

# 第一章 震害概况

本章首先简要叙述了地震成因、常用地震术语等有关地震的基本知识，然后介绍了地震震害的主要表现和近年来我国的震害情况。

## 1.1 构造地震

地震是一种突发的自然灾害。在建筑结构抗震设计中所指的地震，是由于地壳构造的运动使岩层发生断裂、错动而引起的地面振动，这种地震就称为构造地震，简称地震。

地震开始发生的地方叫震源，是指地壳深处发生岩层断裂、错动的部位。震源正上方的地面位置或震源在地表的投影叫震中。震中附近地面运动最剧烈也是破坏最严重的地区，叫震中区或极震区。地面上某处到震源的距离叫震源距。震源到地面的垂直距离称为震源深度（见图 1.1）。

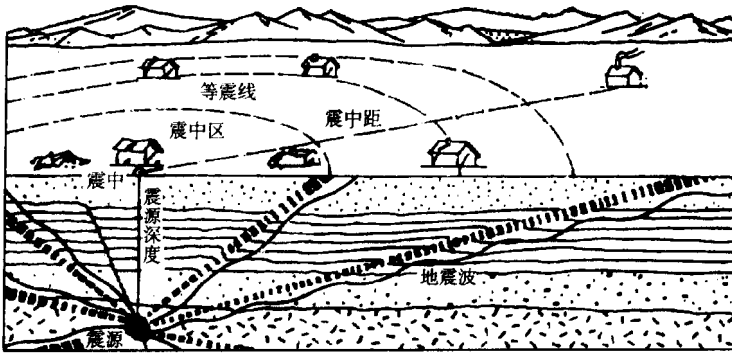


图 1.1 地震术语示意图

一般情况下把震源深度小于 60km 的地震称为浅源地震，震源深度在 60~300km 范围的称为中源地震，大于 300km 的称为深源地震。到目前为止所观测到的最深地震的震源深度约为 700km。绝大部分地震是浅地震，震源深度集中在 5~20km 左右。一般来说，对于同样大小的地震，当震源深度较深时，则波及的范围也较大，而破坏程度相对较小；当震源深度较浅时，则波及的范围较小，而破坏的程度较大。例如 1960 年 2 月 29 日摩洛哥艾加迪尔城 5.8 级地震，震源深度为 3km，震中区破坏极为严重，震中烈度为 9 度，破坏仅局限在震中附近 8km 范围内；1974 年 4 月 22 日我国江苏溧阳发生了与上述震级相近的地震，而震源深度为 18km，震中

烈度仅 7 度强 在离震中 20km 范围内有所破坏。比较这两次地震可见，后者震中破坏比前者要轻得多，前者是一个震源浅、破坏重、影响范围小的典型震例。

## 1.2 地震震害

地震的震害主要表现在以下几个方面：



图 1.2 唐山地震中的地裂缝

### 1. 地表的破坏现象

#### (1) 地裂缝

在强烈地震作用下，常常在地面产生裂缝。根据产生的机理不同，地裂缝可分为重力地裂缝和构造地裂缝两种。重力地裂缝是由于在强烈地震作用下，地面作剧烈震动而引起的惯性力超过了土的抗剪强度所致。构造地裂缝与地质构造有关，是地壳深部断层错动延伸至地面的裂缝（见图 1.2）。

#### (2) 喷砂冒水

在地下水位较高、砂层埋深较浅的平原及沿海地区，地震的强烈震动使地下水压力急剧增高，使饱和的砂土或粉土液化，从地裂缝或土质松软的地方冒出地面，形成喷砂冒水现象（见图 1.3），这种现象一般要持续很长时间，严重的地方可造成房屋下沉、倾斜、开裂甚至倒塌。

#### (3) 地面下沉

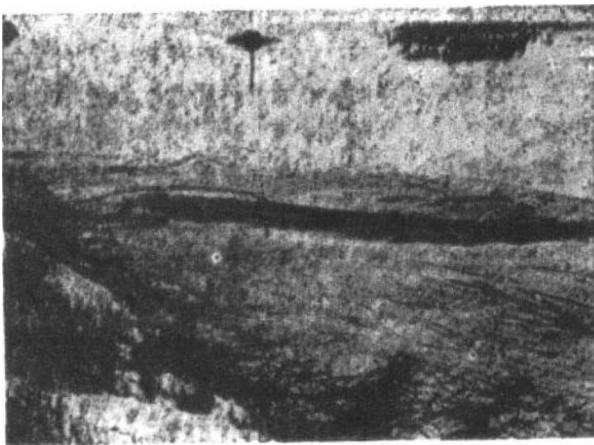


图 1.3 唐山地震中的地面喷砂冒水

在强烈地震作用下，在大面积回填土、孔隙比较大的黏性土等松软而压缩性高的土层中往往发生震陷，使建筑物破坏，此外在岩溶洞的采空的地区也常发生震陷（见图 1.4）。

#### (4) 滑坡、塌方

在强烈地震作用下，常引起河岸、陡坡滑坡，有时规模很大，造成公路堵塞，岸边建筑物破坏。

### 2. 建筑物的破坏

建筑物的破坏是造成生命财产重大损失的主要原因，按其破坏的形态及直接原因可分以下几类：

#### (1) 结构丧失整体性

建筑物一般都是由许多构件组成的，在地震作用下，构件连接不牢，支撑长度不够和支撑失效等都会引起结构丧失整体性而破坏（见图 1.5）。



图 1.5 结构丧失整体性



图 1.4 因地陷使房屋破坏

#### (2) 承重结构承载力不足而引起的破坏

在地震作用下，结构的内力和变形增大较多，而且受力方式也常常发生改变，导致结构或构件承载力不足或变形较大而破坏（见图 1.6）。

#### (3) 地基失效

在强烈地震作用下，地裂缝、滑坡、地面下沉和场地土液化等，导致地基丧失稳定性或降低承载力

造成建筑物整体倾斜、拉裂以致倒塌破坏。

### 3. 次生灾害

地震除直接造成建筑物的破坏外，还常引起火灾、水灾、有毒物质污染等次生灾害。在城市，尤其是大城市，由次生灾害造成的损失有时比地震直接产生的灾害造成的损失还要大。例如，1923 年日本东京大地震，诱发了火灾，震倒房屋 13 万幢，而烧毁的房屋达 45 万幢，死亡人数 10 万余人，其中被倒塌房屋压死者不过数千。

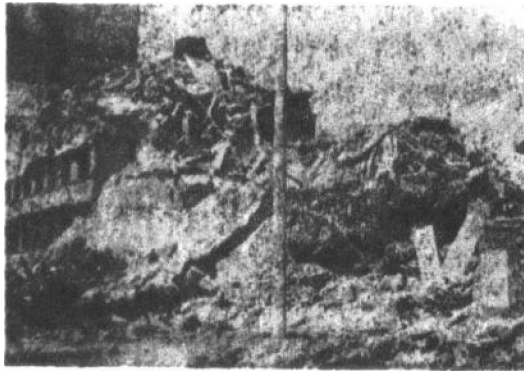


图 1.6 某旅馆因构件强度不足而破坏

### 1.3 近年来我国的震害情况

我国是世界上多震国家之一 在过去的 80 多年里 共发生破坏性地震 2600 多次 其中 6 级以上地震 500 多次 平均每年 5.4 次 8 级以上的地震 9 次 造成了巨大的经济损失和人员伤亡,见表 1.1。近年来我国地震活动起伏增强趋势十分明显。为了最大限度地减轻地震灾害,搞好新建工程的抗震设计是一项重要的根本性的减灾措施。

表 1.1 1950~1988 年中国 7 级以上地震的灾害

| 序号 | 震区 | 时间      | 震级  | 震中烈度 | 受灾面积<br>/km <sup>2</sup> | 死亡人数   | 伤残人数   | 直接经济损失<br>/亿元 |
|----|----|---------|-----|------|--------------------------|--------|--------|---------------|
| 1  | 康定 | 1955.4  | 7.5 | 9    | 5000                     | 84     | 224    | —             |
| 2  | 乌恰 | 1955.4  | 7.0 | 9    | 16000                    | 18     | —      | —             |
| 3  | 邢台 | 1966.3  | 7.2 | 10   | 23000                    | 7938   | 8613   | 10.0          |
| 4  | 渤海 | 1969.7  | 7.4 | —    | —                        | 9      | 300    | —             |
| 5  | 通海 | 1970.1  | 7.7 | 10   | 1777                     | 15621  | 26783  | 3.0           |
| 6  | 炉霍 | 1973.2  | 7.9 | 10   | 6000                     | 2199   | 2743   | —             |
| 7  | 永善 | 1974.5  | 7.1 | 9    | 2300                     | 1641   | 1600   | 0.9           |
| 8  | 海城 | 1975.2  | 7.3 | 9    | 920                      | 1328   | 4292   | 4.0           |
| 9  | 龙陵 | 1976.5  | 7.6 | 9    | —                        | 73     | 297    | 1.4           |
| 10 | 唐山 | 1976.7  | 7.8 | 11   | 32000                    | 242769 | 164851 | 100.0         |
| 11 | 松潘 | 1976.0  | 7.2 | 8    | 5000                     | 38     | 34     | —             |
| 12 | 乌恰 | 1985.8  | 7.4 | 9    | 526                      | 70     | 200    | 1.0           |
| 13 | 澜沧 | 1988.11 | 7.6 | 9    | 91732                    | 748    | 7751   | 20.5          |

## 思 考 题

- 1.1 什么是构造地震？
- 1.2 什么是震源、震中和震源深度？
- 1.3 什么是浅源地震、中源地震和深源地震？
- 1.4 地震的震害主要表现在哪些方面？

## 第二章 抗震概念设计

历次大地震情况表明，地震还是一个难以预测的自然灾害，地震对建筑物的破坏作用也还没有被人们充分认识。20世纪70年代以来通过对大地震后建筑震害的分析，地震工程研究人员和设计人员逐渐体验到建筑总体方案和细部构造对抗震设计具有第一位的重要意义，并提出了“概念设计”这一名词。

### 2.1 地震烈度

#### 2.1.1 震级

地震的震级是衡量一次地震大小的等级，用符号  $M$  表示。

由于人们所能观测到的只是传播到地表的振动，也正是对我们有直接影响的那一部分地震能量所引起的地面振动，所以人们也就自然地用地面振动振幅大小来度量地震的震级。1935年里希特首先提出了震级的定义：震级大小系利用标准地震仪（指周期为0.8s、阻尼系数为0.8、放大倍数2800的地震仪）在距震中100km处记录的以微米（ $1\mu\text{m}=10^{-3}\text{mm}$ ）为单位的最大水平地面位移（振幅） $A$ 的常用对数值，即

$$M = \lg A \quad (2.1)$$

式中： $M$ ——地震震级，一般称为里氏震级；

$A$ ——由地震曲线上量得的最大振幅（ $\mu\text{m}$ ）。

例如在距震中100km处，用标准地震仪记录到的地震曲线的最大振幅  $A=10\text{mm}$ （即  $10^4\mu\text{m}$ ），于是该次地震震级

$$M = \lg A = \lg 10^4 = 4$$

实际上，地震时距震中100km处不一定恰好有地震台站，而且地震台站也不一定有上述的标准地震仪。因此，对于震中距不是100km的地震台站和采用非标准地震仪时，需按修正后的震级计算公式确定震级。

震级与地震释放的能量有如下关系：

$$\lg E = 1.5M + 11.8 \quad (2.2)$$

式中： $E$ ——地震释放的能量。

一般地，当地震震级相差一级时，地面振动振幅增加约10倍，而能量则增加近32倍。

一般说来,  $M < 2$  的地震人们感觉不到称为微震;  $M = 2 \sim 4$  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, 统称为破坏性地震动;  $M > 7$  的地震称为强烈的地震或大地震动;  $M > 8$  的地震称为特大地震。

## 2.1.2 地震烈度和烈度表

地震烈度是指某一地区的地面及建筑遭受到一次地震影响的强弱程度, 用符号  $I$  表示。

地震烈度是根据人的感觉、家具和物品的振动情况、房屋和构筑物遭受破坏等各方面情况综合起来, 从宏观角度对地震影响作出的定量描述。目前, 我国使用的是 1980 年由国家地震局颁布实施的《中国地震烈度表》(见表 2.1)。

表 2.1 中国地震烈度表 (1980 年)

| 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<br>震害程度                | 平均震害<br>指数 |  | 水平加速度<br>/(cm/s) | 水平速度<br>/(cm/s) |
| 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  | 室内人普遍感觉, 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<br>(22~44)    | 3<br>(2~4)      |
| 6  | 惊慌失措, 仓惶逃出                | 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, 饱和砂层出现喷水冒砂, 地面上有的烟囱轻度裂缝、掉头    | 63<br>(45~89)    | 6<br>(5~9)      |
| 7  | 大多数人仓惶逃出                  | 轻度破坏——局部破坏、开裂, 但不妨碍使用        | 0.11~0.30  | 河岸出现塌方, 饱和砂层常见喷水冒砂, 松软土地面上裂缝较多, 大多数砖烟囱中等破坏 | 125<br>(90~177)  | 13<br>(10~18)   |
| 8  | 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<br>(178~353) | 25<br>(19~35)   |
| 9  | 坐立不稳, 行动的人可能摔倒            | 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可出现裂缝, 基岩上可能出现裂缝、滑坡、塌方。常见砖烟囱出现倒塌  | 500<br>(354~707) | 50<br>(36~71)   |

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)     | 水平速度 / (cm/s)   |
| 10 | 骑自行车的人会摔倒,处于不稳状态的人会摔出几米远,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 | 1000<br>(708~1414) | 100<br>(72~141) |
| 11 |                               | 毁灭            | 0.91~1.00 | 地震断裂延续很长,山崩常见,基岩上拱桥破坏             |                    |                 |
| 12 |                               |               |           | 地面剧烈变化,山河改观                       |                    |                 |

注:1) 1~5 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 度以地表现象为主。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(详情参考有关资料)
- 4) 使用本表时可根据地区具体情况,做出临时的补充规定。
- 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<sup>2</sup> 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。

地震烈度  $I$  和地震震级  $M$  是两个既相互联系、又有区别的概念,两者的关系可以用炸弹来比喻:地震震级好比是炸弹的装药量,地震烈度则是炸弹爆炸后各处的破坏程度。对于一次地震,只能有一个地震震级,而有多多个地震烈度。一般情况是离震中愈远,地震烈度愈小,震中区的地震烈度最大,并称之为“震中烈度”,用符号  $I_0$  表示。对于震源深度为 15~20km 的浅源地震,地震震级  $M$  和震中烈度  $I_0$  的对应关系大致如表 2.2 所示。

表 2.2 地震震级  $M$  和地震震中烈度  $I_0$  的关系数

| 地震震级 $M$   | 2   | 3 | 4   | 5   | 6   | 7    | 8  | >8 |
|------------|-----|---|-----|-----|-----|------|----|----|
| 震中烈度 $I_0$ | 1~2 | 3 | 4~5 | 6~7 | 7~8 | 9~10 | 11 | 12 |

根据全国范围内既有宏观资料又有仪器测定的 35 次地震调查,《中国地震目录》(1983 年版)给出了根据宏观资料估定震级的经验公式为

$$M = 0.59I_0 + 1.5 \quad (2.3)$$

地震震级  $M$  愈大 震中烈度  $I_0$  愈高。例如 1975 年 2 月 4 日营口-海城地震 地震震级  $M=7.3$  级 震中烈度  $I_0=9$  度 ;1976 年 7 月 28 日唐山-丰南大地震 地震震级  $M=7.8$  级 震中烈度  $I_0=10\sim 11$  度。

对应于一次地震 在其波及的地区内 根据地震烈度表可以对该地区内每一地点评出一个地震烈度。我们将地震烈度相同的区域外包线，称为等烈度线或等震线。

图 2.1 为唐山大地震时的地震等烈度线。从图中我们可以看到，等震线是一些不规则的封闭曲线。等震线间距一般取地震烈度差为 1 度。从等震线的分布可以直观地看到地震烈度衰减规律，一般情况是，等震线的度数随震中距的增加而递减 即地震烈度随着震中距的增大而逐渐减小。有时 由于局部地形、地质的影响，也会在某一烈度区域内出现一小块高于该烈度 1 度或低于该烈度 1 度的异常区。

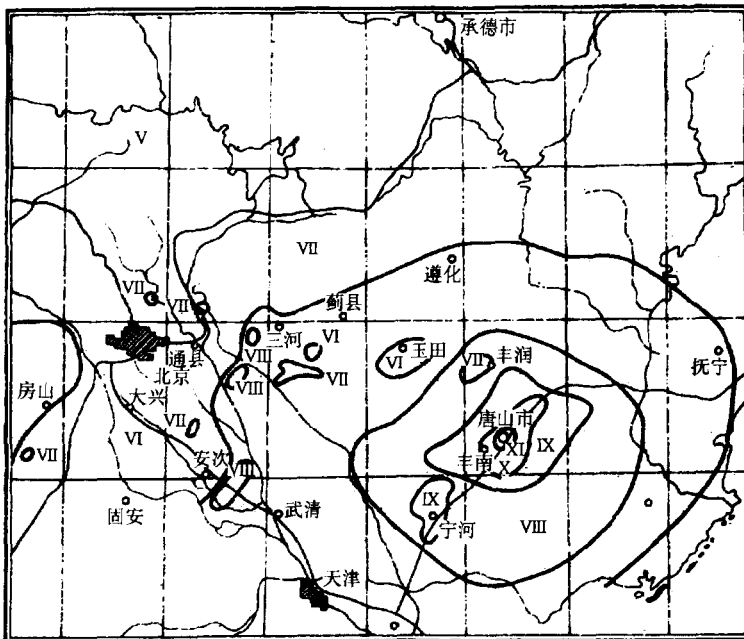


图 2.1 唐山地震等烈度线

我国有关单位根据 153 个等震线的资料，经过数理统计分析，给出了地震烈度  $I$ 、地震震级  $M$  和震中距  $R$  之间的关系式：

$$I = 0.92 + 1.63M - 3.49 \lg R \quad (2.4)$$

### 2.1.3 基本烈度和烈度区划图

#### 1. 基本烈度

强烈地震是一种破坏作用很大的自然灾害，它的发生具有很大的随机性。因

此，采用概率方法预测某地区在未来一定时间内可能发生的最大烈度是具有实际意义的。为此，国家有关部门提出了基本烈度的概念。

一个地区的基本烈度是指该地区在今后 50 年期限内，在一般场地条件下可能遭遇超越概率为 10% 的地震烈度。

## 2. 地震烈度区划图

国家地震局和建设部于 1992 年联合发布了新的《中国地震烈度区划图（1990）》。该图给出了全国各地地震基本烈度的分布，可供国家经济建设和国土利用规划、一般工业与民用建筑的抗震设防及制订减轻和防御地震灾害对策之用。

编制地震烈度区划图分两步进行：第一步先确定地震危险区，即未来 50 年期限内可能发震的地段，并估计每个发震地段可能发生的最大震级，从而确定出震中烈度；第二步是预测这些地震的影响范围，即根据烈度衰减规律确定其周围地区的烈度。因此，地震烈度区划图上标明的某一地点的基本烈度，总是相应于一定震源的，当然也包括几个不同震源所造成的同等烈度的影响。

## 2.2 建筑抗震设防类别与抗震设防标准

### 2.2.1 建筑抗震设防类别

在进行建筑设计时，应根据建筑物的重要性不同，采取不同的抗震设防标准。《建筑抗震设计规范》(GB50011-2001)<sup>1)</sup> 根据建筑使用功能的重要性，将建筑抗震设防类别分为以下四类：

甲类建筑——属于重大建筑工程和地震时可能发生严重次生灾害的建筑。

乙类建筑——属于地震时使用功能不能中断或需尽快恢复的建筑。

丙类建筑——属于甲、乙、丁类建筑以外的一般建筑。

丁类建筑——属于抗震次要建筑。

### 2.2.2 抗震设防标准

抗震设防是指对建筑物进行抗震设计，包括地震作用、抗震承载力计算和采取抗震措施，以达到抗震的效果。

抗震设防标准是指各类工程按照规定的可靠性要求和技术经济水平统一确定的抗震技术要求。建筑抗震设防标准是衡量建筑抗震设防要求的尺度。由抗震设防烈度和建筑使用功能的重要性确定。

抗震设防烈度是指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，或

1) 以下简称《抗震规范》。

采用与《抗震规范》设计基本地震加速度对应的地震烈度。对已编制抗震设防区划的城市，也可采用批准的抗震设防烈度。

各抗震设防类别建筑的设防标准，应符合下列要求：

1) 甲类建筑，地震作用应高于本地区抗震设防烈度的要求，其值应按批准的地震安全性评价结果确定；抗震措施，当抗震设防烈度为 6~8 度时应符合本地区抗震设防烈度提高一度的要求，当为 9 度时应符合比 9 度抗震设防更高的要求。

2) 乙类建筑，地震作用应符合本地区抗震设防烈度的要求；抗震措施，一般情况下，当抗震设防烈度为 6~8 度时，应符合本地区抗震设防烈度提高一度的要求，当为 9 度时应符合比 9 度抗震设防更高的要求。对较小的乙类建筑，当其结构改用抗震性能较好的结构类型时，应允许仍按本地区抗震设防烈度的要求采取抗震措施。

3) 丙类建筑，地震作用和抗震措施均应符合本地区抗震设防烈度的要求。

4) 丁类建筑，一般情况下，地震作用仍应符合本地区抗震设防烈度的要求；抗震措施应允许比本地区抗震设防烈度的要求适当降低，但抗震设防烈度为 6 度时不应降低。

抗震设防烈度为 6 度时除《抗震规范》有具体规定外对乙、丙、丁类建筑可不进行地震作用计算。

### 2.2.3 抗震设防目标

#### 1. 抗震设防目标

近十几年来，不少国家抗震设计规范的抗震设防目标都采取了新的思想。总的趋势是：在建筑使用寿命期间，对不同频度和强度的地震，要求建筑具有不同的抵抗能力，即对一般较小的地震，由于其发生的可能性大，因此要求遭遇到这种多遇地震时，结构不受损坏，这在技术上和经济上都是可以做到的；对于罕遇的强烈地震，由于其发生的可能性小，当遭遇到这种强烈地震时，要求做到结构完全不损坏，这在经济上是不合算的。比较合理的做法是应允许损坏但在任何情况下不应导致建筑倒塌。

基于国际上的这一趋势结合我国目前的具体情况，《抗震规范》提出了“三水准”的抗震设防目标：

第一水准 当遭受到多遇的低于本地区设防烈度的地震 简称“小震”影响时，建筑一般应不受损坏或不需修理仍能继续使用。

第二水准：当遭受本地区设防烈度的地震影响时，建筑可能有一定的损坏，经一般修理或不需修理仍能继续使用。

第三水准 当遭受到高于本地区设防烈度的罕遇地震 简称“大震”影响时 建筑不致倒塌或发生危及生命的严重损坏。

在进行建筑抗震设计时，原则上应满足三水准抗震设防目标的要求，在具体做

法上 为了简化计算起见,《抗震规范》采取了“二阶段”设计法 即

第一阶段设计:按小震作用效应和其他荷载效应的基本组合验算结构构件的承载能力,以及在小震作用下验算结构的弹性变形,以满足第一水准抗震设防目标的要求。

第二阶段设计:在大震作用下验算结构的弹塑性变形,以满足第三水准抗震设防目标的要求。

至于第二水准抗震设防目标的要求,《抗震规范》是以抗震构造措施来加以保证的。

概括起来,“三水准、二阶段”的抗震设防目标的通俗说法是“小震不坏 设防烈度可修 大震不倒”。这种设计思想是基于地震的不确定性、现有的技术条件和经济条件,在可能的前提下,最大限度地限制和减轻地震灾害,保障人民生命财产安全。

## 2. 小震和大震

在按“三水准、二阶段”进行建筑抗震设计时 首先遇到的问题是定义大震和小震,以及在各基本烈度区小震和大震的烈度如何取值。

从概率统计意义上说,小震应是发生机会较多的地震,因此,可将小震定义为烈度概率密度曲线上的峰值所对应的烈度,即众值烈度或称多遇烈度时的地震,如图 2.2 所示。根据大量数据分析,确认我国地震烈度的概率分布符合极值 III 型 当基准设计期为 50 年时 则 50 年内众值烈度的超越概率为 63.2% 这就是第一水准的烈度。各地的基本烈度,即第二水准的烈度,也就是全国地震烈度区划图所规定的烈度 它在 50 年内的超越概率大体为 10%。大震是罕遇的地震,它所对应的烈度在 50 年内的超越概率约为 2%~3% 这个烈度又可称为罕遇烈度 作为第三水准的烈度。由烈度概率分布分析可知,基本烈度与众值烈度相差约为 1.55 度 而基本烈度与罕遇烈度相差大致为 1 度。例如 当基本烈度为 8 度时 其众值烈度 多遇烈度 为 6.45 度 罕遇烈度为 9 度。

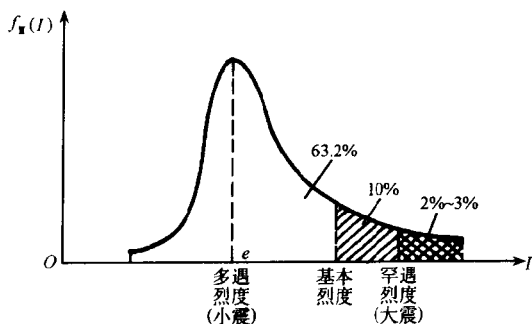


图 2.2 烈度概率密度函数

## 2.3 抗震设计的基本要求

### 2.3.1 抗震概念设计的重要性

抗震设计主要包括三个方面：概念设计、计算设计和构造设计。

我国现行的《抗震规范》较过去更强调‘概念设计’这个概念。所谓概念设计即指站在较高的角度，根据地震灾害和工程经验等所形成的基本设计原则和设计思想，正确合理地进行选址、结构总体布置、刚度及强度分析、良好的变形能力设计等大的原则问题，并要考虑到与抗震体系直接相关的关键细部构造及薄弱环节。

20世纪70年代以来，人们在总结大地震灾害经验中发现，对结构抗震设计来说，“概念设计”比“计算设计”更为重要。这主要是由于地震及地震效应的不确定性和复杂性，以及计算模型与实际情况的差异，因此不能仅仅依赖计算设计。结构抗震性能的决定因素首先取决于良好的概念设计。

抗震概念设计在选择建筑结构方案和采取抗震措施时，要考虑地震及其影响的不确定性和若干规律性。

#### 1. 地震及其影响的不确定性

实际地震的大小是现有科学水平难以准确预估的。虽然在确定烈度区划图时是尽量体现科学性、准确性，但由于可供统计分析的历史地震资料有限，在一个地区发生超过设防烈度的地震是完全可能的。有的原为6度设防地区，却发生了大大超过6度的地震，如1966年河北宁晋地震（10度）、1969年广东阳江地震（8度）、1975年辽宁海城地震（9度）、1976年河北唐山地震（11度）等。

同一个建筑场地的地面运动也是不确定的，不同性质的地面运动对建筑的破坏作用不同。地震动随震源机制、震级大小、震中距和传播途径中土层性质不同而变化，影响因素甚为复杂。

#### 2. 地震及其影响有若干规律性

地震及其影响虽然具有不确定性，但根据统计分析，也存在一定的规律性。一般来说，震级大、震中距小时对建筑物破坏大；当震级大、震源深时对远距离的较柔性的建筑物影响大；另外，场地土类别和覆盖层厚度也直接影响结构效应的大小。

抗震概念设计的任务之一，是把地震及影响的不确定性和规律性结合起来，了解所在场地的地震危险性和小区域因素，使选择的结构方案和细部构造能具有较好的抗震性能。

#### 3. 建筑抗震概念设计的基本内容

建筑抗震概念设计的基本内容有三个部分：

- 1) 建筑设计应重视建筑结构的规则性。
- 2) 合理的建筑结构体系选择。

### 3) 抗侧力结构和构件的延性设计。

这三大重要的抗震设计的基本要求，在《建筑抗震设计规范》(GBJ11-89)中得到确认 并且在 GB50011-2001 规范中得到进一步补充和加强。

## 2.3.2 抗震设计的基本要求

在强烈地震作用下，建筑物的破坏过程是十分复杂的，目前对它还没有充分的认识。因此要进行精确的抗震计算还有一定的困难。20世纪70年代以来人们提出了“建筑抗震概念设计”。

我们掌握抗震概念设计，将有助于明确抗震设计思想，灵活、恰当地运用抗震设计原则，使我们不致陷于盲目的计算工作，从而做到比较合理地进行抗震设计。

应当指出，强调抗震概念设计重要，并非不重视数值设计。这正是为了给抗震计算创造有利条件，使计算分析结果更能反映地震时结构反应的实际情况。

根据概念设计原理，在进行抗震设计时，应遵守下列一些基本要求：

### 1. 场地、地基和基础的要求

#### (1) 选择对抗震有利的场地、地基和基础

选择建筑场地时，应根据工程需要，掌握地震活动情况、工程地质和地震地质的有关资料，做出综合评价。宜选择对抗震有利地段，避开不利地段，无法避开时，应采取有效措施 不应在危险地段建造甲、乙、丙类建筑。

对抗震有利地段，一般是指稳定基岩 坚硬土或开阔、平坦、密实、均匀的中硬土等地段 不利地段，一般是指软弱土 液化土 条状突出的山嘴 高耸孤立的山丘，非岩质的陡坡 河岸和边坡的边缘 平面分布上成因、岩性、状态明显不均匀的土层（如古河道、疏松的断层破碎带、暗埋的塘浜沟谷和半填半挖地基 等地段 危险地段，一般是指地震时可能发生滑坡、崩塌、地陷、地裂、泥石流等及发震断裂带上可能发生地表位错的部位等地段。

#### (2) 建造在 I 类场地上的建筑抗震构造措施的调整

1) 建筑场地为 I 类时，甲、乙类建筑应允许仍按本地区抗震设防烈度的要求采取抗震构造措施；丙类建筑应允许按本地区抗震设防烈度的要求降低一度的要求采取抗震构造措施，但抗震设防烈度为 6 度时仍应按本地区抗震设防烈度的要求采取抗震构造措施。

2) 建筑场地为 III、IV 类时，对设计基本地震加速度为  $0.15g$  和  $0.30g$  的地区，除《抗震规范》另有规定外 宜分别按抗震设防烈度 8 度 ( $0.20g$ ) 和 9 度 ( $0.40g$ ) 时各类建筑的要求采取抗震构造措施。

#### (3) 地基和基础设计应符合下列要求

1) 同一结构单元的基础不宜设置在性质截然不同的地基上。

2) 同一结构单元不宜部分采用天然地基、部分采用桩基。

3) 地基为软弱黏性土、液化土、新近填土或严重不均匀土时，应估计地震时地

基不均匀沉降或其他不利影响，并采取相应措施。

## 2. 选择对抗震有利的建筑平面、立面和竖向剖面

为了防止地震时建筑发生扭转和应力集中，或塑性变形集中，而形成薄弱部位，建筑平面、立面和竖向剖面应符合下列要求：

1) 建筑抗震设计应符合抗震概念设计的要求，不应采用严重不规则的设计方案。

2) 建筑及其抗侧力结构的平面布置宜规则、对称，并应具有良好的整体性；建筑的立面和竖向剖面宜规则，结构的侧向刚度宜均匀变化，竖向抗侧力构件的截面尺寸和材料强度宜自下而上逐渐减小，避免抗侧力结构的侧向刚度和承载力突变。

3) 体形复杂、平立面特别不规则的建筑结构，可按实际需要在适当部位设置防震缝，形成多个较规则的抗侧力结构单元。防震缝应根据抗震设防烈度、结构材料种类、结构类型、结构单元高度和高差情况留有足够的宽度，其两侧的上部结构应完全分开。当设置伸缩缝和沉降缝时，其宽度应符合防震缝的要求。

## 3. 选择技术和经济合理的结构体系

结构体系应根据建筑的抗震设防类别、抗震设防烈度、建筑高度、场地条件、地基、结构材料和施工等因素，经技术、经济和使用条件综合比较确定。

(1) 结构体系应符合下列各项要求

1) 应具有明确的计算简图和合理的地震作用传递途径。

2) 应避免因部分结构或构件破坏而导致整个结构丧失抗震能力或对重力荷载的承载能力。

3) 应具备必要的抗震承载力，良好的变形能力和消耗地震能量的能力。

4) 对可能出现的薄弱部位，应采取提高抗震能力。

(2) 结构体系尚宜符合下列各项要求

1) 宜有多道抗震防线。

2) 宜具有合理的刚度和承载力分布，避免因局部削弱或突变形成薄弱部位产生过大的应力集中或塑性变形集中。

3) 结构在两个主轴方向的动力特性宜相近。

(3) 结构构件应符合下列要求

1) 砌体结构应按规定设置钢筋混凝土圈梁和构造柱、芯柱，或采用配筋砌体等。

2) 混凝土结构构件应合理地选择尺寸、配置纵向受力钢筋和箍筋，避免剪切破坏先于弯曲破坏、混凝土的压溃先于钢筋的屈服、钢筋的锚固粘结破坏先于构件破坏。

3) 预应力混凝土的抗侧力构件，应配有足够的非预应力钢筋

4) 钢结构构件应合理控制尺寸，避免局部失稳或整体构件失稳。

(4) 结构构件之间的连接应符合下列要求

- 1) 构件节点的破坏, 不应先于其连接的构件。
- 2) 预埋件的锚固破坏, 不应先于连接件。
- 3) 装配式结构构件的连接, 应能保证结构的整体性。
- 4) 预应力混凝土构件的预应力钢筋, 宜在节点核心区以外锚固。
- (5) 装配式单层厂房的各种抗震支撑系统, 应保证地震时结构的稳定性。

#### 4. 非结构构件的要求

1) 非结构构件包括建筑非结构构件和建筑附属机电设备、自身及其与结构主体的连接, 应进行抗震设计。

2) 非结构构件的抗震设计应由相关人员分别负责进行。

3) 附着于楼、屋面结构上的非结构构件, 应与主体结构有可靠的连接或锚固, 避免地震时倒塌伤人砸坏重要设备。

4) 围护墙和隔墙应考虑对结构抗震的不利影响, 避免不合理设置而导致主体结构的破坏。

5) 幕墙、装饰贴面与主体结构应有可靠连接, 避免地震时脱落伤人。

6) 安装在建筑上的附属机械、电气设备系统的支座和连接, 应符合地震时使用功能的要求, 且不应导致相关部件的损坏。

#### 5. 结构材料与施工的要求

1) 抗震结构对材料和施工质量的特别要求, 应在设计文件上注明。

2) 结构材料性能指标, 应符合下列最低要求:

砌体结构材料应符合下列要求:

(a) 烧结普通黏土砖和烧结多孔黏土砖的强度等级不应低于 MU10 级、不应低于 M5。

(b) 混凝土小型空心砌块的强度等级不应低于 MU7.5 其砌筑砂浆强度等级不应低于 M7.5。

混凝土结构材料应符合下列要求:

(a) 混凝土强度等级 框支梁、框支柱及抗震等级为一级的框架梁、柱、节点核心区 不应低于 C30 构造柱、芯柱、圈梁及其他各类构件不应低于 C20。

(b) 抗震等级为一、二级的框架结构, 其纵向受力钢筋采用普通钢筋时, 钢筋的抗拉强度实测值与屈服强度实测值的比值不应小于 1.25 且钢筋的屈服强度实测值与强度标准值的比值, 不应大于 1.3。

钢结构的钢材应符合下列要求:

(a) 钢材的抗拉强度实测值与屈服强度实测值的比值不应小于 1.2。

(b) 钢材应有明显的屈服台阶, 且伸长率应大于 20%。

(c) 钢材应有良好的可焊性和合格的冲击韧性。

3) 结构材料性能, 尚应符合下列要求:

普通钢筋宜优先采用延性、韧性和可焊性较好的钢筋; 普通钢筋的强度等

级，纵向受力钢筋宜选用 HRB400 级和 HRB335 级热轧钢筋，箍筋宜选用 HRB335、HRB400 和 HPB235 级热轧钢筋。

混凝土结构的混凝土强度等级，9 度时不宜超过 C60；8 度时不宜超过 C70。

钢结构的钢材宜采用 Q235 等级 B、C、D 的碳素结构钢及 Q345 等级 B、C、D、E 的低合金高强度结构钢；当有可靠依据时，尚可采用其他钢种和钢号。

4) 在施工中，当需要以强度等级较高的钢筋替代原设计中的纵向受力钢筋时，应按照钢筋受拉承载力设计值相等的原则换算，并应满足正常使用极限状态和抗震构造措施的要求。

5) 采用焊接连接的钢结构，当钢板厚度不小于 40mm 且承受沿板厚方向的拉力时，受拉试件板厚方向截面收缩率，不应小于国家标准《厚度方向性能钢板》(GB 50313 关于 Z15 级规定的容许值。

6) 钢筋混凝土构造柱、芯柱和底部框架-抗震墙砖房中砖抗震墙的施工，应先砌墙后浇构造柱、芯柱和框架柱。

## 2.4 建筑场地和结构体系的选择

### 2.4.1 建筑场地的选择

场地是指工程群体所在地，大体相当于一个厂区、居民点或自然村的范围。地震时 场地破坏主要表现为地震所产生的滑坡、崩塌、地陷、地裂、泥石流、断层地表错位以及砂土液化和震陷等。在地震作用下，发生上述破坏场地上的建筑物难免不被毁坏，因此应尽可能避免在这种场地上建造建筑物。

场地条件对建筑物的地震反应和震害具有明显影响。场地条件通常指：

场地土的软硬程度（即坚硬或密实程度）。

场地覆盖层厚度。

地形。

不均匀地基或不均匀地质构造。

震害资料表明地形影响是很大的，例如山脊与山脚处地震烈度的差异最大可达三度。产生这一现象的主要原因是山脊处对地震波具有放大效应，在山脊处地面运动通常为山脚处地面运动的数倍，因而在山脊处的建筑物震害加重。

地基不均匀或地下地质构造不均匀将导致建筑物震害加剧，这主要是由于动荷载作用下地基不均匀沉降造成的。有时也可能是建筑基底以下不同地基土对地震波响应不同，造成上部结构的震害。

现行《抗震规范》规定 建筑场地的选择应按地质、地形、地貌综合考虑 划分为对建筑抗震有利地段、不利地段和危险地段，其划分如下：

1) 对建筑抗震有利的地段：平坦场地或地貌单一的平缓坡地，地层由坚硬土