕竟不是主要的,航态实际上处于排水航行与滑行之间,其航态称为过渡(或半滑行)状态。

#### 三、滑行状态

当  $Fr_v > 3.0$  时,船舶航速很高,吃水变化很大,且整个船体被托起并在水面上“滑

行”,只有小部分船体表面与水接触,船舶处于滑行状态,这种状态的船舶称为滑行艇。滑行艇滑行时,静浮力很小,船体几乎完全由水的动升力来支持,滑行艇的阻力性能与航态的关系极其密切。

研究人员采用另一种相对速度的定义——长度傅汝德数  $Fr_L, Fr_L = V/\sqrt{gL_{WL}}$ ,式中  $L_{WL}$  是船舶的水线长(m),其他与  $Fr_v$  定义的符号意义和单位相同。

若以长度傅汝德数的概念研究船舶的水动力性能和航态,其大致规律为:

- (1) 当  $Fr_L < 0.4$  时,船舶主要由静浮力支撑,船舶处于排水航行状态。
- (2) 对于  $(0.4 \sim 0.5) < Fr_L < (1.0 \sim 1.2)$  范围内的船舶,水动升力随航速的增加而增加,处于过渡(或半滑行)状态。
- (3) 当  $Fr_L > (1.0 \sim 1.2)$  时,主要由水动升力支撑,船舶处于滑行状态。

高速船并没有公认的统一定义。有人用航速大小来界定,如 Baird(1998)定义航速  $V_s > 30\text{kn}$  的船舶称为高速船,而一般人认为  $V_s > 25\text{kn}$  就是高速船。

一些水动力学学者<sup>[1]</sup>倾向  $Fr_L > 0.4$  的船为高速船;而在船舶工程辞典<sup>[2]</sup>内定义  $Fr_L > 0.3$  的就是高速船;日本学者大隅三彦定义  $Fr = V_s/\sqrt{L_{WL}} \geq 6$  者称高速船,式中  $V_s$  是航速(kn),而把  $Fr = 3 \sim 6$  者称为中速船<sup>[3]</sup>。

航速对于船舶检验和营运的安全性有很大意义。国际上各大船级社均将高速船限定在  $V_s \geq 3.7 \nabla^{1/6}$  (即体积傅汝德数  $Fr_v = V/\sqrt{g \nabla^{1/3}} \geq 1.182$ ) 范围内,并且对高速船均制定了专门的检验和入级规范,以确保船舶的安全性。

综上所述,高速船就是船舶在航行时被部分或大部分流体动力支撑的船,一般来说,在  $Fr_v > 1.0$  时船舶就会有相当的动升力支撑,参照船级社对高速船的定义,本书对  $Fr_v > 1.2$  的船舶定义为高速船。

之所以不用  $Fr_L$  来界定,是由于船舶的  $L_{WL}$  (设计水线长)在航速增大后是变化的,特别当船在水动升力支撑下抬出水面后,实际的水线长度与静态的设计水线长  $L_{WL}$  相比会有很大不同。

### 1.1.2 高速船的分类

高速船可按各种特性进行分类(图 1-2),例如:

- (1) 按用途分类,如客船、货船、军船、海岸巡逻艇、政府公务船等。
- (2) 按与流体动力特性相关的船型分类,如滑行艇、水翼船、气垫船、地效翼船等。
- (3) 按片体数量分类,如单体船、双体船、多体船。
- (4) 按船体材料分类,如木质船、钢质船、铝质船、碳纤维船、钛合金船等。
- (5) 按浸水位置分类,如水面型船、半潜型船、腾空型船等。

通常,根据船舶的某一明显的与众不同的特性进行称谓,如“大型”“高速”“水翼”等关键词。本书主要叙述高速船的快速性,与船舶的船型及水动力性能直接相关,因此,本书将高速船按与流体动力特性相关的船型进行分类,如图 1-2 所示。另外,对排水量小于 500t 者可称为艇。

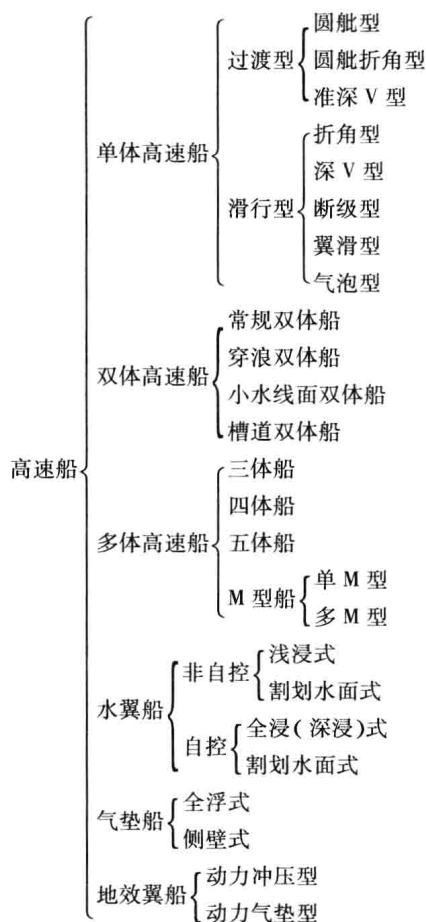


图 1-2 高速船分类

## 1.2 快速性的定义及高速船快速性工作内容

### 1.2.1 快速性的定义

快速性是船舶诸性能中的重要性能之一。民用船舶的快速性直接关系到船舶营运的经济性。对军用舰艇而言,快速性是舰艇机动性能的重要指标。因此,几乎每一艘船舶,在设计任务书中就给定明确的快速性指标。当船舶建成后,测定是否达到规定的快速性指标是试航和交船的首要工作。

快速性是指在一定的主机转速和功率下,船舶能达到所要求的航速的能力,是船舶、动力和推进相适配的综合性能。船舶快速性方面的主要工作包含了船舶的阻力计算、船体与推进器的相互干扰确定、推进器设计计算、最大可达航速的确定、不同转速和部分主机工作时的快速性确定、实船试航及分析、采用必要的降阻措施和推进器要素进一步优化等。

### 1.2.2 高速船快速性工作内容

高速船快速性工作与其他船舶一样,关键在于船—机—桨的匹配性能,主要包括高速

船的阻力确定、主机的选型和匹配、推进器的设计和匹配。

由于船舶航速高、流体流动复杂、水动力性能计算的准确性较差(与低速船舶相比),因此高速船的阻力和推进性能的预估大多以试验研究和工程经验为主。

### 一、高速船的阻力

高速船的阻力是快速性研究设计的基础。在高速船船型、尺度、排水量及其重心纵向位置确定后需对其阻力进行确定,确定的方法有:

- (1) 按同型船阻力换算。
- (2) 用统计资料进行估算。
- (3) 用系列模型试验资料进行计算。
- (4) 用理论方法或 CFD 方法进行计算。
- (5) 利用船模水池试验确定。

当阻力与同型船的阻力比较后偏大,需考虑采用降阻措施,所采取的措施还需考虑对其他性能的影响。

### 二、高速船采用的主机

高速船的主机一般是在现有的船用发动机系列中选用,几乎没有专门为一型船去研发新的主机。高速船的主机普遍采用高速柴油机(极少数采用中速柴油机),对于短程高速船或用于加速时也可采用船用燃气轮机,其他如地效翼船也选用涡轮喷气发动机,小艇上采用的合适的汽油机等。

主机的选用必须与船的类型、用途、吨位、环境温度、重量、尺寸、大修期、油耗、价格、交货期、售后服务和有无船检证书等多方面综合论证分析后确定。由于环境(如水温、气温、气压等)往往对高速机的功率有一定影响,因此对主机的功率修正不可忽视。

主机的转速通常由低速逐渐加速到最高或额定转速,需检验主机加速过程中需要提供的功率是否超出主机各转速下相应的限制功率或外特性功率,否则可能由于主机无法“越峰”而导致不能到达预计的设计转速和船舶的航速。

### 三、高速船的推进器

高速船推进器的设计是快速性的关键工作。

#### 1. 高速船推进器的类型

高速船推进器的类型主要有定距水螺旋桨、喷水推进、割划水面定距桨、空气螺旋桨、喷气推进。选择推进器的主要根据是船型、航区、用途、航速、重量、总体布置、其他航行性能等要求和限制,同时需考虑推进器的效率、与船体的相互干扰、价格、可靠性、供货等因素。例如:航速为 42kn、排水量为 40t 的无断级滑行艇可采用定距水螺旋桨;全浮式气垫船采用空气螺旋桨等。尤其是高速船普遍是多主机多推进器型式,与单机单推进器型式相比,需关注主机的布置、推进器的布置和相互干扰、推进器的转向操纵等。

#### 2. 高速船推进器设计的任务和要求

(1) 任务:在已知条件和要求下确定推进器的最佳要素并绘制施工图,此为正向问题;在已知推进器要素下来确定推进器的特性,此为逆向问题。

(2) 要求:若对正向问题则要求推进器有较高的效率,以实现船的最高航速;在巡航时油耗较低;部分主机工作时要有较高的航速;船—机—桨的性能匹配;推进器有足够的强度;对水推进器应避免危及材料损坏的空蚀;有较好的倒航能力;其他的特殊要求等。

若对逆问题则要求准确地确定其特性,方法包括理论计算、半经验半理论方法计算、系列图谱资料或做模型试验等。

### 3. 高速船推进器的设计方法

高速船推进器设计计算方法很多,归纳如下:

- (1) 以动量或叶原体理论为基础的设计计算方法。
- (2) 以涡旋理论为基础的升力线、升力面设计计算方法。
- (3) 以模型试验为基础的设计计算方法。
- (4) 以计算流体力学为基础的 CFD 设计计算方法。
- (5) 以涡旋理论为主,经模型试验充实和修正的半经验半理论设计计算方法。

### 四、快速性实船试航

快速性实船试航的目的是:验证所设计建造的船,其航速是否达到设计建造合同的要求;是否达到船—机—桨的性能匹配;积累实船经验,改进和提高设计的准确性。

快速性试航必须在规定的水域和气象、海况等条件下进行,船舶的排水量和重心位置与设计状态基本一致,试航前需正确核算排水量及其静浮吃水,若有差异,必须将所测的航速和主机功率换算到试航大纲所规定的排水量和重心位置。同样,如试航水深和海况不满足规定要求,也要对航速和功率进行修正。

## 1.3 高速船快速性的技术发展趋势

高速船的快速性与船型紧密相连。为了降阻,可采用水翼、气垫、地面效应等技术将船体脱离水面,使船体在空气中运行;也可采用气泡、槽道、断级(横向或纵向)等技术,降低船体阻力;还可以采用升力板技术,通过改变航态来降低阻力。

为了进一步减小阻力或提高耐波性等,在船型上可能会向复合船型发展,这种复合船型的阻力计算方法和阻力模型试验及换算至实船的方法正在进行研究和探索。为了配合两栖船(水面至水下或水面至水面以上)或三栖船(水面、水下、水面以上)发展,高速船在不同介质内的阻力计算以及水推进器与空气推进器的组合设计技术将会进一步发展。科研人员正在进行的两相流推进技术、电磁推进技术可能对船舶的航速和其他航行性能、减振降噪等带来革命性的影响。为了提高设计和计算的精度、缩短设计计算周期,计算流体力学将逐渐引入设计,并在实践的基础上进一步完善和改进。

## 参 考 文 献

- [1] ODDM. FALTINSEN. 海上高速船水动力学[M]. 崔维成,等译. 北京:国防工业出版社,2007.
- [2] 中国造船工程协会,上海交通大学. 船舶工程辞典[M]. 北京:国防工业出版社,1988.
- [3] 大隅三彦. 中速艇的设计法[J]. 船の科学,1979.

## 第 2 章 单体高速船

### 2.1 概 述

单体船就是只有一个船体的船舶。单体船由于船型简单、技术成熟、造价相对较低而得到了广泛应用,是军用和民用船舶的主力船型。

单体船的材料从木质发展到钢质、轻金属、复合材料等,总体来讲,随着推进动力功率的提高,船舶的航速也越来越高,同时,人们对单体船在空间布置、装载和舒适性等方面不断提出更高的要求,针对不同用途研究建造了诸如水翼艇、双体船(小水线面双体和穿浪双体等)、复合船等种种新型高性能船,以期在达到高航速的同时提高船舶其他方面的性能,但因技术的成熟度、船舶造价和风险等原因,高性能船舶仍难得到广泛的应用。目前,单体船仍然在世界上占据主导地位,是应用最为普遍的船型。

单体高速船按流体动力特性有过渡型高速船和滑行艇两类。

过渡型高速船船型主要包括圆艏型、圆艏折角型、准深 V 型等。

圆艏型船舶是最早出现的船型,横剖面圆滑,船舶的阻力小,经济性好,在单体高速船领域里属最经典和常用的船型,占到了很大比例,20 世纪四五十年代,各种民用和军用舰船大多都是圆艏船型。

圆艏折角船型是在圆艏船型的基础上在艏部设置折角线以改善流体性能,船型适用的航速比圆艏船型高。根据速度高低的不同,折角的长短也不同,圆艏折角船型又可细分为圆艏短折角、圆艏中折角和圆艏长折角。

准深 V 船型是从深 V 船型滑行艇的设计和性能改进而得,主要是借鉴深 V 船型滑行艇耐波性优良和适用于高航速的特点。其船型特点是长、宽都比较大,横剖面线型平直,横向斜升角要小于典型深 V 船型,而且从舳至尾逐渐减少以保证船舶的快速性和耐波性兼优。准深 V 船型具有良好的总体性能,建造工艺简单,造价相对较低,技术风险小,因而逐渐得到广泛的应用。

滑行艇是在航速很高时船底像“水橇”一样在水面滑行的一种高速艇,包括常规滑行艇、深 V 滑行艇和断级滑行艇等。

常规滑行艇采用较平滑的船底,在水面高速运动时,因垂向水动力作用而产生的升力会使艇体上抬,艇与水的接触面随速度的增加而减少,当  $F_{\text{D}} \geq 3.0$  时,进入滑行状态。滑行艇可以达到较高的航速,但因滑行时吃水较小,艇的耐波性较差。

深 V 滑行艇的横剖面横向斜升角较常规滑行艇要大,其耐波性亦较常规滑行艇要好。典型的深 V 滑行艇舳部横向斜升角约为  $25^\circ$ ,尾部斜升角保持不变或略有减小,具有优异的耐波性能,但艇的阻力较大。

断级滑行艇是在艇底纵向设置横向断级,在极高的速度航行时,减小艇底与水的接

触面积,降低摩擦阻力。根据设置的断级数量,断级滑行艇分为单断级和双断级滑行艇。

对于单体高速船的每种船型,都有各自的优缺点,不可能用一种船型来代替其他一切船型,只有合理运用各种船型的优点,扬长避短,使各种船型各尽所能,才能研制优良、适用的高速船。

## 2.2 过渡型高速船

### 2.2.1 圆艏型高速船

#### 一、船型

一般来说,圆艏高速船比较适用于排水体积傅汝德数  $Fr_v = 1 \sim 1.5$ , 长度傅汝德数  $Fr_L = 0.3 \sim 0.7$ 。其主要几何特征为:

(1) 船体横剖面为光滑的圆艏型剖面,如图 2-1 所示,在船的前体横剖面有较大的底部斜升角,至尾部方向斜升角减小,甚至在封板处趋于零度,因此前体形状有利于减小船体在波浪中的冲击,后体形状有利于增大水动力作用。

(2) 首部瘦削,水线处进流角的角度较小;舳部船底设有舳部升高和较大的圆弧半径,最大横剖面一般在船体舳后部,且平行中体较短,尺度较小的圆艏船甚至没有平行中体;底部设有一定宽度的平板龙骨。

(3) 尾部采用方尾,且宽度较大。尾封板高速时是不浸水的,方尾的作用是增加了一个虚长度,相当于增加了设计水线长度,但却没有湿面积,从而降低了阻力。另外,后体的纵剖线较平坦以适应高速流动。

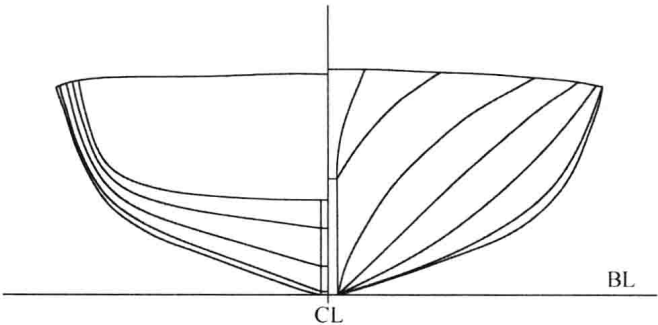


图 2-1 典型的高速圆艏船型横剖面

高速圆艏船型航行时仍处于排水航行状态,船体重量主要由静浮力支撑,其首部多采用 V 型,尖瘦的艏部可减小在波浪上航行时的冲击,但由于舳部的横剖面为圆弧型,横摇阻尼较小致使横摇运动较大。

综合上述内容,圆艏船型性能上的优点主要体现在以下三个方面:

(1) 长度傅汝德数  $0.3 < Fr_L < 0.7$  时,圆艏方尾船型的阻力性能要优于其他排水型高速船。

(2) 圆舳船型首部纵向较瘦削,水线处进流角较小,能够有效减小兴波阻力。

(3) 圆舳船型横剖面线型较为丰满,主船体的空间利用率高,便于总布置和降低船舶的重心高度。

圆舳船型在性能上主要有以下缺点:

- (1) 圆舳船型在当  $Fr_L > 1.0$  后,阻力增加较快。
- (2) 首部较为尖削,若设计不当,在航速高时易出现“埋首”,从而导致阻力增加。
- (3) 由于具有圆滑的横剖面,横摇阻尼小,在波浪中的横摇运动较大。
- (4) 高速时回转直径较大,对操纵性有一定影响。

二、阻力

圆舳型高速船的剩余阻力系数  $C_r$  在  $Fr_L \approx 0.5$  时会出现明显的“峰值”,且排水体积长度系数(亦称为长度负荷系数)  $C_v = \nabla / (0.1L)^3$  对其影响较大:一般情况下,剩余阻力系数  $C_r$  会随着  $C_v$  的增加而增加;对于相同的  $C_v$ ,长宽比  $L/B$ 、宽度吃水比  $B/T$  对剩余阻力系数  $C_r$  也存在一定影响。

国内外对圆舳艇的剩余阻力有多种计算方法,这些方法都比较成熟和经典。工程设计上,船舶的阻力一般可通过查阅公开发表的系列模型试验的阻力图谱得到,也可以根据较为成熟的回归公式计算而得。本节仅以简单的回归公式<sup>[1]</sup>为例进行说明。

1. 湿面积系数  $C_s$

$$C_s = S / \sqrt{\nabla L} = 2.77 + 0.065 \frac{B}{T} + \frac{0.008L}{\nabla^{1/3}} - 0.67 C_b \tag{2-1}$$

- 式中  $T$ ——吃水(m);  
 $S$ ——吃水为  $T$  的湿面积( $m^2$ );  
 $\nabla$ ——吃水为  $T$  的排水体积( $m^3$ );  
 $L$ ——吃水为  $T$  的水线长度(m);  
 $B$ ——吃水为  $T$  的水线宽度(m);  
 $C_b$ ——吃水为  $T$  的方型系数。

2. 剩余阻力系数  $C_r$

在  $Fr_L = 0.4 \sim 0.95$  范围内,有

$$C_r \times 10^3 = A_0 + A_1X + A_2Y + A_3Z + A_4X^2 + A_5XY + A_6XZ + A_7X^2Y \tag{2-2}$$

- 式中  $X = L / \nabla^{1/3}$ ;  
 $Y = -X_b / L(\%)$ ,  $X_b$  为浮心纵向位置(m);  
 $Z = C_b$ ;  
 $A_0 \sim A_7$ ——系数,如表 2-1 所列。

表 2-1 系数  $A_0 \sim A_7$

| $Fr_L \backslash A_i$ | $A_0$   | $A_1$    | $A_2$   | $A_3$ | $A_4$  | $A_5$ | $A_6$ | $A_7$ |
|-----------------------|---------|----------|---------|-------|--------|-------|-------|-------|
| 0.40                  | 35.1740 | -7.0758  | 0       | 0     | 0.3821 | 0     | 0     | 0     |
| 0.45                  | 69.7017 | -15.4303 | -0.2048 | 0     | 0.9025 | 0     | 0     | 0     |