

工程结构抗震设计

主 编 陈兴冲
副主编 韩建平 王 琳

重 庆 大 学 出 版 社

内 容 提 要

本书是为了适应高等院校专业调整及新的建筑抗震设计规范即将颁布实施的新形势而编写的。书中除了包括工业与民用建筑结构的抗震设计内容外,还包括了“结构控制、隔震和消能减震”、“桥梁抗震设计”等内容。

本书根据《建筑抗震设计规范》(2000年送审稿)、《铁路工程抗震设计规范》(GBJ111—87)及2000年修订稿、《公路工程抗震设计规范》(JTJ004—89)编写。

本书可作为大专院校土木工程专业的教材,也可作为从事工程结构抗震设计、施工和科研人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

工程结构抗震设计/陈兴冲主编. —重庆:重庆大学出版社,2001.12

土木工程专业本科系列教材

ISBN 7-5624-2394-6

I. 工... II. 陈... III. 工程结构-抗震-结构设计-高等学校-教材 IV. TU318

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 064147 号

工程结构抗震设计

主 编 陈兴冲

责任编辑 彭 宁

*

重庆大学出版社出版发行

新华书店经销

重庆华林印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:18.25 字数:456千

2001年12月第1版 2001年12月第1次印刷

印数:1—6 000

ISBN 7-5624-2394-6/TU·93 定价:26.00元

前言

本书是为了适应高等院校专业调整及新的建筑抗震设计规范即将颁布实施的新形势而编写的。书中除了包括工业与民用建筑结构的抗震设计内容外,还包括了“结构控制、隔震和消能减震”、“桥梁抗震设计”等内容。以满足调整后的土木工程专业的教学要求,并适当反映结构抗震领域的最新研究成果。

本书根据《建筑抗震设计规范》(2000年送审稿)、《铁路工程抗震设计规范》(GBJ111—87)及2000年修订稿、《公路工程抗震设计规范》(JTJ004—89)编写。为了便于读者掌握工程结构抗震设计的基本概念、基本原理和基本计算方法,本书各章均配有章前“要点”和章后“小结”及部分思考题和习题,并附有综合性的工程结构抗震设计算例,以培养读者的综合运用能力。

本书共分8章。第1章至第6章为专业调整前建筑工程专业结构抗震设计课程的主要内容,按照《建筑抗震设计规范》(2000年送审稿)编写。第7章桥梁抗震设计是为适应调整后的“大土木”专业而编写的,简明扼要地介绍了铁路及公路工程抗震设计规范中的有关桥梁的主要内容。规范条文介绍以铁路抗震规范为主,对于公路抗震规范则主要介绍与铁路规范的不同之处。为了反映这两部规范的原貌,公式符号仍保持原规范中的符号。第8章介绍了结构控制、隔震和消能减震设计的基本原理,以反映结构抗震设计规范中的最新内容。

本书第1章由陈兴冲、田琪编写;第2、3章由田琪编写;第4章由韩建平、王琳编写;第5、6章由王春芬编写;第7章由陈兴冲编写;第8章由韩建平编写。本书的主编为陈兴冲,副主编为韩建平、王琳。甘肃工业大学李慧教授主审。

由于编者水平所限,书中难免有不少缺点和错误,敬请读者批评指正。

编者
2001年5月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 地震初步知识	1
1.2 地震波、地震震级和地震烈度	4
1.3 地震震害	10
1.4 抗震设计的基本要求	14
1.5 建筑抗震设计新规范修改要点	17
第 2 章 场地、地基和基础	19
2.1 场地	19
2.2 地震动特性	22
2.3 地基基础抗震验算	27
2.4 地震主动土压力	29
2.5 液化土和软土地基	34
2.6 桩基	39
第 3 章 地震作用和结构抗震验算	41
3.1 概述	41
3.2 静力法	42
3.3 单自由度体系的地震反应	43
3.4 单自由度体系水平地震作用——反应谱法	48
3.5 多自由度体系的自由振动	54
3.6 多自由度体系的地震反应	59
3.7 多自由度体系水平地震作用——振型分解反应谱法	62
3.8 多自由度体系水平地震作用近似算法——底部剪力法	64
3.9 水平地震作用扭转影响的计算	68
3.10 竖向地震作用计算	70
3.11 地震反应时程分析法的概念	72
3.12 结构基频的近似算法	74
3.13 结构抗震验算	79
第 4 章 多层和高层钢筋混凝土房屋	87

4.1	概述	87
4.2	震害及其分析	88
4.3	抗震设计的一般规定	90
4.4	水平地震作用的计算	93
4.5	框架结构内力和侧移的计算	95
4.6	框架-抗震墙结构内力和侧移的计算	111
4.7	截面抗震设计	121
4.8	抗震构造措施	131
4.9	框架结构抗震设计实例	139
4.10	高层建筑结构抗震设计概述	149
第5章 多层砌体房屋及底部框架、内框架砖房		154
5.1	震害及其分析	154
5.2	抗震设计的一般规定	156
5.3	多层砌体房屋的抗震设计	159
5.4	底部框架、内框架砖房的抗震验算	166
5.5	抗震构造措施	171
5.6	设计实例	177
第6章 单层钢筋混凝土柱厂房		184
6.1	震害及其分析	184
6.2	单层钢筋混凝土柱厂房抗震设计的一般规定	185
6.3	单层钢筋混凝土柱厂房抗震设计	186
6.4	抗震构造措施	212
6.5	设计实例	218
第7章 桥梁抗震设计		234
7.1	震害及其分析	234
7.2	抗震设防要求	237
7.3	地震作用和抗震验算要求	238
7.4	桥台抗震计算	249
7.5	支座抗震计算	251
7.6	抗震措施	253
7.7	桥梁抗震设计实例	257
第8章 结构控制以及隔震和消能减震的设计原理		263
8.1	结构振动控制概述	263
8.2	基础隔震结构	267
8.3	消能减震结构	277
参考文献		282

第 1 章

绪 论

本章要点 本章首先简要叙述了地震成因、常用地震术语、地震波等有关地震的基本知识,然后给出了地震震级、烈度、多遇地震、罕遇地震的定义。最后介绍了抗震设计的基本要求。

1.1 地震初步知识

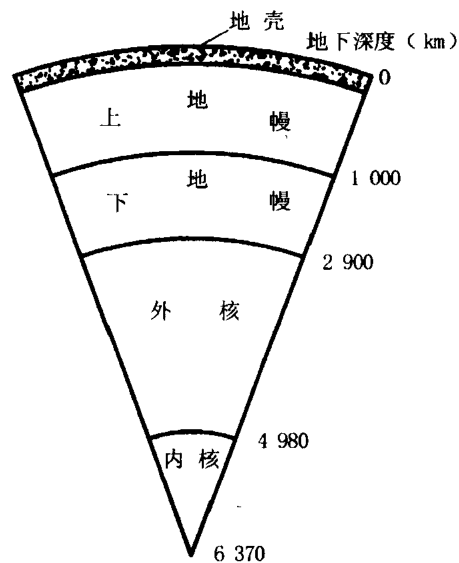


图 1.1 地球内部构造

1.1.1 地球的构造

地球是一个椭球体,其平均半径约为 6370km。地球内部构造常可归纳为地壳、地幔和地核三部分(图 1.1)。

地球表层的地壳是由厚薄不均的岩石构成的。在海洋底下的地壳最薄,一般不到 10km。大陆部分地壳较厚,在高山地区地壳最厚,我国青藏高原厚达 60~80km。地壳平均厚度 30~40km。

地壳以下是地幔。根据地震波速在地幔中的变化,推测地幔顶部物质呈粘弹性,一般称之为软流层。地幔其他部分由质地坚硬的橄榄岩组成。

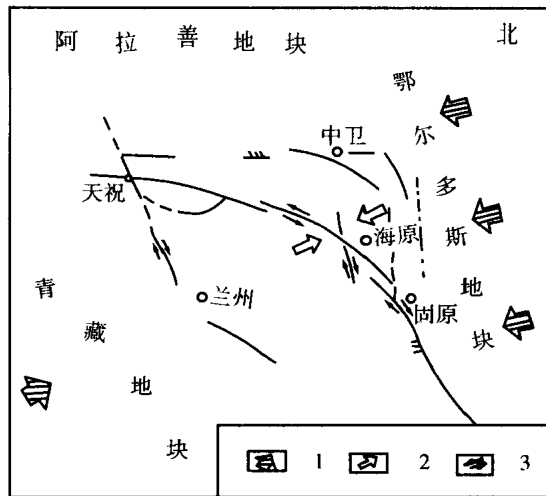


图 1.3 海原地震的应力来源及作用方式
1.动力来源;2.海源地区主压应力方向;3.力偶

1.1.3 几个常用地震术语

地壳深处发生岩层断裂、错动的地方叫震源。构造地震的震源不是一个点,而是有一定范围的体。震源到地面的垂直距离称为震源深度(图 1.4)。人们已经观测到最深的震源约 700 多公里,可见震源发生在地壳中和地幔的上部。一般把震源深度小于 60km 的地震称为浅源地震;60~300km 的地震称为中源地震;大于 300km 的地震称为深源地震。我国发生的绝大部分地震属于浅源地震,一般深度为 5~40km。浅源地震造成的危害最大,例如唐山大地震的断裂岩层深约 11km。

震源正上方的地面称为震中。震中邻近地区称为震中区。地面上某点至震中的距离称为震中距,地面上某点至震源的距离称为震源距。

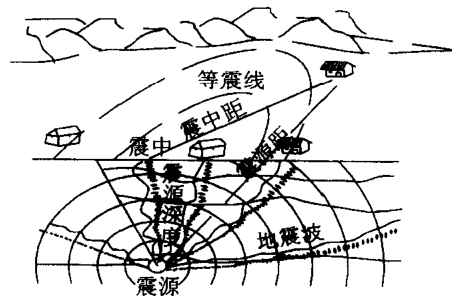


图 1.4 地震术语示意图

1.2 地震波、地震震级和地震烈度

1.2.1 地震波

地震发生时,震源处的岩石破裂,并产生巨大的残余变形,地震的能量便从震源释放出来,其中小部分的能量引起振动,以波的形式传到地球表面各处,这就是地震波。

地震波按其传播的途径不同,分为体波和面波两类。

(1) 体波

在地球内部传播的波称为体波。体波又分为纵波和横波两类。

纵波,或称 P 波(Primary wave),是由震源通过介质的质点以疏密相间的方式向四周传播的压缩波(图 1.5),其质点的振动方向与波的传播方向一致。声音在空气中的传播即是一种纵波。纵波的周期短、振幅小、波速快。其波速可按式计算:

$$v_p = \sqrt{\frac{E(1-\mu)}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}} \quad (1.1)$$

式中 E ——介质弹性模量;
 μ ——介质泊松比;
 ρ ——介质密度。

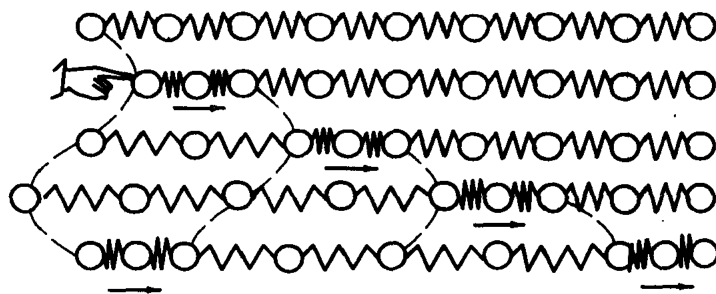


图 1.5 纵波

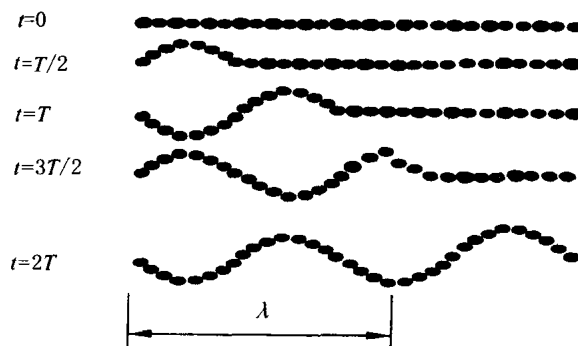


图 1.6 横波

横波,或称 S 波(Secondary wave),它通过介质的质点在垂直于传播方向以蛇形振动的形式

传播(图 1.6)。横波传播时,物体的体积不变,但形状改变,即发生剪切变形,故又称为剪切波。因此,对于没有固定形状的液体,横波无法通过。地震学者据此推测地核的外核可能为液体。横波介质质点的振动方向与波的传播方向垂直。与纵波相比,横波的周期长、振幅大、波速慢。横波的波速可按式计算:

$$v_s = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\mu)}} = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (1.2)$$

式中 G ——介质的剪切模量。其余符号意义同(1.1)式。

纵波引起地面垂直方向振动,横波引起地面水平方向的振动。

由(1.1)、(1.2)式,当取 $\mu = 1/4$ 时,得

$$v_p = \sqrt{3}v_s \quad (1.3)$$

可见,纵波比横波传播速度要快。根据波速不同,分析地震记录图上纵波和横波到达的时差,常用来确定震源距。

(2) 面波

从震源发生的以弹性波形式向各个方向传播的体波到达地球表面后,经过途中层状地壳岩层界面的折射和反射,产生沿地表传播的波称为面波,它是在一定条件下激发的次生波。面波有两种——瑞利波(Rayleigh wave)和乐甫波(Love wave)。

瑞利波传播时,质点在波的传播方向和地面法线所确定的铅垂平面内,以滚动形式作逆进椭圆运动(图 1.7)。而乐甫波传播时,质点在地面上作垂直于波传播方向的振动,以蛇形运动的方式前进(图 1.8)。

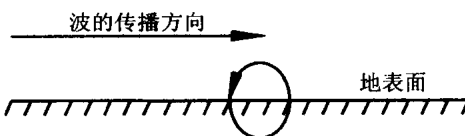


图 1.7 瑞利波

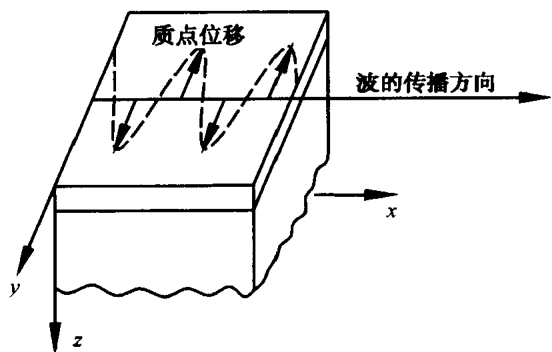


图 1.8 乐甫波

面波振幅大、周期长,只在地表附近传播,振幅随深度的增加迅速减小,速度约为横波的 90%,面波比体波衰减慢,能传播到很远的地方。

地震发生时,在地震仪上可记录到如图 1.9 所示的地震记录。最先达到的是纵波(P),表现出周期短、振幅小的特点。其次到达的是横波(S),表现出周期长、振幅较大的特点。接着是面波中的乐甫波(L)、瑞利波(R)。过去一般认为,面波的振幅最大,横波和面波都达到时振动最为剧烈,使工程结构物发生破坏,但近年来,尤其是从 1995 年 1 月 17 日日本阪神大地震震后的宏观调查及

地震记录中发现,由纵波造成的破坏也是不容忽视的。

1.2.2 震级

震级是用来表示一次地震大小的等级。一般用符号 M 来表示。

地震的规模应该用地震时释放出来的弹性波的能量 E 来表示。但直接测量或计算 E 的困难较大。1935 年美国地震学者里克特(Richter)首先引入震级这一概念。他的人在人的感觉,及结构物与自然界的反应之外,用地震仪器来定量地区分地震的大小。定义地震震级 M 的大

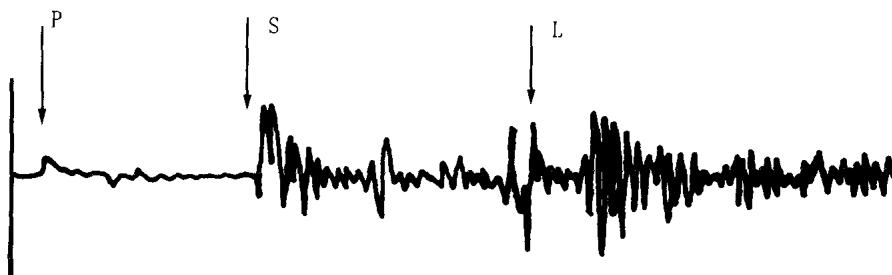


图 1.9 地震记录

小为用标准地震仪在距震中 100km 处记录的以微米($1\mu\text{m} = 1 \times 10^{-3} \text{mm}$)为单位的最大水平地面位移(单振幅) A 的常用对数值,即

$$M = \lg A \quad (1.4)$$

该定义中所说的标准地震仪,指的是当时在美国南加州地区通用的伍德-安德逊(Wood-Anderson)标准扭摆仪,其自振周期为 0.8s,阻尼系数为 0.8,静态放大倍数为 2 800。随着仪器的改进,现在已不用这种地震仪了。例如我国目前常用的地震仪是短周期的 64 型、65 型和长周期的基本型。并且,地震台的震中距也不一定是 100km。因此,实际上要按震动台的震中距和所用的地震仪,用相应的换算公式确定震级 M 。

上述震级 M 又称为里氏震级或近震震级 M_L 。此外,还有面波震级 M_s 、体波震级 M_b 、震矩震级 M_w 等。因本书中不使用,故不再介绍。

震级 M 与震源释放的弹性波能量 E 有如下经验关系:

$$\lg E = 1.5M + 11.8 \quad (1.5)$$

式中 E 的单位为尔格。

地震时释放的能量是很大的。对于一个 8.6 级的大地震,用(1.5)式可算出释放的能量 E 为 5×10^{24} 尔格。据推测相当于在日本广岛爆炸的原子弹能量的数千倍。由(1.4)式、(1.5)式可知,若震级 M 升高一级,则地面振动的振幅将增大约 10 倍,而能量增加近 32 倍。

一般说来, $M < 2$ 的地震,人们感觉不到,只有仪器才能记录下来,称为微震; $M = 2 \sim 4$ 的地震称为有感地震; $M > 5$ 的地震对建筑物就要引起不同程度的破坏,统称为破坏性地震; $M > 7$ 的地震称为强烈地震或大地震; $M > 8$ 的地震称为特大地震。根据统计,地球上平均每年发生可以记录到的地震达 500 万次以上,其中 $M > 2.5$ 级的地震在 15 万次以上, $M > 4$ 的约为 4 万次,而造成严重破坏的则不到 20 次, $M > 8$ 的仅约 2 次。迄今记录到的最大地震,是 1960 年 5 月 22 日发生在智利的 8.9 级地震。

应当说明,实际地震发生时,岩石中所积累的应变能大部分转变成热能和使岩石发生断裂、位移的机械能,仅有一小部分能量转变为波能。我们以上所讨论的,仅限于转变成地震波的能量。

1.2.3 地震烈度、烈度表

表示一次地震的强度,除了使用震级这个概念来反映地震释放能量的大小外,还使用地震烈度的概念。地震烈度是指某一地区地震时震动的强烈程度。它不仅与本次地震的震级有关,而且与震源深度、震中距、地质地形条件等因素有关。

人们多次经受地震灾害后,试图采用一种简便的方法来表示地震、地震动或震害的大小,这就是地震烈度的起因。当时,没有地震仪器,只能采用当时最普遍的宏观现象,即大量存在的事物的地震反应,主要是由人的感觉,工程结构物的破坏程度,器物的反应及地表自然现象的变化(如山崩、滑坡、地裂、冒水、喷砂、地面变形、地下水位升降)4个方面的指标来综合评价地震烈度,并且沿用至今。通俗地讲,地震烈度是用以上4把模糊的尺度给出一个定量的某个地区震害的简便估计。说它们是模糊的,是因为这些尺度都带有很大的任意性,是凭人们主观综合考虑的。例如唐山地震时,在天津市内,1~2层房屋的震害最多为7度,而工业厂房与砖烟囱的震害达到了8度。由于这种情况,现有烈度评定的精度是不高的,在极端情况下相差可达4度之多,一般说来可以有一度之差的精度。因此,国际上的惯例是烈度只有整数度数,而不存在中间等级,如7.5度、8度弱等。

评定地震烈度的标准是地震烈度表,它主要是宏观描述,因此评定时容易掺入鉴定者的主观倾向性,评定结果会有出入。从工程抗震方面来看,地震烈度是抗震设防的标准,希望烈度表中给出抗震设计需要的定量指标,例如地面运动加速度峰值、速度峰值等。考虑到抗震设计的需要,国家地震局1980年修订了1957年颁布的仅以宏观尺度评价地震烈度的中国地震烈度表,颁布了具有参考物理指标的《中国地震烈度表(1980)》,见表1.1。

表 1.1 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		水平加速度 /cm·s ⁻²	水平速度 /cm·s ⁻¹
1	无感					
2	室内个别静止中的人感觉					
3	室内少数静止中的人感觉	门、窗轻微作响		悬挂物微动		
4	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		
5	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)
6	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)	6 (5~9)
7	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。大多数砖烟囱中等破坏	125 (90~177)	13 (10~18)
8	摆慌颠簸,行走困难	中等破坏——结构受损,须要修理	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)

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		水平加速度 /cm·s ⁻²	水平速度 /cm·s ⁻¹
9	坐立不稳。 行动的人可能 摔跤	严重破坏 ——墙体龟裂、 局部倒塌,修复 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。砖烟囱可能倒塌	500 (354 ~ 707)	50 (36 ~ 71)
10	骑自行车的 人可能会摔倒。 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 或倒塌	1 000 (708 ~ 1 414)	100 (72 ~ 141)
11		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		
12				地面剧烈变化、山河改观		

注: ①1~5度以地面上人的感觉为主,6~10度以房屋震害为主,人的感觉仅供参考,11、12度以地面现象为主。11、12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1km²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:10%以下;少数:10%~50%;多数:50%~70%;大多数:70%~90%;普遍,90%以上。

1.2.4 等震线、基本烈度

一次地震发生后,在该地震波及的地区内,根据现场调查和通讯调查,按照烈度表可对该区域内尽可能多的点评出一个烈度。烈度相同区域的外包线,称为等烈度线或等震线。图1.10示1976年唐山大地震的等震线。

一般来说,某地点的烈度随震中距的增大而递减。因此,等震线的度数也随震中距的增加而递减。但由于震源往往不是一个点,尤其是大地震或强烈地震,其震源往往是几十、几百公里的断裂错位,所以,等震线不可能是一些同心圆,又由于地质、地形等影响,等震线多是一些不规则的曲线。

在等震线图中常可见到一些零星分布的烈度异常区。所谓异常,指的是这一片小地区的烈度与其周围大片地区的烈度相比不一样。例如1970年唐山地震时,在唐山西北约50km处的玉田县,就是Ⅶ度区中的Ⅵ度低异常区。

一个地区的基本烈度是指该地区在设计基准期50年内,一般场地条件下,可能遭遇超越概率为10%的地震烈度(图1.11)。国家地震局颁布的《中国地震烈度区划图》给出了全国各

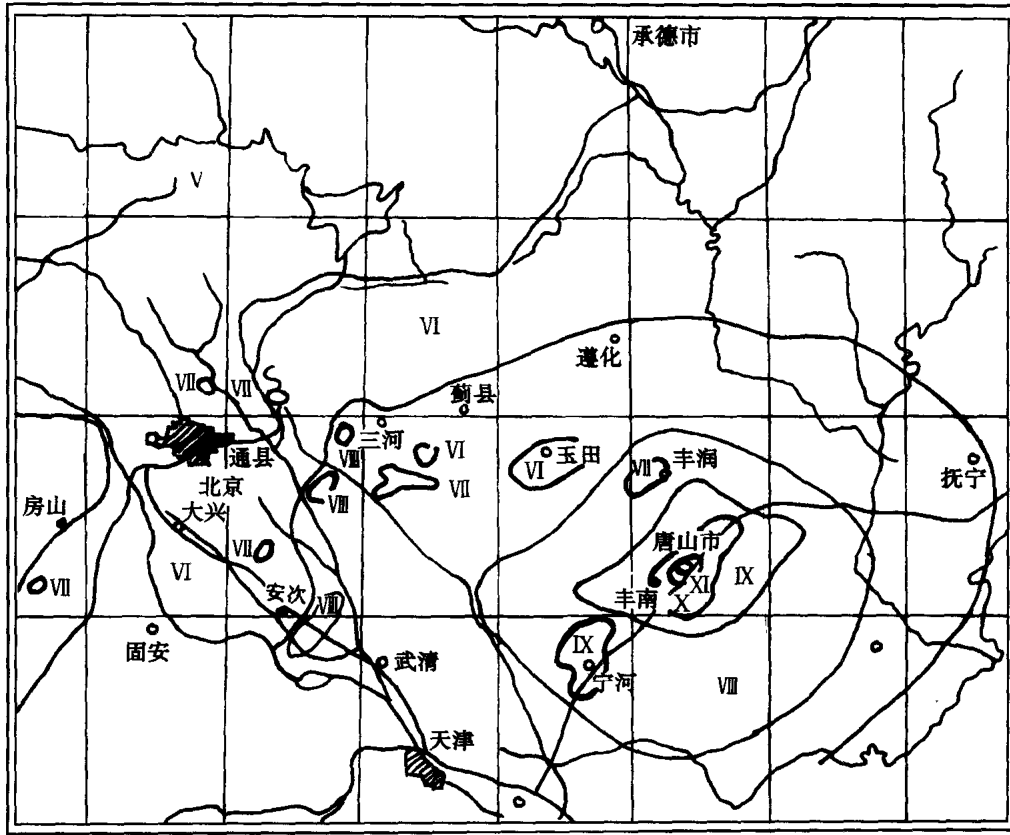


图 1.10 唐山大地震等震线

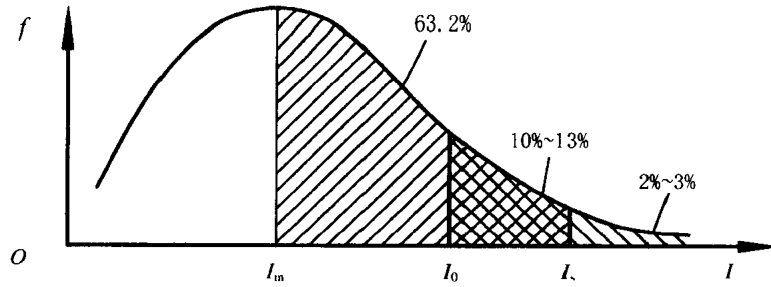
地基本烈度的分布。该图上,各个地区的基本烈度是根据未来 50 年内可能发震的断层、震级的大小、烈度衰减规律等,用概率论的方法确定的。

1.2.5 抗震设防烈度、多遇地震和罕遇地震

抗震设防烈度是按国家规定的权限批准作为一个地区抗震设防依据的地震烈度。一般情况下抗震设防烈度可采用中国地震烈度区划图的地震基本烈度。

根据地震危险性分析,我国地震烈度的概率分布符合极值 III 型分布,图 1.11 示其概率密度函数。称烈度密度函数曲线上峰值所对应的烈度为多遇地震烈度或众值烈度(I_m),多遇地震烈度在设计基准期 50 年内超越概率为 63.2%。在设计基准期 50 年内超越概率为 10% 的地震烈度称为地震基本烈度(I_0),超越概率为 2% ~ 3% 的地震烈度称为罕遇地震烈度(I_r)。多遇地震与罕遇地震又分别称为小震和大震。

根据我国有关单位对华北、西南、西北 45 个城镇的地震烈度概率分析,基本烈度与多遇烈度相差约为 1.55 度,而与罕遇烈度相差约为 1 度。



I_m 为众值烈度,比基本烈度小 1.55 度;

I_0 为基本烈度; I_s 为大震烈度

图 1.11 烈度密度函数曲线

1.3 地震震害

震害可分为直接震害和间接震害两类。直接震害是由地震直接引起的人身伤亡与财产损失,财产损失中包括各种工程结构物,如房屋、建筑构筑物、桥梁、隧道、道路、水利工程以及自然环境如农田、河流、湖泊、地下水等的破坏;间接震害指由于地震发生引起的其他灾害和损失,如火灾、水灾(海啸、大湖波浪)、流行疾病和由于劳动力损失和交通中断等引起的一连串的经济损失等。从工程抗震设计的观点来看,应着重考查地基失效和结构震害两个方面。

(1) 地基失效

地基失效指的是地震时产生的各种地基丧失其承载力的破坏。其中包括在极震区中常常发生的断层位错引起的震害和由地震波引起地震动而产生的震害。

断层位错引起的震害包括断层两侧的水平 and 垂直相对位移、滑坡及由此而产生的堵河成湖和淹没村庄与自然资源、地基相对变形。

地震波引起地震动而产生的震害指的是在地震波作用下,由土壤组成的地基因其强度下降或完全丧失致使地基破坏,而产生的边坡失稳、砂土液化、软粘土地基震陷等震害。

(2) 结构震害

结构震害指的是各种工程结构物由于地基振动而产生的结构、地基共同体系的破坏。它包括由水平和竖向振动引起的各种破坏,扭转破坏、脆性或塑性破坏,结构物丧失整体性的整体破坏和由承重结构强度不足引起的局部、甚至整个结构物的破坏。

(3) 典型地震震害例

1920年12月16日我国甘肃和宁夏交界处发生的海原大地震, $M = 8.5$,震源深度 $h = 29\text{km}$,死亡 234 117 人,烈度大于Ⅸ度的地区面积达二万余平方公里。地震时,这里山崩地裂、河流壅塞、交通断绝、房屋倒塌,景象十分凄惨。地震中,从固原县的哨口起至景泰县的兴泉堡产生了一条长达 220km,由一系列大小不等的裂缝组成的地震断裂带。极震区烈度可达Ⅺ~Ⅻ度,长约 170km,宽 20~30km。这次地震释放的能量特别大,强烈地震持续了十几分钟,世界上有 96 个地震台都记录到了这次地震。位于震中距 17 758km 的拉巴斯(La Paz,南美洲玻利维亚国首都)地震台也记录了 P 波和 S 波清楚到时。因此,兰州市白塔山公园的庙碑上用“环球大震”四个字来形容这次大震,是最恰当不过的了。日本东京台振动仪的垂直分量记录如图 1.12。1920 年海原大地震等震线如图 1.13,极震区内外居民区震害简图如图 1.14,地震变形展布特征示意图如图 1.2。

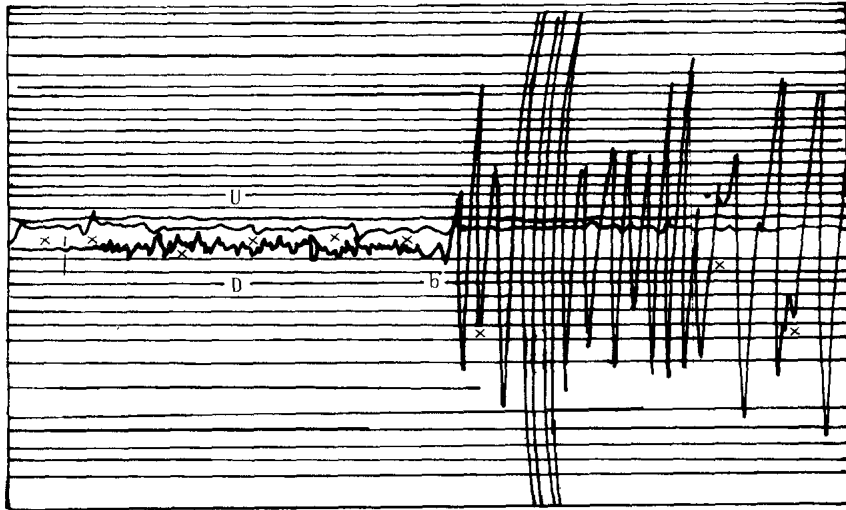


图 1.12 东京台振动仪的垂直分量记录
放大系数 15.2, 摆的自振周期 16s

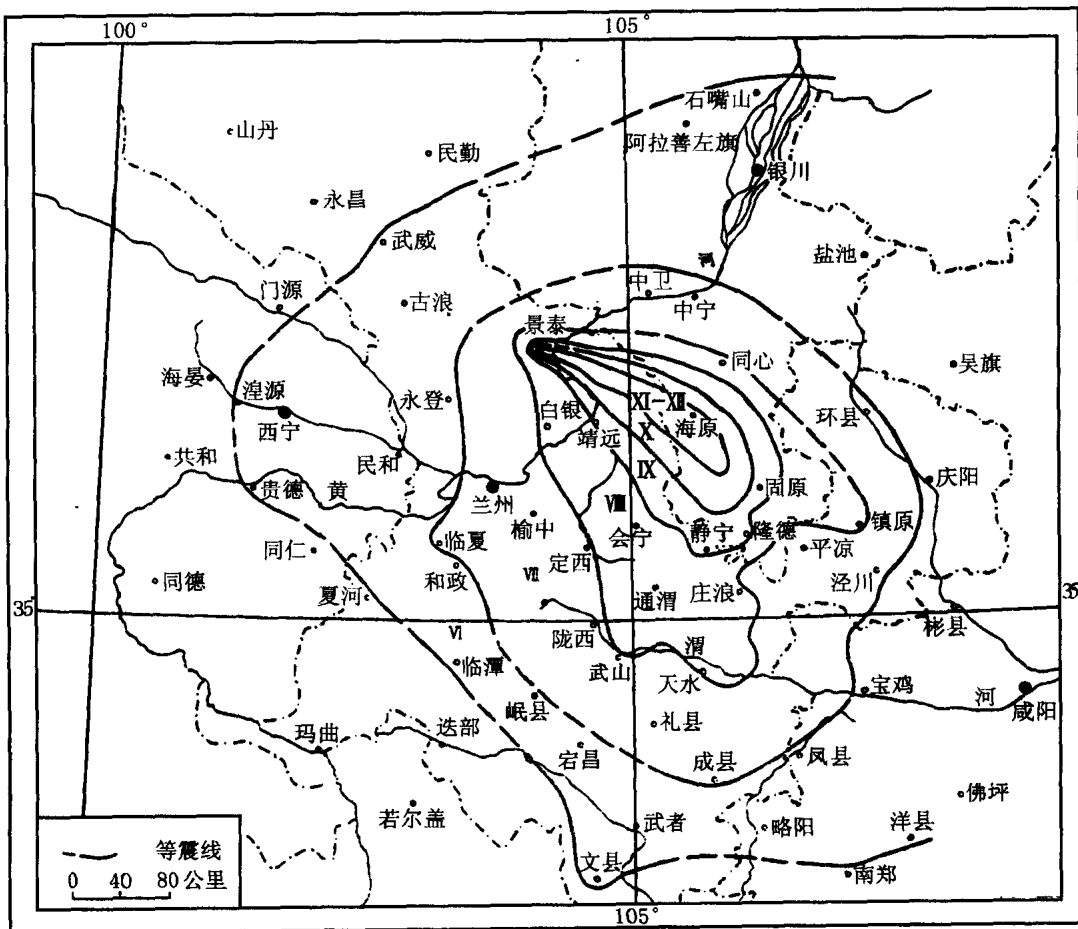


图 1.13 1920 年海原大地震等震线

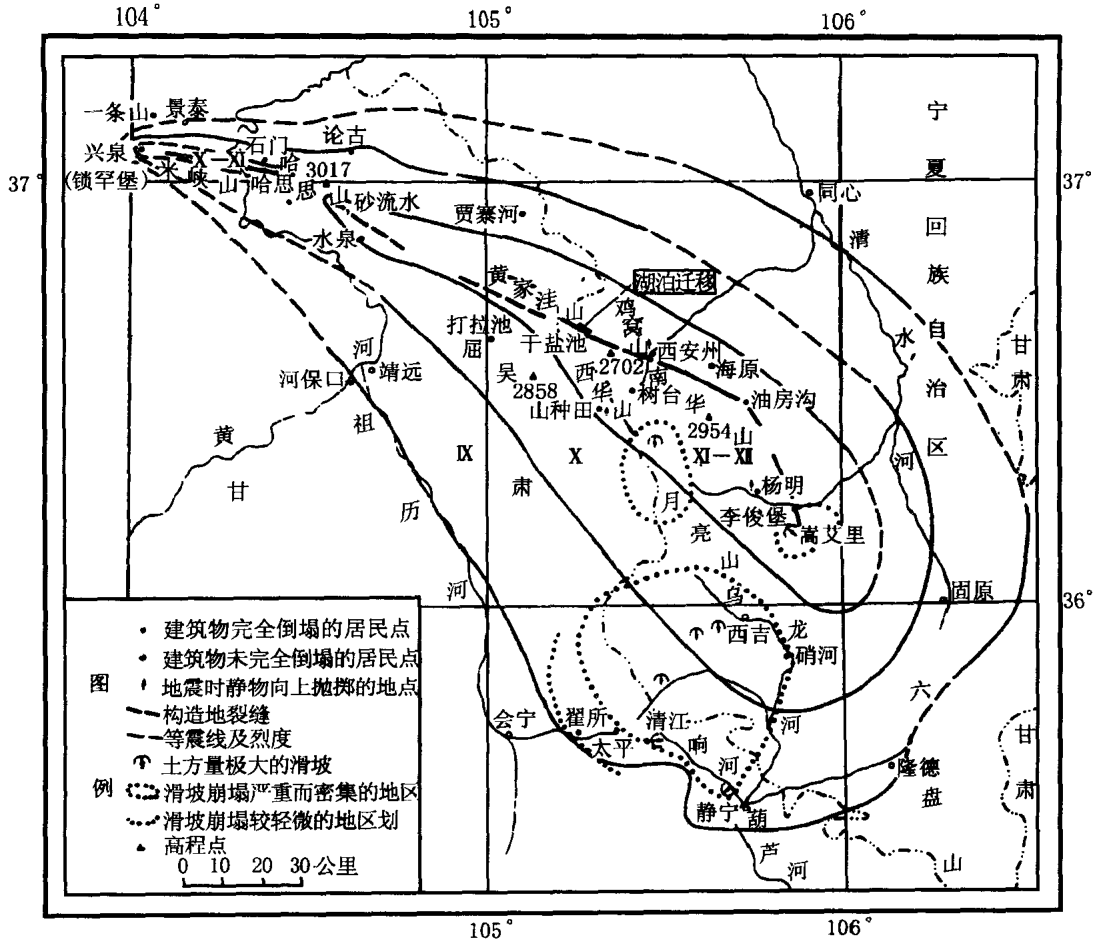


图 1.14 1920 年海原大地震极震区内外居民区震害简图

关于这次大震的宝贵资料可见参考文献,以下仅结合本教材摘录一二。

地震的构造变形带 这次地震生成的变形带(图 1.2)上发生了各种类型的破坏现象,其中最突出的是地裂缝。例如,在固原北杨郎到西梁间的变形带上,共有五条大裂缝,每条长百余米到千余米不等,宽 5~10m,均为地堑式下陷。该带中部有一条长 5km,宽 1km 多的黄土梁整个被摇散。地震时山梁向西滑动近 1km。该带南部有三条长 100 余米至数百米、最宽处 20 余米的下陷型地裂缝。据当地居民传说,震时一只驮盐的骆驼连同盐驮子一起被夹在了裂缝中。从固原的硝口到老虎腰颍北,长约 60km 的变形带上,草皮冻土被挤压拱起,犹如一条长龙。有的地方草皮冻土成 2m 多高人字形空架,足见当时的破坏程度。在这条变形带上,有成串分布的大量崩山和滑坡。李俊堡附近的海子水库,就是由当年受该带控制的蒿艾里大滑坡将河流堵截而成的。这次地震的主要变形带从海原县的胡家套子起,向西北越过黄河,直到景泰县兴泉堡,全长 185km。该带主要显示为地堑式下陷、地震陡坎,以及大量的裂缝和鼓包。例如在海原县小山村的南山坡上,长约 600 余米的变形带上有一系列张裂缝和地震鼓包。单个鼓包长 7~8m,宽 2~3m,高 30~50cm,在唐家坡子村西,地震变形带横穿十余条近南北向的石块田埂,将其按反时针方向错开 2~2.5m。

极震区灾害 海原大地震极震区的中心地带主要包括海原县的大部分和靖原县的一部