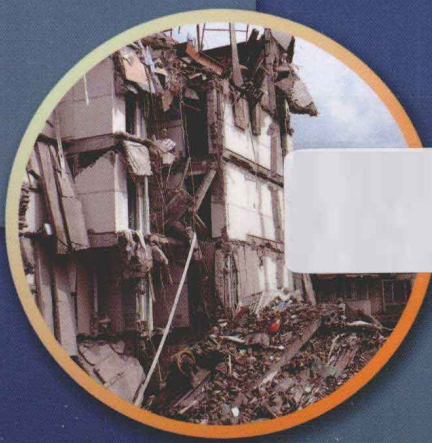


徐至钧 主编 李 景 等 编著 陈祥福 主审

# 建筑抗震设计与工程应用



同济大学出版社  
TONGJI UNIVERSITY PRESS

# 建筑抗震设计与工程应用

徐至钧 主编  
李 景 等编著  
陈祥福 主审

## 内 容 简 介

本书以最新颁布或修订的有关抗震设计、鉴定、加固三本规范规程为依据,根据近年来我国建筑抗震领域的研究成果,介绍了高层和多层建筑、单层工业厂房、特种结构等在地震作用下的动力性能、反应分析与抗震措施,并对隔震与消能减震设计的技术特点作了简述;另外,还介绍了一些房屋隔震设计与应用的成功实例。本书可供从事建筑结构抗震领域教学、科研及设计的人士参考使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

建筑抗震设计与工程应用 / 徐至钧主编;李景等编  
著. — 上海: 同济大学出版社, 2012. 12  
ISBN 978-7-5608-4982-9

I. ①建… II. ①徐… ②李… III. ①建筑结构—防震设计 IV. ①TU352.104

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 226744 号

---

## 建筑抗震设计与工程应用

徐至钧 主编 李 景 等编著 陈祥福 主审  
组稿 解明芳 责任编辑 解明芳 责任校对 张德胜 封面设计 陈益平

---

出版发行 同济大学出版社 [www.tongjipress.com.cn](http://www.tongjipress.com.cn)  
(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)  
经 销 全国各地新华书店  
印 刷 同济大学印刷厂  
开 本 787 mm×1 092 mm 1/16  
印 张 26.5  
印 数 1—2 100  
字 数 661 000  
版 次 2012 年 12 月第 1 版 2012 年 12 月第 1 次印刷  
书 号 ISBN 978-7-5608-4982-9

---

定 价 54.00 元

---

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

# 目 录

## 序

## 前言

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| <b>1 绪 论</b> .....               | 1  |
| 1.1 建筑物的抗震加固 .....               | 3  |
| 1.2 建筑抗震的概况 .....                | 4  |
| 1.3 当前已批准使用的抗震加固技术标准、规范、规程 ..... | 5  |
| 1.4 抗震设计、鉴定和加固三本新规范修订和颁布实施 ..... | 7  |
| 1.5 建立我国地震监测预报机制 完善抗震设计的体系 ..... | 8  |
| 1.6 隔震建筑将地震损失降到最低 .....          | 9  |
| 1.7 本世纪的工作重点 .....               | 10 |
| 1.8 今后的目标和展望 .....               | 10 |
| <b>2 地震基本概念与地震作用计算</b> .....     | 12 |
| 2.1 地震的类型和成因 .....               | 12 |
| 2.2 地震工程术语 .....                 | 13 |
| 2.3 地震震级 .....                   | 16 |
| 2.4 地震烈度 .....                   | 17 |
| 2.5 强震地面运动特性 .....               | 22 |
| 2.6 地震作用特点 .....                 | 25 |
| 2.7 地震作用的抗震验算 .....              | 26 |
| 2.8 竖向地震作用 .....                 | 35 |
| <b>3 建筑抗震鉴定和加固</b> .....         | 36 |
| 3.1 基本规定 .....                   | 36 |
| 3.2 震前加固设防的重要意义 .....            | 41 |
| 3.3 抗震加固 .....                   | 43 |
| 3.4 震前加固及设防的关键部位 .....           | 47 |

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| 3.5 震前加固及设防中应注意的几个问题               | 51         |
| <b>4 多层砌体房屋的抗震设计与加固</b>            | <b>58</b>  |
| 4.1 概述                             | 58         |
| 4.2 建筑震害调查与分析                      | 60         |
| 4.3 多层砌体房屋的抗震鉴定                    | 62         |
| 4.4 多层砌体房屋的抗震加固                    | 80         |
| 4.5 工程实例                           | 99         |
| [工程实例 4-1] 某教学楼加层改造前的鉴定与加固设计       | 99         |
| [工程实例 4-2] 装配整体式板柱结构抗震加固设计         | 103        |
| [工程实例 4-3] 钢管混凝土格构柱在改变砖混房屋结构体系中的应用 | 108        |
| [工程实例 4-4] 某实验室加层检测鉴定              | 112        |
| [工程实例 4-5] 中石油地球物理勘探局办公大楼增层设计      | 115        |
| [工程实例 4-6] 北京西交民巷钟楼的抗震鉴定           | 117        |
| 附录 A                               | 124        |
| 附录 B                               | 125        |
| <b>5 多层和高层钢筋混凝土房屋</b>              | <b>130</b> |
| 5.1 概述                             | 130        |
| 5.2 钢筋混凝土框架震害调查和分析                 | 130        |
| 5.3 多层及高层钢筋混凝土房屋抗震鉴定               | 134        |
| 5.4 多层及高层钢筋混凝土房屋抗震加固               | 157        |
| 5.5 工程实例                           | 169        |
| [工程实例 5-1] 青岛裕泰大厦改扩建               | 169        |
| [工程实例 5-2] 喷射混凝土在高层建筑剪力墙纠偏加固中的应用   | 175        |
| [工程实例 5-3] 江西某市中山城中厅改造结构设计         | 179        |
| [工程实例 5-4] 某多层框架大梁的外包钢加固设计与验算      | 182        |
| <b>6 内框架和底层框架砖房</b>                | <b>186</b> |
| 6.1 概述                             | 186        |
| 6.2 建筑震害调查与分析                      | 188        |
| 6.3 内框架和底层框架砖房抗震鉴定                 | 192        |
| 6.4 内框架和底层框架砖房抗震加固                 | 199        |

|                                          |            |
|------------------------------------------|------------|
| 6.5 工程实例 .....                           | 205        |
| [工程实例 6-1] 北京安化楼综合服务大厦增层抗震加固设计 .....     | 205        |
| [工程实例 6-2] 济南客站原候车室鉴定加固与增层改造 .....       | 209        |
| [工程实例 6-3] 杭州近江大厦增层改扩建加固设计与施工 .....      | 213        |
| [工程实例 6-4] 山东新汶矿业集团总部办公楼外套增层工程 .....     | 217        |
| <b>7 单层钢筋混凝土柱厂房与砖柱空旷房屋 .....</b>         | <b>220</b> |
| 7.1 概述 .....                             | 220        |
| 7.2 建筑震害调查和分析 .....                      | 223        |
| 7.3 单层钢筋混凝土柱厂房与砖柱空旷房屋抗震鉴定 .....          | 226        |
| 7.4 单层钢筋混凝土柱厂房与砖柱空旷房屋抗震加固 .....          | 247        |
| 7.5 工程实例 .....                           | 259        |
| [工程实例 7-1] 某单层砖柱厂房的抗震加固设计 .....          | 259        |
| [工程实例 7-2] 无锡某钢铁厂电炉车间老厂房改造中屋盖系统的加固 ..... | 262        |
| [工程实例 7-3] 单层及多层厂房的结构改造设计 .....          | 264        |
| [工程实例 7-4] 美国房屋结构抗震加固工程实例 .....          | 269        |
| [工程实例 7-5] 某混凝土柱-钢屋架单层工业厂房的鉴定与加固 .....   | 273        |
| <b>8 高耸特种结构 .....</b>                    | <b>278</b> |
| 8.1 概述 .....                             | 278        |
| 8.2 震害的调查和分析 .....                       | 281        |
| 8.3 高耸特种结构抗震鉴定 .....                     | 289        |
| 8.4 烟囱和水塔抗震鉴定 .....                      | 289        |
| 8.5 烟囱和水塔抗震加固 .....                      | 296        |
| 8.6 工程实例 .....                           | 301        |
| [工程实例 8-1] 某炼油厂催化裂化装置中两器框架抗震加固设计 .....   | 301        |
| [工程实例 8-2] 电除雾器框架楼纠倾加固 .....             | 306        |
| [工程实例 8-3] 鞍钢化工总厂 7 号烟囱纠倾扶正工程 .....      | 309        |
| <b>9 地基与基础加固 .....</b>                   | <b>316</b> |
| 9.1 地基和基础抗震鉴定 .....                      | 316        |
| 9.2 地基和基础抗震加固 .....                      | 318        |
| 9.3 建(构)筑物的地基处理 .....                    | 321        |

|           |                                                      |            |
|-----------|------------------------------------------------------|------------|
| 9.4       | 地基处理的工程实例 .....                                      | 326        |
|           | [工程实例 9-1] 原轻工业部管理干部学院挤密碎石桩处理粉土和<br>粉质黏土地基加固工程 ..... | 326        |
|           | [工程实例 9-2] 武汉建设银行大厦深基坑高压喷射防渗帷幕技术的应用<br>.....         | 332        |
|           | [工程实例 9-3] 某石油一厂复杂地基倾斜建筑物纠倾扶正 .....                  | 338        |
|           | [工程实例 9-4] 某设计院条形基础砖混结构住宅楼纠倾难点分析 .....               | 343        |
|           | [工程实例 9-5] 某炼油厂高塔基础沉降过大,采取措施,控制沉降 .....              | 346        |
| 9.5       | 地基基础加固方法 .....                                       | 350        |
|           | [工程实例 9-6] 江苏省某市住宅楼房屋倒塌处理 .....                      | 356        |
|           | [工程实例 9-7] 分馏稳定塔群桩基础的灌浆加固处理 .....                    | 362        |
| <b>10</b> | <b>隔震与消能减震设计.....</b>                                | <b>366</b> |
| 10.1      | 概述.....                                              | 366        |
| 10.2      | 工程隔震与消能减震简介.....                                     | 367        |
| 10.3      | 隔震技术.....                                            | 368        |
| 10.4      | 消能减震技术.....                                          | 371        |
| 10.5      | 隔震和消能减震设计.....                                       | 384        |
| 10.6      | 精密仪器仪表和计算机的减振、隔震设计 .....                             | 393        |
| 10.7      | 超高层建筑的阻尼器.....                                       | 402        |
| 10.8      | 工程应用实例.....                                          | 407        |
| 10.9      | 隔震、减震与抗震的工程造价对比分析 .....                              | 412        |
|           | <b>参考文献.....</b>                                     | <b>413</b> |



# 1 绪 论

2008年5月12日,四川汶川特大地震是新中国成立以来破坏性最强、波及范围最广、救灾难度最大的一次地震,震级达里氏8级,最大烈度达11度,余震3万多次,涉及四川、甘肃、陕西、重庆等10个省区市417个县(市、区)、4667个乡镇、48810个村庄。灾区总面积约50万 $\text{km}^2$ 、受灾群众4625万多人,其中,极重灾区、重灾区面积13万 $\text{km}^2$ ,造成69227名同胞遇难、17923名同胞失踪,需要紧急转移安置受灾群众1510万人,房屋大量倒塌或损坏,基础设施大面积损毁,工农业生产遭受重大损失,生态环境遭到严重破坏,直接经济损失8451多亿元,引发的崩塌、滑坡、泥石流、堰塞湖等次生灾害举世罕见。下面是实例。

(1) 北川妇幼保健院。在地震中像个火柴盒般被挤扁(见图1-1)。

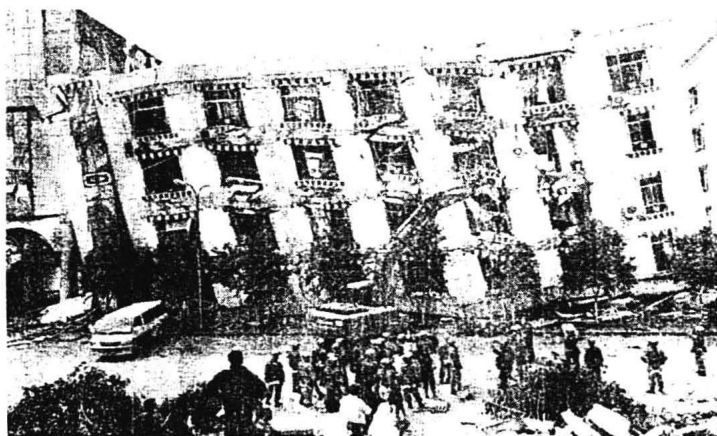


图 1-1

(2) 都江堰二王庙片区。山体滑坡,秦堰楼下沉,戏楼、厢房、52级梯步、照壁、三官殿、观澜亭、疏江亭、前山门等建筑和围墙全部垮塌(图1-2)。

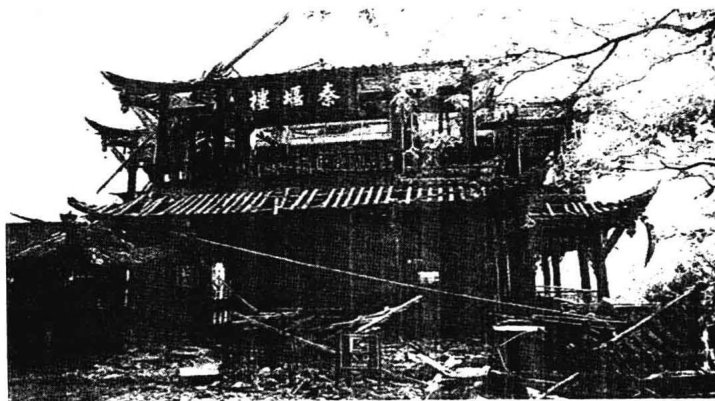


图 1-2 被震毁的都江堰二王庙秦堰楼



(3) 伏龙观。所有古建筑屋脊、屋瓦全部损坏,鱼嘴裂缝,木结构断裂,建筑严重倾斜,已成危房。

(4) 青城山片区。道教古建筑群严重受损,大部分古建筑倾斜,部分垮塌。

(5) 阆中张桓侯祠(张飞庙)。整个建筑倾斜;墙体严重开裂、垮塌;屋脊断裂、塌陷;屋面瓦大面积脱落、漏雨;木构架脱榫、断裂(图 1-3)。

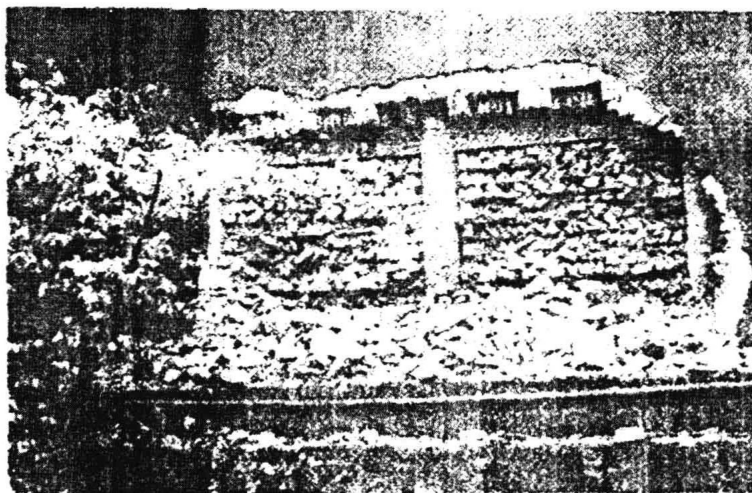


图 1-3 张飞庙垮塌的墙体

(6) 彭州领报修院。山体滑坡,建筑全部垮塌。修院已经成为一片废墟(图 1-4)。

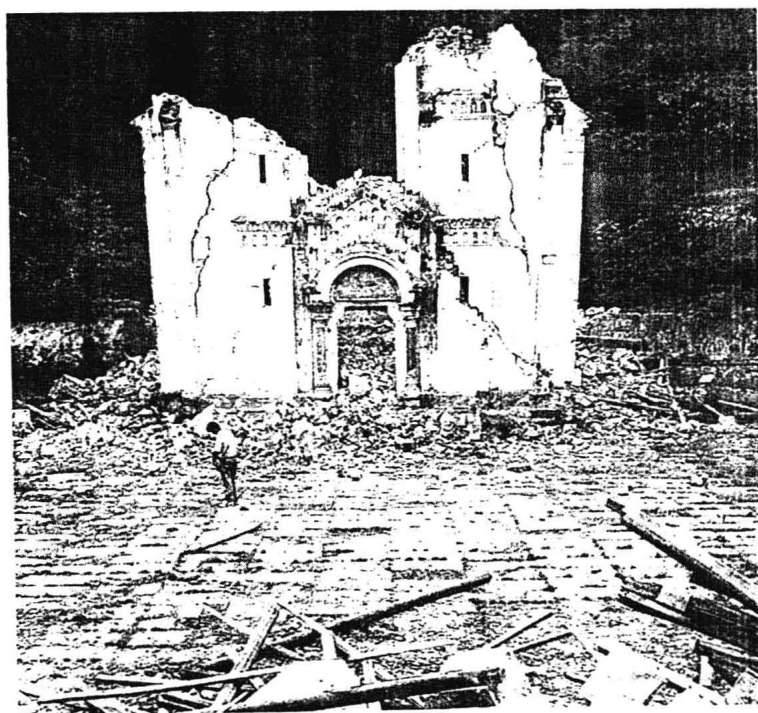


图 1-4 彭州领报修院

- (7) 阆中玉台山石塔。塔身变形;塔刹震落、损毁。
- (8) 江油窦圃山云岩寺。建筑大面积坍塌,未倒塌的全成危房。
- (9) 江油李白故居。房屋全部被拉裂,部分垮塌,陇西院山门、照壁、粉竹楼照壁和太白祠偏殿全部垮塌(图 1-5)。



图 1-5 李白故居中倒塌的雕像

## 1.1 建筑物的抗震加固

建筑物抗震加固改造可进一步分类。

### 1. 建(构)筑物的纠倾工程

由于地震或土质松软等各种原因,建筑物在建设或地震过程中发生不均匀沉降,造成建筑的倾斜,因此,事后要对这些建筑进行纠倾工作,常用的纠倾方法有迫降法、顶升法、预留法、浸水纠倾法等,人们不断地尝试采用合适的方法对倾斜的建(构)筑物进行纠倾扶正,但由于建(构)筑物倾斜的复杂性和场地条件的复杂性,不同的纠倾方法和加固措施也不同,从而促进了这门纠倾技术的发展。

### 2. 增层改造与托换工程

增层改造是一项利多弊少的工作,由于不占用更多的土地,可以在进行地震加固工程中对原有建筑物做加层改造,这样既扩大了使用面积,投资也较少,所以,现有不少单位采用增层改造的方法。增层改造包括直接增层、外套增层、室内增层、地下增层等方法,当被增层建

建筑物基础不能满足上部结构的荷重时,将基础加固进行托换桩体或托换承台,将托换结构与上部结构进行托换连接。

### 3. 结构加固改造工程

结构加固是一项量大面广的工作,建筑物在地震中造成损坏或年久失修,建筑的移位、纠倾、增层、改造都需要进行建筑物的结构加固,加固范围一般分建筑物的整体性加固、结构构件的加固,既有建筑物的裂缝修补等,结构加固的形式包括钢筋混凝土结构加固、钢结构加固和砌体结构的加固等,常用的加固方法有增大原结构的截面,外包钢加固、预应力加固、改变原受力体系加固、原构件外部粘贴碳纤维布加固及水泥灌浆或喷射修补加固等。总之,结构加固内容广泛,方法多种多样。

### 4. 地基基础加固与地基处理工程

当地震发生后,根据它的外观反应大致可归纳为上部建筑物的墙体开裂,建筑物下沉过大,基础的断裂或拱起,地基滑动,地基液化、湿陷等,地基基础加固包括地基处理和既有建筑物地基基础的加固两大类。地基处理是为了提高地基承载力,改善其土的变性质或渗透性质而采取的人工处理地基的方法,如强夯法和强夯置换法,排水固结法(又称预压法),振冲法,石灰桩、土桩灰土桩法,深层搅拌法和高压喷射注浆法、灌浆法和化学处理,水泥粉煤灰碎石桩以及冻土地基采用热桩技术处理地基等。既有建筑物的基础加固常用方法有加大基础底面积,采用微型桩、注浆加固地基等,总之,要因地制宜按地基土的性质、土层构造的特点,采用不同形式的地基基础加固方法。

### 5. 建(构)筑物的沉降控制

由于地下水位变化或地震后的液化等其他因素,引起建(构)筑物的过量沉降以及地基基础发生严重损坏时要对其及时进行沉降控制或加固处理。城市地面沉降是一种新的灾害,确切资料显示,我国出现地面沉降的城市已有 50 余座,绝大部分集中在沿海地区及长江三角洲地区。造成过量沉降的主要原因是地下水的超量开采;这些建(构)筑物都是建在软土地基上。由于软土地基的地基强度低,而地基强度的破坏,相对地基变形是一种突发性事件,破坏前的先兆十分短促,对人类的生命财产威胁很大。为此,对建(构)筑物的沉降控制、预防和处治应该做到有章可循、有法可治、有措施可防。

除上述五个方面内容外,对建筑物的加固改造还包括地震后建(构)筑物的爆破拆除以及深基础支护事故的分析及处理等。

## 1.2 建筑抗震的概况

建筑物的抗震加固在建筑领域中是一门新兴学科,国外发展较早,一般在 20 世纪 50 年代,1976 年,苏联出版了《建筑工程震害事故及其发生原因与预防方法》一书,书中详细记录了 1954—1973 年间在建筑工程中发生的一些地震实例,有筒仓、烟囱、水塔、屋盖、骨架建筑、大板建筑、管道、储罐、砖石结构、桥跨结构等问题。书中也介绍了几起英、美、澳大利亚震害的一些工程事故。

1966 年以前,我国的建筑主要是住宅、厂房、办公楼和少量的公共建筑,结构形式主要是砌体结构(其中绝大部分是砖混结构)、混凝土框架结构、内框架结构和木结构等。当时的抗震技术基本上参照苏联的经验。

1966 年邢台地震后,国家开始重视建筑抗震技术的研究,特别是 1976 年唐山地震后,大量的震害实例使抗震技术有了较大的发展。

这些情况表明,平立面规则、刚度分布均匀的建筑,其震害比平立面不规则、刚度分布不均匀的建筑要轻得多,随后的理论分析和地震模拟振动台试验均证实了这一点。从而,关于建筑结构体型的抗震概念设计技术得到了重视和发展。

砖混结构的震害表明,设置钢筋混凝土柱的砖混结构房屋的抗震性能明显优于传统的砖混结构,从而引发了砖混结构设置钢筋混凝土构造柱和圈梁的抗震技术的研究。

同时,混凝土框架结构的震害还促使人们对框架结构节点抗震技术、框架薄弱层判别技术进行了研究。

20 世纪 80 年代,为配合“1978 年抗震规范”的颁布实施,建设部抗震办公室和同济大学联合举办了多期“建筑抗震技术干部培训班”,为全国各地培训了一批建筑抗震干部队伍。

1979 年改革开放以来,建筑业迎来了空前的繁荣期,大量的高层建筑、复杂体型建筑大量涌现,诸多的工程实践对建筑抗震技术也提出了越来越多、越来越高的要求;同时,国家对教育、科研的投入逐年增大,全国各地先后建成了数套结构试验系统和数个地震模拟振动台试验系统。中国建筑科学研究院、冶金工业部及一些大学成立了抗震研究所,目前,全国已有 100 多所抗震研究机构。

另外,随着计算机硬件性能的快速提高,各类有限元计算机软件日趋成熟,大型复杂结构的精细计算分析已成为可能。为适应国民经济发展的需要,先进的试验设备、高速的计算设备和高效的计算机软件使得建筑抗震技术在最近的 20 年里有了长足的发展,包括结构时程分析技术、不规则框架的弹塑性变形验算技术、框架结构的弹塑性时程分析技术、基础隔震技术、异型柱框架抗震墙抗震技术、消能减震支撑技术、混合结构高层建筑抗震技术、无梁楼盖体系抗震技术、基于性能的抗震设计技术、弹塑性推覆分析技术、高层建筑设置水平加强层控制侧移的技术、组合结构(钢管混凝土和钢管混凝土结构)抗震技术等。

目前,我国已建成的各类构筑物已达 400 多亿  $\text{m}^2$ ,而每年还以 5 亿多  $\text{m}^2$  的规模发展。在已有建筑物中有很大部分是 20 世纪 50 年代和 60 年代建成的,这些建筑物已分别进入了“中年”和“老年”期,这些建筑物对抗震设防和加固需要进行维修和加固。据有关部门统计,在我国现有的 50 亿  $\text{m}^2$  的建筑物中,约有 50% 需分期分批地进行抗震鉴定加固处理,其中约有 10 亿  $\text{m}^2$  建筑物急待抗震加固、维修。当前,在全国范围内的建筑物的抗震加固改造工程数量之多、工程量之大,也是世界范围内少有。另外,在改革开放后建设的大批建筑物中也有不少建筑物因工程质量、管理不善及自然灾害的损坏等原因需进行大量维修和抗震加固。

### 1.3 当前已批准使用的抗震加固技术标准、规范、规程

随着建筑物抗震技术的发展,从 1978 年起至今,各部门已制订发表了一系列建筑物抗震的技术标准,见表 1-1。

表 1-1

建筑物抗震加固技术标准一览表

| 序号 | 标准的名称            | 标准号                     | 颁布日期              | 出版单位      |
|----|------------------|-------------------------|-------------------|-----------|
| 1  | 建筑抗震设计规范         | GB 50011—2010           | 2010 年            | 中国建筑工业出版社 |
| 2  | 建筑抗震设计规范         | GB 50011—2008           | 2008 年            | 中国建筑工业出版社 |
| 3  | 地震灾害后建筑鉴定与加固技术指南 | 中华人民共和国住房和城乡建设部         | 2008 年 7 月        | 中国建筑工业出版社 |
| 4  | 建筑工程抗震设防分类标准     | GB 50223—2008           | 2008 年 7 月        | 中国建筑工业出版社 |
| 5  | 建筑抗震加固技术规程       | JGJ 116—98              | 1999 年 3 月        | 中国建筑工业出版社 |
| 6  | 危险房屋鉴定标准         | JGJ 125—99<br>(2004 年版) | 2000 年 3 月        | 中国建筑工业出版社 |
| 7  | 建筑震害分析及实例图解      | 国家建筑标准设计图集<br>08CG09    | 2008 年 9 月        | 中国计划出版社   |
| 8  | 民用住宅建筑抗震加固设计要点   |                         | 1978 年建技<br>208 号 | 天津市房地产管理局 |
| 9  | 村镇建筑抗震技术规程       | (报批稿)                   |                   | 铁道出版社     |
| 10 | 砖混结构房屋加层技术规范     | CECS78:96               | 1996 年            | 中国建筑工业出版社 |
| 11 | 钢结构加固技术规范        | CECS77:96               | 1996 年            | 中国计划出版社   |
| 12 | 民用房屋修缮工程施工工程     | CJJ/T 53—93             | 1993 年            | 中国建筑工业出版社 |
| 13 | 既有建筑地基基础加固技术规范   | JGJ 123—2000            | 2000 年            | 中国建筑工业出版社 |
| 14 | 建筑抗震鉴定标准         | GB 50023—2009           | 2009 年            | 中国建筑工业出版社 |
| 15 | 建筑抗震加固技术规程       | JGJ 116—2009            | 2009 年            | 中国建筑工业出版社 |
| 16 | 铁路房屋增层和纠倾技术规范    | TB 101 14—97            | 1997 年            |           |
| 17 | 混凝土结构加固技术规范      | CECS25:90               | 1990 年            | 中国计划出版社   |
| 18 | 混凝土结构后锚固技术规程     | JGJ 145—2004            | 2004 年            | 中国建筑工业出版社 |

我国抗震设计规范编制和颁发的年表如下:

1974 年,《工业与民用建筑抗震设计规范》(TJ 11—74)(试行),原国家建委批准颁布;

1978 年,《工业与民用建筑抗震设计规范》(TJ 11—78),原国家建委批准颁布;

1989 年,《建筑抗震设计规范》(GBJ 11—89),建设部批准颁布;

2001 年,《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001),建设部批准颁布;

2010 年,《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010),住房和城乡建设部批准颁布。

1966 年之前,由于人们对地震和抗震还缺乏了解,因此,研究工作还仅限于在少数科研设计部门内进行。抗震设计主要参考苏联的《地震区建筑抗震设计规范》,1959 年和 1964 年,我国曾两次编制包括各类工程结构的《地震区建筑抗震设计规范》(草案),虽然未正式颁发,但对工程抗震设计仍起了一定的作用。在一些重点建设工程中,对抗震问题也有所考虑,但因没有国家的规范标准可以遵循,一般仅以专家论证的方式,参考国外的有关规范,对重点建设工程采取必要的抗震措施。

我国正式颁布的第一本工程抗震设计规范是 1974 年试行的《工业与民用建筑抗震设计规范》(TJ 11—74)。1966 年,邢台地震的重大伤亡引起了中央的重视,以后 30 多年又是我

国地震多发的时期,新疆、云南、广东、四川、辽宁、山东、河北等省连续发生了一系列破坏性地震,特别是1970年初的通海地震,1975年的辽宁海城地震和1976年的唐山地震等一连串大地震发生后,严重的地震破坏和重大的人员伤亡更加引起国家领导人和工程界的关注与警觉,从而也推动了我国抗震技术的蓬勃发展。设计规范和相关标准是当代科研和设计经验水平的全面体现,因此每经历一次大地震的经验总结或通过一定时期的科研和试验资料的积累,都要对规范标准进行全面或局部的修订。

## 1.4 抗震设计、鉴定和加固三本新规范修订和颁布实施

汶川大地震后国家组织有关科技人员对《建筑抗震设计规范》、《建筑抗震鉴定标准》和《建筑抗震加固技术规程》进行全面修订,分别于2009年7月、8月和2010年10月公布实施。

### 1. 《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)(2010年版)

本次修订系根据住房和城乡建设部建标[2008]102号文的要求,由中国建筑科学研究院会同有关单位对《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001)进行修订而成。

汶川地震表明,严格按照现行规范进行设计、施工和使用的建筑,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,有效地保护了人民的生命安全。说明我国在1976年唐山地震后,建设行政主管部门作出房屋从6度开始抗震设防和按高于设防烈度1度的“大震”不倒塌的设防目标进行抗震设计的决策是正确的。

根据住房和城乡建设部落实国务院《汶川地震灾后恢复重建条例》的要求,依据国家标准GB 18306—2001《中国地震动参数区划图》第1号修改单,相应调整了灾区的设防烈度等,并对其他部分条文进行了修订。本次局部修订合计修订31条,其内容统计如下:

(1) 灾区设防烈度等调整,涉及四川、陕西、甘肃三省,共3条。

(2) 强制性条文14条,原有条文的文字调整6条,主要涉及设防分类和建筑方案设计;删去关于隔震、减震适用范围限制的规定1条;新增涉及山区场地、非结构构件、楼梯间、专门的施工要求7条。

(3) 材料性能按产品标准修改,共2条,其中有强制性条文1条。

(4) 其他修改12条,涉及结构构件基本要求、预制装配式楼盖、坡地、单跨框架、土木石民居构造措施,以及楼梯参与整体计算等。

### 2. 《建筑抗震鉴定标准》(GB 50023—2009)

本标准是根据原建设部《关于印发〈2004年工程建设标准制订、修订计划〉的通知》([2004]67号)的要求,由中国建筑科学研究院会同有关单位对《建筑抗震鉴定标准》GB 50023—95进行修订而成。

修订过程中,调查总结了近年来我国发生的地震,特别是汶川大地震的经验教训,总结了原1995年鉴定标准颁布实施以来的建筑抗震鉴定的工程经验,采纳了建筑抗震鉴定技术的最新研究成果,并在全国范围内广泛征求了有关设计、科研、教学、房屋鉴定单位及抗震管理部门的意见,经反复讨论、修改、充实,最后,经审查定稿。

本次修订后共包括11章和7个附录,主要修订内容:①扩大了原鉴定标准的适用范围;将原1995年鉴定标准仅针对TJ 11—78实施以前设计建造的房屋,扩大到已投入使用的现

有建筑。②提出了现有建筑鉴定的后续使用年限;根据现有建筑设计建造年代及原设计依据规范的不同,将其后续使用年限划分为 30 年、40 年、50 年三个档次。③给出了不同后续使用年限的建筑应采用的抗震鉴定方法,即本标准中的 A, B, C 三类建筑抗震鉴定方法。④明确了现有建筑抗震鉴定的设防目标;后续使用年限 50 年的建筑与新建工程的设防目标一致,后续使用年限少于 50 年的建筑,在遭遇同样的地震影响时,其损坏程度略大于按后续使用年限 50 年鉴定的建筑。⑤适度提高了乙类建筑的抗震鉴定要求。

在标准中以黑体字标志的条文为强制性条文,必须严格执行。

### 3. 《建筑抗震加固技术规程》(JGJ 116—2009)

根据原建设部《关于印发〈二〇〇四年度工程建设城建、建工行业标准制订、修订计划〉的通知》(建标[2004]66 号)的要求,规程编制组经广泛调查研究,认真总结实践经验,参考有关国际标准和国外先进标准,并在广泛征求意见的基础上,修订本规程。

本规程的主要技术内容:①总则;②术语和符号;③基本规定;④地基和基础;⑤多层砌体房屋;⑥多层及高层钢筋混凝土房屋;⑦内框架和底层框架砖房;⑧单层钢筋混凝土柱厂房;⑨单层砖柱厂房和空旷房屋;⑩木结构和土石墙房屋;⑪烟囱和水塔。

本规程修订的主要技术内容:①与现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB 50023 相配合,明确了不同后续使用年限建筑的抗震加固要求。②在保持原规程“综合抗震能力指数”加固方法的基础上,增加了按设计规范方法进行加固的内容。③新增了粘贴钢板、碳纤维布、钢绞线网-聚合物砂浆、消能减震加固技术。④加强了对重点设防类建筑、超高超层建筑、不利于抗震的结构的加固要求。⑤与现行国家标准《混凝土结构加固设计规范》GB 50367 进行了协调。

在规程中以黑体字标志的条文为强制性条文,必须严格执行。

上述三本新规范的颁布实施,对当前抗震加固,震后恢复重建有着重要的指导作用。

## 1.5 建立我国地震监测预报机制 完善抗震设计的体系

### 1. 当前我国已建立的地震监测四大系统

(1) 全国短波通信网的建设。

(2) 地震卫星通信网的建设。

(3) 地震计算机网络系统的建设。

(4) 地震信息网络的全面建设,其中,①1995—2002 全国地震计算网络的建设;②北京首都圈地震信息通信系统建设;③中国数字地震观测网络工程地震信息服务系统建设;④地震科学数据共享工程和信息网络应用新技术等。

### 2. 抗震设计理论的不断更新

1974 年前,我国抗震设计从以静力法为主发展到引入反应谱理论,地震作用计算由静力学理论过渡到动力学理论。1976 年唐山地震以后,丰富的震害资料和深入的理论和实验研究推动了抗震设计规范标准的制定。当时,发现的问题是按规范设计计算的地震力远小于按实际地震反应谱计算的地震力,同时,震害调查发现实际房屋结构并未倒塌。分析其中的原因,主要是结构的非弹性耗能性质,故提出了结构延性系数的概念。1978 年,抗震规范修订中引入了结构影响系数  $C$  的概念,它综合反映了结构和材料的非弹性性质,以及计算



简化等因素的影响。我国限于经济条件,1974 年抗震规范规定对 7 度和 7 度以上地区进行抗震设防。随着国家经济建设的发展,在唐山地震以后,修编的 1978 年抗震规范将设防区域扩大到从 6 度开始设防。1978 年抗震规范修订中的另一重要补充是,提出了在砌体结构中设置钢筋混凝土构造柱的规定。

1989 年由建设部颁布的《建筑抗震设计规范》(GBJ 11—89),1990 年正式实施。其主要特点可概括如下:

(1) 以概率可靠度为基础的三水准设防(小震不坏、中震可修、大震不倒)和二阶段抗震设计思想(小震下的截面抗震验算和大震下的结构变形验算),加强了对概念设计的总体要求;

(2) 对 6 度区的建筑抗震设防提出了明确的要求;

(3) 建筑的重要性分类,以基本烈度和建筑重要性分类共同确定设防水准;

(4) 4 类场地划分和考虑远近震影响的地震作用计算;

(5) 场地土液化判别和危害程度等级分类;

(6) 关于结构时程分析法补充计算,扭转和竖向地震效应的计算;

(7) 截面承载力验算,引入抗震调整系数,取代总安全系数和结构系数;

(8) 弹塑性变形验算和变形控制指标。

(GBJ 11—89)抗震规范基本上达到了 20 世纪 80 年代的国际建筑抗震设计的先进水平,对我国的建筑抗震设计具有重要的指导作用。

## 1.6 隔震建筑将地震损失降到最低

传统的抗震设计是利用材料的强度和结构构件的变形能力来抵抗外来的地震力,使建筑物不致严重破坏,而隔震技术是采用一种特殊的措施来隔离地震对上部结构的影响,使建(构)筑物在地震时只产生很小的振动。近 10 年来,隔震技术发展很快,如新西兰、美国、日本、法国、中国台湾等地,已在高烈度区的重要工程上广泛采用基础隔震装置,将建筑物与地基用特制的隔震装置隔开,使地面运动的地震能量直接由基础的隔震支座和耗能装置所吸收,建筑物相对不受影响。从而达到抗御地震的目的。长期以来,日本政府十分重视发展隔震建筑,以最大限度地减少地震造成的损失。尤其是对于城市的高层建筑。日本阪神大地震后,日本有了建筑防震标准,在构筑高层建筑物的基础中采用“地基地震隔震”技术,在建筑物底部安装橡胶弹性垫或摩擦滑动承重座等抗震缓冲装置。为了提高传统木结构房屋的抗震能力,日本最普通的民宅也是箱体设计,地震灾害发生时房屋可以整体翻滚而不破毁;在专业技术人员对民房进行抗震加固等级评定基础上,政府给予居民适当的补贴,鼓励抗震加固。

近年来,日本提出一些新的设计观念,例如,具有较好抗震性能的“隔震建筑”。东京建的 12 座隔震建筑,经东京发生的里氏 6.6 级地震考验后,证明了在减轻地震灾害方面有显著的效果。这种隔震建筑物建在隔离体上,隔离体由分层橡胶硬钢板组和阻尼器组成,建筑结构不直接与地面接触。阻尼器由螺旋钢板组成,以减缓上下的颠簸。日本有的城市建筑物的地基部分加上硬质橡胶和钢板,使建筑物本身结构有了隔震,能抗 7 级左右地震。

目前,常用的隔震装置有多层橡胶垫和阻尼器。我国不少地区也在开发,这就是抗震领

域中的一大突破。另外,砂石垫层隔震也有明显的效果。

隔震装置不仅用于建筑物,而且可用于桥梁、储罐、高塔、精密设备上。例如,日本竹中工务店在东京都江东区的软土地基上建造了大型筒仓试验体,在该试验体上设置了隔震装置,并进行了长期观测。他们研究发现,对宽度很小的高层建筑,隔震效果不大。

## 1.7 本世纪的工作重点

人类的生存依赖于地球,而土地的资源是一个不可再生的资源。人们不断地挖掘和开发现有资源,进行既有建筑物的增层、移位、纠倾、抗震改造加固工作,以满足生产和生活的多种需求,将是本世纪更加热门的课题之一。

基于既有建筑物的抗震加固改造设计理论研究的重要意义,有待国内工程界同行专家的共同努力。目前,需要研究开发的项目有:

- (1) 建立合理的抗震结构受力体系的理论设计框架。
- (2) 总结在实施抗震新规范中的经验和问题。
- (3) 建立可以反映结构地震移位工程中的各类性能指标。
- (4) 加强纠倾作业工作中的科学技术含量和指导要点。
- (5) 编制建筑物抗震加固改造工程中的各种施工工法。
- (6) 建立完善和准确的地震量测系统数据的管理。
- (7) 提高各类应用设备的测量精度和质量。
- (8) 建立各类重大工程的信息化数据和经验总结。

## 1.8 今后的目标和展望

近 20 年来,我国建筑行业中的建筑抗震加固与改造和其他行业一样,突飞猛进,取得了辉煌的成就,形势喜人。在这个时期内,我国进行了无数的建(构)筑物新建和抗震加固改造、移位、纠倾和地基加固、托换等工程,规模越来越大,复杂性也越来越高。经过较长时期的实践,证明了经过抗震加固改造的项目质量应该得到肯定。

未来地震信息通信系统具体的发展战术应特别注意以下的问题:建设地震行业先进的信息网络基础设施,实现地震行业通信、数据传输、信息管理与共享服务等基础功能,推进行业网络化建设;建设高性能网格计算体系,满足大规模地震观测数据处理和地震预报数值模拟的需求;为突破地震预报难关,建立与国际水平同步的地震科学领域的应用网络平台;建设以地震数据和各类信息资源为核心的地震科学数据中心,推进地震数据信息共享和服务,促进三大工作体系的信息化变革,实现面向社会公众的全面共享和地震信息的快速发布,使地震行业数据产出成为国家和社会的重要资源和财富;建设地震网络协同工作环境和协同科研环境,形成服务于地震监测预报、震灾预防、紧急救援三大工作体系和地震科研及社会公众服务的平台;在全国范围内推进网络地震观测系统、震害防御、应急救援的信息化网络应用,建设全国地震公共安全预警网,实现地震灾害的实时监测和告警,减轻地震灾害对社会公众安全和国民经济建设的冲击,充分体现以人为本的政府关怀。

近期,特别需要关注的是下一代互联网,它可能像上个世纪互联网出现那样,给地震行