



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



# 大型无动力 船舶码头系泊防台 关键技术及应用(修订版)

The Key Technology and Applications  
of Large Unpowered Vessel alongside  
the Wharf Mooring against Typhoon

甘浪雄 刘成勇 著  
郑元洲 文元桥



 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

# 大型无动力船舶 码头系泊防台关键技术及应用

(修订版)

甘浪雄 刘成勇 郑元洲 文元桥 著

武汉理工大学出版社

· 武 汉 ·

## 内 容 提 要

大型无动力船舶码头系泊防台关键技术及应用内容涉及台风发展及其活动路径与影响规律、无动力船舶码头系泊力数值计算与仿真试验、无动力船舶码头系泊防台技术方案与应用等方面。

全书共分为三篇。其中,第一篇主要研究了中国沿海台风特征及对无动力船舶防台操作的影响;第二篇针对大型无动力船舶码头系泊防台关键技术展开了深入的研究;第三篇以具体应用对象为研究范例,进行了大型无动力船舶码头系泊防台示范应用分析。

本书系统地阐述了热带气旋在中国沿海的活动规律及其对船舶活动和船舶防台的影响,重点探索了大型无动力船舶码头系泊防台数值计算与组合防台优化模型,深入分析了大型无动力船舶码头系泊防台技术方案及风险控制措施,介绍了大型无动力船舶码头系泊防台关键技术的示范应用情况。

## 图书在版编目(CIP)数据

大型无动力船舶码头系泊防台关键技术及应用/甘浪雄等著. —修订本. —武汉:武汉理工大学出版社,2016. 11

ISBN 978-7-5629-5391-3

I. ①大… II. ①甘… III. ①船舶-风暴中航行-研究 ②码头-台风-预防-研究  
IV. ①U698.91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 261765 号

项目负责:陈军东 陈 硕

责任编辑:徐 扬

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:16

字 数:335 千字

版 次:2016 年 11 月第 1 版

印 次:2016 年 11 月第 1 次印刷

定 价:75.00 元(精装本)

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 | 刘正林 |
| 刘明俊 | 刘敬贤 | 刘 清 | 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 | 袁成清 |
| 钟 鸣 | 黄立文 | 黄 珍 | 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。本丛书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。本丛书涉猎的研究领域广泛,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  
2016年10月

# 前 言

本书作者长期从事航海技术及海事管理专业的教学与科研工作,在科研过程中一直根据社会需求致力于探索研究将航海理论应用于社会实践,并积累了大量的研究资料。本书是作者对科研成果的整理分析与提炼,针对修造船企业大型无动力船舶防台这一难题进行系统的探索与研究,从我国沿海台风特征及对无动力船舶防台操作的影响入手,研究大型无动力船舶码头系泊防台的关键技术。

台风是频繁影响我国沿海的灾害性天气系统,在台风期间,沿海修造船企业由于不具备码头防抗台的条件,且无动力船舶自身防抗台能力不足,容易在码头和(或)锚地发生安全事故,从而造成重大经济损失。为尽量降低无动力船舶防台对企业及公共水域安全的影响,本书围绕大型无动力船舶码头系泊防台所需的关键理论和技术开展系统的研究,提出码头系泊防台技术方案,这对提高无动力船舶码头系泊防台的安全性及可靠性,具有重要的理论意义和应用价值。

目前国内外有关船舶系泊力计算的各类标准及计算模型,主要包括《港口工程荷载规范》(JTS 144—1—2010)、《OCIMF Mooring Equipment Guidelines (The Third Edition)》、《Unified Facilities Criteria Design: Moorings》等,但均没有系统阐述船舶码头系泊防台的方式及要求。随着海运业和修造船业的不断发展,大型无动力船舶及大型设施码头系泊防台成为一个亟待解决的问题。作者结合近 8 年的教学实践与科研成果,撰写了《大型无动力船舶码头系泊防台关键技术及应用》一书。本书通过对我国沿海近 50 年台风历史资料的分析,从研究台风对不同海区船舶活动区域影响的时空分布特征及其可能对无动力船舶防台操作的影响出发,研究了大型无动力船舶在台风中的系泊力及运动响应特性,提出无动力船舶系泊力计算的组合优化模型;基于无动力船舶码头系泊防台的数值模拟和仿真试验,针对无动力船舶对台风的响应特性,提出基于系统缆、锚链、拖轮组合的系泊防台技术方案及风险控制措施,并开展无动力船舶码头系泊防台关键技术的示范应用。

本书是作者对科研成果的整理分析与提炼,既分析了台风对船舶行为的影响,又重视船舶防台抗台操作的实用性,是大型无动力船舶防抗台风知识的归纳、总结及提炼,可作为修造船企业、海事主管机关、港口管理部门防抗台风的参考资料,也可作为交通信息工程及控制、交通运输工程等相关专业研究人员、高校教师、研究生及高年级本科生的参考用书,并为港口水运行业普通码头系泊防台(防大风)工作提供借鉴。

本书主要内容在研究和出版过程中得到了自然科学基金项目(编号D0512—40805063)的支持,全书由甘浪雄、刘成勇、郑元洲、文元桥撰写。在前期从事项目研究过程及本书资料整理过程中得到了友联船厂及深圳海事局的大力支持,同时还得到了刘敬贤、江福才、严庆新、陈蜀喆、周春辉、马勇、张磊、马全党、余运友、王晓晨等的热情帮助,在此一并表示感谢!

大型无动力船舶码头系泊防台一直以来是一个亟待解决的难题,也是当前船舶防抗台研究的重点和热点之一,希望本书的出版能够起到抛砖引玉的作用。由于时间仓促,相关的理论和技术还在不断地完善和更新中,书中难免存在疏漏和不足之处,恳请读者批评指正。

作 者  
2014 年 8 月

# 目 录

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 1 引 言 .....                      | 1  |
| 1.1 项目的背景与意义 .....               | 1  |
| 1.2 国内外研究现状 .....                | 2  |
| 1.2.1 台风发展规律及风险评估研究状况 .....      | 2  |
| 1.2.2 船舶码头系泊力数值计算分析研究状况 .....    | 4  |
| 1.2.3 船舶系泊防台技术与方法研究状况 .....      | 5  |
| 1.3 主要研究内容 .....                 | 6  |
| 参考文献 .....                       | 7  |
| 第一篇 中国沿海台风特征及对无动力船舶防台操作的影响 ..... | 11 |
| 2 研究区域及基础资料与方法 .....             | 11 |
| 2.1 我国沿海商船航线简介 .....             | 11 |
| 2.1.1 南海海区航路航法 .....             | 11 |
| 2.1.2 东海海区航路航法 .....             | 17 |
| 2.1.3 黄、渤海海区航路航法 .....           | 25 |
| 2.2 研究区域确定 .....                 | 30 |
| 2.3 研究资料 .....                   | 31 |
| 2.3.1 热带气旋最佳风速路径资料 .....         | 31 |
| 2.3.2 ENSO 指数年变化资料 .....         | 31 |
| 2.3.3 登陆我国的热带气旋灾害资料 .....        | 32 |
| 2.4 风场的重建 .....                  | 34 |
| 2.4.1 最大风速的算法 .....              | 34 |
| 2.4.2 最大风速半径的算法 .....            | 40 |
| 2.4.3 七级风半径算法 .....              | 46 |
| 2.4.4 小结 .....                   | 47 |
| 参考文献 .....                       | 48 |
| 3 影响研究区域的热带气旋的空间分布特征 .....       | 49 |

|                                                      |           |
|------------------------------------------------------|-----------|
| 3.1 不同海区的分布 .....                                    | 49        |
| 3.1.1 南海研究区域的分布 .....                                | 49        |
| 3.1.2 东海研究区域的分布 .....                                | 50        |
| 3.1.3 黄、渤海研究区域的分布 .....                              | 52        |
| 3.2 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 经纬度网格内的分布 .....     | 53        |
| <b>4 热带气旋对研究区域的累计影响时间特征 .....</b>                    | <b>56</b> |
| 4.1 不同年份的累计影响时间 .....                                | 56        |
| 4.2 不同月份的累计影响时间 .....                                | 56        |
| 4.3 不同海区的累计影响时间 .....                                | 58        |
| 4.3.1 南海研究区域累计影响时间 .....                             | 58        |
| 4.3.2 东海研究区域累计影响时间 .....                             | 58        |
| 4.3.3 黄、渤海研究区域累计影响时间 .....                           | 59        |
| 4.4 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 经纬度网格内的累计影响时间 ..... | 60        |
| <b>5 影响研究区域的热带气旋的时间变化特征 .....</b>                    | <b>63</b> |
| 5.1 年分布规律 .....                                      | 63        |
| 5.1.1 热带气旋总个数的年分布规律 .....                            | 63        |
| 5.1.2 不同强度的热带气旋的年分布规律 .....                          | 66        |
| 5.2 月分布规律 .....                                      | 68        |
| 5.3 气候响应性规律 .....                                    | 69        |
| 5.3.1 热带气旋的频数的气候响应分析 .....                           | 70        |
| 5.3.2 热带气旋的累计影响时间的气候响应分析 .....                       | 72        |
| 参考文献 .....                                           | 74        |
| <b>6 台风对无动力船舶防台的影响分析 .....</b>                       | <b>75</b> |
| 6.1 沿海港口通航环境热带气旋灾害预评估模型 .....                        | 75        |
| 6.1.1 资料和方法 .....                                    | 76        |
| 6.1.2 评估模型 .....                                     | 78        |
| 6.1.3 TC 个例灾害评估 .....                                | 83        |
| 6.2 台风对无动力船舶防台的影响 .....                              | 85        |
| 6.2.1 无动力船舶及其防台方式 .....                              | 85        |
| 6.2.2 大型无动力船舶防台面临的主要问题 .....                         | 86        |
| 6.2.3 无动力船舶锚泊防台的风险分析 .....                           | 87        |

|                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------|-----|
| 参考文献 .....                                                           | 88  |
| 第二篇 大型无动力船舶码头系泊防台关键技术研究 .....                                        | 90  |
| 7 大型无动力船舶码头系泊防台数值计算研究 .....                                          | 90  |
| 7.1 计算代表船型尺度 .....                                                   | 90  |
| 7.2 计算方案及参数设计 .....                                                  | 91  |
| 7.2.1 计算方案 .....                                                     | 91  |
| 7.2.2 参数设计 .....                                                     | 93  |
| 7.3 无动力船舶码头系泊力计算模型 .....                                             | 96  |
| 7.3.1 《港口工程荷载规范》计算模型 .....                                           | 97  |
| 7.3.2 《OCIMF Mooring Equipment Guidelines (Third Edition)》计算模型 ..... | 102 |
| 7.3.3 《Unified Facilities Criteria Design; Moorings》计算模型 .....       | 107 |
| 7.3.4 波浪荷载计算模型 .....                                                 | 114 |
| 7.3.5 缆绳配置及破断力计算模型 .....                                             | 115 |
| 7.4 数值计算结果分析 .....                                                   | 116 |
| 7.4.1 主要问题说明 .....                                                   | 116 |
| 7.4.2 模型参数分析 .....                                                   | 119 |
| 7.4.3 计算结果分析 .....                                                   | 128 |
| 7.5 无动力船舶码头系泊力计算模型优化 .....                                           | 133 |
| 7.5.1 模型优化概述 .....                                                   | 133 |
| 7.5.2 船舶受风面积 .....                                                   | 134 |
| 7.5.3 波浪荷载作用 .....                                                   | 135 |
| 7.5.4 拖轮顶推作用 .....                                                   | 137 |
| 7.5.5 船舶锚链抓力作用 .....                                                 | 138 |
| 7.5.6 优化后的系缆力计算模型 .....                                              | 141 |
| 7.6 VLCC 与 CAPE SIZE 在模型优化前后的数值计算对比研究 .....                          | 142 |
| 7.6.1 研究船型主尺度 .....                                                  | 143 |
| 7.6.2 VLCC 船型采取优化方案前后数值计算对比分析 .....                                  | 143 |
| 7.6.3 CAPE SIZE 船型采取优化方案前后数值计算对比分析 .....                             | 148 |
| 7.7 数值计算研究结论 .....                                                   | 154 |
| 参考文献 .....                                                           | 156 |
| 8 大型无动力船舶码头系泊防台模拟数值试验研究 .....                                        | 159 |

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| 8.1 数值模拟仿真建模 .....                 | 159        |
| 8.1.1 无动力船舶系泊运动仿真建模 .....          | 159        |
| 8.1.2 仿真环境建模 .....                 | 161        |
| 8.1.3 模拟仿真试验方法 .....               | 162        |
| 8.2 大型无动力船舶码头系泊防台模拟试验设计 .....      | 163        |
| 8.2.1 模拟试验船型 .....                 | 163        |
| 8.2.2 模拟试验工况 .....                 | 163        |
| 8.2.3 模拟试验方案 .....                 | 164        |
| 8.3 仿真试验研究结论 .....                 | 177        |
| <b>9 大型无动力船舶码头系泊防台技术方案研究 .....</b> | <b>179</b> |
| 9.1 无动力船舶码头单一缆绳系泊防台方案 .....        | 179        |
| 9.1.1 单一缆绳系泊方案适用范围 .....           | 179        |
| 9.1.2 单一缆绳系泊方案设计 .....             | 180        |
| 9.1.3 实施单一缆绳系泊方案的注意事项 .....        | 184        |
| 9.2 无动力船舶码头缆绳-锚链系泊组合防台方案 .....     | 185        |
| 9.2.1 缆绳-锚链系泊方案适用范围 .....          | 185        |
| 9.2.2 缆绳-锚链系泊方案设计 .....            | 186        |
| 9.2.3 实施缆绳-锚链系泊方案的注意事项 .....       | 187        |
| 9.3 无动力船舶码头缆绳-锚链-拖轮组合防台方案 .....    | 188        |
| 9.3.1 缆绳-锚链-拖轮组合方案适用范围 .....       | 188        |
| 9.3.2 缆绳-锚链-拖轮组合方案设计 .....         | 188        |
| 9.3.3 实施缆绳-锚链-拖轮组合方案的注意事项 .....    | 189        |
| <b>第三篇 大型无动力船舶码头系泊防台示范应用 .....</b> | <b>190</b> |
| <b>10 示范应用对象及应用条件 .....</b>        | <b>190</b> |
| 10.1 应用对象情况 .....                  | 190        |
| 10.1.1 深圳友联船厂基本情况 .....            | 190        |
| 10.1.2 示范应用水域台风概况 .....            | 194        |
| 10.2 应用条件介绍 .....                  | 196        |
| <b>11 算例及示范应用 .....</b>            | <b>199</b> |
| 11.1 单一缆绳系泊方案示范应用 .....            | 199        |
| 11.1.1 台风概况 .....                  | 199        |

---

|        |                              |     |
|--------|------------------------------|-----|
| 11.1.2 | 示范应用代表船型 .....               | 201 |
| 11.1.3 | 算例分析 .....                   | 201 |
| 11.1.4 | 具体方案 .....                   | 207 |
| 11.1.5 | 注意事项 .....                   | 210 |
| 11.2   | 缆绳、锚链组合系泊方案示范应用 .....        | 211 |
| 11.2.1 | 台风概况 .....                   | 211 |
| 11.2.2 | 示范应用代表船型 .....               | 213 |
| 11.2.3 | 算例分析 .....                   | 213 |
| 11.2.4 | 具体方案 .....                   | 221 |
| 11.2.5 | 注意事项 .....                   | 223 |
| 11.3   | 缆绳、锚链系泊、拖轮顶推组合防台方案示范应用 ..... | 223 |
| 11.3.1 | 台风概况 .....                   | 223 |
| 11.3.2 | 示范应用代表船型 .....               | 225 |
| 11.3.3 | 算例分析 .....                   | 225 |
| 11.3.4 | 具体方案 .....                   | 235 |
| 11.3.5 | 注意事项 .....                   | 236 |
|        | 参考文献 .....                   | 237 |
| 12     | 研究总结 .....                   | 239 |
| 12.1   | 主要研究工作 .....                 | 239 |
| 12.2   | 主要创新点 .....                  | 240 |
| 12.3   | 研究成果示范应用及推广 .....            | 241 |

# 1 引言

## 1.1 项目的背景与意义

台风是发生在热带洋面上破坏力极强的天气系统,是一种海洋灾害性天气,严重威胁着海上船舶的安全。在西北太平洋沿岸国家中,我国遭受的风暴灾害最频繁、最严重,台风致灾区域几乎遍及整个东南沿海。

近年来,随着海运市场的持续发展,超期服役船舶数量不断增加,国内船舶修造企业面临难得的发展机遇,大型船坞及舾装码头的建设,使得企业具备承修超大型船舶的能力。在每年夏秋台风盛行的季节,西北太平洋、我国南海生成的强热带气旋或台风,对沿海船舶修造企业的经营和安全带来直接的影响,尤其是无动力船舶,是整个防台工作的薄弱环节,防台安全不容忽视。例如 2005 年第 9 号台风“麦莎”侵袭浙江沿海,扬帆船厂三艘无动力集装箱船在马峙锚地相继走锚,并与附近锚泊船舶发生碰撞事故。2006 年第 8 号台风“桑美”登陆温州苍南,是我国近 60 年来的最强台风,影响范围波及珠江口海域,深圳友联船厂孖洲岛基地停靠修理的 30 万吨级(Very Large Crude Carrier, VLCC),提前出港防台需要调动深圳海事局的大部分应急救援力量;2008 年第 13 号强台风“森拉克”登陆之前,舟山港海域内无动力船舶总量达到 176 艘,无动力船舶的防台安全问题日趋严重。

无动力船舶一般处于空载状态,受风面积大,仅靠锚的抓力,没有主机操纵协助,存在极大的走锚失控风险。目前,大型无动力船舶是港口防台的重点,也是防台的弱点,尤其是我国沿海一些造船业相对发达的港口,无动力船舶防台安全问题更加突出。在每年台风期间,无动力船舶的锚泊安全和防台问题都面临十分严峻的形势,涉及人民生命和企业财产安全。

本书的研究对象无动力船舶主要包括两种,一种是舾装船舶,指造船厂新建的船舶,在码头进行舾装,尚没有安装动力推进设备。另一种是待修理船舶,主机设备需要维修,动力解除,船舶在码头系靠、锚地锚泊期间本身不具

备自航和自救能力。无动力船舶不能主动抗风、顶流,在台风等极端天气条件下,如果船舶仅采用抛锚抗台,一旦走锚则对无动力船舶自身及周边水域公共安全产生重大威胁,容易造成严重的安全事故,甚至是环境灾难。因此,台风期间无动力船舶的生存,不仅是其自身安全问题,而且是一个重大的公共安全问题。

为了尽量降低对公共水域的安全影响,在港口锚地资源不足的情况下,目前针对无动力船舶要求进行系泊防台。船舶修造企业处在港湾、江河或沿岸浅水区内,周围有海底地形或岛屿的遮蔽,在不遭受台风期涌浪的严重影响时,无动力船舶可进行码头系泊防台。但事实上,根据现有码头相关设计规范,码头及其附属设施本身不具备防抗台风的系泊能力。为此,大型无动力船舶码头系泊防台关键技术研究及示范应用主要是通过对船舶在风浪流作用下的系泊力进行数值模拟计算和运动响应分析,研究无动力船舶的系泊模式及缆绳配置,判断码头结构强度、系泊设施是否符合防台要求,从而界定无动力船舶在码头系泊防抗台风的等级,提出无动力船舶码头系泊防台的组合优化模型和技术方案。本书从理论研究和实践应用两个方面入手,在丰富船舶防台理论与技术的基础上,为我国东南沿海船舶修造企业、海事主管机关开展无动力船舶防台工作提供理论指导和技术支撑,提升了船舶修造企业、海事主管机关码头系泊防台的应对能力和应急处置能力。本研究成果不仅能为企业创造丰厚的经济利润,产生良好的社会效益和深远的社会影响,而且能进一步提高我国船舶修造行业的服务水平和国际影响力。

## 1.2 国内外研究现状

### 1.2.1 台风发展规律及风险评估研究状况

台风的活动规律及其对我国的影响是一个研究热点,国内外学者已经开展了大量的研究工作。在台风活动规律研究方面,主要集中在研究热带气旋(Tropical Cyclones, TC)强度、路径、预报方法等。黄荣辉、陈光华<sup>[1]</sup>研究了西北太平洋热带气旋活动的年际变化及其机理。冯涛等<sup>[2]</sup>对西北太平洋热带气旋和台风活动的气候学研究的有关进展进行了综述性研究。朱佩君等<sup>[3]</sup>通过对物理量的诊断分析,发现对流层中高层冷空气的下沉入侵以及对流层低层

的暖平流是 TC 变性的原因。李英等<sup>[4]</sup>从湿位涡理论出发,发现 TC 变性后加强主要与高层正位涡扰动下传、低层锋区及 TC 环流之间的相互作用有关。李英等<sup>[5]</sup>利用 1970—2001 年热带气旋年鉴资料,对 32 年来西太平洋热带气旋登陆我国的频率、位置、维持、衰减、变性、加强及消亡等进行统计分析,揭示热带气旋登陆活动的一些事实和特征。陈建萍等<sup>[6]</sup>研究总结出影响热带气旋强度变化的因子大致可以分为 3 类:环境气流与热带气旋环流的相互作用,下垫面与热带气旋环流的相互作用,热带气旋本身的内部结构变化。张欣等<sup>[7]</sup>利用美国国家大气研究中心(NCAR)、美国气象环境预报中心(NCEP)和美国台风联合警报中心(JTWC)的相关工作研究了南亚边缘海域热带气旋年频次与对流层风场变化的关系。李爱平等<sup>[8]</sup>通过对 1970—2004 年西北太平洋(包括南海)热带气旋强度的年际变化特征分析发现了 35 年中西北太平洋热带气旋强度变化可以分为三个阶段。余晖等<sup>[9]</sup>分析统计了西北太平洋热带气旋(TC)强度变化的基本特征。袁金南等<sup>[10]</sup>研究总结了 1945—2005 年 60 年来西北太平洋上不同强度热带气旋的时空变化特征,发现了从长期趋势上看,TC 形成个数都呈现显著的线性递增趋势,而 TC 平均强度未出现显著的线性递增或递减趋势。王小玲、任福民<sup>[11]</sup>通过分析 1951—2004 年登陆我国热带气旋频数和强度,总结出登陆我国的热带气旋数目呈减少的趋势,但是平均登陆强度没有明显变化的规律。

在台风的风险评估研究方面,主要集中在评估和预测热带气旋可能导致的各种次生灾害及其可能造成的各种风险。丁燕、史培军<sup>[12]</sup>建立了台风灾害的模糊风险评估模型。李春梅等<sup>[13]</sup>进行了层次分析法在热带气旋灾害影响评估模式中的应用。杨元琴<sup>[14]</sup>研究了中国沿海地区代表站的百年遇重大台风灾害的 Poisson 分布特征,给出  $N$  年遇度的分布参数。乐群等<sup>[15]</sup>在对登陆我国的暴雨和大风统计的基础上,利用观测资料和经验分布函数  $\Gamma$  分布估计计算登陆热带气旋的最大总降水量、日降水量和风速,通过这个模型能够得到  $T$  年一遇的相应的最大总降水量、日降水量和风速。美国早在 20 世纪 80 年代,就全面开展了加勒比海沿岸地区飓风灾害风险评估工作,随着飓风灾害保险业务的广泛开展,建立起完整的可供操作的飓风灾害风险评估模式。

在台风预报相关方面,刘大刚<sup>[16]</sup>、王祥涛<sup>[17]</sup>等学者建立了台风路径预报集成模型,使用 Matlab 工具实现了船舶防台预报集成模型中的求解过程,实现了显示和预测台风、船舶的位置与路径,测量台风与船舶间的距离和方位

两项功能,实测结果表明该系统克服了传统标绘的不足,能为船舶防台提供较准确的参考数据。

从已有的文献看,有关台风的研究成果、研究方法已有很多,可以为笔者的研究提供借鉴。但是,系统的针对西北太平洋热带气旋对我国沿海影响规律的研究还比较少。考虑到大型无动力船舶码头系泊防台的研究需要,还应 对西北太平洋热带气旋对我国沿海影响的空间分布规律进行系统的统计分析。此外,为了对热带气旋的风力及影响范围进行较准确的估计,以制定防台应急方案,需要进一步对西北太平洋热带气旋的最大风速、最大风速半径的计算模型进行系统的研究和实证。

### 1.2.2 船舶码头系泊力数值计算分析研究状况

船舶码头系泊力(系缆力)是无动力船舶防台的一个关键问题。系泊力的计算受到诸多因素的影响,是一个十分复杂的问题,这一问题的求解引起了许多学者的兴趣。

在船舶风、浪、流荷载对系缆力计算研究方面,杨兴晏<sup>[18]</sup> 分析研究了国内几种规范中(美国海军设计手册、石油公司国际海事论坛公式)关于船舶风荷载计算的方法特点并应用同一算例进行了计算结果间的对比分析,评价了 Optimoor 软件的可用性。孟祥玮等<sup>[19]</sup> 分析了船舶特性、波浪参数对系泊船舶波浪力的影响规律,提出了作用于船舶上的波浪总力计算公式,参照《港口工程荷载规范》(JTS 144—1—2010)对风和水流产生的船舶系缆力进行计算,提出了由波浪产生的船舶系缆力的计算方法。马小剑等<sup>[20]</sup> 学者基于力的平衡关系建立了系泊船舶在风和潮流作用下缆绳张力和运动的计算模型(Qmoor),其中根据船舶类型和吨位确定其水下的迎流面积和水上的迎风面积,由经验性公式计算风、流对码头靠泊船舶的作用力,缆绳张力采用缆绳非线性变形的 Wilson 公式计算,同时也考虑了护舷的变化与靠泊力之间的非线性关系,计算结果与物理模型试验结果较一致,并与 Optimoor 软件的计算结果进行了对比。张日向等<sup>[21]</sup> 研究了不同水位、不同船舶载度、不同浪流夹角在单流、单浪和浪流共同作用时对船舶撞击力和系缆力的影响。刘必劲<sup>[22]</sup>、陈中一<sup>[23]</sup> 等学者阐述了 VLCC 在潮流作用下的系缆力问题,讨论了系缆力随流速、流向、水位、船舶载重量等要素的变化规律,提出缆绳布置方案和安全措施。Sasa K.<sup>[24]</sup> 基于卡尔曼滤波理论,研究了台风中波浪的增长和衰减,提出