

结构设计及计算丛书

结构加固设计及 实用计算

王全凤（丛书主编） 黄奕辉 杨勇新 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn



结构加固设计及 实用计算

王全凤 (丛书主编) 黄奕辉 杨勇新 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

本书从结构加固原理、加固方法的适用范围、加固设计施工方法以及应用实例等方面着重介绍了目前国内应用较广的几种结构加固技术,内容包括钢筋混凝土结构加固设计、砌体结构加固设计、钢结构加固设计及木结构加固设计。书中内容涵盖了各种主要类型构件的加固理论和实用加固方法,并紧密结合工程应用情况和发展趋势,介绍了结构加固的最新成果。内容简明扼要、深入浅出、概念明晰、系统全面,实用性强。

本书可供工程结构设计、施工、监理和工程管理人员使用,也可作为大专院校相关专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

结构加固设计及实用计算/王全凤,黄奕辉,杨勇新编著.

北京:中国电力出版社,2009

(结构设计及计算丛书)

ISBN 978-7-5083-8869-4

I. 结… II. ①王…②黄…③杨… III. ①建筑结构-加固-结构设计 ②建筑结构-加固-结构计算 IV. TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 081043 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2010 年 1 月第一版 2010 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 11.25 印张 273 千字

印数 0001—3000 册 定价 25.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

在国民经济持续高/快速发展的大好形势下,作为国民经济重要支柱的建筑行业,正面临高质量、高标准的严峻要求和挑战,同时也提供了迅猛发展的大好机遇。此外,由于设计和施工可能错误、使用功能的改变以及灾害等事故的影响,也有大量的工程项目需要加固修复。如何经济合理地进行工程结构设计是一个既复杂而又在实际工作中需要解决的问题。为此,我们组织编写了结构设计及计算丛书,这套丛书的作者都是多年从事教学、科研、设计,具有丰富经验的、在一线工作的教师和工程师。

科学的东西往往是简洁的,内涵深刻的数学往往在形式上具有出奇的简洁之美。如牛顿第二运动定律,一个极简洁的数学公式就囊括了世间万事万物。隐含在科学中的工程技术与科学相通,简洁为至美。在英国泰晤士河畔有一座举世闻名的大本钟,世界一流的瑞士钟表制造商对这个超大型巨钟的准确走时也没有一点把握。英国人本杰明大胆承接了这项工程。他解决走不准的方法极为简单,就是在钟摆上放置或取下一枚便士。一枚小小的便士,居然起到了四两拨千斤的作用。大自然的线条、古老而鲜活的禅语、质朴的人际关系等,无不因其简而美。追求简洁正是人类创造性思维的最普遍原则。为了进一步提高现有的工程结构技术人员的综合素质,帮助即将从事工程结构设计的人员尽快掌握这门技术,挖土取金,简洁、实用易懂、便于自学是本丛书编写遵循的原则。

书中融入了近年来国内外学者及丛书作者在工程结构设计计算方面的理论研究成果,深入浅出地分析了设计计算方法的工程应用和典型的工程案例,力求达到理论推导删繁就简、基本概念清晰完整、计算方法简单实用、实际操作规范。

丛书内容包括工程结构设计计算的基本概念和简单的理论分析,重点是结构设计计算的基本方法 and 应用。它的主要特点:

第一,内容广泛,涵盖各种主要结构的设计;取材适当,重点突出,强调设计计算方法和应用。

第二,定位的结构设计计算方法大多是基础性的和应用较广、行之有效的方法。每章有概述和例题,枚举的例题都有浓厚的工程背景,力求典型、计算简

单、便于验证。以例题学习方法，举一反三。

第三，为了方便离开大学课堂有一定时间的读者，在介绍结构设计的某种方法之前，简要介绍其计算原则，为读者进一步提高奠定基础。

本丛书适合在职的工程技术人员和即将从事工程结构设计人员的进修、自学和参考。阅读本丛书只要具备一般理工科大专的基础即可。希望本丛书能为促进我国工程结构的健康发展作出有益的贡献，同时对从事工程结构检测、设计、施工、质量监督和建设工程监理等技术人员有所裨益。

王金凤

2007年3月于泉州

众所周知,世界上经济发达国家的工程建设大致经历了三个阶段,即大规模建设阶段,新建与改建、维修并重阶段及既有建筑物的维修改造阶段。目前,经济发达国家基本上处于第三阶段,而我国改革开放以后,随着经济建设的发展,进入了一个大规模建设时期,同时,由于设计和施工错误、使用功能的改变以及火灾等事故的影响,也有大量的工程项目需要加固修复。

我国的工程结构中,混凝土结构、砌体结构及钢结构的应用十分广泛。由于结构用途改变、荷载增加、自然灾害的作用、设计存在失误或标准较低、施工质量差、环境侵蚀及维护不善、老化等的存在使既有的结构存在承载力不足或使用功能不满足要求等问题,为了改善这些结构的使用性能,提高结构抗力,延长其服务年限,需要进行重建或加固。从环境保护和经济方面来看,在许多情况下对混凝土结构进行加固比重建更为合理,特别是在可以使用快速有效、简便的加固方法的情况下,加固尤其有效。因此,各种混凝土结构加固修复技术应运而生,并不断发展。目前常用的结构加固方法有加大截面法、外包钢法、植筋法、纤维增强复合材料(FRP)加固方法等。

本书从加固原理、各种方法的适用范围、设计施工方法以及应用实例等方面着重介绍了目前国内应用较广的几种结构加固技术,为工程设计与研究人员提供基础资料。

本书主要特点:基于我国的最新规范编写;直接针对工程设计;算例丰富全面并且完全取材于工程实际;内容全面,涵盖各种主要类型的各种构件的加固理论和实用加固方法;紧密结合工程应用情况和发展趋势,介绍结构加固的最新成果。

本书在编写过程中引用了有关著者、编者的资料,在此一并致谢。

由于时间仓促,并限于编者经验与水平,不妥和疏漏之处恳请同行和读者们指正。

编者

2009年3月

序
前言

第一章 概述	1
第一节 加固的基本概念	1
第二节 加固的基本原则与原理	7
第三节 常用的加固基本方法介绍	10
第二章 钢筋混凝土结构加固设计	14
第一节 概述	14
第二节 加大截面加固法	15
第三节 置换法加固混凝土柱	29
第四节 预应力加固法	31
第五节 外包钢加固混凝土柱	52
第六节 粘贴纤维增强复合材料加固法	57
第七节 粘贴钢板加固法	81
第八节 增设支点加固法	95
第三章 砌体结构加固设计	98
第一节 概述	98
第二节 砌体裂缝修补	98
第三节 砌体抗压加固	100
第四节 砖柱加固	108
第五节 抗震构造加固	110
第六节 高性能新型建筑材料在加固砌体结构中的应用	113
第四章 钢结构加固设计	118
第一节 概述	118
第二节 改变结构计算图形的加固	120
第三节 加大构件截面的加固	122
第四节 连接的加固	127
第五节 裂缝修补加固	130

第六节	其他方法及特殊工程实例·····	131
第七节	FRP 加固钢结构技术 ·····	137
第五章	木结构加固设计 ·····	145
第一节	概述·····	145
第二节	木结构的常用防腐处理方法·····	148
第三节	木构件加固技术·····	150
第四节	木结构房屋的抗震加固·····	159
第五节	FRP 加固木结构原理 ·····	163
第六节	木结构加固计算范例·····	165
参考文献	·····	172

第一章 概 述

第一节 加固的基本概念

一、建筑物维修、加固、改造业的产生及发展

建筑物和构筑物在长期的使用过程中,由于受到自然环境的侵蚀、使用状况的影响及自身材料的特性而出现结构损伤和老化,结构功能将逐渐下降,甚至无法满足正常的使用要求,是客观规律。但是,如果建立一套使用监督机制,按计划对建筑结构损伤进行科学的检测、鉴定和评估,并采取相应的加固修复技术进行处理,可以减缓结构损伤的进程,达到延长结构使用寿命的目的。

第二次世界大战结束以后,经济发达国家的工程建设大致可以划分为三个阶段:第一阶段以大规模新建为主。世界各国特别是欧洲都面临着战后的重建,以满足人们最基本的生产和生活需求,这一阶段的建设以量大标准相对较低为特点。第二阶段为新建与维修改造并举。随着社会的进步和经济的发展,人们对建筑标准的要求越来越高,原来的建设标准已经不能满足人们的需要。对已有的建筑进行维修、加固、改造使之满足社会的要求,成了必然的选择,这在很大程度上推动了对已有建筑物进行鉴定和加固技术方面的技术研究,这一阶段的建设以新建与改造、加固并重为特点。第三阶段以建筑物改造和维修加固为主、新建为辅,在本阶段中,建筑物维护、加固、改造是以满足人们对现代化生活要求为主要特点。

例如,英国在 1975~1980 年间,就出现新建工程数量和费用逐年减少,而建筑物维修、加固改造的项目和费用却逐年增加的迹象。1980 年,用于建筑物维修、加固、改造工程项目的费用占建筑工程总费用的 33%,这一数据在 20 世纪 90 年代初期已达 70%。瑞典 1983 年用于维修、加固、改造工程项目的费用占建筑工程总费用的 50%。德国在 20 世纪 80 年代用于维修、加固、改造工程项目的费用占建筑工程总投资的 60%,进入 90 年代后达到 80%。美国 20 世纪 90 年代初期用于旧建筑物维修和加固上的投资约占建设总投资的 50%,当时,美国劳工部在预测 2000 年热门行业时,认为建筑维修改造业将成为最受欢迎的九类行业之一。

随着全球环境的不断恶化,自然灾害逐年增加,人们的环保意识逐步得到增强。1992 年 6 月 3~14 日,联合国环境与发展大会在巴西里约热内卢举行。183 个国家的代表团和联合国及其下属机构等 70 个国际组织的代表出席了会议,102 位国家元首或政府首脑亲自与会。会上,“高消费、高污染”的传统发展模式受到普遍批判,环境保护和经济发展相协调,走可持续发展的道路,成为各国的共识和会议的基调。大会通过了《里约环境与发展宣言》和《21 世纪议程》两个纲领性文件。新建的建筑工程项目消耗了大量的自然资源,其中绝大部分的资源是不可再生的。同时,拆除的旧建筑物产生了大量的固体建筑垃圾,需占用大

量的土地堆放,又破坏了自然环境,严重地影响了正常的生活秩序。这违背了“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”的可持续发展精神。在这种时代背景下,尽可能地延长建筑物的使用寿命成了全球的共识。对已有的建筑物进行维修、加固与改造,具有广阔的前景。

二、我国建筑加固改造行业现状

目前,我国建筑业已经步入了建筑业的第二发展阶段的门槛。最近几年来,对已有建筑进行改造、维修、加固已逐渐成为热点。但对已有建筑物现代加固改造技术的研究还处于起步阶段,虽然发展迅速,并已取得了一些研究成果,但总体水平较低,建筑加固改造市场秩序还比较乱,缺少统一的行为准则来规范人们的业务活动。例如,结构设计基本上是针对构造和承载能力不足的构件,缺乏从结构总体上的把握与判别。由于对个别构件的加固会改变整体结构的刚度及刚度分布,从而导致地震作用的变化。甚至,违背了结构设计的基本概念设计,如混凝土结构设计中的强柱弱梁强节点等。此外,还有加固后构件的承载能力提高,防火等级却大幅度下降等问题,如粘贴钢板、纤维增强复合材料(FRP)加固中的有机胶的耐火性能较低。以上所提的这些问题,还需要从总体上把握,靠加固理论的提高来解决。

最近几年,新增的建筑加固企业如雨后春笋般迅速增加,业务水平参差不齐,为了规范行业行为,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GB 50367—2006《混凝土结构加固技术规范》、CECS77:96《钢结构加固技术规范》、CECS 161—2004《喷射混凝土加固技术规程》、CECS 220—2007《混凝土结构耐久性评定标准》、CECS146:2003《碳纤维片材加固混凝土结构技术规程》、JGJ 79—2002《建筑地基处理技术规范》、JGJ 123—2002《既有建筑地基基础加固技术规范》、GB 50023—1995《建筑抗震鉴定标准》、JGJ 116—1998《建筑抗震加固技术规程》、GB 50292—1999《民用建筑可靠性鉴定标准》、GB/T 50315—2000《砌体力学性能现场检测技术标准》、GB 50165—1992《古建筑木结构维护与加固技术规范》、GB 50221—1995《钢结构工程质量检验评定标准》和YB 9257—1996《钢结构检测评定及加固技术规程》等。标准委员会还制定了本领域的规范体系,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,并举办多次学术活动,进行技术研讨和交流。所有这些都有力地推动了我国建筑物加固改造行业技术的发展。

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) 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,大多数加固改造企业的技术水平不高。

(2) 目前,有相当数量从事建筑物加固改造的施工企业,一般只拥有几个固定的技术人员,实际操作的施工人员都是由流动班组组成,流动班组一般是由松散组织的临时工、民工组成的施工队伍。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,甚至违背设计意图的现象时有发生。

(3) 要对建筑物进行加固改造,就必须对建筑物的现状进行鉴定。目前,建筑物诊断技

术水平还比较低,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,检测手段比较落后,检验标准缺乏。

(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,施工操作随意性大。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的加固效果,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,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,如采用涂环氧树脂的钢筋,在混凝土表面涂防护涂料等。这在国内工程上很少应用。

(7) 对新出现的问题,技术储备不足。最近几年来,由于经济的发展,部分沿海地区出现河砂短缺,而直接在混凝土中使用未经处理的海砂,即将出现的大量“海砂屋”未能引起有关部门的高度重视。

(8) 近几年来,新增的建筑加固改造企业以几何级数的速度在递增,但是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。

三、工程结构损伤的原因

在役建筑物需要进行结构加固、改造的原因是多方面的,主要原因是结构的缺陷和损伤以及使用要求的改变,归纳起来主要有以下几方面。

(一) 自然灾害的侵袭

自然灾害是结构后天损伤的一个重要原因:

(1) 地震。这是迄今对建筑物破坏性最大的灾害,我国基本设防烈度达到7度、8度和8度以上的县市分别有700、200和30个左右,46%的城市分布在地震带上,2/3的大城市处于地震区。特别是早期的建筑物,抗震设防标准较低,使得震害较为严重。

(2) 火灾。在各类火灾中建筑火灾占80%左右,我国平均每年发生建筑火灾约3万起,直接经济损失非常严重。

(3) 水灾。我国沿江、沿海的城市很多,其中大陆海岸线长达18 000km,70%以上的城市分布在沿海地带,还有100多座大中城市的高程位于江河洪水水位之下,每年海洋灾害、水灾造成的直接经济损失超过20亿元。

(4) 风灾。我国沿海等地区每年都受热带暴风雨的威胁,还有很多地区受到强龙卷风灾害。据统计,风灾平均每年损坏房屋30万间以上。

此外,还有爆炸、冰灾等灾害。这些灾害都会遗留下来大量遭受破坏或损坏的建筑物,需要通过技术手段对其进行修复和加固。

（二）结构老化

1. 结构服役时间

我国在 20 世纪 50 年代前建造的建筑物，有相当一部分超过预定的设计基准期。

2. 使用环境引起的结构缺陷和损伤

结构在长期的使用过程中，在外部环境及使用环境的作用下，外部介质时刻都在侵蚀结构材料，使其组成材料劣化，工程结构的功能将逐渐衰退，甚至完全丧失，这是一个不可改变的客观规律。按照劣化作用的性质一般可以分为以下三类：

（1）物理作用：碰撞、振动、高温、高湿、温湿变化、霜冻及冻融现象、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等侵入结构内部，产生化学反应，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、多细胞作物等对工程材料的破坏等。

（三）设计缺陷

结构设计的过程是设计人员在对结构理论的理解、工程经验的总结以及对材料科学的认识的基础上，借助现代的设计辅助手段，通过结构选型、结构布置，并对结构进行简化假设，建立数学模型，进行受力分析和构件设计并采取相应的构造措施。在这一过程中，虽然设计人员在进行结构设计时，会最大限度地考虑影响结构安全和使用的诸多不利因素，并在结构上采取了各种各样的处理措施。但是，由于受设计时技术水平所限，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与设计分析时采取的数学模型所描述的相一致，使用中的实际状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，导致结构设计的先天不足。

（四）施工缺陷

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力、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手段等，都将导致建筑质量低劣，达不到设计要求。

新中国成立后，我国曾出现三次建设工程质量大滑坡：

（1）1958～1960 年大跃进时期。大规模工程建设兴起，在建筑业中存在建“百日楼”等浮夸风，导致工程建设质量下降。

（2）1972～1976 年文化大革命后期。经济建设开始恢复，但相应的规章制度已被废除，管理混乱，工程建设质量缺少基本保证。

（3）20 世纪 80 年代经济体制改革初期。工程建设规模迅速扩大，但管理体制不健全，技术力量薄弱，工程建设质量严重下滑。

进入 20 世纪 90 年代以来，我国国民经济持续快速发展，工程建设一直保持着较大的规模，建设队伍膨胀迅速，建筑业处于向市场经济转轨的时期，法制尚不健全，市场竞争中不规范和不正当行为突出，工程建设质量一直成为人们关心的内容。据 1994 年对 26 个省会城市和三个直辖市住宅工程质量的抽查结果，有 20% 左右的建设工程达不到合格标准。

工程建设中所出现的质量事故同样需要通过技术手段进行处理。

(五) 规范标准的提高

结构设计安全度的高低,是一个国家经济发展水平和资源状况、社会财富积累程度以及设计、施工技术水平与材料质量水平的综合反映。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在逐渐提高。由于历史原因,我国早期的规范是借鉴第二次世界大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,随着以后设计规范的修订,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,以前设计的结构同样也不能满足现行设计标准的要求。从保障人们生命财产安全的角度出发,相当数量的建筑结构需要加固。

(六) 使用不当

使用不当也会造成对工程结构的损害。对在役建筑结构而言,使用不当造成损伤的原因是多方面的。例如:随意改变使用功能,增大使用荷载;为了达到某种装修效果,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建等。

(七) 使用功能变化

虽然建筑设计人员在进行建筑设计时会在一定程度上考虑建筑使用功能的适应性变化,但是,一定数量的建筑物的功能滞后是社会发展、科技进步的必然结果,是任何时期都必须面对的普遍问题,其解决途径之一就是対老旧建筑物进行技术改造。

随着我国经济体制的改革,建筑物已经成为商品,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。同时,随着社会经济和文化的发展,人们对居住、工作环境的要求也在发生着变化,特别是对建筑空间、光照、通风、节能等方面的要求更是较过去发生了很大变化,这将导致相当数量的老旧建筑物相对新的功能标准而滞后。在工业建筑中,由于生产工艺和设备更新周期的缩短、建筑标准的提高,也有相当数量的旧建筑物难以适应工业技术的快速发展。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。

四、工程结构检测与鉴定

建筑物加固改造的基本程序: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。

(一) 结构的可靠性

建筑物使用者除了关心建筑功能外,更关心的是建筑物在实际的使用过程中是否真正安全可靠,是否能够完成设计时的预期使命,这也是进行设计、施工和使用阶段管理工作的重心所在。建筑物实际具有的可靠性,既取决于设计、施工阶段形成的先天条件,也取决于使用阶段的维护,任何先天和后天的失误、错误都可能降低建筑物的可靠性,甚至导致工程事故的发生。

同时,结构的安全可靠是对已有建筑加固改造的基础,对已有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。改造是一项对已有建筑进行全面的改造、扩

充、挖潜和加固等的综合性活动,是在已有建筑的基础上进行新的建筑创作活动,在安全、可靠、经济合理的前提下满足新的功能和新的设计标准要求。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,对已有建筑物进行全面的科学鉴定,采取合理、可靠的加固措施是已建建筑现代化改造的关键。

结构的可靠性是指结构在规定的时间内、在规定的条件下完成预定功能的能力,它包括安全性、适用性和耐久性,当以概率来度量时称为结构可靠度。

安全性:结构在正常施工和使用条件下承受可能出现的各种作用的能力,以及在偶然事件发生时和发生后仍保持必要的整体稳定性的能力。

适用性:结构在正常使用条件下满足预定使用功能的能力。

耐久性:结构在正常维护条件下随时间变化仍然能够满足预定功能的能力。

(二) 可靠性鉴定

现有建筑物的可靠性鉴定和拟建建筑物的可靠性设计并没有本质差别,它们都是通过对各种不确定因素的分析,控制或判定建筑物的可靠性水平,其理论基础都是结构可靠度理论;但是,在具体的分析过程中,现有建筑物的可靠性鉴定仍有着不同的特点,并不能完全套用结构设计中的校核方法,这主要是因为:

- (1) 建筑物已转变为现实的空间实体。
- (2) 建筑物所处的环境更为具体和明确。
- (3) 建筑物和环境的历史提供了新的信息。
- (4) 对建筑物的要求可能和原设计存在差别。

建筑物可靠性鉴定是指对现有建筑物上的作用、结构抗力及其相互关系进行调查、检测、试验以获取建筑物及其环境的相关信息,通过对结构的力学和可靠性进行综合分析,评估其结构的实际可靠性。它是建筑物可靠性控制过程中的一个重要环节,为建筑物的技术决策和方案制订提供依据。

对已有建筑物进行可靠性鉴定的主要目的是:

- (1) 为建筑物的日常技术管理和大、中、小修或抢修提供技术依据。
- (2) 为建筑物改变使用条件、改建或扩建提供技术依据。
- (3) 为确定建筑物遭受事故或灾害后的损坏程度、制定修复或加固方案提供技术依据。

(三) 鉴定方法

一般将建筑物的鉴定方法划分为三种:传统经验法、实用鉴定法和概率鉴定法。

1. 传统经验法

组织具有相应工程经验的专家,以原设计规范为依据,根据现场观察和计算分析,结合专家的个人专业知识和工程经验直接对建筑物的可靠性作出评价。这种方法虽然鉴定程序简单,但受检测技术和方法的限制,鉴定人员不能获得较准确和完备的数据和资料,也难以对结构的性能和状态作出全面的分析和评价,评判过程缺乏系统性,对建筑物可靠性水平的判断带有较大的主观性,鉴定提出的结论因人而异,为了确保建筑物处于安全状态,所提出的工程处理方案往往偏于保守,容易造成浪费。

2. 实用鉴定法

应用现代各种检测手段对建筑物及其环境进行周密的调查和检测,全面分析建筑物的性能、状态以及存在的问题和原因,以现行标准规范为基准,按照统一的鉴定程序和标准,从

安全性、适用性等多个方面对建筑物的可靠性水平进行综合评定。该方法的鉴定程序较为科学,能对建筑物性能和状态作出较准确和全面的评价,有合理、统一的评定标准,鉴定工作主要由专门的技术机构承担,因此,对建筑物可靠性水平的判定较准确,能够为建筑物维修、加固、改造方案的决策提供可靠的技术依据。

3. 概率鉴定法

在实用鉴定法的基础上,进一步利用统计推断方法分析影响特定建筑物可靠性的不确定因素,更直接地利用可靠度理论评定建筑物的可靠性水平。由于已有建筑物已转换为现实的实体,具有许多不同于拟建建筑物的特点,因此,以设计规范为基准评定已有建筑物的可靠性存在着许多不合理之处,而概率鉴定法则针对具体的已有建筑物,通过对建筑物和环境信息的采集和分析,评定建筑物的可靠性水平,评定结论更符合特定建筑物的实际情况。

(四) 鉴定标准

目前,在我国传统的经验鉴定法已被淘汰,普遍采用的是以建筑结构可靠度理论为核心的鉴定标准,有 GB 50292—1999《民用建筑可靠性鉴定标准》和 GBJ 144—1990《工业厂房可靠性鉴定标准》以及 YBJ 219—1989《钢铁工业建(构)筑物可靠性鉴定规程》。这些标准的编制原则是一样的,总体上属于实用鉴定法,但在一些原则性的规定和具体条款上已经引入了概率鉴定法的思想。从发展趋势看,概率鉴定法仍然是可靠性鉴定方法发展的方向,其理论基础是现有结构可靠度理论,也称为服役或既有结构可靠度理论。由于我国是一个多地震的国家,6度以上地震区几乎遍及全国各地。鉴于我国在1976年以前建造的建筑物绝大多数都没有考虑抗震设防,为了使所鉴定的建筑物遇到地震作用时,具有相应的安全储备,所以鉴定修建在地震区的建筑物时,应与抗震鉴定结合进行,鉴定后的处理方案也应与抗震加固方案同时提出。

第二节 加固的基本原则与原理

一、结构加固的特点

在进行一项工程的结构加固设计时,设计人员面对的是已建成并投入使用的建筑物,它与新建的工程项目在设计和施工方面都有着不同的特点:

(1) 除了要满足使用功能的要求外,还受到建筑物及其环境既有条件的限制。首先,建筑物原有的结构形式和布置、构件型式和尺寸、节点构造、结构材料等,对加固方案有很大的制约作用,加固设计中必须考虑与原结构在传力、承载方面的协调问题;其次,建筑物的使用环境对加固方案也有影响,如果建筑物内部长期存在着热源或水源,选材时就必须考虑材料的环境适应性。在施工方面,维修、加固作业常常会受到现有结构、生产设备、管道、电力设施等空间上的限制,使施工难度增大,大型的施工机械也难以发挥作用。

(2) 存在特有的新旧两部分结构材料共同工作的问题和应变滞后现象。加固结构的受力性能与未经加固的普通结构的受力性能存在较大差异。主要体现在:

1) 加固结构属二次受力结构,加固前原结构已经载荷受力(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会立即分担荷载,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载荷受力过程中,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,新加部分可能还达不到自身的极限状态,其潜力得不到充分发挥。

2) 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做法。由于结合面混凝土的黏结强度一般远远低于混凝土本身的强度,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。

3) 应变滞后现象。维修、加固中新增的材料只有与原结构紧密结合,共同工作,才能充分发挥其作用。对于钢筋混凝土构件,当采用外包混凝土、外包钢等方法加固时,如果外包的混凝土、钢材等与原结构是相互脱离、独立工作的,加固效果会明显减弱。同时,加固前原构件中实际上已存在一定的应力,而新增部分在刚开始时基本是处于无应力的状态,即使采用预应力加固或卸荷施工的方法,新增部分的应力水平也往往在较大程度上低于原构件中的应力。当加固后荷载进一步增加时,这种现象还依然存在,一般称之为应变滞后现象,它将影响到加固后构件的承载能力。

(3) 有可能对原结构带来负面效应。维修、加固本质上是对结构性能的一种改变,设计的目的是改善和提高结构的性能,但是维修、加固的效果是多方面的,在改善和提高结构某方面的性能时,有可能对结构其他方面的性能造成不利的影响。例如,对结构中部分构件的加固可能会造成结构刚度中心的变化或上下层间刚度比的变化,对结构大范围的加固则可能明显增加地基的应力,这些都可能给加固后的结构带来不利的后果。

(4) 施工工期一般较短,并且在施工期间往往还要维持正常的生产和使用。特别是工业建筑,加固施工时往往有吊车、风机等动力设备运行,这会给设计和施工带来较大的难度。

(5) 设计和施工的关系更为紧密。维修、加固存在许多不同于新结构设计和施工的特点,施工的可行性问题突出,一些重要的设计目标,如新旧材料的共同工作、加固件的锚固等,需要借助专门的施工方法和严格的施工过程实现,施工质量对维修、加固效果的影响更为显著。设计中一方面需要考虑作业空间、作业条件等可行性问题,另一方面也往往需要对施工过程、施工方法等提出特殊的要求,保证维修、加固的效果。

二、结构加固的基本原则

在对现有结构进行改造、加固、维护设计时,首先应保证原有结构的性能得到有效的改善和提高,并满足现行国家设计标准对结构可靠度的要求,同时还应考虑施工条件、施工工艺、施工工期、使用要求、加固成本等因素。设计步骤一般包括问题分析、拟定加固方案、可行性论证、加固后结构的力学分析和校核、详细设计等。为了使结构的改造、加固、维护设计具有良好的综合效益,设计中应遵守以下原则:

(一) 加固方案的制订要以整体效应为原则

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,还要考虑加固方案对整体结构的影响,避免或尽可能减小加固方案的负面效应,充分考虑加固措施对结构体系、未加固构件、地基等可能造成的不利影响。同时,要避免当某些构件不满足安全度要求时必然进行加固,但结构体系的加固往往会被忽视的现象。例如,个别构件加固后引起刚度和强度分布情况的变化,应从整个结构体系的安全角度来考

虑。同时,结构需要加固的原因很多,在选择加固方案时应综合考虑,尽可能使加固措施发挥综合效应,提高加固效率。因此,制定加固方案时,应全面、详细地分析整个建筑结构的受力情况,并注意以下几个方面的问题:

(1) 构件加固与结构体系加固的关系。从结构体系加固的角度出发,注意个别构件加固与结构体系加固的关系,从整个结构体系的安全角度来考虑结构构件加固和结构构件之间连接的加固对结构整体性的影响。

(2) 局部加固与整体加固的关系。当对个别构件加固后不影响整个结构体系的受力性能时,可以进行局部加固。

(3) 临时加固与永久加固的关系。临时加固的要求可以降低一些,永久加固的要求应高一些。

(二) 材料的选用和强度取值原则

(1) 尽可能保留和利用原结构构件,发挥原结构的潜力,避免不必要的拆除与更换。进行加固改造设计时,原结构的材料强度按如下规定取用:检测后,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,则按实测评定材料的强度等级,根据现行规范取值。

(2) 加固改造材料的要求。加固用的钢材一般选用 HPB235 或 HPB335,加固用水泥宜选取普通硅酸盐水泥,标号不应低于 425 号。

(3) 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。

(4) 加固所用黏结材料及化学注浆材料的强度一般宜采用成品的抗拉强度和抗剪强度。

(三) 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或按改造后的使用要求取值。一般情况下,在鉴定阶段对结构的验算仍按原设计荷载规范取值;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。

(四) 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构件的实测尺寸及材料强度等级确定。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。当加固后使结构的荷载发生变化,应对相关结构及基础进行验算。

(五) 与抗震设防相结合的原则

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 度以上地震区才需设防。为了使这些建筑物遇到地震时具有相应的安全保证,结合抗震加固方案制订承载能力和耐久性加固处理方案是非常必要的,抗震加固设计时需要特别考虑的问题为:

(1) 结构的刚度和强度分布要均匀,避免出现新的薄弱层。

(2) 竖向受力构件要连续,保证传力路线明确。