

主 编 惠云玲
副主编 弓俊青
郝挺宇

工程结构裂缝 诊治技术与工程实例

GONGCHENG JIEGOU LIEFENG
ZHENZHI JISHU YU GONGCHENG SHILI

中国建材工业出版社

TU746.3/20

2007

工程结构裂缝 诊治技术与工程实例

主 编 惠云玲

副主编 弓俊青 郝挺宇

中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

工程结构裂缝诊治技术与工程实例/惠云玲主编. —北京: 中国建材工业出版社, 2007. 7

ISBN 978-7-80227-310-8

I. 工… II. 惠… III. 工程结构—裂缝—修缮加固
IV. TU746.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 105431 号

内 容 简 介

工程建设的规模日渐扩大, 结构形式日趋复杂, 施工工艺发生了巨大的变化, 人们对建筑质量的要求更加严格, 在这种形势下, 工程结构的裂缝问题变得日益突出。结构物的裂缝是具有普遍性的技术难题, 它的诊治问题也正引起业界的关注。

本书总结了近年来在工程结构中对裂缝的诊治经验, 提出了应对各类工程结构裂缝的对策, 具体内容包括: 混凝土裂缝、砌体裂缝、钢结构裂缝等方面的检测、控制技术、试验研究及工程应用等。本书的特点是通过案例介绍工程实际中的解决办法, 具有明显的借鉴意义。

工程结构裂缝诊治技术与工程实例

主 编 惠云玲

副主编 弓俊青 郝挺宇

出版发行: 中国建材工业出版社

地 址: 北京市西城区车公庄大街 6 号

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

印 张: 28

字 数: 670 千字

版 次: 2007 年 7 月第 1 版

印 次: 2007 年 7 月第 1 次

书 号: ISBN 978-7-80227-310-8

定 价: 56.00 元

本社网址: www.jcbs.com.cn

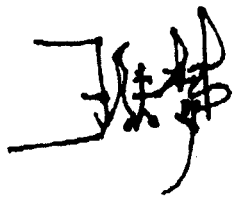
本书如出现印装质量问题, 由我社发行部负责调换。联系电话: (010) 88386906

序

随着我国经济持续快速增长,工程建设规模迅速扩大,结构形式日益多样化、大型化、复杂化,公众对建筑质量的要求日趋严格。然而,工程结构中的裂缝问题始终存在,困扰着广大的建设者和使用管理者,是具有普遍性的技术难题。根据大量的工程实践和对近代工程材料的微观研究,建筑结构的裂缝不可避免,但其有害程度可以控制,关键是对裂缝问题的诊治技术要求要提高。

2007年7月23日~25日,国家工业建筑诊断与改造工程技术研究中心在大连举办的“全国工程结构裂缝与对策学术研讨会”,将是近几年来工程结构裂缝的诊断、监测、控制、治理和修复研究成果与经验的总结,研讨主题涵盖了普通混凝土结构、大体积混凝土结构、砌体结构、钢结构等诸多结构类型的裂缝诊治技术和试验研究、裂缝控制与监测技术、裂缝诊治修复的新技术、新材料、新工法研究。本书的研究论文有的来自工程实例,有的来自科研生产,既是对工程经验和教训的总结,也是对裂缝认识水平的进一步提高。研讨会邀请到多名业内知名专家、学者所做专题学术报告,以及来自全国各地的工程技术代表相互交流,对提高我国工程结构裂缝诊治技术水平必将起到良好的促进作用。

国家工业建筑诊断与改造工程技术研究中心,依托于中冶集团建筑研究总院,是国内较早从事工程结构裂缝控制研究和诊治的单位之一,有着丰富的诊断与加固处理裂缝的实践经验和技術力量,具备先进的裂缝检测技术装备。举办本次研讨会以及本论文集的出版与交流,势必为我国工程结构裂缝诊治技术水平的提高起到积极的促进作用。让我们在工程中不断探索、研究、实践,让“工程结构裂缝”这个古老又有挑战性的课题在丰富的建设实践中进一步得到破解,工程裂缝控制理论与技术水平的进一步提高必将成为联系各界同仁进行广泛技术合作的桥梁。



2007年7月

前 言

近二十年来,我国经济持续快速增长,工业建筑、民用建筑、公路、铁路、水工、港工等基础设施已成为支撑经济发展的物质基础,工程建设迅猛发展。然而工程结构中的裂缝问题始终对工程结构的安全性、适用性和耐久性构成威胁,裂缝问题的诊治正引起业界的高度关注。

为了总结近几年来对工程裂缝的诊断、监测、控制、治理和修复科研成果与经验,国家工业建筑诊断与改造工程技术研究中心于2007年7月23日~25日在大连举办“全国工程结构裂缝与对策学术研讨会”。本次会议吸引了来自全国各地从事工程结构诊治、检测、设计、施工、科研、教学、生产、试验、质量监督和管理的工作者参加,并邀请了多名业内知名的专家、学者作专题学术报告,目前已收到论文近百篇。为了扩大交流,我们将其精心编选成论文集,内容涉及工程结构的裂缝诊治技术及试验研究、裂缝控制与监测技术、裂缝诊治修复的新技术、新材料、新工法研究等诸多方面。书中还包含有大量的工程实例,对进一步提高处理各类工程结构裂缝的水平必将起到积极的推动作用。

由于时间仓促,编者水平有限,书中难免有失误和不当之处,敬请读者批评指正。

编 者

2007年7月

目 录

第一部分 工程结构裂缝诊治技术及试验研究

混凝土结构裂缝诊断	林志伸	(3)
混凝土结构中裂缝分析、调查与修补方法	惠云玲 郭永重	(21)
裂缝修复对混凝土结构耐久性的影响	郝挺宇	(27)
锈蚀钢筋混凝土结构耐久性检测评估与修复	郭小华 惠云玲 张贵成	(32)
锈胀开裂钢筋混凝土柱修复试验研究	郭小华 惠云玲	(39)
加气混凝土屋面板裂缝成因分析及处理对策	郭春红 弓俊青 张志超	(47)
使用环境对混凝土结构裂缝的影响分析	张贵成	(50)
锈蚀开裂梁修复后正截面应变协调的试验研究	肖 辉 惠云玲	(54)
修复混凝土梁受弯破坏形态及裂缝开展特点的试验研究	肖 辉 惠云玲	(58)
浅析腐蚀环境中混凝土结构的破坏及对策	武慧芬 郝挺宇	(64)
现浇混凝土楼板裂缝产生的原因和控制措施	陆靖洲 张元发	(68)
外墙外保温裂缝修复系统研究	华卫东 张延安 韩东辉 吴电电	(73)
钢筋混凝土结构锈胀裂缝的诊断及修复	苏妮娜 熊仲明 霍晓鹏	(78)
钢筋锈蚀引起混凝土结构裂缝的分析及防治	孙瑞峰 李 科 史冬东	(82)
水工混凝土裂缝分类与开裂原因分析	付 军 刘申奎 陈怀均 杨 净 孙海兵	(86)
某游泳池裂缝检测鉴定与处理	孙永民 何金胜	(95)
某主堂楼预应力混凝土梁裂缝检测与成因分析	唐 坤 袁海军 周 浪 南建林 石潇岩	(100)
房建结构中大体积底板混凝土裂缝问题浅析	任胜谦 唐 坤	(106)
混凝土楼板裂缝设计原因浅析及防治	商怀帅 王庆海 顾 勇	(110)
基于模糊理论的混凝土裂缝损伤评估	张喜德 王明星 李 艳 张学亮 相斌辉	(114)
地基不均匀沉降对顶进施工框架地道桥的影响	董大巍 卢文良 苏 丹 尚建科	(119)
宽扁梁框架结构体系中裂缝问题的研究	王玉镯 傅传国 孙晓波 孟庆永	(125)
多层混凝土修复结构的应力和应变简化模型	周 健 叶 光	(131)

第二部分 工程结构裂缝控制与监测

大面积复杂形状混凝土体温度计算分析	弓俊青 郭春红 侯 健	(141)
大面积复杂形状混凝土体应力计算分析	弓俊青 郭春红 侯 健	(147)
超长混凝土现浇楼板温度裂缝的计算分析	来春景 王春青 朱彦鹏	(153)
基础混凝土的裂缝控制	侯思军	(159)
首钢炼铁工程铁区1号高炉基础大体积混凝土施工裂缝控制	张际斌 郭建平 宋正峰	(164)

建筑结构裂缝的控制	赵群昌 (168)
矩形钢管永久模板混凝土斜(扭)柱泵送顶升施工柱内压力测试	侯 健 弓俊青 (174)
复杂大体积混凝土体的水化温度场计算分析监测	弓俊青 侯 健 牟宏远 (178)
顶层砌体温差裂缝分析与控制	刘金铃 (182)
某工程预应力结构改造施工技术研究	许曙东 钱英欣 (188)
上海洋山深水港中港区码头面层裂缝现场监测	王成启 汪冬冬 胡力平 时蓓玲 (192)
浅谈某工程施工过程中裂缝的控制	仇德源 (197)
吉沙水电站冬季混凝土施工温度控制及防裂技术	熊 林 陈怀均 刘莉英 梁 霞 陈科全 (201)
混凝土自收缩程度及其与早期裂缝的相关性	朱耀台 钱晓倩 詹树林 (208)
浅谈混凝土结构裂缝控制途径	刘 杰 王海龙 王新征 (213)
减少和控制商品混凝土现浇楼板早期收缩裂缝的设计方法	白文辉 高建新 齐学刚 张仁义 (218)
结构体系裂缝及其控制	罗 刚 罗 诚 罗国强 (223)
桥梁大体积混凝土裂缝分析与控制	杜树伟 李艳明 赵莉弘 (229)
大体积混凝土含水率变化对温度应力影响分析	韦 华 何 真 郑念念 王 宽 王迎春 (233)
地道桥底板水化热温度施工监测与仿真分析	苏 丹 卢文良 董大巍 (241)

第三部分 钢结构及砌体结构裂缝诊治技术

FRP 加固钢梁端部胶层界面裂纹扩展分析

.....	郑 云 叶列平 岳清瑞 惠云玲 弓俊青 (249)
-------	---------------------------

应用 FRP 止裂技术加固疲劳损伤钢结构的研究

.....	郑 云 叶列平 岳清瑞 惠云玲 杨建平 (253)
-------	---------------------------

吊车梁与柱连接板的疲劳断裂及处理

杨建平 赵英杰 (258)

吊车梁圆弧端开裂焊接补强加固模型有限元分析

幸坤涛 杨建平 佟晓利 (262)

某游泳馆网架结构耐久性与安全性检测鉴定

幸坤涛 杨建平 (268)

焊接工字形截面在钢吊车梁上翼缘与腹板连接处疲劳开裂实例及分析

.....	常好涌 杨建平 鲁春芳 涂庆胜 黄新豪 (271)
-------	---------------------------

平遥古城墙砖墙裂缝检测及其对策

杜相仁 马成理 苏丛柏 (276)

钢结构裂缝检测与加固技术

韩继云 孙 彬 孙 斌 尚世仲 费毕刚 (280)

砖混结构墙体温度裂缝

郭满良 (285)

某现浇楼板裂缝检测与鉴定

高剑平 (293)

第四部分 裂缝诊治新技术、新材料、新工法

单组分水溶性聚氨酯化学灌浆材料的研制

赵 晖 邓 敏 吴晓明 刘冠国 (299)

关于混凝土密实成型的研究与应用

李晟文 李 果 耿 欧 陈存彬 (304)

荷载作用下混凝土的渗透性能研究

童慧芝 杨 杨 邵 凯 江晨晖 (309)

基于渗透结晶原理的裂缝自修复技术在水工混凝土中的研究进展

.....	杨华全 李家正 林育强 (314)
-------	-------------------

正确认识混凝土,合理发挥混凝土的作用	关淑君	王景贤	徐彦	(319)
聚丙烯纤维在混凝土中的作用及作用机理研究	关淑君	徐彦	杨建新	(324)
网状纤维对水泥基材料阻裂性能的影响	肖力光	徐海岩	王思宇	(330)
内掺法防水处理对带裂缝混凝土氯离子侵蚀的影响	郭平功	田砾	赵铁军	(335)
不同温度时电阻率—水化放热双参数映射水泥浆体早期水化行为	王宽	梁文泉	郑念念	何真 杨华全 (340)
防渗抗裂砂浆抗干缩性能试验研究	刘保华	方亮	杨敬林	(347)
复合溶液腐蚀下混凝土氯离子扩散系数演化机理	金祖权	孙伟	赵铁军	(351)
粉煤灰混凝土的 2D、3D 氯离子扩散特性试验研究	张云升	孙伟	陈树东 郭飞	(358)

第五部分 工程结构裂缝诊治实例

回转窑厂房柱开裂检测鉴定	常好诵	涂庆胜	曹辉	(369)
混凝土结构楼板裂缝检测分析工程实例			惠云玲	(373)
混凝土隧道结构裂缝鉴定实例	郭小华	张家启	张志超	(378)
焚烧炉耐热混凝土炉盖裂缝成因分析	郭春红		王奉钦	(381)
地下混凝土结构裂缝原因分析			张志超	(384)
试论大型球磨机基础加固设计			魏利金	(387)
某商贸城加固改造施工中楼板裂缝机理分析及处理技术	巩思锋	吕恒林	成翔 宋雷	(393)
沈阳市黄河立交桥裂缝分析及加固设计	马亮	梁力	张树仁	(397)
超声法检测及壁可法修复某铁路桥梁墩帽处裂缝	徐金帅		王春芬	(401)
对某办公楼墙体开裂事故的分析与思考	秘星	褚世洪	陈明山	(407)
某框架剪力墙结构填充墙裂缝原因分析	李守才	刘亚波	纪念敏	(411)
某在役钢筋混凝土桥梁裂缝状态及成因分析	姜福香	王玉田	赵铁军 盖国晖	(414)
黄埔大桥锚碇基坑底板混凝土抗裂性能研究	丁庆军	王红喜	何永佳 谭立心 吴炳强	(420)
黄埔大桥锚碇基坑顶板混凝土施工技术	谭立心	吴炳强	王红喜 丁庆军	(425)
东沙特大桥大体积混凝土配合比优化设计及施工工艺	丁庆军	王红喜	丘庆发 谢伟英	(432)

第一部分

工程结构裂缝
诊治技术及试验研究

混凝土结构裂缝诊断

林志伸

国家工业建筑诊断与改造工程技术研究中心，
中冶集团冶金建筑研究总院 工程结构与抗震研究分院，北京，100088

【摘 要】 混凝土结构裂缝诊断主要是观察、检测、分析混凝土结构裂缝性状、产生的原因和裂缝宽度、深度、长度是否在允许范围之内以及发展趋势。为结构安全性、使用性能和耐久性鉴定及处理决策提供技术依据。

【关键词】 混凝土结构，裂缝，诊断

1 欧美、日本和中国对混凝土结构裂缝的诊断方法

1.1 CEB-FIP（欧洲混凝土协会-国际预应力协会，现为国际混凝土协会 CIB）对混凝土结构裂缝的分类^[1]

1.1.1 新鲜混凝土裂缝 cracks in fresh concrete

- (1) 塑性沉降。
- (2) 塑性收缩。
- (3) 模板沉降。
- (4) 热养护。

1.1.2 温度裂缝 temperature cracks

- (1) 由于热和水化原因造成的截面开裂。
- (2) 由于水化热造成的表面裂缝。
- (3) 由于环境温度影响造成的整截面开裂。

1.1.3 收缩裂缝 shrinkage cracks

- (1) 由于构件表面干燥造成约束收缩裂缝。
- (2) 由于收缩率或收缩时间差造成的裂缝。
- (3) 由于总收缩差造成的裂缝。

1.1.4 耐久性裂缝 durability cracks

- (1) 冻融。
- (2) 钢筋锈蚀。
- (3) 硫酸盐化学侵蚀。
- (4) 集料反应（如碱-集料）。

1.1.5 荷载裂缝 cracks caused by loading

- (1) 弯。

- (2) 拉。
- (3) 剪。
- (4) 扭。
- (5) 粘结。
- (6) 集中荷载。

1.1.6 其他原因造成的裂缝 cracks caused by

- (1) 火灾。
- (2) 超载。
- (3) 不均匀沉降。
- (4) 不正常的预应力。

1.2 美国混凝土协会 ACI 对混凝土结构裂缝的分析方法^[2]

1.2.1 裂缝鉴定

1.2.1.1 要掌握裂缝的位置、严重程度、产生原因和修补要求

1.2.1.2 确定裂缝的位置和严重程度

- (1) 目测。
- (2) 非破损检验。
- (3) 混凝土芯样确定裂缝严重程度。
- (4) 从查阅图纸和施工记录资料获得信息。

1.2.1.3 维修方法的选择

1.2.2 裂缝原因及其控制

1.2.2.1 概述

1.2.2.2 塑性混凝土的裂缝

- (1) 塑性收缩裂缝。
- (2) 沉降裂缝。

1.2.2.3 硬化混凝土的裂缝

- (1) 干燥收缩 (1%、0.05%)。
- (2) 热应力 ($7 \times 10^{-6} \sim 11 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)。
- (3) 化学应力 (碱、硅、碳酸盐、硫酸盐 ASTM C 595 氢氧化钙……)。
- (4) 风化 (冻融、湿与干、冷与热)。
- (5) 钢筋锈蚀。

(6) 施工操作不当。加水、停水养护、模板、捣固不足、施工缝应力高……

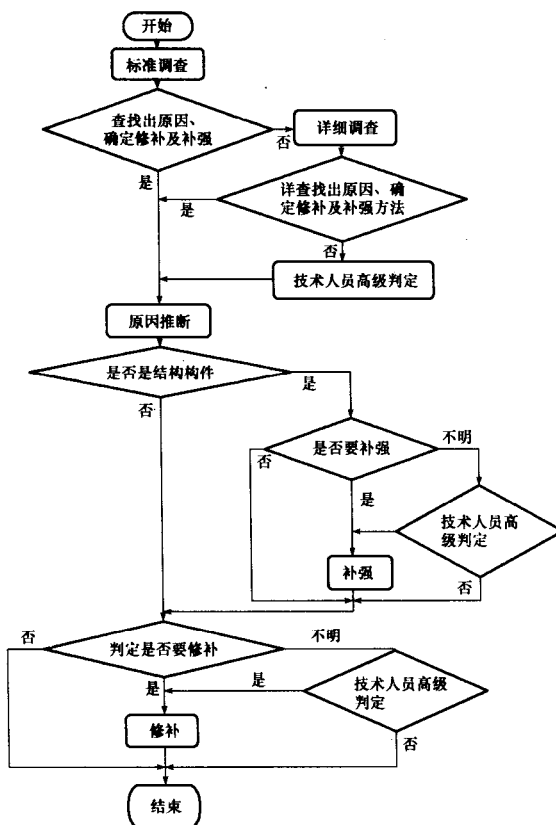
(7) 施工荷载和超载。早期施加荷载、预制构件安装支点不当、吊装、运输、先张反拱、翼缘筋多肋加预应力翼缘容易开裂、蒸养冷冲击 $> 21^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 、寒冷区加热养护、材料堆放……

(8) 设计和构造中的错误。墙、板角构造、配筋量不足、约束流变、温差和干燥收缩可能超设计应力开裂、地基不均匀沉降等。

(9) 外加荷载。注意钢筋和构造约束作用。

1.3 日本混凝土工程协会 JCI 混凝土结构裂缝原因分析方法^[3]

1.3.1 鉴定程序



裂缝调查及补强加固流程图

1.3.2 产生裂缝原因分析

1.3.2.1 材料

(1) 使用材料

①水泥

水泥的非正常凝结

水泥的水化热

水泥的非正常膨胀

②集料

集料中含泥土

集料质量低劣

使用了反应性集料

(2) 混凝土

混凝土中的氧化物

混凝土的沉缩及泌水

混凝土的干缩

1.3.2.2 施工

(1) 混凝土

①拌合

掺合料拌合不均。

拌合时间过长。

②运输

泵送时改变了配比。

③浇筑

浇筑顺序不合适。

浇筑速度太快。

④振捣

振捣不足。

⑤养护

硬化前受到振动或加荷。

初期养护时急剧干缩。

初期冻接打。

接打处理不当。

(2) 钢筋

配筋。

钢筋被扰动。

保护层厚度不够。

(3) 模板

①模板

模板变形。

漏水（模板漏浆或底部漏水）。

过早拆模。

②支撑

支撑下沉。

1.3.2.3 适用与环境

(1) 物理方面

温湿度。

环境温度的变化。

构件两面的温湿度之差。

反复冻融。

火灾。

表面加热。

(2) 化学方面

酸或盐类的化学作用。

碳化引起的内部钢筋锈蚀。

氯化物引起内部钢筋的锈蚀。

1.3.2.4 结构及外力

(1) 荷载

永久荷载及长期荷载。

设计荷载之内的永久荷载及长期荷载。

超过设计荷载的永久荷载及长期荷载。

动荷载及短期荷载。

设计荷载之内的动荷载及短期荷载。

超过设计荷载的动荷载及短期荷载。

(2) 结构设计

断面及钢筋用量不足。

(3) 支撑条件

结构物的差异沉降。

冻胀。

1.4 中国土木工程学会混凝土质量专业委员会混凝土结构裂缝原因分析方法《钢筋混凝土结构裂缝控制指南》(2004年3月)^[4]

裂缝产生原因。

概括分类如表1所示。

表1 钢筋混凝土架构裂缝产生的主要原因

分 类	原 因
与结构设计及受力荷载有关的	1. 在设计荷载范围内, 超过设计荷载范围或设计未考虑到的作用 2. 地震、台风作用等 3. 构建截面尺寸不足、钢筋用量不足、配置位置不当 4. 结构物的沉降差异 5. 次应力作用 6. 对温度应力和混凝土收缩应力估计不足
与使用及环境条件有关的	1. 环境温度、湿度的变化 2. 结构构件各区域温度、湿度差异过大 3. 冻融、冻胀 4. 内部钢筋锈蚀 5. 火灾或表面遭受高温 6. 酸、碱、盐类的化学作用 7. 冲击、振动影响
与材料性质和配合比有关的	1. 水泥非正常凝结(受潮水泥、水泥温度过高) 2. 水泥非正常膨胀(游离CaO、游离MgO含量过高) 3. 水泥的水化热 4. 集料含泥量过大 5. 集料级配不良 6. 使用了碱活性集料或风化岩石 7. 混凝土收缩 8. 混凝土配合比不当(水泥用量大、水胶比大、砂率大等) 9. 选用的水泥、外加剂、掺合料不当或匹配不当 10. 外加剂、硅灰等掺合料过大

续表

分 类	原 因
与施工有关的	1. 拌合不均匀（特别是掺合料的混凝土），拌合时间不足或过长，拌合后到浇筑时间间隔过长 2. 泵送混凝土增加了用水量 3. 浇筑顺序有误、浇筑不均匀（振捣赶浆、钢筋过密） 4. 振捣不良，坍落度过大、集料下沉、泌水、混凝土表面强度过低就进行下一道工序 5. 连续浇筑间隔时间过长，接茬处理不当 6. 钢筋搭接、锚固不良，钢筋、预埋件被扰动 7. 钢筋保护层厚度不高 8. 滑模工艺不当（拉裂或塌陷） 9. 模板变形、模板漏浆或渗水 10. 模板支撑下沉、过早拆除模板、模板拆除不当 11. 硬化前遭受扰动或承受荷载 12. 养护措施不当或养护不及时 13. 养护初期遭受急剧干燥（日晒、大风）或冻害 14. 混凝土表面抹压不及时 15. 大体积混凝土内部温度与表面温度及表面温度与环境温度差异过大

2 裂缝原因定量追踪诊断法

上述分析方法仅仅给出了混凝土开裂原因分析要素，对解决工程问题很重要。但是，这些要素分析还不是认识混凝土开裂必然性和定量分析的逻辑推导。因此，为提高裂缝诊断的逻辑必然，本文提出了裂缝原因定量追踪分析诊断法。

2.1 国内混凝土结构裂缝方面的主要著作

朱伯芳. 大体积混凝土温度应力与温度控制. 北京: 中国电力出版社, 1999.

赵国藩. 钢筋混凝土结构裂缝控制. 北京: 海洋出版社, 1991.

王铁梦. 工程结构裂缝控制. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.

块体基础大体积混凝土施工技术规范 (YBJ 224—91). 北京: 冶金工业出版社, 1991.

丁大钧. 钢筋混凝土构件抗裂度、裂缝和刚度. 南京: 南京工学院出版社, 1986.

何星华, 高小旺. 建筑工程裂缝防治指南. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.

袁勇. 混凝土结构早期裂缝控制. 北京: 科学出版社, 2004.

林志伸. 建筑结构裂缝诊断讲座. 从 2000 年起至今在北京、上海、广州、深圳、沈阳、成都……讲座多起。包括给国家奥林匹克体育场工程指挥部的讲座等。

林志伸, 闫继红. 大气环境下核电站安全壳温度场的时程分析. 土木工程学报, 2003,

36 (6) .

目前国内在混凝土结构的裂缝控制和裂缝诊断方面与国际先进水平相比还有一些差距。

我们是结构鉴定咨询工程师，主要从事工程结构的安全性、耐久性鉴定工作，当然也包括混凝土结构的裂缝诊断。曾经进行过混凝土结构裂缝工程诊断的项目有国家重大工程项目、大型公共建筑、纪念性建筑、工业建筑、民用建筑、桥梁隧道、特种结构、核电站等 300 余项。

在大量进行既有混凝土结构裂缝诊断的同时,也进行了一些新建工程的混凝土结构裂缝控制咨询工作。例如北京中日友好医院质子仪(γ 刀)大体积混凝土基础、北京四通集团公司引进印刷机基础、宝洁(P&G)公司北京喜马拉雅厂房混凝土地坪……凡是认真控制的工程,都达到了裂缝控制的目的。

作为一个合格的混凝土结构裂缝诊断工程师应当具备深厚的理论功底、混凝土结构破坏的实验功底及相当数量的工程诊断实践和知识积累的工程功底。进行裂缝原因定量追踪分析时,确定分析参数最难,要求有一定的功底才能找准。否则,就会给认识问题和解决问题带来麻烦。

混凝土结构裂缝诊断实际上是一门交叉科学,要用到混凝土结构设计及混凝土结构学、混凝土材料及外加剂材料学、混凝土结构施工知识、弹塑性有限元或动态分析、热学、气象学、结构可靠度学等多项专业知识和工程经验。

2.2 混凝土结构裂缝诊断的关键在于对结构各部位的全过程约束应变追踪分析

我们的常规做法如下:

(1) 现场观察和收集资料(裂缝图、设计图、材料配合比、施工记录、施工全过程、气象资料、取试样……)及初步分析:

• $f(X_1, X_2, X_3, X_4, \dots, X_{24})$ 排除可能性很小的因素。

• 例如: $f(X_6, X_7, X_8, X_9)$ (水化热、环境温度、表面干燥、约束松弛条件、收缩差……) 排序: $f(X_8, X_7, X_6, X_9)$ 。

(2) 详细分析: 确定理论计算分析参数(开裂作用、开裂抗力,包括约束条件……) 裂缝原因分析结论。

安全分析及结论。

处理建议。

2.3 混凝土结构裂缝控制的关键,仍然是全过程约束应变追踪控制

(1) 避免裂缝控制

结构设计审查,理论分析判断,工程案例数据库的调用。

施工设计审查。

施工全过程控制。

使用条件控制。

(2) 有限裂缝控制

结构设计审查,理论分析判断。工程案例数据库的应用。

施工设计审查。

施工全过程控制。

使用条件控制。

3 混凝土结构裂缝诊断工程案例

例1. 混凝土连续支承双向板塑性铰状开裂问题(图1)。

各国混凝土连续支承双向板的厚度与跨度的最小比值 h/l 控制的对比:

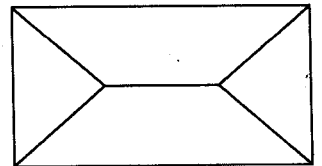


图1 混凝土双向板出现塑性铰裂缝