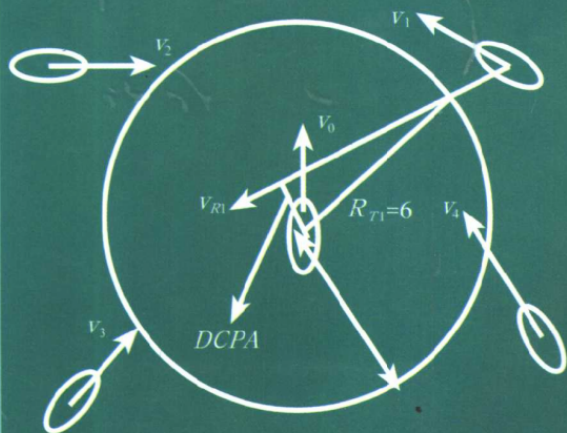


CHUANBO BIPENG JUECE

船舶避碰决策

郑中义 吴兆麟 著



大连海事大学出版社

CHUANBO BIPENG JUECE

ISBN 7-5632-1445-3



9 787563 214457 >

ISBN 7-5632-1445-3
U · 380 定价: 20.00元

船舶避碰决策

郑中义 吴兆麟 著

大连海事大学出版社

内 容 提 要

本书为船舶避碰决策研究的学术专著。全书共分十一章,内容包括:绪论;船舶避碰决策研究现状;船舶避碰系统及分析;本船及他船运动参数的计算;船舶会遇局面及避碰行动局面划分;船舶最晚施舵点及避碰危险度模型;影响船舶避碰的主要因素关系分析;船舶首次避碰行动的决策;避碰行动的优化及复航决策;船舶自动避碰决策系统的建立;自动避碰决策系统仿真与结论。

图书在版编目(CIP)数据

船舶避碰决策/郑中义,吴兆麟著. - 大连:大连海事大学出版社,2000.11

ISBN 7-5632-1445-3

I. 船… II. ①郑… ②吴… III. 船舶避让操纵—决策
IV. U675.96

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 58747 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 传真 4727996)

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

大连理工大学印刷厂印装 大连海事大学出版社发行

2000年12月第1版 2000年12月第1次印刷

开本:850 mm × 1168 mm 1/32 印张:11.5

字数:289千 印数:0001~1000册

责任编辑:史洪源 封面设计:王艳

定价:20.00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.

前 言

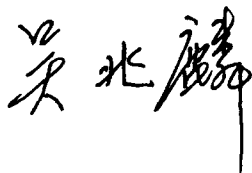
船舶避碰决策研究是国内、外航海学术界关注的前沿课题之一。二十余年来,国内、外一些航海界的专家、学者从避碰自动化、智能化的发展方向和趋势考虑,致力于该领域的研究和探索,取得了一定的成果,但在理论上尚不够系统、完善和成熟;从实际应用来说,实验室验证尚不够充分,实船试验更是凤毛麟角。在人为因素被证明是海损事故主要原因的现今时期,为了大幅度避免和减少在船舶交通日益增大和交通形式日趋复杂情况下频发的碰撞事故,加强船舶避碰决策研究是十分重要的,而标志避碰自动化、智能化的自动船舶避碰系统必须以船舶避碰决策研究成果为基础。

大连海事大学航海技术重点学科和航海技术博士学位点(现名为交通信息工程及控制博士点),长期以来在科研课题立项和硕士研究生论文选题上一直关注并从事船舶避碰决策和避碰自动化的研究。该博士学位点今年培养出的第一位博士生孙立成同志(教授、船长)和第二位博士生郑中义同志(副教授、船长)的博士学位论文选题都是定位在船舶自动避碰决策研究领域。作为他们的导师,我认为以船舶自动避碰决策作为航海技术研究领域的重点课题,陆续指导几个博士生进行持续深入的攻关,力求有所突破是非常必要的。

本书是郑中义同志在攻读博士学位期间,结合博士学位论文选题的研究撰写的,书中主要研究及成果已纳入博士学位论文。2000年8月20日郑中义同志已通过博士论文答辩,18位论文评阅人和答辩委员会的评语表明本书有一定学术参考价值和实用价值。当然,关于船舶自动避碰决策课题并非一人一时的研究就能

取得成功,因此,本书的出版期望达到抛砖引玉,与国内外同行进行交流之目的。本书若有不当之处,乞望学术和专业同行予以指正。

在本书撰写和修改过程中,承蒙海军大连舰艇学院杨宝璋教授,大连海事大学贾传荧、赵连昌、东昉教授和上海海运学院蔡存强教授在百忙之中审阅并提出宝贵修改意见,在此一并致谢。

Handwritten signature in black ink, consisting of three characters: '杨', '宝', '璋'. The signature is written in a cursive style with a long vertical stroke extending downwards from the character '璋'.

2000年12月5日

目 录

第一章 绪 论	(1)
第一节 船舶避碰决策研究及当前存在的问题	(1)
第二节 本书的研究内容、特点及方法	(7)
第二章 船舶避碰决策研究现状	(16)
第一节 船舶碰撞危险及度量	(16)
第二节 船舶避碰时机	(41)
第三节 船舶避碰决策系统研究现状	(50)
第四节 本章小结	(56)
第三章 船舶避碰系统及分析	(69)
第一节 系统概述	(69)
第二节 船舶避碰系统综述	(70)
第三节 避碰系统中人的因素	(71)
第四节 避碰系统中船的因素	(82)
第五节 避碰系统中的环境因素	(86)
第六节 本章小结	(90)
第四章 本船及他船运动参数的计算	(95)
第一节 船舶参数	(95)
第二节 船舶运动参数	(96)
第三节 他船相互之间的运动参数	(100)
第四节 变向及变速对 DCPA 和 TCPA 的影响	(103)
第五节 本章小结	(108)
第五章 船舶会遇局面及避碰行动局面划分	(111)
第一节 能见度良好时三种会遇局面的划分	(111)

第二节	互见两船避碰行动局面划分	(116)
第三节	非互见情况下两船会遇的避碰行动划分	(126)
第四节	本章小结	(128)
第六章	船舶最晚施舵点及碰撞危险度模型	(130)
第一节	紧迫局面概述	(130)
第二节	最晚施舵点的数学模型	(134)
第三节	影响船舶碰撞危险度的主要因素	(145)
第四节	船舶碰撞危险度的确定	(150)
第五节	碰撞危险度量化模型的分析	(159)
第六节	船舶碰撞危险度的 BP 网络实现	(162)
第七节	本船与多目标船碰撞危险度的确定	(179)
第八节	本章小结	(180)
第七章	影响船舶避碰的主要因素关系分析	(189)
第一节	影响转向避碰行动的主要因素	(189)
第二节	驾驶员避碰行动时机及幅度的统计分析	(190)
第三节	行动距离、转向幅度的灰色关联分析	(202)
第四节	船舶避碰主要因素关系分析的研究成果	(212)
第五节	本章小结	(215)
第八章	船舶首次避碰行动的决策	(216)
第一节	概述	(216)
第二节	避碰行动不确定性与碰撞事故	(218)
第三节	船舶避碰行为不确定性模型	(222)
第四节	船舶避碰行为不确定性实际评价	(227)
第五节	基于直航船满意度的首次避碰时机模型	(241)
第六节	考虑直航船避碰行动时的避碰时机模型	(251)
第七节	基于对策论的避碰不协调避碰行动模型	(258)
第八节	考虑碰撞责任的避碰决策	(259)
第九节	本章小结	(261)

第九章 避碰行动的优化及复航决策	(265)
第一节 让路船优化避碰行动的原则	(265)
第二节 让路船优化避碰行动决策模型	(267)
第三节 船舶转向避碰过程的优化控制	(280)
第四节 直航船优化避碰决策	(287)
第五节 能见度良好时多船会遇的避碰操纵	(290)
第六节 复航行动决策	(304)
第七节 本章小结	(305)
第十章 船舶自动避碰决策系统的建立	(309)
第一节 专家系统的分类及在海上的应用	(309)
第二节 自动避碰的基本过程	(312)
第三节 系统结构框图及各部分的作用	(313)
第四节 自动避碰系统知识库设计	(317)
第五节 推理机设计	(323)
第十一章 自动避碰决策系统仿真与结论	(330)
第一节 两船会遇避碰仿真	(330)
第二节 多船会遇避碰仿真	(338)
第三节 仿真结论及分析	(339)
第四节 结论	(342)
附录 1 调查数据处理方法	(348)
附录 2 避碰行为调查表	(352)

第一章 绪 论

第一节 船舶避碰决策研究及当前存在的问题

一、船舶避碰决策研究的目的

1. 船舶避碰决策研究是当前国际航海学术界前沿课题

从20世纪70年代末至整个90年代,船舶自动(智能或专家)避碰系统的研究受到国际航海学术界的高度重视,虽然取得了一定进展,但是仍然存在着问题。因此,在“96国际海上避碰会议”上曾提出,船舶自动避碰决策系统研究是今后10年乃至20年航海技术领域研究的主攻方向之一^[28]。然而,随着《1974年国际海上人命安全公约》1995年修正案的出台,船舶避碰的决策问题日益受到国际社会的高度重视,同时也成为船舶自动(智能或专家)避碰系统研究的核心内容之一。

2. 船舶碰撞事故在各类水上交通事故中占的比例高

关于船舶避碰的研究已有很长的历史,虽然取得了许多成果,但是船舶碰撞的问题并没有完全得到解决。正如D. B. Charter, Jr所提到的,虽然许多高新技术应用到船舶避碰中,但是现在仍有上百艘船舶和成千上万的人命由于船舶碰撞而丧失^[17]。美国百科全书指出:在广泛使用雷达前50年,船舶碰撞造成的航运灾难占23%^[17]。在我国,根据1994年1月~1998年2月的水上交通事故统计^[26],船舶碰撞事故占水上总事故数的54.5%,仅1998年由于船舶碰撞事故所造成的直接经济损失就达40 000万元,死亡近700人。根据日本1988年海事审判统计^[19,20],从1985~1987年

的3年中,共发生碰撞事故661起,涉及船舶1309艘,其中1985年发生碰撞事故228件,涉及船舶446艘;1986年发生碰撞事故202件,涉及船舶402艘;1987年发生碰撞事故231件,涉及船舶461艘,也是各类水上交通事故中最高的。根据日本1990~1994年海上事故统计^[24],碰撞事故分别为1880、1705、1798、1649和1379起,居海上各类事故之首。关于水上碰撞事故的统计资料还很多,通过上述已足以反映出碰撞事故的严重性以及船舶避碰决策进行深度研究的迫切性。

3. 导致海上交通事故的人为因素已引起国际航运界的广泛关注

1995年国际海事组织通过了对《1974年国际海上人命安全公约》的修正案,即《船舶营运安全管理规则》(ISM),在其大会决议中明确指出,水上发生的事故中,80%与人为因素有关,而船舶碰撞事故在各类海事中所占的比例最大,故研究船舶避碰过程中操船者的思维过程、避碰行动以及提出较优或优化的避碰决策是很重要的,也是很有意义的。国际海事组织的许多决议,也要求并鼓励各国加强对人为因素及控制人为失误的研究。因此,研究船舶避碰决策的目的正是为了避免避碰过程中的人为失误,从而减少由于人为失误造成的碰撞事故。

根据日本学者锅岛正昭^[19,20]在其两篇文章中所做的分析,船舶碰撞发生机制如图1-1所示。

从图1-1的船舶碰撞发生过程可以看到,只有在对避碰系统的他船进行系统观察并采取了合适的避让方法后,才能进行有效的船舶避碰。通过他对1309起船舶碰撞事故的分析,碰撞发生的主要原因归纳为一船驾驶员在两船逼近后才感觉到碰撞危险,在近距离发现他船,直至碰撞才发现他船。基于这种情况,船舶未进行系统的观察,在避碰中采取行动时,由于时间仓促及本船、他船或双方采取的不合适避让方法导致了碰撞事故的发生。在发生

的 1 309 起碰撞事故中,由于两船互以右舷对右舷情况发生的碰撞占全部碰撞事故的 10%,是造成船舶碰撞事故中处于第二位的主要原因,因此,在研究船舶避碰时,研究不协调行动的碰撞问题也是十分有意义的。

碰撞发生的过程

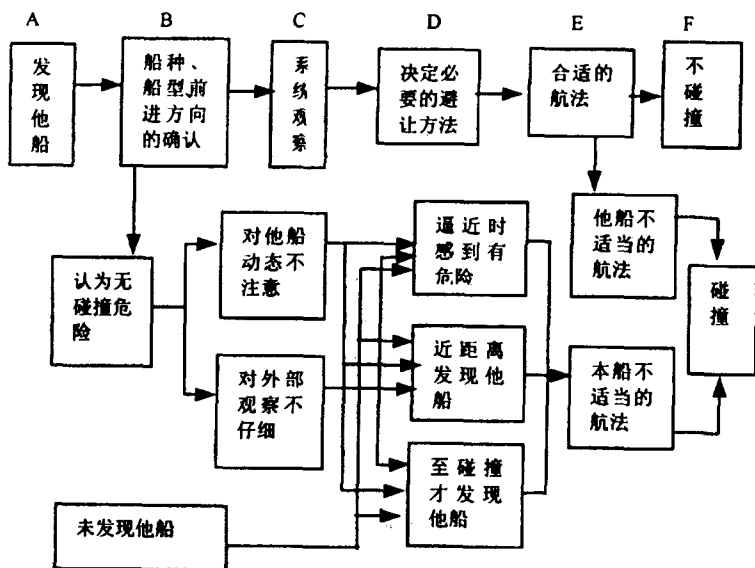


图 1-1 船舶碰撞过程发生图

4. 决策论及其他交叉性理论,为船舶避碰决策研究提供了手段

(1) 20 世纪 50 年代以来科学技术的迅猛发展,促进了决策科学的发展。20 世纪出现的控制论、信息论、系统论、决策论等一系列交叉学科为人类的决策活动提供了新的思想和方法论。

(2) 电子计算机的出现又为人类的决策活动提供了定量分析的手段。

(3)心理学、社会心理学在研究人类决策活动的心理因素和社会因素方面也取得了重大成就,从而使人们对决策活动中的人、物、机等各方面因素的作用,有了比较全面的认识,对复杂系统的决策进行定性、定量分析也有了各种方法和手段,从而使决策科学逐步完善起来。

(4)前人已有关决策领域进行了大量而卓有成效的研究,取得了瞩目的成就。过去的研究成果是进行深入研究的基础之一。

近几年来,利用新的思维和方法进行船舶避碰研究,特别是随着人工智能技术的发展,如利用人工神经网络技术研究船舶避碰的问题等,取得了一定的进展,也不能不看到,虽然采用了新的思路和方法,但是研究成果尚难如人愿。为此,本书将决策论、随机模拟理论、人工神经网络及进化等理论的思想与方法应用于船舶避碰过程的研究,以期取得比较满意的效果。

5. 船舶自动避碰决策系统的研究、开发和使用是发展的趋势

当前,为了避免船舶碰撞事故的发生,除对有关船员培训、考试与值班的有关公约或标准进行修订以外,研究驾驶员的避碰决策过程,将其避碰的机理融入船舶自动避碰决策系统,并在一定程度上或完全取代人的避碰决策应该是有效的途径之一。20世纪70年代末,许多国家就在自动避碰决策系统领域进行了大量研究^[5,21,23等],在整个90年代,这种研究达到高潮。K. D. Jones 1978年指出:系统,尤其是以计算机为基础的系统,提高了操作的有效性,得到了恒定的安全错开距离,具有较高的沿着航线前进速度;对形势的评定一般说来较早而且较准确;使用系统时可以采取更恒定的操纵措施。不确定性操纵的概率较小^[27]。在其文章中还分析了使用 ARPA 的局限性,对研究、开发综合性系统抱有乐观态度。

就雷达而言,发明于1922年并很快在第二次世界大战中得到广泛应用,后成为商船上配备的标准设备,不久成为强制性要求,

并被认为是最终解决海上碰撞的设备,而结果正如 Alvin Moscov 在分析事故中所指出的那样:“保证海上人命安全将仍然是每艘船驾驶人员的责任^[25]”。虽然曾出现过“雷达协助避碰”的说法,但是关于如何有效使用该种设备的尝试却从未停止过。

1974年6月28日美国海岸警备队发表的一项正在立法通告中建议,10 000总吨及以上的船舶将强制要求装有“避碰设备”。虽然该项规定在1976年法案通过时被删除,但是在1977年3月美国总统要求运输部长制定规则,要求美国及停靠美国港口的20 000载重吨及以上的油船必须装备有雷达支持的系统,包括避碰系统。1977年11月在IMCO航行安全委员会会议上,美国建议以计算机为基础的避碰系统制定标准,并最终于1978年在伦敦召开的油船安全与防污会议上采纳了一项提案,即要求IMCO于1979年7月1日制定出有关标准,即所谓的ARPA运行标准。

从要求船舶强制装备雷达到ARPA虽然经过了较为漫长的过程与反复,但是总的趋势是与科学技术的发展联系在一起的。当前,由于计算机技术、人工智能等技术的发展,自动避碰决策系统的研究与大规模开发已提到历史日程上来。

船舶避碰决策研究的意义可归纳为以下几方面:

(1)总结归纳前人研究成果,为下一步研究提供方向。继承与发展是辩证的统一,总结前人的研究是为了发展。本书在这方面做了一些工作,希望能够推进船舶避碰决策研究。

(2)有助于船舶自动避碰决策系统的研究。正如本章开始所指出的那样,船舶自动避碰决策系统研究,是20世纪的前沿课题,而在自动避碰决策系统研究中,船舶避碰决策是重要的基础之一。本书将在这方面尽量采取一些新的方法,希望能为他人研究起到开阔思路的作用。

(3)减少或避免人为决策失误造成的碰撞事故。关于船舶自动避碰决策系统的研究,是在人一机系统中,根据新技术在船舶上

的应用,合理地确定人一机的工作比例,从而达到减少人为失误的目的;而避碰决策的研究,则是从根本上避免或减少人为决策失误的途径之一,也可为自动避碰决策系统的建立打下基础。

(4)促进海上交通工程学的发展与完善。在海上交通工程学中,研究的是海上交通——特定水域船舶行为的总体及运动的组合。因此,船舶避碰决策的研究在一定程度上会促进海上交通工程学的发展。

(5)加深对国际海上避碰规则的理解及模糊术语的量化研究,为避碰规则的理解与完善提供依据。在研究船舶自动避碰决策系统的过程中,不可避免地要解决船舶行为的问题及国际海上避碰规则中规定的某些术语的量化问题。如根据国际海上避碰规则规定,当存在“碰撞危险”时,让路船在当时环境许可的情况下,采取的避碰行动应该是“大幅度的”、“及早的”并导致会遇两船在“安全的距离上通过”。那么,什么叫“碰撞危险”呢?“碰撞危险”如何量化呢?在何时采取避碰行动才属于“及早的”呢?……模糊术语都需要在该选题中有所涉及,而在研究这些问题的过程中,又需要较为全面地总结、分析前人的研究内容,从而达到对避碰规则的理解与完善规则的目的。

二、当前船舶避碰决策研究存在的问题

当前船舶避碰决策研究中还存在如下的问题:

(1)在船舶碰撞危险度的评价方面所考虑的因素一般仅限于DCPA和TCPA,缺乏多因素的有效综合评价。正如在参考文献[1、2、3、4]中所指出的那样,应该用合适的方法实现碰撞危险度的多因素综合。

(2)在目前的自动避碰决策系统中,虽然研究的学者大多强调自动避碰决策系统能够有效地避免船舶间的不协调避碰行动,但是避免或减少船舶间的不协调避碰行动的机制,还不够完善,如参考文献[5、6、7]等,这些都是需要在船舶避碰决策中加以研究和完

善的。

(3)在船舶采取避碰行动标准方面,所采取的方法也是各不相同的。有的以保证两船间最小的安全会遇距离为标准(SDAM)^[7];有的以一定的碰撞危险度阈值为标准;而有的则以对所有船舶碰撞危险度最小的方向采取避碰行动等。在多船避让时,评估多船会遇的危险度,有的以各单船危险度的代数和^[3]作为本船与多船碰撞的危险度;有的则以特定的某一船的碰撞危险度作为多船会遇的碰撞危险度等。当然,碰撞危险度是确定主目标和其他危险目标的依据,它是确定避让效果的指标^[5~9]。但在多船会遇中,若认为碰撞危险度减小,避让是有成效的;碰撞危险度增大,则表示采用该航向、航速可能有危险的观点具有其局限性^[16]。

(4)在许多船舶避碰决策研究中,偏重考虑的是本船为让路船或有责任避让他船情况下,本船避碰决策所依据的信息、避让时机的确定等,而较少深入地研究本船为直航船情况下,当让路船未在适当时机采取避碰行动时,本船应如何确定避让时机等问题^[3~7]。

(5)大部分的参考文献,在确定本船与他船的碰撞危险度、避碰时机、避碰幅度时,考虑的大多是本船与他船具有相同认识情况下的避碰决策问题,而较少考虑由于两船的不同情况和对会遇局面等的不同认识对避碰决策的影响。在船舶智能(自动或专家)避碰系统研究中,也受到这种思想的影响。

(6)对如何利用船上设备所获得的信息等问题还缺乏深入的研究。

第二节 本书的研究内容、特点及方法

当前船舶避碰系统是由“船舶驾驶员—会遇船舶—环境”组成的一个复杂系统,随着船舶自动避碰决策系统的使用,该系统将会