

HUNNINGTU ZHONG GANGJIN DE

FUSHI YU YINJI BAOHU

混凝土中钢筋的 腐蚀 与 阴极保护

葛 燕 朱锡昶 朱雅仙 李 岩 编著



HUNNINGTU ZHONG GANGJI

FUSHI YU YINJI BAOHU

混凝土中钢筋的 腐蚀 与 阴极保护

葛 燕 朱锡昶 朱雅仙 李 岩 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

钢筋腐蚀造成钢筋混凝土结构在远小于设计使用年限的情况下即过早发生破坏的现象在全世界范围内普遍存在,由此造成的经济损失十分巨大。本书扼要地阐述了混凝土中钢筋的腐蚀过程和影响因素,重点讨论了用于修复钢筋混凝土结构的阴极保护的原理、分类、准则、设计、施工和维护等内容,对阴极保护前的调查、关键因素的设计、电源选用、测试仪器等进行了介绍,列举了国内外钢筋混凝土阴极保护(含新建结构的阴极防护)。附录介绍了目前世界上最新版本的钢筋混凝土阴极保护标准。

本书可供从事土木建筑、材料科学等教学、科研、设计、施工、管理的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土中钢筋的腐蚀与阴极保护/葛燕等编著. —北京:
化学工业出版社, 2007. 8

ISBN 978-7-122-00879-4

I. 混… II. 葛… III. ①钢筋混凝土-钢筋-腐蚀②钢筋混凝土-钢筋-防腐-阴极保护 IV. TU528.571

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 114756 号

责任编辑: 段志兵

装帧设计: 韩 飞

责任校对: 李 林

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 刷: 北京云浩印刷有限责任公司

装 订: 三河市万龙印装有限公司

720mm×1000mm 1/16 印张 21½ 字数 347 千字

2007 年 9 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: 39.00 元

版权所有 违者必究

前 言

钢筋混凝土结构是目前应用最为广泛的结构形式之一，氯化物引起钢筋腐蚀造成钢筋混凝土结构，如海洋大桥、海港码头、沿海建筑物、使用除冰盐的高速公路和化工厂厂房等，在远小于设计使用年限的情况下即过早发生破坏的现象在全世界范围内普遍存在，由此造成的直接损失和间接损失都是巨大的。

阴极保护是国际上公认的防腐蚀技术，已有一百多年的历史。在早期，阴极保护主要用于土壤和水中钢结构的防腐蚀保护，1973年美国首次将阴极保护成功应用于受盐污染的钢筋混凝土桥面板，之后阴极保护的应用领域不断扩大。目前，在发达国家，如英国、美国、加拿大、澳大利亚等，阴极保护已被广泛应用于公路、桥梁、停车场、港口工程、隧道和沿海大楼等遭受盐污染的钢筋混凝土结构的腐蚀控制，防腐蚀效果已为大量的工程实践所充分验证，并一致认为，对于因腐蚀造成破坏的已建钢筋混凝土结构物，阴极保护是唯一有效的长期腐蚀控制措施。

至今，国外对钢筋混凝土结构物实施阴极保护已有30多年的历史，经过多年的开发研究和应用实践，在钢筋混凝土阴极参数和保护标准、阴极保护材料和仪器设备、阴极保护系统的监测和运行维护等方面都取得了很大的发展。近年来，又对阴极保护在预应力钢筋混凝土结构物的应用，以及阴极保护对延长和保持新的钢筋混凝土结构物耐久性的作用方面进行了大量的研究工作，并且制定了有关的标准和规范，为钢筋混凝土有效实施阴极保护提供了技术依据。

在我国，阴极保护已被广泛应用于海水、淡水和土壤等环境钢结构的防腐蚀保护。20世纪80年代中期，南京水利科学研究院承接了交通部“六五”攻关项目“海工钢筋混凝土上部结构强制电流阴极保护试验研究”课题，开展了钢筋混凝土阴极保护试验研究，获得了大量的室内试验资料和现场应用经验。

但由于多种原因,钢筋混凝土阴极保护技术没有能够在工程中得到推广和应用。目前,国内对于钢筋混凝土结构的腐蚀控制仍然采用传统的局部凿除修补技术进行维修,与发达国家有很大的差距。局部凿除修补技术不仅需要耗费大量的人力和财力,而且对处于氯化物环境的钢筋混凝土而言,往往效果很差或者是无效的,钢筋混凝土结构在维修后的短短二三年时间内就需要再次维修。

目前,我国有大量的钢筋混凝土结构物腐蚀破坏严重,加之我国正处于基础设施建设的高潮期,根据国外的经验,结构物在服役约 20 年后,钢筋混凝土的腐蚀破坏问题将日益显现。因此,学习借鉴国外几十年钢筋混凝土阴极保护应用的成功经验,在盐污染钢筋混凝土结构的修复中大力推广应用阴极保护技术是非常必要的。

本书包括两大部分,第一部分共 13 章为正文部分,主要介绍国内外阴极保护的技术的理论及工程实践;第二部分为附录,介绍目前世界上权威性的钢筋混凝土阴极保护标准(最新版本)。本书可供从事材料科学、土木建筑等教学、科研、设计、施工、管理的工程技术人员参考。

本书第 1 章第 1~6 节、第 2 章、第 3 章由朱雅仙教授级高工编写,第 1 章第 7 节、第 4 章、第 6 章、第 8 章、第 9 章、第 11 章中 11.1 节的 11.1.5~11.1.8 和 11.2 节、第 12 章、第 13 章由葛燕高工编写,第 5 章、第 7 章由朱锡昶高工编写,第 10 章、第 11 章的 11.1 节的 11.1.1~11.1.4 由李岩工程师编写,附录一由李岩编译,附录二由葛燕编译。全书由葛燕、朱锡昶负责统稿。方璟教授级高工对全书进行了总审。

本书的编著和出版,得到了南京水利科学研究院出版基金的资助。化学工业出版社为本书的出版给予了大力的支持,在此一并表示感谢。

由于编著者水平有限,不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编著者

目 录

1 绪论	1
1.1 混凝土钢筋腐蚀的危害	1
1.2 我国钢筋混凝土结构腐蚀破坏状况	3
1.2.1 海港工程腐蚀破坏状况	3
1.2.2 水利工程腐蚀破坏状况	5
1.2.3 公路和桥梁腐蚀破坏状况	6
1.2.4 公共和民用建筑腐蚀破坏状况	6
1.2.5 盐湖地区设施腐蚀破坏状况	7
1.3 钢筋腐蚀对结构功能的影响	8
1.4 钢筋腐蚀机理	9
1.4.1 自然腐蚀	9
1.4.2 杂散电流腐蚀	12
1.5 钢筋腐蚀的检测	14
1.6 控制钢筋腐蚀的方法	16
1.6.1 电化学保护	16
1.6.2 耐久性混凝土	18
1.6.3 混凝土表面涂层	19
1.6.4 阻锈剂	22
1.6.5 涂层钢筋	23
1.7 钢筋混凝土阴极保护技术的发展和现状	25
1.7.1 钢筋混凝土阴极保护技术的发展	25
1.7.1.1 强制电流阴极保护的发展	26
1.7.1.2 牺牲阳极阴极保护的发展	27
1.7.2 钢筋混凝土阴极保护应用现状	28
参考文献	31
第2章 钢筋混凝土阴极保护的工作原理	35
2.1 阴极保护原理	35
2.2 阴极保护方式	38
2.2.1 强制电流阴极保护	38
2.2.2 牺牲阳极阴极保护	40
2.2.3 阴极保护方式的选择	40

2.3 阴极保护条件	41
2.3.1 钢筋的电连续性	41
2.3.2 混凝土表面状况	42
2.3.3 避免阴极和阳极之间短路	42
2.3.4 混凝土凿除	42
2.3.5 局部修补	42
2.4 阴极保护区域的划分	43
2.5 阴极保护的副作用	44
2.5.1 预应力钢丝的氢脆	44
2.5.2 钢筋与混凝土界面的结合强度	45
2.5.3 诱发碱活性集料的混凝土结构的碱集料反应	46
2.5.4 腐蚀干扰	46
2.6 杂散电流对阴极保护的影响	47
2.6.1 杂散电流对保护电位的影响	47
2.6.2 杂散电流对保护电流的影响	48
2.6.3 杂散电流对牺牲阳极阴极保护系统的影响	48
参考文献	48
第3章 阴极保护准则	50
3.1 保护电位准则	50
3.1.1 保护电位准则	50
3.1.2 保护电位准则的依据	51
3.1.3 保护电位测量	54
3.2 极化衰减(发展)准则	55
3.2.1 极化衰减(发展)准则	55
3.2.2 极化衰减(发展)准则的依据	56
3.2.3 极化衰减(发展)测量	58
3.3 极化曲线(E - I_{gi})准则	59
3.3.1 极化曲线准则	59
3.3.2 极化曲线准则的依据	60
3.3.3 极化曲线准则的不足	60
3.4 其它准则	61
参考文献	62
第4章 保护电流密度和电流分布	64
4.1 保护电流密度	64
4.2 电流分布	66
4.3 试验性阴极保护系统	67
参考文献	67
第5章 阴极保护前结构物状况调查与检测	69

5.1 资料收集	69
5.2 外观普查	70
5.3 空鼓、分层、裂缝检测	72
5.3.1 空鼓检查	72
5.3.2 超声波分层、裂缝检测	72
5.4 钢筋位置及保护层厚度检测	76
5.4.1 检测的必要性	76
5.4.2 检测仪器	76
5.4.3 检测方法	76
5.5 钢筋半电池电位测定	78
5.5.1 必要性	78
5.5.2 检测仪器	78
5.5.3 测量方法	79
5.5.4 结果处理	80
5.5.5 钢筋锈蚀评估	82
5.6 氯化物含量检测	83
5.6.1 混凝土中氯化物的来源	83
5.6.2 氯化物含量检测的必要性	84
5.6.3 混凝土中氯离子含量的测定	84
5.6.3.1 游离氯离子含量的测定	85
5.6.3.2 氯离子总含量的测定	86
5.6.3.3 现场快速测定混凝土中氯离子含量	89
5.6.4 判别钢筋锈蚀	89
5.7 碳化深度测量	90
5.7.1 检测工具和材料	90
5.7.2 检测方法	90
5.8 钢筋腐蚀测量	91
5.8.1 检测的必要性	91
5.8.2 主要检查测量方法	92
5.9 杂散电流的检查	96
5.10 钢筋电连续性检测	96
5.11 混凝土电阻率测量	97
5.11.1 影响混凝土电阻率的因素	97
5.11.2 混凝土电阻率对钢筋腐蚀的影响	98
5.11.3 混凝土电阻率对阴极保护的影响	99
5.11.4 测量方法	100
5.11.5 注意的问题	101
5.12 混凝土抗压强度检测	102

5.12.1 回弹法检测混凝土抗压强度	103
5.12.2 取芯法检测混凝土强度	106
5.12.3 修正	111
5.13 腐蚀状况评价	112
参考文献	114
第6章 强制电流阴极保护	115
6.1 强制电流阴极保护的设计要求	115
6.2 强制电流阴极保护辅助阳极	115
6.2.1 概述	115
6.2.2 辅助阳极的特性	117
6.2.3 辅助阳极材料	120
6.2.4 主阳极	120
6.2.5 应用较为成功的辅助阳极系统及其特点	122
6.2.5.1 硅铁+导电沥青或导电混凝土阳极	122
6.2.5.2 导电塑料电线+AS导电砂浆阳极	122
6.2.5.3 主阳极+导电涂层阳极	126
6.2.5.4 金属涂层阳极	127
6.2.5.5 沟槽式或镶嵌式阳极	131
6.2.5.6 网状铜芯导电聚合物电线+水泥胶结材料覆盖层 阳极	132
6.2.5.7 钛基混合金属氧化物阳极	133
6.2.5.8 关于水泥胶结材料覆盖层	136
6.3 强制电流阴极保护施工和调试	136
6.3.1 保护系统施工	136
6.3.2 保护系统调试	138
参考文献	138
第7章 强制电流阴极保护的电源设备	141
7.1 概述	141
7.2 电源设备的种类	142
7.2.1 手控直流电源	142
7.2.1.1 普通硅整流器	143
7.2.1.2 可控硅整流器	143
7.2.2 自控直流电源	145
7.2.3 其他直流电源	146
7.3 强制电流阴极保护对电源设备的要求	146
7.3.1 基本要求	146
7.3.2 电源的容量	147
7.3.3 效率	149

7.3.4 环境要求	150
7.3.5 电源的布置	152
7.4 电源的选用	154
7.5 电源的安装	156
参考文献	156
第8章 牺牲阳极保护	157
8.1 牺牲阳极材料	157
8.2 应用较成功的牺牲阳极保护系统及其特点	158
8.2.1 电弧喷锌或喷铝-锌-镉合金	158
8.2.2 锌箔/导电黏结剂	159
8.2.3 锌网/水泥浆护套	160
8.2.4 锌网/压板	161
8.2.5 埋入式牺牲阳极	162
8.3 牺牲阳极保护系统使用寿命预测	164
参考文献	165
第9章 运行与管理	167
9.1 阴极保护系统监测	167
9.2 管理与维护	168
9.2.1 强制电流阴极保护系统	168
9.2.2 牺牲阳极阴极保护系统	169
参考文献	170
第10章 测试仪器及维护保养	171
10.1 测试仪器	171
10.1.1 超声波测试仪	171
10.1.2 钢筋保护层厚度及钢筋位置测定仪	173
10.1.3 钢筋半电池电位检测仪	175
10.1.4 钢筋腐蚀程度测定仪	176
10.1.5 混凝土中氯离子含量现场测定仪器	178
10.1.6 碳化深度测试仪器	180
10.1.7 数字电压表	181
10.1.8 混凝土电阻率测量仪器	183
10.1.9 回弹仪	184
10.1.10 电流断路器	185
10.1.11 参比电极和测试片	186
10.2 仪器的维护与保养	188
第11章 阴极保护工程实践	190
11.1 强制电流阴极保护	190
11.1.1 1988年我国大丰挡潮闸胸墙钢筋混凝土梁强制电流	

阴极保护试验	190
11.1.2 1988 年我国连云港二码头东侧钢筋混凝土梁板底部 强制电流阴极保护	194
11.1.3 1990 年我国湛江港 5 万吨级油码头甲连系桥上部结 构强制电流阴极保护	197
11.1.4 我国渤海某码头钢筋混凝土承重梁强制电流阴极保护	206
11.1.5 美国俄勒冈州 Newport 的 Yaquina Bay 桥强制电流 阴极保护	207
11.1.6 澳大利亚悉尼歌剧院混凝土构件强制电流阴极保护	210
11.1.7 美国维吉尼亚州混凝土桥梁面板强制电流阴极保护	211
11.1.8 沙特阿拉伯 Jubail 海水进水口钢筋混凝土结构强制 电流阴极保护	217
11.1.9 德国柏林绕城公路钢筋混凝土结构强制电流阴极保护	219
11.2 牺牲阳极保护	224
11.2.1 美国佛罗里达州公寓大楼牺牲阳极保护	224
11.2.2 美国阿拉斯加州 Ketchikan 高架桥牺牲阳极保护	228
11.2.3 维吉尼亚 Hampton 预应力混凝土桩牺牲阳极保护	231
11.2.4 加拿大安大略公路桥牺牲阳极保护	242
参考文献	248
第 12 章 阴极防护	250
12.1 概述	250
12.2 阴极防护工程实践	251
12.2.1 我国杭州湾跨海大桥阴极防护	251
12.2.2 美国维吉尼亚混凝土桥梁面板阴极防护	254
12.2.3 意大利 Frejus 公路立交桥(高架桥)面板阴极防护	255
参考文献	260
第 13 章 经济分析	261
13.1 阴极保护工程费用	261
13.2 防腐蚀工程经济分析方法	265
13.3 不同措施的费用比较	273
13.3.1 传统修补方法与阴极保护费用比较	273
13.3.2 耐蚀钢筋与阴极防护费用比较	277
参考文献	279
附录	280
附录一 EN12696:2000 混凝土中钢筋的阴极保护	280
前言	280
简介	280
1 范围	281

2	规范性引用文件	281
3	术语和定义	281
4	一般规定	282
5	结构物的评定和维修	283
6	阴极保护系统的组成	287
7	安装程序	298
8	试运行	303
9	系统记录 and 文件	308
10	运行和维护	309
附录二 NACE RP0290—2000 大气中钢筋混凝土结构强制电流		
	阴极保护推荐性规程	311
1	总则	311
2	准则	312
3	强制电流阴极保护系统设计	314
4	安装	317
5	通电和系统调试	318
6	强制电流阴极保护系统的运行和维护	319
7	记录	321

绪论

1.1 混凝土钢筋腐蚀的危害

混凝土因具有成本低廉、坚固耐用且材料来源广泛等优点而被土木工程的各个领域普遍采用，并已经成为现代建筑中使用最为广泛的材料。但其在环境作用下会发生多种形式的破坏，使混凝土耐久性不足而导致工程使用寿命达不到设计要求。Mehta教授在1991年召开的第二届混凝土耐久性国际学术会议上作的题为《混凝土耐久性——50年进展》主题报告中指出：“当今世界上混凝土破坏原因按重要性递降顺序排列是：钢筋锈蚀、寒冷气候下的冻害、侵蚀环境下的物理化学作用”^[1]。2001年又以《21世纪建筑结构的耐久性》为题，发表如下重要观点：

① 基础设施遭遇环境的破坏，在世界许多地区，将是严重的、大量存在的问题，并且已经是一个经济问题；

② 在所有的工程材料中，混凝土是应用最广泛和大量的，而混凝土是多种材料的复合物，其结构与性能是随时间而变化的；

③ 钢筋腐蚀是钢筋混凝土结构破坏的主要机理^[2]。

钢筋锈蚀已成为导致钢筋混凝土建筑物耐久性不足、过早破坏的主要原因，是全世界普遍关注的一大灾害。

腐蚀造成的危害是严重的，它带来了巨大的直接和间接经济损失。美国20世纪90年代混凝土基础设施工程总价值约为6万亿美元，每年所需的维修费或重建费约为3000亿美元；50万座公路桥梁中，20万座已有损坏，平均每年有150~200座桥

梁部分或完全坍塌,寿命不足20年,修复这些桥梁需900亿美元。英国英格兰岛的中环线快车道上有11座高架桥,全长21km,总造价2800万英镑,因撒除冰盐引起腐蚀破坏,1992年的修补费用为4500万英镑,为造价的1.6倍,2004年的修补费高达1.2亿英镑,接近造价的6倍。我国北京人民大会堂,因在1959年建造时掺加了氯盐作为防冻剂,梁柱中钢筋腐蚀严重,在1994年~1995年的大修中,梁的修复费为1300元/m,总修复费用为上亿元;北京市仅城区桥的维护费,每年要3000万~6000万元,建于1979年的北京西直门立交桥,主要由于撒盐造成的“盐害”,于1999年拆除重建,重修费用为3000万元。

基于对腐蚀所造成的严重危害的认识,一些工业国家对腐蚀损失进行了调查。表1-1列举部分国家年腐蚀损失统计结果^[3,4]。

有资料表明^[2],在美国与钢筋锈蚀有关的损失占总腐蚀损失的40%,仅桥梁腐蚀破坏就约占总腐蚀损失的20%;前苏联工业建筑的腐蚀损失占到工业固定资产的16%,仅混凝土和钢筋的腐蚀损失占GDP的1.25%;1999年澳大利亚公布的腐蚀损失为GDP的4.2%,其中大部分是钢筋腐蚀造成的。根据中国工程院2001~2003年完成的咨询项目《中国工业和自然环境腐蚀调查与对策》,1998年我国建筑部门(包括公路、桥梁、建筑)的腐蚀损失为1000亿元人民币^[3]。

腐蚀除了造成相当惊人的直接与间接的经济损失外,还造成原材料、能源和资源的大量消耗,且污染环境,据统计每年钢铁被腐蚀的量约占总产量的30%,其中三分之一不能回收,由此估计我国每年钢铁腐蚀损失达1000万吨以上,相当于每年要多消耗2000万吨优质煤和2500万吨铁矿石;生产1t水泥熟料排放出1t CO₂气体,消耗标准煤178kg,每年我国仅水泥的生产就要向大气中排放8.62亿吨CO₂,占全球温室气体排放量的1/20;大量天然和人工砂石料的开采与河流易位、植被破坏、水土流失和自然景观毁坏等有直接的关系。

腐蚀造成材料强度下降直接影响设备及建筑物的使用寿命,引起突发的灾难性事故,如德国柏林议会大厦,由于预应力钢丝的应力腐蚀破裂,导致预应力混凝土屋顶坍塌。

表 1-1 部分国家腐蚀损失统计

国 家	统计年份	年直接损失	占国民生产总值比例/%
美国	1949	55 亿美元	—
	1975	820 亿美元	4.9
	1995	3000 亿美元	4.2
	1998	2757 亿美元	约 2.76
前苏联	1975	196 亿~231 亿美元	2.0
	1985	400 亿卢布	—
前联邦德国	1968~1969	190 亿马克	3
	1982	450 亿马克	—
日本	1975	25509.3 亿日元	—
	1997	39376.9 亿日元	—
英国	1957	6 亿英镑	—
	1969	13.65 亿英镑	3.5
加拿大	1965	10 亿美元	—
澳大利亚	1973	4.7 亿澳元	—
	1982	20 亿美元	—
	1999	250 亿美元	1.5
瑞典	1986	350 亿瑞典法郎	4.2
印度	1960~1961	15 亿卢比	—
	1984~1985	400 亿卢比	—
中国	1998~2001	5000 亿元人民币	6

1.2 我国钢筋混凝土结构腐蚀破坏状况

大量调查结果表明,自然环境中钢筋混凝土结构物由于钢筋腐蚀造成破坏的情况遍及海港工程、水利工程、公路和桥梁、公共和民用建筑等各种设施。

1.2.1 海港工程腐蚀破坏状况

与海洋环境接触的海港工程中钢筋的腐蚀是因氯盐侵蚀而引起的。历年来我国对沿海港口破坏情况调查表明,海港工程

结构物破坏的现象十分普遍和严重,一般使用 10 余年,处于浪溅区的上层结构就因钢筋锈蚀而开裂。

20 世纪 60 年代南京水利科学研究院调查的华南和华东地区 27 座海港钢筋混凝土结构中,74% 因钢筋腐蚀而导致结构破坏。

1981 年南京水利科学研究院及交通部原第四航务工程科研所对华南地区使用了 7~25 年的 18 座海港混凝土码头进行调查,结果表明除使用期较短且混凝土水灰比低(0.5)的两座码头基本完好外,其余码头都因钢筋腐蚀而遭受破坏。

1985 年对连云港第一和第二码头混凝土上部结构调查也发现,具有不同程度的钢筋锈胀破坏的纵梁分别占 58% 和 84%,主筋截面积最大损失率达 24%。

宁波北仑港 1981 年建成的十万吨级码头,由于混凝土水灰比偏大(0.61~0.80),使用仅 6 年,其上部结构均已发生严重的钢筋腐蚀破坏,其中所有的桩帽和水平撑都已遭受不同程度的破坏,腐蚀最轻的轨道梁也已有 62% 的构件遭到破坏。

华北地区使用期分别为 1~57 年的 66 座北方海港钢筋混凝土码头的耐久性调查表明,码头上部结构也存在不同程度的钢筋腐蚀引起的结构破坏现象。

方璟等^[5]对 20 世纪 80 年代、90 年代所开展的我国各海港码头腐蚀破坏状况调查结果进行了分析,认为南方地区 20 世纪 50~70 年代末建造的港口码头结构,多在建成 5 年左右,混凝土表面即出现微细裂缝和轻度锈斑;一般在 7~8 年,较好的也不到 15 年,就有构件出现因钢筋锈胀引起的混凝土开裂、剥落情况,需要进行修补;此后破坏速度明显加快,钢筋大面积锈蚀、混凝土大面积剥落;运行 15~20 年,就有 70% 左右的结构构件必须进行维修才不致造成严重后果。对 20 世纪 80 年代中后期建造的、耐久性设计指标按 1987 年修订的新规定执行的海港码头调查发现,运行 10~15 年,大部分码头的构件已发生轻度和中度破坏,甚至有一些码头,30%~45% 的构件已发生严重破坏,钢筋严重锈蚀,混凝土胀裂、剥落,要进行大修方能继续使用。

北方地区 20 世纪 70~80 年代建造的港口码头,如天津港,运行 15 年左右,破坏严重部位(码头前沿)的构件损坏率达 30%~50%,运行 20 年左右,损坏率就达到 50%~90%。相

比而言,北方港口码头混凝土结构物的腐蚀破坏程度和速度比南方港口相对要轻,但也不容忽视。

1.2.2 水利工程腐蚀破坏状况

为充分利用水利资源,解放后我国修建了大量的水库、水闸、水电站、抽水站及船闸等水工建筑物。这些水工建筑物分布于全国各地,受到温度变化、环境水中所含不同侵蚀性成分的作用,老化病害现象十分严重。几乎所有水工建筑物的基础、廊道和坝面等部位都发现程度不同的老化病害现象。

据不完全统计,目前我国病险水利工程约占工程总量的50%。以水库为例,全国水利系统约有三类病险水库3万余座,约占水库总数的36%。其中大型病险水库143座,占大型水库总数的42%;中型病险水库约1100多座,占中型水库总数的40%;小型病险水库约29000座,占小型水库总数的36%。根据1999年的统计,全国共有大型病险水闸248座,占大型水闸总数的48%;中型病险水闸1505座,占中型水闸总数的46%。钢筋锈蚀是水利工程的主要病害之一,沿海水利工程钢筋锈蚀主要是氯盐污染引起的,内陆地区水利工程钢筋锈蚀主要是空气中二氧化碳渗入使混凝土中性化而引起的。

1964~1987年江苏省水科所许冠绍等对61座挡潮闸进行耐久性调查,发现钢筋腐蚀导致上部结构破坏的占87%,其中严重破坏的占54%,主筋截面损失率达40%。

童保全等1984年调查的浙江沿海22座使用仅7年到10多年的钢筋混凝土水闸(967个构件)中,钢筋腐蚀使混凝土顺筋胀裂、剥落甚至锈断的构件占56%。

江苏省水科所许冠绍等1988年对40座内陆地区淡水闸的调查表明,因混凝土碳化引起钢筋腐蚀而导致62%的上部结构破坏,有的工程由于设计标准低、施工质量差,建成不久就出现病害,运行5~10年就不得不进行大修。

季诗政^[6]对北京河道上的40多年来先后修建的130余座涵闸做了老化和病害情况的调查,结果表明普查面积的40%需要尽快维修,对这些涵闸威胁最大的破坏是混凝土碳化引起的钢筋腐蚀。