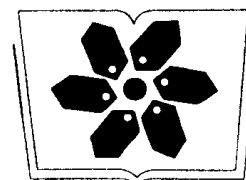


海洋腐蚀环境理论 及其应用

侯保荣 等著

科学出版社



中国科学院科学出版基金资助出版

海洋腐蚀环境理论 及其应用

侯保荣 等 著

科学出版社

1999

内 容 简 介

腐蚀是金属材料和环境相互作用所产生的一种自然现象,然而海洋环境是一个特定的极为复杂的腐蚀环境。本书是关于海洋腐蚀环境研究的专著,是作者在多年从事海洋环境中腐蚀与防护研究工作的基础上撰写而成的。书中首先介绍了各种不同的海洋腐蚀环境的特征及中国沿海的自然环境,分析了各种不同的海洋环境因子与腐蚀的相互性,研究了焊接构件钢的腐蚀疲劳及钢铁在海底沉积物等不同海洋环境中的腐蚀规律,并以阴极保护和喷涂金属为中心,提出了对海洋环境中的钢铁设施进行长期防腐蚀的有效方法。本书可供从事金属腐蚀与防护、海洋资源开发等领域的工程设计人员、科研人员、管理人员以及高等院校腐蚀与防护专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

海洋腐蚀环境理论及其应用/侯保荣等著. - 北京:科学出版社,1999.2

ISBN 7-03-007055-0

I. 海… II. 侯… III. 海水腐蚀 IV. TG172.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 30293 号

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号
邮政编码:100717

中国科学院印刷厂 印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1999年2月第 一 版 开本: 787×1092 1/16
1999年2月第一次印刷 印张: 17 1/2
印数: 1—1000 字数: 393 000

定价: 45.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈杨中〉)

作者介绍



侯保荣 1942年出生于山东曹县,1967年毕业于复旦大学化学系,1985~1988年作为客座研究员在日本东京工业大学工学部进行合作研究,1993年3月获日本工学博士学位。现为中国科学院海洋研究所研究员,博士研究生导师。30多年来一直从事海洋腐蚀与防护研究工作,多次主持国家及中国科学院重大研究项目。目前主要研究方向为海洋腐蚀环境以及其中金属腐蚀规律、腐蚀试验方法与防腐蚀技术等。1997年获“全国优秀科技工作者”称号。

《海洋腐蚀环境理论及其应用》
编 辑 委 员 会

主 编：侯保荣

副主编：郭公玉 马士德 张经磊 黄彦良 李言涛

委 员：(按姓氏笔划排列)

马士德	王 佳	孙虎元	李言涛	杨芳英
张经磊	赵松龄	侯保荣	郭公玉	黄彦良
薛以年				

序

海洋环境是一个特定的极为复杂的腐蚀环境。海洋大气中含有较多的海盐粒子;浪花飞溅区有一个严重的腐蚀峰,一般为海水全浸区腐蚀速度的3~5倍;海水反复涨落的潮差区的腐蚀最轻;海水是一种强电解质溶液,对材料的腐蚀作用因海洋环境的不同有很大差异;海底沉积物环境与普通的土壤腐蚀也大不相同。因而,海洋环境腐蚀的研究不是局限于材料本身,而是更多的关注不同海洋环境的腐蚀能力。

海洋腐蚀环境的提出是海洋科学的重要进步之一。经过海洋学家持续不断地努力,对海洋的认识大大加强。伴随着对各种主要海洋过程研究的深入,许多研究工作已上升到对海洋环境特性的研究。例如:对海洋生态过程的研究导致了人们对海洋生态环境的认识;对海洋动力过程的研究导致了海洋动力环境的认识;对海洋沉积过程的研究形成了对海洋沉积环境的认识。同理,海洋环境腐蚀过程与动力过程、生态过程、沉积过程一样,不仅是一种自然现象,而且是一种环境特性。海洋腐蚀环境的提出加深了人们对海洋腐蚀在海洋环境变化中重要性的认识,使人们从海洋环境的角度来看待腐蚀过程,认识到海洋腐蚀是人类在开发和利用海洋中所必须面对的环境特性。

本书作者及其课题组成员经过多年的不懈努力,不仅取得了许多关于海洋腐蚀的研究成果,而且明确提出海洋腐蚀环境的概念,初步建立了海洋腐蚀环境的理论体系,创立了一个新兴学科分支。虽然这个子学科创建不久,但是立即显示了它旺盛的生命力,在海洋石油开发等重要行业得到广泛的应用,成为应用部门广泛关注的领域之一。随着海洋经济发展的急需,海洋腐蚀环境的研究面对着许多亟待解决的理论和应用问题,向该领域的科学家提出了挑战。本书是海洋腐蚀环境研究的第一部专著,是海洋研究学者和从事海洋开发工作人员的重要参考书。我相信侯保荣同志及其领导的科研集体再接再厉,更加努力钻研,勇于创新,开拓进取,不断总结经验,在海洋腐蚀环境学的研究方面取得更加辉煌的成绩,为我国蓝色国土的开发和利用,为国民经济建设做出更大的贡献。

李士奎

1998年11月10日

前 言

浩瀚的海洋,是人类生存的摇篮。自从人类有文明史以来,就进行着海洋的开发和利用。从“兴渔盐之利”、“行舟楫之便”的传统海洋产业开发,到今天的海上运输、滨海旅游、深海采矿、港口码头、油气开发、海洋生物技术等新兴海洋产业的兴起,人类对海洋的开发利用正逐步走向深入。

“人口剧增,资源匮乏,环境恶化”是当今人类社会所面临的三大难题。人们越来越深刻地认识到海洋是人类生命的源泉,海洋是世界资源的宝库,海洋的开发和利用是国民经济发展的一个新的增长点。随着陆地资源的过度消耗和日益减少,人类不得不把目标投向海洋这一蓝色资源宝库。占地球表面 71% 的海洋将成为 21 世纪人类社会发展和资源可持续开发利用的重要领域。21 世纪将成为海洋的世纪,这已成为全球的共识。

海洋能源的开发和利用一直是国民经济发展的重要产业。随着国家经济发展战略从陆地转向海洋,海洋石油、天然气开发迅速崛起。但由于海洋严酷的腐蚀环境,海洋腐蚀一直是困扰海洋石油开发的重大难题。

从腐蚀的角度来看,海洋环境可分为海洋大气区、浪花飞溅区、潮差区、海水全浸区和海底泥土区五个不同特性的腐蚀环境。不同的材料在同一区带的腐蚀程度不同,即使同一种材料,在不同的海洋环境中的腐蚀规律也完全不同。此外,气温、水温、降水、雾、潮汐、海浪、潮流、盐度、pH 值、溶解氧、附着生物、污染程度、流速等因素也都与腐蚀有着密切关系。同时海洋环境对材料的破坏不是其中某个因子的单独作用,而是几种因子以至于整个环境相互作用的结果。海洋腐蚀环境的苛刻性和复杂性对腐蚀工作者提出了许多研究课题。

腐蚀不仅仅造成材料的浪费,因设备维护而迫使停工停产,更严重地是因腐蚀而造成油、气泄漏引发灾难性事故。所以国家和石油、天然气开采部门对此十分重视,多次专门立项研究海上石油开发过程中的腐蚀与防护问题。

本书就是中国科学院海洋研究所海洋腐蚀与防护研究室的科研工作者多年来所取得的科研成果的系统总结,它主要不是讨论材料本身的腐蚀问题,而是探讨海洋腐蚀与环境的有关理论及其应用。全书共分 8 章。第一章介绍了海洋腐蚀环境的基本特征和影响因素,分析了金属在海洋环境中发生腐蚀的类型,腐蚀热力学研究方法和腐蚀失效分析。第二章以中国沿海自然环境为背景介绍了温度、潮汐等水文物理条件及风、降雨等气象状况,阐述了海洋腐蚀环境的特点,探讨了自然腐蚀环境因素与金属腐蚀的关系。第三章介绍了碳钢和不同低合金钢在海水中的腐蚀行为,比较了不锈钢和几种有色金属

材料的耐海水腐蚀性能,分析了利用分别挂片、电连接挂片等实验方法获得的海洋环境不同区带的腐蚀规律,同时还利用穆斯堡尔谱研究了不同腐蚀区带的锈层结构,初步探讨了其腐蚀机理。第四章介绍了海洋沉积物环境腐蚀的研究与评价方法,海底沉积物不同腐蚀因子对腐蚀速度的影响,沉积物中的全面腐蚀和电偶腐蚀规律及渤海石油开发区海底沉积物的腐蚀状况。第五章阐述了海洋生物污损环境及其与腐蚀的关系,介绍了各种海工设施和中国沿海主要港口的污损生物,并以实例说明了污损与腐蚀的相关性并对一些材料的防污性能进行了探讨。第六章介绍了海水环境中腐蚀疲劳的基本知识,探讨了腐蚀疲劳裂纹萌生和发展的机理、腐蚀疲劳的试验方法,讨论了影响海水腐蚀疲劳性能的因素及常用海上平台焊接结构钢在空气、海水及阴极保护条件下的疲劳性能,并对板厚效应进行了深入分析。第七章介绍了在海水环境中对钢铁设施进行牺牲阳极法和外加电流法阴极保护系统的设计与施工以及阴极保护系统的检测技术,同时介绍了若干阴极保护的应用实例。第八章以涂料和金属喷涂覆盖层为中心,介绍了有关钢铁表面处理的有关知识,探讨了有机涂层的防腐蚀机理、涂料的检测与控制、海洋涂料的性能及其设计。在金属覆盖层方面,主要阐述了热喷涂的基本原理、喷涂工艺标准、封孔处理及其电化学性能,并列举了一些应用实例。

全书由侯保荣主编,各章主要编写人员具体分工如下:第一章,侯保荣;第二章,侯保荣、赵松龄;第三章,侯保荣;第四章,张经磊、王佳;第五章,马士德、杨芳英;第六章,黄彦良、薛以年;第七章,郭公玉、孙虎元;第八章,侯保荣、李言涛。最后由侯保荣统稿。

海洋腐蚀环境研究在海洋资源开发过程中得到了很大发展,取得了大量的研究成果,在多年的实验工作中获得了可贵的第一手资料。在本书的编写过程中作者曾查阅了大量的文献资料,对多年来许多研究成果进行认真总结,精心筛选,反复修改,几易其稿,才使得本书得以出版。初世宪进行了技术校对;宋金明、黄修明、朱素兰、刘玉珊、刘增文、李延旭、段继周参加了部分工作;张岩、李红玲、杜湄山同志完成了微机排版和图表的绘制工作。在本书编写工作中,中国科学院海洋研究所领导及有关职能部门给予了大力支持,同时本书还得到了中国科学院科学出版基金的资助,作者在此一并表示感谢。由于作者水平有限,书中错误和疏漏之处在所难免,敬请读者予以批评指正。

侯保荣

1998年8月

目 录

序

前言

第一章 海洋环境与腐蚀	(1)
第一节 概述	(1)
第二节 海洋腐蚀环境	(4)
一、海洋大气区	(5)
二、浪花飞溅区	(7)
三、潮差区	(8)
四、海水全浸区	(10)
五、海底泥土区	(12)
第三节 海洋环境腐蚀类型	(12)
一、均匀腐蚀	(12)
二、点蚀	(13)
三、缝隙腐蚀	(13)
四、冲击腐蚀	(13)
五、空泡腐蚀	(14)
六、电偶腐蚀	(14)
七、腐蚀疲劳	(14)
第四节 海洋环境中金属腐蚀失效分析	(16)
一、金属材料本身引起的失效	(16)
二、环境因素引起的失效	(16)
三、设计方面引起的失效	(17)
第五节 海洋中金属腐蚀的热力学基础	(17)
第二章 中国沿海自然环境与腐蚀因素	(20)
第一节 概述	(20)
第二节 中国沿海特征环境因子	(21)
一、海水温度	(21)
二、海水盐度	(23)
三、降水	(26)
四、雾	(27)
五、寒潮活动	(28)

六、台风	(29)
第三节 中国海区的自然特征	(30)
一、渤海	(30)
二、黄海	(35)
三、东海	(37)
四、南海	(41)
第四节 主要的腐蚀环境因子	(43)
第三章 钢铁在海水环境中的腐蚀	(47)
第一节 概述	(47)
第二节 影响腐蚀的主要环境因素	(47)
一、温度	(47)
二、流速	(49)
三、溶解氧	(50)
四、盐度	(51)
五、pH 值	(51)
六、海洋生物	(52)
第三节 碳钢和低合金钢在海水中的腐蚀	(53)
一、试验	(53)
二、试验结果与讨论	(54)
三、结论	(56)
第四节 不锈钢和几种有色金属材料在海水中的腐蚀	(57)
第五节 钢铁的分别挂片腐蚀规律	(58)
一、实验	(59)
二、实验结果	(59)
三、讨论	(60)
四、结论	(61)
第六节 钢铁的电连接挂片腐蚀规律	(61)
一、实验	(61)
二、实验结果	(62)
三、讨论	(63)
四、结论	(64)
第七节 钢铁在海水中的锈层结构	(64)
一、材料与方法	(65)

二、锈层的外观形貌	(65)
三、穆斯堡尔谱分析	(65)
四、结论	(72)
第四章 海底沉积物环境中的腐蚀	(74)
第一节 概述	(74)
第二节 海底沉积物基本理论	(74)
一、基本概念	(74)
二、海底沉积物腐蚀环境特点	(75)
三、海底沉积物环境腐蚀研究内容	(75)
第三节 海底沉积物环境腐蚀性评价	(77)
一、国外土壤腐蚀性的分级标准	(77)
二、国内土壤腐蚀性的分级标准	(80)
三、海底沉积物腐蚀性评价方法	(81)
四、沉积物类型对腐蚀性的影响	(82)
五、沉积物深度对腐蚀性的影响	(82)
六、沉积物中温度对钢铁腐蚀的影响	(83)
第四节 海底沉积物环境腐蚀因子	(83)
一、腐蚀性环境因子分析	(83)
二、沉积物腐蚀环境因子的分布特征	(86)
三、海底沉积物氧化还原环境评价	(89)
四、海底沉积物腐蚀因子原位测试	(91)
五、海底沉积物腐蚀性图谱	(92)
第五节 钢铁在海底沉积物中腐蚀规律	(94)
一、现场试验	(94)
二、室内试验	(98)
第六节 海泥中硫酸盐还原菌腐蚀实验	(101)
一、室内实验	(101)
二、实验结果	(104)
第五章 海洋环境的生物污损与腐蚀	(107)
第一节 概述	(107)
第二节 海洋设施的污损生物	(107)
一、管道内的污损生物	(107)
二、海底电缆的污损生物	(108)

三、海中钢桩的污损生物	(108)
四、浮码头与浮标的污损生物	(109)
五、舰船的污损生物	(110)
第三节 我国主要港湾的污损生物	(111)
一、大连港	(111)
二、埕岛与渤海湾	(111)
三、青岛港	(112)
四、定海港	(112)
五、湛江港	(113)
第四节 生物污损与腐蚀防护的关系	(114)
一、生物污损对腐蚀的影响	(114)
二、金属/海水界面的电化学腐蚀与生物附着	(116)
第五节 污损生物与腐蚀研究	(119)
一、浮球和声学释放器生物污损与腐蚀	(119)
二、污损生物对舰船的腐蚀	(122)
三、藤壶附着与低合金钢腐蚀	(123)
四、藤壶附着与不锈钢局部腐蚀	(125)
五、铜合金的污损及防污性能	(126)
六、海洋微型生物与金属腐蚀	(128)
第六章 海洋环境中的腐蚀疲劳	(132)
第一节 概述	(132)
第二节 腐蚀疲劳的基本理论	(134)
一、裂纹萌生	(134)
二、裂纹扩展	(136)
三、疲劳数据在设计中的应用	(139)
第三节 腐蚀疲劳试样及装置	(142)
一、试样制备	(143)
二、试验装置	(144)
第四节 大气中的腐蚀疲劳性能	(144)
一、试验方法	(145)
二、试验结果和讨论	(145)
三、结论	(150)
第五节 海水腐蚀疲劳性能	(151)

一、试验方法	(151)
二、试验条件	(152)
三、试验结果和讨论	(153)
四、结论	(158)
第六节 阴极保护时海水腐蚀疲劳性能	(159)
一、试验方法	(159)
二、试验条件	(160)
三、试验结果和讨论	(160)
四、结论	(164)
第七节 腐蚀疲劳的板厚效应	(165)
一、试验结果	(166)
二、板厚对疲劳寿命的影响	(170)
三、厚度影响焊接接头疲劳寿命的原因	(171)
四、结论	(171)
第七章 海洋钢铁设施的阴极保护	(173)
第一节 概述	(173)
第二节 阴极保护的主要电化学参数	(176)
一、保护电位	(176)
二、保护电流密度	(177)
三、实际工程中阴极保护参数的测定	(178)
第三节 牺牲阳极保护系统	(182)
一、牺牲阳极的性能	(182)
二、牺牲阳极材料	(182)
三、牺牲阳极保护的设计	(184)
四、牺牲阳极保护系统的施工	(186)
第四节 外加电流阴极保护系统	(190)
一、直流电源	(190)
二、电缆	(191)
三、辅助阳极设计	(191)
四、外加电流阴极保护系统施工及安全	(192)
第五节 阴极保护系统的检测技术	(193)
一、检测的必要性	(193)
二、检测的方法	(194)

第六节 阴极保护设计应用	(196)
第八章 表面覆盖层	(199)
第一节 概述	(199)
第二节 钢铁表面预处理	(199)
一、锈蚀等级鉴别	(200)
二、表面除锈标准	(200)
三、钢铁表面的机械除锈方法比较	(203)
四、喷砂除锈方法	(204)
五、钢铁表面除锈的化学方法	(206)
六、钢铁表面的除油污方法	(207)
七、金属表面除旧漆方法	(208)
第三节 有机涂层	(209)
一、涂料的组成	(209)
二、涂层	(210)
三、涂料的防腐作用	(211)
四、涂层的检测与控制	(213)
五、海洋涂料的性能要求	(214)
六、常用海洋涂料	(217)
七、海洋防腐涂层设计	(218)
八、涂料在不同海区的暴露实验	(224)
九、海洋平台的涂装经验与实例	(228)
第四节 热喷涂金属覆盖层	(232)
一、热喷涂原理和涂层结构	(232)
二、热喷涂工艺	(233)
三、热喷涂材料	(236)
四、锌、铝及其合金涂层的电化学特性	(238)
五、锌、铝涂层防护原理	(240)
六、锌、铝涂层的特点及防护设计	(242)
七、涂层制备工艺与后处理	(246)
八、喷涂层耐腐蚀试验	(249)
九、海洋工程应用	(258)
主要参考文献	(260)

第一章 海洋环境与腐蚀

第一节 概 述

海洋不仅仅是巨大的资源宝库,而且是人类生存与发展不可缺少的空间环境,是解决人口剧增、资源短缺、环境恶化三大难题的希望所在。在不断增长的生存压力下,世界各国正想方设法寻求改善生活质量和可持续发展的路子。沿海国家纷纷把目光投向了海洋,加紧制订海洋发展规划,大力发展海洋高新科技,强化海军建设和海洋管理,不断加快海洋资源开发步伐。可以预见,21 世纪人类将在很大程度上依赖海洋来实现可持续发展,研究、开发、利用和保护海洋将成为 21 世纪的主旋律,海洋必将为人类社会的进步做出重要的贡献。

人类对海洋的探索 and 开发每前进一步,都是由海洋科技的发展带动的。造船技术的进步、指南针的使用,使葡萄牙、西班牙、荷兰、英国等在 17 ~ 19 世纪相继成为海上霸主。进入 20 世纪,由于对一系列海洋新技术的掌握和运用,使美国、前苏联成为新的海上霸主。从海洋产业的产生和发展来看,传统的海洋渔业和海洋运输业得以产生和发展,主要得益于造船技术的进步和蒸气机、内燃机的出现;一批新兴海洋产业的产生、发展也都是直接由高新技术的进步而驱动的。海洋产业的规模和水平直接取决于海洋科技水平的高低。从世界范围看,一个国家的海洋经济是强还是弱,关键在于其海洋科技水平是高还是低。当今美国、日本、英国、法国等,其海洋经济之所以发达,最重要的一点是因为这些国家都有发达的海洋科技,尤其是高新技术。

21 世纪是海洋的世纪,海洋将成为 21 世纪竞争的焦点。海洋领域内的竞争,无论是政治的、经济的还是军事的,归根到底是科技的竞争。而海洋科技竞争的焦点在于海洋高新技术。海洋技术与原子能、宇航科技一起被称为当代世界三大尖端科技革命的重要内容,受到许多国家的高度重视。目前,世界上有 100 多个国家把开发海洋定为基本国策,竞相制定海洋科技“发展规划”、“战略计划”等,把发展海洋科技摆在向海洋进军的首要位置,把海洋科技作为世界新技术革命最重要的内容来对待。10 年前,美国就提出了“全球海洋科学规划”,把发展海洋科技提到全球战略的位置,实施该计划的目的在于保持和增强美国在海洋科技领域尤其是高科技领域内的地位。1990 年,美国全国研究会和海事分会共同拟定了题为“90 年代海洋学:确定科技界与联邦政府新型伙伴关系”的报告,该报告提出了美国 90 年代海洋科技的发展战略,探讨了 21 世纪美国的海洋政策,提出了充分发挥海洋在提高美国全球经济竞争中作用的问题。1990 年 3 月,英国政府也公开了“海洋科技发展战略”的报告,提出了 6 个战略目标,优先发展对实施海洋发展战略具有重大意义的海洋科技,特别是高新技术。1990 年初,日本政府公布了“海洋开发基本构想及推进海洋开发方针政策的长期展望”的规划设想。这个到 2000 年的海洋开发规划

设想,也提出着重开发海洋高新技术,以加强日本海洋开发能力和提高国际竞争地位。日本把海洋技术列为 90 年代发展的 12 项高新技术之一。法国制定的海洋科技“1991 年至 1995 年战略计划”,旨在通过发展海洋科学技术,加强本国在海洋方面的竞争力。可见海洋科技在海洋经济发展中的重要作用。

我国是一个海洋资源十分丰富的国家,不仅拥有 18000 多公里的海岸线、6500 个沿海岛屿和 37 万平方公里的领海,还拥有近 300 万平方公里的管辖海域,这为发展我国海洋经济提供了十分广阔的天地。近几年来,国内许多沿海省市纷纷制定适合本地情况的海洋发展战略,加大了海洋开发力度,1997 年全国主要海洋产业的总产值达到 3000 多亿元,成为我国经济发展的新增长点和重要推动力。但是应该看到,我国的海洋资源远没有得到充分开发利用。

海洋资源可分为四大类:

(1)海洋生物资源。海洋生物资源包括海洋动物资源和海洋植物资源。海洋动物资源,鱼类有 25000 种之多,目前,年捕鱼量约 9000 万吨。世界公海鱼类资源可捕量达 2.4 亿吨,而现在公海只捕获约 300 万吨,仅占可捕量的 1.25%。目前海洋渔业年产量 7000 ~ 9000 多万吨左右,为人类提供了 25% 的动物蛋白质,正在调查并准备开发的南极磷虾资源,其储量为 10 ~ 15 亿吨。海洋中还含有丰富的海洋植物资源,如海带、裙带菜、紫菜、江蓠麒麟菜等。由于海洋藻类自然资源的不足,人们广泛的进行着人工栽培,目前世界栽培海藻总产量为 625 万吨鲜重,总栽培面积为 20 万公顷,年总产值约 30 亿美元(费修绶,1998)。

(2)海洋矿产资源。海洋矿产资源丰富,石油储量是陆地的 3 倍,深海锰结核中包含的锰、镍、铜是陆地的几十倍,甚至几百倍。1996 年,世界海洋石油产量达 10 亿吨,占世界石油总产量的 35%,估计到本世纪末,可达到 13 亿吨,其比重可能上升到 40% 以上。

(3)海水化学资源。海水化学资源包括海水中所含有的大量化学物质和淡水,目前人们已知道的 100 多种元素中,能在海水中找到的就达 80 多种。

(4)海洋能量资源。海洋能量资源主要有:波浪能、海流潮汐能、盐度差能、温度差能、压力差能。

这些海洋资源的开发和利用,离不开海上基础设施的建设。由于海洋苛刻的腐蚀环境,钢铁构筑物的腐蚀不可避免。

腐蚀(Corrosion)是金属与其所处的环境之间的化学或电化学相互作用,受材料的特性和环境的特性所支配,其结果,改变了金属的性质。本书将对腐蚀所涉及到的环境特性的影响进行说明。

金属的“腐蚀”可使其表面形成耐腐蚀性表面膜,可使外观变得更加漂亮,这是一种好的结果,而更多的是有坏的一面,即金属材料由于腐蚀而使其强度降低,性能变差。与腐蚀一词相同的意思还有“生锈”的另一种表达方法。锈主要是指水及铁的氧化物所构成的,用肉眼所能看到的腐蚀生成物,一般把铁及其合金的腐蚀叫做“生锈”是可以的,但是对非铁金属一般不称为“生锈”或“锈”。腐蚀所造成的损失约占国民经济总产值的 2% ~ 4%,这已经被许多国家的腐蚀损失调查所证实,腐蚀损失调查的方法有二个,一是从生产和制造方面所计算出的防腐蚀所花费用,例如,美国 1949 年 Uhlig 调查采用了这种方

法;另一种方法是调查使用领域内直接损失和腐蚀对策费,然后进行计算,例如 1970 年英国 Hoar 就采用了这种方法。

表 1.1 是使用 Uhlig 方式所计算的日本防蚀费用总额为 2.55 兆日元,占全日本 1974 年 GNP 136 兆日元的 2% (腐蚀损失调查委员会,防食技术,1977)。具体来讲涂装占 63%,表面处理占 25%,耐蚀材料占 9%,其他的均在 1% 以下,作为第一位的涂装当中,涂料费占 23%,与此相比更多的费用是用来支付人工费用占 77%,这里面的费用,一方面包括在对涂装部件必须花费较大的人力、物力进行表面处理,另一方面因为到目前为止,进行涂装的自动化程度较低,作业较困难所造成的。

表 1.1 从生产制造所计算出的防腐蚀费用(腐蚀损失调查委员会,1977)

防腐蚀方法	表面涂装	金属表面处理	耐蚀材料	防锈油	缓蚀剂	电化学保护	腐蚀研究费用	合 计
防腐费用(亿日元)	15955	6476	2388	157	161	158	215	25510
比例(%)	62.55	25.39	9.36	0.61	0.63	0.62	0.84	100

由上可知,全部损失的 90% 左右是普通钢的涂装费用及表面处理费用,作为工业材料,由于钢铁价格便宜,韧性大,强度高,在海洋环境中被大量使用着,但是钢铁又极易发生腐蚀,所以在海洋环境中钢铁的腐蚀与防护是一个重大课题,另外,对于这样一种庞大的费用,其节约的潜力非常之大,正如前面所提到的涂装作业的费用之昂贵及作业的自动化成为被关注的问题。

一般设施的建设都要经过设计阶段,其中防腐蚀设计是保证工程设施使用寿命的重要步骤。设计参数来源于海洋环境腐蚀调查和相应材料在海洋环境中的腐蚀破坏规律的研究和腐蚀调查。因此,海洋资源开发和海洋经济的发展离不开海洋腐蚀研究。

腐蚀不仅仅造成材料的浪费,更严重的是造成灾难性事故,引发油气泄漏,造成环境污染和人员伤亡,所以腐蚀防护研究是海洋资源开发和环境保护的基础科学问题。

海洋经济开发不仅仅涉及海洋自然环境的腐蚀问题还涉及到一些其它方面,例如海上石油开采中还涉及到各种酸、碱等强腐蚀介质,所以由腐蚀而造成的事故常有发生。

例如,1969 年日本一艘 5 万吨级矿石专用运输船,因为腐蚀脆性破坏而突然沉没;1974 年日本沿海地区一石油化工厂的贮罐因腐蚀开裂,大量重油流出海面,造成这一地区的严重污染;在联邦德国与荷兰交界的莱茵河上有一座吊索桥,桥面与吊索之间用高强度钢(抗拉强度 $\sigma_s = 1000\text{MPa}$)的螺钉、螺帽固定。吊索桥建成后第一年就有许多螺钉掉落在桥面上,经失效分析确定,这是因为高强度钢在酸雨条件下发生氢脆所致。

更有甚者,1967 年 12 月在美国东部快乐岬和卡诺加之间的一座铁桥,在使用了 40 年后,塌落在俄亥俄河中,使 46 人丧生。美国国家标准局和商业部的专家们对残骸作了检查,发现受力部位出现点腐蚀孔,有的已深达 3mm 以上,而该桥用钢材在有缺口时的抗断裂能力又很差,致使以腐蚀孔为缺口发生应力腐蚀开裂而酿成灾难性事故。

1980 年 3 月 27 日傍晚,亚历山大·基兰德号钻井平台在北海大埃科菲斯克油田上作业,在八级大风掀起高达 6~8m 海浪反复冲击下,五根巨大桩腿中的一根 D 号桩腿,因六根撑管先后断裂而发生剪切开裂,10105t 重的平台在 25min 倾覆,使 123 人遇难,造成近海石油钻探史上一起罕见的灾难。