



船舶交通工程学

邱民 编著

人民交通出版社

364762

船舶交通工程学

Chuanbo Jiaotong Gongchengxue

邱 民 编著



人民交通出版社



民 编著

插图设计：秦淑珍 正文设计：乔文平 责任校对：高琳

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平门内大街10号)

各地新华书店经销

北京顺义县印刷厂印刷

开本：850×1168 1/32 印张：8.25 插页：1 字数：221千

1992年10月 第1版

1992年10月 第1版 第1次印刷

印数：0001-5000册 定价：8.00元

ISBN 7-114-01449-X

U·00966

前 言

船舶交通在人类生活中占据非常重要的位置，目前从事远洋运输的商船总运量达5.8亿吨，但是频频发生的交通事故所带来的损失和所造成的危害却令人触目惊心。据统计，全世界每年平均灭失的500总吨以上的船舶总数超过350艘，发生碰撞、搁浅、触礁等水上交通事故的船舶更是数以万计。尽管船员们尽了最大的努力，但无论是从事故的发生率，还是从事故所造成的恶果来看，仍然是相当惊人的。

人们以沉重的代价从船舶交通事故中换取了教训，逐渐以新的观念来认识变化着的水上交通环境。由于船舶交通量的增加、运输吨位的增大、危险货物的增多，使水上交通环境变得更加拥挤和危险，在这样复杂的环境条件下，水上交通安全不再仅仅是船长和船员几个人的事情，而是船方和岸上人员共同的事业，只有船方和岸上人员携手合作共同努力，航运安全才会有保障。这个新概念指导人们以新的观点去研究水上交通安全对策，从而逐渐形成一门新学科——船舶交通工程学。

我国交通部门对船舶交通安全的综合治理比较重视，积累了相当丰富的经验，取得了一定的成效，并正在有计划、有步骤、分批分期地在我国主要水域实施发展船舶交通管理系统的总体规划。但是，许多关键技术和设备尚处于空白状态，软科学和理论研究也刚刚在起步，与世界先进水平相比，尚有很大的差距。因此，外国已取得的经验和成就，很值得我们借鉴。

10年前，本人在国外进修期间就开始收集资料，准备编写一本介绍这门新学科的书。回国后，一直忙于船舶交通管理的科研工作和一些事务工作，编写工作不得不时断时停。另外，由于船

舶交通工程学本身也在不断发展中，虽然经历了漫长而曲折的道路，但至今仍在继续前进之中，特别是最近几年，这门学科有了很大发展。为了尽量补充近期国内外船舶交通工程的实践经验和最新科研成果，所以，只得一再易稿。

在本书编审过程中，曾得到日本运输省电子航法研究所前所长藤井弥平博士，日本航海会会长、东京商船大学教授，杉崎昭生博士，东京商船大学教授饭岛幸人博士，日本运输省港湾技术研究所奥山育英博士以及交通部上海船舶运输科学研究所所长黄忠秀教授级高级工程师，副所长、学术委员会主任李仪时教授级高级工程师，交通部安全监督局副局长林玉乃高级工程师及刘占魁高级工程师，交通部上海海上安全监督局副局长王志一高级工程师及王楷高级工程师等中外专家、学者的指导和帮助，在此深表谢意。

限于水平，书中错误和不当之处望读者予以批评指正。

编 著 者

序

随着我国海运事业的迅速发展，重要水域及航道中来往航行船舶密度越来越大，港口吞吐量逐年增加，且超大型或特殊危险品船愈来愈多。为适应这种形势，研究保障航行安全、提高营运效率、防止水域污染的方法，船舶交通工程学这一边缘学科建立并逐步完善起来了。它的研究内容涉及到交通安全管理及决策、船舶驾驶、计算机技术、通信工程、系统工程等多种学科和领域。

从奉献给读者的这本书的体系、内容可以看出，它是作者搜集了当今世界上先进国家船舶交通工程的最新资料和自己多年的经验体会编著而成的。本书作者力图充分发挥自己的学识，同时，大量借鉴符合我国管理实践要求的国外研究成果，使本书系统地反映这一学科的知识。

1984年至今，我国主要沿海港口及长江船舶交通管理系统工程建设方兴未艾，并取得了成就；但工程建设规模、系统性、站点选址、设备选型、系统软件以及系统应发挥的效能和社会效益等方面均存在不少有待研究解决的问题。从而说明我们的理论研究工作还不能适应我国船舶交通管理系统迅速发展的需要，需要有更深入的理论研究，以指导工程实践。作者在这一领域里的研究成果无疑将会有益于今后船舶交通管理系统的建设。

本书从船舶交通工程学的基础知识入手，深入浅出，可视为本专业工作人员的良师益友。

林 玉 乃

DV37/33
内 容 提 要

本书是作者根据世界上一些先进国家船舶交通工程的最新资料和自己多年的经验体会编写而成的。

本书从船舶交通工程学的基础知识入手，深入浅出，系统地阐述了船舶交通的特征，介绍了船舶交通调查与分析、船舶交通事故调查、交通流理论、交通规划、船舶交通管理系统等的理论和应用。

本书可供港航监督管理人员、船员及有关院校师生和科研人员学习参考。



目 录

第一章 船舶交通概述	(1)
第一节 船舶交通管理的发展	(1)
第二节 船舶交通工程学的研究范围及内容	(7)
第二章 船舶、环境条件及交通流特征	(9)
第一节 船舶	(9)
第二节 环境条件	(24)
第三节 交通流特征	(29)
第三章 船舶交通调查与分析	(37)
第一节 船舶交通实态调查的方法	(37)
第二节 交通调查数据的处理与分析	(48)
第三节 船舶交通事故调查	(54)
第四节 船舶交通事故的统计分析	(58)
第四章 交通流理论	(68)
第一节 交通特性的统计分布	(68)
第二节 排队论的应用	(74)
第五章 交通规划	(78)
第一节 OD调查	(78)
第二节 避让领域	(82)
第三节 交通容量	(83)
第四节 航道宽度	(85)
第五节 船舶定线制	(88)
第六节 航标系统	(105)
第七节 交通模拟	(126)
第六章 船舶交通管理系统	(141)

第一节	船舶交通管理系统的等级划分	(141)
第二节	船舶交通管理系统的硬设备	(147)
第三节	船舶交通管理系统的管理软科学	(155)
附录一	船舶交通管理系统指南	(225)
附录二	船舶交通管理系统管理规则	(236)
附录三	船舶报告系统的一般原则和船舶报告要求总 则	(242)
附录四	船舶报告系统的一般原则和船舶报告要求总 则附录	(245)
主要参考文献		(253)

第一章 船舶交通概述

第一节 船舶交通管理的发展

海洋的面积估计约为 $361\,745\,300\text{km}^2$ ，换句话说，海洋约占地球表面的70.92%。人类居住的几块大陆被浩瀚的海洋所隔开，即使在陆地上，也是河川纵横，湖泊遍布，所以船舶交通的历史非常悠久，船舶交通管理的历史也非常久远，可以追溯到1400年前的我国隋炀帝时代甚至于秦代。当时在大运河和在桂林附近的灵渠中就实施了处于萌芽状态的信号交通管制。

随着社会的进步，帆的使用和蒸汽机的发明使船舶和水上交通的发展如虎添翼。1937年，全世界100总吨以上的船舶已达到6467.1万吨。但是与3.61亿平方公里这么大的海洋面积相比，相当于在几千平方公里的范围内才有1艘船，显得微不足道。所以，海上的船舶交通仍然是自由的，大小船舶各自按照船长的意志航行。相比之下，船舶交通管理的研究也远远落后于道路交通、铁路交通和空中交通。

对于各种交通工具的输送能力，可以用式 (1.1) 来衡量：

$$T = DV \quad (1.1)$$

式中：T——输送能力；

D——载重量；

V——速度。

尽管船舶的速度比较低，可是其载重吨非常大，所以船舶的输送能力得天独厚，是飞帆、汽车、火车等交通工具的几十倍甚至几百倍。

另外，由于交通工具在流体中的运动阻力一般与重量的 $2/3$ 次方成正比，所以交通工具越是大型化，其节能效果就越显著。船舶交通每吨公里所消耗的能量大大低于飞机、汽车、火车等其他交通工具，尤其在远距离输送大量货物方面，船舶交通处于绝对的优势，是其他交通工具所无法替代的。船舶交通在现代社会中日益发挥出重要作用。

第二次世界大战以后，随着经济建设的复苏和发展以及国际贸易的不断扩大，船舶交通发展非常迅速。50年代初，全世界的船舶就达到8377万总吨。

当时，为了协助大船乘潮进港，以及解决雾中引航船寻找大船的问题，英国于1948年首先在利物浦港设置了第一座港口雷达站，船舶交通管理才算有了一次大的突破，进入现代交通管理的新阶段。

随后，在北欧和西欧的引航站相继安装了约70台雷达。不过，当时这些港口雷达与船用航海雷达相差无几，功能和性能都非常简陋。

60年代初，全世界的船舶已增加到1.29亿总吨。70年代初，达到了2.26亿总吨。在艘数和吨位不断增加的同时，船舶向着大型化、高速化、专业化方向发展。

船舶吨位越大，单位造价和运输成本就越低，尤其是60年代中东战事使苏伊士运河关闭后，运送中东地区石油的油船要绕道非洲好望角航行才能到达欧洲，更助长了船舶大型化的势头。

进入70年代，20万载重吨以上的大型油船就超过油船总吨位的一半，现在约有420艘。

1973年，日本建造了一艘48万吨的油船，1976年法国建造了两艘55.4万吨的油船。目前最大的油船是日本于1980年建造、后经过扩建的56.3万吨的超级油船。

装载矿砂、谷物等大宗散装货的散装船，其船舶尺度也大幅度增长，4万吨级以上的矿砂散装船约占矿砂散装船总数的四分之一。

与此同时，船舶的航速也有较大提高。第二次世界大战前，一般货船的航速为10kn左右，现在的经济航速已提高到15~18kn。新型的专用船舶速度则更快，譬如：集装箱船一般航速为22~24kn，最高的可达30余节。

但是，由于船舶交通量不断增加，在港口及狭水道地区船舶密度逐年增加，再加上船舶大型化，船舶的操纵更加困难。因此，海损事故也随之急剧增加。特别是大型油船和装载危险品的船舶发生的事故，引起世界各国的关注。

1967年3月，载重吨位为11.8万吨的利比亚籍油船“托里·坎荣”号（Torrey Canyon），在英国西南海岸的七岩处触礁，造成8万吨原油溢出，严重污染海面，接着在北海水域又连续发生几起大事故，再次引起人们对船舶交通安全的重视。

经过政府间海事协商组织（IMCO，该组织于1982年5月改名为国际海事组织IMO）的努力，在英法之间的多佛尔海峡等41处设定了分道通航制航路，大大减少了船舶碰撞特别是对遇碰撞事故。分道通航制已成为现代船舶交通管理的重要组成部分。目前，全世界实施分道通航制的水域总数约达200处。

1970年，“阿隆”号（Arrow）油船在加拿大海湾触礁，促使加拿大强化船舶交通管理法规。

1971年，两艘大型油船在美国旧金山湾发生碰撞，造成海湾污染。以此为契机，促成美国和日本分别制定出港口和航道安全法（Ports and Waterways Safety Act）、海上交通安全法。

随后，又连续发生了十几起油船事故。这些触目惊心的事故，引起世界各国舆论的强烈反响，要求像道路交通和空中交通那样对船舶也进行交通管制，进一步促进了船舶交通管理系统的发展。

在年吞吐量为数千万吨到几亿吨的一些大港口，譬如：鹿特丹、伦敦、汉堡、安特卫普等，以及易北河、圣劳伦斯河、密西西比河等处都新设或添置了雷达监视站。到70年代，雷达站的数

目已发展到约160个。

目前，全世界已建成的船舶交通管理系统约有300处，包括雷达监视站430多个。其中61%设在西欧和北欧，11%设在北美，有9%设在亚洲，9%设在东欧。

在数量不断增长的同时，雷达监视站的质量也有很大的发展提高。

一方面，在与河流相连的河口港或水域宽阔的港湾，各个独立的雷达站正不断完善发展，连成雷达链。目前，在伦敦有由7个站组成的雷达链，荷兰的鹿特丹发展成有26个雷达站的雷达链，加拿大的温哥华有6个雷达站组成的链，德国在易北河和威悉河分别设了8个站的雷达链，苏联的敖德萨周围设有7个站的雷达链。

由两个或几个雷达站组成雷达链的交通管理系统约占系统总数的四分之一。各雷达站正向着提高分辨力和缩小覆盖范围的方向发展。

另一方面，提高了专用的港口雷达的性能，有些陈旧设备被更新。随着电子技术及计算机技术的发展，具有雷达信息处理系统（RDP）和交通情报处理系统（TDP）的较高级的船舶交通管理系统，已在日本的东京湾、法国的勒阿弗尔、加拿大的温哥华、苏联的纳霍德卡等港相继建成。

设立船舶交通管理系统的效果是十分明显的。根据统计资料，多佛尔海峡的碰撞事故最初5年为69起，实施分道通航制后的5年减少到53起，系统开始运行的5年内又降至24起。特别是对遇碰撞事故，从50起减少到32起，再降至7起。

在日本的东京湾也有相似的记录，船舶碰撞事故从最初4年的42起，减少到实施海上交通安全法后4年的21起，交管系统开始运行的4年内又进一步减少到7起，其中3千吨以上的船舶，分别为10起、6起、1起。触礁事故从最初的49起，减少到27起，又降至9起，其中3千吨以上的船舶，分别为13起、8起、1起。

可见，实施分道通航制之后，船舶事故艘次数可以减半；建

立具有雷达等设备的交通管理系统后，事故数可望进一步减半。特别是对于大型船舶，交通管理系统的效果愈加显著。

与此同时，船舶交通的研究也不断向纵深发展，并逐渐形成一门新兴学科——船舶交通工程学。

60年代，日本和西欧的学者就开始进行当地的交通实态观测。1963年神户商船大学的研究小组曾使用雷达进行了365天的长期观测调查。接着日本海上保安厅的研究小组、船舶技术研究所的研究小组、东京商船大学的研究小组竞相开展狭水道的交通实态观测调查，并开始进行解析研究。

同时，在西欧，因为不断发生交通事故，开始在丹麦的波罗的海出口处和英法之间的多佛尔海峡进行交通观测。

此后，交通实态调查的次数逐渐增加，规模也不断扩大，有关的论文也相应增多。1968年，日本航海学会成立了海上交通工程学研究部会（专业委员会）。随后，英国皇家航海学会的学术刊物《航海》杂志，载文介绍了日本的研究成果，在世界航运界产生了较大的影响。

1971年，日本的藤井弥平先生出版了世界上第一部有关专著《序说海上交通工程学》，他本人也继取得哲学博士、理学博士学位之后，又取得第三个博士学位——东京大学的海上交通工程学博士。

1975年，日本航海学会《航海》杂志出版了“海上交通工程学特集”。

1981年，担任日本运输省电子航法研究所所长藤井弥平博士、东京商船大学的卷岛勉教授、神户商船大学的原洁副教授合著《海上交通工程学》。

1984年，日本航海学会《航海》杂志出版了“海上交通模拟特集”。

1985年7月，藤井弥平博士又与东京商船大学教授、工学博士饭岛幸人先生等合著《交通系统工程学》。

1988年3月，日本航海学会《航海》杂志又出版了“海上交通

规划特集”。

此外，国际性的学术交流进一步加强。1972年5月，由英国皇家航海学会与英国皇家造船师学会联合发起，在英国伦敦召开了最初的船舶交通研究的国际学术会议，名称为“海上交通工程（Marine Traffic Engineering）学术会议”。1976年4月，由荷兰皇家航海学会、荷兰迪尔福特技术大学、英国皇家航海学会、英国威尔士大学理工学院、利物浦理工学院等5个单位组织的第二届国际学术会议在荷兰海牙召开，会议的名称为“海上交通系统（Marine Traffic Systems）学术会议”。

1978年4月，上述几个单位再加上德国不来梅航海学校、美国海岸警备队等联合组织的第三届国际学术会议在英国利物浦召开。考虑到交通管理系统的功能是向船舶提供信息服务和助航服务，以确保航行安全及保护环境；同时，交通管理系统的实施并没有减轻或改变船长对于本船安全的责任，也没有改变船长与引航员之间的传统关系，所以会议的名称改为“海上交通服务（Marine Traffic Service）学术会议”。会议决定，以后每三年定期举行一次国际学术会议。

第四届国际学术会议于1981年4月在德国不来梅举行。考虑到“船舶交通”的词义要比“海上交通”更加确切，所以会议名称改为“船舶交通服务（Vessel Traffic Service）学术会议”。

第五届国际学术会议于1984年4月在法国马赛召开。组织单位增至15个，包括法国航海学会、日本航海学会及一些国际组织。会议组织者及参加会议的国家数目增加，表明船舶交通的研究在世界上受到越来越广泛的重视。

1988年5月，第六届船舶交通管理国际会议在瑞典哥德堡市召开。会议专题研讨了船舶交通管理系统的现状、交通功能和问题、船舶交通管理系统功能的定义和概念、船舶交通管理系统的实施与法律问题等，表明世界各国对建立船舶交通管理系统的重视程度与日俱增，有220多位代表出席了这届会议。

几年来，经过广泛深入的调查研究以及多次的认真讨论与修

改，国际海事组织于1985年11月20日在第14届大会上审议通过了“VTS指南”(Guidelines for Vessel Traffic Services)。这些都标志着船舶交通的研究与管理进入一个新阶段。

第二节 船舶交通工程学的 研究范围及内容

船舶交通工程学可以看成是交通工程学中的一个分支。人类的生存离不开交通，交通的研究理应占据重要位置。交通工程学所包括的面非常广，譬如：道路交通、铁路交通、空中交通、船舶交通（又称水上交通）、管道交通等。

船舶交通工程学是一门以船舶交通为研究对象的系统工程，具体地说，就是把航路、船舶、人、环境等统一在一个交通系统中，研究各自和相互之间的规律性和最佳配合，以达到减少交通事故、提高运输效率、防止环境污染、节省运输费用的目的。

船舶交通工程学也可以说是将船舶交通的研究及其研究成果在改善航行设施、航路港湾设计和船舶操纵技术以及交通管理方

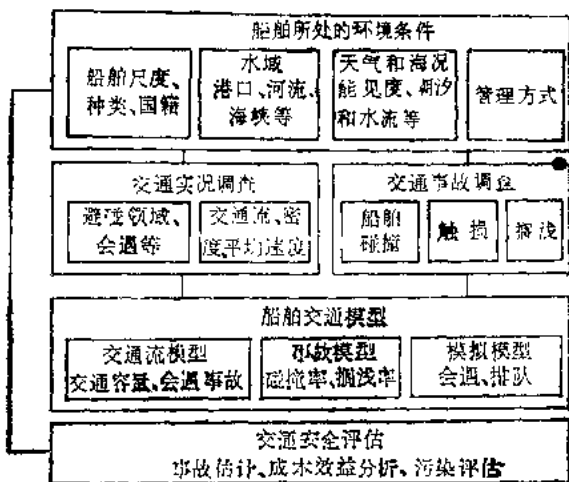


图1-1 船舶交通工程学研究内容

面的应用科学。它所涉及的主要学科有：航海学、船艺学、水文学、船舶工程、港湾工程、电子工程等，因此，船舶交通工程学是一门由多学科互相交叉、互相渗透的新兴边缘学科。

船舶交通研究的内容可概括成如图1-1所示的范围。

船舶被人们喻为“流动工厂”、“水上城市”，其特点一是在水上，二是要流动，所以船舶交通工程学的研究内容比别的交通工程学更具有特殊性、复杂性。