

《现代船舶力学》丛书

Risk Assessment in Marine and Ocean Engineering

船舶与海洋工程风险评估

张圣坤 白 勇 唐文勇 著

国防工业出版社

《现代船舶力学》丛书

船舶与海洋工程 风险评估

Risk Assessment in Marine and
Ocean Engineering

张圣坤 白勇 唐文勇 著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

船舶与海洋工程风险评估/张圣坤等著. —北京:国防工业出版社, 2003. 1

(现代船舶力学丛书)

ISBN 7-118-02962-9

I. 船... II. 张... III. ①船舶工程—风险分析
②海洋工程—风险分析 IV. ①U66②P75

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 077996 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

腾飞胶印厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×960 1/16 印张 11½ 200 千字

2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月北京第 1 次印刷

印数: 1—2000 册 定价: 29.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。
2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。
4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的

效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

**国防科技图书出版基金
评审委员会**

国防科技图书出版基金

第四届评审委员会组成人员

名誉主任委员 陈达植

顾问 黄 宁

主任委员 殷鹤龄

副主任委员 王 峰 张涵信 张又栋

秘书长 张又栋

副秘书长 崔士义 蔡 镭

委员 于景元 王小谟 甘茂治 冯允成

(按姓名笔画排序)

刘世参 杨星豪 李德毅 吴有生

何新贵 佟玉民 宋家树 张立同

张鸿元 陈火旺 侯正明 常显奇

崔尔杰 彭华良 韩祖南 舒长胜

《现代船舶力学》丛书 编辑委员会

名誉主任委员 黄平涛

顾问 姜来根

主任委员 吴有生

(以下按姓名笔画排序)

副主任委员 王国强 吴德铭 翁长俭 盛振邦

委员 尤子平 石仲堃 冯丹宇 许西安

刘应中 纪卓尚 杨士莪 吴秀恒

何友声 张圣坤 陈铁云 耿广生

徐秉汉 郭日修 崔维成 董世汤

彭华良 戴仰山 戴遗山

秘书 陈燮麟 赵德会 康伯霖

总 序

历史上蒸汽动力装置在船舶推进中的应用,改变了船舶在波浪中的航速与航线,也促进了 19 世纪中期船舶运动理论的诞生。从此,在牛顿力学的基础上,开始了船舶力学漫长的发展历程。于 20 世纪上半叶形成了自身较为系统的专业格局,并且在 20 世纪下半叶取得了突飞猛进的发展。

在 20 世纪后 40 年,随着世界经济大循环模式的形成,船舶的产量、品种大幅增长,船舶设计制造技术频频更新,改变着船舶与海上运输的面貌。21 世纪将是海洋的世纪,海洋经济、海洋开发、与海洋军民装备的发展需求更将给海洋运载器技术的进步以前所未有的巨大动力。船舶力学是一个与船舶工程紧密结合的力学领域。船舶类型的每一步更新与发展,都包含着在船舶力学的领域中认识与把握船舶所遭受的随机、复杂、险恶的环境载荷,改进航行性能,保证船体安全可靠等方面的科学与技术的进步。凡是船舶力学研究最活跃的地方,往往就是需求最明确、船舶新技术出现最快的地方。可以说,现代船舶发展的历史,也就是船舶力学发展的历史,船舶力学是船舶技术创新的重要源泉之一,而船舶的工程需求又是船舶力学发展的基石,两者紧密结合,与时俱进。因此,可以预见,进入 21 世纪以后,不用太长的时间,船舶力学发展的历史必将翻到崭新的一页。

面对这样的历史机遇,有必要对世纪之交船舶力学若干主要领域的前沿内容,以及我国船舶科技工作者希望有更多了解的新内容作一些归纳与介绍。这不仅是我国广大船舶科技工作者的愿望,也有助于为进一步发展船舶力学打好基础。

20 世纪 80 年代初以来,我国的船舶工业与船舶技术取得了迅速的发展,船舶总产量在 20 世纪末已稳居世界第三位。为奠定我国船舶技术与船舶工业发展的基础,我国的船舶力学工作者含辛茹苦,摩胼胝地工作,取得了丰硕成果,有的领域接近和达到了国际先进水平。本世纪初是我国船舶工业和船舶技术跨越式发展的重要历史时期,为进一步振兴我国的船舶技术与船舶工业,有必要把所取得的成果与国际动向结合起来,作必要的提炼与总结,供我国船舶与海洋工程界科技人员和高等学校师生参考。

本着上述目的,中国造船工程学会船舶力学学术委员会及部分船舶力学工作者倡议,在世纪之交,组织国内船舶力学的专家们,集体编著一套现代船舶力学丛书。这个倡议很快得到了原国防科工委和国防科技图书出版基金委员会的赞同。

1996 年成立了编委会。编委会的日常工作挂靠在中国造船工程学会船舶力学学术委员会,并在中国船舶科学研究中心的大力支持和国防科技图书出版基金委员会与国防工业出版社的指导下开展工作。

现代船舶力学丛书包括船舶水动力学、船舶结构力学、船舶设计和制造工艺中的力学问题等方面的专著。丛书注重理论与应用相结合,着眼于选题内容相对新颖与先进,并不追求覆盖范围全面与广泛。丛书内容难免会有缺陷与不足,但编委会希望在我国船舶科技界各有关院所、高校与造船企业的关怀和参加编著的专家学者的共同努力下,它的出版能够对推动我国船舶与海洋工程技术的发展,促进我国船舶工业的技术创新,以及加强中外船舶工程界的学术交流有所贡献。

吴有生

2002 年 9 月 8 日

前 言

科学技术的迅速发展,带来了社会进步,也带来了前所未有的风险。技术带来的好处是有目共睹的,同样,技术带来的风险也是真实的。这是个利弊共存、令人不安的事实。有的人对我们身边的风险熟视无睹,有的人则认为科技的发展已经在很大程度上规避了风险。事实上,在这科技高度发达的时代,风险依然无处不在,新的风险不断产生,因而技术的风险已经成为整个社会关注的热点,这就是我们要研究风险的最简单、最直接的原因。

风险往往是潜在的,甚至是未知的。我们的周围充满风险,这绝不是危言耸听,也是不以人的意志为转移的。这就提醒我们要正视现实,要处理风险,采取有效的措施来应对风险。

风险评估是一门科学,不能仅凭我们通常的感觉或者臆测来做出判断。风险同时与概率和后果有关,其最基本的特征是偶然性。我们不知道事故会在何时何地发生,那些不涉及概率的事故就不能称为风险。风险还必须涉及后果,不会造成危害的事故也不是风险。正因为如此,人们希望能消除风险,但这是不可能的。因为风险是由系统本身的复杂性、关联性和不确定性所决定的,不管常规的技术安全措施多么有效,该发生的事故依然会发生,这就是著名的墨菲法则。不过,人们在风险面前也不是无能为力、无所作为的,我们要在科学的分析和评估基础上,给出风险预报,力求在风险和收益中取得最佳平衡。

工程风险评估在核工程、航空、航天、化工、汽车工业中都已开始推广应用,并取得了很大的成就,风险评估在理论方法上也有了很大的进展。近年来,风险评估在船舶与海洋工程领域得到了很大关注,尤其是北海 Piper Alpha 平台的事故,对风险评估在船舶与海洋工程领域的应用和发展起了很大的推动作用。本书的作者若干年前就在工程的风险评估领域开始了研究,随着对这一领域国内外研究成果和最新进展的深入了解,深切地感到在我国开展工程风险评估的重要性和迫切性。

本书系统论述了船舶与海洋工程领域的风险评估方法。全书共分 8 章,前 4 章全面介绍风险评估方法的研究成果和现状,并系统论述定量风险评估程序的制定、常用的定性和定量分析方法以及人因可靠性分析,为船舶与海洋工程风险评估打下理论基础;后 4 章详细论述船舶与海洋工程实践中的风险评估方法,系统地介绍全面安全评估,最后以船舶碰撞和搁浅的风险评估为例,介绍风险理论知识的实

际应用。

全书由 3 位作者共同执笔完成。第一、三、八章由张圣坤教授及其助手编著,其余各章的英文稿由白勇教授编著,部分章节的内容以及中文稿由唐文勇副教授完成。博士研究生陈刚、秦炳军参与了研究工作,为本专著提供了许多有用的素材。

书中不妥之处,恳请读者不吝指正。

作 者

2002 年 1 月

内 容 简 介

本书系统论述了船舶与海洋工程领域的风险评估方法。全书共分八章,前四章全面介绍风险分析方法的研究成果和现状,并系统论述定量风险评估程序的制定、常用的定性和定量分析方法以及人因可靠性分析,为船舶与海洋工程风险分析打下理论基础;后面四章详细论述船舶与海洋工程实践中的风险评估方法,系统地介绍全面安全评估,最后以船舶碰撞和搁浅的风险分析为例,介绍风险理论知识的实际应用。

本书可供从事船舶与海洋工程设计、营运管理的工程技术人员参考,也可作为高等院校船舶与海洋工程类专业的教材和教学参考书。

Risk analysis methods and its applications have been introduced in detail. Eight chapters are included in this monograph. In the first four chapters, the advances of risk analysis research, qualitative and quantitative risk analysis methodology and human reliability analysis have been introduced extensively. The theory basis for risk analysis in marine and ocean engineering is also provided. The risk analysis methods such as Formal Safety Assessment (FSA), Reliability Centered Maintenance (RCM), and so on, which are applied in marine and ocean engineering have been introduced in detail in the last four chapters. Finally, risk analysis of ship collision and grounding is investigated to give readers some information about the application of risk analysis.

This monograph may be useful to engineers and designers of naval architecture and ocean engineering. It also can be used as teaching material or reference for naval architecture and ocean engineering specialty in academy.

目 录

第一章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 工程风险分析	2
1.2.1 风险的定义	2
1.2.2 风险分析及其构成	3
1.2.3 风险评估方法	4
1.2.4 概率风险评估的一般过程	6
1.3 工程风险评估中的热点	7
1.3.1 风险评估过程的相关性处理	7
1.3.2 动态风险评估	8
1.3.3 人因可靠性分析	9
1.3.4 不确定性	10
1.4 船舶与海洋工程风险评估	13
1.4.1 风险评估方法在海洋结构物规范制定过程中的应用	14
1.4.2 海洋结构物风险评估	15
1.4.3 需要解决的问题	18
参考文献	18
第二章 定量风险评估方法	20
2.1 简介	20
2.1.1 综述	20
2.1.2 有关的基本定义	22
2.2 风险的衡量	24
2.2.1 人员风险	24
2.2.2 环境风险	26
2.2.3 财产风险	26
2.3 风险接受准则	26
2.3.1 基本准则	26
2.3.2 与主要安全功能相关的风险接受准则	27

2.3.3 风险矩阵·····	27
2.3.4 ALARP 原则 ·····	28
2.3.5 比较准则·····	29
2.4 定量风险评估的计划、执行与应用 ·····	29
2.4.1 风险分析计划·····	29
2.4.2 系统定义·····	30
2.4.3 危险识别·····	30
2.4.4 底事件的成因及频率分析·····	31
2.4.5 风险产生的后果及风险增长分析·····	31
2.4.6 风险估计·····	33
2.4.7 减小风险的措施·····	33
参考文献 ·····	34
第三章 风险评估方法 ·····	35
3.1 数据的收集和处理·····	35
3.1.1 建库的必要性和数据来源·····	35
3.1.2 数据库简介·····	36
3.1.3 数据信息的处理·····	39
3.2 FMEA 方法 ·····	42
3.2.1 FMEA/FMECA 的主要内容 ·····	42
3.2.2 FMEA 的应用 ·····	45
3.3 故障树分析方法·····	46
3.3.1 故障树分析方法概述·····	46
3.3.2 故障树的定性分析·····	48
3.3.3 故障树的定量分析·····	50
3.3.4 重要度的计算·····	51
3.4 事件树分析方法·····	52
3.4.1 事件树分析方法概述·····	52
3.4.2 事件序列的重要度分析·····	55
3.5 模拟/概率分析方法 ·····	55
3.5.1 随机数的产生·····	56
3.5.2 基于离散事件树模型的 Monte-Carlo 仿真技术 ·····	58
3.6 模糊评估方法·····	64
3.6.1 有关模糊集的论述·····	65
3.6.2 模糊事件树原理·····	66
3.6.3 船舶搁浅概率的模糊事件树分析·····	69

参考文献	70
第四章 风险分析中的人因工程	72
4.1 概述	72
4.2 HRA 的流程	75
4.2.1 问题的定义	75
4.2.2 任务分析	77
4.2.3 人为错误分析	82
4.2.4 人为错误分析表	86
4.2.5 描述法	87
4.2.6 人为错误的量化	90
4.2.7 错误影响评估	91
4.2.8 减小人为错误的措施	91
4.2.9 质量保证和文件	93
4.3 HRA 的发展趋势	93
4.3.1 人为错误分析	93
4.3.2 数据库	93
4.3.3 校准	94
4.3.4 安全文化的评估	94
参考文献	94
第五章 以风险为中心的维护	96
5.1 概述	96
5.2 初步风险分析	97
5.3 RCM 分析	99
5.3.1 RCM 简介	99
5.3.2 RCM 的分析步骤	100
5.3.3 维修策略的改善	106
参考文献	106
第六章 风险评估在近海工程中的应用	107
6.1 概述	107
6.2 碰撞风险	107
6.2.1 碰撞船舶的分类	108
6.2.2 碰撞频率	108
6.2.3 碰撞能量	110
6.2.4 碰撞后果	111
6.2.5 减小碰撞风险的措施	112

6.2.6 碰撞风险的计算评估	112
6.3 爆炸风险	113
6.3.1 爆炸频率	113
6.3.2 爆炸载荷	114
6.3.3 爆炸后果	115
6.3.4 减小爆炸风险的措施	116
6.4 火灾风险	118
6.4.1 火灾的概述和危害程度	119
6.4.2 火灾后果	120
6.4.3 减小火灾风险	122
6.5 下落物体	123
6.5.1 载荷分布和物理属性	123
6.5.2 下落物体碰撞的频率	124
6.5.3 下落物体碰撞的后果	125
参考文献	126
第七章 风险评估在船舶工程中的应用	127
7.1 概述	127
7.2 综合安全评估的回顾	127
7.3 FSA 的功能模块	129
7.3.1 系统定义	129
7.3.2 危险辨识	130
7.3.3 船舶事故的发生频率分析	132
7.3.4 船舶事故的后果	133
7.3.5 风险估计	134
7.3.6 成本收益分析	135
7.4 应用实例	135
7.5 FSA 中的人与组织因素	135
7.6 FSA 在船舶中的应用	136
参考文献	136
第八章 风险评估方法在船舶碰撞与搁浅分析中的应用	138
8.1 概述	138
8.2 船舶碰撞与搁浅风险评估的流程	140
8.3 船舶碰撞与搁浅事故的概率计算	141
8.3.1 统计分析方法	141
8.3.2 数学模型方法	142

8.4 船舶碰撞与搁浅的环境风险评估	145
8.4.1 原油泄漏的概率计算方法	146
8.4.2 算例	148
8.5 船舶碰撞与搁浅事故中的人因可靠性分析	151
8.5.1 SAM 方法简介	152
8.5.2 用 SAM 方法分析船舶搁浅问题	154
8.5.3 结论	158
参考文献	158
附录	160