



普通高等院校土木工程类
实用创新型系列规划教材

工程结构检测与加固

(第三版)

宋 彧 来春景 主 编

科学出版社



普通高等院校土木工程类**实用创新型**系列规划教材



工程结构检测与加固

(第三版)

宋 彧 来春景 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

全书共分8章,包括绪论、地基基础检测与加固、砌体结构检测与加固、钢筋混凝土结构检测与加固、钢结构检测与加固、木结构检测与加固、钢结构检测与加固、结构物纠倾与平移、桥梁检测与加固等内容。本书就结构检测与加固的概念、原理、方法以及技术要点做了比较详细的叙述;在加固方面强调了托换技术和预应力技术的优势以及应用的广度。

本书适合于土木工程专业本科教学和应用型硕士研究生教学使用,是结构检测人员的参考读物,也是土木工程类技术人员的技术参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

工程结构检测与加固/宋瑛,来春景主编. —3版. —北京:科学出版社,2016

(普通高等院校土木工程类实用创新型系列规划教材)

ISBN 978-7-03-047343-1

I. ①工… II. ①宋…②来… III. ①工程结构-检测-高等学校-教材
②工程结构-加固-高等学校-教材 IV. ①TU3②TU746.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 029160 号

责任编辑:任加林 / 责任校对:刘玉靖

责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京路局票据印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年8月第 一 版 2016年2月第六次印刷

2011年5月第 二 版 开本:787×1092 1/16

2016年2月第 三 版 印张:18 1/2

字数:413 000

定价:42.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈路局票据〉)

销售部电话 010-62136230 编辑部电话 010-62137026(BA08)

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303

普通高等院校土木工程类实用创新型
系列规划教材

编 委 会

主 任 霍 达

副主任 (按姓氏笔画排序)

周 云 阎兴华 童安齐

秘书长 张志清

委 员 (按姓氏笔画排序)

石振武 白晓红 刘继明 何浙浙 何舒民

张文福 张志清 张延庆 周 云 周亦唐

宗 兰 徐向荣 翁维素 阎兴华 韩建平

程赫明 傅传国 童安齐 雷宏刚 霍 达

第三版前言

书是时代的发展的产物,是知识点的积累,是科学研究成果的沉淀。所以,一本书可能需要数十年甚至数百年的孕育过程。

《工程结构检测与加固》这本书从2005年出版,在准备出版第三版之际,对书中的有些内容做了一些必要的调整:

1) 顺应时代的发展要求,按照现行的规范和技术标准,更新了教材的相关内容。

2) 对过时的内容或其他书中已经有详细描述的内容均进行了删除,如删去了第一章结构检测的PPIS循环的描述内容,“砌体结构的可靠性评定体结构”、“砌体工程现场检测技术”等相关内容。

3) 在“绪论”一章中,增加了“工程结构可靠性检测与鉴定”的内容。

4) 在“木结构加固研究”一节中,新增了“BFRP加固受损木梁抗弯性能试验研究”的内容;在“结构物纠倾的工程实例”中,新增了“深埋独立基础底面直接卸荷纠倾的应用研究”和“黄土地基刚度软化法迫降纠倾技术应用研究”。

5) 对原版中的文字错误进行了改正。

本教材由宋或和来春景主编,第二、三章由宋或、来春景和王龙编写,第四章由来春景和刘利先编写,第五章由罗维刚编写,第八章由项长生编写,第一、六、七章及附录由宋或编写。

教材中的插图由胡志礼帮助输入,在此表示感谢!

由于编者水平有限,书中难免有漏误之处,敬请专家同行和读者批评指导。

编 者
2015年4月

第二版前言

随着时代的发展、建筑投资的积累以及建筑技术的发展,在建筑结构试验的基础上,工程结构检测与鉴定、工程事故与工程安全、工程结构加固技术以及桥梁结构试验、桥梁结构检测与鉴定、桥梁结构加固技术等新的应用性学科应运而生。工程结构检测与加固就是在这种背景下产生的。通过多年教学实践与研究,在保留本书(第一版)原貌的基础上,秉承教材系统性的理念,本版做了以下修改。

1) 按照加固性质、加固对象的部位、加固技术途径、加固技术原理和加固施工方法的不同对加固概念进行了分类和汇总。

2) 将地基加固和基础加固的内容分开叙述。

3) 将砌体工程中砌体检测、砌块检测、砂浆检测分开进行描述。

全书主要内容仍然包括地基基础以及砌体、钢筋混凝土、钢、木、桥梁等结构的检测与加固,还有结构纠倾与平移共七部分内容。在编写方法上力求突出基本概念、基本原理和基本方法的叙述,应用了一些实例,以方便读者。

因第一版参编人员的岗位、地域变化较大,本版修订由宋或独立完成。

书中的插图由胡志礼帮助输入,在此对他表示感谢!

由于水平有限,编写中难免有漏误之处,敬请读者批评指导。

编 者

2011年4月

第一版前言

教材编写,就是把已经有的、读者认可的经典内容和有创意的内容应用某种逻辑关系进行系统组织,用读者能够接受的语言表达出来。所以,写教材有七分择优三分新之说。择优超过七分,则有抄袭之嫌;新意超过三分,势必影响教材的通用性。如何恰当地把握教材的特色,是一件不太容易的事情。

每一门学科总有一些已经很经典的内容,经典内容需要继承,并且是无条件的继承,继承则继续经典,改就会走样。

有些例题也是很经典的,比如加拿大特朗斯康谷仓倾斜的例子,在有关地基基础的教材中都有;再如,比萨斜塔与虎丘塔两个工程实例,在有关建筑结构纠倾的书籍中就离不了,离开了它们就显得教材不完整。

编者通过多年教学实践与工程实践,对工程检测与加固的基本内容有了一些了解,加上同行专家的大力帮助,编写了这本教材。全书包括地基基础,砌体结构、钢筋混凝土结构、钢结构、木结构、桥梁等结构的检测与加固,以及结构纠倾与平移七个部分内容。在编写方法上力求突出基本概念、基本原理和基本方法的叙述,并应用一些实例,以方便读者阅读。

本教材由宋或主编。编写具体分工如下:第一、第六、第七章及附录由宋或编写;第二、第三章由王龙编写;第四章第 4.5.6 小节和第 4.5.7 小节由杨文侠编写,第 4.1~第 4.4 节及第 4.5.1~第 4.5.5 小节由刘利先编写;第五章由罗维刚编写;第八章由项长生编写。

教材中的插图由胡志礼帮助输入,在此表示感谢。

由于作者水平有限,编写中难免有不足之处,敬请读者批评指正。

2005 年 8 月

目 录

第三版前言

第二版前言

第一版前言

第一章 绪论	1
1.1 检测与加固的任务	1
1.2 检测与加固的分类	1
1.2.1 结构检测的分类	1
1.2.2 结构加固的分类	2
1.3 检测与加固的作用和意义	4
1.3.1 结构检测的作用和意义	4
1.3.2 结构加固的作用和意义	4
1.4 工程结构可靠性检测与鉴定	5
1.4.1 工程结构可靠性检测与鉴定的目的和意义	5
1.4.2 工程结构可靠性鉴定的类型	6
1.4.3 工程结构可靠性鉴定评级的层次与等级划分	7
思考题与习题	11
第二章 地基基础检测与加固	12
2.1 概述	12
2.1.1 地基基础常见问题	12
2.1.2 建筑地基的检测步骤	13
2.1.3 地基检测的分类	14
2.2 地基检测	14
2.2.1 地基勘探	14
2.2.2 现场原位试验	16
2.3 基础检测	26
2.3.1 桩基础检测	26
2.3.2 其他基础检测	39
2.4 地基加固	40
2.5 基础加固	41
2.5.1 加大基础底面积	41
2.5.2 加深基础法	43
2.5.3 锚杆静压桩法	44
2.5.4 树根桩法	45
2.5.5 静压桩法	48

2.5.6 石灰桩法	48
思考题与习题	49
第三章 砌体结构检测与加固	50
3.1 砌体结构的特点	50
3.2 砌体结构检测的内容与分类	50
3.2.1 砌体结构的质量检查内容	50
3.2.2 砌体结构检测的工作程序及准备	51
3.2.3 砌体材料的强度检测方法	52
3.3 砌筑块材检测	55
3.3.1 取样法测定砌块强度	55
3.3.2 回弹法测定砌块强度	55
3.4 砂浆强度检测	56
3.4.1 砂浆测强回弹法	56
3.4.2 砂浆测强推出法	56
3.4.3 砂浆测强筒压法	57
3.4.4 砂浆片测强剪切法	58
3.4.5 砂浆测强点荷法	58
3.4.6 砂浆测强贯入法	59
3.5 砌体强度的直接检测	59
3.5.1 砌体强度检测方法	59
3.5.2 检测数据的处理	62
3.6 砌体结构其他项目的检验	63
3.7 砌体结构的加固方法	63
3.7.1 扩大砌体的截面加固	64
3.7.2 外加钢筋混凝土加固	64
3.7.3 外包钢加固	68
3.7.4 钢筋网水泥砂浆层加固	69
3.7.5 增加圈梁或拉杆	71
3.7.6 其他加固方法	72
3.7.7 砌体结构裂缝处理	73
3.8 砌体结构加固实例	76
思考题与习题	78
第四章 钢筋混凝土结构检测与加固	79
4.1 概述	79
4.1.1 混凝土结构检测的作用和意义	79
4.1.2 混凝土结构检测的内容和分类	79
4.2 混凝土强度	80
4.2.1 回弹法测定混凝土强度	80
4.2.2 超声法测定混凝土强度	83
4.2.3 超声回弹综合法测定混凝土强度	84

4.2.4	钻芯法测定混凝土强度	85
4.2.5	拔出法测定混凝土强度	87
4.2.6	混凝土强度检测方法比较	89
4.3	混凝土裂缝与缺陷	89
4.3.1	结构混凝土裂缝检测	90
4.3.2	结构混凝土缺陷检测	95
4.3.3	混凝土裂缝的修补技术	99
4.4	混凝土结构钢筋检测	102
4.4.1	钢筋位置与保护层厚度的检测	102
4.4.2	钢筋锈蚀程度的检测	102
4.4.3	结构构件中钢筋力学性能的检测	103
4.5	钢筋混凝土结构加固	103
4.5.1	引言	103
4.5.2	钢筋混凝土受弯构件的加固	105
4.5.3	钢筋混凝土柱的加固	123
4.5.4	钢筋混凝土梁柱节点的加固	128
4.5.5	钢筋混凝土剪力墙的加固	128
4.5.6	植筋加固技术	130
4.5.7	工程实例	131
	思考题与习题	137
第五章	木结构检测与加固	139
5.1	结构外观检测	139
5.1.1	木材腐朽的检测	139
5.1.2	木结构连接的检测	139
5.1.3	木结构变形的检测	140
5.2	木材性能检测	140
5.2.1	木材含水率	140
5.2.2	木材密度	140
5.2.3	木材抗弯强度	141
5.2.4	木材顺纹抗压强度	141
5.2.5	木材顺纹抗拉强度	142
5.2.6	木材顺纹抗剪强度	142
5.3	木结构加固	143
5.3.1	加固原因	143
5.3.2	加固基本原则	143
5.3.3	设计与施工要点	145
5.3.4	构件加固技术	145
5.3.5	抗震加固技术	151
5.4	木结构加固研究	154
5.4.1	预应力木梁	154
5.4.2	双腹杆组合预应力木结构	157

5.4.3	雀替构造技术	160
5.4.4	BFRP 加固受损木梁抗弯性能试验研究	163
	思考题与习题	169
第六章	钢结构检测与加固	170
6.1	钢结构检测	170
6.1.1	钢材强度检测	170
6.1.2	钢材缺陷无损检测	171
6.1.3	结构连接检测	171
6.2	钢结构加固	177
6.2.1	引言	177
6.2.2	加固设计	180
6.2.3	加固施工	180
6.3	钢结构加固技术举例	181
6.3.1	卸荷施工技术	181
6.3.2	改变结构计算简图	182
6.3.3	加大截面	184
	思考题与习题	184
第七章	结构物纠倾与平移	186
7.1	检测技术	186
7.1.1	外观检测	186
7.1.2	变形检测	186
7.1.3	地基性能检测	186
7.2	结构倾斜的原因	187
7.2.1	几个典型的结构物倾斜实例	187
7.2.2	倾斜的内因	189
7.2.3	倾斜的外因	189
7.3	纠倾与加固技术	190
7.3.1	固倾	190
7.3.2	迫降法	190
7.3.3	顶升法	193
7.3.4	纠倾注意事项	193
7.3.5	纠倾技术汇总	194
7.4	工程实例	195
7.4.1	迫降纠倾	195
7.4.2	顶升纠倾	201
7.4.3	综合纠倾	206
7.4.4	黄土地基刚度软化法迫降纠倾技术应用研究	209
7.4.5	深埋独立基础底面直接卸荷纠倾的应用研究	212
7.4.6	意大利比萨斜塔纠倾	216
7.5	既有建筑移位	217

7.5.1 引言	217
7.5.2 既有建筑移位设计	219
思考题与习题	227
第八章 桥梁检测与加固	228
8.1 概述	228
8.1.1 桥梁检测与加固的意义	228
8.1.2 桥梁检测的内容	228
8.2 试验荷载	230
8.2.1 试验荷载工况	230
8.2.2 荷载试验形式和加载方式	231
8.2.3 加载分级与控制	233
8.2.4 试验荷载效率	234
8.3 测点设置	235
8.3.1 静载试验测点设置	235
8.3.2 动载试验测点设置	237
8.4 试验结果与理论分析	240
8.4.1 静载试验数据分析	240
8.4.2 动载试验数据分析	244
8.5 桥梁承载能力评定	248
8.5.1 结构工作状况	248
8.5.2 结构强度及稳定性	249
8.5.3 结构刚度	250
8.5.4 裂缝	251
8.5.5 地基与基础	252
8.5.6 桥梁结构动力性能的分析评价	252
8.6 试验报告编写	252
8.7 简支梁桥荷载纵向布置及截面内力测试	254
8.8 工程实例	262
8.8.1 桥梁概况	262
8.8.2 试验项目	262
8.8.3 测试截面的确定	262
8.8.4 测点布置	263
8.8.5 试验荷载及其布置	263
8.8.6 试验仪器	265
8.8.7 试验结果及其分析	265
8.8.8 动载试验结果及其分析	266
8.8.9 桥梁结构性能评定	266
8.9 桥梁加固	267
8.9.1 钢筋混凝土桥梁和预应力混凝土桥梁的维修加固方法	267
8.9.2 拱桥维修加固方法	267

8.9.3 桥梁下部结构加固	270
思考题与习题	273
附录	274
主要参考文献	277

第一章 绪 论

1.1 检测与加固的任务

工程结构检测包括检查、测量和判定三个基本过程,其中检查与测量是工程检测最核心的内容,判定是目的,是在检查与测量的基础上进行的。

工程结构检测就是通过一定的设备,应用一定的技术,采集一定的数据,把所采集的数据按照一定的程序通过一定的方法进行处理,从而得到所检对象的某些特征值的过程。例如混凝土强度的检测,可以理解为通过回弹仪等设备,应用回弹技术,按照《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》(JGJ/T 23—2011)所规定的方法,采集回弹值以及碳化深度值,把这些值按照《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》(JGJ/T 23—2011)规定的程序进行处理,从而计算所检混凝土抗压强度的推定值。

结构加固就是根据检测结果,按照一定的技术要求,采取相应的技术措施来增加结构可靠性的过程。

1.2 检测与加固的分类

工程结构检测与加固和其他事物一样,按照不同的标准有不同的分类。

1.2.1 结构检测的分类

按分部工程来分,有地基工程检测、基础工程检测、主体工程检测、维护结构检测、粉刷工程检测、装修工程检测、防水工程检测、保温工程检测等。

按分项工程来分,依次有地基、基础、梁、板、柱、墙等内容的检测。

按结构材料不同来分,有砌体结构检测、混凝土结构检测、钢结构检测、木结构检测等。

按结构用途不同来分,依次有民用建筑结构检测、工业建筑结构检测、桥梁结构检测。

按检测内容不同可以分为几何量检测、物理力学性能检测、化学性能检测等。

按检测技术不同可以分为无损检测、破损检测、半破损检测、综合法检测等。

无损检测技术在我国迅速发展,这种技术以不破坏结构见长,是工程质量检测的理想手段和首选技术。例如,材料强度回弹检测,内部缺陷以及材料强度超声检测,红外线红外成像无损检测技术,雷达检测等。

破损检测是最直接的检测方式,目前在检测领域仍然具有主导地位。例如,用混凝土试块来检测混凝土强度,推出法检测砌体强度,以及单调加载的静力试验、伪静力试验和拟动力试验等。

半破损检测又称为微破损检测,检测时对原结构的局部有一定的破坏。例如,钻芯法检测混凝土强度、拔出法检测混凝土强度以及在钢结构或木结构上截样的检测方法等。

1.2.2 结构加固的分类

(1) 按照加固对象的不同

按受力特点来分,主要有抗剪能力加固(包括地基加固和框架梁柱节点加固)、抗弯能力加固、抗震能力加固等。

按分部工程来分,有地基工程加固、基础工程加固、主体工程加固等。

按分项工程来分,依次有地基、基础、梁、板、柱、墙加固等。

按结构材料不同来分,有砌体结构加固、混凝土结构加固、钢结构加固、木结构加固等。

按照加固对象的用途不同,建筑结构的加固应分为民用建筑结构(如影院、住宅、车站等)、工业建筑结构和桥梁结构加固。

按照加固对象的结构材料不同,建筑结构的加固应分为砌体结构加固、钢筋混凝土结构加固、钢结构加固和木结构加固;还有索结构和膜结构两类新型结构的加固。

按照加固对象的加固范围不同,建筑结构的加固应分为整体加固和局部加固。

按照加固对象的加固目的不同,建筑结构的加固应分为保护性加固和正常使用性加固。

按照加固对象加固的目标不同,建筑结构的加固应分为抗震加固和非抗震加固。

按照加固后新旧材料协同工作的方式不同,建筑结构的加固应分为预应力加固和非预应力加固。采用非预应力技术加固,在结构没有继续变形之前,新旧材料没有协同工作关系,只有当在外力作用下结构产生新的变形时,新材料才能参与工作,即新旧材料才能发生协同工作的关系。采用预应力技术加固时,加固的过程就是新旧材料共同协同工作的过程。

按照加固对象的受力性质不同,建筑结构的加固应分为单向受力构件的加固(即拉、压、弯、剪、扭等)和组合受力构件加固。

(2) 按照加固技术的不同

在建筑结构加固学科中,能够携领全局的总纲不是加固的技术方法,而是加固的技术路线,即技术途径,次纲是加固的技术原理,施工技术已经成为目了。

1) 加固技术性质。加固技术从加固性质的不同,可分为有理论计算依据的承载能力加固和没有理论计算依据、只能依靠概念进行加固的整体性加固两类(表 1.1)。任一个结构或结构的某一构件其承载能力的大小是能够进行计算的,但整体性的大小只能靠构造措施进行保证,不能进行定量的计算。

2) 加固技术途径。不管是地基加固、基础加固还是上部结构加固,按照加固技术途径的不同来分,加固只有三类,即加强法、更换法和相对等效法。

加强法就是把承载能力低的原有结构构件保留,在此基础上,至少采用同强度等级的材料对原有结构构件进行直接加固增强,即直接地使其承载能力提高的加固途径。

表 1.1 加固技术分类汇总

加固性质	加固部位	技术途径	技术原理	施工方法
承载力 加固	地基加固	加强	挤密法	单灰桩、双灰桩、扩径桩、……
			固化法	液体、固体、……
			增大截面法	胡子桩、树根桩、……
		更换	托换法(改变传力途径)	锚杆静压混凝土桩、……
			置换法(以良代劣)	大开挖换填、……
		等效	加固基础法	
	基础加固	加强	增大截面法	干法、湿法、……
		更换	托换法(改变传力途径)	锚杆静压混凝土桩、……
			置换法(以良代劣)	
		等效	加固地基法	
			卸荷法(由重变轻)	
	上部 结构 加固	加强	增大截面法	干法、湿法
			外包高强材料法	钢材、纤维
			体外预应力法(改变受力状态)	
			简支固端化(改变受力状态)	
			加支座或支撑(改变跨长)	
		更换	托换法(改变传力途径)	
			置换法(以良代劣)	
		等效	卸荷法(由重变轻)	以轻代重、减层
			减震耗能法(减小地震作用)	减震、隔震
整体性 加固	结构、基础	构造	拉结法(捆绑)	拉筋、圈梁、构造柱
			增大抵抗矩(集零为整)	灌缝

更换法就是以优良代替次劣或以新代旧,即把承载力低的原构件换出的加固途径。

相对等效法就是由于客观条件的限制,不能够直接加固增强,也无法实现以新代旧时,不得已采用的间接迂回的思想来提高结构可靠性的途径。

3) 加固技术原理:分为对地基与基础的加固和对上部结构的加固。

对于地基与基础加固:

① 加强法又分为挤密法(将地基土体强行挤密)、固化法(将地基土体的颗粒强行填充、黏结)、增大截面法(强行增大地基受力面积)。

② 更换法又分为托换法(改变传力途径,即通过另外的构件跨越现有次劣的持力层,把力传到优良的持力层上)、置换法(以良代劣,即把旧有次劣的去掉,换上新的优良的)。

③ 相对等效法对于地基而言,就是若不能直接加固地基之后,想办法通过加固基础使地基土体应力减小。对于基础而言是指加固地基法(就是不能直接加固基础之后,想办

法通过加固地基使地基土体承载能力提高)、或结构卸荷法(使结构由重变轻,即通过减小上部结构自重或减小使用荷载来相对提高基础可靠性的间接方法)。

对于上部结构的加固:

① 加强法又分为增大截面法(干法、湿法)、外包高强材料法(钢材、纤维材料)、体外预应力、简支固端化、加支座或支撑等五种方法。体外预应力按照施工工艺不同又有纵向或横向预应力、受拉或受压预应力、外力张拉预应力或自行预应力之分;简支固端化就是把简支的受力状态改变成为固端的受力状态,以提高结构的承载能力。加支座或支撑的原理就是缩短结构跨长,减小跨中弯矩。

② 更换法又分为托换法和置换法两种(同上)。

③ 等效法分为卸荷法和减震耗能法。降低结构层数或去掉原有结构较大的荷载或减小结构自重等均属于卸荷法。减震耗能法又分为减震和隔震两种技术。

隔震技术主要通过隔震支座的设置将地震变形集中到隔震层上,隔离地震能量向上部结构传输,从而起到减小原结构地震反应的目的。目前常用的隔震支座包括:叠层橡胶支座、铅铰橡胶支座、高阻尼橡胶支座、滑动摩擦支座等。

减震技术主要通过耗能装置实现,它可将地震输入结构的能量引向特别设置的机构和元件加以吸收和耗散,从根本上减小输入结构的地震能量,具有可靠性高、维护成本低的优点,主要包括金属阻尼器、摩擦阻尼器、黏弹性阻尼器、液体黏滞阻尼器、SMA 阻尼器等。

1.3 检测与加固的作用和意义

1.3.1 结构检测的作用和意义

(1) 结构质量鉴定的直接方式

对于已建的土木工程,不论是某一具体的结构构件还是结构整体,也不论进行质量鉴定的目的如何,所采用的直接方式仍是结构检测。例如,灾害后或事故后的建筑工程、对施工质量有怀疑的桥梁工程等。

(2) 提供科学的参考依据

土木工程在使用过程中经常需要对其采取一些措施。例如,某大坝需要加高、某房屋需要加层、某大楼需要改造,能不能采取这些措施,则需要对工程进行检测。或者人们需要知道某楼房结构的可靠性如何?能不能满足正常使用的安全要求?是拆还是加固?等等,也需要对工程进行检测。

(3) 检测技术发展的需要

检测技术要发展,就必须进行社会实践,或者说,检测技术是社会发展的需要。

1.3.2 结构加固的作用和意义

(1) 提高结构可靠性

工程加固最突出的作用就是提高结构的可靠性,保障人的生命与财产安全。随着人