

土木建筑工程继续教育丛书

建筑抗震设计新发展

龚思礼 周锡元 符圣聪 编著
戴国莹 王广军

中国建筑工业出版社

出 版 说 明

社会的进步、经济的振兴和科技的发展，都依赖于劳动者素质的提高和大量合格人才的培养。为此，必须努力通过各种途径，加强对劳动者和科技工作者的职业教育和在职继续教育。

为满足土木建筑界科技工作者补充新知识的需要，在中国建筑学会及中国土木工程学会的倡导和参与下，我社拟编辑一套《土木建筑工程继续教育丛书》，由两个学会各专业委员会协助，按专题约请有关专家执笔，陆续出版。

本丛书以在职的具有大专文化程度的中青年科技工作者为主要对象，可作为进修自学材料，也可供短期培训之用。

中国建筑工业出版社

(京)新登字 035 号

本书依据《建筑抗震设计规范》(GBJ11—89), 主要介绍建筑抗震设计的概念以及分析方法。包括建筑抗震概念设计, 地震危险性分析, 抗震设防区划和设计地震的参数, 建筑抗震的时程分析法, 液化地基的工程判断和措施选择。

本书可供从事土木建筑的设计、施工、科研和教学人员参考。

* * *

责任编辑 赵梦梅

土木工程继续教育丛书

建筑抗震设计新发展

龚思礼 周锡元 符圣聪 编著
戴国莹 王广军

*

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

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本: 850×1168毫米 1/32 印张: 5 字数: 134 千字

1992年3月第一版 1992年3月第一次印刷

印数: 1—5,500册 定价: 3.80元

ISBN7—112—01481—6/TU.1103

(6517)

目 录

第一章 概述	1
1.1 关于概念设计	1
1.2 关于地震危险性分析	2
1.3 关于抗震设防区划	3
1.4 关于时程分析法	4
1.5 关于饱和土的液化	5
第二章 建筑抗震概念设计	6
2.1 若干典型地震灾害的启示	6
2.2 建筑和结构的布局	25
2.3 抗震结构体系	32
2.4 结构和构件的变形能力和吸能能力的改善	43
2.5 非结构构件	51
第三章 地震危险性分析的基本概念和方法	53
3.1 地震危险性分析的基本思想	53
3.2 地震危险性分析方法简介	55
3.3 地震动参数的估计	61
3.4 考虑衰减规律不确定性的方法	67
3.5 例题	71
3.6 某些补充知识	76
第四章 抗震设防区划和设计地震动参数	81
4.1 抗震设防区划的任务和内容	81
4.2 场址地震动的概率估计	82
4.3 场址的动力反应分析	89
4.4 抗震设防区划和设计地震动参数	102
第五章 建筑抗震设计的时程分析法	113
5.1 什么是时程分析法	113

5.2	怎样用时程分析法进行抗震设计	119
5.3	时程分析法应用举例	123
第六章	液化地基的工程判断和措施选择	128
6.1	概述	128
6.2	液化地基的工程判别	130
6.3	《建筑抗震设计规范》的规定及依据	134
6.4	液化的模糊综合评定	141
6.5	液化危害性估价	145
6.6	工程措施	148

第一章 概 述

1.1 关于概念设计

历次大地震经验表明，地震还是一个难以预测的自然灾害，地震对建筑物的破坏作用也还没有被人们充分认识。地震工程研究人员和建筑设计工程师们，愈来愈觉得在现阶段抗震设计是一项“艺术”，还不完全是一项“科学”，并提出了“概念设计”这一名词。

概念设计一词，引自“Conceptual Design”^[1]，是指依靠设计者的知识和经验，运用思维和判断，正确地决定建筑的总体方案和细部构造，做到合理的抗震设计。

概念设计区别于数值设计“Numerical Design”，即区别于依靠计算分析为手段得出的数据以进行抗震设计。

根据近数十年来（特别是70年代以来）的大地震后建筑震害的分析，地震工程研究人员和设计人员逐渐体验到建筑总体方案和细部构造对抗震设计具有第一位的重要意义。人们并不是认为抗震设计不需要计算分析，且根据计算分析得出的数据进行结构和构件的设计；而是感觉到地震动和由此而产生的结构地震反应（内力和变形）的复杂性、不确定性，如果不首先从总体方案和细部构造上处理好，即首先做好概念设计，则计算分析就缺乏良好的基础。因此，概念设计非但不排斥计算分析，恰恰还要为正确的计算分析创造有利的条件，使计算分析的结果尽可能地反映地震时的结构地震反应的实际情况。

做好建筑抗震的概念设计，以下的一些问题是应该考虑的：

1. 对建筑所在地区的地震历史、地震特点、环境（小区域因素、

地基因素)有较全面的了解,以便所选取的建筑总体方案能适应这种地震运动,对付地震的破坏作用;2.要同建筑的功能、建筑美学的需要取得良好的配合,即在与建筑师的密切合作下做好抗震设计;3.对建筑结构的地震反应有较切实的估计,估计结构可能存在的薄弱环节,以便采取必要的抗震措施;4.应估计到所采取的结构构件的细部构造、措施的性能及其有效性,以便能保证构件在地震时的良好工作状态;5.应估计到所取方案在地震作用分析方面的可行性(能否取得符合客观实际的计算简图和分析方法);6.应注意到给施工创造有利的条件,保证工程质量以提高建筑物的抗震能力。

建筑概念设计涉及地震工程各方面的知识,需要更多的地震工程方面的科学素养和实践经验。但迄今为止,对这方面的论述还不多,这方面的知识和经验,还要不断积累。本书第二章对此作初步的探讨。

1.2 关于地震危险性分析

抗震设防的依据是地震动。我国目前是以地震烈度区划图定出的基本烈度作为抗震设防的依据。这个区划图给出一个地区的基本烈度,定义为一个地区今后100年内在一般场地条件下,可能发生的最大地震烈度。这个定义是属于长期震情的一种确定性预测。由于地震的发生在时间、空间和震级大小等方面,都有不确定性,为适应这个特点,近年来发展了地震危险性分析方法。地震危险性分析是用概率方法评价在未来一定期限内,某一地区遭受不同大小的地震的可能性。确定性方法和概率方法预测地震的区别,在于前者确定发生的地震在原则上应是确定要发生的(当然实际上是没有确定把握),后者是对一个地区发生的地震大小在一定时间范围内给出一个发生的概率。这样可能较为适应地震发生的不确定性的特点,而且工程的抗震设防,可以按其重要性、工程的使用寿命等采用不同的概率水准,这样的处理原则,

可以同工程抗震安全决策发生联系，是较易被人们接受的。

用概率的方法预测地震危险性，是美国的Cornell在1968年提出的，尽管本身还存在一些问题，但已广泛用于实际，且发展十分迅速。一些国家地震区划图的编制、城市防灾、重要工程的抗震设防依据，有不少采用了这种方法预测地震。我国第三代地震区划图的编制，也采用这个方法。这方面的研究工作很多，如有关震源模型、震源地震活动性，地震动的衰减规律等。本书第三章就其基本概念和方法作些介绍。

1.3 关于抗震设防区划

抗震设防区划是在地区性地震危险程度估计的基础上，为了考虑局部场地条件对场地和地基土地震效应的影响而提出来的。

在我国，五十年代用调整场地的地震烈度的办法来考虑这种影响。后来发现这并不能反映实际。实际上，地震震害不仅与地震动强度有关，而且也取决于场地的动力性质和地基土的稳定性。地震动和地基的失效又是两种不同的地震效应，显然，场地烈度调整的办法，在实际上混淆了它们之间的差异。因此，在后来的建筑抗震设计规范中，将场地进行分类，对不同场地分别采用不同的设计反应谱，但地面加速度不随场地而变，只与地震烈度有关，至于地基上的失效则通过评价和采取相应的抗震措施解决。在新的抗震设计规范（GBJ11-89）中，仍然遵循这个原则，地面加速度与局部场地条件仍为无关。这样的处理，似乎还是不尽理想的。

近些年来，以地震危险性分析方法为基础的场址动力反应分析来进行抗震设防区划，既考虑了场址周围较大地区的地震地质环境，同时还用数值的方法来考虑局部土质条件的地震动效应，给出地震动小区划和地基土稳定性小区划，能为各种工程提供更合理的场地工程地震特性的评价。本书第四章将着重介绍这种途径。

1.4 关于时程分析法

自从40年代反应谱理论问世以来，各国的抗震设计规范逐步从静力法过渡到考虑结构动力特性的反应谱理论设计法。经过多年的实践，这样的方法也逐渐暴露出一些不足之处，如：

1. 直接用规范反应谱不能很好符合不同工程所在地的实际地震地质环境、场地条件及地基土特征，从而求出的地震力可能偏差较大，也不能很好反映场地各个上层的动力影响。

2. 地震作用是一个时间过程，反应谱法不能反映结构在地震动过程中随时间变化的反应过程，有时不能给出正确的概念，有时不能找出真正的薄弱部位。

3. 振型分解反应谱法适用于结构弹性工作阶段。而结构在强烈地震作用下进入了塑性，振型分解法已不适用，因此仅采用综合的折减系数来考虑弹塑性特性，并不能准确地分析结构在地震作用下进入塑性阶段的情况，尤其是各部位进入塑性阶段的受力和变形，抗震设计的最终目的是要防止在大地震作用下倒塌，弹性分析方法尚不能提供相应的验算方法。

鉴于以上诸原因，自从60年代以来，许多地震工程学者致力于时程分析法的研究，这种方法的基本用途如下：

1. 改进抗震设计方法的研究，抗震变形验算方法就是一个；
2. 结构在地震作用下破坏机理的研究；
3. 现有结构抗震性能的鉴定；
4. 识别结构薄弱环节；
5. 特殊的、重要的以及高层建筑的抗震设计。

据不完全统计，目前世界上至少已有14个国家的抗震设计规范规定，重要的建筑或复杂结构，尤其是超过一定高度的高层建筑，须采用时程分析法进行抗震计算。如日本规定60m以上的高层建筑必须采用输入地震波来计算结构地震内力，并进行加速度峰值为400~600Gal的地震作用下结构弹塑性地震反应分析，从

而寻找结构的薄弱部位，判别结构可能达到的破坏程度及是否可能导致倒塌。我国新的抗震设计规范也要求对一些结构用时程分析法进行补充校核。

1.5 关于饱和土的液化

地基土的失效是一种重要的地震灾害。可能有三种情况：一是不均匀地基的差异变形，二是软弱粘性土地基的震陷，三是饱和土的液化。饱和土的液化及对建筑物的影响，最为工程抗震设计所关注。特别是日本新泻地震以后，对其研究也最多。包括液化机理，液化判别，液化对建筑物危害，建筑物抗液化措施等。我国地震历史上曾有许多地震时出现喷砂冒水的记载，六十年代以后的几次大地震中饱和土的液化现象更为普遍。根据现场勘察及实验研究，在1974年颁布的工业与民用建筑抗震设计规范中提出了饱和砂土的液化判别式。1975年海城地震和1976年唐山地震我国又积累了更为丰富的饱和土液化的资料，这些资料为新的抗震设计规范中的饱和土液化的有关规定提供了依据，本书第六章对此将作进一步的讨论。

第二章 建筑抗震概念设计

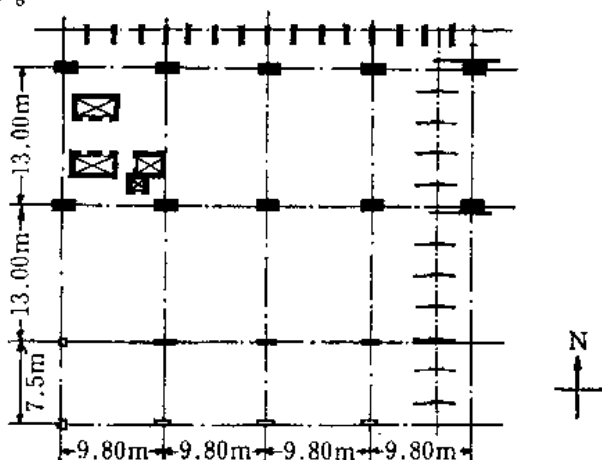
2.1 若干典型地震灾害的启示

建筑抗震概念设计的知识来自地震灾害经验的积累，因此这里先从若干典型的地震灾害的讨论开始。

2.1.1 1972年12月23日南美洲马那瓜 (Managua) 地震，二幢钢筋混凝土高层建筑的震害比较。

马那瓜有二幢高层建筑，相隔不远，一幢是十五层的中央银行大厦，另一幢是十八层的美洲银行大厦。前一幢地震时破坏严重，地震后拆除，后一幢地震时只受轻微损坏，地震后仅稍加修理便恢复使用。根据参考文献[1]的资料介绍如下。

中央银行大厦，建筑布置和结构系统，有许多抗震不合理之处（图2-1）。



(a) 平面图(1)

图 2.1 马那瓜中央银行大厦平、立面图(—)

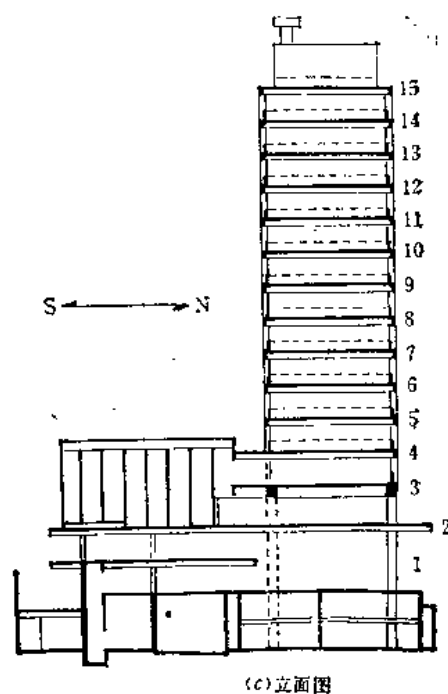
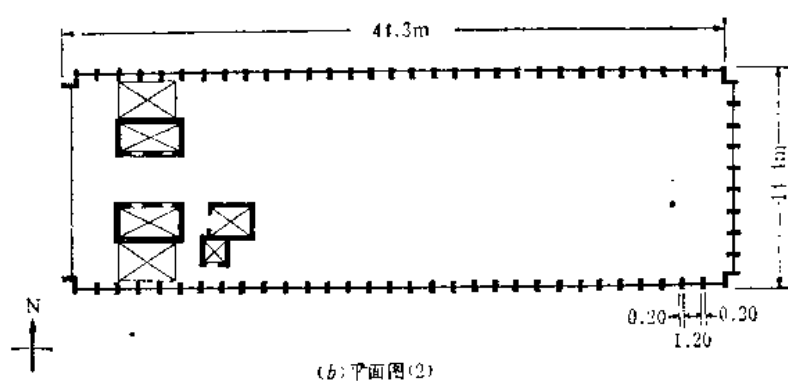


图 2.1 马那瓜中央银行大厦平、立面图(二)

塔楼的上部（四层楼面以上），北、东、南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 9.4 m ）。形成上下两部分严重不均匀、不连续的结构系统。

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 5 cm 厚，搁置在 14 m 长的小梁上，小梁的全高仅 45 cm ，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。

由于这样的结构布置，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，周围柱子严重开裂，围绕电梯井的墙开裂、混凝土剥落，第四层与第五层之间的柱钢筋压屈；横向裂缝（有的宽达 10 mm ）贯穿三层以上的所有楼板，直至电梯井的东侧；塔楼西立面、其他立面的窗下和电梯井处的空心砖填充墙及其它非结构构件均严重破坏或倒塌。

地震时，不仅电梯不能使用，楼梯也被碎片堵塞，影响地震时人员疏散。

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，包括三维的线弹性分析。分析结果表明：1. 结构存在十分严重的扭转效应；2. 填充墙降低了弹性线性阶段的基本周期 20% ，显著增加了地震作用；3. 塔楼三层以上北面和南面的大多数柱子抗剪能力大大不足，率先破坏；4. 由于余下的未开裂的柱子的相对刚度影响，在塔楼的东面产生附加地震力，传递到电梯井的墙壁，使电梯井墙壁开裂；5. 在水平地震作用下，柔而长的楼板产生可观的竖向运动，引起支承在楼板上的非结构构件的损坏。

美洲银行大厦的建筑布置和结构系统，有许多抗震上的合理之处（图2.2）。

结构系统是均匀对称的，基本的抗侧力系统，包括四个L形

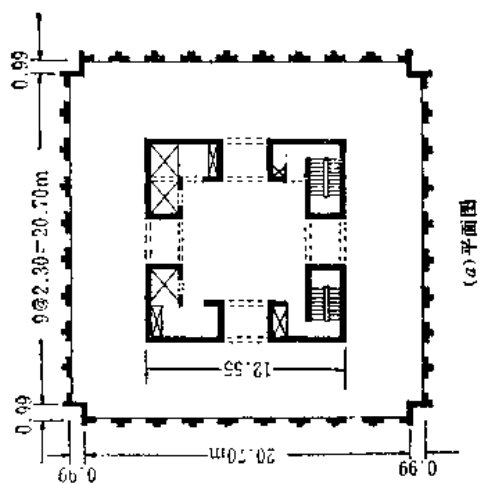
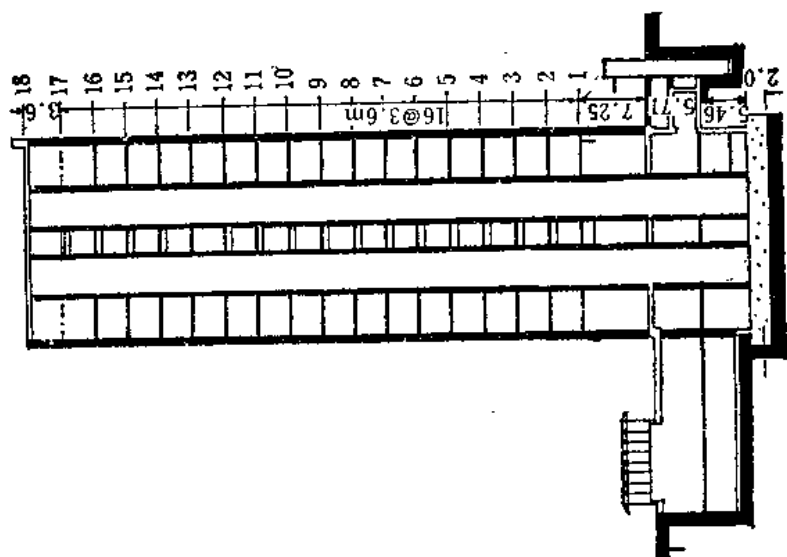


图 2.2 马那瓜美洲银行平、立面图

的筒体，对称地由连梁连结起来；由于管道口在连梁中心，联梁的抗剪能力只有抗弯能力的35%，这些联梁在地震时遭到破坏，是整个结构能观察到的主要破坏。

同中央银行大厦对比，美洲银行大厦地震时电梯也不能行驶，但楼梯间是畅通的，墙仅有很小的裂缝。

对整个建筑的三维线弹性分析和偶联墙非弹性二维分析表明：①对称的结构布置以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避免了长跨度梯板和砌体填充墙的非结构构件的损坏；③当联梁剪切破坏后，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，位移量得到限制。

马那瓜地震中两幢现代化的钢筋混凝土高层建筑的抗震性差异，生动地表明了建筑布局 and 结构体系的合理选择，在抗震设计中占有首要的地位。

2.1.2 1976年唐山地震中一些多层砖混结构的震害比较。

唐山地震中，唐山市绝大多数的多层砖房严重破坏或倒塌，灾害之重是地震史上罕见的。但也有一些多层砖房，裂而未倒，或者残存下来。这里根据参考文献[2]的调查资料，选择其中最具有典型性的三幢房屋震害介绍如下①。

1. 新华旅馆

唐山新华路中段，唐山地震时属十度震灾区，沿街建筑均严重倒塌，唯独新华旅馆的八层主楼，裂而未倒。

该建筑的总平面图如图2-3所示，建筑物中部地下深处有一条30~50m宽的开滦煤矿采空区通过，有一种看法，认为这个地下空间对地震波的向上传递起了屏蔽作用，减小了地震对建筑的影响，以致上部结构免于倒塌，这是需要进一步研究的问题。但从结构抗震体系观察，则认为结构的合理性是该建筑裂而未倒的主要原因。

① 有关震害的示意图，均引自参考文献[2]。

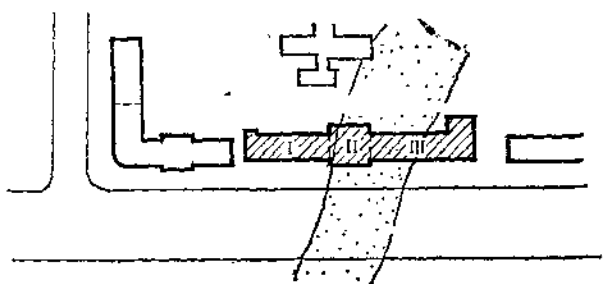


图 2.3 新华旅馆总平面图

建筑的平面和立面如图2-4所示。其主楼原为八层内框架结构，主楼西翼为五层单排柱内框架，东翼为七层砖混结构。原设计未考虑抗震，但在1975年2月施工至地下室完工时，发生了海城地震，为增强抗震性能，在主楼八层部分的砖墙中增加了钢筋混凝土构造柱，主楼同侧翼之间设有沉降缝，各段的每层均设圈梁。楼板多为非预应力预制圆孔板，为加强整体性，各段均有若干层现浇混凝土板。



(a)立面图



(b)平面图

图 2.4 新华旅馆平、立面图

地震破坏情况概述如下:

房屋西翼倒塌, 仅地面上残存二层; 东翼五至七层全部倒塌, 四层剩中间过道, 三层以下未倒。

主楼主要破坏为:

砖墙四个立面的破坏情况如图2.5所示。四个立面的窗间墙、

窗下墙、无窗洞的墙, 均出现典型的交叉剪切裂缝。

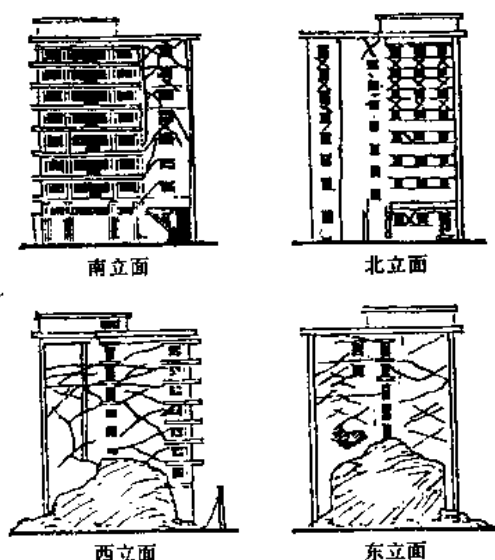


图 2.5 新华旅馆主楼四个立面震害示意图

各层砖墙内的构造柱基本完好。

内框架柱子: 一层柱子完整; 二层中间柱子顶角混凝土脱落, 主筋露出并稍弯曲; 三、四层柱子出现竖向缝, 柱脚上、下主筋交接处混凝土局部脱落 (图2.6a, b); 五层柱子破坏最重, 柱顶部混凝土酥碎脱落, 主筋呈灯笼形, 箍筋被撑断 (图2.6, c, d, e); 六层以上柱子仅在顶部有竖向细缝 (图2.6, f, g, h, i), 由于五层柱子的破坏, 以上各层的楼板下陷, 致使六、七、八层柱顶部和梁端均有断裂裂缝。