

建 筑 结 构 加 固 改 造 设 计 与 施 工



建筑结构工程系列丛书

建筑结构 加固改造设计与施工

卜良桃 王济川 编著

湖南大学出版社

建筑结构加固改造设计与施工

卜良桃 王济川 编著

湖南大学出版社

2002年·长沙

内 容 提 要

本书分为建筑结构加固改造概述、梁板的加固改造设计与施工、柱加固设计与施工、屋架的加固设计与施工、砌体结构的加固设计与施工、火灾后对结构的影响及治理等6章。介绍了相应结构的鉴定、检测与加固设计、改造设计以及施工的质量控制要点。全书注重理论联系实际,紧密结合加固技术规范,并且反映了工程结构中鉴定、检测、补强加固等方面的科研成果和工程经验。

本书可作为高等院校土木工程类专业参考教材,也可供设计单位和施工企业的专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑结构加固改造设计与施工/卜良桃 王济川编著.

—长沙:湖南大学出版社,2002.4

ISBN 7-81053-526-9

I. 建... II. ①卜... ②王... III. ①建筑结构—
加固—结构设计②建设结构—加固—工程施工 IV. TU3
中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第025921号

建筑结构加固改造设计与施工

Jianzhu Jiegou Jiagu Gaizao Sheji Yu Shigong

卜良桃 王济川 编著

责任编辑 卢 宇 陈 瑾

装帧设计 张 毅

出版发行 湖南大学出版社

社址 长沙市岳麓山 邮编 410082

电话 0731-8821691 0731-8821315

经 销 湖南省新华书店

印 装 湖南省地质测绘印刷厂

开本 787×1092 16开 印张 15 字数 384千

版次 2002年10月第1版 2002年10月第1次印刷

印数 1—3 000册

书号 ISBN 7-81053-526-9/TU·19

定价 22.50元

(湖南大学版图书凡有印装差错,请向承印厂调换)

前 言

我国经济正处于迅速发展时期，为保证和满足人民日益增长的居住、市政、交通等方面的需求，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内承载能力下降、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、分析、鉴定与评价，并在科学鉴定的基础上，对结构进行加固或采取补强措施，或结合新的要求进行改造与维修，例如加大楼面荷载、增加结构楼层、加固梁柱与基础、托换墙体加大开间、转换传力路线，改善结构工作条件，加大安全储备等。

本书针对勘察、设计、施工、使用等方面存在的工程质量事故，结构随服役时间的增长而发生的老化现象，紧密结合我国现行鉴定标准、加固规范，提出了结构检测、可靠性鉴定、加固补强方法、设计与施工质量控制要点等，并尽量结合实例，分别讨论了加固改造原则与方法；梁板的加固改造设计与施工；柱的加固设计与施工；屋架的加固设计与施工；砌体结构的加固设计与施工；火灾后对结构的影响与治理等。在编写过程中，作者结合了多年来检测、鉴定与加固方面的教学经验和工程实践，并吸取了国内外的有关科研成果。

本书由卜良桃、王济川主编，在编写过程中，陈大川、王玉倩、肖志刚、黄凯、谢续其等参加了具体的工程检测、鉴定加固改造设计以及具体施工，为全书的资料积累、图表绘制做了许多工作。

由于编者水平有限，书中不妥和疏漏之处，敬请读者指正。

卜良桃 王济川

2002年1月26日

目 次

第 1 章 建筑结构加固改造概述	(1)
1.1 我国建筑物加固改造行业的现状及发展	(1)
1.2 加固改造工作程序	(4)
1.3 加固改造的一般原则	(6)
1.4 加固改造方法及其选择	(7)
1.5 结构加固的基本原理	(9)
第 2 章 梁、板的加固改造设计与施工	(20)
2.1 钢筋混凝土梁、板承载力不足的原因及表现	(20)
2.2 受弯构件加固法的设计及施工	(22)
2.3 改变受力体系加固设计及施工	(35)
2.4 预应力加固法的设计及施工	(50)
2.5 粘钢加固法的设计及施工	(69)
2.6 粘贴碳纤维加固法	(78)
2.7 其他补强加固法	(81)
2.8 工程实例	(86)
第 3 章 柱加固设计及施工	(92)
3.1 混凝土柱的破损及原因分析	(92)
3.2 混凝土柱的增大截面加固法	(93)
3.3 混凝土柱的外包钢加固法	(101)
3.4 钢柱加固	(108)
3.5 柱子的预应力加固法	(116)
3.6 外包混凝土加固砖柱分类	(121)
3.7 外包钢加固砖柱	(122)
3.8 工程实例	(123)
第 4 章 屋架加固设计与施工	(135)
4.1 混凝土屋架常见问题及原因分析	(135)
4.2 混凝土屋架的加固设计及施工	(139)
4.3 钢屋架常见问题及原因分析	(145)
4.4 钢屋架、托架加固	(147)
4.5 钢网架常见问题及加固设计与施工	(157)
4.6 木结构屋盖的检查、维护、加固设计与施工	(164)
第 5 章 砌体结构的加固设计与施工	(176)
5.1 砌体常见裂缝的分析与预防	(176)
5.2 砌体加固技术	(192)
5.3 砌体裂缝处理与加固	(208)

第 6 章 火灾后对结构的影响及治理..... (211)

 6.1 火灾对材料性能的影响 (211)

 6.2 房屋结构火灾后的损伤诊断与处理对策 (219)

 6.3 火灾加固工程实例 (226)

参考文献..... (231)

第 1 章 建筑结构加固改造概述

1.1 我国建筑物加固改造行业的现状及发展

大多数建筑物随着时间的流逝，会因劣化、损伤造成使用性能下降，或因技术条件限制无法继续使用。这时，根据现状一般应对其进行修复、防护或加固改造处理，以满足不同的使用要求。这里，修复指的是拆换或修理已经劣化、损坏的结构材料或结构构件、配件，包括结构功能加固，外观修复以及恢复结构构件、配件和材料的其他内在特性；防护则指对材料或结构构件、配件采取保护措施，使其免受恶劣环境的直接作用；而加固改造则指对旧的建筑物或结构、构件等进行改建拆换，使其适应新的使用功能要求。

1.1.1 工程程序

根据有关文献和我国近几年的工程实践经验，加固改造工作的一般程序可概括为现状鉴定、加固改造设计、施工与工程效果检验 4 步。

1. 现状鉴定

进行现状鉴定的目的是为制定加固改造方案提供技术依据。由于工程对象的规模、复杂程度等具体情况不同，鉴定工作的难易程度也不同。在一般情况下，鉴定工作涉及现状初步调查及已有资料收集、现场检查检测、实验室试验分析、结构计算分析、资料整理分析、编制鉴定报告等内容。

对现状情况进行初步调查，收集已有的资料，为后续工作奠定基础，包括现场的初步检查，收集和整理与建筑物有关的所有原始设计、施工资料、图纸、使用记录等，并向知情人员进行调查。一旦收集到所有的相关资料，就要系统地详细审阅，并根据需要制定出有关的检测计划。

现场检查检测，视具体条件，可能是简单的目测，也可能是按既定计划实施的细致复杂的过程。在所有的检测项目中，最主要的目标是确定导致可见损坏的原因，以及确认结构的整体性和工作性能。如果问题简单，那么，根据工程师的经验，简单的目测检查结果即可作为修复处理的参考，但在大多数项目中，即使是一个有经验的工程师也需要材料试验工程师来协助工作，以便对材料的结构性能进行全面的了解。

要对现场和实验室试验数据以及现场的观察记录进行仔细整理，并认真地总结分析，充分运用已有的专业知识，采用适当的推理机制，对面临的工程问题做出正确的判断。

结构计算分析是根据现场检测的数据采用计算机方法对结构进行计算分析，依据现行规范条件确定结构的安全度。

鉴定报告是现状鉴定的最终成果，它是制定加固改造的主要技术依据。鉴定报告的内容一般应包括：工程对象受损的范围、程度；工程对象的整体技术状态；造成结构及结构材料劣化、损坏的主要原因；应采取的处理措施或对策。

2. 设计

在现状鉴定的基础上，设计的主要任务是制定加固改造方案，选择加固、改造材料及施工方法，绘制加固、改造施工图。

制定设计方案难度很大，必须考虑大量的因素，包括技术方面、经济方面的因素，以及其他纯粹实践经验方面的因素。设计过程中要充分考虑到施工期间对建筑物正常使用时可能产生的影响。

确定设计方案对加固改造使用的材料要求与对新建材料的要求是不同的，设计人员必须考虑多种材料与原结构的相容性问题；此外，还要考虑材料对施工速度的影响，考虑加固改造过程中原结构的安全问题。

3. 施工

在通常情况下，已有建筑物加固改造施工是一项专业性很强的技术，并非任何施工单位都能胜任。为了保证设计意图的全面实现，施工单位既要有良好的技术素质，又要有专业工程经验。

施工之前还应进行详细的施工组织设计，制定完善的施工操作规程。在一般情况下，应尽可能地满足现有的操作规程、规范要求。但是，若适用的加固材料和方法没有包括在现有的规程、规范中，则应从类似的工程项目中获取基于实践经验的、详细的数据资料，这种技术资料的依据必须有具有一定资质单位的证明，并据此制定有关操作规程。

4. 验收与工程效果检验

加固或改造完成之后要按照既定的标准进行验收。为了保证加固效果，对一些重要部位或者施工质量产生怀疑时，还要采取必要的检验手段来对工程效果进行检验，如进行各种原位试验等。

1.1.2 加固改造行业现状分析

我国已有建筑物现代加固改造技术研究正处于全面起步阶段，发展迅速，尽管已取得了一些成果，但总体水平较低，市场秩序比较乱，缺少统一的行为准则来规范人们的业务活动。

已有建筑物是国民经济基础的重要组成部分。进入 20 世纪 80 年代，国民经济开始高速增长，一些危旧建筑开始与高速发展的生产需要不相适应，有的还对生产造成了严重的危害。当时，一些有识之士开始对已有建筑物的诊断、修复、改造等技术进行系统的研究。近年来，投身于这一行业的人越来越多。为了统一有关技术标准，提高行业的总体水平，1990 年成立了“全国建筑物鉴定与加固标准技术委员会”，已编或正在编制的各种标准达 20 多种，如：《混凝土结构加固技术规范》《砌体结构加层技术规范》《钢结构加固技术规范》《建筑结构加固设计标准》《喷射混凝土加固技术规程》《火灾后建筑结构可靠性鉴定标准》《混凝土结构耐久性评定标准》《碳素纤维布加固修补混凝土结构技术规程》《地基处理规范》《地基基础加固技术规范》《机械工业振动规范》《建筑抗震鉴定标准》《建筑抗震加固技术规程》《民用建筑可靠性鉴定标准》《砌体结构加固技术规范》《砌体力学性能现场检测技术标准》《古建筑木结构维护与加固技术规范》《古建筑砖石结构维护与加固技术规范》《建筑物火灾后鉴定标准》《钢结构检验评定标准》《钢结构检测评定及加固技术规程》等等。标准委员会还制定了本领域的规范体系表，包括材料检验、现场抽样方法、构件实测、结构可靠性鉴定、结构加固设计、加固改造施工及验收等方面的一系列规范、标准。“全国建筑物鉴定与加固标准委员会”已举办多次学术活动，进行技术研讨和交流。所有这些都有力地推动了

我国行业技术的发展。

与发达国家相比，我国在已有建筑物加固改造行业等方面的总体水平还不高，集中表现在以下几个方面。

(1) 目前，主要技术力量集中在少数专业研究院（所）、高等学校及少数大型设计院、生产企业，并且发展不均衡，大多数厂矿、企业的技术水平还不高。有的工程由于加固或改造方案选择失误，对结构整体造成了不应有的损失。

(2) 从事建筑物加固改造的施工单位多数是从事一般基本建设的施工队伍，或者是松散组织的临时工、民工队伍。操作工人对建筑物加固改造施工并不熟悉，加之改造加固工程所涉及的项目内容零星繁杂，施工组织和管理的难度比较大，在施工过程中管理措施跟不上，造成工程质量低，设计意图不能完全实现，甚至违背设计意图。

(3) 对建筑物进行加固改造的第一步是对工程对象的现状进行鉴定。目前，建筑物诊断技术水平还比较低，主要体现在检测手段比较落后，也没有相应的检验标准供人们遵循。解决工程问题时，有的仍是以经验为主进行判断，有时迫于工程需要，匆忙地得出结论，增加了技术风险，有的造成失误。

(4) 缺少配套的施工操作规程、规范和质量验收标准，即使是一些专业队伍也极少能制定出自己的执行标准来规范施工过程，施工操作的随意性太大。特别是采用新材料、新技术时，由于没有标准的工艺做法，施工操作人员在现场进行操作，工程的质量在很大程度上取决于个体操作人员的素质和责任心，在大多数情况下很难获得最佳加固效果，最终导致工程质量低劣。

(5) 缺少专用的工程机具、材料。近年来，虽然有些单位也开发了一些专用的机具、器材，但总的来说，还没有满足工程应用的需要，有的是质量不能满足要求，也有的是使用不便，影响了机具、材料的推广应用。

(6) 结构耐久性不足而造成的危害尚未被人们所完全认识，混凝土结构也需要进行积极防护的观念还没被人们所接受。在发达国家，会对许多露天混凝土结构采取主动防护措施，以增加建筑物的寿命，如采用涂环氧钢筋，在混凝土表面涂防护涂料等。这在国内工程上很少应用。

目前，我国对已有建筑物加固改造行业尚未建立起完善的管理体系，对承担项目的单位缺少恰当的资质认证办法、标准和健全的监督约束机制；对操作人员缺少技能考核制度；对投入市场的一些新型修补材料、新技术、新方法缺少有效的工程检验或质量认证办法和标准，这样，助长了一些人的投机行为，导致行业市场运行不规范。

1.1.3 提高我国行业水平的几点意见和建议

针对我国已有建筑物加固改造行业总体水平不高、市场混乱、缺少统一行为准则的现状，提出下面几点意见或建议。

1. 加强管理，促使与建筑物加固改造有关的各种行为规范化

首先，应考虑工作程序规范化。任何建筑物在进行加固改造之前必须通过相应的技术鉴定，改造加固设计应当以鉴定报告为主要技术依据。

对所有从事鉴定、设计、施工及质量监督检验的单位进行资质认证。认证内容包括人员组成、技术水平、设备仪表装备、工程经验、组织建制、质量保证体系、民事行为能力等诸多方面，根据认证结果核定其承担业务的规模和范围。

为了保证工程质量，新型修补材料或专用修补材料的供应厂家应向施工单位提供与施工

操作有关的全套资料。施工操作人员的技能水平应得到材料供应厂家的认可。同时，材料供应厂家应用一定数额的材料额作为质量保证金，施工单位应无条件地提供一定期限的施工质量保证。

2. 开发成套的加固改造技术

要投入研究力量，收集、整理以往的工程资料，积极制定有关的规程、规范、标准等；同时组织力量编写有关的实用技术手册或资料集；引进、消化国外的先进技术和设备；开发现代先进的结构诊断、检测方法及相关标准、规范；借助于计算机建立实用技术库及修复材料库，开发已有建筑物诊断、加固改造计算机辅助系统，使个体设计更详细、更规范化，便于工程施工。

3. 广泛开展技术交流和培训

应当承认，各种有效的新技术、新方法的信息没有广泛的宣传、推广是导致目前总体水平不高的重要原因之一。如果恰当地利用目前有关的新技术、新方法，完全可以使我国已有建筑物加固改造技术水平迈上一个新的台阶。目前，各种专业学会积极开展交流活动，举办专题讲座无疑会加速现代新技术、新方法的传播。当有条件时，在高等院校开设有关专业课程亦不失为明智之举。

4. 对于新建结构尽早采取防护措施

与发达国家相比，我国许多大型建筑物为近年所修建。虽然使用年限不长，但已暴露出一些老化损坏现象，特别是边缘、节点等易损部位损坏较为严重。

1.1.4 总结

受我国经济政策的影响，可以预料，已有建筑物加固改造的工程规模在近年还会扩大。这种趋势必然会对加固改造材料市场、专业改造技术服务业产生一定的影响。这向我们既提供了机会，也提出了挑战。所谓机会，意味着将有大量的新技术、新材料、专门的服务机构，以满足市场的特殊需要，以此带动整个行业水平的提高；所谓挑战，即大量新材料、新技术的涌现势必对工程决策带来困难，由此可能会引起更多的新问题。在高度工业化的今天，人们对建筑物的功能要求越来越高，结构的形式越来越复杂，所处的使用环境更加恶劣。目前，对已有建筑物进行加固改造是一个极其复杂的系统工程。这需要负责技术决策的有关人员具有高水平综合解决问题的能力，不但要精通建筑结构理论，掌握各种修补材料的物理力学性能和耐久性能，需要懂得结构和结构材料劣化损坏的机理；同时还必须了解与使用环境有关的各种影响因素。这种技术难度大、决策过程复杂的系统工程绝非一般的个体责任者所能承担的。

1.2 加固改造工作程序

建筑物加固改造的工作程序为：

可靠性检测与鉴定→加固改造方案选择→加固改造设计→施工组织设计→加固改造施工→竣工验收。

1.2.1 可靠性检测与鉴定

根据《工业厂房可靠性鉴定标准》《民用建筑可靠性鉴定标准》，对需进行加固改造的建

筑物进行全面、细致的调查与检查，确定构件或房屋的完损等级并据此确定是否属于危险构件或危险房屋，为建筑物进行加固改造设计提供科学、有效的依据。

1.2.2 加固改造方案的选择

对已有建筑物加固改造方案的选择十分重要，加固改造方案不仅影响资金的投入，更重要的是影响加固质量。例如，对于裂缝过大，而承载力已够的构件，若用增加纵筋的加固方法是不可取的，因为增加纵筋不会减少已有裂缝。有效的办法是外加预应力钢筋，或外加预应力支撑，或改变受力体系等。又如，当结构构件的承载力足够，但刚度不足时，宜优先采用增大梁板结构构件的截面尺寸的方法，以提高其刚度。再如，对于承载力不足而实际配筋已达超筋的结构构件，若仍在受拉区增配钢筋或粘贴钢板，那是起不到加固作用的。

合理的加固方案应该使加固效果好，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。

1.2.3 加固改造设计

建筑物的加固改造设计，包括被加固构件的承载力验算、构件处理和施工图绘制、施工过程的指导四部分工作。

在承载力验算中，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的应力，处理加固结构的构造时不仅要满足新加构件自身的构造要求，还要考虑其与原结构构件的连接。加固施工比正常新建施工复杂，主要原因是对原结构不完全了解，故设计对加固施工的指导显得尤为重要。

1.2.4 施工组织设计

进行加固改造工程的施工组织设计时，应充分考虑下列情况：

- (1) 施工现场狭窄、场地拥挤；
- (2) 受生产设备、管道和原有结构、构件的制约；
- (3) 须在不停产或尽量少停产的条件下进行加固施工；
- (4) 施工时，拆除和清除的工作量大，而施工需分段、分期进行。

由于大多数加固工程是在存在承载或部分承载的情况下进行的，因此，施工安全非常重要。其措施之一是，施工前对加固构件适当卸载，并施加预应力顶撑，以减小原结构构件中的应力。

1.2.5 施工及验收

加固改造施工前期，在拆除原有废旧构件或清理原有构件时，应特别注意观察有无与原检测情况不相符合的地方。工程技术人员应亲临现场，随时观察有无意外情况出现。一有意外，应立即停止施工，并采取妥善的处理措施。在加固时，应注意新旧构件结合部位的粘结或连接质量。

建筑物加固改造的施工是最危险的工作，故应速战速决，以减少因施工给用户带来的不便和避免意外事故发生。

在加固改造的施工过程中，应采用相应的仪器设备对加固过程进行各种监测和控制，其监测、检验结论作为加固改造工程竣工验收的依据。

1.3 加固改造的一般原则

1.3.1 方案制定的总体效应原则

制定建筑物的加固改造方案时，除要考虑可靠性鉴定结论和委托方提出的加固改造内容及项目外，还要考虑加固后建筑物的总体效应。例如，对房屋的某一层柱子或墙体加固时，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，对楼面或屋面进行加固改造时，会使墙体、柱及地基基础等相关结构承受的荷载增加。因此，制定加固方案时，应全面、详细分析整个建筑结构的受力情况。

1.3.2 材料的选用和强度取值原则

(1) 加固改造设计时，原结构的材料强度按如下规定取用：若原结构材料种类和性能与原设计一致，则按原设计值取用；若原结构无材料强度资料，则可通过实测评定材料的强度等级，再按现行规范取值。

(2) 加固改造材料的要求。加固用的钢材一般选用Ⅰ级或Ⅱ级钢；加固用水泥宜选取普通硅酸盐水泥，标号不应低于425号。

加固用混凝土的强度等级，应比原结构的混凝土强度等级提高一级，且加固上部结构构件的混凝土的强度等级不低于C20，加固用混凝土内加入早强、高强、免收缩、微膨胀、自流密实的外加剂使混凝土改性。

加固所用粘结材料及化学灌浆材料一般宜采用成品，其粘结强度应高于被粘结构混凝土的抗拉强度和抗剪强度。

1.3.3 荷载取值原则

加固结构承受的荷载，应进行实地调查后取值。在一般情况下，当原结构按当时《工业与民用建筑结构荷载规范》取值时，在鉴定阶段对结构的验算仍按原规范取值；一经确定需要加固时，加固验算应按现行的《建筑结构荷载规范》的规定取值。

1.3.4 承载力验算原则

进行承载力验算时，结构的计算简图应根据结构的实际受力状况和结构的实际尺寸确定。构件的截面面积应采用实际有效截面面积，即应考虑结构的损伤、缺陷、锈蚀等造成的不利影响。验算时，应考虑结构在加固时的实际受力程度、加固部分的受力滞后特点以及加固部分与原结构协同工作的程度。对加固部分的材料强度设计值进行适当的折减，还应考虑实际荷载偏心、结构变形、局部损伤、温度作用等所带来的附加内力。当加固后使结构的重量增大时，应对相关结构及建筑物的基础进行验算。

1.3.5 与抗震设防结合的原则

我国是一个多地震的国家，6度以上的地震区几乎遍及全国各地。1976年以前建造的建筑物，大多没有考虑抗震设防，1989年以前的抗震规范也只规定了7度以上地震区才设防。为了使这些建筑物遇地震时具有相应的安全保证，应结合抗震加固方案制定承载能力和耐久性加固、处理方案。

1.3.6 其他原则

由于高温、腐蚀、冻融、振动、地基不均匀沉降等原因造成的结构损坏，应在加固设计

时提出相应的处理对策，随后再进行加固。

结构的加固应综合考虑其经济性，尽量不损伤原结构，并保留有利用价值的结构构件，避免不必要的构件拆除或更换。

1.4 加固改造方法及其选择

1.4.1 增大截面法

增大截面法是用增大结构构件或构筑物截面面积进行加固的一种方法。它不仅可以提高被加固构件的承载能力，而且还可加大其截面刚度，改变其自振频率，使正常使用阶段的性能在某种程度上得到改善。这种加固方法广泛用于加固混凝土结构中的梁、板、柱和钢结构中的柱、屋架（补焊型钢）以及砖墙、砖柱（增设砖或混凝土扶壁柱或混凝土围套）等。但采用这种方法会减小使用空间，当在梁板上捣混凝土后浇层时，还会增加结构自重。

1.4.2 外包钢加固法

外包钢加固法是一种在结构构件（或杆件）四周包以型钢进行加固的方法，分干式外包钢和湿式外包钢两种形式。这种方法可以在基本不增大构件截面尺寸的情况下提高构件承载力，增大延性和刚度，适用于混凝土柱、梁、屋架和砖窗间墙以及烟囱等结构构件和构筑物的加固。但这种方法用钢量较大，加固维修费用较高。

1.4.3 预应力加固法

预应力加固法是一种采用外加预应力钢拉杆（分水平拉杆、下撑式拉杆和组合式拉杆）或撑杆，对结构进行加固的方法。这种方法可在几乎不改变使用空间的条件下，提高结构构件的正截面及斜截面承载力。预应力能消除或减缓后加杆件的应力滞后现象，使后加杆件有效地工作。预应力产生的负弯矩可以抵消部分荷载弯矩，减小原构件的挠度，缩小原构件的裂缝宽度，甚至可使裂缝完全闭合。因此，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（用预应力顶撑加固）的加固。此外，还可用于钢梁及钢屋架的加固。预应力加固法是一种加固效果好而且费用低的加固方法，具有广阔的应用前景。其缺点是增加了施加预应力的工序和设备。

1.4.4 改变受力体系加固法

改变受力体系加固法是一种通过增设支点（柱或托架）或采用托梁拔柱的办法以改变结构的受力体系（计算简图）的加固方法。增设支点可以减小结构构件的计算跨度，降低计算弯矩，大幅度地提高结构构件的承载力，减小挠度，缩小裂缝宽度。当对增设的支点施加预应力时，效果更佳。增设支点多用于大跨度结构，但采用这种方法会减小使用空间。

托梁拔柱是在不拆或少拆上部结构的情况下，拆除、更换或接长柱子的一种处理方法。它适用于要求改变使用功能或增大空间的老厂改造。

对于原由多跨简支梁构成的公路或铁路桥梁及吊车梁等结构，也常采用在梁上增配负弯矩钢筋，补捣混凝土后浇层的加固方法加固。即把原来的单跨简支梁变为多跨连续梁，改变梁的受力状态，提高其承载力。

在钢结构中，也常采用改变受力体系的加固方法，使部分杆件的内力降低，提高结构的承载力。例如，在钢屋架平面外采用增设支撑桁架、连杆、支点等办法，使屋架由平面结构

变为空间结构；又如，把梁柱的连接由铰接改为刚接等。

1.4.5 外部粘钢加固法

外部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。常用的胶粘剂以环氧树脂为主配成。这种加固方法的优点是施工工期短，施工时可以不动火，加固后几乎不改变构件的外形和使用空间，却能大大提高结构构件的承载力和正常使用阶段的性能。

采用外部粘钢加固法时，通常是将钢板粘于梁底受拉区，以提高梁的承载力。当在梁侧粘贴钢板时，还可提高梁的斜截面承载力。这种方法常被用来加固承受静力作用下的混凝土（或型钢）受弯、受拉构件。但是，它要求环境温度不高于 60°C ，相对湿度不大于70%，并要求无化学腐蚀。粘贴钢板对施工工艺要求较高，一般应由专业队伍施工。

1.4.6 化学灌浆法

化学灌浆法是一种用压送设备将用化学材料配制的浆液灌入混凝土构件裂缝的修补方法。因灌入的浆液与混凝土较好地粘结并增强构件的整体性，所以，它可恢复构件使用功能，提高耐久性，达到防锈补强的目的。

化学浆液有两种：一种是以环氧树脂为主而配制成的环氧树脂浆液，它具有强度高、粘结力强、收缩小的特点，一般用于修补宽度为 $0.2\sim 0.5\text{mm}$ 的裂缝；另一种是以甲基丙烯酸甲酯为主而配制的甲液，它具有可灌性好的特点，能灌入 0.05mm 宽的细微裂缝中，一般用来修补缝宽在 0.2mm 以下的裂缝。

化学灌浆法常被用来修补因裂缝而影响使用功能的结构，如水池、水塔、水坝等，也用来修补混凝土梁、板、柱等构件以及因钢筋锈蚀导致结构耐久性降低的构件。

1.4.7 水泥灌浆或喷射修补法

水泥灌浆法是一种用压力设备把水泥浆液压入砖墙裂缝，使其粘合的修补方法。由于水泥浆液的强度远大于砌筑砖墙的砂浆强度，所以，用灌浆法修补的砌体承载力可以恢复如初，且费用较低，其缺点是需要专门的设备。这种方法主要用于因地震、温度、沉降等原因引起的砖墙裂缝的修补。

喷射修补法是一种用压缩空气将水泥砂浆或细石混凝土喷射到受喷面上并凝固成形喷射层的加固方法。喷射层能保护、参与甚至替代原结构工作，从而达到恢复或提高结构的承载力、刚度和耐久性等加固效果。喷射修补法因喷射层与原结构的粘结力强，施工方便，所以在加固工程中应用十分广泛，其缺点是需要专门设备。这种方法常用于：

- (1) 病弱混凝土的局部或全部更换；
- (2) 在板、梁等构件的下面增补混凝土；
- (3) 增大砖墙、柱、衬砌等结构构件断面；
- (4) 增设防水抗渗层；
- (5) 更换及增厚保护层混凝土；
- (6) 填补混凝土和修补砖石结构中的孔洞、缝隙及混凝土墙的麻面等。

1.4.8 加固地基基础的方法

地基基础的加固方法可分为基础加宽、加深及加固，桩式托换、地基处理等。

加宽基础的方法有直接加宽、抬墙梁加大基底面积和增设筏板基础等。这些方法施工简便，无需专门设备，常用于地基承载力不足及直接增层时的基础加固。当地基中有膨胀土或局部软弱土层等时，可分段挖去原地基土，新做混凝土墩或砖墩以加深基础。如果基础出现开裂，刚度或强度不足，那么，可采用化学灌注浆法、混凝土围套加固法或加厚基础法加固

基础。桩式托换是用增设桩的办法来托换原基础。托换桩的承载力一般都较大，可用于承载力严重不足以及外套框架增层法的基础。地基处理的方法有石灰桩挤密地基和灌浆法加固地基两种，由于灌浆材料价格较高，因此，后者通常用于加固深度为 3~5m 的地基处理。

1.5 结构加固的基本原理

1.5.1 加固结构受力特征

加固结构受力性能与一般未经加固的普通结构的受力性能有较大差异。体现在：

首先，加固结构属二次受力结构，加固前原结构已经荷载受力（即第一次受力），尤其是当结构因承载能力不足而进行加固时，截面应力、应变水平一般都很高。然而，新加部分在加固后并不立即分担荷载，而是在新增荷载，即第二次加载时，才开始受力。这样，整个加固结构在其后的第二次荷载受力过程中，新加部分的应力、应变始终滞后于原结构的累计应力、应变，原结构的累计应力、应变值始终高于新加部分的应力、应变值，原结构达极限状态时，新加部分的应力应变可能还很低，破坏时，新加部分可能达不到自身的极限状态，其潜力得不到充分发挥。

其次，加固结构属二次组合结构，新、旧两部分结构存在整体工作共同受力问题。整体工作的关键，主要取决于结合面的构造处理及施工作业法。由于结合面混凝土的粘结强度一般远远低于混凝土本身强度，因此，在总体承载力上二次组合结构一般比一次整浇结构要低。

加固结构受力特征的上述差异，决定了各类结构加固计算分析和构造处理，不能完全沿用普通结构概念进行设计。

1.5.2 加固结构共同工作问题

加固结构受力，尤其是当结构临近破坏时，结合面会出现拉、压、弯、剪等复杂应力，特别是受弯或偏压构件的剪应力，有时相当大。加固结构新、旧两部分整体工作的关键，主要在于结合面能否有效地传递和承担这些应力，而且变形不能过大。结合面传递压力，主要是剪力和拉力。由于粘结强度低，且离散性大，结合面混凝土所具有的粘结抗剪和抗拉能力有时远不能满足受剪和受拉承载力要求，如梁、柱采用后浇混凝土加固时，尚需配置一定数量的贯通结合面的剪切-摩擦筋，利用钢筋所产生的被动剪切-摩擦力来抵抗结合面所出现的剪力和拉力。混凝土加固结构结合面受剪承载力，根据中国建筑科学研究院结构所的试验研究，可按下式计算：

$$\tau \leq f_v + 0.56 \rho_{sv} f_y \quad (1-1)$$

式中： τ ——结合面剪应力设计值；

f_v ——结合面混凝土抗剪强度设计值，按表（1-1）采用；

ρ_{sv} ——横贯结合面的剪切-摩擦筋配筋率， $\rho_{sv} = A_{sv} / (bs)$ ；

A_{sv} ——配置同一截面内箍筋各肢的全截面积；

b ——截面宽度；

s ——箍筋的间距；

f_y ——剪切-摩擦筋抗拉强度设计值。

表 1-1 结合面混凝土抗剪强度

N/mm²

混凝土强度等级		C10	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C60
粘结抗剪	标准值 f_{vk}	0.25	0.32	0.39	0.44	0.50	0.54	0.58	0.62	0.66	0.73
	设计值 f_v	0.19	0.24	0.29	0.33	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.54
混凝土 本身抗剪	标准值 f_{vk}	1.25	1.70	2.10	2.50	2.85	3.20	3.50	3.80	3.90	4.10
	设计值 f_v	0.90	1.25	1.75	1.80	2.10	2.35	2.60	2.80	2.90	3.10

对于四面采用混凝土围套加固的梁、柱，由于配置有贯穿结合面的封闭式箍筋，且混凝土围套在结合面受力过程中，部分是以整浇混凝土形式参与抗剪和抗拉，其结合面承载能力与非封闭的单面或双面加固时的相比要大得多。

式(1-1)是保证混凝土加固结构新、旧两部分按整体截面共同工作的必要条件，但并非充分条件。试验表明，即使是轴心受压，加固柱的初始纵向裂缝，也总是最先出现在结合面，致使新、旧两部分过早分离而单独受力，降低了结构整体刚度，因此，加固柱试验破坏荷载比整浇对比柱试验破坏荷载要低。

在实际设计时，加固结构承载力可采用截面组合系数（或称共同工作系数） ψ 予以衡量。根据有关试验研究， ψ 值主要与结合面构造处理和施工做法有关。当结合面经凿毛清洁处理，或涂刷胶质界面剂处理，且贯穿结合面配有定量剪切-摩擦筋（板无此要求），或构件四面采用封闭式钢筋混凝土围套加固时，在满足式(1-1)要求的前提下，可取 $\psi=1.0$ ；当结合面为非封闭式光滑表面或油污浸渍表面时，取 $\psi=0.8\sim 0.9$ 。

1.5.3 加固结构基本计算假定

加固结构的承载力与新、旧两部分的应力差或应变差直接相关，与原结构的极限变形值有关，与两部分材料的应力-应变关系有关。从理论上讲，只要这些关系确定，加固结构的承载能力就可用分析的方法求解。为使分析简化，参照《混凝土结构设计规范》(GBJ10-89) 规定，加固结构截面承载力，可按下列基本假定进行计算分析：

(1) 截面变形保持平面；

(2) 不考虑混凝土的抗拉强度；

(3) 混凝土轴心受压的应力 σ_c 与应变 ϵ_c 的关系曲线为抛物线，极限变形值取 $\epsilon_{c0} = 0.002$ (见图 1-1)。其计算公式为：

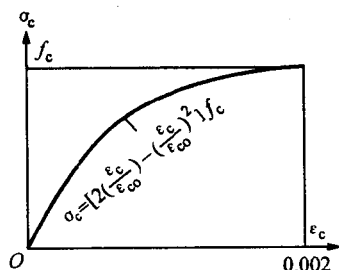


图 1-1 混凝土轴心受压应力-应变关系

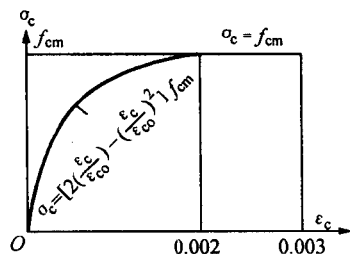


图 1-2 混凝土非均匀受压应力-应变关系

$$\sigma_c = \left[2 \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c0}} \right) - \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c0}} \right)^2 \right] f_c \quad (1-2)$$

式中， f_c 为混凝土轴心抗压强度设计值。

(4) 混凝土非均匀受压时的应力 σ_c 与应变 ϵ_c 关系曲线为抛物线和水平线的组合曲线, 极限变形值取 $\epsilon_{cu}=0.003$ (见图 1-2), 其计算公式为:

$$\sigma_c = \begin{cases} \left[2 \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c0}} \right) - \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c0}} \right)^2 \right] f_{cm}, & \epsilon_c \leq \epsilon_{c0}; \\ f_{cm}, & (\epsilon_{c0} < \epsilon_c \leq \epsilon_{cu}). \end{cases} \quad (1-3)$$

式中, f_m 为混凝土弯曲抗压强度设计值。

(5) 砌体受压应力 σ_m 与应变 ϵ_m 关系为对数关系, 按下式计算, 极限变形值取 $\epsilon_{mu} = 0.00521/\sqrt{f_m}$ (见图 1-3)。

$$\epsilon_m = -\frac{1}{460\sqrt{f_m}} \ln \left(1 - \frac{\sigma_m}{1.1f_m} \right). \quad (1-4)$$

式中, f_m 为砌体抗压强度设计值。

(6) 钢筋应力 σ_s 与应变 ϵ_s 关系曲线为直线和水平线之组合折线, 按下式计算, 受拉钢筋极限变形值取 $\epsilon_{su}=0.01$ (见图 1-4)。

$$\sigma_s = \begin{cases} \epsilon_s E_s, & (\epsilon_s E_s < f_y); \\ f_y, & (\epsilon_s E_s \geq f_y). \end{cases} \quad (1-5)$$

式中, E_s 为钢筋弹性模量。

(7) 加固结构承载力极限状态, 是以截面变形达下列情况之一时出现: 当原混凝土 (或砌体) 或新加混凝土 (或砌体) 压应变达混凝土 (或砌体) 极限变形值 ϵ_{c0} (或 ϵ_{mu}) 或 ϵ_{cu} 时; 当原钢筋或新加钢筋拉应变达钢筋的极限变形值 ϵ_{cu} 时; 当混凝土 (或砌体) 极限变形值达 ϵ_{cu} (或 ϵ_{mu}) 及钢筋极限变形值达 ϵ_{su} 时。

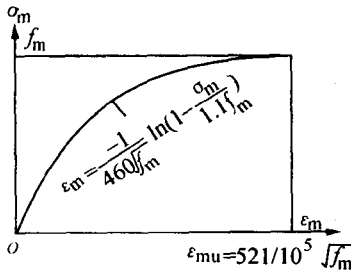


图 1-3 砌体受压应力-应变关系

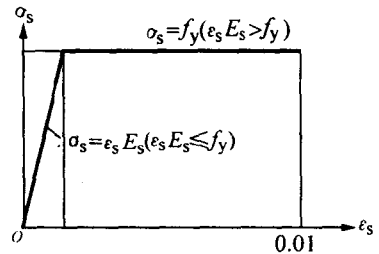


图 1-4 钢筋应力-应变关系

1.5.4 加固结构承载力极限状态设计表达式

加固结构的承载力设计应采用下列极限状态设计表达式:

$$\gamma_0 S \leq R; \quad (1-6)$$

$$R = R(f_{s1}, f_{s2}, f_{s1}, f_{s2}, \beta, \beta_k, \psi, a_k \dots) \quad (1-7)$$

$$\beta = S_k/R_k, \beta_k = \epsilon_{c1}/\epsilon_{c0}.$$

式中: γ_0 ——加固结构的重要性系数, 对安全等级为一级、二级、三级的结构构件, 可分别取为 1.1, 1.0, 0.9;

S ——内力组合设计值, 按国家标准《建筑结构荷载规范》(BGJ 9-87) 的规定进行计算;