

高等学校土木工程专业规划教材
GAODENG XUEXIAO TUMU GONGCHENG ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI

工程结构鉴定 与加固改造

本教材编审委员会组织编写
柳炳康 吴胜兴 周安 主编

高等学校土木工程专业规划教材
工程结构鉴定与加固改造

中国建筑工业出版社

高等学校土木工程专业规划教材

工程结构鉴定与加固改造

本教材编审委员会组织编写
柳炳康 吴胜兴 周 安 主编
刘 平 主审

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

工程结构鉴定与加固改造/本教材编审委员会组织编写,
柳炳康, 吴胜兴, 周安主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2007

(高等学校土木工程专业规划教材)

ISBN 978-7-112-09334-2

I. 工… II. ①本…②柳…③吴…④周… III. ①工程结
构-鉴定-高等学校-教材 ②工程结构-加固-高等学校-教材
IV. TU3.

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 111417 号

本书分为绪论、工程结构损伤机理及危害、工程结构检测技术、建筑物可靠性鉴定、工程结构补强与加固、建筑物的加层改造、建筑物移位技术七章。在内容安排上以建筑结构为主, 介绍了混凝土结构、砌体结构、钢结构和地基基础的检测、鉴定、加固与改造。全书注意理论联系实际, 紧密结合加固技术规范, 并且反映了工程结构补强、加固与改造方面的科研成果和工程实践经验。为方便教学每章后均附有思考题。

本书可作为高等院校土木工程专业本科教材 (专科亦可参照使用), 也可供设计单位和施工企业的土建工程技术人员参考。

责任编辑: 朱首明 李 明

责任设计: 董建平

责任校对: 关 健 张 虹

高等学校土木工程专业规划教材

工程结构鉴定与加固改造

本教材编审委员会组织编写

柳炳康 吴胜兴 周 安 主编

刘 平 主审

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京密云红光制版公司制版

北京建筑工业出版社印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 20 $\frac{1}{4}$ 字数: 491 千字

2008 年 4 月第一版 2008 年 4 月第一次印刷

印数: 1—3000 册 定价: 32.00 元

ISBN 978-7-112-09334-2

(15998)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

高等学校土木工程专业规划教材

编 审 委 员 会 名 单

顾 问：宰金珉 何若全 周 氏

主任委员：刘伟庆

副主任委员：柳炳康 陈国兴 吴胜兴 艾 军 刘 平
于安林

委 员：孙伟民 曹平周 汪基伟 朱 伟 韩爱民
董 军 陈忠汉 完海鹰 叶献国 曹大富
韩静云 沈耀良 柳炳康 陈国兴 于安林
艾 军 吴胜兴 王旭东 胡夏闽 吉伯海
丰景春 张雪华

前 言

我国经济正处于迅速发展时期，建筑业也得到蓬勃发展，为满足人民日益增长的居住、市政、交通等方面的需求，全国范围内开展了大规模的工程建设。为了保证各类工程结构的安全性、适用性和耐久性，必须贯彻“百年大计，质量第一”的方针。但是由于建造阶段可能发生的设计疏忽和施工失误，正常使用阶段可能出现的自然和人为灾害，以及老化阶段可能产生的各种损伤积累，导致结构在使用寿命期间承载能力下降，耐久性降低，产生各种风险。为揭示工程结构的潜在危险，避免事故发生，延长使用寿命，需对现存结构的作用效应、结构抗力及相互关系进行检测、鉴定与评价，并在科学鉴定的基础上，对结构进行补强加固或维修改造。

本书针对勘察、设计、施工、使用等方面存在的工程质量事故，结构随服役时间增长发生的老化现象，紧密结合我国现行鉴定标准和加固规范提出了结构检测、可靠性鉴定和加固补强的方法。全书分为7章，分别讨论了混凝土结构、砌体结构、钢结构和地基基础产生损伤的原因及危害；工程结构损伤检测和损伤分析；民用建筑和工业厂房可靠性鉴定的方法；工程结构加固与补强的各种技术，以及建筑物的加层改造和移位技术。编写过程中作者结合了多年来检测、鉴定、加固与改造方面的教学经验和工程实践，并注意吸收了国内外有关科研成果。

全书由柳炳康、吴胜兴、周安主编，书中第1章、第2章2.4节、第5章5.4节由合肥工业大学柳炳康编写，第2章2.1、2.2、2.3节由河海大学吴胜兴编写，第3章、第4章、第5章第5.1.1~5.1.6、5.1.8节由合肥工业大学周安编写，第5章5.2节由合肥工业大学黄慎江编写，第5章5.3节由南京建筑工程学院黄炳生编写，第5章5.1.7节、第六章由扬州大学张晖编写，第7章由河海大学吴二军编写。扬州大学刘平担任本书主审。

由于编者水平有限，书中不妥和疏漏之处，敬请各位读者批评指正。

目 录

前言	
第 1 章 绪论	1
1.1 工程结构加固改造原因	1
1.2 工程结构检测与鉴定	4
1.3 工程结构加固与改造	6
1.4 工程结构加固与改造的程序和原则	9
复习思考题	11
第 2 章 工程结构损伤机理及危害	12
2.1 混凝土结构损伤机理及其危害	12
2.2 砌体结构损伤机理及其危害	52
2.3 钢结构的损伤机理及其危害	58
2.4 地基基础损伤机理及其危害	66
复习思考题	75
第 3 章 工程结构检测技术	77
3.1 混凝土结构检测	77
3.2 砌体结构检测	97
3.3 钢结构检测	106
3.4 建筑物沉降和倾斜观测	108
复习思考题	110
第 4 章 建筑物可靠性鉴定	111
4.1 民用建筑可靠性鉴定	111
4.2 工业厂房可靠性鉴定	144
4.3 建筑结构耐久性评估	154
复习思考题	157
第 5 章 工程结构的补强与加固	158
5.1 混凝土结构的补强与加固	158
5.2 砌体结构补强与加固	205
5.3 钢结构加固与补强	215
5.4 地基加固与纠偏	228
复习思考题	242
第 6 章 建筑物的加层改造	244
6.1 建筑物加层基本要求和原则	244
6.2 加层建筑物地基承载力	247
6.3 直接加层法	249
6.4 改变荷载传递加层法	253
6.5 外套结构加层法	255
6.6 轻钢结构加层方法	257

6.7 建筑物加层施工要求·····	261
6.8 建筑物加层改造实例·····	262
复习思考题·····	266
第7章 建筑物移位技术 ·····	268
7.1 建筑物移位技术原理·····	268
7.2 建筑物移位技术发展概况·····	269
7.3 建筑物移位关键技术设计·····	271
7.4 建筑物移位施工·····	299
7.5 建筑物移位工程实例·····	310
复习思考题·····	315
主要参考文献 ·····	316

第 1 章 绪 论

工程结构的检测、鉴定、加固与改造是土木工程学科的重要领域之一，它包括了工程检测、可靠性鉴定、结构加固和建筑物改造多方面的知识和技术，涉及到建筑物或构筑物的使用性、安全性和经济性。这几个方面的工作通常是相互关联的，结构的检测是结构鉴定的依据，鉴定过程中要进行必要的检测工作。而结构的检测和鉴定往往又是工程结构加固和改造前不可缺少的过程，需要综合运用多项技术。

建筑结构的检测、鉴定、加固与改造涉及到的知识结构很广泛，它涉及工程材料的力学性能和耐久性的检测，涉及结构及构件正常使用性和安全性的鉴定，涉及到各类结构的加固技术和改造方法。本书主要介绍常用的混凝土结构、砌体结构、钢结构的检测、鉴定、加固与改造技术和方法。

1.1 工程结构加固改造原因

1.1.1 工程结构损伤原因

工程结构是以工程材料为主体构成的不同类型的承重构件相互连接而成的骨架，它的主要作用就是通过骨架来传递和抵抗自然界的各种作用，使得建（构）筑物在规定的时间内，在规定的条件下，完成预定的功能。规定时间是指设计所假定的结构使用期，即设计基准期，建筑结构的设计基准期一般为 50 年。规定条件是指正常设计、正常施工、正常使用的条件。预定功能是指结构的安全性、适用性和耐久性。安全性是指结构在规定的条件下应能承受可能出现的各种荷载作用以及外加变形和外加约束的作用。适用性是指结构在正常使用时，应能满足预定的使用要求，其变形、裂缝或振动等性能均不超过规定的限值。耐久性是指结构在正常使用、正常维护情况下，材料性能虽随时间推移发生变化，但仍然满足预定功能的要求，例如结构材料的腐蚀不能影响结构预定的使用期限。综上所述，工程结构在规定的使用期内应能安全有效地承受外部及内部形成的各种作用，以满足结构在功能上和使用上的要求。

但是由于建造阶段可能发生的设计疏忽和施工失误，正常使用阶段可能出现的自然和人为灾害，以及老化阶段可能产生的各种损伤积累，导致结构正常承载能力降低，影响结构的耐久性，结构在整个使用寿命期间会产生各种风险。

我国建国以来，特别是改革开放以后，建筑业得到了很大发展，工程结构的质量也是越来越好，但是每年仍会发生几十起重大工程质量事故。在过去 50 年内，我国曾有过四次结构倒塌、质量事故多发时期，第一次是 1958 年“大跃进”时期，只求大干快上，主观上要求高速度进行基本建设，不按客观规律办事，结果造成大量工程事故和结构倒塌；第二次是“十年动乱”时期，建设程序被否定，边勘察、边设计、边施工的做法盛行，留下大量工程质量隐患，造成很大浪费；第三次是 20 世纪 80 年代初期，由于国民经济发展

迅速，设计、施工队伍不断扩大，技术素质跟不上要求，发生许多工程倒塌事故；第四次是 20 世纪 90 年代后期，在市场经济冲击下，建设领域不正之风和腐败现象蔓延，导致工程质量事故的增多。

另外，工程结构经过长期使用亦存在耐久性问题，受环境因素的影响，随着时间的推移，结构的性能将会发生退化，结构的使用寿命也会受到影响。为了保证结构的正常使用，延续结构的使用寿命，在一些经济发达国家，工程结构的维修和加固费用有的已达到或超过新建工程的投资。例如美国 20 世纪 90 年代初期用于旧建筑物维修和加固的投资已占到建设总投资的约 50%，英国为 70%，而德国则达到 80%。世界上经济发达国家的工程建设大都经历了三个阶段，即大规模新建阶段，新建与维修并重阶段，工程结构维修加固阶段。我国解放以来，从“一五”开始直至今一直在进行大规模的工程建设，当建设活动到达顶峰之后，结构的耐久性问题将更加突出。据统计，我国 20 世纪 60 年代以前建成的房屋约有 25 亿平方米，这些房屋都已进入中老年阶段，需要对其进行结构鉴定和可靠性评估，以便实施维护和加固，以延长它们的使用寿命。

1.1.2 工程质量事故

在土木工程中，由于勘察、设计、施工、使用等方面存在某些缺陷和错误，往往导致工程质量低下而不能满足结构功能要求，造成工程质量隐患，严重的还会引起结构倒塌，给人民生命财产带来巨大损失。事故发生的原因是多种多样的，从已有事故分析，其主要原因有以下几方面。

(1) 工程勘察失误

诸如不认真进行工程地质勘察，随意确定地基承载力；盲目套用邻近场地勘察资料，而实际场地与邻近场地地质情况存在较大差异；勘测钻孔间距过大，深度不足，未能查清软弱层、墓穴、空洞等隐患。例如，某市化工厂综合楼，工程勘察中不按有关规范行事，未进行原状取土和取样试验，探孔深度未触及地基下存在的泥炭土层，房屋建成后，高压缩性的软土层产生较大压缩变形，致使建筑物产生过大沉降和沉降差，建成后不到两年，最大沉降达 362mm，墙体普遍开裂。

(2) 设计方案不当或计算错误

工程设计时，结构方案欠妥，构造措施不当，结构计算简图与实际情况不符；漏算或少算作用于结构上的荷载，或未考虑荷载的最不利组合；设计人员受力分析概念不清，结构内力计算错误。例如，某市煤炭局办公楼会议室，平面 $9.6\text{m} \times 7.2\text{m}$ ，采用井字梁楼盖，设计人员错误认为长向梁的弯矩大于短向梁的弯矩，导致短向梁配筋不足，承载力不够，跨中严重开裂。

(3) 施工质量低劣

技术人员素质较差，不了解设计意图，盲目施工，甚至为了施工方便，擅自修改图纸；施工方案考虑不周，技术组织设计不当；砌体组砌方法不当，造成通缝或重缝，混凝土浇筑方法错误，形成孔洞或裂缝；进场材料控制不严，钢材物理力学性能不良，水泥过期或安定性不合格，混凝土制品质量低劣。例如，上海某大厦为现浇钢筋混凝土剪力墙体系，结构层数地下 1 层，地面以上 20 层，在施工到 11 层至 14 层主体结构时，使用了质量不合格的水泥，设计混凝土强度等级 C30，实际测定只有 C10 ~ C15，混凝土表面掉皮，内部疏松，造成重大质量事故。后对使用不合格水泥的第 11 ~ 14 层逐层实施爆破拆除。

(4) 结构使用或改建不当

未经核算就在原有建筑物上加层或对构筑物进行改造，造成原有结构承载力不够或地基承载力不足；使用过程中任意改变用途加大荷载，将办公楼改建为商场，一般民房改建为娱乐场所；在装修时，随意拆除承重墙，盲目在承重墙上开洞。例如，某市一栋单层空旷砌体房屋，一侧纵墙面对马路，使用者拟将其改造成超市，为了扩大入口增加橱窗取得立面效果，将沿街一侧砖柱之间墙体全部拆除，只剩下残缺不全的独立砖柱支承屋盖系统，结果造成屋盖坍塌。

1.1.3 结构的耐久性

结构经长期使用会发生老化，随着结构服役时间的增长，受到气候条件、环境侵蚀、物理作用或其他外界因素影响，结构的性能发生退化，结构受到损伤，甚至遭到破坏。一般来说，工程材料自身特性和施工质量是决定结构耐久性的内因，而工程结构所处的环境条件和防护措施则是影响其耐久性的外因。

(1) 混凝土结构

由于外部温度的变化，将会引起混凝土表面开裂和剥落；随着时间的推移，混凝土碳化将使钢筋失去保护产生锈蚀，钢筋的锈蚀膨胀又引起混凝土开裂和疏松；化学介质侵蚀也会造成混凝土结构开裂，钢筋锈蚀和强度降低。

(2) 砌体结构

由于风力和雨水冲刷及砌体表面冻融循环，会造成砌体风化、酥裂、承载力下降。

(3) 钢结构

由于自然环境因素影响和外界有害介质侵蚀，钢材会产生锈蚀，锈蚀引起构件有效断面减小而导致承载力下降，在外部环境恶劣，有害介质浓度高的情况下，钢材锈蚀速度加快。另外，在反复荷载作用下，因裂缝扩展、损伤积累会引起疲劳破坏。

结构的耐久性损伤，有时也会酿成重大工程事故。前联邦德国柏林会议厅建成于1957年，屋盖为马鞍形壳顶，跨度约30m，从一对支座上伸出两条斜拱，形成受压环，斜拱之间是用悬索支承的薄壳屋面，混凝土板壳厚65mm。由于屋面拱与壳交接处出现裂缝，不断渗水，致使钢筋锈蚀，在建成23年后，1980年5月的一天上午，悬索突然断裂，导致屋盖倒塌。

1.1.4 结构改变使用要求

随着社会发展和人民生活改善，旧有建筑的面积和使用功能已不能满足新的要求，为扩大建筑面积改善使用功能，对旧有建筑物的加层已成为房屋改造的途径之一。现在已经发展到由普通住宅房屋的增层转向大型公共建筑的增层，由民用建筑增层发展到工业建筑增层。房屋增层改造可以降低整体工程的造价，节约土地资源，并可在不停止原有建筑使用的条件下进行施工。

另外，城市改造中道路拓宽，使得既有建筑物面临拆除威胁，对一些仍有使用价值的建筑物或具有文物保存价值的房屋，如果拆除会造成很大经济损失，可根据城市规划要求，在允许范围内实施整体移位，使其得以保留继续使用。

综上所述，不论是勘察、设计、施工、使用等方面存在缺陷和错误，或是受到气候作用、化学侵蚀引起结构老化，还是因为城市建设需要对建筑物进行加层改造或整体移位，均可能造成工程隐患，降低结构的安全性和耐久性。为了确定结构的安全性和耐久性是否

满足要求，需要对工程结构进行检测鉴定，对其可靠性作出科学评价，然后进行维修、加固和改造，以提高工程结构的安全性，延长其使用寿命。

1.2 工程结构检测与鉴定

工程结构的检测与鉴定就是对现存结构的损伤情况进行诊断。为了正确分析结构损伤原因，需要对事故现场和损伤结构进行实地调查，运用仪器对受损结构或构件进行检测。现存结构的鉴定与新建结构的设计是不同的，新建结构设计可以自由确定结构形式，调整构件断面，选择结构材料，而现有结构鉴定只有通过现场调查和检测才能获得结构有关参数。因此，现有结构的可靠性鉴定和耐久性评估，必须建立在现场调查和结构检测的基础上。

1.2.1 工程结构现状调查

首先，应查看工程现场进行结构现状调查，了解工程所在场地特征和周围环境情况，检查施工过程中各项原始记录和验收记录，掌握施工实际状况。其次，应审查图纸资料，复核地质勘察报告与实际地基情况是否相符，检查结构方案是否合理，设计计算是否正确，构造措施是否得当。第三，应调查工程结构使用情况，使用过程中有无超载现象，结构构件是否受到人为伤害，使用环境是否恶化等。

调查时可根据结构实际情况或工程特点确定重点调查内容，例如混凝土结构应着重检查混凝土强度等级、裂缝分布、钢筋位置；砌体结构应着重检查砌筑质量、裂缝走向、构造措施；钢结构应着重检查材料缺陷、节点连接、焊接质量。将结构基本情况调查清楚之后，再根据需要利用仪器作进一步的检测。

1.2.2 结构检测方法

利用仪器对结构进行现场检测可测定工程结构所用材料的实际性能，由于被测结构在试验后一般均要求能够继续使用，所以现场检测必须以不破坏结构本身使用性能为前提，目前多采用非破损检测方法，常用的检测内容和检测手段有如下几种：

(1) 混凝土强度检测

非破损检测混凝土强度的方法是在不破坏结构混凝土的前提下，通过仪器测得混凝土的某些物理特性，如测得硬化混凝土表面的回弹值或声速在混凝土内部的传播速度等，按照相关关系推出混凝土强度指标。目前实际工程中应用较多的有回弹法、超声法、超声一回弹综合法，并已制定出相应的技术规程。半破损检测混凝土强度的方法是在不影响结构构件承载力的前提下，在结构构件上直接进行局部微破坏试验，或者直接取样试验获取数据，推算出混凝土强度指标。目前使用较多的有钻芯取样法和拔出法，并已制定出相应的技术规程。

利用超声仪还可以进行混凝土缺陷和损伤检测。混凝土结构在施工过程中因浇捣不密实会造成蜂窝、麻面甚至孔洞，在使用过程中因温度变化和荷载作用会产生裂缝。当混凝土内部存在缺陷和损伤时，超声脉冲通过缺陷时产生绕射，传播的声速发生改变，并在缺陷界面产生反射，引起波幅和频率的降低。根据声速、波幅和频率等参数的相对变化，可评判混凝土内部的缺陷状况和受损程度。

(2) 混凝土碳化及钢筋锈蚀检测

混凝土结构暴露在空气中会产生碳化，当碳化深度到达钢筋时，破坏了钢筋表面起保护作用的钝化膜，钢筋就有锈蚀的危险。因此，评价现存混凝土结构的耐久性时，混凝土的碳化深度是重要依据。混凝土碳化深度可利用酚酞试剂检测，在混凝土构件上钻孔或凿开断面，涂抹酚酞试液，根据颜色变化情况即可确定碳化深度。

钢筋锈蚀会导致保护层胀裂剥落，削弱钢筋截面，直接影响结构承载能力和使用寿命。混凝土中钢筋锈蚀是一个电化学过程。钢筋锈蚀会在表面产生腐蚀电流，利用仪器可测得电位变化情况，再根据钢筋锈蚀程度与测量电位之间的关系，可以判断钢筋是否锈蚀及锈蚀程度。

(3) 砌体强度检测

砌体强度检测可采用实物取样试验，在墙体适当部位切割试件，运至实验室进行试压，确定砌体实际抗压强度。近些年，原位测定砌体强度技术有了较大发展，原位测定实际上是一种小破损或半破损的方法，试验后砌体稍加修补便可继续使用。例如：顶剪法利用千斤顶对砖砌体作现场顶剪，量测顶剪过程中的压力和位移，即可求得砌体抗剪及抗压强度；扁顶法采用一种专门用于检测砌体强度的扁式千斤顶，插入砖砌体灰缝中，对砌体施加压力直至破坏，根据加压的大小，确定砌体抗压强度。

(4) 钢材强度测定及缺陷检测

为了解已建钢结构钢材的力学性能；最理想的方法是在结构上截取试样进行拉压试验，但这样会损伤结构，需要补强。钢材的强度也可采用表面硬度法进行无损检测，由硬度计端部的钢球受压时在钢材表面留下的凹痕推断钢材的强度。钢材和焊缝缺陷可采用超声波法检测，其工作原理与检测混凝土内部缺陷相同。由于钢材密度比混凝土大得多，为了能够检测钢材或焊缝中较小的缺陷，要求选用较高的超声频率。

1.2.3 工程结构鉴定

工程结构鉴定的目的是通过现场测试和理论分析，找出薄弱环节，揭示存在隐患，评价其安全性和耐久性，为工程改建和加固维修提供技术依据。工程结构的鉴定方法有三种：传统经验法、实用鉴定法和概率法。

(1) 传统经验法

这种方法主要是根据工程技术人员目测调查和经验判断来评定结构的可靠性。其特点是荷载作用大小由现场调查确定，材料强度取值以经验判断为准，按照现行规范并参考原设计采用规范进行结构验算，评价实际结构的安全性和耐久性。该鉴定方法一般不去采用现代检测手段和测试技术，而是凭借工程技术人员专业知识和工程经验对结构作定性评价，结论有时会因人而异。该方法尽管有些不足之处，但由于鉴定程序少，成本低，对易于鉴定的工程结构和投资不大的加固改造项目仍是可取的。

(2) 实用鉴定法

这种方法是在传统经验法基础上发展起来的。实用鉴定法利用现代检测手段和测试技术，测定材料强度，找出结构缺陷，判断损伤程度。该方法特点是作用荷载大小由实际调查确定，材料强度取值以实测结果为准，并对测试数据运用数理统计方法加以处理，以规范为依据进行理论分析，判断其与实际结构存在的差异程度。此法需对工程结构多次调查，分项检验，逐项评价和综合评定，能对结构物作出较准确的鉴定，是目前最常用的结构鉴定方法。

(3) 概率法

实用鉴定法的评定结果,虽较传统经验法更符合实际,但是由于结构的作用效应、结构抗力等都是 在一定范围内波动的随机变量,采用定值法去分析结构物的随机变量显然是不合理的,应当采用非定值理论对影响结构功能的各种随机变量进行调查统计,计算出结构物的失效概率。由于影响实际结构作用效应和结构抗力的因素多变,数据庞大,各类结构构件可靠性指标存在差异,工程结构施工中质量离散性较大,目前概率法尚未进入实用阶段,仅用于少数重要工程。

工程结构的检测和鉴定应以国家及有关部门颁布的标准、规范或规程为依据,按照其规定的方法、步骤进行检测和计算,在此基础上对结构的可靠性作出科学的评判。在工程检测方面,我国已颁布了《建筑结构检测技术标准》(GB/T 50344—2004)、《砌体工程现场检测技术标准》(GB 550315—2000)、《超声法检测混凝土缺陷技术规程》(CECS 21: 2000)、《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》(JGJ/T 23—2001)、《钻芯法检测混凝土缺陷技术规程》(CECS 21: 90)、《超声回弹综合法混凝土强度技术规程》(CECS D2: 88)、《贯入法检测砌筑砂浆抗压强度技术规程》(JGJ/T 23—2001)等。在工程鉴定方面,我国已颁布了《民用建筑可靠性鉴定标准》(GB 50292—99)、《工业厂房可靠性鉴定标准》(GBJ 144—90)、《危险房屋鉴定标准》(JGJ 125—1999)、《建筑抗震鉴定标准》(GB 55023—95)等一系列鉴定标准和技术规程,这是对大量结构科学研究和工程实践的总结,以此为依据进行工程结构检测与鉴定,有利于排除人为因素,统一检测标准,提高鉴定水平,在满足结构安全性和耐久性的前提下,取得最大经济效益。

1.3 工程结构加固与改造

1.3.1 加固与改造技术发展

近 20 年来,结构鉴定与加固改造技术在我国得以迅速发展并且初具规模,正在逐渐形成一门新的学科。

传统的结构加固方法有加大截面加固法、体外预应力加固法和改变结构传力体系加固法等,这些方法已在实际工程中得到广泛的应用,取得了 很多成熟的经验。但是这些加固方法存在 一些不足之处,加大截面加固法施工周期长,增大了截面尺寸,减少了使用空间;预应力加固法锚固构造困难,施工技术要求高,且耐久性往往难以满足要求。

20 世纪 60 年代,美国将环氧树脂胶粘剂修复技术应用于公路、铁路、机场跑道的维护以及水利工程和军事设施的加固。随后,外部粘贴钢板加固法开始出现,这种加固法是用环氧树脂等胶粘剂把钢板等高强度材料牢固地粘贴于被加固构件的表面,使其与被加固构件共同工作,达到补强和加固的目的。20 世纪 70 年代,粘钢加固的理论研究和应用研究广泛开展,各国学者对粘钢加固的各种受力构件的承载力进行了较为系统的研究,建立了粘钢加固技术的理论基础,在解决实际工程应用问题上起到了重要作用,日本、美国以及欧洲的一些发达国家都制定了有关的技术标准。同时,各种性能优良的建筑结构胶相继问世,开始被应用于各类建筑工程构件的加固。

1971 年美国在圣弗南多大地震的震后修复过程中,广泛采用了建筑结构胶,如一座 10 层的医院大楼和一幢高度 137m 的市政大厦,仅用于修补 3 万余米的梁、柱、墙裂纹就

用胶 7.5t。1983 年英国专家应用 FD808 结构胶，将 6.3mm 厚的钢板粘贴加固了一座公路桥，使得这座原限载量 110t 的桥梁可以通过重达 500t 的载重汽车。

我国使用建筑结构胶是从 20 世纪 80 年代开始的。1978 年，由法国援建的辽阳化纤总厂一座变电所的大梁，因设计配筋不足出现多条裂缝，法国斯贝西姆公司用该国 SIKADUR-31 建筑结构胶对损伤构件进行了粘钢加固补强，使其恢复正常使用功能。1981 年，中科院大连物理化学研究所研制出我国第一代 JGN—I、JGN—II 建筑结构胶。JGN 型建筑结构胶粘剂的问世，对我国粘钢技术的发展起到了极大的推动作用。1984 年，辽宁省物理化学研究所与辽宁建筑科学研究所发表了关于粘钢受弯构件的试验研究报告，并制定了有关的技术标准。1991 年颁布的《混凝土结构加固技术规范》将受弯构件粘钢加固方面的内容纳入了规程的附录中。

20 世纪末，外贴纤维复合材料加固法逐渐引起工程技术人员的关注。1984 年，瑞士国家实验室首先开始了外贴纤维复合材料加固的试验研究。随后，各国学者开始在该领域开展了广泛的研究和应用推广工作，美国、日本等国家已经制定了外贴纤维复合材料加固的有关技术标准，我国已于 2003 年颁布《碳纤维片材加固混凝土结构技术规程》（CECS 146: 2003）。

由于外贴加固方法具有施工周期短、对原结构影响小等优点，受到设计者和使用者欢迎。但是，在外贴加固中，外贴材料与构件的结合性能是保证加固效果的关键，胶粘剂性能的好坏决定了外贴加固的成功与否，由于受到胶粘剂性能等的限制，目前外部粘贴加固还大多局限于环境温度、湿度较低的承受静力作用的构件。另外，外贴材料与被加固构件之间的粘结锚固性能和锚固破坏机理、加固构件的耐久性及耐高温性能、加固构件的可靠性以及材料强度取值等理论问题仍需要在进一步研究中不断探讨。

1.3.2 加固与改造方法特点

工程结构应当满足安全性、适用性、耐久性三项基本功能要求，当结构物存在的缺陷和损伤使得其丧失某项或几项功能要求时，就应进行补强或加固。补强与加固的目的就是提高结构及构件的承载力、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。

加固和改造工作包括设计与施工两部分，其内容与新建工程不尽相同，主要有下述特点。在加固设计时，应充分研究现存结构的受力特点、损伤情况和使用要求，尽量保留和利用现存结构，避免不必要的拆除；应根据结构实际受力状况和构件实际尺寸确定承载能力，结构承受荷载通过实地调查取值，构件截面采用扣除损伤后的有效面积，材料强度通过现场测试确定；加固部分属二次受力构件，结构承载力验算应考虑新增部分应力滞后现象，新旧结构不能同时达到应力峰值。

在加固施工时，受客观条件制约，往往要求在不停产或不中止使用的情况下加固；应在施工前尽可能卸除部分荷载或增加临时支撑，保证施工安全，同时又可以减少原结构内力，有利于新加部分的应力发挥；应注意新旧部分结合处连接质量，保证结合处应力传递，有助于新旧结构之间协同工作；由于腐蚀、冻融、振动、不良地基等原因造成的结构损坏，加固时，必须同时采取消除、减少或抵御这些不利因素的有效措施，以免加固后结构继续受到危害。

1.3.3 加固与改造方法的选择

(1) 加大截面法

加大截面法是用加大结构构件截面面积进行加固的一种方法，它不仅可以提高加固构件的承载力，而且还可增大截面刚度。这种加固方法广泛用于加固混凝土结构梁、板、柱，钢结构中的梁柱及屋架，砌体结构的墙和柱等。但加大截面尺寸会减小使用空间，有时受到使用上的限制。

(2) 外包钢加固法

外包钢加固法是在结构构件四周包以型钢的加固方法，这种方法可以在基本不增大构件截面尺寸的情况下增加构件承载力，提高构件刚度和延性。适用于混凝土结构、砌体结构的加固，但用钢量较大，加固费用较高。

(3) 预应力加固法

预应力加固法采用外加预应力钢拉杆或撑杆对结构进行加固，这种方法不仅可以提高构件承载能力，减小构件挠度，增大构件抗裂度，而且还能消除和减缓后加杆件的应力滞后现象，使后加部分有效地参与工作。预应力加固法广泛用于混凝土梁、板等受弯构件以及混凝土柱的加固，还用于钢梁和钢屋架的加固，是一种很有前途的加固方法。

(4) 改变传力途径加固法

改变传力途径加固法是通过增设支点或采用托梁拔柱的方法去改变结构受力体系的一种加固方法。增设支点可以减小构件的计算跨度，降低结构内力和变形，大幅度提高结构及构件的承载力；托梁拔柱是在不拆或少拆上部结构的情况下，拆除或更换柱子的一种处理方法，适用于要求改变房屋使用功能或增大空间的建筑物改造。

(5) 粘钢加固法

粘钢加固法是一种用胶粘剂把钢板粘贴在构件外部进行加固的方法。这种加固方法施工周期短，粘钢所占空间小，几乎不改变构件外形，却能较大幅度提高构件承载能力和正常使用阶段性能。

(6) 粘贴纤维复合材加固

近年来，我国工程界也已普遍采用粘贴纤维复合材方法对混凝土结构构件进行加固，该加固技术是利用树脂类胶粘剂将纤维复合材粘贴于结构或构件表面，纤维复合材承受拉应力，与结构或构件变形协调、共同工作，达到对结构构件加固及改善受力性能的目的。

(7) 化学灌浆法

化学灌浆法是用压送设备将化学浆液灌入结构裂缝的一种修补方法。灌入的化学浆液能修复裂缝，防锈补强，提高构件的整体性和耐久性。

(8) 地基加固与纠偏

对已有结构物的地基和基础进行加固称为基础托换，基础托换方法可分为四类：加大基底面积的基础扩大技术、新做混凝土墩或砖墩加深基础的坑式托换技术、增设基桩支承原基础的桩式托换技术、采用化学灌浆固化地基土的灌浆托换技术。基础纠偏主要有两条途径：一是在基础沉降小的部位采取措施促沉，将结构物纠正；二是在基础沉降大的部位采取措施顶升，达到纠偏目的。

(9) 建筑物加层改造

旧有建筑的面积或使用功能已不能满足新的需求，对旧有建筑进行加层改造已逐渐成

为城市建设的重要途径。在选择加层方案和加层结构形式时，应充分发挥原建筑物的承载潜力，进行多方案比较、技术经济综合分析，从中选择合理的最佳加层设计方案。常用的加层方法主要有直接加层法、外套结构加层法和改变荷载传递加层法三种。此外，当原房屋的层高较大时，为了利用室内空间，可在室内进行加层。

(10) 建筑物移位技术

建筑物移位技术的基本原理是采用托换技术使建筑物形成一个可移动体，然后采用动力设备对建筑物可移动体施加推力或拉力，使其移动到新址。建筑物移位技术既可以应用于城镇建设中的既有建筑物位置调整工程，也可以采用该技术进行新建筑的预制、迁移建筑工程。根据不同的移位路线，移位工程可分为水平移位和竖向移位。水平移位又可分为水平直线移位和水平旋转移位，竖向移位包括顶升和纠倾。实际工程中的移位路线可以是平移、旋转、顶升等单一路线，也可以是它们的组合路线，通常我们所说的建筑物整体移位工程仅指平移工程。

工程结构的加固与改造应以国家及有关部门颁布的规范或规程为依据，按照规范或规程要求选择加固方案，进行加固设计和施工。我国已颁布了《混凝土结构加固设计规范》(GB 50367—2006)、《既有建筑地基基础加固技术规范》(JGJ 123—2000)、《钢结构加固技术规范》(CECS 77: 96)、《砖混结构房屋加层技术规范》(CECS 78: 96)、《钢结构检测评定及加固技术规程》(YB 9257—96)、《建筑抗震加固技术规程》(JGJ 116—98)、《碳纤维片材加固混凝土结构技术规程》(CECS 146: 2003)等一系列加固技术规范和规程。这些规范和规程是在总结大量工程经验的基础上，借鉴国内外有关科研成果编写而成，对于统一加固标准、保证工程质量起到重要作用。

1.4 工程结构加固与改造的程序和原则

已有建筑结构的加固及改造比建新房复杂得多，它不仅受到建筑物原有条件的限制，而且既有房屋长期使用后，存在着各种的问题。另外，既有房屋所用的材料年代不同，常与现用材料相差甚大。在考虑已有建筑物鉴定、加固及改造方案时，应周密考虑各种情况，严格遵循工作程序和加固原则。选择加固改造方案不仅应安全可靠，而且要经济合理。

1.4.1 工程结构加固与改造的程序

建筑结构加固与改造的工作程序如下：首先进行工程结构检测，在检测的基础上进行结构可靠性鉴定，在抗震设防地区还需进行抗震鉴定。根据鉴定结果选定加固改造方案，进行加固改造设计和施工组织设计。然后进行加固改造，工程竣工后，应组织专业技术人员进行验收。

(1) 工程结构检测

对已有工程结构进行检测是加固改造工作的第一步，其检测的内容包括：结构形式，截面尺寸，受力状况，计算简图，材料强度，外观情况，裂缝位置和宽度，挠度大小，纵筋、箍筋的配置和构造以及钢筋锈蚀，混凝土碳化，地基沉降和墙面开裂等情况。以上工程结构的检测，是结构可靠性鉴定的基础。

(2) 工程结构的可靠性鉴定

在完成了对工程结构的检测以后，根据现场检测提供的数据，以可靠性鉴定标准为依

据,对已有工程结构的可靠性进行鉴定。

(3) 加固改造方案选择

工程结构的加固方案的选择十分重要,加固方案的优劣,不仅影响资金的投入,更重要的是影响加固的效果和质量。合理的加固方案应该达到下列要求:加固效果好,对使用功能影响小,技术可靠,施工简便,经济合理,不影响外观。

(4) 加固改造设计

工程结构加固改造设计,包括被加固构件的承载能力计算、正常使用状态验算、构造处理和绘制施工图三大部分。在上述三部分工作中,在承载力计算中,应特别注意新加部分与原结构构件的协同工作。一般来说,新加部分的应力滞后于原结构,应考虑二次受力特点;加固结构的构造处理不仅应满足新加构件自身的构造要求,还应考虑其与原结构构件的连接。

(5) 施工组织设计

加固工程的施工组织设计应充分考虑施工场地狭窄拥挤,受生产设备和原有结构构件的制约,须在不停止使用的条件下进行加固施工。施工时,为保证加固施工过程的安全性,应采取临时支撑或加固措施。由于大多数加固工程的施工是在负荷的情况下进行,因此在施工前,尽可能卸除一部分外载,并施加预应力顶撑,以减小原构件中的应力。

(6) 施工及验收

加固工程的施工前期,在拆除原有构件或清理原有构件时,应注意观察是否有与原检测情况不相符合的地方。在补加加固时,应注意新旧构件结合部位的连接质量。加固工程竣工后,应由使用单位或其主管部门组织专业技术人员进行验收。

1.4.2 工程结构加固改造的原则

工程结构的加固与改造应遵守下述原则:

(1) 先鉴定后加固

结构加固方案确定前,必须对已有结构进行检测和可靠性鉴定分析,全面了解已有结构的材料性能、结构构造和结构体系以及结构缺陷和损伤等结构状况,分析结构的受力现状和持力水平,为加固方案的确定奠定基础。因此,必须先鉴定后加固,避免在加固工程中留下隐患甚至发生工程事故。

(2) 注意结构总体受力

尽管加固只需针对承载力不足构件进行,但同时要考虑加固后对整体结构体系的影响,例如,对房屋的某一层柱子或墙体的加固,有时会改变整个结构的动力特性,从而产生薄弱层,对抗震带来很不利的影响。再如,对楼面或屋面进行改造或维修,会使墙体、柱及地基基础等相关结构承受的荷载增加。因此,在制定加固方案时,应从建筑物总体考虑,不能仅注意局部构件加固。

(3) 加固方案的优化

一般来说,加固方案不是惟一的,例如当构件承载能力不足时,可以采用增大截面法、增设支点法、体外配筋法等。选用哪种方法应权衡多方面因素来确定,优化的因素主要有:结构加固方案应技术可靠、经济合理、方便施工。结构加固方案的选择应充分考虑已有结构实际现状和加固后结构的受力特点,对结构整体进行分析,保证加固后结构体系传力线路明确,结构可靠。应采取措施保证新旧结构或材料的可靠连接。另外,应尽量考