

建筑土木译丛



Jiegou Hunningtu de
Pinggu Shoumingyuce Xiufu

结构混凝土的评估·寿命预测·修复

□ 美国混凝土学会 (ACI) 编制

阎培渝 钱觉时 王立久 钱春香 袁 勇 王 政 主译



重庆大学出版社

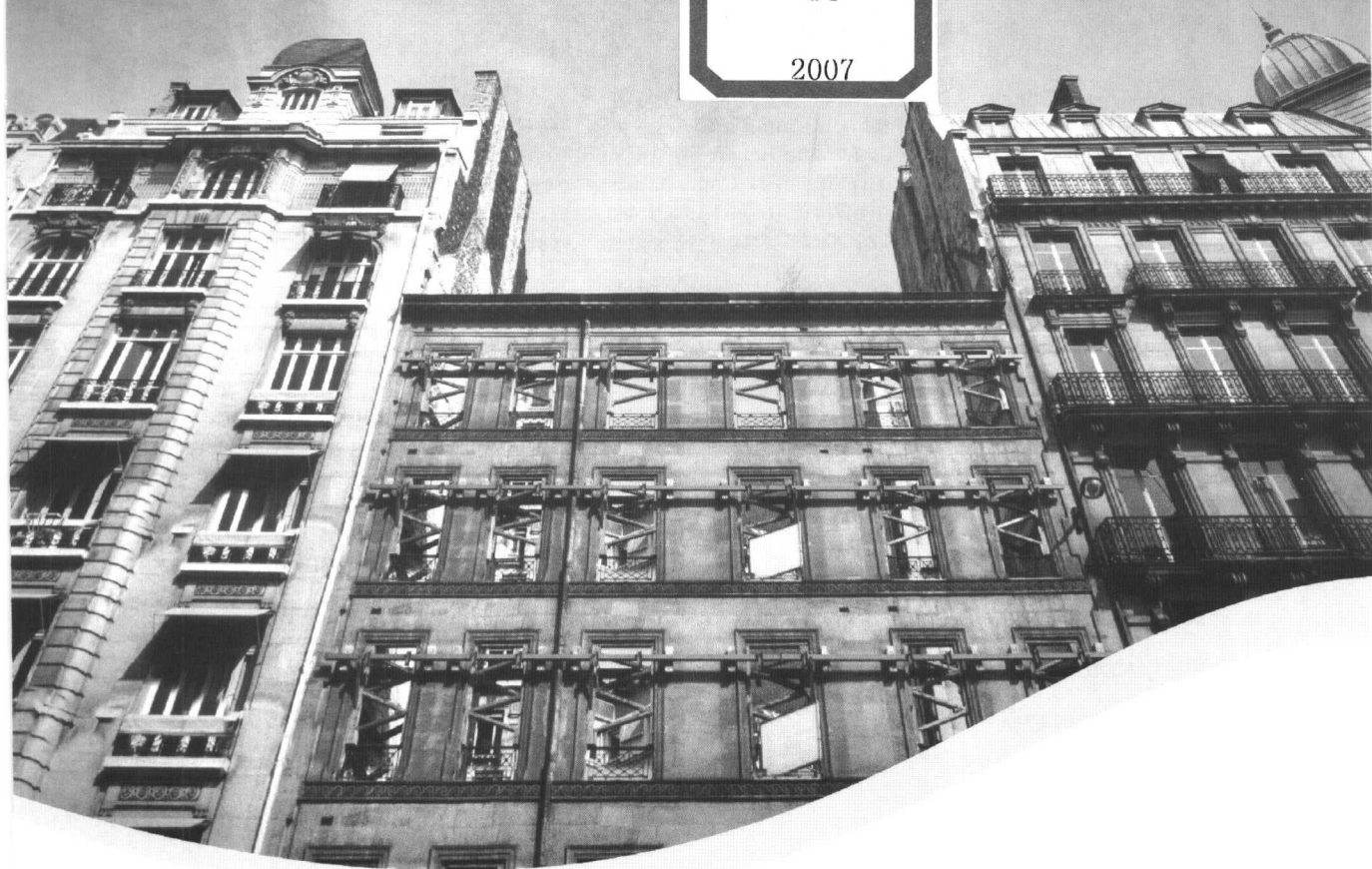
<http://www.cqup.com.cn>

建筑土木译丛

TU37

54

2007



Jiegou Hunningtu de
Pinggu Shoumingyue XiuFu



结构混凝土的评估·寿命预测·修复

□ 美国混凝土学会 (ACI) 编制

□ 阎培渝 钱觉时 王立久 钱春香 袁勇 王政 主译

重庆大学出版社

American Concrete Institute

ACI 201.1R-92(97), **Guide for Making a Condition Survey of Concrete in Service** ISBN:0-87031-010-0;
ACI 224.1R-93(98), **Causes, Evaluation and Repair of Cracks in Concrete Structures** ISBN:0-87031-006-2;
ACI 364.1R-94(99), **Guide for Evaluation of Concrete Structures Prior to Rehabilitation**; ACI 365.1R-00, **Service-Life Prediction—State-of-the-Art Report**; ACI 437R-03, **Strength Evaluation of Existing Concrete Buildings** ISBN:0-87031-129-8; ACI 546R-04, **Concrete Repair Guide** ISBN:0-87031-169-7

Copyright © 1997, 1998, 1999, 2000, 2004, 2004 by American Concrete Institute

Original language published by American Concrete Institute. All Rights reserved. 本书原版由美国混凝土学会出版。版权所有,盗印必究。

Chongqing University Press is authorized by American Concrete Institute to publish and distribute exclusively this simplified Chinese edition. This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. No part of this publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

本书中文简体字翻译版由美国混凝土学会授权重庆大学出版社独家出版发行。此版本仅限在中国境内销售。未经授权的本书出口将被视为违反版权法的行为。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

版贸核渝字(2005)第129号

图书在版编目(CIP)数据

结构混凝土的评估·寿命预测·修复/(美)美国混凝土学会著;阎培渝等译. —重庆:重庆大学出版社, 2007.3

(建筑土木译丛)

ISBN 978-7-5624-3859-5

I. 结... II. ①美... ②阎... III. ①混凝土结构—评估②混凝土结构—结构寿命—预测③混凝土结构—裂纹—消除 IV. TU37

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第133964号

结构混凝土的评估·寿命预测·修复

Jiegou Hunningtu de Pinggu Shouming Yuce Xiufu

[美]美国混凝土学会 著

阎培渝 钱觉时 王立久 钱春香 袁勇 王政 主译

出版者:重庆大学出版社 地址:重庆市沙坪坝正街174号重庆大学(A区)内

网址: <http://www.cqup.com.cn> 邮编:400030

电话:(023)65102378 65105781 传真:(023)65103686 65105565

出版人:张鸽盛

责任编辑:刘秀娟

版式设计:刘秀娟

责任校对:任卓惠

责任印制:赵晟

印刷者:重庆升光电力印务有限公司

发行者:全国新华书店经销

开本:787×1092 1/16 印张:20.5 字数:512千 插页:16开2页

版次:2007年3月第1版 2007年3月第1次印刷

书号:ISBN 978-7-5624-3859-5

印数:1-3 000

定价:55.00元



阎培渝 (Peiyu Yan), 重庆人, 博士、教授、博士生导师, 清华大学土木水利学院建筑材料研究所所长。1982年本科毕业于武汉建材工业学院, 1984年在武汉工业大学获得工学硕士学位, 1988年在武汉工业大学获得工学博士学位。研究领域集中在水泥基材料的组成、结构与性能的关系; 水泥石微结构的形成、演变及其对宏观物理力学性能的影响; 高性能混凝土的制备及其性能; 混凝土材料与结构耐久性等。



钱觉时 (Jueshi Qian), 1962年生, 安徽桐城人, 现为重庆大学教授, 材料科学与工程、环境工程专业博士生导师, 霍英东教育基金获得者。先后在东南大学、重庆大学、同济大学和美国宾州大学学习, 1992年获得博士学位, 1995年被破格晋升为教授, 1997年被选为博士生导师。历任《重庆建筑大学学报》《中国科学》《科学通报》《建筑材料学报》《粉煤灰综合利用》《混凝土与水泥制品》《重庆大学学报》《混凝土》等杂志的特邀编辑或编委。主要研究方向为混凝土材料、固体废弃物处置与资源化。



王立久 (Lijiu Wang), 1945年生, 吉林长春人。1969年毕业于大连理工大学, 1982年获工学硕士学位。1987、1991年分别破格晋升为副教授、教授, 博士生导师。辽宁省委省政府和大连市委市政府分别授予其优秀专家称号。辽宁省复合材料学会常务理事兼秘书长。辽宁省政协委员。主要研究方向是“材料工程学”和“混凝土结构模型”理论及应用; “ENERGY+X”多学科交叉领域相关理论及工程应用。先后出版论著12部、发表论文200余篇、发明专利18项、获奖十余项。目前正在进行“十一五”国家科技支撑计划重大项目研究工作。



钱春香 (Chunxiang Qian), 1966年生, 浙江桐庐人, 教育部新世纪优秀人才。现为东南大学教授、材料科学与工程专业博士生导师, 东南大学绿色建材技术研究所所长, 《硅酸盐学报》编委。分别于1985、1988年在东南大学获得学士和硕士学位, 1992年在南京工业大学获得博士学位。1997年破格晋升为教授, 1999年遴选为博士生导师。1995—1996年在澳大利亚墨尔本皇家理工大学做高级访问学者, 1998—1999年在荷兰代尔夫特工业大学从事博士后研究。主要研究方向为高性能混凝土理论与技术、绿色节能建筑材料及微生物技术在材料修复和环境工程中的应用。



袁勇 (Yong Yuan), 1963年生, 云南人, 工学博士。同济大学教授, 从事结构工程设计理论和地下工程结构服役性能与维护方法的研究。发表过混凝土早期性能和裂缝预防的研究论著, 研究成果多次获省部级科技进步奖励, 是“地下工程服役性设计”、“跨海隧道工程建设技术”等国际会议组织者之一。现兼任国际学术期刊《Journal of Engineering Structures》和国际结构混凝土学会 (fib) 主办学术期刊《Structural Concrete》的编委。

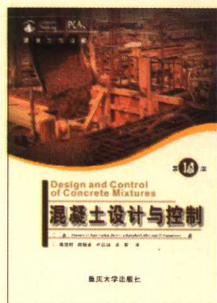


王政 (Zheng Wang), 1958年生, 黑龙江肇州人, 现任哈尔滨工业大学教授, 中国硅酸盐水泥化学委员会委员, 黑龙江省土木学会建材委员会副主任。1982年本科毕业于哈尔滨建筑工程学院, 1988年于湖南大学获硕士学位, 2005年于哈尔滨工业大学获博士学位。先后于1992、1998年晋升为副教授、教授。主要研究方向为高性能水泥基材料、绿色生态建筑材料、建筑节能材料及节能建筑体系。现担任《国际水泥石灰石膏》、《商品混凝土》等杂志编委。



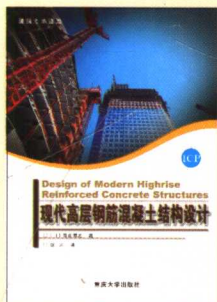
混凝土建筑结构设计规范 (ACI318-05) 及条文说明 (ACI318R-05)

本书由美国混凝土学会 (American Concrete Institute) 318 委员会编撰并出版, 每三年修订一次。本规范涵盖了混凝土建筑结构设计、施工的技术标准等内容, 是目前应用最广、影响最大的混凝土结构设计规范。



混凝土设计与控制

本书的英文版在美国已再版14次、发行上百万册, 是介绍混凝土基本原理和反映混凝土新技术最为全面的著作之一, 适合从事混凝土工程的广大工程技术人员阅读, 也适合高等学校土木工程以及相关专业师生参考, 对于从事混凝土材料研究与技术开发的科研人员也有很大参考价值。



现代高层钢筋混凝土结构设计

本书介绍了1988—1993年在日本开展的国家研究项目——新钢筋混凝土的主要研究结果。该项目的目的是要在日本这样的地震多发国家采用高强混凝土和高强度钢筋修建钢筋混凝土高层建筑。这一项目涵盖了钢筋混凝土结构的所有方面, 即材料、结构杆件、结构设计、施工、以及可行性研究等。此外, 还对现代分析方法, 如有限元法和地震反应分析方法等进行了介绍。



混凝土建筑工程手册

本书是由美国CRC出版的关于混凝土工程技术的手册, 该手册广泛而深入地介绍了混凝土从设计到施工过程中应掌握的知识, 对建筑领域内各环节的技术决策具有极大的参考价值。本书适合于相关领域的研究学者、土木工程师、承建商、现场施工人员以及大中专院校土木工程专业的师生阅读。

序

新中国成立后的第一个建设高潮期间建设的大量基础设施已逐渐达到其设计使用寿命;在改革开放初期建设的工程也已使用 20 多年。许多建筑物出现病害,需要进行维修。

为了保证结构物在设计使用寿命期限内正常发挥其功能,对结构物的使用状态进行定期检查,对出现的损坏进行及时维修是非常重要的。长期以来,我国的土木工程行业重建设、轻维修。在这种观念的指导下,有关建筑物的状态评估、维修工程的设计与施工等的标准规范较为缺乏,使得我国的相关工作经常处于无章可循的状态。

美国混凝土学会(ACI)在 100 多年的工程实践中,编制了大量的标准规范,出版了许多技术报告,具有很高的参考价值。

在美国 Grace 公司混凝土技术部主任史才军博士的推荐下,我们挑选了有关混凝土结构状态调查、评估与维修的 6 个 ACI 的规范和技术报告,将其译成中文,供我国土木工程界的工程技术人员参考。这 6 个规范和技术报告基本上概括了对既有混凝土建筑进行状态评估和维修的各个方面。

ACI 201.1R-92《在役混凝土的状态调查指南》提供了一个编制在役混凝土状态报告的系统,它包括准备报告所需要考虑的所有细节的检查表格以及有关混凝土耐久性方面的概念。目的在于建立一个在役混凝土状态的通用评估体系。

ACI 224.1R-93《混凝土结构中裂缝的成因、评价和修复》总结了混凝土结构中裂缝的成因,提出了混凝土结构中裂缝的评价步骤和主要修复技术。对裂缝修复的关键方法进行了讨论,提供了具体应用指南。

ACI 364.1R-94《混凝土结构改造工程前的评估指南》概述了在改造之前可能进行的对混凝土结构的评估程序。

ACI 365.1R-00《服役寿命预测——现状报告》总结了有关新建和既有混凝土结构服役寿命预测的最新信息。报告给出了控制混凝土服役寿命的主要因素和评价现有结构状况的方法,包括主要物理性质指标的定义;还讨论了预测混凝土服役寿命的技术和结构服役寿命与经济性之间的关系。

ACI 437R-03《既有混凝土建筑的强度评估》给出了在既有混凝土结构的强度评估方法选择时所应遵循的原则,以及为了进行强度评估所需要收集的资料种类。

ACI 546R-04《混凝土维修指南》给出了材料选择与应用的原则,混凝土结构维修、维护与加固的方法。

ACI 201.1R-92 由哈尔滨工业大学的王政和马新伟翻译;ACI 224.1R-93 由东南大学的钱春香翻译;ACI 364.1R-94 由清华大学阎培渝翻译;ACI 365.1R-00 由同济大学袁勇、柳献、翁其能和刘涛翻译;ACI 437R-03 由大连理工大学王立久翻译;ACI 546R-04 由重庆大学钱觉时和宋开伟翻译;最后由清华大学阎培渝负责全书的校对和统稿。译稿虽然经过多次校对,但限于译者的知识水平,对有些名词和概念的理解仍可能有偏差,译者非常欢迎读者提出宝贵意见。译者感谢重庆大学出版社编辑袁江女士的辛勤工作,从而使本书的出版成为现实。

阎培渝
清华大学土木工程系

前 言

ACI 成立于 1904 年,组织前身为美国国家水泥用户协会(National Association of Cement users:NACU),致力于有关混凝土和钢筋混凝土结构的设计、建造和保养技术的研究,传播有关领域的情报。ACI 是一个拥有 30 000 名会员和 30 多个国家的 93 个分会的技术和教育学会,ACI 制订了 400 多个有关混凝土的技术文件、报告、指南、规格和规范;每年召开 150 多个教育学术研讨会,有 13 个不同的混凝土专业人员认证计划,此外还有学术计划来促进工业发展。从 1906 年起制订标准;所有标准通过 ANSI 程序制订;标准草案可提供评议。标准编号:ACI + 三位数字的委员会代号 + 制订年份。例:ACI 318-71 钢筋混凝土的建筑规范要求标准分类:ACI 标准的分类是以其制订委员会三位数代号为分类号的。代号分配情况如下:

100——研究与管理

200——混凝土材料与性能

300——设计施工规程

400——结构分析

500——特殊产品与工艺过程

期刊:

①ACI Materials Journal:包括混凝土用材料性能;材料和混凝土研究;混凝土的性能、使用和处理以及相关 ACI 标准和委员会报告。网上有最近期的文章篇名、作者、页码、关键词、文摘等信息。有印刷本和在线版,如需全文,需付费购买。

②ACI Structural Journal:包括混凝土构件和结构的结构设计和分析;有关混凝土构件和结构研究;设计和分析理论以及有关 ACI 标准和委员会报告。网上有最近期的文章篇名、作者、页码、关键词、文摘等信息。有印刷本和在线版,如需全文,需付费购买。其他出版物:ACI Manual of Concrete Practice:包括所有关于规范要求、规格、公差、混凝土配料、结构方法、试验结果评估等方面的问题,包括 4 600 多页 180 多个混凝土技术方面的文件。如需全文,可购买光盘或印刷版。

每年修订的《ACI 混凝土应用指南》收集了大部分的 ACI 标准和分委员会的报告。指南按内容的相关情况分成若干册,读者可单独购买,也可成套购买。《ACI 混凝土应用指南》也以光盘的形式出售。

ACI 专业委员会提供混凝土原材料与性能、施工与检测、路面与板材、结构设计与分析、结构规范、特殊制品及施工工艺方面的各类标准和报告。

读者可以免费得到 ACI 所有出版物的目录。

美国混凝土学会

P. O. Box 9094

Farmington Hills, MI 48333-9094

ACI 资格认证项目

混凝土结构的最终质量取决于一支高素质的施工队伍。ACI 资格认证项目分别对素质已达到要求的技术工人、技术员和监理工程师进行资格认证。为了满足工业界对有资质的工人需求的不断增长,ACI 开展下列认证工作:

混凝土抹平工

混凝土抹平技术员

混凝土现场试验技术员——I 级

混凝土强度试验技术员

混凝土实验室试验技术员——I 级

混凝土实验室试验技术员——II 级

混凝土见习监理工程师

混凝土监理工程师

混凝土运输与浇注见习监理工程师

混凝土运输与浇注监理工程师

本文献可能已经包括 ACI 认证项目的相关内容,它们可包括在项目指南和质量控制程序中,如果未包括,可向 ACI 资格认证部门索取所建议的指导性规程。

改善 ACI 的技术文献

各技术委员会负责审理 ACI 委员会的报告和标准,尽可能地避免概念模糊、遗漏和错误的发生。即使这样,ACI 文献的读者偶尔还是会发现文献或规定会有多种解释、不完善或不正确。

为了使文献更精准、更明确,ACI 技术执行委员会恳请 ACI 报告和标准的用户,帮助鉴别并消除他们在使用中所发现的问题。

拟对 ACI 文献的改进提出建议的读者,请以书面形式与 ACI 工程部联系,并注明以下信息:

①存在问题的文档的标题和编号,文献中的具体章节。

②所存在问题的简要描述。

③可能的话,写明解决问题的建议。

本学会的工程技术人员将认真查看所收到的评论和建议,并采取相应的措施。无论是否是本学会的会员,均欢迎参与以帮助提高 ACI 文献的正确性和应用价值。

ACI 委员会的报告、指南、标准作法和系统的注释是用于指导结构的规划、设计、实施和检测的。这份文件适用于那些能够正确判断本文件中的内容和建议的重要性和使用限制,并能承担应用文件中所含内容的责任的人。美国混凝土协会对所制定的原则不承担任何责任,本协会将不负责由此所引起的任何损失。

此文件不应用做合同文件,如果文件中的条款被建筑师/工程师引用为合同文件的一部分,他们应该用强制性语言来重新描述。

文件的使用者有责任建立与其使用环境相适应的健康、安全的操作。ACI 未对健康安全问题及文件的使用做任何描述。在使用这份文件之前,使用者必须确定所有常规限制的可实施性,并且必须遵循所有现行的法律和规章,包括但不限于 OSHA 健康与安全标准。

总 目 录

在役混凝土的状态调查指南	1
混凝土结构裂缝的成因、评价和修复	31
混凝土结构改造工程前的评估指导	69
服役寿命预测	107
现有混凝土建筑物的强度评定	181
混凝土修补指南	231

ACI 201.1R-92
1997 年批准通过
ACI 201 委员会报告

在役混凝土的状态调查指南

王 政 马新伟 译

美国混凝土学会
P. O. BOX 9094
FARMINGTON HILLS, MICHIGAN 48333-9094

在役混凝土的状态调查指南

为 1992 年修订版做出贡献的 201 委员会成员包括:

Cameron MacInnis*

(主席)

Mauro J. Scali

(秘书)

Barry W. Butler	Jens Holm	Katharine Mather*	Peter Smith
Ramon L. Carrasquillo*	Robert D. Hooton	Tarun R. Naik*	George V. Teodoru
Paul D. Carter	Gunnar M. Idorn	Michel Pigeon	J. Derle Thorpe
Kenneth C. Clear	John M. Jaffe	Robert E. Price	P. J. Tikalsky
Bernard Erlin	Paul Klieger	Rasheeduzzafar	Claude B. Trusty, Jr
Emery Farkas	Joseph F. Lamond*	Thomas J. Reading	George J. Venta
Per Fidjestol	Kenneth R. Lauer*	Hannah C. Schell	Gary L. Vondran
John F. Gibbons	Stella L. Marusin	Charles F. Scholer	David A. Whiting
Eugene D. Hill, Jr.	Timothy B. Masters	Jan P. Skalny	J. Craig Williams

摘要:本指南提供了一个编制在役混凝土的状态报告的系统,它包括准备报告所需要考虑的所有细节的检查表格以及 ACI 116 标准所涉及的有关混凝土耐久性方面的概念。目的在于建立一个在役混凝土状态的通用评估体系。

本指南的修订工作是以 K. R. Lauer 为首的工作小组完成的,其他工作小组成员已由星号做了标识。

关键词:桥(结构) 建筑物 混凝土施工 混凝土耐久性 混凝土路面 混凝土 侵蚀开裂(断裂)劣化 环境 抗冻融能力 监测 (接头)伸缩缝 爆裂 质量控制 剥蚀适用性 剥落 强度 调查

* 指南修订工作小组成员

目 录

1 概述 ACI 201.1R-4

2 检测项目表 ACI 201.1R-5

3 定义及相关图片 ACI 201.1R-12

1 概 述

本指南提供了一个对在役混凝土的状态进行调查的完整体系。状态调查是对混凝土进行检验、鉴别并标明存在的问题。该体系设计为可用于记录一个工程从竣工到使用的全过程。

当混凝土的强度出现倒缩的迹象,而可能用到该指南对其进行使用情况调查的时候,建议对相关的所有混凝土结构进行一个全面调查。在任何情况下,所有材料和施工情况的记录都应妥善保管,因为此类数据以后是难以得到的。

201 委员会只是把相关的对混凝土的性能有重要影响的项目列入应用情况调查的范畴,所以,调查项目不应局限于所列项目,而可能忽略其他有用的因素。依据该指南进行调查并不排除有进行综合观察和声学评判的需要。

从事调查的人员必须在本领域有丰富的经验,并能胜任工作。除口头描述外,还应有实验室试验、现场试验及检测数据。带有标尺能够表明实物大小的图片在反映在役混凝土的状态时有重要意义。

为了方便全面调查,下面给出调查项目表。一些术语的定义和相关图片有助于使结构混凝土的调查报告更趋于标准化。

该指南应与以下标准配合使用:

- ①ACI 116 委员会制订的“水泥和混凝土术语”(ACI 116R)。
- ②ACI 311 委员会制订的“混凝土检查推荐办法”(ACI 311.1R)。
- ③ACI 201 委员会制订的“高耐久性混凝土指南”(ACI 201.2R)。

2 检测项目表

对在役混凝土的状态进行调查时,必须针对不同的原因,选取所关心的重要项目进行调查。在调查过程中其他因素可以包含在内,不得忽略。

检测项目

1 结构或路面的描述

1.1 工程名称、地点、类型和规模

1.2 业主、项目工程师、承包方、建设日期

1.3 设计

1.3.1 建筑师和(或)工程师

1.3.2 设计使用年限和使用过程

1.3.3 其他特征

1.4 施工

1.4.1 承包方——法人

1.4.2 二级承包方——混凝土浇注

1.4.3 混凝土供货方

1.4.4 试验机构

1.4.5 其他二级承包单位

1.5 图片

1.5.1 全景图

1.5.2 局部细节图

1.6 草图——表明所在地的采光情况以及排水情况

2 结构的现状

2.1 结构的外观

2.1.1 沉降

2.1.2 挠曲

2.1.3 膨胀

2.1.4 收缩

2.2 出现问题的部位(梁、柱、路面、墙体等在应力和应变作用下所造成的)

2.3 混凝土的表面情况

2.3.1 总体情况(好、尚可、差、起砂、起粉和起泡)

2.3.2 开裂

2.3.2.1 部位和频度

6 结构混凝土的评估·寿命预测·修复

- 2.3.2.2 种类和尺寸(见定义)
- 2.3.2.3 渗出物、钟乳石
- 2.3.3 脱皮
 - 2.3.3.1 面积、深度
 - 2.3.3.2 种类(见定义)
- 2.3.4 剥落和爆裂
 - 2.3.4.1 数量、大小和深度
 - 2.3.4.2 种类(见定义)
- 2.3.5 锈蚀、化学侵蚀、磨损、撞击和孔洞的程度
- 2.3.6 斑点和风化
- 2.3.7 钢筋裸露
- 2.3.8 翘曲和扭曲
- 2.3.9 以前的修补情况
- 2.3.10 饰面层
 - 2.3.10.1 种类和厚度
 - 2.3.10.2 与混凝土的粘结
 - 2.3.10.3 具体情况
- 2.3.11 磨损
- 2.3.12 防渗涂层
 - 2.3.12.1 种类
 - 2.3.12.2 效果
 - 2.3.12.3 变色
- 2.4 混凝土内部情况(试件和现场两方面)
 - 2.4.1 芯样的强度
 - 2.4.2 芯样的密度
 - 2.4.3 含水率
 - 2.4.4 碱-骨料反应或其他反应的证据
 - 2.4.5 与骨料、钢筋和伸缩缝的粘结
 - 2.4.6 脉冲速度
 - 2.4.7 体积变化
 - 2.4.8 孔含量及分布
 - 2.4.9 氯离子含量
 - 2.4.10 钢筋表面涂层
 - 2.4.11 钢筋的半电池电位
 - 2.4.12 钢筋锈蚀的证据
 - 2.4.13 其他金属锈蚀的证据
 - 2.4.14 分层
 - 2.4.15 碳化深度

- 2.4.16 冻融破坏(冻害)
- 2.4.17 劣化程度
- 2.4.18 骨料比例及分布
- 3 加载特征及有害因素
 - 3.1 裸露
 - 3.1.1 环境——干燥、亚热带、海洋、淡水和工业等
 - 3.1.2 天气——(7月和1月的平均温度,年平均降水量,发生60%的某种天气现象的月份)
 - 3.1.3 冻融循环
 - 3.1.4 干湿交替
 - 3.1.5 在干燥环境中失水
 - 3.1.6 化学侵蚀——硫酸盐、酸和氯盐
 - 3.1.7 磨损、腐蚀、孔洞和冲击
 - 3.1.8 电流
 - 3.1.9 含氯离子的除冰剂
 - 3.1.10 周围热源
 - 3.2 水冲刷
 - 3.2.1 喷溅
 - 3.2.2 透水孔洞
 - 3.2.3 外部轮廓
 - 3.2.4 水压头
 - 3.3 加载
 - 3.3.1 静荷载
 - 3.3.2 活荷载
 - 3.3.3 冲击
 - 3.3.4 振动
 - 3.3.5 交通因素
 - 3.3.6 其他
 - 3.4 土壤(地基情况)
 - 3.4.1 可压缩度
 - 3.4.2 膨胀土
 - 3.4.3 沉降
 - 3.4.4 地耐力
 - 3.4.5 抽吸水情况
 - 3.4.6 地下水(水位和波动范围)
- 4 结构的原始状态
 - 4.1 竣工后的表面状况
 - 4.1.1 表面平整度