

中国腐蚀状况及控制战略研究丛书·典藏版
“十三五”国家重点出版物出版规划项目

海洋钢结构浪花飞溅区 腐蚀控制技术

(第二版)

侯保荣 等 著

非
外
借



科学出版社

中国腐蚀状况及控制战略研究丛书·典藏版

“十三五”国家重点出版物出版规划项目

海洋钢结构浪花飞溅区 腐蚀控制技术

(第二版)

侯保荣 等 著

科学出版社

内 容 简 介

本书综合了作者几十年来在海洋环境,特别是浪花飞溅区钢铁设施腐蚀规律和修复保护方面的研究成果。全书分为五章,分别介绍海洋腐蚀与防护研究的重要性、海洋钢结构在浪花飞溅区腐蚀现象和腐蚀行为、海洋钢结构浪花飞溅区腐蚀防护方法、复层矿脂包覆防腐技术的防腐原理、施工工艺及工程应用等内容。

本书内容翔实,数据丰富,可读性强,既可以作为海洋环境腐蚀,特别是浪花飞溅区腐蚀防护方面的科普性读物,又可以为滨海或海上码头、平台、桥梁、电厂等重大海洋钢桩式构筑物防腐蚀设计、施工、管理和维护等提供参考。本书适用于有关高等院校、科研院所、工矿企业等研究参考,也可用于指导技术、施工及管理人员开展相关防腐蚀工程。

图书在版编目(CIP)数据

中国腐蚀状况及控制战略研究丛书:典藏版/侯保荣主编. —北京:科学出版社, 2018.1

“十三五”国家重点出版物出版规划项目

ISBN 978-7-03-056255-5

I. ①中… II. ①侯… III. ①腐蚀-调查研究-中国 IV. ①TG17

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 002936 号

责任编辑:李明楠 高 微/责任校对:贾伟娟

责任印制:张 伟/封面设计:铭轩堂

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京京华虎彩印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 1 月第 一 版 开本: B5 (720 × 1000)

2018 年 1 月第一次印刷 印张: 14 1/4

字数: 284 000

定价: 3200.00 元(全 32 册)

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

“中国腐蚀状况及控制战略研究”丛书

顾问委员会

主任委员：徐匡迪 丁仲礼

委 员（按姓氏笔画排序）：

丁一汇	丁仲礼	王景全	李 阳	李鹤林	张 偲
金翔龙	周守为	周克崧	周 廉	郑皆连	郝吉明
胡正寰	柯 伟	侯立安	聂建国	徐匡迪	翁宇庆
高从堦	曹楚南	曾恒一	缪昌文	薛群基	魏复盛

“中国腐蚀状况及控制战略研究”丛书

总编辑委员会

总 主 编：侯保荣

副总主编：徐滨士 张建云 徐惠彬 李晓刚

编 委（按姓氏笔画排序）：

马士德	马化雄	马秀敏	王福会	尹成先	朱锡昶
任小波	任振铎	刘小辉	刘建华	许立坤	孙虎元
孙明先	杜 敏	杜翠薇	李少香	李伟华	李言涛
李金桂	李济克	李晓刚	杨朝晖	张劲泉	张建云
张经磊	张 盾	张洪翔	陈卓元	欧 莉	岳清瑞
赵 君	胡少伟	段继周	侯保荣	宫声凯	桂泰江
徐玮辰	徐惠彬	徐滨士	高云虎	郭公玉	黄彦良
常 炜	葛红花	韩 冰	雷 波	魏世丞	

《海洋钢结构浪花飞溅区腐蚀控制技术 (第二版)》

著作者委员会

主 任：侯保荣

副主任：段继周 张 杰 杨小刚 王 静 庞雪辉

委 员 (按姓氏笔画排序)：

王秀通	王 鹏	王 静	王 毅	朱庆军
朱素兰	刘学庆	刘增文	孙虎元	杜向前
李伟华	李红玲	李言涛	杨小刚	张 杰
张经磊	张 盾	陈卓元	庞雪辉	赵 霞
段继周	侯保荣	袁雪婵	袁 望	贾淑香
黄彦良	麻福斌	翟晓凡		

丛 书 序

腐蚀是材料表面或界面之间发生化学、电化学或其他反应造成材料本身损坏或恶化的现象,从而导致材料的破坏和设施功能的失效,会引起工程设施的结构损伤,缩短使用寿命,还可能导致油气等危险品泄漏,引发灾难性事故,污染环境,对人民生命财产安全造成重大威胁。

由于材料,特别是金属材料的广泛应用,腐蚀问题几乎涉及各行各业。因而腐蚀防护关系到一个国家或地区的众多行业 and 部门,如基础设施工程、传统及新兴能源设备、交通运输工具、工业装备和给排水系统等。各类设施的腐蚀安全问题直接关系到国家经济的发展,是共性问题,是公益性问题。有学者提出,腐蚀像地震、火灾、污染一样危害严重。腐蚀防护的安全责任重于泰山!

我国在腐蚀防护领域的发展水平总体上仍落后于发达国家,它不仅表现在防腐蚀技术方面,更表现在防腐蚀意识和有关的法律法规方面。例如,对于很多国外的房屋,政府主管部门依法要求业主定期维护,最简单的方法就是在房屋表面进行刷漆防蚀处理。既可以由房屋拥有者,也可以由业主出资委托专业维护人员进行防护工作。由于防护得当,许多使用上百年的房屋依然完好、美观。反观我国的现状,首先是人们的腐蚀防护意识淡薄,对腐蚀的危害认识不清,从设计到维护都缺乏对腐蚀安全问题的考虑;其次是国家和各地区缺乏与维护相关的法律与机制,缺少腐蚀防护方面的监督与投资。这些原因就导致了我国在腐蚀防护领域的发展总体上相对落后的局面。

中国工程院“我国腐蚀状况及控制战略研究”重大咨询项目工作的开展是当务之急,在我国经济快速发展的阶段显得尤为重要。借此机会,可以摸清我国腐蚀问题究竟造成了多少损失,我国的设计师、工程师和非专业人士对腐蚀防护了解多少,如何通过技术规程和相关法规来加强腐蚀防护意识。

项目组将提交完整的调查报告并公布科学的调查结果,提出切实可行的防腐蚀方案和措施。这将有效地促进我国在腐蚀防护领域的发展,不仅有利于提高人们的腐蚀防护意识,也有利于防腐技术的进步,并从国家层面上把腐蚀防护工作的地位提升到一个新的高度。另外,中国工程院是我国最高的工程咨询机构,没有直属的科研单位,因此可以比较超脱和客观地对我国的工程技术问题进行评估。把这样一个项目交给中国工程院,是值得国家和民众信任的。

这套丛书的出版发行,是该重大咨询项目的一个重点。据我所知,国内很多领域的知名专家学者都参与到丛书的写作与出版工作中,因此这套丛书可以说涉及

了我国生产制造领域的各个方面,应该是针对我国腐蚀防护工作的一套非常全面的丛书。我相信它能够各领域的防腐蚀工作者提供参考,用理论和实例指导我国的腐蚀防护工作,同时我也希望腐蚀防护专业的研究生甚至本科生都可以阅读这套丛书,这是开阔视野的好机会,因为丛书中提供的案例是在教科书上难以学到的。因此,这套丛书的出版是利国利民、利于我国可持续发展的大事情,我衷心希望它能得到业内人士的认可,并为我国的腐蚀防护工作取得长足发展贡献力量。

徐匡迪

2015年9月

丛书前言

众所周知,腐蚀问题是世界各国共同面临的问题,凡是使用材料的地方,都不同程度地存在腐蚀问题。腐蚀过程主要是金属的氧化溶解,一旦发生便不可逆转。据统计估算,全世界每 90 秒钟就有一吨钢铁变成铁锈。腐蚀悄无声息地进行着破坏,不仅会缩短构筑物的使用寿命,还会增加维修和维护的成本,造成停工损失,甚至会引起建筑物结构坍塌、有毒介质泄漏或火灾、爆炸等重大事故。

腐蚀引起的损失是巨大的,对人力、物力和自然资源都会造成不必要的浪费,不利于经济的可持续发展。震惊世界的“11·22”黄岛中石化输油管道爆炸事故造成损失 7.5 亿元人民币,但是把防腐蚀工作做好可能只需要 100 万元,同时避免灾难的发生。针对腐蚀问题的危害性和普遍性,世界上很多国家都对各自的腐蚀问题做过调查,结果显示,腐蚀问题所造成的经济损失是触目惊心的,腐蚀每年造成损失远远大于自然灾害和其他各类事故造成损失的总和。我国腐蚀防护技术的发展起步较晚,目前迫切需要进行全面的腐蚀调查研究,摸清我国的腐蚀状况,掌握材料的腐蚀数据和有关规律,提出有效的腐蚀防护策略和建议。随着我国经济社会的快速发展和“一带一路”战略的实施,国家将加大对基础设施、交通运输、能源、生产制造及水资源利用等领域的投入,这更需要我们充分及时地了解材料的腐蚀状况,保证重大设施的耐久性和安全性,避免事故的发生。

为此,中国工程院设立“我国腐蚀状况及控制战略研究”重大咨询项目,这是一件利国利民的大事。该项目的开展,有助于提高人们的腐蚀防护意识,为中央、地方政府及企业提供可行的意见和建议,为国家制定相关的政策、法规,为行业制定相关标准及规范提供科学依据,为我国腐蚀防护技术和产业发展提供技术支持和理论指导。

这套丛书包括了公路桥梁、港口码头、水利工程、建筑、能源、火电、船舶、轨道交通、汽车、海上平台及装备、海底管道等多个行业腐蚀防护领域专家学者的研究工作经验、成果以及实地考察的经典案例,是全面总结与记录目前我国各领域腐蚀防护技术水平和发展现状的宝贵资料。这套丛书的出版是该项目的一个重点,也是向腐蚀防护领域的从业者推广项目成果的最佳方式。我相信,这套丛书能够积极地影响和指导我国的腐蚀防护工作和未来的人才培养,促进腐蚀与防护科研成果的产业化,通过腐蚀防护技术的进步,推动我国在能源、交通、制造业等支柱产业上的长足发展。我也希望广大读者能够通过这套丛书,进一步关注我国腐蚀防护技术的发展,更好地了解和认识我国各个行业存在的腐蚀问题和防腐策略。

在此,非常感谢中国工程院的立项支持以及中国科学院海洋研究所等各课题承担单位在各个方面的协作,也衷心地感谢这套丛书的所有作者的辛勤工作以及科学出版社领导和相关工作人员的共同努力,这套丛书的顺利出版离不开每一位参与者的贡献与支持。

侯保荣

2015年9月

第 二 版 序

开发海洋资源,发展海洋经济,和平利用和保护海洋已成为国家建设的重要内容。随着“一带一路”战略的实施,在“十三五”及今后更长的一段时期,我国将进行广泛的海洋资源开发和海上交通运输设施建设,包括港口码头、跨海大桥、滨海电厂等基础设施,这些设施通常都是钢铁结构和钢筋混凝土结构。由于海洋环境腐蚀的严重性,如果这些工程设施不能得到很好的腐蚀控制,有可能发生腐蚀破坏,从而造成巨大的经济损失,乃至严重的灾难性事故。为了保证各种工程的耐久性和安全性,实现经济效益和社会效益的最大化,防腐蚀保护工作迫在眉睫。

由腐蚀造成的损失是巨大的。根据世界多个国家的统计,每年因腐蚀造成的经济损失约占国民经济生产总值的3%~5%。按3%的比例计算,我国在2014年的腐蚀损失接近20 000亿元。如果采用有效的控制和防护措施,25%~40%的腐蚀损失可以避免。因此,腐蚀与控制技术的研究对于国家经济建设和国防建设具有重大意义。国内外研究和工程实践表明,各种钢铁和钢筋混凝土工程设施在海洋浪花飞溅区的腐蚀破坏最为严重,其腐蚀速率约为海水全浸区腐蚀的3~10倍。一旦在这个区域发生严重的腐蚀破坏,整个设施的承载能力将大大降低,服役寿命缩短,从而影响安全生产,甚至导致设施的过早失效。海洋工程结构浪花飞溅区的腐蚀控制、监测和维护工作的优劣直接关系到我国海洋工程建设的百年大计。

在国家科技支撑计划支持下,“海洋工程结构浪花飞溅区腐蚀控制技术及应用”项目取得了一系列具有自主知识产权的成果,复层矿脂包覆防腐技术就是一项应用于海洋浪花飞溅区钢结构防腐蚀的重要技术。随着该技术研究的深入和工程应用的推广,《海洋钢结构浪花飞溅区腐蚀控制技术》一书初版原有内容已不能满足目前工程的需要,因此在第二版中增加了该技术新的有代表性的工程案例,以适应更加复杂的腐蚀环境和腐蚀问题。相信该书的出版将会促进复层矿脂包覆防腐技术在工程设施的应用,取得显著的经济效益和社会效益,为腐蚀与防护产业发展作出重要贡献。

薛群基

2016年2月

第一版序

21 世纪是海洋的世纪,我国海洋产业迅速发展,蓝色经济生机勃勃,正逐步成为我国经济新的增长点。海洋资源将以惊人的速度和规模被开发和利用,这就对各类海工设施的耐久性和稳定性提出了更高的要求。

然而,海洋腐蚀无时无刻不在发生,严重破坏蓝色经济赖以发展的海工设施。2009 年我国的腐蚀损失约为 1 万亿元人民币,这不但造成了资源的无谓消耗,更加严重阻碍了海洋产业的发展。研究表明,若能将现代腐蚀防护技术应用到海工设施的防护中去,将可以减少 25%~40% 的经济损失。因此,加快发展战略性海洋新型防腐蚀技术,并将其应用到海工设施的防护中去,及时抑制海洋腐蚀的发生,延长其使用寿命,对保障我国蓝色经济健康有序的发展具有重大意义。

在蓝色经济的开发和建设过程中,大量海洋工程基础设施开始兴建,如港口码头、跨海大桥、海洋石油平台、栈桥等,钢铁和钢筋混凝土是最常用的两种材料。海洋腐蚀环境极为苛刻,海洋环境中的金属结构物如不采取有效的防护措施,在短短的几年内就会因腐蚀而造成破坏。特别是在浪花飞溅区,钢结构表面由于受到海水的周期润湿,处于干湿交替状态,氧供应充分,盐分高,温度差异大及波浪冲击等因素作用,腐蚀特别严重。钢结构在浪花飞溅区的腐蚀速率比海水中高 3~10 倍,并易发生局部腐蚀破坏,这会使整座钢结构的承载力大大降低,严重影响着钢构造物的使用寿命和安全生产。

中国科学院海洋研究所自 20 世纪 60 年代开始,就一直从事我国海洋工程设施的腐蚀规律与控制技术研究,长期致力于海洋浪花飞溅区腐蚀规律与防腐蚀方法研究工作,对于海洋浪花飞溅区的钢结构腐蚀研究更有独到之处。特别是在“十一五”国家科技支撑计划支持下,在浪花飞溅区包覆防护技术领域取得了重大的突破。

在国家科技支撑计划支持下,中国科学院海洋研究所研究成功了具有自主知识产权的可带水操作的复层矿脂包覆防腐技术,突破了海洋腐蚀防护的技术瓶颈,解决了海洋浪花飞溅区的腐蚀防护和修复难题,为我国海洋工程设施的保护做出了贡献。本书是侯保荣院士主持的课题“现役海洋钢结构浪花飞溅区腐蚀防护修复技术及工程示范”所取得的成果的结晶,也是《海洋工程结构浪花飞溅区腐蚀控制技术及应用丛书》之一。

相信此书的出版,将会使人们对海洋浪花飞溅区的腐蚀危害性有一个更为全

面而清晰的认识,其研发的海洋浪花飞溅区复层矿脂包覆防腐技术将会在我国海洋钢铁设施上得到更广泛的应用,并取得显著的经济效益和社会效益,为我国海洋钢结构工程设施腐蚀防护做出重要贡献。

曹楚南

2010年11月

第二版前言

本书第一版自 2011 年 6 月出版以来,引起了腐蚀领域专家、同行的广泛关注。伴随着海洋浪花飞溅区腐蚀规律的研究及其腐蚀控制技术的蓬勃发展,本书第一版的内容已经不能准确表述当下学者们对海洋浪花飞溅区腐蚀规律认识的发展与防护策略的应用。

随着我国蓝色经济的迅猛发展,2014 年中国海洋经济生产总值近 6 万亿元人民币,海洋经济生产总值占全国 GDP 贡献约为 9.4%。在海洋环境中,腐蚀是一种悄悄发生的破坏,崭新的海洋钢结构设施在不知不觉中生锈报废,不仅威胁着生产安全,更威胁着人民群众的生命安全。近年来,随着人们对于海洋腐蚀问题关注程度的持续升温,防护需求更加迫切。伴随中国工程院“我国腐蚀状况及控制战略研究”重大咨询项目工作的开展,国家、企业、民众的腐蚀防护意识不断提高,海洋防腐技术不断完善进步,我国海洋防腐事业的发展也达到了历史的新高度。因此,本项目成为了我国腐蚀防护工作者认识我国工程设施腐蚀情况的重大契机,通过此次腐蚀调查,了解我国的工程设施损失严重的关键问题,加大投入力度,做到“对症下药”,将防护手段转化为国家的实际效益,利国利民。

作为海洋中腐蚀最为严重的区带,浪花飞溅区的腐蚀问题一直是海洋腐蚀防护的重点。随着对浪花飞溅区的腐蚀规律研究的不断深入,对其防护方法的开发不断提高完善,人们对于海洋浪花飞溅区腐蚀严重性与防护迫切性的认识已经迈出了重要的一步。在国家科技计划支撑下,中国科学院海洋研究所开发的具有自主知识产权的复层矿脂包覆防腐技术在过去五年里不仅在浪花飞溅区钢桩的防护中起到了良好效果,还在海上风电、埋地不规则管道等难以防护的结构上取得了重大突破。复层矿脂包覆防腐技术应用的地域广泛性、结构多元化及其防腐性能长效性成为技术的核心优势。

在本书第一版中介绍的各项工程应用中,复层矿脂包覆防腐技术至今防护效果完好,保证着工程设施的安全运行。在本书第二版中对复层矿脂包覆防腐技术的应用进行更加详细、完整的介绍,包括其在码头钢桩、石油平台、风电设备、大桥栈桥、埋地管道等多方面的应用。

本书是本团队几十年对海洋腐蚀,特别是对浪花飞溅区腐蚀的研究结晶,也是《中国腐蚀状况及控制战略研究》丛书之一。相信本书的再版,会使人们对于海洋浪花飞溅区的腐蚀规律有更加深刻的理解,对于各种防护手段的科学运用有更加清晰的认识。

在复层矿脂包覆防腐技术的示范工程中得到了江苏海上龙源风力发电有限公司、杭州湾跨海大桥管理局、舟山中化兴中码头、中海福建天然气有限责任公司等单位的大力协助，在此表示诚挚谢意！

本书是中国工程院“我国腐蚀状况及控制战略研究”重大咨询项目工作的有机组成部分，也是我们多年来在海洋浪花飞溅区腐蚀与防护研究成果的总结。

由于时间仓促，本书难免存在不足与疏漏，恳请广大读者批评指正！

侯保荣

2016年2月

第一版前言

潮起潮落，浪花飞溅，这是一道多么美丽的风景线。但对海洋工程的各种金属及混凝土材料来说，时而汹涌、时而优雅的大海，却是一种十分严酷的腐蚀环境，尤其是那一朵朵飞溅的美丽浪花，更是海洋工程的天敌。

潮起潮落，浪花飞溅。对于钢桩式构筑物来说，飞溅的浪花却是“吃金属的老虎”。国内外大量研究和实践表明，海洋浪花飞溅区是钢桩式构筑物腐蚀最严重的区带，该区域的严重腐蚀会大大降低码头、桥梁等海洋钢结构设施的承载力，缩短维修周期和使用寿命，严重危及构筑物安全，甚至会发生人身事故。

潮起潮落，浪花飞溅。由于干湿交替，在海洋浪花飞溅区，通常的涂料和电化学保护都不能发挥长期和有效的保护作用，成为海洋钢结构腐蚀防护的“短板”。因此，要想延长海洋钢结构物整体的使用寿命，必须发展有效的浪花飞溅区防腐技术，使这一“短板”增强。

国内外腐蚀科学工作者也一直孜孜不倦地研究各种浪花飞溅区的腐蚀防护方法。中国科学院海洋研究所也长期致力于海洋腐蚀与防护技术的研究工作，在海洋浪花飞溅区腐蚀规律和防护技术领域开展了大量扎实的工作。针对浪花飞溅区腐蚀防护的难题，我们与日本中防防蚀株式会社[(株) NAKABOHTEC]合作开发了浪花飞溅区复层矿脂包覆技术。“十一五”期间，我们得到国家支撑计划的支持，在海洋钢结构浪花飞溅区腐蚀防护技术领域取得了突破性进展。我们对复层矿脂包覆防腐技术的关键成分及生产工艺等开展了深入攻关研究，申请了复层矿脂包覆防腐技术发明专利，并得到国家专利局授权。复层矿脂包覆防腐技术采用了优良的缓蚀剂成分，并采用了能隔绝氧气的密封技术，系统由紧密相连的矿脂防蚀膏、矿脂防蚀带、密封缓冲层和防蚀保护罩等构成，分成若干个系列，对各种复杂形状的钢铁设施均可以实施保护。

该技术对表面处理要求低，施工方便，可带水作业；具有良好密闭性和抗冲击性能；质量轻，对结构物几乎无附加载荷；绿色环保，无毒无污染。复层矿脂包覆防腐技术防腐蚀效果优异，能大大延长海洋钢结构设施的维修周期和服役寿命，节省大量的维修保养费用，对保护海洋钢结构设施的安全运行具有重要的经济价值和社会意义。在国家科技部门的支持下，我们将该技术在海洋石油平台、港口码头、海上风力发电等设施上开展了工程示范应用，保护效果十分显著。

全书主要内容分为5章，第1章概要介绍了海洋腐蚀研究的重要意义和海洋腐蚀与防护的主要研究内容，第2章介绍了海洋浪花飞溅区腐蚀的严重性、国内

外研究进展及腐蚀破坏机理,第3章介绍了海洋钢结构在浪花飞溅区中的若干防护手段和方法,第4章着重介绍了复层矿脂包覆防腐材料的组成及其性能,第5章重点介绍了复层矿脂包覆防腐技术施工规范及在国内外应用实例,最后附有海洋钢结构浪花飞溅区复层矿脂包覆修复技术施工工艺规范。

在复层矿脂包覆防腐技术的示范工程施工过程中得到了青岛港(集团)有限公司、淄博宏泰防腐有限公司、中交水运规划设计研究院有限公司、青岛科技大学、胜利石油管理局、上海联和科海材料有限公司、湛江市港务局等单位的大力协助,在此表示衷心感谢。

本书是我们所承担的国家科技支撑计划课题“现役海洋钢结构浪花飞溅区腐蚀防护修复技术及工程示范”工作的有机组成部分,也是我国多年来在海洋浪花飞溅区腐蚀与防护研究成果的总结。长期以来,中国科学院海洋研究所海洋腐蚀与防护研究发展中心的各位同仁,在海洋浪花飞溅区腐蚀与防护技术研究、复层矿脂包覆防腐技术研究开发、示范工程、现场施工等方面开展了大量卓有成效的工作。本书的成果是集体劳动和智慧结晶,在此,也一并表示衷心感谢!本书的出版得到了国家科学技术学术著作出版基金的资助,在此,表示诚挚谢意。

由于作者水平有限,本书难免存在不足和疏漏,恳请广大读者批评指正!

侯保荣

2011年1月

目 录

丛书序

丛书前言

第二版序

第一版序

第二版前言

第一版前言

第 1 章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 海洋腐蚀的严重性及危害	2
1.3 钢铁在海洋工程设施上的应用	4
1.4 海洋腐蚀的主要破坏形式及影响因素	6
1.4.1 海洋腐蚀的主要破坏形式	6
1.4.2 海洋腐蚀的主要影响因素	8
1.5 海洋钢铁设施的防腐方法	10
1.5.1 阴极保护	10
1.5.2 重防腐涂料	11
1.5.3 包覆防腐技术	12
1.6 海洋工程设施防腐蚀的全寿命周期管理	13
第 2 章 海洋钢结构在浪花飞溅区的腐蚀	16
2.1 海洋腐蚀环境的分类	16
2.1.1 海洋大气区	17
2.1.2 浪花飞溅区	17
2.1.3 海洋潮差区	19
2.1.4 海水全浸区	21
2.1.5 海底泥土区	22
2.2 浪花飞溅区腐蚀严重性的认识过程	23
2.3 国外关于浪花飞溅区腐蚀的研究	28
2.4 国内关于浪花飞溅区腐蚀的研究	32
2.5 国内外浪花飞溅区腐蚀严重性事例	37