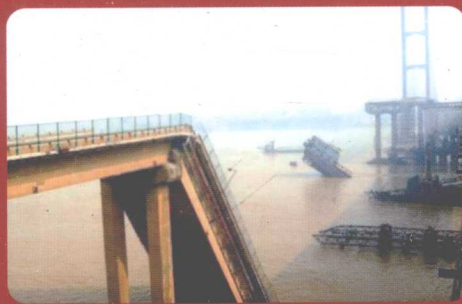


*Probabilistic Risk Assessment and Safety
Measurements of Bridges Under Vessel Collisions*

桥梁船撞概率 风险评估与措施

王君杰 耿波 著



人民交通出版社
China Communications Press

U447
WJ5

桥梁船撞概率风险评估与措施

王君杰 耿 波 著



宁波大学00712141

人民交通出版社

内 容 提 要

本书总结了作者在桥梁船撞方面近几年的研究成果,同时也对国际上相关的研究成果进行了比较系统的梳理。书中论述了桥梁船撞风险评估中涉及的各种问题及其基本的经验概率评估方法以及降低桥梁船撞风险的措施。主要内容包括:桥梁船撞风险管理的概念与方法,船撞风险评估数据库,船撞安全环境数据与分析,船撞事件发生概率计算,船撞损伤概率,船撞风险决策准则,船撞概率风险分析软件 PRAVB 与应用,船撞风险管理措施,船撞防护结构,桥梁船撞设计样板指南。

本书可供桥梁科研和设计人员、桥梁养护管理人员、桥梁安全管理部门的人员参考使用,也可作为高等院校桥梁工程专业研究生和高年级本科生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

桥梁船撞概率风险评估与措施 / 王君杰, 耿波著. —北京: 人民交通出版社, 2010.3

ISBN 978-7-114-08004-3

I. 桥… II. ①王…②耿… III. 桥—船舶碰撞—概率—风险分析 IV. U447

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 190767 号

书 名: 桥梁船撞概率风险评估与措施

著 作 者: 王君杰 耿 波

责任编辑: 周往莲

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010) 59757969, 59757973

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京交通印务实业公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 20

字 数: 474千

版 次: 2010年3月第1版

印 次: 2010年3月第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-08004-3

印 数: 0001~2000册

定 价: 69.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前言 QIANYAN

跨越航道修建桥梁,船撞是一个重要的安全问题。

自20世纪80年代以来,我国开展了大规模公路与铁路交通基础设施建设,已修建和规划修建大量跨航道桥梁,同时我国船舶航运业也发展快速。上述两个因素使得我国桥梁工程领域的从业者必须解决桥梁的船撞安全分析和设计理论问题。特别是2007年6月15日广东省佛山市325国道原九江大桥因挖沙船撞击倒塌之后,桥梁船撞安全问题更加引起我国桥梁工程界的高度重视。

自2002年起,项海帆、范立础两位院士远见卓识,在同济大学学报发表了论文“船撞桥设计理论的现状与需要进一步研究的问题”之后,作者在两位院士指导下开展桥梁船撞安全问题的研究工作,至今已历7年。本书叙述的主要是作者在桥梁船撞概率安全评估方面的点滴研究成果。

本书第一章对我国的跨航道桥梁建设、桥梁船撞事故、桥梁船撞安全问题国内外研究现状和相关规范的发展情况进行了概要介绍。第二章对桥梁船撞事故发生原因进行了详细的分析,在风险管理环境的理念下提出了桥梁船撞安全评估的总体框架。第三章提出了桥梁船撞安全评估数据库的结构、数据内容和数据编码方法。第四章对桥梁船撞安全环境分析涉及到的基本问题通过典型的工程实例进行了叙述。第五章对桥梁船撞概率的计算方法进行了总结,提出了一个改进的计算模型,并结合三峡库区的观测数据,对模型参数的确定方法提出了建议。本章还对国内外桥梁船撞事故发生概率的观察结果进行了收集和总结。第六章提出了影响船舶撞击力和桥梁抗撞能力主要因素的概率描述方法。第七章对现有的工程结构风险决策准则进行了总结与分析,提出了桥梁船撞倒塌概率和多损伤状态的目标倒塌概率建议值。第八章介绍了作者开发的一个桥梁船撞概率安全评估软件。第九章概要介绍了桥梁船撞安全管理措施。第十章概要介绍了桥梁防船撞结构的研发情况。第十一章中,作者虚编了一个“桥梁船撞设计样板指南”,作为我国桥梁防船撞设计指南编写的一个建议。另外,书末两个附录分别提供了我国部分航道桥梁与船撞相关的基本信息和国内外主要桥梁船撞事故的基本统计资料,希望可以为读者提供实用性的基础统计信息。

能够完成此书,首先要感谢范立础和项海帆两位院士。作者在桥梁防船撞安全方面的研究工作是在他们的直接指导和大力支持下完成的,因此本书首先是献给他们的。同时对两位院士为我国桥梁工程理论与技术的发展尽心竭力的精神表示深深的敬意。

2002年以来第一作者指导研究生对桥梁船撞安全问题进行了持续的研究,颜海泉、钱铨、孙霖、陈诚、孙振、耿波和欧碧峰以及陈艾荣教授与第一作者共同指导的博士研究生林铁良等

完成了系列的硕士和博士学位论文,本书是部分相关研究成果的总结。第一作者对学生们辛勤和出色的工作表示感谢。

感谢同济大学胡世德教授、陈艾荣教授、孙利民教授、石雪飞教授和徐利平教授级高工等同事的支持。

江苏省交通厅原副厅长周世忠提供的美国 Michael A. Knott 工程师制作的“Background & Historic Collisions Vessel Collision Design of Highway Bridges”CD-ROM,包括了 20 世纪 90 年代以前全球范围内众多的桥梁船撞事故统计资料和图片,合乐公司的陈淦伟博士提供的丹麦大带桥船撞研究的系列资料,为作者了解国际上桥梁船撞研究的历史提供了宝贵的信息,这里表达作者诚挚的感谢。

交通运输部总工程师周海涛与作者在南京关于考虑船撞因素时桥墩构造设计方面的讨论对本书部分内容的叙述起到了重要的参考作用,在此致以诚挚的感谢。

感谢中交公路规划设计院有限公司张喜刚教授级高工、崔冰教授级高工、王麒高级工程师和查亚平高级工程师的支持;感谢重庆交通科研设计院王福敏研究员、汪宏教授级高工的鼎力支持;感谢上海市政工程设计研究院邵长宇设计大师、卢永成教授级高工、丁健康教授级高工的支持;感谢广东省高速公路有限公司李卫民教授级高工、潘放高级工程师和吴玉财高级工程师的支持;感谢广东省路桥建设发展有限公司曹映泓博士的支持;感谢广东省公路工程公司吴玉刚总工的支持。

感谢中交公路规划设计院有限公司、重庆交通科研设计院、上海市政工程设计研究院、广东省高速公路有限公司等科研合作单位长期的支持与协助。

感谢博士研究生姜华、付涛、董正方,硕士研究生卜令涛、曹聪慧、张君健等在书稿整理过程中完成的大量的文字整理工作。

作者在桥梁船撞方面的研究工作得到了交通运输部西部交通建设科技项目(西部地区内河桥梁船撞标准与设计指南研究,200731882234;三峡库区跨江大桥船桥碰撞规律、防撞措施设计与预警系统研究,200631800047)、国家自然科学基金重点项目(大型结构与特殊环境动力相互作用的数值试验,50538050)、国家高新技术研究发展专项(863 计划,超千米斜拉桥体系及减灾减振技术研究,2006AA11Z120)等国家和部委项目的支持,同时还得到了苏通大桥建设指挥部、上海长江隧桥建设指挥部、湛江大桥建设指挥部、广东省高速公路有限公司和汕头海湾大桥有限公司等单位的支持,特此致谢。

一些资料特别是图片来源于 Internet 的查询。部分来自 Internet 的数据和图片引用关系复杂,本书作者没有将所查询的网址一一列出,但对网络信息发布者的工作表示感谢。

由于我国在桥梁船撞安全方面的应用参考书籍很少,因此作者不揣冒昧写成此书,希望可以以为我国的桥梁工程设计人员提供一本较为系统的参考资料。由于作者水平所限,书中疏漏与疑问之处在所难免,恳请读者不吝批评指正。

另外,作者的一些不成熟的想法也写在书中,供同行讨论、批评与指正,以期共同推进桥梁船撞安全问题的研究。

作者
同济大学桥梁馆
2009 年秋

目录 MULU

第一章 绪论	1
第一节 中国的航道桥梁	1
第二节 船舶撞击桥事故综述	4
第三节 船桥碰撞事故的后果	13
第四节 桥梁船撞安全研究与设计规范的沿革与现状	16
第五节 桥梁船撞风险决策与全寿命设计理念	19
参考文献	20
第二章 桥梁船撞风险管理的概念与方法	23
第一节 工程风险管理的一般概念	23
第二节 桥梁船撞事故发生原因统计	29
第三节 桥梁船损事故与桥梁结构	31
第四节 桥梁船撞风险因素综合分析	33
第五节 桥梁船撞风险管理与决策的基本框架	37
参考文献	39
第三章 船撞风险评估数据库	40
第一节 概述	40
第二节 数据库功能设计	40
第三节 数据库的内容及编码	41
参考文献	52
第四章 桥梁船撞安全环境数据与分析	54
第一节 自然环境	54
第二节 港口、码头与锚地	58
第三节 船舶	60
第四节 船桥碰撞与水上交通事故分析	70
第五节 船舶可达性分析	72
第六节 船舶可能的撞击部位	74
第七节 船舶与桥梁接触的典型场景	80

第八节	桥墩的临界冲击速度	82
第九节	小结	83
	参考文献	83
第五章	桥梁船撞事件发生概率计算	84
第一节	概述	84
第二节	桥梁船撞风险分析的故障树方法	85
第三节	用于桥梁船撞概率计算的船舶分类方法	87
第四节	现有桥梁船撞概率计算模型评述	91
第五节	三参数路径积分模型	95
第六节	碰撞概率模型的参数统计实例	102
第七节	助航系统对桥梁船撞概率的修正	116
第八节	失控漂移船舶碰撞概率的数值计算	118
第九节	船舶碰撞桥梁上部结构的概率	122
第十节	船桥碰撞概率统计	124
	参考文献	126
第六章	桥梁船撞损伤概率	128
第一节	简述	128
第二节	桥梁船撞失效概率的计算	128
第三节	等效静力船撞力公式	130
第四节	船撞力的概率特性	134
第五节	被动防撞系统对船撞力的修正	143
第六节	柱式混凝土构件断面能力的概率描述	144
第七节	桥梁桩基础抗水平力的能力	148
第八节	支座与上部结构抗力	154
第九节	抗冲击能力的应变速率效应	154
	参考文献	159
第七章	桥梁船撞风险决策准则	161
第一节	风险决策的一般原则	161
第二节	个人风险准则	162
第三节	社会风险准则	165
第四节	费用—效益准则	170
第五节	行业技术标准蕴含的失效概率	174
第六节	桥梁船撞风险等级评价准则和船撞设计目标失效概率	177
	参考文献	183
第八章	桥梁船撞概率风险分析软件 PRAVB 与应用	185
第一节	PRAVB 软件开发概述	185
第二节	PRAVB 软件的框架设计	186
第三节	PRAVB 软件的功能界面介绍	187

第四节	PRAVB 软件在南京长江第四大桥中的应用	204
第五节	PRAVB 软件在忠县长江大桥中的应用	212
	参考文献	222
第九章	桥梁船撞风险管理措施	223
第一节	风险管理制度	223
第二节	与桥梁结构相关的降低船撞风险的措施	225
第三节	航道与航行管理	231
第四节	桥梁船撞保险	237
第五节	桥梁船撞监测、预警与应急救援	239
	参考文献	241
第十章	桥梁防撞结构	243
第一节	被动防撞措施的分类	243
第二节	独立式防撞系统	244
第三节	附着式防撞系统	257
第四节	一体式防撞系统	266
	参考文献	270
第十一章	桥梁船撞设计样板指南	272
1	总则	272
2	主要术语和符号	272
3	桥梁船撞设计的基本要求	273
4	船舶撞击力估算方法	275
5	设计船撞力与设计代表船舶	276
6	桥梁结构抗撞设计	280
7	桥梁船撞概念设计	281
8	桥梁防撞设施设计	282
9	船撞风险管理措施	283
	参考文献	284
附录 I	跨长江与跨海湾主要桥梁概况	285
附录 II	桥梁事故统计	291



第一节 中国的航道桥梁

一、中国水系、海湾分布和水运规划^[1]

中国河流和海湾(海峡)众多,从北至南可划分为松花江、辽河、海河、黄河、淮河、长江、珠江水系和太湖流域。中国的海湾(海峡)主要包括渤海湾、胶州湾、杭州湾、珠江口、琼州海峡和台湾海峡等。根据交通运输部的规划,中国内河高等级航道和主要港口布局方案见图 1-1。

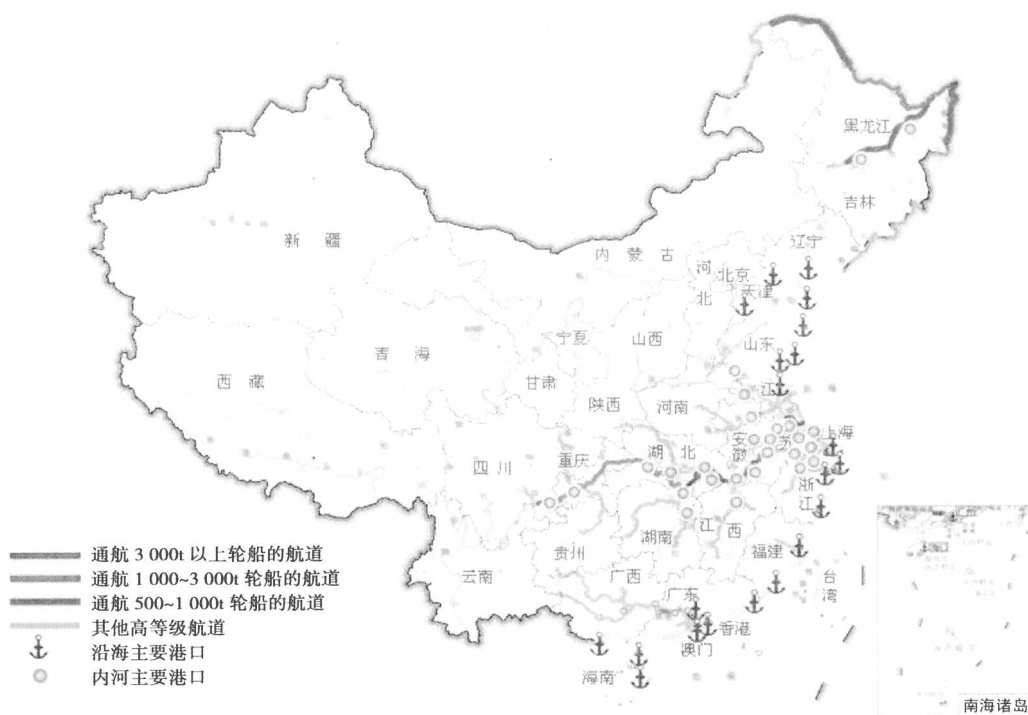


图 1-1 中国内河高等级航道和主要港口布局方案

1. 东北水运规划

东北地区内河航道总计 7 687km,其中重要航道包括松花江大安至同江 976km、黑龙江界河段 1 890km 和第二松花江吉林以下 370km,总计 3 236km。



2. 中部地区水运规划

中部地区内河航道以长江、淮河、湘江、沅水、汉江、江汉运河、赣江、信江、合裕线、芜申线、沙颍河等“两干九支”共 11 条国家高等级航道为骨干,以资水、清江、涡河等 27 条重要航道为支撑形成干支通畅、江海直达的中部地区航道体系,沟通我国东中西部地区,连接沿江主要大中型城市、工业区和矿区。

规划中部地区国家高等级航道里程 5 600km,其中三级及以上航道 4 100km,四级航道 1 500km;重要航道 3 500km,其中四级以上航道约 2 000km。

长江黄金水道横跨中部地区的湖北、湖南、江西、安徽四省,区域内长江干流航道长达 1 420 多公里,丰水期 5 000 吨级海船可直达武汉,区域内湘江、汉江、赣江、信江、合裕线等主要支流连接长江航道形成通江达海的运输优势,长江水运已成为中部地区内外物资运输的重要通道,在沿江冶金、石化、电力、汽车等重化工业和外向型经济发展中发挥着十分重要的支撑作用。中部地区拥有比较雄厚的工业基础,正处在工业化加速发展时期,中部地区要发挥自身比较优势,充分利用国际国内两个市场、两种资源,发展有竞争力的制造业,需要充分利用长江运输大通道和水资源优势,以加快沿江经济带的形成,这是中部沿江四省实现经济更快发展的战略举措。加快长江航道和港口建设,在更高水平上不断满足中部地区日益增长的运输需求,具有极其重要的战略意义。

中部地区的内河水运资源得到比较充分的开发和利用,基本形成以长江干线为代表的国家高等级航道和主要港口为核心,航道干支通畅、江海直达,港口布局合理、功能完善,运输船舶大型化、标准化,支持保障系统完善、技术先进,与其他运输方式相互衔接、协调发展的中部地区内河水运体系。

长江干流武汉至安庆航道水深提高到 6m,利用自然水深通航 5 000 吨级海船;城陵矶至武汉航道水深提高到 3.7m,利用自然水深通航 3 000 吨级海船,长江干线快速出海通道功能得到充分发挥。区域内国家高等级航道和其他重要航道基本建成,四级及以上航道里程达到 7 600km。

3. 长江三角洲地区水运规划

长江三角洲是我国经济最发达、最具活力的地区之一,也是我国水运资源最为丰富、最有优势的地区之一,内河航运对沿江河产业带的形成和区域经济的快速发展起到了至关重要的推动作用,在全国内河航运体系中具有举足轻重的地位。

为了促进并适应内河集装箱运输发展的需要,将长江干线、京杭运河、杭申线、大浦线、大芦线、赵家沟、锡溧漕河、杨林塘、苏申内港线、苏申外港线、湖嘉申线和杭甬运河共 12 条航道规划为内河集装箱运输通道。

4. 泛珠江三角洲地区水运规划

泛珠江三角洲地区内河航道体系以“一网一干三线”为核心,以珠江水系其他支流、国际和独立入海河流等其他航道为补充,为泛珠江三角洲区域集装箱、大宗散货运输及西南地区物资出海服务。

一网:即珠江三角洲高等级航道网,由“三纵三横三线”16 条三级及以上航道组成,规划里程 939km。三纵:西江下游出海航道;白坭水道—陈村水道—洪奇沥水道;广州港出海航道。三横:东平水道;潭江—劳龙虎水道—莲沙容水道—东江北干流;小榄水道—横门出海航道。



三线:崖门水道—崖门出海航道;虎跳门水道;顺德水道。

一千:即西江航运干线,从南宁至广州,由三级及以上航道组成,规划里程 851km。

三线:即西南地区内河水运出海南(右江)、中(北盘江红水河)、北(柳江黔江)三线通道。

右江:从剥隘至南宁,由三、四级航道组成,规划三级航道里程 355km,四级航道里程 80km。北

盘江红水河:从百层至石龙三江口,由三、四级航道组成,规划三级航道里程 76km,四级航道里

程 665km。柳江黔江:从柳州至桂平,由三级航道组成,规划航道里程 284km。

5. 西部地区内河航运规划

西部地区内河航运发展在布局规划上按三个层次考虑。

第一层次是水运主通道和主枢纽港口。水运主通道方面,强化长江干线、西江干线航运基础设施建设,加快与干线相连的嘉陵江、汉江、右江、柳江及黔江、北盘江及红水河的建设,规划航道总里程 4 060km,目前已建成并达到规划标准的有 1 568km,在建的有 350km,需新改建 2 142km。主枢纽港口:重点建设宜宾港、重庆港、南宁港、贵港港、梧州港 5 个内河主枢纽港口。

第二层次是与水运主通道相连接的重要支流和重要的地区性河流的航道以及地区重要港口。重要支流包括:长江水系的渠江、赤水河、乌江、岷江;珠江水系的南盘江、都柳江、左江;重要的地区性河流有澜沧江等。规划航道总里程为 2 545km,目前已建成 746km,在建 186km,需新改建 1 613km。地区重要港口:建设水富港、泸州港、涪陵港、万州港、南充港等一批港口。

第三层次是其他支流航道和效益显著的区间通航河流(段)及库(湖)区。主要有其他支流航道及金沙江、黄河等区段及库区、湖区的航运基础设施建设,整治航道,配套建设港口设施,以满足旅游的需要和交通闭塞地区人民群众基本的交通运输需求。

我国除了众多河流之外,还是一个海洋国家,沿海岸有很多海湾、海峡、岛屿需要以固定交通方式加以连接。典型的如渤海湾、杭州湾、琼州海峡、台湾海峡等。通过这些海湾(或海峡)的船舶吨位大,流量也大,是我国船舶航运的要道。

二、中国的航道桥梁建设

随着我国经济建设的快速发展,公路交通已成为衡量国家和某地区经济实力和现代化水平的重要标志之一。“十五”以来,国家加大了包括公路在内的基础设施建设投资力度,高速公路建设进入了快速发展期,跨河流和海峡的航道桥梁数目迅速增多。

根据作者统计,至 2008 年底,长江及其主要支流上主要航道桥梁约为 200 座。为进一步加强长江两岸的陆上运输,交通运输部计划在 2020 年以前还将新修 52 座长江大桥,其中包括重庆 22 座,江苏 9 座,安徽 7 座等。跨越长江的主要大桥概况见附录 I 之附表 I-1。

珠江水系 167 条通航河流(航道)上共有 1 493 座桥梁,其中 1 020 座桥梁的通航净空达到了通航标准,通航净空不达标的桥梁 473 座。

此外京杭运河上有桥梁 45 座,其他河流上有桥梁 152 座。

除了跨越河流的桥梁外,我国还修建和规划修建数目众多的跨越海湾(海峡)的桥梁,如东海大桥、杭州湾大桥、青岛海湾大桥、平潭海峡大桥、厦漳海湾大桥、港珠澳通道、琼州海峡通道、渤海湾通道、台湾海峡通道等。主要跨海桥梁(通道)概况见附录 I 之附表 I-2。



我国跨河流、海峡(湾)的桥梁数目众多,而且还在增多。如此众多的桥梁,极大地促进了国家和地方经济的发展,但同时也产生了新的安全问题。航道桥梁的船撞安全问题表现在多个方面,如桥梁损毁、船舶损毁、丧失生命、航道中断、环境污染、经济损失、社会冲击等。因此既有和拟建航道桥梁的船撞安全是工程技术人员和桥梁管理者必须谨慎解决的关键技术问题之一。

第二节 船舶撞击桥事故综述

一、桥梁事故简述

桥梁建造于复杂的自然和人为环境中,经受各种外部作用,因此桥梁损毁事故时有发生。作者对国内外桥梁倒塌事故进行了资料收集和统计,详见附录 II 之附表 II-1、附表 II-2 和附表 II-3。主要数据来源见参考文献[3]、[4]、[5]和作者的收集。

本书作者对于收集到的桥梁事故资料按年代和类型进行了区分,具体做法是以 1950 年为时间分界点,区分为现代桥梁和近代桥梁;以是否跨越航道区分为航道桥梁和陆地桥梁(此处陆地桥梁特指非跨越航道的桥梁)。附表 II-1 中的桥梁倒塌事故资料即按上述两个原则分别进行统计分析。图 1-2 ~ 图 1-4 是事故原因分类统计图。

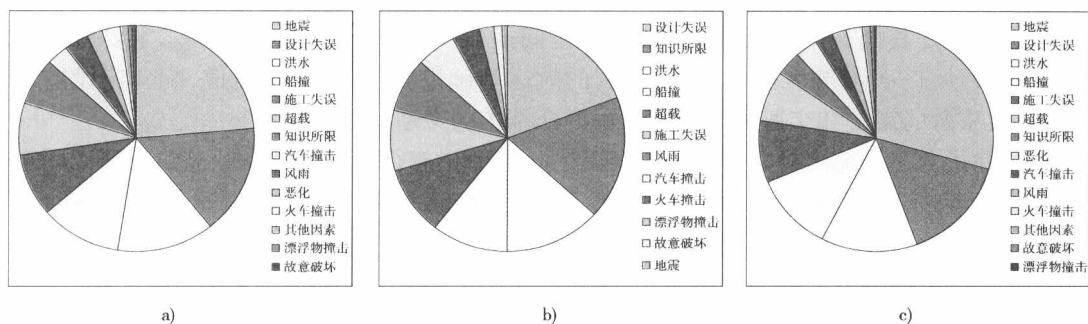


图 1-2 桥梁倒塌事故原因统计

a) 1444 ~ 2008 年所有桥梁; b) 1950 年以前的桥梁; c) 1950 年以后的桥梁

从图 1-2 可以看到,1444 ~ 2008 年所有桥梁中,造成桥梁倒塌的第一位原因是地震,第二位原因是设计失误,第三位原因是洪水,第四位原因是船舶撞击。但从图 1-2b) 来看,1950 年以前的桥梁,地震造成的倒塌排在最末位,这不一定是真实的,可能与统计数据的可靠性有关。很早的桥梁,统计信息可能不全。但 1950 年后,现代信息交流与统计变得容易,因此数据的可靠性较高。

从图 1-3 可以看到,对于非航道桥梁,造成桥梁倒塌的第一位原因是地震,第二位原因是设计失误,第三和第四位原因分别是施工过程失误和超载。

从图 1-4 可以看到,对于航道桥梁,造成桥梁倒塌的第一位原因是洪水,第二位原因是船撞,第三位和第四位原因则分别是设计失误和施工过程失误。

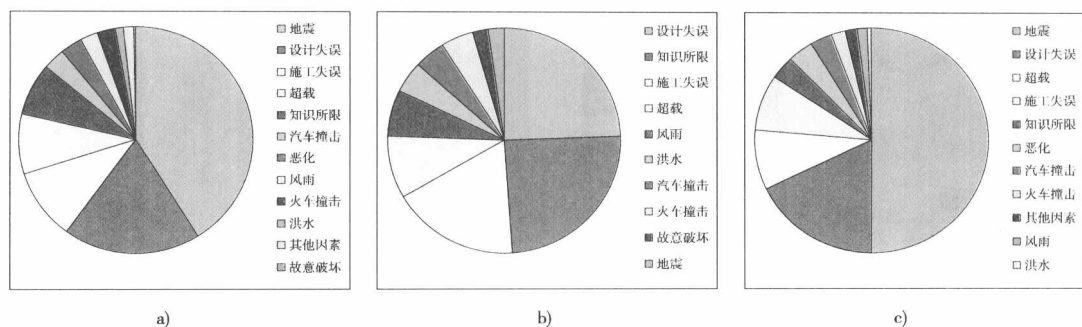


图 1-3 非航道桥梁倒塌事故原因统计

a) 1444 ~ 2008 年所有非航道桥梁; b) 1950 年以前的非航道桥梁; c) 1950 年以后的非航道桥梁

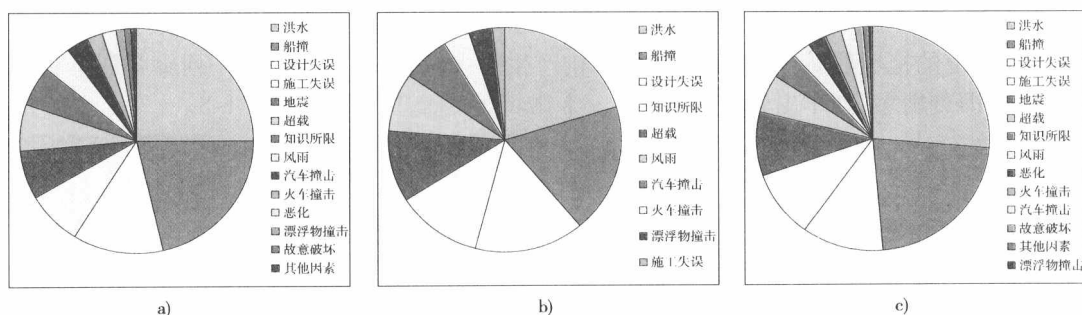


图 1-4 航道桥梁倒塌事故原因统计

a) 1444 ~ 2008 年所有航道桥梁; b) 1950 年以前的航道桥梁 c) 1950 年以后的航道桥梁

因此对于航道桥梁,桥梁船撞安全是必须重点考虑的结构安全问题。

二、国外典型船撞桥事故实例

自 20 世纪 60 年代以来,世界各地航道桥梁受船舶撞击而倒塌或严重破坏的事件就常有报道。

澳大利亚霍巴特德温特河塔斯曼桥建成于 1964 年。1975 年 1 月 5 日,7 200t 的依拉瓦纳轮撞在两个未设防的桥墩上,撞击角度较小。发生事故的原因是船舶操纵设备失灵。碰撞发生后,桥梁的三跨上部结构坠水,两个桥墩完全被撞毁,依拉瓦纳轮沉没,20 人死亡。塔斯曼桥船撞事故照片见图 1-5。

美国佛罗里达州旧阳光大桥全长约 6 840m,横跨坦帕湾入口。1981 年 5 月 9 日,一艘 19 734t 的空载散装货轮撞垮了一个主墩,桥墩的 4 根桩完全破坏,三跨上部结构垮塌,死亡人数约 35 人。阳光大桥船撞事故照片见图 1-6。

瑞典哥德堡群岛阿尔摩桥是瑞典工程界的一项重要工程,于 1960 年建成通车。该桥系哥德堡群岛与大陆联结工程的一部分,全长约 532m。主桥为跨度 278m 的钢管拱。1980 年 1 月,一艘数千吨的荷兰货轮碰撞大桥钢管拱基座,致使钢管拱倒塌,上部结构坍落在货轮上,死亡 10 余人。阿尔摩桥船撞事故照片见图 1-7。

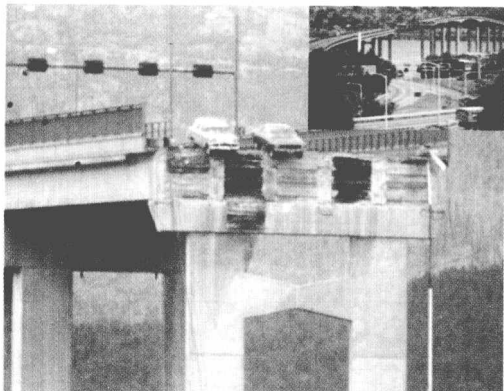


图 1-5 塔斯曼桥船撞事故

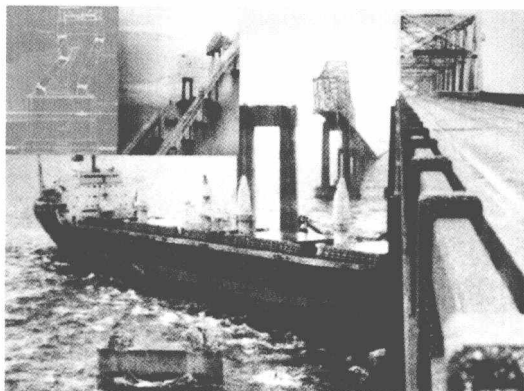


图 1-6 阳光大桥船撞事故

1993 年,美国亚拉巴马州莫比尔附近横跨贝尤卡诺特的 CSX 铁路大桥,被一个因大雾而误驶入侧航道的拖驳船队严重撞击,桥梁结构产生巨大位移。几分钟后,一列旅客列车从桥上驶过,大桥即刻坍塌,列车出轨,47 人丧生。卡诺特桥船撞事故照片见图 1-8。

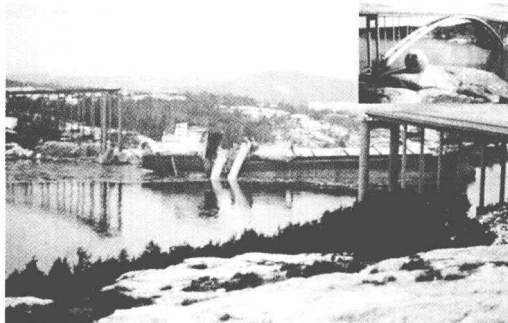


图 1-7 阿尔摩桥船撞事故

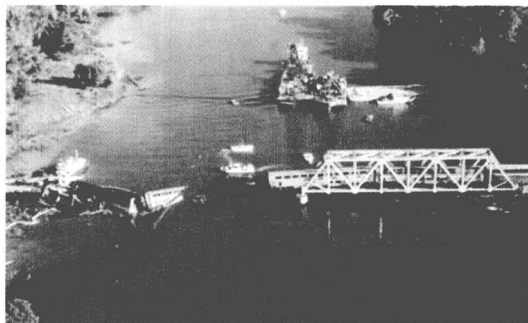


图 1-8 卡诺特桥船撞事故

2001 年 9 月 16 日,美国得克萨斯州的跨海大桥 Queen Isabella Causeway 被一艘拖轮撞击,倒塌两孔,长度约 72m。5 辆汽车坠入海中,4 人丧生,桥下各类通信系统中断,Padre 岛与外界中断交通数日。该桥船撞事故照片见图 1-9。

2002 年 5 月 26 日,美国俄克拉荷马州东部马斯科吉县附近的阿肯色河上,一艘货轮由于船长突发疾病,拖轮失去控制,顶着两艘空驳船与公路桥碰撞。阿肯色河公路桥坍塌,9 辆汽车坠河,17 人死亡。阿肯色桥船撞事故照片见图 1-10。该事故导致了横穿俄克拉荷马的 40 号州际高速公路中断,直到 6 个月后才得以重新开放。

2005 年 3 月 3 日下午,3 120t 集装箱货轮 Karen Danielsen 撞击丹麦大贝尔特西桥,桥梁底部严重擦痕,船舶严重破坏,驾驶人员丧生。丹麦大贝尔特西桥事故照片见图 1-11。

2007 年 11 月 7 日,“中远釜山”号货轮在驶进旧金山海湾时撞上桥梁,虽然大桥没有被撞坏,但货轮的船身被撕开一条 30m 长的裂缝,22 万升重油泄漏进旧金山湾区。旧金山海湾大桥船撞事故照片见图 1-12。

美国弗吉尼亚州的切萨皮克湾隧道桥于 1964 年建成,全长 28km。由于设计时未考虑船舶对桥墩的撞击作用,该桥在建成后遭受的多次船舶撞击事故中受损严重。1967 年的船撞



事故中,大桥 1 跨垮塌,5 跨严重破坏;1970 年的碰撞事故中,5 跨垮塌,另有 5 跨严重破坏;1972 年碰撞时,2 跨垮塌,另有 5 跨严重破坏。

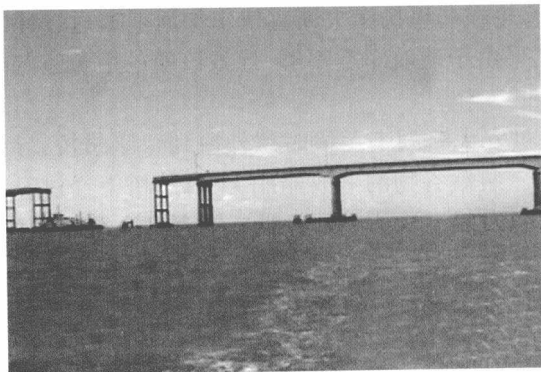


图 1-9 Queen Isabella Cause way 船撞事故

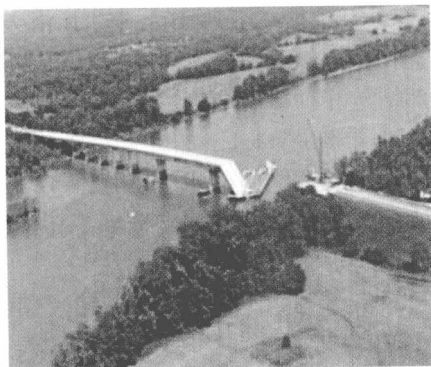
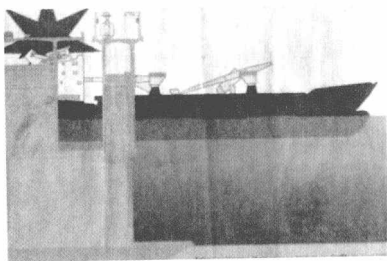
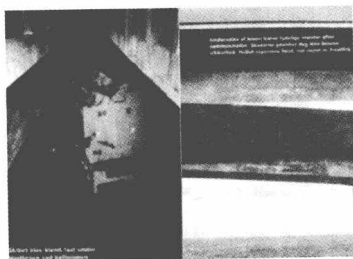


图 1-10 阿肯色桥船撞事故



碰撞过程示意



桥梁损伤



船舶破坏

图 1-11 丹麦大贝尔特西桥船撞事故



图 1-12 旧金山海湾大桥船撞事故

1975 年 12 月 26 日,新西密斯特的弗雷泽河开启桥受到由于大风而走错的 70m 长的斯威夫特亲王号的撞击,致使 130m 长的桥跨结构垮塌。



1977年9月10日,瑞典歌德堡港的廷斯塔特桥受到1 600t轮船撞击后,导致桥跨一端坠入水中。

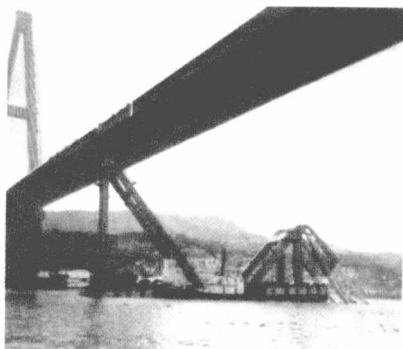
1983年6月,“亚历山大·苏瓦洛夫”号客轮在乌里扬诺夫斯克伏尔加河上通过一座铁路桥时,由于船长粗心大意,误驶入大桥侧跨,结果由于通航净空不够,导致该船的甲板室与桥梁的上部结构相撞,176人丧生。

2001年8月11日,加拿大一艘货船在通过安大略湖韦兰段时意外撞到一座吊桥,导致伊利湖和安大略湖之间的水上交通在12日中断。装载谷物的事故船舶11日从桥下经过时吊桥突然放落,200m高的船烟囱撞到了桥的挡板,引发船上大火,17名船员中有多人跳水求生,但无人受伤。

2002年8月,俄罗斯一艘满载燃料油的油轮与一大桥相撞,导致油料泄漏,造成了环境污染。

三、我国船撞桥事故

2001年6月23日晚,台风“飞燕”在福州市登陆,一艘停靠在大桥附近(约500m处)的1 000t浮吊“上海港机1号”发生脱锚,撞击青州闽江大桥。吊船起重吊臂与斜拉桥主梁碰撞,造成部分拉索破损,部分检修道钢板绞卷撕裂和桥梁支座破坏,桥梁尚未使用就进行部分杆件更换。肇事船舶的扒杆钢丝绳折断,扒杆倒入江中,事故照片见图1-13。



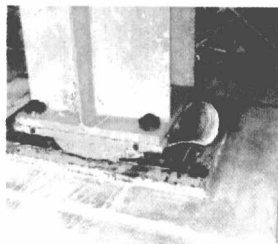
碰撞概况



检修道钢板绞卷撕裂



斜拉索HDPE套管裂缝和破洞,两股钢绞线松



支座的四氟板部分脱落在盆外

图1-13 “飞燕”台风袭击青州闽江大桥事故

江苏省江都市樊川镇东汇大桥为三跨水泥桥面拱桥,跨径组合50m+50m+50m。2004年5月26日夜,该桥西侧桥墩遭受一铁驳船队中最后一艘驳船的撞击,导致上部桥面坍塌并



压住了肇事驳船,严重影响了交通和河流的通航,事故照片见图 1-14。

2004 年 7 月 18 日,浙江温州瓯南大桥鳌江段施工便桥被一艘 500 多吨货轮撞塌,搭建在江中间的 5 号桥墩和 6 号桥墩施工平台被撞毁,事故照片见图 1-15。

2004 年 9 月,京杭大运河苏州段横塘亭子桥被货船撞毁,大桥坍塌后还压住了两艘货船,使得京杭大运河苏州段交通受阻,事故照片见图 1-16。



图 1-14 东汇大桥船撞事故



图 1-15 瓯南大桥船撞事故

2005 年 1 月 18 日中午 11 时 15 分,苏盐城货 92108 从松江驶至龙华铁路 1 号桥,由于河水涨潮速度太快,船被卡在桥下。下午 13 时 35 分,桥东北侧一角被船只巨大的上浮力顶起,13 时 45 分,另外一角也发生崩裂,整个桥面东侧被顶起约 30° ,铁轨枕木螺口强行拔离,被损铁轨长约 70m。15 时 30 分,铁驳船因积水过多向西发生倾斜,翻入河内,船顶与桥梁脱离,事故照片见图 1-17。

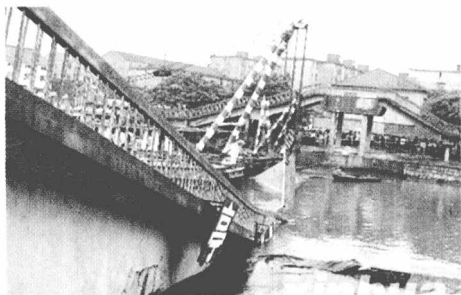


图 1-16 横塘亭子桥船撞事故

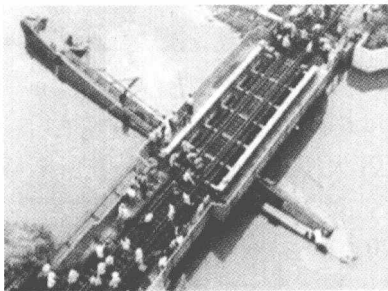


图 1-17 龙华铁路 1 号桥船撞事故

2006 年 8 月 11 日 12 时左右,新加坡籍货轮 BITUMAN EXPRESS 船从浙江嘉兴乍浦二期码头附近海域(距大桥下游约 1 海里和码头前沿约 1.5 海里处,潮位 1.8m)走锚失控后,船舶右舷顺流撞击杭州湾跨海大桥中引桥和北航道桥南高墩区结合部位 B26、B27、C01 等混凝土承台、墩身及箱梁,位于船艏的驾驶台及其桅杆撞击大桥箱梁并卡在梁下,直至当日 14 时 25 分才被海事组织的施救船只拖离事故现场。该事件造成大桥部分结构毁损,事故造成经济损失高达 1000 万元。事故照片见图 1-18。

2007 年 5 月 23 日,具有百年历史的浙江奉化方桥被舟山一艘船舶撞击后倒塌,桥上两名行人落水,一死一伤,事故照片见图 1-19。