

76746.3
L32

建筑结构诊断鉴定 与加固修复

李惠强

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

建筑结构诊断鉴定与加固修复/李惠强
武汉:华中科技大学出版社, 2002年1月
ISBN 7-5609-2626-6

I. 建…
II. 李…
III. 建筑结构-结构诊断-加固修复
IV. TU3

建筑结构诊断鉴定与加固修复

李惠强

责任编辑:徐正达
责任校对:封春英

封面设计:刘 卉
责任监印:熊庆玉

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87545012

录 排:华中科技大学出版社照排室

印 刷:湖北省通山县印刷厂

开本:850×1168 1/32

印张:10.125

插页:2

字数:232 000

版次:2002年1月第1版

印次:2002年1月第1次印刷

印数:1—2 000

ISBN 7-5609-2626-6/TU·23

定价:16.00 元

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

写在“研究生用书”出版 10 周年

在今天,面对科技的迅速发展,知识经济已见端倪,国际竞争也日趋激烈,显然,国家之间的竞争是国家综合实力的竞争,国家综合实力的竞争关键是经济实力的竞争,而经济实力的竞争关键又在于科技(特别是高科技)的竞争,科技(特别是高科技)的竞争归根结底是人才(特别是高层次人才)的竞争,而人才(特别是高层次人才)的竞争基础又在于教育。“百年大计,教育为本;国家兴亡,人才为基。”十六个字、四句话,确是极其深刻的论断。目前,国际形势清楚表明:我们国家的强大与民族的繁荣,主要立足于自己,以“自力更生”为主;把希望寄托于他人,只是一种不切实际的幻想。这里,我们决不是要再搞“闭关锁国”,搞“自我封闭”,因为那是没有出路的;我们强调的是要“自信,自尊,自立,自强”,要以“自力更生”为主,走自己发展的道路。

显然,知识经济最关键的是人才,是高层次人才的培养,而作为高层次人才培养的研究生教育就在一个国家的方方面面的工作中,占有十分重要的战略地位。可以说,没有研究生教育,就没有威伟雄壮的科技局面,就没有国家的强大实力,就没有国家在国际上的位置,就会挨打,就会受压,就会被淘汰,还说什么知识经济与国家强大?!

“工欲善其事,必先利其器。”教学用书是教学的重要

基本工具与条件。这是所有从事教育的专家所熟知的事实。所以,正如许多专家所知,也正是原来的《“研究生用书”总序》中所指出,研究生教材建设是保证与提高研究生教学质量的重要环节,是一项具有战略性的基本建设。没有研究生的质量,就没有研究生教育的一切。

我校从1978年招收研究生以来,即着力从事于研究生教材与教学用书的建设。积十多年建设与实践的经验,我校从1989年起,正式分批出版“研究生用书”。第一任研究生院院长陈珏教授就为之写了《“研究生用书”总序》,表达了我校编写这套用书的指导思想与具体要求,“要力求‘研究生用书’具备科学性、系统性、先进性”。后三任研究生院院长,也就是各任校长黄树槐教授、我本人和周济教授完全赞同这一指导思想与具体要求,从多方面对这套用书加以关心与支持。

我是十分支持出版“研究生用书”的。早在1988年我在为列入这套书中的第一本,即《机械工程测试·信息·信号分析》写“代序”时就提出:“一个研究生应该博览群书,博采百家,思路开阔,有所创见。”但这不等于他在一切方面均能如此,有所不为才能有所为。如果一个研究生的主要兴趣与工作不在“这一特定方面”,他也可以选择一本有关的书作为了解与学习这方面专业知识的参考;如果一个研究生的主要兴趣在“这一特定方面”,他更应选择一本有关的书作为主要学习用书,寻觅主要学习线索,并缘此展开,博览群书。这就是我赞成为研究生编写系列教学用书的原因。

目前,这套书自第一本于1990年问世以来,已经度

过了10个春秋,出版了8批共49种,初步形成规模,逐渐为更多读者所认可。在已出版的书中,有15种分获国家级、部省级图书奖,有16种一再重印,久销不衰。采用此套书的一些兄弟院校教师纷纷来信,赞誉此书为研究生培养与学科建设做出了贡献,解决了他们的“燃眉之急”。我们感谢这些赞誉与鼓励,并将这些作为对我们的鞭策与鼓励,“衷心藏之,何日忘之?!”

现在,正是江南春天,“最是一年春好处”。华工园内,红梅怒放,迎春盛开,柳枝油绿,梧叶含苞,松柏青翠,樟桂换新,如同我们的国家正在迅猛发展、欣欣向荣一样,一派盎然生机。尽管春天还有乍寒时候,我们国家在前进中还有种种困难与险阻,来自国内与来自国外的阻挠与干扰,有的还很严峻;但是,潮流是不可阻挡的,春意会越来越浓,国家发展会越来越好。我们教师所编的、所著的、所编著的这套教学用书,也会在解决前进中的种种问题中继续发展。然而,我们十分明白,这套书尽管饱含了我们教师的辛勤的长期的教学与科研工作的劳动结晶,作为教学用书百花园中的一丛鲜花正在怒放,然而总会有这种或那种的不妥、错误与不足,我衷心希望在这美好的春日,广大的专家与读者,不吝拨冗相助,对这套教学用书提出批评建议,予以指教启迪,为这丛鲜花除害灭病,抗风防寒,以进一步提高质量,提高水平,更上一层楼,我们不胜感激。我们深知,“一个篱笆三个桩”,没有专家的指导与支持,没有读者的关心与帮助,也就没有这套教学用书的今天。我衷心祝愿在我们学校第三次大发展的今天,在百年之交与千年之交的时候,这套教学用书会以更

雄健的步伐,走向更美好的未来。

诗云:“嚶其鸣矣,求其友声。”这是我们的心声。

中国科学院院士
华中理工大学学术委员会主任

杨叔子

于华工园内

1999年5月15日

前 言

由于设计、施工、材料、环境影响、使用不当及自然损耗等多方面的原因,在用房屋建筑,甚至某些新建筑都难免存有质量缺陷和内外损伤。建筑结构带伤工作难以避免,就像人的身体或多或少有病但依然坚持工作一样。关键是要及时对结构进行诊断、鉴定,以便确定损伤到什么程度,是停止使用还是进行加固修复,从而使结构能安全工作并延长使用寿命。另一方面,在新建筑设计和施工中需要从结构所处的环境及使用条件、引起结构损伤的机理、影响因素等方面考虑进行耐久性设计,提高结构可靠性。为了在土木工程类研究生培养中增加这方面的知识,近几年我们在工学硕士和工程硕士研究生中开设了这门课,受到欢迎。本书就是在近几年授课讲义的基础上修编而成的。限于作者水平,书中错误恐难避免,敬请读者批评指正。

本书出版得到校研究生院、校出版社的大力支持,在此一并表示感谢!

李惠强

2001年9月于华中科技大学

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 建筑物的耐久性、寿命及诊断鉴定	(1)
一、建筑物的耐久性	(1)
二、建筑物的病害及其根源	(3)
三、建筑物使用寿命估算	(4)
四、建筑物诊断鉴定	(5)
第二节 建筑物诊断修复研究的意义及技术特点	(6)
一、建筑物诊断修复研究的意义	(6)
二、建筑物诊断修复的技术特点	(7)
自我测试题	(8)
第二章 钢筋混凝土结构损伤机理	(10)
第一节 混凝土中钢筋的锈蚀	(10)
一、钢筋锈蚀的机理	(11)
二、混凝土中钢筋锈蚀的动力与速度	(11)
三、影响钢筋锈蚀的主要因素	(13)
四、锈蚀钢筋与混凝土粘结性能的退化	(17)
五、钢筋锈蚀截面损失的估算	(18)
第二节 混凝土的碳化	(18)
一、混凝土碳化机理	(18)
二、混凝土碳化深度公式	(20)
三、混凝土碳化合格性指标	(24)
四、混凝土碳化深度预测	(25)

五、混凝土碳化深度检测	(27)
第三节 混凝土的腐蚀	(27)
一、硫酸盐侵蚀	(28)
二、酸侵蚀	(29)
三、海水侵蚀	(29)
四、混凝土遭受腐蚀性判断标准	(30)
五、混凝土腐蚀的防治措施	(31)
第四节 混凝土的冻融破坏	(33)
第五节 混凝土与骨料反应破坏	(34)
一、碱-骨料反应	(34)
二、骨料中碳酸钙受水和二氧化碳侵蚀反应	(35)
三、含二硫化铁黄石子骨料反应	(36)
自我测试题	(36)
第三章 建筑结构检测技术	(38)
第一节 混凝土结构中钢筋的检测技术	(38)
一、钢筋位置和保护层厚度测量	(38)
二、钢筋锈蚀的测定	(39)
第二节 混凝土结构强度检测技术	(43)
一、结构混凝土抗压强度检测理论依据	(43)
二、回弹法检测混凝土强度	(45)
三、超声-回弹综合法检测混凝土强度	(50)
四、钻芯法检测混凝土强度	(53)
五、拔出法检测混凝土抗压强度	(55)
第三节 混凝土构件内部缺陷检测技术	(61)
一、超声探伤原理及分析方法	(61)
二、超声探伤的主要设备	(63)
三、垂直裂缝深度探测	(64)
四、斜裂缝深度探测	(66)

五、混凝土内部空洞和不密实区的检测	(67)
第四节 砖砌体强度检测	(68)
一、砌体砂浆强度测定方法	(69)
二、砖的强度测定方法	(74)
三、砌体强度的间接评定	(75)
四、砖砌体强度的直接测定	(77)
自我测试题	(79)
第四章 工业厂房的可靠性鉴定	(82)
第一节 概述	(82)
一、结构可靠性的概念	(82)
二、结构可靠性鉴定的目的	(85)
第二节 可靠性鉴定程序和等级标准	(86)
一、可靠性鉴定程序	(86)
二、鉴定等级标准	(89)
第三节 工业厂房使用条件调查及构件验算一般规定 ..	(92)
一、使用条件调查	(92)
二、构件验算的一般规定	(93)
第四节 结构布置及支撑系统鉴定评级	(94)
一、结构布置和支撑布置项目等级评定	(94)
二、支撑系统长细比项目等级评定	(95)
三、结构布置及支撑系统组合项目评定等级	(95)
第五节 承重结构系统的鉴定评级	(96)
一、地基基础的鉴定和等级评定	(96)
二、混凝土结构或构件的鉴定和等级评定	(99)
三、单层厂房钢结构的鉴定和等级评定	(103)
四、砌体结构的鉴定和等级评定	(107)
第六节 围护结构系统的鉴定评级	(110)
一、使用功能项目鉴定评级	(110)

二、承重结构或构件项目的鉴定评级	(111)
三、围护结构系统组合项目的等级评定	(111)
第七节 工业厂房的综合鉴定评级	(112)
一、承重结构系统组合项目等级评定	(112)
二、厂房评定单元的综合鉴定评级	(114)
第八节 结构耐久性评估	(114)
一、耐久性鉴定	(115)
二、钢筋混凝土结构耐久性评估	(116)
三、钢结构耐久性评估	(119)
四、砌体结构耐久性评估	(120)
第九节 可靠性鉴定应用实例	(121)
一、某厂房混凝土大型屋面板可靠性鉴定	(121)
二、某钢厂机修车间砌体结构可靠性鉴定	(128)
三、某轧钢厂主配电室厂房可靠性的综合鉴定评级	(132)
自我测试题	(136)
第五章 民用建筑可靠性鉴定	(138)
第一节 概述	(138)
一、可靠性鉴定分类	(138)
二、可靠性鉴定程序	(139)
三、鉴定评级的层次及等级划分	(142)
四、鉴定分级标准	(142)
第二节 民用建筑安全性鉴定	(150)
一、构件安全性鉴定和评级	(150)
二、子单元安全性鉴定评级	(163)
三、鉴定单元安全性鉴定评级	(173)
第三节 民用建筑正常使用性鉴定	(174)
一、构件正常使用性鉴定评级	(174)
二、子单元正常使用性鉴定评级	(181)

三、鉴定单元正常使用性鉴定评级	(187)
第四节 民用建筑可靠性评级与适修性评估	(188)
一、民用建筑可靠性评级	(188)
二、民用建筑适修性评估	(188)
三、鉴定报告编写要求	(189)
附录 单个构件的划分	(190)
自我测试题	(191)
第六章 混凝土结构加固	(194)
第一节 混凝土结构加固原理	(194)
一、混凝土加固结构计算的基本假定	(194)
二、混凝土加固结构受力特征	(196)
三、加固结构截面相对界限受压区高度	(198)
四、加固结构截面钢筋应力	(201)
第二节 混凝土结构加固基本原则	(203)
一、混凝土结构加固工作程序	(203)
二、混凝土结构加固一般规定	(204)
三、混凝土结构加固方法及其选择	(205)
第三节 加大截面加固法	(206)
一、混凝土加固轴心受压构件承载力计算	(207)
二、混凝土加固受弯构件承载力计算	(211)
三、混凝土加固偏心受压构件承载力计算	(217)
四、实例分析	(224)
五、加大截面加固构造措施	(226)
第四节 外包钢加固混凝土柱	(230)
一、湿式外包钢加固柱设计	(231)
二、干式外包钢加固柱设计	(233)
三、外包钢加固构造规定及施工要求	(234)
第五节 构件外部粘钢加固法	(237)

一、粘钢加固钢筋混凝土构件主要特性	(237)
二、粘钢加固法适用范围	(238)
三、粘钢加固材料的选用	(238)
四、粘钢加固设计方法及规定	(239)
五、粘钢加固有关构造措施	(242)
六、粘钢加固施工主要要求	(243)
七、工程质量验收	(245)
第六节 外粘碳纤维布加固修补混凝土结构	(245)
一、加固修补用的 CFRP 材料	(245)
二、CFRP 加固混凝土结构特点	(247)
三、CFRP 加固混凝土结构设计与施工	(248)
第七节 裂缝修补技术	(249)
一、混凝土结构典型裂缝形式	(249)
二、裂缝修补灌浆材料	(251)
三、裂缝修补方案设计	(254)
四、灌浆法施工及要求	(254)
第八节 建筑结构的综合诊断修复	(257)
自我测试题	(263)
第七章 建筑物纠倾技术	(265)
第一节 概述	(265)
一、建筑物倾斜原因分析	(265)
二、建筑物允许倾斜值	(268)
第二节 建筑物纠倾常用方法	(269)
一、一般规定	(270)
二、常用方法	(270)
第三节 迫降纠倾	(272)
一、基底人工掏土迫降法	(272)
二、地基应力解除纠倾法	(277)

三、人工降水纠倾法	(282)
四、浸水纠倾法	(285)
五、水冲掏土纠倾法	(287)
六、综合纠倾	(289)
第四节 顶升纠倾	(295)
一、顶升纠倾原理	(295)
二、顶升纠倾设计	(296)
三、顶升纠倾施工	(299)
自我测试题	(301)
参考文献	(302)

第一章 概 述

第一节 建筑物的耐久性、寿命及诊断鉴定

世界各国及各方人士都对建筑物的寿命极为关注,因为人类离不开建筑。对于新建筑,业主关心的是在一定的期望寿命要求下它究竟能使用多少年,工程技术人员关心的是应该对设计的参数、材料性能的要求、施工工艺、使用中的维护提出什么样的要求才能使设计的建筑达到期望的寿命。对在用的旧建筑,业主更多的是关心其剩余寿命,即还能为主服务多少年;工程技术人员则关心的是能拿出哪些证据证明建筑物的剩余寿命,或对在用有病害的建筑物需要做哪些诊断和加固修复工作,才能达到业主期望的剩余寿命。

一、建筑物的耐久性

首先有必要明确和区分与耐久性有关的以下几个概念:

(1)耐久性 在一定的环境和使用条件下,随着时间的推移,建筑物抵抗病害及老化而保持基本设计功能的能力。

(2)设计耐用年限 在正常使用、维护条件下,建筑物不需作较大加固处理,就能保证结构安全和基本保持主要设计使用功能的年数,又称为设计合理使用年限。

(3)设计基准期 在计算结构可靠度时考虑各项基本变量与时间关系时所取用的基准时间。

(4)使用寿命 建筑物或其重要部分从投入使用到废弃不用或不宜再使用的时间。

我国《建筑结构设计统一标准》(GBT68—84)中给定的设计基准期为 50 年。

1982 年国家建工总局编制的《居住建筑和公用建筑等级》中对建筑耐用年限的规定如表 1-1 所示。

表 1-1 建筑物耐用年限要求

建筑等级	建筑物性质	耐用年限
一级	具有历史性、纪念性、代表性的重要建筑物,如纪念馆、博物馆等	100 年以上
二级	重要的公用建筑物,如一般行政机关办公楼、大城市火车站、国际宾馆、大型体育馆、大型剧院等	50 年以上
三级	比较重要的公用建筑,如医院、高等学校以及主要工业厂房等	40~50 年
四级	普通建筑物,如文教、交通、居住建筑及工业厂房	15~40 年
五级	简易建筑和使用年限 15 年以下的临时建筑物	15 年以下

建筑结构的耐久性是指建筑结构可靠性在时间坐标上的度量。设计耐用年限规定与现有建筑科学水平、材料水平、施工水平、国家综合经济实力、业主的投资与回收、土地资源紧缺程度等都是相关的。各国对此都有明确规定,这些规定与我国略有出入。日本建筑学会 1986 年制定的《建筑物设计、施工、维护耐久性指南》的规定如表 1-2 所示。

国际标准 CEB—FIP Model Code(1978)规定,一般钢筋混凝土建筑物设计使用年限为 50 年,纪念性建筑物设计使用年限为 500 年。英国 BS5400 对钢筋混凝土桥梁的设计使用年限规定为