

新世纪土木工程系列教材

结构抗震设计

(第3版)

尚守平 周福霖 主编

高等教育出版社



新世纪土木工程系列教材

结构抗震设计

JIEGOU KANGZHEN SHEJI

(第3版)

尚守平 周福霖 主编

高等教育出版社·北京

内容提要

本教材是新世纪土木工程系列教材之一,是在2010年4月第2版的基础上修订而成。本教材涵盖了建筑结构和桥梁结构两大方面,并适当拓宽至地下结构和其他建筑物的抗震。

本书共十章,包括绪论,场地、地基和基础,地震作用和结构抗震验算,结构隔震、消能和减震控制,混凝土房屋结构抗震设计,钢结构房屋抗震设计,多层砌体及底层框架砌体结构房屋抗震设计,构筑物抗震设计,桥梁结构抗震设计,地下工程结构抗震设计等。各章后附有相应的思考题。

本书既可作为高等学校土木工程专业以及相关专业的结构抗震设计课程教材,也可供从事土木工程研究、设计和施工等工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(C I P)数据

结构抗震设计 / 尚守平, 周福霖主编. -- 3版. --
北京: 高等教育出版社, 2015. 7
ISBN 978-7-04-042186-6

I. ①结… II. ①尚… ②周… III. ①建筑结构-防震设计-高等学校-教材 IV. ①TU352.104

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第039295号

策划编辑 单 蕾	责任编辑 单 蕾	封面设计 李小璐	版式设计 杜微言
插图绘制 杜晓丹	责任校对 刘娟娟	责任印制 尤 静	

出版发行 高等教育出版社	网 址 http://www.hep.edu.cn
社 址 北京市西城区德外大街4号	http://www.hep.com.cn
邮政编码 100120	网上订购 http://www.landaco.com
印 刷 北京凌奇印刷有限责任公司	http://www.landaco.com.cn
开 本 787 mm×1092 mm 1/16	
印 张 21	版 次 2003年1月第1版
字 数 510千字	2015年7月第3版
购书热线 010-58581118	印 次 2015年7月第1次印刷
咨询电话 400-810-0598	定 价 32.80元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物料号 42186-00

教育部高等教育出版社土建类系列教材 编辑委员会委员名单

名誉主任：沈蒲生(湖南大学)

主任委员：周绪红(重庆大学)

副主任委员：(按姓氏笔画排序)

叶志明(上海大学)

白国良(西安建筑科技大学)

沙爱民(长安大学)

吴胜兴(河海大学)

邹超英(哈尔滨工业大学)

强士中(西南交通大学)

委员：(按姓氏笔画排序)

卫 军(中南大学)

王 湛(华南理工大学)

朱彦鹏(兰州理工大学)

江见鲸(清华大学)

李远富(西南交通大学)

张家良(辽宁工业大学)

周 云(广州大学)

高 波(西南交通大学)

黄醒春(上海交通大学)

廖红建(西安交通大学)

王 健(北京建筑大学)

王清湘(大连理工大学)

刘 明(沈阳建筑大学)

杨和礼(武汉大学)

张印阁(东北林业大学)

尚守平(湖南大学)

赵明华(湖南大学)

黄政宇(湖南大学)

梁兴文(西安建筑科技大学)

霍 达(北京工业大学)

出版者的话

根据 1998 年教育部颁布的《普通高等学校本科专业目录(1998 年)》,我社从 1999 年开始进行土木工程专业系列教材的策划工作,并于 2000 年成立了由具丰富教学经验、有较高学术水平和学术声望的教师组成的“高等教育出版社土建类教材编委会”,组织出版了新世纪土木工程系列教材,以适应当时“大土木”背景下的专业、课程教学改革需求。系列教材推出以来,几经修订,陆续完善,较好地满足了土木工程专业人才培养目标对课程教学的需求,对我国高校土木工程专业拓宽之后的人才培养和课程教学质量的提高起到了积极的推动作用,教学适用性良好,深受广大师生欢迎。至今,共出版 37 本,其中 22 本纳入普通高等教育“十一五”国家级规划教材,5 本被评为普通高等教育精品教材,若干本获省市级优秀教材奖。

2012 年教育部颁布了新修订的《普通高等学校本科专业目录(2012 年)》。新的专业目录中土木与建筑分开单独设类,土木类包括土木工程、建筑环境与能源应用工程、给排水科学与工程、建筑电气与智能化等 4 个专业,并增加了城市地下空间工程和道路桥梁与渡河工程 2 个特设专业。其中土木工程专业包含了 1998 年版专业目录中土建类的土木工程和建筑工程教育。

为了更好地帮助各高等学校根据新的专业目录对土木工程专业进行设置和调整,利于其人才培养,与时俱进,编委会决定,根据新的专业目录精神对本系列教材进行重新审视,并予以调整和修订。进行这一工作的指导思想是:

一、紧密结合人才培养模式和课程体系改革,适应新专业目录指导下的土木工程专业教学需求。

二、加强专业核心课程与专业方向课程的有机沟通,用系统的观点和方法优化课程体系结构。具体如,在体系上,将既有的一个系列整合为三个系列,即专业核心课程教材系列、专业方向课程教材系列和专业教学辅助教材系列。在内容上,对内容经典、符合新的专业设置要求的课程教材继续完善;对因新的专业设置要求变化而必须对内容、结构进行调整的课程教材着手修订。同时,跟踪已推出系列教材使用情况,以适时进行修订和完善。

三、各门课程教材要具有与本门学科发展相适应的学科水平,以科技进步和社会发展的最新成果充实、更新教材内容,贯彻理论联系实际的原则。

四、要正确处理继承、借鉴和创新的关系,不能简单地以传统和现代划线,决定取舍,而应根据教学需求取舍。继承、借鉴历史和国外的经验,注意研究结合我国的现实情况,择善而从,消化创新。

五、随着高新技术、特别是数字化和网络技术的发展,在本系列教材建设中,要充分考虑文字教材与音像、电子、网络教材的综合发展,发挥综合媒体在教学中的优势,提高教学质量与效率。在开发研制教学软件时,要充分借鉴和利用精品课程建设和精品资源共享课建设的优质课程教学资源,要注意使文字教材与先进的软件接轨,明确不同形式教学资源之间的关系是相辅相成、相互补充的。

六、坚持质量第一。图书是特殊的商品,教材是特殊的图书。教材质量的优劣直接影响教

学质量和教学秩序,最终影响学校人才培养的质量。教材不仅具有传播知识、服务教育、积累文化的功能,也是沟通作者、编辑、读者的桥梁,一定程度上还代表着国家学术文化或学校教学、科研水平。因此,遴选作者、审定教材、贯彻国家标准和规范等方面需严格把关。

为此,编委会在原系列教材的基础上,研究提出了符合新专业目录要求的新的土木工程专业系列教材的选题及其基本内容与编审或修订原则,并推荐作者。希望通过我们的努力,可以为新专业目录指导下的土木工程专业学生提供一套经过整合优化的比较系统的专业系列教材,以期我国的土木工程专业教材建设贡献自己的一份力量。

本系列教材的编写和修订都经过了编委会的审阅,以求教材质量更臻完美。如有疏漏之处,恳请读者批评指正!

高等教育出版社

高等教育理工出版事业部

建筑与力学分社

二〇一三年三月一日



第3版前言

本教材第2版是在第1版的基础上根据最新颁布的 JTG/T B02—01—2008《公路桥梁抗震设计细则》修订后于2010年4月出版的。

本教材第3版是在第2版的基础上根据最新颁布的 GB 50011—2010《建筑抗震设计规范》和 GB 50010—2010《混凝土结构设计规范》、GB 50003—2011《砌体结构设计规范》、GB 50017—2011《钢结构设计规范》(征求意见稿)、GB 17742—2008《中国地震烈度表》修订形成的最新版本,反映了结构抗震领域的最新科技成果,可作为在校本科生、研究生的教材和广大工程设计人员及科技工作者的技术参考资料。

哈尔滨工业大学的郑文忠教授对本教材第3版进行了仔细审阅,在此表示衷心的感谢。

编 者

2014年9月



第2版前言

本书根据拓宽专业面、加强基础的思想,参照我国最新的规范编写。

长期以来,我国的结构抗震教材多偏重于房屋建筑抗震,介绍其他结构抗震设计的教材很少。随着我国土木工程专业教育与国际接轨的发展趋势,拓宽专业面、加强基础的大土木思想迫切要求结构抗震教材覆盖更宽的面。为此,本教材本着大土木的观念,主要涵盖了建筑结构和桥梁结构两大方面,并适当拓宽至地下结构抗震和其他构筑物的抗震。

近十年来,“减震控制”(包括隔震、消能、被动和主动控制等)作为一种新的理论和技术,已逐渐成为新的发展趋势,本教材把这一内容也纳入其中。另外,我们在教材的写法上也作了相应的改革,主要考虑了采用启发式教学和培养学生主动思考、积极创新的教学模式,教材有些内容是留给学生自己去看、去主动思维。本书主要特色:按最新规范(如 GB 50011—2001《建筑抗震设计规范》, JTG/T B02—01—2008《公路桥梁抗震设计细则》等)编写;适当拓宽了专业面(但不包括港口、小区结构的抗震);拓宽了结构类型(增加了钢结构抗震设计);增加了“概念设计”这一重要内容;按最新建筑抗震规范增加了隔震和消能减震的内容;为更好地利用多媒体手段将配套相应的电子教案。

本教材的第1,3章由湖南大学尚守平编写,第2章由湖南大学李刚编写,第4章由广州大学周福霖编写,第5章由广州大学冼巧玲编写,第6章由广州大学周云编写,第7章由广州大学徐忠根编写,第8,10章由西南交通大学王明年编写,第9章由湖南大学郭玉荣编写。西南交通大学关宝树教授对第8,10章的编写给予了精心指导。全书由尚守平、周福霖主编。

本教材第2版主要针对第4章、第9章进行了修订,具体分工为第4章由湖南大学尚守平修订,第9章由湖南大学尚守平、奉洁超修订,湖南大学邵旭东对第9章进行了校审。

限于水平,书中可能尚有疏漏之处,欢迎广大读者批评指正。

编者

2010年4月



第 1 版前言

本书根据拓宽专业面、加强基础的思想,参照我国最新的规范编写。

长期以来,我国的结构抗震教材多偏重于房屋建筑抗震,介绍其他结构抗震设计的教材很少。随着我国土木工程专业教育与国际接轨的发展趋势,拓宽专业面,加强基础的大土木思想迫切要求结构抗震教材覆盖更宽的面。为此,本教材本着大土木的观念,主要涵盖了建筑结构和桥梁结构两大方面,并适当拓宽至地下结构抗震和其他构筑物的抗震。

近十年来,“减震控制”(包括隔震、消能、被动和主动控制等)作为一种新的理论和技术,已逐渐成为新的发展趋势,本教材把这一内容也纳入其中。另外,我们在教材的写法上也作了相应的改革,主要考虑了采用启发式教学和培养学生主动思考、积极创新的教学模式,教材有些内容是留给学生自己去看去主动思维。本书主要特色:按最新规范(如 GB 50011—2001《建筑抗震设计规范》等)编写;适当拓宽了专业面(但不包括港口、小区结构的抗震);拓宽了结构类型(增加了钢结构抗震设计);增加了“概念设计”这一重要内容;按最新建筑抗震规范增加了隔震和消能减震的内容;为更好地利用多媒体手段将配套相应的电子教案。

本教材的第 1,3 章由湖南大学尚守平编写,第 2 章由湖南大学李刚编写,第 4 章由广州大学周福霖编写,第 5 章由广州大学冼巧玲编写,第 6 章由广州大学周云编写,第 7 章由广州大学徐忠根编写,第 8,10 章由西南交通大学王明年编写,第 9 章由湖南大学郭玉荣编写。西南交通大学关宝树教授对第 8,10 章的编写给予了精心指导。全书由尚守平主编、周福霖副主编。美国南加州大学肖岩教授、北京工业大学曹资教授于百忙中审阅了全部书稿,在此表示衷心感谢。

限于水平,书中可能尚有疏漏之处,欢迎广大读者批评指正。

编 者

2002 年 11 月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010) 58581897 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010) 82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 地球的构造及地震的成因	1
1.2 地震的破坏作用	2
1.3 地震波、震级和烈度	6
1.4 抗震设计的基本要求	10
1.5 隔震与消能减震设计的概念和设防目标	17
1.6 抗震结构的材料与施工	19
思考题	20
第 2 章 场地、地基和基础	21
2.1 场地	21
2.2 天然地基和基础抗震验算	24
2.3 液化地基的判别与处理	25
2.4 地基基础的抗震加固	31
2.5 桩基抗震	32
2.6 地震引起的地面运动特性	34
2.7 建构筑物基础抗震设计验算时地基承载力确定	37
2.8 竖向地震作用和水平向地震作用的比例关系	38
思考题	38
第 3 章 地震作用和结构抗震验算	39
3.1 单质点弹性体系的水平地震反应	39
3.2 加速度反应谱法	42
3.3 多质点弹性体系的水平地震反应	47
3.4 多质点弹性体系水平地震作用的确定	58
3.5 多质点弹性体系水平地震作用的近似算法——底部剪力法	62
3.6 剪重比及考虑地基与结构动力相互作用的楼层地震剪力调整	65
3.7 竖向地震作用的计算	66
3.8 结构自振频率的近似计算	67

3.9 地震作用计算的一般规定	79
3.10 结构抗震验算	80
思考题	83
第 4 章 结构隔震、消能和减震控制	84
4.1 结构隔震、消能和减震控制总论	84
4.2 结构隔震	87
思考题	117
第 5 章 混凝土房屋结构抗震设计	118
5.1 震害及其分析	118
5.2 多层和高层钢筋混凝土房屋抗震设计的一般规定	124
5.3 框架结构的抗震计算与构造要点	132
5.4 框架—抗震墙结构的抗震计算与构造要点	151
5.5 单层钢筋混凝土柱厂房抗震设计	161
思考题	178
第 6 章 钢结构房屋抗震设计	180
6.1 钢结构震害及分析	180
6.2 多层和高层钢结构房屋抗震设计	183
6.3 多层钢结构厂房抗震设计	199
6.4 单层钢结构厂房抗震设计	202
思考题	206
第 7 章 多层砌体及底层框架砌体结构房屋抗震设计	208
7.1 震害及分析	208
7.2 多层砌体及底层框架砌体结构抗震设计	210
7.3 构造措施	222
思考题	225
第 8 章 构筑物抗震设计	227
8.1 构筑物震害及其分析	227

8.2 典型构筑物抗震设计	233	9.6 特殊桥梁抗震设计	290
8.3 构筑物抗震构造措施	253	思考题	292
思考题	261		
第9章 桥梁结构抗震设计	262	第10章 地下工程结构抗震设计	293
9.1 桥梁抗震概述	262	10.1 震害及其分析	293
9.2 桥梁抗震设计的基本规定	265	10.2 典型地下结构的抗震设计	297
9.3 场地和地基	270	10.3 地下结构抗震构造措施	309
9.4 桥梁抗震设计的地震作用计算	275	思考题	315
9.5 桥梁结构抗震设计验算与抗震措施	286		
		参考文献	316

地震和刮风下雨一样,是一种自然现象,它会对人们的生命和财产造成巨大损失。据统计,地球上每年大约发生 500 万次地震,其中有感地震(里氏 2~4 级)大约有 15 万次,造成严重破坏的地震(里氏 5 级以上)近 20 次,毁灭性的地震约 2 次。

20 世纪全世界发生过 20 多次 7 级以上的大地震,死亡 100 多万人,我国占有其中 3 次,死亡 44 万多人(1920 年海原 8.5 级地震死亡 28.8 万人,1976 年唐山 7.8 级地震死亡 24 万人,1999 年台湾 7.3 级地震死亡 2 300 多人)。我国是一个多地震的国家,历史上在邢台、唐山、通海、昭通、甘孜、海城、台湾、海原、华县等地区都发生过比较严重的地震。

进入 21 世纪以来,2008 年 5 月四川汶川发生 8 级地震,死亡近 7 万人;2013 年四川雅安 7 级地震,死亡 200 多人;2014 年云南鲁甸 6.5 级地震,死亡 600 多人。

为了尽量减少地震带来的损失,一个很重要的措施就是工程结构的抗震,它包括建筑物、构筑物、桥梁、地下结构的抗震。本章主要就地震的基本知识作一简单介绍。

1.1 地球的构造及地震的成因

地球是一个椭圆球体,平均半径约 6 400 km,主要由以下三层不同的物质构成(图 1.1)。

第一层为地壳,厚约 5~40 km,主要由海水、风化土、花岗岩和玄武岩组成,厚薄不均。绝大多数地震均发生在这一层。

第二层为地幔,厚约 2 900 km,主要由橄榄岩组成,相对密度约 3.9~5.1。由于地球内部压力随深度而增大,内部放射性物质不断释放热量,地球内部的温度也随深度而增高。在地幔的上部(地下 700 km 深处)的温度已达 2 000 ℃。地幔在高温高压作用下处于一种软流塑状态。由于地幔内部温度的不均匀以及地球自转速度的不均匀产生加速度,地幔中的物质不断地产生缓慢的对流运动,导致内部不平衡压应力的产生。

第三层为地核,厚约 3 500 km,其主要物质为铁和镍。地核又可分为外核和内核,外核厚约 2 100 km,据推测为液态,内核则可能为固态。

由地球的构造可以看到,地壳如同浮在水面上的筏板。当地球的转速不均匀或底下的地幔软流体产生运动时,都将对地壳的板块产生力的作用。当这种力集聚到一定程度后,将使地壳的薄弱岩层产生褶皱和弯曲,最终产生断裂破碎(图 1.2)。

地壳的板块构造学说认为,地球的表面岩层是由六大板块构成,即美洲板块、太平洋板块、印度洋板块、南极板块、欧亚板块和非洲板块。这些板块在相对缓慢地运动着,在它们的边界处产

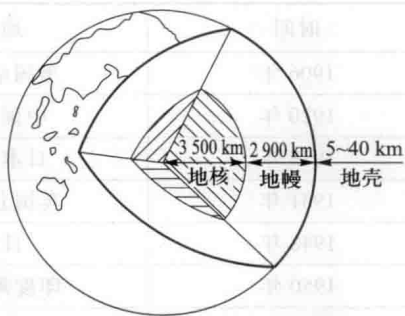


图 1.1 地球的构造



图 1.2 岩层的断裂

生挤压、拉伸和剪切,甚至有些板块呈现插入另一板块之下欲将其翘起的趋势。地球上大多数地震就发生在这些板块的交界之处。因此在世界范围形成了环太平洋地震带(沿南北美洲西海岸、阿留申群岛转向到日本列岛,再经我国的东海岸到达菲律宾、新几内亚和新西兰),欧亚地震带(从大西洋的亚速岛,经过意大利、土耳其、伊朗、印度的北部到我国的西部及西南地区、再过缅甸至印度尼西亚)这两大主要地震活动地带。

上述地震是由于地球内部岩层构造产生错动而产生的,称为构造地震。地球上 90% 以上的地震属于构造地震。

除了构造地震外,还有由于火山喷发引发的火山地震,岩层坍塌引发的坍塌地震(如大面积的矿山采空区坍塌),抽水注水引发的地震和爆破、山崩引发的地震。这些地震发生的频率很低,影响区域也相对较小。

1.2 地震的破坏作用

近一个世纪,全世界发生了几十次大地震,主要情况见表 1.1。

表 1.1 近百年世界主要大地震情况表

时间	地点	震级	死亡人数
1906 年	美国洛杉矶	6.6	3 000
1920 年	中国甘肃	8.5	288 000
1923 年	日本东京	8.3	142 800
1931 年	英国北海岸	5.5	
1948 年	日本		3 770
1950 年	印度阿萨姆	9.0	
1960 年	智利	9.5	
1976 年	中国唐山	7.8	240 000
1980 年	阿尔及利亚	7.3	
1980 年	意大利	7.2	2 735
1981 年 6 月	伊朗	6.8	3 000
1981 年 7 月	伊朗	7.3	1 500
1981 年 12 月	也门	6.0	3 000
1983 年 10 月	土耳其	6.0	1 300
1985 年 9 月	墨西哥	8.1	12 000
1986 年 10 月	萨尔瓦多	7.5	1 500

续表

时间	地点	震级	死亡人数
1987 年 3 月	厄瓜多尔	7.0	1 000
1988 年 12 月	苏联西北部	6.9	25 000
1990 年	伊朗(2 次地震)	7.7	75 000
1990 年 7 月	菲律宾吕宋	7.7	1 621
1991 年 2 月	巴基斯坦	6.8	200
1991 年 2 月	阿富汗	6.8	1 000
1991 年 10 月	印度	6.1	1 600
1992 年 12 月	印度尼西亚	6.8	1 200
1993 年	印度(5 次地震)	6.4	22 000
1993 年 2 月	印度尼西亚	7.0	217
1993 年 7 月	日本北海道	7.8	248
1994 年 6 月	哥伦比亚	6.8	1 000
1995 年 1 月	日本阪神	7.2	6 434
1995 年 5 月	俄罗斯库页岛	7.5	2 700
1995 年 10 月	印度尼西亚	7.0	100
1996 年 2 月	中国云南	7.0	322
1996 年 2 月	印度尼西亚	8.0	145
1997 年	伊朗(2 次地震)	6.1, 7.1	2 560
1997 年 3 月	巴基斯坦	7.3	1 000
1998 年	阿富汗(2 次地震)	7.1	7 500
1999 年 1 月	哥伦比亚	7.1	1 200
1999 年 8 月	土耳其	7.4	13 000
1999 年 9 月	台湾集集	7.3	2 300
2001 年 1 月	印度	7.9	20 000
2001 年 2 月	美国西雅图	6.8	
2001 年 2 月	加拿大温哥华	7.0	
2008 年 5 月	中国汶川	8.0	70 000
2013 年 4 月	中国雅安	7.0	200
2014 年 8 月	中国鲁甸	6.5	617

1.2.1 地表和道路的破坏

大地震使地表发生大的改变,引发地陷、地裂、山崩、滑坡、地表隆起及喷砂冒水等现象,使房屋的地基、道路、地下结构等发生破坏,造成灾害(图 1.3、图 1.4)。



图 1.3 地震引起的山体滑坡



图 1.4 地震引起的道路裂缝

1.2.2 桥梁结构的破坏

在水平地震作用和竖向地震作用下,沿桥的纵向和横向,在上下部结构上均产生严重的破坏,如基础的破坏(基础整体翻转,见图 1.5)、桥墩的破坏(在地震剪力作用下出现典型斜裂缝,见图 1.6)。



图 1.5 桥梁基础整体翻转



图 1.6 桥墩斜裂缝

1.2.3 桥梁上部结构的破坏

地震引起桥梁上部结构破坏,如桥梁的滑落,见图 1.7。

1.2.4 桥梁支座的破坏

桥梁支座的滑移见图 1.8,桥梁支座的压碎见图 1.9。

1.2.5 房屋结构的破坏

地震时,由于结构部件强度不足,在剪力、弯矩、轴力和扭矩共同作用下,由构件的破坏导致结构丧失稳定性,连接部件和锚固失效导致结构丧失整体性(图 1.10),以及结构节点强度不足而引起的节点破坏(图 1.11),地基失效而引起的房屋基础及房屋破坏(图 1.12),砌体建筑结构破坏(图 1.13),木结构破坏(图 1.14)。



图 1.7 桥梁滑落



图 1.8 桥梁支座滑移



图 1.9 桥梁支座压碎



图 1.10 建筑物倒塌



图 1.11 梁柱接头破坏



图 1.12 地基隆起导致建筑物破坏

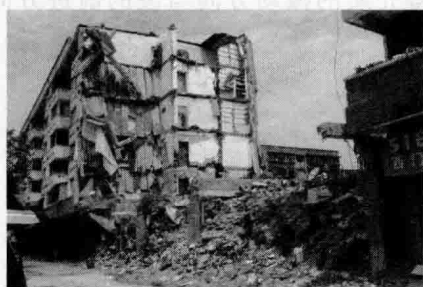


图 1.13 砌体建筑结构破坏



图 1.14 木结构破坏