

# 第一章 绪论

# 1.1 地震与地震动

## ■ 1.1.1 地震类型与成因

### ■ 地震的类型：

**诱发地震：**水库蓄水或深井注水等引起的地震

**天然地震**

**1)构造地震：**由地球内部岩层的构造变动引起的地震

**2)火山地震：**火山爆发岩浆冲出引起的地震

**3)陷落地震：**地下溶洞、古旧矿坑等陷落引起的地震

# 诱发地震——水库地震



1962年3月19日04时18分（北京时间），在大坝东北1.1公里处发生6.1级地震，震源深度5公里，震中烈度VIII度。这次地震成为我国截止目前最大的水库地震。极震区长轴约9公里，面积约28平方公里。

# 诱发地震——水库地震



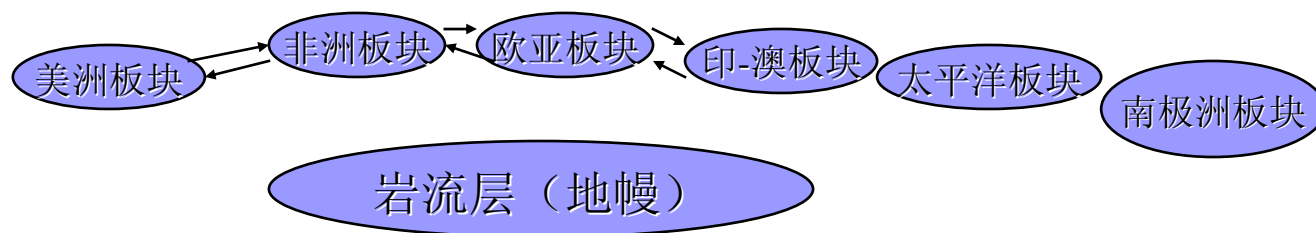
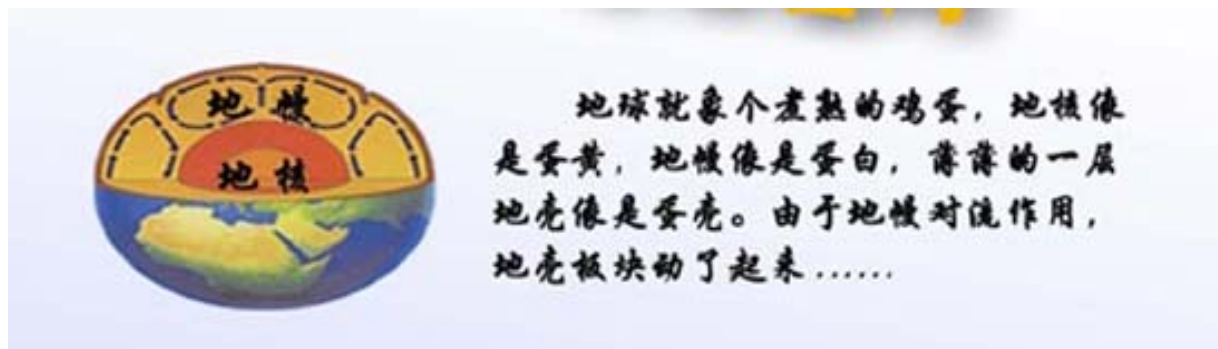
# 构造地震





# 构造地震的成因

- 地球内部由三个圈层组成：地壳、地幔、地核
- 地壳是由一些巨大的板块组成



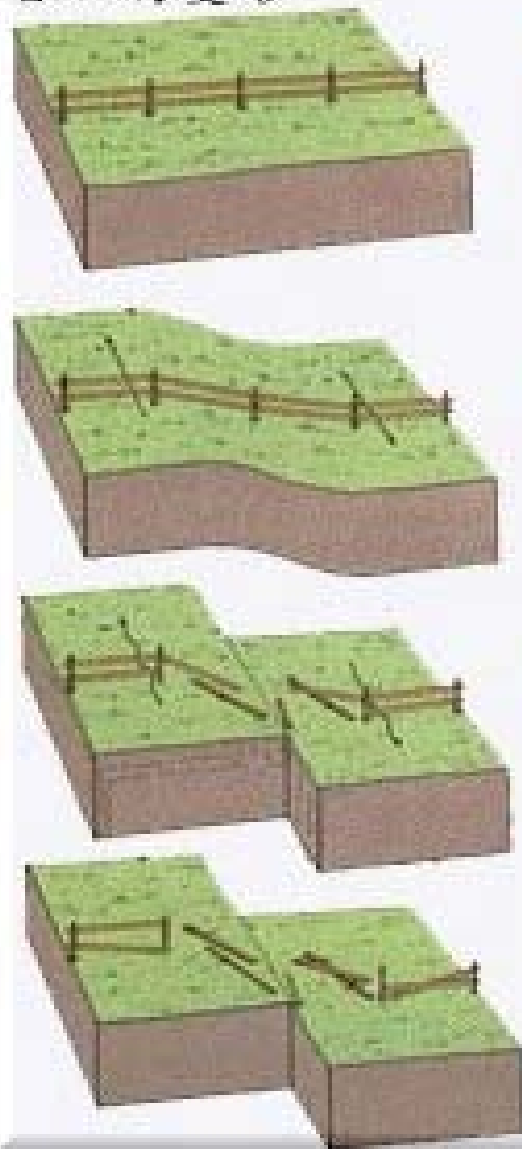
板块间相互挤压、冲撞引起地震

板块之间的相互作用力会使地壳中的岩层发生变形，当这种变形积聚到一定程度时，该处岩体就会发生突然断裂或错动，引发地震。

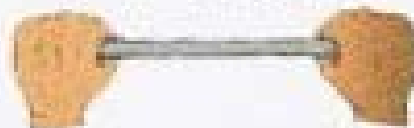
# 构造地震

## 成因和震源机制

岩石的變形



木棒的變形



A. 原來的情形



B. 形變產生



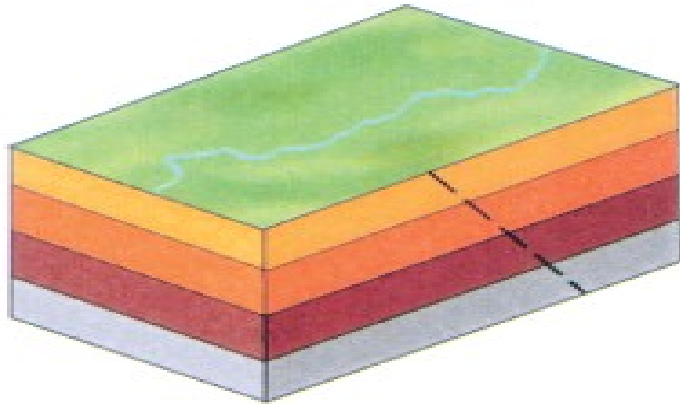
C. 反彈



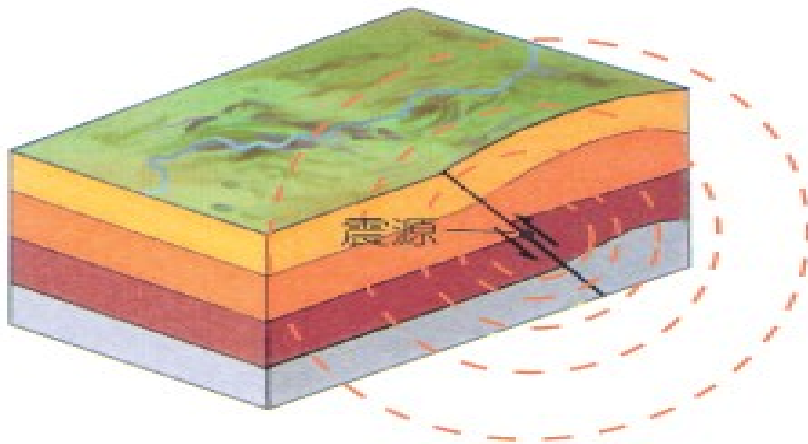
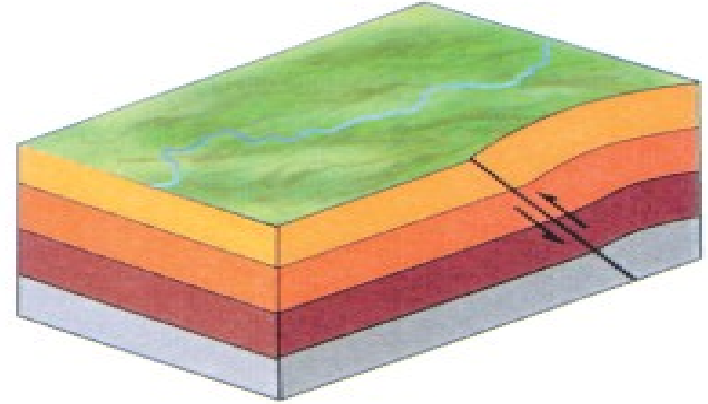
D. 形變結束

# 彈性反彈理論

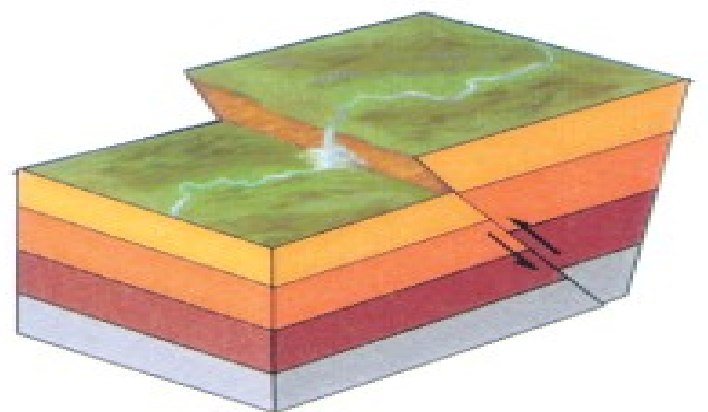
A. 岩層未受外力作用時的狀態。



B. 岩層受壓力時，岩層產生彎曲變形。



C. 經長期外力作用，引起岩層斷裂，首先破裂點稱為震源。



D. 隨後，其餘岩層相繼斷裂滑動，斷層兩側岩石反彈恢復平直。



# 火山地震



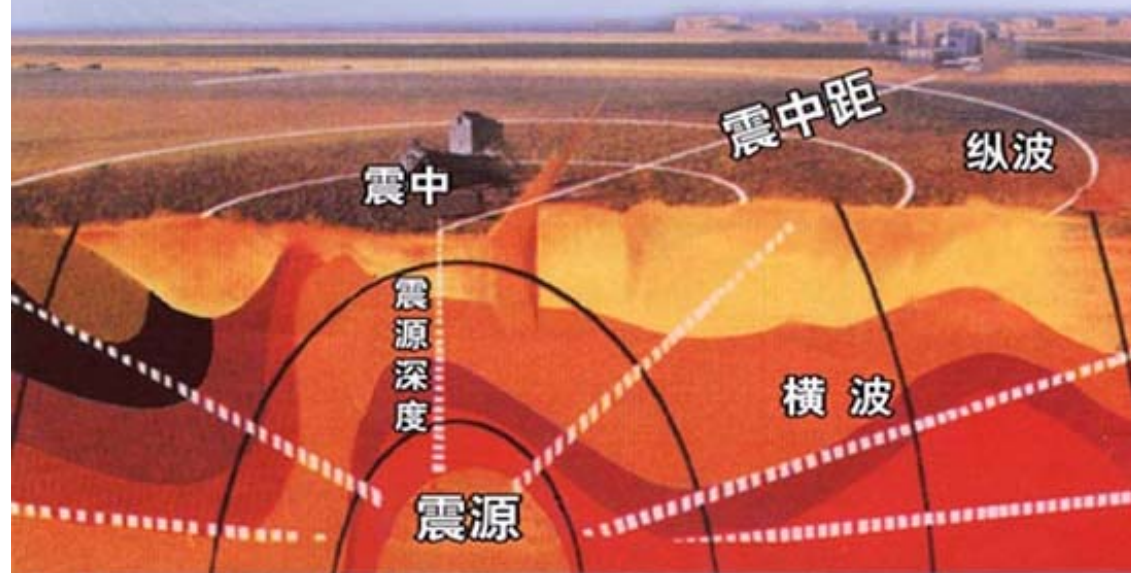
# 1.1.2 震源、震中和地震波

## 震源和震中



地球就象个煮熟的鸡蛋，地核像是蛋黄，地幔像是蛋白，薄薄的一层地壳像是蛋壳。由于地幔对流作用，地壳板块动了起来……

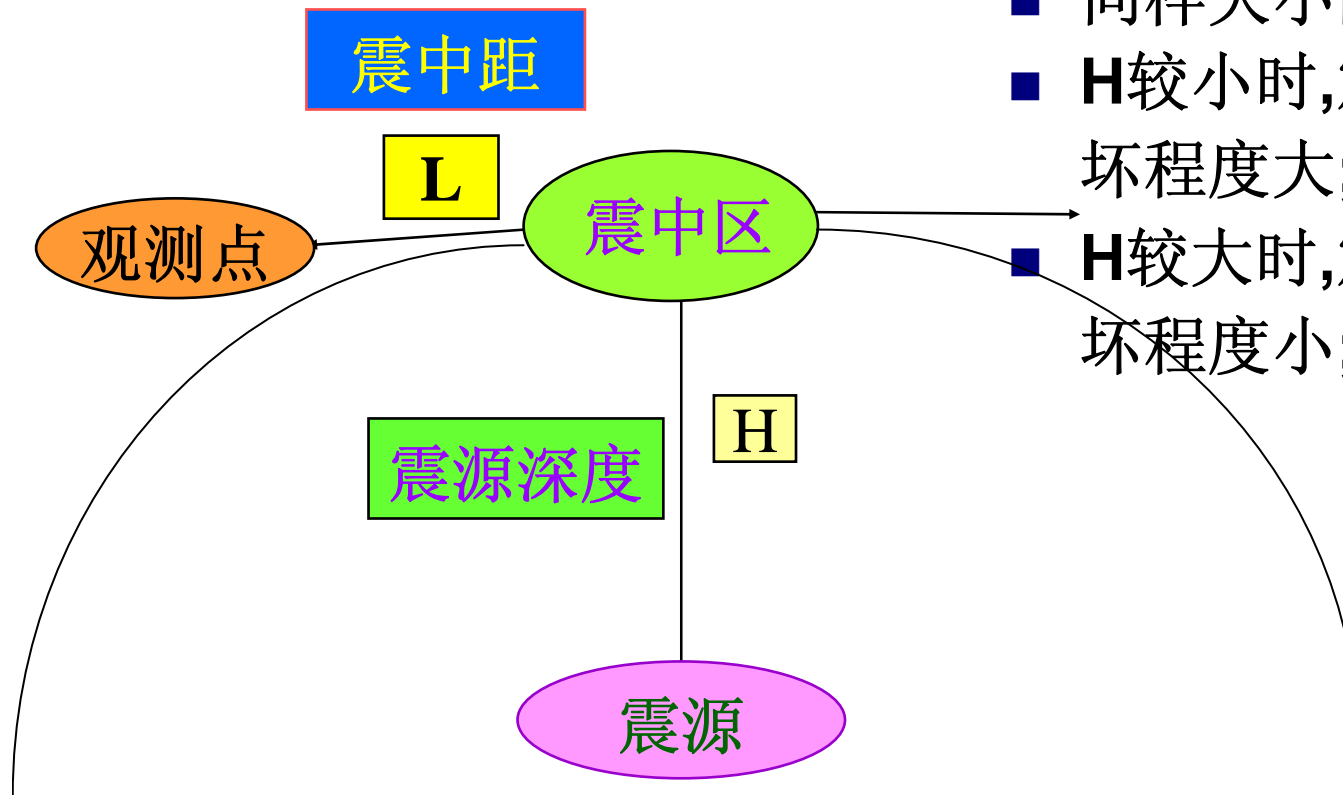
- 震源**：地球内部直接发生破裂的地方。
- 震中**：震源正对的地面。
- 震中距**：震中到观测点的距离。
- 震源深度**：震源到震中的距离。



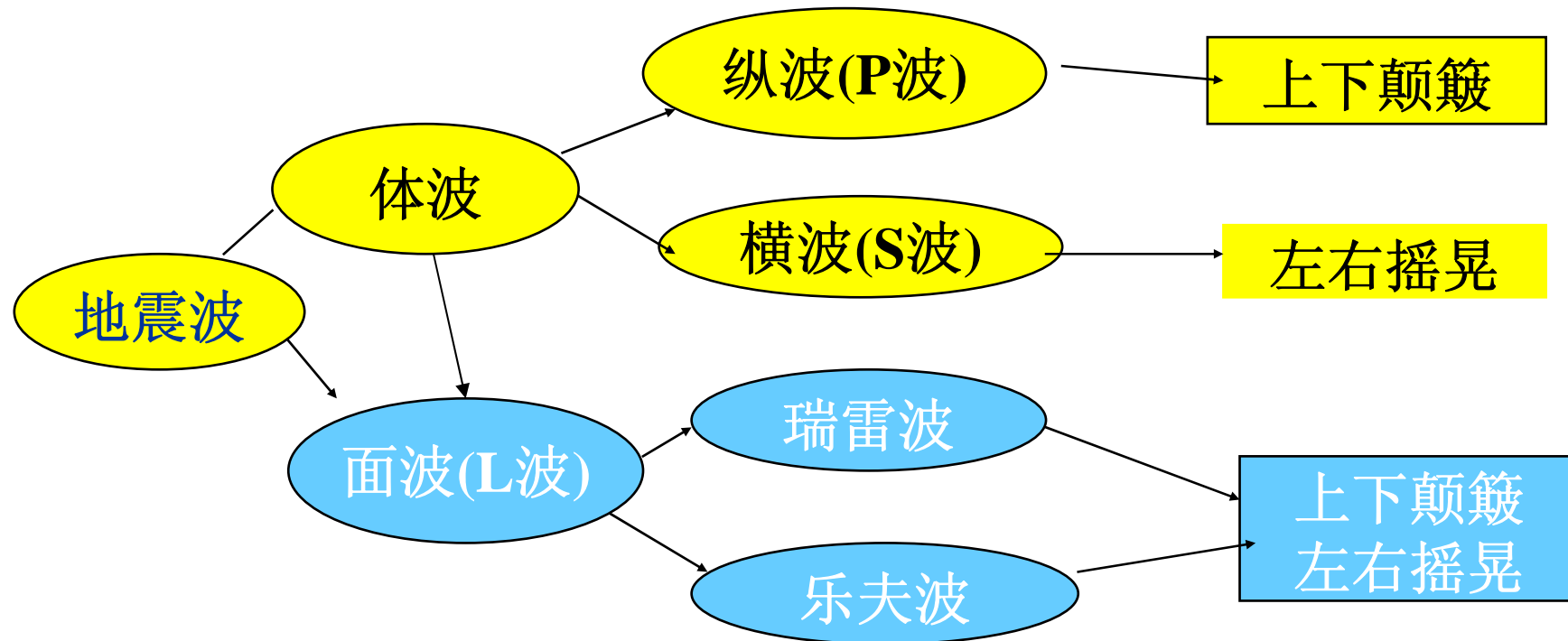
# 震源深度

- $H < 60\text{m}$  浅源地震
- $60\text{m} < H < 300\text{m}$  中源地震
- $H > 300\text{m}$  深源地震

- 同样大小的地震,
- $H$ 较小时,震中区范围小,破坏程度大;
- $H$ 较大时,震中区范围大,破坏程度小;



# 地震波 (弹性波)



$$V_p > V_s > V_L$$
$$V_p = 1.67 V_s$$

# 地震波

纵波

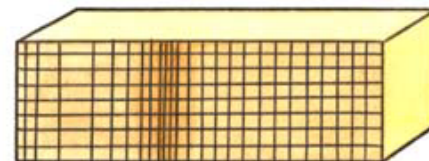


波的传播方向

质点振动方向

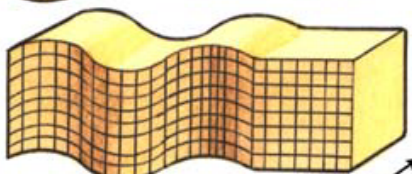
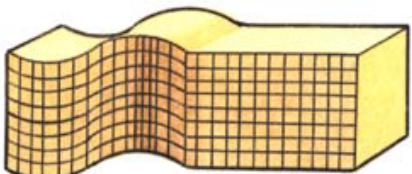
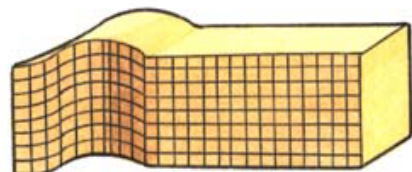


纵波(P波)



振动方向

横波(S波)



波の伝わる方向

振动方向

横波



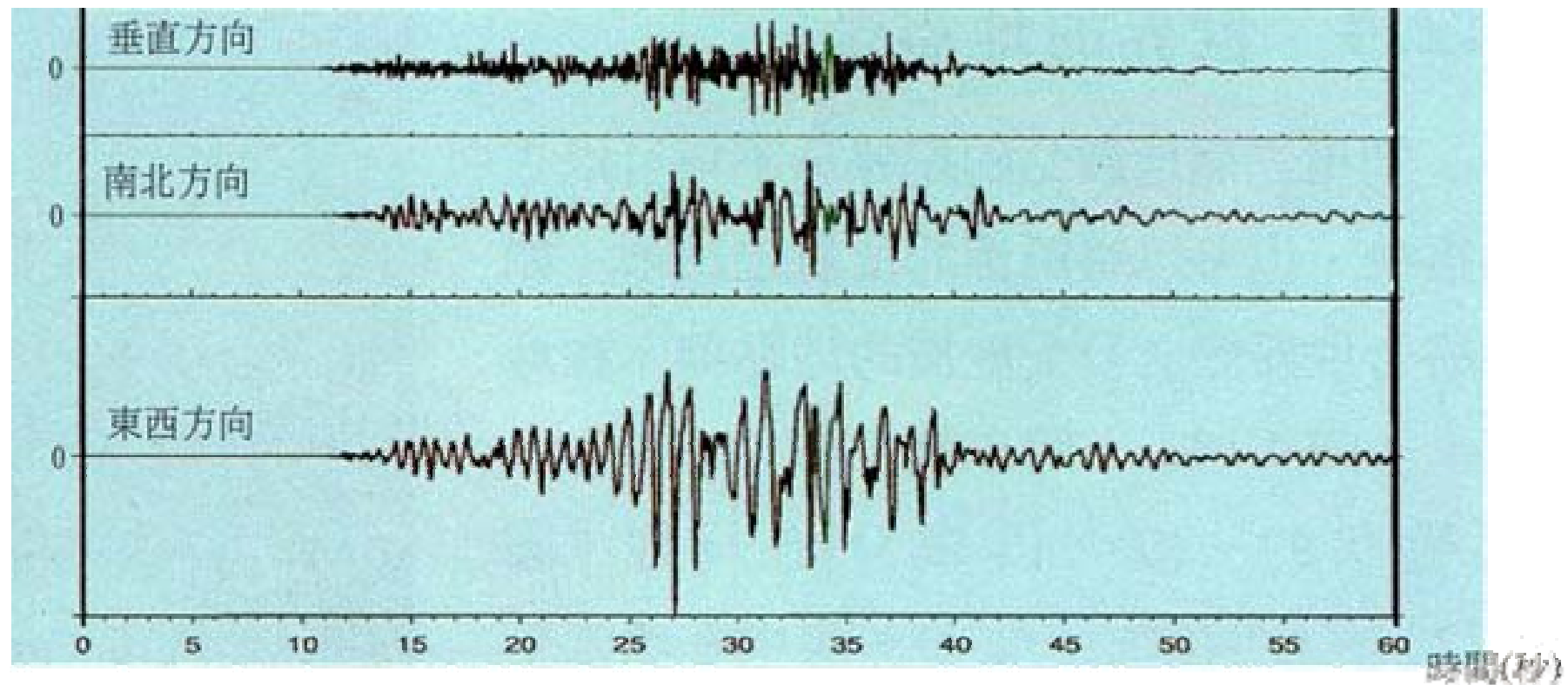
波的传播方向

质点振动方向

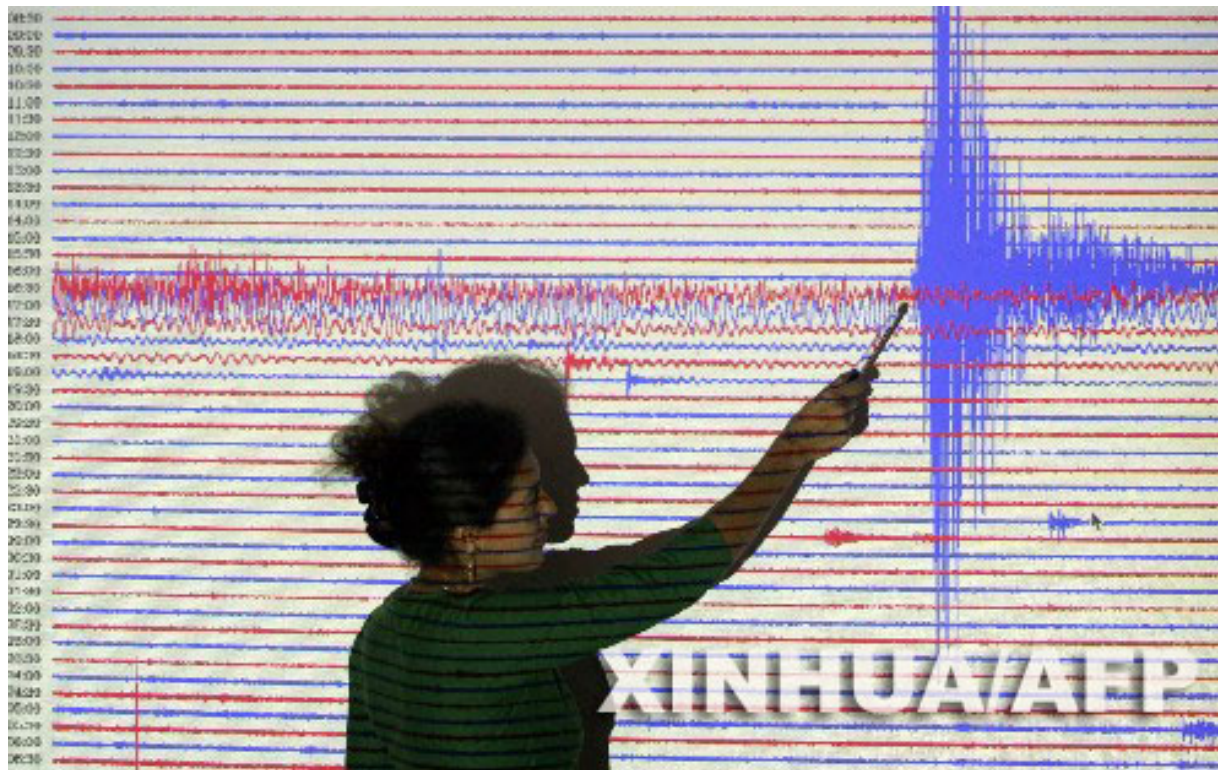


## 1.1.3 地震动

- 强震时的地面运动加速度记录曲线可以反映地震动的特征







## ■ 地震动的三要素：

**最大振幅：** 反映强度特性

**频谱：** 反映周期分布特征

**持续时间：** 地震作用程度的强弱

## 1.2 地震震级与地震烈度

### 1.2.1 地震震级

- 地震震级: 衡量一次地震强弱程度即地震所释放的能量大小的度量指标

- 近震震级 (震中距小于100km)

$$M = \log A + R(\Delta)$$

- 震级M与震源释放能量E (单位为  $10^7\text{J}$ ) 之间的关系为:


$$\log E = 11.8 + 1.5M$$

**M < 2**  
微震

**M = 2~4**  
有感地震

**M > 5**  
破坏性地震

**M > 7**  
强烈地震



# 地震震级

- 震级是通过地震仪器的记录计算出来的，地震越强，震级越大。
- 震级相差一级，能量相差约**30**倍。
- 目前世界上有纪录的最大地震是**1960**年**5**月**22**日发生在智利的**8.9**级地震。
- 一个**6**级地震相当于一个两万吨级的原子弹

## 1.2.2 地震烈度

地震烈度：地震时一定地点地面震动的强弱程度。是某一区域的地表和各类建筑物遭受某一次地震影响的平均强弱程度。

震中距 $L$ 不同，烈度 $I$ 不同

震中烈度： $I_0=1.5(M-1)$  或  $M=1+2I_0/3$



# 地震烈度表

- 地震烈度表是评定烈度的标准和尺度；
- 我国在**1980**年制定了《中国地震烈度表》；
- 《中国地震烈度表》将地震烈度分为**1-12**度。

烈度	人的感觉	一般房屋	其它现象	加速度 <i>mm/s<sup>2</sup></i>	速度 <i>mm/s</i>
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	惊惶失措，仓皇逃出	损坏——个别砖瓦掉落、墙体微细裂缝	河岸和松软土出现裂缝。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	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	摇晃颠簸，行走困难	中等破坏——结构受损，需要修理	干硬土上亦有裂缝。大多数砖烟囱严重破坏	250 (178-	25 (19-35)
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	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-	50 (36-71)
10	骑自行车的人会摔倒。处不稳状态的人会摔出几尺远。有抛	倒塌——大部倒塌，不堪修复	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)
11		毁灭	地震断裂延续很长。山崩常见。基岩上的拱桥毁坏		
12			地面剧烈变化，山河改观		

个别：10%以下  
少数：10%——50%  
多数：50%——70%  
大多数：70%——90%  
普遍：90%以上





# 地震烈度

- 地震烈度表示地面受到地震的影响和破坏程度。
- 一个地震的震中只有一个烈度，但随着各地的远近和受破坏的程度不同而出现不同的烈度。
- 目前我国地震烈度采用**12**等级。

### 1.2.3 基本烈度与地震区划

- 基本烈度是指一个地区在一定时期（我国取**50年**）一般场地条件下按一定的概率（我国取**10%**）可能遭遇到的最大地震烈度。
- 相当于**475年一遇**的最大地震的烈度
- 基本烈度是该地区进行抗震设防的依据。
- 各地区的基本烈度由《中国地震动参数区划图》（**GB18306-2001**）确定。

## 1.2.3 基本烈度与地震区划

- **地震区划**：给出每一地区在未来一定时限内关于某烈度的超越概率，从而将国土划分为不同基本烈度所覆盖的区域。
- **1990年版的《中国地震烈度区划图》**将烈度划分为**5个等级**： **$\leq 5$ 度、6度、7度、8度和 $\geq 9$ 度**

# 《中国地震烈度区划图》

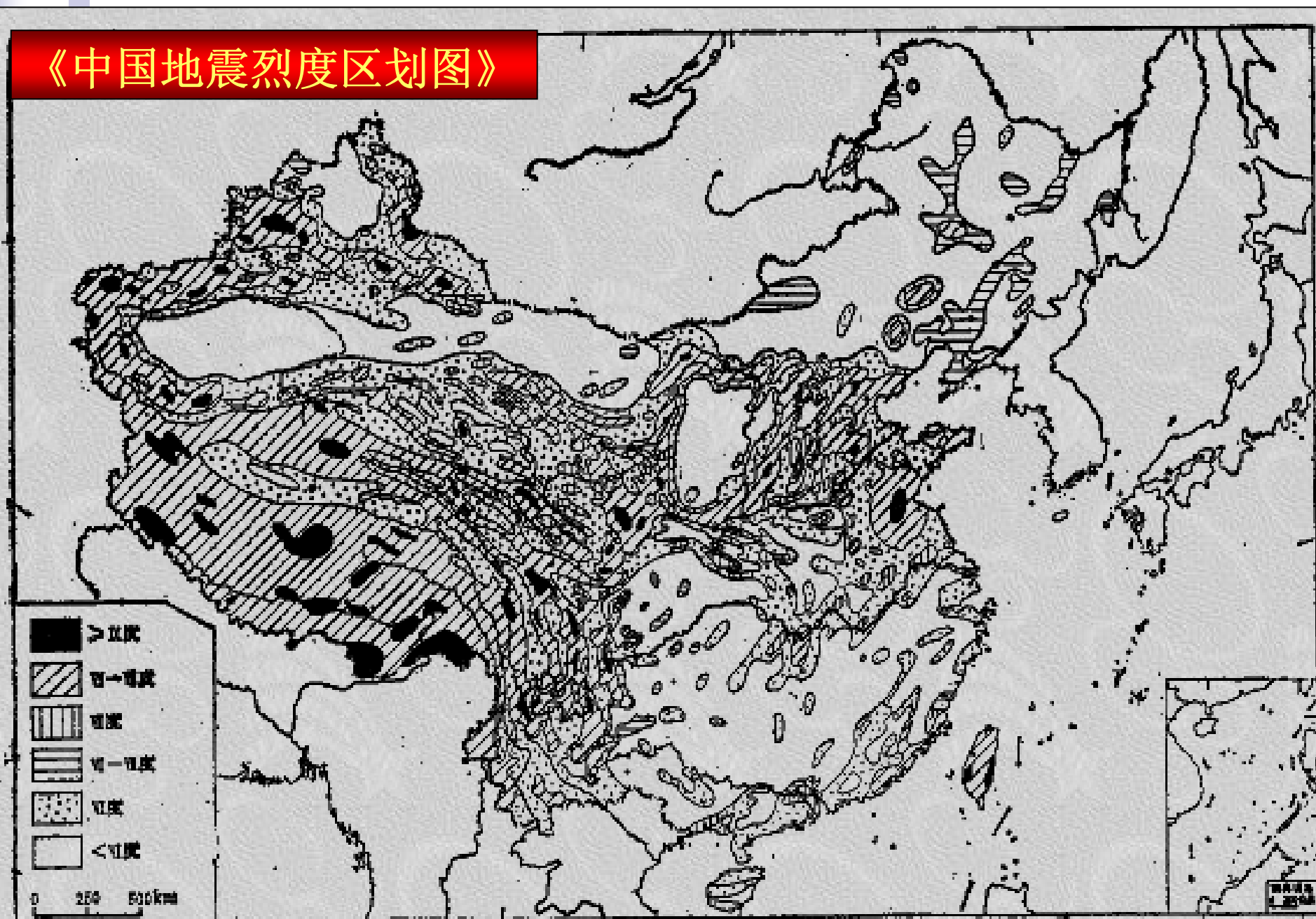
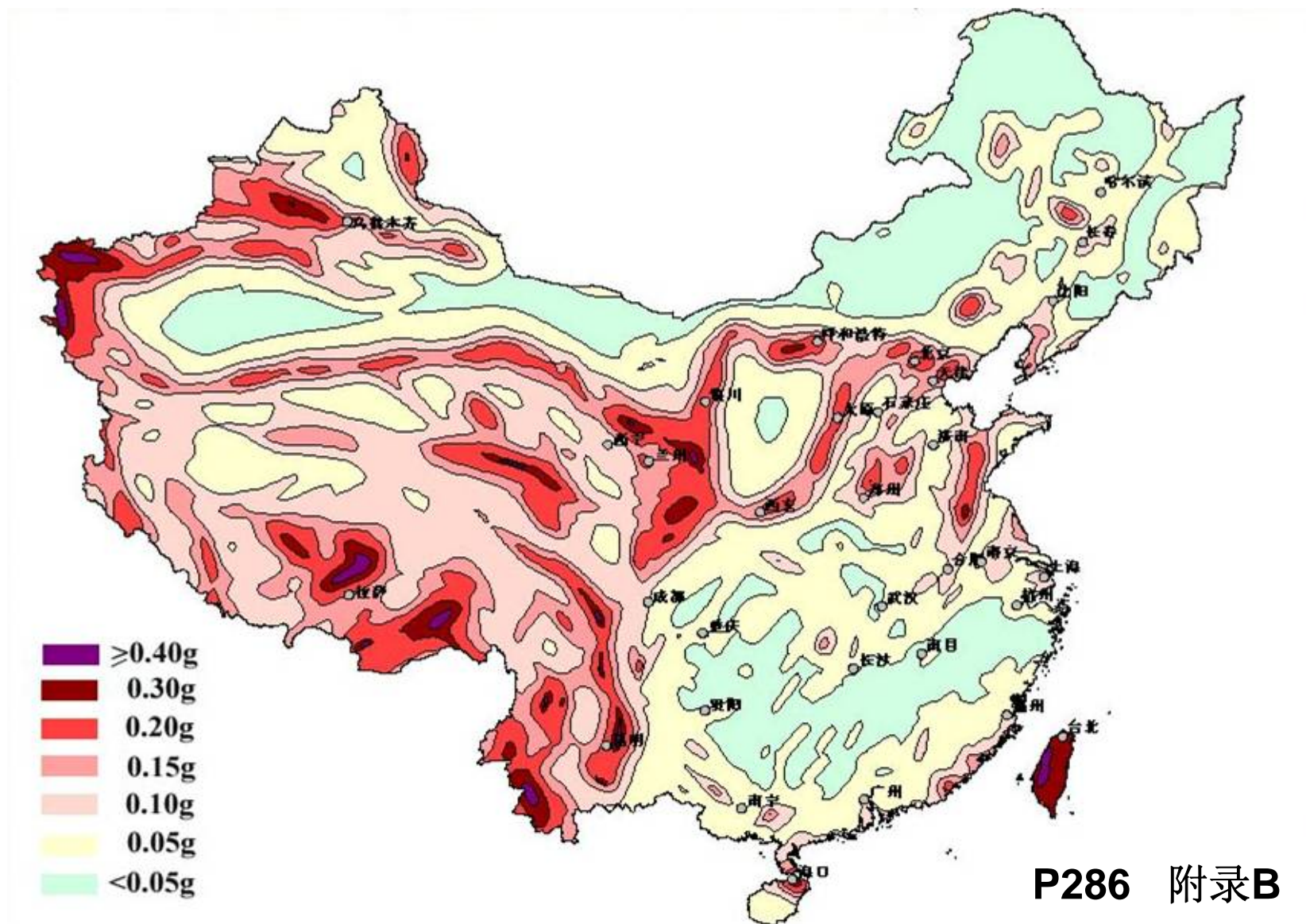


图 1-5 中国地震烈度区划图

# 中国地震动参数区划图



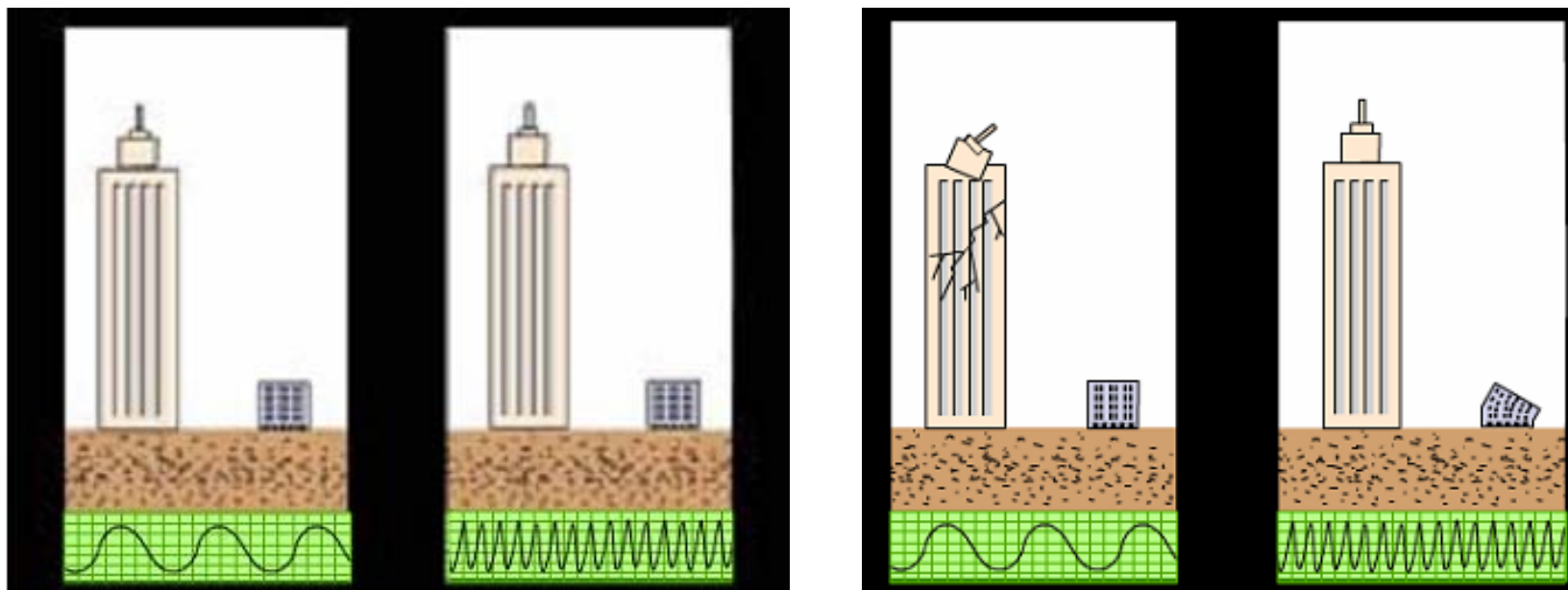
## 地震动峰值加速度分区与地震基本烈度对照表

地震动峰值 加速度g	<0.05	0.05	0.10	0.15	0.20	0.30	$\geq 0.40$
地震基本烈 度值	<6	6	7	7	8	8	9



## 设计地震分组

请思考：图中的两座建筑在经历不同周期特点的地震作用下，那座建筑更易破坏？



# 设计地震分组

设计地震分组是新规范新提出的概念，用以代替旧规范设计近震、设计远震的概念。

在宏观烈度大体相同条件下，处于大震级远离震中的高耸建筑物的震害比中小级震级近震中距的情况严重的多。

设计地震分三组

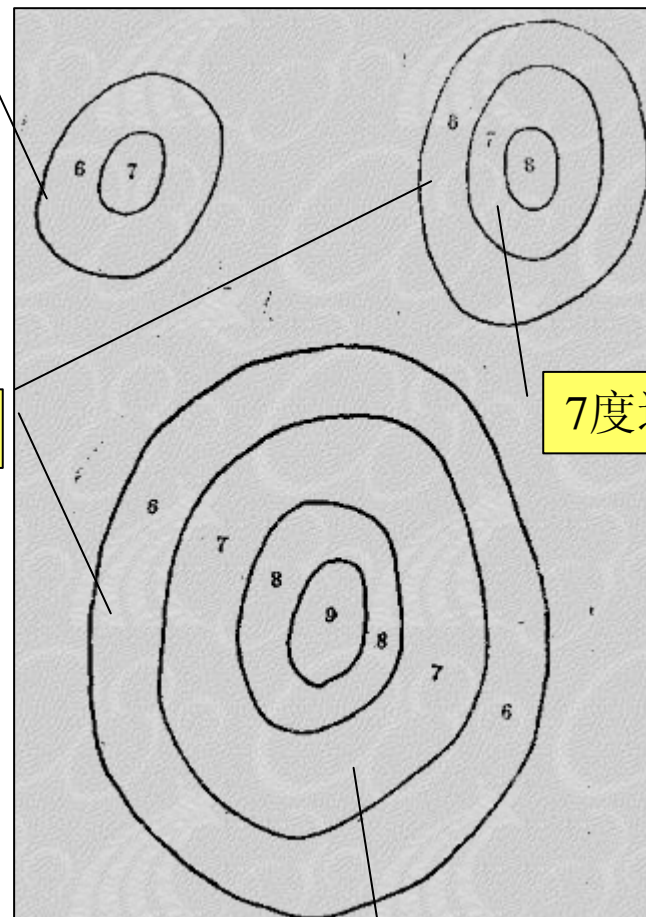
对于II类场地，第一、二、三组的设计特征周期分别为：0.35s、0.40s、0.45s.

6度近震

6度远震

7度近震

7度远震





## 1.3 地震灾害概说

### 直接灾害

建筑物与构筑物的破坏；  
山体等自然物的破坏；  
地面破坏；  
海啸。

### 次生灾害

火灾、水灾、毒气泄漏、瘟疫

## 直接灾害——建筑物与构筑物的破坏

如房屋倒塌、桥梁断落、水坝开裂、铁轨变形等；





**直接灾害**——建筑物与构筑物的破坏  
如**房屋倒塌**、桥梁断落、水坝开裂、铁轨变形等；



**直接灾害**——建筑物与构筑物的破坏  
如房屋倒塌、桥梁断落、**水坝开裂**、铁轨变形等；





## 直接灾害——建筑物与构筑物的破坏

如房屋倒塌、桥梁断落、水坝开裂、铁轨变形等；

1995年日本阪神地震，铁路扭曲





**直接灾害**——山体等自然物的破坏。如山崩、滑坡等；





**直接灾害**——山体等自然物的破坏。如山崩、滑坡等；



**2004年日本新潟地震导致滑坡，房屋道路毁坏**

**直接灾害——地面破坏。**

如地面裂缝、错动、塌陷、喷水冒砂等；





**直接灾害——地面破坏。**

如地面裂缝、错动、塌陷、喷水冒砂等；



## 直接灾害——海啸。

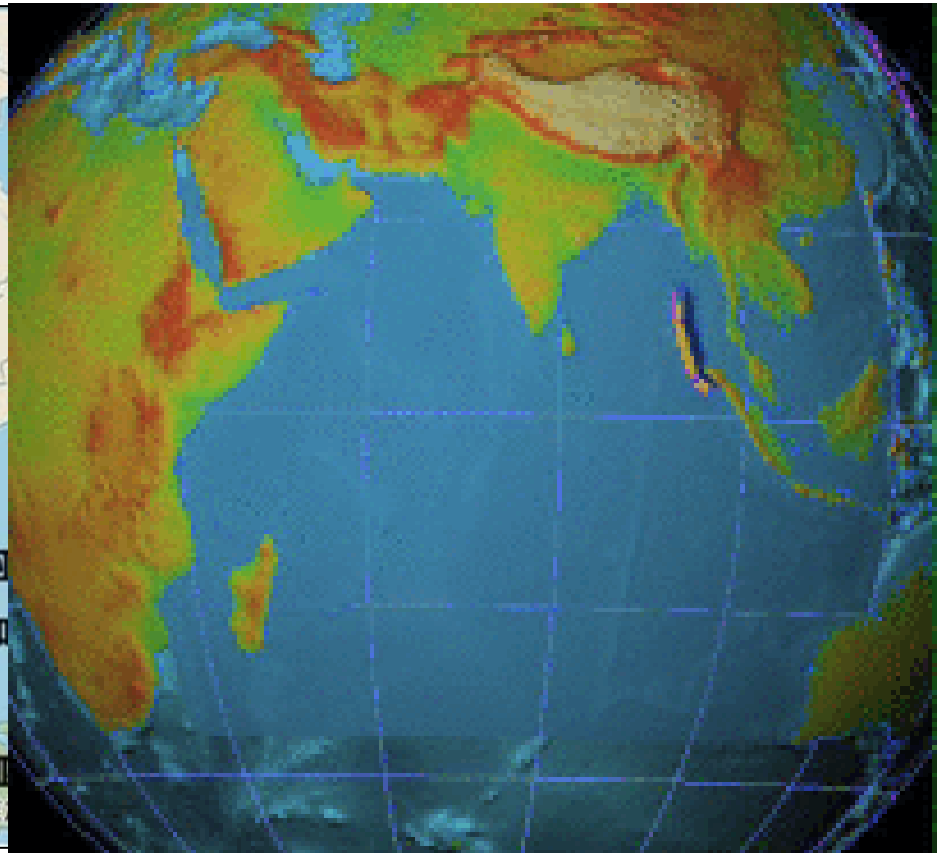
海底地震引起的巨大海浪冲上海岸，可造成沿海地区的破坏；



2004年12月26日深夜，印度尼西亚苏门答腊岛附近海域发生里氏8.5级强烈地震。这是最近一个世纪以来发生的最强的5次地震之一。

## 直接灾害——海啸。

海底地震引起的巨大海浪冲上海岸，可造成沿海地区的破坏；



海啸模拟图

印度洋地震海啸造成了有史以来罕见的大灾难  
死亡约30万人



## 地震海啸形成条件

- 震级  $\geq 7$
- 上下的错动
- 水深  $> 1000$  米
- 开阔并逐渐变浅的海岸



# 海啸狂扑

## 多国惨痛受蹂躏

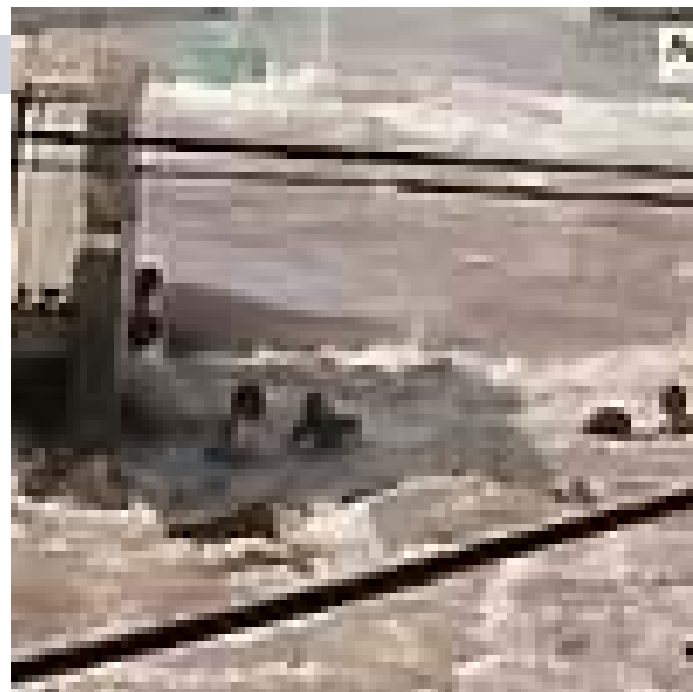
斯里兰卡有4500多人死亡，受灾人数达100万，政府宣布国家进入灾难状态。

印度至少有2000人死亡，200多名渔民失踪。

泰国有310人死亡，2000多人受伤。马来西亚有42人淹死。

马尔代夫15人死亡。缅甸10人死亡。

地震余波甚至连远在1500公里外的泰国首都曼谷都能感受到，一家医院为防万一紧急疏散了400名病人。





2004年12月26日泰国南部旅游胜地普吉岛遭海啸袭击后的航拍照片

## 次生灾害:

直接灾害发生后，破坏了自然或社会原有的平衡、稳定状态，从而引发出的灾害。有时，次生灾害所造成的伤亡和损失比直接灾害还大。

主要的次生灾害有:

### 1、火灾

由震后火源失控引起;

1923年日本关东地震，东京市内227处起火，33处未能扑灭造成火灾蔓延，旧市区烧毁约50%；横滨市烧毁80%，死亡10万。

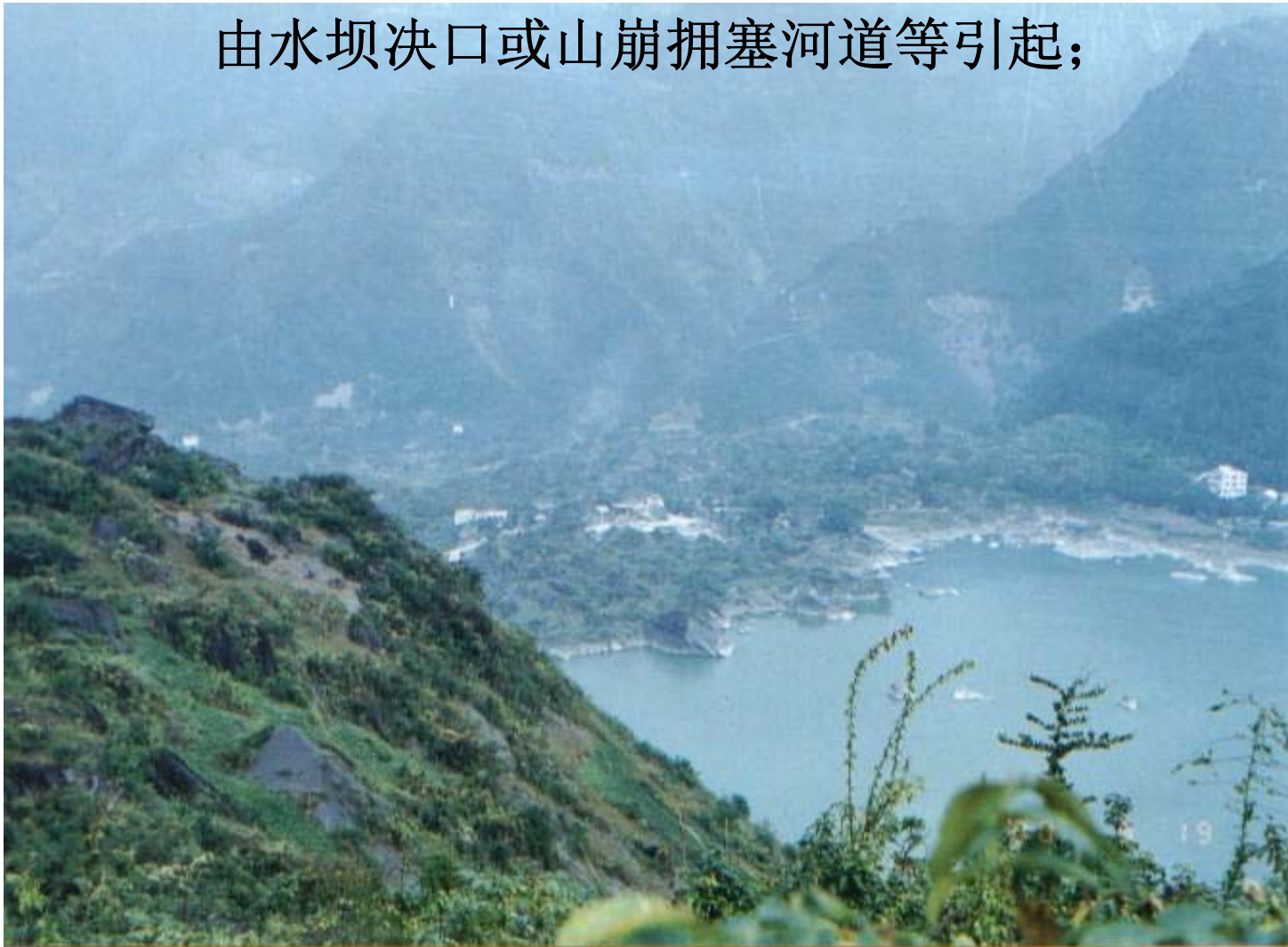




**1995年日本阪神地震，煤气泄漏引发200多起火灾**

## 2、水灾。

由水坝决口或山崩拥塞河道等引起；



**1933年四川叠溪7.5级地震  
洪水淹没2万多人**



3、毒气泄漏。

由建筑物或装置破坏等引起；

4、瘟疫。

由震后生存环境的严重破坏而引起。

## § 1.4 工程抗震设防

### 1.4.1 抗震设防目标及要求

#### 1. 总目标

通过抗震设防，减轻建筑的破坏，避免人员死亡，减轻经济损失。

简称为：“小震不坏，中震可修，大震不倒”。

#### 2. “三水准”抗震设防目标

当遭受低于本地区抗震设防烈度的**多遇地震**影响时，一般不受损坏或不需修理可继续使用。

当遭受相当于本地区抗震**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。

当遭受高于本地区抗震设防烈度的预估的**罕遇地震**影响时，不致倒塌或发生危及生命的严重破坏。



设防要求（三水准）：

小震不坏，中震可修，大震不倒

小震：多遇地震烈度  $I_{小}=I-1.55$

中震：基本地震烈度  $I$

大震：罕遇地震烈度  $I_{大}\leq I+1$

地震影响	50年超越概率	地震重现期
小震	63.2%	50年
中震	10%	475年
大震	2-3%	1642-2475年

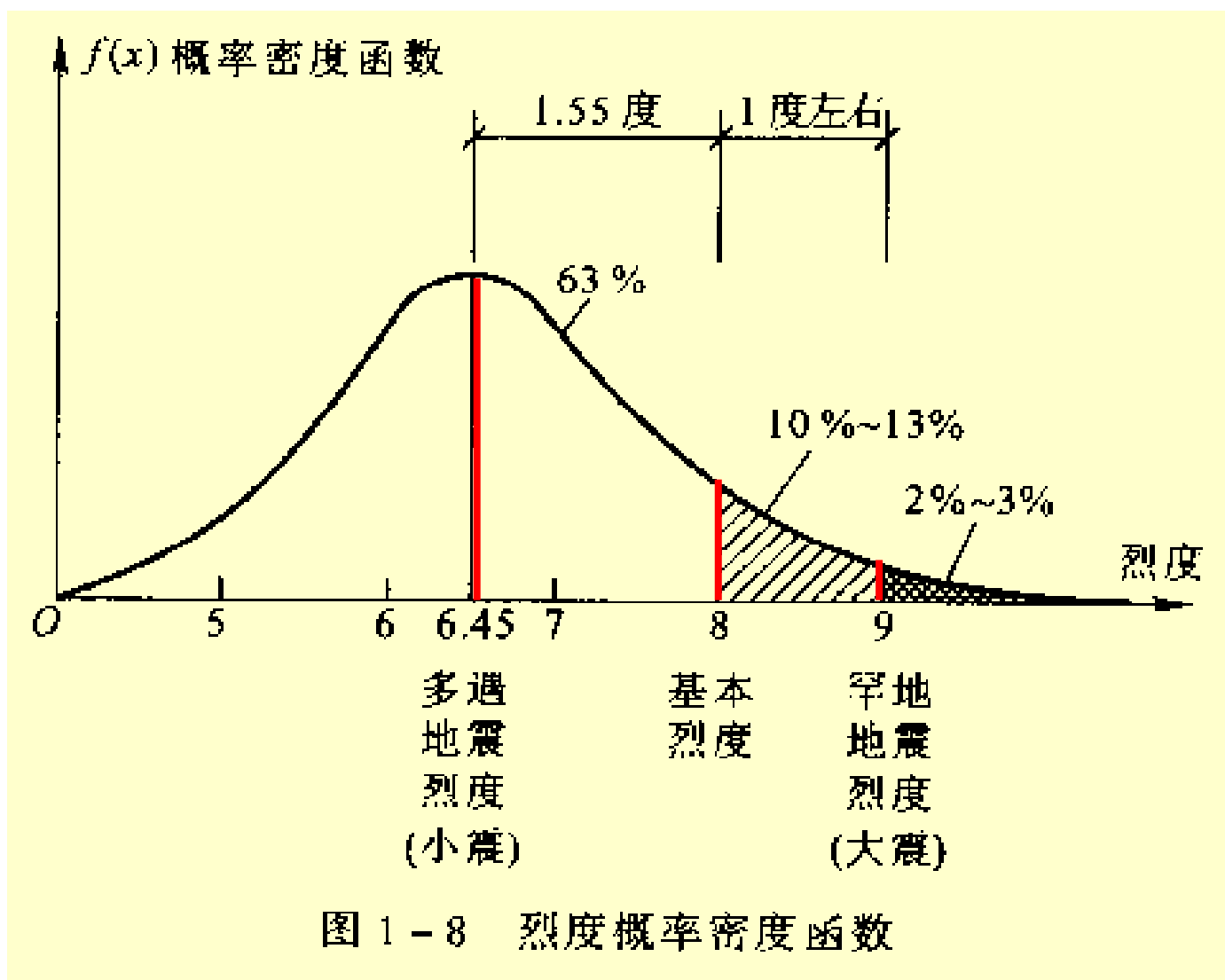


图 1-8 烈度概率密度函数

## 1.4.2 抗震设计方法（两阶段设计法）

### 第一阶段：

对绝大多数结构进行小震作用下的结构和构件承载力验算和弹性变形验算；在此基础上对各类结构按规定要求采取抗震措施。

达到小震不坏、中震可修

### 第二阶段：

对一些规范规定的结构进行大震作用下的弹塑性变形验算。

达到大震不倒

有特殊要求的建筑、地震易倒塌的建筑、有明显薄弱层的建筑，不规则的建筑等。

## 1.4.3 建筑物重要性分类与设防标准

概念设计

建筑类别	建筑的重要性	抗震措施	地震作用计算
甲类	重大建筑工程和可能发生严重次生灾害的建筑	提高一度 (9度适当提高)	应高于本地区设防烈度的要求, 其值按批准的安评结果确定
乙类	地震时使用不能中断或需尽快恢复的建筑	提高一度(9度适当提高); 小规模建筑改变结构型式时可不提高	原设防烈度
丙类	甲、乙、丁类以外的一般建筑	原设防烈度	原设防烈度
丁类	抗震次要的建筑	适当降低(6度不降)	原设防烈度



## 1.5 抗震设计的总体要求

建筑抗震设计包括三个层次的内容与要求：

- 1、概念设计：从总体上把握抗震设计的基本原则；
- 2、抗震计算：为建筑抗震设计提供定量手段；
- 3、构造措施：保证结构整体性，加强局部薄弱环节，保证抗震计算结果的有效性。

# 1.5.1 注意场地选择

## 地段划分

地段类别	地质、地形、地貌
有利地段	稳定基岩，坚硬土，开阔、平坦、密实、均匀的中硬土等
不利地段	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（如故河道、疏松的断破裂带、暗埋的塘浜沟谷和半填半挖地基）等
危险地段	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错位的部位

## 1.5.1 注意场地选择

根据土质、地形等情况将地段划分为有利、不利、危险地段。

选择原则：

项目		选择原则
选择场地	有利地段	对抗震有利、不利和危险地段作出综合评价
	不利地段	提出避开要求；无法避开时应采取有效措施
	危险地段	不应建造甲、乙、丙类建筑

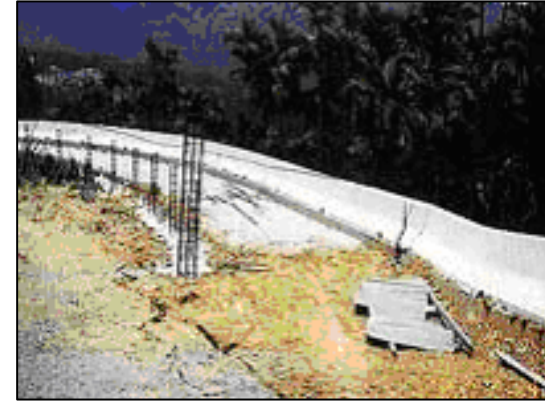




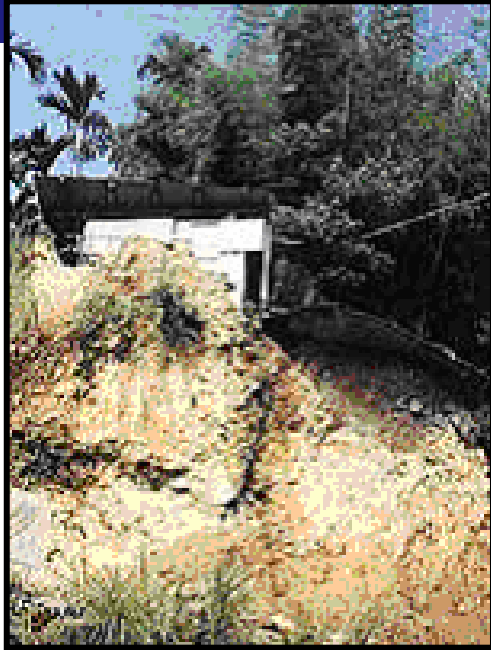
**水边地**的地下水位较高，土质也较松软，容易在地震时产生土壤滑动或地层液化。



**山坡地**在地震时会产生土壤滑动。冲积地的土质松软，地震时容易塌陷，如果此处有地下水层，还容易发生液化。



用另外的**土石**来**填补地基**，常有土壤密实度不足情形，导致建筑物在地震时产生倾斜、沉陷。



临近  
悬崖，  
容易  
滑落



谷地或低地，这里的  
建筑物容易在地震发生  
时，受土石崩塌破坏。

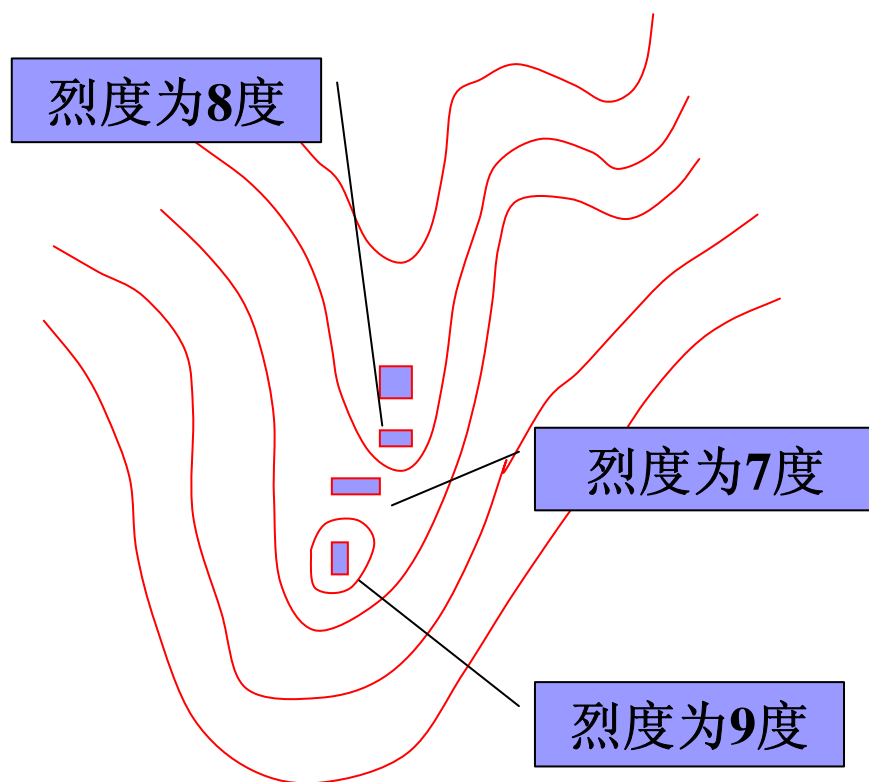


萨尔瓦多地震引发了一巨大的  
泥石流，数百户人家被埋在泥  
石里，估计有1200多人遇难



地裂

## 局部突出地形的影响



1994年云南昭通地震，芦家湾某村坐落于山梁上，山梁长150m，顶部最宽15m，最窄5m，高60m。距震中18km。

突出端部的最大加速度为0.632g，鞍部为0.257g，大山根部为0.431g。

## 发震断裂的影响

与地下断裂构造直接相关的地裂

与发震断裂间接相关的受应力场控制所产生的地裂



## 1.5.2 把握建筑体型

### ■ 建筑平立面布置的基本原则是：

**对称：** 有利于减轻结构的地震扭转效应

**规则：** 地震时结构各部分的振动易于协调，应力集中现象少

**质量与刚度变化均匀：**

1) 在平面方向尽量使结构的刚度中心与质量中心一致，避免远离刚度中心的构件发生严重震害；

2) 在高度方向结构质量与刚度不宜有悬殊的变化，避免“变形集中”和“鞭梢效应”。



马那瓜美洲银行大厦



马那瓜中央银行大厦

建筑结构的规则性对抗震能力的重要影响的认识始自若干现代建筑在地震中的表现。

最为典型的例子是**1972年2月23日**南美洲的马那瓜地震。

马那瓜有相距不远的两幢高层建筑，一幢为**15层**高的中央银行大厦，另一幢为**18层**高的美洲银行大厦。当地地震烈度估计为**8度**。一幢破坏严重，震后拆除；另一幢轻微损坏，稍加修理便恢复使用。





马那瓜  
中央银行大厦

美洲  
银行

结构是均匀对称的，基本的抗侧力体系包括4个L形的筒体，对称地由连梁连接起来，这些连梁在地震时遭到剪切破坏，是整个结构能观察到的主要破坏。

分析表明：1.对称的结构布置及相对刚强的联肢墙，有效地限制了侧向位移，并防止了明显的扭转效应；2.避免了长跨度楼板和砌体填充墙的非结构构件的损坏；3.当连梁剪切破坏后，结构体系的位移虽有明显增加，但由于抗震墙提供了较大的侧向刚度，位移量得到控制。

### 1) 平面不规则

4个楼梯间偏置塔楼西端，西端有填充墙。

4层以上的楼板仅为5cm厚，搁置在高45cm长14m小梁上。

### 2) 竖向不规则

塔楼上部（4层楼面以上），北、东、西三面布置了密集的小柱子，共64根，支承在4层楼板水平处的过渡大梁上，大梁又支承在其下面的10根1m×1.55m的柱子上（间距9.4m）。上下两部分严重不均匀，不连续。

主要破坏：第4层与第5层之间(竖向刚度和承载力突变),周围柱子严重开裂，柱钢筋压屈；  
横向裂缝贯穿3层以上的所有楼板(有的宽达1cm),直至电梯井东侧；  
塔楼西立面、其他立面窗下和电梯井处的空心砖填充墙及其它非结构构件均严重破坏或倒塌。

震后计算分析结果:1.结构存在十分严重扭转效应;2.塔楼3层以上北面和南面大多数柱子抗剪能力大大不足,率先破坏; 3.水平地震作用下,柔而长的楼板产生可观的竖向运动等。

# 建筑设计和建筑结构的规则性

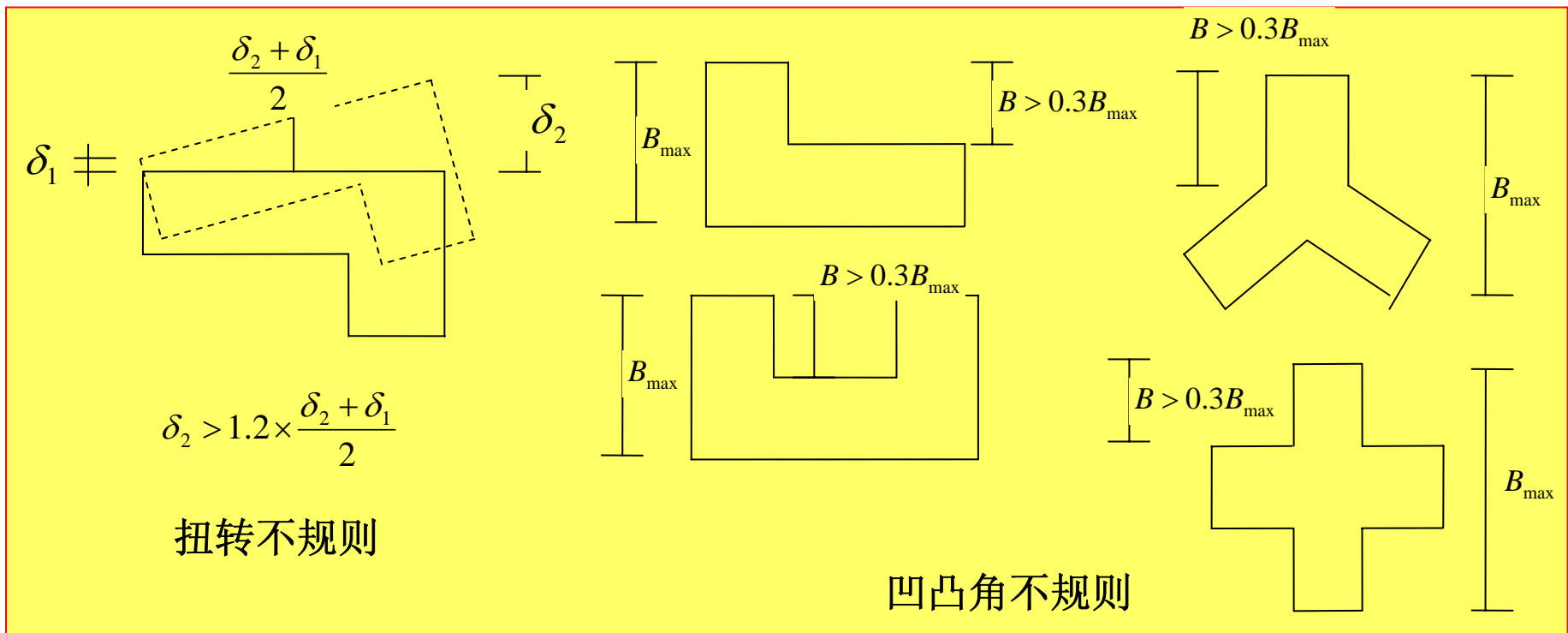
不规则类型		定义	应符合的规定
平面不规则	<b>A.扭转不规则</b>	在结构的一角端垂直于一轴线的最大弹性层间位移，大于结构平面相应两角端弹性层间位移平均值的 <b>1.2倍</b>	采用空间结构分析，应计入扭转，且最大层间位移不大于两端平均值的 <b>1.8倍</b>
	<b>B.凹凸不规则</b>	结构平面凸出或凹进的一侧尺寸，大于相应投影方向总尺寸的 <b>30%</b> ，则该结构平面存在凹角或凸角不规则	采用空间结构分析，平面不对称时应计入扭转
	<b>C.楼板局部不连续</b>	楼板局部不连续或刚度突变，是指结构平面局部收缩或大开洞处的有效楼板宽度小于结构平面典型宽度的 <b>50%</b> ，或开洞面积大于该层楼板面积的 <b>30%</b> ，以及较大的楼板错层	采用弹性楼盖和大开洞的空间结构分析，平面不对称应计入扭转
竖向不规则	<b>A.侧向刚度不规则(有柔软层)</b>	该层侧向刚度小于上一层的 <b>70%</b> ，或小于其上相邻三个楼层刚度平均值的 <b>80%</b>	控制层间剪力，进行必要的弹塑性变形分析
	<b>B. 竖向抗侧力构件不连续</b>	在一竖向抗侧力结构平面内存在竖向抗侧力构件(柱、抗震墙)不连续	转换构件的竖向构件的地震内力应乘以增大系数
	<b>C.楼层承载力突变</b>	该层间抗侧力结构的承载力小于上一层的 <b>80%</b>	薄弱层的抗侧力构件受剪承载力不应小于相邻上层的 <b>65%</b>
平面且竖向均不规则	应同时符合对上述仅平面不规则或仅竖向不规则的条件要求		应同时满足平面和竖向不规则性设计要求

## ■ 不规则程度

- 不规则——一项
- 特别不规则——多项/一项较多，后果不良
- 严重不规则——多项较多，后果严重

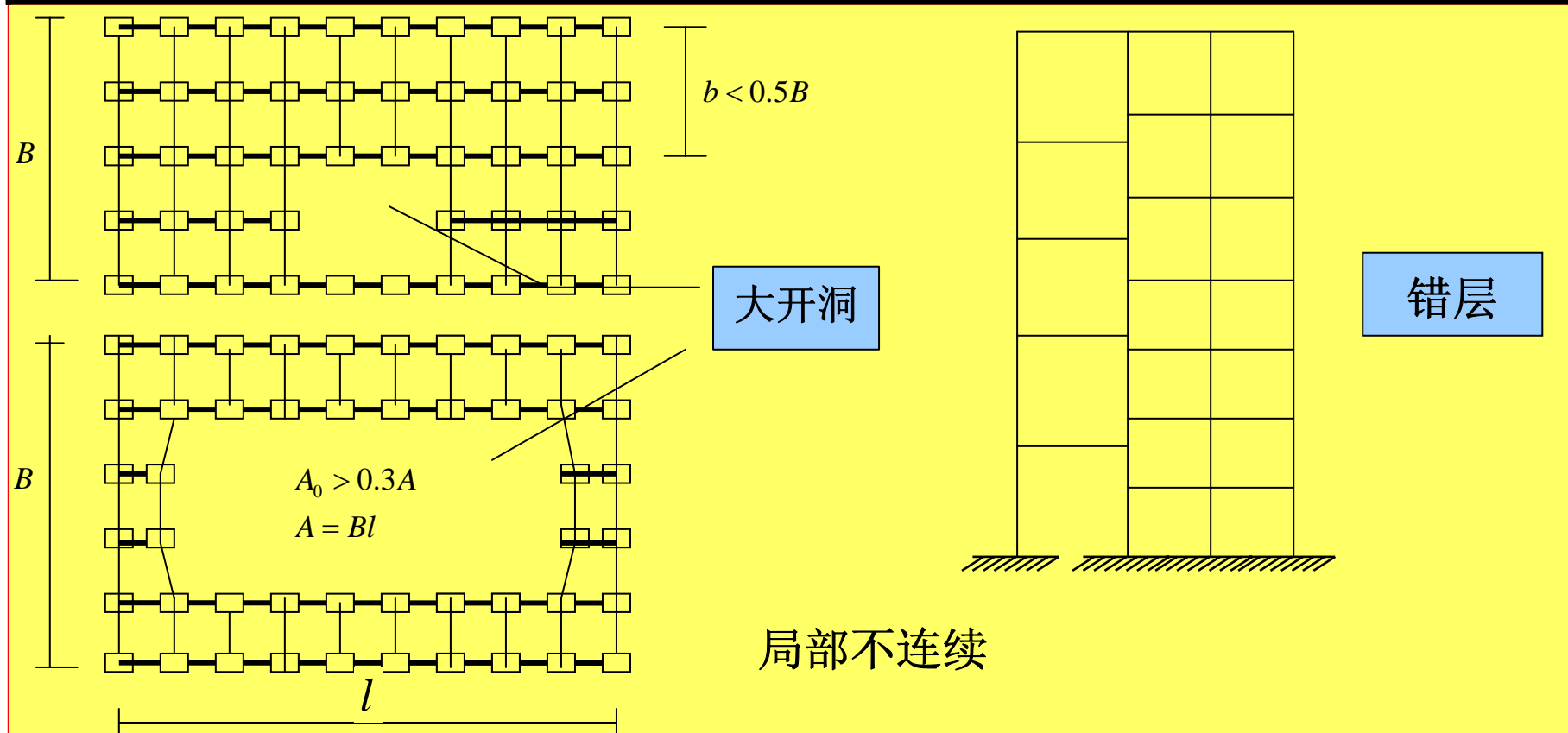
# 平面不规则的类型

不规则类型	定义
扭转不规则	楼层的最大弹性水平位移（或层间位移），大于该楼层两端弹性水平位移（或层间位移）平均值的 <b>1.2倍</b>
凹凸不规则	结构平面凹进的一侧尺寸，大于相应投影方向总尺寸的 <b>30%</b>
楼板局部不连续	楼板的尺寸和平面刚度急剧变化，例如，有效楼板宽度小于该层楼板典型宽度的 <b>50%</b> ，或开洞面积大于该层楼面面积的 <b>30%</b> ，或较大的楼层错层



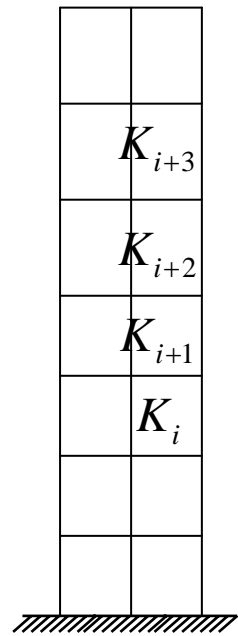
# 平面不规则的类型

不规则类型	定义
扭转不规则	楼层的最大弹性水平位移（或层间位移），大于该楼层两端弹性水平位移（或层间位移）平均值的 <b>1.2倍</b>
凹凸不规则	结构平面凹进的一侧尺寸，大于相应投影方向总尺寸的 <b>30%</b>
楼板局部不连续	楼板的尺寸和平面刚度急剧变化，例如，有效楼板宽度小于该层楼板典型宽度的 <b>50%</b> ，或开洞面积大于该层楼面面积的 <b>30%</b> ，或较大的楼层错层



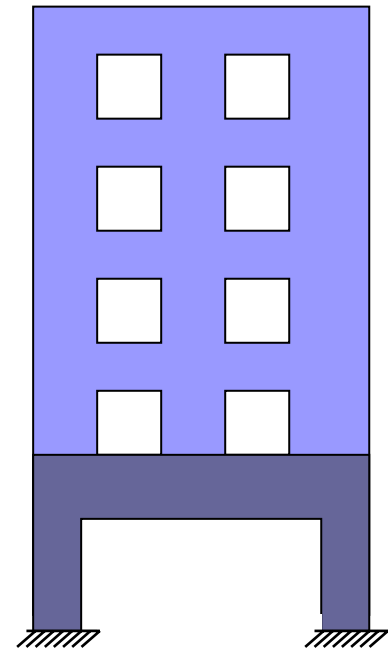
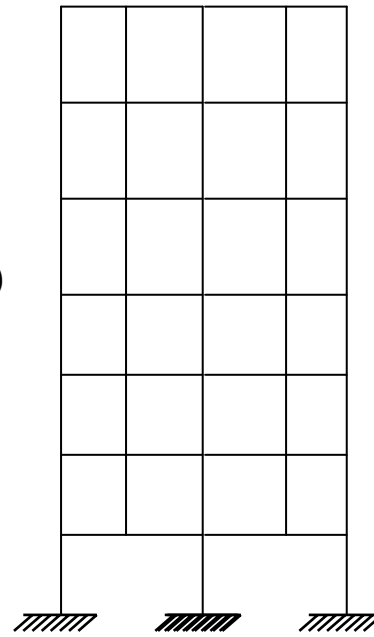
## 竖向不规则的类型

不规则类型	定义
侧向刚度不规则	该层的侧向刚度小于相邻上一层的 <b>70%</b> ，或小于其上相邻三个楼层侧向刚度平均值的 <b>80%</b> ；除顶层外，局部收进的水平向尺寸大于相邻下一层的 <b>25%</b>
竖向抗侧力构件不连续	竖向抗侧力构件（柱、抗震墙、抗震支撑）的内力由水平转换构件（梁、桁架等向下传递
楼层承载力突变	抗侧力结构的层间受剪承载力小于相邻上一楼层的 <b>80%</b>



$$K_i < 0.7K_{i+1}$$

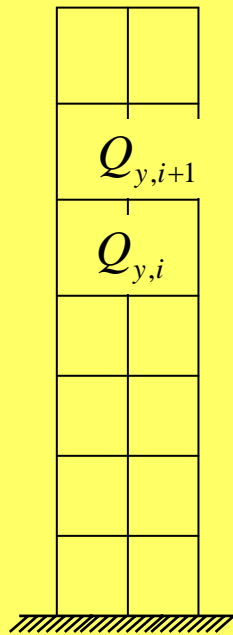
$$K_i < 0.8\left(\frac{K_{i+1} + K_{i+2} + K_{i+3}}{3}\right)$$



沿竖向的侧向刚度不规则（有柔软层）      竖向抗侧力构件不连续

## 竖向不规则的类型

不规则类型	定义
侧向刚度不规则	该层的侧向刚度小于相邻上一层的 <b>70%</b> ，或小于其上相邻三个楼层侧向刚度平均值的 <b>80%</b> ；除顶层外，局部收进的水平向尺寸大于相邻下一层的 <b>25%</b>
竖向抗侧力构件不连续	竖向抗侧力构件（柱、抗震墙、抗震支撑）的内力由水平转换构件（梁、桁架等向下传递）
楼层承载力突变	抗侧力结构的层间受剪承载力小于相邻上一楼层的 <b>80%</b>



$$Q_{y,i} < 0.8Q_{y,i+1}$$

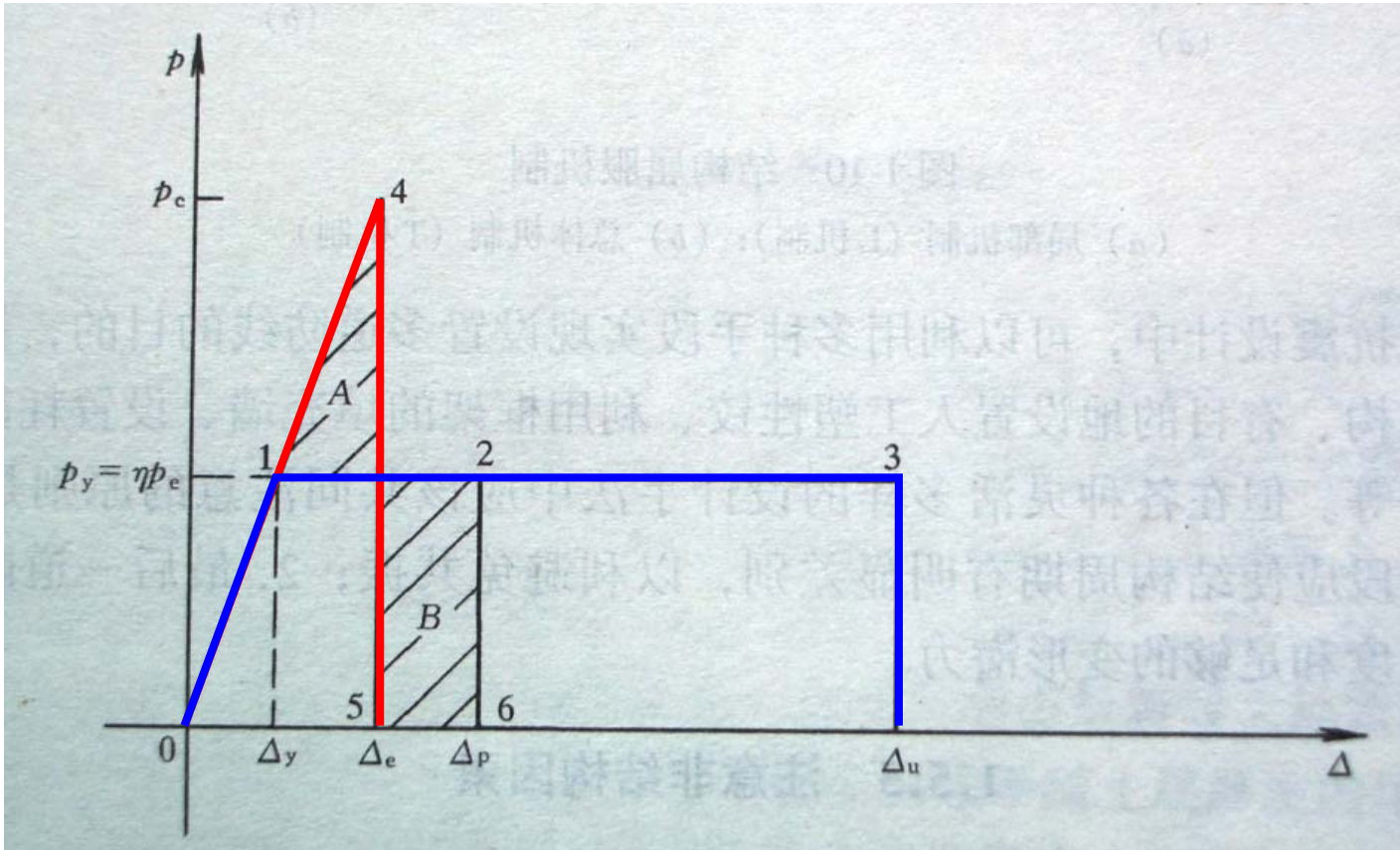
**严重不规则**是指体型复杂，多项不规则指标超过表中指标或某一项大大超过规定值，具有严重的抗震薄弱环节，将会导致地震破坏的严重后果者。

注：以上规定主要针对钢筋混凝土和钢结构的多层和高层建筑。

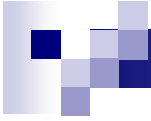
竖向抗侧力结构屈服抗剪强度不均匀  
(有薄弱层)



## 1.5.3 利用结构延性



设计中通过构造措施和截面设计尽量增加结构与构件的延性



结构的变形能力取决于组成结构的构件及其连接的延性水平。

规范对各类结构采取的抗震措施，基本上是提高各类结构构件的延性水平。

这些抗震措施是：

1. 采用水平向（圈梁）和竖向（构造柱、芯柱）混凝土构件，加强对砌体结构的约束，或采用配筋砌体；使砌体在发生裂缝后不致坍塌和散落，地震时不致丧失对重力荷载的承载能力；
2. 避免混凝土结构的脆性破坏（包括混凝土压碎、构件剪切破坏、钢筋同混凝土粘结破坏）先于钢筋的屈服；
3. 避免钢结构构件的整体和局部失稳，保证节点焊接部位（焊缝和母材）在地震时不致开裂。

## 1.5.4 设置多道防线

如“强柱弱梁”型框架结构有两道抗震防线：

- 一、从结构弹性到部分梁出现塑性铰；
- 二、从梁塑性铰发生较大转动到柱根破坏。

在两道防线之间，大量地震输入能量被结构的弹塑性变形所消耗。

**设置手段：**采用超静定结构、设置人工塑性铰、利用填充墙、设置耗能元件或装置等


**设置原则：**

- 1、不同的设防阶段应使结构周期有明显差别，避免共振；
- 2、最后一道防线要具备一定的强度和足够的变形潜力。



## 1.5.5 注意非结构因素

- 非结构构件对结构的影响：
  - 1、影响主体结构动力特性（周期、阻尼等）；
  - 2、地震时会先期破坏。
  
- 设计中应注意的问题：
  - 1、与主体结构的有效连接方式；
  - 2、分析及估计其对主体结构可能带来的影响，并采取一定的措施。



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。

1. 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或砸坏重要设备。
2. 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。
3. 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。
4. 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。



# 思考题

- 1.1 震级和烈度有什么区别和联系？
- 1.2 如何理解不同类型建筑的抗震设防？
- 1.3 怎样理解小震、中震与大震？
- 1.4 概念设计、抗震计算、构造措施三者之间的关系是什么？
- 1.5 试讨论结构延性与结构抗震的内在联系。