



海事安全管理中的量化风险评估

尹静波◎著



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS



海洋强国出版工程

海事安全管理中的 量化风险评估

尹静波 著



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内容提要:

本书在总结海事安全管理的概况、海事风险评估内容、风险评估的方法基础上,结合研究中长期积累的海事安全事故数据库,设计了量化评估的风险指标和概率估计方法;并以此作为先验概率,构建定量分析的贝叶斯网络,从而进行海事风险分析,得出各因素之间相互影响关系及对海事风险水平的综合影响;在此基础上构建了建立航运监管部门、船东及船舶安全管理公司之间两两博弈及三者之间的共同博弈模型;最后将船舶定量安全评估的结果应用于博弈均衡策略,进行实证分析。

图书在版编目(CIP)数据

海事安全管理中的量化风险评估 / 尹静波著. —上海: 上海交通大学出版社, 2015
ISBN 978-7-313-14413-3

I. ①海… II. ①尹… III. ①海上运输—交通运输管理—风险评价 IV. ①F550.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 318592 号

海事安全管理中的量化风险评估

著 者: 尹静波

出版发行: 上海交通大学出版社

邮政编码: 200030

出 版 人: 韩建民

印 制: 杭州富春印务有限公司

开 本: 787 mm×960 mm 1/16

字 数: 230 千字

版 次: 2015 年 12 月第 1 版

书 号: ISBN 978-7-313-14413-3/F

定 价: 80.00 元

地 址: 上海市番禺路 951 号

电 话: 021-64071208

经 销: 全国新华书店

印 张: 20

印 次: 2015 年 12 月第 1 次印刷

版权所有 侵权必究

告读者: 如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话: 0571-64361028

前 言

海洋运输有通过能力大、运量大、运费低,以及对货物适应性强等长处,加上全球特有的地理条件,使它成为国际贸易中主要的运输方式,货物运输量占全部国际货物运输量的比例大约在 80% 以上。当前国际航运市场处于缓慢复苏阶段,“海上丝绸之路”战略的提出,为中国沿海港口及海上运输业的发展带来了机遇,同时海上运输业的发展也是“海上丝绸之路”战略实现的重要保障。而研究和探讨 21 世纪海上丝绸之路,不能不涉及海上交通的安全问题。当今的海上运输数量大、船只多、频率高,在安全保障方面面临越来越多的困难和挑战。船舶在运营中发生的碰撞、搁浅、沉没、火灾、油污等事故造成了大量的财产损失、环境污染和人员伤亡。从 1912 年泰坦尼克号到 2014 年岁月号沉船,再到 2015 年长江内河上东方之星号;从 1989 年埃克森·瓦尔迪兹号到 2002 年威望号油轮。关于各种海上安全事故的报道时有发生,这些事故不仅具有较大的影响,而且造成了极大地损失。因此,确保海上交通运输安全已经成为沿海各国发展经济、对外交流的头等大事。中共十八大党中央提出的建设海洋强国的战略目标中着重强调了“要保护海洋生态

环境”。

为了保证对安全性的各个方面有足够的掌控,并为可能造成事故的各种可预见的情况做好准备,我们应当应对好这些挑战。为了以恰当的方式进行安全管理,我们需要充分的信息支撑决策过程。然而,安全性是一个复杂的概念,同时是一个不容易观察或者直接测算的状态。动态性、国际性、潜在误差,以及人为及组织错误都是对安全性有影响的特点。为了使风险得到控制,必须对所涉及的风险进行评估,也必须制定和实施应对最显著风险的有效风险控制措施。因此,就需要对安全等级进行间接测算,即风险评估。为此我们编撰了这本《海事安全管理中的量化风险评估》,将自己的研究经验及认识与大家共同分享,希望对各位同行或即将从业的人员有所帮助。

本书系统的总结了海事安全管理的概况、海事风险评估内容、风险评估的方法、量化评估的风险指标和概率估计方法、贝叶斯网络模型、港口国监督内容及存在问题、船舶安全检查博弈研究等内容。

本书由尹静波组织撰写,郑凡、王冲、杨智森等博士研究生,以及石晋豪和覃泽儒硕士研究生,参与了资料整理和部分文稿的撰写工作。傅岷成教授对全书框架的策划提出了宝贵的意见。感谢编写工作中给予我大力支持和帮助的老师 and 同学。

编者在编写过程中参考了大量的书籍、文献和论文等,引用了许多专家学者的资料,在此谨向他们表示衷心的感谢。同时非常感谢上海交通大学出版社领导和老师们的支持。

目 录

第一章 绪论	1
一、研究背景	1
二、海事风险评估意义	4
三、目前研究现状及问题	8
四、海事量化风险评估的目的	11
第二章 海事安全管理原理	14
一、海事安全	14
二、海事风险	15
三、海事风险评估	20
四、综合安全评估(FSA)	24
五、海事事故	27
六、航运事故的原因	33
七、海事安全管理的回顾	42
第三章 风险评估方法	48
一、基本理论	49

二、基础风险分析(PHA)	53
三、危险和可操作性研究(HAZOP)	56
四、故障模式、影响及临界分析(FMECA)	59
五、故障树分析(FTA)	63
六、事件树分析(ETA)	71
七、因果模型	71
八、蒙特卡洛模拟法	72
九、统计分析法	74
 第四章 数据库和变量准备	 94
一、数据库来源	94
二、数据库概述	96
三、描述性统计和事故的关键性数据	99
 第五章 风险指标和概率估计	 106
一、事故概率的估计	106
二、后果估计	119
 第六章 基于贝叶斯网络的风险分析	 120
一、基于贝叶斯网络的海事风险分析	120
二、不同影响因素对后验概率的影响	130
三、小结	143
 第七章 港口国监督(PSC)	 144
一、船旗国监督与港口国监督的定义	144
二、船旗国监督的职能与责任	146
三、港口国监督的产生背景及由来	149

四、港口国监督的主要内容	152
五、港口国监督主要组织及其选船机制	158
六、港口国监控相关研究	168
 第八章 船舶检验策略研究	171
一、船舶检验博弈及船东策略选择	171
二、船舶安全检查的策略理论模型	173
三、博弈理论	174
四、纳什均衡	180
五、双矩阵博弈	186
六、港口国监督中海事风险评估的应用	210
 第九章 NIR 实施后航运安全管理博弈模型	215
一、模型假设	216
二、参数设定	217
三、双方模型	218
四、三方博弈模型	227
五、纳什均衡解的数据选取	232
六、纳什均衡解的数据分析	238
 第十章 结论	245
附表	247
参考文献	262
索引	299
后记	304

图 目 录

图 1-1	国际海上贸易量及商船发展	2
图 1-2	全球商船全损数量	3
图 1-3	海上事故中人员伤亡数量	4
图 2-1	降低海事风险的方法	19
图 2-2	风险评估对风险管理过程的推动作用	21
图 2-3	风险容忍度框架	23
图 2-4	综合安全评估流程	25
图 2-5	海事事故的原因分类	34
图 2-6	航运事故的原因构成	34
图 2-7	航运事故的人为因素分类	38
图 2-8	主要海上安全监管链	46
图 3-1	推进系统布置	51
图 3-2	一般系统结构	52
图 3-3	HAZOP 步骤的主要阶段	57
图 3-4	可调螺距螺旋桨(CPP)	58
图 3-5	FMECA 格式	62
图 3-6	故障树原理	65
图 3-7	简化的失火故障树	69
图 3-8	事件树分析图	71
图 3-9	因果模型分析图	72
图 3-10	逻辑曲线	78
图 3-11	贝叶斯网络举例	83
图 4-1	航运数据集	94
图 4-2	船舶类型的分布概况	97

图 4-3	船级社的分布概况	98
图 4-4	年度新建船只交付情况	98
图 4-5	船旗国分布	99
图 4-6	方便船旗国分布	100
图 4-7	事故严重程度	101
图 4-8	不同事故第一事件的事故数目	101
图 4-9	不同船型的事 故	102
图 4-10	事故船只船龄分析	102
图 4-11	不同月份的事 故数	103
图 4-12	世界海洋划分区域	103
图 4-13	各区域事故数	104
图 4-14	各注册船旗事故数	104
图 5-1	船舶类型及船龄对事故概率影响	113
图 5-2	不同船舶类型及吨位对事故概率影响	113
图 5-3	船级社及船龄对船舶事故概率影响	114
图 5-4	船级社及船舶吨位对事故概率影响	114
图 5-5	开放登记船舶及船龄对事故概率影响	116
图 5-6	开放登记船舶及船舶吨位对事故概率影响	116
图 6-1	航运事故贝叶斯网络模型	121
图 6-2	集装箱船先验事故概率	130
图 6-3	船舶条件对事故概率的影响(集装箱船)	131
图 6-4	船级社对船舶事故概率影响	133
图 6-5	船旗影响(集装箱船)	136
图 6-6	船舶大小影响(集装箱船)	138
图 6-7	船龄的影响(集装箱船)	140
图 8-1	安全分析的最优实施	171
图 8-2	博弈双方对应反应	208

图 8-3 最优检查比例随着 α 和 β 变化	213
图 8-4 随着 ω 的变化检查比例变化	213
图 9-1 航运安全管理策略的博弈	216
图 9-2 ω 变化时的最优检查概率.....	241
图 9-3 α 变化时的最优检查概率.....	243

表 目 录

表 3-1	系统描述术语	50
表 3-2	PHA 使用的格式	54
表 3-3	PHA 用于油轮运载的油	55
表 3-4	PHA 用于油轮运载的油气	55
表 3-5	PHA 用于油轮的动力	55
表 3-6	识别背离因素的引导词	57
表 3-7	识别背离因素	58
表 3-8	背离因素的原因及安全措施	59
表 3-9	频率类	61
表 3-10	后果类	61
表 3-11	故障树门符号	66
表 3-12	故障树事件符号	67
表 4-1	船舶安全检查数据	95
表 5-1	变量列表	109
表 5-2	模型拟合度	111
表 5-3	船舶特点变量显著性	112
表 5-4	船级社显著性水平	114
表 5-5	模型 II 主要变量结果	117
表 5-6	区域变量显著水平	117
表 5-7	不同条件下事故损失估计(百万美元)	119
表 6-1	模型拟合系数	123
表 6-2	节点条件概率	126
表 6-3	不同条件下事故条件概率(集装箱船)	127
表 6-4	不同船龄船舶修理及维护成本	128

表 6-5	不同条件下维护及修理成本(美元)	128
表 6-6	不同条件下事故损失(百万美元)	129
表 6-7	安全条件对后验概率影响	132
表 6-8	不同安全等级船舶事故预期损失(百万美元)	132
表 6-9	船级社影响	134
表 6-10	不同船级社预期事故损失(百万美元)	135
表 6-11	船旗影响	136
表 6-12	不同船舶登记国家预期损失(百万美元)	137
表 6-13	船舶吨位影响	138
表 6-14	不同大小船舶事故期望成本(百万美元)	139
表 6-15	船龄的影响	141
表 6-16	同船龄的期望损失(百万美元)	141
表 6-17	船舶类型的影响	141
表 6-18	敏感性分析	142
表 7-1	巴黎备忘录目标因素种类和相应目标值	160
表 7-2	东京备忘录组织船舶目标体系计算方法	166
表 8-1	双参与者,双策略支付矩阵	179
表 8-2	“划线法”寻找纳什均衡	181
表 8-3	“箭头法”寻找纳什均衡	183
表 8-4	二元博弈成本矩阵	192
表 8-5	期望损失矩阵	194
表 8-6	不同类型船舶最优检查概率	212
表 9-1	船东和监管部门的支付矩阵	220
表 9-2	船舶安全管理公司和监管部门的支付矩阵	223
表 9-3	船东和船舶安全管理公司的支付矩阵	225
表 9-4	船东,监管部门和船舶安全管理公司的支付矩阵 (检查船舶)	228

表 9-5 船东,监管部门和船舶安全管理公司的支付矩阵 (不检查船舶)	229
表 9-6 不同情况下船舶发生事故概率	234
表 9-7 估算维修成本的年龄变量	235
表 9-8 不同情况下估算的船舶维修成本 (US\$ M)	235
表 9-9 不同情况下船舶事故损失 (US\$ M)	236
表 9-10 不同船舶的最优检查概率(P_{1*})	239
表 9-11 集装箱船最优检查概率(P_{1*})	240
表 9-12 不同船舶的最优检查概率(P_{2*})	241
表 9-13 集装箱船最优检查概率(P_{1*})	242

第一章 绪 论

一、研究背景

在国际贸易总运量中,海上运输承担着三分之二以上的运输能力,随着国际贸易量的持续增长,对海上运输的需求也在以前所未有的速率增长。虽然 2008 年以来全球经济低迷以及受到世界商品贸易剧烈下滑的影响,海上贸易却依然保持增长,2014 年海上货物运输量达 98.42 亿吨(Review of Maritime Transport,2009)。

与之相应的商业船队也增长迅速。1973 年至 2014 年间船只的数量增长了 60%以上(见图 1-1)。2014 年底全球海运船队运力规模达到 17.5 亿载重吨(DWT)。

在我国约 84%的外贸出口货物由海上运输完成。2013 年底,我国海运船队总运力达到 2 亿载重吨,占全球总运力的 11.9%,列世界第三位;中国港口货物吞吐量达到 118 亿吨,集装箱吞吐量也达到 1.76 亿标准箱(TEU),双双居世界首位(UNCTAD,2015)。显然,航运已成为我国经济发展和对外贸易的重要支柱。“海上丝绸之路”战略的提出,更是为中国沿海港口及航运业的发展带来了机遇,同时航运业的发展也是“海上

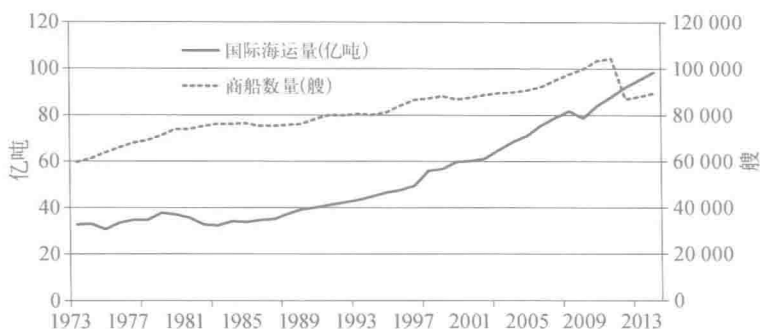


图 1-1 国际海上贸易量及商船发展

(数据来源: Review of Maritime Transport, 1960—2015)

丝绸之路”战略实现的重要保障。

然而研究和探讨 21 世纪海上丝绸之路,不能不涉及海上运输的安全问题。随着船舶数量不断增多,航行密度不断增大,航行环境在不断恶化。船舶日益趋向大型化、专业化,船舶航速不断提高,增加了船舶发生事故的风险。航运业具有高风险的特点,船舶在海中航行,无时无刻不面临着风险,船上的环境也具有一定的风险,船舶进港、货物装卸等船舶营运过程中都会有一定的风险。船舶在运行中发生的碰撞、搁浅、沉没、火灾、油污等事故,造成的危害是巨大的,不但可能造成重大的人身伤亡,而且可能造成巨大的社会、经济损失,有些事故甚至可能造成严重的环境污染。

1912 年 4 月,泰坦尼克号在其处女航中撞上冰山,1 500 人葬身海底,造成了当时在和平时期最严重的一次航海事故;2014 年 4 月“岁月(SEWOL)”号客轮在韩国西南海域发生浸水事故而下沉,最终 281 人确认遇难,23 人下落不明;2015 年 6 月,东方之星轮在从南京驶往重庆途中突遇龙卷风,在长江中游湖北监利水域沉没,442 人遇难,仅有 14 人生还。2002 年 11 月,载有 7.7 万吨燃料油的希腊油轮“威望”号,在西班牙西北部距海

岸 9 千米的海域遭遇风暴,船体断为两截沉没,约 2 000 万加仑的石油倾泄到海上,西班牙北部 500 千米的海岸上有 179 个海滩遭到重度污染,1 万多只海鸟死亡;1989 年 3 月“埃克森·瓦尔迪兹”号油轮,为了避让冰山而偏离了正常的航线,最终在美国阿拉斯加威廉王子湾触礁搁浅,导致 10 个油舱中的 8 个遭到损坏,最终溢油 37 000 吨,由于海域的特征使得它成为对环境污染和破坏性最大的溢油事件之一,污染海岸 1 609 千米,海域 7 770 平方千米。

关于各种海上安全事故的报道时有发生,这些事故不仅具有较大的影响,而且造成了极大的损失。因此,确保海上交通运输安全已经成为沿海各国发展经济、对外交流的头等大事。

随着现代造船技术的发展以及航行设备的革新,以及政府与公众的安全意识的不断增强,全世界船队每年发生事故导致全损的数量已显著降低,从 1973 年的 363 艘减少至 2003 年的 135 艘(见图 1-2)。

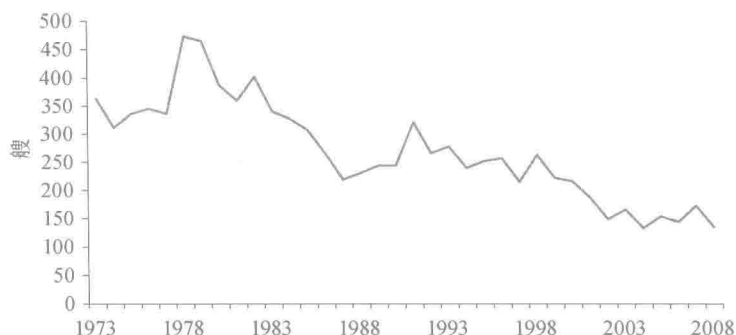


图 1-2 全球商船全损数量

(数据来源: World casualty statistics, 1993—2008)

全损数量的下降似乎表明航运业的安全状况已有所改善。但是,我们仍不能说海上运输的安全性是令人满意的。海上事故后果严重,包括大批人员丧生以及严重的环境破坏。“瓦尔