

混凝土结构耐久性丛书

锈蚀混凝土构件的 承载性能评估与设计

Assessment and Design of Bearing Performance of
Corroded Concrete Members

李富民 著

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

混凝土结构耐久性丛书

锈蚀混凝土构件的 承载性能评估与设计

李富民 著



中国铁道出版社

2011年·北京

内 容 简 介

本书以工程结构的工作体系为线索,重点论述混凝土中钢筋的锈蚀原理与特征、锈蚀钢筋力学性能退化规律及概率强度预计模型、锈蚀钢筋黏结性能退化规律及预计模型、锈蚀混凝土构件的结构性能退化规律、锈蚀混凝土构件承载力评估与设计方法等内容。本书是作者近年来从事混凝土结构耐久性、尤其是其中钢筋锈蚀行为以及锈蚀结构抗力衰变规律与模型等问题的研究工作总结。

本书可供土木工程专业领域的科学研究人员、工程技术人员及研究生、本科生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

锈蚀混凝土构件的承载性能评估与设计 / 李富民著.

北京:中国铁道出版社,2011.4

(混凝土结构耐久性丛书)

ISBN 978-7-113-12426-7

I. ①锈… II. ①李… III. ①钢筋混凝土结构-结构构件-承载力-评估②钢筋混凝土结构-结构构件-承载力-结构设计 IV. ①TU37

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 259417 号

书 名: 混凝土结构耐久性丛书
锈蚀混凝土构件的承载性能评估与设计
作 者: 李富民 著

策划编辑: 时 博

责任编辑: 时 博

电话: 010-51873141

电子信箱: crph@163.com

封面设计: 冯龙彬

责任校对: 孙 玫

责任印制: 郭向伟

出版发行: 中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

网 址: <http://www.tdpress.com>

印 刷: 三河市华丰印刷厂

版 次: 2011年4月第1版 2011年4月第1次印刷

开 本: 720 mm × 1 000 mm 1/16 印张: 15 字数: 292 千

书 号: ISBN 978-7-113-12426-7

定 价: 38.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部调换。

电 话: 市电(010)51873170,路电(021)73170(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)63549504,路电(021)73187

《混凝土结构耐久性丛书》序

我国正处于土木工程基础设施大规模建设阶段,钢筋混凝土材料仍是土木工程基础设施中最重要的建筑材料,水泥基混凝土用量已达到人均世界第一的水平。但是,我们必须清醒地看到,土木工程基础设施的百年大计问题,特别是混凝土结构耐久性方面,尚有很多问题需要去解决。值得庆幸的是,混凝土结构的耐久性问题不仅得到学术界的重视,而且也得到工程界的关注。在混凝土结构耐久性设计方法、使用寿命预测,以及既有结构耐久性加固修复等方面,学术界已开展了广泛的研究,同时在工程实践过程中,特别是重大工程,其耐久性问题也得到高度重视。

中国矿业大学混凝土结构耐久性课题组在国家自然科学基金的多次资助下,经过十余年的不懈努力,在混凝土结构耐久性方面获得了较系统的研究成果,在国内外重要学术刊物和重要学术会议上发表了近百篇论文。为进一步推动混凝土结构耐久性研究的深入开展,现将本课题组所得到的研究成果汇总成这套丛书。

本丛书所论述的混凝土结构耐久性问题主要包括两个方面:一是大气环境氯盐侵蚀引起的地面混凝土结构钢筋锈蚀耐久性问题;二是岩土环境硫酸盐侵蚀引起的地下结构混凝土腐蚀耐久性问题。

丛书由以下五部著作组成:

- (1) 钢筋混凝土的全寿命过程与预计
- (2) 混凝土构件的钢筋锈蚀与退化速率
- (3) 锈蚀混凝土构件的承载性能评估与设计
- (4) 锈蚀混凝土结构的耐久性修复与保护
- (5) 地下结构混凝土硫酸盐腐蚀机理及性能退化

前四部著作以论述大气环境氯盐侵蚀引起混凝土内钢筋锈蚀所产生的一系列耐久性问题为主线,分别从不同角度、途径对此进行深入论述,相互之间又存在着衔接、递进的关系。著作(1)将钢筋起始锈蚀条件、钢筋锈胀力分布和发展、钢筋锈胀开裂预计和锈胀开裂后的锈蚀演进联系起来,考察混凝土结构的全寿命过程,提出钢筋锈蚀速率变化的时变模型,可以预计全寿命过程的各个时段长度。著作(2)通过混凝土内钢筋锈蚀速率的研究,将混凝土结构的服役时间、锈蚀程度联系起来;在基本电化学预测模型基础上,综合构件受荷载作用引起横向裂缝的影响,以及构件钢筋骨架配筋的影响;钢筋锈蚀速率模型可以预测与时间相关的钢筋锈蚀量。著作(3)基于人工气候和自然气候氯盐侵蚀环境的试验研究,论述了普通混凝土结构和预应力混凝土结构内钢筋的力学性能及黏结性能以及构件结构性能的退化规律,建立与锈蚀程度相关的钢筋强度与构件承载能力预计概率模型,提出锈蚀混凝土构件承载性能

评估与设计的体系与方法。著作(4)论述混凝土结构的耐久性修复问题,其中重点考虑本体混凝土与修复材料之间存在的早期物理、力学性能与电化学性能相容性问题;如不很好解决加固修复中的不相容问题,将不能达到恢复结构耐久性的目的。

著作(5)以地下混凝土结构为对象,考虑岩土环境硫酸盐侵蚀作用,介绍混凝土受硫酸盐腐蚀的试验和检测方法,论述侵蚀物类型、浓度、地下水压力以及荷载应力等因素对混凝土腐蚀速率的影响,建立混凝土腐蚀速率预计模型;论述混凝土强度及黏结性能,以及构件结构性能的退化规律,提出受硫酸盐腐蚀构件结构性能评估方法及抗硫酸盐腐蚀的设计建议。

《混凝土结构耐久性丛书》的作者均是本课题组主要研究人员。每部著作均以作者本人研究成果为主,同时还综合历届研究生相应成果撰写而成;另外,为达到论述系统、便于阅读的目的,每部著作还兼顾介绍了有关的背景和基础知识。

感谢国家自然科学基金会对《混凝土结构耐久性丛书》相关研究工作的资助,感谢中国矿业大学深部岩土力学与地下工程国家重点实验室和煤矿深井建设技术国家工程实验室对本丛书出版的资助。

中国矿业大学教授



2010年8月

前 言

随着我国建设规模和领域的不断扩大,大量土木工程结构已经或即将建造在海洋环境、盐湖环境、盐碱环境、除冰盐环境、腐蚀工业环境、高湿大气环境等各种侵蚀环境中。而侵蚀环境作用引起的耐久性问题相当突出,在土木工程科学研究领域,目前已逐渐将重心由结构初期强度与变形问题转到结构耐久性问题上来。

中国矿业大学混凝土结构耐久性课题组在袁迎曙教授的带领下,经过十余年的不懈努力,在侵蚀环境作用及其响应规律与定量模型、结构抗力衰变规律与定量模型、结构性能评估与全寿命周期设计理论、侵蚀环境作用与地震作用耦合下的结构性能退化规律等方面开展了较为系统的研究工作。作者近年来有幸参与其中,重点对混凝土结构(包括预应力混凝土结构)中钢筋的锈蚀行为以及结构抗力衰变规律与定量模型等问题进行了研究,本书便是对其中主要研究工作的总结。

本书的论述对象涉及普通混凝土结构和预应力混凝土结构;将所研究的混凝土结构耐久性问题纳入到整个结构工作体系框架中去进行论述,问题的来龙去脉比较清楚;从概率角度建立锈蚀钢筋的强度指标模型,并以此为基础论述锈蚀环境混凝土构件承载能力评估与设计方法,这一思想与目前广为采用的实用概率极限状态方法相一致;分别论述锚固区段和裂缝区段锈蚀钢筋与混凝土的黏结性能,使不同的黏结问题对构件的影响情况更加明了。

本书在写作过程中得到恩师袁迎曙教授的悉心指导、帮助和审阅;得到课题组吴庆博士、李学田硕士、马欢硕士、陈瑞硕士、王旭光硕士提供的数据和资料支持;得到课题组姬永生老师、耿欧老师、李果老师、杜健民老师的细心审阅。另外,本书在写作中还参阅、引用了大量本课题组其他研究生及国内外专家的有关文献资料。作者对上述各方面的帮助表示衷心感谢!

本书写作虽然倾注了作者艰苦的努力,但作者依然深知,本书内容只是混凝土结构耐久性研究中的沧海一粟,且其中定有不妥甚至错误之处,如能得到读者不吝指教并能起到抛砖引玉之作用,则作者甚慰矣!

李富民

符号与注释

- a ——导温系数;剪跨
- B ——横截面抗弯刚度
- D ——豪斯道夫分形维数
- d_s ——钢筋直径
- e_0 ——偏心受压试件的初始偏心距
- E_{cri} ——临界破裂电位
- $E_{\text{pm},0}$ ——未锈蚀预应力钢筋的弹性模量平均值
- $E_{\text{pm},c}$ ——锈蚀预应力钢筋的弹性模量平均值
- $E_{\text{sm},0}$ ——未锈蚀钢筋的弹性模量平均值
- $E_{\text{sm},c}$ ——锈蚀钢筋的弹性模量平均值
- F ——拉拔荷载
- $F_{\text{aud},c}$ ——锈蚀主筋与混凝土之间的极限黏结承载力
- f_{bg} ——钢筋与混凝土的胶着强度
- f_{br} ——钢筋与混凝土的黏结残余强度
- f_{bu} ——钢筋与混凝土的极限黏结强度
- f_{ck} ——混凝土轴心抗压强度标准值
- f_{cp} ——受压混凝土的轴心抗压强度概率取值
- f_{cuk} ——混凝土立方体抗压强度标准值
- f_{cum} ——混凝土立方体抗压强度平均值
- f_{dr} ——预应力混凝土梁的残余挠度
- f_{du} ——混凝土梁的极限挠度
- f_{dy} ——普通混凝土梁的屈服挠度;预应力混凝土梁的初始强化挠度
- $f_{\text{pt},c}$ ——锈蚀预应力钢筋的极限抗拉强度设计值
- $f_{\text{ptk},0}$ ——未锈蚀预应力钢筋的极限抗拉强度标准值
- $f_{\text{ptk},c}$ ——锈蚀预应力钢筋的极限抗拉强度标准值
- $f_{\text{ptm},0}$ ——未锈蚀预应力钢筋的极限抗拉强度平均值
- $f_{\text{ptm},c}$ ——锈蚀预应力钢筋的极限抗拉强度平均值
- $f_{\text{py},0}$ ——未锈蚀预应力钢筋的条件屈服抗拉强度设计值
- $f_{\text{py},c}$ ——锈蚀预应力钢筋的条件屈服抗拉强度设计值
- $f_{\text{pyk},c}$ ——锈蚀预应力钢筋的条件屈服抗拉强度标准值

$f_{\text{pym},0}$ ——未锈蚀预应力钢筋的条件屈服抗拉强度平均值
 $f_{\text{pym},c}$ ——锈蚀预应力钢筋的条件屈服抗拉强度平均值
 f_{tk} ——混凝土轴心抗拉强度标准值
 f_{tp} ——混凝土的轴心抗拉强度概率取值
 $f_{\text{um},0}$ ——未锈蚀普通钢筋的极限强度平均值
 $f_{\text{um},c}$ ——锈蚀普通钢筋的极限强度平均值
 f_{uc} ——锈蚀钢筋的极限强度
 f_{yc} ——锈蚀钢筋的屈服强度
 $f_{\text{y},0}$ ——未锈蚀普通钢筋的屈服强度设计值
 $f_{\text{y},c}$ ——锈蚀普通钢筋的屈服强度设计值
 $f_{\text{yk},0}$ ——未锈蚀普通钢筋的屈服强度标准值
 $f_{\text{yk},c}$ ——锈蚀普通钢筋的屈服强度标准值
 $f_{\text{ym},0}$ ——未锈蚀普通钢筋的屈服强度平均值
 $f_{\text{ym},c}$ ——锈蚀普通钢筋的屈服强度平均值
 $f'_{\text{yp},c}$ ——锈蚀普通受压钢筋的名义屈服强度概率取值
 $f_{\text{yvp},c}$ ——锈蚀箍筋的名义抗拉强度概率取值
 $i_{e,m}$ ——电化学极化控制下混凝土内整个钢筋表面上的平均腐蚀电流密度
 $i_{\text{lim}}^{\text{O}_2}$ ——氧浓差极化控制下混凝土内整个钢筋表面上的平均腐蚀电流密度
 K_{ISCC} ——I 型裂纹应力腐蚀临界应力强度因子
 k_{Emn} ——锈蚀钢筋的名义弹性模量平均值退化系数
 k_{umn} ——锈蚀钢筋的名义极限强度平均值退化系数
 k_{ymn} ——锈蚀钢筋的名义屈服强度平均值退化系数
 l_a ——黏结长度
 l_p ——混凝土梁斜裂面水平投影长度
 M_u ——梁的极限弯矩
 $M_{\text{up},c}$ ——锈蚀混凝土构件正截面受弯承载力概率取值
 M_y ——梁的屈服弯矩
 $N_{\text{up},c}$ ——锈蚀混凝土构件正截面压弯承载力概率取值
 $N(\varepsilon)$ ——分形体系中在测量单元尺度 ε 下测量到的单元数
 p_f ——锈蚀钢绞线的断裂失效概率
 q_0 ——配筋指标
 R ——锈蚀钢绞线断裂抗力
 R^2 ——确定系数
 S ——锈蚀钢绞线断裂效应;黏结滑移
 S_f ——自由端的黏结滑移
 S_l ——加载端的黏结滑移

S_u ——极限黏结滑移
 $V_{up,c}$ ——锈蚀混凝土受弯构件斜截面抗剪承载力概率取值
 w ——裂缝宽度
 w_c ——碳钢中的含碳量
 x ——黏结位置
 x_c ——混凝土受压区高度
 x_p ——锈蚀混凝土构件正截面等效矩形应力图形的混凝土受压区高度
 Z ——锈蚀钢绞线断裂功能函数
 α ——假设检验中的显著性系数
 α_c ——锈蚀受拉钢筋强度利用系数
 α_{umn} ——锈蚀钢筋的名义极限应变平均值退化系数
 β ——可靠指标
 δ ——钢筋平均锈蚀深度
 δ_{cu} ——混凝土立方体抗压强度变异系数
 $\delta_{m,0}$ ——未锈蚀钢筋的延伸率平均值
 $\delta_{m,c}$ ——锈蚀钢筋的延伸率平均值
 $\delta_{y,0}$ ——钢筋未锈蚀时的屈服强度统计变异系数
 ε ——分形体系中测量单元的尺度
 $\varepsilon_{pum,0}$ ——未锈蚀预应力钢筋的极限应变平均值
 $\varepsilon_{pum,c}$ ——锈蚀预应力钢筋的极限应变平均值
 ε_s ——钢筋的应变
 ε_{sc} ——锈蚀钢筋的应变
 ε_{shc} ——锈蚀钢筋的初始强化应变
 ε_{suc} ——锈蚀钢筋的极限应变
 ε_{syc} ——锈蚀钢筋的屈服应变
 $\varepsilon_{um,0}$ ——未锈蚀普通钢筋的极限应变平均值
 $\varepsilon_{um,c}$ ——锈蚀普通钢筋的极限应变平均值
 ε_v ——Mises 应变
 $\varepsilon_{v,u}$ ——极限 Mises 应变
 ϕ ——曲率
 $\Phi(\cdot)$ ——标准正态函数
 γ_0 ——结构重要性系数
 γ_{mn} ——锈蚀钢筋的延伸率平均值的退化系数
 γ_{Rd} ——承载力计算模型不定性系数
 γ_s ——钢筋的材料分项系数
 γ_{Sd} ——作用效应计算模型不定性系数

- η_s ——钢筋的平均锈蚀率
 λ ——导热系数;剪跨比
 μ_R ——锈蚀钢绞线断裂抗力平均值
 $\mu_{\ln R}$ ——锈蚀钢绞线断裂抗力对数的平均值
 μ_S ——锈蚀钢绞线断裂效应平均值
 $\mu_{\ln S}$ ——锈蚀钢绞线断裂效应对数的平均值
 ν' ——等效波松比
 ρ_{sv} ——配箍率
 $\rho_{svp, \min}$ ——截面容许最小配箍率概率取值
 $\sigma_{0.2}$ ——条件屈服应力
 σ_d ——钢绞线钢丝疲劳断裂时的纵向剥离应力
 σ_n ——钢筋的名义应力
 σ_{pe} ——预应力钢筋有效预应力
 σ'_{p0} ——受压区预应力钢筋合力点处混凝土法向应力等于零时的预应力钢筋应力
 σ'_{pk} ——混凝土构件内受压区高强预应力钢筋的计算应力标准值
 σ_{sc} ——锈蚀钢筋的应力

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 工程结构的工作体系	2
1.2 环境作用及其响应规律概述	3
1.2.1 混凝土的孔结构与介质传输特性	4
1.2.2 温度作用及其响应规律	5
1.2.3 水汽作用及其响应规律	8
1.2.4 混凝土中氧气的传输	10
1.2.5 混凝土碳化	11
1.2.6 氯盐侵蚀作用及其响应规律	13
1.2.7 混凝土硫酸盐腐蚀	15
1.2.8 混凝土冻融破坏	18
1.2.9 混凝土碱—骨料反应	19
1.3 钢筋锈蚀有关问题研究概况	20
1.3.1 钢筋锈蚀有关环境作用及其响应	21
1.3.2 钢筋锈蚀行为	21
1.3.3 钢筋锈蚀效应	22
1.3.4 锈蚀构件性能退化	23
1.3.5 锈蚀结构性能评估与设计	23
1.4 本书内容体系	24
第 2 章 混凝土中钢筋的锈蚀原理与特征	26
2.1 钢筋的微观组织结构	26
2.1.1 化学成分及结晶过程	26
2.1.2 微观组织结构	29
2.2 钢筋的一般锈蚀原理与特征	32
2.2.1 锈蚀原理	32
2.2.2 锈蚀控制模式与影响因素	35
2.2.3 锈蚀特征	37
2.2.4 钢绞线蚀坑的分布特征	39
2.3 预应力钢筋的应力腐蚀敏感性	43
2.3.1 金属应力腐蚀的基本概念	43

2.3.2	预应力钢筋应力腐蚀的研究概况	45
2.3.3	钢绞线的应力腐蚀敏感性研究	47
2.4	钢筋的腐蚀疲劳断裂特性	51
2.5	小 结	53
第3章	锈蚀钢筋力学性能退化规律及概率强度预计模型	55
3.1	锈蚀普通钢筋力学性能退化规律及概率强度预计模型	56
3.1.1	名义应力—应变曲线特征	56
3.1.2	力学性能退化规律	59
3.1.3	名义概率强度预计模型	60
3.2	锈蚀冷拔低碳钢丝力学性能退化规律及概率强度预计模型	63
3.2.1	名义应力—应变曲线特征	63
3.2.2	力学性能退化规律	63
3.2.3	名义概率强度预计模型	66
3.3	锈蚀高强冷拉钢丝力学性能退化规律及概率强度预计模型	67
3.3.1	名义应力—应变曲线特征	68
3.3.2	力学性能退化规律	68
3.3.3	名义概率强度预计模型	70
3.4	锈蚀高强钢绞线力学性能退化规律及概率强度预计模型	72
3.4.1	名义应力—应变曲线特征	72
3.4.2	力学性能退化规律	73
3.4.3	断口特征及断裂机理	75
3.4.4	断裂失效概率模型	79
3.4.5	名义概率强度预计模型	85
3.5	小 结	86
第4章	锈蚀钢筋黏结性能退化规律及预计模型	88
4.1	锈蚀普通钢筋基本黏结性能退化规律及预计模型	89
4.1.1	试验方案简介	89
4.1.2	黏结滑移曲线特征与黏结滑移机理	90
4.1.3	箍筋、保护层厚度及钢筋直径对黏结性能的影响	92
4.1.4	基于锈胀裂缝宽度的黏结特征参数退化规律及预计模型	93
4.1.5	黏结滑移本构关系模型	98
4.2	锈蚀普通钢筋锚固区黏结性能退化规律及预计模型	101
4.2.1	试验方案简介	102
4.2.2	黏结滑移及黏结应力计算	103
4.2.3	黏结滑移分布及演化规律以及极限荷载时的黏结滑移分布模型 ..	105

4.2.4	黏结应力分布及演化规律与极限荷载时的黏结应力分布模型	107
4.2.5	基于位置变化的黏结滑移本构关系模型	112
4.3	锈蚀普通钢筋裂缝区段黏结性能退化特征及预计模型	118
4.3.1	裂缝区段黏结应力分布与退化特征	118
4.3.2	锈蚀受拉钢筋与受压混凝土的协同工作性能退化特征及 预计模型	120
4.4	锈蚀高强钢绞线基本黏结性能退化规律	121
4.4.1	试验方案简介	122
4.4.2	拔出过程中的旋转现象	123
4.4.3	黏结滑移曲线特征	124
4.4.4	黏结滑移机理分析	126
4.4.5	黏结特性参数	128
4.4.6	与普通钢筋黏结滑移曲线的对比	129
4.4.7	锈蚀高强钢绞线黏结性能设计建议	130
4.5	小 结	131
第5章	锈蚀混凝土构件的结构性能退化规律	134
5.1	锈蚀普通混凝土梁受弯性能退化规律	134
5.1.1	试验方案简介	135
5.1.2	受弯破坏形态演化	136
5.1.3	荷载—挠度曲线特征	136
5.1.4	受弯性能参数退化规律	138
5.2	锈蚀预应力混凝土梁受弯性能退化规律	141
5.2.1	试验方案简介	142
5.2.2	裂缝分布特征	143
5.2.3	弯矩—挠度曲线特征与受弯破坏形态	145
5.2.4	受弯性能参数退化特征	147
5.2.5	极限后承载机理	149
5.3	锈蚀普通混凝土梁受剪性能退化规律	150
5.3.1	试验方案简介	151
5.3.2	锈蚀程度对受剪性能的影响	152
5.3.3	荷载历史对受剪性能的影响	152
5.4	锈蚀普通混凝土柱压弯性能退化规律	153
5.4.1	试验方案简介	154
5.4.2	压弯破坏特征	155
5.4.3	轴力—变形曲线特征	156
5.4.4	压弯性能参数退化规律	158

5.5 小 结	160
第 6 章 锈蚀混凝土构件承载力评估与设计方法	162
6.1 结构承载力计算的概率极限状态方法	162
6.1.1 结构的极限状态	162
6.1.2 结构的可靠性及其概率度量	163
6.1.3 结构承载力计算的实用概率极限状态方法	165
6.2 锈蚀混凝土构件承载力计算的实用概率极限状态模型	169
6.2.1 锈蚀普通混凝土构件抗弯承载力计算的实用概率极限状态模型 ...	170
6.2.2 锈蚀预应力混凝土构件抗弯承载力计算的实用概率极限 状态模型	174
6.2.3 锈蚀普通混凝土构件抗剪承载力计算的实用概率极限状态模型 ...	180
6.2.4 锈蚀普通混凝土构件压弯承载力计算的实用概率极限状态模型 ...	183
6.3 锈蚀混凝土构件承载力评估方法	186
6.3.1 评估体系	186
6.3.2 环境作用参数及结构条件的调查与检测	187
6.3.3 构件侵蚀状态检测	191
6.3.4 构件锈蚀状态检测	192
6.3.5 构件侵蚀状态预计模型	195
6.3.6 构件锈蚀状态预计模型	198
6.4 锈蚀环境混凝土构件承载力设计方法	201
6.4.1 设计依据	201
6.4.2 设计内容	203
6.4.3 设计体系	203
6.5 小 结	204
参考文献	206
后 记	216

Contents

1	Introduction	1
1.1	Work system of structures	2
1.2	Summary of environmental actions and the response law	3
1.2.1	<i>Pore structure of concrete and the transmission character of mediums</i>	4
1.2.2	<i>Temperature action and the response law</i>	5
1.2.3	<i>Water action and the response law</i>	8
1.2.4	<i>Transmission of oxygen in concrete</i>	10
1.2.5	<i>Carbonization of concrete</i>	11
1.2.6	<i>Chloride action and the response law</i>	13
1.2.7	<i>Sulphate corrosion of concrete</i>	15
1.2.8	<i>Frost thawing damage of concrete</i>	18
1.2.9	<i>Alkali-aggregate reaction of concrete</i>	19
1.3	Research summary about steel bars corrosion	20
1.3.1	<i>Enviromental actions and the response about steel bars corrosion</i>	21
1.3.2	<i>Corrosion behavior of steel bars</i>	21
1.3.3	<i>Corrosion effect of steel bars</i>	22
1.3.4	<i>Degradation of corroded members performance</i>	23
1.3.5	<i>Assessment and design of corroded structures performance</i>	23
1.4	Content system of this book	24
2	Corrosion principle and character of steel bars in concrete	26
2.1	Microstructure of steel bars	26
2.1.1	<i>Chemical composition and crystallization process</i>	26
2.1.2	<i>Microstructure</i>	29
2.2	ordinary corrosion principle and character of steel bars	32
2.2.1	<i>Corrosion principle</i>	32
2.2.2	<i>Control mode of corrosion and the influencing factors</i>	35
2.2.3	<i>Corrosion character</i>	37
2.2.4	<i>Distributional character of pits on steel strands</i>	39
2.3	Stress corrosion cracking susceptibility of prestressing steel bars	43

2.3.1	<i>Basic concept of stress corrosion cracking of metal</i>	43
2.3.2	<i>Research summary of stress corrosion cracking of prestressing steel bars</i>	45
2.3.3	<i>Study on stress corrosion cracking of steel strands</i>	47
2.4	Character of corrosion fatigue fracture of steel strands	51
2.5	Summary	53
3	Degradation law of mechanical performance and predicting models of probabilistic strength of corroded steel bars	55
3.1	Degradation law of mechanical performance and predicting models of probabilistic strength of corroded ordinary steel bars	56
3.1.1	<i>Character of nominal stress-strain curves</i>	56
3.1.2	<i>Degradation law of mechanical performance</i>	59
3.1.3	<i>Predicting models of probabilistic nominal strength</i>	60
3.2	Degradation law of mechanical performance and predicting models of probabilistic strength of cold drawn low carbon wires	63
3.2.1	<i>Character of nominal stress-strain curves</i>	63
3.2.2	<i>Degradation law of mechanical performance</i>	63
3.2.3	<i>Predicting models of probabilistic nominal strength</i>	66
3.3	Degradation law of mechanical performance and predicting models of probabilistic strength of cold drawn high strength wires	67
3.3.1	<i>Character of nominal stress-strain curves</i>	68
3.3.2	<i>Degradation law of mechanical performance</i>	68
3.3.3	<i>Predicting models of probabilistic nominal strength</i>	70
3.4	Degradation law of mechanical performance and predicting models of probabilistic strength of high strength steel strands	72
3.4.1	<i>Character of nominal stress-strain curves</i>	72
3.4.2	<i>Degradation law of mechanical performance</i>	73
3.4.3	<i>Fracture character and mechanism</i>	75
3.4.4	<i>Model of nonserviceable probability of fracture</i>	79
3.4.5	<i>Predicting models of probabilistic nominal strength</i>	85
3.5	Summary	86
4	Degradation law and predicting models of bond performance of corroded steel bars	88
4.1	Degradation law and predicting models of basic bond performance of corroded ordinary steel bars	89