



湖北省学术著作出版专项资金资助项目
现代航运与物流:安全·绿色·智能技术研究丛书



长江航运安全监管 及应急技术

Safety and Emergency Technology
for Water Transportation in the Yangtze River

严新平 吴 兵 黄 明 著
陈厚忠 尹奇志 袁宗祥



武汉理工大学出版社

WUTP Wuhan University of Technology Press



湖北省学术著作出版专项资金资助项目

现代航运与物流：安全·绿色·智能技术研究丛书

长江航运安全监管 及应急技术

严新平 吴 兵 黄 明 著
陈厚忠 尹奇志 袁宗祥

武汉理工大学出版社

· 武汉 ·

内 容 提 要

本书系统地总结了长江水运安全监管和应急技术,并重点介绍了它在坝区水域、滚装船、溢油、三峡库区险情应急中的应用。本书的撰写参考了国内外大量的研究成果,并在此基础上进行了提炼和拓展。本书的主要内容包括绪论、长江三峡坝区航运系统安全性研究、长江三峡库区滚装船运输安全评估研究、长江水面溢油在线监测研究、三峡库区航运安全监管与应急方法研究和长江水上交通险情应急干预方法研究。

本书的主要读者对象为高等学校科研院所从事水上交通工程的研究人员以及海事局的海事管理人员,也可作为高年级本科专业教材,同时还可供从事交通运输工程和安全科学与工程研究的广大读者参考。

图书在版编目(CIP)数据

长江航运安全监管及应急技术/严新平等著. —武汉:武汉理工大学出版社,2017.12
ISBN 978-7-5629-5632-7

I. ①长… II. ①严… III. ①长江-航运-安全管理-研究 IV. ①F552.75

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 296946 号

项目负责:陈军东 陈 硕

责任编辑:陈军东

责任校对:夏冬琴

封面设计:兴和设计

出版发行:武汉理工大学出版社

武汉市洪山区珞狮路 122 号 邮编:430070

<http://www.wutp.com.cn> 理工图书网

E-mail:chenjd@whut.edu.cn

经 销 者:各地新华书店

印 刷 者:湖北恒泰印务有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:26.5

字 数:433 千字

版 次:2017 年 12 月第 1 版

印 次:2017 年 12 月第 1 次印刷

定 价:78.00 元(平装本)



凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:(027)87515798 87165708

现代航运与物流:安全·绿色·智能技术研究丛书

编审委员会

主任委员:严新平

航运物流与交通规划技术系列主任委员:张培林

内河航运技术系列主任委员:黄立文

船港设备绿色制造技术系列主任委员:袁成清

交通智能化与安全技术系列主任委员:吴超仲

委员(按姓氏笔画为序)

邓健	甘浪雄	田高	白秀琴	刘清
刘正林	刘明俊	刘敬贤	牟军敏	杨亚东
杨学忠	肖汉斌	吴建华	吴超仲	初秀民
张矢宇	张培林	陈宁	周新聪	钟鸣
袁成清	黄珍	黄立文	蒋惠园	蔡薇

秘书长:杨学忠

总责任编辑:陈军东

出版说明

航运与物流作为国家交通运输事业的重要组成部分,在国民经济尤其是沿海及内陆沿河沿江省份的区域经济发展中起着举足轻重的作用。我国是一个航运大国,航运事业在经济社会发展中扮演着重要的角色。然而,我国航运事业的管理水平和技术水平还不高,离建设航运强国的发展目标还有一定的差距。为了研究我国航运交通事业发展中的安全生产、交通运输规划、设备绿色节能设计等技术与管理方面的问题,立足于安全生产这一基础前提,从航运物流与社会经济、航运物流与生态环境、航运物流与信息技术等角度用环境生态学、信息学的知识来解决我国水运交通事业绿色化和智能化发展的问题,促进我国航运事业管理水平与技术水平的提升,加快航运强国的建设。因此,武汉理工大学出版社组织了国内外一批从事现代水运交通与物流研究的专家学者编纂了《现代航运与物流:安全·绿色·智能技术研究丛书》。

本丛书第一期拟出版二十多种图书,分为船港设备绿色制造技术、交通智能化与安全技术、航运物流与交通规划技术、内河航运技术等四个系列。本丛中很多著作的研究对象集中于内河航运物流,尤其是长江水系的内河航运物流。作为我国第一大内河航运水系的长江水系的航运物流,对长江经济带经济发展的促进作用十分明显。2011年年初,国务院发布《关于加快长江等内河水运发展的意见》,提出了内河水运发展目标,即利用10年左右的时间,建成畅通、高效、平安、绿色的现代化内河水运体系,2020年全国内河水路货运量将达到30亿吨以上,拟建成1.9万千米的国家高等级航道。2014年,国家确定加强长江黄金水道建设和发展,正式提出开发长江经济带的战略构想,这是继“西部大开发”“中部崛起”之后的又一个面向中西部地区发展的重要战略。围绕航运与物流开展深层次、全方位的科学研究,加强科研成果的传播与

转化,是实现国家中西部发展战略的必然要求。我们也冀望丛书的出版能够提升我国现代航运与物流的技术和管理水平,促进社会经济的发展。

组织一套大型的学术著作丛书的出版是一项艰巨复杂的任务,不可能一蹴而就。我们自 2012 年开始组织策划这套丛书的编写与出版工作,期间多次组织专门的研讨会对选题进行优化,首期确定的四个系列二十余种图书,将于 2017 年年底之前出版发行。本丛书的出版工作得到了湖北省学术著作出版专项资金项目的资助。本丛书涉及的研究领域广泛,在这方面的研究成果众多,首期出版的项目不能完全包含所有的研究成果,难免挂一漏万。有鉴于此,我们将丛书设计成一个开放的体系,择机推出后续的出版项目,与读者分享更多的我国现代航运与物流业的优秀学术研究成果,以促进我国交通运输行业的专家学者在这个学术平台上的交流。

现代航运与物流:安全·绿色·智能技术研究丛书编委会

2015 年 8 月

序

内河航运是综合运输体系的重要组成部分,是国民经济的基础性产业。2014年国务院印发的《关于依托黄金水道推动长江经济带发展的指导意见》指出:长江是货运量位居全球内河第一的黄金水道,在区域发展总体格局中具有重要战略地位,依托黄金水道推动长江经济带发展,需要进一步健全智能服务和安全保障系统,从而提升长江黄金水道功能。

水路运输安全是公共安全的重要组成部分,开展长江航运安全监管与应急的研究可以识别长江航运系统的主要风险源,评价长江航运系统的安全状况,并在此基础上进一步提出安全保障措施,从而保障长江航运安全、高效地运行,防止水域环境污染。

严新平教授及其团队在国家自然科学基金、交通运输部黄金水道重大专项、国家科技支撑计划、欧盟第七科技框架计划等项目的支持下,围绕长江航运系统,开展了大量安全监管与应急的研究工作,为我国内河航运安全监管与应急的研究积累了宝贵的经验。严新平教授及其团队在内河航运安全监管与应急领域多年的辛勤耕耘为本书的内容奠定了坚实基础。

本书侧重于安全监管及应急理论与方法在长江航运的应用,重点研究长江三峡坝区航运系统的安全性、库区滚装船运输安全评估、水面溢油在线监测、库区航运安全监管与应急方法以及险情应急干预方法等内容。

我相信本书的出版不仅对长江航运安全监管和应急方面的经验推广,促进长江航运风险评价和应急能力的提升具有重要的意义,而且对于推动我国安全与应急管理学科的发展具有积极作用。

中国工程院院士
清华大学教授



2016年10月8日

前 言

我国内河航运资源丰富,内河航道通航里程超过 12.5 万公里,包括长江水系、珠江水系、黄河水系、黑龙江水系、京杭运河和闽江水系等六大水系。这些航运资源对我国社会经济发展发挥了重要作用。近年来,我国内河航运货运吞吐量一直稳居世界首位。2015 年,内河航运完成货运量 34.59 亿吨、货物周转量 13312.41 亿吨公里,完成旅客货运量 1.04 亿人次。

长江是我国内河航运的重要组成部分,是世界上运量最大的通航河流,素有“黄金水道”之称。截至 2015 年,长江干线已有 10 个亿吨大港,420 余个万吨级泊位,并在重庆、武汉、上海形成了长江上、中、下游的三个航运中心。伴随着我国经济社会的不断发展,我国长江航运事业蓬勃发展,长江航运安全监管与应急也迎来了新的挑战。为建成全方位覆盖、全天候监控、快速反应的现代化水上交通安全监管系统和救援体系,实现“有效监管、快速救助”,我国众多科研和管理机构积极开展了长江航运安全监管与应急方面的理论研究和实践探讨。2005 年,长江江苏段水域引入了船舶定线制,并于 2010 年成功将定线制上延至安徽段,同时三峡库区航段也于 2010 年全面引入定线制;2007 年,江苏海事局运用地理信息系统(Geographic Information System, GIS)提升该水域的安全监管与应急水平;2012 年,电子巡航系统在长江海事局全辖区正式上线执法。

为了更好地开展长江航运安全生产的科技创新,2006 年武汉理工大学与长江海事局联合成立了“长江海事研究中心”,开展长江海事监管、应急与安全决策的理论、方法和技术研究,武汉理工大学严新平教授兼任“长江海事研究中心”主任。严新平教授及其团队师生先后承担了国家自然科学基金青年基金项目“不确定条件下船舶通航风险的评价方法和演化机理研究”,交通运输部黄金水道重大专项“长江黄金水道重点航段通航安全保障关键技术研究”,国家科技支撑计划“复杂航段安全驾驶与应急能力提升技术及应用”,欧盟第

七科技框架计划(FP7)“风险评估与决策科学方法研究”等科研项目,在长江航运安全和监管方面开展了深入和系统的研究工作。2014年经科技部批准,依托武汉理工大学组建了全国唯一面向航运安全与应急研究的“国家水运安全工程技术研究中心”。本书的框架和内容是在总结作者及其团队师生多年的理论研究和解决实际问题基础上形成的。

本书主要针对内河航运中的安全监管和应急问题,以长江三峡库区为主要研究对象,重点研究了航运系统安全性评价、库区滚装船运输安全评估、内河水面溢油在线监测、库区航运安全监管与应急方法以及险情应急干预方法等问题。全书共分为6章。第1章介绍了内河航运安全的内涵、影响因素以及目前国内外在内河航运安全监管与应急方面的研究现状。第2章针对长江三峡坝区航运系统安全性开展研究,包括三峡航运系统的构成、作用机理、总体特征、影响风险的主要因素、安全性评价及风险应对措施。第3章针对三峡库区滚装船安全问题开展研究,包括滚装船运输系统构成、风险识别、风险分析、风险评价和风险控制。第4章针对内河水面溢油在线监测问题开展研究,包括水面油膜监测传感器的数据采集与处理、内河溢油在线监测、信息传输和溢油量估计与趋势预测。第5章针对三峡库区的航运安全监管和应急方法开展研究,包括三峡库区安全监管和应急风险分析、监管模式、辅助决策支持技术和应急资源配置方法。第6章针对长江险情的干预方法开展研究,包括多部门协同的应急决策方法、多阶段事故决策方法和应急干预效果评价方法等。

全书由严新平教授制订写作提纲,由严新平教授及其博士研究生黄明、陈厚忠、尹奇志、谭志荣、袁宗祥和吴兵等共同撰写和完成。本书共分为6章,参与撰写人员为:第1章,严新平;第2章,陈厚忠,严新平;第3章,黄明,严新平;第4章,尹奇志,严新平;第5章,袁宗祥,谭志荣,严新平;第6章,吴兵,严新平。

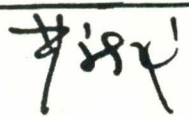
本书的撰写参考了国内外开展航运安全监管与应急研究工作者的相关成果。同时,本书的一些学术观点也来源于武汉理工大学智能交通系统研究中心、国家水运安全工程技术研究中心等单位师生们的研究成果。本书得到了中国工程院院士、清华大学公共安全研究院范维澄教授的鼓励和肯定,范维澄教授还为本书作序。本书的出版得益于武汉理工大学出版社的大力帮助和湖

北省学术著作出版专项资金资助项目的资助。在此,一并表示衷心的感谢。

随着长江航运的进一步发展,长江航运有了新的变化:长江下游 12.5 m 深水航道的建设,长江中游 6 m 深水航道的建设,三峡库区水域升船机的使用。此外,2016 年以来长江水上管理体制发生了较大的变革,这些新的航行条件和管理体制对长江航运的安全监管与应急提出了新的要求。因此,我们要进一步积极利用高新技术,创新内河航运安全监管与应急模式,大力提升内河航运安全水平。由于作者学识水平有限,本书难免有不完善之处,恳请读者批评指正。

2016 年 7 月 28 日于武汉理工大学

余家头校区航海大楼



目 录

1 绪 论	1
1.1 内河航运安全概述	1
1.1.1 内河航运安全内涵	1
1.1.2 内河航运安全影响因素	2
1.2 内河航运安全研究现状	3
1.2.1 内河库区航运系统安全研究现状	3
1.2.2 内河滚装船运输安全研究现状	5
2 长江三峡坝区航运系统安全性研究	14
2.1 长江三峡坝区航运系统概述	14
2.1.1 航运系统构成的一般形式	14
2.1.2 长江三峡坝区航运系统的结构	14
2.1.3 长江三峡坝区航运系统构成分析	17
2.2 长江三峡坝区航运系统要素作用机理分析	41
2.3 长江三峡坝区航运系统的总体特征	44
2.4 长江三峡坝区航运系统风险识别与分析	46
2.4.1 系统风险识别	46
2.4.2 长江三峡坝区航运系统事故/险情统计分析	47
2.4.3 长江三峡坝区航运系统风险识别	60
2.5 长江三峡坝区航运系统安全性评价	80
2.5.1 安全性评价的目的	80
2.5.2 坝区航运系统安全评价指标体系	81
2.5.3 坝区航运系统安全模糊综合评价	82

2.5.4	危险与安全的判断	87
2.5.5	三峡坝区航运系统安全性预测	89
3	长江三峡库区滚装船运输安全评估研究	99
3.1	滚装船运输系统构成分析	99
3.1.1	滚装船运输系统的构成	99
3.1.2	滚装船运输过程	101
3.2	滚装船运输系统风险识别	103
3.2.1	风险识别方法	103
3.2.2	风险类别分析	104
3.2.3	风险因素分析	106
3.2.4	风险度计算	107
3.2.5	实例分析	108
3.3	滚装船运输系统风险分析	110
3.3.1	基于统计的风险事件概率分析	110
3.3.2	基于事件树的风险事件概率分析	113
3.3.3	风险后果严重程度分析	114
3.3.4	风险模拟仿真分析	118
3.4	滚装船运输系统风险评价	137
3.4.1	风险准则	137
3.4.2	风险评价的指导思想	138
3.4.3	风险评价	138
3.5	滚装船运输系统风险控制	146
3.5.1	风险发生概率控制	146
3.5.2	风险损害控制	147
3.5.3	风险控制模型	147
3.5.4	风险控制措施	148
3.5.5	应急救助体系	153

4 长江水面溢油在线监测研究	159
4.1 溢油监测传感器	159
4.2 长江水面油膜监测传感器的实验数据采集	162
4.2.1 可见光传感器的水面油膜监测实验数据采集	162
4.2.2 红外传感器的水面油膜监测实验数据采集	163
4.2.3 ID-227 传感器的水面油膜监测实验数据采集	165
4.2.4 OFD-1 传感器的水面油膜监测实验数据采集	179
4.3 长江水面油膜监测传感器的实验数据处理	195
4.3.1 可见光传感器的水面油膜监测实验数据处理	195
4.3.2 红外传感器的水面油膜监测实验数据处理	196
4.3.3 ID-227 传感器的水面油膜监测实验数据处理	197
4.3.4 OFD-1 传感器的水面油膜监测实验数据处理	206
4.4 内河溢油在线监测系统的设计	211
4.4.1 系统分析	211
4.4.2 内河溢油在线监测系统整体设计方案	213
4.4.3 溢油应急相关传感器的选择	215
4.4.4 传感器电路设计	217
4.5 内河溢油远程监测信息的传输系统	221
4.5.1 溢油远程监测信息系统数据分类和构架原则	221
4.5.2 溢油信息传输系统整体架构	222
4.5.3 溢油在线监测的信息处理系统研究	224
4.5.4 系统性能测试	226
4.5.5 测试结果	227
4.6 基于溢油监测系统的溢油量估计与趋势预测	231
4.6.1 基于层次分析法的溢油监测网络的布设	232
4.6.2 基于溢油监测系统的溢油量的估算	236
4.6.3 基于溢油监测系统的溢油轨迹的预测	238

4.6.4	基于溢油轨迹预测的溢油围控优化	243
5	三峡库区航运安全监管与应急方法研究	250
5.1	三峡库区航运安全监管与救助形势分析	250
5.1.1	安全状况分析	250
5.1.2	监管现状及不足	251
5.2	三峡库区水位变化对航道影响的模拟分析	254
5.2.1	模拟仿真分析过程及思路	254
5.2.2	数据选取	255
5.2.3	数据处理与制作	255
5.2.4	三维仿真模拟分析	257
5.3	三峡库区航运安全监管与应急风险识别	260
5.3.1	基本框架	260
5.3.2	基本方法	262
5.3.3	工作程序	264
5.4	三峡库区航运安全监管与应急风险评估模型	267
5.4.1	理论方法	267
5.4.2	模型构建	269
5.5	三峡库区航运安全监管与应急模式研究	279
5.5.1	内河航运安全管理现状	279
5.5.2	“4R”航运安全监管与应急模式内涵	281
5.5.3	“4R”航运安全监管与应急模式的工作流程	282
5.5.4	“4R”航运安全监管与应急支撑体系	286
5.6	三峡库区航运安全应急决策与救助方案辅助决策支持技术 ...	289
5.6.1	航运安全应急预案的数字化方法	289
5.6.2	航运安全应急决策模型	295
5.6.3	应急救助方案辅助决策系统需求分析	308
5.6.4	应急救助方案辅助决策系统总体设计	311

5.6.5 应急救助方案辅助决策系统的软件实现	319
5.7 三峡库区航运安全监管与应急资源配置方法研究	321
5.7.1 三峡库区航运安全监管与应急资源现状	321
5.7.2 三峡库区航运安全监管与应急资源配置方法	323
5.7.3 三峡库区航运安全监管与应急资源配置站点优化	327
5.7.4 三峡库区航运安全监管与应急资源配置方案	327
6 长江水上交通险情应急干预方法研究	334
6.1 险情和事故的界定	334
6.2 情景和屏障的险情发展模型	335
6.2.1 险情发展模型框架	335
6.2.2 险情发展过程中的安全屏障系统	336
6.2.3 水上交通险情情景分析	337
6.3 险情发展和应急干预特点分析	338
6.4 长江典型险情数据统计与分析	340
6.4.1 长江失控船舶统计	340
6.4.2 应急干预效果评价数据	343
6.5 多部门协同的应急处置决策方法研究	345
6.5.1 多部门协同下的应急问题描述	345
6.5.2 多部门协同下的初始应急决策框架	347
6.5.3 偏好决策下的决策准则权重获取	352
6.5.4 多部门协同下的各部门权重获取	355
6.5.5 最优应急方案选择	358
6.5.6 失控船舶应急案例分析	360
6.6 长江水上交通事故多阶段应急决策方法	369
6.6.1 险情多阶段应急决策框架	369
6.6.2 险情发展情景描述	372
6.6.3 建立多阶段决策矩阵	372

6.6.4	合成多阶段决策矩阵	374
6.6.5	选择最优决策方案	376
6.6.6	海事部门多阶段应急案例分析	377
6.7	水上交通事故应急干预效果评价方法	385
6.7.1	应急干预效果评价问题描述	385
6.7.2	建立空间序列数据包络方法	389
6.7.3	应急干预效果评价数据	394
6.7.4	应急干预效果评价模型验证	396

1 绪 论

1.1 内河航运安全概述

1.1.1 内河航运安全内涵

内河航运安全的内涵涉及安全、险情、事故、危险、风险等相关概念^[1]。内河航运安全可归纳为两种,即绝对安全和相对安全。绝对安全是指船舶在内河航行中没有任何危险、不受任何威胁、不出任何航运事故,即消除导致人员伤亡、财产损失和环境污染的条件,这种安全观认为发生人员伤亡的概率为零,这在现实的内河航运中是不存在的,而由于过分强调安全的绝对性,其应用范围受到了很大限制。相对安全是普遍接受的安全观,是指船舶在航行中被判断为面临不超过允许极限的危险性,即生命、财产和环境没有受到损害的危险或控制在可接受水平的状态。由此可知,安全是在具有一定危险条件下的状态,安全并非绝对无事故。

发生航运安全事故,内河航运系统不一定处于危险状态;航运事故不发生,也不能认为航运系统不处于危险状态。因此,事故不能作为判断系统危险和安全状态的唯一标准。

事故总是发生在操作的现场,总是伴随险情的发展而发生在生产过程之中,事故是隐患(险情)发展的结果,而隐患(险情)是事故发生的必要条件。

由于内河航运安全与内河航运危险是相对而言的,因此,可从险情、事故、风险三方面说明内河航运安全^[1]。

险情是指内河航运系统从相对安全状态变为事故的临界状态,即接近发生事故的情况。

事故是指船舶在航行过程中受到的意外灾害和损失,是航运安全的最终表征形式,以险情累积为前提。

风险是指船舶在航行过程中的一种潜在的不安全状态,一定条件下发生