



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

航海类专业精品系列教材

# 船舶操纵

洪碧光 主编



大连海事大学出版社

2008 光學獎

普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
航海类专业精品系列教材

# 船舶操纵

洪碧光 主编

图书在版编目(CIP)数据

船舶操纵 / 洪碧光主编. — 大连: 大连海事大学出版社, 2008  
(航海类专业精品系列教材)  
普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
ISBN 978-7-313-02109-1

I. ①船… II. 洪… III. 船舶操纵—高等学校—教材 IV. 629.7  
中国图书馆书号(CIP)数据(2008)第02109号

大连海事大学出版社

地址: 大连市凌海路1号 邮政编码: 116026 电话: 0411-84710300  
http://www.dmupress.com E-mail: dmupress@163.com

大连理工大学印刷厂印刷 大连理工大学网络信息中心  
2008年2月第1版 2008年2月第1次印刷

大连海事大学出版社

责任编辑: 史琳琳  
封面设计: 王 博

ISBN 978-7-313-02109-1

©洪碧光 2008

## 内容简介

本教材共分七章,第一章船舶操纵绪论,阐明了船舶操纵涉及的运动学和动力学的理论基础;第二章船舶操纵性基础,介绍了IMO决议、国际规则所涉及的有关操纵性概念、定义、试验方法以及操纵性衡准的规定及其应用;第三章船舶操纵设备及其效应,讲述了螺旋桨、舵和侧推器等船舶运动控制设备以及拖船对船舶运动的效应;第四章航行环境对船舶操纵的影响,在静水操纵性的讲述基础上,介绍了风、流、受限水域等外界环境对船舶操纵的影响,给出了具有指导意义的结论;第五章系泊操纵,结合船长、引航员的实际船舶操纵经验,从理论上讲述了船舶在港内操纵(锚泊操纵和靠离泊操纵)的基本方法和要领。第六章大风浪中船舶操纵,介绍了船舶在波浪中的运动规律及安全操纵方法;第七章特殊水域及应急船舶操纵,介绍了船舶冰区航行的要领及船舶搁浅或触礁、碰撞等事故的应急措施以及海上拖带和海上搜救的基本方法。

本书是航海类高等院校航海技术专业本科“船舶操纵”课程的“十一五”规划教材,也可供船舶驾驶员、引航员以及航运界有关人员参考之用。

### 图书在版编目(CIP)数据

船舶操纵 / 洪碧光主编. —大连:大连海事大学出版社, 2008. 5

(航海类专业精品系列教材)

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-5632-2169-1

I. 船… II. 洪… III. 船舶操纵—高等学校—教材 IV. U675.9

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第059686号

### 大连海事大学出版社出版

地址:大连市凌海路1号 邮政编码:116026 电话:0411-84728394 传真:0411-84727996

<http://www.dmupress.com> E-mail: cbs@dmupress.com

大连力佳印务有限公司印装 大连海事大学出版社发行

2008年5月第1版 2008年5月第1次印刷

幅面尺寸:185 mm × 260 mm 印张:14.25

字数:353千 印数:1~3000册

责任编辑:史洪源 版式设计:海韵

封面设计:王艳 责任校对:枫叶

ISBN 978-7-5632-2169-1 定价:23.00元

## 前 言

海上运输是交通运输的重要组成部分,在促进外贸运输发展和推动对外贸易增长等方面以其他运输方式不可比拟的优势发挥出越来越重要的作用。

大连海事大学作为我国唯一的国家重点航海类专业院校,多年来为我国乃至国际海上运输业培养了大量的航海类专业高级人才,对促进航运业的发展起到了重要作用。近年来,随着科学技术的进步和交通运输业的发展,学校针对航海类专业的鲜明特色,在人才培养方案、教学内容及课程体系改革等方面进行了一系列的研究和实践。在此基础上,我校组织编写出一套与新的培养方案、教学内容及课程体系相适应的航海类专业精品系列教材,旨在加强航海类专业建设,提高航海类人才培养的质量和水平,进一步推动高等航海教育的发展。

为了保证航海类专业精品系列教材顺利出版,学校在人力、物力和财力等方面予以充分保证。组织校内航海类专业的资深专家、骨干教师和管理干部做了大量工作,从筹备、调研、编写、评审直至正式出版,历时三载有余。2005年5月,学校先后组织召开了两次航海类专业教学改革研讨会,来自交通部海事局、辽宁海事局、中国远洋运输(集团)总公司、中国海运(集团)总公司、中国船级社等单位的专家为教材编写的筹备工作提出了中肯的意见和建议。2006年初,教材编写工作正式启动,确定重新编写航海类专业教材22种,其中航海技术专业教材13种、轮机工程专业教材9种。教材编写大纲先后征求了中国远洋运输(集团)总公司、中国海运(集团)总公司及大连海事大学等单位10多位专家的意见。学校组织教材主要编写人员分赴北京、天津、青岛、上海、广州、武汉及厦门等多家航运企事业单位进行调研,收集了大量的最新技术资料,同时听取了有关领导和专家的意见。2007年我校先后召开了五次评审会,来自交通部海事局、驻英大使馆海事处、中国海事服务中心考试中心、辽宁海事局、山东海事局、中国远洋运输(集团)总公司、中国海运(集团)总公司、大连港引航站、上海海事大学、海军大连舰艇学院、大连水产学院、集美大学、青岛远洋船员学院及大连海事大学等单位的多位专家对22种教材的初稿就内容、文字及体例等方面逐一评审,反复推敲,几易其稿,逐步完善,反复审核,最终正式出版。该套教材中共有16种教材入选普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

这套航海类专业精品系列教材以履行修订后的STCW公约为前提,结合海上运输业发展的国际性和信息性等特点,以更新教学内容为重点,对原有教材做了大量的增删与修改,注重理论基础及内容阐述的逻辑性和准确性,力求反映国内外航海科技领域的新成就与新知识,适应21世纪海上运输业对航海类人才的知识、能力和素质结构的要求,兼顾各教材内容之间的衔接与整合,避免重复与遗漏。我衷心的希望,通过全体编写人员的不懈努力,这套精品系列教材,能够进一步加强我校航海类专业的建设,为国内兄弟院校航海类专业的发展提供有益的借鉴,为我国高等航海教育发展尽微薄之力。

教材在编写和出版过程中,得到了方方面面领导、专家和同仁的大力支持和热心帮助(具体名单附后)。我谨代表大连海事大学及教材编写全体成员对以上单位和个人致以最诚挚的谢意。各位专家和同仁渊博的专业知识、严谨的治学态度、精益求精的学术风范以及细致入微



的工作作风为教材的顺利出版作出了卓越的贡献,在很大程度上可以说,这套教材的成功出版,是全体编写人员,各港航企事业单位的领导、专家和同仁共同努力的成果。

航海类专业精品系列教材的编写是一项繁重而复杂的工作,鉴于时间和人力等方面的因素,这套教材在某些方面还不是十分完善,缺点和不妥之处在所难免,希望同行专家不吝指正。同时,希望以此为契机,吸引更多航海技术领域的专家、学者参与到这项工作中来,为我国航海教育献计献策,为我国乃至国际海上运输事业培养出大量高素质的航海类专业人才。

大连海事大学校长



2008年3月

对教材出版给予大力支持和帮助的单位及个人如下:(以姓氏笔画为序)

|     |          |                   |
|-----|----------|-------------------|
| 于晓利 | 教授       | 大连水产学院            |
| 于智民 | 高级船长、高工  | 中远散货运输有限公司        |
| 马文华 | 高工       | 大连远洋运输公司          |
| 方伟江 | 轮机长      | 中海国际船舶管理有限公司上海分公司 |
| 王 阳 | 高工       | 中海国际船舶管理有限公司大连分公司 |
| 王 健 | 高工、高级引航员 | 大连港引航站            |
| 王国荣 | 高级轮机长    | 中远散货运输有限公司        |
| 王征祥 | 船长       | 中远集装箱运输有限公司       |
| 王新全 | 高工、总轮机长  | 中国远洋运输(集团)总公司     |
| 车 毅 | 船长       | 大连远洋运输公司          |
| 叶依群 | 高级船长     | 中远散货运输有限公司        |
| 田喜林 | 高工       | 中海国际船舶管理有限公司大连分公司 |
| 石爱国 | 教授       | 海军大连舰艇学院          |
| 任辰西 | 高级船长     | 中远散货运输有限公司        |
| 刘 屹 | 高工       | 大连远洋运输公司          |
| 刘世长 | 船长       | 日照海事局             |
| 孙 广 | 高工       | 辽宁海事局             |
| 安 彬 | 高级船长     | 大连远洋运输公司          |
| 邢 钺 | 高工       | 中远散货运输有限公司        |
| 吴 恒 | 教授、博导    | 大连海事大学            |
| 吴万千 | 副教授      | 青岛远洋船员学院          |
| 张仁平 | 教授       | 驻英大使馆海事处          |
| 张文浩 | 高工       | 中远散货运输有限公司        |
| 张均东 | 教授、博导    | 大连海事大学            |
| 张秋荣 | 教授       | 上海海事大学            |
| 李 录 | 高级轮机长    | 广州远洋船员管理公司        |

|     |           |                   |
|-----|-----------|-------------------|
| 李志华 | 副教授       | 大连海事大学            |
| 李忠华 | 高工        | 珠海海事局             |
| 李恩洪 | 船长、高工     | 交通部海事局            |
| 李新江 | 副教授       | 大连海事大学            |
| 杜荣铭 | 教授        | 大连海事大学            |
| 杨君浩 | 轮机长       | 中海国际船舶管理有限公司上海分公司 |
| 沈毅  | 工程师       | 辽宁海事局             |
| 邱文昌 | 教授        | 上海海事大学            |
| 邱铁卫 | 高级轮机长     | 大连远洋运输公司          |
| 邵哲平 | 教授、船长     | 集美大学              |
| 邹文生 | 高级轮机长     | 大连远洋运输公司          |
| 陈志强 | 高级轮机长     | 中远集装箱运输有限公司       |
| 陈建锋 | 高工、高级船长   | 中远散货运输有限公司        |
| 周邱克 | 高工、高级船长   | 中海客轮有限公司          |
| 房世珍 | 大副        | 青岛远洋对外劳务合作有限公司    |
| 易金华 | 指导船长、高级船长 | 中海国际船舶管理有限公司广州分公司 |
| 林长川 | 教授        | 集美大学              |
| 金松  | 教授级高工     | 中国船级社大连分社         |
| 金义松 | 船长、高工     | 中海国际船舶管理有限公司      |
| 姚杰  | 教授        | 大连水产学院            |
| 姜勇  | 教授级高工     | 山东海事局             |
| 洪碧光 | 教授、船长     | 大连海事大学            |
| 赵金文 | 高工、轮机长    | 大连远洋运输公司          |
| 赵晓玲 | 副教授       | 青岛远洋船员学院          |
| 赵爱屯 | 高级船长      | 中海国际船舶管理有限公司大连分公司 |
| 夏国忠 | 教授        | 大连海事大学            |
| 徐波  | 高工        | 中远集装箱运输有限公司       |
| 敖金山 | 高级船长      | 枫叶海运有限公司          |
| 殷传安 | 高级轮机长     | 中海国际船舶管理有限公司大连分公司 |
| 郭子瑞 | 教授        | 辽宁海事局             |
| 郭文生 | 高级船长      | 广州远洋船员管理公司        |
| 顾剑文 | 高工        | 大连国际船员培训中心        |
| 崔保东 | 船长        | 青岛远洋对外劳务合作有限公司    |
| 黄党和 | 轮机长       | 中国海事服务中心          |
| 蔡振雄 | 教授        | 集美大学              |
| 魏茂苏 | 轮机长       | 青岛远洋对外劳务合作有限公司    |

## 编者的话

本书是高等院校航海技术专业“船舶操纵”课程的教材。本书编写任务由高等院校航海类专业教学指导委员会讨论确定。

本书以航海类专业面向21世纪教学内容和课程体系改革为指导,以满足经1995年修订的《1978年海员培训、发证和值班标准国际公约》的有关标准,在参考国内外船舶操纵(性)学术专著和目前使用的教材的基础上编写而成。

本书由洪碧光、史国友、何欣、卜仁祥共同编写。第一章、第二章和第三章由洪碧光、史国友编写;第四章由洪碧光、卜仁祥编写;第五章和第七章由洪碧光、何欣编写;第六章由洪碧光编写。全书由洪碧光定稿并担任主编,张秋荣担任主审。

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。本书在出版之前,经大连海事大学组织石爱国、郭子瑞、姚杰、周邱克、刘正江、李志华、张秋荣、邵哲平、赵金文、李恩洪等专家进行集体审查,主编随后根据专家组的意见进行了修改。本书撰写过程中,广泛征求了全国各港口引航站和航运公司等单位的资深引航员和高级船长的意见,他们提供了大量船舶资料、实船操纵性资料以及港口资料,并得到这些单位的大力支持和帮助。在此谨向主审、各位专家以及在本书编写过程中给予帮助的人士表示诚挚的感谢。

在本书编写工作中,力求按规划教材的要求进行编写,以保证质量,但由于编者水平有限,虽经多次修改,难免有疏漏之处,恳请航海界专家和读者提出宝贵意见。

编者

2007年5月于大连

# 目 录

|                             |       |
|-----------------------------|-------|
| <b>第一章 船舶操纵绪论</b> .....     | (1)   |
| 第一节 船舶操纵概述 .....            | (1)   |
| 第二节 船舶操纵运动学参数 .....         | (5)   |
| 第三节 船舶操纵动力学参数 .....         | (8)   |
| 第四节 船舶阻力与推进 .....           | (13)  |
| <b>第二章 船舶操纵性基础</b> .....    | (17)  |
| 第一节 船舶操纵性概述 .....           | (17)  |
| 第二节 航向稳定性与保向性 .....         | (20)  |
| 第三节 船舶变向性能 .....            | (22)  |
| 第四节 船舶变速性能 .....            | (28)  |
| 第五节 船舶操纵性试验 .....           | (33)  |
| 第六节 船型参数对操纵性的影响 .....       | (37)  |
| <b>第三章 操纵设备及其效应</b> .....   | (41)  |
| 第一节 螺旋桨及其效应 .....           | (41)  |
| 第二节 舵及其效应 .....             | (52)  |
| 第三节 侧推器及其效应 .....           | (58)  |
| 第四节 特种推进器及其效应 .....         | (62)  |
| 第五节 港作拖船及其效应 .....          | (66)  |
| <b>第四章 航行环境对操纵的影响</b> ..... | (84)  |
| 第一节 风对船舶运动的影响 .....         | (84)  |
| 第二节 流对船舶运动的影响 .....         | (95)  |
| 第三节 受限水域对船舶运动的影响 .....      | (99)  |
| 第四节 航行下沉量及富余水深 .....        | (110) |
| <b>第五章 系泊操纵</b> .....       | (119) |
| 第一节 港内水域概述 .....            | (119) |
| 第二节 系泊设备及其作用 .....          | (123) |
| 第三节 船舶进出港及掉头操纵 .....        | (131) |
| 第四节 锚泊操纵 .....              | (139) |
| 第五节 靠离泊操纵 .....             | (150) |
| 第六节 靠离泊操纵实例 .....           | (157) |
| <b>第六章 大风浪中船舶操纵</b> .....   | (168) |
| 第一节 船舶在波浪中的运动 .....         | (168) |
| 第二节 船舶摇摆幅度及影响因素 .....       | (174) |
| 第三节 纵向受浪的危害 .....           | (178) |



|                       |       |
|-----------------------|-------|
| 第四节 大风浪及避台操纵方法 .....  | (183) |
| 第七章 特殊水域及应急船舶操纵 ..... | (189) |
| 第一节 冰区船舶操纵 .....      | (189) |
| 第二节 搁浅或触礁应急措施 .....   | (193) |
| 第三节 船舶碰撞应急措施 .....    | (199) |
| 第四节 海上拖带 .....        | (203) |
| 第五节 海上搜寻与救助 .....     | (206) |
| 参考文献 .....            | (216) |

# 第一章 船舶操纵绪论

船舶在海上航行、进出港口、锚泊以及靠离泊等都离不开操船者的操作,而这些船舶运动过程的安全性又取决于操船者的船舶操纵技术。熟练的船舶操纵技术除了要求操船者具有丰富的实践经验外,还应了解船舶操纵运动的理论知识。本章就有关船舶的技术参数、船舶操纵原理等问题进行综述,并对船舶运动学和动力学的基础知识加以概述,作为进一步学习的准备。

## 第一节 船舶操纵概述

简单来讲,船舶操纵就是指操船人员对船舶所进行的操作。具体来说,船舶操纵是指操船人员利用船舶运动控制设备对船舶运动状态所进行的控制。船舶操纵运动是指操船人员的操作引起的船舶运动状态的变化。

### 一、船舶操纵的含义及原理

#### 1. 船舶操纵的含义

船舶操纵(ship handling)包括三种含义:保持航向、改变航向和改变船速。三种操纵的具体内容如下:

##### (1) 保持航向(course keeping or steering)

从事海上运输的船舶在海上航行的主要目的是为了以最短的距离和最快的时间抵达目的地,并减少燃料消耗。为此,船舶操纵人员总是力求使船舶保持直线运动。在港内,为了使船舶保持在直线航道内航行,也需要船舶保持直线运动。

##### (2) 改变航向(maneuvering or course changing)

当船舶在预定的航线上遇到障碍物或其他船舶时,为了避免碰撞,船舶操纵人员又力求使船舶及时改变航向。

##### (3) 改变船速(speed changing)

当船舶进出港口、靠离泊或锚泊时,需要对船速进行控制,为此,船舶操纵人员又希望及时改变船速。

在这三种情况下,操纵人员都要对船舶进行操作。从这个意义上讲,对于水面船舶,船舶操纵实质上就是操船人员对船速和航向所进行的控制。

#### 2. 船舶操纵原理

考察船舶操纵过程可知,通常船舶操纵人员从船上的显示器获得的航向(有时也包括航迹)与实际航向(或航迹)之间都有一个差别,为纠正这一差别,操船人员发出舵角指令,并要求操舵工操动舵轮。舵机接到舵轮指令后,转动舵,于是舵被转到某一需要的舵角,同时也将实际舵角值传送到显示器上,供操船人员了解。由于舵角存在,而引起作用在船舵系统上的水动力发生变化,从而使船改变航向(或航迹),并且把船的实际航向值送至显示器,以供进一步操纵使用。可见,船舶实际的操纵过程形成了一个闭合回路,称为闭环控制,如图 1-1-1 所示。

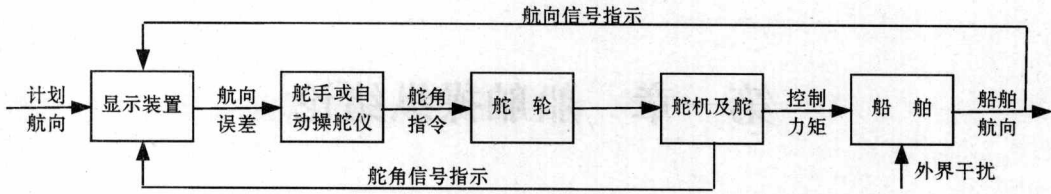


图 1-1-1 船舶操纵运动(航向)控制回路

以上所述是改变航向的闭环过程。此外,还有一个改变船速的闭环过程。当船舶在海湾、内海或者进入停泊地点以及在港内系泊时,经常要相当频繁地使用主机来控制速度大小,以避免碰撞或触礁,确保航行安全。船舶实际航行过程中,操船者就是通过这两个闭环系统来改变船舶的运动状态的。同时,船舶航行自动控制也是通过这种原理来实现的。

## 二、船舶运动控制设备

船舶操纵人员是通过船舶操纵设备对船舶运动状态进行控制的。这些操纵设备主要包括舵和推进器。改变或保持船舶的运动方向主要用舵来完成;变化船舶运动速度主要用推进器来完成。

从舵和推进器的运用幅度来看,可将船舶操纵分为常规操纵和应急操纵两大类。常规操纵包括用小舵角保持航向、中等舵角改变航向以及减速或增速操纵;应急操纵包括用大舵角(一般为满舵)进行旋回和用全速倒车进行紧急停船。

在操舵不能控制船舶航向的情况下,可使用侧推设备。此外,在船舶本身操纵设备不能确保安全操纵的情况下,还需要外力协助操纵,即拖船的协助。

任何控制设备或协助手段都有其能力极限。这种能力极限与控制设备的特性、船舶运动状态、操船环境等多种因素有关。例如,舵控制船舶航向的能力随船速的降低而减弱,当船速低到一定程度时,即使操满舵也不能控制船舶航向,则该船速为有舵效的极限船速。再如,侧推器控制船舶航向的能力随船速的提高而减弱,当船速提高到一定程度时,将失去控制航向的能力,该船速为侧推器有效的极限船速。总之,操船人员要了解这些控制设备的特性及其影响因素,以利于安全。

## 三、船舶操纵研究的意义和任务

### 1. 船舶操纵与安全

船舶操纵对于船舶运输效率和安全性都有直接关系。在海上,船舶无时不受着风、浪、流等自然环境的影响;在港内,船舶还受到水域、水深和通航密度等因素的限制,使船舶运动状态发生变化。这些因素直接影响到船舶的航行安全。良好的船舶操纵技术可以减小这些不利因素的影响。因此,船舶操纵的目的就是操船者利用操纵设备产生的力来克服或减小外力的影响,进而安全地改变或保持船舶的运动状态。

### 2. 船舶操纵研究的任务

从安全的角度出发,船舶操纵所研究的任务包括下列主要方面:

(1) 通过考察船舶受控运动的规律,找到不同类型的船舶在不同外界环境下的控制规律及方法,以满足安全方面的要求。

(2) 建立评价船舶操纵安全标准的评价方法,以便对不同类型的船舶在不同外界环境下的安全性进行评价。

(3) 在安全评价基础之上,为港口设计、航道工程以及其他水工设施(如水上桥梁等)的

通航安全提供理论依据和技术数据。

#### 四、船舶种类概述

船舶操纵运动不但与船舶运动控制有关,还与船舶建造规模、船型参数等因素有关。不同排水量、不同船型参数的船舶的运动性能也不尽相同。随着船舶向大型化方向发展,这种性能上的差别更加明显。了解各种船型的操纵特点,有利于船舶操纵的安全。

现代船舶种类繁多,有多种分类方法,可按用途、船体数目、推进方式、推进器数目以及航行状态等进行分类。最常用的方法是按用途分类,可分为军用船和民用船两大类。军用船舶通常称为舰艇或军舰。民用船舶指各种非军用船舶。民用船舶一般又分为运输船、工程船、渔船、港作船等。

##### 1. 运输船舶

运输船舶是指从事港口之间的货物或旅客运输的船舶,如客船、货船、客货船等。货船又按货物种类、运输方式和装卸方法等分为杂货船、集装箱船、滚装船(包括车辆渡船)、散货船、运木船、油船、液化天然气(LNG)船和液化石油气(LPG)船、散装化学品船、驳船等。

##### 2. 其他船舶

除了运输船外,民用船还包括工程船、渔业船、港作船以及其他特殊用途的船舶。工程船是指从事水上或水下工程作业的船舶,如测量船、起重船、打捞船、布缆船和疏浚船等。渔业船指从事水上捕捞和加工的船舶,如各类捕捞船(拖网、围网、流网、捕鲸等)、水产品加工船、水鲜冷藏运输船、渔政船等。港作船指从事港口作业的船舶,如港作拖船、引航船、航标船、监督船、供油船、供水船、消防船和交通船等。此外,还有特殊用途的船舶,如海难救助船、海洋调查船、钻井船和多用途拖船等。

##### 3. 大型船舶

对船舶按照操纵性进行分类有助于了解各种船舶的船型特点,从而还可以进一步考察船型参数对操纵的影响。

从船舶操纵角度出发,按运动惯性或建造规模来分类,运输船舶可分为小型船舶、中型船舶和大型船舶。所谓小型船舶一般指载重量1万吨级以下的船舶,中型船舶一般指3~5万吨级船舶,而大型船舶一般指载重吨8万吨级以上、船长250 m以上的船舶。

在船舶向大型化方向发展过程中,曾经以能否通过巴拿马运河对船舶建造规模进行划分,从而产生了“巴拿马型(Panamax)”船舶。巴拿马运河的船闸室长度为305 m,宽为33.5 m,最大水深12.5~13.7 m,可通过该船闸的最大船型尺度为船长275 m,船宽32.3 m,吃水12.5 m。对于不能通过巴拿马运河的船舶,只能通过赫恩角或好望角连接大洋之间的航线,从而称这类船舶为好望角型(Capesize)船舶。典型的好望角型船舶为15万吨级散矿船。

原油运输船是船舶向大型化方向发展的典范。自1965年开始,油船迅速向大型化发展,并出现了载重量20万吨级的“大型油船(VLCC)”,在当时它被认为是原油船的标准型。此后,又出现了载重量32万吨以上的“超大型船舶(ULCC)”。

#### 五、主要运输船舶类别

从操纵性的差异来看,船型参数相似的船舶其操纵性差别不大,例如,油船、散货船、散装化学品船以及液化气船等,而滚装船、客船和集装箱船的操纵性差别又很小。用途最广、数量最多、且操纵性有明显差别的船型为三大类,即杂货船、油船(或散货船)和集装箱船。下面介



绍这三类有代表性的运输船舶。

### 1. 杂货船(general cargo ship)

杂货船也称为干货船(Dry cargo ship), 曾经是用途最广、数量最多的运输船舶类型。随着集装箱船舶运输业的发展, 传统的杂货船已经逐渐被部分取代, 逐渐向多用途方向发展, 如能运载散货、集装箱和杂货的多用途船舶以及运载重大件货物的特种船等。

一般杂货船载重吨在 1 000 ~ 20 000 t 之间, 随之发展起来的多用途船舶载重吨位可达 25 000 t。这类船舶的船速一般为 13 ~ 18 kn, 方形系数在 0.65 ~ 0.75 之间。

### 2. 散货船(bulk carrier)

散货船指为运输散装颗粒货物设计的单层连续甲板船舶。散货船船速一般为 12 ~ 17 kn, 方形系数 0.80 ~ 0.85。散货船习惯上分为灵便型、大型灵便型、巴拿马型和好望角型等, 具体按照吨位分类见表 1-1-1。随着散货船的大型化, 与油船类似, 也出现了 VLBC (Very Large Bulk Carrier) 和 ULBC(Ultra Large Bulk Carrier) 的概念。

表 1-1-1

| 散货船分类名称           | 载重吨 DWT(t)        |
|-------------------|-------------------|
| 灵便型散货船(Handysize) | 10 000 ~ 30 000   |
| 大型灵便散货船(Handymax) | 30 001 ~ 50 000   |
| 巴拿马型(Panamax)     | 50 001 ~ 80 000   |
| 好望角型(Capesize)    | 80 001 以上         |
| 大型散货船(VLBC)       | 200 000 ~ 320 000 |
| 超大型散货船(ULBC)      | 320 000 以上        |

### 3. 油船(oil tanker)

油船是载运油类等液体货物的船舶。一般分为成品油船和原油船两大类。成品油船比原油船的建造规模要小得多。成品油船指为运输散装精炼油类产品而设计的船舶。原油船指为运输散装原油矿产而设计的船舶。

油船船速一般在 12 ~ 16 kn 之间, 方形系数 0.80 ~ 0.85。按油船的航行水域和建造规模, 一般分为巴拿马型、苏伊士型、大型船舶和超大型船舶等类型, 详细分类见表 1-1-2。

表 1-1-2

| 种类   | 名称              | 载重吨 DWT(t)       | 种类  | 名称            | 载重吨 DWT(t)        |
|------|-----------------|------------------|-----|---------------|-------------------|
| 成品油船 | 沿海油船(Coastal)   | 3 001 ~ 10 000   | 原油船 | 巴拿马型(Panamax) | 55 001 ~ 70 000   |
|      | 小型油船(Small)     | 10 001 ~ 19 000  |     | 亚非拉型(Aframax) | 75 000 ~ 120 000  |
|      | 灵便型油船(Handy)    | 19 001 ~ 25 000  |     | 苏伊士型(Suezmax) | 120 000 ~ 200 000 |
|      | 中型油船(Medium)    | 25 001 ~ 45 000  |     | 大型油船(VLCC)    | 200 000 ~ 320 000 |
|      | 远洋类(Long Range) | 45 001 ~ 100 000 |     | 超大型油船(ULCC)   | 320 000 以上        |

Afra-Average Freight Rate Assessment

### 4. 集装箱船(container ship)

集装箱船舶首次出现于 20 世纪 50 年代, 在 60 年代后期得到迅速发展, 此后国际海上集装箱运输曾经几代的发展。集装箱船的船速在 14 ~ 25 kn 之间, 方形系数 0.50 ~ 0.70。

资料显示,单位集装箱的运输成本随着单船载箱量的增多而降低,由于规模效益的驱动,自1988年出现4 300 TEU 第五代超巴拿马型(Post-Panamax)集装箱船舶以来,集装箱船舶迅速向大型化的方向发展。

表1-1-3给出了按照集装箱船的发展年代和能否通过巴拿马运河进行分类的情况。其中第三代巴拿马型和第五代超巴拿马型的产生是明显的两个分界线。自1988年集装箱船的宽度首次突破巴拿马型船舶以来,目前,已经投入国际营运的集装箱船30%为超巴拿马型,最大集装箱船舶的载箱量为10 000 TEU。国际上在研究12 500 TEU 集装箱船舶技术问题基础上,提出了“超大型集装箱船舶(ULCS)”的概念。未来还可能出现载箱量约为18 000 TEU、载重量20万吨的集装箱船。

表 1-1-3

| 代别  | 年份   | 载箱量 TEU         | 代表船型   |         |              |         |         |          |
|-----|------|-----------------|--------|---------|--------------|---------|---------|----------|
|     |      |                 | TEU    | DWT(t)  | $L_{OA}$ (m) | $B$ (m) | $d$ (m) | $V$ (kn) |
| 第一代 | 1968 | 500 ~ 1200      | 900    | 15 000  | 180          | 24.0    | 9.1     | 21.0     |
| 第二代 | 1969 | 1 350 ~ 1 750   | 1 500  | 29 000  | 220          | 25.0    | 10.7    | 22.5     |
| 第三代 | 1971 | 1 800 ~ 000     | 2 300  | 37 000  | 275          | 32.2    | 11.8    | 27.5     |
| 第四代 | 1984 | 2 500 ~ 4 600   | 4 458  | 57 800  | 290          | 32.2    | 10.7    | 18.0     |
| 第五代 | 1988 | 4 300 ~ 5 400   | 4 340  | 54 655  | 275          | 39.4    | 12.5    | 24.2     |
|     | 1996 |                 | 7 000  | 95 000  | 318          | 42.8    | 14.5    | 25.0     |
|     | 1998 |                 | 8 000  | 104 760 | 347          | 42.8    | 14.5    | 25.0     |
|     | 2003 |                 | 8 300  | 109 000 | 352          | 42.8    | 14.5    | 25.0     |
|     | 2005 |                 | 10 150 | 115 000 | 367          | 42.8    | 14.5    | 25.0     |
|     | 2006 | 11 000 ~ 14 500 | 11 000 | 123 000 | 398          | 56.4    | 15.5    | 25.0     |

## 第二节 船舶操纵运动学参数

为了定量地描述船舶的操纵运动,引入船舶操纵运动坐标系,定义船舶运动学参数,建立船舶操纵运动方程,用数学方法来讨论船舶运动问题。水面船舶运动可用刚体平面运动原理加以描述。船舶在静水中的运动可分解为在水平面的平移运动和绕垂直轴的旋转运动。船舶运动学参数包括位置、船速、漂角、转心、航向角、速度、角速度等。

### 一、操纵运动坐标系

通常,选择观察者本身或与观察者保持静止的船舶作为参考标准,来描述船舶的运动。这个参考标准,称为参考系,为了研究问题的方便,引入两个船舶操纵运动坐标系,即固定坐标系和运动坐标系,如图1-2-1所示。

#### 1. 固定坐标系

固定坐标系固定于地球表面。其原点为 $O$ ,坐标分别为 $x_0, y_0, z_0$ 。设 $t=0$ 时,船舶重心 $G$ 位于固定坐标系原点 $O$ 、 $Ox_0$ 轴指向正北, $Oy_0$ 轴指向正东, $Oz_0$ 轴向下指向重力

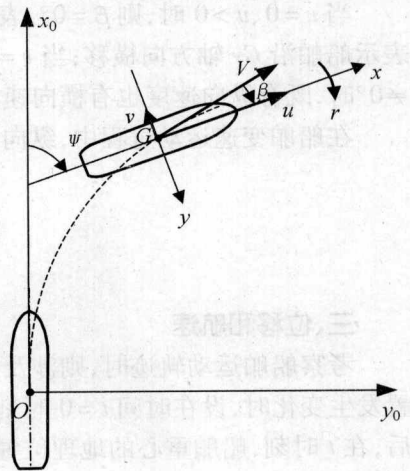


图 1-2-1 船舶操纵运动坐标系

方向。船舶航向角用  $\psi$  表示。

## 2. 运动坐标系

运动坐标系主要是为了研究船舶操纵运动的方便而建立的坐标系。根据刚体平面运动平行移轴原理,运动坐标系固定于船体上,其原点取在船舶重心  $G$  (或船中) 处,坐标分别为  $x$ 、 $y$ 、 $z$ 。 $Gx$  轴指向船首正前方,按照右手法则, $Gy$  轴指向船舶右舷, $Gz$  轴向下指向重力方向。

## 二、船速与漂角

在运动坐标系中,船舶运动状态与运动历史无关,因此,无需考察船舶过去的运动轨迹和状态,使问题大为简化。根据刚体平面运动原理,同一时间内船体上各位置的运动状态各不相同。这里考察的船速是船舶重心处的速度。

船速是指船舶相对于水的运动速度,一般用符号  $V$  表示。在运动坐标系中,坐标原点(船舶重心或船中)的速度是运动轨迹的切线方向,显然船速是矢量。

漂角是指船舶重心处的船速矢量与船舶首尾线之间的交角,一般用符号  $\beta$  表示,左舷为正,右舷为负,它是衡量船舶运动状态的重要参数之一。

根据运动坐标系的几何关系,船速可用下式表示

$$\begin{aligned} u &= \frac{dx}{dt} = \dot{x} = |V| \cdot \cos\beta \\ v &= \frac{dy}{dt} = \dot{y} = |V| \cdot \sin\beta \end{aligned} \quad (1-2-1)$$

式中: $u$ ——船速  $V$  在  $x$  轴的分量,俗称纵向速度;

$v$ ——船速  $V$  在  $y$  轴的分量,俗称横向速度。

根据式(1-2-1),漂角  $\beta$  可表示为

$$\beta = \arctan\left(\frac{v}{u}\right) \quad (1-2-2)$$

显然,漂角与船舶纵向速度有关,一般来说,纵向速度  $u$  越高,漂角越小;反之,纵向速度  $u$  越低,漂角越大。

当  $v=0$ 、 $u>0$  时,则  $\beta=0^\circ$ ,表示船舶沿  $Gx$  轴方向前进;当  $|v|>0$ 、 $u=0$  时,则  $\beta=\pm 90^\circ$ ,表示船舶沿  $Gy$  轴方向横移;当  $v=0$ 、 $u<0$  时,则  $\beta=180^\circ$ ,表示船舶沿  $Gx$  轴方向后退。漂角  $\beta \neq 0^\circ$  时,既有纵向速度也有横向速度,这种情况称为“斜航”。

在船舶变速运动过程中,纵向和横向平移加速度可表示为

$$\begin{aligned} \dot{u} &= \frac{du}{dt} = \ddot{x} \\ \dot{v} &= \frac{dv}{dt} = \ddot{y} \end{aligned} \quad (1-2-3)$$

## 三、位移和航速

考察船舶运动轨迹时,则涉及船舶的运动历史航迹,需采用固定坐标系进行描述。船舶位置发生变化时,设在时间  $t=0$  时刻,船舶重心位于地理上的原点  $O$  处,经过一定时间间隔  $\Delta t$  后,在  $t$  时刻,船舶重心的地理位置为  $x_0(t)$ 、 $y_0(t)$ ,则船舶的运动轨迹可表示为

$$\begin{aligned} x_0 &= x_0(t) \\ y_0 &= y_0(t) \end{aligned} \quad (1-2-4)$$

该函数关系称为船舶在水平面的平动方程,通过求解这个方程可得船舶在不同时刻的位



置和航行距离。船位变化量是  $\Delta t$  时间内的位移  $\Delta x_0$  和  $\Delta y_0$ 。

在考察船舶的地理位置时,用地理坐标系作为固定坐标系,则  $x_0$  表示船舶所在的地理纬度,  $y_0$  表示船舶所在的地理经度;在考察船舶在水平面的运动距离时,设  $t = 0$  时固定坐标系与运动坐标系重合,则  $x_0$  表示船舶移动的进距,  $y_0$  表示船舶移动的横距。

航速是指船舶在固定坐标系的运动速度(包括流的影响)。根据运动坐标系和固定坐标系的几何关系(如图 1-2-1 所示),航速表示为

$$\begin{aligned} u_0 &= \dot{x}_0 = u \cdot \cos\psi - v \cdot \sin\psi \\ y_0 &= \dot{y}_0 = u \cdot \sin\psi + v \cdot \cos\psi \end{aligned} \quad (1-2-5)$$

式中:  $\psi$ ——航向角;

$u_0$ ——航速在  $x_0$  方向的投影;

$v_0$ ——航速在  $y_0$  方向的投影。

同理,在船舶变速运动过程中,固定坐标系中的平移加速度可表示为

$$\begin{aligned} \dot{u}_0 &= \ddot{x}_0 = \frac{d\dot{x}_0}{dt} \\ \dot{v}_0 &= \ddot{y}_0 = \frac{d\dot{y}_0}{dt} \end{aligned} \quad (1-2-6)$$

#### 四、航向角与转动角速度

航向角是指在水平面内船舶的首尾线与固定坐标系  $x_0$  轴的交角。船位和航向角是用来表示船舶在水平面姿态的主要运动参数。船舶转动时,航向角坐标随时间而变动,它是时间  $t$  的连续函数,即

$$\psi = \psi(t) \quad (1-2-7)$$

该函数关系称为船舶绕垂直轴的转动方程。航向角变化量是在  $\Delta t$  时间内的角位移  $\Delta\psi$ 。船舶绕垂直轴的转动角速度是指航向角随时间的变化速率,即转动角速度是航向角对时间的导数,角加速度是角速度对时间的导数,即

$$\begin{aligned} r &= \frac{d\psi}{dt} = \dot{\psi} \\ \dot{r} &= \frac{dr}{dt} = \ddot{\psi} \end{aligned} \quad (1-2-8)$$

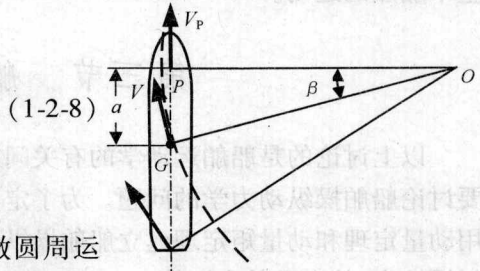


图 1-2-2 瞬时转动中心

#### 五、转心

船舶转动时,如果船上的每一点都绕某一垂线做圆周运动,这一垂线称为转轴,转轴与船舶首尾线的交点称为转心(pivot point)。由图 1-2-2 可知,过瞬时轨迹中心  $O$  点作船舶首尾线的垂线交于  $P$  点,如果船上有人位于  $P$  点,则可以看到船舶绕  $P$  点做圆周运动,故  $P$  点称为瞬时转动中心,简称“转心”。

一般以转心距船首或船尾的距离占船长的比例表示其位置。船舶在水面做平面运动时,其转心位置取决于船体水下形状沿船舶首尾线的分布以及船舶运动速度的大小和方向等因素。

船舶前进中定常旋回时,漂角  $\beta$ 、船速  $u$  和转动角速度  $r$  均为常量,则转心位置也为常量,这时,一般转心位于船首之后约  $1/3$  船长处。



当船舶存在纵倾时,船体水下侧面积在船中前后的分布将不是对称的,这种不对称性将对转心位置有直接影响。当船舶存在尾倾时,船中之前船体水下侧面积小于船中之后的侧面积,则转心比平吃水时向后移动;反之,当船舶存在首倾时,船中之后船体水下侧面积小于船中之前的侧面积,则转心比平吃水时向前移动。

## 六、船舶平面运动的特征

以上讨论的船舶运动学参数都是船舶重心(质心)点的运动状态。实际上,船舶是一个质点系,质心点(船上的各点)的运动影响船上其他各点的运动,两者既有联系又有区别,其表现为船舶在水面做平面运动时的如下特征。

### 1. 转心点的运动特征

船舶转心点只有平动,没有转动,即转心处只有纵向速度,而没有横向速度。转心点之外船舶其他点的运动特征为船长方向不在转心的其他各点,都在通过并垂直于转轴的平面内绕转轴做圆周运动,圆心就是转心,半径就是各点与转轴的垂直距离。

### 2. 漂角沿首尾线的分布特征

船长方向各点的漂角各不相同,显然转心处的漂角为0,距离转心越远,漂角越大。例如,如果转心位置接近船首,则船尾处的漂角最大。

### 3. 船舶转动的弧线长度特征

船上各点在同一时间内转过的圆弧长度是不同的,距离转心越远,所转过的弧长越大。例如,如果转心位置接近船首,则船尾处的线速度最大。故在同一时间内,船尾所转过的弧长比船首大。

### 4. 船舶转动的角度特征

船舶各点在同一时间内绕轴转过的角度是相等的,且各点的角速度和角加速度亦相同。因为船舶各点之间的相对位置是不随船舶转动变化的,所以,我们可用与角度有关的量来描述整个船舶的运动。

## 第三节 船舶操纵动力学参数

以上讨论的是船舶运动学的有关问题。在涉及船舶所受的外力和外力矩的作用时,自然要讨论船舶操纵动力学的问题。为了定量地描述船舶的操纵运动过程中的力和力矩的作用,用动量定理和动量矩定理建立船舶操纵运动方程,定义船舶动力学参数。船舶动力学参数包括惯性力、外力及其力矩等。

### 一、船舶操纵运动方程

根据牛顿关于质心运动的动量定理和动量矩定理,将船舶作为一个刚体,船舶在固定坐标系平面运动可由下列方程描述

$$\begin{aligned}m \ddot{x}_{0c} &= X_0 \\m \ddot{y}_{0c} &= Y_0 \\I_z \ddot{\psi} &= N\end{aligned}\quad (1-3-1)$$

式中: $X_0$ 、 $\ddot{x}_0$ ——分别为合外力和加速度在  $Ox_0$  轴方向的分量;

$Y_0$ 、 $\ddot{y}_0$ ——分别为合外力和加速度在  $Oy_0$  轴方向的分量;