

中 美  
通过建筑、城市规划和工程  
减轻地震灾害讨论会  
论 文 集

1981年11月2—7日

中国 北京

中 美  
通过建筑、城市规划和工程  
减轻地震灾害讨论会  
论 文 集

1981年11月2—7日

中国 北京

中国国家建委抗震办公室 主办  
美国国家科学基金会  
中国国家建委抗震办公室筹备

# 目 录

|         |           |
|---------|-----------|
| 幕词..... | 彭 敏 ( i ) |
|---------|-----------|

## 一、建筑和非结构构件抗震

|                            |                        |
|----------------------------|------------------------|
| 震区的建筑设计和城市规划.....          | 叶耀先 ( 1—1 )            |
| 筑体形对抗震性能的影响.....           | 阿诺德 ( 2—1 )            |
| 市中心医院的地震安全：加州经验.....       | 拉格里奥 ( 3—1 )           |
| 于建筑体形和立面处理的若干抗震问题.....     | 杨玉成、杨柳、高云学、陆锡蕾 ( 4—1 ) |
| 级建筑系统的抗震设计：设计方法与可行性限制..... | 麦克尔 ( 5—1 )            |
| 76年唐山地震多层砖房震害实例和调查分析.....  | 蔡君馥、刘兆丰、梁鸿文 ( 6—1 )    |
| 76年唐山地震唐山市房屋非结构构件的震害.....  | 杨文忠 ( 7—1 )            |
| 筑风格对抗震上的影响.....            | 王玛莎 ( 8—1 )            |
| 筑构造的震害分析和改进意见.....         | 陈谋莘、徐家风、阮志大 ( 9—1 )    |
| 震区单层厂房建筑设计的几个问题.....       | 何广麟 ( 10—1 )           |

## 二、地震区的城市规划与土地利用

|                         |                      |
|-------------------------|----------------------|
| 金山地震安全规划：规划的制定与通过.....  | 雅克布斯 ( 11—1 )        |
| 震灾区的重建规划.....           | 琼 斯 ( 12—1 )         |
| 震区城市用地问题.....           | 王祖毅 ( 13—1 )         |
| 76年唐山地震后唐山市的重建规划.....   | 候民忠 ( 14—1 )         |
| 震区城市交通运输规划和震后应急措施.....  | 徐循初 ( 15—1 )         |
| 震区规划.....               | 塞尔克雷格 ( 16—1 )       |
| 津市区土地利用中与抗震有关的几个问题..... | 王作锟、宋培抗、苏世光 ( 17—1 ) |
| 国关于减轻地震灾害的建筑与规划研究.....  | 克利姆格尔德 ( 18—1 )      |

## 三、砖结构的抗震鉴定、加固和修复

|                     |                  |
|---------------------|------------------|
| 结构的抗震鉴定.....        | 龚永松 ( 19—1 )     |
| 盛顿西雅图房屋修建方针.....    | 郝肯斯、斯坦栋 ( 20—1 ) |
| 结构抗震加固计算.....       | 钮泽藜 ( 21—1 )     |
| 山市震损房屋的修复.....      | 张树全 ( 22—1 )     |
| 工窗间墙抗震性能的实验研究.....  | 麦克尼弗恩 ( 23—1 )   |
| 轻洛杉矶市现有建筑的地震灾害..... | 施沃兹 ( 24—1 )     |
| 有危险房屋：震后地震影响评定..... | 斯坦布鲁尔 ( 25—1 )   |

# 地震区建筑设计与城市规划

叶耀先<sup>I</sup>

## 提 要

本文叙述中国近年强震的建筑震害和城市地震灾害以及由此而得出的经验教训。全文共分四节。第一节为建筑系统，叙述常用建筑系统的地震表现，易损建筑系统和对建筑系统的要求。第二节为建筑体形，说明建筑平面和立面形状对建筑抗震性能的影响。第三节为建筑部件相互作用，阐述结构构件与非结构构件的相互作用，以及非结构构件的震害与抗震对策。第四节为城市地震灾害与城市规划，阐明减轻城市地震灾害的重要性，中国1976年唐山地震的经验和对地震区城市规划的要求。

---

I 国家基本建设委员会抗震办公室副主任，工程师，中国，北京

## 引 言

最近几十年来的地震经验表明,地震时,人员伤亡和经济损失主要是由于建筑物倒塌和城市规划不合抗震要求所致。但是,到目前为止,建筑师和规划师对地震问题还没有引起足够的重视,设计要求主要针对结构系统,而对建筑构件和整个城市在地震时的表现却注意较少。事实上,在建筑设计和规划阶段,设计人员,特别是建筑师和规划师的防震抗震决策对于保障人员安全和减少地震灾害具有极为重要的作用。

本文从建筑系统,建筑体形,建筑部件相互作用以及城市地震灾害与城市规划等四个方面总结了从中国近年强震调查所得到的经验,并在此基础上提出了相应的建议。

### 一、建筑系统

建筑物的地震安全、经济效益和使用功能等都和建筑系统密切相关。因此,选择建筑系统(或结构方案)是抗震设计的关键步骤之一。在这方面,需要建筑师和结构工程师的充分合作。

#### 1.1 地震表现

图1及图2为根据1976年唐山地震及其他几次地震经验绘

出的砖结构和钢筋混凝土结构抗震性能对比示意图。图中从1到3抗震性能逐步提高。

在图1中，砖烟囱抗震性能最差，在地震烈度为6度，甚至5度时就会出现裂缝；而低矮的砖园仓，即使在10度地区也很少倒毁。有钢筋混凝土构造柱的多层砖房抗震性能很好，在10度地区也不致倒塌。单层无筋砖柱房屋在8度以上地区，多数遭到严重破坏或倒毁。

在图2中，装配式单层工业厂房抗震性能最差，在8、9度区就有倒塌的；而带砖填充墙的钢筋混凝土框架结构，即使在10度区也未见有倒塌情况。由此可见，不同建筑系统的地震表现有显著的差异。即使同一材料，建筑系统不同，抗震性能也不一样。因此，在抗震设计中，选择优化结构方案确定一个十分重要的问题。

图1 砖建筑的地震表现

图2 钢筋混凝土建筑的地震表现

## 1.2 易损建筑系统

有些在非地震区是优良的建筑系统,在地震区则为易损建筑系统。因此,在地震区,不能盲目套用非地震区的建筑系统。

根据中国近年强震经验,值得注意的有以下几种易损建筑系统。

### 1. 多层砖房纵墙承重系统

纵墙承重系统采用纵墙承重,不但施工方便,而且经济效果好,房间布置灵活,能够满足多种使用要求,在非地震区确系优化结构方案之一。但是,在地震区,却由于承重横墙过少而累遭破坏。

1975年海城地震,这类房屋倒塌或严重破坏的,在8度区约为40%,在9度区高达70%。海城县招待所两翼配楼采用纵墙承重,25.4米范围内没有承重横墙,震后夷为平地,造成数十人死亡。图3为其平面图。

图3 海城招待所两翼配楼平面图

与纵墙承重系统形成鲜明对比的是纵横墙承重系统，由于每一到三间布设承重横墙，在海城地震中，在8、9度区未见有倒塌的，严重破坏的只占35%左右。横墙承重系统，由于每间均有横墙，竖向抗侧力系统更为完善，在海城地震中，甚至在9度区破坏也较轻微。带钢筋混凝土构造柱的横墙承重系统，由于在墙体交接处设有钢筋混凝土构造柱，并在楼盖平面设抗震圈梁拉结，使砖墙受到约束，从而显著提高了延性与强度，在1976年唐山地震中，在

10度区也未倒塌。

由此可见，多层砖房的抗震建筑系统应尽量采用横墙承重系统，必要时应用钢筋混凝土构造柱加强。

## 2. 无筋砖柱承重系统

无筋砖柱承重系统，在非震区既经济，施工也方便，不失为中、小跨度建筑的一种优良建筑系统。但这种系统在8度以上地震区却普遍遭到破坏或倒塌。所以，我国抗震设计规范规定，设计烈度为8度或9度时，砖柱应按计算配置竖向钢筋，但分别不应少于 $4\phi$ 10度和 $4\phi$ 12。

## 3. 无梁楼盖系统

无梁楼盖建筑系统在非震区或弱震区是需要较大空间且楼面荷载较大的建筑的一种优良建筑系统，它施工简便，由于没有大梁，而使楼盖高度减低，因而可降低造价。这种系统的竖向抗侧力构件是柱子，破坏总是首先在柱中发生，所以，不乏震毁实例。1976年唐山地震时，唐山市冷库的倒塌就是一例。1977年罗马尼亚乌兰恰地震，布加勒斯特市运输部计算中心一座四层无梁楼盖房屋倒塌，虽和柱子配筋不当有关，但与结构系统也有密切关系。看来，在高烈度地震区，采用无梁楼盖承重系统时，应加抗震墙。

## 4. 底层柔性建筑系统

底层柔性建筑系统，我国亦称“框支结构”或“鸡腿式建筑”，其底层用柱列作为竖向抗侧力系统，它能提供较大空间，在非震区，显然是底层开设饭店、商店所要求的优良建筑系统。但在地震区，尽管1929年马尔特就建议采用柔性底层，以减少地震时对建筑物的能量输入，后来又有人认为柔性底层可以起“隔振”作用，但历来存有争议，而且，地震实践证明，它属于易损建筑系统。破坏或倒塌往往起因于底层，而且难以修复。1948年苏联阿什哈巴德地震，1960年阿加迪尔地震，1963年斯科比耶地震，1976年唐山地震，以及1977年罗马尼亚乌兰恰地震都有用这类系统的建筑倒塌的事例。因此在地震区，这类建筑系统宜避免尽量采用。

## 5. 高耸建筑系统

高耸建筑系统主要系指独立的高耸烟囱。无筋砖烟囱最易震坏，而且大多源于上部。即使在砖缝内配置环向及竖向钢筋，如果竖向钢筋没有可靠锚固，也会破坏或倒塌，而且倒塌不象无筋时是砖块散落，而是成段倒下，常常砸坏附近建筑。高耸钢筋混凝土烟囱也易在上部破坏，1976年唐山地震时，一座高180米的烟囱主

震时上部断裂，最大余震时上部坠落，就是一例。

### 1.3 抗震要求

在选择抗震的建筑系统时，应当从使用要求、经济效益、建筑材料和场地和地基及地震烈度等方面作全面考虑。一个优良的抗震建筑系统除应建在稳定的地基上以外，应当具有足够的强度、高度的变形能力、良好的整体性和适当的赘余度。抗震的建筑系统应符合以下要求：

1. 建筑应有合适的竖向抗侧力系统（如墙、框架、柱或其组合等），此系统应有足够的强度和高度的变形能力，并能把来自任意方向的地震侧力传到地面，确保整个建筑在地震时的稳定性。

2. 建筑应有合适的水平构件或横隔（如屋盖、楼盖、水平支撑和系杆等），它们能把结构拉结在一起，并能把所有地震侧力分配给各个竖向抗侧力构件。

3. 竖向抗侧力构件应锚固在牢靠的基础上，基础及其与上部结构的连接应既能承受向下作用的荷载，又能承受地震时出现的水平荷载和向上的拉力。高烈度地区房屋的基础尚应连成整体，以免作相对移动。

4. 建筑应有适当的赘余构件，作为抗御地震的第二道防线。

5. 结构立面布置和体形要力求均衡。

6. 建筑系统要和地震烈度、强震地面运动特性以及具体地基土壤条件相匹配。

## 二、建筑体形

### 2.1 建筑平面形状

一般认为房屋的平面形状要力求简单，最好是矩形。许多国家（包括中国）的抗震设计规范都主张把平面形状复杂的房屋用防震缝分割成若干矩形的独立单元。根据这个要求，我国在抗震加固中，有人主张把未设防震缝的复杂平面形状房屋拆成若干平面形状简单的独立单元。但是，设防震缝往往要使建筑造价增加，而且从使用要求、用地限制和建筑设计角度，有时需要采用复杂的平面形状。例如，我国村、镇居民多愿建  型或  型平面的房屋，因为这类房屋自成内院，不需再筑围墙，方便生活；有时，受用地限制要求建  形平面的房屋。至于高层建筑，为了整个房屋的稳定和建筑上需要，常常要采用平面形状为 ，，，，的房屋。因此，在地震区，是否能建平面形状复杂的房屋确定一个值得

探索的问题。

1970年通海地震以后，笔者在现场调查时就很注意这个问题。当时曾经见到以下事例：

1. 云南省峨山县小街公社一座平面为  形的单层平顶土毡房，周围一共14间，位于9度区，震后基本完好；而位于其附近的同类矩形平面房屋却倒塌无存。

2. 云南省峨山县小街糖果厂是砖柱木屋架平面，平面为  形，位于9度区，震后砖柱倾斜裂绝，但屋顶并未塌落；而位于其附近的小街卫生所，平面为矩形，采用同类结构，震后却成为平地。

3. 云南农村典型的“一颗印”房屋，平面为  形，中央有个天井，两边侧房比中间正房低，都是中式穿斗木架结构，地震时倾倒者殊少，而矩形平面的同类房屋是则倾倒者甚多。

1976年唐山地震后，对唐山市（10度至11度）21栋，天津市（8度）34栋空旷砖房的调查表明，有前后厅及侧厅的平面形状复杂的房屋比无前后厅或侧厅的平面为矩形的房屋倒塌率低。

笔者还发现低矮的平面为园形的结构不易倒塌。1970年通海地震时，小街公社（9度）的砖墙承重的粮库和仓库普遍严重破坏和倒塌，而一个砖园仓却基本完好，震后仍可继续使用。

以上事例說明，低矮的平面为圓形的结构抗震性能很好。平面形状复杂的结构，只要精心设计，精心施工，其抗倒塌能力不一定比平面形状简单的房屋低。因为房屋的各部分可以互相依靠。因此，笔者认为，对于低烈度区的建筑，设防震是有益的，这样可以减少地震时因房屋裂缝而造成的损失。但在高烈度地震区，防止倒塌成为主要矛盾，将房屋分割成很多部分，不但费钱，而且未必有利于抗震。这仅是笔者近十余年来通过多次强震对低层房屋得到的一点粗浅认识，它是否正确，是否适用于高层建筑，尚待作进一步研究。

## 2·2 建筑立面形状

建筑的立面形状对其震害的影响要比平面形状的影响大得多。地震经验表明，立面形状简单的结构抗震性能好。

房屋的立面突出部分（如立面收进或屋顶上的小房间）地震时最易破坏，其主要原因有二：一是在现行一般抗震设计规范中没有估计立面突出部分效应的分析方法；二是我们对于这些部分的地震性状和抗震构造细节还了解不够。

图4为一有收进的房屋及其分析简图。设 $W_1$ 及 $W_2$ 分别为房屋主体和其收进部分的集中重量， $W_1$ 用刚度为 $K_1$ 的线性无质量弹簧与地面相连， $W_2$ 则用刚度为 $K_2$ 的线性无质量弹簧与 $W_1$ 相

连,  $X_0$  是地面位移, 如果  $K_2/W_2 = (K_1 + K_2)/W_1$ ,

由动力分析可得:

$$P_2 = \frac{1 + \sqrt{W_1/W_2}}{2} P_2'$$

这里  $P_2$  及  $P_2'$  分别为作用在图4 b 和图4 c 系统中重量  $W_2$  上的侧力。如  $W_1/W_2 = 2.5$ , 则有:  $P_2 = 3 P_2'$ 。这就是说对于作用在重量  $W_2$  中的侧力, 图4 b 系统的  $P_2$  要比图4 c 系统中的  $P_2'$  大得多。

因此, 中国抗震设计规范第19条规定: “验算突出建筑物顶面的屋顶间、女儿墙、烟囱等的抗震强度时, 其水平地震荷载可取公式(4)计算结果的3倍。”

一般说来, 屋顶间、女儿墙和出屋顶烟囱的重量大大小于主体建筑, 所以放大3倍在某些情况下似乎小了一些。

图4 有收进的建筑及其分析简图

### 三、建筑部件相互作用

一座建筑由两类建筑部件组成：一类为结构构件，它承受建筑自重及使用与环境荷载；另一类为非结构构件，它依附于结构构件，以满足使用功能要求。建筑部件的相互作用就是地震时结构构件与非结构构件的相互影响。

地震时，结构因支承处受到地面运动而发生运动，这是非结构构件破坏的根源。非结构构件跟随结构系统运动，其破坏有几种情况：