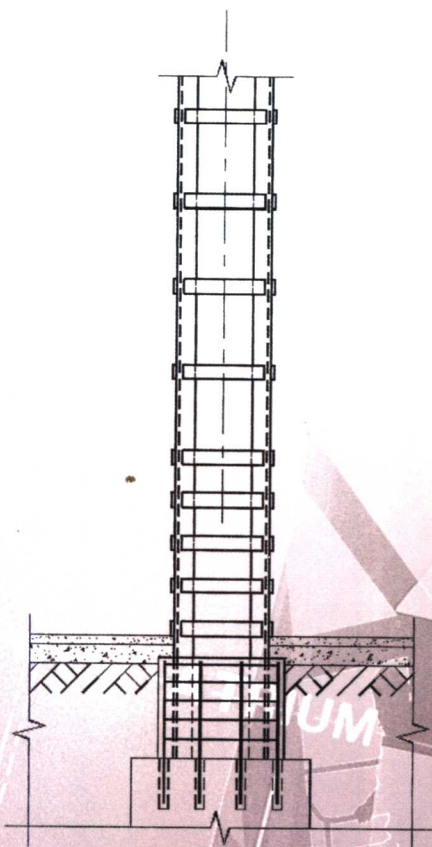


高等院校土木工程系列教材

建筑物可靠性鉴定和加固

—— 基本原理和方法

姚继涛 马永欣 编著
董振平 雷怡生



科学出版社

www.sciencep.com

高等院校土木工程系列教材

建筑物可靠性鉴定和加固

——基本原理和方法

姚继涛 马永欣 董振平 雷怡生 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书围绕建筑物的可靠性鉴定和加固,在介绍现行标准规范的同时,重点阐述了建筑物检测、鉴定、加固的基本原理和方法,包括结构可靠性理论、信息采集和处理、建筑物可靠性鉴定、建筑物及其使用条件的调查、各类结构构件的检测、建筑物的维修加固等内容,融入了国内外新近的研究成果和长期工程实践的经验,包括对相关国际标准的介绍。

本书可作为高等院校土木工程专业的教材,也可供从事建筑物检测、鉴定、维修、加固、改造以及工程质量事故、灾害事故处理的工程技术人员和管理人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

建筑物可靠性鉴定和加固——基本原理和方法/姚继涛等编著. —北京:科学出版社,2003

(高等院校土木工程系列教材)

ISBN 7-03-011224-5

I. 建… II. 姚… III. ①建筑结构-结构可靠性-高等学校-教材 ②建筑物-加固-高等学校-教材 N. ①TU311. ②TU746.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 014439 号

责任编辑:刘宝莉 / 责任校对:柏连海
责任印制:刘士平 / 封面设计:张 放

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

西 保 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2003年6月第 一 版 开本:B5 720×1000

2003年6月第一次印刷 印张:22 1/2

印数:1—4 000 字数:442 000

定价:28.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(环伟))

前 言

建筑物也有生老病死,要保证建筑的安全、正常使用,除了在设计、施工阶段为建筑物提供良好的先天条件,在使用阶段也需要对建筑物进行长期的维护,当建筑物出现损伤、老化等现象或遭受灾害时,还需要对建筑物进行检查和诊断,并采取相应的维修、加固措施。从可靠性工程的角度讲,对建筑物的管理和控制应跨越设计、施工、使用等各个阶段,是一项贯穿建筑物整个生命历程的系统工程。在早期的管理、控制活动中,人们普遍重视的是建筑物的设计和施工,在进入 20 世纪 70 年代以后,世界经济发达国家自第二次世界大战以来的工程建设已形成相当大的规模,而已有建筑物的性能逐渐步入衰减期,使用功能也逐渐滞后于工业技术和社会文化的发展,可靠性工程中的维护、检测、鉴定、维修、加固、改造等使用阶段的控制环节开始得到重视,而且人们也愈来愈多地认识到维修、加固、改造在社会经济发展中所占据的优势,维修改造业得到了迅速的发展。目前,世界经济发达国家在维修、加固方面的投资早已超出新建建筑方面的投资,而在我国基本建设的投资构成中,用于改建、扩建的投资比例也占据着绝对的优势。

建筑物的可靠性鉴定和加固涉及结构工程学、材料学、结构可靠性理论、数理统计、预测学等学科,以及检测、维修、加固等工程技术,具有较强的综合性。在对一座建筑物进行可靠性鉴定和制定维修、加固方案时,除了熟悉相关的标准规范,更重要的是对检测、鉴定、维修、加固等基本原理和方法的理解和掌握。本书不拘泥于对现行标准规范的介绍,注重对基本原理和基本方法的阐述,其中融合了作者十几年科学研究的成果和工程实践的经验总结,包括修订国家标准《工业建筑可靠性鉴定标准》过程中的研究成果。为便于读者了解当前国际研究的最新成果,书中还介绍了国际标准《结构可靠性总原则》(ISO2394)和《结构设计基础——已有结构的评估》(ISO13822)中的部分内容。

为便于读者特别是工程技术人员,理解建筑物可靠性鉴定和加固的原理和方法,书中尽可能通过人们熟悉的事物对其进行解释和阐述。

本书第一、二、三、四、五、七章由姚继涛编写,第六章由董振平编写,第八章由雷怡生编写,第九章由马永欣、高忠编写。王庆霖审阅了全书,韩晓雷、苏明周对本书的编写提出了宝贵的意见,张永利、吕飞飞、吴小强、张慧鹏担负了本书部分插图的绘制工作,在此一并向他们表示诚挚的谢意。

建筑物可靠性鉴定和加固的方法尚处于发展之中,书中包含了部分探索性研

究的成果,希望本书对从事建筑物检测、鉴定、维修、加固、改造以及工程质量事故、灾害事故处理的工程技术人员和管理人员有所裨益,也能够为学习土木工程的学生和从事土木工程教学和培训工作的教师提供一本适时的教材,同时希望读者对本书提出宝贵的意见和建议。

目 录

前言

第一章 绪论	1
1.1 建筑维修改造业的发展	1
1.2 建筑物可靠性工程	4
1.3 鉴定方法和相关技术的发展	6
第二章 结构可靠性基本理论	10
2.1 基本概念.....	10
2.2 结构可靠性设计.....	15
2.3 结构体系可靠性.....	18
2.4 小结.....	32
第三章 信息采集和处理	34
3.1 信息的质量要求.....	34
3.2 信息有效性.....	34
3.3 信息准确性.....	35
3.4 信息完备性	45
3.5 小结.....	49
第四章 建筑物可靠性鉴定	50
4.1 基本思想.....	50
4.2 鉴定程序.....	53
4.3 评定体系.....	54
4.4 结构力学分析和构件校核.....	63
4.5 地基基础安全性的评定.....	76
4.6 地基基础适用性的评定.....	79
4.7 上部结构安全性的评定.....	80
4.8 上部结构适用性的评定.....	89
4.9 围护系统适用性的评定	92
4.10 鉴定单元可靠性的综合评定	94
4.11 小结	94
第五章 建筑物和使用条件的调查	97
5.1 调查步骤和途径.....	97
5.2 使用条件的调查	104

5.3	建筑物地基的勘探	114
5.4	建筑物变形的观测	117
5.5	结构动力特性和反应的测试	123
5.6	小结	130
第六章	钢筋混凝土构件的检测	132
6.1	主要特点和检测内容	132
6.2	材料强度的检测	137
6.3	施工偏差与缺陷的检测	150
6.4	构件损伤的检测	157
6.5	结构性能检验和工作应力测试	179
6.6	构造的检测	186
6.7	小结	187
第七章	钢构件的检测	189
7.1	主要特点和检测内容	189
7.2	钢材性能的检验	198
7.3	质量缺陷和损伤的检测	205
7.4	变形和振动的检测	220
7.5	构造的检测	222
7.6	小结	223
第八章	砌体构件的检测	225
8.1	主要特点和检测内容	225
8.2	砌体强度的测试	226
8.3	缺陷和损伤的检测	249
8.4	构造的检测	264
8.5	小结	264
第九章	建筑物的维修和加固	266
9.1	基本原则与方法	266
9.2	增大截面法	270
9.3	外包钢法	290
9.4	预应力加固法	293
9.5	粘钢法	298
9.6	粘贴碳纤维法	303
9.7	增设支点法	312
9.8	裂缝修补	313
9.9	小结	320

附录

I	标准正态分布函数 $\Phi(u)$ 表	321
II	格拉布斯检验的临界值 $T_G(n, 1-\alpha)$ 表	323
III	狄克逊检验的临界值 $T_D(n, 1-\alpha)$ 表	323
IV	t 分布的 $t(n, p)$ 值	324
V	正态分布单侧容限系数 $K(C, n, R)$	325
VI	回弹法测强用表	330
VII	钢构件制作的允许偏差	339
VIII	钢构件安装的允许偏差	346
参考文献		350

第一章 绪 论

1.1 建筑维修改造业的发展

第二次世界大战之后,世界经济发达国家的工程建设大都经历了三个阶段:大规模新建;新建与维修改造并举;除部分新建外,重点转向维修改造。20 世纪 70 年代,建筑维修改造业的发展速度开始加快,各国相应加大了建筑物维修改造的投资比例,行业规模迅速扩大。

英国 1975~1980 年间新建工程数量和费用减少,建筑物维修改造的项目却逐年增加,1978 年用于维修改造的费用是 1965 年的 3.76 倍,1980 年建筑物维修改造工程占建筑工程总量的 $\frac{1}{3}$ 。瑞典建筑业 20 世纪 80 年代的首要任务是对已有建筑物进行更新改造,1983 年维修改造业的投资占建筑业总投资的 50%。德国在 20 世纪 80 年代用于厂房改建的投资占建筑总投资的 60%。同时,美国新建建筑业开始萧条,而维修改造业却迅速发展,美国劳工部在预测 2000 年热门行业时,曾断言建筑维修改造业将成为最受欢迎的九类行业之一。原苏联政府认为,在现代条件下城市改建和改造是城市建设的关键,20 世纪 80 年代后五年计划用于技术改造的投资比前五年增加了 1.7 倍。

我国“一五”期间(1953~1957)更新改造的资金只相当于同期基本建设投资的 4.2%，“三五”期间(1966~1970)达到 27%，“四五”期间(1970~1975)为 31.7%，“五五”期间(1976~1980)为 36.0%，1981~1984 年为 56.3%，“七五”期间(1986~1990)为 54.0%，而 1997、1998 两年改、扩建的投资比例均接近 90% (见表 1.1)。

表 1.1 我国 1997 年、1998 年固定资产投资(单位:亿元)

项目	1997 年		1998 年		1998 年与 1997 年相比	
	投资额	投资比例	投资额	投资比例	增长额	增长幅度
新建	381.82	10.5%	452.61	10.8%	70.79	18.54%
扩建	1947.48	53.7%	2324.42	55.5%	376.94	19.36%
改建	1298.31	35.8%	1407.51	33.6%	109.20	8.41%

建筑维修改造业之所以能够在当今的经济建设和社会发展中发挥日益突出的作用,与以下几方面的原因有关。

(1) 建筑物要遭受各种灾害的侵袭

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, $\frac{2}{3}$ 的大城市处于地震区。

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,直接经济损失约 10 亿元。

3) 水灾。我国大陆海岸线长达 18000km,70%以上的城市分布在沿海地带,每年海洋灾害造成的直接经济损失超过 20 亿元;还有 $\frac{1}{10}$ 的国土、100 多座大中城市的高程位于江河洪水水位之下,每年水灾造成的房屋倒塌事故有十万到数百万起。

4) 风灾。全球 15%以上的人口居住在有热带暴风雨危险的地区,包括美国东南部、日本、菲律宾、我国沿海等地区;另外,我国很多地区还有强龙卷风灾害。据统计,风灾平均每年损坏房屋 30 万间,经济损失十多亿元。

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,它们需要通过技术手段进行修复和加固。

(2) 工程建设质量事故难以避免

我国解放后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,但建筑业中存在建“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,但建筑业正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。

(3) 建筑物的性能随时间而衰退

在腐蚀、碰撞、振动、冻融等的长期作用下,建筑物的性能会逐渐衰退,导致建筑物的可靠度水平降低,甚至转化为危房。在我国曾出现的三次建设工程质量大滑坡中,除了当时已暴露的危险和倒塌建筑物外,各个时期都遗留下来相当数量质量

低下的建筑物,它们在使用环境中不利因素的长期作用下,一般在潜伏 20~30 年之后会逐步暴露出来,进入“性能快速衰减期”。

截止到 1980 年末,我国 200 多个城市中,危险住房约 3000 万平方米,占住宅总面积的 7%;危险工业建筑约 1300 万平方米,占工业建筑总面积的 3%。根据 1983 年原冶金部对重点钢铁企业的调查,钢铁行业三级工业建筑(可靠性不满足规范要求的建筑物)有 300 万~500 万平方米,所占比例为 10%~11%,其中危险工业建筑 30 万~45 万平方米,占三级工业建筑的 10%~15%。

建筑物在使用阶段需要通过维护、检测、监测、维修、加固等技术手段保证其可靠性。

(4) 老旧建筑物的功能相对滞后

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,也有相当数量的老旧建筑物难以适应工业技术的快速发展。

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,其解决途径之一是对老旧建筑物进行技术改造。

(5) 维修改造具有突出的经济和社会效益

维修改造能够以经济的技术手段保证已有建筑物,包括老旧建筑物,不断适应人类社会的发展。与新建建筑物相比,维修改造具有三个突出的优点:投资少,工期短,省空间。这些都会带来显著的经济效益,特别是时间和空间的节省,对工业生产和商业活动来讲,在效益方面往往起着决定性的作用。在城市旧区改造中,维修改造(包括增层改造)还有其他突出的优点:节约城市用地,节省管网建设,减少或避免住户搬迁,减少建筑垃圾,延长建筑寿命等,其中节约城市用地对缓解日趋紧张的城市用地矛盾有着重要的现实意义。

据原苏联的统计资料,按单位产品计算,改建比新建可节约投资 40%,缩短工期 50%,收回投资的速度比新建快 3~4 倍。我国钢铁行业 20 世纪 80 年代新建建筑仅增加 20%,而钢产量则从 3000 万吨增加到了 6000 万吨,主要依赖的是对原有建筑的改建和扩建。对山东省淄博市 1630 栋增层改造房屋的调查结果显示,增层改造比新建可节约投资 16863 万元,节约城市用地 140 万平方米,减少城市垃圾 167 立方米,减少搬迁户 25400 户,而我国城市现有房屋中,有 20%~30%具备增层改造的条件。据有关投资决策方面的研究,在我国上海地区,如果将一座单层厂房改造为多层写字楼,一般效益可达 30~40 倍。

1.2 建筑物可靠性工程

建筑物使用者关心的核心问题是建筑物在实际的使用过程中是否真正可靠,是否能够完成预期的使命,这也是一切设计、施工、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。因此,对建筑物可靠性的控制应贯穿建筑物的整个生命周期,包含与建筑物可靠性相关的所有活动,应是一项内容广泛、组织严密的系统工程,这里称其为建筑物可靠性工程。

可靠性工程的概念和方法在航空、机械、电子等领域应用已久,并取得了令人瞩目的成就。在土木工程领域,对建筑物可靠性的控制主要还是集中于建筑物的设计和施工阶段,而完整的控制过程实际上至少应包括以下主要环节:

设计 → 施工 → 维护 → 鉴定 → 维修、加固、改造 → 维护 → 鉴定 → ……

(1) 设计和施工

建筑物的可靠性首先决定于设计,特别是结构设计,它为建筑物的可靠性提供了最基本的保障。我国目前采用的结构设计方法是近似概率极限状态设计法,这是一种先进的设计方法,但这只为建筑物的可靠性控制提供了必要的条件,具体还应在方案设计、初步设计、技术设计、施工图设计等阶段严格控制设计的质量。施工是建筑物由设想转为现实的过程,涉及选材、制作、安装、浇筑等具体环节,影响因素众多,施工工序复杂,是建筑物可靠性控制中极其关键的环节,它与设计共同决定了建筑物的先天条件。实践证明,绝大多数工程事故的发生都与设计失误、施工错误等有关(见表 1.2 和表 1.3),特别是施工错误,因此保证和提高设计和施工的质量对于建筑物的可靠性控制有着非常重要的意义。

表 1.2 我国 1987 年 47 起房屋倒塌事故的发生原因

发生原因	事故起数	比例	说明
设计错误	10	21%	设计、施工方面共占 77%,使用方面占 23%
施工质量低劣	8	17%	
设计、施工均有错误	1	2%	
建筑材料不合格	1	2%	
使用不当	11	23%	
无图纸或不正规设计	16	34%	

表 1.3 我国 1984 ~1988 年部分房屋倒塌事故的发生时间

年 份	施工期间发生的事故	使用期间发生的事故	说 明
1984	69.7%	30.3%	施 工 期 间 平 均 占 77.5%,使用期间平 均占 23.5%
1985	93.0%	7.0%	
1986	82.9%	17.1%	
1987	66.7%	33.3%	
1988	79.3%	20.7%	

(2) 维护

建筑物建成交付使用后,并不意味着可靠性工程的完结。

1) “正常使用”和“正常维护”是结构可靠性设计的前提,只有在这样的前提下才能保证实现预期的目标,这是结构设计对建筑物使用阶段提出的基本要求。

2) 在实际使用环境中,可能存在着设计时难以预先考虑或被忽视的因素,需要通过使用阶段的管理和维护,减轻或避免它们对建筑物性能和可靠性的不利影响。

3) 设计、施工中遗留下来的质量缺陷,需要通过使用阶段的管理和维护来弥补。建筑物中存在的各种隐患,也只有通过使用阶段的管理和维护才能被及时发现和消除。

4) 建筑物本身存在着性能衰退现象,也难免遭受人为的损伤,客观上需要通过使用阶段的管理和维护来控制。

这些决定了使用阶段的管理和维护也是建筑物可靠性工程中一个非常必要的环节,但是由于建筑物因使用不当、维护不周而出现的问题往往需要经过较长的时间才会被发现,而且在分析问题时也习惯于从设计和施工方面查找原因,从而容易忽视对建筑物的管理和维护,使其成为建筑物可靠性控制过程中的一个薄弱环节。在这一方面人们已经有了不少的教训,特别是在工业建筑的管理和维护方面。据不完全统计,1960~1981 年钢铁工业建筑共发生倒塌事故 35 起,其中 57.1%与建筑物的使用和维护有关(见表 1.4)。

表 1.4 我国 1960 ~1981 年钢铁工业建筑的倒塌事故

倒 塌 原 因	发生起数	比 例	说 明
积灰超载	12	34.3%	57.1%与建筑物的使用 和维护有关
冰、雪、灰超载	2	5.7%	
结构老化变形、材质恶化	3	8.6%	
火灾或其他灾害	3	8.6%	
改造不当	4	11.4%	
设计施工错误	4	11.4%	
地震破坏	7	20%	

(3) 鉴定

鉴定是建筑物可靠性控制过程中的一个特殊环节,主要是应用调查、检查、测试等手段获得建筑物及其环境的相关信息,通过结构的力学和可靠性分析,对建筑物的可靠性水平作出评价,为建筑物的技术决策和方案制定提供依据。如果缺少这一环节或者可靠性鉴定的结论不准确、不全面,则难以使建筑物的维修、加固、改造等取得良好的效果,而且可能遗漏或铸成新的隐患,实际工程中存在着因鉴定结论不准确或不全面而酿成工程事故的实例。

(4) 维修、加固、改造

这是保证建筑物继续使用、不断适应人类社会发展的关键环节,主要是针对建筑物实际存在的问题,通过维修、加固等技术手段恢复或提高建筑物的可靠性,或者根据新的使用要求和标准,通过改造等技术手段,改变结构构件或结构的形式,使其适应新的功能要求。维修、加固、改造本身也包含着设计、施工等环节,但相对新建筑的设计和施工,它们有着一定的特殊性。如果加固或改造不当,则可能酿成新的工程事故。在我国 1960~1981 年钢铁工业建筑的 35 起倒塌事故中,有 4 起是因改造不当引起的。

建筑物的可靠性工程是对建筑物整个生命历程的全过程管理,既涉及材料学、结构理论、可靠性理论等基础理论,也涉及施工、维护、检测、监测、维修、加固、改造、解体、移位等诸多的工程技术,同时它还依赖于系统的法律制度、规范体系和管理制度。目前,我国对建筑物的使用并没有制定统一的管理标准,主要由业主或使用者根据具体的情况制定相应的管理制度,但在技术方面,则建立了较为完善的规范体系,内容基本可概括为“设计”、“材料”、“施工”、“勘察、试验和检测”、“质量评定和鉴定”、“维修、加固和改造”等方面。1998 年 3 月我国颁布实施了《中华人民共和国建筑法》,对建筑工程的施工许可、从业资格、发包承包、工程监理、安全生产管理、工程质量管理、法律责任等作了原则性的规定。这是我国的第一部建筑法,对于控制建设质量和保证建筑物的可靠性有着非常重要的意义。

1.3 鉴定方法和相关技术的发展

1.3.1 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、概率鉴定法。

(1) 传统经验法

由有经验的专家通过现场观察和简单的计算分析,以原设计规范为依据,根据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。该法鉴定程序简单,但由于受检测技术和计算工具的制约,鉴定人员难以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,因此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,鉴定结论往往因人而异,而工程处理方案多数偏于保守,造成浪费。

(2) 实用鉴定法

应用各种检测手段对建筑物及其环境进行周密的调查、检查和测试,应用计算机技术以及其他相关技术和方法分析建筑物的性能和状态,全面分析建筑物所存在问题的原因,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、适用性多个方面综合评定建筑物的可靠性水平。与传统经验法相比,该法鉴定程序科学,对建筑物性能和状态的认识较准确和全面,具有合理、统一的评定标准,而且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,更直接地利用可靠性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。

传统经验法基本已被淘汰,我国目前普遍采用的是以《民用建筑可靠性鉴定标准》(GB50292-1999)和《工业厂房可靠性鉴定标准》(GBJ144-90)为代表的鉴定方法。它们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引入概率鉴定法的思想。从发展趋势上讲,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性理论,也称为服役或既有结构可靠性理论。

1.3.2 检测技术

检测技术是建筑物可靠性鉴定所依赖的重要工程技术,它们的开发和应用在相当程度上决定着建筑物可靠性鉴定的水平。当前建筑物检测技术的发展呈现以下趋势:

(1) 检测内容趋于系统和深入

除了材料强度、构件尺寸和破损状况、结构变形和位移等,当前检测技术所测试的内容已扩展到材料、构件、结构的其他几何、力学性状以及物理、化学性状,如混凝土材料的含水率、水泥含量、氯离子含量、pH值和抗渗性,混凝土内部钢筋的位置、直径和锈蚀状态,构件内部裂缝、缺陷的发展,构件表面温度,构件的工作应力和静态、动态应变,结构动力特性和动力反应等。这些内容不仅涉及建筑物的安全性和适用性,也涉及建筑物的耐久性和使用寿命,检测内容的完善有助于人们更全面、深入地了解 and 掌握建筑物的性能和状况,为建筑物的可靠性鉴定提供更充足的依据。

(2) 检测方法日益先进和丰富

建筑物的检测方法发展较快,有很多技术已相当成熟,进入工程实用,如测试混凝土强度的回弹法、取芯法、超声回弹综合法和后装拔出法,测试混凝土缺陷和内部钢筋位置、直径的超声法,测试钢材和焊缝缺陷的超声法、射线法、磁粉法、渗透法和涡流法,测试构件表面温度的辐射测温法等。目前仍有许多机械、物理和化学的检测方法处于研究、开发之中,较为突出的包括测试混凝土强度的贯入阻力法和测钉压入法,监测混凝土裂缝、缺陷发展和测试混凝土强度、工作应力的声发射法,测试混凝土缺陷和钢筋位置的电磁法和放射线法,测试混凝土缺陷的红外线摄影法,测试混凝土含水率的电阻法、电容率法和中子散射法,测试混凝土水泥含量的中子活化法,测试混凝土抗渗性的透气法,测试钢筋位置、直径、锈蚀状况和钢材涂膜厚度的电磁感应法,测试钢筋锈蚀状态的自然电位法和线性极化法等。这些方法较已有的方法具有更多的优点,它们的开发和应用将提高测试的精度,扩展测试内容,为建筑物的检测提供更完备和先进的工具,也使工程技术人员能够在更大的范围内,根据建筑物和环境的具体情况选择适宜的检测工具。

(3) 检测仪器集成化和智能化

集数据采集和分析于一体、功能齐全、操作简便的检测仪器更多地得到了开发和应用,如可自动对建筑物进行多踪时域分析和频域分析的动测设备,根据温差探测混凝土的龟裂、破损部位的红外热摄像仪,采用轮式电极测试混凝土内部钢筋锈蚀状况的电位差式钢筋腐蚀检测仪,自动确定混凝土裂缝分布、宽度、长度等的彩色图像分析系统等。检测仪器的集成化和智能化不仅提高了检测工作的效率,而且可在很大程度上减小测试、分析工作中的人为错误和误差,为人们及时、准确地掌握建筑物的技术状况和环境条件提供先进的工具,这对于工程事故的处理和抢修有着特别重要的意义。

1.3.3 维修、加固、改造理论和技术

建筑物维修、加固、改造理论和技术的主要发展方向包括:

(1) 受损构件的力学性能

有先天缺陷、截面损伤、钢筋锈蚀等现象的受损构件的力学性能,与完好构件有着一定差别。首先,构件受损后的力学性能和状态会发生相应的变化,一般会导致受损构件出现应力集中现象,受压构件的附加弯矩增大,锈蚀钢筋的名义强度下降等。其次,受损构件的破坏机理可能改变。例如,在保护层因钢筋锈胀而脱落后,钢筋与混凝土之间的粘结性能下降,严重时剪应力在两者之间难以可靠传递,从而改变钢筋混凝土构件破坏的机理。第三,即使破坏机理不改变,构件受损后的控制截面和破坏类型也可能发生变化。例如,当构件的损伤发生在钢筋的锚固区时,锚固破坏就可能成为起控制作用的破坏类型。

(2) 加固、改造的基本原理和设计方法

结构经加固或改造之后,其力学性能同样会发生较大的变化。首先,加固、改造前原有结构已具有一定的应力、应变,在后期受荷时构件新加部分的应力、应变一般低于原有结构的应力、应变,这种现象称为“应变滞后现象”,它对结构的力学性能有较大影响。其次,结构的新、旧部分不是一次构成的,两者共同受荷时存在着协同工作问题,如新旧混凝土之间、混凝土构件与加固的外包钢材之间都存在着协同工作问题,它对结构的力学性能同样有着较大影响。第三,在加固、改造过程中有许多环节是通过特殊的构造措施和施工技术保证的,如后加钢筋的锚固,钢构件焊缝的补强加固等。第四,不恰当的加固、改造方案可能对原结构产生负面的效应,如增大基底应力,改变结构质量或刚度的分布等。这些决定了结构的加固、改造有着不同的力学原理和特殊的问题,并不能完全套用新建结构的分析理论和设计方法。

(3) 新型材料的开发和应用

结构维修、加固、改造的主要材料包括:恢复和提高结构承载能力的修复、加固材料,保证结构新旧部分协同工作的粘结、锚固材料,增强结构耐久性的防护材料等。目前得到较广泛关注的新型材料有碳纤维、复合纤维、高性能复合水泥灌浆料、钢纤维混凝土等修复、加固材料,混凝土界面处理剂、环氧砂浆等粘结材料,防腐砂浆、锈蚀钢筋表面处理剂等防护材料。

(4) 维修、加固、改造方法和技术

这方面的发展较快,目前的维修、加固、改造方法和技术已相当丰富,基本可概括为:受损构件的修复和防护技术,包括各类构件先天缺陷、裂缝、缺损等的修补技术和特殊环境下的防腐、防撞、隔热等防护技术;上部结构的加固技术,包括限荷和卸荷法、改变传力路径法、增设侧向支撑和约束法,加固材料与原构件相同的加大截面法、喷射混凝土法、压力灌浆法、绕丝法和焊缝补强法,加固材料与原构件不同的外包钢法、外包混凝土法、粘钢法、外粘碳纤维法、夹板墙法、增设扶壁柱法、压力灌浆法等;上部结构的解体和更新技术;建筑物的改造和扩建技术;地基加固和基础托换技术。

(5) 建筑物的复位、纠偏和移位技术

建筑物的不均匀沉降和倾斜事件并不罕见,因倾斜过度而拆除建筑物的实例也有发生,但是在一般情况下人们能够通过技术手段使建筑物复位或阻止沉降、倾斜的进一步发展,保证建筑物继续使用,这种技术目前已相当成熟。随着城市、企业改造规模的扩大,改变已有建、构筑物位置的要求也越来越多,但是一座建筑物的重量一般都在千吨甚至万吨之上,要完好地将建筑物平移甚至转动,在技术上有较大难度,也具有较大的风险。移位工程开展较早的是俄罗斯、东欧和欧美等国家,我国 20 世纪 90 年代初开始应用这项技术,目前已成功平移和旋转了几十栋建筑物,包括 6~7 层砖混结构和 5 层框架结构的建筑物。