

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

水利水电工程建筑物 腐蚀及案例分析

李岩 巴志新 葛燕 朱锡昶 等 编著



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

水利水电工程建筑物 腐蚀及案例分析

李岩 巴志新 葛燕 朱锡昶等 编著

科学出版社

内 容 简 介

本书全面介绍了水利水电工程中混凝土结构和金属结构腐蚀的原因、类型、检测方法、防控措施及相应的工程调查案例分析。本书分为三篇。第一篇为绪论,主要介绍我国的水资源状况和水能资源规划开发利用现状,水利水电工程中主要建筑物、枢纽等级和布置、电站类型、维护管理等基本内容。第二篇为水利水电工程混凝土结构,主要介绍水利水电工程中影响混凝土结构腐蚀的主要因素、破坏类型、控制措施、腐蚀检测与评估方法,以及水利水电工程混凝土结构腐蚀状况调查分析案例。第三篇为水利水电工程金属结构,主要介绍金属结构腐蚀原理、腐蚀类型和特点、影响因素、检测评估方法、防腐蚀措施,以及水利水电工程金属结构腐蚀状况及防护措施案例。

本书可供从事水利水电工程相关行业教学、科研、设计、检测、施工、管理的科技人员和工程技术人员参考。

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 刘 冉/责任校对:张小霞

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:720×1000 B5

2018年1月第一次印刷 印张:19 1/4

字数:390 000

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 | |

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和部门,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

序

我国水资源总量丰富，水能蕴藏量位居世界之首，但我国水资源时空分布不均，人均相对不足，使得水资源问题相当严峻。通过规划兴建水利水电工程，充分合理开发利用水资源和水能资源，是国家环境保护与可持续发展的要求，也是国家能源安全的战略需要。

水利水电工程通常具有投资规模大、建设周期长、失事损失后果严重等特点，事关安危，故安全等级和管理要求较高。混凝土结构和金属结构在水利水电工程建设中广泛使用，而水利水电工程复杂的工况条件，使得这些结构在其长期的服役过程中，受到环境因素的影响，不可避免地会遭遇各种各样的腐蚀病害问题。由于腐蚀而引发结构过早地失效破坏，必将严重影响水利水电工程建筑物的安全运行，甚至引发灾难性的事故。因此，保障水利水电工程的安全和耐久运行的重要性和必要性不言而喻。

《水利水电工程建筑物腐蚀及案例分析》是作者在整理分析大量文献资料和所在单位多年来科研成果的基础上编写完成的。全书在概述我国水资源和水能资源的基础上，重点介绍了水利水电工程中混凝土结构与金属结构腐蚀的影响因素，破坏类型和特点、腐蚀程度检测评估方法，腐蚀病害的防控措施等，对水利水电工程建筑物的耐久性设计、施工及安全运行具有重要的参考价值。该书不仅涵盖基础理论知识，还列举了多个水利水电工程腐蚀调查分析案例。读后对水利水电工程混凝土结构与金属结构的腐蚀病害问题有一目了然、融会贯通之感。书中章节结构设计合理、内容全面，在国内外已出版的同类书籍中，还少见专门介绍水利水电工程建筑物腐蚀及控制方面的书籍。

该书作者长期从事水利、水电、水运行业腐蚀与防护的科研、工程检测与设计工作，对混凝土结构和金属结构腐蚀控制技术的国内外发展前沿动态有较深刻的了解和认识，并具有丰富的工程应用实践经验。相信该书的出版，将有助于读者了解和认识水利水电行业中存在的腐蚀问题，为类似工程设计和维护提供参考，对国内深入开展水利水电行业混凝土结构与金属结构腐蚀控制技术的研究和应用有很好的引导和推动作用，对提升我国水利水电工程建筑物的腐蚀防控技术水平具有重要意义。



2017年4月

前 言

水是人类及一切生物赖以生存的重要物质，是任何其他物质不可替代的自然资源，也是社会发展中最主要的战略性经济资源。我国虽然水资源丰富，但人均相对不足，且时空分布不均，因此，需要通过修建各种水利水电工程设施，方能有效地解决防洪排涝、水力发电、航运旅游、工业及城市供水等一系列水资源开发保护利用的难题，达到兴利除害的目的，造福于民。

水利水电工程具有规模大、投资多、建设周期长、失事损失后果严重等特点，故安全和管理要求等级高。兴建的水利水电工程，广泛采用混凝土结构和金属结构，在其长期的服役过程中，受到周围环境物理、化学、生物的作用，不可避免地会遇到各种各样的腐蚀病害问题。由于腐蚀问题引起结构过早破坏，将严重影响水利水电工程建筑物的安全有效运行。因此，了解水利水电工程中建筑物腐蚀破坏的影响因素，掌握腐蚀程度评估分析方法，采取有效的腐蚀防控措施，控制腐蚀的发生和发展，对水利水电工程建筑物的长期安全运行具有重大意义和重要作用。

本书基于国内外大量的文献资料和水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院近年来的科研工作成果，全面介绍了水利水电工程中混凝土结构和金属结构腐蚀影响因素、检测评估方法、防护措施、工程实际案例分析。全书分为三篇。第一篇为绪论，分为三章，主要介绍我国的水资源状况和水能资源规划开发利用现状，以及水利水电工程主要建筑物、枢纽等级和布置、电站类型、维护管理等基本内容。第二篇为水利水电工程混凝土结构，分为四章，主要介绍水利水电工程中影响混凝土结构腐蚀的主要因素、破坏类型、控制措施、腐蚀检测与评估方法，以及水利水电工程混凝土结构腐蚀状况调查分析案例。第三篇为水利水电工程金属结构，分为三章，主要介绍水利水电工程中金属结构腐蚀原理、腐蚀类型和特点、影响因素、检测评估方法、防腐蚀措施，以及水利水电工程金属结构腐蚀状况及防护措施案例。

本书不仅涵盖相关的基础理论知识，还引用了大量的国内外相关技术规范和工程分析案例，可供从事水利水电工程相关行业教学、科研、设计、检测、施工、管理的科技人员和工程技术人员参考。

全书由水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院李岩、南京工程学院巴志新等共同编写，由李岩负责统稿。具体分工为：第1，2，3，5章由李岩编

写，第4，8，9章由巴志新编写，第7，10章由葛燕、朱锡昶共同编写，第6章由柯敏勇编写。

本书在编写和出版过程中，得到了中国工程院重大咨询项目“我国腐蚀状况及控制战略研究”的资助，并列入“中国腐蚀状况及控制战略研究”丛书。同时，还得到了水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院出版基金的资助，在此一并表示衷心的感谢！

由于编著者水平有限，书中疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正，并将意见反馈给作者。

编著者

2017年4月

目 录

丛书序
丛书前言
序
前言

第一篇 绪 论

| | |
|------------------------------|----|
| 第 1 章 水利水电工程概论 | 3 |
| 1.1 我国的水资源及水能资源 | 3 |
| 1.1.1 我国水资源状况 | 3 |
| 1.1.2 我国的水能资源及开发状况 | 5 |
| 1.1.3 水资源及水能资源的利用和保护 | 7 |
| 1.2 我国的水利水电规划 | 8 |
| 1.2.1 规划前期任务 | 9 |
| 1.2.2 规划基本原则 | 11 |
| 1.2.3 规划类型 | 11 |
| 1.2.4 规划管理与实施 | 12 |
| 1.3 水利水电建设发展 | 12 |
| 1.3.1 水利水电建设发展状况 | 12 |
| 1.3.2 水利水电建设发展中存在的若干问题 | 14 |
| 1.3.3 水利水电建设发展前景 | 18 |
| 1.4 水利水电工程管理 | 19 |
| 1.4.1 水利水电前期管理 | 19 |
| 1.4.2 水利水电建设期管理 | 21 |
| 1.4.3 水利水电运行期管理 | 23 |
| 参考文献 | 23 |
| 第 2 章 水利工程 | 24 |
| 2.1 水利枢纽及水工建筑物 | 24 |
| 2.1.1 水利枢纽 | 24 |
| 2.1.2 枢纽的主要建筑物 | 24 |

| | | |
|------------|-----------------|-----------|
| 2.1.3 | 水工建筑物的分类 | 26 |
| 2.1.4 | 水工建筑物的特点 | 27 |
| 2.2 | 水利枢纽分等和水工建筑物的分级 | 29 |
| 2.3 | 枢纽布置 | 32 |
| 2.3.1 | 枢纽布置的任务和设计阶段 | 32 |
| 2.3.2 | 枢纽布置的一般原则和方案选定 | 34 |
| 2.3.3 | 蓄水枢纽与取水枢纽布置 | 35 |
| 2.4 | 水利工程的管理维护 | 35 |
| 2.4.1 | 水工建筑物的监测及管理 | 36 |
| 2.4.2 | 水工建筑物维护 | 36 |
| | 参考文献 | 37 |
| 第3章 | 水电工程 | 38 |
| 3.1 | 水电站主要类型 | 38 |
| 3.1.1 | 堤坝式水电站 | 38 |
| 3.1.2 | 引水式水电站 | 40 |
| 3.1.3 | 混合式水电站 | 41 |
| 3.1.4 | 无调节水电站和有调节水电站 | 43 |
| 3.1.5 | 梯级开发与梯级水电站 | 43 |
| 3.2 | 水电站主要建筑物 | 44 |
| 3.2.1 | 挡水建筑物 | 44 |
| 3.2.2 | 泄水建筑物 | 48 |
| 3.2.3 | 进水建筑物 | 52 |
| 3.2.4 | 引水建筑物 | 53 |
| 3.3 | 水电站主要动力设备 | 54 |
| 3.3.1 | 水轮机 | 54 |
| 3.3.2 | 水轮发电机 | 55 |
| 3.3.3 | 发电厂主要电气设备 | 56 |
| 3.4 | 水电站厂区枢纽 | 56 |
| 3.4.1 | 厂区布置的任务和原则 | 56 |
| 3.4.2 | 主厂房 | 57 |
| 3.4.3 | 副厂房 | 58 |
| 3.4.4 | 主变压器 | 59 |
| 3.4.5 | 开关站 | 59 |
| | 参考文献 | 59 |

第二篇 水利水电工程混凝土结构

| | |
|----------------------------------|----|
| 第 4 章 水利水电工程混凝土结构腐蚀因素及类型 | 63 |
| 4.1 混凝土结构的基本概念及优缺点 | 63 |
| 4.1.1 混凝土结构的基本概念 | 63 |
| 4.1.2 钢筋混凝土结构的优缺点 | 64 |
| 4.2 混凝土结构的发展及应用 | 66 |
| 4.2.1 混凝土结构的发展简况 | 66 |
| 4.2.2 混凝土结构的应用 | 68 |
| 4.3 影响水利水电工程混凝土腐蚀的主要因素 | 70 |
| 4.3.1 混凝土结构中的孔隙及其对腐蚀的影响 | 71 |
| 4.3.2 水泥外加剂与混凝土耐蚀性的关系 | 72 |
| 4.3.3 湿度等对混凝土腐蚀行为的影响 | 73 |
| 4.3.4 水泥品种对腐蚀的影响 | 73 |
| 4.3.5 酸、碱、盐对混凝土腐蚀的影响 | 74 |
| 4.3.6 钢筋锈蚀对混凝土腐蚀的影响 | 75 |
| 4.4 水利水电工程混凝土腐蚀破坏类型及原因 | 77 |
| 4.4.1 混凝土的腐蚀类型 | 78 |
| 4.4.2 混凝土的腐蚀原因 | 79 |
| 参考文献 | 83 |
| 第 5 章 水利水电工程混凝土结构腐蚀病害及控制措施 | 84 |
| 5.1 概述 | 84 |
| 5.2 混凝土裂缝 | 85 |
| 5.2.1 各种裂缝出现的原因 | 86 |
| 5.2.2 裂缝与钢筋腐蚀的关系 | 89 |
| 5.2.3 减少混凝土裂缝的方法和措施 | 90 |
| 5.3 渗漏和溶蚀 | 92 |
| 5.3.1 渗漏和溶蚀出现的原因 | 92 |
| 5.3.2 控制、减轻渗漏和溶蚀的方法及措施 | 93 |
| 5.4 钢筋锈蚀 | 93 |
| 5.4.1 钢筋锈蚀的原因 | 94 |
| 5.4.2 钢筋锈蚀对混凝土结构使用性和安全性的影响 | 96 |
| 5.4.3 控制钢筋锈蚀的方法 | 96 |
| 5.5 冲刷磨损和空蚀破坏 | 98 |

| | | |
|--------------|-------------------------------|------------|
| 5.5.1 | 冲刷磨损和空蚀破坏的原因 | 98 |
| 5.5.2 | 控制、减轻冲刷磨损和空蚀破坏的方法及措施 | 99 |
| 5.6 | 化学侵蚀 | 101 |
| 5.6.1 | 化学侵蚀的形式和机理 | 102 |
| 5.6.2 | 化学侵蚀对混凝土结构使用性和安全性的影响 | 104 |
| 5.6.3 | 避免或减轻化学侵蚀的方法和措施 | 105 |
| 5.7 | 冻融破坏 | 107 |
| 5.7.1 | 冻融破坏出现的原因 | 107 |
| 5.7.2 | 冻融破坏对水利水电工程混凝土结构使用性和安全性的影响 | 108 |
| 5.7.3 | 控制冻融破坏的方法和措施 | 108 |
| 5.8 | 碱-骨料反应 | 110 |
| 5.8.1 | 碱-骨料反应的机理 | 110 |
| 5.8.2 | 碱-骨料反应对混凝土结构使用性和安全性的影响 | 111 |
| 5.8.3 | 避免或减轻碱-骨料反应的方法和措施 | 112 |
| | 参考文献 | 113 |
| 第 6 章 | 水利水电工程混凝土结构腐蚀检测与评估方法 | 114 |
| 6.1 | 检测基本要求 | 114 |
| 6.2 | 检测依据和内容 | 116 |
| 6.2.1 | 水利水电工程混凝土结构腐蚀检测与评估依据标准 | 116 |
| 6.2.2 | 结构腐蚀检测的主要内容 | 118 |
| 6.3 | 检测方法 | 125 |
| 6.3.1 | 混凝土强度 | 125 |
| 6.3.2 | 内部缺陷检测 | 127 |
| 6.3.3 | 裂缝深度检测 | 131 |
| 6.3.4 | 钢筋分布和腐蚀检测 | 132 |
| 6.3.5 | 表面损伤厚度和结合面质量检测 | 136 |
| 6.3.6 | 混凝土耐腐蚀性能检测 | 138 |
| 6.4 | 腐蚀评估方法 | 144 |
| 6.4.1 | 腐蚀评估指标及标准 | 145 |
| 6.4.2 | 剩余使用寿命评估方法 | 150 |
| | 参考文献 | 159 |
| 第 7 章 | 水利水电工程混凝土结构腐蚀状况调查案例及分析 | 160 |
| 7.1 | 涡河大寺节制闸腐蚀状况调查案例及分析 | 160 |
| 7.1.1 | 基本情况 | 160 |
| 7.1.2 | 工程规模及主要结构形式 | 160 |

| | | |
|-------|------------------|-----|
| 7.1.3 | 工程运行状况及存在问题 | 162 |
| 7.1.4 | 检测目的及依据 | 163 |
| 7.1.5 | 建筑物现场检测与结果分析 | 165 |
| 7.1.6 | 混凝土和砌筑砂浆抗压强度 | 177 |
| 7.1.7 | 混凝土碳化深度 | 180 |
| 7.1.8 | 混凝土保护层厚度 | 181 |
| 7.1.9 | 钢筋锈蚀截面损失率 | 183 |
| 7.2 | 黄河红旗闸腐蚀状况调查案例及分析 | 184 |
| 7.2.1 | 基本情况 | 184 |
| 7.2.2 | 建筑物现场检测与结果分析 | 185 |
| 7.2.3 | 混凝土抗压强度 | 188 |
| 7.2.4 | 保护层厚度检测 | 189 |
| 7.2.5 | 混凝土碳化深度检测 | 191 |
| 7.2.6 | 钢筋锈蚀率检测 | 191 |
| 7.2.7 | 钢闸门检测 | 192 |
| 7.2.8 | 水质情况及取样分析 | 198 |
| 7.2.9 | 可靠性评估 | 199 |

第三篇 水利水电工程金属结构

| | | |
|-------|-------------------|-----|
| 第 8 章 | 水利水电工程金属结构腐蚀及检测 | 203 |
| 8.1 | 腐蚀原理 | 203 |
| 8.1.1 | 原电池 | 204 |
| 8.1.2 | 腐蚀原电池 | 206 |
| 8.1.3 | 腐蚀原电池的电化学反应及理论 | 207 |
| 8.1.4 | 宏观电池与微观电池 | 208 |
| 8.1.5 | 化学腐蚀与电化学腐蚀的比较 | 210 |
| 8.2 | 腐蚀类型 | 211 |
| 8.2.1 | 均匀腐蚀 | 211 |
| 8.2.2 | 局部腐蚀 | 211 |
| 8.3 | 水利水电工程金属结构腐蚀环境及性质 | 217 |
| 8.3.1 | 大气环境 | 217 |
| 8.3.2 | 水环境 | 218 |
| 8.4 | 腐蚀特点及影响因素 | 220 |
| 8.4.1 | 大气腐蚀特点 | 220 |
| 8.4.2 | 淡水腐蚀特点 | 222 |

| | | |
|-------------|----------------------------|------------|
| 8.4.3 | 淡水腐蚀的影响因素 | 222 |
| 8.4.4 | 海水腐蚀特点 | 225 |
| 8.4.5 | 海水腐蚀的影响因素 | 225 |
| 8.5 | 检测与评估方法 | 228 |
| 8.5.1 | 检测基本要求 | 228 |
| 8.5.2 | 检测技术方法 | 230 |
| | 参考文献 | 237 |
| 第9章 | 水利水电工程金属结构防腐蚀措施 | 238 |
| 9.1 | 概述 | 238 |
| 9.2 | 合理选材 | 238 |
| 9.3 | 防腐蚀结构设计 | 239 |
| 9.4 | 表面预处理 | 242 |
| 9.4.1 | 表面预处理方法 | 242 |
| 9.4.2 | 喷射除锈施工 | 243 |
| 9.4.3 | 质量评定 | 244 |
| 9.5 | 涂料保护 | 245 |
| 9.5.1 | 涂层配套 | 246 |
| 9.5.2 | 涂层系统选择 | 247 |
| 9.5.3 | 涂装施工 | 248 |
| 9.5.4 | 质量控制与检验 | 248 |
| 9.6 | 热喷涂金属保护 | 249 |
| 9.6.1 | 热喷涂方法 | 250 |
| 9.6.2 | 热喷涂金属材料的选择与要求 | 250 |
| 9.6.3 | 热喷涂的施工要求 | 252 |
| 9.6.4 | 质量控制与检验 | 252 |
| 9.7 | 阴极保护 | 253 |
| 9.7.1 | 阴极保护方式的选择 | 253 |
| 9.7.2 | 基本设计资料 | 254 |
| 9.7.3 | 强制电流阴极保护 | 255 |
| 9.7.4 | 牺牲阳极阴极保护 | 259 |
| 9.7.5 | 阴极保护准则 | 261 |
| 9.7.6 | 阴极保护与涂层联合使用的重要性 | 262 |
| | 参考文献 | 264 |
| 第10章 | 水利水电工程金属结构腐蚀状况及措施案例 | 265 |
| 10.1 | 淮河入海水道海口闸钢闸门腐蚀状况及措施 | 265 |