

船舶操纵原理与技术

CHUANBO CAOZONG YUANLI YU JISHU

洪碧光 著



大连海事大学出版社

船舶操纵原理与技术

CHUANBO CAOZONG YUANLI YU JISHU

洪碧光 著

大连海事大学出版社

©洪碧光 2007

图书在版编目(CIP)数据

船舶操纵原理与技术 / 洪碧光著. —大连: 大连海事大学出版社, 2007. 5

ISBN 978-7-5632-2054-0

I. 船… II. 洪… III. 船舶操纵 IV. U675.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 063797 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

大连印刷三厂印装 大连海事大学出版社发行

幅面尺寸: 140 mm × 203 mm 印张: 11.5

字数: 287 千 印数: 1 ~ 1000 册

2007 年 5 月第 1 版 2007 年 5 月第 1 次印刷

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 978-7-5632-2054-0 定价: 18.00 元

本书由

大连海事大学学术著作出版基金资助出版

The published book is sponsored by
the Academic Works Publishing Foundation of
the Dalian Maritime University

内容简介

本书全面、系统地论述了船舶操纵理论和实践的基本内容,收集了新船型的船舶资料、操纵性试验结果,根据理论力学和流体力学的基本理论,对船舶操纵原理进行了深入分析和论述,并给出了具有实际指导意义的结论。

全书共有七章。第一章(船舶操纵运动基础)对船舶操纵涉及的原理、运动学和动力学等理论基础进行了概述;第二章(船舶操纵性)对国际上有关静水操纵性的研究成果及其应用进行了论述;第三章(操纵设备及其效应)对螺旋桨、舵和侧推器等船舶运动控制设备及其对船舶产生的效应进行了分析和研究;第四章(港作拖船及其效应)对目前所使用的港作拖船及其作用方式和原理进行了论述,并给出了实际使用拖船的指导意见;第五章(航行环境对船舶操纵的影响)在静水操纵性的基础上,研究了风、流、受限水域等外界环境对船舶操纵的影响,并给出了具有指导意义的结论;第六章(系泊操纵)结合船长、引航员的实际操船经验,从理论上论述了锚泊操纵和靠离泊操纵的基本方法和要领;第七章(大风浪中船舶操纵)在研究船舶在波浪中运动的基础上,给出了安全操纵方法。

本书可供研究人员、研究生等研究船舶操纵的基础教材,也可作为研究船舶操纵运动数学模型和船舶运动控制的参考书,还可供海事部门进行通航管理、引航人员进行实际操作参考。

前言

在海上运输过程中,船舶的航行和停泊都涉及针对船舶运动控制问题,即船舶操纵技术。船舶操纵安全受到船舶本身的性能(操纵性)、航行环境以及人的操船技能等多种因素的影响,随着船舶向大型化、多样化方向发展,加上航行环境的复杂化,使船舶操纵安全问题更加突出。同时,历史上的重大海上事故对人命、财产和环境造成了巨大危害,其中船舶操纵不当是造成这些事故的原因之一。

自20世纪40年代中期出现船舶操纵性的概念以来,船舶操纵方面的研究取得了长足的发展。为保证海上安全,人们在船舶操纵性方面一直做着不懈的努力。从IMO操纵性标准产生以来,国际上制定了一系列规范、规则,对船舶操纵性提出了具体要求,对船舶操纵安全起到了促进作用。

以往船舶发生的事故表明,80%以上的海上事故与人为失误或疏忽有关。深刻的教训使人们认识到,为了保证船舶航行安全,仅从技术规范上要求是不够的,必须对人的行为建立有力的制约机制,提高船舶操纵人员的技能,这就给人们提出了船舶操纵技术问题。IMO制定的STCW公约对船员的行为提出了一系列具体要求。

涉及船舶操纵安全的另一个不确定因素是航行环境。海上水文、气象条件的多变性,航行水域的复杂性,更增加了船舶操纵的困难。掌握航行环境的规律性,是安全控制船舶运动的基础。

安全地进行船舶操纵涉及人、船和环境三个方面。首先,操船者需了解船舶操纵的基本原理,掌握船舶的运动性能和紧急情况的处理方法;其次,要掌握航行环境对船舶运动的影响,掌握不同

环境下控制船舶运动的基本方法。

作者在研究水面船舶运动的基础上,参考前人的研究成果,结合本人多年的教学、科研和航海实践经验,写出本书。本书可作为船舶操纵研究参考书,也可以作为船长、引航员以及海事管理人员从事船舶操纵和通航管理的参考书。

本书撰写过程中,大连港引航站、秦皇岛港引航公司、京唐港引航站、天津港引航站、青岛港引航站、日照港引航站、宁波港引航站、舟山港引航站、厦门港引航站、广州港引航站、湛江港引航站、海南引航公司等单位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,在此表示诚挚的谢意。

由于作者水平有限,虽经多次修改,但还难免有错谬之处,恳请广大航海界专家和读者批评和指正。

作 者

2006 年 12 月于大连

目 录

第一章 船舶操纵运动基础	(1)
第一节 船舶操纵原理	(1)
第二节 船舶种类及技术参数	(5)
第三节 船舶操纵运动学参数	(14)
第四节 船舶操纵动力学参数	(19)
第五节 船舶阻力与推进	(29)
第二章 船舶操纵性	(35)
第一节 船舶操纵性概述	(35)
第二节 航向稳定性与保向性	(41)
第三节 船舶变向性能	(45)
第四节 船舶变速性能	(58)
第五节 船舶操纵性试验	(65)
第六节 船型对操纵性的影响	(75)
第三章 操纵设备及其效应	(81)
第一节 螺旋桨及其效应	(81)
第二节 舵及其效应	(100)
第三节 侧推器及其效应	(110)
第四节 特种推进器及其效应	(118)
第四章 港作拖船及其效应	(129)
第一节 拖船种类及其特性	(129)
第二节 拖船的作用及协助方式	(137)
第三节 拖船作用力及其效应	(144)
第四节 港内操船所需拖船功率和数量	(155)

第五章 航行环境对操纵的影响	(164)
第一节 风对船舶运动的影响	(164)
第二节 流对船舶运动的影响	(184)
第三节 受限水域对船舶运动的影响	(192)
第四节 航行下沉及富余水深	(210)
第六章 系泊操纵	(232)
第一节 港内水域及操纵风险	(232)
第二节 系泊设备及其作用	(242)
第三节 船舶进出港及掉头操纵	(256)
第四节 锚泊操纵	(267)
第五节 靠离泊操纵	(286)
第六节 靠离泊操纵实例	(298)
第七章 大风浪中船舶操纵	(315)
第一节 船舶在波浪中的运动	(315)
第二节 船舶摇摆幅度及影响因素	(326)
第三节 纵向受浪及其危害	(333)
附录 船型及操纵性试验数据	(342)

第一章 船舶操纵运动基础

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、船舶操纵研究的意义和任务进行综述,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 船舶操纵原理

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,而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

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。

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纵。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。

二、船舶运动控制设备及手段

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靠舵来完成;改变船舶运动速度主要靠推进器来完成。

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,控制船舶在港内的运动状态的手段还包括使用锚、缆等设备。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,即拖船的协助手段。

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,当船速低到一定限度时,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,当船速提高到一定限度时,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,为纠正这一误差,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。由于舵角将引起作用在船体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。

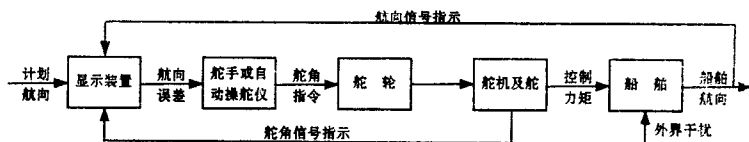


图 1-1-1 船舶操纵运动(航向)控制回路^[1]

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,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。

四、船舶操纵研究的意义和任务

1. 船舶操纵与安全

船舶操纵对船舶运输效率 and 安全性有直接关系。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。

五、船舶操纵的研究方法

目前,解决船舶操纵问题的方法有多种,综合这些方法,基本可以分为四种方法:数学模型仿真法、自航船模试验法、实船试验法和操船经验法。这四种方法各有利弊,但可以相互弥补。

1. 实船试验法

这种方法是借助精确的测量仪器(如 DGPS),对实船的操纵运动进行跟踪测量,进而得到船舶运动状态和各种运动参数。这种方法最直观,数据最可靠。但由于其成本较高,不太可能进行多次重复试验。对于新造船舶,IMO 有关决议规定了一些标准船舶操纵试验,这些试验基本上采用实船试验方法。

2. 船模试验法

这种方法是进行物理模型(即船模)的自航试验,直接测量它的运动状态和各种运动参数,后者由测量得到的运动状态再借助数学模型求得表征船舶操纵的参数和作用于船舶的水动力,即所谓的系统辨识(或参数估计)方法。这种方法关键是解决船模尺度效应(船模与实船的差异)问题。该方法也可对某一船舶操纵运动进行多次重复试验。但由于船模、试验设备需要相当的投入,这种方法只在一些造船及航运研究机构采用。

3. 数学模型仿真法

这种方法是建立描述船舶操纵运动的数学模型(或船舶操纵运动方程),用理论的或约束模型试验的方法求得作用于船舶的水动力和风动力等其他外力,然后对某一船舶操纵的运动方程进行求解,得到船舶的各种运动参数。这种方法可以在计算机上实现实时显示,即所谓的操纵模拟器。这种方法关键是解决数学模型的精度问题。目前,经过多年的研究,已经具备比较成熟的模型基础。随着计算机及模拟技术的发展,这种方法已经得到广泛应用。由于其研究成本较低,可对某一船舶操纵运动进行多次重复模拟,总结出规律性的结论以指导实际操纵。

4. 实船操纵经验法

这种方法是总结船舶操纵人员的实际操船经验,以得出一般的或特殊的操船规律。对于某一港口,当地引航人员的船舶操纵经验是非常重要的参考资料。

第二节 船舶种类及技术参数

船舶操纵运动不但与船舶运动有关,而且还与船舶建造规模、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。

一、船舶种类

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。下面介绍几种有代表性的运输船舶。

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。渔业船是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3万~5万吨级船舶,大型船舶一般指8万载重吨以上、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,只能通过合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)。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“超大型油船(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32万吨级以上的“巨大型油船(ULCC)”。

二、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、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

杂货船(general cargo ship)也称为干货船(dry cargo ship),曾是用途最广、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舶等。

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

散货船(bulk carrier)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1-2-1。随着散货船的大型化,与油船类似,也出现了VLBC(Vary Large Bulk Carrier)和ULBC(Ultra Large Bulk Carrier)的概念。

表 1-2-1

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 ~ 190 000
超大型散货船(VLBC)	200 000 ~ 320 000
巨大型散货船(ULBC)	320 000 以上

3. 油船

油船(oil tanker)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。图 1-2-1 给出了某 30 万吨级现代原油船的总布置图。

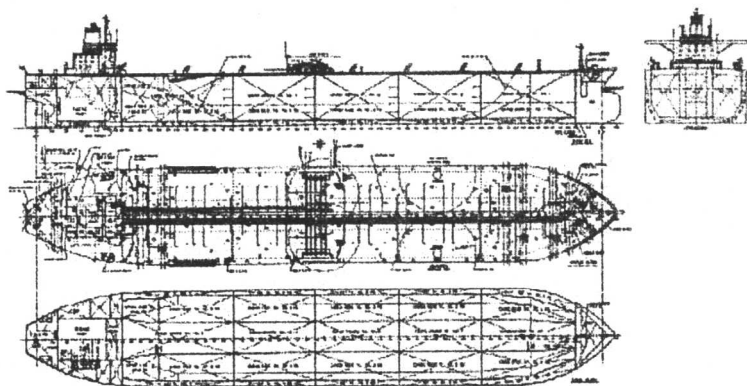


图 1-2-1 30 万吨级原油船总布置图

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、超大型油船和巨大型油船等类型, 详细分类见表 1-2-2。