

## 目录

第一章 地震学的研究范围和历史 .....	2
第二章 地震波 .....	3
第三章 地震波传播理论 .....	5
第四章 地球内部的结构 .....	9
第五章 地震机制 .....	11
第六章 地震仪及地震基本参数的测定 .....	16
第七章 地震预报 .....	18
第八章 宏观地震学 .....	19
第九章 勘探地震学 .....	22
第十章 海啸 .....	23
第十一章 讨论课+电影 .....	25

# 第一章 地震学的研究范围和历史

## 一、 板书

1. **死亡大于 20 万的地震全球 6 次，中国 4 次。**（中国人口多）

2. 按**震源深度**对天然地震分类：

1) **浅源地震**：震源深度小于 **60 公里**；

2) **中源地震**：震源深度在 **60~300 公里**；

3) **深源地震**：震源深度大于 **300 公里**。

3. 按**震中距**对天然地震分类：

1) **地方震**：震中距小于 **100 公里**；

2) **近震**：小于 **1000 公里**；

3) **远震**：大于 **1000 公里**。

4. **中强震**：4.5~6M（震级）的地震

按**震级**对天然地震分类：

1) 弱震： $M < 3$

2) 有感地震： $3 \leq M \leq 4.5$  的地震

3) 中强震： $4.5 < M < 6$  的地震。

4) 强震： $M \geq 6$  的地震。其中  $M \geq 8$  的地震又称为巨大地震。

5. **1755 年 里斯本大地震**（欧洲的地震研究开始从神学的统治下解放出来）

## 二、 强调的重点/往年题里出现的

1. 上世纪约有 200 万人死于地震，预计 21 世纪将有约 1500 万人死于地震。

2. 地震学作为一门独立的学科登上现代科学的舞台，是**地震仪**出现并且广泛使用。

3. 1971 年成立了国家地震局，系统地开展地震的预测和预防工作。

## 三、 补充

1. 补充了解板书第 5 条：1755 年 11 月 1 日，万圣节，正当虔诚的教徒前往教堂“与上帝同在”的时候，里斯本发生强烈地震。这次迄今为止欧洲最大的地震使市遭受毁灭性打击，70000 人死亡。地震引起海啸浪高 30 米，海水进退十余次，沿岸城市洗劫一空。里斯本大地震后，上帝管理地震的能力受到普遍怀疑，**欧洲的地震研究开始从神学的统治下解放出来。**

## 第二章 地震波

### 2.1 波的性质简述

#### 1. 机械波产生的条件

- (1) 波源：产生机械振动的振源
- (2) 弹性介质：传播机械振动的介质

#### 2. 横波和纵波：

- (1) 横波：质点的振动方向和波的传播方向**垂直**。(固体)
- (2) 纵波：质点的振动方向和波的传播方向**平行**。(固体、液体、气体)

3. 当**波源作简谐振动**时，介质中各个质点也作简谐振动，这时的波动称为**简谐波(正弦波或余弦波)**。

#### 4.

- (1) 波阵面：在波动过程中，把振动相位相同的点连成的面(简称波面)。
- (2) 波前：在任何时刻，波面有无数多个，最前方的波面即是波前。**波前只有一个**。
- (3) 波线：沿波的传播方向作的一些**带箭头**的线。波线的指向表示波的传播方向。

#### 5. 平面波、柱面波、球面波

#### 6. 波长和频率：

- (1) 波长：在同一条波线上，相差为  $2\pi$  的质点间的距离。
- (2) 周期：传播一个波长距离所用的时间。
- (3) 频率：周期的倒数。

注：频率和周期只决定于**波源**，和介质种类无关。

### 2.2 地震波

#### 1. 介质：弹性、脆性、塑性

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$$

#### 2. 地球介质通常可以认为是均匀和连续的

#### 3. 弹性常量：

- (1) 杨氏模量(E)

- (2) 泊松比( $\nu$ )
- (3) 体变模量( $K$ )
- (4) 切变模量( $\mu$ )

注：上述的  $E$ 、 $\nu$ 、 $K$ 、 $\mu$  四个弹性常数是由物质本身性质决定的。在这四个弹性常数中，只有两个是独立的

4. 纵波速度比横波速度大（一般为： $v_p=1.732v_s$ ）约为根号 3

### 2.3 地震波的类型

1. 体波：体波是指可以在地球内部三维空间中向任何方向传播的波，包括 P 波和 S 波。

2. p 波和 s 波的主要差异：

- (1) P 波的传播速度比 S 波快，地震图上先出现 P 波。
- (2) P 波和 S 波的质点振动（偏振）方向相互垂直。
- (3) 一般情况下，三分量地震图上 P 波的垂直分量相对较强，S 波的水平分量相对较强。
- (4) S 波的低频成分比 P 波丰富。
- (5) 天然地震的震源破裂通常剪切破裂和剪切错动为主，震源向外辐射的 S 波的能量比 P 波的强。
- (6) P 波通过时，质元无转动运动，而有体积变化，P 波是一种无旋波。S 波通过时，质元有转动，而无体积变化，S 波一种无散的等容波。

3. 面波：

- (1) 面波是沿地球表面传播的
- (2) 在地震记录上，面波的振幅一般比体波大。
- (3) 具有能量分布，频散特征等性质

4. 地球自由振荡：影响自由振荡周期的因素：

- (1) 自转
- (2) 横向非均匀性

5. 脉动

### 2.4 地震波的波序

1. 地震波次序：一般到序：P 波、S 波、勒夫面波、瑞利面波、地震尾波

# 第三章 地震波传播理论

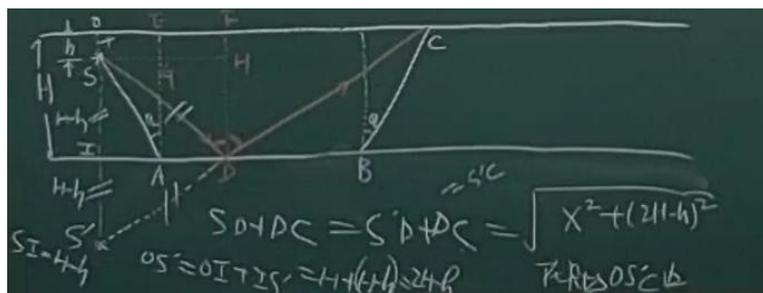
## 一、板书

1. 上讲回顾：对于一个地下的震源和一个地上观测站，震源能发射 P 波和 S 波，那观测站能接收到几个信号？

2. 能接受到 3 个/4 个。纯 P 波，纯 S 波，P-S 波（如果速度不一样，能分辨出来两种：P 转 S，S 转 P）。

3. 解释了一下震源在地表时首波的走时方程的推导（初中三角函数）。

4. 解释了一下震源不在地表时反射波的走时方程的推导：核心要点是取反射波震源关于地壳与深层结构之间那个边界的对称点，由此把反射波的折线段变为直线段进行计算。



5. 走时表中，震中距越大体波用时越短（线越变越平），即地震波深度越大速度越大

6. PcPS 一定不存在；ScSp 有可能存在

## 二、重点内容

1. 球面的斯涅耳定律： $r \sin x_i / V_i$

层状介质的射线参数： $\sin x_i / V_i = \sin x_j / V_j = p$ （量纲：速度的倒数，即时间除以长度）

故：球状介质的射线参数： $p$  的量纲为  $s$ （秒），因为乘了  $r$ （要考！）。

2. 地震波的走时方程和走时曲线（老师：本节课重点！）。

(1) 震源在地表（是最简化的情况）。

① 直达波的走时方程（最简单）： $T = x/V$

1) 图像：射线

2) 截距：0. 从原点出发。

3) 斜率： $1/V$

② 反射波的走时方程（简单）： $T=(2/V)*((h^2+(X/2)^2)*\text{sqrt})$

- 1) 图像：曲线
- 2) 截距： $t(0)=2H/V$
- 3) 渐近线： $1/V$

③ 首波（临界角入射、临界角出射）的走时方程：

### ③首波的走时方程

走时方程： $T-X$  关系

$$T(X) = \frac{2h}{V_1 \cos(\theta_c)} + \frac{X - 2h \tan(\theta_c)}{V_2}$$

for  $X > X_c$

where,  $X_c = 2h \tan(\theta_c)$

$$\frac{dT}{dX} = \frac{1}{V_2}$$

$$T_{Fn} = \frac{2H - h}{V_1 \cos i_c} + \frac{X - (2H - h) \tan i_c}{V_2}$$

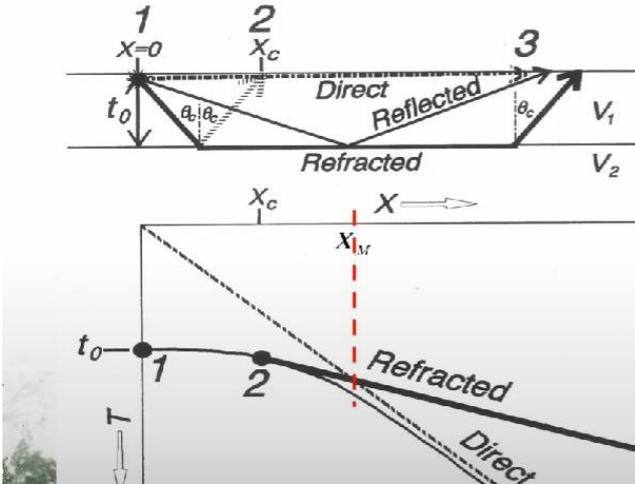
$$T_{Sn} = \frac{2H - h}{V_1 \cos i_c} + \frac{X - (2H - h) \tan i_c}{V_2}$$

斜率： $1/V_2$ ，原因是  $X$  的系数是  $V_2$ 。

$X_c$  是临界震中距：如果  $X$  小于  $X_c$  则不可能存在首波（反射盲区了）。

④ 由此可见：**首波和直达波的速度大小关系。**

## 直达波、反射波和首波



### 练习 3:

证明：当震中距 (X) 大于一定值 ( $X_M$ ) 时，首波将最先到达；并求出  $X_M$ 。

且  $x_M$  可求：联立①③即可。

(2) 首波不在地表（上一种情况的进阶版）。

- ① （开始区分纵波和横波， $\alpha$  为纵波， $\beta$  为横波；由于(1)中情况过于简单故未区分，虽然理论上也是应该区分的）



北京大学

地辰似比



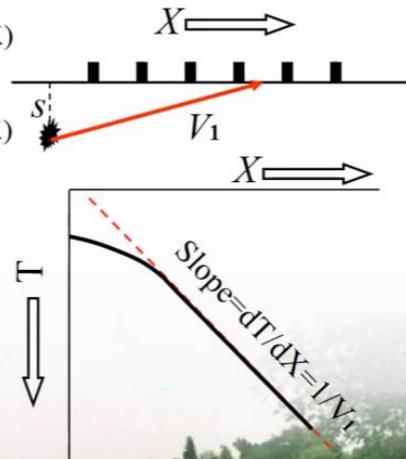
①直达P波和直达S波震相，分别记为Pg和Sg  
容易导出直达波的走时方程为：

$$T_P = \frac{\sqrt{X^2 + h^2}}{\alpha_1} \approx \frac{X}{\alpha_1} \quad (\text{当 } X \gg h \text{ 近似成立})$$

$$T_S = \frac{\sqrt{X^2 + h^2}}{\beta_1} \approx \frac{X}{\beta_1} \quad (\text{当 } X \gg h \text{ 近似成立})$$

$$X = \frac{\alpha\beta}{(\alpha - \beta)} \cdot (T_s - T_p) \approx 8 \text{ km/s} \cdot (T_s - T_p)$$

估算震中距



8km/s 是怎么算出来的？答：一般讲，纵波速度为 8，横波速度为 4，故约等于 8 倍  $\delta T$ 。

举例：唐山大地震前，北京一位院士检测到 p 波来了、s 波来了，两波间相隔 20s。于是掐指一算， $8 \cdot 20 = 160 \text{ km}$ ，正好可以覆盖到唐山的位置。

② 反射波：

## ②地壳底面反射波震相，分别记为PmP和SmS

反射波的走时方程为：

$$T_{PmP} = \frac{\sqrt{X^2 + (2H - h)^2}}{\alpha_1} \approx \frac{X}{\alpha_1} \quad (\text{当 } X \gg 2H - h)$$

$$T_{SmS} = \frac{\sqrt{X^2 + (2H - h)^2}}{\beta_1} \approx \frac{X}{\beta_1} \quad (\text{当 } X \gg 2H - h)$$

我们容易看出，反射波走时曲线在震中距较大的地方将趋近于直达波的走时曲线。

3. 北美地盾模型：高速层

4. 近震体波震相：

- ① PmP：纵波上去，纵波下来
- ② SmS：横波上去，横波下来
- ③ PmS：纵波上去，横波下来
- ④ Smp：横波上去，纵波下来

5. 远震体波震相（字母含义）：——考试要求：可以由符号名称画出图线，也可以根据图线写出其名称符号

P：地幔中的纵波（往下走）

S：地幔中的横波（往下走 or 反方向走）

p：往上走的纵波

s：往上走的横波

K：在外核中走的一段纵波（外核是液态，液态气态无法传播横波，所以外核中无横波）

I：内核中的纵波

J：内核中的横波

c：外核边界的外反射（反射波）

i：内核边界的外反射（反射波）

# 第四章 地球内部的结构

## 一、板书内容

1. 1522 年地球是圆的概念才确立下来
2. 大陆地区地壳平均厚度为 35 公里，但横向很不均匀
3. 地球内部结构发现历程

地壳	1909	发现首波
外核	1906	发现影区
内核	1936	在影区发现地震信号

4. 勒夫波在大陆地壳会发生明显频散现象（图像上更加多变），但在大洋地壳中频散较弱。
5. 地幔又分为三个次级层，410km 和 670km，分别为上地幔、过渡层和下地幔。
6. 为什么 CMB（核幔边界）叫 G 面（古登堡界面）  
G 采用了反射信号；G 使用了更多地震信息；G 精确计算出地核（外液核）深度为 2900km

## 二、重点

### 第一节 地球内部结构的发现

1. 探索的历史
2. 地壳的探究

- (1) 一个误区：地壳仅仅指地球的最外固体层
- (2) 莫霍界面（M 面）：研究发现有些 P 波和 S 波比设想的沿地球表面传播的波要晚一些，于是假定存在一个反射面，可以把地震波反射上来（发现存在首波和后续波）
- (3) 大洋和大陆地壳的区别：
  - ①实践观察，通过大陆和大洋的地震波波形明显不一样。
  - ②根据不同波的特点，采用面波（L 波）而非体波更加合适，因为其携带着更多地表信息

③为控制变量，要使用纯路径波（只经过海洋或只经过陆地的波）

### 3. 地幔结构

(1) 地幔分为上地幔、过渡层及下地幔三个层区。

(2) 重力均衡现象要求上地幔要有可以沿水平方向流动的物质层，我们称其为软流层。软流层以上至地面（地壳在内）称为岩石层，岩石层内的物质不能沿水平方向流动。

(3) 地震波的速度是由介质的物质组成和温度共同决定的。

(4) 下地幔被认为是板块俯冲深度的终结层。下地幔的速度梯度较小，速度的变化也较为均匀。

(5) 由于地幔可以传播 S（剪切）波，地震学中通常视地幔为固体。

PS:测量地球内部结构最好的波形是反射波。

### 4. 液体核的发现

(1) 1906年 Oldham 发现了外核，1914年发现 CMB 面。

(2) P 波在进入 G 面后减速，S 波直接消失，说明为液态。

### 5. 内核的发现

(1) 发现地核内部还发现了发射信号，说明最内部还有固体结构。

## 第二节 地球内部圈层结构：地壳、地幔、地核（非重点）

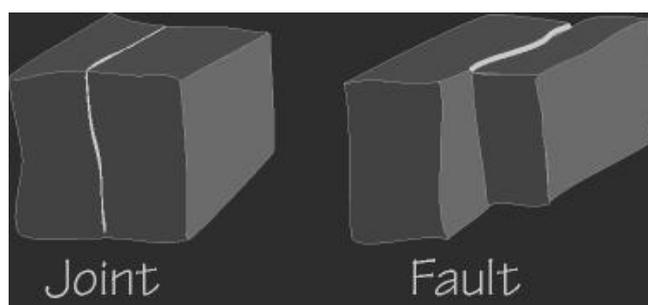
### 第三节 反演问题（非重点）

## 第五章 地震机制

### 一、知识点

1. 地球深层构造力造成地球外层大规模变形是地震的根源。沿地质断裂的突然滑移则是地震波被激发进而能量辐射的直接原因。

2. 断层（fault）是沿破裂面两侧岩块发生显著相对位移的断裂构造，岩层断裂错开的面称断层面，断崖就是暴露的断层面。（关于地震断层，你只要知道**断层是因为相对**



**运动。**两个力把一块石头扯成两块引发地震，就像两个人扯一本书把书扯烂）

3. 受力状态下，岩石发生变形。冷的脆性岩石容易发生脆性破裂（断层），从而导致天然地震。地球深部的岩石由于温度较高，在受力状态下岩石容易发生弯曲或流动，岩石变形的类型主要依赖于：组合成份、温度、压力、应变率

4. 断层滑动开始的地方叫震源，震中是震源在地表的垂直投影。

（地震是从一个面（断层）开始的。**分析研究地震学反演问题的时候选 6-6.5 级的地震。**地震太大则**破裂面不能看成一个点**，地震太小则**信号弱**。）

### 5. 断层术语

(1) 断层上盘/下盘，倾角：断层面与地球表面的夹角较倾角，范围为 0—90 度

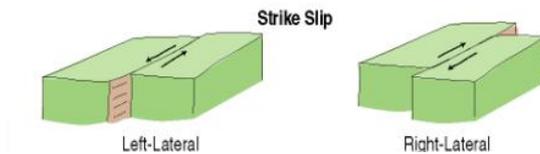
(2) 走向：站在断层的地表面上，上盘在你的正右方，你所面对的方向为走向方向。断层面和地表的交线的走向方向与正北的顺时针夹角叫断层的走向。范围为：0—360 度。

(3) 滑移：描述断层的上盘相对于下盘滑动的方向

(4) 断层类型：取决于断层的滑移方向，正断层，逆断层，走滑断层（左右旋），斜滑断层

6. 正断层就是上盘在下盘上面，逆断层就是下盘在上盘上面，走滑断层就是上盘和下盘一个高度，斜滑断层就是两个断层既有高度差又有水平差

7. 走滑断层左右旋如何判断：



关于断层走向的问题：



如图所示，zkc 面向西边，手里拿着两块“石头”，而我们面朝的方向是东边。

首先明确什么是上盘。顾名思义，高的那个是上盘。

判断走向的时候，我们绕着这两块石头走，找到一个视角，这个视角满足：上盘在右边

下盘在左边（图里俩石头就满足高的在右边低的在左边），然后你面向的方向就是朝向。

比如图里朝向就是东边。

6. 破裂扩展速率不超过 P 波传播速度。

7. 关于应力。应力就是  $F/S$ ，就是压强。垂直于面的是正应力，平行的是剪切应力。

当物质受到应力作用时，其反应有不同的形式：

①变形（改变形状和体积）— 弹性行为。应力撤销时介质恢复到初始状态（塑性形变不能恢复到初始状态）。

（摩天大楼的设计都允许其上部能够作一定程度的来回摆动，防止断裂）

②流动 — 粘滞行为。应力撤销时，介质不能恢复到先前的状态，从而产生永久形变。

③断裂 — 脆性行为。介质不能恢复到先前的状态，从而产生永久形变。

8. 应变 描述介质受应力后介质产生的形变。

9. 地震能量转化率在 7%-15%（笔者注：应变能（石头的能量）转化为地震波的能量）

效率，损失的能量大部分以热能形式散失)

10. 当应力超过一定的限度时，断层开始破裂并释放应力。这就是主地震。(第一下断带来的震动就是“主震”，后面那都是“余震”。)

11. 关于弹性回跳原理。(通俗的解释就是俩石头突然断了以后会挪来挪去调整合适的位置。)

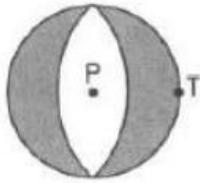
- ①当断层周围的介质释放储藏的弹性能的时候，断层介质作断裂回跳。
- ②弹性回跳不是一次性全面完成的，未完成回跳的地方应力继续增加。
- ③陆续完成的回跳和调整形成一系列余震。

12. 震源机制解是什么?(沙滩球表示什么?)

- ①地震断层作用的图形速记(走向，倾角，滑移)
- ②震源辐射花样的震源球(下半球)在平面圆上的投影
- ③地震P波初动方向的表示(四象限分布)

(没懂没关系，这块他讲的很快应该不是重点)

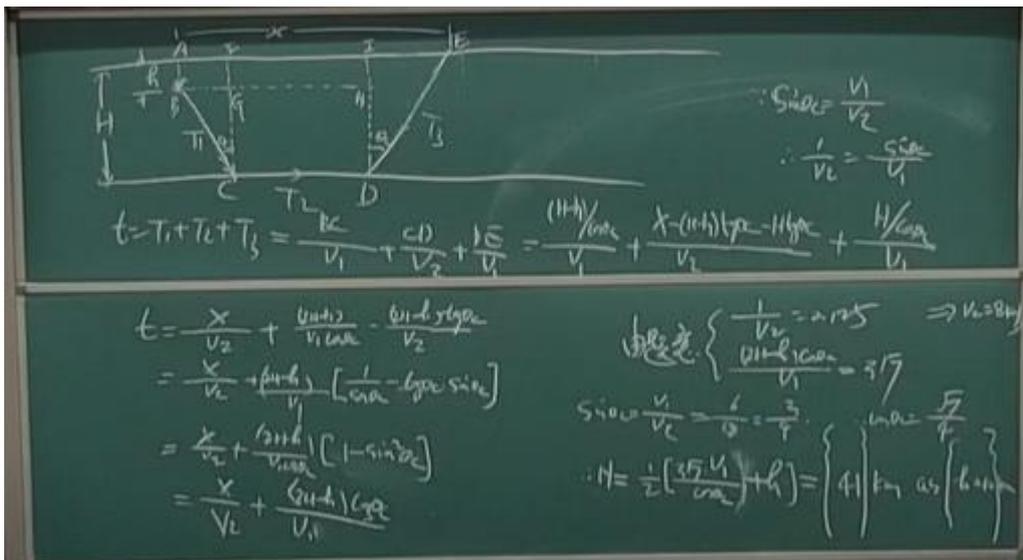
④震源机制解可以用“震源球”表示，这个震源球就是个“沙滩球”，长这样：



黑的表示拉张(字母一般是D)，白的表示压缩(字母一般是C)，需要背一下64页图三这种断层对应沙滩球的黑白分布。

## 二、板书

板书就讲了计算题。我截图在下面，但我觉得没那么清楚：



笔记:

简单来说是一个胡不归问题 (好像叫这个)。这个长方形是地壳, BC 这条边是地壳底部 (地幔), OB 和 BC 速度不一样, 设上面的速度是  $V_1$ , 下面的是  $V_2$ 。

1. 推导双层地球模型中, 震源在下地壳内时的首波走时方程。

\* 2. 一个震源深度为 10 km 的地震, 多个区域台站记到的 (Pn) 波走时直线的斜率为 0.125 s/km, 截距为  $3\sqrt{7}$  s (约 8 s), 若均匀地壳内 P 波速度已知为 6 km/s, 试估计地幔顶部的 P 波速度和地壳厚度。

\* 3. 假设有  $n$  个平行层, 每层的介质都是均匀和各向同性的, 各层的厚度分别是  $h_1, h_2, \dots, h_n$ , 速度分别为  $v_1, v_2, \dots, v_n$ , 震源在地表, 接受也在地表,  $X$  为震中距,  $i_k$  为第  $k$  层的入射角。证明沿着最下层传播的首波的走时方程为:  $t(X) = \frac{X}{v_n} + \sum_{k=1}^{n-1} \frac{2h_k \cos i_k}{v_k}$ 。

其中  $\sin \theta_c = \frac{V_1}{V_2}$  Snell 定律

$O \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$

$$t = \frac{OB+CD}{V_1} + \frac{BC}{V_2}$$

$$= \frac{\frac{H-h}{\cos \theta_c} + \frac{H}{\cos \theta_c}}{V_1} + \frac{X - (H-h) \tan \theta_c - H \tan \theta_c}{V_2}$$

$$= \frac{X}{V_2} + \frac{2H-h}{V_1} \cos \theta_c$$

截距 (常数项)  $= \frac{2H-h}{V_1 \cos \theta_c} - \frac{(2H-h) \tan \theta_c}{V_2}$

$$= \frac{2H-h}{V_1} \left( \frac{1}{\cos \theta_c} - \sin \theta_c \tan \theta_c \right)$$

$$= \frac{2H-h}{V_1} \cdot \frac{1 - \sin^2 \theta_c}{\cos \theta_c}$$

$$= \frac{2H-h}{V_1} \cos \theta_c$$

斜率  $\frac{1}{V_2} = 0.125$

截距  $\frac{2H-h}{V_1} \cos \theta_c = 3\sqrt{7}$

$\sin \theta_c = \frac{V_1}{V_2}$

$V_1 = 6$

$\Rightarrow H = \frac{1}{2}(72+h) = \begin{cases} 41, & \text{若 } h=10 \text{ (本题)} \\ 40, & \text{若 } h=8 \text{ (教学网作业)} \end{cases}$

其中  $H$  表示地壳厚度 (FC 长度),  $h$  表示震源深度 (AO 长度),  $X$  表示震中距 (图里有标)

思路: 解方程。

第一步: 把  $t$  的表达式写出来,  $t$  分三段,  $OB/V_1$ ,  $BC/V_1$ ,  $CD/V_1$ , 这是三段分别的时间, 加起来。

第二步: 对照系数。

斜率  $\frac{1}{v_2} = 0.125$   
(截距)  $\frac{2H-h}{v_1} \cos \theta_c = 3\sqrt{7}$

然后代入数据解方程。最后算出来H的大小。

我猜 zkc 老师数都不会改所以可以记一下数。

## 上节回顾：震源机制

断层识别：正断层与逆断层，以及断层面的识别

## 第四节 板块构造学说（地球科学中的革命）

### 1. 三部曲：

#### (1) 大陆漂移

17世纪前，地质现象的解释是灾变说（质变）；1785年均变论（量变）；灾变是更重要更主要的因素。

证据：形状复杂的板块拟合、化石、岩石（两岸岩石相似，两岸地质有连续性）、山脉（两岸有连续性）、古气候数据

但是垂向运动说也面临一定的困境。

#### (2) 海底扩张

地磁条带和地磁极性反转（不会考），洋中脊是扩张的；海底扩张假说的诞生（大陆不是穿过海洋漂移，而是随着海洋一起漂移）；海洋地壳的年龄比大陆地壳小得多

#### (3) 板块构造

板块包括地壳、地幔上部比较坚硬的岩石部分；七大板块；板块的边界（有一定宽界的带，所有板块都没有清晰的边界，相互作用不清楚）：扩散边界（新地壳产生）、汇聚边界（消减带）、转换边界（由于扩散边界的扩散速度差异而产生的走滑断层，板块之间在此相互水平作用）；三种碰撞：陆陆、洋洋、洋陆碰撞。

### 2. 板块理论的补充——地幔热柱

（尤其是夏威夷附近）夏威夷这个地方，500万年后要再出一个岛，可能会在哪个地方？肯定会在东南（不能理解就死记住），板块西北走，热柱不断冒，就会产生新的岛。

### 3. 板块驱动力问题

（板块运动主动还是被动，现在还没解决，问一个问题，板块运动是主动还是被动，选“主

动”错。选“被动”也错，选“有的被动，有的主动”也错，这个问题至今没有解决，正确答案是“不清楚”)

4. **断层与板块：**扩散边界-正断层、汇聚边界-逆断层、走滑边界-走滑断层。
5. **板块理论的地震学证据：**天然地震的空间位置和板块边界近似一致、震源机制解的证据（扩散边界-正断层、汇聚边界-逆断层、走滑边界-走滑断层）、深部速度结构的证据（在地下深度有一个低速层——软流层，为板块运动提供物理条件（因为比较软））
6. **板块理论的问题**

#### 第五节 全球的地震活动概括

1. 两极的地震比较少
2. 地震的全球分布不均匀，只在很少极个别国家发生
3. 全球性地震带有三个：环太平洋地震带（最大的地震带）、阿尔卑斯-喜马拉雅地震带（欧亚地震带）、海岭（大洋中脊）地震带
4. **为什么两极地震比较少：**
  - (1) 极地地区缺乏活动性的板块活动。地质活动比较稳定。
  - (2) 南极是一个整体板块，断层、裂谷比较少。北极是欧亚板块和北美板块共同组成的，但是在北极这个地方，这两个板块交汇的地方比较少，交汇得也比较稳定。
  - (3) 另外，地震和地球的自转也有关系，地球自转离心力最大的地方是赤道附近，所以赤道附近岩浆活动和板块张力都比其他地区强烈，所以地震也更活跃，而两极地区受到自转的影响较少，岩浆活动和板块张力都要弱一些。
  - (4) 同时两极不是绝对没有地震，而是相对较少。

## 第六章 地震仪及地震基本参数的测定

### 一、论述题：

#### (一) 为什么叫古登堡面（论述题要求多写）：

1. 1906 赫曼边界发现，1914 年古登堡在原有基础上发掘，该界面最终命名为古登堡面。

2. 古登堡使用了反射波的震相，而埃尔德谟没有。
3. 古登堡用了更为实际与丰富的地震资料，而埃尔德谟没有较多的实际资料支撑
4. 古登堡的测算精度更高。古登堡算出 2900 公里，计算器算出 2891 公里，差了不到十公里。埃尔德谟说不超过地球的 0.4 倍，估算的并不精确

### (二) 两极为什么地震少：

5. 两极缺乏活跃的板块构造。北极由欧亚板块，美洲板块构成，二者相互作用少，没有交织在一起。内部相对稳定，不容易发生地震，地震比较少。

6. 地球自转，赤道离心力强，内部岩浆有向外的张力，张力强使得板块容易发生运动。也间接说明了两极为什么地震少。

## 二. 板书：

1. **92%的地震在地壳发生**——跟随解释：其余发生在地幔上部，地幔下部物质可流动，不易发生地震

2. **震级  $M(I)$**  取最大振幅取以 10 为底的对数，振幅以微米为单位，(以距离震中 100km 为标准测量区)。

3. 用**地震矩**描述地震大小的好处：

(1) 有物理意义

(2) 不会出现饱和现象

## 三、强调：

1. 候风地动仪是东汉张衡公元 132 创制

2. **里氏震级缺点**：用里氏震级的话，4 级 1cm，6 级摆动幅度 1m，8 级更大，说明里氏震级并不是适合测量所有震级的。里氏震级本来是测南加州地方震设立的震级，最大测量到 6.5 左右。就像汶川地震实际是面波震级 8 级，而不是里氏震级 8 级（震动幅度蟑螂都活不了）

3. **震级单位**：

(1)  **$M_s$  震级（面波）**：适用于中远距离和大地震，但不适用于深源地震。

(2)  **$m_b$  震级（体波）**：适用于近震和深源地震，但对于大地震可能低估能量释放。

(3)  **$M_w$  震级（地震矩）**：广泛适用于各种地震，是最为准确和普遍认可

的震级标度。

（以下知识点只是讲解，并未强调：地震仪，地震台，地震定位，震级测定）

## 第七章 地震预报

一、房屋的大梁不会自由落体，而是有大量的声音和残渣作为前兆出现，是一个很慢的过程。

二、地震的发生是有固有概率的（与是否有前兆无关，只是每件事情都有发生概率）。

三、全世界只有中国这一个国家拥有地震局。

四、地震预测不是地震预报，地震预测是地震科学工作者研究的，地震预报是一个社会概念，而不是一个科学概念。

五、地震预报三要素：地震发生时间、地点、强度，依赖于前兆信息，可靠的地震预报方法必须具有可重复性、适用于任何破坏性地震

六、地震预报三个要素中，时间是最难预报的。

七、在一个构造活动区里，断层错动并不是在各处都同时发生，而是有时在这里，有时在那里。

八、把一些有关地震前兆的变化或者现象识别并且辨认出来，就能够对地震的预报做出一些解释。

九、地震预报为什么不准确：

1. 地震是高度非线性的过程：至今地震学家仍未探索出一种确定性的地震前兆

2. 地震的过程非常复杂：，真实的地震过程可能相当复杂，地震的观测是间接的，各种因素相互交错

十、所有的地震前兆是地震发生的既不充分也不必要条件。

十一、海城地震的预报过程：根据这个地区许多小地震的发生，预测 24 小时内要有一次强烈地震发生。并且在前两三年就进行了长期预报：在一到两年内会发生 5-6 级地震，容错度大。前两天井水和动物异常明显，进行了短期预报。在微震后发布了临震预报。

十二、地震预报一般由省、自治区级人民政府发布：地震是地方性的，没必要由总理级别的领导发布，与地震的衰减有关。

# 第八章 宏观地震学

## 第一节 烈度和地震烈度区划

宏观与微观的差别:

人的肉体器官能感受到的, 墙倒屋塌、建筑物破坏、山河改观  
感觉不到, 需要仪器测出来

地震的影响因素:

地震大小、人口密集程度、发生在白天黑夜、建筑有没有抗震设计、破坏积累效应、疲劳效应、距离(传播)效应

震级:

$$M = \log A$$

其中A为标准地震仪距离震中 100km 记录的最大水平地动位移 (也就是振幅)

震级与能量的关系:

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

倍数关系: 震级差 2 级,  $2 \times 1.5 = 3$ ,  $10^3 = 1000$ , 能量差 1000 倍,  $10^2 = 100$ , 故振幅差 100 倍 (这东西真的是必考, 而且各位一定区分 100 和 1000)

地震烈度:

地震烈度, 衡量地震的剧烈程度、实际破坏程度

震级大、震中距小, 会使得烈度大

影响因素还有震源深度、地质构造、地基条件

震级和烈度要严格区分, 震级只有一个, 烈度可以有好多, 比如震中距不一样就不一样

往年题: 震级与烈度的区别

地震震级反映一次地震本身大小的等级, 而烈度是一次地震对某一地区的影响和破坏程度;  
一次地震震级只有一个, 而烈度可能因为地点不同有多个; 震级是客观存在的, 而烈度是人为规定的.....

烈度表:

按照现象做烈度分级, 十二度表比较普遍, 我国也是

地震烈度区划:

根据各个地方的破坏情况总结抗震经验, 进行灾害评估

把国家版图哪些地方容易受地震威胁哪些地方不容易, 做一个区域划分

建筑物的抗震设计通常是在一定地震烈度(宏观烈度或地面运动物理参数)的前提下进行。

这个烈度的评定需要进行特别的调查。

烈度定量: 单纯的墙倒屋塌什么的不够, 要加一点物理参数, 比如位移、加速度什么的

基本烈度: (往年题里出现过好几回) 50 年内超过的概率是 10%, 也就是 475 年一遇, 设计

### 重要设施要考虑

设防烈度：国家给每个区域一个烈度，可以按区划图上的值，或者按照专门的编制  
设防烈度 6 度以上的建筑必须要抗震设计，以下就不用

## 第二节 地震的宏观现象和宏观调查

现象：宏观，微观

宏观现象分为原生、次生

地震宏观调查就是在地震现场对人所能直接感觉到的地震现象包括地震所造成的破坏和影响所进行的实地调查。

## 第三节 决定强地面震动的因素

地面运动的一般特征的衡量：

地面运动最大加速度

地面运动的周期（这个可能会导致共振）

强震的持续时间

盆地效应和盆地边缘效应：左边来右边先倒（原图是中间），右边来左边先倒，直达波和反射波叠加导致

基岩和淤泥的区别：

基岩上地震动幅值小、持续短、震害轻。（比如建在基岩上的毛主席像没倒）

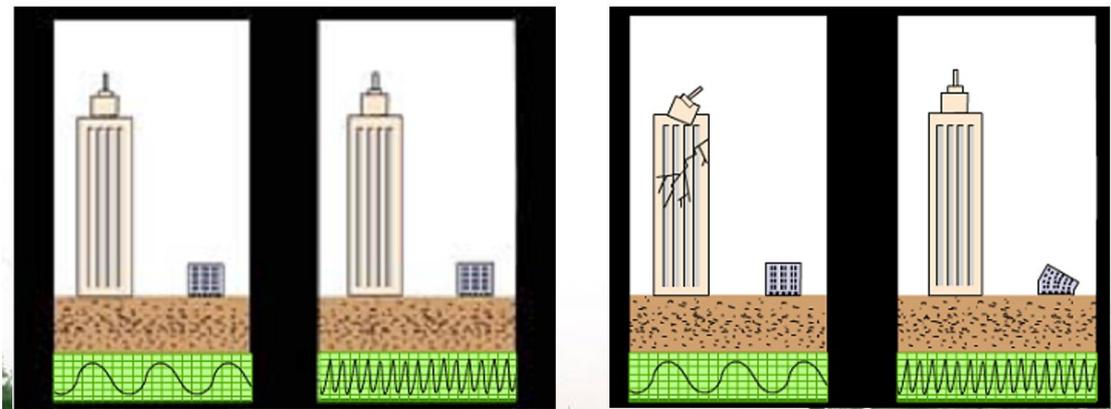
淤泥和填充地则放大地震波，像震动的果冻碗一样。能量释放不出去

墨西哥城地震拉丁美洲塔没有倒：因为没共振+建材好（这个 ppt 上标红了，但是不排除是因为背景颜色是绿的）

面波和体波：

面波比体波衰减慢、振幅大、传播远（这仨其实是一个意思）、周期长。建筑物破坏主要由面波造成。

传播远的原因：体波的面分布在球面上，平方衰减；面波分布在一个圆上，一次方衰减  
面波与体波的不同效果（由于周期不同）



为什么现在地震多了？一方面，面波衰减慢、振幅大、传播远、周期长，另一方面，现在城

镇化提高，人住高的建筑物，更容易感知面波（又是“不要求会”，但是这看起来很像考题，而且重复了好几遍）

（接下来这段反复重复，作业、往年题里面也出现过，看起来是考点）

烈度相同，远近（大小）的区别：

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。反之亦然，大远伤高，小近伤低（这是我自己总结的）。

但是烈度是综合的结果，所以在同样烈度的情况下（比如同样是六度区），大地震会远，小地震会近。

（我猜测这里有个机理，就是大地震→远→以面波为主→伤高层，但是不知道为什么老师一直没有这样讲）

地震的破坏作用（震害现象）：

直接灾害：

由地震的**原生现象**如地震断层错动，以及地震波引起的强烈**地面振动**所造成的灾害。主要有：地面破坏。如地面裂缝、错动、塌陷、喷水冒砂等；

**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；

**山体等自然物的破坏**。如山崩、滑坡等；

**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；

次生灾害：

**火灾、水灾、毒气泄漏、瘟疫**

工程结构破坏现象

## 第四节 工程地震学

工程地震学（engineering seismology）是地震学中为工程建设服务的一个分支，主要研究强烈地震运动及其效应。

工程地震学的研究主题：

- 1 地震宏观考察
- 2 强震观测
- 3 近场地面运动
- 4 地震区域划分和地震危险性分析
- 5 地震小区划

**6 近场地震学**（这里老师明确提到“要记住”，而且后面这一点也是反复重复）

传统地震学是远场的，现在研究的就是近场的了

远场地震学的优缺点：

优点：

1.可以近似把震源当成点源

2.远场可以将速度不同的各个信号（“震相”）分别研究

缺点：

高频信息衰减，丢失只有近场才有的高频信息

抗震设计：

尽可能避开：

产生强烈**地基失效**及其它加重震害地面效应的场地或地基，用于这类场地或地基的主要有：

活断层带、可能产生地震液化的砂层或强烈沉降的淤泥层，厚填土层，可能产生不均匀沉降的地基

结构与地基土石之间产生**共振**。也就是自振周期长的建筑物尽可能不建在深厚松软沉积之上，而刚性建筑物则不建于卓越周期短的地基上。

岩溶地区地下不深处有**大溶洞**，地震时可能**塌陷**的地区不宜作为场地。

避免以加重震害的**孤立突出地形**作为建筑场地。（比如说云南的一个山村在山脊上，地震波来了就一直在这放大）

反过来，好地方是：

对抗震有利的场地条件是：地形**开阔平坦**；基岩地区岩性**均一坚硬**或上有**较薄**的覆盖层；若为较厚的覆盖层则应较**密实**；地下水埋藏较深；崩塌、滑波泥石流等**不发育**。

## 第九章 勘探地震学

### 一、重点（仅黄底红字的内容，其他都是帮助理解的理论背景）（本课无板书）

1. 石油勘探主要有三大类方法：地质法（即地质勘探）、地球物理方法（简称物探，是一种间接探测的方法，但是它具有勘探范围深，效率高的优势）、钻探法。——地球物理方法（物探方法）分为四种：重力勘探、磁性勘探、电法勘探、地震勘探。**其中，地震勘探由于其精度高，分辨率高，探测深度大而应用最为广泛，占 97%。**

#### 2. 简史：

（1）勘探地震学起源以 1919 年德国明托普(Mintrop)获得折射初至法专利为标志，它第一次将该方法使用在盐丘的探测上。

**（2）勘探地震学最开始的应用具有偶然性（因为当时勘探的那个盐丘刚好符合折射）。起始于折射地震学，后来被反射地震学取代。**

#### （3）原因：

**①信噪比问题（反射的信噪比高，折射的信噪比低→信号容易被噪声淹没）**

**②复杂性的解释难度问题（折射波方法在地质条件复杂情况下容易导致解释错误）**

3. 地震速度：是勘探地震学当中非常重要的参数。分为：层速度、平均速度、均方根速度、叠加速度。**是使用在不同场合的概念**，不需要理解。

4. 静校正：把地震数据矫正到一个统一水平面上

## 二、补充

1. 相对于陆上勘探，海上勘探的在 50 年代发展起来，通过一系列技术的进步，尤其近年来海底电缆的应用也给海上勘探带来了非常好的机遇。（PPT 标红了但老师没讲）

2. 几何地震学是勘探地震学的理论基础。

3. 陆上勘探的震源又可分为炸药震源和非炸药震源。其中炸药震源一直以来为进行勘探的主要手段，其突出特点是具有很强的能量。

4. 地震勘探工作顺序

①地震采集工作；

②数据处理；

③地震资料的解释（核心中的核心；准确率低，到 30%已经很不错了，一般是 15%~25%）。

5. 勘探地震学 vs 天然地震学

①方法不同：主动源方法（人工制造地震）vs 被动源方法（观测天然地震）

②研究对象不同：小尺度（几百米到几百公里）vs 大尺度（几百到几千公里甚至全部地球）

③采集仪器也有所差别

# 第十章 海啸

一、板书：海啸每个浪之间的长度为 100 公里 传播速度 500 海里每小时

$$V = \sqrt{g * d}$$

（d 是水深）

二、重点：

1. 海啸在大洋中安全，倾角小，在岸边危险。所以船在海啸时开往海里。

2. 最大的海啸——2004 年印度洋海啸

3. 海啸通常由海底地震引起，地震发生时断层两侧的板块如果产生垂直方向的相对位移，则覆盖的海水也会产生垂直方向上的相对位移。最可能引发海啸的是断层破裂面在海底地表的逆冲断层地震。

4. 海啸产生的条件：深海区，地震震级要大，具备开阔并逐渐变浅的海岸条件。

5. 海啸的特点：是一种特殊的浅水波（波长比水深大得多），长波长，能量大，传播速度快

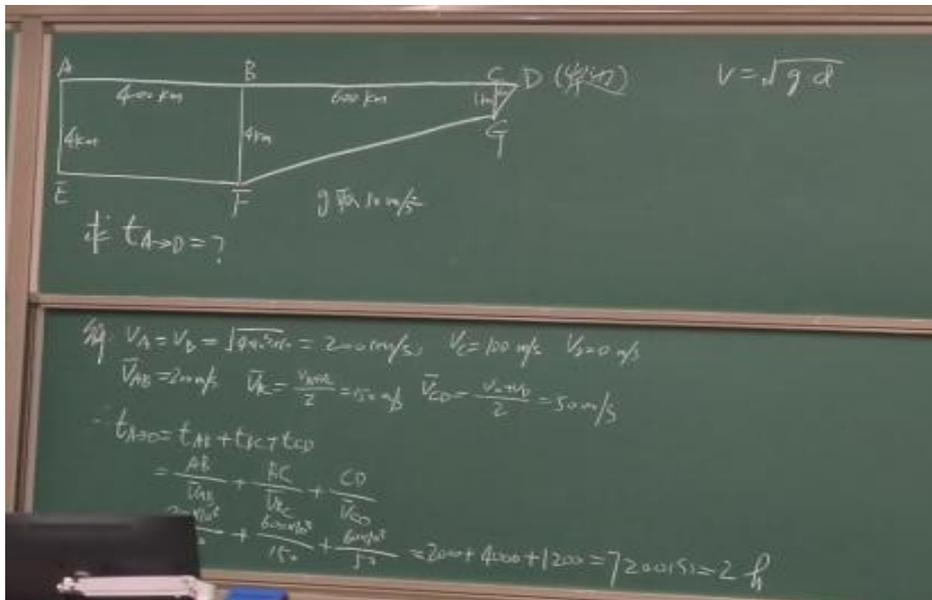
6. 海啸的分类：按成因：地震海啸，火山海啸，滑坡海啸

7. 全球的海啸灾害：全球有记载的破坏性较大的海啸约发生 260 次，平均六七年发生一次，其中发生在环太平洋地区上的海啸约占 80%，发生在地中海区的约占 8%，而在日本列岛及其邻近海域发生的海啸则占太平洋地区的 60% 左右。——日本海啸占全球海啸的 48%（一半）

8. 中国的海啸灾害：我国发生海啸很少 —— 原因：中国处于宽广大陆架上，近海深度都不大。沿海地区少有大断裂层和断裂带，因此产生大地震也比较少。

9. 海啸预警系统的科学依据：地震波传播速度比海啸波传播速度大，先收到地震波后可以预测海啸到达时间。海啸波波长很长会引起海水水面大面积升高，会被验潮站发现。但效果并不好，虚报率 75%。

10. 避灾注意事项：要往高处跑。海啸是一系列的波浪，每隔 10 至 60 分钟便有一个波峰涌至。



# 第十一章 讨论课+电影

## 一、讨论课

### (一) 重点

#### 1. 海啸产生的条件:

- ①深海区
- ②地震震级大
- ③开阔并逐渐变浅的海岸条件

2. 1960年智利大地震,是有记录以来最大的地震,相当于两百万颗广岛原子弹的能量。该地震也诱发了海啸——地震15分钟后,海啸袭击智利海岸。该地震对地球另一端的日本也产生了冲击:地震22小时后冲击到达日本。

### (二) 上课提及但未说明是否考试

#### 1. 日本预防和减少损害的措施(记不住读一遍就下课)

##### (1) 加强地震预测和预警系统的建设:

①投入更多资源用于地震预测技术的研发,如利用人工智能技术分析地震活动规律,为地震预警提供科学依据。

##### (2) 完善灾害法律战略:

①制定和完善涵盖地震灾害预防、应急响应、灾后重建等各个环节的法律法规体系,确保各项防震措施有法可依。

②明确各级政府和相关部门在地震发生时的职责和任务。

##### (3) 加强防史减灾科普教育:

①加大防灾减灾知识的普及力度,提高公众的防震减灾意识和自救互救能力

②在部分易震地区制作并分发通俗易懂、易于记忆的防史手册和地图,让公众了解身边的避险场所和紧急逃生路线。

③开发适用于不同语言版本的防灾APP,为四方游客提供紧急避险信息。

##### (4) 加强抗震设施建设:

①在建筑设计上,加强抗震设计标准的制定和执行,确保新建建筑能够抵抗一定级别的

地震。

②对老旧建筑进行抗震加固，提高其抗震能力。

③在城市规划和建设中，合理设置避难场所，确保在地震等灾害发生时，居民能够迅速转移到安全地带。

(5) 完善灾后重建机制：

①设立专项基金，用于支持灾后重建工作，减轻受灾地区和受灾群众的经济负担

(6) 加强国际交流与合作：

①加强与国际组织和其他国家的交流与合作，共同应对地震等自然灾害带来的挑战。

②分享防灾减灾经验和科技成果，推动全球防灾减灾事业的发展。

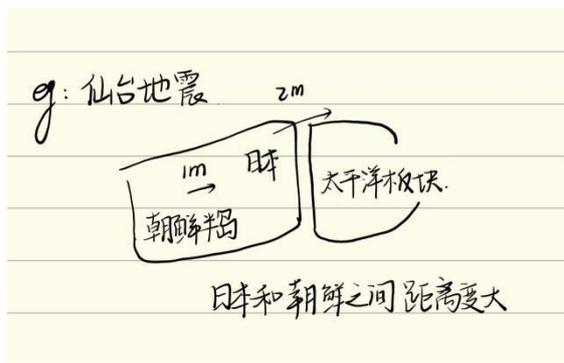
2. 为什么我国不容易产生海啸：

①水深浅

②宽广的大陆架

3. 智利大地震有 37 个震中

4. 日本的仙台地震使得朝鲜半岛和日本之间的距离增大还是减小？增大。因为日本处于欧亚板块与太平洋板块的交界处，地震使日本东移，同样使得朝鲜东移；但是由于地震的能量衰减，朝鲜东移距离小于日本。



## 二、电影

### (一) 往年题

1. 实习生最先预测地震。

2. 没有发生的次生灾害是瘟疫。

3. 有异常的动物是狗。

4. 发生地震后研究员先看一眼仪器后躲到桌子下面。

5. 该地震有前震，两次前震。

## （二）剧情梗概：

### 1. 人物：

- （1）男主：工程师葛沃。
- （2）女主：兰美。
- （3）女主父亲：金先生。
- （4）男主外遇：丹妮斯。
- （5）一个好人警察：雷。
- （6）实习生：罗素。

2. 男女主家庭富裕但婚姻危机（女主父亲是男主上司，二人因利益结婚），女主兰美怀疑丈夫葛沃与拜恩的遗孀丹妮丝有染，假服用毒昏迷在床威胁男主（此前多次使用该手段），结果地震突然发生，女主出于求生本能抱住男主，被男主识破伎俩。

好莱坞大坝边有震感，检察员 Max 认为是小地震不用在意，但他的同事 Fred 认为应该做紧急检查。Max 在检查中并未发现异常。

新闻报道上午 7: :46 洛杉矶发生尼科特氏 3.1 级轻微地震。

Fred 乘电梯下到坝底检查，久未归。Max 按电梯准备下去找他，电梯门打开，大水漫出，Fred 已被淹死。

警匪追逐战，警方因闯入拜恩遗孀宅院被郊区警察马尼拦住差点未能抓获罪犯。警察雷揍了马尼，被停职。

葛沃来到拜恩遗孀（不出名的电影演员）家中，聊到当天早上的地震，认为并不强烈。葛沃是一名优秀的工程师，对这个女人有好感。

加州地震协会的罗素认为当天或第二天将会发生大地震，将数据发给艾博士但对方因在外地安装测量地震波幅的仪器没有收到。同事不相信罗素的推断。

艾博士和助手安装仪器的断层坑洞发生塌方，二人被埋。

史博士见罗素，表示欣赏但认为预测大灾难为之过早。罗素认为根据艾博士的数据和机会率图表，中午发生微震的话发生七级以上大地震的可能性会很大。史博士对罗素表示轻视，但私下很重视这些数据。

兰美约父亲出来吃午饭。

地震协会监测到一次不轻的地震。

大坝地面出现裂缝。水位上升了半寸。

证据已经多到不可以用巧合敷衍，华特建议警告人们避险，但史博士不赞成。得知艾博士死讯后才联系市长。

地震损坏了场景道具，丹妮斯到葛沃公司找朋友芭芭拉。二人出门喝东西。

兰美与父亲交谈。兰美的父亲认为是因为拜恩的死与葛沃有关，葛沃觉得应该对其遗孀和孩子负责他们才会走得很近。

史博士告诉市长可能会发生七级以上大地震，比广岛和长崎原子弹的威力还大。因为党派之争，市长有疑虑。

摩托车特技手牟斯的表演想请性感女郎美姬助阵，被拒绝。女郎去电影院看电影，发生地震。一个同性恋士兵受到同伴歧视。

葛沃介绍新产品——地震模型，不被认可。

葛沃被岳父提拔为总裁。葛沃心情复杂，取消了和丹妮丝的约会。

葛沃知道因为兰美的缘故岳父才会提拔自己，一怒之下说出自己与丹妮丝的关系。

丹妮丝发现附近狗的行为异常。

Max 认为地震把水管弄穿导致 Fred 死亡。

女郎去电影院看电影，发生地震，大地摇晃，高空坠物。地面裂缝。人被砸伤，车辆坠毁，桥梁垮塌，高压电线断裂火光四溅。教堂、住宅损毁，丹妮丝儿子从桥上坠地。办公楼内一片混乱。人们挤往电梯，电梯损坏自由落体，鲜血溅起。警局水管爆裂。有人警告关掉煤气。市内发生火灾。

男女主幸免于难，金先生在办公楼内劝慰大家不要恐慌，打破窗户使烟尘散开，组织大家撤离。因为楼梯拥挤，有人被挤出大楼坠地身亡。

医院着火，道路堵塞。

大坝塞住，Max 准备放水减压。但因为室内需要大量的水，上级不同意。Max 认为如果水坝崩塌后果更严重。上级终于帮忙。

办公楼内充满磷酸，金先生让葛沃快离开。岳父想使用电梯间但撬开后有大量烟尘弥散。岳父用靠椅和消防带运送人员下去，葛沃在下方接应。

大坝成功开闸放水。几小时后才能有效。

丹妮丝救儿子，险些被电。摩托车手和同伴帮助了丹妮丝。

雷警察组织大家自救。医疗站所在地：好莱坞广场，奥氏保险大楼，维逊商场。

女郎在便利店吃饼干，想拿走收银款但被士兵制止。

维逊商场地库二三层有食物和咖啡、停车场一楼有医生。

岳父受伤，犯心脏病，呼吸困难。

葛沃去救丹妮丝和她的儿子。

水坝预防疏散，前往高地道和法连道。人群恐慌。

士兵让美姬呆在小屋里，以劫掠为由射杀了三人。并高声呵斥同伴，在混乱中虚荣心膨胀。

葛沃没有找到母女俩，在返程途中被雷警察拦下，因为警察不会开葛沃的车，葛沃成了暂时的救护车司机。雷警察救了伤员和一只幼犬。

救助站内芭芭拉和丹妮丝相遇。孩子们不谙世事，依旧玩耍着。有小丑逗群众发笑。

金先生因心脏病去世。

士兵对美姬图谋不轨。

水库边山泥倾泻。

丹妮丝的儿子轻微脑震荡，被送去治疗。

余震发生，出现恐慌。丹妮丝和兰美都被困在地库三楼。

高楼倒塌，葛沃后悔在地震高发区建造如此多的高楼。

雷警察解救美姬。

作为大楼建筑师，葛沃建议从地下管道进去救人。葛沃爬进从随时可能堵死的通道，沿路做记号。雷警察和葛沃冒生命危险用电钻打通通道救人。

水坝崩塌。通道受水流冲击。葛沃为救兰美被水冲走。