

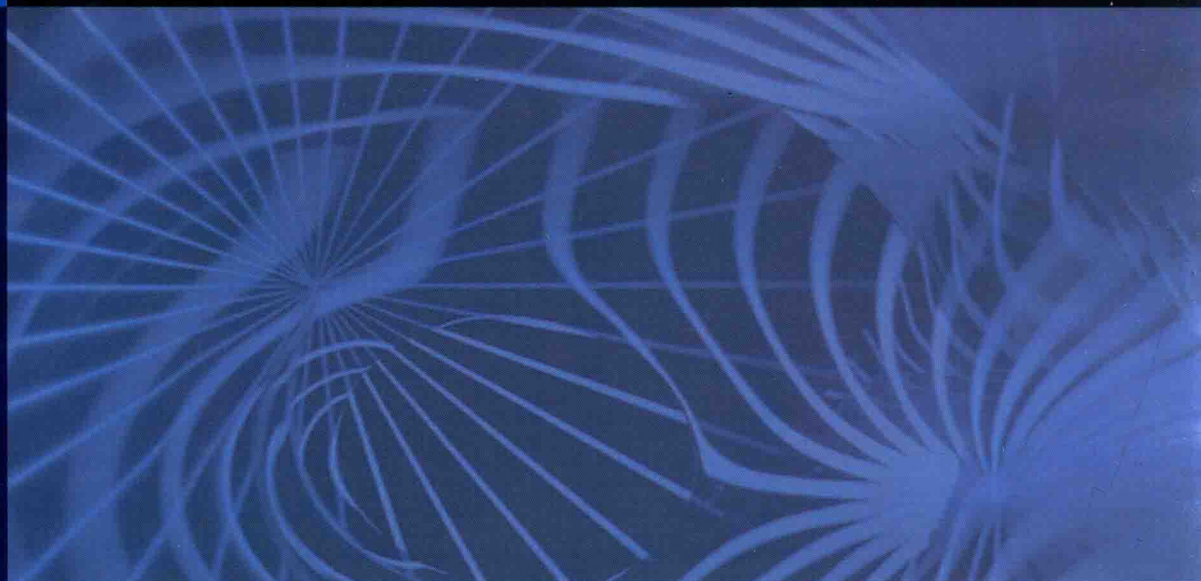


国家科学技术学术著作出版基金资助出版

钢筋混凝土结构 耐久性设计、评估与试验

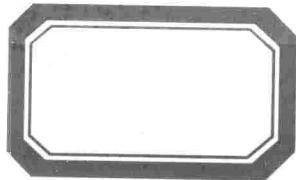
袁迎曙 著

DURABILITY DESIGN EVALUATION AND TEST OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURE



中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press



著作出版基金资助出版

钢筋混凝土结构耐久性设计、评估与试验

DURABILITY DESIGN, EVALUATION AND TEST
OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURE

袁迎曙 著

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

随着对钢筋混凝土结构耐久性要求的日益提高,科学量化混凝土结构使用寿命显得更为迫切、重要。本书分五篇 24 章,论述了气候环境作用和混凝土微环境响应的计算方法;论述了与混凝土微环境相关的混凝土碳化、氯盐侵蚀和钢筋锈蚀速率计算模型以及构件抗力性能退化速率预计方法;在上述研究成果基础上,提出了以自然气候环境下的钢筋混凝土结构为背景、基于混凝土微环境响应理论的新建结构使用寿命和既有结构剩余使用寿命的预计方法,以及评价混凝土材料和构件使用寿命的耐久性试验相似设计方法。

本书凝聚了作者近 20 年的研究成果,其研究工作获得 6 项国家自然科学基金项目的连续资助;可供土木工程、铁道、市政桥梁工程,港口、水利工程,建筑材料,工程管理专业的工程技术人员、科研人员和大专院校教师从事教学、科研、工程设计、工程施工和工程检测时参考,也可供研究生和高年级本科生学习使用。

图书在版编目(CIP)数据

钢筋混凝土结构耐久性设计、评估与试验 / 袁迎曙

著. —徐州:中国矿业大学出版社,2013. 8

ISBN 978 - 7 - 5646 - 1990 - 9

I. ①钢… II. ①袁… III. ①钢筋混凝土结构—耐用性—研究 IV. ①TU375

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 187225 号

书 名 钢筋混凝土结构耐久性设计、评估与试验
著 者 袁迎曙
责任编辑 钟 诚 杨 洋
出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)
营销热线 (0516)83885307 83884995
出版服务 (0516)83885767 83884920
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com
印 刷 徐州市今日彩色印刷有限公司
开 本 787×1092 1/16 印张 25.25 字数 630 千字
版次印次 2013 年 8 月第 1 版 2013 年 8 月第 1 次印刷
定 价 70.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

钢筋混凝土结构在将来很长一段时期内,仍将是土木工程的主要结构类型,并随着人类活动范围的逐渐扩大,土木工程特别是基础设施工程的应用范围在逐渐扩大,混凝土结构的使用环境已扩展到高寒、海洋以及其他严酷环境。

钢筋混凝土结构的强度设计理论已经历了近百年的发展,而耐久性理论正处于发展过程中。与强度设计理论相比,钢筋混凝土结构的耐久性理论涉及的学科更广泛,其科学问题更复杂。耐久性理论将结构物视为“有生命”的,从新建结构起,将经历一个逐渐“老化”的过程。对于地面结构而言,“老化”速率与气候环境、侵蚀环境密切相关,老化速率越快,则结构抗力退化越快,使用寿命越短。

混凝土结构耐久性理论研究的一个重要目标是在指定的使用环境(含侵蚀环境)下,确定钢筋混凝土结构的使用寿命。以地面建筑为例,定量计算气候环境作用和作用效应,是实现上述目标的关键。按照上述理念,本专著将以自然气候环境的地面建筑为背景,在指定的气候与侵蚀环境下,提出气候环境作用及其作用效应的定量计算方法,从而构筑出新建结构使用寿命预计、既有结构剩余使用寿命评估,以及采用耐久性试验方法对混凝土材料和构件使用寿命进行评价的系统方法。

在混凝土结构强度设计中,恒荷载、活荷载以及风荷载、地震作用均可采用量化模式进行计算;基于概率分析,可以使量化荷载模式具有一定的保证率,从而使设计出来的结构具有相应的可靠度。但是,在混凝土结构耐久性设计中,对于气候环境作用,目前尚停留在经验的、定性的层面上。随着对钢筋混凝土结构耐久性要求的日益提高,科学地量化混凝土结构的使用寿命显得更为迫切,耐久性定量设计已成为耐久性设计理论中一个突出问题。本专著将按下列步骤展开论述:① 建立气候环境作用定量模型以及考虑混凝土材料特性的混凝土内部微观环境响应模型;② 建立与混凝土微环境相关的混凝土碳化、氯盐侵蚀和钢筋锈蚀速率计算模型;③ 提出钢筋混凝土结构全寿命体系下构件抗力性能退化速率预计方法。在上述研究成果基础上,提出新建、既有钢筋混凝土结构使用寿命预计方法,以及基于评价混凝土材料和构件使用寿命的耐久性试验设计方法。

本专著共分 5 篇 24 章:

第一篇(内含 5 章),论述引起钢筋混凝土结构耐久性问题的机理,通过对既有研究成果的回顾,提出尚需进一步研究的科学问题,为以后各章内容的论述做好铺垫。

第二篇(内含 6 章),论述气候环境作用及其作用效应关系,提出气候环境作用谱和混凝土微环境响应谱的定量模式概念,以指定气候环境为背景,论述作用谱和响应谱的构筑方法。

第三篇(内含 6 章),论述混凝土结构使用寿命预计的基本模型,包括:混凝土碳化、氯盐

侵蚀速率计算模型,以及混凝土内钢筋锈蚀临界条件、锈胀开裂、钢筋锈蚀速率全寿命过程的计算模型,重点突出混凝土微环境的影响效应。在结构全寿命过程中,将气候环境作用及其作用效应(微环境响应)与侵蚀环境效应联系起来,为结构使用寿命预计奠定基础。

第四篇(内含4章),论述钢筋混凝土和预应力混凝土构件抗力性能退化规律。重点研究氯盐侵蚀环境中锈蚀普通钢筋和预应力钢筋的坑蚀效应;对坑蚀形状、尺寸及其演变发展进行概率分析,提出与锈蚀程度相关、具有一定保证率的锈蚀钢筋和预应力钢筋名义屈服强度标准值模型。重点研究混凝土构件中锈蚀钢筋/混凝土黏结应力分布以及与锈蚀程度相关的黏结性能劣化规律;在深入研究锈蚀钢筋以及锈蚀钢筋/混凝土黏结性能劣化模型基础上,进一步完善与锈蚀程度相关的混凝土构件抗力性能退化预计模型。

第五篇(内含3章),论述钢筋混凝土构件使用寿命预测方法。综合上述研究成果,提出新建混凝土结构耐久性设计的使用寿命预计方法,既有混凝土结构剩余使用寿命评估与修复技术,也有基于使用寿命评价的钢筋混凝土材料与构件的耐久性试验的相似设计方法。

本专著融入了作者和历届研究生近20年的努力所得的研究成果,初步形成了以混凝土微环境响应理论为基础的混凝土结构耐久性理论体系。该体系的主要特色是气候环境作用定量化,并与混凝土微环境响应联系起来,建立了气候环境作用及其作用效应的关系,明确了气候环境作用、侵蚀环境作用与结构抗力“老化”的关系,为混凝土结构耐久性设计、混凝土结构使用寿命预计开拓了一条新的思路。

本专著所显示的研究成果,其研究深度不一,不少问题尚有待进一步深入研究。希望本专著所表述的内容对致力于钢筋混凝土结构设计、施工和研究的同行们有所启发;希望钢筋混凝土结构耐久性理论日益趋于成熟,使混凝土结构更安全、耐久,更好地造福于人类。

作 者

2012年10月

目 录

前言	1
----	---

第一篇 混凝土结构耐久性问题

1 绪论	3
1.1 混凝土结构耐久性的工程问题	3
1.2 混凝土结构耐久性的理论问题	4
2 混凝土碳化	8
2.1 混凝土组成与微结构	8
2.2 混凝土碳化机理	9
2.3 混凝土碳化速率的主要影响因素	10
2.4 混凝土碳化速率计算模型的研究方法	11
2.5 尚需深入研究的科学问题	13
3 混凝土的氯盐侵蚀	14
3.1 氯盐对混凝土的侵蚀机理	14
3.2 氯盐侵蚀速率的主要影响因素	15
3.3 氯盐侵蚀速率计算模型的研究方法	16
3.4 尚需深入研究的科学问题	17
4 混凝土内钢筋锈蚀	19
4.1 金属腐蚀的电化学原理	19
4.2 混凝土内钢筋锈蚀的电化学原理	23
4.3 混凝土内钢筋锈蚀速率的检测方法	26
4.4 混凝土内钢筋锈蚀速率计算模型的研究方法	27
4.5 尚需深入研究的科学问题	31
5 混凝土结构的耐久性试验方法	32
5.1 人工气候环境方法	32
5.2 混凝土结构耐久性试验现况	33
5.3 人工气候环境与恒电流通电锈蚀的比较研究	34
5.4 两种锈蚀方法抗力性能差异的机理分析	38
5.5 尚需深入研究的科学问题	40

第二篇 气候环境作用及其作用效应

6	人工气候环境下混凝土微环境温度响应	43
6.1	混凝土表层微环境	43
6.2	混凝土热物理性能	44
6.3	混凝土导热系数的深入研究	45
6.4	混凝土表面传热系数的深入研究	48
6.5	人工气候环境下混凝土微环境温度响应规律和预计	50
6.6	粉煤灰掺量对混凝土微环境温度响应的影响规律	57
7	人工气候环境下表层混凝土湿气传输规律与预计	63
7.1	传质基本理论	63
7.2	混凝土湿气正向传输响应规律	65
7.3	混凝土湿气反向传输响应规律	70
7.4	混凝土微环境相对湿度响应预计模型	76
7.5	混凝土孔隙水饱和度与温度、相对湿度的关系	82
7.6	粉煤灰掺量对孔隙水饱和度与温度、相对湿度关系的影响规律	88
7.7	粉煤灰掺量对混凝土湿气传输的影响规律	91
8	自然气候环境下混凝土微环境响应规律	95
8.1	试验方案	95
8.2	混凝土微环境响应过程	96
8.3	混凝土微环境响应的滞后性分析	101
9	自然气候环境温度作用谱	107
9.1	温度作用谱构筑原则及理论分析	107
9.2	温度作用谱构筑方法	108
9.3	无遮挡条件下温度作用谱修正	109
10	自然气候环境的相对湿度作用谱	117
10.1	自然气候环境相对湿度作用谱构筑方法	117
10.2	降雨过程对表层混凝土内相对湿度的影响	119
10.3	环境相对湿度作用谱的修正	126
11	混凝土微环境响应预计和响应谱	128
11.1	自然气候环境下混凝土微环境的温度响应预计	128
11.2	自然气候环境下混凝土微环境的相对湿度响应预计	130
11.3	混凝土微环境响应谱构筑方法	134
11.4	自然气候环境下混凝土微环境响应预计	137

第三篇 混凝土结构使用寿命预计的基本模型

12	混凝土碳化速率计算模型	141
12.1	气候环境和混凝土微环境对混凝土碳化速率的影响规律	141
12.2	气候环境的风压影响	143
12.3	混凝土水灰比影响	145
12.4	钢筋阻挡与混凝土浇筑面对混凝土碳化速率的影响	145
12.5	混凝土碳化速率的时变性	147
12.6	混凝土碳化速率基本模型	148
12.7	混凝土碳化速率预计模型	151
12.8	粉煤灰掺量对混凝土抗碳化性能的影响规律	152
13	混凝土受氯盐侵蚀速率计算模型	168
13.1	海洋大气环境下混凝土微环境对氯盐侵蚀速率的影响	168
13.2	海洋大气环境下氯盐侵蚀速率计算模型	171
13.3	海洋潮汐环境和海水环境对氯盐侵蚀速率的影响	174
13.4	海洋潮汐与海水环境下氯盐侵蚀速率模型修正意见	175
13.5	海洋大气环境粉煤灰混凝土氯盐侵蚀速率的影响规律	176
14	混凝土内钢筋锈蚀的初始状态预计	190
14.1	混凝土部分碳化区长度	190
14.2	混凝土碳化环境下钢筋脱钝的临界条件研究	195
14.3	氯盐侵蚀条件下钢筋脱钝的临界条件研究	198
14.4	锈蚀初期混凝土内钢筋锈蚀速率时变特征	200
15	混凝土内钢筋锈蚀速率时变全过程模式	202
15.1	试验研究	202
15.2	混凝土内钢筋锈蚀的时变全过程	206
15.3	锈蚀速率时变全过程的机理分析	207
15.4	混凝土内钢筋锈蚀速率时变过程的影响因素	209
15.5	钢筋锈蚀速率全过程发展模式	212
16	锈胀开裂的锈蚀量计算方法	214
16.1	锈蚀物的力学性能研究	214
16.2	锈蚀初期“自由膨胀”的锈蚀量计算模型	218
16.3	混凝土内锈胀力计算模型	219
16.4	混凝土保护层锈胀开裂预计	224
17	混凝土内钢筋锈蚀速率时变计算模型	230
17.1	混凝土内钢筋锈蚀的电化学基本原理	230
17.2	钢筋锈蚀速率基本模型	231

17.3	时变模型基本表达式·····	234
17.4	塔菲尔斜率计算模型·····	234
17.5	钢筋锈蚀速率时变模型·····	236
17.6	人工气候环境下钢筋锈蚀速率时变过程预计·····	237
17.7	混凝土构件特性对钢筋锈蚀速率的影响·····	239

第四篇 锈蚀钢筋混凝土构件抗力性能退化

18	锈蚀钢筋 (HRB335) 力学性能劣化规律 ·····	245
18.1	钢筋试样与蚀坑测量·····	245
18.2	蚀坑形状的分类·····	246
18.3	蚀坑形状的概率分析·····	248
18.4	宏观蚀坑的演变规律·····	250
18.5	锈蚀钢筋试样拉伸试验·····	257
18.6	坑蚀钢筋屈服强度判断方法讨论·····	259
18.7	坑蚀钢筋拉伸试验的数值模拟·····	261
18.8	坑蚀钢筋屈服强度劣化的概率分布·····	262
18.9	与锈蚀率相关的屈服强度劣化概率模型·····	263
18.10	与锈蚀率相关的标准屈服强度计算模型·····	264
19	锈蚀钢筋/混凝土黏结性能劣化模型 ·····	266
19.1	基于短锚固拔出试验的平均黏结应力—滑移劣化模型·····	266
19.2	构件锚固区黏结应力分布劣化模型·····	272
20	锈蚀受弯及压弯构件抗力性能退化规律 ·····	285
20.1	受弯构件抗弯性能退化规律·····	285
20.2	受弯构件抗剪性能退化规律·····	292
20.3	压弯构件抗力性能退化规律·····	296
20.4	反复荷载作用下压弯构件延性退化规律·····	299
21	锈蚀预应力混凝土构件抗力性能退化规律 ·····	306
21.1	锈蚀钢绞线力学性能劣化规律·····	306
21.2	配置钢绞线的锈蚀预应力混凝土梁抗弯性能退化规律·····	316
21.3	配置冷拔低碳钢丝锈蚀预应力板抗力性能退化规律·····	321

第五篇 钢筋混凝土结构使用寿命

22	新建钢筋混凝土结构耐久性设计的使用寿命预计 ·····	331
22.1	混凝土结构使用寿命全过程·····	331
22.2	使用寿命预计方法·····	336

22.3	使用寿命预计的算例·····	337
22.4	关于混凝土结构使用寿命预计的讨论·····	341
23	既有混凝土结构剩余使用寿命评估与修复技术·····	343
23.1	混凝土内钢筋锈蚀程度评定·····	343
23.2	混凝土内钢筋锈蚀的实时监测·····	348
23.3	混凝土结构耐久性修复技术·····	350
23.4	结构局部修复的相容性问题·····	352
24	混凝土材料与构件使用寿命评价的耐久性试验·····	364
24.1	混凝土碳化试验环境的相似性·····	364
24.2	基于自然气候环境的人工气候过程的相似设计·····	369
	参考文献·····	372
	后记·····	385

CONTENT

PREFACE	1
---------------	---

PART 1 CONCRETE STRUCTURE DURABILITY

1 INTRODUCTION	3
1.1 Concrete Structure Durability in Engineering Practice	3
1.2 Theory Questions about Concrete Structure Durability	4
2 CONCRETE CARBONATION	8
2.1 Concrete Composition and Micro-structure	8
2.2 Concrete Carbonation Mechanism	9
2.3 Main Factors Influencing Rate of Concrete Carbonation	10
2.4 Prediction of Concrete Carbonation Rate	11
2.5 Further Scientific Questions	13
3 CONCRETE CHLORINE SALT EROSION	14
3.1 Mechanism of Chloride Corrosion	14
3.2 Main Factors Influencing Rate of Chloride Corrosion	15
3.3 Prediction of Chloride Corrosion Rate	16
3.4 Further Scientific Question	17
4 STEEL BAR CORROSION IN CONCRETE	19
4.1 Electric-Chemical Principle of Metal Corrosion	19
4.2 Electric-Chemical Principle of Steel Bar Corrosion in Concrete	23
4.3 Measuring Method for Corrosion Rate of Steel Bar in Concrete	26
4.4 Prediction of Corrosion Rate of Steel Bar in Concrete	27
4.5 Further Scientific Question	31
5 DURABILITY TEST METHOD FOR CONCRETE STRUCTURE	32
5.1 Artificial Controlled Climate Environment	32
5.2 Current Durability Test Technique for Concrete Structure	33
5.3 Contrast Research on Test Method between Artificial Controlled Climate Environment and Galvanostatic method	34
5.4 Difference Mechanism Analysis in Contrast Research	38
5.5 Further Scientific Questions	40

PART 2 ACTION AND ACTION EFFECT OF CLIMATE ENVIRONMENT

6 MICRO-ENVIRONMENTAL TEMPERATURE RESPONSE IN CONCRETE UNDER ARTIFICIAL CONTROLLED CLIMATE ENVIRONMENT CONDITION	
.....	43
6.1 Micro-environment of Concrete Surface Layer	43
6.2 Concrete Thermal Physical Behavior	44
6.3 Further Research on Thermal Conductivity of Concrete	45
6.4 Further Research on Surface Coefficient of Heat Transfer	48
6.5 Response Rule and Prediction of Concrete Micro-environmental Temperature under Artificial Controlled Climate Environment Condition	50
6.6 Effect of Fly Ash Amount on Concrete Micro-environmental Temperature Response Rule	57
7 RESPONSE RULE AND PREDICTION OF MICRO-ENVIRONMENTAL MOISTURE TRANSMISSION IN FLY ASH CONCRETE UNDER ARTIFICIALLY CONTROLLED CLIMATE ENVIRONMENT CONDITION	63
7.1 Mass Transfer Theory	63
7.2 Forward Moisture Transmission Response Rule in Concrete	65
7.3 Backward Moisture Transmission Response Rule in Concrete	70
7.4 Prediction Model of Relative Humidity Response in Concrete Micro-environment	76
7.5 Relationship among Pore Water Saturation, Temperature and Relative Humidity in Concrete Micro-environment	82
7.6 Effect of Fly Ash Amount on Relationship among Pore Water Saturation, Temperature and Relative Humidity in Concrete Micro-environment	88
7.7 Effect of Fly Ash Amount on Moisture Transmission Response Rule in Concrete	91
8 RESPONSE RULE OF CONCRETE MICRO-ENVIRONMENT UNDER NATURAL CLIMATE ENVIRONMENT CONDITION	95
8.1 Test Plan	95
8.2 Response Process of Concrete Micro-environment	96
8.3 Hysteresis Analysis of Concrete Micro-environment Response	101
9 ACTION SPECTRA OF NATURAL CLIMATE ENVIRONMENT	107
9.1 Method Constructing Environmental Temperature Action Spectra	107
9.2 Construction Method of Environmental Temperature Action Spectra	108
9.3 Modification of Environmental Temperature Action Spectra under Non-shelter Condition	109

10 ENVIRONMENTAL RELATIVE HUMIDITY ACTION SPECTRA UNDER NATURAL CLIMATE ENVIRONMENT CONDITION	117
10.1 Construction Method of Environmental Relative Humidity Action Spectra under Natural Climate Environment Condition	117
10.2 Effect of Raining Process on Relative Humidity in Concrete Surface Layer	119
10.3 Modification of Environmental Relative Humidity Action Spectra	126
11 RESPONSE PREDICTION IN CONCRETE MICRO-ENVIRONMENT AND RESPONSE SPECTRA	128
11.1 Response Prediction of Concrete Micro-environmental Temperature	128
11.2 Response Prediction of Concrete Micro-environmental Relative Humidity in Natural Climate Environment	130
11.3 Construction Method of Concrete Micro-environment Response Spectra	134
11.4 Prediction of Concrete Micro-environment Response in Natural Climate Environment	137

PART 3 BASIC MODEL PREDICTION SERVICE LIFE OF CONCRETE STRUCTURE

12 FURTHER RESEARCH ON PREDICTION MODEL OF CONCRETE CARBONATION RATE	141
12.1 Effect of Climate Environment and Concrete Micro-environment on Concrete Carbonation Rate	141
12.2 Effect of Wind Pressure in Climate Environment	143
12.3 Effect of Concrete Water Cement Ratio	145
12.4 Effect of Steel Bar Block and Concrete Surface on Concrete Carbonation Rate	145
12.5 Time-varying Concrete Carbonation Rate	147
12.6 Basic Model of Concrete Carbonation Rate	148
12.7 Prediction Model of Concrete Carbonation Rate	151
12.8 Effect of Fly Ash Amount on Concrete Carbonation	152
13 FURTHER RESEARCH ON PREDICTION MODEL OF CHLORIDE ION TRANSMISSION RATE IN CONCRETE	168
13.1 Effect of Concrete Micro-environment on Chloride Ion Transmission Rate in Ocean Atmospheric Environment	168
13.2 Calculation Model of Chloride Ion Transmission Rate in Natural Ocean Atmospheric Environment	171
13.3 Effect of Ion Transmission Rate on Ocean Tidal Environment and Seawater	

Environment	174
13.4 Modification for Ocean Tidal and Seawater Environment based on Calculation Model in Natural Ocean Atmospheric Environment	175
13.5 Effect of Fly Ash Amount on Chloride Ion Transmission Rate in Ocean Atmospheric Environment	176
14 INITIAL STATE PREDICTION OF STEEL BAR CORROSION IN CONCRETE	190
14.1 Partial Carbonization Zone Depth	190
14.2 Critical Condition of Steel Bar Depassivation in Concrete Carbonation Environment	195
14.3 Critical Condition of Steel Bar Depassivation in Chloride Attack Environment	198
14.4 Time-varying Characteristics of Steel Bar Corrosion Rate in Initial state	200
15 TIME-VARYING MODEL OF STEEL BAR CORROSION RATE IN WHOLE PROCESS	202
15.1 Test Research	202
15.2 Whole Process of Time-varying Steel Bar Corrosion Rate in Concrete ...	206
15.3 Mechanism Analysis of Whole Process of Time-varying Steel Bar Corrosion Rate	207
15.4 Factor Influencing Time-varying Process of Steel Bar Corrosion Rate ...	209
15.5 Whole Process Model of Time-varying Steel Bar Corrosion Rate in Concrete	212
16 CALCULATION METHOD OF CORROSION QUANTITY DUE TO CONCRETE CRACKING	214
16.1 Mechanical Property of Rust	214
16.2 Calculation Model of Corrosion Quantity of “Free Expansion” in Initial Corrosion Stage	218
16.3 Expansion Force Calculation of Steel Corrosion in Concrete	219
16.4 Corrosion Cracking Prediction of Concrete Cover	224
17 CALCULATION MODEL OF TIME-VARYING STEEL BAR CORROSION RATE IN CONCRETE	230
17.1 Electrochemistry Principle of Steel Bar Corrosion in Concrete	230
17.2 Basic Model of Steel Bar Corrosion Rate	231
17.3 Basic Expression of Time-varying Model	234
17.4 Prediction Model of Tafel Slope	234
17.5 Calculation Model of Time-varying Steel Bar Corrosion Rate	236
17.6 Time-varying Process Prediction of Steel Bar Corrosion Rate in Artificially Controlled Climate Environment	237

17.7	Effect of Concrete Element Characteristic on Steel Bar Corrosion Rate	239
PART 4 LOAD CAPACITY DEGRADATION OF CORRODED CONCRETE ELEMENT		
18	MECHANICAL PROPERTY DEGRADATION LAW OF CORRODED STEEL BAR (HRB335)	245
18.1	Steel Bar Specimen and Corrosion Pit Measurement	245
18.2	Classification of Corrosion Pit Shape	246
18.3	Probability Analysis of Corrosion Pit Shape	248
18.4	Evolution of Macro Corrosion Pit	250
18.5	Tension Test of Corroded Steel Bar Specimen	257
18.6	Method Discussion of Judging Pit Corrosion Steel Yield Strength	259
18.7	Numerical Simulation of Pit Corrosion Steel Tension Test	261
18.8	Probability Distribution of Pit Corrosion Steel Yield Strength Degradation	262
18.9	Probability Model of Yield Strength Degradation Related to Corrosion Level	263
18.10	Calculation Model of Standard Yield Strength Related to Corrosion Level	264
19	DEGRADATION MODEL OF BOND PERFORMANCE BETWEEN CORRODED STEEL BAR AND CONCRETE	266
19.1	Average Bond Stress and Slip Degradation Model	266
19.2	Degradation Model of Bond Stress in Element Anchorage Zone	272
20	LOAD CAPACITY BEHAVIOR DETERIORATION LAW OF CORRODED FLEXURAL AND COMPRESSIONAL—FLEXURAL ELEMENTS	285
20.1	Flexural Behavior Deterioration	285
20.2	Shear Behavior Deterioration Law of Corroded Element	292
20.3	Resistance Behavior Deterioration of Compressional-flexural Element	296
20.4	Ductility Behavior Deterioration of Compressional-flexural Element under Repeated Load	299
21	LOAD CAPACITY BEHAVIOR DETERIORATION LAW OF CORRODED PRE-STRESSED ELEMENT	306
21.1	Mechanical Property Degradation of Steel Strand	306
21.2	Load Capacity Deterioration of Corroded Pre-stressed Beam	316
21.3	Load Capacity Deterioration of Pre-stressed Plate Reinforced by Cold Drawn Low Carbon Steel Wire	321

PART 5 SERVICE LIFE OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURE

22	SERVICE LIFE PREDICTION IN DURABILITY DESIGN OF NEW REINFORCED CONCRETE STRUCTURE	331
22.1	Full Service Life Process of Concrete Structure	331
22.2	Service Life Prediction Method	336
22.3	Example of Service Life Prediction	337
22.4	Discussion about Service Life Prediction of Concrete Structure	341
23	RESIDUAL LIFE ASSESSMENT AND REPAIR TECHNIQUE OF EXISTED CONCRETE STRUCTURE	343
23.1	Corrosion Degree Evaluation of Steel Bar in Concrete	343
23.2	Corrosion Monitoring of Steel Bar in Concrete	348
23.3	Durability Repair Technique of Concrete Structure	350
23.4	Compatibility Problems in Structural Patch Repair	352
24	DURABILITY TEST FOR SERVICE LIFE EVALUATION OF CONCRETE MATERIAL AND ELEMENT	364
24.1	Test Environment Similarity of Concrete Carbonation	364
24.2	Similarity Design of Artificially Controlled Climate Process based on Natural Climate Environment	369
	REFERENCES	372
	POSTSCRIPT	385

第一篇 混凝土结构耐久性问题

混凝土结构是建筑物和基础设施的主要结构形式,在大气环境、海洋环境、岩土环境以及工业小环境中,均有混凝土结构的存在;随着混凝土结构应用范围的扩大,受严酷环境影响的混凝土结构越来越多,混凝土结构的耐久性问题也日益凸现。目前,一个重要的耐久性问题是:在使用环境影响下,混凝土发生腐蚀或钢筋发生锈蚀,导致混凝土结构的抗力性能下降,影响结构的正常使用寿命,从而产生混凝土结构的安全性问题。为此,混凝土结构的耐久性问题已越来越受到学术界和工程界的重视。

鉴于混凝土结构耐久性问题所涉及的面很广,本专著将以自然气候环境下普通硅酸盐混凝土结构为背景,基于混凝土结构的碳化、氯盐侵蚀和钢筋锈蚀的耐久性问题,对混凝土结构的耐久性设计、评估以及试验方法展开论述和讨论。

本篇重点论述混凝土结构所存在的耐久性问题,归纳国内外既有研究成果,提出尚需进一步研究的科学问题。本专著将在以后各篇章中,以试验研究与理论分析成果为基础,针对相应的科学问题展开论述与讨论。