

混凝土结构 耐久性分析与设计

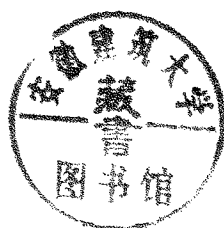
李 田 刘西拉 著



科学出版社

混凝土结构耐久性分析与设计

李 田 刘西拉 著



科学出版社

1999

内 容 简 介

本书是作者8年来从事混凝土结构耐久性设计研究的成果,主要内容包括混凝土结构耐久性的基本概念、国内外研究概况、混凝土结构耐久性设计方法、现存混凝土结构耐久性分析、冻融循环与钢筋锈蚀对混凝土结构耐久性的影响以及混凝土结构耐久性设计及施工的初步建议。

本书可供从事土建专业科研、设计和施工的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构耐久性分析与设计/李田,刘西拉著.-北京:科学出版社,1999

ISBN 7-03-007712-1

I. 混… II. ①李… ②刘… III. ①混凝土结构-耐久性分析 ②混凝土结构-耐久-结构设计 N. TU37

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 25396 号

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

新 蕾 印 刷 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1999年8月第一版 开本:850×1168 1/32

1999年8月第一次印刷 印张:3 7/8

印数:1—3 000 字数:93 000

定价:11.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

前 言

我国混凝土结构量大面广,解决混凝土结构的耐久性问题已十分紧迫,但是这方面还有大量的基础研究工作要做。本书的目的在于尽可能快地把近几年来人们所取得的一些可靠成果用于工程。

本书在立题、研究、撰写过程中,力图在混凝土结构耐久性理论研究与实际工程应用(结构设计与施工建设)之间搭起一座理论上可行、应用上方便的桥梁。全书共六章,主要介绍混凝土结构耐久性设计方法研究、现存混凝土结构耐久性评估、钢筋锈蚀与混凝土结构的耐久性、冻融循环与混凝土结构耐久性等内容。

最后的附录给出了混凝土结构耐久性设计及施工的初步建议,该建议是依据国家标准《建筑结构设计统一标准》(GBJ68-84)(试行)规定的原则编写的,重视与现行的混凝土结构设计和施工规范相协调,特别突出了设计人员的可使用性,适用于正常环境中建筑物和构筑物的钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构。

由于作者水平有限,书中的错误和疏漏难免,敬请读者批评指正。

ANALYSIS AND DESIGN ON THE DURABILITY OF CONCRETE STRUCTURES

Li Tian Liu Xila

Abstract

Concrete structures are widely used in China. The consideration on the durability of concrete structures has become a most urgent problem. Many fundamental research problems in this field remain to be done. The purpose of this book is to present some present reliable contributions on this field and help the structural designers quickly use them in practice.

During the writing process the authors hope to bridge the gap between theory and practice and make the book to be applicable for both design and construction. The book has six sections, the main contents include the durability design method of concrete structures, durability estimation of existing concrete structures, the corrosion of reinforcements with the durability of concrete structures, the cycles of concrete freezing and thawing with the durability of concrete structures.

At the end a preliminary Recommendation for Durability Design and Construction of Concrete Structures is present, which follows the stipulations of the China National Standard: Unified Standard of Structural Engineering Design (GBJ68-84) (Draft). This recommendation is coordinated with the present design and construction codes of concrete structures. It especially emphasizes the appli-

• v •

cability and usability for structural design engineers. The preliminary recommendation is limited only for reinforced concrete structures and prestressed concrete structures in normal environment condition.

It is the authors hope that this book will be helpful to structural engineers, who are interested in the concrete durability of structures, and the students studying in structural engineering.

目 录

前言

第一章 概述	1
1.1 混凝土结构耐久性定义及问题的提出	1
1.2 国内外研究概况	3
1.3 影响混凝土结构耐久性的因素	5
1.4 混凝土结构耐久性研究的意义	6
1.5 混凝土结构耐久性研究的内容	11
1.6 我国混凝土结构耐久性研究应注意的要点	14
第二章 混凝土结构耐久性设计方法的研究	17
2.1 结构可靠度及在不同阶段的表达	18
2.2 混凝土结构的区间可靠度	22
2.3 混凝土结构的寿命、风险率和破坏定义	24
2.4 混凝土结构耐久性设计与现行规范之间的关系	26
2.5 抗力随时间衰减过程	28
2.6 荷载随时间变化过程	29
2.7 耐久性失效概率计算	31
2.8 混凝土结构耐久性设计方法的建议	33
2.9 用计算机模拟方法确定耐久性设计系数 η	35
2.10 北京地区民用建筑地上混凝土结构的耐久性设计	37
第三章 现存混凝土结构耐久性评估	43
3.1 混凝土结构加固设计实用准则	43
3.2 混凝土结构质量评定	48
3.3 混凝土结构耐久性评估方法	55
3.4 工程结构可靠性鉴定标准的展望	57
第四章 钢筋锈蚀与混凝土结构的耐久性	63
4.1 钢筋锈蚀机理	63
4.2 锈蚀引起的钢筋截面削弱破坏可靠性分析	67

4.3	钢筋锈蚀的主要影响因素	70
4.4	防止钢筋锈蚀的一些措施	74
第五章	冻融循环与混凝土结构的耐久性	80
5.1	混凝土的冻害机理	81
5.2	混凝土冻融循环的可靠性分析	83
5.3	混凝土抗冻性的主要影响因素	87
5.4	提高混凝土抗冻性的措施	92
第六章	结语	93
附录	混凝土结构耐久性设计及施工的初步建议	95
	说明	95
	主要符号	95
1	总则	96
2	一般规定	96
3	耐久性计算	99
4	构造措施	102
5	施工及质量要求	103
5.1	混凝土和预应力混凝土	103
5.2	钢筋和模板	107
参考文献		108

Contents

Preface

1. Introduction	1
1.1 Definiton of durability of concrete structures and why do we raise this question	1
1.2 General survey	3
1.3 The influence factors on the durability of concrete structures	5
1.4 The research significance on the durability of concrete structures	6
1.5 The research subjects on the durability of concrete strucures	11
1.6 Special mentions on the durability of concrete structures in China	14
2. Research on durability design methods of concrete structures	17
2.1 Structural reliability and its expression in the different stages	18
2.2 Time interval reliability of concrete structures	22
2.3 Definitions of life span, risk ratio, and failure of concrete structures	24
2.4 The relationship between durability design of concrete structures and present design codes	26
2.5 The decline process of structural resistance with time	28
2.6 The process of load variation with time	29
2.7 Calculation of failure probability caused by durability	31
2.8 Suggestions on durability design method for concrete structures	33
2.9 Determination of design coefficient of durability η by computer simulation	35
2.10 Durability design of residential concrete buildings in Beijing area	37

3. Durability estimation of existing concrete structures	43
3.1 Practical criterions on strengthening design of concrete structures	43
3.2 Quality evaluation method of concrete structures	48
3.3 The method of durability estimation of concrete structures	55
3.4 Prospect on reliability assessment standard for engineering structures	57
4. Reinforcements corrosion and durability of concrete structures	63
4.1 Corrosion mechanisms of reinforcements	63
4.2 Reliability analysis considering on reinforcement corrosion	67
4.3 Main influence factors on reinforcement corrosion	70
4.4 Some measures to prevent the reinforcement corrosion	74
5. Freezing and thawing of concrete and the durability of concrete structures	80
5.1 Failure mechanisms of freezing and thawing of concrete	81
5.2 Reliability analysis considering the freezing and thawing of concrete	83
5.3 Main influence factors for freezing and thawing of concrete	87
5.4 Some measures to prevent the freezing and thawing of concrete	92
6. Conclusion	93
Appendix A preliminary Recommendation for Durability Design and Construction of Concrete Structures	95
Some notes	95
Main symbols	95
1 Main principles	96
2 General stipulations	96
3 Calculation of durability	99
4 Structural detail requirements	102
5 Requirements of construction quality	103
5.1 Concrete and prestressed concrete	103
5.2 Reinforcements and formworks	107
References	108

第一章 概 述

1.1 混凝土结构耐久性定义及问题的提出

结构耐久性是指结构在设计要求的目标使用期内,不需要花费大量资金加固处理而保持其安全、使用功能和外观要求的能力。混凝土结构耐久性设计是在考虑影响混凝土结构耐久性的内外因素下,将结构的可靠性问题沿时间坐标轴展开,使新设计的结构可靠性在规定的目标使用期内不低于规范要求,即无需花费大量资金维修与加固。混凝土结构耐久性评估是指对现有的混凝土结构,通过适当的方法评价其现有的可靠性,最终预测该结构今后可靠性降低情况。

目前一些工程设计人员对结构耐久性设计意识不强,这在国内外是普遍存在的,我国尤为严重。作者本人或同事于 1993 年 5~8 月,在北京、长春、哈尔滨、南京和深圳等 5 个城市,对 10 家设计单位(其中甲级单位 5 家、乙级单位 3 家、丙级单位 2 家)和两所高校(其中一所重点、一所非重点)的结构专业人员 129 人(其中教授级高工 3 人、高工 17 人、工程师 56 人、助工 26 人,副教授 9 人、讲师 11 人、助教 7 人),就以下两个问题进行了选择性随机统计(结果见表 1-1 所示):

(1)我国现行的混凝土结构设计规范是否考虑了结构的耐久性设计?

- A 不知道
- B 没考虑
- C 仅在构造措施和正常使用极限状态验算方面考虑了结构的耐久性
- D 仅在结构承载力计算方面考虑了结构的耐久性

(2)按我国现行混凝土结构设计规范设计出的混凝土结构的耐久性应为多少年?

- A 不知道
- B 50 年(即等于规范中的设计基准期)
- C 其它考虑(如 10、20、100 年等)
- D 无法知道

显然,以上两个问题的正确答案是:(1)我国现行的混凝土结构设计规范仅在构造措施和正常使用极限状态验算方面考虑了结构的耐久性(即答案 C);(2)按我国现行的混凝土结构设计规范设计出的混凝土结构的耐久性无法知道(即答案 D),因为现行的混凝土结构设计规范没有引入耐久性设计的概念。从统计结果看,两个问题都答对的仅 3 人,占总人数的 2.3%;认为按我国现行的混凝土结构设计规范设计出的混凝土结构的耐久性应为 50 年(即等于规范中的设计基准期)的 97 人,占总人数的 75.2%。

表 1-1 统计结果

		设计单位				高校			合计	
		教授级高工(人)	高工(人)	工程师(人)	助工(人)	副教授(人)	讲师(人)	助教(人)	分计(人)	总计(人)
问题 1	A	0	1	6	5	1	3	0	16	129
	B	1	5	10	2	3	1	4	26	
	C	1	4	21	7	2	5	1	41	
	D	1	7	19	12	3	2	2	46	
问题 2	A	0	3	3	4	1	0	1	12	129
	B	3	14	41	18	7	9	5	97	
	C	0	0	11	4	0	0	1	16	
	D	0	0	1	0	1	2	0	4	

通过上述抽样调查,可直观地看出我国从事混凝土结构耐久性研究的迫切性和艰巨性。

1.2 国内外研究概况^[1]

自 19 世纪 20 年代波特兰水泥问世以来,混凝土材料以其广泛的适用性和低廉的造价而成为土木建筑工程中不可缺少的材料,其用量越来越大^[2]。19 世纪 20~30 年代用素混凝土修建了海岸防坡堤、码头、灯塔等沿海或海上构筑物,由于这些构筑物长期经受外部介质的强烈作用,其使用期往往不能像人们预料那样长,因此混凝土结构的耐久性问题逐渐引起了人们的重视。19 世纪 40 年代,法国卓越的工程师、研究家维卡对海水环境中水硬性石灰及用石灰和火山灰制成的砂浆性能进行了研究,并得出结论^[2]:海水中的镁盐与氢氧化钙和含水硅酸盐发生反应,生成氢氧化镁和硫酸钙;硫酸钙继续与水泥石中的其它成分相互作用,造成水泥石的腐蚀破坏。

随着材料科学的发展,1880~1890 年第一批钢筋混凝土结构问世,并首先应用于工业建筑物,随之而来的钢筋混凝土结构腐蚀条件下的安全使用和耐久性(主要是钢筋锈蚀)问题也就摆在了人们的面前。20 世纪初,格尤恩、拉巴利德和克莱罗门等人对工业建筑中使用的混凝土和钢筋混凝土进行了基本研究和经验总结。此后由于科学技术的迅速发展,人们对混凝土结构耐久性的研究范围越来越广,研究内容也越来越深入。如 1925 年在密勒领导下,美国开始在硫酸盐含量极高的土壤中进行长期实验,其目的是为了获取 25、50 年以至于更长时间的混凝土结构腐蚀数据;前联邦德国钢筋混凝土结构协会利用混凝土构筑物遭受沼泽水腐蚀而破坏的事例,对混凝土在自然条件下的腐蚀情况进行了一次长期试验;1934~1964 年间,卡皮斯和戈拉夫对混凝土在海水中的耐久性进行了试验研究,并提供了许多有关混凝土结构在自然条件下使用情况的可靠数据,以及有关水泥种类、混凝土配合比和某些生产因素对混凝土结构抗腐蚀性影响方面的见解。从本世纪 60 年代开始,混凝土结构的耐久性问题已成为国际学术机构或国际学术会

议讨论的重要课题之一,如国际材料与结构研究所联合会(RILEM)于1961和1969年召开了国际混凝土结构耐久性学术会议。近10年人们对混凝土结构耐久性的研究已进入了一个崭新的阶段:1987年日本土木工程师协会混凝土结构委员会提出了一个混凝土结构耐久性的实用设计方法^[3],1989年欧洲混凝土结构委员会发表了“耐久性混凝土结构设计指南”^[4]。有关耐久性的国际会议越来越频繁:1974~1989年,每隔两年召开的一次碱与骨料反应国际学术会议,参加人员越来越广泛,混凝土结构耐久性变成热门课题;1987年国际桥梁与结构工程协会在巴黎举行的“混凝土结构的未来”讨论会上,把耐久性放在一个非常突出的位置;1989年葡萄牙和美国都举行了大规模的有关结构耐久性国际学术会议;1991年美国 and 加拿大联合举行了第二届混凝土结构耐久性国际学术会议;1993年2月IABSE在丹麦哥本哈根召开了结构残余能力国际学术会议;1993年10月26~29日在日本大宫市召开了第六届建筑材料与构件的耐久性国际会议;在香港、新加坡等地区也有一系列的国际会议,重点讨论结构的可靠性与耐久性问题。1992年欧洲混凝土委员会颁布了耐久性混凝土结构设计指南(Durable Concrete Structures Design Guide)^[5]。

我国对混凝土结构耐久性的研究起步于60年代初期南京水利科学研究所的钢筋锈蚀研究。对混凝土结构碳化和钢筋腐蚀等耐久性问题的研究始于60年代中期。中国土木工程学会于1982、1983年连续召开了两次全国耐久性学术会议;1991年12月全国成立了混凝土结构耐久性学组,并开始着手制定混凝土结构耐久性设计规范或标准。各高校已陆续有从事混凝土结构耐久性研究的博士^[2]、硕士^[6]研究生毕业。混凝土结构的耐久性问题越来越受到国内土木工程界的关注;建设部把“混凝土结构耐久性及耐久性设计”作为“八五”科技攻关项目,由清华大学、中国建筑科学研究院等单位承担,目前参加这一项目研究的学者已拿出“混凝土结构耐久性设计及施工建议”的讨论稿。此外,由清华大学、同济大学等高校和一些研究单位联合承担的“重大土木及水利工程可靠性与

耐久性的基础研究”是“国家攀登计划与技术科学重大基础性研究”(攀登B)中唯一的土木工程科研项目。

以上这些研究为结构设计朝着更安全、更耐久、更经济的方向迈进了。

1.3 影响混凝土结构耐久性的因素

影响混凝土结构耐久性的因素有混凝土结构的内在因素和外部环境因素两个方面。内在因素主要为混凝土结构保护层厚度、水灰比和密实度、水泥品种、标号和用量、外加剂类型、结构或构件的构造、混凝土和钢筋的应力大小、裂缝等,这些因素影响混凝土结构的碳化速度、结构或构件的裂缝形式和发展,有些因素与碱-骨料反应有关。外部环境因素主要为气候、潮湿、高温、氯离子侵蚀、化学介质(酸、酸盐、海水、碱类等)侵蚀,还有冻融、磨损破坏等。环境不同影响的程度也不同;环境因素也是通过混凝土结构的内在因素起作用的。可将影响混凝土结构耐久性的因素用图 1.1 直观示出^[2]。

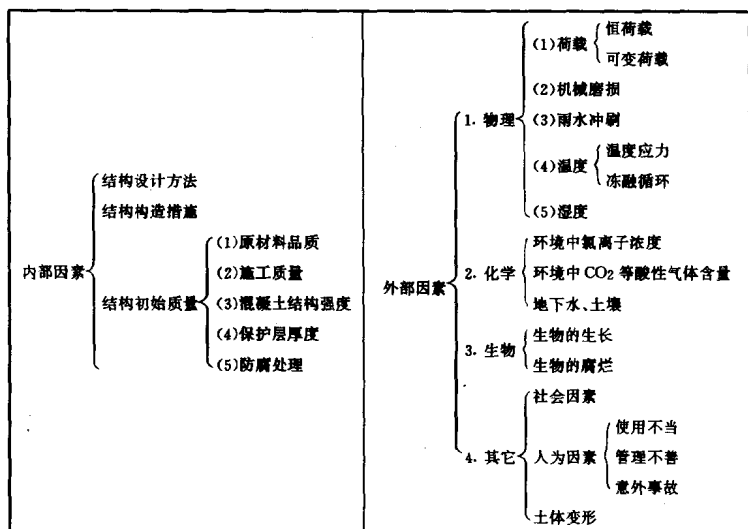
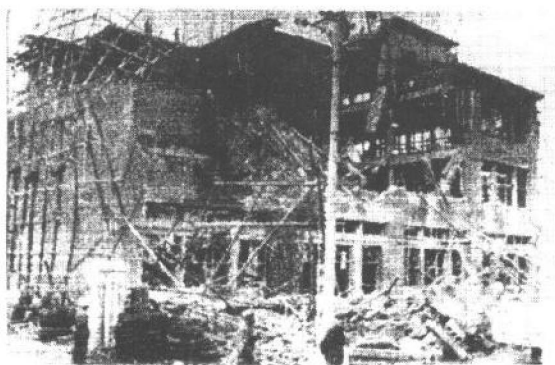


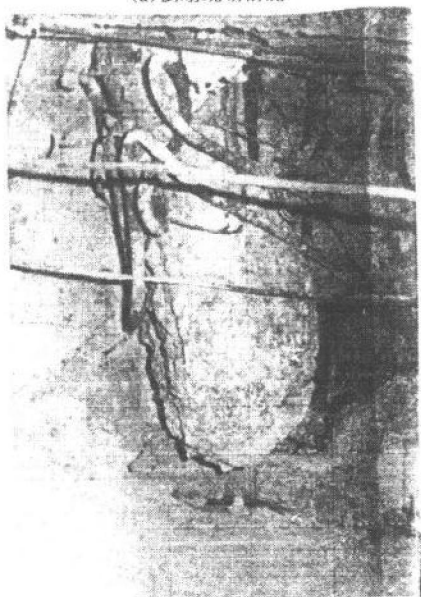
图 1.1 影响混凝土结构耐久性的因素

1.4 混凝土结构耐久性研究的意义

钢筋混凝土结构的耐久性及耐久性设计是十分重要而又迫切需要解决的问题。以往人们普遍认为,钢筋混凝土是耐久性材料,



(a) 倒塌现场情况



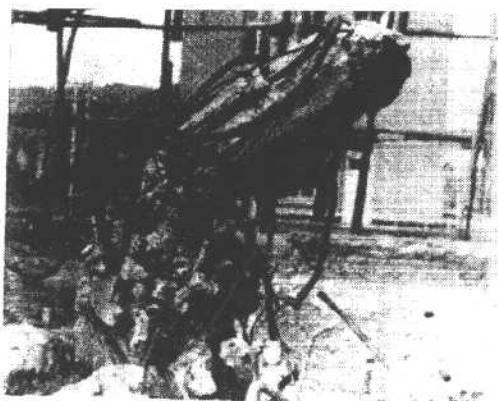
(b) 柱子击穿楼板



(c) 框架体系破坏



(d) 钢筋锈蚀屈曲



(e) 混凝土失效碎落