

厂房抗震设计

刘大海 杨翠如 著



中国建筑工业出版社

厂房抗震设计

刘大海 杨翠如 著

中国建筑工业出版社

(京)新登字 035 号

图书在版编目 (CIP) 数据

厂房抗震设计/刘大海, 杨翠如著. -北京: 中国建筑工程出版社, 1997

ISBN 7-112-03224-5

I. 厂… II. ①刘… ②杨… III. 工业建筑-抗震结构-建筑设计 IV. TU270.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 03638 号

厂房抗震设计
刘大海 杨翠如 著

*

中国建筑工程出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京市兴顺印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 40 $\frac{3}{4}$ 字数: 991 千字

1997 年 7 月第一版 1997 年 7 月第一次印刷

印数: 1—1500 册 定价: 57.00 元

ISBN 7-112-03224-5

TU·2473 (8367)

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,找出各类厂房的抗震薄弱环节,提出合理的平面布置、结构选型、构造措施和抗震强度验算方法。《建筑抗震设计规范》(GBJ 11—89)的有关规定,在本书中也得到较详细地阐述。

本书结合地震区工程设计的需要,着重阐述了建筑场地选择、液化和软土地基处理、地震反应谱理论的应用、多种结构类型的单层与多层厂房的抗震计算和节点构造。计有排架结构、门式刚架结构、大柱网结构、折板和双曲砖拱结构、框架结构、框架-抗震墙结构、框架-支撑结构、框排架结构等。在计算方面,既给出考虑楼盖变形、扭转振动、抗震墙刚度退化、柔弱层变形集中及地面运动多分量的作用等多种因素的空间结构分析方法,还利用电子计算机对多种结构类型的大量工程实例进行空间分析,分类归纳出适用于多种情况的便于手算的简化计算方法和配套图表。

本书可供从事工程设计、施工、科研人员以及土建专业师生使用。

目 录

第一章 地震烈度

第一节 地震	1
一、地震类型和成因	1
二、地震术语	2
三、地震时的地面运动	4
四、地震的破坏作用	4
第二节 烈度表	7
一、几种主要烈度表简介	7
二、中国地震烈度表 (1980)	9
第三节 烈度区划图	10
一、烈度区划图的编制原则	10
二、烈度区划图的应用	10
第四节 地震危险性分析	10
一、危险性分析的意义	10
二、危险性分析的内容	11

第二章 场地与地震反应谱

第一节 建筑场地选择	12
一、选择建筑场地的原则	12
二、地形、地质与震害的关系	12
第二节 场地	14
一、场地条件对震害的影响	14
二、场地分类	15
第三节 水平地震反应谱	17
一、反应谱的概念	17
二、影响反应谱的诸因素	21
三、反应谱曲线	23
四、设计反应谱	24
第四节 竖向地震反应谱	25
一、竖向地震动加速度	25
二、竖向反应谱的特性	26
三、竖向地震影响系数谱曲线	27

第三章 地基与基础

第一节 地基抗震设计特点	29
一、松软地基引起的震害	29
二、地基震害分类统计情况	30

三、地基抗震设计原则	31
四、地基土承载力的调整	32
第二节 地基抗震强度验算	35
一、基础偏心距的控制	35
二、地基强度验算	36
第三节 可液化地基	36
一、地基液化与震害	36
二、土的地震液化	39
三、土液化势的判别方法	41
四、场地的液化危害性分析	43
五、土层液化的防治	50
第四节 有震陷地基	50
一、软土的物理力学特性	50
二、软土地基的震陷	51
三、软土震陷机理	52
四、软土震陷的防治	52
五、软土地基的结构措施	53
第五节 不均匀地基	54
一、岩土地基	54
二、半挖半填地基	55
三、杂填土地基	55
四、故河道地基	55
第六节 地基加固	56
一、杂填土地基的处理	56
二、液化地基和震陷地基的处理	57
第七节 桩基础	64
一、桩基的抗震效果	64
二、桩基的抗震强度验算	67
三、桩基的抗震构造	70

第四章 地震作用计算原理

第一节 结构动力学	71
一、动静荷载的区别	71
二、结构质量的离散化	72
三、体系的自由度	73
四、动力平衡原理	76

五、单自由度体系的振动方程	77
六、多质点系在地震作用下的振动方程	79
第二节 地震作用效应的时程分析法	80
一、时程分析法的概念	80
二、几种逐步积分方法	80
三、设计规定	83
第三节 振型分解反应谱法	84
一、方法概述	84
二、多质点系地震位移反应	85
三、多质点系的水平地震作用	91
四、地震作用效应的振型遇合	92
第四节 底部剪力法	94
一、方法概述	94
二、确定基本周期的能量法	94
三、等效质量系数	98
四、计算公式	98
第五节 抗震设计原则	99
一、建筑的重要性分类	99
二、规范抗震设计思想	100
第五章 抗侧力构件的刚度和强度	
第一节 柱	102
一、截面尺寸	102
二、柱的侧移计算	102
三、排架侧移刚度	108
第二节 支撑的基本构件	109
一、轴心受拉钢杆件	109
二、轴心受压钢杆件	110
第三节 柱间支撑	113
一、基本性质	113
二、交叉支撑的设计	115
三、人字形支撑的设计	125
四、带吸能框的消能支撑	128
第四节 屋盖支撑	129
一、横向水平支撑	129
二、竖向支撑	132
第五节 屋盖水平刚度	133
一、大型板屋盖	134
二、钢筋混凝土有檩屋盖	137
第六节 砖墙	138
一、侧移刚度	138
二、截面验算	141
第六章 砖排架房屋	
第一节 震害概况	143
一、抗震性能评价	143
二、震害程度	144
三、主要震害及震害特征	145
四、散装仓库的震害特点	147
第二节 结构布置和构件选型	147
一、平面和体形	148
二、厂房与生活间的连接	149
三、车间与构筑物	150
四、不等高厂房	151
五、墙体布置	152
六、圈梁的布置	154
七、排架结构选型	157
八、屋盖结构选型	162
九、山墙选型	162
十、构造柱	164
十一、屋盖支撑的布置	164
十二、下弦系杆	170
第三节 构件及节点的抗震构造	171
一、屋架与砖柱的连接	171
二、山墙顶部与屋面构件的锚拉	171
三、山墙的构造	173
四、圈梁的构造	174
五、构造柱	176
六、砖柱截面和配筋	178
七、纵、横墙的连接	181
八、内隔墙的连接	181
九、屋面构件的连接	182
第四节 房屋自振特性	185
一、实测自振特性	186
二、力学模型	188
三、质量集中系数	190
四、周期和振型的计算	199
第五节 房屋横向抗震计算	210
一、单排架地震内力	211
二、空间分析法	216
三、空间分析简化法	223
第六节 厂房纵向计算	228
一、纵向抗震分析的特点	228
二、纵向空间分析法	230

三、纵向空间分析“两质点法”	233	十二、砖围护墙的柔性连接	309
四、纵向空间分析简化方法	239	第五节 厂房自振特性	310
第七章 V形折板与双曲砖拱房屋		一、厂房实测周期	311
第一节 震害概况	245	二、厂房实测振型	313
一、V形折板屋盖房屋	245	三、厂房自振特性的计算	313
二、双曲砖拱屋盖房屋	247	第六节 抗震计算原则	314
第二节 抗震构造措施	249	一、强度验算方向	314
一、V形折板屋盖	249	二、力学模型和计算简图	315
二、双曲砖拱屋盖	251	三、荷载效应组合	317
第三节 房屋横向抗震计算	255	四、不作抗震验算的范围	319
一、房屋横向底部剪力	255	第七节 单榀排架地震内力计算	319
二、排架地震作用	256	一、计算原则	319
三、山墙地震作用	256	二、手算方法	321
第四节 房屋纵向抗震计算	257	三、机算方法	332
第八章 钢筋混凝土排架厂房		第八节 对称厂房的横向	
第一节 震害概况	258	空间分析	341
一、震害程度	258	一、空间结构矩阵位移法	341
二、主要震害现象	260	二、等高厂房横向空间分析	
三、震害特征	261	简化方法	347
第二节 构件选型	262	三、不等高厂房横向空间分析	
一、屋面类别	262	简化计算	354
二、屋架选型	263	第九节 非对称厂房横向扭转	
三、天窗架选型	263	振动分析	359
四、柱的截面形状	264	一、计算参数	360
五、围护墙选型	265	二、刚性屋盖等高厂房的平-扭	
第三节 结构布置	266	振动分析	362
一、厂房体形	266	三、弹性屋盖厂房横向变-扭	
二、厂房与生活间	269	振动分析	373
三、屋盖支撑系统	269	四、厂房横向变-扭振动分析简化法	382
四、柱间支撑的布置	276	五、空间作用调整系数汇总	388
第四节 构件和节点的抗震构造	281	第十节 等高厂房纵向计算	389
一、屋面板	281	一、结构纵向平动空间分析法	389
二、天窗架	284	二、纵向空间分析简化方法	393
三、屋架及其支撑节点	285	三、天窗的纵向抗震计算	403
四、钢筋混凝土排架柱	290	第十一节 不等高厂房纵向扭转	
五、柱间支撑节点	295	振动分析	409
六、防风柱	298	一、纵向变-扭振动分析的矩	
七、吊车梁与柱的连接	299	阵位移法	409
八、砖围护墙	299	二、厂房纵向扭转振动计算	
九、圈梁和墙梁	304	结果剖析	416
十、砖隔墙	306	三、柱列法	419
十一、钢筋混凝土墙板	307	四、拟能量法	425

第十二节 非对称厂房双向		
扭转振动	432	
一、力学模型	432	
二、计算简图和自由度	432	
三、计算原则和计算步骤	433	
四、地震时振动方程和自由		
振动方程	433	
五、振动方程的解	436	
六、质点地震作用	438	
七、结构位移和构件侧移	440	
八、构件水平地震力	442	
九、构件地震作用效应	443	
十、双向扭转振动计算结果剖析	443	
第九章 大柱网厂房		
第一节 震害概况	450	
一、受震实例	450	
二、震害特点	452	
第二节 结构布置与构件选型	453	
一、厂房与生活间	453	
二、防震缝	454	
三、屋盖结构选型	454	
四、柱间支撑	455	
五、围护墙	456	
第三节 构件和节点抗震构造	456	
一、柱	456	
二、网架与柱的连接	458	
三、柱间支撑节点	458	
四、砖墙与柱的拉结	458	
第四节 水平地震作用下的厂房		
正向分析	458	
一、计算单元	459	
二、计算简图	459	
三、单柱抗推刚度	459	
四、柱列基本周期	459	
五、水平地震作用	459	
第五节 水平地震作用下的厂房		
斜向分析	460	
一、斜向分析的必要性	460	
二、坐标转换法	461	
三、地面运动分解法	469	
四、纵、横向刚度耦联的大柱网厂房		
的斜向抗震分析	471	
第六节 柱的 $P-\Delta$ 效应	475	
一、 $P-\Delta$ 效应对柱水平抗力的影响	476	
二、附加弯矩的计算	477	
第七节 抗震强度验算	478	
一、柱的受力特点	478	
二、作用效应组合	479	
三、双向偏压柱正截面强度计算	479	
四、截面抗震强度验算式	481	
第八节 抗震变形验算	481	
一、地震影响系数	482	
二、柱的侧移限值	482	
第九章 厂房屋盖竖向地震反应	482	
一、网架结构力学模型	483	
二、网架竖向自振特性	484	
三、竖向地震反应分析	484	
四、竖向地震作用效应的近似计算	488	
第十章 门式刚架房屋		
第一节 结构选型	490	
一、门架类型	490	
二、杆件尺寸	491	
三、地震区门架截面尺寸	492	
第二节 结构布置	492	
一、房屋平面	492	
二、屋面支撑	492	
三、屋面水平系杆	493	
四、柱间支撑	494	
五、围护墙	494	
第三节 杆件节点构造措施	495	
一、门架梁柱节点	495	
二、顶铰节点	496	
三、柱脚铰节点	496	
四、基础拉杆	497	
五、支撑节点	497	
六、围护结构与门架的连接	498	
第四节 房屋横向抗震计算	498	
一、跨变结构地震反应的特点	499	
二、计算原则和方法	499	
三、抗震计算要点	501	
四、单跨门架地震作用效应分析	503	
五、多跨等高门架地震作用效应		
分析	505	
六、不等高门架地震作用效应分析	509	

第五节 房屋纵向抗震计算	511	第六节 抗震墙刚度退化对框架	
一、单跨门架房屋	511	地震内力的影响	588
二、多跨门架房屋	512	一、结构模型实验数据	588
第六节 变截面刚架计算		二、矩阵位移法	589
公式及图表	514	三、侧移法	592
一、计算图表	514	第七节 楼盖变形对框架地震	
二、计算公式	516	内力的影响	593
第七节 计算例题	528	一、楼盖水平刚度	593
第十一章 多层厂房		二、力学模型	594
第一节 震害概况	548	三、振动方程	595
一、震害程度	548	四、地震内力计算方法	596
二、震害特点	548	五、空间计算结果剖析	596
第二节 结构布置原则	549	六、简化计算方法	598
一、结构选型	549	第八节 防倒塌设计	599
二、防震缝的设置	550	一、设计准则	599
三、抗震墙的布置	551	二、结构弹塑性位移的计算	599
四、竖向支撑的布置	551	三、变形限值	600
第三节 抗震构造	552	第九节 刚性楼盖多层厂房的	
一、建筑结构的抗震等级	552	扭转振动	601
二、现浇框架梁	552	一、多层刚片系	601
三、现浇框架柱	555	二、质心和刚度系数	601
四、装配式框架	561	三、平-扭振动微分方程式	602
五、填墙框架	563	四、振型参与系数	604
六、砌体填充墙	564	五、楼层的水平地震作用	605
七、钢筋混凝土抗震墙	565	六、竖构件水平地震作用	605
八、竖向支撑节点	567	第十节 弹性楼盖多层厂房的	
九、装配式楼板的连接	568	扭转振动	606
第四节 刚性楼盖厂房的水平		一、力学模型和立体多质点系	606
地震作用	569	二、变-扭振动方程式	607
一、力学模型	569	三、周期和振型	608
二、自振特性的计算	571	四、质点的水平地震作用	608
三、水平地震作用	572	五、竖构件地震作用效应	609
四、框架结构地震作用效应	574	六、楼盖水平地震剪力	610
五、框-撑结构地震作用效应	577	第十二章 框排架结构厂房	
六、填墙框架结构地震作用效应	578	第一节 结构设计	612
七、框-墙结构地震作用效应	581	一、厂房型式	612
第五节 柔弱层结构的变形		二、结构布置	613
集中效应	585	第二节 横向抗震计算	614
一、非等强结构厂房	585	一、对称均匀结构	614
二、柔弱层的变形集中	586	二、对称非均匀结构	617
三、楼层刚性比的计算	587	三、非对称结构	620
四、柔弱层的设计地震剪力	587	第三节 纵向抗震计算	626

一、矩阵位移法	626	五、自由振动方程	634
二、略算法	630	六、振型参与系数的计算	636
第四节 双向输入扭转振动分析	632	七、质点地震作用	637
一、双向地震动输入	632	八、结构位移和构件侧移	638
二、力学模型	632	九、构件水平地震力	639
三、振动模型	633	十、构件抗震承载力验算	639
四、质点系的自由度	633	参考文献	640

第一章 地震烈度

第一节 地震

一、地震类型和成因

(一) 地震类型

地震就是由于某种原因引起的地面强烈运动，是一种自然现象。依其成因，地震可以划分为三种主要类型：

1. 火山地震

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。由于释放能量小，相对而言，影响范围和造成的破坏程度均比较小。

2. 塌陷地震

石灰岩层地下溶洞或古旧矿坑的大规模崩塌引起的地面震动，称为塌陷地震。此类地震不仅能量小，数量也小。解放以来我国发生的 20 余次大地震中，仅四川自贡 1954 年和 1965 年发生的两次地震，属塌陷地震，震源极浅，波及范围很小。

3. 构造地震

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。构造地震的破坏性大，影响面广，而且频繁发生，约占破坏性地震总量的 95% 以上。因此，下面将着重讨论构造地震。

(二) 板块构造学说

1. 基本观点

最近兴起的板块构造学说，可以相当成功地解释大多数地震的发生原因。它的基本观点是认为地球的最外层（称作岩石圈）是由若干块巨大而又完全稳定的板块所组成。

2. 板间地震

每个板块向下延伸的深度大约为 80km。板块紧压在一层较软的岩石上，与邻近的一些板块作相对的水平运动。板块边缘是各板块互相接触的地方，那里的岩石由于受到巨大的形变作用（或构造作用），而不断地产生物理甚至化学的变化。在板块的边缘，地球的地质构造受到板块之间相互作用的巨大影响，是地质上发生巨大和根本变化的地方，因而也是地震频繁发生的地方。

地球物理学的论据表明，板块构造并非永恒不变的，而是经常处于变化之中。熔岩不断地从洋脊涌出，在洋脊两边形成新的海底，使块体之间滑动方向发生转换。有许多地震就发生在这些转换断层上。

目前，载有非洲、南极洲和南北美洲的板块在扩大，而太平洋板块正在缩小。根据地球运动变化的观点，沿洋脊发生的地震都是由于板块增长的结果。板块在那里相撞，那里

就会形成巨大的山脉，并且伴随着几乎连续不断的地震活动。

地球在漫长的地质时期可能一直保持着原来的大小，因而新板块的出现，必然导致旧板块在某处被吸收，旧板块消失的地方，一般就是那些与大陆前沿相联系的海沟处。在这些被称之为消减带的地方，由于一个板块插入另一板块之下，引起地震的频繁发生。发生在海沟的地震，所释放的能量约占世界上所有浅源地震能量的 90% 及中、深源地震释放能量的绝大部分，而且大多数最大震级的地震（如 1960 年的智利 8.5 级地震和 1964 年的美国阿拉斯加 8.6 级地震）都发生在消减带。

3. 板内地震

所谓板内地震，就是指发生于板块内部的地震。我国大陆部分的地震多属欧亚板块的板内地震。美国也曾发生过多次板内地震，最著名的是 1811 年密苏里州新马德里地震。板内地震是由比较局部的力系，或许是由表层岩石的温度、深度和强度的变化而引起的。

当板块在海沟处向下弯曲时，产生浅震的破裂就发生在板块内。在板块向下运动的过程中，又产生新的作用，形成新的形变和破裂，因而引起深源地震。因为作用于板块上的力在板块内的方向有变化，因而在同一个板块的不同部分，地震的震源机制以及大小也是不同的。

(三) 断层弹性回跳

岩石断裂两侧的弹性回跳是地震的直接原因。地壳在构造作用作用下而缓慢移动时，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（图 1-1）。岩层中原先积累的能量在回弹过程中全部释放，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。

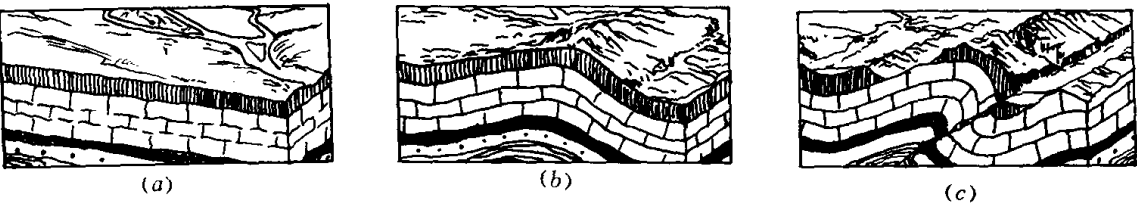


图 1-1 地震的形成

(a) 岩层的原始状态；(b) 受力后发生弯曲；(c) 地应力积累引起岩层破裂产生震动

二、地震术语

(一) 震源

地壳深处地震能源首先辐射出地震波的那个点，称作“震源”。震源由地表面算起的深度，叫作“震源深度”（图 1-2）。震源深度在 70km 以内的地震叫做浅源地震，世界上绝大多数破坏性地震属浅源地震，而且震源深度多在 5~20km 范围内。

(二) 震中

地表面上正对着震源的那个点，或者说震源在地表面上的投影点，称为“震中”。震中周围地区称为震中区。地震灾害最严重的地区，称为极震区。多数情况下，极震区与震中区大体上是一致的。

(三) 震级

震级 M 是表示地震本身大小的一种度量,其数值是根据地震仪记录到的地震波图来确定。根据我国现用仪器,“近”震(震中距小于1000km)的震级 M_L 按下式计算:

$$M_L = \log A_u + R(\Delta) \quad (1-1)$$

式中 M_L ——“近”震体波震级;

A_u ——记录图上量得的以 μm 为单位的水平
向量大地动位移单振幅;

$R(\Delta)$ ——依震中距 Δ 而变化的起算函数。

震级 M 与震源释放能量 E (尔格) 之间有着如下的对应关系:

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

以上关系表明,震级每增加一级,地震波的振幅约增加 10 倍,地震所释放出的能量则增加约 30 倍。

大于 2.5 级的浅震,震中附近的人就有感觉,叫有感地震;5 级以上地震,就会造成明显的破坏,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) 地震烈度与基本烈度

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。基本烈度则是指一个地区今后一定时期(譬如 100 年)内在一般场地条件下可能遭遇的最大地震烈度,即现行全国地震烈度区划图规定的烈度,带有中长期地震预报的性质。

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,随着距离震中的远近而出现多种不同的烈度。一般来说,距离震中近,烈度就高;距离震中愈远,烈度则愈低。震中区的烈度称为“震中烈度”。我国绝大多数地震属浅源地震,地震震级 (M) 与震中烈度 (I_0) 存在表 1-1 的对应关系。

我国浅源地震的震级与震中烈度的对应关系 表 1-1

M	$4\frac{3}{4} \sim 5\frac{1}{4}$	$5\frac{1}{2} \sim 5\frac{3}{4}$	$6 \sim 6\frac{1}{2}$	$6\frac{3}{4} \sim 7$	$7\frac{1}{4} \sim 7\frac{3}{4}$	$8 \sim 8\frac{1}{8}$	$8\frac{1}{2}$
I_0	6	7	8	9	10	11	12

(五) 等烈度线

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每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,称为等烈度线(图 1-3)。等烈度线(或称等震线)的形状与地下构造断裂带和地表断裂密切相关,并与地形、土质等条件有关,多数呈椭圆形。一般情况下,等烈度线的度数随震中距的增大而递减,但有时由于局部地形或地质的影响,也会在某一烈度区内出现小块高一度或低一度的异常区。图 1-3 所示为 1976 年唐山地震的等烈度线图。

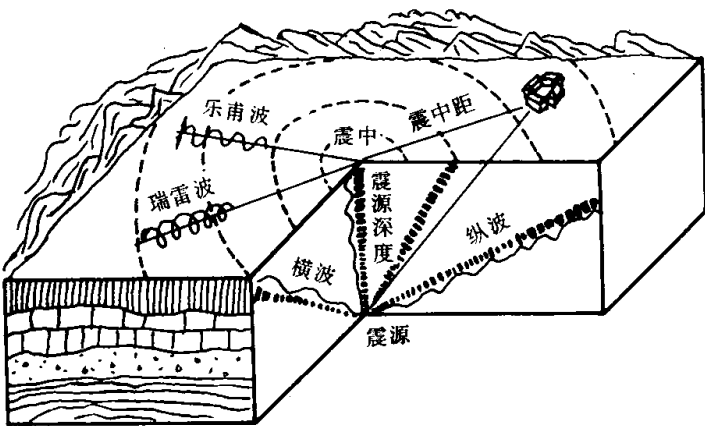


图 1-2 地震的位置和波及范围

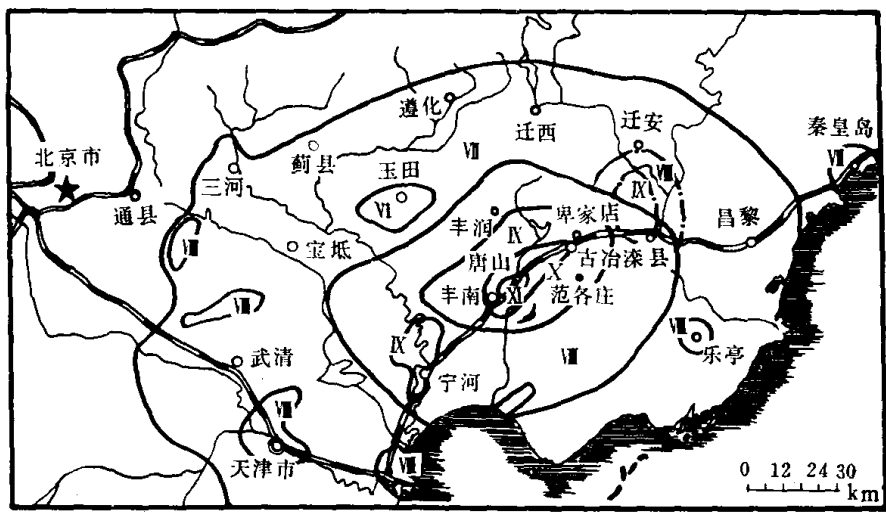


图 1-3 唐山地震等烈度线图

三、地震时的地面运动

(一) 地震波

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相一致，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垂直的水平方向作蛇形运动（图 1-2）。

地震波的传播速度，以纵波最快，横波次之，面波最慢。所以，在地震中心地区，人们的感受是，先上下颠簸，后左右摇晃。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，破坏作用也就逐渐减轻。

(二) 地震记录

要全面认识地震动的效应，需要了解地面运动的位移、速度、加速度以及波本身的特性。不过，地面运动加速度是抗震设计的最重要和最基本的地震参数。此外，建筑物的破坏还与强烈运动的持续时间密切相关。因此，加速度记录图就显得十分重要。地震时地面运动存在着多维分量。图 1-4 是 1971 年美国圣费尔南多 6.5 级地震期间地震仪所记录到的地面运动加速度三分向记录图。

四、地震的破坏作用

(一) 地表变形

1. 地裂缝

地震引起的地裂缝可分为两种类型：地下断层错动延伸至地面的裂缝，称为构造地裂

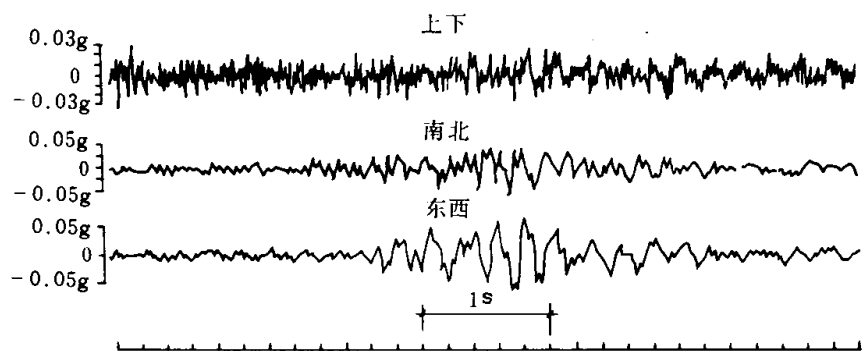


图 1-4 地面加速度三分向记录图

缝；在海边、河湖岸边、古河道上以及厚的饱和松软土层地区产生的地面裂缝，称为重力地裂缝。前者与地下断裂带走向一致，规模较大，有时延续几公里甚至几十公里，裂缝宽度和上下前后错动常达数十厘米甚至数米之多（图 1-5）。后者规模很小，但数量较多，常通过建筑物造成破坏（图 1-6）。

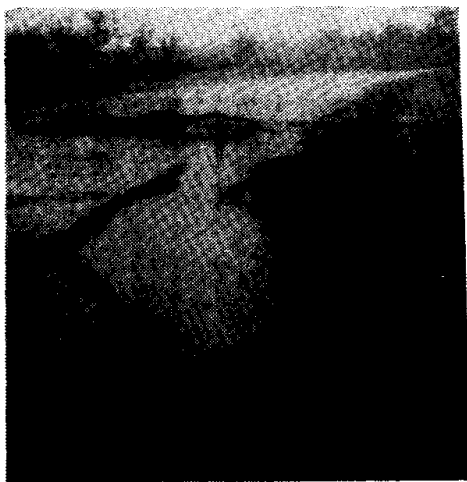


图 1-5 地面裂缝（10 度区）



图 1-6 房屋因地裂缝通过而开裂（8 度区）

2. 喷水冒砂

在地下水位较高地区，地震波的作用使地下水压急剧增高，地下水经地裂缝喷出地面。当地下含有砂层或粉土层时，则夹带着砂土喷出，形成喷水冒砂现象（图 1-7）。

3. 山崖崩塌

陡峭山岭和含有软夹层的山脚坡地，常发生山石滚落、陡崖崩塌或山坡滑移。1969 年云南东川地震，仅一个山头就崩塌了近 80 万 km^3 。

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。1976 年唐山地震，亦有多处发生大面积塌陷。图 1-8 为天津汉沽付庄大队大面积地陷的状况，图 1-9 为地陷引起的公园走廊下沉。

5. 河岸滑坡

海城、唐山地震中，辽河、陡河、海河、月牙河均曾发生多处河岸滑坡，岸边建筑受到株连。图 1-10 为陡河岸边一座水泵房，随同河岸向下滑移的状况。

（二）建筑物的破坏



图 1-7 地面喷水冒砂口（9 度区）

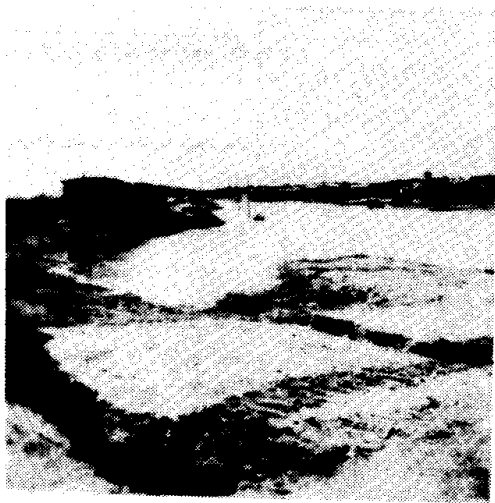


图 1-8 地面大面积塌陷（9 度区）



图 1-9 地陷引起的公园通廊下沉（8 度区）

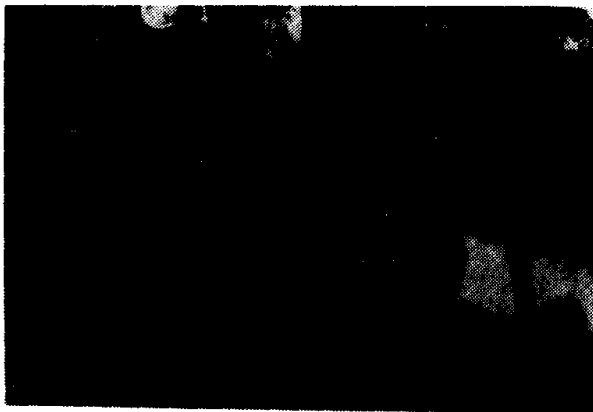


图 1-10 水泵房随同河岸向下滑移（10 度区）

地震时的地面强烈运动，使各类建筑物发生严重破坏，按照其破坏形态及其直接原因，可分为以下三种类型：

1. 丧失整体性
构件间连接不牢，地震时构件连接节点破坏，建筑物丧失整体性，从而发生局部或全部倒塌。
2. 强度型破坏
建筑物在地震作用下，承重构件因抗剪、抗弯、抗压强度不足或变形能力不够而发生破坏，造成整个建筑物倒塌。
3. 地基失效
当建筑物的地基内含有饱和砂层、粉土层，或淤泥质软土层时，由于地面运动甚大加速度的作用，孔隙水压力迅猛增高，砂土或粉土将会发生液化，软土产生急剧沉陷，使上部建筑物发生严重破坏或整体倾倒。

（三）次生灾害

地震时，水坝、给排水管网、煤气管道、供电线路的破坏，以及易燃、易爆、有毒物

质容器的破裂，均可造成水灾、火灾、空气污染等次生灾害。例如 1923 年日本东京大地震，倒房 13 万栋，而火灾却烧毁房屋 45 万栋。此外，地震引起的海啸，也会对海边建筑物造成巨大的破坏。

第二节 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各种烈度的标准，这个标准称为烈度表。烈度表的内容包括宏观现象描述和物理定量指标。它可以用来评定某一次地震的烈度分布范围，又可以作为工程项目的抗震设防基准。

一、几种主要烈度表简介

(一) 烈度的划分

历年来，世界各国陆续编制和修订过的烈度表不下几十种，分度标准各不相同。目前，我国和美国、苏联等多数国家采用的是划分为 12 度的烈度表，欧洲一些国家仍沿用按 10 度划分的烈度表，日本则采用按八个等级划分的烈度表。它们之间的大致对应关系列于表 1-2。

几种主要烈度表的大致对应关系 表 1-2

各 称	烈 度											
中国烈度表	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
欧洲 R—F 烈度表	1	2	3	4	5~6	7	8	9	10	10	10	10
日本烈度表	0	1	2	2~3	3	4	4~5	5	6	6	7	7

(二) 烈度表的种类

烈度表虽有多种多样，但就其内容而言，可以划分为两大类，即宏观烈度表和定量烈度表。个别的烈度表，两种内容兼而有之。

1. 宏观烈度表

在地震仪器还没有发展以前，地震烈度的评定只能以宏观现象为依据。1883 年的罗西——佛瑞尔地震烈度表（宏观）问世以后，世界各国相继制定了自己的地震宏观烈度表，他们都是以人的感觉、器物反应、建筑物的破坏、地表现象等宏观现象进行描述。“新的中国地震烈度表（1957）”可以作为代表。该表的具体内容见“地震工程概论（第二版）”，科学出版社，1985 年。

2. 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，起了积极的作用。然而它仅能反映地震的后果，而未能表示地震的破坏作用和过程。从工程地震观点评定烈度的最主要目的，是确定建筑物抗震设计所需要的地震作用量值。如果不能给出一个与地震烈度相当的物理量来说明地面震动的强弱程度，那么，纵然能够正确划定烈度，仍然难于运用到工程设计的实际计算中。在这方面，国内外地震工作者进行了大量研究工作，试图把烈度