

清华大学土木工程系
按新规范编写专业用书

房屋结构抗震设计

翁义军 冯世平 编著

主 审 沈聚敏

责任编辑 裴宗濂

地震出版社

1990

清华大学土木工程系
按新规范编写专业用书

房屋结构抗震设计

翁义军 冯世平 编著

主 审 沈聚敏

责任编辑 裴宗濂

地震出版社

1990

内 容 提 要

本书根据《建筑抗震设计规范 (GBJ11-89)》编写,是清华大学土木工程系《按新规范编写专业用书》中的一册,全书共五章。第一章扼要叙述地震发生时的地面运动及建筑场地、地基对结构地震反应的影响。第二章从单自由度及多自由度系统的动力反应出发,重点介绍用于建筑结构抗震设计的反应谱理论和地震作用计算的一般原则与方法。第三章详述常见结构所用材料和构件的非弹性性能及抗震构造原理。最后两章以典型的多层砌体房屋和多高层钢筋混凝土房屋为范例,讲述各类建筑结构的抗震设计方法和抗震构造措施。

书中附有大量例题、习题及思考题,以便读者学习、应用。

本书适合于大专院校(电大、职工业大等)工业与民用建筑专业师生选作教材或教学参考书,也可供土建专业从事工程设计的技术人员参考。

房屋结构抗震设计

翁义军 冯世平 编著

责任编辑:王 伟

责任校对:孔景宽

*

地 震 出 版 社 出 版

北京民族学院南路9号

中国科学技术情报所印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

*

787×1092 1/16 11.75印张 297千字

1990年12月第一版 1990年12月第一次印刷

印数:00001—10000

ISBN 7-5028-0311-4/TU·13

(700) 定价:6.50元

清华大学土木工程系《按新规范编写专业用书》

编 委 会

主 编 王国周 龙驭球 沈聚敏 陈肇元 崔京浩

编 委 (以姓氏笔画为序)

支秉琛 邝守仁 刘元鹤 江见鲸 杨德骈

郑金床 袁宗濂

特约编辑 陈金凤

编委的话

新规范已陆续颁布执行，工民建专业在教学、设计方面迫切需要这方面的专业参考书。为此，清华大学土木工程系组织教师编写了这套《按新规范编写专业用书》。主要读者对象是：大专院校、广播电视大学、职工业余大学、继续进修学院工民建专业的师生，土建专业工程设计、施工技术人员以及准备高等教育自学考试的青年。

根据我们多年的教学经验，编写中遵循“内容充实，取材新颖，注重实用，便于自学”的原则，努力做到不仅包括学科的基本内容，而且反映科学技术的最新成果；既重视理论概念的阐述，也注意实际专题和工程实例的讲解。此外，为了减少自学的困难，对于个别内容较深的章节和习题标以注解和提示，绝大多数习题列有答案。以上是我们的主观意愿，问题和缺点一定不少，希望得到同行和读者指教。

在内容的编排上，除了参照清华大学土木工程系有关教学大纲之外，还参考了全国高等教育自学考试土建类自学大纲（草案），以及电视大学、建设部职工高等专科学校等单位所制订的工民建专业的部分教学大纲，使这套专业用书具有较广泛的适用范围，便于有关部门选为教材或教学参考书。

这套书的出版，得到了地震出版社的大力支持，在此谨致谢意。

清华大学土木工程系
《按新规范编写专业用书》编委会
1990年1月

目 录

前 言

第一章 绪论	(1)
§ 1-1 地震成因和震中分布	(1)
§ 1-2 地震波	(4)
§ 1-3 地震震级和地震烈度	(5)
§ 1-4 地震震害	(8)
§ 1-5 建筑物抗震设计基本原则	(9)
§ 1-6 场地和地基基础	(10)
第二章 结构的地震反应	(13)
§ 2-1 概述	(13)
§ 2-2 单自由度体系的弹性地震反应	(15)
§ 2-3 反应谱	(20)
§ 2-4 多自由度体系的弹性地震反应	(24)
§ 2-5 结构的竖向地震作用	(46)
§ 2-6 各类结构截面抗震强度及薄弱层抗震变形验算	(47)
第三章 材料及构件的非弹性性能	(50)
§ 3-1 粘土砖砌体	(50)
§ 3-2 混凝土	(51)
§ 3-3 钢筋	(55)
§ 3-4 钢筋混凝土梁	(58)
§ 3-5 钢筋混凝土柱	(61)
§ 3-6 钢筋混凝土梁、柱节点	(65)
第四章 多层砌体房屋的抗震设计	(69)
§ 4-1 结构方案	(69)
§ 4-2 抗震强度验算	(72)
§ 4-3 构造措施	(77)
§ 4-4 抗震设计实例	(80)
第五章 钢筋混凝土多层和高层房屋的抗震设计	(90)
§ 5-1 震害和设计原则	(90)
§ 5-2 抗震计算方法	(98)
§ 5-3 构造措施	(139)
§ 5-4 框架结构的抗震设计实例	(146)
§ 5-5 框架-剪力墙结构的抗震设计实例	(164)
主要参考文献	(179)

第一章 绪 论

§ 1-1 地震成因和震中分布

绝大多数地震是地球地质构造作用产生的结果。在人类改造自然的活动中，由于采矿、建造水库或进行核爆炸试验等也可能诱发地震，但这种地震影响小，不是工程抗震研究的重点。对人类威胁较大的是由地球运动过程中的能量作用造成的地震——构造地震。

地球内部主要由性质互不相同的三部分组成。最外部的一层是地壳，除地表覆盖着一层薄薄的沉积岩、风化土和海水外，其上部主要由花岗岩类岩石组成，厚薄不等，大洋地区甚至缺失；下部主要由玄武岩类岩石组成。地壳厚度各处不一，就全球来讲厚度为 5—40km。地壳以下到深度约为 2900km 的部分称地幔，其顶部有人推测呈熔融状而称作软流层，其下部主要由橄榄岩组成。地球的核心部分是地核，为半径约 3500km 的球体。

构造地震一般发生在地壳和地幔表层的坚硬岩层内。有人认为，在地幔对流等因素产生的巨大能量作用下，当地壳和地幔上部岩层中积聚的大量地应力超过岩层的强度极限时，岩层便发生突然破坏，产生错动，造成构造地震。

图 1-1 为美国旧金山附近所做的大地三角测量结果。共进行 3 次测量，每两次的时间间隔为 6 年。从位移矢量可看出，沿圣安德烈斯断层系地表存在达 15cm 的右旋运动。说明岩层存在相对缓慢的运动，正是这种运动在岩层中积聚应变能而孕育地震。

一般将地壳岩层发生突然断裂、错动的地方称为震源。一次地震释放能量的断层沿走向的长度可达几公里至数百公里，同时具有一定宽度和深度，所以地震震源是具有一定体积的岩体而不是一个点。

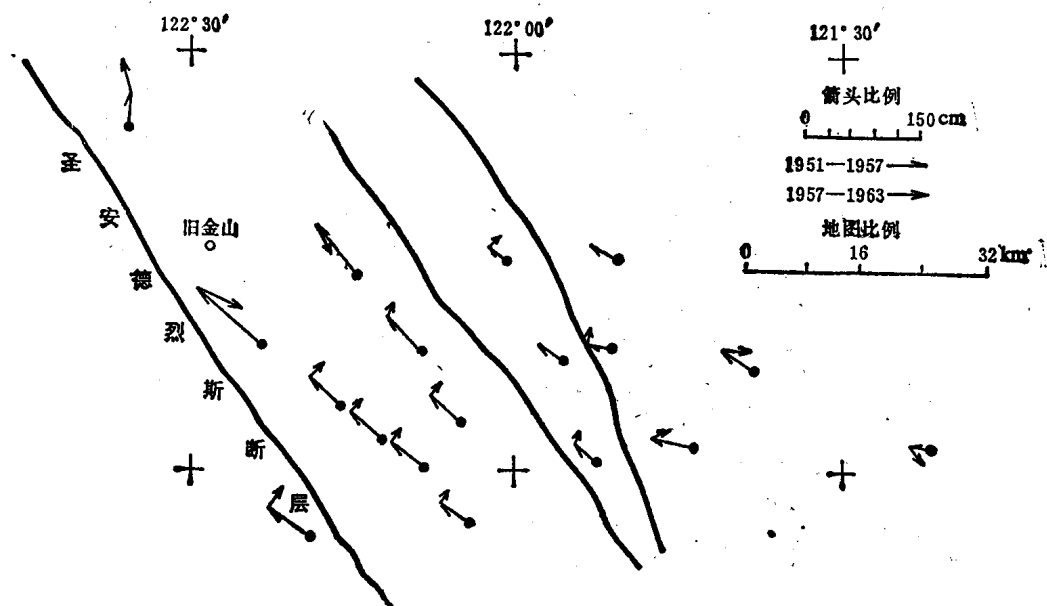


图 1-1 断层活动的位移矢量图

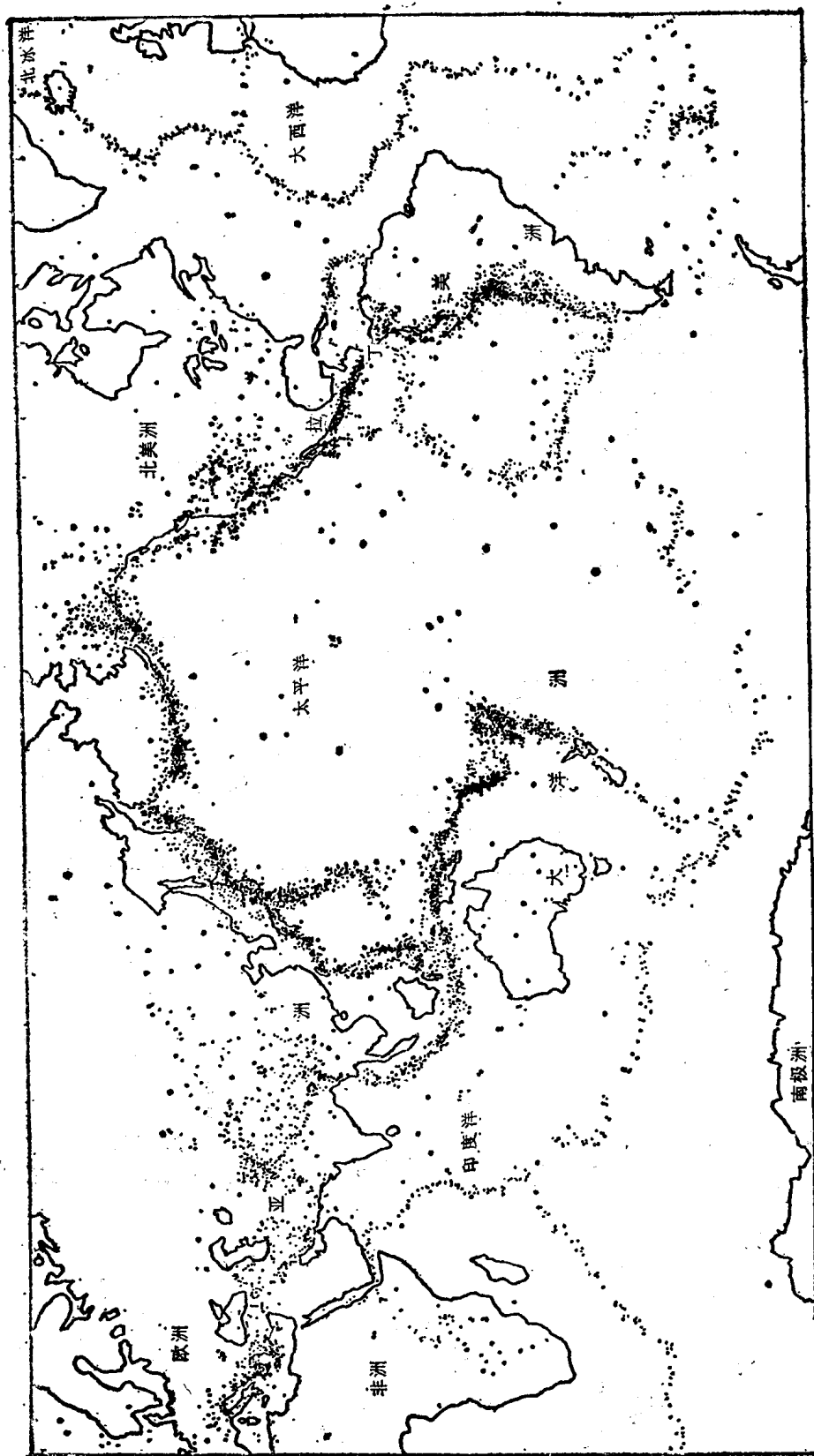


图 1-2 世界震中分布图
(1961—1967年30万次4级以上地震震中分布)

一般把深度小于70km的地震称为浅源地震，深度超过70km直至300km以上的称为中源地震和深源地震。随着震源深度的增加，地震的频度迅速降低。

震源在地面的投影，叫做震中。若将一段时期内世界地震的震中绘到地图上，便可得图1-2的震中分布图。地球上的主要地震带主要有两条，一条是环太平洋地震带：沿南北美洲的西海岸，经阿留申群岛、千岛群岛转向日本列岛，然后分成两支，西支经我国台湾省、菲律宾群岛、印度尼西亚到新几内亚；东支经马里亚纳群岛到新几内亚，两支汇合后经所罗门到汤加突转向南至新西兰。世界上75%左右的地震发生在这一带。另一条地震带称为地中海-喜马拉雅地震带：西起大西洋亚速尔岛经意大利、土耳其、伊朗、印度北部，再经我国西南地区及印度尼西亚，与环太平洋地震带相接。

从图1-2可见，我国地处世界两大地震带之间，地震活动频繁，是一个多地震的国家。据60年代所整理的我国历史地震记载资料看，1955年前全国有记载的地震约8000余次，其中造成灾害的达1000次左右。虽然我国地震的记载最早见于公元前1831年，具有悠久的历史，但由于幅员辽阔，记载详略不同，所以至今尚无法反映我国历史地震的全貌。即便如此，历史已为我们提供了十分宝贵的地震资料。

图1-3给出了我国历史上有记载的震中分布。可以看出我国的地震活动几乎遍及全国。其中，台湾省及西藏西南属于世界两大地震带；其他地区地震活动有明显的西部强东部弱的特点；个别省份如浙江、江西等很少发生地震。我国亦可分成南北和东西两条地震带和东北、华北、华南、台湾、南海以及青藏高原南、中、北，新疆中、北等10个地震区。

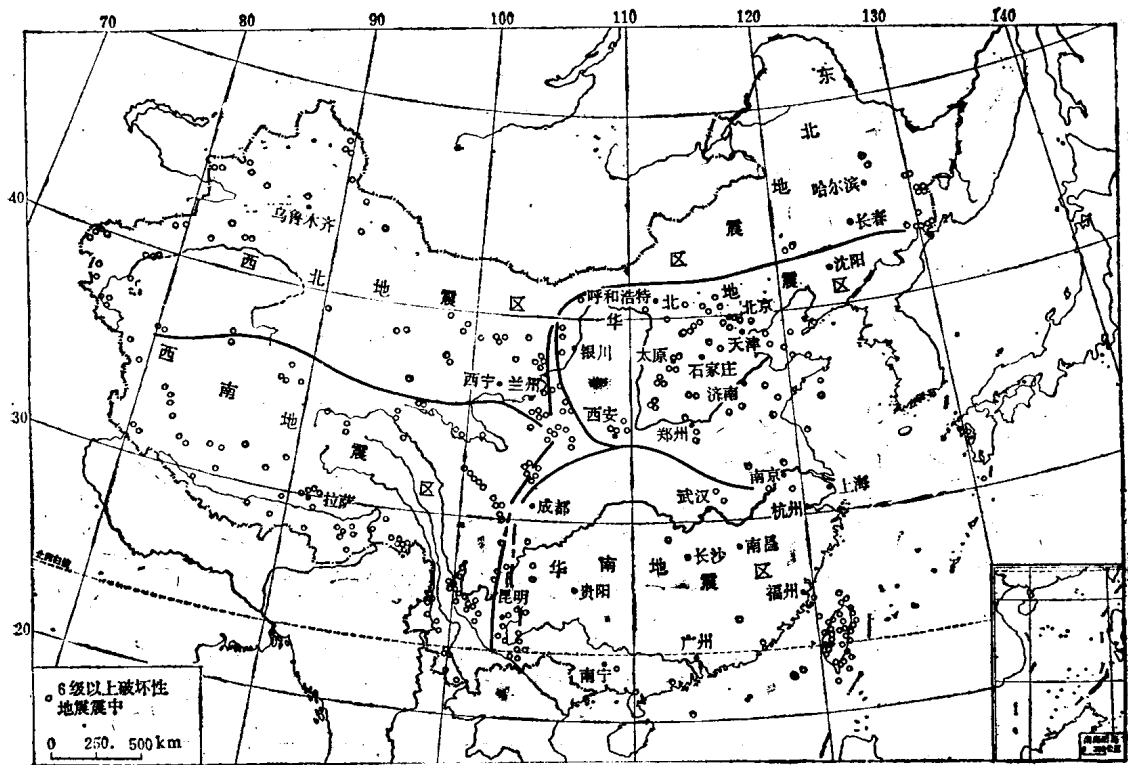


图 1-3 我国地震分区图

§ 1-2 地震波

地震时震源发出的振动以波的形式向各个方向传播。在地球内部传播的地震波是一种体波，包含有纵波和横波。纵波的振动方向与波传播方向一致，介质质点发生离平衡位置的前后振动，故纵波也称拉压波或P波。横波的振动方向与波传播方向垂直，也叫剪切波或S波。P波周期较短，振幅小，S波周期较长，振幅大。在地壳中P波速度 V_P 约为7—8 km/s，S波速度 V_S 约为4—5 km/s，可见P波比S波传播速度要快。假若以某震源同时发生纵波与横波，便可用两波到达的时差 Δt 来估计震源距 r ：

$$\Delta t = \frac{r}{V_S} - \frac{r}{V_P} = r \left(\frac{1}{V_S} - \frac{1}{V_P} \right) = \frac{r}{V_0}$$
$$r = V_0 \Delta t$$

(1-1)

当距离震源很近时，时差 Δt 很小，两种波几乎同时到达。

剪切波速 V_S 用作层状地基的动力性质评价在工程中广泛应用。表1-1给出了不同介质中的剪切波速范围。

表 1-1 剪 切 波 速 V_S 范 围

土质类别	填土 (包括杂填土)	粘性土 (包括亚粘土等)	砂 土 (粉、中、粗)	砾石、卵石、碎石	风化岩	岩石
V_S (m/s)	90—270	100—450	150—500	200—500	350—500	>500

由于地壳的层状结构，体波通过多层介质时，在分层界面和性质不同的介质内将发生折射和反射。由于界面处应满足应力平衡与变形连续条件，这就可能产生其他波，面波就是在分界面或自由地表面处产生的。面波包括瑞雷波（R波）和洛夫波（L波），瑞雷波的质点在传播方向与地面法线方向构成的平面内作椭圆运动，洛夫波的质点运动方向是水平的且垂直于波传播方向。面波振幅大且周期长，速度为S波速的90%左右，由于其衰减较慢，故能传播到很远的地方。

图1-4为一次地震记录的同一地点东西、上下、北南各方向的加速度时程曲线。首先到达的是P波，继而是S波，并掺杂面波。在震中区，几种波在记录上是难以区分的。

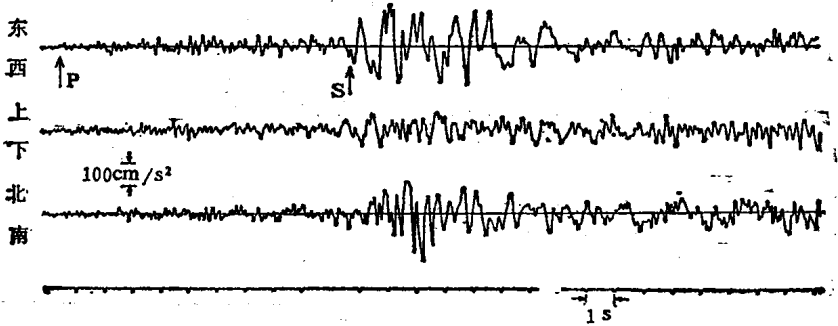


图 1-4 地震记录的加速度时程曲线

§ 1-3 地震震级和地震烈度

震级是反映某次地震大小的一种定量指标。

1935年美国加州理工学院的里克特首先用地震仪器来区分南加州地震的大小。当时通用的是伍德-安德森地震仪（自振周期0.8s，阻尼系数0.8，静态放大倍数2800倍）。震级大小定义为离震中100km处记录的以 μm 为单位的最大水平地震动位移（单振幅） A 的普通对数值。里氏震级 M 的表达式为

$$M = \lg A \tag{1-2}$$

由于采用短周期地震仪，里氏震级的适用范围仅为振动周期0.1—0.5s的地震波分量。对于周期为3—20s的面波和周期为1s左右的体波，古登堡对震级定义提出了修正，给出的面波震级 M_s 、体波震级 m_b 与里氏震级 M 的经验关系式为

$$M_s = 1.59m_b - 4.0 = 1.27(M - 1) - 0.016M^2 \tag{1-3}$$

我国常用的地震仪为短周期64型或65型和中长周期基氏型，常用的 M_s 与 M 的关系为

$$M_s = 1.13M - 1.08 \tag{1-4}$$

不论采用什么震级，其精度都不太高。由于地震波传播途径的差异，同一地震在不同地点确定的震级常常不同，差别常达0.5左右，有时甚至超过1.0。

地震烈度是指某一地区地面和各类建筑物遭受地震影响的强弱程度，是衡量地震引起后果的一种标度。对应于一次地震，震级只有一个，而烈度在不同地点却是不同的。综合而简便地来定性划分烈度等级不但对了解一次地震影响的大小及分布有意义，而且对研究地震活动性、总结抗震工程经验和积累历史地震资料也显得格外重要。

一般地说，地震烈度随距离震中的远近而有差异，距震中愈远地震影响越小，烈度就越低，反之烈度就越高。震中的烈度一般最高。

地震烈度是根据人的感觉和器物的反应、地面及房屋的破坏程度等宏观现象来评定的。而强震记录所得的地面加速度峰值和速度峰值等物理量，由于其大小即使处于同一烈度区也相差甚大，故不能作为烈度评定的指标而只作参考指标。目前除日本外，全世界使用的基本上是12等级划分的烈度表。表1-2给出了我国1980年修订的地震烈度表。

表 1-2 中 国 地 震 烈 度 表 (1980)

烈度	人的感觉	一般房屋		其他现象	参考物理指标	
		大多数房屋 震害程度	平均 震害指数		加速度(cm/s^2) (水平向)	速度(cm/s) (水平向)
I	无感					
II	室内个别静止中 的人感觉					
III	室内少数静止中 的人感觉	门、窗轻微 作响		悬挂物微动		

续表

烈度	人的感觉	一般房屋		其他现象	参考物理指标	
		大多数房屋 震害程度	平均 震害指数		加速度(cm/s^2) (水平向)	速度(cm/s) (水平向)
IV	室内多数人感觉 室外少数人感觉 少数人梦中惊醒	门、窗作响		悬挂物明显摆动,器皿作 响		
V	室内普遍感觉 室外多数人感觉 多数人梦中惊醒	门窗、屋顶、屋 架颤动作响,灰 土掉落,抹灰出 现微细裂缝		不稳定器物翻倒	31 (22—44)	8 (2—4)
VI	惊慌失措,仓皇 逃出	损坏——个 别砖瓦掉 落、墙体微 细裂缝	0—0.1	河岸和松软土上出现裂 缝。饱和砂层出现喷砂冒 水。地面上有的砖烟囱轻 度裂缝、掉头	63 (45—83)	6 (5—9)
VII	大多数人仓皇逃 出	轻度破坏 ——局部破 坏、开裂, 但不妨碍使用	0.11—0.30	河岸出现坍方。饱和砂层 常见喷砂冒水。松软土上 地裂缝较多。大多数砖烟 囱中等破坏	125 (90—177)	13 (10—18)
VIII	摇晃颠簸,行走 困难	中等破坏 ——结构受 损,需要修理	0.31—0.50	干硬土上亦有裂缝。大多 数砖烟囱严重破坏	250 (178—353)	25 (19—35)
IX	坐立不稳。行动 的人可能摔跤	严重破坏 ——墙体龟 裂,局部倒 塌,复修困难	0.51—0.70	干硬土上有许多地方出现 裂缝,基岩上可能出现裂 缝。滑坡、坍方常见。砖 烟囱出现倒塌	500 (354—707)	50 (36—71)
X	骑自行车的人会 摔倒。处不稳状 态的人会摔出几 尺远。有抛起感	倒塌——大 部倒塌,不 堪修复	0.71—0.90	山崩和地震断裂出现。基 岩上的拱桥破坏。大多数 砖烟囱从根部破坏或倒毁	1000 (708—1414)	100 (72—141)
XI		毁灭	0.91—1.00	地震断裂延续很长。山崩 常见。基岩上拱桥毁坏		
XII				地面剧烈变化,山河改观		

注: ① I—V度以地面上人的感觉为主; VI—X度以房屋震害为主, 人的感觉仅供参考; XI、XII度以地表现象为主。XI、XII度的评定, 需要专门研究。

② 一般房屋包括用木构架和土、石、砖墙构造的旧式房屋和单层或数层的、未经抗震设计的新式砖房。对于质量特别差或特别好的房屋, 可根据具体情况, 对表列各烈度的震害程度和震害指数予以提高或降低。

③ 震害指数以房屋“完好”为0, “毁灭”为1, 中间按表列震害程度分级。平均震害指数指所有房屋的震害指数的总平均值而言, 可以用普查或抽查方法确定之。

④ 使用本表时可根据地区具体情况, 作出临时的补充规定。

⑤ 在农村可以自然村为单位, 在城镇可以分区进行烈度的评定, 但面积以 1km^2 左右为宜。

⑥ 烟囱指工业或取暖用的锅炉房烟囱。

⑦ 表中数量词的说明: 个别为10%以下; 少数为10%—50%; 多数为50%—70%; 大多数为70%—90%; 普遍为90%以上。

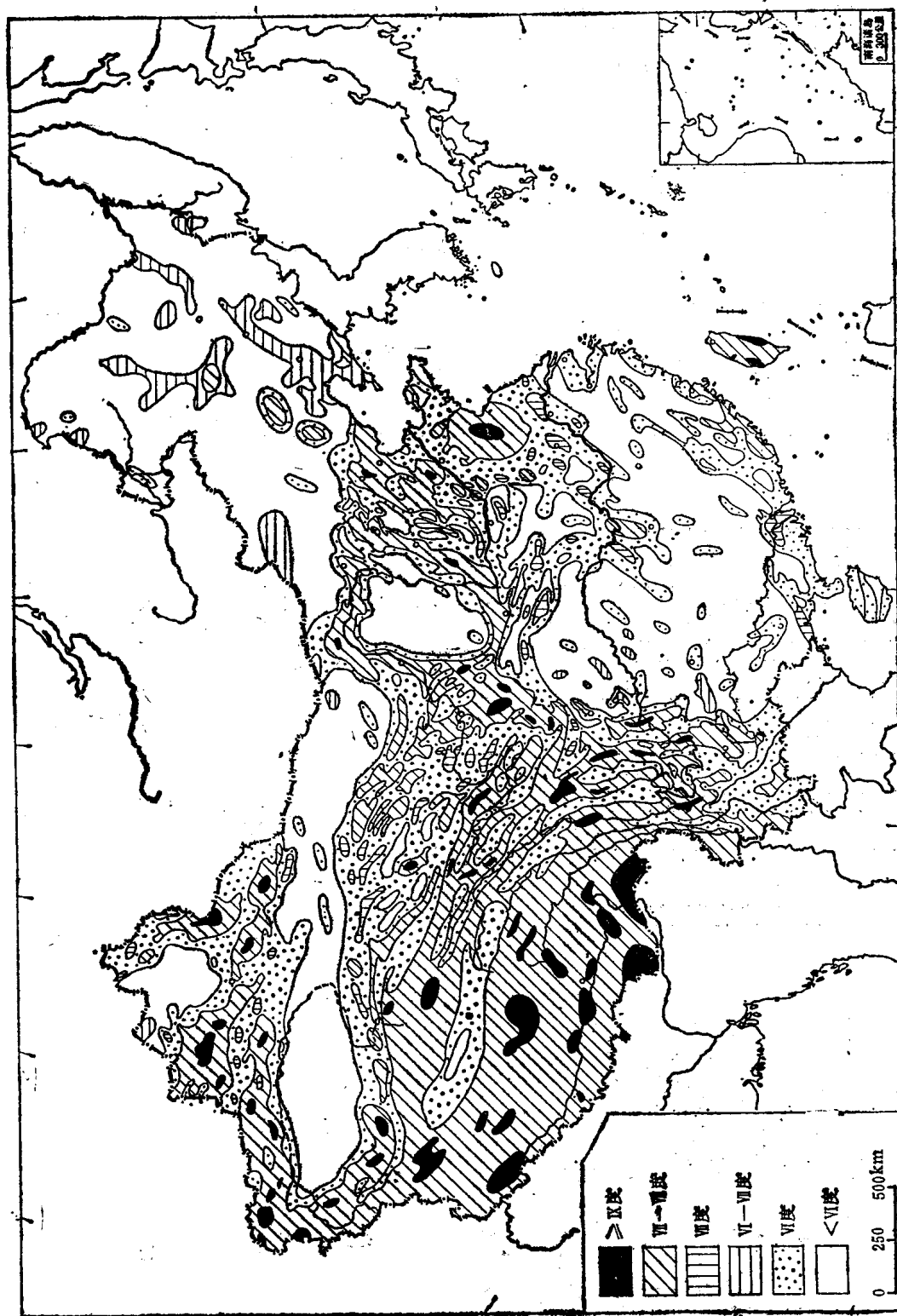


图 1-5 中国地震烈度区划图

震害调查中常出现同一次地震同一地点的震害分属不同烈度值的情况。此时，烈度等级的划分只能依靠震害调查工作者在平均或综合含意下给出烈度值，而不能定量地确切地表示烈度大小。由此可见，地震烈度具有粗略而概括的特点。我国地震烈度表中房屋震害是注重平房得出的结果，对于大多数超高层楼房、大跨度结构等震害结果会不同。所以烈度表的使用应注意其含义与特点，做到应用适当。

为了预估某一地区地震发生和破坏的影响，要依靠历史地震活动性和震害历史等大量资料。如果预测结果以烈度大小圈定，称为“地震烈度区划图”。国家地震局1977年5月所编制的“中国地震烈度区划图”（图1-5）提供了编后100年内，我国各地区可能出现的最大地震烈度。

区划图所划定的各地区地震烈度，不但表示历史震害情况，而且有助于说明未来（一定时间范围）该地区地震活动的趋向，这对工程抗震工作具有一定指导意义。目前国家地震局正着手编制第三代地震区划图，它以概率预测地震危险性的方法，给出一个地区在不同年限内，不同概率水平的地震烈度区划，以满足不同要求的建筑 and 不同抗震标准时选用。

§ 1-4 地震震害

地震引起的震害可分为直接震害和间接震害两种。直接震害包括断层位错、由于振动引起的地陷、土的液化和滑坡等场地破坏，以及结构振动产生的惯性力作用下的结构破坏。间接震害是指火灾、水灾、流行性疾病、劳力损失、交通中断等造成的损失。

由于各类建筑结构的震害由场地震害造成者极为有限，而与其设计密切相关，故结构震害将在以下各章各类建筑的抗震设计中叙述。本节重点介绍场地震害。

场地破坏的形式有以下几种：

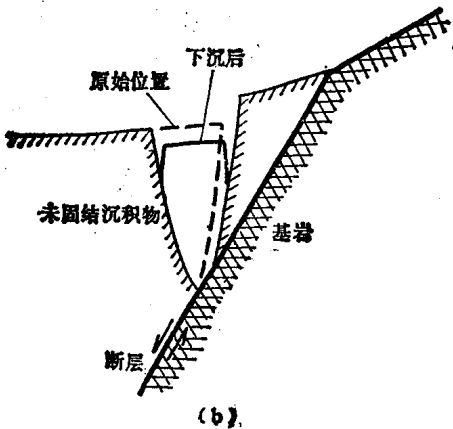


图 1-6 断层错动引起的地面破坏

(1) 断层位错引起的地表破坏。包括地表破裂、位移、蠕动、翘曲、倾斜,其中以突然破裂尤为严重。例如由于地下岩层的错动,使地面的岩层发生错位形成地面断裂(图1-6a)。地表破裂一般与断层走向一致,长可达几公里至几十公里,宽可达几米。有时伴随垂直方向位移和翘曲(图1-6b)。地裂穿过的地方可造成地面建筑的开裂或倒塌,图1-6c中所示的建筑物就因地裂造成墙体开裂。

(2) 地陷。这里主要指由于土层振动密实而造成的地面下沉。这种震害可造成地面结构的不均匀沉降,严重的可使成片的建筑物下陷。地陷多半发生在松软而富于压缩的土层中,如大面积的回填土、孔隙比大的粘性土和非粘性土。这类土依靠颗粒间的摩擦或粘结的链状结构支持土层或结构重量。地震发生时,地振动大大降低颗粒间的摩擦力或使链状结构破坏,使土层越益密实。土层下陷的程度还取决于它的厚度,厚度越大,下陷量越大。图1-7所示为土层下陷的震害实例。



图 1-7 地陷

(3) 砂土的液化。当饱和的非粘性土受振动而趋于密实时,伴随着颗粒间孔隙水压的增高,泥砂产生向压力最小的地面流动的现象,致使地面形成喷水冒砂。1964年日本新潟地震时,地基液化而造成建筑物的下沉和倾斜,是典型的地基失效引起破坏的实例(图1-8),据报道这几栋公寓的结构并无损坏,甚至窗玻璃亦完好,它们均由砂土液化缓慢倾斜最后平卧在地面。

(4) 滑坡。坡地,特别是陡坡,在地震动下往往出现滑坡,造成河岸、堤岸、海岸或人工破坏的山岭自然坡发生严重破坏。

场地的破坏可能造成堵河成湖,掩埋村庄,破坏道路,掩盖和破坏农田,坝体破坏,房屋倒塌,桥台和桥墩滑移、倾斜,地上结构下沉或地下结构上浮等震害现象。为了避免由于场地的破坏造成工程结构的破坏,应选择合适的场地或采取相应抗震措施。

间接震害也称次生灾害,有时比直接震害造成的损失还大,尤其在大城市、大工业区。例如在1906年美国旧金山大地震后3天火灾中,共烧毁521个街区的28000多幢建筑物,地震引起破坏但未倒塌的房屋,被火灾夷为一片废墟。这类震害已越益引起人们的关注。



图 1-8 土液化造成的震害

§ 1-5 建筑物抗震设计基本原则

《建筑抗震设计规范》(以下简称《规范》)是为贯彻执行地震工作以预防为主的方针,在现有科学技术水平和我国目前的经济条件下,减轻建筑物的地震破坏,避免人员伤亡,减少经济损失而制订的。

《规范》中作为某一地区抗震设防用的地震烈度称为设防烈度。它是按国家规定的权限审批、颁发的文件（图件）确定的。一般情况下采用地震烈度区划图所给出的地震烈度（基本烈度）为设防烈度。对做过抗震防灾规划的城市，可按批准的抗震设防区划（设防烈度或设计地震动参数）进行抗震设防。设防烈度是各类建筑物进行抗震设计的基本依据。

按《规范》设计的建筑，当遭受低于本地区设防烈度的多遇地震影响时，一般不受损坏或不需要修理仍可继续使用；当遭受本地区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。《规范》适用于抗震设防烈度为6—9度地区的建筑抗震设计。设防烈度为10度地区的建筑抗震设计，应按有关专门规定执行。

由于处于同一地区的各类建筑物遭受地震破坏时所产生的后果（从经济、政治和社会影响上予以估量）不同，《规范》规定，应按建筑物的重要性进行分类，并采取不同的抗震设防标准和措施。

甲类建筑是特殊要求的建筑，如遇地震破坏会导致严重后果，如核电站等。按国家规定的批准权限审批后确定并采取专门的设计方法。

乙类建筑是国家重点抗震城市的生命线工程建筑，如救护、医疗、广播、通讯、交通枢纽、供电供气、消防救火等。设计时按本地区设防烈度进行地震作用计算，而采取抗震构造措施除《规范》有具体规定者外，可按本地区设防烈度提高一度，但设防烈度为9度时可适当提高。

丙类建筑是甲、乙、丁类以外的建筑，包括大量的一般工业与民用建筑。均按本地区的设防烈度进行抗震设计及采取抗震措施。

丁类建筑是次要的建筑，如遇地震破坏不致造成人员伤亡和较大经济损失。设计时按本地区设防烈度进行计算，按设防烈度降低一度采取抗震措施，但设防烈度为6度时不降低。

此外，《规范》规定乙、丙、丁三类建筑，当设防烈度为6度时，除《规范》中有具体规定者外，可不进行地震作用计算。

§ 1-6 场地和地基基础

宏观震害调查表明，由于地基失效导致上部结构的震害虽然相当普遍，但和直接振动引起的上部结构震害相比，所占比例仍较少。

诸如§ 1-4节中所述场地震害，多数是由于地基失效而引起上部结构的破坏。从满足工程抗震的要求，合理选择场地的角度出发，大致可把地基失效分成两类。其一是地震时可能发生滑坡、崩塌、地陷、地面的断裂、位错等场地震害而引起地基失效，由于其破坏作用目前尚难以抵御，属建筑物的危险地段，不应在这种地段构筑建筑物；其二是地震时易造成液化、沉陷和不均匀沉降等震害的场地引起地基失效，可采取必要的地基抗震措施来减轻震害，是建筑的不利地段。在场地地质勘探时，应根据需要提出划分建筑的不利地段和危险地段，而在选择时不应在危险地段建造甲、乙、丙类建筑，对不利地段应避开，否则应采取适当的抗震措施。

大量适宜选作建筑的有利地段，一般是坚硬土或密实均匀的中硬土等场地，地震时震害较轻。

层状地基由覆盖层厚度不等且坚硬与软弱程度不同的土层构成。宏观震害表明，软弱地

基上柔性结构较易遭受破坏而刚性结构则表现较好，坚硬地基上柔性结构震害较轻而刚性结构有时破坏加重。就地面建筑总的破坏现象来说，在软弱地基上的比坚硬地基上的要严重；房屋破坏率随场地覆盖层厚度增加而升高，覆盖层厚度超出一定范围后破坏率变化不大。

上述震害现象表明，地震时由于场地土的类型不同及覆盖层厚度不同，同样会对建筑物的地震作用产生不同影响。因此，《规范》在进行建筑场地类别的划分时，不但考虑场地土类型，而且考虑覆盖层厚度的影响。在场地土类型划分时又赋予更本质的一定程度反映地震动特性的定量指标。

《规范》将场地覆盖层厚度（地面以下15m且不深于场地覆盖层厚度）范围内的各土层剪切波速 V_s 按厚度的加权平均值 V_{sm} ，作为分类依据而将场地划分为4类。使用时先根据表1-3确定场地土类型（当丙、丁类建筑无实测剪切波速时可根据表1-4按各土层性状、地基土静承载力标值准 f_k (kPa)确定土类型，当为多层土时以地面以下15m且不深于场地覆盖层厚度范围内各土层综合评定确定场地土类型）。然后按场地覆盖层厚度和场地土类型，根据表1-5得出建筑场地类别。

表 1-3 场地土类型划分

场地土类型	土层剪切波速 (m/s)
坚硬场地土	$V_s > 500$
中硬场地土	$250 < V_{sm} \leq 500$
中软场地土	$140 < V_{sm} \leq 250$
软弱场地土	$V_{sm} \leq 140$

表 1-4 土 类 型 划 分

土的类型	岩土名称和性状
坚硬土	稳定岩石，密实的碎石土
中硬土	中密、稍密的碎石土，密实、中密的砾、粗、中砂， $f_k > 200$ 的粘性土和粉土
中软土	稍密的砾、粗、中砂，除松散外的细、粉砂， $f_k \leq 200$ 的粘性土和粉土， $f_k \geq 130$ 的填土
软弱土	淤泥和淤泥质土，松散的砂、新近沉积的粘性土和粉土， $f_k < 130$ 的填土

表 1-5 建 筑 场 地 类 别 划 分

场地土类型	场地覆盖层厚度 d_{ov} (m)				
	0	$0 < d_{ov} \leq 3$	$3 < d_{ov} \leq 9$	$9 < d_{ov} \leq 80$	$d_{ov} > 80$
坚硬场地土	I				
中硬场地土		I	I	II	II
中软场地土		I	II	II	III
软弱场地土		I	II	III	IV

场地覆盖层厚度是按地面到剪切波速大于 500m/s 的土层或坚硬土顶面的距离确定的。

当不得不选择可能液化导致地基失效的地段为建筑场地时，应采取必要措施，包括初步判别液化的可能性；进一步判别液化土层深度和厚度；确定地基抗液化措施和加强上部结构等。

需要进行天然地基在地震作用下竖向承载力验算时，应控制基础底面与地基土间零应力面积不应超过基础底面面积的25%；基础底面平均压力和边缘最大压力应符合下列各式要求：

$$P \leq f_{ss} \tag{1-5}$$