

JIEGOU KEKAOXING JIANDING YU JIAGU JISHU

结构可靠性鉴定 与加固技术

曹双寅 邱洪兴 王恒华 编著

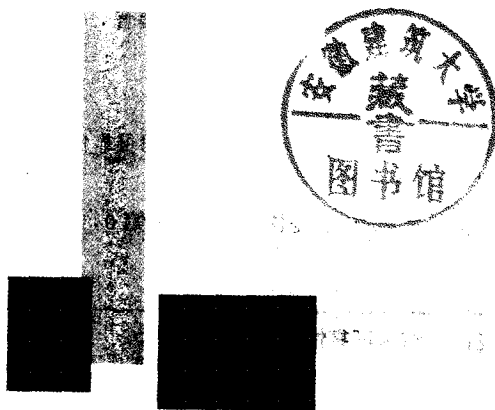
New



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

结构可靠性鉴定与加固技术

曹双寅 邱洪兴 王恒华 编著



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书以现行国家有关技术标准和国内外研究较成熟的理论为基础,介绍了工程结构鉴定与加固改造技术的基本原理和应用方法。主要包括:结构可靠性原理;已有结构可靠性鉴定和检测方法;混凝土结构、砌体结构、钢结构和地基基础加固技术、加固的基本原理和设计计算方法。本书可以作为土木工程专业课程的教材,也可以作为从事工程结构鉴定、加固设计和施工技术人员学习的参考书籍。

图书在版编目(CIP)数据

结构可靠性鉴定与加固技术/曹双寅等编著. —北京:中国水利水电出版社, 2001

ISBN 7-5084-0919-1

I. 结… II. 曹… III. ①建筑物-结构可靠性-鉴定②建筑物-加固 N. TU746.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 088820 号

书 名	结构可靠性鉴定与加固技术
作 者	曹双寅 邱洪兴 王恒华 编著
出版、发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sale@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (发行部)
经 售	全国各地新华书店
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京密云红光印刷厂
规 格	850×1168 毫米 32 开本 11.125 印张 296 千字
版 次	2002 年 2 月第一版 2002 年 2 月北京第一次印刷
印 数	0001—5100 册
定 价	30.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

出版者的话

改革开放 20 年来,我国的土木建筑业得到了迅猛发展。各种新理论、新技术、新材料、新工艺不断涌现,土木建筑业正面临着跨世纪的大发展。为及时反映国内外土木建筑业的成果,中国水利水电出版社组织编写、出版了以反映土木建筑工程“四新”——“新理论、新技术、新材料、新工艺”为主要内容的系列图书。本系列图书力图体现三个特点。

全面性:丛书内容力图反映土木建筑工程各领域的最新的实用新成果和发展动态,通过努力,力争涵盖土木建筑工程的所有领域。

权威性:丛书主要以在科研、教学和设计、施工第一线做出显著成绩的中青年专家(高级建筑师、高级工程师、教授、副教授、博士、博士后等)为作者主体,反映我国在土木建筑领域内的创造性学术成果和对工程具有长期指导意义的理论体系。

实用性:丛书特别注重理论与工程实践的有机结合,既有理论和方法论上的指导意义,又有现实的实用和参考价值。

“四新”丛书已作为我社长期的出版系列予以规划和实施,分批出版。我们热切地期盼业内中青年专家、学者,积极参与到“四新”丛书的著译、出版工作中来。让我们携起手来,共同为我国土木建筑业的发展,为繁荣我国土木建筑图书的出版而努力!

中国水利水电出版社

1999 年 4 月

序

有资料指出,工业发达国家建设总投资的40%以上用于建筑的维修和加固,不足60%才用于新建筑的建设。美国每年用于桥梁维修和加固工程费用就达数十亿美元。我国工程结构由于各种原因有不少需加固的,甚至有的不得不报废和重建。重庆彩虹桥如得到及时处理,何至酿成那样的悲剧!

工程结构需要加固的原因很多,归纳起来有以下几个方面:①错误的设计、低劣的施工质量、不适当的使用、恶劣环境下的材料老化和偶然的自然侵害,使结构遭受损伤,导致结构可靠性下降。如少数化学工厂由于忽略安全生产,使酸、碱等有害液体漏、溢,导致结构严重损伤。②由于功能改变,也常常需要对结构进行加固。功能改变既可能发生在使用阶段,也可能出现在施工阶段,应业主要求,开发商对建造过程中的结构进行功能调整。③国家设计规范的调整也会成为结构加固的原因。由于设计标准的提高,在用结构可能不再满足现行规范的要求。④重要结构的超期服役。对于具有文物价值的工程需要通过加固尽可能延长其寿命。

由于上述原因,工程结构加固带有一定的普遍性。有鉴于此,目前各高校土木工程本科生的高年级和研究生大多开设了有关工程结构加固方面的课程,大量有关工程事故处理、结构加固技术等方面的科技书也相继出版。与同类书籍相比,本书具有下列特点:

(1) 系统性强。全书包括了结构可靠性分析、在用结构的检测、结构可靠性鉴定、加固设计和施工要点,有利于读者对结构加固领域的全面了解。鉴定是进行加固设计的前提,检测是鉴定的重要依据,施工是实现设计意图的重要保证,它们之间是环环

相扣的。可靠性分析则包含了结构鉴定的主要理论基础，对理解鉴定标准、了解发展动态很有益处。

(2) 理论联系实际。本书在阐述了结构可靠性设计理论的基础上，结合工程实例，系统介绍了结构检测、鉴定和加固设计基本原理和一般方法，在强调结构加固的基本概念和理论的同时，注重概念设计的重要性和多种加固技术综合使用的灵活性，便于实际应用。

(3) 深入浅出。不追求复杂的理论推导，通过例子来理解概念。

(4) 内容精练、结构紧凑。尽管包含的内容很广泛，但并没有庞杂之感。全书的脉络很清晰，语言简明扼要。

总之，这是一本实用性与学术性相结合、颇有新意的书。本书的主编和编者系我校土木工程学院的骨干教师，均具有博士学位。多年来，一直从事工程结构鉴定与加固方面的科学研究与教学工作，并参与了大量的工程实践，积累了较为丰富的经验。所以在理论与工程实践、作者与读者之间能很好沟通。

必须指出，加固前应妥善处理结构损伤“源”，如某厂房预制钢筋混凝土柱因冬季施工掺加了过量的钠盐使钢筋严重锈蚀，而加固前未使其与带钠盐的混凝土隔离，加固后继续锈蚀，又出现以厘米计的纵向裂缝。

相信本书对工程技术人员处理结构加固问题会有所帮助，同时也是研究生和高年级本科生合适的教材和教学参考书。

丁大钧

2001年7月于东南大学

前 言

结构鉴定、维护和加固改造是从人类有建筑以来便出现的一个传统专业，但是长期以来，人们习惯于已有的经验方法，缺少系统的分析和理论探讨，技术水平提高不快，并没有形成一门学科。近十余年来，受在用建筑的维护改造需求的驱动和现代技术的发展，它作为一门新的学科正在逐渐形成并迅速发展。

本书以现行国家有关技术标准和国内外研究较成熟的理论为基础，结合作者长期从事该领域研究和工程实践的经验，较全面地介绍了结构可靠性理论的基本原理、结构可靠性鉴定的一般方法、工程结构加固改造的基本原理和设计计算方法。

本书可以作为土木工程专业学生专业课程的教材，也可以作为从事工程结构鉴定与加固工作的工程技术人员学习的参考书籍。

本书第二、三、四、六、八章由邱洪兴教授编写，第一、五章由曹双寅教授编写，第七章由王恒华副教授编写。全书由曹双寅统稿。

由于作者水平有限，书中难免有不妥或疏误之外，敬请读者批评指正。

编 者

2001年7月

目 录

出版者的话

序

前言

第一章 绪论	1
第一节 结构鉴定与加固改造的必要性	1
第二节 加固改造的基本原则及涉及的主要内容	5
第三节 结构的可靠性评估	9
第四节 结构加固技术与方法	14
第二章 结构可靠性分析	22
第一节 单个破坏模式构件的可靠性	22
第二节 多个破坏模式构件的可靠性	46
第三节 结构体系的可靠性分析	53
第四节 结构可靠性的模糊评判	66
第三章 已有结构的可靠性鉴定	90
第一节 民用建筑可靠性鉴定	90
第二节 工业厂房可靠性鉴定	125
第三节 危险房屋的鉴定	143
第四章 已有结构的检测	154
第一节 概述	154
第二节 几何量检测	157
第三节 结构材料性能检测	158
第四节 结构材料的耐久性检测	176
第五节 结构试验	180
第六节 结构作用的确定	184
第五章 混凝土结构加固设计	191

第一节	混凝土受弯构件的加固	191
第二节	混凝土受压构件的加固	243
第三节	混凝土结构耐久性加固	263
第六章	砌体结构加固	268
第一节	砌体加固种类	268
第二节	加固砌体的受力特性	269
第三节	加固砌体的计算方法及构造要求	271
第四节	砌体房屋的增层与改造	282
第七章	钢结构加固设计	287
第一节	钢结构的加固方法	287
第二节	加大构件截面加固的计算	295
第三节	加固中的连接	313
第四节	裂纹的修复与加固	317
第五节	构造与施工要求	321
第八章	地基基础加固	324
第一节	一般要求	324
第二节	基础加固	324
第三节	地基加固	334
第四节	纠倾加固与移位	336
主要参考文献		343

第一章 绪 论

第一节 结构鉴定与加固改造的必要性

结构在长期的自然环境和环境使用环境的双重作用下，其功能将逐渐减弱，这是一个不可逆转的客观规律。如果能够科学地评估这种损伤的规律和程度，及时采取有效处理措施，可以延缓结构损伤的进程，达到延长结构使用寿命的目的。因此，在用结构的可靠性评估方法及加固技术已逐渐成为工程界关注的热点问题，许多工程技术人员和研究团体已经开始把注意力转向该领域，把结构的鉴定与加固技术放在非常突出的位置。

近代建筑业的发展大致可以分为三个时期。第一个发展时期为大规模新建时期。第二次世界大战结束后，世界各国特别是欧洲面临着繁重的重建任务，以满足人们基本的生产和生活需求，建筑业迎来了前所未有的大规模新建时期，这一时期建筑的特点是规模大但标准相对较低。第二个发展时期是新建与维修改造并重时期。在此期间，一方面为满足社会发展的需求，新的建筑在不斷建设，同时由于人类生产和生活对建筑要求的提高，过去建造的低标准建筑经过数十年的使用后已不能满足社会的需求，需要进行维修、加固和现代化改造，从而使建筑业过渡到新建与维修改造并重的发展时期，这在很大程度上推动了对在用建筑物进行正确鉴定、有效加固技术方面的课题研究。此后，随着社会的进一步发展，人们生活水平的进一步提高，人们对建筑功能的要求越来越高，越来越感到已有建筑的规模和功能不能满足新的使用要求，而且原有建筑的低标准、建筑的老龄化和长期使用后结构功能的逐渐减弱等引起的结构安全问题已开始引起人们的关注，但是由于昂贵的拆建费用以及对正常生活秩序和环境的严重影响

等问题阻碍了新一轮新建高潮的兴起，于是人们纷纷把目光投向对在用房屋的维修加固和现代化改造，这种在保存原来建筑形体的基础上，对其进行加固和现代化改造，即在提高结构安全性的同时使其内部设施功能现代化的加固改造措施，投资少、影响小、见效快，不仅具有可观的经济效益，同时也具有巨大的社会效益，因此，促使建筑业跨入以现代化改造和维修加固为重点的第三个发展时期。目前，我国建筑业也开始从第一发展时期迈向第二发展时期，在用建筑的现代化改造和维修加固已逐渐成为建筑业的热点之一。

随着人们环保意识的加强，将走持续发展道路作为 21 世纪人类社会发展的主题，已在全世界范围内形成共识。可持续发展是指“既满足当代人的需要，又不对后代人满足其需要的能力构成危害的发展”。可持续发展战略已被世界上大多数国家和地区所普遍接受。1992 年 6 月，联合国环境与发展大会在巴西里约热内卢召开，就是这种战略得到认可的充分体现。建造建筑物需要大量的材料，消耗大量的资源，其中的许多资源是不可再生的。在用建筑物的维修与改造，尽可能地延长其使用寿命符合可持续发展战略，因而具有广阔的前景。根据美国劳工部对下一世纪热门行业的预测，认为维修改造业是最受欢迎的九大行业之一。

结构的安全可靠是在用建筑现代化改造的基础，对在用建筑的现代化改造必须经过全面的结构可靠性鉴定和必要的结构加固。在用建筑的现代化改造是一项对已有建筑进行改造、扩充、挖潜和加固等的综合性活动，是在原有建筑的基础上进行新的建筑创作，在安全、可靠、经济合理的前提下满足新的功能和标准要求。它与新建不同，由于涉及已有建筑和新建建筑两部分，结构体系复杂，影响因素多，技术难度大，所以，对原有建筑全面科学的鉴定，采取合理、可靠的加固措施是在用建筑现代化改造的关键。

结构加固是通过一些有效的措施，使受损结构恢复原有的结构功能，或者在已有结构的基础上提高其结构抗力能力，以满足

新的使用条件下结构的功能要求。结构加固涉及的内容十分广泛，它包含了结构损伤的检测及鉴定方法，加固理论和加固技术，以及加固方案选择与投资效益的优化等。从实质上讲，它是一门研究结构服役期间的动态可靠度及其维护理论的综合学科。实际上，结构的可靠性鉴定与加固技术是与建筑同时出现的一个传统专业，但是长期以来，人们习惯于已有的经验做法，缺少系统的分析和理论探讨，因而技术水平提高不快，并没有形成一门科学。近十余年来，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，作为一门新的学科正在逐渐形成。这一方面是受建筑业发展进入第二个时期后，在用建筑的维护改造需求的驱动，另一方面也是由于现代技术的发展，对该领域的发展提供较好的技术条件。

在用建筑需要进行结构加固的原因是多方面的，主要原因是结构的缺陷和损伤以及使用要求的改变，归结起来主要有以下几方面。

一、结构的先天缺陷

结构设计是把各种现有的技术成果转换为生产力的一种手段和活动，它的发展历史是与人类的科技进步相关联的。随着科技成果从无到有，从落后到先进，设计方法也从直觉的、经验的、实验辅助的逐步进展到现代的。在进行建筑设计时，尽管设计人员尽最大可能考虑了影响建筑安全和使用的诸多因素，在结构上采取了各种各样的处理措施，但是，由于当时技术水平有限，实际结构有其各自的结构特点和与众不同的使用环境以及施工质量的差异，竣工使用后的结构不可能完全被设计分析时采取的数学模型所描述，使用中实际情况与原先设计构思有一定的差异。另外，场地选择的错误、基础方案的不合理、结构体系选择上的失误或计算方法选择上的差异等均可能在建筑中留下隐患，导致结构的先天不足。

结构的先天不足还可能源于施工。造成这类隐患的原因很多，

如使用了劣质或低等级建筑材料、施工管理和质量控制措施不利、技术设备落后施工程序不合理、施工人员素质低技术水平差,甚至有些施工企业为了减少开支采取偷工减料等手段等等,导致建筑质量低劣,达不到设计要求。

二、结构的后天损害

恶劣的使用环境是引起结构缺陷和损伤的一个主要原因。在长期的外部环境及使用环境条件下,外部介质每时每刻都在侵蚀结构材料,导致其组成材料的劣化,工程结构的功能将逐渐地被削弱,甚至丧失,这是一个不可改变的客观规律。按照劣化作用的性质来分,外部环境对工程结构的侵蚀作用一般可以分为三类:

(1) 物理作用:如高温及高湿、温湿变化、霜冻及冻溶现象、粉尘及流水冲刷、辐射等因素对结构材料的劣化。

(2) 化学作用:如含有酸、碱或盐等化学介质的气体或液体、一些其他有机材料、烟气等向结构材料内部侵入,产生化学作用,引起材料组成成分的变化。

(3) 生物作用:如一些微生物、真菌、水藻、水动物、蠕虫、昆虫、多细胞作物等对工程材料的破坏等。

意外灾害也是结构后天损伤的一个重要原因。意外灾害包括自然灾害和人为灾害,它们使工程结构受到严重损害,甚至完全丧失其结构功能。我国是一个多自然灾害的国家,2/3以上的大城市处于地震区,很多城镇遭受过水灾或流沙等灾害。对工程结构而言,火灾是对结构功能损害最严重的人为灾害。随着国民经济的发展和城市化进程的加快,人口和建筑物进一步密集,但是由于很多消防配套防护措施不足或对其重视不足,建筑物失火概率大大增大,火灾现象屡屡发生,对在用建筑结构造成不同程度的损伤,影响结构的安全和使用性能。

使用不当也会造成对工程结构的损害。对在用建筑结构而言,使用不当造成损伤的原因是多方面的。如随意改变使用功能,增大使用荷载;为了达到某种装潢效果,随意改变甚至拆除承重结构;为了增大建筑面积,未经技术部门鉴定设计,对原有建筑进行扩建甚至加层改

造等。

三、设计标准和使用要求的改变

结构设计安全度的高低,是国家经济和资源状况、社会财富积累程度以及设计施工技术水平与材料质量水准的综合反映。随着社会的发展、生产力水平的提高、科学技术的进步和社会财富积累程度的提高,人们对事物认识的不断深化,设计规范也需要不断修订,建筑结构设计标准也逐渐提高。由于历史原因,我国早期的规范是借鉴二战后前苏联的设计规范而来的,采用的是低安全度设计原则。尽管进行了多次的修订,我国现行的建筑结构可靠性标准仍不能适应国情的需要,随着今后设计规范的修订,设计标准的提高,按照现行规范标准设计的结构将不能满足今后设计标准的要求。

随着我国经济体制的改变,建筑物业已经成为商品,国家不再是城镇物业的唯一投资者和拥有者,业主将根据自己产业发展或生活的需要,不断调整建筑物使用功能,原来的办公楼可能改为商场,已有的 30t 吊车可能要改成 50t 的吊车等,这些使用功能和要求的改变,都将导致原有结构可靠性的改变,有时必须经过加固后才能保证功能改变的顺利进行。

第二节 加固改造的基本原则及涉及的主要内容

一、加固改造的基本原则

1. 结构加固的特点

与新建结构相比较,在用建筑的加固改造有其独特的特点,具体如下。

(1) 结构方案受到原有结构形体的约束:与新建结构相比,在用结构加固的自由度要小得多,因为现有建筑结构的型式、跨度、高度、结构构件截面尺寸等因素都在一定程度上限制了结构方案

的选择范围,设计者必须结合原有结构体系,根据实际结构的条件来具体分析,提出合乎实际情况的加固方案和技术措施。

(2) 加固后结构体系受力复杂:加固后的结构多半属于组合结构或组合截面,新旧两部分共同工作,因此结构受力复杂,原有结构的结构构成、力学性能、损伤程度和受力程度,以及新旧材料的结合情况和施工措施等都对加固结构的受力性能有相当大的影响,因此分析难度很大。一般情况下,加固结构属于二次受力结构,新旧两部分存在着应变和应力不同步发展的现象,新加部分材料的潜力有时得不到充分利用。另外,对部分构件的加固有时还会改变结构体系的刚度分布,使加固后结构体系在外力作用下受力的分配模式发生改变,可能会出现一些新的薄弱环节。

(3) 加固后可靠性标准不一致:加固后结构的可靠度标准不能完全套用新建结构的要求,应根据对原有结构信息掌握的程度、结构加固的目的和加固后结构的使用功能和期限要求等,对具体对象具体分析确定。

(4) 加固施工难度大:由于原有建筑的存在,加固施工场地狭窄,常受到已有设备、管道和结构构件的约束,施工设备和机具操作困难,常规施工方法难以奏效,大型机械设备无法使用,稍大的预制构件无法进入现场。另外,加固工程有时是在不停止使用或不搬迁的条件下进行的,因此要求施工速度快,工期短,尽量减少对使用环境的影响时间,有时还必须分期分段施工。

2. 结构加固的基本原则

结构的加固改造应遵守下述原则:

(1) 全面了解原有结构的材料和结构体系:结构加固方案确定前,必须对已有结构进行检查和可靠性鉴定分析,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信息,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) 结构方案应技术可靠、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,应尽量考虑综合经济指标,考虑加固施工的具体特点和加固施工的技术水平,在加固方法的设计和施工组织上采取有效措施,减少对使用环境和相邻建筑结构的影响,缩短施工周期。

(3) 减少对原有建筑的损伤,尽量利用原有结构的承载能力:在确定加固方案时,应尽量减少对原有结构或构件的拆除和损伤。对已有结构或构件,在经结构检测和可靠性鉴定分析后,对其结构组成和承载能力等有了全面了解的基础上,应尽量保留并利用其作用。大量拆除原有结构构件,对保留的原有结构部分可能会带来较严重的损伤,新旧构件的连接难度较大,这样即不经济,还有可能对加固后结构留下隐患。

(4) 加固实施过程中应加强对实际结构的检查,并随时消除隐患:尽管在加固方案确定之前,对已有结构进行了全面的检测和鉴定,但是由于种种客观原因,对已有结构的实际状况及结构损伤和缺陷情况是无法百分之百掌握的。因此,加固实施过程中,工程技术人员应加强对实际结构的检查工作,发现与鉴定结论不符或检测鉴定时未发现的结构缺陷和损伤,应及时采取措施消除隐患,最大限度地保证加固的效果和结构的可靠性。

二、加固改造的主要内容及基本程序

1. 加固改造涉及的主要内容

结构加固改造的全过程应包括结构可靠性鉴定、方案设计和施工三个阶段,已有结构现状的评价,加固方法的选择和加固施工组织是加固改造涉及的主要技术内容。

对已有结构现状的评价是整个加固改造过程的关键环节之一。通过可靠性检测和鉴定分析,应该对已有结构的结构构成(包括结构型式、结构布置、构件的尺寸及连接构造等)、材料(包括材料组成、力学性能等)、结构的损伤及缺陷(包括程度、原

因和范围等)和使用历史情况及结构上的作用等进行尽可能详尽的了解,并依据有关标准对结构构件的可靠性现状进行评价。

结构加固方案的选择和加固设计对加固改造工程的质量和经济效益有很大的影响,是加固改造项目成功与否的关键。在结构加固方案的选择和设计时,应依据可靠性鉴定结果,根据原有结构的实际情况和加固改造的目的及加固后使用要求,在对加固后结构体系和结构构件受力状况进行全面分析的基础上,并充分考虑施工队伍的技术水平和施工场地条件,进行综合分析,选择具体加固方法,使结构方案技术可靠、经济合理、方便施工。

加固施工是加固改造过程的主要环节,是实施加固设计保证加固质量的关键。施工技术人员应通过技术交底等方式,全面了解已有结构的现状,熟悉加固方案和具体技术要求,并根据施工场地的实际情况,组织实施施工。在施工过程中,应加强对实际结构的检查工作,并及时向设计等有关技术人员反馈有关信息。

2. 加固基本程序

一般情况下结构加固改造应按照下述程序进行:

(1) 结构可靠性检测及鉴定:在加固改造项目立项后,应收集与该结构有关的技术资料和以往的使用和结构维护等情况,根据该建筑的使用要求,对已有结构进行全面调查检测,并进行必要的实验,通过结构验算和综合分析,按照国家有关鉴定标准,对结构可靠性现状进行评定。

(2) 结构方案分析:设计者根据结构可靠性鉴定结果,综合考虑加固后结构的可靠性、综合经济指标和施工条件等因素,对加固改造的可行性进行分析。在此基础上提出一个或几个可行的技术方案,经过有关技术专家的论证,并听取施工单位和业主的意见后,确定加固方案。

(3) 加固设计:根据确定的加固方案、结构的实际情况以及加固改造后的结构功能要求,对加固后结构进行计算分析,根据计算分析结果,明确具体加固方法、技术措施和施工要求。

(4) 技术交底:通过技术交底,设计者应向施工单位、监理