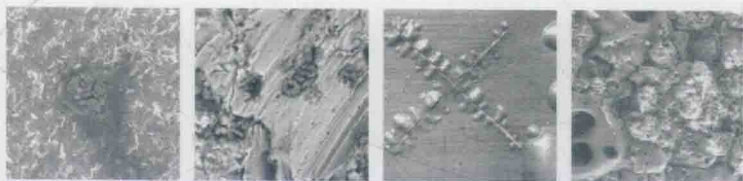




# 海洋工程

## 腐蚀与防护技术

张 剑 王东林 主编



HAIYANG GONGCHENG FUSHI YU FANGHU JISHU



化学工业出版社



# 海洋工程

# 腐蚀与防护技术

张 剑 王东林 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书主要介绍了海洋工程腐蚀与防护技术方面的最新科研成果,包括海洋环境下钢筋混凝土腐蚀与耐久性研究、钢结构防腐涂装技术研究、新材料研究、检测技术研究以及一些工程设计与应用实例。

本书内容丰富、实用,可供广大工程技术人员、科研单位及大专院校有关专业师生参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

海洋工程腐蚀与防护技术/张剑,王东林主编. —北京:  
化学工业出版社, 2016.9  
ISBN 978-7-122-27709-1

I. ①海… II. ①张…②王… III. ①海洋工程-水下  
技术-防腐 IV. ①P755.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 173674 号

---

责任编辑: 刘 军 张 艳  
责任校对: 王 静

装帧设计: 关 飞

---

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)  
印 装: 北京云浩印刷有限责任公司  
787mm×1092mm 1/16 印张 25 字数 641 千字 2016 年 11 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899  
网 址: <http://www.cip.com.cn>  
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

---

定 价: 128.00 元

版权所有 违者必究

## 本书编写人员名单

主 编

张 剑 王东林

参编人员

赵希娟 邢 峻 徐 岩 温 晖

# 前言

随着我国“一带一路”战略决策的制定和落实，我国海洋开发的步伐正在逐步加快，特别是南海岛礁建设，正在向纵深方向发展，深海、远海工程已成为国家新型战略需要和重点发展方向。开发海洋离不开海洋工程和防腐蚀技术。近年来，我国海洋军工、大专院校、科研单位、建筑施工企业及材料生产厂商都对海洋腐蚀环境下的腐蚀机理及防腐蚀措施做了大量的研究探索和工程实践，涌现出了很多新技术、新工艺和新材料。

中国腐蚀与防护学会建筑工程专业委员会于2015年11月上旬在海南省海口市组织召开了“2015年海洋工程腐蚀与防护技术研讨会”，会议征集到多篇论文，我们从中挑选出57篇论文，由化学工业出版社正式出版《海洋工程腐蚀与防护技术》论文集。

全书共分五个部分：第1部分综述；第2部分腐蚀机理与防腐技术研究；第3部分工程设计与应用；第4部分新材料技术；第5部分检测技术。本书内容翔实，涵盖了近几年该领域的最新成果、新技术、新材料、新设计理念以及新检测方法等，反映了国内海洋工程腐蚀与防护技术的理论和实践水平。

感谢众多论文作者的热忱支持，由于时间仓促，不妥之处在所难免，敬请原谅。

编者

2016年8月

# 目 录

## 第 1 部分 综 述 / 1

|                       |                       |    |
|-----------------------|-----------------------|----|
| 1 关于远海岛礁工程腐蚀防护问题的思考   | 王建平 刘锦红 侯晓峰           | 2  |
| 2 海洋工程系列防护技术          | 何鸣 王东林 李永良 徐雪萍 周伟 孙招栓 | 6  |
| 3 远海岛礁金属结构的腐蚀防护技术研究   | 王建平 魏英华 刘锦红 侯晓峰       | 17 |
| 4 湛江某海港码头腐蚀调查与分析      | 徐宁 范卫国                | 24 |
| 5 建筑工程材料与结构延寿可持续发展的研究 | 王东林 何鸣 徐雪萍 孙招栓        | 30 |
| 6 海砂在混凝土中的应用与研究       | 邓宽 王炜 赵希娟 于钦萍         | 40 |
| 7 沿海地区输变电工程腐蚀与防护研究进展  | 夏开全 李文圣               | 45 |
| 8 混凝土结构耐久性退化及耐久性描述    | 陈琳 屈文俊 朱鹏             | 52 |
| 9 海洋钢结构防腐涂料技术进展       | 张腾 赵希娟 王炜 于钦萍 邓宽      | 58 |

## 第 2 部分 腐蚀机理与防腐技术研究 / 63

|                              |                      |     |
|------------------------------|----------------------|-----|
| 1 用于铝合金保护的耐蚀富镁-铝环氧涂层研究       | 左禹 王建国 赵旭辉 唐聿明       | 64  |
| 2 平台导管架阴极保护优化设计研究            | 杜敏                   | 73  |
| 3 锚索钢绞线在海水环境中的应力腐蚀开裂研究       | 何积栓 谢玮 屈云琦 罗艳龙 江树青   | 80  |
| 4 CLDH 对几种混凝土孔隙液中碳钢腐蚀行为的影响研究 | 唐聿明 牛乐 赵旭辉 左禹        | 90  |
| 5 铝酸钙水泥在海洋环境中的耐久性            | 刁桂芝 刘光华 王志新          | 98  |
| 6 模拟深海环境对高速电弧喷涂铝涂层腐蚀行为的影响    | 童辉 韩文礼 林竹 魏世丞 徐滨士    | 102 |
| 7 氯离子对钢筋腐蚀行为的影响及其缓蚀剂的阻锈作用    | 郭亚 高颖波 胡娟 刘青 杜荣归 林昌健 | 108 |
| 8 有机复配阻锈剂对钢筋阻锈性能的研究          | 冯丽娟 王璇 杨怀玉           | 115 |
| 9 热喷涂复合牺牲阳极在混凝土中的电化学性能研究     | 董炽 萧以德               | 123 |
| 10 纵筋锈蚀对钢筋混凝土梁抗冲击性能的影响       | 杨鸥 戴明江               | 130 |
| 11 微弧氧化陶瓷层对基体力学性能的影响研究       | 孙志华 刘明 王志申 王强 陆峰 汤智慧 | 139 |
| 12 道桥混凝土结构腐蚀及安全耐久性防护与修复      | 徐雪萍 王东林 何鸣           | 145 |

|    |                             |                         |     |
|----|-----------------------------|-------------------------|-----|
| 13 | 加强热轧 T 型方钢管节点抗冲击性能试验研究      | 崔鹏飞 陈凡 霍静思              | 151 |
| 14 | 不同有害离子溶液中 U 型弯曲钢绞线的应力腐蚀行为研究 | 刘畅 何积铨 李成华 张响 宋瑞建 秦煜    | 157 |
| 15 | 持续承载 RC 柱经冻融和海水侵蚀后的抗震性能     | 袁杰 刁波 沈宇                | 164 |
| 16 | 模拟混凝土孔隙液中 pH 值对钢筋腐蚀行为的影响    | 唐方苗 朱燕峰 王小平 高颖波 杜荣归 林昌健 | 174 |
| 17 | 混凝土试块中醇/胺基阻锈剂对钢筋的长期阻锈性能     | 郑雷刚 冯丽娟 孙中辉 杨怀玉         | 180 |
| 18 | 海水干湿作用后具有初始荷载裂缝的 RC 柱性能劣化试验 | 沈宇 叶英华 袁杰 刁波            | 186 |

第 3 部分 工程设计与应用 / 195

|    |                           |                           |     |
|----|---------------------------|---------------------------|-----|
| 1  | 杭州湾大桥护栏防腐涂装工艺             | 吴斌 白华栋 张亮                 | 196 |
| 2  | 海洋大气条件下 40 万吨铜/年项目设施的防腐实践 | 付成文 张诗光 吴培德 邢利华           | 200 |
| 3  | 既有钢结构电视塔防腐技术方案浅析          | 夏大桥 王谦 徐涛 赵海龙             | 207 |
| 4  | 煤化工钢结构防腐蚀与防火设计应用          | 陈京                        | 213 |
| 5  | 某钢厂湿法脱硫钢烟囱防腐技术探讨          | 王伟 庄继勇                    | 223 |
| 6  | 武钢炼钢厂防腐调查及防腐治理对策          | 吴根鹏 李小瑞 黄新豪 李煜川 李家全       | 231 |
| 7  | 某热电厂 180m 烟囱钢内筒腐蚀调查       | 董振平 邓明科 姚继涛               | 233 |
| 8  | 钢结构长效防腐涂装体系设计与施工          | 赵希娟 邢峻 于钦萍 王伟 王东林 张剑 侯兆新  | 239 |
| 9  | 防腐质量控制的意义及其要素分析           | 杨锦文 邢峻 赵希娟                | 244 |
| 10 | 悬挑钢模板在重力式码头的应用            | 樊继永 蒋江波 王萍踪 陈腾飞           | 251 |
| 11 | 碳化混凝土再碱化施工规程              | 屈文俊 闫冰 郭生吉 朱鹏             | 255 |
| 12 | 聚合物乳液材料在混凝土维修和保护中的应用      | 潘美 赵希娟 王东林 王伟             | 265 |
| 13 | 袍江大桥超长全防腐系杆设计研究           | 宋强 黄日金 华剑平 陈建国 齐琪 陆绍辉 黄芳玮 | 271 |

第 4 部分 新材料技术 / 279

|   |                           |                        |     |
|---|---------------------------|------------------------|-----|
| 1 | 湿热海洋环境下铁路混凝土防腐蚀氟碳涂料的制备与性能 | 程冠之 李世达 靳昊 罗志权 李化建 谢永江 | 280 |
| 2 | “靶向防腐技术”的研究与应用            | 黄晓峰 董祥云 高树强 孙杰 韩学坤 李东林 | 289 |
| 3 | 无溶剂超厚浆环氧重防腐蚀鳞片涂料的研制       | 于钦萍 王伟 赵希娟             | 301 |
| 4 | 抗腐蚀水性环氧改性砂浆的研制与应用         | 李小瑞 余群岛 杨德华 李鑫         | 307 |
| 5 | 水性环氧涂料的研制                 | 魏薇 师华 白华栋 杨振波          | 311 |
| 6 | 钢结构上聚氨酯氟碳复合涂层可剥离现象的剖析     | 沈志聪 杨华 石文明 吴贤官         | 315 |

|    |                       |                    |     |
|----|-----------------------|--------------------|-----|
| 7  | 一种环保型钢结构长效防护底漆的研究     | 邓宽 王炜 于钦萍          | 322 |
| 8  | 海洋重防腐领域环保型防腐涂料应用研究    | 孙华杰                | 329 |
| 9  | 补强加固用聚合物改性自密实混凝土的开发研究 | 孔祥芝 纪国晋 张思佳 计涛 刘艳霞 | 335 |
| 10 | 混凝土防护材料的研制及应用         | 赵希娟 潘美 刘彦东 王炜      | 341 |

## 第5部分 检测技术 / 345

|   |                                 |                    |     |
|---|---------------------------------|--------------------|-----|
| 1 | 海洋环境钢筋混凝土结构耐久性健康寿命预测评估          | 何积铨 黄晓东 张响 王闯 汤洋   | 346 |
| 2 | 混凝土结构耐久性能的随机过程模型                | 陈琳 屈文俊 朱鹏          | 350 |
| 3 | Q235B 钢在模拟海洋潮差区的腐蚀原位监测及牺牲阳极保护研究 | 董俊华 穆鑫 赵林 魏洁 柯伟    | 357 |
| 4 | 海底管道外防腐层破损检测技术研究                | 王志涛 韩文礼            | 371 |
| 5 | 钢筋在海水不同高程区域的长尺电连接腐蚀速度检测         | 何积铨 彭洁 杨文秀 王尚君     | 377 |
| 6 | 海洋钢结构桥梁涂装检测纵论                   | 何鸣 王东林 徐雪萍 孙招栓 祁晨龙 | 382 |
| 7 | 基于分布式光纤传感技术的钢筋锈蚀监测              | 孔祥龙 廖开星 赵雪峰        | 389 |



## 第 1 部分

# 综 述

# 关于远海岛礁工程腐蚀防护问题的思考

王建平 刘锦红 侯晓峰

(海军工程设计研究院, 北京, 100070)

**摘要** 远海岛礁工程腐蚀严重, 针对其腐蚀现状和岛礁防腐技术发展现状, 提出应首先建立基于防腐等级的腐蚀防护综合技术体系, 并对体系涉及的专用重防腐涂料、水泥改性、混凝土添加剂、制备工艺、表面处理、涂装工艺及监测和检测技术等关键技术进行优选和深入研究, 达到提高工程的耐久性, 降低维护成本, 提高工程使用寿命的目的, 以此满足远海岛礁建设及日常维护急需。

**关键词** 远海岛礁, 设施设备, 腐蚀防护

## 1 远海岛礁工程的腐蚀防护问题

### 1.1 远海岛礁建设环境和腐蚀现状, 对工程腐蚀防护提出新的要求

在众多的腐蚀环境中, 海洋环境是腐蚀最严重的环境之一。①海水中含 NaCl 约 3%, 是腐蚀速率最高的浓度; ②浪溅区是腐蚀最为严重的区域; ③海洋大气环境含盐分高, 是各类大气环境腐蚀中最严重区域之一; ④水中生物对混凝土和金属的腐蚀也很严重。

大量岛礁工程设施设备, 包括各类陆域及水工结构、供水、供气及供油管线, 风机、空调设备等, 暴露于高温、高湿、高盐雾、高辐射的海洋环境中, 受到阳光照射、温差影响、海水冲蚀及盐雾、生物侵蚀, 由于表面保护层及防腐涂层的严重腐蚀, 混凝土设施 3 年左右便出现开裂剥落、钢筋外露, 金属设备 1 年左右即因腐蚀而失效。由此导致远海岛礁工程人工岛及上部结构、金属设施设备寿命缩短、过早报废、频繁修补和维修, 显著降低了设施设备完好率, 直接影响了岛礁工程的环境适应性、使用的可靠性和使用寿命, 严重影响了驻岛人员的生产、生活和生存能力, 防腐防护也成为后勤保障部门沉重的经济负担。据不完全统计, 每年用于工程设施和设备防腐和维修经费占到全部维修费用的 1/3 以上, 而修补和维修时间占到总服役时间的 5%~10%。由于远海岛礁工程具有战备和平时保障功能, 设施设备的完好率和可靠性要求高, 对腐蚀防护提出了更高要求。尤其是远海岛礁工程设施远离大陆, 建设、维修极为不便, 防腐涂装施工应简便易行, 防腐效能应更高。普通的防腐涂料和技术无法满足远海岛礁工程的防腐要求, 腐蚀防护已成为远海岛礁建设和维护技术领域急需解决的重大问题之一。

### 1.2 现有岛礁防腐技术未成体系, 无法适应远海岛礁建设的腐蚀防护急需

随着防腐蚀技术的发展, 目前钢筋混凝土结构防腐修复技术可采用高性能混凝土、钢筋

阻锈剂、钢筋表面涂镀层和混凝土涂层防护等,而海洋工程钢结构设施主要采取涂层防护,防腐涂料已从过去的通用型涂料逐渐转变为专一型涂料,即根据工艺的需要开发专用涂料,使耐蚀材料和涂装工艺不断地涌现和更新。一方面,远海岛礁工程钢筋混凝土设施多采用增加保护层厚度方法,金属设施设备仍采用硝基或醇酸类涂料防腐,腐蚀防护效能差,这类涂料的溶剂挥发过程中会造成环境污染,破坏海洋大气环境,直接影响驻岛人员身体健康,虽对各类结构、设备及管线起到了一定的保护作用,但其各项性能指标均较为平均,针对性不强,无法达到科学、经济、长效的防腐效果,难以从根本上满足岛礁工程恶劣环境的需要。另一方面,近年来国内外研制出多型重防腐涂料,物化性能、价格差异较大,其海洋环境中的耐久性以及是否直接适用于远海岛礁恶劣的施工及使用环境尚不得而知。目前远海岛礁工程腐蚀防护缺乏科学、经济、长效的防腐技术体系,难以适应远海岛礁大规模建设及现代化保障能力建设的需要。

远海岛礁工程的腐蚀防护问题,应针对远海岛礁所处的海洋性腐蚀环境和湿热型气候,分析岛礁的建构筑物、设备、设施在海洋大气区、浪花飞溅区、潮差区、海水全浸区和海泥区的腐蚀与防护机理;建立岛礁的建构筑物、设备、设施的防腐等级及设计理论;重点研究适用于岛礁的建构筑物、设备、设施的防腐技术与保护体系;完善岛礁工程的防腐检测、检测技术及工艺。

## 2 构建远海岛礁重防腐综合技术体系框架

### 2.1 远海岛礁工程腐蚀机理分析

通过西沙岛屿及南沙礁堡工程设施腐蚀现状调查及腐蚀环境分析,明确远海气候环境条件对工程结构和设施设备的影响因素和影响因子;对远海海洋环境下钢材、砼、有机涂料等岛礁工程所用材料的腐蚀机理进行研究,确定不同材料的失效原因以及防腐涂层脱层机理。

### 2.2 远海岛礁工程综合防腐等级划分

明确远海岛礁工程不同部位、不同设施设备对于腐蚀防护的具体需求,以岛礁工程的材料、环境、使用功能、重要性为分类依据,对岛礁工程进行综合防腐等级划分,提出各防腐等级对应的腐蚀防护性能指标。

### 2.3 远海岛礁工程重防腐综合技术体系框架构建

针对远海岛礁工程综合防腐等级和防腐技术现状,综合考虑适用性和效费比,进行多技术方案优选,构建在功能上满足水域、潮汐带、陆域各类钢筋混凝土结构防腐、金属设施设备防腐及综合防腐要求,在技术上包括混凝土表面涂层防护技术、钢筋涂层防护技术、改性高性能混凝土技术、设施设备钢材涂层防护技术,在应用上包括多种重防腐涂料、海工水泥、混凝土添加剂、涂装工艺及相关检测、监测技术的综合防腐技术体系。

## 3 远海岛礁钢筋混凝土结构腐蚀防护问题

### 3.1 新型高耐候弹性防护涂层系统及功能涂料

(1) 全醚氟碳树脂弹性面涂/高弹中间涂层/环氧封闭底涂涂层系统。需对涂层系统综合

性能(耐光老化、耐盐雾、防腐蚀性能、力学性能、理化性能等)、对不同区域位置混凝土建筑物的适应性、弹性涂层类型选择与厚度设计、施工工法和涂装工艺等问题进行研究。

(2) 脂肪族聚脲、聚氨酯及聚氨酯脲弹性涂层/环氧封闭底涂涂层系统。应对涂层系统综合性能(耐光老化、耐盐雾、防腐蚀性能、力学性能、理化性能等)、对不同位置混凝土结构的适应性、码头路面适应性、弹性涂层类型与厚度设计、施工工法和涂装工艺等问题进行研究。

(3) 特殊部位功能涂层、防护涂层。对混凝土地下油库内壁涂层的研究,免除钢结构油库的可行性、弹性涂层结构、防渗漏、防静电功能、耐航煤等化学介质性能、实施技术等问题进行研究;对混凝土地下蓄水池内壁涂层的研究,弹性涂层结构、防水性能、饮用水内壁涂层卫生性能、实施技术等问题进行研究;对强动载作用基础混凝土表面抗震耐候涂层的研究,涂层综合性能、弹性涂层结构、抗震性能、实施技术等问题进行研究;对浪溅区现浇混凝土现场涂覆防护涂层的研究,封闭底涂的种类与施工方式、脱模问题、砼表面处理、弹性耐候涂层的涂覆方法、施工工法和涂装工艺进行研究。

(4) 岛礁办公住宿建筑物外墙涂料。对水性外墙涂料不适合岛礁工程的原因进行分析与实验证实,对高耐候装饰性外墙涂料、耐晒颜料选择、涂装工艺、基础处理进行研究。

### 3.2 海工水泥关键技术

(1) 海工水泥开发基础性研究。在实验室条件下通过对胶凝材料、掺合料及现代建筑化学外加剂对海工水泥水化机理、水泥石孔结构、凝结时间、力学性能、抗渗能力以及抗  $\text{Cl}^-$  和  $\text{SO}_4^{2-}$  的侵蚀能力的影响研究,筛选出适合海洋环境条件下的海工水泥用原材料。

(2) 海工水泥应用性研究。通过对模拟海洋环境条件下海工水泥强度发展、孔结构、抗渗能力以及抗  $\text{Cl}^-$  和  $\text{SO}_4^{2-}$  的侵蚀能力的试验研究,优化配方配置,研制出符合远海岛礁应用环境的海工水泥。

(3) 海工水泥工程应用研究。通过在远海环境条件下的各种试点工程的实际应用,筛选出最优的新型海工水泥。

(4) 高效粉体聚羧酸减水剂研究。对高效本体减水剂原材料的选型和配比进行研究;对本体聚合工艺和粉磨工艺研究基础产品性能测试和复配技术进行研究。

### 3.3 自密实无机防腐胶凝材料应用技术

对钢筋用自密实无机防腐胶凝材料水化机理进行试验研究;对力学性能及微观结构试验研究;耐久性、抗碳化性能进行试验研究;对抗  $\text{SO}_4^{2-}$  的侵蚀能力进行试验研究;针对不同海水深度下抗渗能力进行试验研究;对与钢筋粘结能力进行试验研究;对不同区域海洋环境下  $\text{Cl}^-$  在自密实无机胶凝材料中的迁移(渗透深度和渗透速率)规律进行研究;对机械化施工工艺进行研究。

## 4 远海岛礁金属设施设备腐蚀防护问题

(1) 金属设施设备全面腐蚀控制 探明远海海洋气候下金属防护涂层普遍短寿命的原因,对预计假说进行实验验证,对腐蚀机理理论进行分析并提出有效的解决方案。

(2) 高耐候金属重防腐涂料体系 对防锈底涂、中间涂层、全氟碳刚性面涂组成体系进行系统研究,并对几种底涂中涂涂料方案进行比选。

(3) 金属管道粉末环氧涂层 针对岛礁金属设施,设备及金属与非金属结合处等特殊需求,进行粉末环氧涂料的配方、制备工艺、涂装工艺、配套设备的技术方案研究;研发适用于远海岛礁的输运管道、阀门、卡箍、法兰、弯头、三通等管道接头及压力容器的防腐产品;利用高性能涂层+阴极保护联合防护方法,建立整体可靠的防腐体系和涂层防护监测系统。

(4) 施工环境与涂装工艺 明确底材处理与环境因素的关系,车间底涂与现场底涂的重要原则以及施工现场环境监测指标、施工工艺等。

## 5 远海岛礁工程的腐蚀检测与监测问题

### 5.1 岛礁防腐施工质量检测技术

针对不同部位、不同设施设备所采用的不同防腐涂层和技术措施,提出合理的施工质量检测方法和检测设备,以确保施工质量和防腐效果。

### 5.2 岛礁防腐蚀工程监测技术

开发针对西南沙重要工程腐蚀与防护的综合智能监测系统,实现对重要结构的腐蚀程度与防护状态的远程实时监测及评估预报。一是集成多参数耐久性监测探头,实现对钢筋腐蚀速率、腐蚀电位、温度、pH值、氯离子浓度、电阻率等参数的实时监测;二是基于上述监测探头,研发远程数据传输系统及监控和腐蚀状况评估软件,形成南海地区设施的综合腐蚀监测系统;三是研究腐蚀与防护综合监测系统的实施工艺及质量控制要点,四是将研发耐久性监测系统应用于典型结构、重点腐蚀部位,在实体工程中示范应用。

## 6 结语

解决远海岛礁工程的腐蚀防护问题,首先明确远海岛礁设施设备防腐等级分类标准,针对不同防腐等级优选提出适用的混凝土结构防腐、金属设施设备表面涂装防腐的系列化防腐技术,建立以防腐等级为基础,以重防腐涂料、水泥改性、混凝土添加剂为核心,表面处理、涂装工艺及制备工艺为技术支撑的综合性防腐蚀技术体系,将其应用于岛礁工程中以提高工程的耐久性,降低维护成本,提高工程使用寿命,满足远海岛礁建设及日常维护急需。

# 海洋工程系列防护技术

何鸣 王东林 李永良 徐雪萍 周伟 孙招栓

(中冶建筑研究总院有限公司, 北京, 100088)

## 1 前言

我国是海洋大国, 海岛众多。海岛是壮大海洋经济、拓展发展空间的重要依托, 是保护海洋环境、维护生态平衡的重要平台, 是捍卫国家权益、保障国防安全的战略前沿。为了保护海岛及其周边海域生态系统, 合理开发利用海岛资源, 维护国家海洋权益, 促进经济社会可持续发展, 我国制定了《中华人民共和国海岛保护法》等法律法规、结合国家海洋事业发展规划等相关规划, 还制定了《全国海岛保护规划》等重要文献。

我国拥有面积大于 500 平方米的海岛 7300 多个(《全国海岛保护规划》所列海岛数量, 除特殊说明外, 均指 500 平方米以上海岛的统计数), 海岛陆域总面积近 8 万平方千米, 海岛岸线总长 14000 多千米。按海区分布统计, 渤海区内海岛数量占总数的 4%, 黄海区占 5%, 东海区占 66%, 南海区占 25%。按离岸距离统计, 距大陆岸线 10 千米之内的海岛数量占总数的 70%, 10~100 千米的占 27%, 100 千米之外的占 3%。我国海岛广布温带、亚热带和热带海域, 生物种类繁多, 不同区域海岛的岛体、海岸线、沙滩、植被、淡水和周边海域的各种生物群落和非生物环境共同形成了各具特色、相对独立的海岛生态系统, 一些海岛还具有红树林、珊瑚礁等特殊生境; 海岛及其周边海域自然资源丰富, 有港口、渔业、旅游、油气、生物、海水、海洋能等优势资源和潜在资源。

我国海岛建设工作起步较晚, 但发展迅速。已经建立涉及海岛的自然保护区和特别保护区共 57 个, 含 805 个海岛, 其中海洋自然保护区 48 个, 含 524 个海岛; 海洋特别保护区 9 个, 含 281 个海岛。针对生态破坏严重的海岛, 开展了综合整治和生态修复工作, 浙江、福建、广东等省的“封岛育林”、“封岛护养”工程已取得一定成效。

全国已经利用的无居民海岛 1900 多个, 其中, 特殊用途海岛 1020 个, 公共服务用岛 365 个, 旅游娱乐用岛 73 个, 农林牧渔业用岛 340 个, 工业、仓储、交通运输用岛 49 个, 可再生能源、城乡建设等其他用岛 80 多个。

未来十年是我国经济社会发展的重要战略机遇期, 也是资源环境约束加剧的矛盾凸显期。海岛建设的挑战和机遇并存, 必须本着对国家、人民高度负责的态度, 立足保障科学发展, 增强海岛保护的国家意识、战略意识、危机意识, 统筹海岛建设和开发利用, 积极探索海岛发展新模式, 改善海岛人居环境, 促进海岛权益、安全、资源、生态以及经济社会的协调发展。

据交通运输部《2011 年公路水路交通运输行业发展统计公报》, 至 2011 年年底, 全国港口拥有生产用码头泊位 31968 个, 其中, 沿海港口生产用码头泊位 5532 个, 内河港口生

产用码头泊位 26436 个。全国万吨级及以上泊位 1762 个，其中，沿海港口万吨级及以上泊位 1422 个，内河港口万吨级及以上泊位 340 个。全国万吨级及以上泊位中，专业化泊位 942 个，通用散货泊位 338 个，通用件杂货泊位 322 个。据统计，2006 年全国港口完成货物吞吐量为 55.7 亿吨（见图 1），到 2011 年全国港口完成货物吞吐量达 100.4 亿吨，增加了近 1 倍，港口吞吐量的增长，造成了港口泊位的超负荷运作。近年统计表明，全国港口码头通过能力与实际吞吐量差距逐年增大，2010 年码头通过能力核查情况见表 1。由表 1 可以看出，泊位数量及等级仍难以满足经济发展的需要。

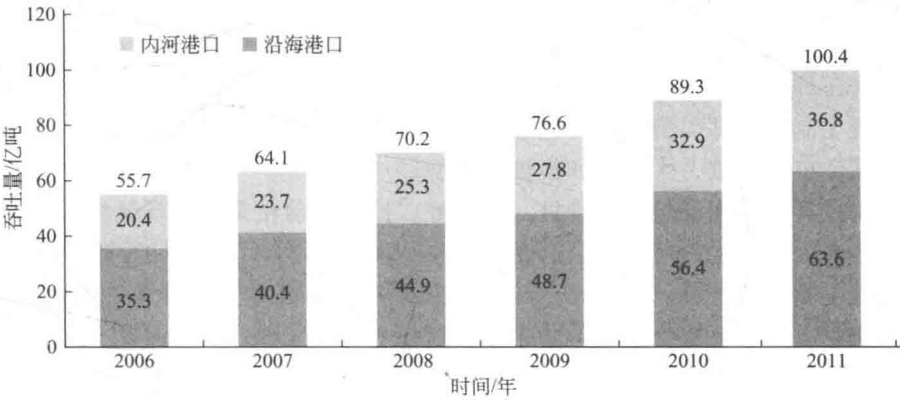


图 1 2006~2011 年全国港口完成货物吞吐量统计

表 1 2010 年全国港口码头通过能力考核表

| 项目         | 总体    | 集装箱   | 煤炭    | 原油          | 铁矿石      |
|------------|-------|-------|-------|-------------|----------|
| 泊位能力/实际吞吐量 | 0.80  | 0.84  | 0.67  | 1.44        | 0.46     |
| 说明         | 缺 20% | 缺 16% | 缺 33% | 地区不平衡,长三角不足 | 存在压港压船现象 |

此外，随着时间的推移，许多码头已投入运行 15 年以上。据有关资料统计，交通运输部在靠泊能力核定时，没有核定的使用年限 15 年或 30 年以上的老码头多达 831 座，且有的码头腐蚀破坏严重，迫切需要通过码头加固维修，提高码头结构的安全性，减少隐患，延长使用寿命。

综上所述，尽管港口码头工程基础设施迅速发展，但仍难适应国民经济快速发展的需要，此外，港口码头工程存在严重的耐久性问题。基于此，为满足运输量逐年增加的需求，一方面要求既有的港口工程设施能“老当益壮”，通过加固改造后“焕发新春”；另一方面要求新建港口工程设施能“延年益寿”，走健康持续之路。

港口码头基础设施是构建综合交通运输体系和促进国民经济与社会发展的重要设施，是国家参与国际经济合作与竞争的重要支撑。目前初步形成的渤海湾区域港口、长江三角洲区域港口、东南沿海港口、珠江三角洲区域港口和西南沿海港口等五大区域港口布局有效支撑了我国的能源系统、石化产业、钢铁产业和外贸产业的快速发展。

## 2 目前我国海工建设基本状况

目前我国港口工程基础设施应用的主要材料及制品混凝土，矿渣混凝土是港口码头工程基础设施应用的最主要材料，应用于港口码头工程基础设施的水泥强度等级要求不得低于

32.5 级。从水泥品种看,宜采用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥或复合硅酸盐水泥,其中硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥孰料中铝酸三钙含量宜在 6%~12%,严禁使用烧粘土质的火山灰质硅酸盐水泥。对有抗冻要求的混凝土宜采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥,不宜采用火山灰质硅酸盐水泥。不受冻地区海水环境的浪溅区混凝土宜采用矿渣硅酸盐水泥。与其他侵蚀性水接触的混凝土所用的水泥,应按有关规定选用。

钢材广泛应用于港口码头工程钢结构的主体及主要钢构件,是如钢管桩、钢板桩及拉杆、钢引桥等。从钢材的品种看,可分为碳素结构钢、低合金高强结构钢和桥梁用碳素结构钢及普通低合金钢板等。

港口码头工程基础设施涉及的主要制品包括混凝土制品和钢制品两大类。港口码头工程基础设施混凝土制品构件类型的主要包括板、梁、桩、沉箱、扶壁、方块、柱、墩台等。其中桩可分为灌注桩、方桩、大管桩和板桩等类型。

钢制品构件类型的主要包括钢管桩、钢板桩、拉杆、钢箱梁以及环氧涂层钢筋等。由于港口码头工程多处于海水的环境中,遭受着波浪、水流、潮汐等物理化学作用,因此,港口码头工程混凝土制品在材料、配合比设计、施工及对其性能要求都别于一般工程的混凝土。主要特点如下:①混凝土建筑物按不同的标高划分不同的区域;②对混凝土的组成材料有相应的要求和限制;③混凝土的配合比设计、性能、结构构造均突出耐久性的要求;④海上的混凝土浇筑要有适应环境特点的施工措施;⑤在满足混凝土的强度要求的同时,应同时满足耐久性要求。

大量工程调查结果表明,我国 20 世纪 70~80 年代以前建的港口码头工程基础设施因材料劣化导致功能降低的情况普遍存在。近 20~30 年,随着技术的进步及认识的提高,对水泥、掺合料、骨料、拌和水、外加剂、钢材等钢筋混凝土组成材料均提出了严格的要求,并制定了相应的规范或规程,使得我国港口工程基础设施的耐久性使用年限从只有 20~30 年已可以提高到 50 年以上。

进入 21 世纪,随着预制技术、起吊与安装技术的提高,重力式码头日益向“大型化、深水化”发展。在大型深水码头中,方块码头、扶壁码头所占比例减少,而沉箱结构码头和圆筒结构码头所占比例呈上升趋势。预制后沉箱连同附属设施重量从几百吨发展到几千吨,在国内最大的矿石码头——青岛港 40 万吨矿石码头沉箱重逾 6000t。总之,随着港口向大型化、深水化发展,同时得益于预制施工能力的提高,有空心(或半空腔)的混凝土制品是重力式码头结构的首选,在重力式码头建设中占有重要比重。

为配合海洋工程的开发应用,我们特研发了以下产品和技术。

### 3 海岸工程系列防护技术

#### 3.1 碎石粘接材料

我国拥有绵延 18000 余公里的海岸线,海岸防护工程量十分巨大,护岸的形式也是多种多样,可分为耐冲击的混凝土浇注堤坝和种植草皮灌木的生态型柔性堤坝。

混凝土浇注堤坝等传统工艺为刚性防护,是将防护表面封闭起来,波浪的冲击能量不能被吸收,而是直接施加在护坡上,波浪的冲击力将不受任何限制的直接打击在护岸表面,导致护坡完全依靠自身强度抵抗波浪冲击,这样就可能导致护坡由于受到磨损侵蚀和波浪冲击

而破坏。而且，通过光滑的混凝土表面能产生很高的波浪爬高，给海啸防灾带来巨大的困难（图 2、图 3）。



图 2 由松散乱石构筑的  
海岸防护系统

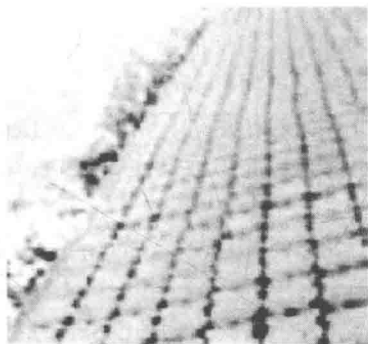


图 3 使用预制混凝土块构筑  
的海岸防护系统

产品介绍：新型聚氨酯碎石海岸防护系统，是由级配碎石拌和一定比例的聚氨酯粘合剂构筑而成的。它具有很高的强度和弹性，同时具有开放的多孔式结构，满足了海岸防护的各种技术要求，包括对波浪冲击力的吸收，减小波浪爬高和各种自然环境互相作用的耐受性要求。这种新系统除了能够抵抗自然影响之外，更具有安全的生态毒理学效应，以及在自然环境中使用时的视觉协调性（图 4、图 5）。



图 4 总体概况



图 5 细部观察

聚氨酯碎石海岸防护系统的优点：该海岸防护碎石胶为单组分，为改进海岸保护技术而开发研制的新型弹性单组分胶。当与石料混合后利用本身的黏结性与石料粘结，同时也保留了石料之间的缝隙与空间，增强了整体结构的弹性（图 6、图 7）。

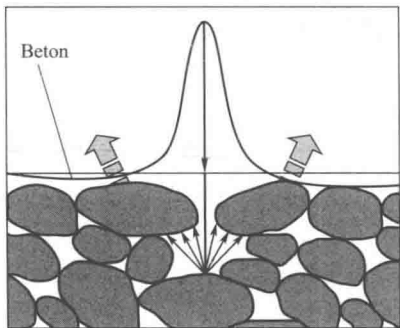


图 6 采用混凝土材料建造的封闭  
海岸的喷溅反射效果

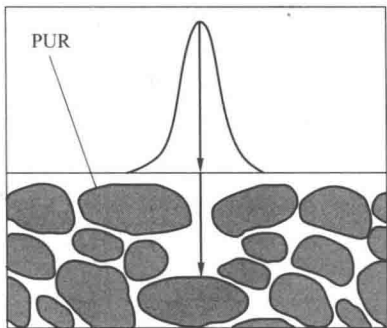


图 7 吸能效应