

房屋抗震设计

刘大海 钟锡根 杨翠如 著



房屋抗震设计

刘大海 钟锡根 杨翠如 著

陕西科学技术出版社

内 容 提 要

本书是以我国十多次大地震的现场调查资料为基础,从震害分析入手,通过总结震害规律,找出各类房屋的抗震薄弱环节,提出合理的结构布置原则、抗震构造措施和实用的抗震强度验算方法。

本书注重实用,内容以抗震理论在房屋设计中的应用为主。简要介绍必要的工程地震知识和抗震设计原理后,着重阐述如何运用反应谱理论来确定房屋地震荷载,怎样选择有利于抗震的场地和地基,讨论砂土和软土的震陷机理及其防治措施。在地震内力分析方面,给出多层砖房有无构造柱和多种结构布置情况的实用计算方法、内框架房屋考虑楼盖变形的空间振动分析及其简化方法、底层框架砖房考虑薄弱层变形集中的计算方法。

关于房屋的扭转振动分析,随结构而不同。对于多层砖房,给出静力法和动力偏心距法;对底层框架砖房,给出“单层刚片系”平扭耦联振动分析法及简化方法;对内框架房屋,给出适用于现浇楼盖的“多层刚片系”平扭耦联振动分析法,以及适用于装配式楼盖的“立体多质点系”差异平移——扭转耦联振动分析法。

本书可供从事工程抗震设计、施工、科研人员以及土建专业师生参考。

房屋抗震设计

刘大海 钟锡根 杨翠如 著

陕西科学技术出版社出版

(西安北大街131号)

陕西省新华书店发行 乾县印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张25 插页12 字数570,000

1985年1月第1版 1986年9月第2次印刷

印数 2,601—6,100

统一书号: 15202·89 定价: (平) 6.20元

序

我国地震灾害十分严重。1556年关中大震，死亡人数达80万，为世界地震历史上所仅见。本世纪以来，又发生过1920年海原地震、1976年唐山地震那样的沉痛震例，人民生命财产蒙受了惊人的损失。究其原因，主要由于建筑不够坚固，地震时大量倒塌。因此，如何根据我国的具体条件设计经济合理的抗震建筑，是我国工程技术界大有可为的光荣任务。

广大西北地区是我国强烈地震活动区。中国建筑西北设计院地处于此，三十年来，在刘大海等工程师的主持下从事建筑抗震设计，孜孜不倦，精益求精，对于我国抗震科学的发展作出了巨大贡献。现在他们又写成《房屋抗震设计》一书，把多年积累的丰富的抗震科学知识和实践经验公之于众，这无疑会对这门科学技术起到推广和提高的作用，能够进一步为我国社会主义建设服务。

书有多种。本书的特点是对我国目前最普遍的几种房屋结构从各个侧面进行剖析，从实践经验出发，参考了中外研究成果，总结出一套完整的设计方法，包括结构选型、构造措施、抗震计算和细部处理。这是熔抗震科学原理与设计实践经验于一炉、富有实际意义的成果；可说是我国抗震著作百花园中出现的别具一格的新枝，定将受到读者的欢迎。

刘恢先

1983年9月

前 言

我国是一个地震区广为分布的国家。1955年新疆乌恰地震以来发生于城镇附近的二十多次大地震，给人民生命财产带来了巨大损失。对于地震灾害要以预防为主，临震预报是一个有效措施，可以减少伤亡；但更为重要的根本措施是提高房屋的抗震能力，减轻房屋的破坏程度。本书本着这个宗旨，以现场震害调查资料为基础，整理、归纳、分析、总结，从而对各类房屋提出符合于地震时受力状态的抗震强度验算方法和构造措施，以达到减轻地震灾害和降低抗震费用的目的。

地震工程是一门新的学科，还有待于发展。近来抗震理论虽已取到较大进展，但由于地震本身的随机性和地震作用的复杂性，影响房屋地震反应和破坏程度的因素很多而且错综复杂，试验研究工作尚不能确切反映地震时的房屋破坏机理，计算理论尚未到达完善的地步，因而由地震现场房屋破坏现象总结出的抗震构造措施，对于提高房屋的抗震性能就显得格外重要。为此，本书以较大篇幅比较详细地叙述了这方面的内容。

抗震计算理论的发展也是刻不容缓的，计算理论能够使抗震设计由定性走向定量。深入剖析震害现象，从中抽象出能够在更大程度上反映地震时结构受力状态的抗震计算方法，不仅将有助于抗震理论的发展，而且具有提高房屋抗震能力的实际效果。本书试图努力做到这一点，对装配式楼盖房屋，提出考虑楼盖水平变形的空间振动分析法；对于存在薄弱楼层的非等强度房屋，给出考虑薄弱层变形集中的简化计算方法；对于偏心结构，给出考虑楼盖水平变形的平移和扭转耦联振动分析法；对于空框架结构及双向偏心结构，给出双向地面运动作用下的地震内力计算方法。

本书共分六章，由刘大海、杨翠如、钟锡根共同完成。第一、二、六章和第四章前三节由刘大海执笔，第五章由钟锡根执笔，第三章、第四章后四节、第五章八、九两节、第六章第七节由杨翠如执笔。

本书在编写过程中，曾得到王继唐、方春霆、张宗城、周炳章、谢君斐、莫庸、李凤翥等同志的指导和帮助，在此一并致以深切谢意。

目 录

第一章 工 程 地 震

- 第一节 地震知识..... (1)
一、地震的类型；二、构造地震的成因；三、地震术语；四、地震现象。
- 第二节 地震烈度表..... (6)
一、几种主要烈度表简介；二、中国地震烈度表(1980)。
- 第三节 我国的大地震..... (10)
一、我国的地震活动带；二、地震参数；三、特有的破坏现象。

第二章 场 地 和 地 基

- 第一节 场地..... (14)
一、地形；二、地貌；三、地下水；四、土质边坡；五、断层；六、场地土。
- 第二节 地基动力特性..... (19)
一、地基土质与震害；二、地基承载力；三、地基强度验算；四、天然地基刚度；
五、地基的液化；六、软弱地基的震陷。
- 第三节 地基处理..... (34)
一、可液化地基；二、软弱土地基；三、不均匀地基。

第三章 地震荷载的计算

- 第一节 结构动力学基础知识..... (43)
一、地震荷载的特点；二、质点系和自由度；三、运动方程的建立；四、地震反应分析法简介。
- 第二节 单质点系水平地震荷载的反应谱理论..... (51)
一、单质点弹性体系的地震位移反应；二、单质点弹性体系水平地震荷载；三、单质点非弹性体系水平地震荷载。
- 第三节 振型分解法..... (65)
一、多质点系地震位移反应；二、多质点系的水平地震荷载。
- 第四节 底部剪力法..... (78)
一、基本思路和适用范围；二、计算公式。

第四章 多 层 砖 房

- 第一节 震害概况..... (82)
一、抗震性能评价；二、震害程度；三、震害规律；四、主要震害描述

第二节 建筑布置和结构选型	(89)
一、房屋体型；二、房屋的长宽高；三、砖墙的布置；四、砖墙局部尺寸；五、圈梁的布置；六、楼盖的类型；七、预制板的搁板方向；八、构造柱的设置原则；九、配筋砌体的应用。	
第三节 抗震构造	(109)
一、砖砌体的强度；二、墙体联结；三、楼梯间的构造；四、圈梁的构造；五、构造柱；六、配筋砌体；七、顶层的构造；八、小构件。	
第四节 无构造柱砖房的抗震计算	(126)
一、力学模型；二、整幢房屋的楼层地震剪力；三、砖墙侧移刚度；四、墙肢地震剪力；五、砖墙的抗震强度验算。	
第五节 有构造柱砖房的抗震计算	(167)
一、房屋动力特性；二、墙体试验数据；三、强度计算公式。	
第六节 考虑扭转效应的近似计算	(176)
一、引起房屋扭转的因素；二、静力分析法；三、动力偏心距法。	
第七节 计算实例	(188)
一、面积率法例题；二、修正面积率法例题；三、剪弯变形一次分配法例题；四、剪弯变形两次分配法例题。	

第五章 内 框 架 房 屋

第一节 震害概况	(200)
一、主要震害描述；二、震害程度；三、震害规律。	
第二节 抗震性能评价	(204)
一、抗破坏能力；二、抗倒塌能力；三、合理抗震设计后的抗震性能预测。	
第三节 建筑布局和结构选型	(205)
一、房屋体形和高度；二、砖墙；三、楼梯间的位置；四、圈梁的布置；五、构造柱和组合柱的设置原则；六、内框架的选型。	
第四节 构件和节点的抗震构造	(214)
一、纵横墙的联结；二、圈梁的截面和配筋；三、构造柱与组合柱；四、现浇框架；五、半预制框架。	
第五节 结构动力特性	(224)
一、构件刚度；二、实测自振特性；三、模型实验数据。	
第六节 地震内力的空间分析法	(241)
一、力学模型；二、运动微分方程式；三、运动微分方程组的解；四、多质点系的自由振动；五、房屋的周期和振型；六、质点地震荷载；七、结构侧移；八、构件的 j 振型地震荷载；九、构件地震内力；十、计算实例。	
第七节 地震内力分析的简化方法	(273)
一、底部剪力法；二、空间分析法；三、大跨度重层的近似计算；四、计算实例。	
第八节 刚性楼盖房屋的平扭耦联振动分析	(288)
一、计算简图；二、质心和刚心；三、运动微分方程；四、地震位移反应；五、振型参与系数；六、楼层地震荷载；七、构件地震荷载；八、构件地震内力。	

第九节 半刚性楼盖房屋的差异平移——扭转耦联振动分析	(301)
一、力学模型；二、计算简图；三、运动方程；四、运动方程的解；五、质点地震荷载；六、构件地震力；七、振型组合。	
附录：内框架房屋空间分析简化计算分式	(312)

第六章 底层框架砖房

第一节 震害概况	(313)
一、抗震性能评价；二、震害描述；三、震害程度；四、受震实例。	
第二节 建筑布置和结构选型	(315)
一、房屋体形；二、房屋高度；三、上层砖墙的布置；四、底层框架选型；五、底层抗震墙；六、框架柱网与上层砖墙的关系。	
第三节 抗震构造	(321)
一、上层砖结构；二、二层楼板；三、梁的构造；四、柱的构造；五、梁柱节点；六、钢筋混凝土抗震墙；七、砖抗震墙；八、基础。	
第四节 结构动力特性	(332)
一、力学模型；二、构件刚度；三、房屋的自振周期和振型。	
第五节 地震荷载的计算	(351)
一、一般性方法；二、现行规范方法。	
第六节 地震力的分配	(359)
一、底层地震剪力的分配；二、底层倾覆力矩的分配。	
第七节 平扭耦联振动分析	(370)
一、计算简图；二、质心、刚心和刚度系数；三、运动方程的建立；四、周期和振型；五、地震位移反应；六、地震荷载；七、构件地震内力；八、双向地面平动作用下的构件地震内力	
第八节 变形集中和扭转效应的近似计算	(385)
一、刚性比；二、偏心率；三、设计地震剪力。	
第九节 计算实例	(387)
一、计算数据；二、平剖面简图；三、楼层重量和修正的楼层重量；四、楼层刚度；五、房屋重量作为水平力引起的楼层侧移；六、底层设计地震剪力；七、底层的地震倾覆力矩；八、强度验算；九、二层以上的地震剪力。	
参考文献	(393)

第一章 工程地震

第一节 地震知识

一、地震的类型

地震就是某种原因引起的地面强烈运动。依其成因，地震可以划分为三种主要类型：火山地震、陷落地震和构造地震。

火山爆发，地下岩浆迅猛冲出地面时引起的地面运动，称为火山地震。石灰岩地区地下溶洞或古旧矿坑的崩塌，造成近表面地下岩层大规模塌陷所引起的地面运动，称为陷落地震。由于地壳构造运动使某处地下岩层的薄弱部位突然发生断裂错动引起的强烈地面运动，称为构造地震。

火山地震虽为数不少，但释放的能量小，影响范围和破坏程度相对来说都比较小。陷落地震不仅能量小，数量也少。构造地震为数最多，约占地震总数的90%以上；而且能量大，涉及范围广，破坏性很大。近几十年来，我国发生的二十余次大地震中，仅四川自贡于1954年和1965年发生的两次地震，属陷落地震，震源极浅，震级很小。因此，下面着重讨论构造地震。

二、构造地震的成因

由于地球内部的化学反应和热力变化，以及地球自转速度的变化，地壳不断地在运动。地壳是由各种岩层构成的。岩层所受到的上面岩层的压力，随着深度而增加；岩层的温度也随深度而升高。岩石在高温高压下不再象地表处的岩石那样脆，而是具有一定的塑性。由于地壳的缓慢移动，邻近地区的位移差异在岩层中引起弹性应变，当弹性应变积聚到超过岩石所能承受的程度，岩层便产生断裂和错动。于是，承受应变的岩体在其自身的弹性应力作用下发生回跳，迅速弹回到新的平衡位置。大多数情况下，断层两侧的弹性回跳的方向是相反的（图1-1）。岩层中原先积累的能量在回弹过程中全部释

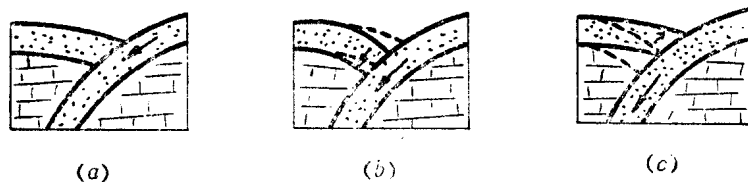


图 1-1 构造运动引起地震的机理

(a) 下盘向下运动；(b) 带动上盘下移；(c) 上盘回跳

放,并以弹性波的形式传至地面,地面随之产生强烈运动,这就是地震。

地下岩层破裂时,往往不是沿着一个平面发展,而是形成一个由一系列裂缝组成的破碎地带。岩层发生断裂、错动时,整个破碎地带的岩层不可能同时达到新的平衡状态。主震以后的零星调整,就造成了一系列的余震。

地震的发生与地质构造密切相关。因此,哪些地方最易发生地震,也是有一定规律可寻的。一般说来,岩层中原先已有断裂存在,因而岩石的强度较低,容易发生错动或产生新的断裂,也就容易发生地震。特别是活动性大断裂带的两端和拐弯的部位,两条活动断层的交汇处,以及现代断裂差异运动变化剧烈的大型隆起或凹陷的转换地带,地应力比较集中,构造比较脆弱,更容易发生地震。

三、地震术语

(一) 震源

地震在地壳深处的发源地,称为“震源”。震源由地表面算起的深度,称为“震源深度”(图1-2)。

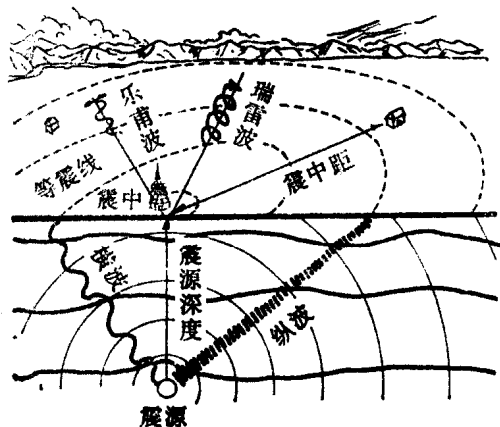


图1-2 地震术语示意图

震源深度在60公里以内的地震叫“浅源地震”;60~300公里的叫“中源地震”;300公里以上的叫“深源地震”。世界上绝大多数的地震属浅源地震,而且震源深度多在5~20公里范围内。一般说来,同样大小(能量)的地震,震源较浅时,波及范围小,破坏程度大;震源较深时,波及范围广,破坏程度相对较轻。震源深度超过100公里的地震,在地面上几乎不会引起灾害。

(二) 震中

地面上与震源正相对着的地方,或者说震源在地表面上的投影点,称为“震中”。震中的附近地区,称为“震中区”。地震灾害最严重的地区,称为“极震区”。多数情况下,震中区和极震区大体上是一致的。

地震震源是由仪器测得的地下深处岩层先发生破裂的一点,即地下断层滑动的起点,它并不表示地震能量释放的中心。震级 $M < 6$ 的地震,能量释放中心与断层滑动的起点相距很近;但很大的地震,这两点有时相距甚远。“仪器震中”就是地表上对应于震源的那一点,也就是对应于地下断层滑动的起点,而不是对应于能量释放中心的断层破裂中点。与此相对照的“宏观震中”(或称现场震中),通常被定义为具有最大地震烈度的地点。它往往更靠近能量释放中心的地表投影点。地震时,如果发生地表断层,宏观震中往往位于地表断层的某一点上。这就是为什么仪器震中有时与宏观震中相离较远的道理。

(三) 震级

震级是表示地震本身大小的一种量度。它与震源发出能量的大小有直接的关系。震级 M 的原始定义是:一种特定类型的、放大率为2,800倍的地震仪,在距离震中100

公里处，记录图上量得的以微米（千分之一毫米）为单位的最大单振幅 A 的普通对数值，即

$$M = \log A \quad (1-1)$$

实际上，强震的震级是根据放大倍率很小的强震仪或远处地震台的记录来推算的。因为震级用对数表示，所以，震级每增加一级，地震波振幅增加 10 倍，而能量则增加约 30 倍。震级 M 与地震释放能量 E （尔格）之间有如下的对应关系：

$$\log E = 1.5M + 11.8 \quad (1-2)$$

大于 2.5 级的地震，人就有感觉，叫有感地震。5 级以上的地震，就会造成不同程度的破坏，叫破坏性地震。世界上已记录到的最大地震的震级为 8.9 级。

（四）地震烈度

“地震烈度”是指某一地区的地表和各类建筑物遭受某一次地震的影响的强弱程度。“基本烈度”则是预测某一地区未来一百年内一般场地条件下可能遭遇的最大地震烈度。

一次地震，表示地震大小的震级只有一个；然而由于同一次地震对不同地点的影响不一样，因此随着距离震中的远近而出现多种不同的烈度。一般来说，距震中愈远，地震影响愈小，烈度就愈低；反之，愈近震中，烈度就愈高。震中点的烈度称为“震中烈度”。美国里希特对浅源地震，提出震中烈度（ I ）与震级（ M ）之间的如下对应关系。

$$I = 1.72M - 2.6 \quad (1-3)$$

我国谢毓寿分析对比了各国地震学家提出的震中烈度与震级的关系，并以我国多次地震的实际情况予以验证，得出了震中烈度随震级和震源深度而变化的关系。具体数字列于表 1-1。

震中烈度

表1—1

震源深度 (公里) 震级 (M)	5	10	15	20	25
2	3.5	2.5	2	1.5	1
3	5	4	3.5	3	2.5
4	6.5	5.5	5	4.5	4
5	8	7	6.5	6	5.5
6	9.5	8.5	8	7.5	7
7	11	10	9.5	9	8.5
8	12	11.5	11	10.5	10

一个地区的地震烈度，主要与该次地震的震级和震中距离有关。根据我国大量历史强震等震线的统计数据，以震级 M 和 $\log R$ （ R 为震中距，以公里计）为直角坐标绘出的等烈度区，示于图 1-3。图中，7 度分近震、中震、远震，其分界线为 15 公里和 50

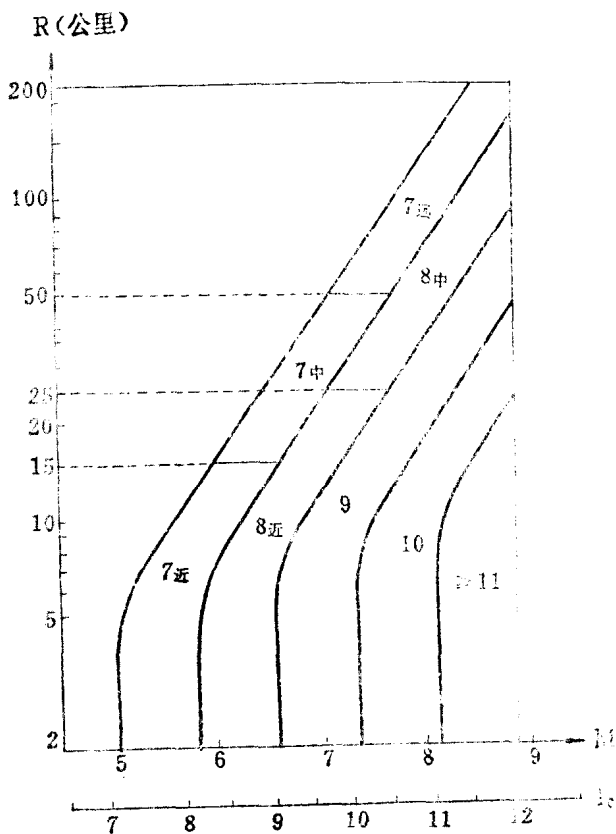


图 1-3 等烈度分区

会出现 8 度和 6 度的小块烈度异常区。

公里；八度分近震和中震，其分界线为 25 公里。9 度区，因为震中距一般都不远，故不再区分。

(五) 等震线

对应于一次地震，在受到影响的区域内，按照地震烈度表可以对某一地点评定出一个烈度，具有相同烈度的各个地点的外圈包线，称为“等震线”（或称等烈度线）。等震线图表示一次地震的烈度分布情况，等震线一般按烈度的整数分级画线，图上的某一度线表示该烈度区的外边界（图 1-2）。等震线的形状与地下构造断裂带和地表断裂密切相关，也与地形地貌等地质条件有关，多数呈椭圆形。一般情况下，等震线的度数随震中距的增大而递减；但有时由于局部地质和地形的影响，也会在某一度区内包括小块增高一度或降低一度的烈度区。例如在 7 度的等震线圈内，

四、地震现象

(一) 地震前兆

1. 自然现象 大震前，小地震常突然增多；极震区的井水猛涨或干涸；地下由于岩石破裂发出沉闷的响声（地声）；天空出现红色、白色或蓝色的闪光（地光）。
2. 仪器反应 水准仪的气泡动荡不定；无线电有干扰；仪器收到高频讯号；气压、地温、地磁、重力、地壳倾度、地下氢含量等有显著变化。
3. 动物表现 家禽、家畜烦躁不安，不进圈、不吃食、甚至乱跑乱窜；穴居的蛇、鼠惊慌出洞；鱼群浮游水面。

(二) 地震时的地面运动

地震时，地下岩石破裂错动所产生的强烈振动，以波动的形式从震源向各个方向传播，这就是地震波。地震波包含通过地球本体传播的两种“体波”——“纵波”和“横波”，以及沿地球表面传播的两种“面波”——“瑞雷波”和“乐甫波”。面波是体波经地层界面多次反射形成的次生波。

纵波是由震源向外传递的压缩波，质点的振动方向与波的前进方向一致，周期短，振幅小，在地面引起上下颠簸。横波是由震源向外传递的剪切波，质点的振动方向与波

的前进方向相垂直,周期较长,振幅较大,引起地面前后左右摇晃。瑞雷波传播时,质点在波的前进方向与地表面法向组成的平面内作椭圆运动。乐甫波仅在与波的前进方向相垂直的水平方向运动(图1-2)。

地震波的传波,以纵波最快,横波次之,面波最慢。所以,在地震中心区,人们的感受是,先上下颠簸,后左右摇晃。一般当横波或面波到达时,地面振动最猛烈,产生的破坏作用也大。在离震中较远的地方,由于地震波在传播过程中逐渐衰减,地面晃动减弱,破坏也就逐渐减轻。

(三) 地震波的记录

地震时地面运动存在着多维分量。就直角坐标系而言,不仅有水平运动还有竖向运动;水平运动中又包含着两个正交方向的平动分量及旋转分量。图1-4为地震波记录示意图。

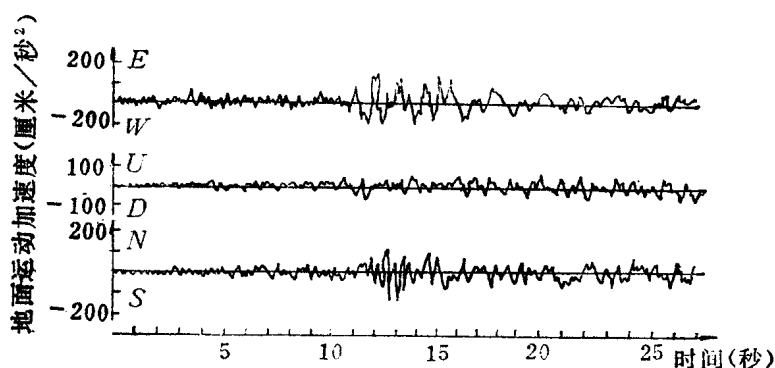


图1-4 地震波记录

(四) 地震后的地面变形

1. 地裂缝 强烈地震时,地下断层发生强烈错动,常使上面的岩层和地面也跟着产生移动,致地面产生裂缝。此种地面裂缝与地下断裂带的走向一致,规模较大,有时延续几公里甚至几十公里。裂缝宽度常达数十厘米,裂缝左右两盘有时上下错动达数米之多(照片1-1)。少数情况下,裂缝的左右两盘还出现前后错动。邢台地震,一条地面裂缝使麦田里的麦行在裂缝两侧水平错动达十几厘米。

另外,在河湖岸边、海边、故河道以及厚的松软土层地区,也容易产生裂隙(照片1-2)。裂隙的长度、宽度和数量,随地震的强弱而不同,但其规模和范围一般都比较小。

2. 喷水冒砂 在沿海或地下水位较高的地区,地下水往往从裂隙涌出地面。在有砂层或轻亚粘土层的地方,则夹带砂土喷出,形成喷水冒砂现象(照片1-3、1-4)。

3. 滑坡塌方 陡峭的山区,在强烈地震的摇动下,常会发生山石滚落、陡崖崩塌或山坡滑移。云南东川1932年地震,山石崩塌阻塞了小江;1966年地震,一个山头就崩塌了近八十万立方(照片1-5)。1971年云南通海地震,山坡一座村庄滑移了一百余米。

4. 地面下沉 1966年邢台地震,极震区的地面普遍下沉了十几厘米。

第二节 地震烈度表

地震烈度是表示地震影响程度的一个尺度，因而需要有一个评定烈度的标准，这个标准称为烈度表。烈度表的内容包括：宏观现象描述（人的感觉、器物反应、建筑物的破坏、地表现象等）和物理定量指标。

一、几种主要烈度表简介

历年来，世界各国陆续编制和修订过的地震烈度表有几十种。目前国际上普遍采用的是划分为12度的烈度表；但欧洲一些国家仍沿用划分为10度的烈度表，日本则采用按8度划分的烈度表。就其内容而论，又可分为宏观烈度表和定量烈度表。现分述如下：

（一）宏观烈度表

在地震仪器还没有发展以前，地震烈度的评定不得不以宏观现象为依据。1883年的罗西——佛瑞尔地震烈度表，是在地震调查资料的基础上，对各烈度提出明确规定的第一个地震烈度表。1931年的修订麦卡里——坎坎里烈度表，在烈度标准中增加了各类建筑物的不同破坏情况。1952年颁布的苏联新烈度表中，将建筑物分类、破坏程度分等，进行了系统的描述。1956年我国也编制了适合我国国情的“新的中国地震烈度表”，以我国历次地震的调查资料为基础，将房屋、结构物、地表现象等按烈度分别叙述，比较细致；并取新式砖石结构房屋为中外建筑物的共同标准，以便与各国通用的烈度表对比，求得统一的烈度标准。

目前，绝大多数国家都采用分成12度的地震烈度表。各表的内容虽略有出入，但总的说来，各度基本相当，主要标志大致如表1-2所示。

宏观地震烈度表

表1—2

地震烈度	主 要 标 志			
	房 屋	结 构 物	地表现象	其他现象
1 度	无	无	无	仅仪器才能记录到
2 度	无	无	无	个别完全静止中的人才感觉到
3 度	无	无	无	室内少数静止中的人才感觉到，某些悬挂物轻微摇动
4 度	门窗、纸糊顶棚，有时轻微作响	无	无	室内多数人和室外少数人感觉到，悬挂物摇摆，器皿轻微作响
5 度	门窗轻微作响，抹灰层可能有细小裂缝	无	静止池水有细微波浪	多数人从梦中惊醒，架上高细器物翻倒

续 表

地震烈度	主 要 标 志			
	房 屋	结 构 物	地表现象	其他现象
6 度	土房多数损坏, 砖房少数损坏, 女儿墙倒塌	牌坊、砖塔轻微损坏	山石滚落, 土石山偶有小滑坡, 潮湿松土偶有细小裂缝	人行动不稳, 家畜惊跑, 器皿翻倒
7 度	土房多数破坏, 砖房、厂房多数轻微损坏	砖烟囱多数破坏, 土堤偶有塌方	地面有细裂缝, 并有喷砂、冒水现象	多数人惊慌, 器物翻倒、坠落
8 度	土房严重破坏、少数倒塌, 砖房、厂房多数破坏	烟囱严重破坏, 少数倒塌, 碑石翻倒	地面裂缝宽达几厘米, 喷砂冒水和山崩现象多	人站立不稳, 家具移动、翻倒
9 度	多数房屋严重破坏, 少数倒塌	烟囱倒塌, 土坝、路堤塌方	地面裂缝多, 宽达几十厘米, 山崩、滑坡	
10度	多数房屋倒塌	烟囱全部倒塌, 地下管道破裂	地面裂缝成带, 长达几公里	
11度	房屋全部倒毁	地下管道破坏	地面出现许多宽大裂缝	
12度	房屋全部倒毁	结构物全部毁坏	地形有剧烈变化	动植物遭到毁灭

(二) 定量烈度表

宏观烈度表对于整理历史地震资料、评定地震现场烈度,起了很大的作用。但它只能反映地震的后果,而未反映地震的破坏过程。从工程地震观点评定烈度的最主要目的,是决定抗震设计所需要的地震作用力。如果不能找出一个与地震烈度相当的物理量来说明地震振动的强度,那么,纵然能够正确地评定烈度,仍然难于运用到工程设计的实际计算中。在工程上,地震烈度是抗震设防的标准,因此,要求在烈度标准中,给出与地震烈度相当的地面运动物理量,即定量的指标。

1. 以加速度为标准

长期以来,人们在不断地积极探索解决问题的途径。研究的最多并为工程界广为接受的,是以地震时引起物体振动和破坏的加速度值,做为与地震烈度相当的物理量。对于工程师来说,有了加速度值,就能进一步计算出作用于建筑物的地震力,从而确定采取怎样的抗震措施。1904年意大利地震学家坎坎尼提出的地表运动最大水平加速度数值(表1-3),曾被许多国家用作抗震建筑的设计标准。坎坎尼首先提出了地表运动物理量随烈度成倍增长的规律。但由于当时缺乏强震仪,具体数字更多的是依靠房屋破坏程度推算的,掺杂了工程计算方面的因素,因而其数值比后来强震仪所记录到的实际值普遍低3~4倍。

1965年刘恢先根据大量的仪器观测资料,对7~9度的地面最大加速度,给出了较合理的数值(表1-3)。表1-3中还列出了我国工业与民用建筑抗震设计规范(TJ 11-78)所采用的数值。

2. 以速度为标准

随着地震实践和研究工作的不断深入,发现震害程度不仅与地面运动的最大水平加

定量地震烈度表 (一)

表1—3

地震烈度	地面最大水平加速度(厘米/秒 ²)		
	坎 坎 尼	刘 恢 先	TJ 11—78
1 度	<0.25		
2 度	0.25~0.5		
3 度	0.5~1.0		
4 度	1.0~2.5		
5 度	2.5~5.0		
6 度	5~10		
7 度	10~25	75	100
8 度	25~50	150	200
9 度	50~100	300	400
10度	100~250		
11度	250~500		
12度	500~1000		

速度有关,而且还与地面运动的周期密切相关。但是,地面运动速度相同的情况下,震害程度就不再受地面运动周期的影响。因为速度与能量之间本来就存在着直接的联系,因而也就与震害程度有着直接的联系。因此,国际上又趋向于以地面最大速度为烈度的定量指标。有关数据列于表1-4。

定量地震烈度表 (二)

表1—4

地震烈度		5 度	6 度	7 度	8 度	9 度	10度
研究者							
地面最大水平速度 (厘米/秒)	纽曼(美)	2.25	4.5	9	18		
	麦德维捷夫(苏)	1~2	2.1~4	4.1~8	8.1~16	16.1~32	32.1~64
	金井清(日)	2.46	3.73	5.64	8.54	12.0	19.6

应该指出,地震对建筑物的破坏作用,除了地震加速度和速度的最大值、地震的周期特性是主要影响因素外,强烈振动的持续时间也是重要的影响因素。此外,地面位移、频谱组成、加速度的导数,对建筑物的破坏程度也有较大影响。

二、中国地震烈度表 (1980)

1980年12月初,国家地震局召集了有关单位审查通过了新的《中国地震烈度表(1980)》,并建议颁布试行。此一新烈度表(表1-5)总结了解放以来邢台、海城、唐

中国地震烈度表 (1980)

表1—5

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, 厘米/ 秒 ² (水平向)	速度, 厘米/ 秒 (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		
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)	3 (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 (45~89)	5 (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, 松软土地裂缝较多。大多数烟囱中等破坏	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 (19~33)
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。