

建筑防灾系列丛书

地震破坏与建筑设计

DIZHEN POHUAI YU JIANZHU SHEJI

建筑防灾系列丛书编委会 主编

中国建筑工业出版社

建筑防灾系列丛书

地震破坏与建筑设计

建筑防灾系列丛书编委会 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

地震破坏与建筑设计/建筑防灾系列丛书编委会主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2016. 9
(建筑防灾系列丛书)
ISBN 978-7-112-19676-0

I. ①地… II. ①建… III. ①建筑结构-抗震结构-防震设计 IV. ①TU352.110.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 194944 号

责任编辑: 张幼平

责任设计: 李志立

责任校对: 王宇枢 李美娜

建筑防灾系列丛书
地震破坏与建筑设计
建筑防灾系列丛书编委会 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)
各地新华书店、建筑书店经销
北京佳捷真科技发展有限公司制版
北京盛通印刷股份有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 15½ 字数: 318 千字
2017 年 5 月第一版 2017 年 5 月第一次印刷
定价: 38.00 元

ISBN 978-7-112-19676-0
(29140)

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)

建筑防灾系列丛书
Series of Building Disaster Prevention
指导委员会
Steering Committee

主任：	曾宪新	住房和城乡建设部工程质量安全监管司	副司长
	王清勤	住房和城乡建设部防灾研究中心	主任 教授级高工
副主任：	张 鹏	住房和城乡建设部工程质量安全监管司抗震处	处长
	赵基达	中国建筑科学研究院	总工程师 研究员
	贾 抒	住房和城乡建设部工程质量安全监管司技术处	处长
委员：	李引擎	住房和城乡建设部防灾研究中心	副主任 研究员
	王翠坤	住房和城乡建设部防灾研究中心	副主任 研究员
	黄世敏	住房和城乡建设部防灾研究中心	副主任 研究员
	高文生	住房和城乡建设部防灾研究中心	副主任 研究员
	金新阳	住房和城乡建设部防灾研究中心专家委员会	副主任 研究员
	宫剑飞	住房和城乡建设部防灾研究中心专家委员会	副主任 研究员
	程志军	中国建筑科学研究院标准处	处长 研究员
	尹 波	中国建筑科学研究院科技处	处长 研究员
	张靖岩	中国建筑科学研究院科技处	副处长 研究员
	王晓锋	中国建筑科学研究院标准处	副处长 研究员

《地震破坏与建筑设计》分册编写委员会

主 编：唐曹明

副主编：黄世敏

编 委（以姓氏笔画为序）

尹保江 毋剑平 史铁花 朱振宇 杨 韬 肖 伟 沙 安 沈 麒
易方民 罗开海 姚秋来 赵 海

前 言

我国地处环太平洋地震带和亚欧地震带，是世界上地震灾害最严重的国家之一，地震强度大、分布广、频率高、损失重。20世纪全球大陆7级以上地震35%发生在我国。

地震具有突发性强、难以预测的特点，目前地震的监测预报还是世界性难题，而且即使做到了震前预报，如果建筑工程自身的抗震能力薄弱，也难以避免建筑工程破坏程度很大的巨大损失。

近年来的特大地震灾害屡屡告诉我们，严格执行工程建设强制性标准，搞好新建工程的抗震设防，对原有未经抗震设防的工程进行抗震加固等，是减轻地震灾害最直接、最有效的途径和方法。新疆是我国地震频发而且烈度较高的地区，近年来新疆按照《建筑抗震设计规范》建造的抗震安居工程有效抵御了数次地震，未造成不可修复的破坏；发生在2008年的汶川地震，其震害经验表明，严格按照2001年版《建筑抗震设计规范》进行抗震设防的建筑，在遭遇比当地设防烈度高一度的地震作用下，没有出现倒塌破坏，达到了在预估的罕遇地震作用下保障生命安全的抗震设防目标。同样属于发展中国家的智利，20世纪60年代曾经历了惨痛的地震破坏，近半个世纪以来严格执行本国的抗震设计标准，在2010年初的特大地震中，建筑工程损失较小，有效保障了居民的生命财产安全，堪称奇迹。相比之下，因建筑工程未考虑抗震设防，早于智利地震一个月的海地地震，则给该国人民带去了不可磨灭的痛苦回忆。

国内外的地震经验教训表明，地震造成的损失主要来自于工程震害及其次生灾害，如何最大限度地减轻地震灾害损失，越来越成为各国政府和工程技术界关心并致力解决的问题。事实表明，虽然人类目前尚无法避免地震的发生，但切实可行的抗震措施使人类可以有效避免或减轻地震造成的灾害。

本书受“十二五”国家科技支撑计划课题“城镇重要功能节点和脆弱区灾害承载力评估与处置技术”（2015BAK14B02）资助。在编写过程中，借鉴国内外多位工程抗震专家的论文和著作，总结了近年来国内外大地震的经验教训，充分吸收了地震工程的新科研成果，注重实用性。全书共四章，内容包括有没有能

防震的建筑、什么样的建筑能防震、建筑的抗震设计和地震的次生灾害。由唐曹明研究员负责统稿，杨韬高级工程师和肖青工程师参加了校对工作。参加编写的人员为：沈麒副研究员编写第一、四章，毋剑平副研究员编写第二章 2.1 节，姚秋来研究员编写第二章 2.2 节和第三章 3.2 节，肖伟研究员编写第二章 2.3 节和第三章 3.3 节，唐曹明研究员编写第二章 2.4 节和第三章 3.4 节，史铁花研究员编写第二章 2.5 节和第三章 3.5 节，尹保江研究员编写第二章 2.6 节和第三章 3.6 节，易方民研究员编写第二章 2.7 节和第三章 3.7 节，沙安研究员编写第二章 2.8 节和第三章 3.8 节，罗开海研究员编写第三章 3.1 节。

在本书编写、审校过程中，得到了住房和城乡建设部防灾研究中心领导的大力支持和指导，并提出了宝贵的修改意见，在此表示衷心的感谢。同时对本书中参考和引用过文献资料的单位和作者，一并表示诚挚的谢意。

由于编者水平所限，书中难免存在疏漏之处，恳请读者和同行批评指正。

目 录

第一章 有没有能防震的建筑？

1.1 以往地震中建筑震害情况	1
1.1.1 2008 年中国汶川地震	1
1.1.2 2011 年日本东日本地震	2
1.2 未破坏建筑的特点	3
1.2.1 合理的结构体系	3
1.2.2 完善的抗震设计	4
1.2.3 良好的施工质量	5
1.3 如何使建筑更加耐震	5
1.3.1 抗震加固	6
1.3.2 非结构构件设计	8

第二章 什么样的建筑能抗震？

2.1 地震是如何对建筑作用的	11
2.2 砌体房屋	15
2.2.1 砌体结构的受力特性	15
2.2.2 砌体结构的变形特性	16
2.2.3 砌体结构中墙体的抗震性能	16
2.2.4 多层砌体房屋的抗震性能	19
2.2.5 砌体结构在地震下破坏过程	20
2.2.6 砌体结构的防震关键点	20
2.3 底部框架—抗震墙砌体房屋	29
2.3.1 受力、变形特性及抗震性能	30
2.3.2 地震下破坏规律及特点	40
2.3.3 防震关键点	47
2.4 空旷房屋	56
2.4.1 单层空旷砖房	57
2.4.2 钢筋混凝土空旷房屋	62
2.4.3 防震关键点	64
2.5 框架结构房屋	64

2.5.1	受力特性	66
2.5.2	变形特性	67
2.5.3	地震作用下的破坏过程	68
2.5.4	防震关键点	78
2.6	框架—剪力墙及剪力墙结构房屋	78
2.6.1	受力特性	80
2.6.2	变形特性	81
2.6.3	地震下破坏过程	82
2.6.4	防震关键点	86
2.7	钢结构房屋	89
2.7.1	钢结构的发展历史	89
2.7.2	钢结构的优越性(经济、性能、环保)	94
2.7.3	钢结构的主要结构形式及抗震性能	96
2.7.4	钢结构的主要震害	104
2.8	木结构房屋	110
2.8.1	木结构抗震性能好的主要原因	111
2.8.2	木结构房屋震害的主要问题	112

第三章 建筑的抗震设计

3.1	新型抗震技术:建筑隔震和消能减震	117
3.1.1	建筑隔震	117
3.1.2	消能减震技术	123
3.2	砌体房屋设计要点	127
3.2.1	抗震设计的一般要求	127
3.2.2	抗震计算要点	135
3.2.3	抗震构造要求	139
3.3	底部框架—抗震墙砌体房屋抗震设计要点	147
3.3.1	抗震设计基本要求	147
3.3.2	计算要点	155
3.3.3	抗震构造措施	160
3.3.4	薄弱楼层的判别及薄弱楼层弹塑性变形验算	164
3.4	空旷房屋设计要点	165
3.4.1	设防标准	165
3.4.2	概念设计	167
3.4.3	单层空旷砖房的结构布置和选型	175
3.4.4	钢筋混凝土空旷房屋的结构总体设计	180
3.5	框架结构房屋抗震设计要点	184

3.5.1	概念设计	185
3.5.2	地震作用效应计算与截面抗震验算	193
3.5.3	构件抗震构造措施	194
3.6	框架—剪力墙及剪力墙结构房屋设计要点	198
3.6.1	延性结构设计的几个概念	199
3.6.2	延性剪力墙结构设计要点	201
3.7	钢结构房屋设计要点	208
3.7.1	多、高层钢结构的抗震设计要点	208
3.7.2	大跨空间钢结构的抗震设计要点	226
3.8	木结构房屋设计要点	231
3.8.1	保障木结构更加抗震的原则	231
3.8.2	保障木结构抗震的主要措施	232

第四章 地震的次生灾害

4.1	火灾	235
4.2	海啸	236
4.3	滑坡、泥石流	238
4.4	放射性污染	239

第一章 有没有能防震的建筑?

有没有能防震的建筑?从纯理想的角度来说,只要把所有建筑物的抗震能力无限提高,那么就能满足,“不论多大的地震,地震灾害的发生率都会趋近于零”。但事实上,由于地震的不可预见性以及经济上的考虑,希望地震的破坏力和人的反破坏能力完全达到平衡几乎是无法实现的。因此,讨论建筑与地震的关系,必须在现实的经济可行性和地震可能的危害程度(用烈度和震级表示)之间进行博弈,而不能用“防震”这样的绝对化思路来应对;与其说是“防震”,不如说是“抗震”。

目前提高建筑抗震能力可行且行之有效的方法只能通过总结历次地震灾害的经验教训,逐步完善现有的抗震设计方法,并研发新型材料和抗震技术。

1.1 以往地震中建筑震害情况

实践表明,每一次大地震都是对建筑抗震设防的检验,同时会提供一些新的经验教训,也会提出一些新的问题。认真总结这些经验教训,研究新问题,必将有力推动工程抗震科学研究工作的发展,为制定各类工程抗震设计的规范、规程、标准,提供宝贵的第一手资料。地震的震害情况与地震特性、社会发展、抗震设计水平有关,现将近年内2次大地震震害情况进行统计。

1.1.1 2008年中国汶川地震

2008年5月12日,中国四川省汶川县发生8.0级特大地震,这次地震是新中国成立以来破坏性最强的一次地震,直接严重受灾地区达10万平方公里,遇难约7万人,受伤近4万人,失踪约2万人,直接经济损失达8亿多元。

汶川地震区的建筑结构形式主要有砖混结构、框架结构、砖土(木)结构等,其中砖混结构房屋的破坏情况最为严重。以震中北川县城为例,整个县城砖混结构的房屋倒塌约占整个倒塌房屋的70%以上,而这其中很多建筑都是学校、医院等重要建筑(图1-1、图1-2),因此造成的人员伤亡十分惨重。未倒塌的教学楼也都受到了不同程度的破坏,震中60%以上的教学楼成了危房,需要拆除重建。

图 1-1
2008 年中国汶川
8.0 级地震震害情
况



图 1-2
2008 年中国汶川
地震中较多学校
和医院破坏



造成这种严重后果的客观原因如下：

1. 汶川地震烈度已远远超过该地区的抗震设防烈度。
2. 中小学教学楼横墙间距大、道数少，层高高，外纵墙窗洞多，缺少足够的结构冗余度，结构整体性差，破坏特征表现为脆性。
3. 教学楼楼盖大量采用预应力多孔板。

汶川地震后，学校建筑安全和灾后恢复重建受到社会各界的广泛关注，确保学校、医院等重要建筑的抗震安全性成为灾后重建工作的重中之重。

1. 1. 2 2011 年日本东日本地震

2011 年 3 月 11 日，日本东北部海域发生里氏 9.0 级地震并引发海啸，遇难和失踪人数超过 2 万，并造成重大财产损失。

图 1-3
2011 年日本东部
海域 9.0 级地震
震害



由于东日本地震的震中在外海 130 公里的太平洋海域，加之震中宫城在 1978 年遭受过 7.0 级大地震，震损建筑都进行过加固而新建建筑都是

按照 1981 年颁布的新抗震设计法，设防要求更高，所以此次由于地震直接遭受破坏的建筑不多，破坏也多以非结构构件损伤为主。大部分人员和财产损失都是由于海啸造成，虽然海水冲进房屋，造成室内财产损失，但是结构整体没有破损（图 1-4）。



图 1-4
2011 年日本东部
海域地震中部分
结构整体完好

同时通过调查发现，钢结构和钢筋混凝土结构的建筑要比木屋有更强的抗海啸能力，特别是底层为框架柱的多层结构。这对于今后海啸多发地区的抗震设计有重要的指导意义。

1.2 未破坏建筑的特点

通过对历次地震震害的分析总结，发现地震后有的房屋倒塌了，有的却完好无损，房屋的体形、结构形式、材料、建筑年代、抗震设防标准，以及地基是否位于地震的断裂带等原因，都会影响其在地震中的表现。设计的合理性与施工的严密性决定房屋在地震中的表现。在同等条件下，结构设计得越合理，施工质量控制得越好，建筑物的抗震表现越好。地震中未遭受破坏建筑的特点可以总结出以下几方面的特点。

1.2.1 合理的结构体系

建筑结构选型是保证结构良好抗震性能的第一道重要防线，它不仅要考虑建筑的设计高度和功能需求，还需要考虑各种结构体系的综合经济指标。

现有的建筑结构主要包括砖混结构、框架结构、剪力墙结构、钢结构、木结构等。无论哪一种结构形式，只要设计合理、高度与结构形式匹配，就应该是抗震的。现将各种结构形式的适用范围总结如下：

1. 100m 以上的超高层建筑或者跨度较大的建筑通常应用钢结构。不过，由于钢结构建筑的造价相对较高，目前应用不是非常普遍。

2. 10 层及 10 层以上的居住建筑或高度超过 24m 的高层建筑大量采用剪力墙结构。

3. 24m 以下或者 10 层以下住宅一般以砖混结构为主。目前我国只有

城郊的一些建筑使用。

4. 目前我们所见的大多数建筑都是框架结构, 框架结构在现代建筑设计中应用较为普遍。

5. 木结构在我国使用很少, 在日本、加拿大等地的小别墅中使用较多。

1.2.2 完善的抗震设计

中国现行抗震规范采用基于承载力和构造保证延性的设计思路, 实现“小震不坏, 中震可修, 大震不倒”三个水准的基本设防目标。为实现三水准的设防目标, 结构抗震要从概念设计、抗震计算与构造措施三方面进行。概念设计在总体上把握抗震设计的基本原则, 抗震计算为建筑抗震设计提供定量手段, 构造措施可以在保证结构整体性、加强局部薄弱环节等方面保证抗震计算结果的有效性。

1. 抗震概念设计

概念设计是根据结构经历真实地震考验的经验总结或大型地震模拟实验的分析结果而建立的, 有些规律是目前的理论分析或理论计算所难以解释或难以准确计算的, 是抗震计算的前提和基础, 在很大程度上, 结构抗震性能的决定因素是良好的概念设计。

1) 场地、地基和基础

地震对建筑物的破坏作用是通过场地、地基和基础传给上部结构体系的。在具有不同工程地质条件的场地上, 建筑物在地震中的破坏程度是明显不同的, 故对于场地条件的选择是抗震设计的第一步。建议工程场地避开地震断裂带、山体滑坡区、行洪河道等危险地带。

2) 平、立面布置

建筑及其抗侧力结构的平面布置宜规则、对称, 并应具有良好的整体性; 立面和竖向剖面宜规则, 结构的侧向刚度宜均匀变化, 竖向抗侧力构件的截面尺寸和材料强度宜自下而上逐渐减小, 避免抗侧力结构的侧向刚度和承载力突变。

大量震害事实表明, 规则、简单、对称的建筑平、立面布置震害较轻, 原因在于这种结构体系受力明确, 荷载传递路径合理, 在地震作用下, 始终保持良好的整体性, 结构构件在地震作用下共同、协调承受地震作用, 从而提高建筑物承受地震作用的能力。

3) 结构整体性

结构构件之间连接的可靠性必须得到保证, 结构体系的整体性和稳定性才能得到保障。

4) 多道抗震防线

概念设计的一个重要原则是结构应有必要的冗余度和内力重分配的功能。具有多道抗震防线的结构体系具有耗散大量地震能量的能力, 在遭受

罕遇地震时第一道防线可能遭受破坏,部分结构退出工作,多道抗震防线将会避免因部分构件破坏而导致结构体系丧失抗震能力和承受荷载的能力,从而实现“大震不倒”的设防目标。

2. 抗震计算

世界各国的抗震设计基本思路大致相同,但抗震计算方法却有一定差别,根据我国的建筑抗震设计规范,抗震计算应按如下原则采用不同的方法,即越复杂建筑越需要进行严密的计算:

1) 高度不超过 40m,以剪切变形为主且质量和刚度沿高度分布比较均匀的结构,可采用底部剪力法。

2) 除第 1) 条外的建筑结构,宜采用振型分解反应谱法。

3) 特别不规则的建筑,应采用时程分析法进行多遇地震下的补充计算。

同时对于不同的结构形式,抗震规范也给出了具体的计算要求和抗震构造措施。

3. 抗震构造措施

我国抗震规范明确指出,抗震构造措施是指根据抗震概念设计原则,一般不需要计算而对结构和非结构各部分必须采取的各种细部要求。地震十分复杂,而且是不确定的,结构构件的破坏机理也很复杂,各种计算模型也不可能与结构的实际情况完全相同。因此,结构的抗震设计不应完全依靠理论分析来解决;从大量震害调查和模拟试验中总结出来的抗震构造措施,同样十分重要。

对于不同的结构形式,抗震构造措施基本都包括构件的截面尺寸、配筋要求、延性、锚固长度、轴压比、最小配筋率、体积配筋率、长细比等。

1.2.3 良好的施工质量

施工质量,百年大计,科学合理的设计,还要通过高质量的施工才能得以实现。科学合理的抗震设计,必须通过高质量的施工才能发挥作用,因此把好施工质量关和把好抗震设计关一样重要,都是减轻地震灾害的重要环节。要提高建筑的施工质量,必须注意以下几个方面:

1) 提高施工队伍技术和素质,拒绝无证上岗。

2) 把好施工用材质量关。

3) 严格按施工规范或规定施工,加强施工环节的现场质量监督。

4) 健全法律体系,依法对施工中不法行为进行惩罚。

1.3 如何使建筑更加耐震

近年来的地震灾害告诉我们,严格执行工程建设强制性标准,搞好新建工程的抗震设防,对原有未经抗震设防的工程进行抗震加固等,是减轻地震灾害的最直接、最有效的途径和方法。简而言之,抗震设防是第一道

防线，抗震加固是第二道防线。

1.3.1 抗震加固

建筑物在长期的使用环境特别是震害的作用下，其功能必然逐渐减弱。为了保证结构良好的抗震性能，不仅需要做好建筑物前期的设计工作，还要能科学地评估结构损伤的客观规律和程度，并采取有效的方法对结构进行抗震加固。房屋抗震加固就是要弥补房屋的缺陷，改善房屋的抗震性能，提高房屋本身的安全性，使现有建筑达到规定的要求而进行的设计及施工。

汶川地震以后，震区各类学校损失惨重，针对地震中大量学校遭到破坏的情况，国务院办公厅于 2009 年颁布了《全国中小学校舍安全工程实施方案》，要求从 2009 年开始，用 3 年时间实施中小学校安全工程。除了国家特别要求外，通常情况下，需要进行抗震加固的建筑包括如下几种：接近或超过设计使用年限 50 年的建筑；原结构设计未考虑抗震设防或未达到规定抗震设防目标的建筑；历史风貌、纪念性建筑；需进行改建、扩建或加层的建筑；遭受灾害（地震、火灾、爆炸、撞击）受损的建筑；发生工程质量事故或质量低劣建筑。

加固应优先采用增强结构整体抗震性能的方案，要从抗震性、功能性、可实施性、经济性和美观性等方面综合考虑。

1. 增大截面加固法。即采用增大混凝土或构筑物的截面面积，提高其承载力以满足正常使用的加固方法。该方法施工工艺简单、适应性强，并具有成熟的设计和施工经验，适用于梁、板、柱、墙和一般构筑物的混凝土的加固（图 1-5）。

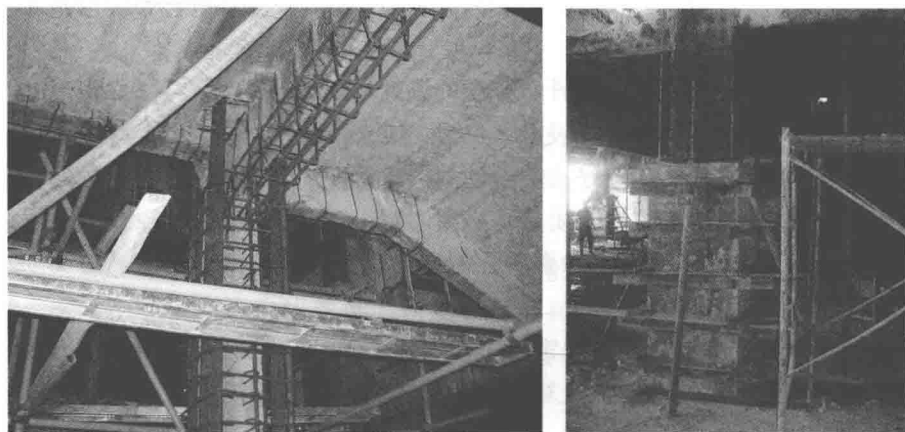


图 1-5
增大截面加固法

2. 粘钢加固法。粘贴钢板加固法是采用胶粘剂和锚栓将钢板粘贴固定于混凝土结构受拉面或薄弱部位，使钢板与加固混凝土构件形成结构整体，以达到提高结构承载能力的目的。该法有基本不改变原结构截面尺寸、施工工艺较为简单、工期短、技术可靠性高、工艺成熟且短期加固效果较好等优点（图 1-6）。

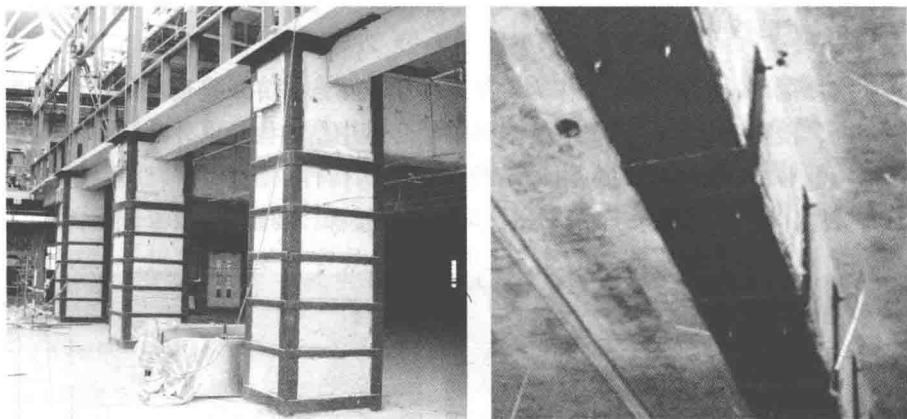


图 1-6
外粘钢板加固法

3. 粘贴纤维复合材加固法。外贴纤维加固是用胶粘材料把纤维增强复合材料贴于被加固构件的受拉区域, 使它与被加固截面共同工作, 达到提高构件承载能力的目的。除具有粘贴钢板相似的优点外, 还具有耐腐蚀、耐潮湿、几乎不增加结构自重、耐用、维护费用较低等优点, 但需要专门的防火处理, 适用于各种受力性质的混凝土结构构件和一般构筑物 (图 1-7)。

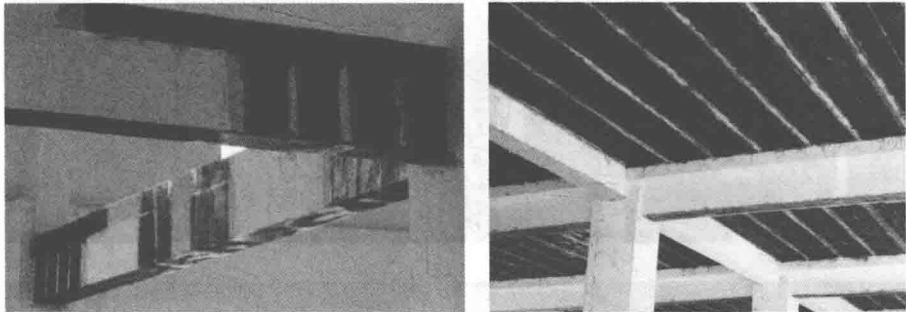


图 1-7
粘贴纤维复合材
加固法

4. 增设支点加固法。通过增设支撑点减小结构计算跨度、改变结构内力分布以提高承载能力的加固方法被称为增加支承加固法。该法适用于对使用条件和外观要求不高的建筑物以及抢险工程的临时性支顶, 具有受力明确、易于安装拆卸、简单可靠等优点, 缺点表现为显著影响使用空间, 对建筑物的原貌和部分使用功能具有一定损害 (图 1-8)。

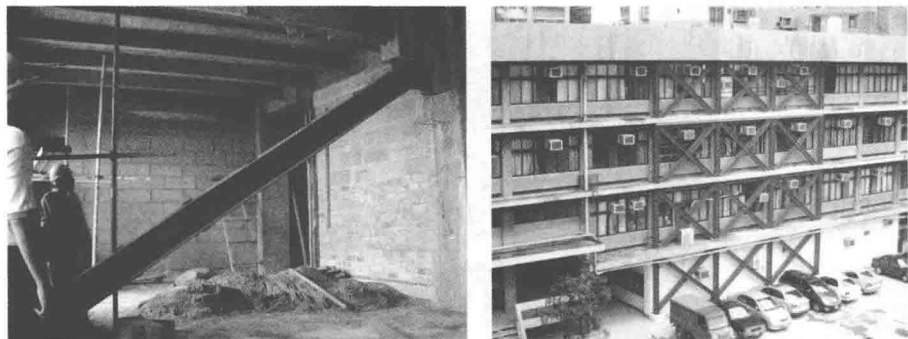


图 1-8
增设柱间支撑加
固法

1.3.2 非结构构件设计

房屋的结构构件,是指作为骨架把房屋支撑起来并承受荷载的构件,如柱、梁、楼梯、屋盖、承重墙及基础等。房屋中结构构件以外的构件即为附属结构及非结构构件。建筑附属结构及非结构构件,主要包括非承重墙体、屋面构件、连接部位与变形缝、吊顶与天棚、楼梯、装修(图 1-9~图 1-11)。



图 1-9
非承重墙破坏



图 1-10
楼梯破坏



图 1-11
装修和吊顶破坏