

建筑结构新规范系列培训读本

建筑抗震 设计规范理解与应用

高小旺 龚思礼 苏经宇 易方民 编

JIANZHUKANGZHENSHEJIGUIFANLIJIEYUYINGYONG

中国建筑工程工业出版社

建筑结构新规范系列培训读本

建筑抗震设计规范理解与应用

高小旺 龚思礼 苏经宇 易方民 编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑抗震设计规范理解与应用/高小旺等编. —北京:
中国建筑工业出版社, 2002
ISBN 7-112-05027-8

I. 建... II. 高... III. 建筑结构-抗震设计-规范-研究-中国 IV. TU352.104

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 012412 号

本书根据新的《建筑抗震设计规范》(GB50011—2001) 编写, 着重于理解与实际应用抗震设计规范。为此, 对新的建筑抗震设计规范所依据的理论、概念和设计方法等进行了较全面而又扼要的阐述, 对建筑抗震概念设计和各类结构抗震设计要求、抗震验算及构造措施进行了介绍, 并给出了一些设计实例, 使读者对新的建筑抗震设计规范有比较系统、全面和清晰的了解。同时, 对应用建筑抗震设计新规范中应注意的一些问题也进行了探讨。

本书可供建筑结构设计技术人员学习、参考。

建筑结构新规范系列培训读本

建筑抗震设计规范理解与应用

高小旺 龚思礼 苏经宇 易方民 编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

新华书店经销

有色曙光印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 24 $\frac{1}{4}$ 字数: 596 千字

2002 年 4 月第一版 2002 年 4 月第一次印刷

印数: 1—10,000 册 定价: 31.00 元

ISBN 7-112-05027-8

TU·4480 (10554)

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)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

前 言

本书内容是对新的《建筑抗震设计规范》GB50011—2001的理解和实际应用，使读者对新规范有比较系统、全面和清晰的了解，同时尽量帮助读者解决应重要理解和具体应用中应注意的一些问题。

本书按新规范章节顺序和设计步骤把条文贯通起来进行解释说明，并在章节中间或之后加入设计计算实例，使读者能掌握按规范要求的抗震设计步骤和方法。

本书还有重点地、较完整地介绍了规范的设计思想、概念设计、地震作用计算、构件截面抗震承载力与结构变形验算方法以及钢筋混凝土结构、多层砌体结构、多层与高层钢结构房屋、单层工业厂房、隔震和消能减震设计以及非结构构件的抗震设计等。

限于篇幅，本书并不注重条文的理论探讨。

本书第1、2章由龚思礼执笔，第3章由苏经宇执笔，第4、6、7、10、11、15章由高小旺执笔，第8、14章由易方民执笔，第5章由高小旺和钟益村、第9章由高小旺和汪颖富、第12章由苏经宇和周云、第13章由龚思礼和秦权共同完成，全书由高小旺定稿。周晓夫、孟钢、高炜为本书的一些算例和插图等做了大量的工作。

在本书撰写过程中，得到规范修订组许多同志的帮助，在此表示深深的感谢！

作者虽然长期从事工程抗震科研工作，但限于水平和知识面的局限性难免有疏漏和不当之处，敬请读者批评指正。

目 录

第 1 章 总则	1
1.1 GB50011—2001 规范继续采用 GBJ11—89 规范的设计思想	1
1.2 GB50011—2001 规范作了许多重要的补充	1
1.3 三水准设防是对单一水准设防的改进	2
1.4 三水准的抗震设防是向“性能设计”发展的重要一步	2
第 2 章 抗震设计的基本要求	5
2.1 建筑抗震设防分类	5
2.2 地震影响	6
2.3 建筑抗震概念设计	8
2.4 非线性静力分析	13
2.5 重力二阶效应 ($P-\Delta$ 效应)	18
参考文献	22
第 3 章 场地、地基和基础	23
3.1 地震破坏作用	23
3.2 场地类别划分	24
3.3 场地选择	26
3.4 天然地基和基础	29
3.5 液化判别与危害程度估计	30
3.6 桩基	34
参考文献	36
第 4 章 地震作用和结构抗震验算	37
4.1 概述	37
4.2 水平地震作用计算	37
4.3 竖向地震作用的简化计算方法	57
4.4 截面抗震验算	59
4.5 结构抗震变形验算	63
参考文献	83

第 5 章 多层和高层钢筋混凝土房屋	84
5.1 概述	84
5.2 多层和高层钢筋混凝土房屋的震害	84
5.3 多层和高层钢筋混凝土房屋的抗震性能	87
5.4 多层和高层钢筋混凝土房屋抗震设计的一般要求	94
5.5 钢筋混凝土框架结构抗震验算	109
5.6 钢筋混凝土抗震墙结构构件内力调整和截面抗震验算	116
5.7 框架-抗震墙结构中框架剪力的调整	120
5.8 钢筋混凝土框架结构抗震构造措施	121
5.9 抗震墙结构抗震构造措施	127
5.10 框架-抗震墙结构抗震构造措施	130
5.11 板柱-抗震墙结构抗震设计要求	131
5.12 计算例题	132
参考文献	145
第 6 章 多层砌体房屋	146
6.1 多层砌体房屋的抗震性能	146
6.2 多层砖砌体房屋的震害	149
6.3 多层砌体房屋抗震设计的一般要求	151
6.4 地震作用计算和截面抗震验算	156
6.5 主要抗震构造措施	159
6.6 多层砌体房屋抗震设计中有关问题的探讨	167
6.7 多层砌体房屋计算例题	173
参考文献	187
第 7 章 底部框架-抗震墙砖房和内框架房屋	188
7.1 底部框架-抗震墙砖房	188
7.2 底部框架-抗震墙砖房抗震设计中有关问题的探讨	213
7.3 多层内框架房屋	217
7.4 底部框架-抗震墙砖房计算例题	222
参考文献	232
第 8 章 多层和高层钢结构房屋	233
8.1 多层和高层钢结构房屋的抗震性能	233
8.2 多层和高层钢结构房屋的震害	236
8.3 多层和高层钢结构房屋抗震设计的一般规定	238
8.4 多层和高层钢结构房屋的抗震计算	241
8.5 钢框架结构抗震构造措施	251

8.6 钢框架—支撑结构抗震构造措施	257
8.7 多高层钢结构房屋抗震设计新体系、新节点探讨	259
8.8 高层钢结构房屋抗震计算例题	275
参考文献	282
第9章 单层工业厂房	283
9.1 单层钢筋混凝土柱厂房	283
9.2 单层钢结构厂房	302
9.3 单层砖柱厂房	307
9.4 计算例题	315
参考文献	323
第10章 单层空旷房屋	324
10.1 单层空旷房屋的震害特点	324
10.2 单层空旷房屋抗震设计的一般要求	325
10.3 地震作用计算与截面抗震验算	325
10.4 抗震构造措施	328
参考文献	329
第11章 土、木、石结构房屋	330
11.1 土、木、石结构房屋的震害	330
11.2 土、木、石结构房屋抗震设计的一般要求	331
11.3 多层石结构墙体截面抗震验算	332
11.4 抗震构造措施	332
参考文献	333
第12章 隔震与消能减震设计	334
12.1 震害设计	334
12.2 消能减震结构设计	345
12.3 隔震设计算例	351
参考文献	357
第13章 非结构构件	359
13.1 概述	359
13.2 国内外楼面设备地震作用确定方法简介	360
13.3 等效侧力法——单支点非结构构件的抗震简化计算方法	366
13.4 楼面反应谱法	368
参考文献	370

第 14 章 多层钢结构厂房抗震设计要求	371
14.1 概述	371
14.2 多层钢结构厂房抗震设计的一般规定	371
14.3 多层钢结构厂房抗震设计计算	373
14.4 多层钢结构厂房抗震构造措施	375
参考文献	376
第 15 章 配筋混凝土小型空心砌块抗震墙房屋	377
15.1 配筋混凝土小型空心砌块墙性能	377
15.2 配筋混凝土小型空心砌块抗震墙房屋抗震设计的一般要求	379
15.3 地震作用计算与截面抗震验算	381
15.4 抗震构造措施	383
参考文献	385

第 1 章 总 则

1.1 GB50011—2001 规范继续采用 GBJ11—89 规范的设计思想

GBJ11—89 规范确立了“三水准设防目标，两阶段设计步骤”的抗震设计思想，这个技术指导思想在 GBJ11—89 实行的 10 多年来，得到全国广大设计、科研工程技术人员认可。这个设计思想既符合我国当前的技术和经济情况，也符合国际上近 10 年来的抗震设防的科学发展状况。因此，新的建筑抗震设计规范（GB50011—2001）继续采用这个设计思想，并在第 1.0.1 条条文中明确规定三个水准设防为按规范进行建筑抗震设计的设防目标，即“当遭受低于本地区抗震设防烈度的多遇地震影响时，一般不受损坏或不需修理可继续使用；当遭受相当于本地区抗震设防烈度的地震影响时，可能损坏，经一般修理或不需修理仍可继续使用；当遭受高于本地区设防烈度的预估的罕遇地震影响时，不致倒塌或发生危及生命的严重破坏。”这个抗震设防目标，简称“小震不坏，中震可修，大震不倒”。要求如下：

1. 三水准的地震作用水平，仍按三个不同超越概率（或重现期）来区分：

多遇地震 50 年超越概率 63.2%，重现期 50 年；

设防烈度地震（基本地震） 50 年超越概率 10%，重现期 475 年；

罕遇地震 50 年超越概率 2%~3%，重现期平均约 2000 年。

2. 三水准设防对建筑性能的要求：

“小震不坏”要求建筑结构满足多遇地震作用下的承载力极限状态验算要求及建筑的弹性变形不超过规定的弹性变形限值。

“基本地震可修”，要求建筑结构具有相当的延性能力（变形能力），不发生不可修复的脆性破坏；

“大震不倒”要求建筑具有足够的变形能力，其弹塑性变形不超过规定的弹塑性变形限值。

3. 两个阶段设计步骤：

第一阶段，对绝大多数结构进行多遇地震作用下的结构和构件承载力验算和结构弹性变形验算，对各类结构按规定要求采取抗震措施；

第二阶段，对一些规范规定的结构进行罕遇地震下的弹塑性变形验算。

1.2 GB50011—2001 规范作了许多重要的补充

按照三水准设防的要求，GB50011—2001 规范对 GBJ11—89 规范作了一些的补充和完善。

1. 为完善第一水准（小震不坏）的抗震设防，对规范所增加的钢筋混凝土结构和钢

结构给出了弹性位移角限值的规定；

2. 为完善第三水准（大震不坏）的抗震设防，增加了静力弹塑性分析方法和有关结构弹塑性位移角限值的规定；

3. 为完善第二和第三水准设防，增加了保证各类结构延性的规定；完善了各类结构的延性措施。

1.3 三水准设防是对单一水准设防的改进

GB50011—2001 规范所以继续采用 GBJ11—89 规范的三水准设防思想，是由于其优于单一水准的设防思想。

所谓单一水准的设防思想，是我国《74 规范》，《78 规范》采用的，也是目前许多国家仍在采用的设防思想，其设防目标是：

“当遭遇相当于设计烈度的地震影响时，建筑物的损坏不致使人民生命财产和重要生产设备遭受危害，建筑物不需修理经一般修理仍可继续使用。”

依据这个思想，《74 规范》和《78 规范》只要求对结构和构件进行承载力验算，而且对构件进行承载力验算的内力，是由设计烈度相应的地震力经延性折减（结构系数）后计算得的，通常称这样的设计为强度设计。

单一水准设防与三水准设防的差别比较如表 1.3-1。

单一水准设防与三水准设防的比较 表 1.3-1

	单一水准设防要求	三水准设防要求
抗震设防目标	保障生命安全为主	保障生命安全，并在多遇地震下“正常运行”
地震作用水准	设防烈度地震	多遇地震，设防烈度地震，罕遇地震
设计地震作用	用结构系数折减的地震作用	第一阶段用多遇地震作用 第二阶段用罕遇地震作用
结构及构件验算	承载力验算	多遇地震下承载力与弹性变形验算 罕遇地震下弹塑性变形验算

1.4 三水准的抗震设防是向“性能设计”发展的重要一步

1. “性能设计”（Performance Based Design）的提出

近十多年来的大地震表明，单一的以生命安全为抗震设防目标已被认为是不全面的，在美国和日本，“性能设计”的研究、开发和实施已提到日程上来。

在美国，1989 年 Loma Preita 地震，震级为 6.9 级（后定为 7.1 级），其能量释放仅为 1906 年旧金山地震（8.3 级）的 $\frac{1}{63}$ ，伤亡人数 3000 人（其中死亡为 65 人），然而经济损失很大，估计直接经济损失（建筑物破坏重建）80 亿美元，间接经济损失超过 150 亿美元，

地震作用水准和建筑性能水准与建筑抗震性能目标

表 1.4-2

地震作用水准	建 筑 性 能 水 准			
	正 常 运 行	可以暂时使用	生 命 安 全	防 止 倒 塌
常 遇 地 震	<i>a</i>			
偶 遇 地 震	<i>e</i>	<i>b</i>		
少 遇 地 震	<i>h</i>	<i>f</i>	<i>c</i>	
罕 遇 地 震	<i>j</i>	<i>i</i>	<i>g</i>	<i>d</i>

根据上表的建筑性能水准的组合，可以有三个组合的抗震设防性能目标：

第一组 基本目标

表中 *a*, *b*, *c*, *d* 项的组合，是对一般使用要求的建筑应具备的最基本的性能目标

第二组 重要性较高或地震破坏后危险性较大的性能目标

表中 *e*, *f*, *g* 项目的组合

第三组 对安全有十分危险影响的性能目标

表中 *h*, *i*, *j* 项目的组合

(4) 规定地震作用下结构变形的容许指标

要达到“性能设计”的目标，应建立包含结构构件在规定的地震作用水平下的容许破坏水平，包括结构和非结构构件宏观破坏状况的描述和容许变形指标。

3. 日本建筑基准法 (Building Standard Law) 2000

日本建设省 2000 年 6 月颁发了实行新的建筑基准法 2000 的法令，其中包括了设计极限状态下性能目标的意义 (Definition of Performance Objective) 和设计方法的规定。这个建筑基准法的实施将建筑抗震设计向“性能设计”推进了一大步。

这个基准的抗震设防目标为：

(1) 当遭遇重现期为 30 至 50 年的地震时，防止结构构件和内外墙装修材料的破坏；

(2) 当遭遇重现期为 500 年的地震时，建筑的任何楼层不应倒塌，以保障人的生命安全。

4. 我国新修订的建筑抗震设计规范 (GB50011—2001)，在抗震设防思想同“性能设计”的设计思想是十分相似的，并向“性能设计”思想发展迈出了重要的一步。

第 2 章 抗震设计的基本要求

2.1 建筑抗震设防分类

现阶段的建筑抗震设防分类有国家标准《建筑抗震设防分类标准》(GB50223—95),该标准将建筑分为甲、乙、丙、丁四类,按行业和建筑功能进行具体分类,并代替了原《89 规范》的总则第 1.0.4 条和 1.0.5 条的规定。

GB50011—2001 规范 3.1.2 条规定,建筑抗震设防类别的划分应符合 GB50223—95 的规定。

根据《中华人民共和国防震减灾法》第十三章,第十四条的规定,GB50011—2001 规范,对甲、乙类建筑的分类原则和地震作用及抗震措施作了修改。

GB50011—2001 规范与 GB50223—95 标准的分类原则,地震作用计算和抗震措施的规定比较如表 2.1-1。

两本规范建筑抗震设防分类比较

表 2.1-1

		GB50223—95 标准	GB50011—2001 规范
设 防 分 类	甲类	地震破坏后对社会有严重影响,对国民经济有巨大损失或有特殊要求的建筑	重大建筑工程和地震时可能发生严重次生灾害的建筑
	乙类	使用功能不能中断或需尽快恢复,且地震破坏会造成社会重大影响和国民经济重大损失的建筑	地震时使用功能不能中断需尽快恢复的建筑
	丙类	地震破坏后有一般影响及其他不属于甲、乙、丁类的建筑	除甲、乙、丁类以外的一般建筑
	丁类	地震破坏或倒塌不会影响甲、乙、丙类建筑,且社会影响、经济损失轻微的建筑	抗震次要建筑
地 震 作 用	甲类	应按提高设防烈度一度设计	按地震安全性评价结果确定
	乙类	应按本地区抗震设防烈度计算	应符合本地区抗震设防烈度要求
	丙类	应按本地区抗震设防烈度设计	应符合本地区抗震设防烈度要求
	丁类	一般情况下可不降低	一般情况下仍应符合本地区抗震设防烈度的要求
抗 震 措 施	甲类	应按提高设防烈度一度设计	当抗震设防烈度为 6~8 度时,应符合本地区抗震设防烈度提高 1 度的要求,当为 9 度时,应符合比 9 度抗震设防更高的要求
	乙类	当设防烈度为 6~8 度时应提高一度设计,当为 9 度时,应加强抗震措施,对较小的乙类建筑,可采用抗震性能好、经济合理的结构体系,并按本地区的抗震设防烈度采取抗震措施	一般情况下,当抗震设防烈度为 6~8 度时,应符合本地区抗震设防烈度提高一度的要求,当 9 度时,应符合比 9 度抗震设防更高的要求,对较小的乙类建筑**,当其结构改用抗震性能较好的结构类型时,应允许仍按本地区抗震设防烈度的要求采取抗震措施

续表

		GB50223—95 标准	GB50011—2001 规范
抗震措施	丙类	应按本地区设防烈度设计	应符合本地区抗震设防烈度的要求
	丁类	当设防烈度为 7~9 度时, 抗震措施可按本地区设防烈度降低一度设计, 当为 6 度时可不降低	应允许比本地区抗震设防烈度的要求适当降低, 但抗震设防烈度为 6 度时不应降低

注: * 抗震措施指除结构地震作用计算和抗力计算以外的抗震设计内容, 包括抗震构造措施; 抗震构造措施指一般不须计算而对结构和非结构各部分必须采取的各种细部要求。

* 较小的乙类建筑指工矿企业的变电所、空压站、水泵房以及城市供水水源的泵房等; 当为丙类建筑时, 一般可采用砖混结构, 当为乙类建筑时, 若改用钢筋混凝土结构或钢结构, 则可按本地区设防烈度的规定采取抗震措施。

2.2 地震影响

1. 设计基本地震加速度

GB50011—2001 规范在总则 1.0.5 条规定, 一般情况下, 抗震设防烈度可采用中国地震动参数区划图的地震基本烈度 (或与本规范设计基本地震加速度对应的烈度值)。对已编制抗震设防区划的城市, 可按批准的抗震设防烈度或设计地震动参数进行抗震设防。

这里有三个方面的值, 即抗震设防烈度值, 设计基本地震加速度值和《中国地震动参数区划图》的地震动峰值加速度值, GB50011—2001 规范用表 2.2-1 的对应关系予以联系和协调:

设防烈度与设计基本地震加速度

表 2.2-1

设计基本地震加速度	0.05g	0.10g	0.15g	0.20g	0.30g	0.40g
抗震设防烈度	6	7		8		9

这里的设计基本地震加速度, 指的是建设部 1992 年 7 月 3 日颁发的建标 [1992] 419 号《关于统一抗震计规范地面运动加速度设计取值的通知》规定的加速度值, 其规定如下:

术语名称: 设计基本地震加速度值。

定义: 50 年设计基准期超越概率 10% 的地震加速度设计取值。

取值: 7 度 0.10g, 8 度 0.20g, 9 度 0.40g。

表中的设计基本地震加速度的取值与《中国地震动参数区划图》所规定的“地震动峰值加速度”相当, 只是在 0.10g 与 0.20g 之间有一个 0.15g, 0.20g 与 0.40g 之间有一个 0.30g 的区域, 这两个区分别同 7 度和 8 度地区相当。

2. 地震动参数区划图

《中国地震动参数区划图》(GB18306—2001) 于 2001 年 8 月 1 日起实施, 该图根据地震危险性分析方法, 提供了 II 类场地上, 50 年超越概率为 10% 的地震动参数, 共有 2 张图 (比例尺均为 1:400 万):

(1) 中国地震动峰值加速度 (图 A1)

(2) 中国地震动反应谱特征周期区划图 (图 B1)

按 [*] 地震峰值加速度 A , 按下法取得:

首先计算加速度反应谱, 得谱加速度的平均值 S_a , 则

$$A = S_a / \beta \quad (2.2-1)$$

式中 β ——动力放大系数。

再计算速度反应谱, 得谱速度的平均值 S_v , 则

$$T_g = 2\pi \frac{S_v}{S_a}$$

参阅图 2.2-1 三联反应谱, T_g 为平面 S_a 同 S_v 交会点处的周期值

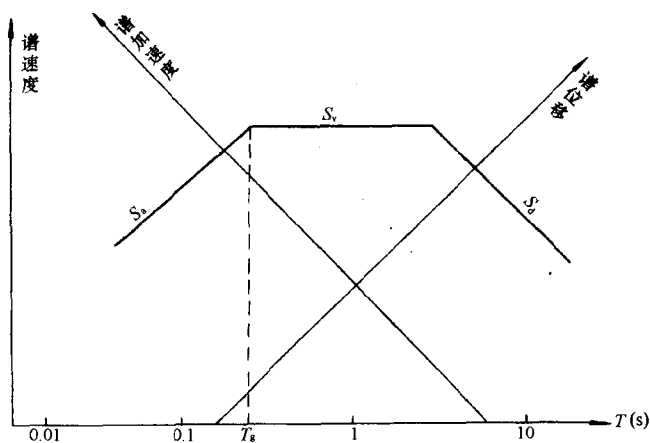


图 2.2-1 三联反应谱

GB50011—2001 规范, 根据建筑工程的实际情况, 将地震动反应谱特征周期, 取名为“设计特征周期”, 其取值根据“设计地震分组”确定。

建筑工程的设计地震分为三组, 对 II 类场地, 第一、二、三组的设计特征周期分别取为 0.35s、0.40s、0.45s。

设计地震分组在《中国地震动反应谱特征周期区划图 B1》的基础上作如下的调整, 调整的原则参照 GBJ11—89 规范关于近震和远震的划分原则。

(1) 区划图 B1 中 0.35s 和 0.40s 的区域作为设计地震第一组;

(2) 区划图 B1 中 0.45s 的区域, 多数作为设计地震第二组;

(3) 凡符合下列情况的区域作为设计地震第三组:

1) 区划图 A1 中峰值加速度减至 1/3 以下的影响区;

2) 位于 B1 图中 0.45s, 且区划图 A1 中 $\geq 0.40g$ 的峰值加速度减至 1/2 以下的影响区域。

GB 50011—2001 规范在附录 A 中规定了县级及县级以上城镇的中心地区 (如城关地

[*] Introduction of Seismic Zoning Map of China (1999) Mengtan Gao 12WCEE 2000

区)的抗震设防烈度、设计基本地震加速度和所属的设计地震分组。

2.3 建筑抗震概念设计

2.3.1 建筑抗震概念设计的基本内容

建筑抗震概念设计的基本内容有三个部分:

1. 建筑设计应重视建筑结构的规则性;
2. 合理的建筑结构体系选择;
3. 抗侧力结构和构件的延性设计。

这三大重要的抗震设计的基本要求,在《89规范》中得到确认,而在GB50011—2001规范中得到进一步补充和加强。在GB50011—2001第三章3.4节(建筑设计和建筑结构的规则性)和第3.5节(结构体系)的规定中予以体现。

2.3.2 建筑结构的规则性

建筑结构的规则性对抗震能力的重要影响的认识始自若干现代建筑在强地震中的表现。其中最为典型的是1972年12月23日南美洲的马那瓜(Managua)地震。马那瓜有二幢高层建筑,相隔不远(当地的地震烈度估计为8度),一幢是十五层的中央银行大厦;另一幢是美洲银行大厦。前一幢的建筑结构严重不规则,地震时破坏严重,地震后拆除,后一幢建筑结构很规则,地震时只轻微损坏,地震后仅稍加修理便恢复使用。根据参考文献[1]的介绍如下。

1. 中央银行大厦(图2.3-1)

(1) 平面不规则

如图2.3-1a所示,四个楼梯间,偏置塔楼西端,再加上西端有填充墙,地震时产生极大的扭转偏心效应。

四层以上的楼板仅50mm厚,搁置在14m长的小梁上,小梁的全高仅450mm,这样一个楼面体系是十分柔弱的,抗侧力的刚度很差,在水平地震作用下产生很大的楼板水平变形和竖向变形。

(2) 竖向不规则

塔楼的上部(四层楼面以上),北、东、西三面布置了密集的小柱子,共64根,支承在四层楼板水平处的过渡大梁上,大梁又支承在其下面的10根 $1\text{m} \times 1.55\text{m}$ 的柱子上(柱子的间距达9.4m)。形成上下两部分严重不均匀,不连续的结构系统(图2.3-1c)。

由于这样的不规则结构,该建筑在这次地震中遭受了以下的主要破坏:

第四层与第五层之间(竖向刚度和承载力突变),周围柱子严重开裂,柱钢筋压屈;

横向裂缝贯穿三层以上的所有楼板(有的宽达10mm),直至电梯井的东侧;

塔楼的西立面、其他立面的窗下和电梯井处的空心砖填充墙及其他非结构构件均严重破坏或倒塌。

美国加州大学贝克莱分校对这幢建筑在地震后进行了计算分析,分析结果表明:①结构存在十分严重的扭转效应;②塔楼三层以上北面 and 南面的大多数柱子抗剪能力大大不足,率先破坏;③在水平地震作用下,柔而长的楼板产生可观的竖向运动等等。

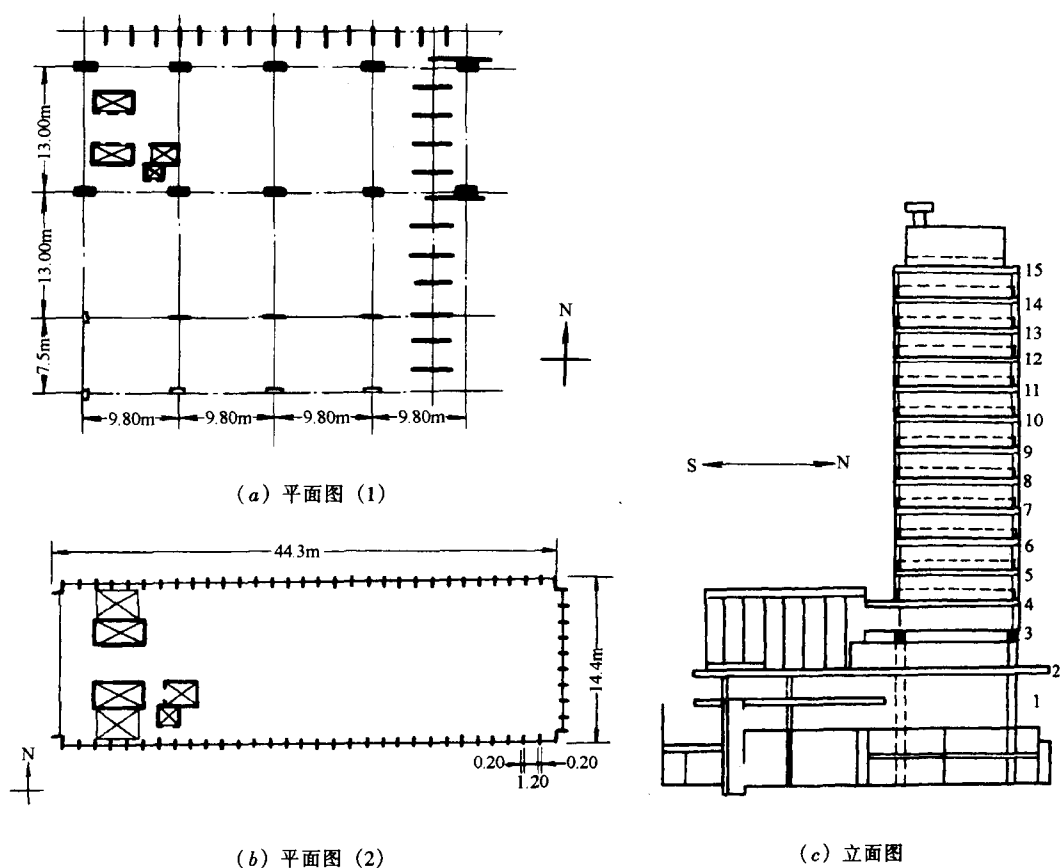


图 2.3-1 马那瓜中央银行大厦平、立面图

2. 美洲银行大厦 (图 2.3-2)

结构系统是均匀对称的, 基本的抗侧力系, 包括四个 L 形的筒体, 对称地由连梁连接起来, 这些连梁在地震时遭到剪切破坏, 是整个结构能观察到的主要破坏。

对整个建筑的分析表明: ①对称的结构布置及相对刚强的联肢墙, 有效地限制了侧向位移, 并防止了任何明显的扭转效应; ②避免了长跨度楼板和砌体填充墙的非结构构件的损坏; ③当连梁剪切破坏后, 结构体系的位移虽有明显增加, 但由于抗震墙提供了较大的侧向刚度, 位移量得到控制。

马那瓜地震中两幢现代化钢筋混凝土高层建筑的抗震性差异表明建筑平面和竖向的规则性, 在抗震工程中的重要影响。

由于地震震害的经验教训, 对建筑规则性的要求, 从 20 世纪的 80 年代以来, 已普遍地得到工程界的重视。美国的加州结构工程师协会的侧力规范 (Recommended Lateral Force Requirements And Commentary) 和统一建筑法规 (UBC) 在 20 世纪 80 年代末和 90 年代初就对建筑的平面和竖向的规则性提出了要求。最近的 IBC (International Building Code) 还作了补充, 其规定要求如表 2.3-1 和表 2.3-2。