

大连海事大学
出版基金赞助
学术丛书

船舶避碰学原理

The Principles of Collision Prevention at Sea

赵 劲 松
王 逢 辰 著

[日] 今津隼馬

吴 兆 麟 审



大连海事大学出版社

大连海事大学出版基金赞助学术丛书

船舶避碰学原理

**The Principles of Collision
Prevention at Sea**

赵 劲 松
王 逢 辰 著
[日] 今津隼馬
吴 兆 麟 审

大连海事大学出版社
1999·大连

内 容 提 要

本书是船舶避碰原理的专著,共分二十九章,约一百万字。它以 1972 年国际海上避碰规则为主线,从定性和定量方面全面分析规则规定的各个定义和行动。除用常规的几何方法之外,着重用超级数学方法(如模糊数学、对策论、熵、神经网络等)分析避碰决策。此外,还编写了自动避碰系统、避碰专家系统、神经网络避碰系统和确定性避碰系统等内容。书中搜集了近年来国内外有关避碰研究的专题论文近千篇,反映了世界范围对避碰研究的最新成就。本书适用于驾驶专业本科及研究生的教学,也适用于船长、海事处理人员和避碰研究人员工作的参考。

图书在版编目(CIP)数据

船舶避碰学原理/赵劲松、王逢辰等著. - 大连:大连海事大学出版社,1998

ISBN 7-5632-0814-3

I. 海… II. 赵… III. 海上交通-避碰-研究 IV. U698

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 03500 号

大连海事大学出版社出版

(大连市凌水桥 邮政编码 116026 电话 4728394)

大连海事大学印刷厂印刷 大连海事大学出版社发行

1999 年 10 月第 1 版 1999 年 10 月第 1 次印刷

开本:850×1168 1/32 印张:36.5

字数:916 千字 印数:0001—2000 册

责任编辑:史洪源 封面设计:王 艳

定价:66.00 元

本书由

中共大连市委、大连市人民政府资助出版

The published book is sponsored
by the Dalian Municipal Government

大连市学术专著资助出版评审委员会

名誉主任 楼南泉 林纪方
主 任 司玉琢
副 主 任 高春武 吴厚福 何 杰
委 员 梁宗巨 王子臣 李寿山 王逢寿
汪榕培 夏德仁 罗均炎

海洋综合专家评审组

组 长 丁德文 (国家海洋环境监测中心
院士、研究员)
副 组 长 吴兆麟 (大连海事大学 博导、教授)
成 员 文 干 (大连水产学院 教授)
王永学 (大连理工大学 博导、教授)
王言英 (大连理工大学 博导、教授)
殷佩海 (大连海事大学 博导、教授)
叶昌臣 (辽宁省海洋水产研究所 研究员)

序 言 一

世界航运事业的飞速发展,在不断地冲击着航海技术领域的各个方面,并对避碰技术提出了新的、更高的要求。近年来,一方面世界船队的规模在不断地扩大,船舶向着大型化、多样化和快速化方向发展,使得避碰问题日趋重要;另一方面,随着船舶自动化,特别是驾驶自动化水平的提高,许多以往航海技术界所面临的问题在一定程度上得到了缓解,从而使避碰问题变得更加突出了;再一方面,由于船舶营运成本的提高,船舶定员不断减少,人均工作量增加,这些都使得避碰问题比以往更加严峻了。为此,几十年来国内外的许多专家、学者从各个领域、不同角度致力于解决避碰问题的研究。今天,我们欣喜地看到,集国内外避碰技术领域研究成果之大成的《船舶避碰学原理》一书的出版,为最终彻底解决海上船舶的避碰问题奠定了理论基础。

尽管避碰学还是一门新兴学科,但海上船舶避碰几百年来却一直是人们关注的焦点之一,其重要性导致了1840年避碰规则的产生。避碰规则几经修改,日臻完善,在海上船舶避碰中起到重要的作用。国内外也已有多种阐述避碰规则的论著。然而,随着科学技术的进步和国际航运事业的发展,避碰问题已成为航海技术领域中最重要的问题之一。要解决好这一问题,单靠避碰规则已远远不够,而要大力发展避碰技术。为此,自本世纪50年代以来,各主要航运国家的许多专家学者都致力于这一领域的研究,取得了许多成果,发表了大量的研究报告和学术论文。这些成果对保障海上航行安全起到了积极的作用。然而,由于这些文献散见于各种期刊、会议文集及研究报告中,不能适应人们对避碰技术理论系统地进行学习、掌握、研究和发展的需要。为此,《船舶避碰学原理》一书应运而生,成为国际上第一部系统阐述海上船舶避碰技

术理论的学术专著。它标志着我国在这一领域的研究已达到了国际先进水平。

中日两国人民的友谊源远流长,两国在航海技术的各个领域都有广泛而深入的研究。十年来,中国航海学会和日本航海学会已进行了四次定期的双边学术交流,取得了令人瞩目的成果。今天,令人欣慰的是两国学者在进行交流的基础上又开展了科技合作。与国外学者联合撰写学术专著,这在我国航海技术领域还刚起步。它标志着我国在航海技术领域与其他国家的合作又走上了一个新的阶段。

我国有绵长的海岸线,自古就是世界上的航运大国,中国人发明和绘制的航海图、罗盘和牵星过洋术等对世界航海技术的发展起到了重要的作用。新中国成立后,航海技术教育又有了长足的发展。今天,在这一领域我们不仅有学士、硕士教育,又有了博士教育。《船舶避碰学原理》作为我国第一部航海技术领域博士研究生教材诞生了。它标志着我国的航海教育事业有了新的发展。

避碰技术近年来有了很大的发展,新思想、新方法、新概念、新理论、新模型、新系统层出不穷。从经典数学到超级数学,从心理学到人工智能,从控制理论到计算机技术,在避碰技术理论方面都有广泛的应用,其研究体系日臻完善,已到了应该建立这一学科体系的时候了。该书在这方面起到了积极的、开创性的作用。

避碰技术区别于其他技术的一个重要特征之一是其具有很强的实践性。因此,其研究和发展不仅要建立在理论基础之上,更要与实践紧密结合。只有这样才能使避碰技术理论真正得到发展,也才能使其更好地指导实践,服务于实践。我国船队庞大,海员队伍人数众多,技术、素质较好,他们在长期的航海实践中积累了大量的经验。阅读本书可以帮助他们总结自己的实践经验,使之更加理论化、系统化、科学化,为发展我国的航海技术事业做出应有的贡献。

本书的日籍作者、东京商船大学教授今津隼馬博士早年留学美国,回到日本后二十余年来一直致力于船舶避碰技术领域的研究,多次出席中日航海学会学术交流会,并发表了高水平的学术论文,1992年还应邀到我国来讲学,为中日人民的友好和航海技术领域学术交流与合作做出了积极的贡献。

王逢辰教授早年毕业于上海交通大学,新中国成立后回来参加建设。王逢辰教授学识渊博,涉猎广泛,德高望重,为我国航海技术及教育事业的发展做出了卓越的贡献,是我国避碰领域的著名学者和学术带头人。

赵劲松副教授是我国培养的新一代青年学者,他积极投身于避碰领域的学术研究和航海教育事业,多次出席国际学术会议并担任大会执行主席,在国内外发表了大量的学术论文,主编了“船舶避碰丛书”,多次被收入英国和美国编辑出版的世界名人录,成为我国这一研究领域中的后起之秀。

他们的工作和本书的出版,对我国航海技术领域的研究、船舶避碰技术的提高和航海教育事业的发展具有重要的意义。我代表中国航海学会向他们表示感谢!

国际航行联合会 副主席
中国航海学会 理事长
船长、高级工程师



序 言 二

本書は大連海事大學のJ. Zhao 副教授, F. Wang 教授および日本の東京商船大學の今津隼馬教授が共同して執筆したものぞあり、船舶の衝突回避問題があらゆる觀點から詳述されている。その内容は船上における見張り作業の方法かりファジー概念を用いた最近の避航操船モデルまで多岐にわたって記述されている。このように船舶の衝突回避問題に焦點を合わせて實務、理論、法規などの各分野かり體系的にまとありれた本は極めて貴重である。

さらに、特筆すべきことは本書が中國と日本におけるこの分野における専門家の共同作業によってできあがったことある。中國航海學會と日本航海學會とは3年ごとに學術交流會を開催し、お互いの研究成果を交換している。これによって兩國の海上交通の安全と環境保全に大きた。本書もその交流成果のーつであり、日本航海學會を代表して本書の出版を心から祝福したい。

願わくば、こわからも中日兩國が互いに友好を深め、航海學の進歩のために連帶し、それよって海上交通の安全性向上と海洋環境の保全に努めていきたい。本書がきっかけとなって航海學の他の分野でもこのた試みが行わることを強く期待する。

1995 年 6 月

日本航海學會會長

Vice president of International

Association of Institute of Navigation

原 潔

序 言 三

海上船舶碰撞事故是航行安全的首害,占海上船舶交通事故总数的很大比例。几百年来各国航海界的专家学者和广大海员从理论和实践两方面广泛深入地研究如何避免和减少海上碰撞事故的发生及其带来的各种损失,取得了较好的效果。然而,随着船舶的大型化、高速化以及通航水域船舶密度增加和会遇率增大,海上碰撞事故尤其是繁忙通航水域和港口附近水域的碰撞事故,自然是船舶航行安全的首害,仍然占海上船舶交通事故总数的相当大比例。就此可知,海上避碰研究始终是航行安全或海上交通安全研究领域的热点问题。

早在帆船时代,人们就针对帆船操纵特点研究会遇时相互避碰的技术,并从碰撞事故中总结经验教训,提出一些技术性的规则,并形成了会遇几何(又称避碰几何)的初步原理。为了避免碰撞事故而造成重大人命和财产损失,同时也为了在碰撞事故发生后判定当事双方的法律责任,各航海国家陆续制定了具有法律规范和技术规则双重性质的海上避碰规则。由于航海的国际化,1889年第一个国际海上避碰规则出现并在1910年正式生效。随后,海上避碰研究主要是围绕对国际海上避碰规则的解释、应用和修改进行的。从法律规范角度和技术规范角度解释和应用避碰规则,从定性方面和定量方面解释和应用避碰规则,出现了大批海上避碰研究的学术论文和专业文章。随着船舶避碰设备和系统诸如雷达、自动雷达标绘仪和甚高频无线电话等陆续安装和使用,以及人们用信息论、系统论和控制论的观点研究海上避碰问题,海上避碰研究的深度和广度不断发展,海上避碰研究的理论水平和学术性也日益提高。

船舶避碰学原理是本书的名称、主题和内容。船舶避碰学原

理这一概念的内涵和外延表面上似乎清楚,但实际上显得模糊。为了避免和减少海上船舶碰撞事故,长期以来,人们从各种角度,在不同方面,采用不同思路和方法,针对海上避碰的整个过程或某一阶段,或针对当事一船或双方或涉及所处的环境和条件等进行各种各样的研究。尽力搜集多年来世界各国的海上避碰研究的大量文献资料并归纳和总结这些文献资料中所反映的避碰学研究成果,从而使人们对船舶避碰学研究成果有较为系统全面的了解不是一件容易的事。本书的三位作者朝着这个方向成功地迈出了第一步,是令人钦佩的。本书作者邀请我审阅这本书稿并为之撰写序言,其中主要任务就是请我对海上避碰研究这一概念加以说明,以及使人们对海上避碰研究成果以及对本书内容有一个较为全面和系统的认识。这对学习和参考使用本书是有利的,对涉入或进一步从事船舶避碰研究也是有益的。然而,我对能否完成本书作者这一重任无很大的信心。由于王逢辰教授是我的老师,赵劲松副教授是我的学生,今津隼馬教授是我的国外同行,多年来我与他们三位共同致力于海上避碰研究,从友情和责任感两方面说,都不能不尽本人全力去做好这件事。究竟这件事做得怎么样,只好由本书三位作者和广大同行们自由评说了。

海上碰撞事故的发生是有原因和促成因素的,海上碰撞事故的发生离不开一定的时间、空间、主观条件和客观环境。因此,为了避免和减少海上碰撞事故的发生,人们所从事的海上避碰研究必然是多角度、多方面、各层次和多手段的。基于迄今为止所搜集到的大量避碰研究文献资料,可将海上避碰研究分为下列四大类:

其一是面对碰撞事故已经发生的客观事实,就单个碰撞事故进行案例分析和归类统计分析,查明事故发生的原因和促成因素,发现船员的过失或失误、船舶及其设备的缺陷和局限性、发生时的不利环境和条件等,吸取教训和改进主客观条件的不足,从而尽可能避免和减少同类事故的发生,即所谓失败是成功之母。这一类

的海上避碰研究出现最早,并且永远不会停止。

其二是针对从两艘船舶会遇到碰撞的主客观条件和环境以及全过程,用定性和定量相结合的方式,对单个船舶和会遇两船的避碰技术进行研究。这一类避碰研究包括良好船艺中的避碰经验总结,会遇或避碰几何的基本原理,避碰决策和避碰行动定量分析,避碰自动化的数学模型、避碰和碰撞事故的数学模拟等等。各种数学工具或数理方法的不断应用是这类研究的一个重要特点。这一类研究可以归结为避碰的战术研究,即对具体避碰方案的研究,研究者所提供的研究成果是要表明两船会遇后如按此避碰方案行事,就会成功地避免碰撞事故的发生。

其三是从战略角度研究避碰问题。这类研究的思路是,碰撞只能在船舶会遇后发生,如果能尽量避免船舶会遇或大大减少船舶会遇的次数,碰撞事故就会大大减少。以分道通航制为主体的船舶定线制和港口船舶交通管理系统所提供的交通组织服务(对船舶行进的时间、路线、方向和速度进行调度安排)就是这类研究成果的应用。这类研究的对象不是单个船舶的行动,而是某一指定区域内单个船舶运动的组合和船舶行为的总体。

其四是对避碰法规的研究,主要是从法律角度对国际的和地方的(具体港口和水道的)避碰规则 and 规定进行研究,具体表现在提出修改现有避碰规则条款的方案和试图对现有规则条款作出正确和合理的统一解释等。

依据上述个人之见,本书所涉及或所包含的海上避碰研究主要是海上避碰技术的研究,也就是上述的第二类研究。海上避碰研究的第一类研究可见于海事调查、海事统计和海事预防的文献资料中,第三类研究可见于海上交通工程和船舶交通管理的文献资料中,第四类研究可见于避碰规则和碰撞法律的文献资料中。值得指出的是,这四类海上避碰研究可以区分,但也是互相联系的,甚至于可以说有部分重叠或有相互渗透,其分界的边缘是模糊

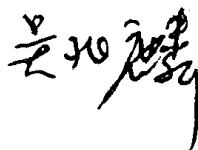
的。为了更好地对海上避碰某一问题进行具体研究,有必要对海上避碰研究的总体情况有全面的了解。还值得指出的是,对各种船载避碰设备和系统的研究有可能成为(也许已被某些专家学者认为已经是)海上避碰研究的一个分支或类别。运用雷达可以“自动发现”目标船,运用 ARPA 可以“自动标绘”目标船。目前对于“自动识别”目标船和“自动避让”目标船的避碰设备和系统的研究正在积极开展。这方面的研究以避碰规则和避碰技术为基础,引进日益先进的电子、通信、计算机和自动化技术,必然会在不久的将来有突破性的进展;反过来会对现有的避碰规则和避碰技术产生重大影响,譬如可能会使互见和非互见中的不同避碰规定“合二而一”,也可能会将一船避让另一船的规定改变为两船都要行动的规定,即取消让路船和直航船的区分等。

本书分为二十九章,从不同的点和面上展示了海上避碰技术研究的丰富成果,各章所包含的海上避碰研究内容大都是数学分析类型的。这表明本书作者试图提高本书的系统性和学术水平,同时表明本书作者所掌握的海上避碰知识宽广而深厚和撰写本书花费了大量的精力和心血,本书的学术参考价值也就此得到了充分体现。从各章的具体内容来看,本书作者针对海上避碰的某些具体问题给出了几个专家学者的研究成果,这些成果有些是互相补充的,而有些是各抒己见、相互探讨和切磋的性质。本书作者对于这两种情况大都未加评论以表明自己的观点,即赞同什么,不赞成什么。因此,本书反映出海上避碰研究领域“百花齐放、百家争鸣”的学术探讨繁荣景象。我支持作者的这一立场和态度。科学研究的结论正确与否最终需要实践来检验。海上避碰的复杂性使得某一海上避碰研究的结论或成果难以单独地经受避碰实践的检验,加之海上避碰的实践性很强,海上避碰的理论研究成果在很大程度上只能作为海员在海上避碰实践中有益的参考,而不能作为行动的具体依据。因此,不轻易赞成和支持某一观点,也不轻易反

对或否定另一观点是适当的,也是严谨治学和实事求是的科学态度。希望本书的作者和读者能同意我的上述看法。

本书的出版是对我国海上避碰教学和研究的重要贡献,在此谨向本书作者致贺。书的序言本应由作者撰写,现由审稿者撰写,就使之像是前言又像是书评的文字,不当之处,乞望本书作者和读者见谅。

大连海事大学校长



目 录

第一章 避碰概述	1
第一节 船舶航行系统和海难	1
第二节 碰撞事故的原因及对策	4
第三节 避碰原理	7
第二章 瞭望	11
第一节 避碰过程	11
第二节 瞭望的概念	16
第三节 视觉瞭望与望远镜	18
第四节 视觉瞭望与心理因素	19
第五节 向后瞭望频率的研究	25
第六节 一人驾驶台视觉瞭望效果的分析	32
第七节 VHF 协助避碰	40
第八节 应用雷达进行瞭望	50
第九节 雷达性能	52
第十节 影响雷达图像的因素	56
第十一节 天然物标的显示	58
第十二节 海上物标的图像	60
第三章 安全航速	64
第一节 安全航速的概念	64
第二节 确定安全航速时所考虑的因素	72
第三节 船舶最佳航速	81
第四节 安全航速的计算方法(一)	95
第五节 安全航速的计算方法(二)	97
第六节 安全航速的计算方法(三)	103
第七节 安全航速值的实际确定	106

第四章 避碰的必要信息·····	110
第一节 避碰必要信息的种类·····	110
第二节 避碰必要信息的搜集方法及存在的问题·····	116
第三节 航行环境和本船性能与避碰必要信息·····	120
第五章 碰撞危险的概念·····	128
第一节 对碰撞危险的解释·····	128
第二节 几种碰撞危险的概念·····	133
第三节 几种碰撞危险概念之间的关系·····	141
第六章 宏观碰撞危险度·····	146
第七章 微观碰撞危险度的模型·····	156
第一节 碰撞危险评价的目的·····	156
第二节 碰撞危险评价的方法·····	160
第三节 主观碰撞危险度的模型·····	178
第四节 罗经方位变化量表·····	181
第五节 判断避碰行动的估算公式·····	191
第八章 避碰中的四个阶段及直航船的行动·····	200
第一节 避碰中的四个阶段·····	200
第二节 致有构成碰撞危险·····	203
第三节 直航船的行动·····	207
第九章 紧迫局面的概念与模型·····	219
第一节 紧迫局面的概念·····	219
第二节 紧迫局面的模型(一)·····	227
第三节 紧迫局面的模型(二)·····	234
第四节 紧迫局面的模型(三)·····	239
第五节 紧迫局面的模型(四)·····	242
第六节 紧迫局面的模型(五)·····	263
第七节 紧迫局面的模型(六)·····	264
第八节 紧迫局面的模型(七)·····	265

第九节	紧迫局面的模型(八)	268
第十章	紧迫危险及最晚施舵距离	276
第一节	紧迫危险的概念	276
第二节	最晚行动距离	278
第三节	转向避让行动的临界距离	294
第四节	回转避让计算原理	305
第十一章	会遇状态的推断和预测	324
第一节	目标行动的推断	324
第二节	本船行动改变时会遇状态的变化	332
第十二章	避碰几何	339
第一节	速度三角形解析	339
第二节	转向避让	342
第三节	减速避让	348
第四节	转向减速避让	351
第五节	应用解析几何学原理的避碰计算	355
第六节	应用运动学原理的避碰计算	363
第七节	投影几何学与避碰	366
第八节	速比圆	373
第九节	可能碰撞点与预测危险区原理	376
第十节	可能碰撞点与预测危险区的数学模型	395
第十一节	三角形碰撞危险区	412
第十三章	避碰方法	421
第一节	转向避让效果	421
第二节	大幅度避让的衡准	431
第三节	快船和慢船转向避让的效果	436
第四节	变速避让效果	444
第五节	垂直拉开法	454
第六节	卡尔瓦特避让法	458