



新世纪普通高等教育土木工程类课程规划教材

# 工程结构 检测鉴定与加固

GONGCHENG JIEGOU JIANCE JIANDING YU JIAGU

总主编 李宏男  
主 编 苗吉军  
主 审 顾祥林



大连理工大学出版社

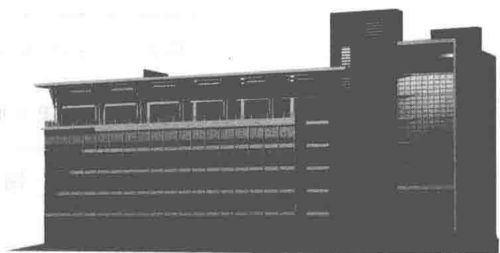


新世纪普通高等教育土木工程类课程规划教材

# 工程结构 检测鉴定与加固

GONGCHENG JIEGOU JIANCE JIANDING YU JIAGU

总主编 李宏男  
主 编 苗吉军  
副主编 蒋济同 张 鑫 王海超  
主 审 顾祥林



大连理工大学出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

工程结构检测鉴定与加固 / 苗吉军主编. — 大连 :  
大连理工大学出版社, 2015. 7

新世纪普通高等教育土木工程类课程规划教材

ISBN 978-7-5611-8635-0

I. ①工… II. ①苗… III. ①建筑结构—质量检查—  
高等学校—教材②建筑结构—修缮加固—高等学校—教材  
IV. ①TU317

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 105642 号

大连理工大学出版社出版

地址:大连市软件园路 80 号 邮政编码:116023

发行:0411-84708842 邮购:0411-84708943 传真:0411-84701466

E-mail:dutp@dutp.cn URL:http://www.dutp.cn

大连美跃彩色印刷有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

---

幅面尺寸:185mm×260mm 印张:15 字数:362千字

印数:1~2000

2015年7月第1版

2015年7月第1次印刷

---

责任编辑:白璐

责任校对:孙静

封面设计:张莹

---

ISBN 978-7-5611-8635-0

定价:32.00元

# 新世纪普通高等教育土木工程类课程规划教材编审委员会

## 主任委员：

李宏男 大连理工大学

## 副主任委员(按姓氏笔画排序)：

于德湖 青岛理工大学  
牛狄涛 西安建筑科技大学  
年廷凯 大连理工大学  
范 峰 哈尔滨工业大学  
赵顺波 华北水利水电大学  
贾连光 沈阳建筑大学  
韩林海 清华大学  
熊海贝 同济大学  
薛素铎 北京工业大学

## 委员(按姓氏笔画排序)：

马海彬 安徽理工大学  
王立成 大连理工大学  
王海超 山东科技大学  
王崇倡 辽宁工程技术大学  
王照雯 大连海洋大学  
卢文胜 同济大学  
司晓文 青岛恒星学院  
吕 平 青岛理工大学  
朱伟刚 长春工程学院  
朱 辉 山东协和学院  
任晓菘 同济大学  
刘 明 沈阳建筑大学  
刘明泉 唐山学院  
刘金龙 合肥学院  
许成顺 北京工业大学

苏振超	厦门大学
李伙穆	闽南理工学院
李素贞	同济大学
李哲	西安理工大学
李晓克	华北水利水电大学
李帼昌	沈阳建筑大学
何芝仙	安徽工程大学
张玉敏	济南大学
张金生	哈尔滨工业大学
张鑫	山东建筑大学
陈长冰	合肥学院
陈善群	安徽工程大学
苗吉军	青岛理工大学
周广春	哈尔滨工业大学
周东明	青岛理工大学
赵少飞	华北科技学院
赵亚丁	哈尔滨工业大学
赵俭斌	沈阳建筑大学
郝冬雪	东北电力大学
胡晓军	合肥学院
秦力	东北电力大学
贾开武	唐山学院
钱江	同济大学
郭莹	大连理工大学
唐克东	华北水利水电大学
黄丽华	大连理工大学
康洪震	唐山学院
彭小云	天津武警后勤学院
董仕君	河北建筑工程学院
蒋欢军	同济大学
蒋济同	中国海洋大学

# 序 言

土木工程结构鉴定加固研究自 20 世纪 90 年代以来方兴未艾,一则是由于诸多工程结构逐步进入“老龄化”阶段,耐久性问题日显突出,需解决工程结构超期服役问题;二则是进入 21 世纪以来,随着我国改革开放的发展,业主维权意识和法律意识的增强,因在工程结构质量纠纷、房屋确权、工程结构遭受各种偶然作用(如爆炸、强震、火灾、撞击、氯离子侵蚀等)后,工程结构的实际工作性能评估等诸多问题需要给出答案。为此,有关工程结构荷载历史调查分析、混凝土结构碳化作用及其影响、时变结构抗力退化规律、既有工程结构可靠度分析、工程结构的动力灾变理论等课题相继成为研究热点,并有了诸多有意义的以标准、规程、规范等形式颁布实施的研究成果,如:《建筑结构检测技术标准》(GB/T 50344—2004)、《既有建筑物结构检测与评定标准》(DG/TJ08—804—2005)、《火灾后建筑结构鉴定标准》(CECS 252:2009)等。

《工程结构检测鉴定与加固》的主编苗吉军教授自 1996 年就读同济大学结构工程专业硕士研究生以来,在我国结构工程专业的前辈专家也是我的导师张誉教授的引领下进入了土木工程结构鉴定加固研究领域,近 20 年来一直从事工程结构鉴定加固研究工作,较为有影响的工程项目有:原上海大世界工程结构质量纠纷、上海市近代优秀保护建筑长海医院第二医技楼、山东青岛近海某住宅小区混凝土爆裂剥落项目、威海市某渔业公司厂房火灾后工程结构性能评估、日照市某沿街底框结构爆炸后工程结构鉴定等。《工程结构检测鉴定与加固》的副主编中国海洋大学的蒋济同教授、山东建筑大学的张鑫教授、山东科技大学的王海超教授都是山东省结构工程领域的专家。如蒋济同教授擅长沿海混凝土结构工作性能分析,张鑫教授在建筑移位改造领域曾获得过教育部科技进步一等奖,王海超教授则专注于混凝土结构、钢结构氯离子侵蚀后结构受力性能研究。他们四位在专业领域内的配合应该是相得益彰的,也为本教材的架构提供了较为丰富的素材,可适合不同高校的专业教学特点。



本教材着重于对土木工程专业学生综合能力的培养,而限于相关规程、标准、规范的介绍。力图将土木工程专业高年级学生所学的专业基础课及专业课,如“工程结构荷载与结构设计方法”“混凝土结构基本原理”“钢结构基本原理”“工程结构抗震”“砌体结构”“建筑结构试验”乃至“结构力学”等,通过不同的工程案例分析,将其中涉及的专业知识点有机串联起来,使学生明白如何利用所学专业知识和解决实际工程问题,让学生明白什么是工程结构中的科学问题,什么是工程结构中的工程问题。如此,试图通过这样一种逻辑分析能力的培养,来提高学生的工程师素养,这是本教材显著于区别同类教材的一个重要特征,也是本教材的一个亮点和创新点所在。

望本教材能够将土木工程专业当前的研究热点和重点在不久的将来,在教材再版时能有所体现和介绍,这既是一个方向,也是一种期待!

同济大学 顾祥林

2015年7月

# 前 言

《工程结构检测鉴定与加固》是新世纪普通高等教育教材编审委员会组编的土木工程类课程规划教材之一。

目前,我国建筑业正处于世界建筑业发展趋势中的“大规模新建阶段”以及“新建与维修加固并重阶段”。为引导、规范和促进既有建筑综合改造技术在全国建筑工程中的推广应用,结合我国既有建筑的实际和潜在需求,“十一五”科技支撑计划项目“既有建筑综合改造关键技术研究及示范”及“十二五”科技支撑计划项目“既有建筑绿色化改造关键技术研究及示范”相继被立项。截至2013年,全国既有建筑面积总计近500亿平方米,有30%~50%的建筑物将会出现安全性降低的情况或进入功能衰退期。为揭示工程结构的潜在危险,避免事故的发生,需对既有工程结构的作用效应、结构抗力及其可靠性进行检测、鉴定与评价,对于达不到设计文件或者国家相关规范、规程、标准最低要求的结构需要给出维修及加固建议,通过结构补强措施使其达到预期的功能要求。

本教材结合国家和行业的最新规范,重点阐述了砌体结构、混凝土结构、钢结构、桥梁结构的检测、鉴定与加固的基本原理,并对结构动力检测及长期健康监测的现状与发展进行了介绍。为适应土木工程专业人才培养的要求,在编写过程中力求做到概念明确、内容简明、讲述清楚、理论联系实际。本教材力求培养学生综合运用已学的专业课程(如混凝土结构基本原理、钢结构基本原理、工程结构抗震、建筑结构试验等)解决实际工程问题的能力,试图通过工程问题的解决,来提高学生的力学分析能力和结构常识的运用能力。本教材主要章节配有适当数量的例题,有利于学生理解和掌握相关知识;还给出了小结、思考题与习题,以便自学和巩固所学内容。本教材可作为高等院校土木工程专业的必修或者选修教材,也可供相关工程技术人员参考。





本教材的编写团队不仅长期在高校任教,而且一直从事工程结构检测、鉴定与加固方面的工作,很多工程案例就是工程实践的经验总结。

本教材由青岛理工大学苗吉军统稿并任主编,中国海洋大学蒋济同、山东建筑大学张鑫、山东科技大学王海超任副主编,青岛理工大学刘玮玮、杨厚明、杨建、尹晓文、刘才玮、刘延春、程健、田俊参加了编写工作。具体编写分工如下:苗吉军、刘玮玮编写第1章;王海超、杨厚明编写第2章;蒋济同、杨建编写第3章;张鑫、尹晓文编写第4章;刘才玮、刘延春编写第5章;程健、田俊编写第6章。青岛理工大学解立波、吴霞、王光云、滕翠翠参与了本教材的绘图、校对等工作。同济大学土木工程学院院长顾祥林教授审阅了全部书稿并提出了许多宝贵意见,在此深表感谢!

在编写本教材的过程中,我们引用、参考了一些公开出版的教材和文献,特此向作者表示谢意!

尽管我们在教材特色的建设方面做出了许多努力,但限于水平,教材中仍可能存在一些疏漏之处,恳请各教学单位和读者在使用本教材时多提宝贵意见,以便下次修订时改进。

编者

2015年7月

所有意见和建议请发往:dutpbk@163.com

欢迎访问教材服务网站:<http://www.dutpbook.com>

联系电话:0411-84708445 84708462

# 目 录

<b>第 1 章 工程结构检测鉴定与加固概论</b> .....	1
学习目标.....	1
1.1 工程结构检测鉴定与加固的目的和意义 .....	1
1.2 工程结构检测鉴定与加固的现状 .....	3
1.3 工程结构检测鉴定与加固的一般流程 .....	4
1.4 工程结构的动力特性检测与结构健康监测.....	12
1.5 桥梁承载能力检测评定.....	14
1.6 小 结.....	15
习题与思考题 .....	16
<b>第 2 章 砌体结构工程检测鉴定与加固</b> .....	17
学习目标 .....	17
2.1 引 言.....	17
2.2 砌体结构的损伤机理.....	18
2.3 检测项目及检测方法.....	24
2.4 砌体结构加固方法简介.....	25
2.5 混合结构房屋的砌体结构基本计算原理简介.....	28
2.6 工程实例 1 荷载变化后砌体结构检测 .....	42
2.7 工程实例 2 火灾后砌体结构检测 .....	47
2.8 工程实例 3 砌体结构安全性检测鉴定 .....	52
2.9 工程实例 4 砌体结构抗震性能检测鉴定 .....	61
2.10 小 结 .....	69
习题与思考题 .....	70
<b>第 3 章 混凝土结构工程检测鉴定与加固</b> .....	72
学习目标 .....	72
3.1 引 言.....	72

3.2	混凝土结构的损伤机理	72
3.3	混凝土结构检测的内容及依据	77
3.4	混凝土结构构件的检测项目及检测方法	78
3.5	既有混凝土结构加固	79
3.6	混凝土结构基本设计原理简介	88
3.7	工程实例 1 钢筋混凝土施工质量分析及碳纤维布加固处理	93
3.8	工程实例 2 某地下车库钢筋的锈蚀实例分析	101
3.9	工程实例 3 北方某框架剪力墙结构裂缝成因分析及处理	106
3.10	工程实例 4 某厂房安全性鉴定	111
3.11	小 结	118
	习题与思考题	119
<b>第 4 章</b>	<b>既有钢结构厂房结构安全鉴定</b>	<b>122</b>
	学习目标	122
4.1	引 言	122
4.2	钢结构的损伤机理及其危害	123
4.3	钢结构检测鉴定常见项目及常用规范与规程	126
4.4	既有钢结构加固简介	129
4.5	钢结构设计原理简介	136
4.6	某门式刚架检测	139
4.7	工程实例 1 工程加固	148
4.8	工程实例 2 钢屋架检测	151
4.9	工程实例 3 H 型钢厂房检测	155
4.10	小 结	165
	习题与思考题	165
<b>第 5 章</b>	<b>高层建筑及大跨度空间结构动力性能检测</b>	<b>167</b>
	学习目标	167
5.1	引 言	167
5.2	结构动力性能检测的适用范围	167
5.3	主要概念	168
5.3	模态参数识别基本理论	169

5.4 工程实例 1 某 30 层框支剪力墙结构动力性能检测 .....	173
5.5 工程实例 2 某体育场钢屋盖动力测试及长期健康监测 .....	175
5.6 小 结 .....	182
习题与思考题 .....	182
<b>第 6 章 桥梁检测与承载能力评定方法</b> .....	<b>184</b>
学习目标 .....	184
6.1 引 言 .....	184
6.2 桥梁结构损伤机理 .....	184
6.3 桥梁检测项目及规范、规程 .....	187
6.4 桥梁加固方法简介 .....	190
6.5 基本计算原理简介 .....	191
6.6 基于检测结果的桥梁承载力评定 .....	195
6.7 工程实例 公路旧桥承载能力评定 .....	199
6.8 小 结 .....	225
习题与思考题 .....	226

# 第1章 工程结构检测鉴定与加固概论

## 学习目标

- (1) 了解工程结构检测鉴定与加固的原因。
- (2) 了解现行工程结构检测鉴定与加固的国家规范、规程、标准的应用。
- (3) 了解工程结构检测鉴定与加固行业的研究现状及发展前景。

工程结构检测鉴定与加固的实质就是对既有工程结构的可靠性进行复核,审查其是否达到设计文件及国家相关规范、规程、标准的最低要求。它同结构设计的区别在于工程结构检测鉴定时所用到的荷载数据及结构抗力数据乃至结构承重体系本身需要通过一定的检测方法或者现场试验确定,而不是简单的套用设计文件;同时,要对检测鉴定的工程结构真实性能做出评价。对于不满足设计文件或者国家相关规范、规程、标准最低要求的结构需要给出维修及加固建议,通过结构补强措施使其达到预期的功能要求。

## 1.1 工程结构检测鉴定与加固的目的和意义

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,使得工程结构的安全性得不到保障或使用功能不能满足要求,这就需要对其进行诊断、鉴定、加固与修复处理。

近年来,结构补强与加固越来越受到有关科研和工程技术人员的重视。补强与加固的目的就是提高结构及构件的强度、刚度、延性、稳定性和耐久性,满足安全要求,改善使用功能,延长结构寿命。

### 1. 我国建筑业的发展阶段

我国建筑业的发展具体可以划分为以下四个阶段<sup>[1]</sup>:

- (1) 1958~1960年“大跃进”时期,特点是主观行事、不遵循客观规律,房屋建造质量差。
- (2) “十年动乱”时期,“三边”建筑(边勘察、边设计、边施工),在施工过程中的不可预见性较大,工程质量和安全隐患突出,工期不能保证。
- (3) 2002年新规范实行前,设计、施工及监理处于初级阶段,可靠度有所提高,大量预应力结构开始应用,整体性差。
- (4) 2002年新规范实行后~目前,工程勘察、设计、施工水平不断提高,工程质量大幅提高,可靠度进一步提高,材料应用更加合理。

### 2. 目前我国建筑业的主要特点

我国建筑业正处于世界建筑业的发展趋势中的“大规模新建阶段”以及“新建与维修加

固并重阶段”。随着社会的发展,我国建筑业的状况也发生了改变,主要特点如下:

(1)建筑工程质量稳中有升,但不少工程存在严重隐患,质量通病普遍存在,如混凝土出现蜂窝、麻面、墙体开裂等,如图 1-1、图 1-2 所示。



图 1-1 混凝土出现蜂窝、麻面



图 1-2 墙体开裂

(2)建筑工程事故依然存在。2009 年 2 月,CCTV 配楼因在施工工地组织大型礼花燃放,致使礼花弹爆炸后的高温星体引燃检修道内壁易燃材料引发火灾,如图 1-3 所示。2009 年 6 月,上海莲花河畔景苑小区在建居民楼由于大楼两侧存在压力差使土体产生水平位移,致使结构从根部断开而整体倒塌<sup>[2]</sup>,如图 1-4 所示。

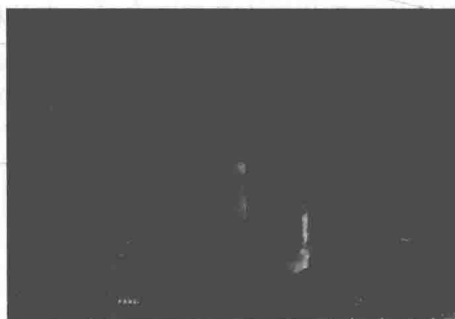


图 1-3 CCTV 配楼起火

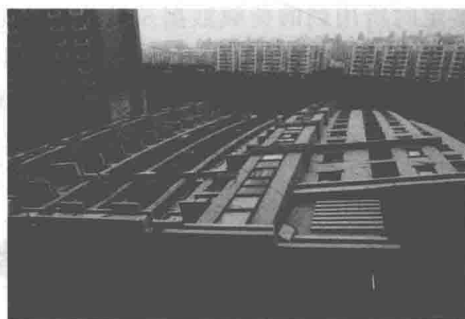


图 1-4 上海莲花河畔在建小区倒塌

(3)自然灾害造成的建筑事故频频发生,灾后检测鉴定与加固工程增多。这几年,国内先后经历了汶川、玉树、舟曲、雅安等多次特大地震灾害,很多建筑严重受损,但仍未完全破坏,可通过检测鉴定对结构或者局部构件的受力性能进行评估,并加以修复。

(4)新规范不断修订,已有建筑不能满足要求。从 1952 年我国规范立项开始至今,各类规范已多次修订,一些关系到建筑安全的技术要点不断提高,见表 1-1。按照当时规范设计的建筑现在有些已不能满足要求,有必要对这些建筑进行一轮检测与加固,使之满足新的使用要求。

表 1-1 各期混凝土结构设计规范对构件不出现裂缝设计控制要求验算公式的比较

规范类别	裂缝控制要求	验算公式(钢筋混凝土)
66	使用上不允许出现裂缝的构件,应进行抗烈度验算	轴心受拉构件 $N^b \leq 2.0R_l(A_h + 2nA_g)$ ; 受弯构件 $M^b \leq 2.0R_lW_{h,R}$
74	使用上不允许出现裂缝的构件,应进行抗烈度验算,区分一般要求与严格要求,以抵抗安全系数 $K_f$	轴心受拉构件 $K_f N \leq R_l(A_h + 2nA_g)$ ; 受弯构件 $K_f M \leq rR_lW_0$ 。 使用中一般要求不出现裂缝的 $K_f$ 不应小于 1.25,对裂缝要求较高的尚应提高

续表

规范类别	裂缝控制要求	验算公式(钢筋混凝土)
02(89)	应根据使用要求选用裂缝控制等级(一级、二级)进行构件受拉边缘应力验算	一级——严格要求不出现裂缝的构件,在荷载效应标准组合下 $\sigma_{ck} - \sigma_{pe} \leq 0$ (1) 二级——一般要求不出现裂缝的构件,在荷载效应标准组合下 $\sigma_{ck} - \sigma_{pe} \leq f_{tk}$ (2) 在荷载效应准永久组合下 $\sigma_{ck} - \sigma_{pe} \leq 0$ (3)
10	应根据使用要求选用裂缝控制等级(一级、二级、三级)进行构件受拉边缘应力验算	一级——同2002年版规范; 二级——同2002年版规范; 三级——允许出现裂缝的构件,按荷载的短期效应组合并考虑长期效应组合 $\omega_{max} \leq \omega_{lim}$

注:①表中符号及公式编号均与相应规范一致。

②1989年版规范式(2)中  $f_{tk}$  为  $a_{ct} \gamma f_{tk}$ ,其余各式与2002年版规范基本相同。

## 1.2 工程结构检测鉴定与加固的现状

### 1.2.1 我国工程结构的现状

1. 工程质量逐步提高,主要表现在:

- (1) 设计理论不断发展及相关规范、规程逐渐完善。
- (2) 第三方监理执行的工程管理水平显著提高。
- (3) 先进施工理论及技术的创新及其应用。
- (4) 新材料的研制及应用。

2. 对工程结构安全性的高度重视与适用性、耐久性的认识不足,导致在实际工程中往往由于耐久性不足最终导致结构失效,如图1-5、图1-6所示。

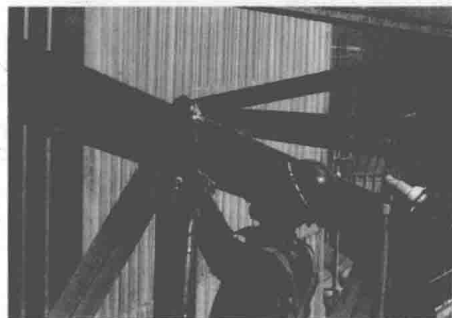


图1-5 钢结构锈蚀



图1-6 混凝土碳化

3. 工程结构在偶然作用(强震、爆炸、撞击、强风、风暴潮等)下的结构动力灾变及其设计施工理论不完善,工程结构存在安全隐患。

## 1.2.2 目前我国工程结构检测鉴定与加固存在的问题

### 1. 要求偏低

我国工程结构抵御地震、火灾作用的设计要求相对偏低,而且抵抗其他灾害(风暴潮、爆炸)的设计要求偏少甚至没有;针对结构动力灾变下的设计理论不完善,结构性能研究不深入、不系统。

### 2. 现有的检测标准与鉴定规范不协调

检测方法的不同会导致不同的检测结果<sup>[3]</sup>,如针对混凝土强度检测,可分别依据行业、地方、国家规范得出不同的检测结果,进而影响鉴定结论。

### 3. 结构承载能力验算在我国仍然沿用设计规范

我国《民用建筑可靠性鉴定标准》(GB 50292—2014)<sup>[4]</sup>规定,当验算被鉴定结构或构件的承载能力时,结构上作用组合、作用分项系数及组合值系数,应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)<sup>[5]</sup>的规定执行,而其规定的作用分项系数及作用组合系数是以拟建结构为研究对象确定的,对既有建筑结构并不适合。

### 4. 检测仪器设备落后

检测仪器在结构鉴定检测中扮演着重要的角色。与先进国家相比,我国的检测仪器设备在总体上存在着明显的差距,尤其在数字化检测仪器设备方面。

### 5. 缺乏对既有建筑结构剩余使用寿命的预测

既有建筑结构的寿命评估涉及结构的耐久性问题,但实际工程缺乏对使用若干年后的结构,在限定使用条件和正常维护条件下,无须采取补强、加固等措施,结构仍能继续保持其预定功能的剩余寿命预测。

## 1.3 工程结构检测鉴定与加固的一般流程

工程结构进行检测鉴定的目的是了解结构的安全性、适用性和耐久性是否满足要求,对结构做出正确的评价,为工程结构进行维修或加固提供理论依据。

一般来说,在下列情况下要对工程结构进行检测鉴定:

1. 对于使用荷载产生变化或材料强度不足的建筑,需要进行检测鉴定。
2. 对于历史优秀保护建筑,需要定期检测鉴定。
3. 烂尾楼工程二次开工时,其工程质量水平无法确定,整体结构需要进行检测鉴定。
4. 施工质量资料不全或设计资料不全的房屋、工业厂房,在确权(申请房产证)或竣工验收前,需对整体结构进行检测鉴定。
5. 对出现质量问题的工程、行政主管部门抽检不合格的工程、出现耐久性问题的工程、工程地质条件发生改变的工程(如地基不均匀沉降),进行工程结构的检测鉴定。
6. 工程结构受到爆炸、撞击、火灾、地震等偶然作用后,需对整体结构的受力性能进行检测鉴定。
7. 建筑结构使用功能改变,无法确定其安全性,需要对工程结构进行检测鉴定。如民用建筑改为工业建筑使用;在旧楼房基础上进行加层;或在原有结构上增加荷载的情况。



8. 工程建设甲、乙双方出现工程质量纠纷时,需要对工程结构进行检测鉴定。

以上检测鉴定项目,若不满足国家相应规范、规程、标准及设计文件的要求,则应给出相应的加固及维修方案。

工程结构检测鉴定与加固的一般流程如图 1-7 所示。

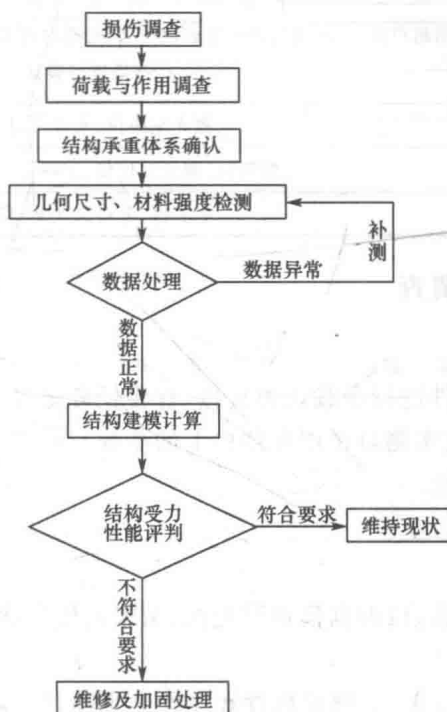


图 1-7 工程结构检测鉴定与加固的一般流程

另外,结构的动力检测以及桥梁检测与普通静力检测存在较大区别,具体内容参见 1.4、1.5。

### 1.3.1 损伤调查

#### 1. 调查内容

损伤调查直接影响到结构的计算分析模型和可靠性评估结论。因此,在对建筑物结构进行检测鉴定之前,需要初步调查了解建筑结构的损伤程度。主要包括结构外观情况、内部缺陷、裂缝情况、挠度、变形、位移等。正常使用阶段的损伤调查内容见表 1-2<sup>[6]</sup>。

表 1-2 损伤调查内容

结构形式	损伤调查内容
混凝土结构	混凝土裂缝的形态、分布;构件的几何尺寸;钢筋锈蚀;结构变形与位移;节点损伤调查
砌体结构	砌体结构的裂缝、块体和砂浆的粉化、腐蚀
钢结构	钢材涂装与锈蚀、构(杆)件变形、裂缝、连接的变形及损伤等、防火措施的有效性和完备性(对有防火要求的构件)
木结构	木材疵病;裂缝和腐蚀;构件及构件连接点的损伤
桥梁结构	混凝土裂缝、碳化及钢筋锈蚀、剥蚀、结构局部构造的破坏

#### 2. 损伤检测方法

损伤调查的常用检测方法见表 1-3。